

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte

Lauksaimniecības fakultāte



Mg. geogr. **Ilzes Dimantes** 

promocijas darbs

**KARTUPEĻU SĪKBUMBULU AUDZĒŠANAS EFEKTIVITĀTES
PAAUGSTINĀŠANAS IESPĒJU IZVĒRTĒJUMS**

***EVALUATION OF POSSIBILITIES TO INCREASE EFFICIENCY OF
POTATO MINITUBER PRODUCTION***

zinātnes doktora (Ph.D.) grāda iegūšanai
lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnēs, mežzinātnē

Promocijas darba vadītāja
Profesore, **Dr. agr.** Zinta Gaile

Promocijas darba autore

Jelgava

2022

ANOTĀCIJA

Dimante I. (2021). *Kartupeļu sīkbumbuļu audzēšanas efektivitātes paaugstināšanas iespēju izvērtējums*. Promocijas darbs zinātnes doktora grāda (PhD) iegūšanai. Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte. Jelgava, 149 lpp.

Zinātniskā darba izstrādāšanai izmēģinājumi laboratorijā, siltumnīcā un uz lauka veikti Agroresursu un ekonomikas institūta Priekuļu pētniecības centrā 2013.–2017. gadā.

Darba hipotēze

Kartupeļu sīkbumbuļu audzēšanas agronomisko efektivitāti iespējams paaugstināt, neveicot nozīmīgus finansiālus un tehnoloģiskus ieguldījumus, tomēr agronomiski efektīvākā audzēšanas tehnoloģija ne vienmēr ir arī ekonomiski efektīvākā.

Pētījuma mērķis

Izvērtēt kartupeļu sīkbumbuļu ražošanas efektivitātes paaugstināšanas iespējas atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības siltumnīcā, lai nodrošinātu augstu un kvalitatīvu nākamās kategorijas kartupeļu sēklas materiāla ražu lauka apstākļos.

Pētījuma uzdevumi

1. Novērtēt kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības paaugstināšanas ietekmi uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem siltumnīcā dažādām šķirnēm.
2. Izvērtēt sīkbumbuļu frakcijas ietekmi uz kartupeļu augu attīstību un sēklas bumbuļu ražu pirmajā ražošanas gadā uz lauka dažādām šķirnēm.
3. Noteikt lauka vērtību siltumnīcas platības vienībai un vienam mikroaugam, atkarībā no to stādīšanas biežības siltumnīcā.
4. Veikt mikroaugu stādīšanas biežības izmaiņu ekonomiskās efektivitātes izvērtējumu.
5. Noskaidrot mikroaugu audzēšanas paņēmiena ietekmi uz mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm un sekojošu pēcietekmi uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā.

Promocijas darba strukturējums

1. nodaļa – **Literatūras apskats** ietver 6 apakšnodaļas. Nodaļā sniegts īss kartupeļu attīstības, augšanas un ražas veidošanās īpatnību apskats. Sniegts ieskats kartupeļu sēklaudzēšanas sistēmu veidošanās vēsturē, apskatītas kartupeļu mikropavairošanas metodes un sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas, raksturotas augu augšanas un attīstības īpatnības no sīkbumbuļiem lauka apstākļos. Īsi aprakstītas sīkbumbuļu audzēšanas efektivitātes vērtēšanai pielietotās pieejas.
 2. nodaļa – **Materiāli un metodes** ietver 6 apakšnodaļas. Nodaļā aprakstīta izmēģinājumu ierīkošanas metodika, pētītais materiāls, veiktie novērojumi, raksturoti meteoroloģiskie apstākļi un aprakstītas datu apstrādes metodes.
 3. nodaļa – **Izmēģinājuma rezultāti un diskusija** ietver 5 apakšnodaļas. Tajās analizēta sīkbumbuļu audzēšanas agronomiskās efektivitāte atkarībā no pielietotās mikroaugu stādīšanas biežības, izvērtēts sīkbumbuļu agronomiskais sniegums pirmajā lauka paaudzē atkarībā no to frakcijas, vērtēti iegūtie lauka vērtības rādītāji siltumnīcas platības vienībai un mikroaugam, veikts sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ekonomiskās efektivitātes izvērtējums. Noskaidrota paņēmiena ietekme uz mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm un pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā.
- Secinājumi** ietver atbildes uz pētījuma uzdevumiem.
- Darbā ietvertas 22 tabulas, 38 attēli, 33 pielikumi un izmantoti 342 literatūras avoti.

ANNOTATION

Dimante I. (2021). *Evaluation of possibilities to increase efficiency of potato minituber production*. Research paper to obtain for the Ph.D. in Agriculture, Forestry and Fisheries. Latvia University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, 149 p.

Laboratory, greenhouse and field experiments were carried out at the Institute of Agricultural Resources and Economics, Priekuli Research Center from 2013 to 2017.

Hypothesis of the thesis

The agronomic efficiency of potato minituber production can be increased without significant financial and technological investment, but the most agronomically efficient growing technology is not always the most cost-effective.

The aim of the thesis

To evaluate the possibilities of improving the efficiency of potato minituber production by changing the planting density of microplants in the greenhouse to ensure a high yield of high-quality seed potato of the first category under field conditions.

Research tasks

1. To assess the effect of increasing the microplant planting density on the number of minitubers of different varieties in the greenhouse.
2. To assess the effect of minituber size on the development of plants and seed yield of different potato varieties under field conditions.
3. To determine the field value of the greenhouse unit area and of one microplant depending on the microplant planting density.
4. To evaluate the economic efficiency of changes in microplant densities (minituber growing technology) in a greenhouse.
5. To examine the effects of the propagation method of microplants on the morphology of microplants and the subsequent effects on the number and yield of minitubers in a greenhouse.

The structure of the research paper

Chapter 1 - **The literature review** includes 6 subchapters. A brief overview of potato growth, development and yield formation is provided in the chapter. Insights into the history of the formation of seed potato production systems are given, and potato micropropagation methods and minituber cultivation technologies are examined. Plant growth and development specifically from minitubers under field conditions are described. The approaches used to evaluate the efficiency of tuber cultivation are briefly described.

Chapter 2 - **Materials and Methods** includes 6 subchapters. The chapter describes the methodology of the experiments, the studied material, the observations and analyses performed, the meteorological conditions and the data analysis.

Chapter 3 - **The results and discussion** include 5 subsections. This chapter analyses the agronomic efficiency of minituber production depending on the microplant planting density in the greenhouse. The field performance of minitubers depending on their size and data on the field value of the greenhouse unit area and of one microplant were assessed. The evaluation of the economic efficiency of changes in minituber growing technology has been performed. The effects of the propagation method of microplants on the morphology of potato microplants and the subsequent effects on the number and yield of minitubers in the greenhouse were examined.

The **conclusions** include answers to the research tasks.

The paper contains 22 tables, 38 figures, 33 annexes and 342 references

SATURS

ANOTĀCIJA.....	2
ANNOTATION.....	3
SATURS.. ..	4
DARBĀ LIETOTIE AKRONĪMI, ABREVIATŪRAS UN ATSEVIŠĶAS DEFINĪCIJAS	6
DARBĀ IEVIETOTO TABULU SARAKSTS	8
DARBĀ IEVIETOTO ATTĒLU SARAKSTS	9
PIELIKUMU SARAKSTS.....	11
IEVADS	13
1.LITERATŪRAS APSKATS	17
1.1. Kartupeļi pasaulē un Latvijā.....	17
1.2. Kartupeļu botāniskais raksturojums	19
1.3. Kartupeļu augšana, attīstība un ražas veidošanās, to ietekmējošie faktori.....	20
1.3.1. Kartupeļu augšana un attīstība atbilstoši dažādām skalām	20
1.3.2. Augu attīstību, augšanu un ražu ietekmējošie faktori.....	22
1.3.3. Kartupeļu raža un tās struktūrelementi	27
1.4. Kartupeļu sēklaudzēšanas nozīme un sēklaudzēšanas sistēmu veidošanās.....	29
1.5. Kartupeļu pirmsbāzes sēklas izaudzēšanas metodes	31
1.5.1. Sākotnējās sēklaudzēšanas metodes un no vīrusiem brīva izejmateriāla iegūšana	31
1.5.2. Mikropavairošanas metodes, to pēcietekme uz augu attīstību un sīkbumbuļu ražu	33
1.5.3. Sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas	36
1.5.4. Kartupeļu augšanas un attīstības īpatnības no sīkbumbuļiem	40
1.5.5. Kartupeļu raža no sīkbumbuļiem.....	42
1.6. Sīkbumbuļu audzēšanas efektivitātes analīze.....	44
2.PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA	47
2.1. Kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības ietekmes uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem siltumnīcā novērtēšanas metodika.....	47
2.2. Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos	51
2.2.1. Lauka izmēģinājumu metodika un audzēšanas apstākļi	51
2.2.2. Lauka izmēģinājumā veiktie novērojumi un ražas analīze.....	57
2.3. Lauka vērtības aprēķināšana sīkbumbuļiem.....	58
2.4. Mikroaugu stādīšanas biežības ekonomiskās efektivitātes izvērtēšana	59
2.5. Metodika mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšanai	61
2.5.1. Mikroaugu audzēšana un morfoloģisko parametru novērtēšana laboratorijā	61

2.5.2. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšana.....	63
2.6. Datu apstrādes metodes	63
3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA	65
3.1. Kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības ietekme uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem	65
3.1.1. Sīkbumbuļu skaits no kvadrātmetra.....	65
3.1.2. Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients siltumnīcā	66
3.1.3. Sīkbumbuļu raža no kvadrātmetra un viena sīkbumbuļa vidējā masa.....	69
3.1.4. Sīkbumbuļu ražas sadalījums frakcijās	72
3.1.5. Sīkbumbuļu ražu raksturojošu rādītāju izmaiņu tendences mikroaugu stādīšanas biežības izmaiņu ietekmē	77
3.1.6. Korelatīvās sakarības starp pētāmajām pazīmēm	79
3.2. Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos	82
3.2.1. Sīkbumbuļu sadīgšana	83
3.2.2. Lakstu sakļaušanās vagās	89
3.2.3. No sīkbumbuļiem iegūtu kartupeļu ceru ziedēšana	91
3.2.4. Stublāju skaits no sīkbumbuļiem izveidojušos ceros.....	92
3.2.5. Bumbuļu skaits cerā un pavairošanas koeficients	94
3.2.6. Bumbuļu skaits un raža.....	97
3.2.7. Ražas bumbuļu sadalījums frakcijās.....	101
3.3. Sīkbumbuļu lauka vērtība.....	103
3.4. Mikroaugu stādīšanas biežības paaugstināšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums	108
3.4.1. Mikroaugu un sīkbumbuļu pašizmaksas struktūra	108
3.4.2. Sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju salīdzinājums ar parciālā budžeta metodi	108
3.4.3. Robežanalīze (<i>marginal analysis</i>)	112
3.4.4. Jūtīguma analīze	116
3.5. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā	118
3.5.1. <i>In vitro</i> audzēšanas paņēmiena ietekme uz mikroaugu morfoloģiskajiem parametriem	118
3.5.2. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā.....	125
3.5.3. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pielietošanas ekonomiskā efektivitāte	126
SECINĀJUMI	128
PATEICĪBAS	130
IZMANTOTIE LITERATŪRAS AVOTI.....	131
PIELIKUMI.....	150

DARBĀ LIETOTIE AKRONĪMI, ABREVIATŪRAS UN ATSEVIŠKAS DEFINĪCIJAS

Vispārīgi

AREI	Agroresursu un ekonomikas institūts
PPC	Priekuļu pētniecības centrs
ES	Eiropas Savienība
ASV	Amerikas Savienotās Valstis
MK	Ministru kabinets
EUR, €	eiro
per se	pats par sevi
CIP	Starptautiskais kartupeļu centrs
Genotips	šķirne vai selekcijas klons

Mikropavairošana

In vitro	mākslīgos apstākļos
Ex vitro	augu audu kultūrās – ārpus mākslīgiem apstākļiem
MS barotne	Murašiges un Skūga barotne augu audu kultūrām
Klonu mikropavairošana (mikropavairošana)	augu veģetatīva pavairošana izmantojot veidotājus, lai iegūtu lielu skaitu identisku augu <i>in vitro</i>

Mikroaugi	ar mikropavairošanas metodi iegūti augi
------------------	---

Kartupeļu sēklaudzēšana

Mikrobumbuļi	<i>in vitro</i> apstākļos iegūti kartupeļu bumbuļi
---------------------	--

Sīkbumbuļi	nelieli kartupeļu bumbuļi, kuri izaudzēti segtās platībās no mikropavairošanas ceļā iegūtiem augiem vai mikrobumbuļiem augsnes vai augsni nesaturošā substrātā
-------------------	--

PBTC	<i>Pre basic tissue culture</i> . Normatīvajos aktos netulko uz latviešu valodu, lieto vienlaicīgi ar nosaukumu “sīkbumbuļi”
PB1	pirmās paaudzes pirmsbāzes sēklas

Konvencionālā sēkla, konvencionālais sēklas materiāls	sertificēts kartupeļu sēklas materiāls, kas nav sīkbumbuļi
--	--

3G	kartupeļu sēklaudzēšanas sistēma, kas paredz sertificētu sēklu iegūšanu trīs paaudzēs
-----------	---

Sīkbumbuļu audzēšana dažādās mikroaugu stādīšanas biežībās

f1	sīkbumbuļu frakcija 3.00–4.99 g
f2	sīkbumbuļu frakcija 5.00–9.99 g
f3	sīkbumbuļu frakcija 10.00–19.99 g
f4	sīkbumbuļu frakcija ≥ 20.00 g
MSB	mikroaugu stādīšanas biežība, arī – audzēšanas tehnoloģija
MSB63	mikroaugu stādīšanas biežība 63 mikroaugi m ⁻²
MSB95	mikroaugu stādīšanas biežība 95 mikroaugi m ⁻²
MSB142	mikroaugu stādīšanas biežība 142 mikroaugi m ⁻²
MSB184	mikroaugu stādīšanas biežība 184 mikroaugi m ⁻²
PkoefS	pavairošanas koeficients siltumnīcā. Vismaz 3 g smagu sīkbumbuļu skaits, kuri iegūti no viena iestādītā mikroauga
SbF	sīkbumbuļu frakcija
SbS	≥ 3 g smagu sīkbumbuļu skaits no 1 m ²

SbM	≥ 3 g smagu sīkbumbuļu raža, kg m^{-2}
SbAW	viena sīkbumbuļa vidējā masa ≥ 3 g smagiem sīkbumbuļiem
SskF	sīkbumbuļu skaits katrā atsevišķā frakcijā
F%	frakcijas īpatsvars % kopējā sīkbumbuļu skaitā
<i>Lauka izmēģinājums</i>	
Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos	ar cera augšanu, attīstību un ražas parametriem (bumbuļu skaits un raža, kg m^{-2}) saistītie rādītāji lauka apstākļos.
ASLA	sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos
CV_r	variācijas koeficients lauka apstākļos iegūtajai bumbuļu ražai
DAP	dienas pēc stādīšanas
DAE	dienas pēc sadīgšanas
E50%	50% sadīgušu sīkbumbuļu
E80%	80% sadīgušu sīkbumbuļu
FAR	fotosintētiski aktīvā radiācija
GDD	termālais laiks °C, augšanas grādu dienas
GDD AE50%	augšanas grādu dienas pēc sadīgšanas
LaV_{pl}	lauka vērtība siltumnīcas platības vienībai (m^2) atkarībā no pielietotās mikroaugu stādīšanas biežības.
LaV_{ma}	lauka vērtība mikroaugam atkarībā no to stādīšanas biežības
PkoefL	pavairošanas koeficients lauka apstākļos. Ražas bumbuļi ar izmēru >25 mm, kuri iegūti no viena iestādītā sīkbumbuļa
<i>Ekonomiskās efektivitātes vērtēšana</i>	
BI	bruto ieņēmumi
NI	neto ieņēmumi
RiL	robežieņēmumu likme
<i>Mikroaugu audzēšanas paņēmieni</i>	
MMS	stikla mēģene pildīta ar MS barotni bez vitamīniem, noslēgta ar vates-marles korķi
AMS	cilindriskais plastmasas trauks pildīts ar MS barotni bez vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS, noslēgts ar caurspīdīgu plastmasas vāku
AMSV	cilindriskais plastmasas trauks pildīts ar MS barotni un pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS, noslēgts ar caurspīdīgu plastmasas vāku
AHMS	cilindriskais plastmasas trauks pildīts ar samazinātas koncentrācijas MS barotni (uz pusi samazināta makrosāļu deva) bez pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS, noslēgts ar caurspīdīgu plastmasas vāku
<i>Kartupeļu vīrusu akronīmi</i>	
PSTV	kartupeļu vārpstveida bumbuļu viroīds
PLRV	kartupeļu lapu ritināšanās vīruss
PVA	kartupeļu vīruss A
PVM	kartupeļu vīruss M
PVS	kartupeļu vīruss S
PVX	kartupeļu vīruss X
PVY	kartupeļu vīruss Y
APLV	kartupeļu Andu latentais vīruss

Informācija sakārtota, to sadalot tematiskajās grupās

DARBĀ IEVIETOTO TABULU SARAKSTS

1.1. tabula	Kartupeļu attīstības fāžu skalas pēc R. A. Džeferija un H. M. Lavsona (Jefferies, Lawson, 1991) un BBCH (Meier, 2001)decimālo kodu skalas salīdzinājums	21
1.2. tabula	No sīkbumbuļiem iegūtā raža lauka apstākļos atkarībā no pielietotā audzēšanas paņēmiena	43
2.1. tabula	Mikroaugu stādīšanas un lakstu novākšanas datums, veģetācijas perioda ilgums, 2014.–2016. g	49
2.2. tabula	Kartupeļu sīkbumbuļu stādīšanas un veģetācijas pārtraukšanas datums, veģetācijas perioda ilgums, 2014.–2016. g.....	53
2.3. tabula	Augsnes agroķīmiskie rādītāji un pielietotā mēslojuma norma lauka izmēģinājumos, 2014.–2016. g.....	53
3.1. tabula	Sīkbumbuļu sadīgšana (E50%) dienās pēc iestādīšanas (DAP) atkarībā no audzēšanas gada un sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g	84
3.2. tabula	Sīkbumbuļu laukdīdžība, %, 2014.–2016. g	87
3.3. tabula	Stublāju skaits cerā atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.	93
3.4. tabula	Ražas bumbuļu (>25 mm) skaits cerā atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.....	95
3.5. tabula	Bumbuļu skaits un raža atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.	98
3.6. tabula	Siltumnīcas laukuma vienības (1 m ²) lauka vērtība (LaV _{pla}) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.	104
3.7. tabula	Mikroauga lauka vērtība (LaV _{ma}) atkarībā no to stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.	105
3.8. tabula	Sīkbumbuļu ražošanas scenāriji atkarībā no mikroauga un sīkbumbuļa vērtības.....	109
3.9. tabula	Bruto ieņēmumi (BI) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos, EUR m ⁻²	109
3.10. tabula	Mainīgās izmaksas (MI) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos, EUR m ⁻²	110
3.11. tabula	Neto ieņēmumi (NI) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos, EUR m ⁻²	111
3.12. tabula	Neto ieņēmumu un mainīgo izmaksu attiecības analīze atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības un šķirnes	111
3.13. tabula	Dominances analīzes rezultāti atkarībā no šķirnes un mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos	113
3.14. tabula	Maksimālā pieļaujamā vērtība vienam mikroaugam, lai mikroaugu stādīšanas biežība (MSB) būtu akceptējama	116
3.15. tabula	Mikroaugu starpmezglu posmu skaits un garums, vidēji 2014. un 2017. g	121
3.16. tabula	Dažādu mikroaugu audzēšanas paņēmienu salīdzinājums ar standarta audzēšanas paņēmienu (kontroli)	124
3.17. tabula	Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu ražas parametriem (p vērtības), vidēji 2014. un 2017. g.....	125

DARBĀ IEVIETOTO ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att.	Kartupeļu sējumu platība Latvijā tūkst. ha un kopražs tūkst. t, 2000–2020. g.	17
1.2. att.	Kartupeļu sēklaudzēšanas platības Latvijā, ha, 2002. – 2021. gads	18
2.1. att.	Kartupeļu mikroaugi <i>in vitro</i> (A) un kartupeļu mikrospraudeņi (B)	47
2.2. att.	Marķieris regulāra izvietojuma iedobju veidošanai kūdrā	48
2.3. att.	Mikroaugu izvietojums atkarībā no to stādīšanas biežības	49
2.4. att.	Variantu sakārtojuma paraugs, 2016. gads	52
2.5. att.	Dekādes vidējā temperatūra un nokrišņu daudzums 2014.–2016. gada veģetācijas sezonās	54
2.6. att.	Hidrotermālais koeficients (HTK), 2014. –2016. g.	55
2.7. att.	Mikroaugu audzēšanā izmantotie trauki:	62
3.1. att.	Sīkbumbuļu skaits m^{-2} atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes, vidēji 2014.–2016. g.	65
3.2. att.	Pavairošanas koeficients (PkoefS) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes, vidēji 2014.–2016. g.	67
3.3. att.	Sīkbumbuļu raža, $kg\ m^{-2}$ un sīkbumbuļa vidējā masa, g, vidēji 2014.–2016. g.	70
3.4. att.	Sīkbumbuļu skaits ražas frakcijās jeb SskF (A) un frakcijas īpatsvars (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā (B) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.	74
3.5. att.	Shematisks sīkbumbuļu sadalījuma frakcijās attēlojums salīdzinājumā ar datiem R. Tierno un kolēģu (Tierno et al., 2014) pētījumā.	75
3.6. att.	Sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju relatīvās izmaiņas, %, vidēji 2014.–2016. g.	77
3.7. att.	Rādītāju slodze uz galvenajiem komponentiem (PC) un sakarības starp pazīmēm ..	80
3.8. att.	Sakarības starp sīkbumbuļu vidējo masu (SbAW) un dažādu frakciju proporciju kopējā sīkbumbuļu skaitā (F%)	81
3.9. att.	Sakarība starp ≥ 20 g sīkbumbuļu skaitu (SbS f4) un sīkbumbuļu ražu (SbM) $kg\ m^{-2}$	82
3.10. att.	Starpība starp dienu skaitu, kas bija nepieciešams lielākās (f4) un mazākas (f1) frakcijas sīkbumbuļiem līdz 50% (E50%) un 80% (E80%) sadīgšanai, vidēji 2014.–2016. g.	84
3.11. att.	Līdz 50% (A) un 80% (B) sadīgšanai nepieciešamās augšanas grādu dienas (GDD), vidēji 2014.–2016. g.	85
3.12. att.	Sīkbumbuļu laukdīdzības izmaiņu tendences dienās pēc stādīšanas (DAP), 2014.–2016.g.	88
3.13. att.	Lakstu sakļaušanās vagās (dienas pēc sadīgšanas, DAE), 2014.–2016. g.	90
3.14. att.	Ceru ziedēšanas sākums dienās pēc sadīgšanas (DAE) atkarībā no šķirnes vidēji sīkbumbuļu frakcijām, 2014.–2016. g.	92
3.15. att.	Sakarība starp stublāju skaitu cerā un >25 mm lielu ražas bumbuļu skaitu	95
3.16. att.	Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PkoefL) atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.	96
3.17. att.	Ražas bumbuļu (>25 mm) skaits un raža m^{-2} atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.	99
3.18. att.	Šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas ietekme uz >25 mm lielu ražas bumbuļu vidējo masu, g, vidēji 2014.–2016. g.	100
3.19. att.	Ražas bumbuļu sadalījums frakcijās, vidēji 2014.–2016. g.	102
3.20. att.	Par >25 mm lielāku bumbuļu īpatsvars kopražā atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.	103
3.21. att.	Sīkbumbuļu lauka vērtību relatīvās izmaiņas, %	106
3.22. att.	Sakarība starp pavairošanas koeficienta siltumnīcā (PkoefS) un lauka vērtību vienam noteiktā biežībā iestādītam mikroaugam (LaV_{ma}) (pa kreisi) un sakarība	

starp iegūto sīkbumbuļu skaitu 1 m ² siltumnīcas (SbS) un lauka vērtību siltumnīcas laukuma vienībai (m ²) (LaV _{pla}) (pa labi).....	107
3.23. att. Mikroaugu stādīšanas biežības (audzēšanas tehnoloģijas maiņas) neto ieņēmumu likne un robežieņēmumu likme (RiL) četriem ražošanas scenārijiem	114
3.24. att. Mikroaugu masa (g) atkarībā no pielietotā audzēšanas paņēmiena <i>in vitro</i> , vidēji 2014. un 2017. g.	119
3.25. att. Mikroaugu garums (cm) atkarībā no audzēšanas paņēmiena <i>in vitro</i> , vidēji 2014. un 2017. g.	119
3.26. att. Mikroaugu masas-garuma attiecība atkarībā no audzēšanas paņēmiena <i>in vitro</i> , vidēji 2014. un 2017. g.	122
3.27. att. Mikroaugu sakņu masa atkarībā no audzēšanas paņēmiena <i>in vitro</i> , vidēji 2014. un 2017. g.	122
3.28. att. Mikroaugu sakņu–stublāja masas attiecība atkarībā no audzēšanas paņēmiena <i>in</i> <i>vitro</i> , vidēji 2014. un 2017. g.	123
3.29. att. Sīkbumbuļu skaits no viena mikrauga atkarībā no mikroaugu audzēšanas paņēmiena <i>in vitro</i> , vidēji 2014. un 2017. g.	125

PIELIKUMU SARAKSTS

1. pielikums Pētījumā izmantoto šķirņu raksturojums
2. pielikums Kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības ietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā izmēģinājumu plāna paraugs, 2014. g.
3. pielikums Sīkbumbuļu novākšana un šķirošana pēc to masas
4. pielikums Kartupeļu sīkbumbuļu agronomiskā snieguma lauka apstākļos novērtēšanai iekārtoto lauka izmēģinājuma plāna paraugs, 2016. g.
5. pielikums MS (Murašiges un Skūga) barotnes sastāvs
6. pielikums Vidējā gaisa temperatūra Priekuļos, 2014.–2016. g.
7. pielikums Nokrišņu summa Priekuļos, 2014.–2016. g.
8. pielikums Šķirnes (G), mikroaugu stādījuma biežības (MSB) un faktoru mijiedarbības ($G \times MSB$) ietekmes p vērtības un faktoru ietekmes īpatsvars (η , %) uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem, vidēji 2014.–2016. g.
9. pielikums Šķirnes (G), mikroaugu stādījuma biežības (MSB) un faktoru mijiedarbības ($G \times MSB$) ietekmes uz sīkbumbuļu sadalījumu frakcijās p vērtības un faktoru ietekmes īpatsvars (η , %), vidēji 2014.–2016. g.
10. pielikums Sīkbumbuļu ražu raksturojošie rādītāji, ņemti vērā visi iegūtie sīkbumbuļi (>0 g), vidēji 2014. – 2016. g.
11. pielikums Atšķirības starp genotipiem pēc sīkbumbuļu skaita atsevišķās frakcijās atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.
12. pielikums Atšķirības starp genotipiem pēc sīkbumbuļu frakcijas īpatsvara kopējā sīkbumbuļu skaitā dažādās mikroaugu stādīšanas biežībās (MSB), vidēji 2014.–2016. g.
13. pielikums Sakarības starp sīkbumbuļu ražas rādītājiem
14. pielikums Sīkbumbuļu ražu raksturojošo pazīmju slodze uz galvenajiem komponentiem, kuri izveidoti, izmantojot galveno komponentu analīzi (PCA), un reducējot pazīmes līdz diviem komponentiem
15. pielikums Sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju relatīvās izmaiņas, %, vidēji 2014.–2016. g.
16. pielikums Šķirnes ‘Monta’ fenoloģiskās attīstības laika skala, 2014.–2016. g.
17. pielikums Šķirnes ‘Prelma’ fenoloģiskās attīstības laika skala, 2014.–2016. g.
18. pielikums Šķirnes ‘Mandaga’ fenoloģiskās attīstības laika skala, 2014.–2016. g.
19. pielikums Šķirnes (G), iestādīto sīkbumbuļu frakcijas (SbF) un abu faktoru mijiedarbības ($G \times SbF$) ietekme (p vērtības) un faktoru ietekmes īpatsvars (η , %) uz augu attīstību raksturojošiem rādītājiem lauka apstākļos, vidēji 2014.–2016. g.
20. pielikums Audzēšanas gada apstākļu ietekme uz kartupeļu attīstības rādītājiem lauka apstākļos
21. pielikums Sīkbumbuļu sadīgšana (E80%) dienās pēc iestādīšanas atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.– 2016. g.
22. pielikums Sīkbumbuļu sadīgšana no E50% līdz E80% dienās atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.
23. pielikums Augšanas grādu dienas pēc sadīgšanas (GDD AE) līdz laksti sakļaujas vagās atkarībā no šķirnes, sīkbumbuļu frakcijas un pētījuma gada
24. pielikums Nevienmērīga augu attīstība no sīkbumbuļiem un nepilnīga sadīgšana 46 dienas pēc stādīšanas (DAP), šķirne ‘Monta’, 2015. g.
25. pielikums Lakstu sakļaušanās vagās 03.07.2016. (48 DAP) atkarībā no iestādītās sīkbumbuļu frakcijas šķirnei ‘Prelma’ 2016. g.

26. pielikums Šķirnes (G), iestādīto sīkbumbuļu frakcijas (SbF) un faktoru mijiedarbības ($G \times SbF$) ietekme (p vērtības) un faktoru ietekmes īpatsvars (η , %) uz ražu raksturojošiem rādītājiem lauka apstākļos, vidēji 2014.–2016. g.
27. pielikums Pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PkoefL) jeb ražas bumbuļu (>25 mm) skaits pret vienu iestādīto sīkbumbuli, 2014.–2016. g.
28. pielikums Šķirņu 'Kuras' (vēlīna) un 'Jogla' (vidēji vēlīna) ziedēšana 97 dienas pēc stādīšanas (20.08.2020.)
29. pielikums Matrica, kuru AREI PPC izmanto mikroaugu ražošanas pašizmaksas aprēķinam
30. pielikums Matrica, kuru AREI PPC izmanto sīkbumbuļu pašizmaksas aprēķinam
31. pielikums Kartupeļu sēklaudzēšanas shēma Eiropas Savienībā
32. pielikums Robežieņēmumu likmes (RiL) aprēķina piemērs
33. pielikums Ar dažādiem audzēšanas paņēmieniem *in vitro* iegūti kartupeļu mikroaugi

IEVADS

Kartupeļu (*Solanum tuberosum* L.) ražošana ir viena no būtiskām lauksaimniecības nozarēm Latvijā, kas nodrošina kartupeļus tiešam patēriņam pārtikā un pārstrādei. Viens no tās attīstības priekšnoteikumiem ir kvalitatīva sēklas materiāla pieejamība un izmantošana. Latvijas apstākļos kvalitatīva sēklas materiāla audzēšana uz lauka ir apgrūtināta, jo ir augsta kartupeļu vīrusu pārnēsēju (laputu – *Aphis* spp.) izplatība. Viens no risinājumiem, kā paaugstināt sēklas pieejamību, ir sīkbumbuļu (PBTC kategorijas sēklas materiāls) audzēšanas efektivitātes palielināšana segtās platībās. Jau sīkbumbuļu audzēšanas procesā palielinot iegūtās sēklas iznākumu, būtu iespējams samazināt lauka paaudzju skaitu, kas īpaši nozīmīgi varētu būt šķirnēm, kuras ir vairāk ieņēmīgas pret vīrus slimībām.

Latvijā līdz šim maz veikti pētījumi kartupeļu sēklaudzēšanā. Nozīmīgāki pētījumi veikti saistībā ar vīrus slimību ietekmi uz ražu kartupeļu stādījumos (Дуда, 1968; Turka, 1994), sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju (audzēšana kastēs, plēves dobēs un rulonos) izpētei pievērsusies A. Gābere (Gābere, 2004; šis ir vienīgais publicētais darbs par sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju Latvijā). N. Ķesa pētīja kartupeļu sēklas ražu atkarībā no stādīšanas attāluma starp bumbuļiem (Keca, 1973b), bet L. Zariņa papildus stādīšanas attālumam pētīja arī sēklas bumbuļu lieluma ietekmi uz ražu (Zariņa, 1997). Ārzemju pieredze sīkbumbuļu audzēšanā ne vienmēr ir tieši izmantojama, jo kritiski jāvērtē iespējas ieguldīt papildus resursus gan tehnoloģijās, gan darbaspēkā. Arī ārzemēs ir veikts samērā maz tādu pētījumu, kuros būtu vērtēta sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāte ne tikai *per se*, bet gan sasaistot to ar pavairošanas koeficientu pirmajā lauka paaudzē (Hagman, 1990; Lommen, Struik, 1994; Lommen, Struik, 1995). Reti vērtēta sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskā efektivitāte (Mateus-Rodriguez et al., 2013; Guenthner et al., 2014; Calori et al., 2018), bet Latvijā līdz šim šādi pētījumi nav bijuši. Izvērtējot kvantitatīvos ražas datus pirmajā lauka paaudzē, pētījumos maz pievērsta uzmanība tieši sēklas iznākumam atkarībā no iestādīto sīkbumbuļu izmēra vai masas.

Trūkst informācijas arī par mikroaugu *in vitro* audzēšanas paņēmiena (barotnes sastāvs, dažādi audzēšanas trauki) iespējamo pēcietekmi uz sīkbumbuļu ražu siltumnīcā un iespējām samazināt ražošanas izmaksas, vienkāršojot pielietotās tehnoloģijas.

Darba hipotēze

Kartupeļu sīkbumbuļu audzēšanas agronomisko efektivitāti iespējams paaugstināt, neveicot nozīmīgus finansiālus un tehnoloģiskus ieguldījumus, tomēr agronomiski efektīvākā audzēšanas tehnoloģija ne vienmēr ir arī ekonomiski efektīvākā.

Pētījuma mērķis

Izvērtēt kartupeļu sīkbumbuļu ražošanas efektivitātes paaugstināšanas iespējas atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības siltumnīcā, lai nodrošinātu augstu un kvalitatīvu nākamās kategorijas kartupeļu sēklas materiāla ražu lauka apstākļos.

Darba uzdevumi

1. Novērtēt kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības paaugstināšanas ietekmi uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem siltumnīcā dažādām šķirnēm.
2. Izvērtēt sīkbumbuļu frakcijas ietekmi uz kartupeļu augu attīstību un sēklas bumbuļu ražu pirmajā ražošanas gadā uz lauka dažādām šķirnēm.
3. Noteikt lauka vērtību siltumnīcas platības vienībai un vienam mikroaugam, atkarībā no to stādīšanas biežības siltumnīcā.
4. Veikt mikroaugu stādīšanas biežības izmaiņu ekonomiskās efektivitātes izvērtējumu.
5. Noskaidrot mikroaugu audzēšanas paņēmiena ietekmi uz mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm un sekojošu pēcietekmi uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā.

Aizstāvamās tēzes

1. Sabiezinot kartupeļu mikroaugu stādījumu siltumnīcā, sīkbumbuļu skaits laukuma vienībā būtiski pieaug, bet samazinās viena sīkbumbuļa masa. Vienlaicīgi samazinās arī sīkbumbuļu skaits no viena mikroauga jeb pavairošanas koeficients.
2. Kartupeļu augu attīstība no sīkbumbuļiem un iegūstamo sēklas bumbuļu raža (skaits un masa no platības) ir atkarīgi no iestādīto sīkbumbuļu lieluma (frakcijas). Pastāv būtiskas atšķirības starp šķirnēm.
3. Lauka vērtība siltumnīcas platības vienībai pieaug, paaugstinot mikroaugu stādīšanas biežību, bet tai pašā laikā lauka vērtība vienam mikroaugam samazinās.
4. Paaugstinot mikroaugu stādīšanas biežību siltumnīcā, pieaug to audzēšanas agronomiskā efektivitāte (sīkbumbuļu skaits 1 m⁻² un 1 m² lauka vērtība), bet ekonomiskā efektivitāte ir atkarīga no mikroaugu un sīkbumbuļu vērtības: vai tā ir pašizmaksa vai tirgus cena.
5. Mikroaugu pavairošanai pēdējā pasāža izmantotā paņēmiena vienkāršošana ļauj samazināt mikroaugu ražošanas izmaksas, neatstājot negatīvu ietekmi uz sekojošo sīkbumbuļu ražu.

Promocijas darba novitāte

1. Latvijā nav vērtēta augu attīstība un raža no sīkbumbuļiem pirmajā lauka paaudzē atkarība no to lieluma (frakcijas).
2. Apvienojot datus par sīkbumbuļu audzēšanas rezultātiem siltumnīcā atkarībā no pielietotās mikroaugu stādīšanas biežības un attiecīgajā tehnoloģijā iegūto sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos atkarībā no to lieluma (frakcijas), izveidots inovatīvs lauka vērtības koncepts un atbilstošas formulas.
3. Līdz šim Latvijā nekad nav veikts sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums atkarībā no pielietotās audzēšanas tehnoloģijas. Pirmo reizi Latvijā pielietota parciālā budžeta un robežieņēmumu likmes analīze, lai novērtētu audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ekonomisko efektu.
4. Latvijā līdz šim nav vērtēts mikroaugu audzēšanas paņēmiena ietekmē radušos kartupeļu augu morfoloģijas izmaiņu iespējamais pēcefekts uz sīkbumbuļu ražu siltumnīcā.

Projekts promocijas darba pabeigšanas atbalstam

ESF projekts Nr. 8.2.2.0/20/I/001 „LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli”.

Pētījumu rezultātu aprobācija

Citēšanas datu bāzēs indeksēti zinātniskie raksti

1. Dimante I., Gaile Z., Proskina L., Cerina S. (2022). High microplant densities in greenhouses – are they always efficient in small potato minituber production systems? *American Journal of Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s12230-022-09876-1>.
2. Dimante I., Mežaka I., Gaile Z. (2019). The effect of Minituber Weight on their Field Performance under a Northern European environment. *Agronomy Research*, 17 (2), p. 396–407. (Scopus (citēts 1 reizi), Web of Science (citēts 1 reizi))
3. Dimante I., Gaile Z. (2018). Assessment of potato plant development from Minitubers. *Agronomy Research*, 16 (4), p. 1630–1641. (Scopus (citēts 3 reizes), Web of Science Biosis citation index (citēts 3 reizes))
4. Dimante I., Gaile Z. (2015). The effect of planting density on potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber number, weight and multiplication rate. In: *Research for Rural Development 2015: annual 21th International Scientific Conference*

- Proceedings, Jelgava, May 13–15, 2015. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Vol. 1, p. 27–33. (Scopus (citēts 1 reizi))
5. Dimante I., Gaile Z. 2014. Potato minitubers technology – its development and diversity: A review. In: *Research for Rural Development 2014: annual 20th International Scientific Conference Proceedings*, Jelgava, May 21 - 23, 2014. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Vol. 1, 69–76. (Scopus (citēts 4 reizes), Web of Science (citēts 5 reizes))

Citi recenzētie zinātniskie raksti

1. Dimante I., Gaile Z. 2018. Kartupeļu mikroaugu audzēšanas apstākļu vienkāršošana pēdējā pasāža var uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti. No: *Ražas svētki "Vecauce - 2018"*: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Lauksaimniecības fakultāte. SIA LLU MPS "Vecauce". Jelgava: LLU, 29.– 32. lpp.
2. Dimante I. 2013. Kartupeļu izlases sēklas (minibumbuļu) audzēšanas izvērtējums Valsts Priekuļu LSI. No: *Ražas svētki "Vecauce 2013"*. Lauksaimniecības augstākajai izglītībai Latvijā – 150: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Lauksaimniecības fakultāte. SIA LLU MPS "Vecauce". Jelgava: LLU, 37.– 40. lpp.

Konferenču tēzes

1. Dimante I., Gaile Z. (2022). Agronomic Versus Economic Efficiency of Using High Microplant Densities in a Small Minituber Production Entity. *11th World Potato Congress*. Dublin, Ireland, May 29– June 2, 2022. <https://wpc2022ireland.com/programme/programme-schedule/>
2. Dimante I., Gaile Z. (2018). Evaluation of benefits and losses of minitubers production as affected by increased potato *in vitro* plants density under greenhouse conditions. In: *10th World Potato Congress. Abstract book*. Cusco, Peru, May 27–31, 2018, p. 86.
3. Dimante I., Gaile Z., Skrabule I. (2017). The effect of potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber weight on seed yield and its size distribution. In: *Potato Research. Vol. 60(1): Abstracts of the third meeting of the section agronomy and physiology of the EAPR*. Riga, Latvia, September 25–29, 2016, p. 93–94. (Web of Science)
4. Dimante I.; Gaile, Z. (2015). The effect of potato (*Solanum tuberosum*) minituber size on plant development and seed yield. In: *Nordic View to Sustainable Rural Development, Proceedings of the 25th NJF congress*. Riga, Latvia, June 16–18, p. 175. (Web of Science)
5. Dimante I., Gaile Z. (2014). A case study on current potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers production in Latvia and its further prospects. In: *Proceedings of the 19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Abstract book (appendix)*. Brussels, Belgium, July 6–11, 2014, p. 191.

Referāti konferencēs

1. Dimante I., Gaile Z. (2018). Kartupeļu mikroaugu audzēšanas apstākļu vienkāršošana pēdējā pasāža var uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti. *Ražas svētki "Vecauce - 2018"*, 2018. g. 1. novembrī, Vecauce, Latvija.
2. Dimante I., Gaile Z. (2018). Evaluation of benefits and losses of minitubers production as affected by increased potato *in vitro* plants density under greenhouse conditions. *10th World Potato Congress*, May 27–31, 2018 Cusco, Peru.
3. Dimante I., Gaile Z., Skrabule I. (2016). The effect of potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber weight on seed yield and its size distribution. *3rd meeting of the Section of*

Agronomy and Physiology of the European Association for Potato Research (EAPR), September 25–29, 2016, Riga, Latvia.

4. Dimante I., Gaile Z. (2015). The effect of planting density on potato (*Solanum tuberosum* L.) minituber number, weight and multiplication rate. *International conference "Research for Rural Development - 2015"*, May 13–15, 2015, Jelgava, Latvia.
5. Dimante I. (2014). Plant tissue culture techniques and healthy seedlings propagation in Latvia. Current situation overview. *Workshop on Techniques of Tissue Culture and Healthy Seedlings Propagation*, October 28 – November 21, 2014, Taipei, Taichung, Taiwan (RoC).
6. Dimante I., Gaile Z. (2014). Potato minitubers technology – its development and diversity: a review. *International scientific conference "Research for Rural Development -2014"*, May 21–23, 2014 Jelgava, Latvia.

Stenda referāti

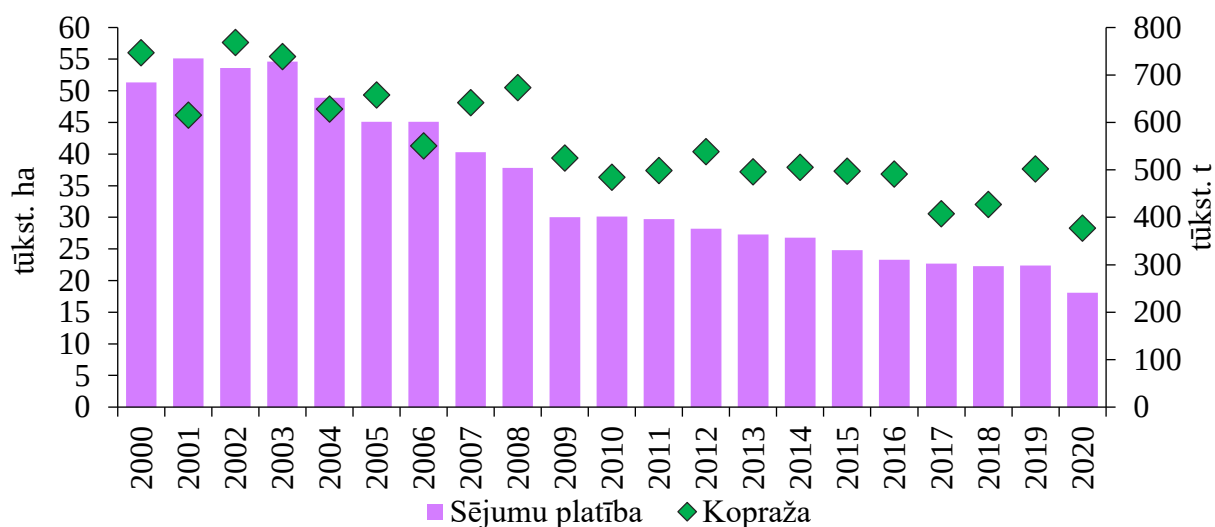
1. Dimante I., Gaile Z. (2022). Agronomic Versus Economic Efficiency of Using High Microplant Densities in a Small Minituber Production Entity. *11th World Potato Congress*, May 29– June 2, 2022, Dublin, Ireland.
2. Dimante I., Gaile Z. (2017). Potato *in vitro* plants density in greenhouse affects field value of minitubers. *20th triennial conference of the European Association for Potato Research (EAPR)*, July 9–14, 2017, Versailles, France.
3. Dimante, I., Gaile, Z. (2015). The effect of potato (*Solanum tuberosum*) minituber size on plant development and seed yield. *The 25th NJF congress*, June 16–18, 2015, Riga, Latvia.
4. Dimante I., Gaile Z. (2014). A case study on current potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers production in Latvia and its further prospects. *19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research (EAPR)*, July 6–11, 2014, Brussels, Belgium.
5. Dimante I. (2013). Kartupeļu izlases sēklas (minibumbuļu) audzēšanas izvērtējums Valsts Priekuļu LSI. *Ražas svētki "Vecauce 2013"*. 2013. g. 7. novembrī, Vecauce, Latvija.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Kartupeļi pasaulē un Latvijā

Mūsdienu pasaulē kartupeļi (*Solanum tuberosum* L.) ir trešais pārtikā visplašāk lietotais kultūraugs aiz kviešiem (*Triticum aestivum* L.) un rīsiem (*Oryza sativa* L.) (Birch et al., 2012). Savukārt pēc saražotā produkcijas apjoma kartupeļi ieņem ceturto vietu pasaulē aiz kukurūzas (*Zea mays* L.), kviešiem un rīsiem, bet tieši kartupeļiem starp šī sugām ir augstākā ražība un saražotās enerģijas daudzums platības vienībā (Birch et al., 2012)). Pasaulē 2019. gadā izaudzēti 370 milj.t kartupeļu¹, no tiem gandrīz 100 milj. t. – Ķīnā. Eiropā lielākās kartupeļu audzētājas ir Krievija, Ukraina, Vācija, Francija, Nīderlande, Polija un Baltkrievija². Katru gadu palielinās saražotās produkcijas apjoms pasaulē. Tomēr pēc sējumu platības kartupeļus, kuri 2019. gadā pasaulē tika audzēti 17 milj. ha, ievērojami apsteidz ne tikai sugas ar lielāko kopražu jeb kvieši (sējumu platība 216 milj. ha), kukurūza (197 milj. ha), rīsi (162 milj. ha), bet arī soja (*Glycine max* L.) (121 milj. ha), mieži (*Hordeum vulgare* L.) (51 milj. ha) sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (40 milj. ha) un citas sugas².

Latvijā kopš 21. gadsimta sākuma kartupeļu audzēšanai izmantotā platība ir samazinājusies vairāk nekā 2 reizes, bet kopražas samazinājums nav bijis tik izteikts (1.1. att.). Turklāt, laikā no 2010. gada līdz 2019. gadam, kad sējumu platība samazinājusies gandrīz par 8 tūkst. ha, ievāktā kartupeļu kopražā 2019. gadā pat pieauga. Tas ir saistīts ar vidējās ražas pieaugumu no 16.1 t ha⁻¹ 2010. gadā līdz 22.4 t ha⁻¹ 2019. gadā³. Kartupeļi kopējā Latvijas sējumu struktūrā 2019. gadā aizņēma 1.7%, salīdzinot ar 2.5% 2012. gadā⁴.



1.1. att. Kartupeļu sējumu platība Latvijā tūkst. ha un kopražā tūkst. t, 2000. – 2020. g.

Avots: Latvijas atvērto datu portāls⁴

¹ Production. Crops. No: FAO. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 26. okt.]. Pieejams: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

² Rankings, Countries by commodity. No: FAO. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 26. okt.]. http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity

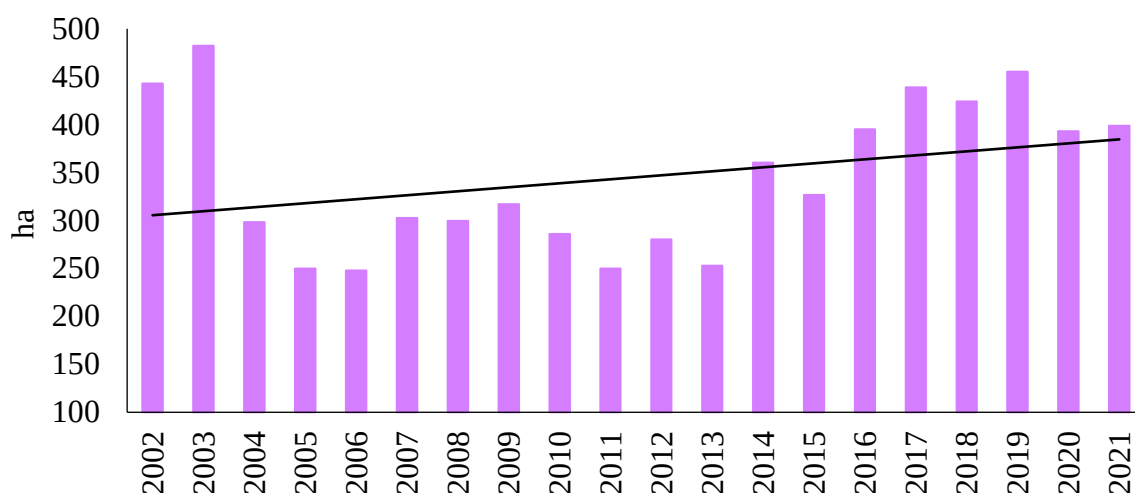
³ Lauksaimniecības kultūru sējumu platība, kopražā un vidējā ražība. No: Latvijas atvērto datu portāls. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 26. okt.]. Pieejams: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START_NOZ_LA_LAG/LAG020

⁴ Galveno lauksaimniecības kultūru sējumu platība (tūkst. ha). No: Latvijas atvērto datu portāls. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 26. okt.]. Pieejams: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START_NOZ_LA_LAG/LAG010

Kartupeļus galvenokārt izmanto tiešam patēriņam pārtikā un pārstrādei frī kartupeļos, čipsos un cietē. Kvalitatīvas ražas iegūšanai nozīmīga ir sēklas kartupeļu audzēšana.

No kopējās 2018. gada kartupeļu kopražas pasaulē 30 milj. t jeb 8% bija kartupeļu sēklas materiāls². Latvijā 2019. gadā kartupeļu sēklaudzēšanas lauki aizņēma lielāko platību kopš 2003. gada, tomēr tie bija vien 2.03% no kopējām kartupeļu platībām un saražotas 6103.2 t sēklas materiāla (1.5% no kartupeļu kopražas)^{4,5}. Ar 2019. gadā izaudzētā sertificētā (A un B kategorija, 31. pielik.) sēklas materiāla bumbuļiem var apstādīt 2034 ha (izsējas norma 3000 kg ha⁻¹). Tas parāda, ka Latvijā netiek nodrošināts kvalitatīvs vietējās izcelsmes sēklas materiāls pietiekošā apmērā.

Pēc iestāšanās ES Latvijā gandrīz divas reizes samazinājās kartupeļu sēklaudzēšanas platības (1.2. att.). Turpmākajos gados platība reti pārsniedza 300 ha, bet kopš 2014. gada atkal novērojams, lai arī pa gadiem svārstīgs, tomēr kartupeļu sēklaudzēšanas platību pieaugums.



1.2. att. **Kartupeļu sēklaudzēšanas platības Latvijā, ha, 2002. – 2021. gads**

melnā līnija, kura šķērso grafiku, ir tendences līnija (trendline)

Avots: Latvijas atvērto datu portāls⁵

Latvijas priekšrocība pārējo Baltijas reģiona valstu vidū ir tā, ka valstī darbojas divas kartupeļu pārstrādes rūpnīcas. SIA “Aloja-Starkelsen” pārstrādā kartupeļus cietē, bet SIA “Orkla Latvija” ražo kartupeļu čipsus un uzkodas, kas pazīstami kā zīmols “Ādažu čipsi”. Līdz ar to kartupeļu audzēšana mūsu valstī ir perspektīva nozare, bet nepieciešami papildus stimuli (gan izglītojoši, gan normatīvā regulējuma ietvaros, gan subsīdiju veidā), lai audzētāji regulāri atjaunotu sēklas materiālu. Sēklaudzēšanas platību pieaugumu varētu veicināt arī zinātnieku prognozētā kartupeļu sēklaudzēšanas reģionu novirzīšanās ziemeļu virzienā, kas būs saistīta gan ar klimata pārmaiņām, gan arī ar pieaugošu augu slimību izplatību vairāk uz dienvidiem esošajos reģionos (Haverkort, Verhagen, 2008). Tomēr Somijas zinātnieki prognozē, ka arī ziemeļos pieaugs augu slimību un ekstremālu laikapstākļu ietekme (Peltonen-Sainio et al., 2009), līdz ar to kartupeļu sēklaudzēšanas izmaksas nākotnē varētu pieaugt vēl vairāk, jo, piemēram, pieaugošās vīrusu pārnesējvektoru izplatības dēļ būs jāsamazina lauka paaudžu skaits (Haverkort, Verhagen, 2008). Šajā gadsimtā ar CIP atbalstu daudzās Dienvidamerikas un Āfrikas valstīs jau ir ieviesta tā sauktā 3G stratēģija jeb “sertificēts sēklas materiāls pēc trīs pavaļošanas paaudzēm”) (Demo et al., 2015).

⁵ *Sēklaudzēšanas lauku platības. Kopsavilkums pa sugām.* No: Latvijas atvērto datu portāls. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 28. okt.]. Pieejams: <https://data.gov.lv/dati/lv/dataset/kopsavilkums-par-seklaudzesanas-lauku-apskatem-pa-sugu-grupam/resource/cf3b0434-9df8-4038-9a6c-8d0e3fe3f094>

1.2. Kartupeļu botāniskais raksturojums

Kartupeļi ir pazemes bumbuļus veidojošs daudzgadīgs lakstaugš (*Solanum tuberosum* L.), bet lauksaimniecībā tas tiek izmantots kā viengadīgs laukaugs (Gaujers, 1962; Struik, 2007a).

Fotosintēzes procesam pakļautās un ogļhidrātus veidojošās kartupeļu augu virszemes daļas (stublājs un lapas) ir „avots”, bet pazemes daļas (bumbuļi) ir “uztvērēji” un uz tām tiek pārdaļīti fotosintēzes ceļā veidojušies oglekļa savienojumi (Herold, 1980; Dwelle, 1990).

Asni. To attīstība atkarīga no bumbuļu hronoloģiskā vecuma un uzglabāšanas apstākļiem. Asni parasti sāk dīgt pēc miera perioda beigām. Tumsā veidojas etiolēti asni, bet apgaismojumā veidojas gaismas asni, kuriem ir šķirnei raksturīgs krāsojums (Gaujers, 1962). Asnu attīstība būtiski ietekmē turpmāko bumbuļu augšanu un attīstību lauka apstākļos (Struik, 2007a). Kartupeļu diedzēšana pirms stādīšanas, iegūstot spēcīgus gaismas asnus, paātrina kartupeļu attīstību lauka apstākļos (Gaujers, 1962).

Stublāji. Kartupeļu bumbuļiem vairāki bumbuļu acu pumpuri veido dzīvotspējīgus dzinumus, kuri vēlāk attīstās par lakstiem, līdz ar to parasti veidojas vairāki primārie virszemes stublāji, kuri savā starp konkurē par gaismu un barības elementiem (Struik, 2007a). Lapu žāklēs novietoti pumpuri, no kuriem var attīstīties jauni sekundārie stublāji (Gaujers, 1962), tomēr mērenā klimatā tiem ir maza nozīme ražas veidošanā (O'Brien, Allen, Firman, 1998). Primārie un sekundārie stublāji kopā veido ceru. Atkarībā no cerošanas izšķir divu augšanas tipu šķirnes: determinantās (zems cers, veidojas maz sekundāro stublāju) un indeterminantās (cers, kuram garākā laika posmā turpina veidoties un attīstīties sekundārie stublāji, veidojas kupls un augsts cers) (Struik, 2007a).

Kartupeļu lapas ir plūksnoti saliktas (Gaujers, 1962). Lapu laukums nosaka akumulētās saules radiācijas apmēru (Struik et al., 1990) un sekojošu sausas uzkrāšanos bumbuļos un ražas pieaugumu, tomēr ilgstošas lapu augšanas rezultātā samazinās ogļhidrātu transports no lapām uz bumbuļiem, jo jaunās lapas atrodas arvien tālāk no bumbuļiem, bet vecākās lapas pamazām zaudē fotosintētisko aktivitāti (Wolf, 1993).

Ziedi ir kartupeļu ģeneratīvās vairošanās orgāns. Kartupeļi ir pašsapputes augs. Zieds sastāv no 5 kauslapām, 5 vainaglapām, 5 putekšņcām un zieda centrā atrodas auglīga (Gaujers, 1962). Kartupeļu ziedkopa sastāv no diviem vai vairākiem ziedu čemuriem, kuri novietoti uz kāta (Gaujers, 1962; Struik, 2007a).

Stoloni ir pazemes stublāju dzinumi, kuri aug no stublāju mezglu vietās esošiem pumpuriem un kuriem uzbiezinoties veidojas bumbuļi (Gaujers, 1962). No viena mezgla var attīstīties pat trīs stoloni (Struik, 2007a) un tie sāk veidoties jau drīz (3–5 dienas) pēc kartupeļu sadīgšanas (Ewing, Struik, 1992), vai pat pirms sadīgšanas (Struik, 2007a).

Bumbuļi ir vasas pārveidnes jeb uzbiezināti stolonu segmenti. Bumbuļi var sākt veidoties pirms ir pabeigta stolonu veidošanās. Tie neveidojas uz visiem stoloniem, bet, ja uz viena stolona aizmetas vairāk nekā viens bumbulis, tad starp tiem esošā konkurence būtiski ietekmē bumbuļu izmēru (Struik, 2007a). Ne visi bumbuļi, kuri aizmetas, izaug līdz lietošanai piemērotam lielumam. Daļa bumbuļu „uzsūcas” un kļūst par barības avotu citām auga daļām, daļa bumbuļu paliek mazi, bet pārējie bumbuļi turpina augt dažādā ātrumā (Ewing, Struik, 1992). Lai arī ir iespējami dažādi kartupeļu veģetatīvās pavairošanas veidi, tomēr izplatītākais un tradicionālais veids ir pavairošana ar bumbuļiem.

Saknes veidojas kā piesaknes no stublāju pazemes mezglu vietām (Gaujers, 1962), no stoloniem un pat no bumbuļiem. Kartupeļiem ir vāji veidota un salīdzinoši sekla sakņu sistēma (Haverkort, Verhagen, 2008), tāpēc augu ūdens un barības vielu uzņemšanas spējas ir samērā zemas (Struik, 2007a).

1.3. Kartupeļu augšana, attīstība un ražas veidošanās, to ietekmējošie faktori

Augu augšana ir to izmēra un masas palielināšanās (kvantitatīvās izmaiņas), bet attīstība saistīta ar jaunu orgānu veidošanos (kvalitatīvās izmaiņas). Augšana un attīstība augiem no sīkbumbuļiem un konvencionālā sēklas materiāla var atšķirties.

1.3.1. Kartupeļu augšana un attīstība atbilstoši dažādām skalām

Kartupeļu augšanu un attīstību nosacīti var iedalīt 4 pamatfāzēs (Kooman, Haverkort, 1995), kuras daļēji pārklājas:

- 1) 0. attīstības fāze – no iestādīšanas līdz sadīgšanai.
- 2) 1. attīstības fāze – no sadīgšanas līdz bumbuļu aizmetņu veidošanās periodam.
- 3) 2. attīstības fāze – no bumbuļu aizmetņu veidošanās sākuma līdz lapu augšanas beigām (augu novecošanās sākums).
- 4) 3. attīstības fāze – no augu novecošanās sākuma (lapu dzeltēšana) līdz ražas novākšanai.

Šādas attīstības pamatfāzes jeb pamatperiodus izdalījis arī latviešu selekcionārs Vilis Gaujers (Gaujers, 1969), bumbuļu aizmetņu veidošanās periodu aizvietojo ar ziedu pumpuru veidošanos.

Bumbuli uzskata par sadīgušu, ja virs augsnes virskārtas redzams stublājs (MacKerron, Waister, 1985). Stādījuma sadīgšanu fiksē tad, kad ir sadīguši 50% no iestādītajiem bumbuļiem (MacKerron, Waister, 1985; Kooman, Haverkort, 1995; Nemecek et al., 1996; Connell, Binning, Schmitt, 1999; Streck et al., 2007). Sadīgšanu uzskata par fāzi, no kuras vislabāk veikt tālāko attīstības fāžu uzskaiti (O'Brien, Allen, Firman, 1998), ja tā tiek veikta, izmantojot kalendāro laiku, tāpēc ka laiks starp iestādīšanu un sadīgšanu dažādu apstākļu ietekmē var ļoti būtiski atšķirties (Firman, O'Brien, Allen, 1992), un šo laiku pamatā ietekmē gaisa temperatūra (Haverkort, Franke, Steyn, 2015).

Sadīgšanai seko straujas stublāja un lapu veidošanās fāze un tā nosacīti noslēdzas pirms sāk veidoties bumbuļi (Kooman, Haverkort, 1995). Spēcīga, strauja bumbuļu augšana var sākties pēc kupla, lapota cera izveidošanās, tomēr ilgstoša lapu augšana var kavēt fotosintēzes produktu transportēšanu uz bumbuļiem, līdz ar to – nedot ražas pieaugumu (Wolf, 1993). Kontrolētos apstākļos veiktā pētījumā (Fleisher et al., 2011) secināts, ka augam ar vienu galveno stublāju var izveidoties tik pat liels lapu laukums, kā augam ar 2 un 3 stublājiem. Šādu rezultātu autori skaidro ar to, ka vairāk stublājiem ir lielāka konkurence par barības vielām, līdz ar to veidojas mazāk laterālo dzinumu, salīdzinot ar ceru, kuru veido viens galvenais stublājs.

Bumbuļu aizmetņu izveidošanās ir galvenā potenciālo ražu nosakošā attīstības fāze (Ewing, Struik, 1992). Pētot literatūru P. Obraiens un kolēģi (O'Brien, Allen, Firman, 1998) secinājuši, ka, neskatoties uz dažādiem audzēšanas apstākļiem, katram genotipam šī fāze seko pēc noteikta dienu skaita kopš sadīgšanas. Literatūrā ir definēts, ka bumbuļu aizmetņi ir izveidojušies tad, kad 80% galveno stublāju to stolonu uzbiezīnājumi 2 reizes pārsniedz stolona diametru (Reust, 1986). Bumbuļu aizmetņi veidojas apmēram 1–2 nedēļu periodā kopš ceram ir izveidojies pirmais bumbuļa aizmetnis (Struik, Wiersema, 1999) un pastāv uzskats, ka normālos apstākļos nenotiek atkārtota bumbuļu aizmešanās (Jefferies, Lawson, 1991). Tomēr ekstrēmos apstākļos (piemēram, stipra sausuma periodam seko liels nokrišņu daudzums) var notikt sekundārā bumbuļu aizmetņu veidošanās (O'Brien, Allen, Firman, 1998). P. Obraiens un kolēģi (O'Brien, Firman, Allen, 1998) uzskata, ka lielākā daļa bumbuļu izveidojas vēl īsākā periodā – tikai 4 līdz 7 dienu laikā. Pēc tam turpinās bumbuļu izmēra un masas pieaugšana, kas vairāk ir augšanas, ne attīstības fāze (Jefferies, Lawson, 1991).

Augu novecošanās fāze iestājas līdz ar augšējo lapu dzeltēšanu, kam turpinoties pilnībā atmirst kartupeļu laksti. Daudzās valstīs (Ranalli et al., 1990; Lommen, 1995; Svubure et al., 2015), tajā skaitā Latvijā, sēklas kartupeļu audzēšanas sezona ir īsa. Kartupeļu sēklaudzēšanas stādījumos augu novecošanās fāze praktiski netiek sasniegta, jo ir nepieciešams

savlaicīgi novākt lakstus galvenokārt tāpēc, ka bumbuļi sasniedz vēlamo sēklas izmēru. Savlaicīga lakstu novākšana var palīdzēt samazināt vīrus slimību infekciju risku laikā, kad vērojams laputu uzlidojuma maksimums (Lommen, 1995). Dažās valstīs pastāv laputu uzlidojumu informēšanas sistēma un lakstus kartupeļu sēklaudzēšanas laukos novāc pirms invāzijas maksimuma (Wale, Platt, Kattlin, 2011), piemēram, Lielbritānijā darbojas informēšanas sistēmas FERA, Aphid alert. Pakalpojuma abonētāji saņem brīdinājuma ziņas elektroniski.

Detalizētāk kartupeļu augšanu un attīstību var noteikt, izmantojot dažādas **skalas**, kuras izmanto kultūraugu monitoringam, īpaši nosakot augu aizsardzības līdzekļu lietošanas laiku. Kartupeļu gadījumā šim aspektam ir mazāka praktiskā nozīme nekā graudaugiem (tomēr, piemēram, metribuzīnu saturošos herbicīdus atļauts lietot tikai līdz galvenais stublājs sasniedz 10 cm). Skalas ir noderīgas pētniekiem, lai precīzi identificētu un aprakstītu dažādu ar augu augšanu un attīstību saistīto parādību iestāšanās konstatēšanas laiku.

Graudaugu attīstības fāžu un etapu noteikšanai izveidoto **Zadoka skalu** (Zadoks, Chang, Konzak, 1974) kartupeļu vajadzībām modificējuši R. A. Džeferijs and H. M. Lavsons (Jefferies, Lawson, 1991) un tā sastāv no septiņām fāzēm, salīdzinot ar vēlāk izveidoto BBCH decimālo kodu skalu, kurā ietilpst 10 attīstības fāzes (1.1. tab.).

1.1. tabula

**Kartupeļu attīstības fāžu skalas pēc R. A. Džeferija un H. M. Lavsona
(Jefferies, Lawson, 1991) un BBCH (Meier, 2001)
decimālo kodu skalas salīdzinājums**

Fāzes numurs	Pēc R. A. Džeferija un H. M. Lavsona	BBCH decimālo kodu skala	
	Fāzes nosaukumus	Fāzes nosaukumus	Komentāri
0	sēklu dīgšana (ja tiek izmantotas kartupeļu botāniskās sēklas)	bumbuļu asnošana	ieskaitot dīgšanu lauka apstākļos
1	bumbuļu miera periods	lapu attīstība	—
2	bumbuļu asnošana;	sāndzimumu veidošanās no galvenā stublāja zem un virs augsnes virskārtas	—
3	dīgšana lauka apstākļos un stublāju attīstība	augu sakļaušanās vagās	šķirnes īpatnību vai citu faktoru ietekmē sakļaušanās vagās var nenotikt
4	ziedēšana	bumbuļu veidošanās	fāzē ietilpstošie attīstības etapi norisinās vienlaicīgi ar 5.–9. fāzi
5	bumbuļu aizmetņu veidošanās (fāzē iekļauta arī stolonu veidošanās)	ziedkopu veidošanās	—
6	auga novecošanās	ziedēšana	—
7	—	augļu (ogu) attīstība	—
8	—	augļu nogatavošanās	—
9	—	auga novecošanās	—

R. A. Džeferijs un H. M. Lavsons (Jefferies, Lawson, 1991) ir kritiski, runājot par atsevišķu fāžu nozīmi. Piemēram, autori uzskata, ka saistība starp ziedēšanu un bumbuļu attīstību nav pierādīta, turklāt, dažas šķirnes zied ļoti reti vai nezied nemaz. Kopumā informācija par kartupeļu ziedēšanu kā pazīmi, kas saistīta ar bumbuļu veidošanās sākumu, ir pretrunīga. Lai arī ziedaizmetņu veidošanās vienmēr notiek pirms bumbuļu aizmetņu veidošanās (Firman, O'Brien, Allen, 1991), tomēr literatūrā ir atrodamā informācija, ka kartupeļu ziedēšanu nevaru uzskatīt par daļu no ražas veidošanās procesa un tā pat ir nevēlama. Lai gan ziedēšana un bumbuļu veidošanās aizsākas līdzīgu vides signālu ietekmē, tomēr šie signāli nav savstarpēji saistīti (Fischer et al., 2014). Pretēji tam citi autori apgalvo, ka ziedēšanas un bumbuļu veidošanās aizsākumu ietekmē vieni un tie paši regulējošie mehānismi (Rodríguez-Falcón, Bou, Prat, 2006). Tāpēc ziedēšana būtu uzskatāma par attīstības fāzi, kuras nozīme ražas veidošanā nav nozīmīga. Savukārt A. Fulladolsa un kolēģi savā pētījumā ziedēšanu vērtējuši kā augu brieduma sākumu, kad augiem iestājas relatīvi lielāka izturība pret vīrusiem (Fulladolsa et al., 2018).

R. A. Džeferijs un A. M. Lavsons uzskata, ka augu sakļaušanās vagās raksturo kartupeļus kā stādījumu tīrumā, nevis kā katra atsevišķa auga attīstības fāzi, bet tieši katra atsevišķa auga attīstības fāžu vērtējums ir pamatā viņu izstrādātajai skalai. Tāpēc autori izveidotajā skalā augu sakļaušanos vagās nav iekļāvuši kā attīstības fāzi. Lakstu sakļaušanos var ietekmēt faktori, kuri nav tieši saistīti ar auga attīstības īpatnībām, piemēram, attālums starp vagām (Jefferies, Lawson, 1991) un pat priekšaugi. Vācijā veiktā pētījumā stādot kartupeļus pēc auzām (*Avena sativa* L., nekad nenovēroja lakstu sakļaušanos, pretēji gadījumiem, kad priekšaugi bija āboliņu–zālaugu maisījums vai ziemas kvieši, pēc kuriem kartupeļu laksti vagās sakļāvās visos gadījumos (Finckh, Schulte-Gelderman, Bruns, 2006).

Savukārt **BBCH decimālo kodu skalā** (Meier, 2001) lakstu sakļaušanās vagās ir izdalīta kā atsevišķa fāze (1.1. tab.) ar piezīmi, ka atsevišķos gadījumos fāze var neiestāties. BBCH skalā katra no fāzēm sīkāk iedalīta desmit etapos, izmantojot divu ciparu kodu. Vairākas fāzes vai etapi var noritēt vienlaicīgi, kas ir saistīts ar to, ka kartupeļiem attīstās virszemes un apakšzemes daļas. Bumbuļu (jeb ražas) veidošanās ir viena no nozīmīgākajām fāzēm kartupeļu augšanā un attīstībā, tomēr to ir iespējams novērot tikai veicot kontrolrakumus, kas būtiski apgrūtina praktisko skalas pielietojumu. Savukārt daļai no fāzēm, kas raksturo augu virszemes daļu attīstību, nav lielas praktiskas nozīmes, piemēram, 7. un 8. fāzei. Novērošanās (9. fāze) Latvijas agroklimatiskajos apstākļos var novērot tikai agrīnajām un vidēji agrīnajām šķirnēm (bet ne vienmēr pilnīga novērošanās), bet vidēji vēlīnajām un vēlīnajām šķirnēm var tik novēroti tikai pirmie fāzes etapi. Savukārt sēklaudzēšanā 9. fāzi nenovēro vai novēro reti.

Tā kā pēdējā desmitgadē arvien aktuālāki kļūst pētījumi par diploīdo inbredu līniju veidošanu kartupeļiem, tad paralēli tiek veikti pētījumi par sēklas materiāla audzēšanas tehnoloģijām šādi iegūtām F1 līnijām, izmantojot botāniskās sēklas (Van Dijk et al., 2021a; Van Dijk et al., 2021b). Šī jaunā pieeja aktualizējusi nepieciešamību pārvērtēt BBCH decimālo kodu skalu un papildināt attīstības etapu aprakstus, tā, lai tie atbilstu augu attīstībai no stādiem, kuri iegūti no kartupeļu botāniskajām sēklām (Kacheyo et al., 2021). Autori iesaka 0 fāzi (asnošana) papildināt ar sēklu dīgšanu (kas ir iekļauta R. A. Džeferija un H. M. Lavsona izveidotajā skalā (1.1. tab. – promocijas darba autores komentārs), bet lielākās izmaiņas skar atsevišķu etapu aprakstu, kas saistās ar augu veģetatīvo attīstību. Autori uzsver, ka šāda papildināta BBCH skala būtu pietiekoši detalizēta izmantošanai pētnieciskajā un selekcijas darbā, bet arvien pietiekoši vispārīga praktiskajai izmantošanai lauksaimniecībā.

1.3.2. Augu attīstību, augšanu un ražu ietekmējošie faktori

Kartupeļu attīstību galvenokārt ietekmē temperatūra, dienas garums un šķirnes īpatnības. Augstāka gaisa temperatūra var saīsināt laiku starp dažādām attīstības fāzēm, bet īsākas dienas apstākļos ātrāk izveidojas bumbuļu aizmetņi. Augšanu galvenokārt ietekmē tie faktori, kuri

nosaka arī ražu – fotosintētiski aktīvā radiācija (FAR), CO₂ daudzums atmosfērā, optimāls mitruma un pieejamo barības vielu daudzums (Haverkort, 2007).

E. Evings un P. Struiks (Ewing, Struik, 1992) augšanu un attīstību ietekmējošos faktorus iedala trīs grupās, kuras sīkāk sadala apakšgrupās:

- 1) vides (agroekoloģiskie) faktori (dienas garums, temperatūra, saules enerģija, nodrošinājums ar slāpekli, citi faktori);
- 2) ģenētiskie faktori;
- 3) sēklas bumbuļa faktors (izmērs un vecums).

Vides (agroekoloģiskie) faktori

Fotoperiods – neietekmē dīgšanu, bet garākas dienas veicina augu stublāju attīstību, kuplāka cera veidošanos un aizkavē augu novecošanās sākumu (Kooman, Haverkort, 1995). Garāks fotoperiods aizkavē bumbuļu aizmetņu izveidošanos un līdz ar to arī tālāko attīstību. Piemēram, 18 stundu fotoperiods būtiski aizkavēja bumbuļu izveidošanos salīdzinot ar 12 stundu periodu (Van Dam, Kooman, Struik, 1996). Citā pētījumā bija nepieciešams gandrīz divas reizes vairāk laika, lai izveidotos bumbuļu aizmetņi 14 stundu garā dienā, salīdzinot ar 11 stundām (Kim, Lee, 2016). Būtiskāka negatīva ietekme garam fotoperiodam ir tad, kad papildus ir arī augsta gaisa temperatūra (Ewing, Struik, 1992). Optimāls fotoperiods bumbuļu veidošanās periodā ir 12 stundas (Van Dam, Kooman, Struik, 1996). Tomēr garāka fotoperioda apstākļos ilgāka fotosintēzes procesa dēļ var iegūt lielāku ražu (Gaujers, 1969) un garāks fotoperiods kompensē zemāku vidējo gaisa temperatūru (Johansen et al., 2002).

Gaisa temperatūra būtiski ietekmē kartupeļu dīgšanu (Gaujers, 1969; Firman et., 1992; Kooman, Haverkort, 1995; Haverkort, Verhagen, 2008) un lapu sākotnēju attīstību (Van Delden, Pecio, Haverkort, 2000; Haverkort, 2007; Haverkort, Verhagen, 2008). Lineārā sakarība starp gaisa temperatūru un lapu attīstību pastāv līdz augsnes projektīvais segums sasniedz aptuveni 33% (Haverkort, 2007). Gaisa temperatūra un fotoperiods ir arī būtiskākie bumbuļu aizmetņu veidošanos ietekmējošie vides faktori (Ewing, Struik, 1992). Optimāla gaisa temperatūra, lai veidotos bumbuļu aizmetņi, ir 15–19 °C. Gaisa temperatūrai paaugstinoties virs 23–24 °C, būtiski aizkavējas bumbuļu veidošanās sākums un līdz ar to arī masas pieaugums (Van Dam, Kooman, Struik, 1996; Kim, Lee, 2016). Turklāt masas pieaugums notiek lēnāk nekā optimālos apstākļos (Kim et al., 2017). P. L. Kūmans un A. J. Haverkorts (Kooman, Haverkort, 1995), apskatot dažādus literatūras avotus, min 15–22 °C kā optimālo temperatūru bumbuļu veidošanās laikā, bet minimālās un maksimālās temperatūras robežas, kurās kartupeļi var augt un attīstīties, ir attiecīgi 2 °C un 30 °C (Van Keulen, Stol, 1995). Paaugstinātu gaisa temperatūru ietekmē var ne tikai samazināties kopražs, bet arī preču produkcijas iznākums, jo bumbuļi ir mazāki nekā optimālos apstākļos augušie (Kim et al., 2017). Īpaši negatīva ietekme uz ražu ir augstai gaisa temperatūrai naktīs (Kim, Lee, 2019). Vienā no pilnīgākajiem kartupeļu ražas prognozēšanas modeļiem LINTUL-POTATO-DSS netiek iekļauta augsnes temperatūra kā augšanu ietekmējošs faktors, jo autori uzskata, ka tai ir nozīme tikai kontinentālā klimata apstākļos, kur bieži augsne vēl ir sasalusi dziļākos slāņos, kamēr gaisa temperatūras jau ir augstas (Haverkort, Franke, Steyn, 2015).

Augšanas grādu dienas GDD (termālais laiks). Augu augšanu un attīstību mēdz raksturot, izmantojot kalendāro laiku, kad pazīmju vai attīstības fāžu iestāšanos nosaka dienās pēc iestādīšanas (Celis-Gamboa, 2002; Oliveira et al, 2014), vai dienas pēc sadīgšanas (Connell, Binning, Schmitt, 1999; Kawakami et al., 2003 Yuan, Bland, 2004). Tomēr pastāv uzskats, ka bioloģiskos procesus laikā precīzāk var aprakstīt, izmantojot tādu rādītāju kā termālais laiks (McMaster, Wilhelm, 1997; Streck et al., 2007), kurš literatūrā bieži tiek minēts kā augšanas grādu dienas (GDD). Katrā dienā akumulētās GDD var aprēķināt saskaņā ar G. Makmasteru un V. Vilhelmu (McMaster, Wilhelm, 1997) (2.2.2. apakšnodaļa, (7) formula). Bet summējot katras dienas GDD, iegūst GDD vērtību noteiktam periodam.

Zinātniskajā literatūrā atrodama informācija par atšķirīgām GDD aprēķinā iekļaujamās bāzes temperatūras vērtībām kartupeļiem. Kā bāzes temperatūra, neprecizējot, vai bumbuļi ir

diedzēti, tiek minēti 0 °C (Jefferies, MacKerron, 1987; Tadesse, Lommen, Struik, 2001b), 2 °C (MacKerron, 1985; MacKerron, Waister, 1985; Yuan, Bland, 2005; Haverkort, Franke, Steyn, 2015; Oliveira, 2015) un pat 4 °C (Fleisher et al., 2006). Atrodama informācija arī par to, ka bāzes temperatūra tieši nediedzētiem bumbuļiem ir 5 °C (MacKerron, Waister, 1985).

Kā aprakstījuši R. A. Džeferijs un K. L. Makkerons (Jefferies, MacKerron, 1987), pastāv lineāra sakarība starp termālo laiku (GDD) un kartupeļu bumbuļu fizioloģisko vecumu, asnu attīstību, dīgšanu un stublāju attīstību, kā arī lapu veidošanos (Fleisher et al., 2006). Ir iespējams prognozēt bumbuļu aizmetņu veidošanās laiku pēc uzkrātajām GDD (Jefferies, MacKerron, 1987; Manrique, Hodges, 1989), bet citi pētnieki (Streck et al., 2007) uzskata, ka bumbuļu aizmetņu veidošanos vairāk ietekmē fotoperiods, nevis temperatūra. Turklāt, N. A. Streks un kolēģi (Streck et al., 2007) uzskata, ka tam, ka termālā laika pieeja balstās uz pieņēmumu par lineāru sakarību starp temperatūru un augu attīstību, nav bioloģiska pamatojuma. Arī D. Fleišers un kolēģi (Fleisher et al., 2006) uzskata, ka galīgo lapu skaitu, kurš izveidosies, vairāk kā temperatūra nosaka fotoperiods un FAR. Tomēr vienā no populārākajiem kartupeļu ražas prognozēšanas modeļiem LINTUL-POTATO-DSS (Haverkort, Franke, Steyn, 2015) ir noteikts, ka temperatūra ir galvenais augšanu un attīstību virzošais faktors agrīnajās attīstības fāzēs (no dīgšanas līdz lakstu sakļaušanās laikam vagās) un temperatūra ietekmē arī saules radiācijas izmantošanas efektivitāti augos.

Katrā attīstības fāzē akumulētās GDD genotipiem var atšķirties (Manrique, Hodges, 1989; Streck et al., 2007). A. Haverkorts (Haverkort, 2007) uzskata, ka dažu attīstības fāžu iestāšanās laiks (asnošana, lapu attīstība) līdzīgos apstākļos ir fiksēts lielums un, mainoties apstākļiem, šī lieluma izmaiņas ir prognozējamas. Piemēram, pēc GDD ar divu dienu precizitāti iespējams paredzēt nediedzētu bumbuļu sadīgšanu, bet pievienojot informāciju par sadīgušo augu lapu laukumu, ar 2–3 dienu nobīdi var paredzēt stublāju sakļaušanās vagās laiku (MacKerron, 1985). Savukārt bumbuļu aizmetņu izveidošanos iespējams prognozēt ar 3 dienu precizitāti (Manrique, Hodges, 1989). Bet, piemēram, T. Konnels un kolēģi (Connell, Binning, Schmitt, 1999) uzskata, ka GDD jāuzskaita tikai pēc augu sadīgšanas, jo pirms tam augi neakumulē GDD.

Mitruma nodrošinājums. Kartupeļi, pateicoties to seklajai sakņu sistēmai, ir ļoti jutīgi pret ūdens trūkumu augsnē, kas būtiski ietekmē gan augu attīstību, gan augšanu (Haverkort, Verhagen, 2008). Nepietiekošs mitruma nodrošinājums negatīvi ietekmē stublāju un lapu attīstību, līdz ar to samazinās arī auga fotosintētiskā aktivitāte (Haverkort, 2007; Fleisher, Timlin, Reddy, 2008; Aliche et al., 2018). Latvijā ir izplatīts uzskats, ka lielākais mitruma daudzums nepieciešams laikā, kad notiek bumbuļu masas pieaugums, bet sauss laiks sekmē sadīgšanu, un 10–20 dienas pēc sadīgšanas tas veicina lielāka bumbuļu skaita aizmešanos (Gaujers, 1969). Tomēr pētījumos ir konstatēta cieša lineāra sakarība starp nokrišņu daudzumu audzēšanas sezonas pirmajās 40 dienās (īpaši periodā līdz 2–3 nedēļām pēc sadīgšanas) un ražas bumbuļu skaitu, jo sausuma rezultātā izveidojas mazāk stolonu, līdz ar to arī attīstās mazāk bumbuļu aizmetņu (Haverkort, Van De Wart, Bodlaender, 1990). A. Haverkorts un kolēģi atsaucas uz H. Krugu un H. Vesi (Krug and Wiese, 1972), kuri savukārt izpētīja, ka 15 dienas ilgs sausuma periods pēc sadīgšanas būtiski samazināja bumbuļu skaitu. Sadīgšana sausā augsnē var būtiski kavēties (Firman, O'Brien, Allen, 1992), arī bumbuļu veidošanās sākas vēlāk nekā pietiekoša mitruma nodrošinājum apstākļos (Walworth, Carling, 2002). Veicot dažādās zemeslodes vietās iegūto klimatisko un ražas datu meta analīzi par laika periodu no 1980.–2015. gadam, pētnieku grupa no ASV secināja, ka visiem bumbuļaugiem, ieskaitot kartupeļus, lielāki ražas zudumi novēroti tad, ja sausuma periods iestājās bumbuļu veidošanās, nevis veģetatīvajā fāzē (Daryanto, Wang, Jacinthe, 2016). Tā kā sausuma dēļ bumbuļu piebriešana ir traucēta, tad ir lielāka iespēja, ka preču produkcijas ražai atbilstošs izmērs tiks sasniegts tad, ja būs mazāks izveidojušos bumbuļu skaits. Līdz ar to reģionos, kuri pakļauti sausumam, iesaka audzēt šķirnes, kuras veido mazāk bumbuļus cerā (Mackerron et al., 1988). Tomēr arī pārlieks augsnes piesātinājums ar ūdeni var veicināt augsnes sablīvēšanos samazinot bumbuļu aizmetņu skaitu (Ewing, Struik, 1992) un ražu (Orsák et al., 2020), bet

vēlākās attīstības fāzēs slikti drenētās augsnes pārlika mitruma dēļ samazinās augsnē pieejamā skābekļa daudzums. Tā rezultātā, lai bumbuļiem tiktu nodrošināta elpošana, to lenticēles atveras plašāk, kas palielina risku inficēties ar sēņu un baktēriju izraisītām bumbuļu slimībām.

Saules enerģija. Apstākļos, kad ūdens un barības vielu pieejamība nav ierobežota, saules enerģijas daudzums, kuru akumulē augi, ir galvenais sausnas pieaugumu ietekmējošais faktors (Allen, Scott, 1980; MacKerron, Waister, 1985). Suboptimālos apstākļos, kā arī augu slimību (vīrus slimības, lakstu puve, kartupeļu lapu sausplankumainība u.c. slimības, kuras ietekmē kartupeļu ceru attīstību) un kaitēkļu (piemēram, kartupeļu lapgrauzis) ietekmē, samazinās auga spēja uztvert un izmantot saules enerģiju, tādējādi samazinās fotosintēzes efektivitāte, kas samazina iegūstamo ražu (Haverkort, 2007). Viens no galvenajiem ražu limitējošajiem faktoriem ir pazeminātas FAR vērtības audzēšanas vietā, kuras rada ģeogrāfiskais novietojums un klimatiskie apstākļi (Haverkort, Struik, 2015). Arī sezonālais FAR sadalījums ietekmē augu attīstību. Piemēram, Lielbritānijā no aprīļa līdz jūnijam summārā saules radiācija ir vairāk nekā puse no visa apjoma, kas zemi sasniedz no aprīļa līdz oktobrim (Allen, Scott, 1980), tāpēc ļoti liela nozīme ir kartupeļu stādīšanas laikam. Ātrai lapu attīstībai var būt lielāka ietekme uz ražu nekā garai audzēšanas sezonai. Arī Latvijā lielākais saules radiācijas daudzums zemi sasniedz kartupeļu audzēšanas sezonas pirmajā pusē (no maija līdz jūlijam)⁶. Bet reģionos, kuros kartupeļus stāda salīdzinoši vēlu un debesis samērā bieži klāj mākoņi (kā tas ir raksturīgi arī Latvijai), augi saņem mazāk saules radiācijas nekā būtu vēlams (Haverkort, Struik, 2015). Tas savukārt var palielināt starpību starp potenciālo un faktisko ražu šķirnēm, kuras nav veidotas konkrētajā reģionā.

Kad augu lapu laukuma indekss (LAI ir visu augu lapu virsma m² pret augsnes virsmas m²) sasniedz 0.75 vai augi ir uzkrājuši vismaz 450 GDD kopš sadīgšanas, FAR un sekojoša sausnas uzkrāšanās kļūst par galveno faktoru, kurš ietekmē tālāku lapu augšanu un attīstību (Kooman, Haverkort, 1995). Saules radiācijas daudzums ir īpaši nozīmīgs bumbuļu aizmetņu veidošanās periodā (O'Brien, Firman, Allen, 1998). Garās dienas apstākļos, augstas gaisa temperatūras un zemas apgaismojuma intensitātes ietekmē bumbuļu aizmetņi veidojas novēloti, rezultātā daudzas apmākušās dienas var ietekmēt bumbuļu izmēru un tādējādi arī kopējo ražu (Ewing, Struik, 1992; Kim, Lee, 2016).

Nodrošinājums ar slāpekli. Palielināts N daudzums var negatīvi ietekmēt bumbuļu veidošanos (Ewing, Struik, 1992; Brown, 2007) un aizkavēt to par 7–10 dienām (Allen, Scott, 1980). E. Allena un P. Skota pētījumā sausnas uzkrāšanās bumbuļos aizkavējās, kad N mēslojuma norma bija 118 kg ha⁻¹, salīdzinot ar 94 kg ha⁻¹. Līdz ar to ir nepieciešama pietiekoši gara audzēšanas sezona, kurā var izpausties šķirnes potenciāls. Latvijā veiktā pētījumā konstatēts, ka, pielietojot slāpekļa mēslojuma normu virs 120 kg ha⁻¹, kartupeļu raža vairs nepieaug un pat samazinās, kā arī būtiski samazinās N izmantošanas efektivitāte augos (Ruža, Skrabule, Vaivode, 2013). Arī Somijā ieteicamā N norma nepārsniedz 120 kg ha⁻¹, lielākas normas nav pamatotas, jo īsās audzēšanas sezonas dēļ augi nespēj pilnībā izmantot pieejamo N un pārvērst to nozīmīgā ražas pieaugumā. Arī mazākas normas (pat N 60 kg ha⁻¹) Somijā uzskata par ekonomiski pamatotām (Mustonen, Wallius, Hurme, 2010). Slāpekļi ir galvenais cera lapotnes attīstību ietekmējošais faktors. Lielāku N normu ietekmē kartupeļu veģetācijas sezona pagarinās, jo pagarinās cera attīstības otrā fāze jeb fāze, kad augsnes projektīvais segums saglabā savu maksimumu (Vos, 2009). Pētot N mēslojuma normas ietekmi uz augu attīstību un ražu no sīkbumbuļiem, P. Struiks un V. Lommena (Struik, Lommen, 1999) par paaugstinātu uzskata normu virs 120 kg ha⁻¹, jo, lai gan pie augstākām N normām būtiski pieauga stublāju skaits un asimilētā saules radiācija, tomēr ražas bumbuļu veidošanās aizkavējās, salīdzinot ar 60 kg ha⁻¹, tāpēc augstāku N normu fonā (120 kg ha⁻¹ un 180 kg ha⁻¹) iegūtā raža nebija statistiski būtiski lielāka (pieauga tikai par 7%). Audzējot sīkbumbuļus

⁶ *Datu meklēšana, summārā radiācija, stundas vidēja.* No: Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centrs. [Tiešsaiste] [skatīts 2012. g. 10. martā]. Pieejams: <https://www.meteo.lv/meteorologija-datu-meklesana/?nid=461>

aerponikā, secināts, ka N devas samazināšana šķīdumā paātrina bumbuļu veidošanās sākumu un pozitīvi ietekmē to skaitu (Oraby, Lachance, Desjardins, 2015).

Citi vides (agroekoloģiskie) faktori. Palielināts CO₂ daudzums atmosfērā pozitīvi ietekmē kartupeļu augu attīstību un bumbuļu veidošanos (Ewing, Struik, 1992; Haverkort, Verhagen, 2008), tā ietekmē pieaug kartupeļu augu fotosintēzes procesa intensitāti un lapu atvārsnītes atveras mazāk, līdz ar to samazinās iztvaikošana caur lapām (Haverkort, 2007). Kā aprakstījuši A. Haverkorts un P. Struiks (Haverkort, Struik, 2015), divas reizes palielinot CO₂ koncentrāciju apkārtējā vidē (no 630 uz 1260 mg m⁻³), kartupeļu raža var pieaugt par 38–51%. Tiek prognozēts, ka 2050. gadā CO₂ vidējais daudzums atmosfērā būs 990 mg m⁻³, salīdzinot ar tagadējo vidējo koncentrāciju 684 mg m⁻³, un kartupeļu raža tā rezultātā pieaugs par 28%.

Arī augsnes struktūra var būtiski ietekmēt augu attīstību. Sablīvētā augsnē var aizkavēties kartupeļu sadīgšana (Firman, O'Brien, Allen, 1992), cers attīstās samērā vāji, veidojas mazāk bumbuļu (Firman, Daniels, 2011).

Genētiskie faktori. Ģenētiskie faktori galvenokārt nosaka atšķirības pielāgošanās spējā dažādam dienas garumam (Ewing, Struik, 1992; Brown, 2007). Dažādām šķirnēm var atšķirties kritiskais fotoperiods, tas ir – maksimālais dienas garums stundās, pie kura var sākt veidoties bumbuļu aizmetņi. Tas lielā mērā nosaka šķirnes agrinumu, jo agrīnajām šķirnēm kritiskais fotoperiods ir garāks (Ewing, Struik, 1992). Mūsu reģionā audzētās kartupeļu šķirnes ilgstošas selekcijas rezultātā ir piemērotas 15 un vairāk stundu garam fotoperiodam, lai varētu sekmīgi veidoties bumbuļu aizmetņi (Ewing, Wareing, 1978). Šķirnes, kuru kritiskais fotoperiods ir 12 stundas, mūsu apstākļos nespētu nogatavoties, savukārt ja genotipa kritiskais fotoperiods ir 20 stundas, tad ceru novecošanās sāktos jau gandrīz vienlaicīgi ar bumbuļu aizmetņu izveidošanos (Ewing, 1978).

Sēklas bumbula ietekme. Augu augšanu un attīstību ietekmē gan sēklas bumbuļu lielums, gan arī to vecums. Kartupeļu bumbuļiem izšķir hronoloģisko vecumu un fizioloģisko vecumu.

Hronoloģiskais vecums ir laiks dienās kopš bumbuļu aizmetņu veidošanās sākuma (Reust, 1986). Hronoloģiski vecāki sēklas bumbuļi ātrāk sadīgst (Caldiz, 2009; Oliveira, Moot, Brown, 2014) un tiem ir vairāk stublāju (Wurr et al., 2001; Oliveira, Moot, Brown, 2014).

Fizioloģiskais vecums ir sēklas bumbuļu fizioloģiskais stāvoklis un no tā atkarīga augu attīstība. Fizioloģisko vecumu ietekmē hronoloģiskais vecums un vides apstākļi augšanas un uzglabāšanas periodā (Reust, 1986). Piemēram, ja bumbuļu uzglabāšanas laikā ir paaugstināta temperatūra, tad tie fizioloģiski noveco ātrāk (Ewing, Struik, 1992). N. Noulss and L. Noulssa, pētot sadīgšanas laiku bumbuļiem ar dažādu glabāšanas ilgumu dažādās temperatūrās, konstatēja, ka ātrāk sadīgst tie bumbuļi, kuru uzglabāšanas laikā ir uzkrātas vairāk GDD, tātad, tie ir fizioloģiski vecāki. Tāpat ātrāk sadīgst bumbuļi, kuri izaudzēti ģeogrāfiski vairāk dienvidos un tāpēc arī ir fizioloģiski vecāki (N. Knowles, L. Knowles, 2006). Fizioloģiski jaunāki bumbuļi veido mazāk stublāju (O'Brien, Allen, 1992; N. Knowles, L. Knowles, 2006), tomēr uzglabāšanas laikā uzkrāto GDD ietekmes uz stublāju skaitu būtiskums atkarīgs no genotipa (Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013). P. Struiks un kolēģi izpētījuši, ka tas, cik ātri notiek bumbuļu fizioloģiskā novecošanās, ir atkarīgs arī no genotipa. Autori uzsver, ka ir šķirnes, kuras noveco izteikti ātri un parasti tie ir agrīnie vai vidēji agrīnie genotipi. Ja šādu šķirņu uzglabāšanas laikā kādu apstākļu dēļ izjaukts temperatūras režīms (tā paaugstinās), tad tas var būtiski ietekmēt augu sadīgšanu un pat ražu (Struik et al., 2006). Dažiem genotipiem paaugstināta temperatūra nobriešanas periodā var samazināt ražu pat par 53% (Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013). Tomēr arvien nav atrasti izmērāmi rādītāji, lai objektīvi aprēķinātu vai izmērītu fizioloģisko vecumu dažādu genotipu kartupeļiem, kuri audzēti dažādos apstākļos (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Struik, 2006).

Publicētajos pētījumos atrodama atšķirīga informācija par sēklas bumbuļa ietekmi uz sadīgšanu. Pētot laiku dienās pēc iestādīšanas, kurš nepieciešams, lai sadīgtu 50% augu, un stādīšanas dziļumu, netika atrasta būtiska sēklas bumbuļa masas ietekme, salīdzinot dažādas frakcijas (no 1–5 g līdz pat 40–45 g), tomēr atšķirības pieauga, palielinoties stādīšanas

dziļumam (Allen, O'Brien, Firman, 1992). Savukārt D. Vurrs un kolēģi uzskata, ka lielāki bumbuļi ātrāk sadīgst (Wurr et al., 2001) un tiem veidojas vairāk stublāju (Wurr et al., 2001; Bussan et al., 2007), kas pozitīvi ietekmē ražas bumbuļu skaitu cerā.

1.3.3. Kartupeļu raža un tās struktūrelementi

Kā kartupeļu ražas struktūrelementus P. Struiks min ceru skaitu m^{-2} , stublāju skaitu cerā, stolonu skaitu no viena stublāja, un viena ražas bumbuļa vidējo masu (Struik, 2007b).

Zinātniskajā literatūrā atrodama arī vienkāršota kartupeļu ražas struktūrelementu formula (Struik, Lommen, 1999):

$$FTY = NPl \times Ntub \times ITFW, \quad (1)$$

kur FTY – bumbuļu raža, ($g\ m^{-2}$);

NPl – ceru skaits m^{-2} ;

NTub – bumbuļu skaits cerā;

ITFW – viena bumbuļa vidējā masa, g.

Ceru skaits laukumā vienībā atkarīgs no attāluma starp vagām un no attāluma starp bumbuļiem vagās. Stādīšanas attāluma izvēli nosaka sēklas bumbuļu izmērs, šķirnes agrinums un ražas izmantošanas veids.

Sēklaudzēšanas laukos kartupeļus parasti stāda sabiezināti, jo tad pieaug vēlmais mazāko sēklas izmēra bumbuļu īpatsvars kopražā (Nelson, 1967; Haverkort, Hillier, 2011).

Bumbuļu skaitu cerā ietekmē stublāju skaits (N. Knowles, L. Knowles, 2006). Stublāju skaits cerā nav atkarīgs no stādīšanas attāluma, bet attālums būtiski ietekmē stublāju skaitu laukumā vienībā (Bussan et al., 2007).

S. Viersema un R. Kabelle pētīja sēklas bumbuļa lieluma ietekmi uz ražu no viena stublāja un secināja, ka bumbuļu skaits no viena stublāja nav atkarīgs no sēklas bumbuļa lieluma tad, ja cerā ir tikai viens stublājs. Salīdzinot ražas bumbuļu skaitu no triju izmēru sēklas bumbuļiem: 1–5 g, 5–10 g un 10–20 g, kuri stādīti vienādā attālumā, ar bumbuļu skaitu, kas iegūti no 40–60 g smagiem sēklas bumbuļiem, konstatēja, ka lielāka izmēra sēklas bumbuļiem veidojas vairāk stublāju, bet samazinās bumbuļu skaits no stublāja un vienlaicīgi pieaug bumbuļu kopējais skaits cerā (Wiersema, Cabello, 1986). No lielākiem bumbuļiem iegūta lielāka raža (Wiersema, 1989), bet ražu no viena stublāja neietekmē sēklas bumbuļa lielums (Allen, Scott, 1980).

P. Obraiens un kolēģi izpētīja, ka sabiezinošā stādījumu no 70 300 ceriem ha^{-1} līdz 140 600 ceriem ha^{-1} , bumbuļu skaits no stublāja samazinājās attiecīgi no 10.6 uz 8.5 bumbuļiem, jo sabiezinātā stādījumā no stublājiem veidojās mazāk stolonu (O'Brien, Firman, Allen, 1998). Citā pētījumā aprēķināts, ka šķirnei 'Russet Burbank' bumbuļu skaits no stublāja samazinās no 2.4 uz 1.5 tad, ja stublāju skaits cerā pieaug no 3 līdz 7 stublājiem (N. Knowles, L. Knowles, 2006). Lielāka stublāju skaita rezultātā samazinās bumbuļu skaits no viena stublāja, bet bumbuļu skaits cerā pieaug. Tā šķirnei 'Red La Soda', pieaugot stublāju skaitam par 0.7 vienībām, bumbuļu skaits cerā palielinājās par 14% (Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013).

Viena bumbuļa vidējo masu būtiski ietekmē genotips. Ražīgākajām šķirnēm biežāk veidojas lieli bumbuļi (Travis, 1987), bet šī parametra atšķirības starp gadiem visbiežāk ietekmē atšķirīga gaisa temperatūra un mitruma nodrošinājums dažādās augšanas fāzēs (Struik et al., 1990). Vidējo masu ir iespējams ietekmēt, arī mainot stādīšanas biežību. Parasti, jo vairāk stublāju cerā (Goesser et al., 2012), vai arī stublāju skaits laukumā vienībā pārsniedz optimumu (N. Knowles, L. Knowles, 2006), jo mazāka ir bumbuļu vidējā masa (Bussan et al., 2007). J. Blauera un kolēģu pētījumā (Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013) būtiskas bumbuļu vidējās masas izmaiņas notika, kad stublāju skaits vienā cerā pieauga no 2.7

līdz 3.4 stublājiem jeb par 26%. Tā rezultātā bumbuļa vidējā masas samazinājās no 226 uz 194 g jeb par 14%. Šādas izmaiņas būtiski ietekmēja ražas sadalījumu frakcijās.

Ražas sadalījumu frakcijās lauka apstākļos ir ļoti grūti ietekmēt. Piemēram, ir iespējams mainīt augšanas ilgumu, bet nevar ietekmēt ražas pieauguma tempu (Struik et al., 1991). Pasaulē turpinās pētījumi par iespējām ietekmēt ražas sadalījumu frakcijās. M. Thornton un kolēģi (Thornton, John, Buhrig, 2014) izmēģināja augu augšanas regulatora etepona ($C_2H_6ClO_3P$) iedarbību uz bumbuļu ražu un tās sadalījumu frakcijās. Iegūtie rezultāti parādīja, ka variantā ar etepona smidzināšanu uz lapām, pieauga bumbuļu skaits mazākajās frakcijās, tomēr ne kopraža, ne preču produkcijas raža būtiski nemainījās, salīdzinot ar kontroli. Tomēr vienkāršākais frakciju sadalījuma ietekmēšanas veids ir optimāla sēklas bumbuļu lieluma un stādīšanas attāluma izvēle (Struik et al., 1990). Mainot stādīšanas attālumu un izvēloties pareizo sēklas lielumu, mainās stublāju skaits laukuma vienībā, bet tas nosaka bumbuļu izmēru un preču produkcijas ražu. Savukārt stādīšanas attāluma ietekme uz kopražu nav tik nozīmīga (Firman, Daniels, 2011).

Latvijā apjomīgu pētījumu par kartupeļu sēklas ražas ietekmēšanas iespējām veica N. Ķesa 20. gs. 70. gados Priekuļos. Pētniece vērtēja stādīšanas biežības un lakstu novākšanas laika ietekmi uz ražas struktūru. Sabiezinātā stādījumā stublāju skaits vienā cerā samazinājās (par 0.2–0.5 stublājiem, salīdzinot 30 un 20 cm stādīšanas attālumu un par 0.4–0.5 stublājiem, salīdzinot 30 un 15 cm stādīšanas attālumu), bet stublāju skaits uz 1 ha pieauga 1.3–1.8 reizes. Vērtējot ražu pēc dabiskās lakstu atmiršanas, secināja, ka, samazinoties stādīšanas attālumam vagā, samazinājās raža no cera, bet pieauga raža no ha. Pieaugot stādīšanas biežībai, pieauga sēklas izmēra bumbuļu raža no ha (piemēram, šķirnei ‘Laimdota’ pat par 100–160%) un vislielākā sēklas bumbuļu raža iegūta 15 cm stādīšanas attālumā (atkarībā no šķirnes 37–71% no kopražas). Vienlaikus pieauga arī sēklas frakcijas bumbuļu skaits no ha. Vērtējot lakstu novākšanas laika ietekmi uz ražas struktūru, konstatēja, ka lielākā sēklas raža iegūta, novācot lakstus 10 dienas pēc ziedēšanas un 15 cm stādīšanas attālumā (Keca, 1973a). Sabiezinot stādījumu, pieaug nepieciešamās sēklas daudzums, bet pieaug arī iegūtās sēklas ražas apjoms (par 15–43%). Tomēr 15 cm stādīšanas attālums vagās būtiski apgrūtina negatīvo ceru izlasi (Keca, 1973a).

L. Zariņa pētījusi sēklas frakcijas un stādīšanas attāluma ietekmi uz kartupeļu ražu. Pētniece secināja, ka mazāks stādīšanas attālums sekmē sīko frakciju bumbuļu īpatsvara pieaugumu neatkarīgi no sēklas frakcijas lieluma. Atšķirības ražas frakciju procentuālā sadalījumā atkarībā no iestādīto sēklas bumbuļu lieluma nebija būtiskas. Iestādot 25–35 mm lielu sēklu 20 cm attālumā, ražā 42–50% veidoja >80 g smagi bumbuļi, 22–35% bija 50–80 g smagi bumbuļi, 16–20% un 8–9% attiecīgi 25–50 g un līdz 25 g smagi bumbuļi (Zariņa, 1997).

Ražas īpatnības kartupeļu sēklaudzēšanā. Kartupeļu sēklas materiāla audzēšanas rezultātā iegūst zemākas ražas nekā audzējot pārtikas kartupeļus, jo vēlams iegūt mazāku frakciju ražas bumbuļus. Turklāt, sēklaudzēšanā pielieto zemākas N mēslojuma normas un audzēšanas sezona ir īsāka. Savukārt, salīdzinājumā ar citiem patēriņa veidiem domātajiem kartupeļiem, sēklaudzēšanas stādījumos vairāk pielieto pesticīdus, lai stādījuma fitosanitāro stāvokli saglabātu atbilstošu sēklaudzēšanas prasībām (Haverkort, Hillier, 2011).

Kopsavilkums. Kartupeļu augšana un attīstība iedalās četrās pamatfāzēs, kas ietver laiku no stādīšanas līdz sadīšanai, no sadīgšanas līdz bumbuļu veidošanās sākumam, no bumbuļu aizmetņu veidošanās sākuma līdz lapu augšanas beigām, no cera novecošanās sākuma līdz ražas novākšanai. Augšanu un attīstību ietekmē ne tikai vides un agroekoloģiskie (gaisa temperatūra, mitruma nodrošinājums, pieejamā saules radiācija, N nodrošinājums u.c.) un ģenētiskie faktori, bet arī sēklas bumbuļa īpašības, no kurām būtiskākās ir bumbuļa lielums un vecums. Lielāki bumbuļi ātrāk sadīgst, tiem veidojas vairāk stublāju, līdz ar to vairāk jaunās ražas bumbuļu. Līdzīgas īpašības piemīt arī vecākiem bumbuļiem. Kartupeļu ražas struktūrelementi ir ceru skaits platības vienībā, bumbuļu skaits cerā un viena bumbuļa vidējā masa. Izmainot ceru skaitu platības vienībā, var ietekmēt pārējo struktūrelementu vērtības.

1.4. Kartupeļu sēklaudzēšanas nozīme un sēklaudzēšanas sistēmu veidošanās

Veģetatīvās pavairošanas rezultātā kartupeļu bumbuļos uzkrājas dažādas slimības, kuras tiek pavairotas ar katru nākamo lauka paaudzi (Gaujers, 1967; Ewing, Struik, 1992). Vienas no nozīmīgākajām ražu un kvalitāti ietekmējošajām slimībām ir saistītas ar kartupeļu vīrusu izraisītu infekciju (De Bokx, Mooi, 1974; Розенберг, 1980; Wale, Platt, Kattlin, 2011; Kawakami, Oohori, Tajima, 2015). Vīrusslimības ir sistēmiskas (De Bokx, Mooi, 1974), un visi vīrusi saglabājas bumbuļos, tāpēc tikai sertificēta sēkla nodrošina pienācīgu ražas apjomu (Struik, Wiersema, 1999; Valkonen, 2007; Rasocha, Hausvater, Doležal, 2008; Demo et al., 2015). Turklāt lauka apstākļos cīnīties ar vīrusu izraisītām slimībām ir iespējams tikai pastarpināti, pielietojot kopšanas paņēmienus, kuri var samazināt infekcijas izplatīšanās ātrumu (De Bokx, 1972). Tāpēc no vīrusiem brīvs sēklas materiāls ir kartupeļu sēklaudzēšanas pamatā.

Jau vairāk nekā 5 desmitgades pasaulē ir tikušas pielietotas trīs galvenās stratēģijas, lai ierobežotu kartupeļu vīrusu izplatīšanos (Kerlan, 2008):

- sēklaudzēšanas un sēklu sertifikācijas shēmu uzlabošana;
- vīrusizturīgu genotipu selekcija;
- jebkura kartupeļu materiāla pārrobežu pārvietošanas stingra kontrole.

Sakarā ar klimata pārmaiņu izraisītu dažādu slimību ierosinātāju izplatības pieaugumu, kā arī lielo pieprasījumu pēc kartupeļu sēklas materiāla, 21. gadsimtā daļā pasaules valstu (īpaši Dienvidamerikā un Āfrikā) ieviesta jauna kartupeļu sēklaudzēšanas stratēģija, kura paredz sertificētu sēklas materiālu trīs paaudzēs. Šo stratēģiju mēdz apzīmēt ar 3G (*three generations*) (Mateus-Rodriguez et al., 2013; Demo et al., 2015; Wasilewska-Nascimento, Boguszevska-Mańkowska, Zarzyńska, 2020).

Kartupeļu vīrusu atklāšanas un izpētes vēsture. Eiropā kartupeļu vīrusu izraisītas slimības parādījās jau drīz pēc šī kultūrauga ieviešanas no Dienvidamerikas. Astonpadsmitā gadsimta otrajā pusē Anglijā pirmo reizi plašāk sāka runāt par kartupeļu lapu ritināšanos, augu pundurainību un to izraisītu ražas samazināšanos pat par 75% un vairāk. Tika novērota bumbuļu izmēra samazināšanās un formas kroplīgums. Aizsākās diskusijas par kartupeļu stādījumu deģenerēšanos (Salaman, 2008).

Stādījumu deģenerēšanās 18.–19. gadsimtā kļuva par nozīmīgu problēmu arī Vācijā, Francijā un Nīderlandē, tomēr līdz pat 20. gadsimtam nebija pētījumu, kuri pierādītu, ka deģenerēšanos izraisa vīrusu slimības (De Bokx, 1972). Divdesmitā gadsimta sākumā ASV tika uzsākta kartupeļu vīrusu pētīšana, bet Holandē pētnieks H. M. Kvanjers pierādīja, ka lapu ritināšanās vīruss (PLRV – no angļu v. *potato leafroll virus*) ir infekciozs, savukārt J. Ortvinš Botjes 1920. gadā atklāja laputu lomu vīrusu pārvešanā. Drīz Kembridžā tika atklāts kartupeļu X vīruss (PVX), kurš tiek izplatīts, tikai pārnesot mehāniski. Pēc šiem atklājumiem tika atzīts, ka kartupeļu audzēšanā vīrusslimības ir galvenais limitējošais faktors, jo vīrusi nokļūst visās auga daļās un inficēts augs dod slimus pēcnācējus, tādā veidā turpina pieaugt stādījumu deģenerācijas pakāpe (Salaman, 2008). Līdz ar to kļuva skaidrs, ka viens no pamatnosacījumiem pietiekoši augstu un kvalitatīvu kartupeļu ražu iegūšanai ir sēklas materiāls, kurš ir brīvs no vīrusu izraisītām slimībām.

Latvijā 1947. gadā E. Pētersons (Pētersons, 1947) atzīmēja, ka kartupeļu veselības stāvoklis ļoti dažādi ietekmē ražas iznākumu, bet V. Gaujers (Gaujers, 1967) runāja par kartupeļu „izviršanu”, kuru izraisa vīrusu uzkrāšanās bumbuļos.

Visu Latvijas teritoriju aptverošu pētījumu par vīrusu izplatību pirmo reizi veica V. Dūda periodā no 1961. līdz 1965. gadam, kad tika konstatēts, ka gandrīz visas pētītās šķirnes gan ražošanas, gan izmēģinājumu laukos ir pilnībā inficētas ar kartupeļu vīrusiem. Sakarā ar sliktu situāciju sēklaudzēšanas stādījumos, pētnieks ieteica pāriet uz piecu gadu sēklaudzēšanas shēmu astoņu gadu shēmas vietā (Дуда, 1968). Līdzīgus secinājumus par kartupeļu stādījumu kvalitāti izdarījis arī U. Miglavs (Миглавс, 1975a). Arī I. Turkas 1991.–1993. gadā veiktajā pētījumā konstatēts, ka jau otrajā lauka paaudzē līdz pat 50% no kartupeļu sēklas materiāla ieguvei paredzētajiem stādījumiem ir inficēti ar vīrusslimībām (Turka, 1994). Pētniece secināja,

ka Latvijas apstākļos noteicošā loma ir nevis šķirņu ieņēmībai, bet gan sliktai sējumu kopšanas praksei un arī audzēšanas apstākļiem. Arī ASV un Kanādā uzskata, ka galvenais iemesls vīrusu izplatībai ir kļūdas stādījumu kopšanā un inspektoru darbībā (Gray et al., 2010). Jau 1976. gadā Latvijā ir uzsvērtā nepieciešamība izveidot slēgto „bezvīrusu” zonu kartupeļu sēklaudzēšanas nodrošināšanai (Migļavs, Damroze, 1976), tomēr dažādu apstākļu dēļ šis mērķis nav īstenots līdz pat šodienai.

Postīgākie vīrusi. Pasaulē ir zināmi vismaz 38 kartupeļu vīrusi (Valkonen, 2007; Kerlan, 2008), no kuriem 8 tiek uzskatīti par īpaši postīgiem ražas kontekstā (Kerlan, 2008). Kartupeļu Y (PVY) un L (PLRV) vīrusu infekcija pasaulē ir galvenais iemesls, kura dēļ krītas sēklaudzēšanas stādījumu kategorija (Radcliffe, Ragsdale, Suranyi, 2007).

Latvijā par īpaši postīgiem vīrusiem, kuru izplatība tiek stingri kontrolēta visā sēklaudzēšanas procesā, uzskata sešus nekarantīnas vīrusus – PVY, PLRV, PVM, PVS, PVX un PVA, lauka apskatēs novērtē arī viroīda PSTV infekcijas pazīmes⁷. Papildus ar normatīvajiem aktiem regulētajai vīrusu izplatības kontrolei sēklaudzēšanā, lauka un *in vitro* kolekcijās uzturētajiem ģenētiskajiem resursiem pārbauda karantīnas vīrusu klātbūtni (AVB-O, APLV, APMoV, PVT, PBRV).

Vīrusu izraisīti ražas zudumi. Vīrusu infekcijas gadījumā kartupeļu ražas zudumi var būt 10–90%, tomēr tie ir ļoti atkarīgi no vīrusa veida vai vairāku vīrusu kombinācijas (Kerlan, 2008; Rasocha, Hausvater, Doležal, 2008). Pēdējos gados salīdzinoši maz ir veikti pētījumi par vīrusu infekcijas ietekmi uz kartupeļu ražu (Valkonen, 2007), tomēr autors atzīmē, ka sekundārā infekcija rada ievērojami lielāku ražas zudumu, salīdzinot ar primāro infekciju, un šis atzinums vēlreiz uzsver kartupeļu sēklas materiāla atjaunošanas nozīmi saimniecībās.

Sešdesmitajos gados Latvijā veikts pētījums, kurā konstatēts, ka vīrusu izraisīts ražas zudums var būt līdz 17% un brīdī, kad šķirne tiek ieviesta ražošanā, ar vīrusiem ir inficēti jau 90% stādāmā materiāla (Дуда, 1968). N. Ķesa uzskatīja, ka Latvijas apstākļos ražas samazināšanos ietekmē tikai PLRV un PVY (Keca, 1975). Vēlāk Baltijā secināts, ka atveseļoti bumbuļi dod par 15–76% lielāku ražu, salīdzinot ar klonu izlases ceļā iegūtu sēklu (Миглавс, 1975a; Розенберг, 1980), bet I. Turka (Turka, 1994) izpētīja, ka katrs 1% augu, kuri inficēti ar kartupeļu lapu ritināšanās vīrusu (PLRV), samazina ražu par 0.5–0.8%.

Sēklaudzēšanas sistēmu rašanās pasaulē un Latvijā. Jau 19. gadsimtā kartupeļu audzētāji novēroja, ka Skotijā kartupeļu stādījumi bija veselīgāki nekā Anglijā. Konstatēja, ka pozitīva nozīme ir nokrišņu daudzumam, noteiktam vēja stiprumam un arī augstumam virs jūras līmeņa (Salaman, 2008). Šis atziņas vēlāk kalpoja par pamatu sēklaudzēšanas sistēmu veidošanai. Eiropā (Nīderlandē un Vācijā) kartupeļu sēklas materiāla sertificēšana aizsākās 20. gadsimta sākumā (Slack, 1993), bet ap 1913. gadu tā tika ieviesta arī Kanādā un ASV (Halterman et al., 2012).

Latvijā 20. gs. 30. gados tika pavairots kartupeļu sēklas materiāls eksportam. Lai arī vēl nepastāvēja sēklaudzēšanas shēma, tomēr tās iezīmes jau bija manāmas, jo tika ieteikts atjaunot sēklu ik pēc 4 gadiem, kā arī tika veiktas lauka apskates un sēklai piešķirtas kategorijas (Aizrādījumi eksportējam..., 1937). Pagājušā gadsimta četrdesmitajos gados jau pastāvēja sēklaudzēšanas sistēma ar lauka apskatēm un bumbuļu analīzi pēc ražas novākšanas (Pētersons, 1947).

Kopsavilkums. Jau kopš 18. gadsimta Eiropā tika novērota kartupeļu stādījumu deģenerēšanās. To izraisa vīrus slimības, kuru izpēte aizsākās 20. gadsimta sākumā. Pēc vīrus slimību un to īpatnību atklāšanas aizsākās kartupeļu sēklaudzēšanas sistēmu veidošana. Vīrus slimības var izraisīt 10–90% ražas zudumu. Tā kā tās ir sistēmiskas, tad stādījumu veselīgumu var saglabāt, izmantojot sertificētu sēklas materiālu, bet sēklaudzēšanas pamatā ir no vīrusiem brīvs izejmateriāls.

⁷ *Kartupeļu sēklaudzēšanas un sēklas kartupeļu tirdzniecības noteikumi.* No: LikumiLV – Latvijas Republikas tiesību akti. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 25. martā]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/279044-kartupelu-seklaudzšanas-un-seklas-kartupelu-tirdzniecibas-noteikumi>

1.5. Kartupeļu pirmsbāzes sēklas izaudzēšanas metodes

Kopš 20. gadsimta otrās puses sīkbumbuļu ražošana visā pasaulē ir kļuvusi par būtisku kartupeļu sēklaudzēšanas sistēmu sastāvdaļu un sīkbumbuļu izaudzēšana no vīrusbrīviem mikroaugiem daudzu valstu oficiālajās sēklaudzēšanas sistēmās kļuvusi par galveno paņēmieni, ar kura palīdzību iegūst vīrusbrīvu pirmsbāzes sēklas materiālu (Miglavs, 1987; Ortiz-Montiel, Lozoya-Saldana, 1987; Knutson, 1988; Ranalli et al., 1990; Bandara, Tanino, Waterer, 1998; Pruski, 2001; Gābere, 2004; Rosenberg et al., 2007; Wang et al., 2011; Halterman et al., 2012; Wrobel, 2014; Kawakami, Oohori, Tajima, 2015; Boyd et al., 2018; Forbes et al., 2020). Sīkbumbuļu audzēšana no apkārtējās vides norobežotās teritorijās (siltumnīcās), izmantojot no vīrusslimībām brīvu mikropavairošanas ceļā iegūtu stādāmo materiālu, ļauj izpildīt nosacījumu, ka pirmajā lauka paaudzē tiek stādīts no postīgākajiem vīrusiem pilnībā brīvs sēklas materiāls.

Saskaņā ar 2016. gada 5. janvāra MK noteikumiem Nr. 12⁷ (turpmāk tekstā Kartupeļu sēklaudzēšanas noteikumi), Latvijā pielietotajā sēklaudzēšanas shēmā, kura ir veidota, saskaņojot ar ES direktīvām (sēklaudzēšanas shēma 31. pielik.), pirmā sēklu kategorija ir Pirmsbāzes sēklas (PB), kura sīkāk iedalās pirmās līdz ceturtās paaudzes PB sēklās, atsevišķi izdalot sīkbumbuļus (PBTC, *pre basic tissue culture*) kā paaudzi pirms pirmās PB paaudzes, ja sākotnēji tiek izmantota mikropavairošanas metode.

Literatūras apskats turpināsies tieši ar PBTC izaudzēšanas metožu pārskatu. Turpmāk literatūras apskatā kartupeļu augu mikropavairošana, sīkbumbuļu un pirmās paaudzes PB sēklas materiāla audzēšana kopā tiks apzīmēta ar nosaukumu „sākotnējā sēklaudzēšana”. Par pirmās paaudzes PB (PB1) zemāku kategoriju audzēšana netiks apskatīta.

1.5.1. Sākotnējās sēklaudzēšanas metodes un no vīrusiem brīva izejmateriāla iegūšana

Pirmās paaudzes pirmsbāzes sēklas var iegūt (Kartupeļu sēklaudzēšanas noteikumi⁷):

- veicot klonu atlasī;
- izaudzējot sīkbumbuļus, kuri iegūti no ar klonu mikropavairošanas metodi izaudzētiem augiem (*in vitro*) vai mikrobumbuļiem.

Klonu atlase ir darbietilpīgs un laiktietilpīgs paņemiens (Struik, Wiersema, 1999). Šis bija vienīgais paņemiens, kā iegūt nosacīti no vīrusiem brīvu sēklas izejmateriālu laikā līdz moderno biotehnoloģijas metožu ieviešanai (Miglavs, 1975a; Jones, 1991; Lommen, 1995; Ranalli, 1997).

Latvijā līdz mikropavairošanas metožu ieviešanai klonu atlase aizņēma 7–8 gadus (Дуда, 1968; Miglavs, 1975a), dažreiz tā var būt pat 10 gadus ilga (Struik, Wiersema, 1999).

Sīkbumbuļi. Sākotnējās sēklaudzēšanas mērķis ir pēc iespējas ātrāk un ekonomiski izdevīgāk saražot izejmateriālu sēklaudzēšanas saimniecībām un sīkbumbuļu audzēšana ļauj samazināt lauka paaudžu skaitu (Struik, Lommen, 1999; Struik, Wiersema, 1999; Van Loon, 2007; Wrobel, 2014), ļauj ražošanā ātrāk ieviest jaunas šķirnes (Lommen, Struik, 1994; Gray et al., 2010).

No vīrusiem brīva izejmateriāla iegūšana. No izplatītākajiem vīrusiem brīvu izejmateriālu kartupeļu sākotnējai sēklaudzēšanai var iegūt vai nu veicot klonu atlasī un pārbaudot bumbuļus ar dažādām testēšanas metodēm (piemēram, ELISA), vai arī veicot kartupeļu atveseļošanu ar šādām metodēm:

- meristēmu metode (Kassanis, 1957; Gregorini, Lorenzi, 1974; Faccioli, Rubies-Autonell, Resca, 1988);
- termoterapija (Zapata, Miller, Smith, 1995; Nascimento et al., 2003);
- ķīmijterapija (Bittner et al., 1989; Zapata, Miller, Smith, 1995; Nascimento et al., 2003; Yang et al., 2014);

- meristēmu un termoterapijas, un/vai ķīmijterapijas metožu kombināciju (Kassanis 1957; Šip, 1972; Cassells, Long, 1982; Wright, 1983; Faccioli, Rubies-Autonell, 1982; Sanchez, Slack, Dodds, 1991; Danci et al., 2009).

Pēc atveseļošanas iegūtos augus uztur *in vitro* apstākļos un pēc vajadzības tie kalpo kā mātesaugi tālākai mikropavairošanai un mikrobumbuļu vai sīkbumbuļu iegūšanai (Kotkas, Rosenberg, 1999; Pruski, 2001; Haapala, 2005; Kawakami, Oohori, Tajima, 2015). Tomēr literatūrā atrodami atšķirīgi uzskati par to, vai mātesaugi kā izejmateriāls sēkklaudzēšanai būtu jāiegūst katru gadu no jauna (no meristēmām, dzinumam galotnēm vai citādi), vai tomēr var izmantot gēnu bankās un repozitorijos esošo materiālu, kur tas tiek ilgstoši uzglabāts. Pētnieki diskutē par mikropavairošanas ceļā iegūto augu ģenētisko stabilitāti. Pēc mikropavairošanas metožu ieviešanas kartupeļu sēkklaudzēšanā parādījās atšķirīgas ziņas par to. Atrodama informācija, ka nav novērotas nekādas morfoloģiskas un bioķīmiskas izmaiņas šādi pavairotiem augiem (Roca et al., 1978), no meristēmām iegūti augi ir ģenētiski stabilāki, salīdzinot ar augiem, kuri iegūti, pielietojot citus paņēmienus (lapu plātnes u.c.) (Slack, 1980). Tomēr ir atrodams arī uzskats, ka meristēmu izmantošana augu iegūšanai var izraisīt mutācijas (Wright, 1983). Iespējams, augu augšanas regulatoru (hormonu) pielietošana barotnēs var veicināt mutāciju veidošanos (Hussey, Stacey, 1981). Vēlāk ir pētīta augu fenotipiskā stabilitāte un secināts, ka pat gadījumos, kad novēroja nelielas fenotipiskas izmaiņas augos, tās pazūd nākamajā paaudzē (Ahloowalia, 2000). A. Kassels ar kolēģiem (Cassells et al., 1999) konstatējis fenotipiskas atšķirības mikroklonāli pavairotu augu (mikroaugu) attīstībā pēc to iestādīšanas uz lauka starp augiem, kuri sākotnēji pavairoti dažādās barotnēs. Turpinot iesākto pētījumu, atklāta DNS metilācija dažādās barotnēs augu mikroaugiem (Joyce, Cassells, 2002). Lai arī pastāv uzskats, ka būtu jāierobežo mikropavairošanas pasāžu skaits, jo arī tā var notikt nevēlamas ontogēniskas izmaiņas (Cassells et al., 1999), tomēr tajā pašā laikā tiek uzskatīts, ka šāda pavairošana nodrošina ģenētiskās stabilitātes saglabāšanu (Pruski, 2007). Līdz ar to, iespējams, vislielākais mutāciju risks ir tieši meristēmu reģenerēšanās laikā, ja nekontrolēti notiek netiešā reģenerēšanās kallusa veidošanās rezultātā (Altman, Loberant, 1997). Igaunijā vairāku gadu garumā veikti pētījumi par atsevišķu meriklonu atšķirībām pēc ražas potenciāla. Konstatēts, ka tie var atšķirties pēc ziedēšanas intensitātes, stublāju garuma un citām pazīmēm, tomēr no mikroaugiem izaudzētajos sīkbumbuļos nav novērotas genotipiskas atšķirības (Rosenberg et al., 2007). Fenotipisko izmaiņu rašanās mehānisms nav pilnībā izprasts arī mūsdienās, tomēr tām varētu būt saistība ar DNS metilāciju (Joyce, Cassells, 2002; Miguel, Marum, 2011) un tas varētu izskaidrot to, kāpēc izmaiņas mēdz izzust pēc dažām pavairošanas paaudzēm laukā.

Saskaņā ar U. Miglava datiem, Latvijā 1962.–1963. gadā uzsākta kartupeļu atveseļošana, kombinējot galotņu meristēmu un termoterapijas metodes (Миглавс, 1975b), bet Igaunijā 1966. gadā aizsākti pētījumi par galotņu meristēmu metodes izmantošanu, tomēr vēlāk secināts, ka labāki atveseļošanas rezultāti iegūstami, kombinējot meristēmu un termoterapijas metodes (Розенберг, 1975).

Lai arī pastāv uzskats, ka meristēmu un termoterapijas metodes kombinācija prasa iemaņas un aizņem daudz laika, tomēr tā ir arī ļoti efektīva metode (J. Fletcher, P. Fletcher, Cross, 1998) un arvien ir viena no populārākajām metodēm, jo tikai meristēmu metode (Slack, 1980), vai tikai termoterapija – nesniedz tik labus atveseļošanas rezultātus. Latvijā, līdzīgi kā Igaunijā un Lietuvā, kartupeļu atveseļošanai no vīrusu slimībām mūsdienās tiek pielietota meristēmu un termoterapijas metožu kombinācija (Kotkas, Rosenberg, 1999; Asakaviciute, 2011; Dimante, 2013).

Ātrās pavairošanas metodes sākotnējā sēkklaudzēšanā. Pie kartupeļu ātrās pavairošanas metodēm pieskaita gan augu pavairošanu *in vitro* un *in vivo* apstākļos, gan arī mikrobumbuļu un sīkbumbuļu izaudzēšanu (Jones, 1988; Demo et al., 2015).

Saskaņā ar dažādos literatūras avotos atrodamo informāciju, var izdalīt šādus ātrās pavairošanas paņēmienus:

- 1) pavairošana *in vitro* apstākļos:

- pavairošana ar mikrospraudeņiem (Gābere, 2004; Pruski, 2007; Milinkovic et al., 2012);
 - mikrobumbuļu iegūšana (Ranalli, 2007; Pruski, 2001; Radouani, Lauer, 2015).
- 2) pavairošana daļējos *in vivo* (Struik, Wiersema, 1999) apstākļos:
- pavairošana ar asniem (Roze, 1975; Struik, Wiersema, 1999; Caram de Souza Dias et al., 2014);
 - pavairošana ar augu galotņu, sānu dzinumiem vai stublāju posmiem (Roy et al., 1995; Särekanno et al., 2010a);
 - pavairošana ar lapu pumpuriem (Hagman, 1990; Struik, Wiersema, 1999; Haapala, 2005);
 - sīkbumbuļu audzēšana no mikrospraudeņiem (Struik, Wiersema, 1999).

1.5.2. Mikropavairošanas metodes, to pēcietekme uz augu attīstību un sīkbumbuļu ražu

Mikropavairošanas ceļā *in vitro* apstākļos iegūti kartupeļu mikroaugi ir viens no izplatītākajiem izejmateriāliem sīkbumbuļu izaudzēšanai daudzās pasaules sēklaudzēšanas programmās.

Mikropavairošana ir ātra veģetatīvā augu pavairošana *in vitro* apstākļos, pielietojot noteiktas barības vielas saturošas barotnes un audzējot augus kontrolētos apstākļos (temperatūras un apgaismojuma režīms) (Millam, Sharma, 2007).

Mikroaugus parasti iegūst no meristemātiskajiem audiem (Ewing, Struik, 1992; Wang et al., 2011; Wrobel, 2015) tiem reģenerējoties (Kotkas, Rosenberg, 1999), vai no apikālo dzinumu mikrogalotnēm (Ahloowalia, 1999).

Pasaulē izgudrotas dažādas tehnoloģijas, kuras ļauj pavairot mikroaugus ātrāk nekā tradicionālā veidā, procesu daļēji automatizējot. Piemēram, mikroaugu stublāju ar vairākiem mezglu posmiem audzēšana šķidrā barotnē, kura regulāri tiek sakratīta (Dodds, 1988), vai augu audzēšana īpašos traukos, kuros ik pa brīdim tiek pievadīts barības vielu šķīdums (Jiménez et al., 1999), tā paātrinot augu augšanu un palielinot jaunu posmu veidošanos. Mūsdienās iepriekš nosauktos un citus mikroaugu iegūšanas un audzēšanas paņēmienus daļēji automatizētās sistēmās šķidrās barotnēs dēvē par pavairošanu bioreaktoros (Rokka et al., 2013).

Tomēr tāpat kā kartupeļu mikropavairošanas tehnoloģiju attīstības sākumposmā, arī šodien, pasaulē, iespējams, visizplatītākais masveida ātrās pavairošanas paņemiens ir mikropavairošana (Pruski, 2007), sadalot mikroaugus mezglu posmos ar vienu lapiņu un paduses pumpuru un iegūtos mikrospraudeņus novietojot uz Murašiges un Skūga (Murashige, Skoog, 1962) barotnes (Roca et al., 1978; Ortiz-Montiel, Lozoya-Saldana, 1987; Leclerc, Donnelly, 1990; Pruski, 2001; Tadesse, Lommen, Struik, 2001a; Otroshy, 2006; Rosenberg et al., 2007; Särekanno et al., 2010a; Ozturk, Yildirim, 2011; Milinkovic et al., 2012; Lommen, 2015). Viens pavairošanas cikls parasti ilgst 3–4 nedēļas (Ranalli et al., 1994; Ozkaynak; Samanci, 2005; Veeken, Lommen, 2009; Asakaviciute, 2011; Milinkovic et al., 2012; Särekanno et al., 2012). Vienā pavairošanas ciklā no viena mikroauga iegūtais jaunu mikroaugu skaits var būt no 4 līdz 5 (Ahloowalia, 1999; Grigoriadou, Leventakis, 1999), un pat no 5 līdz 10 (Wilson et al., 1993; Muro et al., 1997; Ranalli, 1997; Pruski, 2007).

Mikroaugu audzēšanas telpās parasti tiek nodrošināts 16 stundu fotoperiods (Altman; Loberant, 1997; Grigoriadou, Leventakis, 1999; Lommen, 1999; Rusite, Gertnere, 2001; Tadesse, Lommen, Struik, 2001b; Veeken, Lommen, 2009; Wang et al., 2011; Ma et al., 2015), izmantojot dažāda spektra fluorescētās, visbiežāk vēsi baltās gaismas lampas (Kozai, 1997; Grigoriadou, Leventakis, 1999; Jiménez et al., 1999; Zobayed, 2001; Wang et al., 2011; Zapata Arias et al., 2014; Edesi, Pirttila, Haggman, 2016). Balto fluorescento lampu gaisma satur visu augu augšanai nepieciešamo spektru (Kozai, 1997). Pēdējā desmitgadē pētītas iespējas pielietot gaismu izstarojošās diodes (LED) kā enerģiju ievērojami taupošus apgaismes

ķermeņus augu audu kultūrām (Dutta Gupta, Jatothu, 2013; Ma et al., 2015; Edesi, Pirttila, Haggman, 2016), tomēr katrā *in vitro* pavairotajai augu sugai nepieciešams noskaidrot tai atbilstošāko gaismas viļņu garumu, kas nodrošina sekmīgu mikropavairošanu (Batista et al., 2018). Pareiza krāsu spektra kombinācija, izmantojot LED gaismekļus, var nodrošināt būtisku augu biomasas pieaugumu *in vitro*, salīdzinot ar audzēšanu zem baltajām fluoriscentajām lampām (Shukla et al., 2017).

Mikroaugu audzēšanas telpā tiek nodrošināta temperatūra robežās no 21 līdz 25 °C (Grigoriadou, Leventakis, 1999; Veeken, Lommen, 2009; Barra et al., 2013; Lommen, 2015), bet literatūrā ir atrodamas ziņas arī par telpas temperatūru robežās no 26 līdz 30 °C un pat audzēšanu nekontrolētos apstākļos pie apkārtējās vides temperatūras svārstībām starp 14 un 39.5 °C (Zapata Arias et al., 2014).

Murašiges un Skūga neorganisko sāļu un vitamīnu barotne (MS barotne), kurai pievienota saharoze un agars, ir plaši pielietota barotne kartupeļu mikropavairošanā (Leclerc, Donnelly, 1990; Zobayed, 2001; Gābere, 2004; Otroshy, 2006; Correa et al., 2008; Milinkovic et al., 2012; Edesi, Pirttila, Haggman, 2016). Barotnes pH noregulēts vidēji līdz 5.7 vienībām (Lommen, 1999; Wang et al., 2011; Lommen, 2015; Edesi, Pirttila, Haggman, 2016), jo šāds pH līmenis ļauj saglabāt barotnē esošos sāļus šķīstošā formā (Murashige, Skoog, 1962).

Tā kā augu audu kultūrām piemērots agars var veidot pat 75% no kopējām barotnes izmaksām (Millam, Sharma, 2007), tad praksē tiek pielietoti arī lētāki tā aizstājēji, piemēram pārtikā izmantojamais agars (Chih-Ping Chao, personiska komunikācija, 16.04.2013. augu audu kultūrām veltītā darbseminārā Taivānā (Ķīnas Republika)), arī saharozi mēdz aizvietot ar pārtikas cukuru (Ahloowalia, 1999; Demo et al., 2008; Chih-Ping Chao, personiska komunikācija, 2013).

Daži autori iesaka uz pusi samazinātas koncentrācijas MS barotnes lietošanu (Ranalli et al., 1994; Ahloowalia, 1999; Joyce, Cassells, 2002), kas arī var samazināt barotnes izmaksas.

Vairāki autori savos pētījumos barotnei pievieno augu augšanas regulatorus – fitohormonus, tādus kā kinetīns un giberelīnskābe (Kotkas, Rosenberg, 1999; Joyce, Cassells, 2002). Aukstuma pievienošana barotnei veicina mikroaugu rizoģenēzi (Ozturk, Yildirim, 2011), tomēr kartupeļu mikroaugiem atsevišķa apsākšanas fāze nav nepieciešama, jo augi ātri veido saknes arī barotnē bez pievienotiem hormoniem (Hussey, Stacey, 1981). Literatūrā atrodama informācija par augu augšanas regulatora Alara (daminozīds) pievienošanu barotnei pavairošanas fāzē pirms izstādīšanas siltumnīcās, jo tas sekmē augu adaptāciju un izdzīvošanu nekontrolētā vidē (Grigoriadou, Leventakis, 1999; Pruski, 2007; Veeken, Lommen, 2009; Lommen, 2015).

Literatūrā publicēti arī tādi kartupeļu mikroaugu pavairošanas protokoli, kur barotnei netiek pievienoti fitohormoni (Ranalli et al., 1990; Rusite, Gertnere, 2001; Zobayed, 2001; Gopal, Chamail, Sarkar, 2002; Haapala, 2005). Šāda prakse samazina izmaksas, turklāt, pastāv uzskats, ka augu hormonu pievienošana barotnei var veicināt mutāciju veidošanos (Hussey, Stacey, 1981; Pijnacker, Skree Ramulu, 1990). Arī Eiropas un Vidusjūras Augu aizsardzības organizācija (EPPO) sēklas kartupeļu sertifikācijas shēmu standarts Nr. PM 4/28(1)⁸ nosaka, ka, veicot kartupeļu mikropavairošanu, MS barotnei nepievieno augu augšanas regulatorus. Zinātniskajos pētījumos lietoto barotņu aprakstos bieži netiek uzsvērts, vai barotnei ir pievienoti vitamīni un organiskās vielas, bet, tā kā oriģinālajā MS barotnes formulā tie ir iekļauti un autori apraksta šīs barotnes lietošanu, tad mēs pieņemam, ka izmantota pilnas formulas barotne. Tomēr, sakarā ar to, ka kartupeļi ir ļoti plastiska suga, kuri augu audu kultūrās tiek lietoti arī kā modeļaugi (Altman, Loberant, 1997), ir iespējama arī to mikropavairošana bez barotnei pievienotiem vitamīniem un organiskajām vielām (glicīns un mio-inozīts).

⁸ Certification scheme for seed potatoes. No: European and Mediterranean Plant Protection Organization. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 21. martā]. Pieejams: https://www.eppo.int/RESOURCES/eppo_standards/pm4_certification

Kartupeļu pavairošanai *in vitro* pielieto dažādus audzēšanas traukus, gan vairākkārt lietojamus, gan vienreizējas izmantošanas konteinerus.

In vitro augu audzēšanas traukam jābūt tādām, kas nodrošina labu gaismas caurlaidību (to ietekmē trauka forma, materiāls, kā arī trauka aizbāznis) un arī gāzu apmaiņu, pasargā augus no inficēšanās ar dažādiem kaitīgiem organismiem (Huang, Chen, 2005). Gaismas daudzums un spektrs, kuru saņem augi, atkarīgs no trauka veida un materiāla. Trauka materiāls un arī aizbāžņa veids nodrošina dažādu gāzu apmaiņas ātrumu (Kozai, 1997; Fal, Majada, Sanchez Tames, 2002; Huang, Chen, 2005), bet saņemtā gaisma un gāzu apmaiņa savukārt ietekmē relatīvo mitrumu un gaisa temperatūru trauka iekšienē. Saņemtās gaismas daudzums ir atkarīgs arī no katra konkrētā audzēšanas trauka atrašanās vietas plauktā (Chen, 2005; Shukla et al., 2017), jo tādējādi mainās novietojums pret gaismas ķermeni. Lai risinātu šo trūkumu, zinātnieku grupa Kanādā ir izveidojusi prototipu mikroaugu kultūru audzēšanas traukiem ar autonomu iebūvētu LED apgaismojumu, kas ļauj nodrošināt vienādu gaismas intensitāti neatkarīgi no trauka novietojuma plauktā. Bez tam, šāds risinājums nodrošina neatkarīgu apgaismojuma kontroli (intensitāte, gaismas spektra krāsa u.c.) katrā traukā, ja ir tāda nepieciešamība (Shukla et al., 2017).

Parasti trauka iekšienē temperatūra ir par 1 °C augstāka nekā tā ir audzēšanas telpā (Kozai, 1997). Trauka izmēra un formas īpatnību radīta vēl lielāka temperatūras paaugstināšanās trauka iekšienē nav vēlama (Kitaya et al., 1995), jo tās rezultātā pastiprināti iztvaiko ūdens no barotnes un arī augiem un pārlietu paaugstinās relatīvais mitrums traukā (Chen, 2004).

Gaismas caurlaidība, relatīvais mitrums, temperatūra un gāzu apmaiņa ir galvenie audzēšanas trauka iekšienē valdošā mikroklimata faktori, kuri ietekmē augu augšanu un attīstību *in vitro* (Altman, Loberant, 1997). Līdz ar to ne tikai vide *in vitro* augu audzēšanas telpā, bet arī audzēšanas trauks un tā aizbāznis (vāks, korķis) var būtiski ietekmēt auga augšanu. Piemēram, ar alumīnija foliju vai polipropilēna aizbāžņiem cieši noslēgtās mēģenēs augušiem kartupeļu augiem fiksētas anomālijas augu morfoloģijā, savukārt kokvilnas korķi atzīti par optimāliem (Chanemougasoundharam et al., 2004).

Auga morfoloģiskais stāvoklis *in vitro* pavairošanas beigās ietekmē tā tālāko attīstību pēc izstādīšanas *ex vitro* (Tadesse, 2007), auga lapām un saknēm jābūt labi attīstītām (Struik, 2007c). Literatūrā publicēti pētījumu rezultāti par *in vitro* augu audzēšanas telpas apstākļu pēcietekmi (1.5.3. apakšnodaļa), bet pētījumi par trauka iekšienē esošā mikroklimata pēcietekmi uz sīkbumbuļu ražu netika atrasti.

Kopš mikropavairošanas metožu lietošanas pirmsākumiem līdz mūsdienām ļoti populāri trauki ir stikla mēģenes (Миглавс, 1974; Roca et al., 1978; Roy et al., 1995; Correa et al., 2008; Veeken, Lommen, 2009; Särekanno et al., 2010b; Ozturk. Yildirim, 2011), kuras tiek noslēgtas ar kokvilnas (vates) korķiem, plastmasas korķiem, alumīnija foliju, gumijas aizbāžņiem un citiem materiāliem.

Stikla mēģenes kartupeļu augu mikropavairošanai šobrīd tiek lietotas arī Latvijā. To būtiskākā priekšrocībā ir gandrīz neierobežotais lietošanas reižu skaits, bet trūkums – liels roku darba ieguldījums mēģeņu mazgāšanai. Vates-marles korķi nodrošina pietiekošu gaisa apmaiņu, un mēģenēs neuzkrājas pārliets mitrums.

Kartupeļu mikropavairošanā tiek lietoti arī lielāki *in vitro* augu audzēšanas trauki, īpaši pēdējā pavairošanas fāzē. Literatūrā minētas 300 mL tilpuma kolbas (Correa et al., 2008), plastmasas konteineri, kuros iepilda 100 mL barotnes (Milinkovic et al., 2012), 5 cm augsti plastmasas trauki, kuru diametrs ir 10 cm un kuros iepildīti 75 mL barotnes (Veeken, Lommen, 2009), Magenta korporācijā ASV ražotie trauki GA7 (Pruski, 2001) un minēti arī „piemēroti trauki” (Dodds, 1988). Vienā traukā audzēti no 10 līdz pat 25 kartupeļu mikroaugiem.

Kā salīdzinoši lēts risinājums mikropavairošanai minēti plastmasas trauki, kurus izmanto pārtikai (piemēram, salātu iesvēršanai lielveikalos), tomēr tie nenodrošina nepieciešamo gāzu apmaiņu (Millam, Sharma, 2007).

1.5.3. Sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas

Sīkbumbuļus var izaudzēt no *in vitro* apstākļos pavairotiem augiem vai no mikrobumbuļiem (Wiersema et al., 1987; Ahloowalia, 1994; Ranalli, 1997; Wrobel, 2014; Wrobel, 2015).

Pētītajā literatūrā nav atrodama viennozīmīga **sīkbumbuļu definīcija**, tomēr daudzi autori raksta, ka sīkbumbuļi ir nelieli kartupeļu bumbuļi, kuri izaudzēti segtās platībās no mikropavairošanas ceļā iegūtiem augiem (Lommen; Struik, 1992b; Ahloowalia, 1994; Ranalli, 1997; Struik, 2007c; Wrobel, 2014) vai mikrobumbuļiem (Ahloowalia, 1994; Pruski et al., 2003; Wrobel, 2014) augsnes vai augsni nesaturošā substrātā (Nistor, Karacsonyi, Chiru, 2010; Tierno et al., 2014; Wrobel, 2014). Sīkbumbuļi var tikt iegūti arī siltumnīcā aklimatizētus mikroaugus stādot atklātā laukā (Tadesse, Lommen, Struik, 2001b; Särekanno et al., 2010; 2010a; 2010b; 2012; Lommen, 2015). Tādā veidā sīkbumbuļi atšķiras no mikrobumbuļiem, kuri tiek iegūti laboratorijā *in vitro* apstākļos (Dodds, 1988; Pruski et al., 2003; Radouani, Lauer, 2015). Pētnieku viedoklis par sīkbumbuļu izmēriem nav viennozīmīgs, bet visbiežāk tie ir 5–25 mm lieli sīkbumbuļi, tomēr arī lielāki sīkbumbuļi ir ļoti izplatīti (Struik, Wiersema, 1999; Van Loon, 2007; Wrobel, 2014).

Pagājušā gadsimta 60. gadi, kad pasaulē aktīvi tika ieviestas kartupeļu atveseļošanas metodes, bija pagrieziena punkts kartupeļu sēklaudzēšanā (Jones, 1991). Latvijā sīkbumbuļu audzēšanas iespējas sāktas pētīt līdz ar kartupeļu atveseļošanas metožu un augu mikropavairošanas pētījumu uzsākšanu 20. gadsimta sešdesmitajos gados. Jau 1974. gadā sīkbumbuļi pirmo reizi iestādīti sēklaudzēšanas saimniecībās (Миглавс, 1975b), bet 1978. gadā tagadējā Agroresursu un ekonomikas institūta Priekuļu pētniecības centra Kartupeļu atveseļošanas laboratorijā uzsākta no vīrusiem brīva izejmateriāla iegūšana un masveida pavairošana (Holms, 1992), līdz ar laiku sīkbumbuļu audzēšana pilnībā aizvietoja klonu atlases metodi. Arī Ziemeļamerikā pirmā kartupeļu augu masveida mikropavairošanas laboratorija atvērta 1978. gadā (Jones, 1991). Līdzīga tas notika arī Igaunijā (Kotkas, Rosenberg, 1999; Розенберг, 1980), savukārt par Lietuvu zināms, ka vēl pagājušā gadsimta septiņdesmito gadu vidū kartupeļu sākotnējā sēklaudzēšanā netika pielietotas kartupeļu atveseļošanas un mikropavairošanas metodes (Вазнонене, 1975), bet 1982. gadā Vokē darbu uzsākusi kartupeļu meristēmu laboratorija (Данкунене, 1992).

Vēl 20. gadsimta 80. gados sīkbumbuļu audzēšanas izmaksu samazināšana, pilnveidojot audzēšanas tehnoloģijas, kļuva par vienu no galvenajiem uzdevumiem pētniekiem un ražotājiem pasaulē (Knutson, 1988).

Literatūrā ir aprakstītas vairākas **sīkbumbuļu audzēšanas vides**. Visbiežāk sīkbumbuļi tiek audzēti **slēgtās platībās (siltumnīcās)** dažādos substrātos vai to aizstājējos:

1) **kūdras un kūdru saturošu maisījumu substrātos:**

- kūdrā (Gābere, 2004; Tierno et al., 2014; Radouani, Lauer, 2015; Virtanen, Tuomisto, 2016);
- kūdras maisījumā ar smiltīm (Hagman, 1990; Muro et al., 1997), perlītu (Grigoriadou, Leventakis, 1999; Ozkaynak, Samanci, 2005; Çalışkan et al., 2021), vermikulītu (Bandara, Tanino, Waterer, 1998), mālu (Veeken, Lommen, 2009) un citiem substrātiem;
- dažādos komerciālajos substrātu maisījumos (Pruski et al., 2003; Correa et al., 2008);

2) **hidroponikā** – audzēšana barības vielu šķīdumā kombinācijā ar cietu substrātu, vai arī tikai barības vielu šķīdumā (Lommen, 2007):

- dažādos inertos substrātos – perlītā (Muro et al., 1997; Ritter et al., 2001), smiltīs, grantī, vermikulītā, keramzītā, akmensvatē un citos substrātos (Lommen, 2007);
- nepārtrauktā šķīduma plūsmā plastikāta dobēs bez cieta substrāta pildījuma (Wheeler et al., 1990; Rolot, Seutin, 1999; Factor et al., 2007; Virtanen, Tuomisto, 2016);

- 3) **aeroponikā** (Ritter et al., 2001; Farran, Mingo-Castel, 2006; Chang et al., 2011; Chang et al., 2012; Mateus-Rodriguez et al., 2014; Oraby, Lachance, Desjardins, 2015; Rykaczewska, 2016b; Calori et al., 2018; Balena et al., 2021; Çalışkan et al., 2021).

Vairākas desmitgades kūdra tikusi uzskatīta par augu audzēšanai vispiemērotāko substrātu (vai maisījuma galveno sastāvdaļu) starp organiskas izcelsmes substrātiem, kuru turklāt uzskata par brīvu no dažādiem kultūraugu slimību izraisītājiem. Tomēr gan resursa izsmelšanas dēļ, gan dažādu ar vides saglabāšanu saistīto normatīvo prasību dēļ arvien vairāk aktualizējas nepieciešamība pēc kūdras aizstājējproduktiem, no kuriem visvairāk izpētīti ir dažādi mežistrādes blakusprodukti (skaidas, kompostēta miza), organisko atkritumu komposti, augu šķiedras (kokosriekstu šķiedra) (Schmilewski, 2008). Ļoti daudzsološa alternatīva kūdrai ir kompostēta aitas vilna, tomēr neviens no minētajiem alternatīvajiem substrātiem nepārspēj kūdru, ja runa ir par sīkbumbuļu ražu. Turklāt tiem papildus nepieciešami patogēnu ierobežošanas pasākumi izmantojot gan konvencionālos, gan biopesticīdus (McGrann et al., 2020). Ja vien pilnībā netiek pārtraukta kūdras ieguve, tad ieteicams veidot kūdras un alternatīvo produktu maisījumus (Schmilewski, 2008; McGrann et al., 2020).

Kartupeļu sēklaudzēšanas noteikumi nosaka, ka Latvijā sīkbumbuļus audzē no apkārtējās vides norobežotā vietā (siltumnīcā), tomēr dažādos literatūras avotos ir apskatīta **sīkbumbuļu audzēšana arī atklātā laukā**, izstādot pirms tam aklimatizētus mikroaugus (Leclerc, Donnelly, 1990; Lommen, 1999; Santos, Rodriguez, 2008; Särekanno et al., 2012; Wrobel, 2015). Viens no lielākajiem šādas prakses trūkumiem ir apgrūtināta iespēja saglabāt augu un ražas atbilstību fitosanitārajām prasībām. Piemēram, S. Vrobels (Wrobel, 2014) ir izpētījis, ka lauka apstākļos iestādīti kartupeļu mikroaugu ceri ir ieņēmīgāki pret vīrusiem, salīdzinot ar no sīkbumbuļiem izaudzētiem ceriem. Tomēr tas ir atkarīgs no šķirnes īpatnībām (Boyd et al., 2018). Savukārt nav pārliecinošu pierādījumu tam, ka augi no sīkbumbuļiem ar vīrusiem inficētos vairāk nekā augi no konvencionālās sēklas, kuri ātrāk sasniedz izturību pret vīrusiem uzlabojošo briedumu (Wrobel, 2014; Fulladolsa et al., 2018).

Konvencionālā audzēšanas tehnoloģija. Sīkbumbuļu audzēšanu slēgtās platībās kūdras saturošos substrātos dēvē par konvencionālo sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju un tā izceļas ar augstu atkārtojamību, turklāt prasa relatīvi zemāka līmeņa tehniskās iemaņas, salīdzinot ar audzēšanu hidroponikā (Mateus-Rodriguez et al., 2013). Konvencionālā sīkbumbuļu audzēšana pasaulē tiek pielietota jau vairāk nekā 30 gadus (Miglavs, 1987; Dodds, 1988; Jones, 1991) un ir izplatīta arī šodien (C. W. Kristelijn, personiska komunikācija, 27.09.2016. EAPR Agronomijas un fizioloģijas sekcijas konference Rīgā).

Pirms iestādīšanas pastāvīgajā augšanas vietā, augus mēdz aklimatizēt (Muro et al., 1997; Ahloowalia, 1999; Ozkaynak, Samanci, 2005; Sharma, Kumar, Venkatasalam, 2014; Tierno et al., 2014), tomēr kartupeļu augi var tik stādīti arī bez īpašas aklimatizēšanas (Ranalli et al., 1994; Grigoriadou, Leventakis, 1999; Otroshy, 2006).

Siltumnīcās, kurās audzē sīkbumbuļus, parasti uztur noteiktu temperatūras režīmu, kurš ir labvēlīgs bumbuļu attīstībai. Informācija par temperatūras amplitūdām atšķiras. Kā zemākā nakts temperatūra minēti 10 °C (Veeken, Lommen, 2009), bet dienas temperatūra uzturēta robežās no 18 līdz 25 °C (Veeken, Lommen, 2009; Milinkovic et al., 2012; Tierno et al., 2014). Tomēr ir atrodami arī raksti par pētījumiem, kuri veikti siltumnīcā nekontrolētos gaisa temperatūras apstākļos (Sharma, Kumar, Venkatasalam, 2014).

Mikroaugus iestāda ar rokām dažādos audzēšanas „traukos”, dažādās stādīšanas biežībās. Literatūrā aprakstīto stādīšanas biežību robežas ir ļoti plašas, sākot no 25 augiem uz m² (Roy et al., 1995; Correa et al., 2008; Veeken, Lommen, 2009) līdz pat 800 augiem uz m² (Lommen, Struik, 1992b). Pēdējā gan ir ekstremāli augsta stādīšanas biežība un autori tomēr secina, ka optimālāk būtu lietot biežību 175 augi m⁻².

Sīkbumbuļus izaudzē ar augiem nepieciešamajām barības vielām bagātinātā kūdras substrātā, dažādu izmēru veģetācijas traukos, lielās plēves dobēs (Gābere, 2004; Correa et al., 2008; Mateus-Rodriguez et al., 2013), vai plastmasas kastēs (Veeken, Lommen, 2009).

Tā kā sīkbumbuļi tiek izaudzēti no mikroaugiem un tiem nav mātesbumbuļa kā barības avota augšanas sākumposmā, tad augi ir bagātīgi jānodrošina ar nepieciešamo mēslojumu. Literatūrā atrodams uzskats, ka konvencionālās audzēšanas tehnoloģijas trūkums ir visai veģetācijas sezonai nepietiekošais barības vielu nodrošinājums substrātā (Correa et al., 2008), tomēr pētījumos un praksē parasti tiek nodrošināta augu papildmēslošana.

Saskaņā ar M. Otroši (Otroshy, 2006), vidēji 100 dienas ir normāls sīkbumbuļu audzēšanas periods. Literatūrā ir atrodami dati par ražas novākšanu pēc 70 dienām (Ahloowalia, 1994) līdz pat 121 dienai pēc iestādīšanas (Roy et al., 1995).

Sīkbumbuļu pavairošanas koeficientu jeb no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu skaitu nosaka genotips un audzēšanas tehnoloģija (audzēšanas vide, pielietotais substrāts, barības vielu nodrošinājums, papildus apgaismojums u.c.). Konvencionālajā audzēšanas tehnoloģijā iegūst vidēji 2–5 sīkbumbuļus no mikroauga (Struik, 2007c).

Arī veicot pat nelielas izmaiņas konvencionālās audzēšanas tehnoloģijas ietvaros var iegūt dažādus rezultātus. Piemēram, palielinot mikroaugu stādīšanas biežību, samazinās pavairošanas koeficients, bet pieaug sīkbumbuļu skaits laukuma vienībā (Roy et al., 1995; Abdounour, Roy, Desjardins, 2003; Veeken, Lommen, 2009), savukārt sīkbumbuļu kopējā masa laukuma vienībā var gan pieaugt, gan arī būtiski nemainīties (Lommen, Struik, 1992b; Jin et al., 2013; Tierno et al., 2014; Çalışkan et al., 2021). Sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti var uzlabot, pielietojot dziļāku audzēšanas substrāta slāni (piemēram, audzējot sīkbumbuļus 0.10 m dziļā substrātā, ieguva būtiski vairāk sīkbumbuļu nekā pielietojot substrāta dziļumu 0.05 m (Abdounour, Roy, Desjardins, 2003)), nodrošinot papildus apgaismojumu (Roy et al., 1995; Abdounour, Roy, Desjardins, 2003), paaugstinot CO₂ koncentrāciju siltumnīcas gaisā (Radouani, Lauer, 2015; Ahmadi Lahijani et al., 2019) un pat izvēloties atbilstošāko sezonu sīkbumbuļu audzēšanai (Çalışkan et al., 2021), ja pieejamas apkurināmas siltumnīcas, vai arī valdošie klimatiskie apstākļi nodrošina vairākus audzēšanas ciklus.

Latvijā sīkbumbuļu pavairošanas koeficienta un ražas apjoma ietekmēšanas iespējas līdz šim zinātniskajā literatūrā aprakstītas maz. Izskatot nepublicētus materiālus – pieejamās Agroresursu un ekonomikas institūta Priekuļu pētniecības centra atskaites par zinātniski pētniecisko darbu Priekuļu selekcijas un izmēģinājumu stacijā periodā no 1979. gada līdz 1991. gadam, redzams, ka sākotnēji apkurinātās siltumnīcās visu gadu no plēves veidotos veģetācijas traukos audzētiem sīkbumbuļiem plānoja vidējo ražu 2.7 sīkbumbuļi no auga. Iespēju palielināt pavairošanas koeficientu uzsāka pētīt 1983. gadā⁹, un veica izmēģinājumus ar preparātu TUR (nav precizēts preparāta iedarbības veids), bet pozitīvs efekts netika iegūts. 1986. gadā¹⁰ stacijas zinātnieki saņēma uzdevumu uzlabot audzēšanas paņēmienus, lai varētu saīsināt augstāko kategoriju sēklas materiāla pavairošanas laiku, vēršot uzmanību uz palielinātu sīkbumbuļu skaitu „standarta” frakcijā (neprecizējot izmēru). Sīkbumbuļi tika izaudzēti veģetācijas traukos no plēves, iegūstot vidēji 3.2 bumbuļus no auga ar vidējo masu 6–24 g, bet 1987. gadā¹¹ izmēģināti vairāki sīkbumbuļu audzēšanas paņēmieni – kūdras substrātā plēves podos un plastmasas konteineros dažādās biežībās, un arī augsnē plašos plauktos siltumnīcā. Pētītajās atskaitēs nav precizētas mikroaugu stādīšanas biežības, bet iegūtie rezultāti uzrāda ražu robežās no 93 līdz 185 sīkbumbuļi no m² un vidēji 5 bumbuļi no viena auga. Vēlākos gados papildus izmantota audzēšana grunts siltumnīcās.

No 2001.–2003. gadam Latvijā veikts pētījums par audzēšanas paņēmiena ietekmi un sīkbumbuļu ražu no viena iestādītā auga (Gābere, 2004). Pētījumā izmantotas Latvijā izveidotās šķirnes un mikroaugi iestādīti bagātinātā kūdrā 4 dažādās audzēšanas vidēs – plēves podos (30 augi m⁻²), plastmasas kastēs (40 augi m⁻²), plēves dobēs (45 augi m⁻²) un plēves rulonos

⁹ Зариня М., Робежнице М. (1984). *Отчет о научно-исследовательской работе тема 0.51.17.02 ОИ. Т.1.1. (Atskaite par zinātniski pētniecisko darbu tēmā 0.51.17.02 ОИ. Т.1.1.)*. ЛатвНИИЗиЭСХ. Приekuļи. 18 с.

¹⁰ Miglavs U., Gābere A. (1986). *Atskaite par zinātniski pētniecisko darbu tēmā 0.51.17.02 ОИ. Т.1.1.* Priekuļu selekcijas un izmēģinājumu stacija. Priekuļи. 15 lpp.

¹¹ Miglavs U., Gābere A. (1987). *Atskaite par zinātniski pētniecisko darbu tēmā 0.51.17.02 ОИ. Т.1.1.* Priekuļu selekcijas un izmēģinājumu stacija. Priekuļи. 18 lpp.

(270 augi m⁻²). Pavairošanas koeficientu būtiski ietekmēja šķirne, tomēr visaugstākais tas bija plēves dobēs (no 3.3 šķirnei 'Mutagenagrie' līdz pat 9.2 šķirnei 'Brasla'), bet vairākām šķirnēm netika novērotas būtiskas pavairošanas koeficienta atšķirības, ja izmantoja pirmos 3 audzēšanas paņēmienus. Tikai plēves rulonos visām šķirnēm tika iegūts būtiski mazāks bumbuļu skaits no viena auga (1.2–1.9). Lai arī pētījumā katram audzēšanas paņēmienam bija atšķirīga stādīšanas biežība un papildus efekts uz pavairošanas koeficientu varētu būt arī citiem apstākļiem (substrāta dziļums, augu izvietojums u.c.), tomēr ir vērojama tendence, ka sabiezinātā stādījumā ir iespējams iegūt vairāk sīkbumbuļu no laukuma vienības, tajā pašā laikā nesamazinot pavairošanas koeficientu. Līdzīgus rezultātus agrāk ieguva arī S. G. Viersema un kolēģi (Wiersema et al., 1987), salīdzinot zemas stādīšanas biežības, attiecīgi 24 un 48 augi m⁻². Tomēr A. Gāberes pētījums neļauj izdarīt secinājumu par optimālo stādīšanas biežību, jo robeža starp visaugstāko un otro augstāko stādīšanas biežību ir pārāk liela.

Vairākos pētījumos ir konstatēts, ka ***in vitro* audzēšanas apstākļu izmaiņšana** pēdējā pavairošanas ciklā (Seabrook et al., 1995; Otroshy, 2006; Milinkovic et al., 2012) vai mikroaugu aklimatizēšanas fāzes apstākļu izmaiņšana (Tadesse, Lommen, Struik, 2001a; Lommen, Struik, 2006; Lommen, 2015) var pozitīvi ietekmēt augu attīstību un sīkbumbuļu ražu. Tomēr dažādos pētījumos iegūtie rezultāti ir pretrunīgi. Piemēram, M. Otroši (Otroshy, 2006) konstatējis būtisku pozitīvu pēcietekmi zemākai temperatūrai mikroaugu audzēšanas kamerā, kas bija 16 °C, salīdzinot ar ierastajiem 20–24 °C, vēlāk iegūstot lielākus un smagākus sīkbumbuļus, bet šāds režīms neietekmēja vēlāko sīkbumbuļu pavairošanas koeficientu. Savukārt Bangladešā veikts pētījums par mikroaugu audzēšanu nekontrolētos apstākļos (dabiskais apgaismojums, neregulēta telpas temperatūra un relatīvais mitrums) un nav atrasta šādu apstākļu pēcietekme uz sīkbumbuļu ražu, salīdzinot ar kontroli, bet informācija par ietekmi uz pavairošanas koeficientu nav publicēta (Zapata Arias et al., 2014).

Izmaiņas mikroaugu stādīšanas biežībā ir viens no izplatītākajiem veidiem, kā konvencionālajos audzēšanas apstākļos tiek ietekmēta sīkbumbuļu raža no viena auga un no laukuma vienības (Lommen, Struik, 1992b; Roy et al., 1995; Farran, Mingo-Castel, 2006; Veeken, Lommen, 2009; Calori et al., 2018; Çalişkan et al., 2021). Šo var uzskatīt arī par vienu no lētākajiem ražas ietekmēšanas paņēmieniem, kura pielietošanu lielā mērā nosaka pieejamā platība sīkbumbuļu audzēšanai, mikroaugu iegūšanas izmaksas un tālākais sīkbumbuļu pielietojums.

Kartupeļu sīkbumbuļu audzētāja lēmumu ietekmē pielietotā ražošanas stratēģija. Apkopojot un precizējot Francijas pieredzi sīkbumbuļu audzēšanā (Rolot, 2007) ir iespējams identificēt trīs izplatītākās sīkbumbuļu audzēšanas stratēģijas, kad audzētājs:

- 1) uztur kartupeļu genotipu kolekciju *in vitro*, pavairo un iegūst nepieciešamo mikroaugu daudzumu un izaudzē sīkbumbuļus; šī pieeja visvairāk izplatīta nelielās selekcijas firmās un ir attiecināma arī uz AREI (tādējādi ir vienīgā Latvijā pielietotā stratēģija);
- 2) iegādājas nelielu daudzumu mikroaugu no uzņēmuma vai iestādes, kurš uztur ģenētisko resursu kolekciju *in vitro*, savā laboratorijā pavairo tos līdz nepieciešamajam daudzumam un izaudzē sīkbumbuļus; šo pieeju biežāk pielieto lielāki kartupeļu sēklaudzētāji;
- 3) iegādājas nepieciešamo mikroaugu daudzumu un izaudzē sīkbumbuļus; šāda pieeja piemērota mazākiem sēklaudzētājiem, kuri paši neuztur mikropavairošanas laboratoriju.

Izvēloties piemērotāko mikroaugu stādīšanas biežību siltumnīcā, jāņem vērā arī tas, vai sīkbumbuļu audzētājs tos pārdod, saņemot samaksu par vienību (gabalu) vai masu, vai arī pats iestāda uz lauka, turpinot PB kategorijas sēklas pavairošanu. Otrajā gadījumā svarīgi zināt, kāds ir pavairošanas koeficients konkrēta izmēra sīkbumbuļiem pirmajā lauka paaudzē, ko nosaka sīkbumbuļu lielums. Tāpēc ir nepieciešams zināt šķirnei atbilstošu optimālo mikroaugu stādīšanas biežību, kas ļauj sabalansēt pavairošanas koeficientu, kopējo izaudzēto sīkbumbuļu skaitu un to vidējo izmēru vai masu. Trešajā ražošanas stratēģijā visbūtiskākais aspekts būs pēc iespējas augstāk pavairošanas koeficients. Nav mazsvarīgs arī sīkbumbuļu ražošanas apjoms –

vai ir zināms noteikts ražošanas apjoms vairākiem gadiem uz priekšu, vai arī mērķis ir saražot tik daudz sīkbumbuļu, cik pieejamajā platībā ir iespējams. Otrajā gadījumā audzētājs pielietos mikroaugu stādīšanas biežības, kurās var sasniegt lielāko virs noteikta izmēra esošu sīkbumbuļu skaitu siltumnīcas platības vienībā.

Atkārtotā ražas novākšanas metode. Divdesmitā gadsimta 90. gadu sākumā Nīderlandē veikts plašs pētījums par sīkbumbuļu ražas atkārtotu novākšanu, tomēr vēlāk uzrakstītos rakstos ziņas par šīs metodes pielietošanu nav atrastas. Metode balstās uz to, ka augstas mikroaugu stādīšanas biežības apstākļos no viena auga izaug tikai pāris sīkbumbuļi. Savukārt, no iestādītā auga noņemot izaugušos bumbulītus (vienu vai vairākas reizes sezonā), ir iespējams stimulēt jaunu bumbuļu veidošanos. Augs turpina augt un veidot jaunus bumbuļus (Lommen, Struik, 1992a,b). Tādā veidā, veicot atkārtotu ražas novākšanu, var iegūt ievērojami lielāku sīkbumbuļu skaitu no viena auga. Piemēram, kopējais sīkbumbuļu skaits no m² pēc trīsreizējas ražas novākšanas, ja augu biežība ir 200 augi m⁻², ir bijis pat 3387 līdz 4597 (Lommen, Struik, 1992b). Neskatoties uz to, metodei ir virkne būtisku trūkumu, kuru dēļ tā nav ieviesta ražošanā (Veeken, Lommen, 2009): iegūtie sīkbumbuļi ir ļoti mazi (vidējā masa mazāka par 2 gramiem) un tehnoloģija ir ļoti darbietilpīga.

Sīkbumbuļu uzglabāšana. Sīkbumbuļus parasti uzglabā 2–4 °C temperatūrā (Pruski, 2001; Lommen, 1993a,b; Struik, Lommen, 1999; Rykaczewska, 2016a), ko sasniedz, temperatūru pakāpeniski pazeminot. Ja glabātuvē nodrošināti labvēlīgi apstākļi (relatīvais mitrums ~80%), tad sīkbumbuļus var uzglabāt līdz pat 18 mēnešiem, tomēr daļai genotipu var pasliktināties dīdžība un arī sekojošā raža. Sīkbumbuļu uzglabāšanu 6–7 mēnešu garumā uzskata par nepietiekami ilgu periodu (Lommen, Struik, 1993).

Sākotnējās sēklaudzēšanas tehnoloģiju efektivitātes paaugstināšanas virzieni. Mūsdienās pasaulē arvien turpinās sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju efektivitātes paaugstināšanas pētījumi. Pamatā tas ir saistīts ar augsto tehnoloģiju attīstību, tajā skaitā plašāku aeroponikas tehnoloģijas pielietošanu. Mikroaugu pavairošanas efektivitātes uzlabošanai arvien vairāk tiks mēģināts pielietot automatizētas vai daļēji automatizētas sistēmas. Tomēr pastāv arī pretējs sīkbumbuļu audzēšanas efektivitātes uzlabošanas virziens, kas saistīts ar ražošanas sistēmu vienkāršošanu un tehnoloģijās veicamo ieguldījumu samazināšanu (Millam, Sharma, 2007). Ražošanas sistēmu vienkāršošana un ieguldījumu samazināšana parasti tiek uzskatīta par risinājumu jaunattīstības valstīm, tomēr arī Latvijas apstākļos, kad PB kategorijas sēkla tiek audzēta salīdzinoši nelielā apmērā, efektivitātes uzlabošanas iespējas būtu meklējamas tieši ieguldījumus mazāk prasošajos paņēmienos.

1.5.4. Kartupeļu augšanas un attīstības īpatnības no sīkbumbuļiem

Sīkbumbuļu stādīšana lauka apstākļos PB1 iegūšanai vienmēr saistīta ar risku, pat ja tiek stādīti lielāki sīkbumbuļi. Augi ir jutīgāki pret biotiskajiem un abiotiskajiem stresiem, salīdzinot ar konvencionālo sēklas materiālu (Struik, Lommen, 1999). Lai no sīkbumbuļiem izveidotos labi attīstīts cers, ir nepieciešams vairāk laika (Ewing, Struik, 1992; Struik, Lommen, 1999).

Autori, kuri pētījumos lauka apstākļos izmantojuši sīkbumbuļus, salīdzinoši reti un maz pievērsušies augšanas un attīstības datu uzskaiti un analīzei. Augšanas un attīstības īpatnību apkopošanu apgrūtinā arī ļoti dažāda stādīto **sīkbumbuļu izmērs vai masa**.

Studētajos pētījumos lietoti:

- vidēji 7 g smagi sīkbumbuļi (Melching, Slack, Jones, 1992);
- 0.13–3.99 g, sadalīti sīkākās frakcijās (Lommen, 1994; Lommen, Struik, 1994);
- 1.5–3.4 g (Ranalli et al., 1994);
- 1.4 g, 3.9 g, 8.3 g un 21.6 g (Barry, Clancy, Molloy, 2001);
- 6.00–7.99 g, 8.00–15.99 g, 16.00–18.00 g (Ozkaynak, Samanci, 2006);
- 15–20 g, 20–40 g un 40–60 g (Radouani, Lauer, 2015);

- 20–30 g (Gopal, Kumar, Kang, 2002).

Dažreiz autori sīkbumbuļu šķiro pēc to diametra milimetros, piemēram:

- pielietotas dažādas frakcijas robežās no <5 mm līdz >25 mm (Hossain et al., 2015);
- 15–30 mm (Wrobel, 2014);
- 10 mm un 30 mm lieli sīkbumbuļi (Hagman, 1990).

Ieskatu kartupeļu augu augšanas un attīstības īpatnībās no nelieliem bumbuļiem sniedz arī pētījumi, kuros izmantotie nelieli no kartupeļu botāniskajām sēklām iegūti 1–5 g, 5–10 g, 10–20 g un 40–60 g smagi bumbuļi (Wiersema, Cabello, 1986; Wiersema, 1989).

Dažreiz raksta autori vispār neprecizē sīkbumbuļu izmēru vai masu (Akhtar et al., 2010; Külen et al., 2011).

Neskatoties uz pētījumos izmantoto sīkbumbuļu dažādajiem izmēriem vai masu, kas ietekmē augu attīstību, iezīmējas dažas kopīgas sakarības, salīdzinot sīkbumbuļu augšanu un attīstību ar ceru augšanu un attīstību no konvenciālā sēklas materiāla.

Bumbuļu miera periods. Kartupeļu bumbuļu miera periodu nosacīti iedala divos posmos. Pirmajā posmā bumbuļi neveido asnus arī tad, ja apstākļi asnošanai ir labvēlīgi. Otrajā posmā bumbuļu var sākt veidot asnus, tomēr to nomāc, piemēram, ar zemu uzglabāšanas temperatūru (Gaujers, 1969). Miera periodu visvairāk ietekmē vides temperatūra un genotipa īpatnības, kā arī bumbuļu izmērs. Mazāki bumbuļi parasti ir fizioloģiski jaunāki (Van Ittersum, 1992), tāpēc tiem ir ilgāks miera periods un tas var ietekmēt sadīgšanai nepieciešamo laiku (Hagman, 1990; Van Ittersum, 1992; Lommen, 1994).

Asnošana. Lielāki sīkbumbuļi sāk ātrāk asnot, tomēr, asniem kļūstot garākiem par 6 mm, to augšanas ātrums dažādām frakcijām izlīdzinās. Asnu garumam sasniedzot 8 mm, izzūd atšķirības sadīgšanas laikā, kā arī samazinās laiks no bumbuļu iestādīšanas līdz sadīgšanai (Lommen, 1994; Struik, Lommen, 1999).

Sadīgšana. Augiem no sīkbumbuļiem raksturīga novēlota dīgšana un lēna sākotnējā augšana, bieži nesadīgst visi bumbuļi. Tie ir jutīgāki pret vides stresa faktoriem – salnām, vēju, karstumu u.c. (Struik, Wiersema, 1999). Mazāki sīkbumbuļi parasti sadīgst vēlāk nekā lielāki sīkbumbuļi. Piemēram, J. Hagmanes pētījumā 10 mm lieli sīkbumbuļi sadīga būtiski vēlāk nekā sīkbumbuļi ar 30 mm diametru (Hagman, 1990). Atšķirības sadīgšanas laikā dažādu izmēru sīkbumbuļiem pieaug arī pielietojot lielāku stādīšanas dziļumu (Lommen, 1994). Kontrolētos audzēšanas apstākļos 9 cm dziļumā iestādītiem ļoti maziem sīkbumbuļiem (0.187 g) sadīgšana aizkavējās par 2 nedēļām, salīdzinot ar 3 cm dziļi iestādītiem šī izmēra sīkbumbuļiem. Savukārt 3 g smagiem sīkbumbuļiem atšķirība bija tikai 3 dienas (Struik, Lommen, 1999). Autori uzskata, ka lauka apstākļos dziļāka stādīšana pieļaujama tikai tad, ja sīkbumbuļi ir vismaz 1–2 g smagi un pat 5–10 g smagi.

Literatūrā atrodama informācija par laukdīdzību būtiski atšķiras. P. Barrijs un kolēģi uzskaitījuši 82–100% sadīgušu augu ar būtisku audzēšanas gada ietekmi, bet bez būtiskām atšķirībām starp dažādām sīkbumbuļu frakcijām (Barry, Clancy, Molloy, 2001). V. Lommenas un P. Struika pētījumā nekad nesadīga visi mazākās frakcijas sīkbumbuļi, bet lielākās frakcijas sīkbumbuļu sadīgšana bija atkarīga no audzēšanas gada un sasniedza 84–100% (Lommen, Struik, 1994). Savukārt pētījumos, kuri veikti subtropu un tropu klimata apstākļos, sadīguši ievērojami mazāk augu, piemēram 62–94% atkarībā no frakcijas (Hossain et al., 2015), 49–63% atkarībā no šķirnes (Akhtar et al., 2010).

Sīkbumbuļi parasti sadīgst vēlāk nekā bumbuļi no konvenciālā sēklas materiāla (Wiersema, 1989; Lommen, Struik, 1994; Ranalli et al., 1994). Savukārt J. Melčings un kolēģi fiksējuši būtisku šķirnes un audzēšanas gada ietekmi uz sadīgušo augu skaitu 12–14 dienas pēc iestādīšanas. Atkarībā no šiem faktoriem, tas bija gan būtiski mazāks nekā konvencionālajai sēklai, gan arī būtiski neatšķīrās (Melching, Slack, Jones, 1992). A. Fulladolsas un kolēģu (Fulladolsa et al., 2018) pētījumā secināts, ka 80% augu no sīkbumbuļiem sadīgst 14 dienas vēlāk, salīdzinot ar konvencionālajiem bumbuļiem.

Augsnes segums ar cera lapotni. Salīdzinot ar konvencionālo sēklu, augi no maziem sīkbumbuļiem augsni nosedz būtiski vēlāk (Lommen, Struik, 1994), arī salīdzinot dažādas

sīkbumbuļu frakcijas, redzams, ka augi no lielākiem sīkbumbuļiem augsni nosedz ātrāk (Wiersema, Cabello, 1986; Wiersema, 1989). Pētījumā, kurā visu frakciju sīkbumbuļiem attīstījās tikai viens virszemes stublājs, augi no lielākajiem sīkbumbuļiem augsni tik un tā nosedza ātrāk tāpēc, ka stublāji vairāk sazarojās, ko autori izskaidro ar lielākām barības vielu rezervēm mātes bumbulī (Lommen, Struik, 1994). A. Hossains un kolēģi konstatējuši, ka lapu virsmas laukums pieaug, pieaugot iestādītā sīkbumbuļa izmēram (Hossain et al., 2015).

Ziedēšana. Augi no sīkbumbuļiem sāk ziedēt vidēji 8 dienas vēlāk nekā augi no konvencionālās sēklas bumbuļiem. Attiecīgi arī periods starp ziedēšanas sākumu un beigām sīkbumbuļiem ir garāks, tāpēc augi briedumu sasniedz vēlāk (Fulladolsa et al., 2018).

Stublāju skaits. Augiem no sīkbumbuļiem parasti attīstās būtiski mazāk stublāju nekā augiem no konvencionālā sēklas materiāla (Gopal, Kumar, Kang, 2002; Wrobel, 2015).

1.5.5. Kartupeļu raža no sīkbumbuļiem

Lai pilnībā izpaustos sīkbumbuļa ražas potenciāls, ir nepieciešama gara audzēšanas sezona, tomēr laksti sīkbumbuļu stādījumā parasti tiek novākti samērā agri (augusta sākumā), lai izvairītos no vīrusu infekcijas. Parasti kartupeļu sēklaudzēšanas rajonos laputu aktivitāte sezonas sākumā ir zema, tomēr vēlāk tā pieaug, tāpēc daudzās valstīs ir noteikts lakstu novākšanas laiks kartupeļu sēklaudzēšanas laukos, vai arī to nosaka katru gadu vadoties no laputu monitoringa rezultātiem (Struik, Wiersema, 1999). Tomēr arī garākas sezonas apstākļos raža no sīkbumbuļiem nesasniedz tādu ražas apjomu kā no konvencionālās sēklas (Gopal, Kumar, Kang, 2002; Fulladolsa et al., 2018).

Kā redzams 1.2. tabulā sniegtajā apkopojumā, dažādos pētījumos iegūtos rezultātus absolūtos skaitļos, piemēram, par ražu, ir sarežģīti salīdzināt, jo pētījumos izmantoti dažādi attālumi starp vagām (46–90 cm), dažādi stādīšanas attālumi starp bumbuļiem (2.5–35.0 cm). Arī izmantotie sīkbumbuļu izmēri ir ļoti atšķirīgi (0.13–60.00 g), tāpat atšķirības starp veģetācijas sezonas ilgumu pārsniedz pat 30 dienas.

Zinātniskajā literatūrā iezīmējas dažas sakarības ražas iznākumam no sīkbumbuļiem, kuras dažādos pētījumos mēdz atšķirties.

Dažādiem genotipiem var būtiski atšķirties gan raža, gan bumbuļu skaits un to vidējā masa (Karafyllidis et al., 1997; Gopal, Kumar, Kang, 2002; Ozturk, Yildirim, 2010; Radouani, Lauer, 2015; Rykaczewska, 2016a; Fulladolsa et al., 2018). Sīkbumbuļu izmērs būtiski neietekmē procentuālo ražas sadalījumu frakcijās (Karafyllidis et al., 1997; Georgakis et al., 1997).

No mazākiem sīkbumbuļiem iegūst mazāku ražu un arī mazāku bumbuļu skaitu (Lommen, Struik, 1995; Barry, Clancy, Molloy, 2001; Ozkaynak, Samanci, 2006). K. Rikačevskas pētījumā (Rykaczewska, 2016a) sīkbumbuļu izmērs ražu būtiski neietekmēja, bet bumbuļu skaits bija būtiski atkarīgs no sēklas izmēra. Cerā no mazākiem sīkbumbuļiem veidojās mazāks bumbuļu skaits, bet tiem bija lielāka vidējā masa. J. Hagmane (Hagman, 1990) izpētīja, ka pavairošanas koeficients 10 mm lieliem sīkbumbuļiem ir būtiski mazāks nekā 30 mm lieliem, bet to pavairošanas koeficients savukārt ir mazāks nekā 30 mm lielai konvencionālajai sēklai. Tomēr vienam J. Hagmanes pētījumā izmantotajam genotipam šāda sakarība netika novērota.

Sabiezinot sīkbumbuļu stādījumu, ražas bumbuļu skaits no viena cera samazinās, bet no laukuma vienības iegūtais bumbuļu skaits būtiski pieaug (Karafyllidis et al., 1997; Barry, Clancy, Molloy, 2001; Nistor et al., 2011). Šāda sakarība, kas kopumā raksturīga kartupeļu stādījumam, novērota arī stādot no kartupeļu botāniskajām sēklām izaudzētus stādus lauka apstākļos (Van Dijk et al., 2021a). P. Ranalli un kolēģi pētīja dažādu attālumu starp vagām ietekmi uz ražu no sīkbumbuļiem (Ranalli et al., 1994). Stādīšana veikta divos attālos starp vagām (60 cm un 90 cm) un tiem bija būtiska ietekme uz ražu no sīkbumbuļiem (1.2. tab.). Ievērojot lielāku attālumu starp augiem vagās, bet mazāku starp vagām, gan bumbuļu skaits,

gan raža bija būtiski lielāka, salīdzinot ar lielāku attālumu starp vagām, bet ciešāku stādījumu vagās.

1.2. tabula

**No sīkbumbuļiem iegūtā raža lauka apstākļos
atkarībā no pielietotā audzēšanas paņēmiena**

Attālums		Ceri m ⁻² ###	Iestādīto sīkbumbuļu izmērs, mm vai masa, g	Veģetācijas sezonas garums, dienas	Iegūtā raža		Autors
starp vagām, cm	starp ceriem vagā, cm				bumbuļu skaits no cera, gab.	kg cers ⁻¹	
75	20	6.7	0.13 – 3.99 g	79 – 84	2.6–6.1	0.08–0.31	Lommen, Struik, 1995
50	30	6.7	–	127	8–16	0.30 – 0.46	Ozturk, Yildirim, 2010
50	2.5 – 20	10–80	līdz 25 mm	105 – 117	1.3–6.4	–	Karafyllidis et al., 1997
1) 80 000 bumbuļu ha ⁻¹ 2) 55 000 bumbuļu ha ⁻¹		1) 8 2) 5.5	12–30 mm	86 – 117	1) 4.8–7.2 2) 6.9– 11.5	1) 0.33– 0.50 [#] 2) 0.42– 0.55 [#]	Barry, Clancy, Molloy, 2001
70	12.5 – 20	7.1– 11.4	< 25 mm; 25–45 mm	–	–	0.12–0.50	Nistor et al., 2011
1) 60 2) 90	1) 12.3 2) 6.4	1) 3.6 2) 17.4	1.5–3.4 g	128	–	1) 0.29 2) 0.14	Ranalli et al., 1994
75	35	3.8	15–30 mm	90–111	7.6–8.9	0.60–0.90	Wrobel, 2015
60	20	8.3	20–30 g	120	5.4–12.2	0.11– 0.50	Gopal et al., 2002b
70	30	4.8	6–18 g	82–102	6.7–9.6	0.23–0.36 [#]	Ozkaynak, Samanci, 2006
75	33	4.0	9 – 22 g	144–148	10.1–16.0	0.92–1.12 ^{##}	Rykaczewska, 2016a
80	20	6.3	15– 60 g	120	7.0–10.0	0.26–0.93 [#]	Radouani, Lauer, 2015

[#] publikācijā dati izteikti t ha⁻¹

^{##} >30 mm lielu bumbuļu raža

^{###} promocijas darba autore aprēķins

J. Melčings un kolēģi pētījumā izmantoja 4–18 g smagus sīkbumbuļus, daļu no tiem pārklājot ar mitru kūdras – perlīta maisījumu (iekapsulēšana). Raža no iekapsulētiem sīkbumbuļiem bija par 44% lielāka nekā no neiekapsulētas sēklas. Autori to skaidro ar labvēlīgāku mikroklimatu ap sēklas bumbuļi (siltāks), vienmērīgāku mitruma sadalījumu, līdz ar to straujāku augu attīstību, kas sekmēja lielākas ražas izveidošanos (Melching, Slack, Jones, 1992).

K. Rikačevska (Rykaczewska, 2016a), pētot kartupeļu augu augšanu un ražu no sīkbumbuļiem, konstatējusi ciešu negatīvu korelāciju ($r = -0.9599$) starp ražu un vidējo Seļaninova hidrotermālo koeficientu vērtību audzēšanas sezonā, savukārt sakarība ar bumbuļu skaitu netika konstatēta.

V. Lommena un P. Struiks (Lommen, Struik, 1995) izpētīja, ka ražai no mazāko frakciju sīkbumbuļiem bija lielāks variācijas koeficients starp pētītajiem lauciņiem nekā ražai no lielākiem sīkbumbuļiem.

Latvijā un Baltijā kartupeļu ražas īpatnības no sīkbumbuļiem ir maz pētītas un pieejams ļoti maz publicētu datu. Lietuvā veiktā pētījumā pirmajā lauka paaudzē no sīkbumbuļiem iegūta samērā zema raža (atkarībā no šķirnes 18.6–25.4 t ha⁻¹) un >40% no izaudzētajiem ražas bumbuļiem bijuši vieglāki par 25 g. Tomēr autore nav precizējusi pirmajā lauka paaudzē iestādīto sīkbumbuļu lielumu. Turpmākajos pavairojumos pieauga gan bumbuļu vidējā masa, gan bumbuļu skaits cerā (Данкунене, 1992).

Pirmie dati par ražu no sīkbumbuļiem Latvijā pirmajā lauka paaudzē atrodami nepublicētos materiālos – AREI PPC atskaitēs par zinātniski pētniecisko darbu Priekuļu selekcijas un izmēģinājumu stacijā periodā no 1979. gada līdz 1991. gadam. No viena šāda sēklas bumbuļa 1982. gadā iegūti vidēji 6.2 ražas bumbuļi¹². Priekuļos 1985. gadā veikts izmēģinājums¹³, kurā ar kontroli (40–60 g smaga sēkla) salīdzināti 10–20 mm un 20–30 mm lieli sīkbumbuļi, iestādīti divos dažādos dziļumos (4–6 cm un 6–8 cm) lauka apstākļos. Visos variantos iegūtā raža bija mazāka nekā kontrolei, bet lielākā raža (43–92% no kontroles) iegūta no 20–30 mm lieliem sīkbumbuļiem, kuri bija stādīti 6–8 cm dziļumā. Lauka izmēģinājums turpināts arī 1986. gadā, bet informācija par vēlākiem pētījumiem nav atrasta.

U. Miglavs aprakstījis līdz 25 g smagu sīkbumbuļu stādīšanu vagās 0.4 m attālumā kopā pa diviem bumbuļiem, bet bumbuļi smagāki par 25 g stādīti pa vienam vagās 0.3 m attālumā, bet attālums starp vagām bijis 0.70 m, tomēr dati par iegūto ražu, izmantojot šādu tehnoloģiju, nav aprakstīti (Miglavs, 1987).

Kopsavilkums. Kopš 20. gadsimta otrās puses sīkbumbuļu ražošana visā pasaulē ir kļuvusi par būtisku kartupeļu sēklaudzēšanas sistēmu sastāvdaļu un vīrusbrīvu sīkbumbuļu izaudzēšana daudzu valstu, tajā skaitā Latvijas, oficiālajās sēklaudzēšanas sistēmās kļuvusi par galveno paņēmieni, ar kura palīdzību iegūst vīrusbrīvu pirmsbāzes sēklas materiālu. Sīkbumbuļus izaudzē no klonu mikropvairošanas ceļā iegūtiem vīrusbrīviem augiem, pielietojot konvencionālo (audzēšana kūdru saturošos substrātos), hidroponikas vai aeroponikas metodi. Latvijā pielieto visā pasaulē par rutīnu atzīto konvencionālo tehnoloģiju. Literatūrā publicēti dati par mikroaugu stādīšanas biežību no 25 līdz pat 800 mikroaugiem m⁻². Pastāv sakarība, ka, palielinot stādīšanas biežību, pieaug sīkbumbuļu skaits m⁻², bet pieauguma temps ir būtiski atkarīgs no genotipa. No viena mikroauga iegūst vidēji 2–5 sīkbumbuļus, tomēr ir publicēti dati gan par mazāku, gan par lielāku sīkbumbuļu skaitu. To ietekmē ne tikai genotips un mikroaugu stādīšanas biežība, bet arī substrāta dziļums, apgaismojums un citi faktori. Līdz ar mikroaugu stādīšanas biežības palielināšanu, samazinās no viena mikroauga iegūstamo sīkbumbuļu skaits. Pētījumos nav gūti pārliecinoši pierādījumi, ka apstākļu modificēšana mikroaugu pēdējā pavairošanas ciklā būtiski uzlabotu sekojošo sīkbumbuļu skaitu siltumnīcā. Ceri no sīkbumbuļiem sadīgst vēlāk nekā ceri no konvencionālā sēklas materiāla. Arī stublāju skaits un ražas bumbuļu skaits ir mazāks. Salīdzinot dažādas sīkbumbuļu frakcijas, mazākajām parasti ir sliktāks agronomiskais sniegums lauka apstākļos, tomēr ir publicēti dati arī par to, ka šāda ietekme nav novērota. Būtiska ir arī genotipa ietekme.

1.6. Sīkbumbuļu audzēšanas efektivitātes analīze

Drīz pēc klonu mikropavairošanas metožu ieviešanas kartupeļu sēklaudzēšanā par vienu no svarīgiem uzdevumiem kļuva augu pavairošanas un sīkbumbuļu audzēšanas izmaksu samazināšana, vienlaicīgi meklējot veidus, kā uzlabot to pavairošanas koeficientu pirmajā lauka paaudzē (Knutson, 1988).

Sīkbumbuļu audzēšanas agronomiskā efektivitāte. Zinātniskajā literatūrā visvairāk ir aprakstīta agronomiskās efektivitātes vērtēšana, apskatot aspektus, kuri saistīti ar sīkbumbuļu

¹² Anspoka M., Robežniece M. (1982). *Darba pārskats par tēmu 1.1. / 01.1.1. Priekuļu selekcijas un izmēģinājumu stacija. Priekuļi.* 4 lpp.

¹³ Zariņa M., Robežniece M. (1985). *Pārskats par zinātniski pētniecisko darbu tēmā 0.51.17.02 01. T1.1. Latvijas ZPI Priekuļu selekcijas un izmēģinājumu stacija. Priekuļi.* 9 lpp.

pavairošanas koeficientu siltumnīcā, sīkbumbuļu skaitu vai ražu platības vienībā atkarībā no audzēšanas tehnoloģijas.

Tāpat samērā plaši ir pētīts sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos, kas ietver gan attīstības, gan augšanas vērtējumu. Turpinot pirmsbāzes sēklas materiāla pavairošanu lauka apstākļos, ir ļoti būtiski sasniegt pēc iespējas augstāku sēklas pavairošanas koeficientu lauka apstākļos, kas ir no viena iestādītā sēklas bumbuļa iegūto ražas bumbuļu skaits (Wiersema, 1987; Hagman, 1990; Struik, Wiersema, 1999), vai attiecība starp iestādīto masu un iegūtās ražas masu (Struik, Wiersema, 1999), vai iegūto ražas bumbuļu skaits no vienas iestādītās sēklas masas vienības (Lommen, Struik, 1995).

Atsevišķos pētījumos sīkbumbuļu agronomiskais sniegums izvērtēts sīkbumbuļu sēklas potenciāla griezumā, bet tas attiecas jau uz otro pirmsbāzes sēklu paaudzi. Sēklas potenciālu izsaka kā platību (piemēram, ha), kuru var apstādīt ar sēklas bumbuļiem, kuri izauguši konkrētā ar sīkbumbuļiem apstādītā platības vienībā (piemēram, ha) (Rykbest, Charlton, 2004). K. Rikbosta un B. Čarltona pētījumā aprēķināts, ka sēklas potenciāls 13.6 g smagiem sīkbumbuļiem ir 7.94 ha, 4.9 g smagiem – 6.56 ha, bet 1.2 g smagiem – 3.40 ha (ja 25 cm attālumā tiek stādīti vidēji 57 g smagi bumbuļi, attālums starp vagām 90 cm). Aprēķinot pavairošanas koeficientu izteiktu kā iegūtas ražas masu attiecībā pret iestādītās sēklas masu, K. Rikbosts un B. Čarltons ieguva ļoti lielu atšķirību starp sīkbumbuļiem ar dažādu masu. Piemēram, pavairošanas koeficients 13.6 g smagiem sīkbumbuļiem bija 2.3 reizes mazāks nekā 4.9 g smagiem sīkbumbuļiem, bet atšķirība ar 1.2 g smagiem sīkbumbuļiem bija pat 4.9 reizes.

Līdzīgas sakarības, kad mazākiem sīkbumbuļiem ir lielāks pavairošanas koeficients kā masa pret masu, bet mazāks sēklas potenciāls, novērojis arī D. Hasanpanahs un kolēģi (Hasanpanah, Azimi, Azizi, 2011).

Nemot vērā augstāku pavairošanas koeficientu izteiktu kā masu pret masu, mazāki sēklas bumbuļi parasti ir dārgāki. Pavairošanas koeficients kartupeļiem parasti tad ir 5–10 (zemāks kā citām sugām). Tas samazinās, pielietojot mazāku stādīšanas attālumu, jo pieaug sīko ražas bumbuļu proporcija. Latvijas apstākļos pavairošanas koeficients kartupeļiem ir 1:5 līdz 1:4 (Turka, Lazda, 1990).

Tomēr pētītie literatūras avoti nesniedz priekšstatu par sakarībām starp sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju (promocijas darba kontekstā – mikroaugu stādīšanas biežības) un sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos. Zināšanas par dažādās tehnoloģijās izaudzētu sīkbumbuļu sniegumu lauka apstākļos ļautu uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitātes vērtēšanu.

Sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskā efektivitāte. Lai arī pasaulē ir veikti pētījumi par sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijām un augu attīstību un ražu no sīkbumbuļiem pirmajā lauka paaudzē, tomēr lielākie sasniegumi ražošanas efektivitātes uzlabošanā parasti rodas privātajā sektorā, līdz ar to liela daļa informācijas par ekonomiskās efektivitātes vērtējumu netiek izplatīta (Mateus-Rodriguez et al., 2013).

Atsevišķos gadījumos vērtējums sniegts, neminot veikto darbību vērtību naudas izteiksmē. Nīderlandē A. Vīkens un V. Lommena, pētot mikroaugu stādīšanas biežības ietekmi uz sīkbumbuļu ražu, veikuši arī to audzēšanas efektivitātes analīzi (Veeken, Lommen, 2009). Sīkbumbuļus parasti pārdod gabalā, sašķirotus frakcijās, un lielāki sīkbumbuļi parasti maksā dārgāk. Ja tos nav iespējams pārdot par augstāku cenu, tad ražošanas izmaksas ir iespējams samazināt, saīsinot augstā stādīšanās biežībā (pētījumā tie ir 62.5 augi un 142.8 augi m⁻²) audzētu mikroaugu veģetācijas sezonu. Savukārt samazinot mikroaugu stādīšanas biežību no 145.8 līdz 25 augiem m⁻², sīkbumbuļu skaits no viena iestādītā mikroauga pieauga 2 reizes, kā arī pieauga to vidējā masa. Autori secina, ka tādējādi ir iespējams 2 reizes samazināt mikroaugu pavairošanai nepieciešamo darbaspēka un materiālu ieguldījumu. Savukārt sīkbumbuļu skaits no 1 m² siltumnīcas samazinājās par 1/3, samazinoties stādīšanas biežībai. Līdz ar to, lai iegūtu to pašu sīkbumbuļu skaitu pie stādīšanas biežības 25 augi m⁻² kā stādot 145.8 augus m⁻², nepieciešama 3 reizes lielāka siltumnīcas platība, un tas palielina sīkbumbuļu ražošanas izmaksas. Rezultātā autori secina, ka tas, vai stādīšanas biežības samazināšana ir ienesīga,

atkarīgs no tā, vai ir būtiski samazināt ar mikroaugu vērtību saistītās izmaksas (iegūstot pēc iespējas vairāk sīkbumbuļu no katra mikroauga), vai tomēr efektīvāk izmantot sīkbumbuļu audzēšanas telpu platību. Lēmumu par mikroaugu biežību siltumnīcā ietekmē arī tas, vai ir iespējams iegūt augstāku cenu par lielākiem sīkbumbuļiem (Veeken, Lommen, 2009).

J. Ginters un kolēģi ASV pētījuši sīkbumbuļu audzēšanas izmaksas atkarībā no šķirnes (Guenthner et al., 2014), sadalot tās fiksētajās un mainīgajās.

Darbaspēka un personāla izmaksas veidoja 74% no kopējām izmaksām (Latīņamerikā tikai 17–29% (Mateus-Rodriguez et al., 2013)), bet mikroaugu pavairošanai lietotie reaģenti un mēslojums siltumnīcā – tikai 6% no izmaksām. Pētījuma rezultātā autori konstatējuši būtisku ražošanas pašizmaksas atšķirību dažādām šķirnēm (0.16 ASV dolāri), ņemot vērā no laukuma vienības iegūto sīkbumbuļu skaitu.

Literatūras studiju laikā plašākā informācija par sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējumu atrasta rakstā par pētījumu, kuru veikuši J. Mateus-Rodrigess un kolēģi vairākās Latīņamerikas valstīs (Mateus-Rodriguez et al., 2013). Autori izvērtējuši fiksētās izmaksas (ēkas, iekārtas u.c.) un mainīgās izmaksas (fitosanitārās analīzes, ūdensapgāde, elektrības, iekārtu uzturēšanas izmaksas, sīkbumbuļu uzglabāšanas izmaksas un personāla izmaksas), pēc tam aprēķinot viena sīkbumbuļa pašizmaksu dažādās sīkbumbuļu audzēšanas sistēmās, ieskaitot konvencionālo tehnoloģiju un aeroponiku. Pētījumā noteikti arī bruto ieņēmumi, peļņa un izmantojot šos datus, aprēķināts pielietotās tehnoloģijas ienesīgums.

Tā kā iegūtie absolūtie skaitļi materiālu un darbaspēka izmaksu dēļ nav salīdzināmi ar cenām Latvijā un arī Eiropā, tad mūsu apstākļos noderīgas var būt vispārīgas atziņas par ražošanas efektivitāti. Piemēram, autori uzskaita kvantitatīvos rādītājus, kuri raksturo sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti. Tie ir šādi: iespējamais ražošanas ciklu skaits gadā, siltumnīcu platība, efektīvā (apstādāmā) siltumnīcu platība, mikroaugu stādīšanas biežība (augim^{-2}), vēsturiskais pavairošanas koeficients (sīkbumbuļi no mikroauga), vēsturiskais vidējais sīkbumbuļu skaits sezonā un sīkbumbuļu skaits no m^2 sezonā.

Izvērtējot visus pētītos aspektus, autori secina, ka lielāka ekonomiskā atdeve ir tehniski sarežģītākām tehnoloģijām (piemēram, aeroponika), tomēr tehniski drošāka un robustāka ir konvencionālā tehnoloģija, tāpēc vismaz sākotnējie iesaka paralēli lietot abas tehnoloģijas.

Noslēgumā autori uzsver, ka nav lielas nozīmes augstai sīkbumbuļu ražošanas efektivitātei, ja vēlāk ir slikta audzēšanas tehnoloģija uz lauka.

Parciālā budžeta metode un robežieņēmumu likmes aprēķina metode piedāvā vienkāršāku ekonomiskās efektivitātes aprēķina algoritmu, ja nepieciešams noskaidrot ieņēmumus no audzēšanas tehnoloģijas maiņas (Horton, 1982; Perrin et al., 1988; Evans, 2005; Santos, Rodriguez, 2008), bet nav pieejami ekonomikas speciālista pakalpojumi. Metode sīkāk tiks apskatīta 2.4. apakšnodaļā.

Kopsavilkums. Zinātniskajā literatūrā plašāk vērtēta sīkbumbuļu audzēšanas agronomiskā efektivitāte, kas ietver sīkbumbuļu pavairošanas koeficienta siltumnīcā vērtējumu, analīzi par sīkbumbuļu skaitu vai masu platības vienībā atkarībā no audzēšanas tehnoloģijas. Atsevišķi vērtēts sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos.

Izšķiršanās par efektīvāko mikroaugu stādīšanas biežību ir atkarīga no tā, vai ir būtiski iegūt pēc iespējas vairāk sīkbumbuļu no mikroauga, vai tomēr efektīvāk izmantot sīkbumbuļu audzēšanas telpu platību.

Pētījuma laikā tika atrasts maz literatūras avotu, kuros analizēta sīkbumbuļu audzēšanas ekonomiskā efektivitāte. Plašākais pētījums sevī ietver daudzus aprēķinus, kuri var būt pārāk sarežģīti vienkāršāku lēmumu pieņemšanai. Parciālā budžeta metode un robežieņēmumu likmes aprēķina metode piedāvā vienkāršāku ekonomiskās efektivitātes aprēķina algoritmu, ja nepieciešamas noskaidrot ieņēmumus no audzēšanas tehnoloģijas maiņas

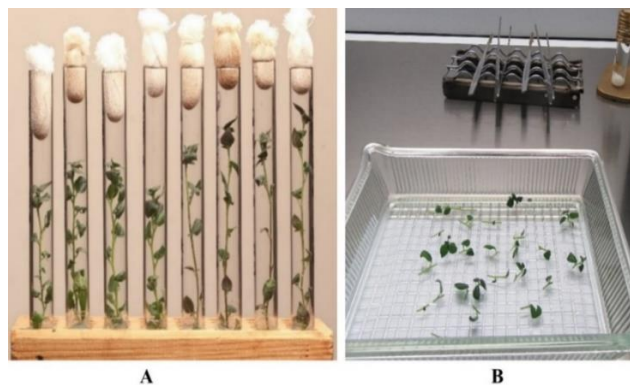
2. PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA

Izmēģinājumi veikti no 2014. gada līdz 2017. gadam Agroresursu un ekonomikas institūta Priekuļu pētniecības centrā (AREI PPC) (koordinātas 57°18' Z un 25°20' A). Mikroaugu stādīšanas biežības paaugstināšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums 2014.–2016. gadā veiktajiem izmēģinājumiem (2.1. apakšnodaļa) veikts 2020. un 2021. gadā.

2.1. Kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības ietekmes uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem siltumnīcā novērtēšanas metodika

Izmēģinājumi veikti trīs gadus (2014., 2015. un 2016. gadā) AREI Priekuļu pētniecības centra PBTC¹⁴ kategorijas sēklas materiāla jeb sīkbumbuļu audzēšanai paredzētajā plēves seguma siltumnīcā. Pētījumā izmantotas trīs dažāda agrinuma kartupeļu šķirnes, kuras izveidotas AREI – ‘Monta’ (agra), ‘Prelma’ (vidēji agra) un ‘Mandaga’ (vidēji vēla), un kuras ir vienas no jaunākajām šķirnēm, kurām uzsākta sēklaudzēšana. Detalizēta informācija par šķirnēm sniegta 1. pielikumā.

Mikroaugu pavairošana. Pētījumā izmantoti no nekarantīnas vīrusiem PVY, PVS, PVM, PVX, PVA un PLRV, viroīda PSTV un karantīnas vīrusiem AVB-O, APLV, APMoV, PVT, PBRSV brīvi mikroaugi, kuri pastāvīgi tiek uzturēti *in vitro* kolekcijā AREI Kartupeļu atveseļošanas laboratorijā Priekuļos. Paraugu testēšana veikta Valsts augu aizsardzības dienestā. Pētījumam nepieciešamais mikroaugu (2.1. att.) daudzums iegūts, pavairojot tos ar mikrospraudeņiem, kas ir 1.0–1.5 cm gari starpmezglu posmi, katrs no tiem satur vismaz vienu lapu ar aksilāro pumpuru (2.1. att.). Vidēji ik pēc trīs līdz četrām nedēļām mikropavairošanu atkārtoja, līdz ieguva 4140 mikroaugus jeb 1380 mikroaugus katrai šķirnei. Vidējais pavairošanas koeficients bija 4 mikrospraudeņi no mikroauga.



2.1. att. Kartupeļu mikroaugi *in vitro* (A) un kartupeļu mikrospraudeņi (B)

Mikropavairošanai izmantoja neorganisko sāļu barotni pēc Murašiges un Skūga (Murashige, Skoog, 1962) jeb MS barotni bez pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS (5. pielik.). Barotnei papildus pievienots cukurs 30 g L⁻¹. Kā želējošā viela 2014. un 2015. gadā izmantots pārtikas rūpniecībā izmantojamais agars, 6.5 g L⁻¹, bet 2017. gadā augu audu kultūrām piemērots augu agars (*Plant agar*) no Duchefa Biochemie (Nīderlande) 6.5 g L⁻¹.

Mikroaugi audzēti augu audu kultūru telpā vidēji 22–24 °C temperatūrā, nodrošinot tiem 16/8 h fotoperiodu zem pamīšus izvietotām 35 W luminiscentajām spuldzēm ar vēsi baltu

¹⁴ *Kartupeļu sēklaudzēšanas un sēklas kartupeļu tirdzniecības noteikumi.* No: LikumiLV – Latvijas Republikas tiesību akti. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 25. martā]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/279044-kartupelu-seklaudzesanas-un-seklas-kartupelu-tirdzniecibas-noteikumi>

gaismu (dažādi ražotāji) un luminscentajām spuldzēm ar sārtu gaismu (Osram fluora). Apgaismojuma jauda augu līmenī bija vidēji 8.0 W m^{-2} .

Izmēģinājuma iekārtojums siltumnīcā. Sagatavotos trīs šķirņu mikroaugus stādīja četros dažādos biežības (MSB) variantos:

- 63 mikroaugi m^{-2} jeb MSB63;
- 95 mikroaugi m^{-2} jeb MSB95;
- 142 mikroaugi m^{-2} jeb MSB142;
- 184 mikroaugi m^{-2} jeb MSB184.

Izmēģinājums iekārtots, izmantojot dalīto lauciņu shēmu trīs atkārtojumos. Pirmās pakāpes randomizēti izvietotos lauciņus veidoja šķirnes (trīs šķirnes jeb trīs varianti), bet otrās pakāpes lauciņus veidoja mikroaugu stādīšanas biežības (četras MSB jeb četri varianti), kas bija randomizēti izvietotas pirmās pakāpes lauciņa ietvaros. Lai izslēgtu malas efektu, kā arī samazinātu konkurenci starp dažādām stādīšanas biežībām, ap katru pētāmo otrās pakāpes lauciņu (kastī) tika izvietotas kastes ar attiecīgās šķirnes mikroaugiem stādītiem attiecīgajā biežībā (2. pielik.), līdz ar to vienā otrās pakāpes lauciņā ietilpa piecas kastes. Kopā veikts izmēģinājums ar 12 variantiem (trīs šķirnes $\times$ četras MSB).

Augu audzēšanai izmantoto kastu izmērs bija $0.55 \text{ m} \times 0.35 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$ (garums $\times$ platums $\times$ augstums) jeb virsmas platība – 0.19 m^2 . Tām bija gaisu un ūdens caurlaidīgi sāni un pamatne. Kastēs iepildītā substrāta dziļums bija 0.13 m , tādējādi substrāta tilpums kastē bija 0.025 m^3 .

Lai nodrošinātu to, ka katram mikroaugu MSB variantam katrā kastē un katrā atkārtojumā būtu vienāds attālums starp augiem, kā arī mikroaugu izvietojums būtu vienāds, tika izmantota A. Vīkena un V. Lommenas (Veeken, Lommen, 2009) aprakstītā metode, pielāgojot to šajā pētījumā izmantoto kastu un plānoto mikroaugu biežību nodrošināšanas vajadzībām. Kastēs tika izveidotas 35 iedobes (septiņas iedobes piecās rindās), kuru dziļums bija 0.08 m , bet diametrs 0.02 m . Attālums starp iedobēm bija 0.07 m . Iedobju veidošanai izmantots speciāli konstruēts marķieris (2.2. att.), kura ārējo malu izmērs atbilda kastes iekšējam izmēram.



2.2. att. Marķieris regulāra izvietojuma iedobju veidošanai kūdrā

Lai iegūtu augstāko MSB jeb 184 mikroaugus m^{-2} , tos stādīja katrā izveidotajā iedobē jeb 35 mikroaugus vienā kastē. MSB142 ieguva, otrajā un trešajā iedobju rindā stādot trīs mikroaugus, starp tiem ievērojot vienādu attālumu, bet pārējās rindās iestādot mikroaugus katrā no iedobēm, kas kopā bija 27 mikroaugi kastē. Lai iegūtu MSB95, pirmajā, trešajā un piektajā rindā stādīja četrus mikroaugus (katrā otrajā iedobē), bet otrajā un ceturtajā rindā stādīja 3 mikroaugus (divās malējās un vidējā iedobē), vienā kastē kopā bija 18 mikroaugi. Mazākajā biežībā MSB63 vienā kastē bija 12 mikroaugi, kurus stādīja tikai pirmajā, trešajā un piektajā rindā, katrā rindā četrus augus, ievērojot vienādu attālumu starp augiem. Augu izvietojumu katrā MSB skatīt 2.3. att.



2.3. att. **Mikroaugu izvietojums atkarībā no to stādīšanas biežības.** MSB63 ir 63 mikroaugi m^{-2} , MSB95 ir 95 mikroaugi m^{-2} , MSB142 ir 142 mikroaugi m^{-2} , MSB184 ir 184 mikroaugi m^{-2} , stāvkklis fiksēts deviņtajā dienā pēc stādīšanas

Mikroaugu stādīšana, augu kopšana siltumnīcā un ražas novākšana. Mikroaugus ar pincetes palīdzību izņēma no mēģenēm un no saknēm notīrīja barotnes paliekas.

Mikroaugus stādīja iepriekš sagatavotā un pilnībā samitrinātā kūdras substrātā, kurš bija sabērsts plastmasas kastēs. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Prelma’ tika nodrošināts 77–79 dienas ilgs veģetācijas periods, bet šķirnei ‘Mandaga’ tas bija 90–94 dienas ilgs (2.1. tab.).

2.1. tabula

Mikroaugu stādīšanas un lakstu novākšanas datums, veģetācijas perioda ilgums, 2014.–2016. g.

Šķirne	Stādīšanas datums	Lakstu novākšanas datums	Veģetācijas ilgums, dienas
2014. gads			
Monta	23. aprīlis	11. jūlijs	79
Prelma		10. jūlijs	78
Mandaga		22. jūlijs	90
2015. gads			
Monta	22. maijs	07. augusts.	77
Prelma		07. augusts	77
Mandaga		24. augusts	94
2016. gads			
Monta	24. maijs	10. jūlijs	78
Prelma		11. jūlijs	79
Mandaga		24. augusts.	92

Substrātu sagatavoja sfagnu kūdrai pievienojot šādus makroelementus g m^{-3} tīrvielā: N 300; P 240, K 240; Ca 370; S 180 Mg 50 g, un šādus mikroelementus g m^{-3} tīrvielā: B 3.6; Mo 2.4; Mn 1.9; Cu 1.8; Fe 1.1 un Zn 0.48 g. Substrāta pH KCl tika noregulēts līdz vidējai vērtībai 5.3, izmantojot dolomītmiltus un kaļķi.

Augus laistīja saskaņā ar AREI PPC pieņemto praksi jeb pirmās četras nedēļas katru dienu, turpmāk laistīšanu samazināja līdz trīs reizēm nedēļām. Sākoties augu novecošanai, samazināja arī laistīšanas apjomu un substrātu uzturēja viegli mitru.

Trīs reizes audzēšanas sezonā pielietoja ārpussakņu mēslošanu, smidzinot augus ar šķīdumu, kur vienam litram ūdens pievienoti 1.34 g KH_2PO_4 , 1.34 g KNO_3 , 1.34 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0.7 g MgSO_4 un 0.9 g L^{-1} „Yara Vita” Rexolin APN mikroelementu (B, Mn, Cu, Mo, Fe, Zn) maisījuma. Pirmais smidzinājums tika veikts sestajā nedēļā pēc mikroaugu iestādīšanas, nākamie divi smidzinājumi veikti vidēji ik pēc 10 dienām.

Lai preventīvi ierobežotu laputu (*Aphis* spp.) izplatību, ārpussakņu mēslojumam pievienoja insekticīdu Proteus OD (tiakloprīds, 100 g L^{-1} , deltametrīns, 10 g L^{-1}) 3.7 mL L^{-1} .

Tā kā siltumnīca netiek apkurināta, tad veģetācijas sezonas sākums bija atkarīgs no apstākļiem katra konkrētā gada pavasarī. Vēdināšana siltumnīcā nodrošināta caur logiem, kuri izvietoti grīdas līmenī abās siltumnīcas pusēs, kā arī caur griestu lūku, kura stiepjas visā siltumnīcas garumā. Šāda vēdināšana nenodrošina pietiekami labu mikroklimata kontroli, tāpēc audzēšanas apstākļus jāuzskata tikai par daļēji kontrolētiem. Karstākajās vasaras dienās gaisa temperatūra siltumnīcā pakāpās līdz 40 °C un pat vairāk, kas nav labvēlīgi kartupeļu attīstībai. Tomēr tas atbilst faktiskajai sīkbumbuļu ražošanas situācijai AREI PPC.

Ražu novāca ar rokām, izmantojot sīkbumbuļu novākšanai konstruētu galdu ar sietu, uz kura izber kastes saturu (kūdra kopā ar sīkbumbuļiem, 3. pielik.).

Veiktie novērojumi. Pēc ražas novākšanas sīkbumbuļi šķiroti šādās frakcijās pēc to masas gramos:

- 1) < 3.00 g;
- 2) 3.00–4.99 g jeb f1;
- 3) 5.00–9.99 g jeb f2;
- 4) 10.00–19.99 g jeb f3;
- 5) ≥20.00 g jeb f4.

Noteikts sīkbumbuļu skaits un masa katrā no frakcijām katram variantam katrā atkārtojumā. Atsevišķās frakcijās iegūtie dati summēti, lai noteiktu sīkbumbuļu skaitu un ražu no kastes.

Dati par sīkbumbuļu skaitu un ražu izmantoti, lai aprēķinātu vidējo >3g smagu sīkbumbuļu skaitu no viena iestādītā mikroauga jeb pavairošanas koeficientu, sīkbumbuļu skaitu no m^2 , sīkbumbuļu ražu no 1 m^2 un viena sīkbumbuļa vidējo masu.

Sīkbumbuļu pavairošanas koeficientu aprēķināja, izmantojot (2) formulu:

$$P_{\text{koefS}} = \frac{SbSk}{MaS}, \quad (2)$$

kur P_{koefS} – pavairošanas koeficients siltumnīcā;

$SbSk$ – ≥3 g smagu sīkbumbuļu skaits vienā kastē;

MaS – mikroaugu skaits vienā kastē attiecīgajā variantā (MSB).

Sīkbumbuļu skaitu 1 m^2 aprēķināja, izmantojot (3) formulu:

$$SbS = \frac{SbSk}{Km}, \quad (3)$$

kur SbS – ≥3 g smagu sīkbumbuļu skaits 1 m^2 ;

$SbSk$ – ≥3 g smagu sīkbumbuļu skaits kastē;

Km – kastes izmērs jeb 0.19 m^2 .

Sīkbumbuļu ražu no 1 m^2 aprēķināja, izmantojot (4) formulu:

$$SbM = \frac{SbMk}{Km}, \quad (4)$$

kur SbM – ≥3 g smagu sīkbumbuļu raža kg m^{-2} ;

SbMk – ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu raža, kg, vienā kastē;
Km – kastes izmērs jeb 0.19 m^2 .

Viena sīkbumbuļa vidējo masu aprēķināja, izmantojot (5) formulu:

$$SbAW = \frac{SbM}{SbS}, \quad (5)$$

kur SbAW – viena sīkbumbuļa vidējā masa, g;
SbM – ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu raža, kg m^{-2} ;
SbS – ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu skaits no 1 m^2 .

Ražas uzskaitē un aprēķini veikti katram atkārtojumam atsevišķi un pēc tam iegūti vidējie dati katram variantam.

Aprēķinos izmantoti dati tikai par vairāk nekā 3 g smagiem sīkbumbuļiem. Tas saistīts ar to, ka konkrētajos ražošanas apstākļos mazus (< 3 g) sīkbumbuļus nav iespējams pietiekami kvalitatīvi uzglabāt, jo lielās virsmas laukumā: tilpuma attiecības dēļ tie iztvaiko intensīvāk nekā lielāki bumbuļi (Lommen, 1993b; Struik, Lommen, 1999) un savīst. Šī iemesla dēļ sīkbumbuļi, kuri vieglāki par 3 g, AREI PPC netiek izmantoti tālākai pavairošanai.

Noteiktos apstākļos (piemēram, garāka audzēšanas sezona) sīkbumbuļi < 3 g varētu pārsniegt šo masas robežu un papildināt kopējo izmantojamo sīkbumbuļu skaitu un ražu. Tomēr esošajos ražošanas apstākļos to skaita izvērtējums kopējā datu analīzē nav nozīmīgs, jo < 3 g sīkbumbuļu daudzumu būtiski neietekmēja audzēšanas gads ($p=0.149$ vidēji visām šķirnēm un MSB), kā arī nebija būtiskas atšķirības starp atkārtojumiem ($p=0.419$ vidēji visām šķirnēm un MSB). Līdz ar to konkrētajos ražošanas apstākļos to īpatsvars ir relatīvi stabils. Dati par kopējo sīkbumbuļu skaitu atkarībā no šķirnes un MSB pievienoti 10. pielikumā.

2.2. Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos

Pētījums par dažādu frakciju sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos (ASLA) veikts trīs gadus (2014., 2015. un 2016. gadā) AREI PPC. Izmēģinājumi veikti kartupeļu selekcijas un šķirņu salīdzināšanas vajadzībām iekārtotajos integrētās audzēšanas laukos. Attiecīgi, pētījuma izmēģinājumos pielietoja AREI PPC kartupeļu selekcijā un izmēģinājumos vispārīgi izmantoto audzēšanas tehnoloģiju.

2.2.1. Lauka izmēģinājumu metodika un audzēšanas apstākļi

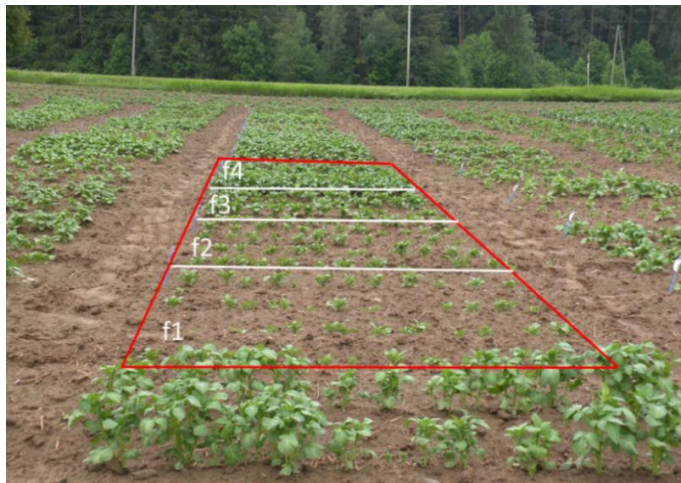
Pētījuma varianti un to sakārtojums. Lauka izmēģinājumā pētīja divus faktoros: šķirne ('Monta', 'Prelma', 'Mandaga') un sīkbumbuļu frakcija (SbF):

- 1) 3.00–4.99 g jeb f1;
- 2) 5.00–9.99 g jeb f2;
- 3) 10.00–19.99 g jeb f3;
- 4) ≥ 20.00 g jeb f4.

Tādējādi kopā bija 12 pētījuma varianti. Lauka izmēģinājums tika iekārtots pēc dalīto lauciņu metodes. Pirmās pakāpes lauciņi bija šķirnes, bet otrās pakāpes lauciņi bija SbF.

Pirmajā pētījuma gadā (2014. g.) materiāla trūkuma dēļ pielietoti trīs atkārtojumi, bet otrajā (2015. g.) un trešajā (2016. g.) gadā – četri atkārtojumi. Gan pirmās, gan otrās pakāpes lauciņi katrā no pētījuma gadiem tika randomizēti – otrās pakāpes lauciņi pilnībā randomizēti pirmās pakāpes lauciņa ietvaros, bet pirmās pakāpes lauciņi – bloka jeb atkārtojuma ietvaros (2.4. att. un 4. pielik.).

Attālums starp vagām bija 0.70 m, attālums starp sīkbumbuļiem vagā bija 0.20 m. Katrā lauciņā iestādīti 48 sīkbumbuļi ($12 \text{ sīkbumbuļi} \times 4 \text{ vagas}$), kopējais lauciņa lielums bija 6.72 m^2 . Lai izslēgtu konkurenci starp ceriem no dažādām sīkbumbuļu frakcijām, kā arī lai novērstu malas efektu, novērojumi un ar ražu saistītie mērījumi veikti lauciņa divu vidējo vagu ceriem, neņemot vērā arī pa vienam malējam ceram katras vagas galā. Līdz ar to uzskaites lauciņa izmērs bija 2.8 m^2 , ko veidoja 20 ceri.



2.4. att. Variantu sakārtojuma paraugs, 2016. gads

3. atkārtojums, pirmās pakāpes lauciņš Nr. 9, šķirne 'Mandaga' (attēlā ar sarkanu ierāmējumu); četri otrās pakāpes lauciņi atdalīti ar baltām svītēm, f1–f4 apzīmē sīkbumbuļu frakciju katrā no otrās pakāpes lauciņiem

Sīkbumbuļu sagatavošana stādīšanai, stādīšana un novākšana. Lauka izmēģinājumos izmantoja PBTC sēklaudzēšanas siltumnīcā veiktajā pētījumā (2.1. apakšnodaļa) iegūtos sīkbumbuļus. Pirmajā pētījuma gadā izmantoti 2013. gadā sēklaudzēšanas vajadzībām izaudzētie sīkbumbuļi.

Vidēji 3°C temperatūrā uzglabātajiem sīkbumbuļiem nolauza asnus, ja tādi bija izveidojušies. Pēc tam sīkbumbuļus plānā slānī ievietoja seklās kastēs un uz divām nedēļām novietoja dabiskajā apgaismojumā apmēram 15 līdz 17°C temperatūrā. Tas veicināja gaismas asnu veidošanos. Diedzēšana nepieciešama, jo tā var uzlabot augu attīstību no sīkbumbuļiem, īpaši tās agrajos etapos un pozitīvi ietekmēt arī stublāju skaitu un sekojošu ražu (Struik, Lommen, 1999). Sīkbumbuļus stādīja un novāca ar rokām. Stādīšanas un veģetācijas pārtraukšanas (veģetācijas pārtraukšana ir vai nu lakstu novākšana, vai arī bumbuļu novākšana bez iepriekšējas lakstu novākšanas) datumi atspoguļoti 2.2. tab.

Agrotehniskie pasākumi. Visos gados izmēģinājumi iekārtoti velēnu podzolētā augsnē, kuras granulometriskais sastāvs bija mālsmits, ar vidēju līdz augstu nodrošinājumu ar fosforu un kāliju, un skābu līdz vidēji skābu, tomēr kartupeļu audzēšanai atbilstošu, augsnes reakciju (2.3. tab.). Priekšaugi bija ziemāju labības (ziemas rudzi un ziemas tritikāle).

Lai nodrošinātu nepieciešamos barības elementus (2.3. tab.), laukā izklidēti minerālmēsli (NPK 12:11:18) 500 kg ha^{-1} jeb tūrvielā NPK 60:55:90 kg ha^{-1} . Tam sekoja augsnes dziļārdināšana ar dziļārdinātāju Väderstad CS 350 un vagu veidošana ar vagotāju OKBN-8.

Pirms herbicīdu pielietošanas, lauku vienu (2016. gadā) un divas (2014. un 2015. gadā) reizes vagoja. Īsi pirms augsnes herbicīda smidzināšanas veidoja augstās vagas, lai smidzināmais šķidrums neskartu sadīgušos kartupeļu cerus. Nezāļu ierobežošanai 2014. gadā pielietoja herbicīdus Mistral 700 WG (metribuzīns, 700 g kg^{-1}) 0.5 kg ha^{-1} un Pantera 4EC (tefurilkvizalofops-P, 40 g L^{-1}) 1.5 L ha^{-1} ; 2015. gadā Mistral 700 WG 0.5 kg ha^{-1} un Titus 25F (rimsulfurons, 250 g kg^{-1}) 0.03 kg ha^{-1} , bet 2016. gadā veikta viena apstrāde, izmantojot Titus 25F 0.03 kg ha^{-1} .

2.2. tabula

**Kartupeļu sīkbumbuļu stādīšanas un veģetācijas pārtraukšanas datums,
veģetācijas perioda ilgums, 2014.–2016. g.**

Šķirne	Stādīšanas datums	Veģetācijas pārtraukšana	Veģetācijas ilgums, dienas	GDD °C.*
2014. gads				
Monta	15. maijs	14. augusts	91	1369
Prelma		15. augusts	92	1381
Mandaga		4. septembris	112	1616
2015. gads				
Monta	19. maijs	5. augusts	78	971
Prelma		6. augusts	79	989
Mandaga		21. augusts	94	1232
2016. gads				
Monta	16. maijs	4. augusts	80	1161
Prelma		4. augusts.	80	1161
Mandaga		22. augusts	98	1414

*augšana grādu dienas, °C.

2.3. tabula

**Augsnes agroķīmiskie rādītāji un pielietotā mēslojuma
norma lauka izmēģinājumos, 2014.–2016. g**

Rādītāji	2014	2015	2016
Augsnes tips	Velēnu podzolētā augsne		
Augsnes granulometriskais sastāvs	Mālsmilts		
Augsnes reakcija, pH KCL	4.5	5.0	5.3
Organiskās vielas saturs augsnē, g kg ⁻¹	21	21	18
Augiem viegli izmantojamā K ₂ O saturs augsnē, mg kg ⁻¹	189	142	143
Augiem viegli izmantojamā P ₂ O ₅ saturs augsnē, mg kg ⁻¹	164	150	120
Pielietotā barības elementu norma, kg ha ⁻¹ : N 60 kg ha ⁻¹ ; P ₂ O ₅ 55 kg ha ⁻¹ ; K ₂ 90 kg ha ⁻¹			

Preventīvai laputu un kartupeļu lapgrauža (*Leptinotarsa decemlineata*) ierobežošanai 2014. gadā veiktas divas stādījuma apstrādes ar insekticīdu. Pirmajai apstrādei izmantots Karate Zeon 5 CS (lambda – cihalotrīns, 50 g L⁻¹) 0.1 L ha⁻¹, otrā apstrāde veikta ar Proteus OD (tiakloprīds, 100 g L⁻¹; deltametrīns, 10 g L⁻¹) 0.6 L ha⁻¹. Savukārt nākamajos divos gados katrā veica vienu apstrādi ar insekticīdu, kas bija Karate Zeon 5 CS 0.1 L ha⁻¹ 2015. gadā un Proteus OD 0.6 L ha⁻¹ 2016. gadā.

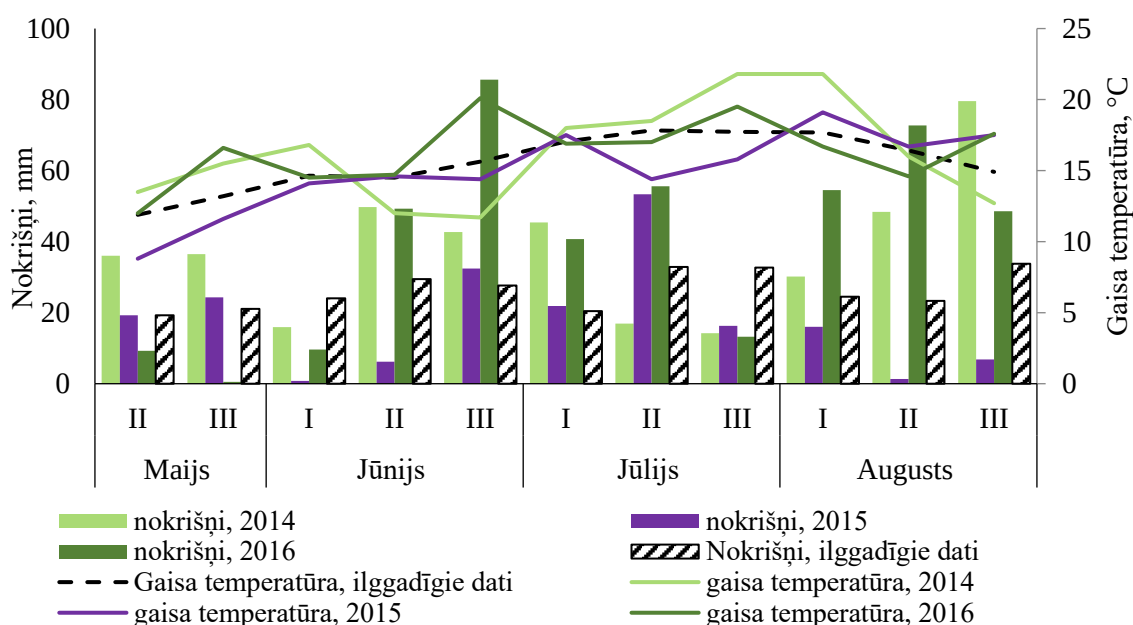
Lapu slimību (kartupeļu lakstu puve (ier. *Phytophthora infestans*) un kartupeļu lapu sausplankumainības (ier. *Alternaria* spp.)) izplatību ierobežoja, smidzinot sistēmas, pieskares un sistēmas-pieskares iedarbības fungicīdus. Visos izmēģinājuma gados pirmo smidzinājumu veica ar Ridomil Gold MZ 68 WG (metalaksils-M (mefenoksams), 40 g kg⁻¹; mankocebs, 640 g kg⁻¹), 2014. un 2016. gadā fungicīdu pielietoja vēl vienu reizi, 2014. gadā izmantoja preparātu Gloria (fenamidons, 75 g L⁻¹; propamokarba hidrohlorīds, 375 g L⁻¹) 2 L ha⁻¹, bet 2016. gadā Infinito (propamokarbs, 523.8 g L⁻¹; propamokarba hidrohlorīds, 625 g L⁻¹; fluopikolīds, 62.5 g L⁻¹). Trīs stādījuma apstrādes lapu slimību ierobežošanai veiktas

2015. gadā, kad preparātam Ridomil Gold sekoja smidzinājums ar Gloria 2 L ha⁻¹, bet sezonas beigu daļā izmantoja preparātu Širlans 500 s.k. (fluazinams, 500 g L⁻¹) 0.4 L ha⁻¹, kura smidzināšanas laikā veģetācija turpinājās vairs tikai šķirnei 'Mandaga'.

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums lauka izmēģinājuma laikā. Dati par meteoroloģiskajiem apstākļiem pētījuma vietā saņemti no Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centra Priekuļu meteoroloģisko novērojumu stacijas dati. Novērojumu dati un to atšķirības no ilggadīgajiem novērojumiem (turpmāk – norma) atspoguļoti 2.5. att. Novērotās temperatūras un nokrišņu summas apvienotas hidrotermālā koeficienta aprēķinā, izmantojot (6) formulu pēc J. Čirkova (Čirkovs, 1978).

$$HTK = \frac{\sum r}{0.1 \sum t} \quad (6)$$

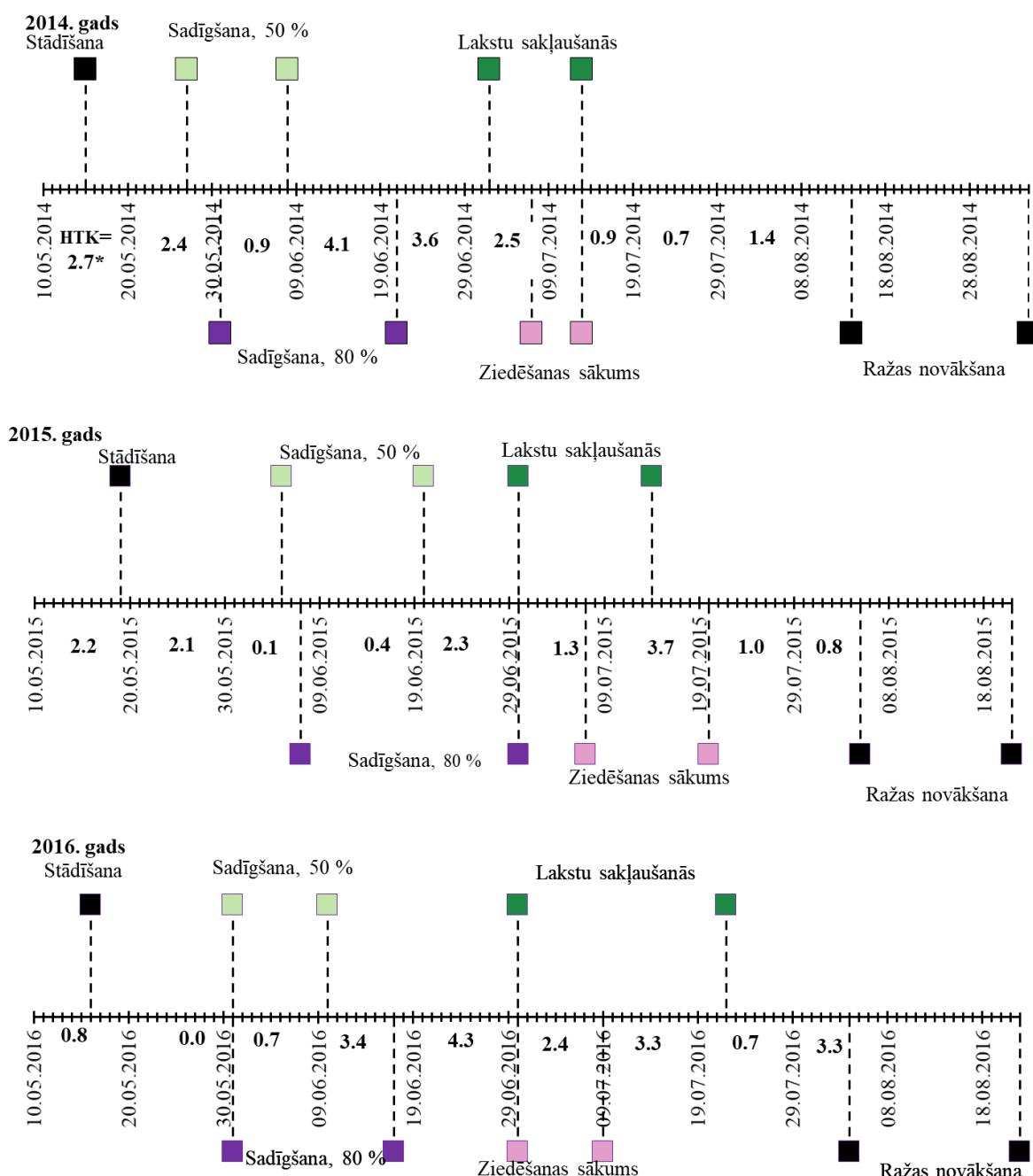
kur $\sum r$ ir nokrišņu summa attiecīgajā periodā,
 $\sum t$ ir aktīvās temperatūras (≥ 10 °C) summa šajā pašā periodā



2.5. att. Dekādes vidējā temperatūra un nokrišņu daudzums 2014.–2016. gada veģetācijas sezonās

*ilggadīgo novērojumu dati par 1981.–2010. gadu

Audzēšanas sezonas sākums 2014. gadā bija labvēlīgs straujai augu sadīgšanai. Maija otrajā un trešajā dekādē, kā arī jūnija pirmajā dekādē vidējā diennakts temperatūra bija augstāka kā ilggadīgie dati (vidēji attiecīgi 13.5 °C; 15.5 °C un 16.8 °C jeb 2.3; 2.7 un 2.9 °C virs normas, 6. pielik.), kas veicināja samērā strauju augu attīstību. Nokrišņu daudzums maija otrajā un trešajā dekādē pārsniedza normu un veidoja 36.0 un 36.5 mm (195% un 174% no normas, 7. pielik.), bet jūnija pirmajā dekādē nolija 15.9 mm lietūs un tas veidoja vien 67% no normas, tomēr, lai arī šajā dekādē HTK bija mazāks par 1 (2.6. att.), maija pēdējās dekādēs augsne bija uzkrājis pietiekoši daudz mitruma. Turklāt jūnija pirmajā dekādē tika novērotas atsevišķas lietusskāzes, piemēram, 5. jūnijā pēc lauka apstrādes ar herbicīdu nolija 14 mm, kas labvēlīgi ietekmēja herbicīda darbību.



2.6. att. Hidrotermālais koeficients (HTK), 2014. –2016. g.

* turpmāk horizontāli novietotie skaitļi uz laika skalas apzīmē HTK attiecīgajā mēneša dekādē līdz augusta pirmajai dekādei. Norādītajiem attīstības posmiem pirmais stabiņš apzīmē posma sākumu, kad pirmo reizi novērota parādības iestāšanās neatkarīgi no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, bet otram stabiņš apzīmē pēdējo datumu, kad novērota parādības iestāšanās kādai no šķirnēm un sīkbumbuļu frakcijai. Horizontālā ass ir laika skala.

Jūnija otrajā un trešajā dekādē sekoja ievērojami vēsāki un nokrišņiem bagāti laikapstākļi, vidējai gaisa temperatūrai esot vidēji 12.0 un 11.7 °C (attiecīgi 2.8 un 3.9 °C zem normas) un nolīstot attiecīgi 49.7 un 42.7 mm lietus (190 un 149%, salīdzinot ar normu). Rezultātā reizēm uz lauka izveidojās plašas ūdens lāmas. Samērā vēsais un arī pārmitrais jūnijs (otrajā un trešajā dekādē HTK bija attiecīgi 4.1 un 3.6) aizkavēja augu tālāko attīstību, jo HTK vērtības, kuras abos virzienos ievērojami pārsniedz optimumu, izmaina fenoloģisko fāžu ilgumu (Radzka, Rymuza, Lenartowicz, 2015). Pēc tam attīstību veicināja siltais jūlijs. Jūlija vidējā temperatūra

bija 19.5 °C (2.6 °C pārsniedza normu), īpaši silta bija jūlija trešā dekāde (vidēji 21.8 °C), kad temperatūras norma tika pārsniegta pat par 4.6 °C. Mēneša pirmajā dekādē nokrišņi vēl pārsniedza normu (149%), jo nolija 45.4 mm lietūs (HTK=2.5), bet pēc tam kļuva ievērojami sausāks (16.9 mm nokrišņu otrajā dekādē un 14.2 mm – trešajā). Lai arī HTK jūlija otrajā un trešajā dekādē bija mazāks par 1 (2.6. att.), tomēr netika novērota augsnes izžūšana agrākos periodos valdošo lietavu dēļ. Augusta pirmā dekāde bija silta (vidēji 21.9 °C jeb 4.7 °C virs normas) un mēreni mitra (31.2 mm nokrišņu jeb 98% no normas), vēlāk kļuva vēsāks un ievērojami pieauga nokrišņu daudzums (165% otrajā dekādē (48.4 mm) un 285% (79.6 mm) no normas trešajā dekādē). Lietainās dienas nedaudz aizkavēja ražas novākšanu, un jau sezonas laikā lietusgāzu un sekojošā sausuma dēļ sablīvētā augsne darbu apgrūtināja.

Atšķirībā no 2014. gada, 2015. gada maija otrā puse raksturojās ar gaisa temperatūru, kura bija zemāka par normu. Maija otrās dekādes vidējā temperatūra bija 8.8 °C (3.1 °C zem normas), bet otrajā dekādē tā bija vidēji 11.6 °C (1.5 °C zem normas), bet nokrišņi bija normas robežās (attiecīgi 100% un 115% jeb 19.3 un 24.3 mm). Lai arī kartupeļus stādīja otrās dekādes noslēgumā, tomēr līdz tam valdošais vēsais un mitrais laiks neveicināja augsnes iesilšanu. Kartupeļu sadīgšana pēc iestādīšanas vēsajā augsnē, kā arī valdot pazeminātai gaisa temperatūrai, aizkavējās. Jūnija pirmajā un otrajā dekādē gaisa temperatūra bija tuva normai, vidēji tā bija 14.1 un 14.6 °C (attiecīgi 0.6 °C zem normas un 0.1 °C virs normas), tomēr mazais nokrišņu daudzums pirmajā (0.8 mm) un otrajā (6.2 mm) jūnija dekādēs (attiecīgi 3% un 21% no normas), kad valdīja pārmērīgs sausums (HTK attiecīgi 0.1 un 0.4, 2.6. att.) ievērojami aizkavēja augu attīstību. Tikai mēneša trešajā dekādē nokrišņu daudzums pieauga līdz 32.4 mm (117% no normas) un sasniedza kartupeļu attīstībai labvēlīgo HTK 2.3, tā veicinot augu attīstību, īpaši ziedēšanas sākumā, kad uzsākās jaunās ražas veidošanās. Turpmākie meteoroloģisko apstākļi 2015. gada veģetācijas sezonā bija labvēlīgi kartupeļu augšanai un attīstībai, pietiekošais mitruma daudzums jūlija pirmajā (21.9 mm) un otrajā (53.3 mm) dekādēs (attiecīgi 107% un 162% no normas) veicināja jauno ražas bumbulu piebriešanu. Relatīvi sausākās jūlija beigās (16.3 mm jeb 50% no normas) un augusta sākums (16 mm jeb 65%) sekmēja ražas nobriešanu.

Pēdējā pētījuma gadā jeb 2016. gada audzēšanas sezonā, maija otrā un trešā dekāde bija salīdzinoši siltākas nekā 2015. gadā, diennakts vidējā temperatūra otrajā dekādē atbilda normai un bija 12 °C, bet trešajā dekādē gaisa temperatūra jau bija 16.6 °C, pārsniedzot normu par 3.4 °C. Lai gan nokrišņu daudzums šajā periodā bija ļoti zems (otrajā dekādē 9.3 mm jeb 48% no normas, bet trešajā dekādē vien 0.5 mm jeb 2% no normas, līdz ar to HTK bija attiecīgi 0.8 un 0.0), mitruma saturs augsnē bija pietiekošs, pateicoties ievērojamajam nokrišņu daudzumam aprīlī (vidēji mēnesī 231% no normas). Līdzīgi apstākļi turpinājās arī jūnija pirmajā dekādē (temperatūra atbilstoša normai, bet nokrišņu daudzums 9.6 mm jeb 40% no normas, HTK 0.7), tomēr temperatūra, kas bija augstāka nekā 2015. gadā šajā periodā, 2016. gadā kopumā veicināja samērā strauju sadīgšanu, salīdzinot ar 2015. gadu. Turpmāk nokrišņu daudzums katrā no dekādēm ievērojami pārsniedza normu (jūnija trešajā dekādē, kad nolija 85.6 mm lietūs, nokrišņu daudzums sasniedza pat 309% no normas un HTK bija 4.3, 2.6. att.). Raksturīgas bija arī lietusgāzes, kuru rezultātā starp vagām veidojās lāmas un notika augsnes sablīvēšanās, šī iemesla dēļ aizkavējās lakstu sakļaušanās vagās. Piemēram, 27. jūnijā diennakts laikā nolija 57.8 mm lietūs. Tikai jūlija trešajā dekādē iestājās relatīvi sausāks periods, kad nolija 13.2 mm jeb 40% no normas. Gaisa temperatūra kopumā bija tuva normai un ievērojamās novirzes novērotas tikai jūnija un jūlija trešajās dekādēs (attiecīgi 20.1 °C jeb 4.5 °C virs normas un 19.5 °C jeb 1.8 °C virs normas), gaisa temperatūras pazemināšanās augusta pirmajās divās dekādēs un pēc tam paaugstināšanās mēneša beigās būtiski neietekmēja jau izveidojušos ražu, bet lielais augsnes mitrums apgrūtināja tās novākšanu un uzglabāšanu.

2.2.2. Lauka izmēģinājumā veiktie novērojumi un ražas analīze

Augu sadīgšanas uzskaitē veikta divas līdz trīs reizes nedēļā. Par sadīgušiem uzskatīja augus, kuriem virs augsnes ir redzams stublājs un sāk veidoties pirmā lapa (atbilst 09.–10. AE pēc BBCH skalas). Katru variantu uzskatīja par sadīgušu, kad virs augsnes bija redzami 50% no augiem (MacKerron, Waister, 1985; Haverkort, 2018). Lai novērtētu tālāko augu attīstību, sadīgšanas uzskaiti turpināja un fiksēja datumu, kad bija sadīguši 80% no augiem. Gadījumos, kad uz lauka nevarēja precīzi novērtēt laiku, kad bija sadīguši 50 un 80% augu, saskaņā ar W. Lommen un P. Struiku (Lommen, Struik, 1994), veica lineāro interpolāciju, lai aprēķinātu datumu, kad parādība varēja būt iestājusies. Kopējo sadīgušo augu skaitu noteica vidēji 50. dienā pēc stādīšanas.

Augu sadīgšanas raksturošanai izmantoja termālā laika vienības – augšanas grādu dienās (GDD). Veicot aprēķinu, tajā neieskaitīja stādīšanas dienas un novērojuma veikšanas dienas temperatūras.

Vienas kalendāra dienas GDD vērtības aprēķināšanai izmantoja vienādojumu saskaņā ar G. Makmasteru un V. Vilhelmu (McMaster, Wilhelm, 1997) ((7) formula).

$$GDD = \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right] - T_{base} , \quad (7)$$

kur T_{max} – diennakts maksimālā gaisa temperatūra, °C;

T_{min} – diennakts minimālā temperatūra;

T_{base} – bāzes temperatūra sugai (2 °C diedzētiem kartupeļiem (MacKerron, Waister, 1985)).

Lakstu sakļaušanās vagās fiksēta tad, kad bija vērojama pilnīga sakļaušanās (28. AE jeb 90% augu vagās saskaras) un izteikta dienās pēc 50% sadīgšanas (DAE).

Ziedēšanas sākums noteikts 60. un 61. AE jeb, kad bija atvērušies līdz 10% ziedu, un izteikts DAE.

Divas nedēļas pirms ražas novākšanas uzskaitīts **virszemes stublāju skaits** katram ceram katrā variantā un aprēķināts vidējais virszemes stublāju skaits katram variantam.

Ražas analīzes veikšanai katra varianta katra atkārtojuma bumbuļus sašķiroja piecās frakcijās, izmantojot sietu ar kvadrātveida acīm:

- 1) < 25 mm;
- 2) 25–35 mm;
- 3) 35–45 mm;
- 4) 45–55 mm;
- 5) 55–65 mm (lielāki bumbuļi ražā nebija).

Noteica katrā frakcijā iegūto ražu kg m⁻² un bumbuļu skaitu m⁻², iegūtos datus izmantoja gan kopējā bumbuļu skaita un ražas noteikšanai (izmantoja, analizējot ražas sadalījumu frakcijās), gan par 25 mm lielāku bumbuļu skaita un ražas noteikšanai. Tā kā no sīkbumbuļiem iegūst pirmās paaudzes pirmsbāzes sēklas, tad robežvērtība 25 mm ir būtiska, jo šis ir starptautiski pieņemtais mazākais pieļaujamais izmērs sēklas kartupeļu bumbuļiem (UNECE Standard S-1, 2018).

Ražas bumbuļu skaits cerā un pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PKoefL). Šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas potenciālu parāda ražas bumbuļu skaits, kas iegūts no katra sadīgušā sīkbumbuļa, kuru aprēķināja, >25 mm lielu ražas bumbuļu kopējo skaitu lauciņā dalot ar sadīgušo sīkbumbuļu skaitu. Savukārt reālo situāciju audzēšanas apstākļos, kāda tā var rasties dažādu apstākļu ietekmē (zema laukdīdzība pārlietas sīkbumbuļu dehidratācijas dēļ, novecošanās, kā arī citu fizioloģisku un arī vides faktoru ietekmes rezultātā), parāda ražas bumbuļu skaits, kas iegūts no katra iestādītā sīkbumbuļa (iegūst, dalot >25 mm lielu ražas bumbuļu kopējo skaitu lauciņā ar lauciņā iestādīto sīkbumbuļu skaitu).

Ražas bumbuļu vidējā masa noteikta, ņemot vērā tikai >25 mm lielus bumbuļus un dalot bumbuļu ražu m^{-2} ar bumbuļu skaitu m^{-2} .

Ražas sadalījumu frakcijās, atkarībā no sīkbumbuļa izmēra izvērtēja, izmantojot K. Z. Trevisa izstrādāto metodi (Travis, 1987), ar kuru nosaka vidējo bumbuļu izmēru mm, kuram ir visaugstākā sastopamība ražas datu kopā, un aprēķina izkliedi ap šo vidējo rādītāju. Aprēķini veikti katram variantam, izmantojot datus par bumbuļu skaitu un kopējo masu katrā iegūtās ražas frakcijā.

Vidējo bumbuļu izmēru, kuram ir vislielākais biežums datu kopā, noteica, izmantojot (8) formulu:

$$\mu = \sum \frac{f_{\mu p}}{n}, \quad (8)$$

kur μ – vidējais bumbuļu izmērs mm, kuram ir vislielākais biežums datu kopā (moda);
 μp – attiecīgi vidējais izmērs mm katram atsevišķam paraugam atsevišķā datu kopas variantā;
 f – μp vērtības parādīšanās biežums (frekvence);
 n – datu kopas lielums.

Izkliedi ap μ vērtību noteica kā standartnovirzi atbilstoši (9) formulai.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(\mu p - \mu)^2}{n}}, \quad (9)$$

kur σ – standartnovirze;
 μ – vidējais bumbuļu izmērs mm, kuram ir vislielākais biežums datu kopā (moda);
 μp – attiecīgi vidējais izmērs mm katram atsevišķam paraugam variantā;
 f – μp vērtības parādīšanās biežums (frekvence);
 n – datu kopas lielums.

Variācijas koeficientu ražas sadalījumam frakcijās aprēķināja atbilstoši (10) formulai.

$$CV_r = \frac{\sigma}{\mu p} \times 100, \quad (10)$$

kur CV_r – variācijas koeficients ražai, %;
 σ – standartnovirze;
 μp – mm vērtība katram atsevišķam paraugam variantā (saskaņā ar (8) un (9) formulām).

2.3. Lauka vērtības aprēķināšana sīkbumbuļiem

Sīkbumbuļu lauka vērtības koncepts apvieno siltumnīcā un lauka apstākļos iegūtos agronomiskos datus. To var izteikt gan kā lauka vērtību siltumnīcas laukuma (platības) vienībai (LaV_{pl}), gan kā lauka vērtību vienam iestādītajam mikroaugam (LaV_{ma}). Lauka vērtība aprēķināta katrai siltumnīcā pielietotajai MSB.

Lauka vērtība no viena siltumnīcas kvadrātmetra iegūtiem sīkbumbuļiem. Lauka vērtība no 1 m^2 siltumnīcā iegūtiem sīkbumbuļiem (LaV_{pl}) ir kopējais par 25 mm lielāku ražas bumbuļu skaits lauka apstākļos, kurš iegūts no visiem trīs un vairāk gramus smagiem vienā siltumnīcas kvadrātmetrā izaudzētiem sīkbumbuļiem. Tās aprēķināšanai izmantota (11) formula.

$$LaV_{pl} = \sum_{i=1}^4 N_{ipl} \cdot PkoeffL_i, \quad (11)$$

kur LaV_{pl} – lauka vērtība siltumnīcas laukuma vienībai (1 m^2), kurā mikroaugi stādīti noteiktā MSB;

N_{ipl} – noteiktā MSB iegūto sīkbumbuļu skaits no 1 m^2 katrā ražas frakcijā ($f_1 - f_4$);

$PkoeffL_i$ – katrai sīkbumbuļu frakcijai ($f_1 - f_4$) aprēķinātais pavairošanas koeficients lauka apstākļos.

Lauka vērtība vienam mikroaugam, kurš siltumnīcā iestādīts noteiktā stādīšanas biežībā. Lauka vērtība vienam mikroaugam, kurš siltumnīcā iestādīts noteiktā stādīšanas biežībā (LaV_{ma}), ir kopējais par 25 mm lielāku bumbuļu skaits lauka apstākļos, kurš iegūts no visiem trīs un vairāk gramus smagiem sīkbumbuļiem, kuri izaudzēti no viena noteiktā stādīšanas biežībā iestādīta mikroauga. To aprēķināja, izmantojot (12) formulu.

$$LaV_{ma} = \sum_{i=1}^4 N_{ima} \cdot PkoeffL_i, \quad (12)$$

kur LaV_{ma} – lauka vērtība vienam noteiktā biežībā iestādītam mikroaugam;

N_{ima} – noteiktā MSB iegūto sīkbumbuļu skaits no mikroauga katrā ražas frakcijā ($f_1 - f_4$);

$PkoeffL_i$ – katrai sīkbumbuļu frakcijai ($f_1 - f_4$) aprēķinātais pavairošanas koeficients lauka apstākļos.

2.4. Mikroaugu stādīšanas biežības ekonomiskās efektivitātes izvērtēšana

Sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas (mikroaugu stādīšanas biežības) izmaiņu ekonomisko efektivitāti 2014.–2016. gadā veiktajiem izmēģinājumiem (2.1. apakšnodaļa) vērtēja 2020. un 2021. gadā, izmantojot 2020. gadā AREI PPC veikto pašizmaksu aprēķinu un informāciju par produkcijas cenām.

Lai novērtētu sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ekonomisko efektivitāti, izmantota parciālā budžeta (*partial budget*) metode un robežieņēmumu analīze (*marginal analysis*) jeb robežieņēmumu likmes (*marginal return rate*) (RiL) noteikšana, tehnoloģijas izmaiņas vērtējot pakāpeniski (*in stepwise manner*). Šo metožu kopumu kā lēmumu pieņemšanas rīku par ražošanas tehnoloģijas maiņu iesaka Starptautiskais kukurūzas un kviešu selekcijas centrs (CIMMYT) (Perrin et al., 1988). Metode pirmo reizi aprakstīta jau 1975. gadā un, balstoties uz šo pieeju, rokasgrāmatu jaunu tehnoloģiju izmēģinājumu vērtēšanai kartupeļu audzēšanas saimniecībās izstrādājis arī Starptautiskais kartupeļu centrs (CIP) (Horton, 1982).

Mikroaugu un sīkbumbuļu pašizmaksa AREI PPC tiek aprēķināta, izmantojot P. Espinozas un kolēģu (Espinoza, Crissman, Hibon, 1996) izstrādāto metodi (pašizmaksas aprēķināšanai izmantotās matricas paraugs skatāms 29. un 30. pielikumos). Pašizmaksas aprēķinu AREI PPC veic relatīvi nelielam ražošanas apjomam, kas ir vidēji $24\,000$ mikroaugu pavairošana un $60\,000$ sīkbumbuļu izaudzēšana sezonā. Pašizmaksu aprēķins nav veikts promocijas pētījuma ietvaros, bet gan izmantota informācija no AREI PPC izdotā rīkojuma. Mikroauga pašizmaksa 2020. gadā bija $0.54 \text{ EUR gab}^{-1}$, bet sīkbumbuļu pašizmaksa bija $0.41 \text{ EUR gab}^{-1}$, nediferencējot cenu dažādu frakciju sīkbumbuļiem (AREI PPC 2021. gada 12. februārī izdots rīkojums Nr. R/1.2-7-11PPC “Par noliktavu cenu apstiprināšanu produkcijai Priekuļu pētniecības centrā”).

Tirgus cena 1.00 EUR par mikroaugu un 0.52 EUR par sīkbumbuli noteikta, balstoties uz AREI PPC 2021. gada 15. janvāra rīkojumu Nr. R/1.2-7-4PPC “Par cenu apstiprināšanu produkcijai Priekuļu pētniecības centrā”. Pievienotās vērtības nodoklis cenā nav iekļauts.

Pētījumā par bāzes vērtību jeb **standarta audzēšanas tehnoloģiju** noteica zemāko mikroaugu stādīšanas biežību jeb MSB63. Aprēķinus veica katrai šķirnei atsevišķi.

Promocijas darba pētījumā analizēti četri dažādi ražošanas scenāriji, kuri vispusīgi aptver iespējamās sīkbumbuļu ražošanas stratēģijas nelielās saimniecībās:

- **A Scenārijs** – mikroauga un sīkbumbuļa vērtība ir to pašizmaksa. Bāzes scenārijs, atbilst aktuālajai ražošanas situācijai ARE PPC;
- **B Scenārijs** – jaukta tipa modelis Nr. 1, kurā mikroauga vērtība ir pašizmaksa, bet sīkbumbuļa vērtība ir tirgus cena;
- **C Scenārijs** – jaukta tipa modelis Nr. 2, kurā mikroauga vērtība ir tirgus cena, bet sīkbumbuļa vērtība ir pašizmaksa. Šajā scenārijā pašizmaksa pārsniedz A Scenārijā izmantoto pašizmaksu un arī B un D scenārijos izmantoto tirgus cenu, jo tā ir pielāgota mikroauga tirgus cenai, kura būtiski paaugstina sīkbumbuļu ražošanas izmaksas. Tā rezultātā scenārijā izmantotā pašizmaksa ir 0.56 EUR par vienu sīkbumbuli;
- **D Scenārijs** – mikroauga un sīkbumbuļa vērtība ir to tirgus cena.

Parciālā budžeta aprēķina metode iekļauj tikai tos ieguldījumus un ieņēmumus, kuri izmainās, mainoties tehnoloģijai (Horton, 1982; Tigner, 2018; Roth, Hyde, 2020). Rezultātā tiek aprēķināti neto ieņēmumi (*net benefit*) ((13) formula).

$$NI = BI - MI, \quad (13)$$

kur NI – neto ieņēmumi, EUR;

BI – bruto ieņēmumi, EUR;

MI – mainīgās izmaksas, EUR.

Bruto ieņēmumi (*gross benefit*) (BI) katrai MSB aprēķināti, reizinot iegūto sīkbumbuļu skaitu ar to vērtību eiro (atkarībā no scenārija: pašizmaksu vai tirgus cenu) un no iegūtā rezultāta atņemot ar ražas novākšanu un šķirošanu saistītās izmaksas (nodarbinātā stundas likme reizināta ar laiku, kas nepieciešams konkrētā MSB izaudzētu sīkbumbuļu novākšanai un šķirošanai).

Mainīgo izmaksu (MI) daļu veidoja mikroauga vērtība eiro (attiecīgi pašizmaksas vai tirgus cenas) reizināta ar konkrētai MSB nepieciešamo mikroaugu daudzumu un to stādīšanai nepieciešamā darbaspēka izmaksām. Darbaspēka izmaksas aprēķināja, reizinot stādīšanā iesaistītā darbinieka stundas likmi ar laiku, kas nepieciešams, lai iestādītu konkrēto daudzumu mikroaugu.

Pēc tam, kad visām šķirnēm visiem scenārijiem bija aprēķināti NI atkarībā no MSB, tika veikta **dominances analīze** saskaņā ar Starptautiskā kukurūzas un kviešu selekcijas centra (CIMMYT) metodiku (Perrin et al., 1988). Visas pētītās audzēšanas tehnoloģijas jeb mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) sarindoja pieaugošā secībā pēc MI vērtības, kas sakrīta arī ar MSB paaugstināšanās secību. MSB, kuras MI vērtība bija augstāka un NI vērtība zemāka nekā secīgi iepriekšējai MSB, tika izslēgta no turpmākās analīzes, jo šajā MSB veidojās zaudējumi (*sunk costs* (Hutchinson, 2006)).

Starp katrām divām secīgām MSB, kuras netika izslēgtas pēc dominances analīzes, tika aprēķināts NI izmaiņu jeb pieauguma lielums Δ (Horton, 1982; Perrin et al., 1988) jeb neto robežieņēmumi (Hutchinson, 2006)) ((14) formula).

$$\Delta NI = \Delta BI - \Delta MI, \quad (14)$$

kur ΔNI – neto ieņēmumu izmaiņu lielums starp divām savstarpēji sekojošām mikroaugu stādīšanas biežībām (jeb neto robežieņēmumi);

ΔBI – bruto ieņēmumu izmaiņu lielums starp divām savstarpēji sekojošām mikroaugu stādīšanas biežībām (jeb bruto robežieņēmumi);

ΔMI – mainīgo izmaksu izmaiņu lielums starp divām savstarpēji sekojošām mikroaugu stādīšanas biežībām (jeb robežizmaksas (Hutchinson, 2006)).

Pēc ΔNI aprēķināšanas starp secīgām, dominances analīzes rezultātā neizslēgtām mikroaugu stādīšanas biežībām, aprēķināta **robežieņēmumu likme** (*marginal rate of return*) (Horton, 1982; Perrin et al., 1988) ((15) formula).

$$RiL = \frac{\Delta NI}{\Delta MI}, \quad (15)$$

kur RiL – robežieņēmumu likme;

ΔNI – neto ieņēmumu izmaiņu lielums starp divām savstarpēji sekojošām mikroaugu stādīšanas biežībām jeb neto robežieņēmumi;

ΔMI – mainīgo izmaksu izmaiņu lielums starp divām viena otrai sekojošām mikroaugu stādīšanas biežībām jeb robežizmaksas.

RiL aprēķināja, katrai šķirnei piemērojot katru scenāriju. Aprēķinu uzsāka, nosakot RiL starp bāzes MSB un secīgi nākamo MSB un pakāpeniski turpināja starp katrām divām blakus esošām MSB. Iegūto RiL vērtību izteica procentos. Piemēram, RiL 105% nozīmē, ka, izmainot tehnoloģiju, ražotājs var atgūt katru ieguldīto eiro un vēl gūt papildus peļņu 1.05 EUR (Perrin, et al., 1988; Evans, 2005).

Papildus daļēji budžeta un robežanalīzei veica **jūtīguma analīzi**, katrai MSB A un B ražošanas scenārijos, jo A ir aktuālais scenārijs AREI PPC un B ir scenārijs ar vislielāko iestāšanās varbūtību pēc A scenārija, jo lielāka ir iespēja, ka sīkbumbuļi tiks pārdoti tirgū nekā iespēja, ka AREI PPC iegādāsies mikroaugus par tirgus cenu. Analīzes mērķis bija noskaidrot augstāko pieļaujamo mikroaugu vērtību, pie kuras var izmantot kādu no MSB. Ja mikroaugu vērtība pieaug virs iegūtās vērtības robežas, tad MSB būtu jāsamazina, lai izvairītos no tā, ka mainīgās izmaksas pārsniedz neto ieņēmumus.

2.5. Metodika mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšanai

Pētījums veikts 2014. un 2017. gadā AREI PPC Kartupeļu atveseļošanas laboratorijā un PBTC materiāla audzēšanai paredzētajās plēves seguma siltumnīcās. Izmantotas divas šķirnes – ‘Monta’ un ‘Prelma’ un četri mikroaugu audzēšanas paņēmieni, kopā astoņi varianti.

2.5.1. Mikroaugu audzēšana un morfoloģisko parametru novērtēšana laboratorijā

Mikroaugu izaudzēšana. Pētījuma veikšanai nepieciešamos mikroaugus ieguva, tos pavairojot kā aprakstīts 2.1. nodaļā. Pēc vajadzīgā mikroaugu daudzuma (160 mikroaugi katrai šķirnei, kopā 320 mikroaugi) iegūšanas tie vēlreiz sadalīti mikrospraudeņos un izmantoti pētījumā.

Mikroaugu audzēšanas paņēmiena varianti. Laboratorijas apstākļos pētīta mikroaugu audzēšanas paņēmiena (barotne un mikroaugu audzēšanai izmantotais trauks) ietekme uz mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm. Izmantoti divu veidu audzēšanas trauki – stikla mēģenes (diametrs 13 mm un augstums 150 mm, tilpums 20 mL), kuras noslēgtas ar vates – marles korķiem un cilindriski, vienreizlietojami plastmasas trauki (tilpums 500 mL), kas noslēgti ar caurspīdīgu plastmasas vāku (2.7. att.). Izmantotas trīs dažādas Murašiges un Skūga (Murashige, Skoog, 1962) jeb MS barotnes sastāva modifikācijas. Audzēšanas trauks un barotnes sastāvs veidoja četrus dažādus audzēšanas paņēmienus:

- **MMS** – mēģene ar MS barotni bez vitamīniem; Izmantota klasiskā MS barotne, bez pievienotiem vitamīniem citām organiskajām vielām pēc MS (5. pielik.). Šis ir standarta paņēmieni kartupeļu mikroaugu pavairošanai AREI (pētījumā – kontrole);
- **AMS** – cilindrisks plastmasas trauks ar MS barotni bez vitamīniem citām organiskajām vielām pēc MS;
- **AMSV** – cilindrisks plastmasas trauks ar MS barotni un pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS (nikotīnskābe 0.50 mg L⁻¹, piridoksīns 0.50 mg L⁻¹, tiamīns 0.10 mg L⁻¹, glicīns 2 mg L⁻¹, mio-inozīts 100 mg L⁻¹);
- **AHMS** – cilindrisks plastmasas trauks ar samazinātas koncentrācijas MS barotni bez vitamīniem un citām organiskajām vielām. Barotnes pagatavošanā izmantota puse no nepieciešamā makrosāļu daudzuma.



2.7. att. Mikroaugu audzēšanā izmantotie trauki:
plastmasas trauki (pa kreisi) un stikla mēģenes (pa labi)

Visos variantos barotnei pievienots cukurs 30 g L⁻¹ un agars 6.5 g L⁻¹. Augu augšanas regulatori (fitohormoni) nav lietoti ne vienā no variantiem.

Lai visos variantos vienam mikroaugam nodrošinātu vienādu pieejamās barotnes daudzumu, mēģenēs iepildīti 5 mL barotnes, bet cilindriskajos plastmasas traukos 50 mL barotnes. Mēģenēs ievietoja pa vienam mikrospraudeņim, katrai šķirnei vienā atkārtojumā bija 10 mēģenes ar mikroaugiem. Cilindriskajos plastmasas traukos katrai šķirnei vienā traukā ievietoja 10 mikrospraudeņus, vienā atkārtojumā bija viens trauks. Attiecīgi – katrai šķirnei katrā no variantiem bija 10 mikroaugi vienā atkārtojumā, katrā gadā pētījums veikts 4 atkārtojumos. Kopā pētījumā izmantoti astoņi varianti (divas šķirnes × četri mikroaugu audzēšanas paņēmieni), kuri izvietoti pilnībā randomizēti.

Mikroaugus audzēja augu audu kultūru telpā vidēji 22–24 °C temperatūrā un nodrošinot 16/8 h fotoperiodu. Mēģenēs audzēto mikroaugu līmenī apgaismojuma jauda bija vidēji 8.0 W m⁻², bet cilindriskajos plastmasas traukos augošie mikroaugi saņēma vidēji 11.6 W m⁻², jeb par 37% vairāk apgaismojuma jaudas.

Mikroaugu morfoloģisko rādītāju novērtēšana. 2014. gadā 25 dienas, bet 2017. gadā 27 dienas pēc mikropavairošanas pieci jeb puse mikroaugu no katra variantā tika izņemti no audzēšanas trauka, tiem no saknēm noskalotas agarizētās barotnes paliekas, augi nosusināti uz papīra dvieļa. Pēc mikroaugu sagatavošanas visos atkārtojumos nomērīts mikroaugu stublāja garums, cm, uzskaitīti stublāju starpmezglu posmi, noteikta visa auga masa, mg, atsevišķi noteikta sakņu masa, mg un aprēķināti atvasinātie lielumi – sakņu un stublāja masas attiecība, starpmezglu posmu garums, auga masas un garuma attiecība.

2.5.2. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā novērtēšana

Katras šķirnes atlikušos piecus mikroaugus no katra audzēšanas paņēmiena un atkārtojuma iestādīja siltumnīcā kūdras substrātā (skat. 2.1. nodaļu). Mikroaugus stādīja veģetācijas traukos (podīņos ar tilpumu 1.26 L) pa vienam, kopā katrai šķirnei katram mikroaugu audzēšanas paņēmiemam atkārtojumā bija pieci trauki. Izmēģinājums ierīkots četros randomizētos blokos. Vienu bloku veidoja astoņi pētījuma varianti (divas šķirnes $\times$ četri mikroaugu audzēšanas paņēmieni).

Trīs reizes nedēļā augus laistīja, izmantojot rokas laistītāju. Divas reizes audzēšanas sezonā augus apsmidzināja ar papildmēslojuma šķīdumu un insekticīdu (skat. 2.1. nodaļu). Izaugušos sīkbumbuļus novāca 72 dienas pēc mikroaugu iestādīšanas 2014. gadā un 70 dienas pēc stādīšanas 2017. gadā.

Sīkbumbuļus salasīja ar rokām. Katram variantam un atkārtojumam atsevišķi uzskaitīja sīkbumbuļu skaitu, noteica sīkbumbuļu kopējo masu gramos.

2.6. Datu apstrādes metodes

Datu statistiskajai apstrādei izmantota brīvpieejas programmas Jamovi versija 1.8.2. (Jamovi, 2021). Programmas pamatā darbojas datu statistiskajai apstrādei izveidotā programmēšanas valoda R.

Datu kopas vidējo rādītāju noskaidrošanai izmantotas aprakstošās statistikas metodes.

Lineāro sakarību ciešumu starp pazīmēm noteica, izmantojot Pīrsona korelāciju. Sakarību ciešums vērtēts saskaņā ar B. Ratnera aprakstīto klasifikāciju (Ratner, 2009): korelācijas koeficients starp 0 un 0.299 (0 un -0.299) apzīmē vāju pozitīvu (vai negatīvu) lineāru sakarību; korelācijas koeficients starp 0.3 un 0.699 (-0.3 un -0.699) apzīmē vidēji ciešu pozitīvu (vai negatīvu) lineāru sakarību; korelācijas koeficients starp 0.7 un 1.0 (-0.7 un -1.0) apzīmē ciešu pozitīvu (vai negatīvu) lineāru sakarību.

Lai noskaidrotu sakarību formu jeb vienādojumu, veikta lineārās regresijas analīze (ja izpildījās nosacījums, ka regresijas vienādojums ir statistiski būtisks ($\alpha=0.05$)).

Pētīto faktoru ietekmes būtiskuma novērtēšanai izmantota vienfaktora un divfaktoru ANOVA analīze 95% būtiskuma līmenī ($\alpha=0.05$).

Lai noteiktu atšķirības starp PkoefL un ražas bumbuļu skaitu no sadīgušā cera, izmantoja pāru t-testu atsevišķi katrai šķirnei.

Lai noteiktu atšķirības starp sīkbumbuļu skaitu dažādās frakcijās katrai šķirnei katrā MSB izmantota Microsoft Excel pievienojumprogramma *Real Statistics*, kurā veikta viena faktora ANOVA analīze un Tukey *post-hoc* tests. Šīs analīze veikšanai kā faktors noteikta sīkbumbuļu frakcija.

Sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju (mainīgo) ietekmes uz citu rādītāju variēšanu noskaidrošanai veikta galveno komponentu jeb PCA analīze un konstruēts rādītāju slodzes grafiks, kas ļauj grafiski attēlot savstarpējās sakarības starp rādītājiem (Jolliffe, Cadima, 2016).

Veicot siltumnīcā iegūto ražu raksturojošo rādītāju analīzi atkarībā no šķirnes un mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), gadu vidējo datu vispārināšanai izmantoja lineāru jauktu efektu modeli, kurā gads bija gadījuma rakstura faktors (Moore, Dixon, 2015; Plant, 2018). Šāda pieeja ļāva gūt priekšstatu par to, kāds būtu rezultāts neierobežoti daudzu gadu izmēģinājumos (Lindermanis et al., 1970). Analizējo lauka izmēģinājumu rezultātu datus, gada ietekme netika iekļauta ANOVA modelī, bet gan noteikta atsevišķi, sadalot datu kopu gradāciju klasēs un veicot ANOVA analīzi ar gadu kā faktoru katrai gradāciju klasei atsevišķi.

Gadījumos, kad konstatēja statistiski būtisku faktora ietekmi uz pētāmo pazīmi, gradācijas klases tika salīdzinātas, izmantojot Tukey *post-hoc* testu ($\alpha=0.05$). Ja ar Tukey testa

palīdzību nevarēja noteikt atšķirīgās gradācijas klases, tad to salīdzināšanai izmantoja neparametrisko Games-Howell *post-hoc* testu.

Jutīguma analīzei izmantoja mērķa meklēšanas funkciju *goal seek* un analīzi veica, izmantojot Microsoft Excel pievienojumprogrammu – datu analīzes un optimizācijas rīku Solver. Tā uzstādījumos neto ieņēmumus (NI) noteica kā mērķi (*objective*), bet mikroauga vērtība bija mainīgais lielums. Analīzi veica, nosakot ierobežojumu, ka neto ieņēmumi (NI) ir lielāki vai vienādi ar mainīgajām izmaksām (MI).

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Kartupeļu sākotnējā sēklaudzēšanā (īpaši sīkbumbuļu ražošanā) ražu var izteikt gan kā bumbuļu skaitu no laukuma vienības, gan kā masu no laukuma vienības (piemēram, kg m⁻²). Šajā darbā raža vērtēta abējādi, precizējot to, vai runa ir par skaitu m⁻², vai ražu kg m⁻².

3.1. Kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības ietekme uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem

Šajā pētījumā kartupeļu šķirņu ‘Monta’, ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ mikroaugi stādīti četrās dažādās mikroaugu stādīšanas biežībās (MSB), kas bija 63 (MSB63), 95 (MSB95), 142 (MSB142) un 184 (MSB184) mikroaugi m⁻², lai noskaidrotu, kā izmainās sīkbumbuļu audzēšanas agronomiskā efektivitāte, paaugstināto mikroaugu stādīšanas biežību dažādām šķirnēm.

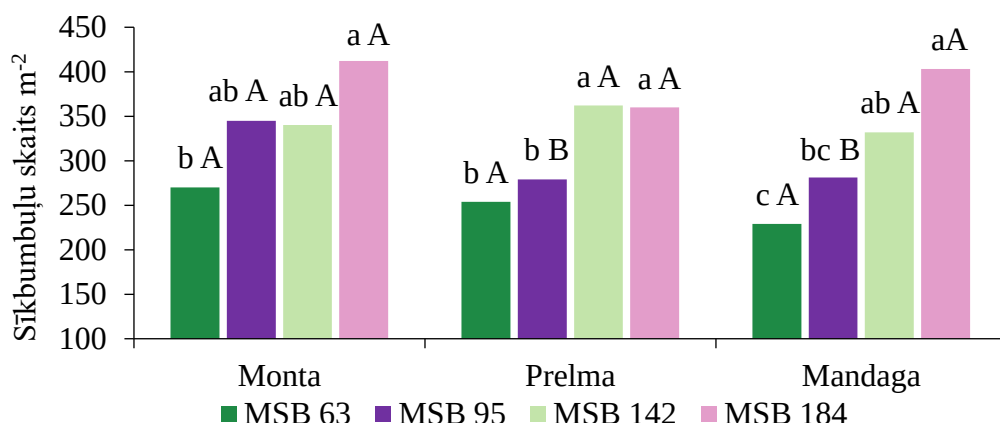
3.1.1. Sīkbumbuļu skaits no kvadrātmetra

Ja audzēšanas platība ir ierobežota, tad viens no efektīvākajiem pasākumiem sīkbumbuļu skaita no 1m² (SbS) paaugstināšanai ir mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) izmaiņšana.

Šajā pētījumā iegūtais SbS bija no 229 (‘Mandaga’, MSB63) līdz 412 sīkbumbuļi no 1 m² (‘Monta’, MSB184).

Genotipa ietekme. Izvērtējot genotipu atšķirības vidēji visām MSB, konstatēts, ka genotipa ietekme uz SbS nebija statistiski būtiska ($p=0.057$) (8. pielik.).

Analizējot atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi, šķirnei ‘Monta’ MSB95 bija būtiski lielāks SbS (345 sīkbumbuļi m⁻²) nekā šķirnēm ‘Prelma’ (279 sīkbumbuļi m⁻²) un ‘Mandaga’ (281 sīkbumbuļi m⁻²), kurām SbS savstarpēji būtiski neatšķīrās (3.1. att.). Pārējos MSB variantos atšķirības starp šķirnēm nebija statistiski būtiskas (MSB63 $p=0.302$; MSB142 $p=0.588$, MSB184 $p=0.188$). Šķirnei ‘Monta’ visās MSB novērots, lai arī lielākajā daļā gadījumu statistiski nebūtiski, tomēr augstākais SbS, izņemot MSB142, kur nebūtiski augstākais SbS bija šķirnei ‘Prelma’ (362 sīkbumbuļi m⁻², salīdzinot ar 340 sīkbumbuļiem m⁻² šķirnei ‘Monta’ un 332 – šķirnei ‘Mandaga’).



3.1. att. Sīkbumbuļu skaits m⁻² atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes, vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi.

Citā pētījumā (Veeken, Lommen, 2009) atšķirības starp pētījumā izmantoto šķirni ar lielāko sīkbumbuļu skaitu m^{-2} (SbS) un šķirni ar mazāko SbS vienas MSB ietvaros bija izteiktākas nekā šajā promocijas darba izstrādei veiktajā pētījumā. Piemēram, stādot 62.5 mikroaugus m^{-2} zemākais SbS jeb 163 sīkbumbuļi m^{-2} , iegūts šķirnei 'Junior', bet augstākais (293 sīkbumbuļi m^{-2}) – šķirnei 'Bintje'. Augstākajā MSB, kas bija 145.8 mikroaugi m^{-2} , SbS bija attiecīgi 285 un 398 sīkbumbuļi m^{-2} (Veeken, Lommen, 2009). Priekuļos veiktajā promocijas darba pētījumā lielākā atšķirība starp šķirnēm 'Monta' un 'Prelma' bija MSB95, kurā starpība bija 66 sīkbumbuļi m^{-2} .

Mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) ietekme. Pielietotajai MSB bija statistiski būtiska ietekme uz sīkbumbuļu skaitu m^{-2} (SbS), un faktora ietekmes īpatsvars η bija 43.2% (8. pielik.).

Pieaugot MSB, pieauga arī SbS visām šķirnēm (3.1. att.) un šāds SbS izmaiņu virziens ir saskaņā ar literatūrā atrodamajiem datiem, kuri iegūti dažādās sīkbumbuļu audzēšanas sistēmās (Lommen, Struik, 1992b; Roy et al., 1995; Muro et al., 1997; Abdounour, Roy, Desjardins, 2003; Farran, Mingo-Castel, 2006; Veeken, Lommen, 2009; Jin et al., 2013; Calori et al., 2018; Balena et al., 2021; Çalıřkan et al., 2021). Arī pētījumos, kuros salīdzinātas ekstremāli augstas MSB, piemēram, 400 un 600 mikroaugi m^{-2} (Jin et al., 2013), vai 400 un 800 mikroaugi m^{-2} (Lommen, Struik, 1992b), SbS augstākās MSB turpināja pieaugt, neskatoties uz to, ka būtiski samazinājās pavairošanas koeficients siltumnīcā (PkoefS).

Priekuļos veiktajā promocijas darba pētījumā šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' lielākais SbS iegūts augstākajā MSB (MSB184) (attiecīgi 412 un 403 sīkbumbuļi m^{-2}), bet šķirnei 'Prelma' – MSB142 (360 sīkbumbuļi m^{-2}). Savukārt mazākais SbS (229–270 sīkbumbuļi m^{-2}) visām šķirnēm iegūts zemākajā MSB jeb MSB63, turklāt tas bija būtiski mazāks nekā augstākajā MSB184.

Tā kā SbS ir pavairošanas koeficienta (PkoefS) reizinājums ar MSB, tad šajā pētījumā iegūtie rezultāti atbilst pētījumiem, kuros iegūti līdzīgi PkoefS (Abdounour, Roy, Desjardins, 2003; Veeken, Lommen, 2009; Çalıřkan et al., 2021).

Vērtējot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti tikai pēc SbS datiem, šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' ir ieteicama MSB184, bet šķirnei 'Prelma' – MSB142, jo MSB184 vairs nesniedz sīkbumbuļu skaita pieaugumu no laukuma vienības. Tomēr, ja ir ierobežota audzēšanas platība un ir brīvi pieejams liels daudzums mikroaugu, tad var pielietot arī MSB184.

Genotipa un MSB mijiedarbības ietekme uz SbS nebija statistiski būtiska ($p=0.185$).

Kopsavilkums. Atkarībā no šķirnes un mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), pētījumā iegūtais sīkbumbuļu skaits no 1 m^2 (SbS) bija no 229 ('Mandaga', MSB63) līdz 412 sīkbumbuļiem m^{-2} ('Monta', MSB184). Statistiski būtiska atšķirība starp genotipiem novērota tikai MSB95, kurā SbS šķirnei 'Monta' bija būtiski augstāks nekā šķirnei 'Prelma' un šķirnei 'Mandaga'. Šķirnei 'Monta' visās MSB novērots, lai arī lielākajā daļā gadījumu statistiski nebūtiski, tomēr augstākais SbS, izņemot MSB142, kur nebūtiski augstāks SbS bija šķirnei 'Prelma'. Jo augstāka bija MSB, jo ieguva vairāk SbS, tomēr, pielietojot maksimālo MSB184, šķirnei 'Prelma' SbS vairs nepieauga. Visām šķirnēm MSB184 bija statistiski būtiski augstāks SbS nekā MSB63.

3.1.2. Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients siltumnīcā

Pavairošanas koeficients siltumnīcā (PkoefS) jeb no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu skaits ir svarīgākais sīkbumbuļu ražu raksturojošais rādītājs (Ahloowalia, 1994; Struik, 2007c; Veeken, Lommen, 2009). Tā kā jēdziens "pavairošanas koeficients" pārsvarā tiek lietots sēklaudzēšanā, tad tā vērtību nosaka, ņemot vērā tikai sēklas lieluma bumbulus (Struik, Wiersema, 1999). Ne ES, ne Latvijā spēkā esošajos normatīvajos aktos nav noteikts minimālais izmērs turpmākai pavairošanai izmantojamiem kartupeļu sīkbumbuļiem, bet šajā pētījumā tie ir vismaz 3 g smagi sīkbumbuļi.

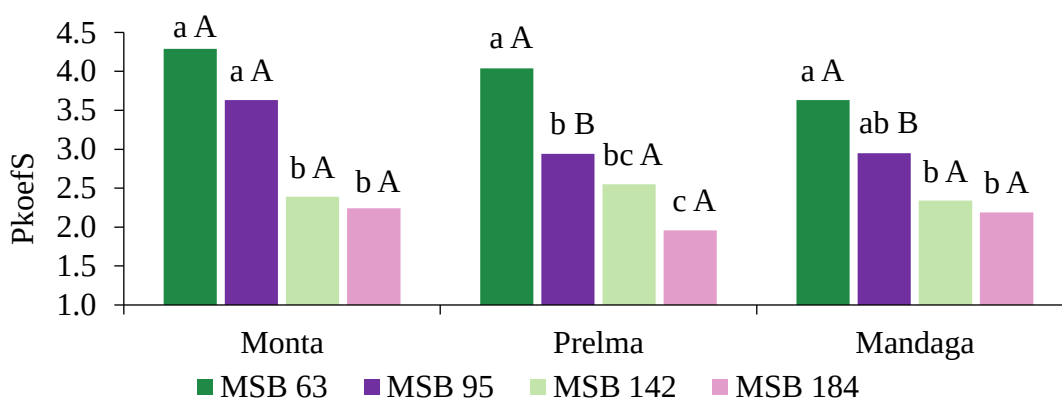
Zināšanas par šķirņu PkoefS pēc iespējas dažādās MSB ļautu veikt precīzus aprēķinus optimālajai MSB, kurā varētu tikt ietaupīti resursi (kūdra, siltumnīcas platība, kastes), iegūstot vairāk sīkbumbuļu no platības vienības, tajā pašā laikā nesamazinot PkoefS vērtīgajiem mikroaugiem.

Divi galvenie faktori, no kuriem atkarīgs PkoefS, ir genotips jeb šķirne (Ahloowalia, 1999; Gābere, 2004; Vanaei et al., 2008; Veeken, Lommen, 2009; Kumar et al., 2011; Dimante, 2013; Prossy et al., 2014; Tierno et al., 2014; Rykaczewska, 2016b; Çalışkan et al., 2021; Ozkaynak, 2021) un pielietotā audzēšanas tehnoloģija, tajā skaitā mikroaugu stādījuma biežība (Roy et al., 1995; Farran, Mingo-Castel, 2006; Veeken, Lommen, 2009; Calori et al., 2018; Çalışkan et al., 2021). Pētījumos un praksē pielietotā MSB amplitūda siltumnīcās ir ļoti plaša – sākot no 16 mikroaugiem m^{-2} (Mateus-Rodriguez et al., 2013) līdz 600 (Jin et al., 2013) un pat 800 mikroaugiem m^{-2} (Lommen, Struik, 1992b), bet kā plašāk pielietotās stādīšanas biežības minētas 100–200 mikroaugi m^{-2} (Veeken, Lommen, 2009).

Konvencionālajā audzēšanas tehnoloģijā (audzēšana dažādos kūdras saturošos substrātos) PkoefS parasti ir relatīvi zems jeb 2–5 sīkbumbuļi no mikroauga (Bandara, Tanino, Waterer, 1998; Milinkovic et al., 2012; Pruski et al., 2003; Struik, 2007c; Nistor, Karacsonyi, Chiru, 2010; Ozturk, Yildirim, 2011; Tierno et al., 2014; Virtanen, Tuomisto, 2016), tomēr tā vērtības var pārsniegt šīs robežas (Struik, 2007c) un literatūrā atrodami dati par PkoefS mazāku par divi sīkbumbuļi no mikroauga (Ahloowalia, 1999; Gābere, 2004; Jin et al., 2013), gan lielāku nekā 10 sīkbumbuļi no mikroauga (Roy et al., 1995).

Stādot mikroaugus atklātā laukā, autori min pavairošanas koeficientu līdz 2.2 bumbuļi no mikroauga (Lommen, 2015), vidēji 10.2 bumbuļi (Särekanno et al., 2010a), līdz pat 26 bumbuļiem no mikroauga (Wattimena, McCown, Weis, 1983).

Promocijas darba pētījumā PkoefS bija robežās no 2.0 ('Prelma', MSB184) līdz 4.3 sīkbumbuļi no mikroauga ('Monta', MSB63).



3.2. att. Pavairošanas koeficients (PkoefS) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes, vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi

Genotipa ietekme. Izvērtējot genotipu atšķirības vidēji visām MSB, konstatēts, ka, lai arī genotipam bija statistiski būtiska ietekme uz PkoefS, tomēr šī faktora ietekmes īpatsvars η bija vien 2.6% (8. pielik.).

Analizējot atšķirības starp šķirnēm katrai MSB atsevišķi (3.2. att.), šķirnei 'Monta' MSB95 bija būtiski lielāks PkoefS (3.6) nekā šķirnēm 'Prelma' (2.9) un 'Mandaga' (3.0), kuru PkoefS savstarpēji būtiski neatšķīrās. Pārējās MSB PkoefS atšķirības starp šķirnēm nebija statistiski būtiskas (MSB63 $p=0.303$; MSB142 $p=0.588$, MSB184 $p=0.190$). Šķirnei 'Monta' visās MSB novērots, lai arī lielākajā daļā gadījumu statistiski nebūtiski ($p > 0.05$), tomēr augstākais PkoefS, izņemot MSB142, kur nebūtiski augstāks PkoefS bija šķirnei 'Prelma'. Tas neapstiprina citā pētījumā novēroto tendenci, ka agrajām šķirnēm veidojas mazāk sīkbumbuļu,

salīdzinot ar vēlākām šķirnēm (Hagman, 1990; Lommen, 1999), bet nevar pārliecinoši noraidīt šādas tendences iespējamību, jo Priekuļos veiktajā pētījumā izmantota tikai viena šķirne katrā agrīnuma grupā un iegūtie rezultāti var būt raksturīgi tikai šīm šķirnēm. Tomēr iespējams, ka citi PkoefS regulējošie ģenētiskie faktori ir nozīmīgāki nekā šķirnes agrīnums. Piemēram, analizējot vairāku gadu rezultātus septiņām šķirnēm sīkbumbuļu ražošanas stādījumā Priekuļos, konstatēts, ka, pielietojot vienādu MSB, būtiski lielāks PkoefS (6.9) bija tikai vidēji vēlajai šķirnei 'Brasla', bet tādu vidēji vēlīnu šķirņu kā 'Imanta' (PkoefS 2.6) un 'Mandaga' (PkoefS 3.2) PkoefS būtiski neatšķīrās ne tikai no vidēji agrīno šķirņu PkoefS, bet arī no agrīnas šķirnes 'Agrie Dzeltenie' PkoefS, kas bija 3.0 sīkbumbuļi no mikroauga (Dimante, 2013).

Zinātniskajā literatūrā ir atrodami pētījumu dati, kuros atšķirības starp genotipiem nebija būtiskas, kas ir saskaņā ar šajā pētījumā novērotajām nebūtiskajām atšķirībām starp šķirnēm atsevišķu MSB ietvaros. Piemēram, E. Virtanena un J. Tomisto (Virtanen, Tuomisto, 2016) konvencionālajā tehnoloģijā nekonstatēja būtiskas PkoefS atšķirības starp šķirnēm 'Desire', 'Van Gogh' un 'Asterix', iegūstot vidēji 3.3–4.6 sīkbumbuļus no mikroauga (stādīti 38.4 mikroaugi m⁻²), bet K. Pruski un kolēģu pētījumā (Pruski et al., 2003) genotipa ietekmes būtiskums atšķīrās atkarībā no izmēģinājuma gada (vienā no gadiem genotipam bija, bet otrā gadā – nebija būtiska ietekme uz PkoefS).

Tā kā šajā pētījumā genotipa kā faktora ietekmes īpatsvars bija tikai 2.6% un ietekme bija būtiska tikai vienā no MSB, kā arī literatūra ir atrodami dati par to, ka genotipi neatšķiras pēc PkoefS, vai atšķiras tikai viens genotips no vairākiem pētītajiem, jāsecina, ka, lai arī genotips ir viens no svarīgiem PkoefS ietekmējošiem faktoriem, tomēr noteiktā genotipu kopā būtiskas atšķirības var arī neparādīties, vai parādīties noteiktos apstākļos (audzēšanas tehnoloģija, vides ietekme).

Mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) ietekme. Pielietotajai MSB bija statistiski būtiska ietekme uz pavairošanas koeficientu siltumnīcā (PkoefS), un faktora ietekmes īpatsvars η bija 58.5% (8. pielik.). Pieaugot MSB, PkoefS visām šķirnēm samazinājās (3.2. att.), un šāds PkoefS izmaiņu virziens ir saskaņā ar daudzu pētnieku iegūtajiem rezultātiem gan pētījumos, kuros izmantotas konvencionālas audzēšanas tehnoloģijas, gan arī aeroponikā (Lommen, Struik, 1992b; Roy et al., 1995; Abdunour, Roy, Desjardins, 2003; Farran, Mingo-Castel, 2006; Veeken, Lommen, 2009; Calori et al., 2018; Çalışkan et al., 2021). Promocijas darba pētījumā visām šķirnēm augstākais PkoefS iegūts zemākajā MSB (MSB63), bet zemākais PkoefS – augstākajā MSB (MSB184), turklāt visām šķirnēm pie MSB184 tas bija būtiski zemāks nekā MSB63. Tomēr ne vienai no šķirnēm arī augstākajā MSB PkoefS nebija zemāks par 2, tā iekļaujoties literatūrā minētajā pavairošanas koeficientā 2–5 sīkbumbuļi no mikroauga, ko uzskata par izplatītāko PkoefS konvencionālajā sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijā (Struik, 2007c; Forbes et al., 2020).

Literatūrā ir minētas arī ļoti augstas PkoefS vērtības, piemēram, 11 sīkbumbuļi no mikroauga, audzējot tos biežībā 25 mikroaugi m⁻² un 4.8 sīkbumbuļi MSB 100 mikroaugi m⁻² (Roy et al., 1995). Tik augstus rezultātus, iespējams, veicināja pielietotais audzētā substrāta dziļums, kas bija 0.18 m, salīdzinājumā ar Priekuļos veiktajā pētījumā pielietotajiem 0.13 m. Citā pētījumā, pielietojot substrāta dziļumu 0.10 m un MSB 25 mikroaugi m⁻², ieguva divas reizes mazāk sīkbumbuļu (Veeken, Lommen, 2009) nekā R. Rojs un kolēģi tajā pašā MSB. Turklāt, R. Rojs un kolēģi (Roy et al., 1995) augiem siltumnīcā nodrošināja papildus apgaismojumu, tā palielinot augiem pieejamās fotosintētiski aktīvās radiācijas daudzumu, kas varēja sekmēt lielāka sīkbumbuļu skaita izveidošanos. Dziļāka substrāta un papildus apgaismojuma pozitīvā ietekme uz sīkbumbuļu skaita palielināšanos ir apstiprināta Kanādā veiktā pētījumā (Abdunour, Roy, Desjardins, 2003).

Nīderlandē veiktā pētījumā, kurā salīdzinātas MSB 25.0; 62.5 un 145.8 mikroaugi uz m², analizēti sīkbumbuļu attīstības fizioloģiskie rādītāji divos dažādos augšanas perioda termiņos (sešas un desmit nedēļas pēc iestādīšanas) (Veeken, Lommen, 2009). Pētnieki secināja, ka augstākajā MSB starp augiem jau drīz pēc iestādīšanas bija novērojama spēcīga konkurence par gaismu un citiem resursiem, kā rezultātā izveidojās mazāk sīkbumbuļu nekā divās zemākajās

biezībās. Savukārt zemākajā un vidējā MSB izveidojās līdzīgs sīkbumbuļu skaits. Gandrīz visi (92%) sīkbumbuļi, kuri izveidojās zemākajā MSB, turpināja augt līdz ražas novākšanai. Savukārt vidējā MSB augšanas laikā pakāpeniski pieauga konkurence starp augiem, stublāji un lapas vairs nespēja uzņemt un pārdalīt bumbuļu augšanai nepieciešamos asimilātus. Tā rezultātā notika daļas jau izveidojušos bumbuļu rezorbcija, un ražas novākšanas laikā bija palikuši vairs tikai 68% no sīkbumbuļiem (salīdzinājumam – augstākajā MSB palika 86%, jo to skaits jau sākotnēji bija mazāks, tāpēc augi labāk spēja nodrošināt asimilātus bumbuļu augšanai). Bumbuļu rezorbcija pēc to izveidošanās ir kartupeļiem raksturīga fizioloģiska parādība (Ewing, Struik, 1992; O'Brien, Allen, Firman, 1998; Haverkort, Franke, Steyn, 2015), kas ietekmē ražas bumbuļu skaitu.

Ja siltumnīcas platība un audzēšanas substrāta pieejamība nav limitējošie faktori, tad optimāli ir izvēlēties MSB, no kuras var iegūt visaugstāko PkoefS. Tomēr, līdz noteiktai MSB mikroaugiem ir potenciāls saglabāt augstāko PkoefS, ja runa ir par bumbuļu izveidošanos, tāpēc katrai audzētajai šķirnei būtu nepieciešams noteikt MSB, pie kuras konkurence starp augiem vēl nav tik liela, lai notiktu bumbuļu rezorbcija.

Vērtējot tikai PkoefS vērtības, visām pētījumā izmantotajām šķirnēm ieteicams pielietot MSB63. Šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' gadījumos, kad ir ierobežota audzēšanas platība, var pielietot arī MSB95, jo PkoefS tajā nav būtiski mazāks, salīdzinot ar MSB63.

Genotipa un MSB mijiedarbības ietekme uz PkoefS nebija statistiski būtiska ($p=0.231$).

Kopsavilkums. Šajā pētījumā iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka pavairošanas koeficients siltumnīcā (PkoefS) ir atkarīgs no katra genotipa īpatnībām, kā arī no tā, cik lielas ir pielietotās mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un kāds ir solis starp tām. Atkarībā no šķirnes un pielietotās MSB, PkoefS bija 2.0 ('Prelma', MSB184) līdz 4.3 sīkbumbuļi no mikroauga ('Monta', MSB63). Statistiski būtiska atšķirība starp genotipiem novērota tikai MSB95, kurā PkoefS šķirnei 'Monta' bija būtiski augstāks nekā šķirnei 'Prelma' un šķirnei 'Mandaga'. Šķirnei 'Monta' visās MSB novērots, lai arī lielākajā daļā gadījumu statistiski nebūtiski, tomēr augstākais PkoefS, izņemot MSB142, kur nebūtiski augstāks PkoefS bija šķirnei 'Prelma'. Lielāks ietekmes īpatsvars uz PkoefS bija mikroaugu stādīšanas biežībai (MSB) (58.5%, salīdzinot ar genotipa η 2.6%). Jo augstāka bija MSB, jo zemāks bija PkoefS. Visām šķirnēm MSB184 bija statistiski būtiski zemāks PkoefS nekā MSB63.

3.1.3. Sīkbumbuļu raža no kvadrātmetra un viena sīkbumbuļa vidējā masa

Esošās sīkbumbuļu ražošanas tehnoloģijas ietvaros sīkbumbuļu uzskaites vienības AREI PPC ir gabali un arī citur pasaulē, audzējot tos komerciāli, sīkbumbuļu skaita noteikšana ir viens no izplatītākajiem sīkbumbuļu ražas izvērtēšanas veidiem. Eiropā, pārdodot sīkbumbuļus, parasti to cenu nosaka par gabalu (Veeken, Lommen, 2009; Andrew Skea "Skea Organics", personiska komunikācija, 2018. gada jūnijs, vizīte kartupeļu sākotnējās sēklaudzēšanas saimniecībā Lielbritānijā, Skotijā; Colin Blackhall, "TLC", personiska komunikācija, 2018. gada jūnijs, vizīte kartupeļu sākotnējās sēklaudzēšanas saimniecībā Lielbritānijā). No šāda aspekta raugoties, iegūtajai ražai izteiktai kg nav noteicošā nozīme audzēšanas efektivitātes vērtēšanā. Tomēr dati par sīkbumbuļu ražu, apvienojot tos ar datiem par sīkbumbuļu skaitu, ļauj noskaidrot sīkbumbuļu vidējo masu un tās izmaiņas atkarībā no audzēšanas tehnoloģijas.

Sīkbumbuļu raža kg m^{-2} (SbM), kuru ieguva Priekuļos promocijas darba ietvaros veiktajā pētījumā, bija no 5.7 kg m^{-2} ('Monta', MSB63) līdz 8.0 kg m^{-2} ('Mandaga', MSB184), bet vidējā masa vienam sīkbumbulim (SbAW) bija no 16.1 g ('Monta', MSB184) līdz 28.2 g ('Mandaga', MSB63) (3.3. att.).

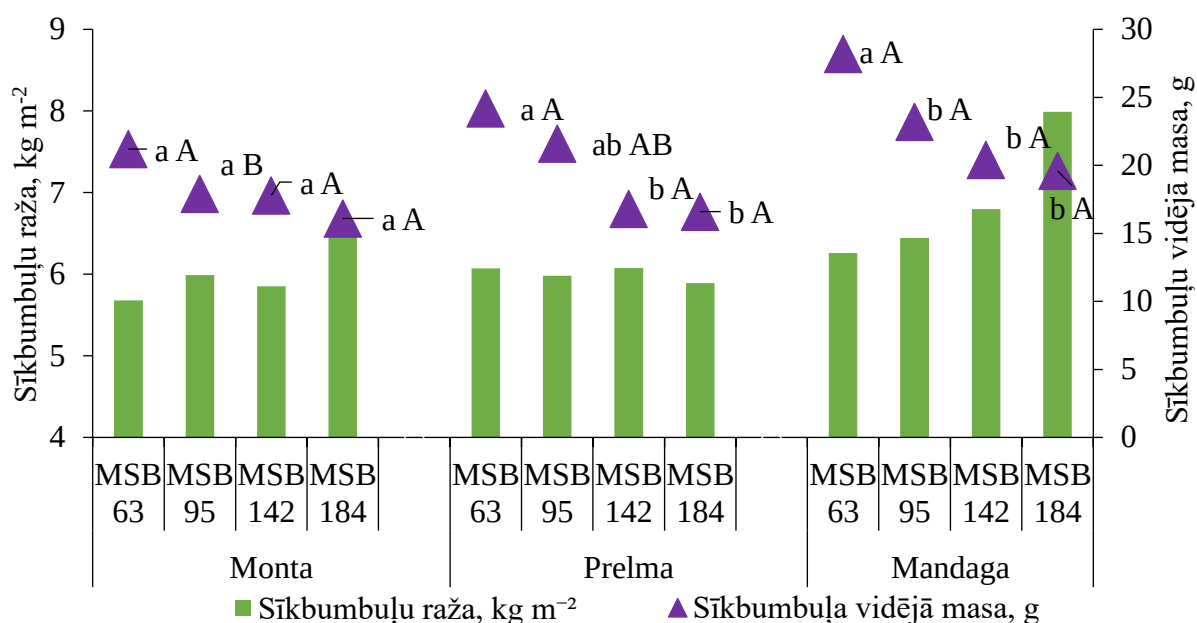
Genotipa ietekme. Pētījumā netika konstatētas būtiskas sīkbumbuļu ražas kg m^{-2} (SbM) atšķirības ($p=0.079$) atkarībā no šķirnes (8. pielik.). Literatūrā atrodama informācija par genotipa ietekmi uz SbM ir pretrunīga, jo ir novērota gan būtiska (Correa et al., 2008;

Veeken, Lommen, 2009; Kumar et al., 2011; Çalışkan et al., 2021), gan nebūtiska genotipa ietekme (Lommen, Struik, 1992b; Särekanno et al., 2010). Šādas atšķirības starp pētījumos iegūtajiem rezultātiem varētu būt radušās izmantoto šķirņu īpatnību dēļ.

Promocijas darba pētījumā, lai arī nebūtiski, tomēr lielāka raža visās MSB bija šķirnei 'Mandaga' ($6.2\text{--}8.0\text{ kg m}^{-2}$), savukārt šķirnei 'Monta' tā bija no 5.7 līdz 6.5 kg m^{-2} , bet šķirnei 'Prelma' – no 5.9 līdz 6.1 kg m^{-2} (3.3. att.).

Viena sīkbumbuļa SbAW būtiski atšķīrās starp šķirnēm, bet faktora ietekmes īpatsvars η bija 9.7% .

Visās pielietotajās MSB visaugstākā SbAW bija šķirnei 'Mandaga' ($19.6\text{--}28.2\text{ g}$), tomēr būtiski augstāka tā bija tikai MSB95 un tikai salīdzinājumā ar šķirni 'Monta', kurai kopumā SbAW bija no 16.1 līdz 21.1 g . Šķirnes 'Prelma' SbAW bija $16.6\text{--}24.2\text{ g}$ (3.3. att.).



3.3. att. Sīkbumbuļu raža, kg m^{-2} un sīkbumbuļa vidējā masa, g, vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi. Sīkbumbuļu ražas, kg m^{-2} , atšķirības bija statistiski nebūtiskas 95% līmenī.

Būtiskas atšķirības starp genotipiem pēc to SbAW ir apstiprinātas arī vairākos citos pētījumos (Lommen, Struik, 1992b; Kumar et al., 2011; Tierno et al., 2014; Rykaczewska, 2016b; Çalışkan et al., 2021; Ozkaynak, 2021).

Mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) ietekme. Šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' tika novērota tendence, ka sīkbumbuļu raža (SbM) bija lielāka pie augstākas MSB, bet šķirnei 'Prelma' atšķirība starp augstāko ražu (MSB63 un MSB142) un zemāko ražu (MSB184) bija tikai 0.2 kg m^{-2} .

Tomēr nevienai no šķirnēm MSB ietekme uz SbM nebija statistiski būtiska (šķirnei 'Monta' $p = 0.548$, šķirnei 'Prelma' $p = 0.992$, šķirnei 'Mandaga' $p = 0.453$). Zinātniskajā literatūrā publicētie dati par MSB ietekmi uz SbM ir pretrunīgi. Šajā pētījumā iegūtie rezultāti sakrīt ar pētījumu rezultātiem, kuros SbM būtiski nemainījās, pieaugot MSB (Lommen, Struik, 1992b; Abdunour, Roy, Desjardins, 2003; Veeken, Lommen, 2009; Jin et al., 2013). Tomēr literatūrā ir atrodami dati gan par SbM samazināšanos (Sharma, Kumar, Venkatasalam, 2014), gan būtisku SbM palielināšanos (Wiersema, 1986; Roy et al., 1995; Muro et al., 1997; Çalışkan et al., 2021), pieaugot MSB. Iespējams, ka rezultāti atkarīgi gan no izmantotajām šķirnēm (piemēram, šajā pētījumā šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' SbM, lai arī nebūtiski, tomēr

pieauga, bet šķirnei 'Prelma' tas gandrīz nemainījās, pieaugot MSB), gan no pielietotajām MSB un soļa starp tām. Nīderlandē veiktajā pētījumā SbM nebūtiski pieauga starp biežībām 25 un 62.5 mikroaugi m⁻², bet biežībā 145.8 mikroaugi m⁻² SbM samazinājās, tomēr nebija mazāka nekā zemākajā MSB (Veeken, Lommen, 2009). Spānijas pētnieki ir norādījuši, ka, paaugstinot MSB, iegūstamā SbM var palielināties tikai līdz noteiktai robežai (Tierno et al., 2014). Savukārt darbā, kurā pētīta dažādu MSB ietekme uz SbM aeroponikā, augstākā pielietotā MSB 180 mikroaugi m⁻² netika uzskatīta par augšējo robežu un tika izteikts pieņēmums, ka SbM turpinātu palielināties (Balena et al., 2021), pieaugot MSB, bet I. Farrans un A. Mingo-Kastels (Farran, Mingo-Castel, 2006) aeroponikā ieguva būtiski zemāku SbM, izmantojot MSB 100 mikroaugi m⁻², salīdzinājumā ar 60 mikroaugiem m⁻².

Promocijas darba pētījumā iegūtā SbM vērtējama kā samērā augsta, salīdzinot ar pētījumiem, kuros izmantotas līdzīgas MSB. Šajā pētījumā MSB95 iegūti 5.9–6.8 kg sīkbumbuļu no 1 m², turklāt uzskaitīti tikai ≥ 3 g smagie sīkbumbuļi. Turcijā veiktā pētījumā mikroaugu stādīšanas biežībā 100 mikroaugi m⁻² vidējā SbM bija robežās no nedaudz virs 2 kg līdz nedaudz mazāk kā 5 kg (precīza raža nav nosakāma, jo dati attēloti stabiņdiagrammu veidā) (Çalışkan et al., 2021).

Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka gadījumos, ja audzētajiem ir būtiska iegūt pēc iespējas lielāku sīkbumbuļu ražu kg, tad pētītajām šķirnēm visas pārbaudītās MSB ir efektīvas un MSB izvēle atkarīga no mikroaugu un siltumnīcas platības pieejamības.

Visām šķirnēm sīkbumbuļu vidējā masa, g (SbAW) samazinājās, paaugstinot MSB, kas ir saskaņā ar literatūrā publicēto par SbAW izmaiņām dažādās MSB (Lommen, Struik, 1992b; Abdunour, Roy, Desjardins, 2003; Veeken, Lommen, 2009; Çalışkan et al., 2021). Šāda tendence raksturīga arī audzējot kartupeļus lauka apstākļos – samazinot stādīšanas attālumu vai palielinot stublāju skaitu laukuma vienībā, samazinās arī ražas bumbuļu vidējā masa (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013).

Tomēr mikroaugu stādīšanas biežības ietekme uz SbAW bija būtiska tikai šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga', savukārt šķirnei 'Monta' MSB ietekme nebija statistiski būtiska ($p=0.134$). Būtisku MSB ietekmi uz SbAW nekonstatēja arī J. Muro un kolēģi (Muro et al., 1997), pētot šķirnes 'Jaerla' un 'Baraka'.

Priekuļos veiktajā promocijas darba pētījumā iegūtā SbAW 16.1–28.2 g vērtējama kā relatīvi augsta, jo salīdzināmos pētījumos iegūti sīkbumbuļi ar vidējo masu 3–6 g, stādot 100 mikroaugus m⁻² (Tierno et al., 2014), 5–20 g, stādot 25; 50; 100 un 200 mikroaugus m⁻² (Çalışkan et al., 2021) un pat tikai 1.18–5.01 g, stādot 25; 62.5 un 145.8 mikroaugus m⁻² (Veeken, Lommen, 2009). Vērā gan jāņem tas, ka promocijas darba pētījumā SbAW aprēķināšanai izmantoti tikai sīkbumbuļi ar masu ≥ 3 g, kas varētu paaugstināt iegūtos rezultātus, tomēr arī SbAW visiem sīkbumbuļiem (13.6–26.6 g, 10. pielik.) pārsniedza citos pētījumos norādīto. Tā kā veģetācijas perioda ilgums (77–94 dienas) Priekuļos veiktajā promocijas darba pētījumā bija pa vidu starp A. Vīkena un V. Lommenas pētījumā izmantotajām 70 dienām un M. Čaliskana un kolēģu pētījuma 104 līdz 124 dienām, tad šādas atšķirības SbM nevarēja radīt bumbuļu briešanai atvēlētais laiks. Arī promocijas darba pētījumā pielietotais substrāta dziļums 0.13 m nevarēja sniegt būtiskas priekšrocības, jo A. Vīkens un V. Lommena pielietoja 0.10 m dziļumu, bet M. Čaliskans un kolēģi pat 0.20 m. Iespējams, ka Priekuļos augiem siltumnīcā bija labāks barības vielu nodrošinājums, jo, piemēram, A. Vīkens un V. Lommena pielietoja tikai kalcija amonija nitrātu tādā daudzumā, kas nodrošināja N 11 g m⁻², savukārt M. Čaliskans un kolēģi nesniedz informāciju par to, vai substrātam tika pievienots mēslojums, vien informē, ka laistīšanā izmantotajam ūdenim pievienoja to pašu daudzumu minerālvielu, kādu pievienoja aeroponikā.

Promocijas darba pētījumā augstāka SbAW pie zemākām MSB atsvēra ar MSB pieaugumu saistīto sīkbumbuļu skaita palielināšanos, tāpēc pie konkrētajām pielietotajām MSB netika novērota būtiska SbM palielināšanās uz SbS pieauguma rēķina. Šādu efektu uzsvēruši arī A. Vīkens un V. Lommena (Veeken, Lommen, 2009), un SbAW un SbS līdzsvarojošu ietekmi uz SbM min arī K. Rikačevska (Rykaczewska, 2016b), kuras pētījumā šķirnei 'Ametist'

bija būtiski lielāks SbS un būtiski mazāks SbAW, salīdzinot ar šķirni 'Tajfun', bet SbM atšķirības nebija būtiskas.

Informācija par dažādās tehnoloģijās iegūstamo sīkbumbuļu vidējo lielumu vai masu ir būtiska tāpēc, ka lielāki sīkbumbuļi ir vieglāk uzglabājami. Jo mazāks ir bumbuļu izmērs, jo lielāka ir to virsmas laukuma:tilpuma attiecība un tādēļ tie iztvaiko intensīvāk nekā lielāki bumbuļi (Lommen, 1993b; Struik, Lommen, 1999). Intensīvākas iztvaikošanas rezultātā rodas lielāks masas zudums, līdz pat pilnīgai sīkbumbuļu bojāejai (Lommen, 1993b). Turklāt, mazākiem sīkbumbuļiem parasti ir garāks miera periods (Lommen, 1993a) un šāda parādība raksturīga ne tikai sīkbumbuļiem, bet arī lauka apstākļos izaudzētiem maziem bumbuļiem (Van Ittersum, 1992). Miera perioda atšķirības var veicināt nevienmērīgu sadīgšanu lauka apstākļos.

No lielākiem sīkbumbuļiem lauka apstākļos iegūt lielāku ražu (Lommen, Struik, 1995; Barry, Clancy, Molloy, 2001; Ozkaynak, Samanci, 2006). Turklāt, pastāv sakarības starp kartupeļu bumbuļu vidējo masu un ražas sadalījumu frakcijās, un būtiska vidējās masas samazināšanās var būtiski izmainīt šo sadalījumu (Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013). Literatūrā atrodami dažādi secinājumi par to, kāds ir minimālais sīkbumbuļu izmērs (vai masa), kuri piemēroti stādīšanai uz lauka. Daži autori apgalvo, ka mazākā stādīšanai lauka apstākļos piemērotu sīkbumbuļu masa ir 4 g (Melching, Slack, Jones, 1992; Ozkaynak, Samanci, 2005) līdz 5 g (Wiersema et al., 1987), bet kā optimāli minēti 15–40 g smagi sīkbumbuļi (Seabrook et al., 1995). Izmēģinājumi veikti arī izmantojot par 3 g vieglākus sīkbumbuļus (Struik, Lommen, 1999) un mikrobumbuļus (Haverkort, Van De Wart, Marinus, 1991; Kawakami et al., 2003; Ozturk, Yildirim, 2010; Wrobel, 2015). Neskatoties uz izmēģinājumiem, secināts, ka ļoti mazu sīkbumbuļu vai mikrobumbuļu izmantošana rada lielus riskus audzētājam, jo tiem ir zemāks augšanas spars un lielāka jutība pret dažādiem vides stresiem, bet labāku rezultātu iegūšanai nepieciešams veikt papildus pasākumus, tādus kā stādu izaudzēšana nelielos traukos siltumnīcā, segumu izmantošana siltuma nodrošināšanai un citi (Struik, Lommen, 1999).

Genotipa un MSB mijiedarbības ietekme uz SbM un SbAW nebija statistiski būtiska (attiecīgi $p=0.808$ un $p=0.815$).

Kopsavilkums. Lai arī šķirnei 'Mandaga' visās mikroaugu stādīšanas biežībās (MSB) iegūta lielākā sīkbumbuļu raža kg m^{-2} (SbM), tomēr starp šķirnēm atšķirības bija nebūtiskas 95% līmenī un iegūtā SbM bija 5.7–8.0 kg m^{-2} . Genotipa ietekme uz sīkbumbuļu vidējo masu (SbAW) bija būtiska un augstākā SbAW visās MSB novērota šķirnei 'Mandaga' (bet būtiski augstāka tikai par šķirni 'Monta' MSB93). Paaugstinoties MSB, pieauga SbM visām šķirnēm, tomēr atšķirības starp MSB nebija statistiski būtiskas. Visām šķirnēm, paaugstinoties MSB, samazinājās SbAW, bet šķirnei 'Monta' atšķirības starp MSB nebija statistiski būtiskas. Atkarībā no šķirnes un MSB, SbAW bija no 16.1 g ('Monta', MSB184) līdz 28.2 g ('Mandaga', MSB63).

3.1.4. Sīkbumbuļu ražas sadalījums frakcijās

Dažādu frakciju sīkbumbuļiem var atšķirties to agronomiskais sniegums pirmajā lauka paaudzē (Lommen, Struik, 1995; Barry, Clancy, Molloy, 2001; Ozkaynak, Samanci, 2006; Struik, 2007c), tāpēc ir vēlams izaudzēt pēc iespējas vairāk tāda lieluma sīkbumbuļus, kurus vai nu pieprasa pircējs (atkarībā no savām finansiālajām vai tehniskajām iespējām), vai arī kuru tālākai pavairošanai lauka apstākļos audzētājam ir atbilstošas tehniskās iespējas. Tāpēc ražas sadalījums frakcijās, iespējams, ir būtiskāks sīkbumbuļu ražu raksturojošs rādītājs nekā sīkbumbuļa vidējā masa. Tomēr ražas sadalījums frakcijās ir grūti ietekmējams rādītājs, kurš atkarīgs no vairākiem vairāk vai mazāk izmaināmiem faktoriem (piemēram, stublāju skaita laukuma vienībā), bet bumbuļu savstarpējās konkurences fizioloģiskie mehānismi ir īpaši grūti izprotami kartupeļu augos ar vienu stublāju (Struik et al., 1990), kā tas parasti ir, audzējot sīkbumbuļus no mikroaugiem.

Promocijas darba pētījumā sīkbumbuļi šķiroti četrās frakcijās pēc to masas (3.00–4.99 g jeb f1; 5.00–9.99 g jeb f2; 10.00–19.99 g jeb f3 un ≥ 20.00 g jeb f4) un tika noteikts sīkbumbuļu skaits katrā no frakcijām (SskF), lai noskaidrotu, kā tas mainās atkarībā no pielietotās mikroaugu stādīšanas biežības (MSB).

Papildus aprēķināts arī katras frakcijas īpatsvars % (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā, lai noskaidrotu, kā tas izmainās atkarībā no MSB.

Genotipa ietekme uz sīkbumbuļu skaitu katrā no frakcijām (SskF) vidēji visām MSB bija statistiski būtiska, tomēr faktora ietekmes īpatsvars η bija robežās no 4.0 līdz 13.3% (9. pielik.). Genotips būtiski ietekmēja arī katras frakcijas īpatsvaru (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā un faktora ietekmes īpatsvars η bija 6.9–16.1%.

Analizējot genotipa ietekmi uz SskF katras atsevišķas MSB ietvaros, konstatēts, ka vislīdzīgākie rezultāti šķirnēm bija pie MSB142, kur genotipa ietekme nebija statistiski būtiska 95% līmenī nevienā no sīkbumbuļu frakcijām, bet frakcijas īpatsvara F% griezumā atšķirības starp šķirnēm šajā MSB bija būtiskas tikai 3.00–4.99 g (f1) frakcijā. Visatšķirīgākie rezultāti šķirnēm bija pie MSB95, kur katrā no pētītajām frakcijām atšķirības starp šķirnēm bija būtiskas abos rādītājos (SskF un F%) (11. pielik.).

Lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr visās MSB šķirnei ‘Mandaga’ bija lielākais ≥ 20.00 g (f4) sīkbumbuļu skaits un šīs frakcijas īpatsvars (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā, salīdzinot ar šķirnēm ‘Monta’ un ‘Prelma’ (3.4. att. A un B, un 12. pielik.). Kopumā, savstarpēji salīdzinot šķirnes, netika konstatēta vienota tendence tam, kā izmainās sīkbumbuļu skaits frakcijās un frakciju īpatsvars atkarībā no MSB izmaiņām.

Zinātniskajā literatūrā genotipa ietekme uz sīkbumbuļu sadalījumu frakcijās ir relatīvi maz analizēta. Igaunijā veiktā pētījumā, kurā mikroaugi stādīti atklātā laukā, nav konstatēta genotipa ietekme uz iegūto sadalījumu frakcijās (Särekanno et al., 2010b). Pētnieki Kanādā iegūtos sīkbumbuļu šķiroja piecās frakcijās pēc to masas un noteica sīkbumbuļu skaitu katrā frakcijā (atbilst jēdzienam SskF promocijas darba pētījumā). Pieciem no sešiem genotipiem iegūtais sadalījums frakcijās bija tuvu normālam un vismazāk sīkbumbuļu iegūts lielākajā un mazākajā frakcijā. Tomēr frakciju sadalījuma diagramma dažādiem genotipiem bija novirzīta pa labi (lielākās frakcijas virzienā), vai pa kreisi (mazākās frakcijas virzienā). Visizteiktāk atšķīrās viens no genotipiem, jo tam frakciju sadalījumā, līdzīgi kā promocijas darba pētījumā, dominēja divas lielākās frakcijas (Ali, Alam, Souza Machado, 1995). Spānijā veiktā pētījumā sīkbumbuļu skaits frakcijās starp genotipiem atšķīrās gan konvencionālajā audzēšanas tehnoloģijā, gan aeroponikā (Tierno et al., 2014). Arī lauka apstākļos kartupeļu ražas sadalījums frakcijās var būtiski atšķirties starp šķirnēm (Travis, 1987; Wurr et al., 1993; Herman, L. Knowles, N. Knowles, 2016), kas apstiprina genotipa ietekmi uz šo rādītāju.

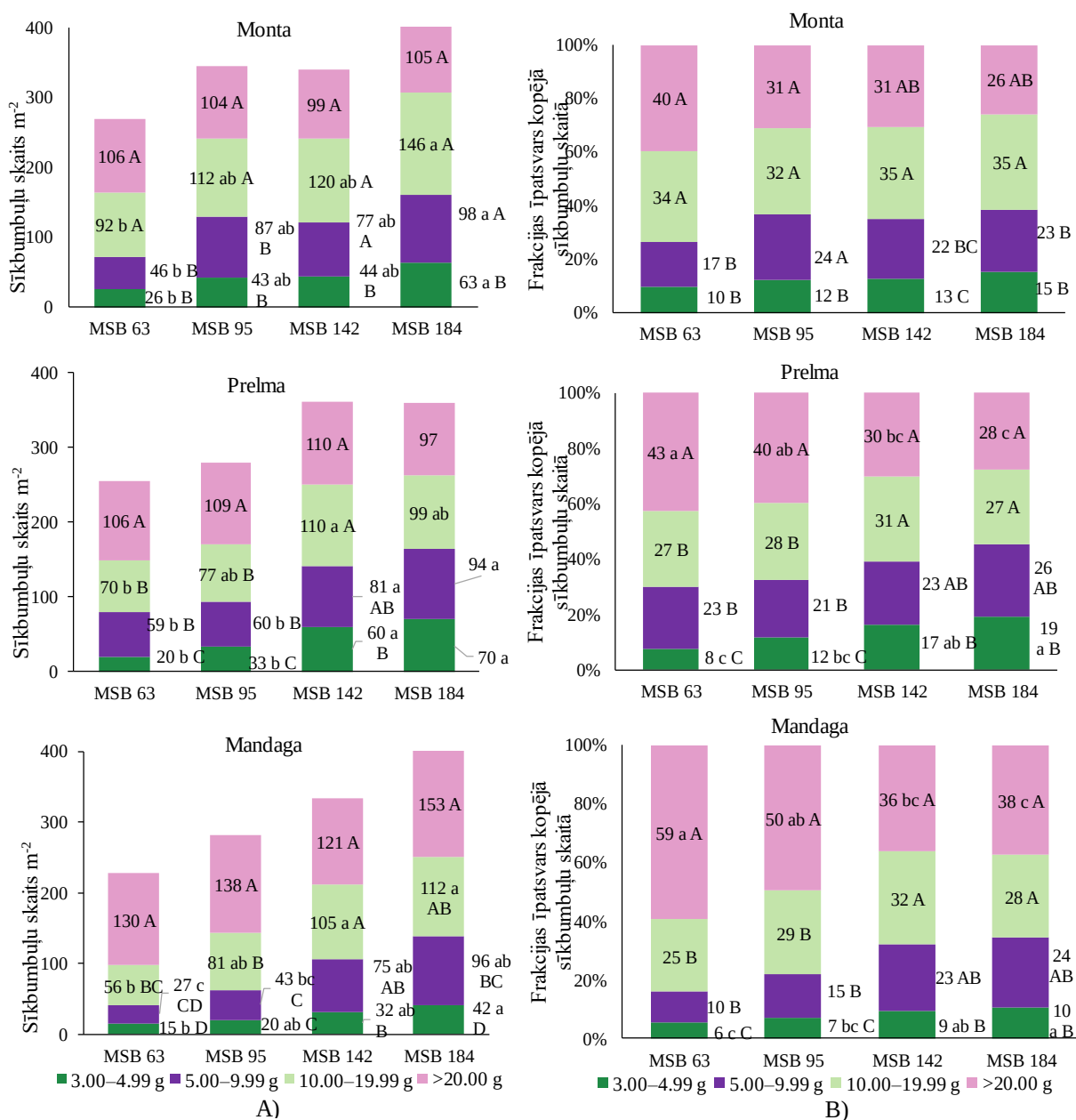
Mikroaugu stādīšanas biežība (MSB) būtiski ietekmēja kopējo SskF f1, f2 un f3, kā arī frakciju f1, f2 un f4 īpatsvaru (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā (3.4. att. A un B, 9. pielik.). Faktora ietekmes īpatsvars η uz sīkbumbuļu skaitu minētajās frakcijās bija no 24.1 līdz 31.0%, bet uz F% – no 13.2 līdz 24.1%. Savukārt f4 sīkbumbuļu skaits nebija statistiski būtiski atkarīgs no MSB ($p=0.881$). Audzēšanas tehnoloģija būtiski neietekmēja arī f3 īpatsvaru % ($p=0.245$).

Visām šķirnēm frakcijās f1, f2 un f3 SskF pieauga, paaugstinoties MSB (3.4. att. A), izņemot ‘Montu’ f2 MSB142, kur tas bija nebūtiski mazāks ($p=0.927$), salīdzinot ar MSB95 un ‘Prelmu’ f3 MSB184, kur tas bija nebūtiski mazāks ($p=0.704$), salīdzinot ar MSB142.

Savukārt lielāko sīkbumbuļu jeb f4 frakcijā, nevienai no šķirnēm SskF dažādās MSB būtiski nemainījās (lai arī šķirnei ‘Mandaga’ sīkbumbuļu skaitam šajā frakcijā bija tendence pieaugt, paaugstinoties MSB).

Vērtējot frakcijas īpatsvara jeb F% izmaiņas starp dažādām MSB (3.4. att. B), redzams, ka tendences nedaudz atšķīrās no tām, kuras novērotas saistībā ar SskF. Lielāko sīkbumbuļu frakcijas (f4) F% samazinājās, paaugstinoties MSB, turklāt šķirnei ‘Prelma’ un šķirnei ‘Mandaga’ samazinājums bija būtisks. Šķirnei ‘Prelma’ frakcijas f4 F% starp MSB63 un MSB184 samazinājās 1.5 reizes, bet šķirnei ‘Mandaga’ – 1.6 reizes. Savukārt f3 F% nevienai no šķirnēm būtiski neatšķīrās starp dažādām MSB ($p=0.820$ ‘Montai’, $p=0.471$ šķirnei ‘Prelma’

un $p=0.337$ šķirnei 'Mandaga'). Lai gan līdz ar MSB palielināšanu SskF divās mazāko sīkbumbuļu frakcijās (f1 un f2) būtiski pieauga visām šķirnēm, tomēr šo frakciju F% atšķirības atkarībā no MSB nebija tik viennozīmīgas kā SskF izmaiņas. Sīkbumbuļu skaitam frakcijās f1 un f2 bija tendence pieaugt, bet F% griezumā statistiski būtisks pieaugums bija tikai f1 šķirnei 'Prelma' un f2 šķirnei 'Mandaga'. Šķirnei 'Mandaga' frakcijas f1 īpatsvars pat augstākajā MSB184 bija tikai 10%, salīdzinot ar 15% šķirnei 'Monta' un 19% šķirnei 'Prelma'. Līdz ar to šķirnei 'Prelma' f4 jeb lielāko sīkbumbuļu frakcijas F% samazinājās galvenokārt mazāko sīkbumbuļu frakcijas (f1) F% pieauguma rezultātā, bet šķirnei 'Mandaga' – f2 F% pieauguma rezultātā.



3.4. att. Sīkbumbuļu skaits ražas frakcijās jeb SskF (A) un frakcijas īpatsvars (F%) kopējā sīkbumbuļu skaitā (B) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.

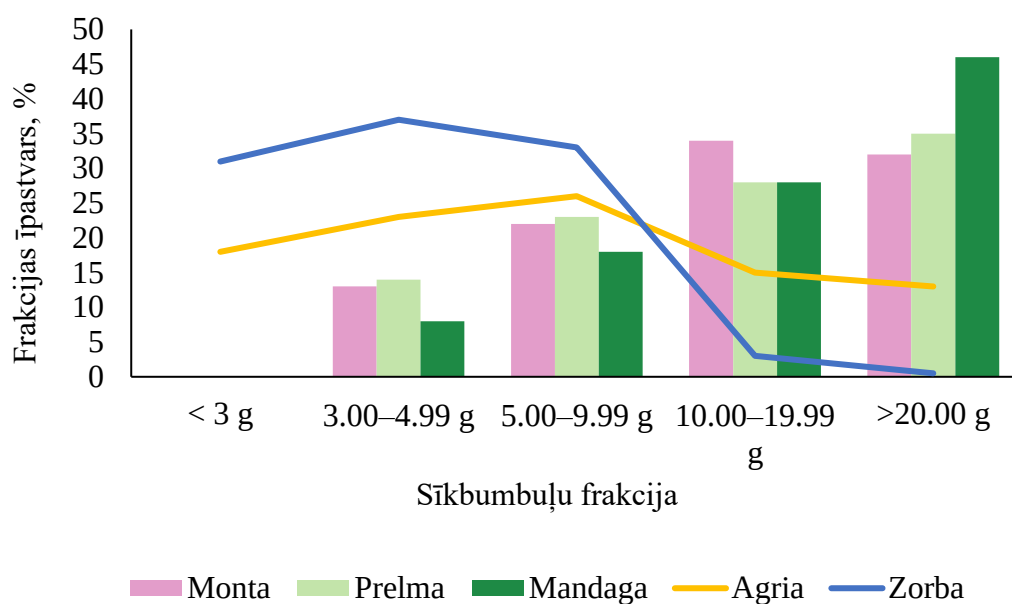
Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp MSB atsevišķi katrai pētītajai frakcijai (atsevišķi A un B). Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp sīkbumbuļu skaitu frakcijā (A) un frakcijas īpatsvaru (B) katras MSB ietvaros. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī nepastāv būtiskas atšķirības starp grupām (attiecināmi mazie burti starp MSB, vai lielie burti MSB ietvaros). Grupu salīdzināšana veikta katrai šķirnei atsevišķi

Tendence, ka, paaugstinoties MSB, pieaug mazāko sīkbumbuļu frakcijas īpatsvars, bet samazinās lielāko sīkbumbuļu frakcijas īpatsvars, Priekuļos novērota arī agrāk, kad dažādas mikroaugu biezības tika iegūtas nevis sabiezinošā stādījumu viena veida audzēšanas traukā, bet gan izmantojot dažādus audzēšanas traukus (kastes, plēves dobes, rulonus). Bet, neskatoties uz šo tendenci, ≥ 20 g sīkbumbuļu frakcijai saglabājās augstākais īpatsvars (Gābere, 2004). Citi salīdzināmi pētījumi, kuros analizētas sīkbumbuļu frakciju īpatsvara izmaiņas atkarībā no MSB, netika atrasti.

Visām šķirnēm katras MSB iekšienē (skat. 3.4. att. A un B) divu lielāko sīkbumbuļu frakciju (f3 un f4) SskF un arī F% bija būtiski augstāki nekā mazāko sīkbumbuļu frakcijā f1 (izņemot F% šķirnei 'Monta' MSB184, kurā f4 būtiski neatšķīrās ($p=0.170$) no f1 un SskF šķirnei 'Prelma' MSB184, kurā netika novērotas būtiskas atšķirības starp nevienu no frakcijām ($p=0.074$)).

Šajā pētījumā frakciju sadalījums pat pie augstākās MSB palika izteikti novirzīts lielāko frakciju virzienā (3.5. att.). Lai gan ražas sadalījumu frakcijās var raksturot, izmantojot Gausa jeb normālo sadalījumu (Sands, Regel, 1983; Travis, 1987; MacKerron et al., 1988; Ospina et al., 2014), tomēr praksē tas vairāk atbilst Gamma (Aliche et al., 2019) vai Veibula sadalījumam (Bussan et al., 2007; Mhango et al., 2021), jo, atkarībā no šķirnes vai audzēšanas apstākļiem, var tikt novērotas novirzes lielāko vai mazāko frakciju virzienā (Struik et al., 1990).

Līdzīga sakarība kā promocijas darba pētījumā, kad lielāks īpatsvars ir lielāko frakciju sīkbumbuļiem, konstatēta Grieķijā veiktā pētījumā, stādot 200 mikroaugus m^{-2} (Grigoriadou, Leventakis, 1999). Tomēr biežāk sīkbumbuļu sadalījumam frakcijās raksturīga relatīvi neliela novirze pa labi vai pa kreisi galējo frakciju virzienā (Ali, Alam, Souza Machado, 1995), vai izteikta novirze pa kreisi jeb mazāko sīkbumbuļu frakciju virzienā (Tierno et al., 2014, skat. arī 3.5. att.; Çalışkan et al., 2021). Arī lauka apstākļos, pieaugot ražas bumbuļu skaitam, parasti pieaug to skaits tieši mazākā izmēra frakcijās (Aliche et al., 2019; Van Dijk et al., 2021a).



3.5. att. Shematisks sīkbumbuļu sadalījuma frakcijās attēlojums salīdzinājumā ar datiem R. Tierno un kolēģu (Tierno et al., 2014) pētījumā.

Stabiņdiagrammas ir aktuālie pētījuma dati, apkopoti vidēji visām mikroaugu stādīšanas biezībām (MSB), dati par < 3 g sīkbumbuļiem nav attēloti. Zilā un dzeltenā līnijas ir ilustratīvas pēc Tierno et al. (2014)

Turcijā veiktā pētījumā, kurā izmantotas ar šo darbu salīdzināmas MSB, kā arī sīkbumbuļi šķiroti salīdzināmās frakcijās (< 5 g, 5–10 g, 10–20 g un ≥ 20 g), ir vērtēts sīkbumbuļu skaits frakcijās vidēji pielietotajām MSB. Iegūtie rezultāti ir pretēji Priekuļos veiktā pētījuma

rezultātiem, jo autori Turcijā visvairāk sīkbumbuļu ieguva frakcijā < 5 g, bet vismazāk – ≥ 20 g frakcijā (Çalışkan et al., 2021). Nosakot sīkbumbuļu skaitu katrā frakcijā vidēji visās MSB, šajā promocijas pētījumā dominēja ≥ 20 g smagie sīkbumbuļi (115 sīkbumbuļi m^{-2} jeb 37.5%) bet vismazākā bija $3-5$ g frakcija (39 sīkbumbuļi m^{-2} jeb 11.5%). Tā kā Turcijā veiktajā pētījumā iegūtais SbS bija $290-334$ sīkbumbuļi m^{-2} vidēji visās MSB (augstākajā MSB, 200 mikroaugi m^{-2} – nedaudz virs 500), tad sīkbumbuļu skaits nevarēja būt iemesls, kas būtiski pazemināja SbAW, līdz ar to frakciju īpatsvaru par labu mazāko sīkbumbuļu frakcijai, salīdzinājumā ar promocijas darba pētījumu (3.1.2. apakšnodaļa), jo SbS abos pētījumos ir relatīvi līdzīgs. Tas, ka līdzīgās MSB Priekuļos veiktajā promocijas darba pētījumā iegūta augstāka SbAW, bet mazāko sīkbumbuļu frakcijas īpatsvars saglabājās relatīvi zems arī paaugstinot MSB, varētu liecināt par būtisku nozīmīgu citu apstākļu ietekmi uz bumbuļu masas pieaugumu un līdz ar to arī lielāko sīkbumbuļu frakciju īpatsvaru. Iespējams, ka to ietekmē audzēšanas substrāta sagatavošanā pielietotais mēslojums un sezonas laikā nodrošinātā ārpussakņu piebarošana, tomēr to nevar noteikti apgalvot, jo šie apstākļi netika pētīti. Taču šādu hipotēzi izvirzīt ļauj arī tas, ka līdzīgā pētījumā ar salīdzināmām MSB (Veeken, Lommen, 2009) iegūta relatīvi mazāka SbAW (3.1.2. apakšnodaļa).

Pētot dažādu faktoru ietekmi uz kartupeļu bumbuļu sadalījumu frakcijās, noskaidrots, ka to pamatā var izskaidrot ar ražas bumbuļu skaitu un ražu (MacKerron et al., 1988). Jo lielāks ir ražas bumbuļu skaits laukuma vienībā, jo mazāka ir to izmēra relatīvā variācija (σ/μ). Pretējs ir bumbuļu vidējās masas efekts – raža mazāk variē, ja bumbuļu vidējā masa ir zemāka. Kā iespējamu iemeslu šādām sakarībām autori min to, ka, esot mazākam bumbuļu skaitam, ātrāk un skaidrāk izveidojas un nostabilizējas to savstarpējā hierarhija cīņā par barības vielām, tātad – to izmērs var vairāk atšķirties. Savukārt, esot lielākam bumbuļu skaitam, neizveidojas labi izteikta hierarhija un vairāk bumbuļiem saglabājas iespēja sasniegt līdzīgu izmēru (MacKerron et al., 1988), lai arī vidēji mazāku nekā tad, ja bumbuļu ir mazāk. Šīs sakarības izskaidro to, ka Priekuļos veiktajā promocijas darba pētījumā ar sīkbumbuļiem augstākās MSB, kurās ieguva vairāk sīkbumbuļu m^{-2} , frakciju īpatsvars savstarpēji atšķīrās relatīvi mazāk nekā tas bija zemākās MSB (3.4. att.).

Kopumā iegūtie rezultāti par sīkbumbuļu sadalījumu frakcijās un tā izmaiņām atkarībā no MSB ļauj secināt, ka no šāda aspekta iespējams vēl vairāk palielināt MSB, jo saglabājas potenciāls iegūt relatīvi lielu par 10 g smagāku sīkbumbuļu īpatsvaru, īpaši šķirnei ‘Mandaga’. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Prelma’ visu frakciju īpatsvars apmēram līdzsvarojas tikai pie MSB184, tomēr arī šajā biežībā f3 un f4 īpatsvars vēl pārsniedza f1 īpatsvaru, līdz ar to var prognozēt, ka neliela MSB paaugstināšana virs MSB184 ļautu saglabāt sadalījumu tuvu normālajam, kurā dominētu divas vidējās frakcijas, bet samazinātos f1 un f4 īpatsvars. Lai noteiktu maksimālo MSB robežu, kurā varētu iegūt lielu daudzumu sīkbumbuļu ar vēlamu lielumu, nepieciešams veikt atsevišķu pētījumu katram no audzētajiem genotipiem.

Genotipa un MSB mijiedarbība. Nevienā no sīkbumbuļu frakcijām netika novērota statistiski būtiska šķirnes un MSB mijiedarbības ietekme uz SskF (p vērtības robežās no 0.187 līdz 0.815).

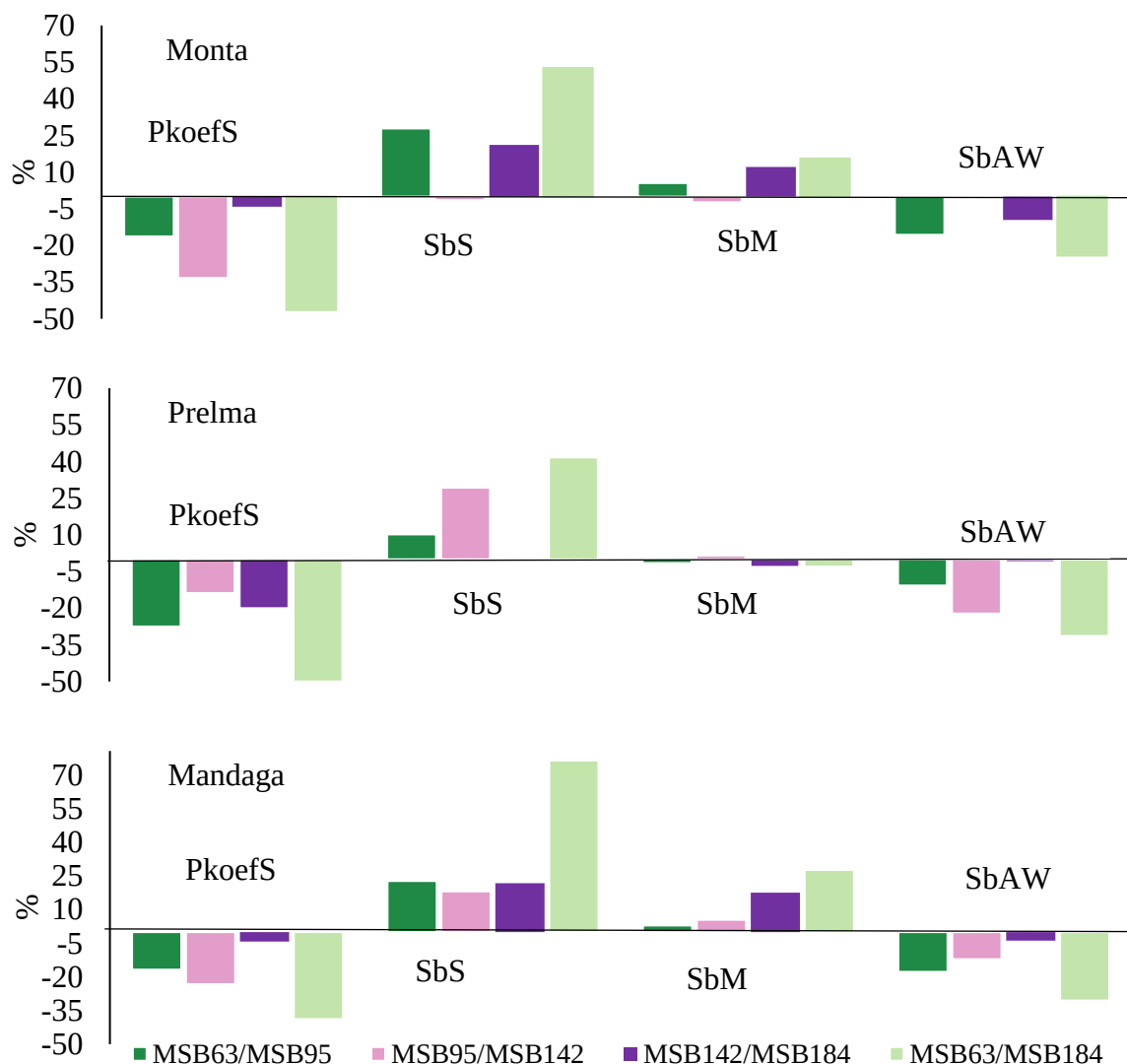
Kopsavilkums. Lai gan genotipa kā faktora ietekmes īpatsvars bija visai zems un, atkarībā no sīkbumbuļu frakcijas tas izskaidroja $4.0-13.3\%$ no sīkbumbuļu skaita frakcijā (SskF) variācijas, kā arī $6.9-16.1\%$ sīkbumbuļu frakcijas īpatsvara (F%) variācijas, tomēr genotipa ietekme uz SskF un F% bija statistiski būtiska. Lielākais SskF un F% bija ≥ 20 g smagiem sīkbumbuļiem, kā arī mazākais SskF $3.00-4.99$ g un un šīs frakcijas F% visās MSB bija šķirnei ‘Mandaga’.

Paaugstinot MSB, visām šķirnēm, lai arī ne vienmēr būtiski, bet pieauga sīkbumbuļu skaits frakcijās (SskF) $3.00-4.99$ g (f1), $5.00-9.99$ g (f2) un $10.00-19.99$ g (f3) (3.4. att. A). Savukārt ≥ 20 g (f4) frakcijā nevienai no šķirnēm SskF dažādās MSB būtiski nemainījās (lai arī šķirnei ‘Mandaga’ sīkbumbuļu skaitam šajā frakcijā bija tendence pieaugt, paaugstinoties MSB).

Katrā no MSB visām šķirnēm SskF un F% divās lielāko sīkbumbuļu frakcijās (f3 un f4) bija, lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr augstāki nekā mazāko sīkbumbuļu frakcijā f1, līdz ar to, pat pieaugot MSB, saglabājās sīkbumbuļu frakciju sadalījums ar novirzi pa labi jeb lielāko sīkbumbuļu frakciju virzienā. Šādas tendences saglabāšanās liecina, ka pastāv potenciāls nepieciešamības gadījumā paaugstināt MSB virs MSB184, jo sīkbumbuļu skaita pieaugums nedaudz augstākā biežībā visdrīzāk būtiski nenovirzītu frakciju sadalījumu pa kreisi jeb mazāko sīkbumbuļu frakciju virzienā. Tomēr, lai noteiktu maksimālās MSB, pie kurām vēl nenotiktu šāda novirzīšanās, jāveic atsevišķi izmēģinājumi, ja šādu nepieciešamību radītu ražošanas apstākļi.

3.1.5. Sīkbumbuļu ražu raksturojošu rādītāju izmaiņu tendences mikroaugu stādīšanas biežības izmaiņu ietekmē

Kā apskatīts iepriekš, tad izmaiņu virziens, paaugstinoties mikroaugu stādīšanas biežībai (MSB), dažādiem ražu raksturojošiem rādītājiem bija atšķirīgs (3.6. att.).



3.6. att. Sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju relatīvās izmaiņas, %, vidēji 2014.–2016. g.

MSB63/MSB95; MSB95/142; MSB142/MSB184 un MSB63/MSB184 apzīmē mikroaugu stādīšanas biežības, starp kurām aprēķinātas attēlotās izmaiņas

Pavairošanas koeficientam siltumnīcā (PkoefS) bija tendences samazināties, sīkbumbuļu skaitam (SbS) – pieaugt, sīkbumbuļu raža (SbM) būtiski nemainījās, bet viena sīkbumbuļa vidējā masa (SbAW) – samazinājās. Atšķīrās arī relatīvais izmaiņu lielums procentos.

Sīkbumbuļu pavairošanas koeficienta (PkoefS) relatīvās izmaiņas starp MSB bija atkarīgas no tā, cik liels ir solis starp pielietotajām MSB un dažādām šķirnēm izmaiņu lielums atšķīrās. Salīdzinot relatīvās izmaiņas starp mazāko un lielāko MSB (3.6. att. skatīt gaiši zaļos stabiņus), vislielākās tās bija šķirnei ‘Prelma’, kurai PkoefS samazinājās par 51.5% (jeb 2.06 reizes), bet vismazākās – šķirnei ‘Mandaga’ (37.7% jeb 1.65 reizes).

Vērtējot relatīvo izmaiņu tendences starp atsevišķām MSB, šķirnei ‘Monta’ vislielākais samazinājums novērots starp MSB95 un MSB142, kad PkoefS vērtība samazinājās par 34.2% jeb 1.51 reizi, savukārt starp MSB142 un MSB184 vērtība samazinājās tikai par 6.3% jeb 1.06 reizes, kas bija vismazākās novērotās PkoefS izmaiņas starp kādām no MSB. Šķirnei ‘Prelma’ PkoefS visvairāk samazinājās starp MSB63 un MSB95 (par 51.5% jeb 1.37 reizes), bet vismazākais samazinājums, pretēji šķirnei ‘Monta’, bija starp MSB95 un MSB142 (par 13.3% jeb 1.15 reizes). Šķirnei ‘Mandaga’ PkoefS relatīvās izmaiņas bija salīdzinoši vienmērīgas, jo, mainoties MSB, neiezīmējas tik izteikta PkoefS samazināšanās starp kādu no MSB, kā novēroja pārējām divām šķirnēm. Šķirnei ‘Mandaga’ starp katrām divām zemākajām MSB PkoefS samazinājās attiecīgi par 18.7% un 20.7% (1.23 un 1.26 reizes), bet starp MSB142 un MSB184 – tikai par 6.4% (1.06 reizes).

Līdz ar to jāsecina, ka PkoefS relatīvajām tendencēm ir atšķirīgs izmaiņu lielums, palielinoties MSB, tomēr visām šķirnēm starp MSB142 un MSB184 jeb divām augstākajām MSB, PkoefS relatīvās izmaiņas bija mazākas nekā starp MSB95 un MSB63 (divām zemākajām MSB).

Dati par PkoefS vērtību izmaiņām atkarībā no MSB izmaiņām literatūrā variē samērā plašā amplitūdā un ir grūti salīdzināmi, jo pielietotās MSB un soļi starp tām ir atšķirīgi. Salīdzinot ar A. Vīkena un V. Lommenas (Veeken, Lommen, 2009) iegūtajiem rezultātiem, promocijas darba pētījumā novērotais PkoefS samazinājums, pieaugot MSB, būtu uzskatāms par samērā lielu. A. Vīkena un V. Lommenas (Veeken, Lommen, 2009) veiktajā pētījumā augstākā mikroaugu stādīšanas biežība (MSB) bija 5.68 reizes lielāka par zemāko, bet trīs šķirnēm (‘Junior’, ‘Bintje’ un ‘Aziza’) PkoefS samazinājās vidēji tikai 2.07 reizes, salīdzinājumā ar samazinājumu vidēji 1.86 reizes šajā pētījumā, kad augstākā MSB bija tikai 2.92 reizes lielāka par zemāko. Savukārt R Roja un kolēģu (Roy et al., 1995) pētījumā augstākā un zemākā MSB atšķīrās 4 reizes, bet PkoefS starp MSB samazinājās 2.31 reizi. Literatūrā atrodamī dati arī par PkoefS samazināšanos 1.68 reizes, paaugstinot MSB 2 reizes (Abdounour, Roy, Desjardins, 2003), un šis izmaiņu lielums varētu būt relatīvi tuvāks Priekuļos veiktā promocijas darba pētījuma rezultātiem. Tomēr, kā minēts iepriekš, lielākā relatīvā PkoefS samazināšanās novērota tieši starp zemākajām MSB izmaiņām, bet, pieaugot MSB, PkoefS samazināšanas temps kļūst mazāk izteikts.

Sīkbumbuļu skaita no 1 m² (SbS) relatīvās izmaiņas. Salīdzinot SbS pieaugumu starp divām galējām MSB, mazākais tas bija šķirnei ‘Prelma’ (par 41.7% jeb MSB184 tas bija 1.42 reizi lielāks nekā MSB63), bet lielākais – šķirnei ‘Mandaga’ (par 76.4% jeb 1.76 reizes), kas bija pretēja tendence šīm šķirnēm novērotajām pavairošanas koeficienta siltumnīcā (PkoefS) izmaiņām.

Turklāt tikai šķirnei ‘Mandaga’ SbS vērtību relatīvo izmaiņu tendence, lai arī tās virziens bija pretējs, tomēr bija salīdzinoši tik pat lēzens kā PkoefS relatīvo izmaiņu tendence, bez ievērojamiem kāpumiem starp kādu no divām blakusesošām MSB. Šķirnēm ‘Monta’ un ‘Prelma’ mikroaugu stādīšanas biežības MSB, starp kurām novēroja lielākās SbS vērtību izmaiņas, atšķīrās no tām MSB, starp kurām bija lielākās PkoefS izmaiņas. Šķirnei ‘Monta’, kurai vislielākais PkoefS samazinājums bija starp MSB95 un MSB142, starp šiem variantiem nenovēroja SbS pieaugumu (tas pat samazinājās par 1.6%), tātad lielāks kvadrātmetrā iestādīto mikroaugu skaits nespēja kompensēt PkoefS vērtības krituma ietekmi uz SbS. Šķirnei ‘Prelma’ PkoefS visvairāk samazinājās starp MSB63 un MSB95, bet SbS starp šīm MSB tomēr, lai arī

nebūtiski (3.1. att.), bet pieauga, līdz ar to SbS starp šīm MSB pieauga par 10.2%. Tātad, šķirnei 'Prelma' PkoefS vērtības kritums starp šīm MSB nebija tik liels, lai atstātu negatīvu ietekmi uz SbS, tomēr pietiekoši liels, lai SbS pie MSB95 būtu vien 1.09 reizes lielāks nekā pie MSB63.

Promocijas darba pētījumā iegūtās relatīvo izmaiņu tendences šķirnei 'Mandaga', kad, paaugstinot MSB, SbS procentuālais pieaugums bija relatīvi lielāks par PkoefS procentuālo samazināšanos, apstiprina datus, kuri iegūti gan izmantojot konvencionālo sīkbumbuļu audzēšanas paņēmieni (Roy et al., 1995; Veeken, Lommen, 2009; Çalışkan et al., 2021), gan audzējot sīkbumbuļus aeroponikā (Calori et al., 2018). Tomēr ir publicēti pētījumi, kuros iegūtie rezultāti rāda pretēju tendenci, kad SbS pieaugums procentos, paaugstinot MSB, bija mazāks, salīdzinot ar PkoefS relatīvās samazināšanās lielumu (Abdulnour, Roy, Desjardins, 2003) un līdzīga tendence bija šķirnēm 'Monta' un 'Prelma' promocijas darba pētījumā. Salīdzinot ar bāzes MSB63, šķirnei 'Prelma' SbS relatīvais pieaugums pārsniedza PkoefS relatīvo samazināšanos pie MSB142 (attiecīgi 42.5% un -36.9%), bet 'Montai' tikai pie MSB95 bija relatīvi lielāks SbS pieaugums, salīdzinot ar PkoefS samazināšanos (27.8% un -15.4%) (15. pielik.). Jāsecina, ka relatīvo izmaiņu tendences starp dažādām MSB dažādiem genotipiem var būt atšķirīgas.

Sīkbumbuļu ražas (SbM) un vidējās masa (SbAW) relatīvās izmaiņas. Salīdzinājumā ar citiem ražu raksturojošajiem rādītājiem, SbM novērotas vismazākās relatīvās izmaiņas, paaugstinot MSB, kas ir saskaņā ar MSB nebūtisko ietekmi uz šo rādītāju (3.3. att.). Lielākais relatīvais pieaugums starp mazāko uz lielāko MSB bija 27.6% šķirnei 'Mandaga', kas bija arī vienīgā šķirne, kurai starp visām blakusesošu MSB kombinācijām novērots pozitīvs SbM pieaugums (3.6. att.). Savukārt šķirnei 'Prelma' pozitīvs pieaugums bija tikai starp MSB95 un MSB142 (1.6%). Salīdzinot ar SbM relatīvo izmaiņu tendenci, SbAW tās bija nedaudz izteiktākas, kas ir saistīts ar relatīvi maz mainīgo SbM, bet pieaugošo SbS, paaugstinoties MSB. Tā kā SbAW ir SbM dalīta ar SbS, tad visām šķirnēm starp katrām divām sekojošām MSB, kā arī starp mazāko un lielāko MSB novērota SbAW samazināšanās. Šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' SbAW mazākās izmaiņas bija starp MSB142 un MSB184 (attiecīgi -1.2 un -3.9%), bet šķirnei 'Monta' – starp MSB95 un MSB142 (-0.6%) (3.6. att. un 15. pielik.). Savukārt SbAW relatīvais samazinājums starp mazāko un lielāko MSB šķirnēm bija -24.1% šķirnei 'Monta', -31.4% šķirnei 'Prelma' un -30.1% šķirnei 'Mandaga'.

Kopsavilkums. Salīdzinājumā ar bāzes mikroaugu stādīšanas biežību MSB63, šķirnei 'Monta' sīkbumbuļu skaita (SbS) relatīvais pieaugums bija lielāks nekā pavairošanas koeficienta (PkoefS) samazināšanās tikai pie MSB95 un pie nākamajām MSB šī izmaiņu tendence mainījās. Šķirnei 'Prelma' SbS relatīvais pieaugums, paaugstinoties MSB, pārsniedza relatīvo PkoefS samazināšanos vēl pie MSB142, bet pie MSB184 tendence mainījās un PkoefS samazinājās izteiktāk nekā pieauga SbS. Tikai 'Mandaga' pie augstākās MSB184 saglabāja relatīvo izmaiņu tendenci, kad SbS relatīvais pieaugums bija lielāks nekā PkoefS samazinājums (attiecīgi 76.4% un -39.7%), līdz ar to šai šķirnei nepieciešamības gadījumā var tikt pielietota vēl augstāka MSB, saglabājot līdzsvaru starp šo rādītāju izmaiņām, salīdzinājumā ar bāzes MSB. Vismazākās relatīvās izmaiņas bija sīkbumbuļu ražai, turklāt tendence starp šķirnēm un MSB atšķīrās, un bija gan pozitīva, gan negatīva. Starp divām malējām MSB šis rādītājs pieauga šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga', bet samazinājās šķirnei 'Prelma'. Savukārt sīkbumbuļu vidējā masa visām šķirnēm un starp visām analizētajām MSB samazinājās, paaugstinoties MSB, visām šķirnēm saglabājot aptuveni līdzīgu izmaiņu lielumu.

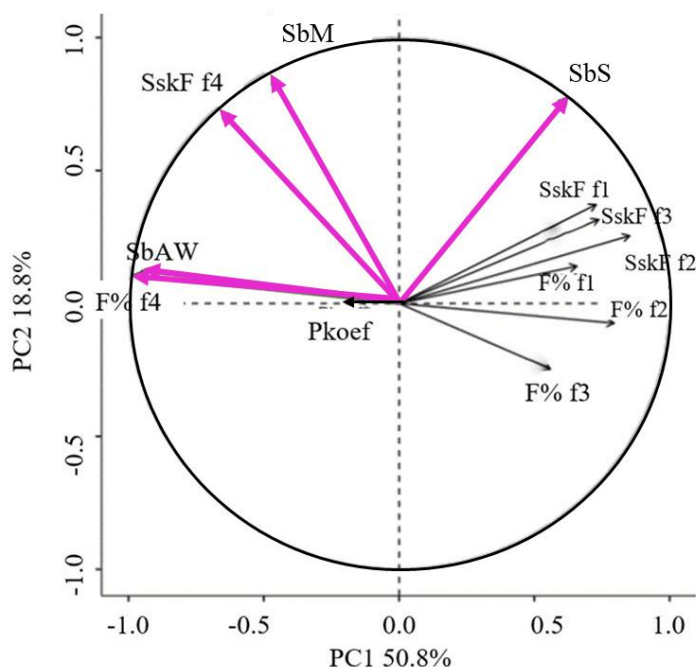
3.1.6. Korelatīvās sakarības starp pētāmajām pazīmēm

Lai noskaidrotu ražu raksturojošo rādītāju (mainīgo) ietekmi uz citu rādītāju variēšanu, veikta galveno komponentu jeb PCA analīze (galveno komponentu grupas un mainīgo slodze uz tām skatāma 14. pielikumā). PCA analīze ir informatīva metode, lai noskaidrotu vairāku pazīmju korelāciju struktūru (Nelson, Rawlings, 1983). Metode ļauj samazināt lielāku skaitu

mainīgo līdz mazākam skaitam indeksa mainīgo, kurus sauc par komponentiem un tas uzlabo iespējas interpretēt sakarības (Jolliffe, Cadima, 2016).

Lai veiktu grafisku datu vizualizēšanu, PCA analīzi veica, sadalot pazīmes divos galvenajos komponentos, kuri kopā veidoja 69.6% no sākotnējās datu kopas variācijas. Pirmajā galvenajā komponentā (PC1) analīzes pielietošanas rezultātā tika apvienotas pazīmes, kuras saistītas ar sīkbumbuļu skaitu 1 m² (SbS), bet otrajā galvenajā komponentā (PC2) apvienotas pazīmes, kuras saistītas ar sīkbumbuļu ražu, kg m⁻² (SbM). Kā redzams PCA tabulā (14. pielik.), tad PkoefS neietilpa nevienā no jaunizveidotajiem komponentiem, jo tā korelācija ar vienu no komponentiem (PC1) bija mazāka par 0.3 ($r = -0.115$), līdz ar to šai pazīmei bija ļoti maza slodze uz izveidotajiem PC.

Divās dimensijās veiktā datu vizualizēšana, izmantojot slodzes diagrammu (3.7. att.), parāda sakarību modeli. Vislielākā ietekme uz galvenajiem komponentiem (PC) bija SbS (uz PC1), SbM (uz PC2), SbAW (pozitīva uz PC2, negatīva uz PC1), SskF f4 (uz PC2) un F% f4 (pozitīva uz PC2, negatīva uz PC1), ko apstiprināja arī pāru korelācijas rezultāti (13. pielik.). Savukārt starp pazīmju vektoriem veidojošās leņķa kosinuss attēlo korelāciju starp šīm pazīmēm (Jolliffe, Cadima, 2016).



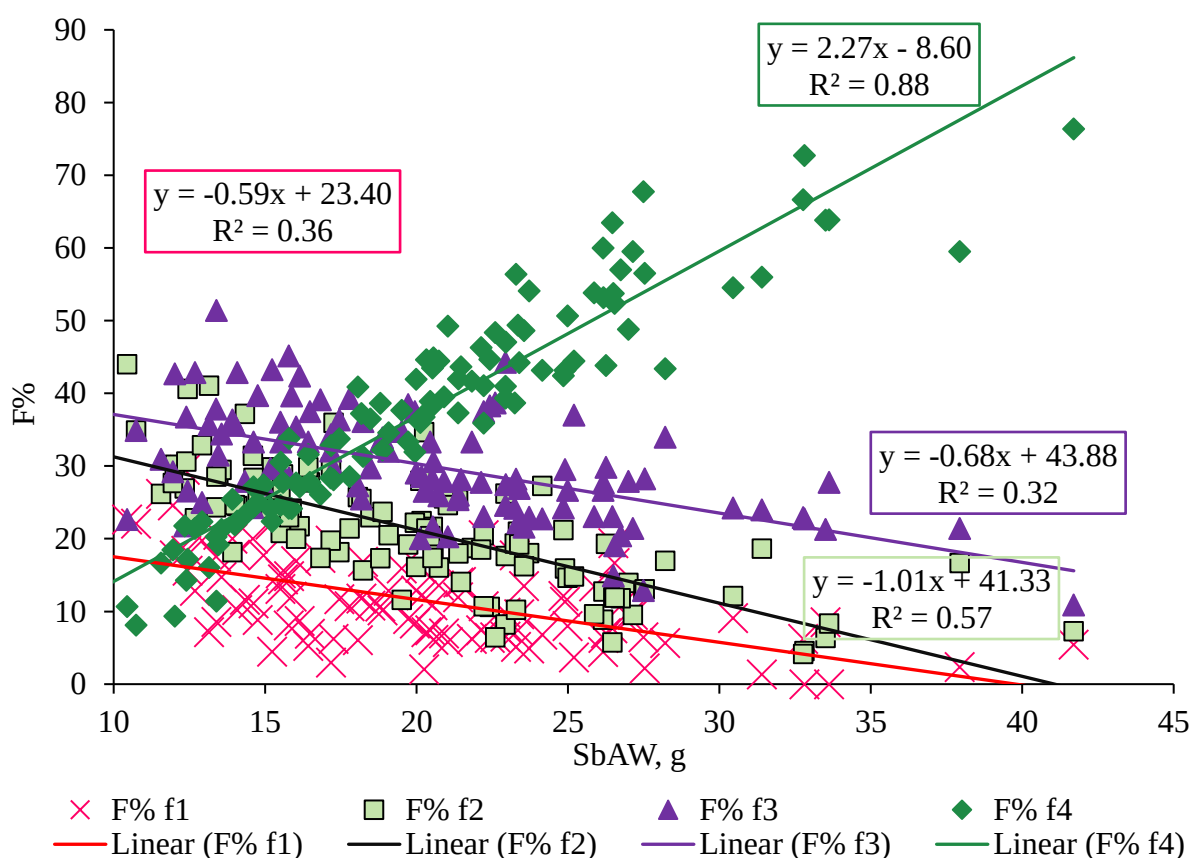
3.7. att. Rādītāju slodze uz galvenajiem komponentiem (PC) un sakarības starp pazīmēm

Violeti krāsotās bultas (vektori) apzīmē pazīmes, kurām ir vislielākā ietekme uz citu attiecīgajā PC ietilpstošo rādītāju variāciju. Jo vektora bulta tālāk no riņķa līnijas, jo rādītājam mazāka ietekme uz citu attiecīgā PC rādītāju variāciju. Jo mazāks leņķis starp rādītāju vektoriem, jo ciešāka sakarība starp šiem rādītājiem (Kohler, Luniak, 2005). Leņķis, kurš lielāks par 90° un mazāks par 270° apzīmē negatīvu sakarību starp rādītājiem. Jo leņķis tuvāks 90 vai 270°, jo vājāka sakarība starp rādītājiem

Vismazāk ietekmīgais rādītājs bija PkoefS un starp šo svarīgo sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju un citiem mainīgajiem bija tikai viena būtiska, bet vāja korelācija (PkoefS un F% f1 $r = -0.219$, $p < 0.05$). Līdz ar to, lai gan pastāv funkcionāla sakarība starp PkoefS un SbS katras MSB iekšienē (tas ir – SbS ir vienāds ar mikroaugu skaitu m⁻² jeb MSB, kurš reizināts ar PkoefS attiecīgajā MSB) un palielinoties MSB, samazinājās PkoefS, bet pieauga SbS, netika konstatēta statistiski būtiska sakarība starp šiem rādītājiem vidēji visām MSB ($r = -0.047$; $p = 0.630$) (13. pielik.). Līdz ar to nebija iespējams izveidot statistiski būtisku regresijas modeli SbS prognozēšanai atkarībā no PkoefS izmaiņām, kuras rodas, izmainot audzēšanas tehnoloģiju.

Kopumā visietekmīgākais rādītājs bija SbS, jo tam bija vislielākā slodze uz galveno komponentu PC1, kas ir arī galvenais komponents visā PCA analizē. Starp SbS un visiem rādītājiem, izņemot PkoefS un SskF f4, bija statistiski būtiska korelācija. Sīkbumbuļu skaits lielāko sīkbumbuļu frakcijā f4 būtiski nekorelēja ar kopējo SbS ($r=-0.166$, $p=0.085$) tāpēc, ka SskF f4 būtiski nemainījās, paaugstinoties MSB (3.4. att.), bet kopumā SbS pieauga tieši MSB paaugstināšanās rezultātā. Savukārt starp pārējām sīkbumbuļu frakcijām un SbS pastāvēja cieša pozitīva sakarība ($r \geq 0.7$; 13. pielik.). Savukārt sakarība starp SbS un SbM bija vidēji cieša ($r=0.371$), kas neatbilda B. Ahlovalija iegūtajai ciešajai sakarībai starp šiem rādītājiem (Ahloowalia, 1994).

Visciešākā sakarība novērota starp SbAW un F% f4 ($r=0.937$, $p<0.001$), savukārt pārējām sīkbumbuļu frakcijām SbAW un F% korelēja vidēji cieši līdz cieši un negatīvi. Lielāko sīkbumbuļu frakcijas īpatsvara pieaugumu par 88% izskaidroja viena sīkbumbuļu vidējās masas pieaugums (3.8. att.). Arī regresijas modeļi SbAW un katrai no mazāko sīkbumbuļu frakcijām bija statistiski būtiski, tomēr ar tajos iegūtajiem determinācijas koeficientiem varēja izskaidrot salīdzinošu mazāku daļu frakcijas īpatsvara variēšanas (32–57% atkarībā no frakcijas). Tas, ka konstatētas būtiskas un vidēji ciešas līdz ciešas sakarības starp SbAW un SskF visās frakcijās un starp SbAW un visu frakciju F%, apstiprina zinātniskajā literatūrā aprakstīto sakarību starp bumbuļu vidējo masu, skaitu un to sadalījumu frakcijās (Travis, 1987; Mackerron et al., 1988; Jin et al., 2013).



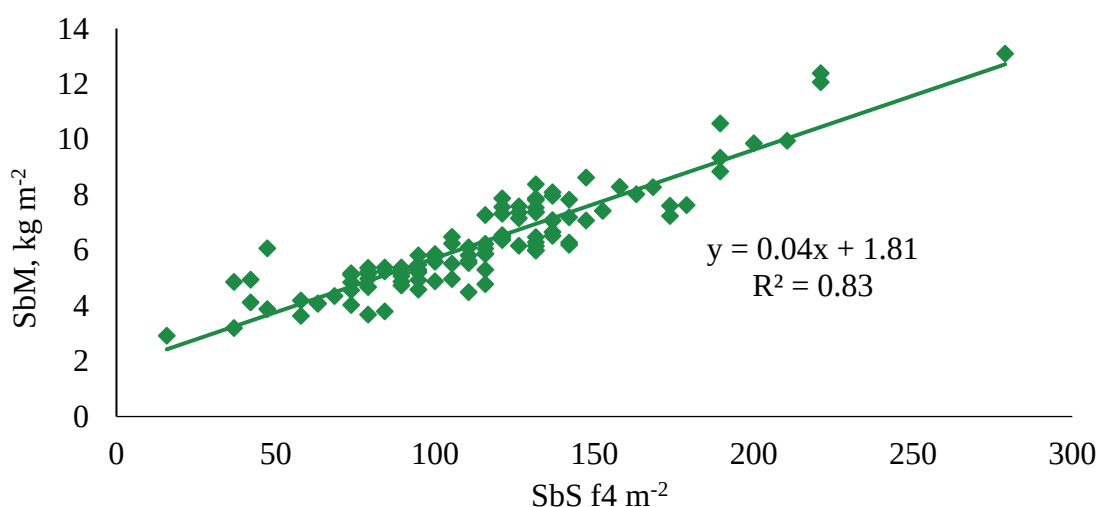
3.8. att. Sakarības starp sīkbumbuļu vidējo masu (SbAW) un dažādu frakciju proporciju kopējā sīkbumbuļu skaitā (F%), $p<0.001$

f1 ir 3.00-4.99 g, f2 ir 5.00-9.99 g, f3 ir 10.00-19.99 g un f4 ir ≥ 20 g smagu sīkbumbuļu frakcija

Iegūtais sīkbumbuļu sadalījums frakcijās varētu būt viens no iemesliem, kāpēc starp MSB būtiski neatšķirās SbM (3.1.2. apakšnodaļa). Nevienai no šķirnēm statistiski būtiski nemainījās (nesamazinājās) sīkbumbuļu skaits lielākajā jeb ≥ 20 g frakcijā. Netika konstatētas būtiskas

sakarības starp sīkbumbuļu ražu un skaitu trijās no četrām pētītajām frakcijām (f1, f2 un f3) (3.7. att., 13. pielik.). Savukārt lielākajai frakcijai f4 novērota cieša, pozitīva un būtiska korelācija ar SbM ($r=0.912$, $p<0.001$), kura atspoguļota 3.9. att.. Tātad sīkbumbuļu ražu visvairāk ietekmēja tas, ka būtiski nesamazinājās (un pat nedaudz pieauga) lielo sīkbumbuļu skaits m^{-2} jeb SskF f4 (3.4. att.).

Sīkbumbuļu skaits frakcijās f1, f2 un f3 savstarpēji vidēji cieši un pozitīvi korelēja. SskF starp katru atsevišķu no šīm trīs frakcijām un f4 bija vāji līdz vidēji cieši negatīva (13. pielik.), kas saistās ar novēroto, ka, palielinoties SskF trijās mazāko sīkbumbuļu frakcijās, samazinājās ≥ 20 g sīkbumbuļu skaits (3.4. att. A). Savukārt korelācija starp f4 frakcijas īpatsvaru kopējā sīkbumbuļu skaitā (F%) un katras no trīs mazāko sīkbumbuļu frakcijas F% bija vidēji cieša līdz cieša ($r=-0.637$ – $r=-0.800$, (13. pielik.)), jo starp f4 F% samazināšanās, pieaugot MSB, bija izteiktāka nekā tas bija pārējām frakcijām (3.4. att. B).



3.9. att. Sakarība starp ≥ 20 g sīkbumbuļu skaitu (SbS f4) un sīkbumbuļu ražu (SbM), $kg\ m^{-2}$, $p<0.001$

Kopsavilkums. Rādītājs, kuram bija vismazākās sakarības ar citiem rādītājiem, bija pavairošanas koeficients siltumnīcā (PkoefS), bet pēc slodzes uz PC1 visietekmīgākais rādītājs bija sīkbumbuļu skaits $1\ m^{-2}$ (SbS). Sīkbumbuļu skaita pieaugums visvairāk ietekmēja sīkbumbuļu skaitu trijās mazāko sīkbumbuļu frakcijās, bet netika konstatēta būtiska sakarība starp sīkbumbuļu skaitu frakcijā f4 (≥ 20 g) un kopējo sīkbumbuļu skaitu m^{-2} . Savukārt tieši šai frakcijai bija visciešākā sakarības ar sīkbumbuļu ražu (SbM), bet šīs frakcijas īpatsvaram – ar viena sīkbumbuļa vidējo masu (SbAW). Sīkbumbuļu skaitam f4 frakcijā bija negatīva sakarība ar SskF pārējās frakcijās, kuras savā starpā korelēja pozitīvi. Konstatētas būtiskas un vidēji ciešas līdz ciešas sakarības starp SbAW un SskF visās frakcijās un visu frakciju F%.

3.2. Sīkbumbuļu agronomiskais sniegums lauka apstākļos

Kartupeļu augu augšana un attīstība atkarīga no agrokoloģiskajiem faktoriem (dienas garums, temperatūra, nokrišņi, saules enerģija, nodrošinājums ar barības vielām u.c.) (Ewing, Struik, 1992; Haverkort, 2007), ģenētiskajiem faktoriem (genotips jeb šķirne), kā arī nozīmīga ietekme ir sēklas bumbuļiem (to izmēram un fizioloģiskajam vecumam) (Ewing, Struik, 1992).

Ražas bumbuļu skaits cerā ir atkarīgs no stublāju skaita un attiecīgi to biežības stādījumā (N. Knowles, L. Knowles, 2006). No lielākiem sēklas bumbuļiem var izveidoties vairāk

stublāju (Wurr et al., 2001), kā rezultātā no viena cera var iegūt vairāk ražas bumbulu (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Bussan et al., 2007).

Arī sīkbumbuļu masa var būtiski ietekmēt to agronomisko sniegumu lauka apstākļos (ASLA) (Struik, Lommen, 1999; Barry, Clancy, Molloy, 2001). Tāpēc ir nepieciešams noskaidrot ASLA sīkbumbuļiem ar dažādu masu, lai noskaidrotu, vai un kāda ir minimālā pieļaujamā sīkbumbuļu kā stādāmā materiāla masa konkrētajos audzēšanas apstākļos. Šāda informācija nepieciešama lēmumu pieņemšanai par piemērotākās mikroaugu stādīšanas biežības izvēli, lai iegūtu pēc iespējas vairāk tāda lieluma sīkbumbuļu, kuriem ir apstākļiem atbilstoša ASLA.

Lauka izmēģinājumā stādīti četru frakciju siltumnīcā izaudzētie šķirņu 'Monta', 'Prelma' un 'Mandaga' sīkbumbuļi. Sīkbumbuļu frakcijas bija šādas:

- 3.00–4.99 g jeb f1;
- 5.00–9.99 g jeb f2;
- 10.00–19.99 g jeb f3;
- ≥ 20.00 g jeb f4.

Augu fenoloģiskās attīstības laika skala, kurā atspoguļota katras šķirnes attīstības gaita atkarībā no stādīšanai izmantotās sīkbumbuļu frakcijas katrā audzēšanas gadā, attēlota 16., 17. un 18. pielikumos.

3.2.1. Sīkbumbuļu sadīgšana

Reģionos, kuros kartupeļus stāda relatīvi vēlu un kuros raksturīga liela mākoņainība, kam atbilst arī Latvijas apstākļi, augi saņem salīdzinoši mazāk fotosintēzei nepieciešamās saules radiācijas nekā būtu nepieciešams (Haverkort, Struik, 2015). Tāpēc ļoti nozīmīga ir ātra augu, tajā skaitā no sīkbumbuļiem, sadīgšana, kurai seko strauja cera attīstība, lai augi pēc iespējas ilgāk varētu izmantot attīstībai un ražas veidošanai nepieciešamo saules radiāciju.

Sadīgšanai nepieciešamais laiks. Genotips jeb šķirne un sīkbumbuļu frakcija (SbF) būtiski ietekmēja laiku līdz 50% sīkbumbuļu (E50%) un 80% sīkbumbuļu (E80%) sadīgšanai. Netika konstatēta statistiski būtiska mijiedarbība starp genotipu un SbF (E50% $p=0.895$ un E80% $p=0.994$). Šķirnes ietekmes īpatsvars η bija 36–61% bet SbF η bija 5–9% (19. pielik.).

Visām šķirnēm novērotas būtiskas E50% atšķirības starp gadiem (20. pielik.), turklāt tās bija būtiskas visām iestādīto sīkbumbuļu frakcijām (3.1. tab.).

Visu šķirņu visām frakcijām 2015. gadā bija nepieciešams būtiski vairāk dienu pēc stādīšanas (DAP), lai sasniegtu E50%, salīdzinājumā ar 2014. gadu, kurā novērota visātrākā, lai arī ne vienmēr būtiski atšķirīga no 2016. gada, sadīgšana.

Savstarpēji salīdzinot šķirnes, konstatēts, ka katrā no gadiem šķirnes 'Monta' sadīgšanas ilgums būtiski atšķīrās no šī rādītāja šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga'. Neskatoties uz to, ka 'Monta' ir agrīna šķirne, katrā audzēšanas gadā visām SbF bija nepieciešamas vairāk DAP, līdz E50%, salīdzinot ar šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga'. Mazākais sadīgšanai nepieciešamo dienu skaits šķirnei 'Monta' bija 16 dienas (f4, 2016. gads), salīdzinājumā ar 12 dienām šķirnei 'Prelma' (f3 un f4, 2014. gads) un 13.3 dienām šķirnei 'Mandaga' (f3, 2014. gads). Savukārt visvairāk DAP šķirnei 'Monta' bija nepieciešamas f2 sadīgšanai 2015. gadā (36 dienas) salīdzinājumā ar 20.8 dienām šķirnei 'Prelma' (f2) un 22.3 dienām šķirnei 'Mandaga' (f2) tajā pašā gadā.

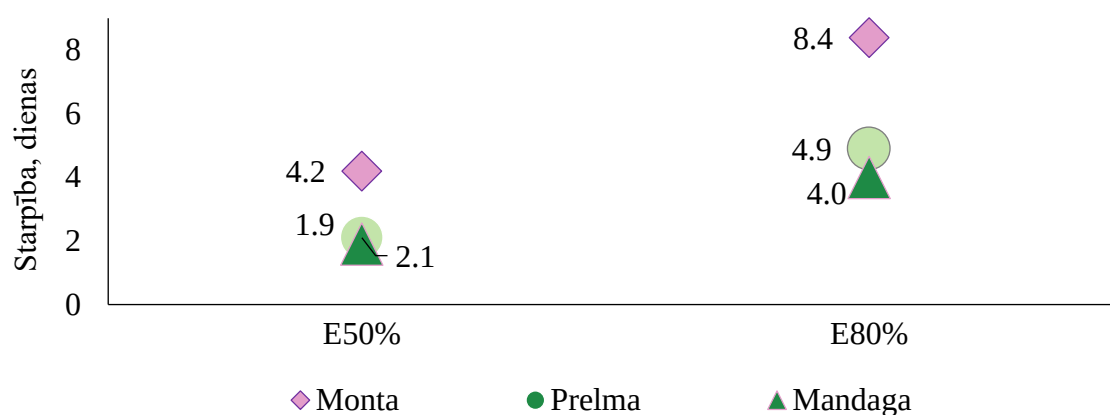
Lai arī visām šķirnēm iezīmējās tendence, ka lielākās frakcijas sīkbumbuļi sadīga ātrāk, tomēr būtiskas atšķirības katrai no šķirnēm novērotas tikai vienā no audzēšanas gadiem (šķirnei 'Prelma' un šķirnei 'Mandaga' 2015. gadā, šķirnei 'Monta' 2016. gadā, 3.1. tab.). Tā kā arī šajos gados būtiska atšķirība sadīgšanas ilgumā starp lielāko un mazāko sīkbumbuļu frakciju bija šķirnei 'Monta', tad, iespējams, ka lielāka ietekme uz sadīgšanas tempu bija nevis tieši SbF, bet gan kādiem citiem nepētītiem faktoriem.

**Sīkbumbuļu sadīgšana (E50%) dienās pēc iestādīšanas (DAP) atkarībā no
audzēšanas gada un sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.**

Sīkbumbuļu frakcija, g	Dienas pēc stādīšanas								
	Monta***			Prelma			Mandaga		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
f1 3.00–4.99	23.7A	32.3B	20.3A bc	13.7A	19.3B ab	17.3B	15.3A	19.8B a	18.3B
f2 5.00–9.99	19.0A	36.0B	22.5A c	12.7A	20.8C b	16.0B	15.7A	22.3B b	16.3B
f3 10.00–9.99	17.7A	29.8B	19.3A b	12.0A	19.8C ab	15.5B	13.3A	20.3C ab	16.3B
f4 ≥20.00	18.7A	29.0B	16.0A a	12.0	16.8B a	15.3B	14.3A	18.5B a	15.0A

Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp gadiem pēc sīkbumbuļu sadīgšanas DAP katrā atsevišķā pētītajā frakcijā atsevišķi katrai šķirnei. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām atsevišķi katra gada un šķirnes ietvaros. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz sīkbumbuļu sadīgšanu DAP. *** Sadīgšanas ilgums šķirnei būtiski atšķiras ($p < 0.001$) no pārējām šķirnēm katrā gadā atsevišķi

Šķirnei ‘Monta’ bija vislielākā starpība starp dienu skaitu līdz E50%, kas bija nepieciešamas, lai sadīgtu mazāko un lielāko sīkbumbuļu frakcijas (3.3–5.0 dienas). Šķirnei ‘Prelma’ šī starpība bija 1.7–2.5 dienas, bet šķirnei ‘Mandaga’ tās bija 1.0–3.3 dienas (starpība aprēķināta, izmantojot 3.1. tab. datus). Tādējādi šķirnei ‘Prelma’ bija raksturīga ne tikai visātrākā sadīgšana (īpaši 2014. gadā, kad bija nepieciešams tikai 12.0–13.7 DAP), bet sadīgšana vidēji arī bija visvienmērīgākā gan dažādās SbF, gan gados. Analizējot starpību vidēji visiem gadiem un analīzei pievienojot laiku līdz E80%, redzams, ka starpība dienu skaitā līdz sadīga 80% no sīkbumbuļiem (E80%) starp lielākās un mazākās frakcijas sīkbumbuļiem pieauga 2 reizes šķirnei ‘Monta’, 2.3 reizes šķirnei ‘Prelma’ un 2.1 reizi ‘Mandagai’ (3.10. att.).



3.10. att. Starpība starp dienu skaitu, kas bija nepieciešams lielākās (f4) un mazākās (f1) frakcijas sīkbumbuļiem līdz 50% (E50%) un 80% (E80%) sadīgšanai, vidēji 2014.–2016. g.

Tādējādi tiem f1 sīkbumbuļiem, kuri vēl nebija sadīguši, kad f1 frakcijai fiksēja E50%, bija nepieciešams vēl vairāk laika, lai sadīgtu nekā E50% fiksēšanas laikā vēl nesadīgušajiem

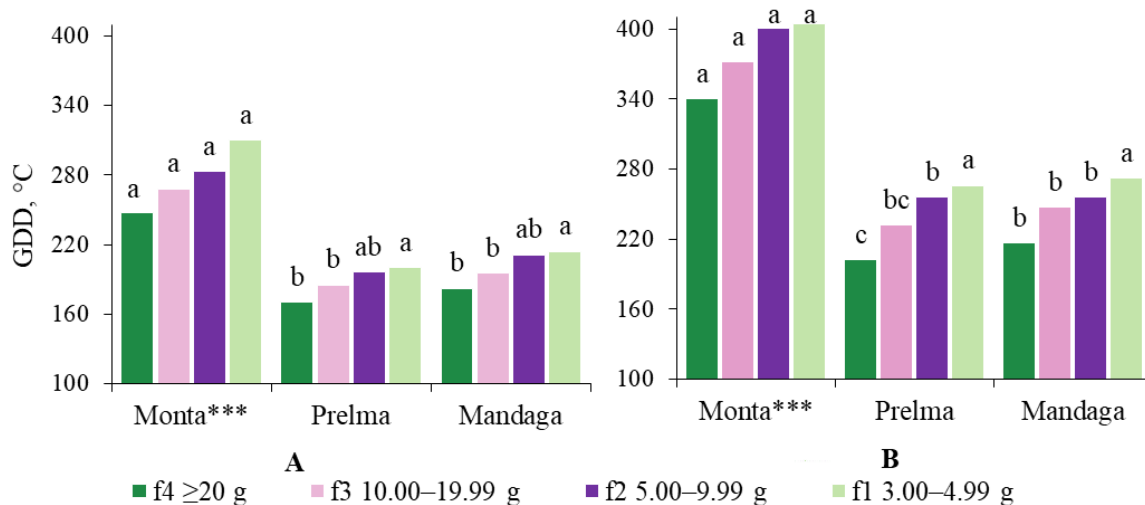
f4 sīkbumbuļiem. Šādu sakarību, ka pēc E50% palielinās atšķirības starp sīkbumbuļu frakcijām pēc sadīgšanai nepieciešamā laika, novērojuši arī V. Lommena un P. Struiks (Lommen, Struik, 1994).

Arī analizējot dienu skaitu, kas katrai šķirnei bija nepieciešams starp E50% un E80% (22. pielik.), konstatēts, ka šķirnei 'Monta' visu frakciju sīkbumbuļiem tas bija būtiski lielāks (atkarībā no SbF 6.7–10.9 dienas starp E50% un E80%) nekā šķirnei 'Prelma' (2.5–5.5 dienas) un šķirnei 'Mandaga' (2.7–5.0 dienas). Mazākais dienu skaits (6.7 dienas f4 sadīgšanai līdz E80%), šķirnei 'Monta' bija lielāks nekā lielākais nepieciešamais dienu skaits pārējām šķirnēm, tātad, tika gūts papildus apstiprinājums tam, ka šķirnes 'Monta' sīkbumbuļi, neatkarīgi no to frakcijas, dīga ilgāk.

Laiks dienās pēc stādīšanas, kas nepieciešams kartupeļu sadīgšanai, var būtiski atšķirties starp gadiem (Firman, O'Brien, Allen, 1992), kas tika apstiprināts arī promocijas darba pētījumā. Galvenais sadīgšanu lineāri ietekmējošais vides faktors ir gaisa temperatūra (Gaujers, 1969; Firman, O'Brien, Allen, 1992; Kooman, Haverkort, 1995; Haverkort, Struik, 2015). Tas izskaidro augu straujo sadīgšanu 2014. gadā, kad gaisa temperatūra dīgšanas laikā pārsniedza normu, un lēno sadīgšanu 2015. gadā, kad maija otrajā pusē gaisa temperatūra bija zemāka par normu (2.5. att.).

Tā kā gada meteoroloģiskajiem apstākļiem ir tik liela ietekme uz sadīgšanu, tad sadīgšanas īpatnības atkarībā no SbF precīzāk varētu raksturot, izmantojot termālo laiku jeb augšanas grādu dienas (GDD), kas ir relatīvi konservatīvāks paņēmieni, salīdzinājumā ar DAP, jo izslēdz gada ietekmi. Šajā pētījumā šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' netika novērotas būtiskas atšķirības starp gadiem pēc GDD līdz E50% (attiecīgi $p=0.616$ un $p=0.389$ un E80% (attiecīgi $p=0.285$ un $p=0.425$). Šie rezultāti apstiprina A. Haverkorta apgalvojumu, ka dažiem ar kartupeļu attīstību saistītiem procesiem, tostarp asnu dīgšanai un augšanai, piemīt konstants ātrums līdz tiek sasniegta noteikta attīstības fāze (Haverkort, 2007). Tomēr šķirnei 'Monta' 2015. gadā sadīgšanai nepieciešamās GDD būtiski atšķīrās no diviem pārējiem pētījuma gadiem, kam netika rasts izskaidrojums. Šo atšķirību varēja radīt tas, ka šajā gadā šķirnei 'Monta' bija raksturīga netipiski lēna un arī nepilnīga (3.2. tab.) sadīgšana.

Izvērtējot atšķirības starp šķirnēm pēc GDD līdz E50% un E80%, šķirnei 'Monta' nepieciešamās GDD būtiski atšķīrās no pārējām šķirnēm, un visām SbF bija nepieciešams būtiski vairāk GDD, lai sasniegtu E50% un E80% (3.11. att.), un tas ir saskaņā ar agrāk publicētajiem rezultātiem, ka dažādiem genotipiem nepieciešamās GDD, lai sasniegtu noteiktu attīstības fāzi, var atšķirties (Streck et al., 2007).



3.11. att. Līdz 50% (A) un 80% (B) sadīgšanai nepieciešamās augšanas grādu dienas (GDD), vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. *** šķirne būtiski atšķiras ($p<0.001$) no pārējām šķirnēm katrā sīkbumbuļu frakcijā atsevišķi

Lielbritānijā veiktā pētījumā, kurā stādīti šķirnes ‘Maris Piper’ konvencionālā sēklas materiāla bumbuļi, bija nepieciešamas vidēji 378 GDD līdz sadīga 50% ceru (GDD aprēķina formulā kā bāzes temperatūra noteikti 0 °C) (Jefferies, MacKerron, 1987). Līdzīgus rezultātus Lielbritānijā ieguvuši arī P. Obraiens un kolēģi (O’Brien, Allen, Firman, 1998). Pat pārrēķinot pētījuma datus ar bāzes temperatūru 2 °C, GDD vērtība (~271–298) joprojām ir augstāka par vidējo GDD šī promocijas darba pētījumā (vidēji visiem gadiem, šķirnēm un SbF – 228 GDD līdz E50%). Salīdzināmi ir tikai trīs mazāko šķirnes ‘Monta’ sīkbumbuļu frakciju dati par GDD līdz E50% (vidēji 285 GDD). Abos Lielbritānijā veiktajos pētījumos bumbuļu uzglabāšanas temperatūra nepārsniedza 4 °C, un informācija par asnu attīstību nav sniegta. Saasnojušu bumbuļu stādīšana var samazināt sadīgšanai nepieciešamo termālo laiku par 60 GDD, bet iesildītu bumbuļu izmantošana – par 15 GDD (Firman, O’Brien, Allen, 1992). Līdz ar to varam pieņemt, ka labi sadiedzētu un iesildītu bumbuļu stādīšana var vēl vairāk samazināt GDD nepieciešamību. Tas izskaidro salīdzinoši nelielās GDD vērtības līdz E50% pat sīkbumbuļiem, jo pirms stādīšanas tie tika iesildīti un diedzēti izkliedētā apgaismojumā, bet diedzētu bumbuļu stādīšana var būtiski veicināt augu attīstību (Hospers-Brands et al., 2008; Hagman, Martensson, Grandin, 2009; Johansen, Molteberg, 2012; Johansen, Mølmann, 2018).

Mazākiem kartupeļu bumbuļiem parasti ir ilgāks miera periods (Van Ittersum, 1992), līdz ar to tie ir fizioloģiski jaunāki un tāpēc sadīgst vēlāk nekā lielāki bumbuļi (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Oliveira, Moot, Brown, 2014). Šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ šī sakarība apstiprinājās arī ar sīkbumbuļiem, bet tas, ka šķirnei ‘Monta’ nebija būtiskas atšķirības sadīgšanas ilgumā starp SbF, iespējams, ir saistīts ar kopumā lielo standartnovirzi šīs šķirnes E50% un E80% datiem. Tomēr, neskatoties uz to, ka atšķirības nebija statistiski būtiskas 95% līmenī, tendence, ka mazākiem sīkbumbuļi nepieciešamas vairāk GDD to sadīgšanai, bija visai izteikta.

Lai gan ir publicēti vairāki raksti par sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos, tomēr tikai daži autori ir pievērsušies sīkbumbuļu sadīgšanas īpatnību pētīšanai. Itālijā iegūti rezultāti parādīja, ka bija nepieciešamas vidēji 13.9 dienas, lai sadīgtu 50% no iestādītajiem 0.4–4.4 g smagajiem sīkbumbuļiem (Ranalli et al., 1994). Šajā promocijas darba pētījumā mazāko sīkbumbuļu frakcijā salīdzināms dīgšanas laiks tika iegūts tikai šķirnei ‘Prelma’ 2014. gadā un kopumā relatīvi lēnākā sadīgšana varētu būt skaidrojama ar dažādām klimatiskajām joslām. Plašākais literatūrā atrastais pētījums par sīkbumbuļu lieluma ietekmi uz sadīgšanu veikts Nīderlandē, kurā izmantoja ļoti mazus sīkbumbuļus (0.13–3.99 g), sadalot tos 5 frakcijās un savstarpēji salīdzinot gan frakcijas, gan arī veicot salīdzinājumu ar konvencionālās sēklas bumbuļu sadīgšanu. Lai gan autori noskaidroja, ka mazāki sīkbumbuļi sadīgst lēnāk, tomēr būtiskas atšķirības konstatētas tikai salīdzinājumā ar konvencionālo sēklas materiālu (Lommen, Struik, 1994).

Būtiski vēlāka sīkbumbuļu sadīgšana salīdzinājumā ar konvencionālo sēklu novērota arī ASV veiktā pētījumā, kura autori skaidro, ka to varēja ietekmēt augsto vagu izveidošana, kas varēja pagarināt sīkbumbuļu sadīgšanai nepieciešamo laiku (Fulladolsa et al., 2018), jo mazāku bumbuļu sadīgšanas laiku pagarina arī lielāks stādīšanas dziļums (Allen, O’Brien, Firman, 1992), vai A. Fulladolsas un kolēģu gadījumā – attālums no sīkbumbuļa līdz vagas skaustam. Tomēr stādīšanas dziļuma ietekme uz sīkbumbuļu sadīgšanai nepieciešamo laiku atkarībā no audzēšanas gada var arī nebūt būtiska (Barry, Clancy, Molloy, 2001). Lai gan šī promocijas darba pētījuma veikšanai iekārtotajos izmēģinājumos tika veikta augsto vagu veidošana, tomēr tas nevar izskaidrot to, kāpēc mazāki sīkbumbuļi līdz E50% sadīga lēnāk. Piemēram, 2016. gadā augstās vagas veidoja 3. jūnijā, kad bija sadīguši 42% f1 bumbuļu, bet atlikušie sadīga jau uzreiz pēc vagu veidošanas (4.–6. jūnijā). Savukārt 2014. gadā līdz augsto vagu veidošanai bija sadīguši pat 67% f1 bumbuļu. Dīgšanai mazāk labvēlīgajā 2015. gadā augstās vagas veidoja nedaudz vēlāk, un tad šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ bumbuļi bija sadīguši visos f1 lauciņos (dīgšana bija aizkavējusies f2 frakcijai), savukārt šķirnei ‘Monta’ šajā laikā nebija sadīguši bumbuļi nevienā lauciņā nevienai no frakcijām.

Laukdīdība. Analizējot kopējo sadīgušo ceru skaitu %, kas tika noteikts 50 DAP, konstatētas būtiskas atšķirības starp šķirnēm un sīkbumbuļu frakcijām (SbF), bet faktoru mijiedarbība nebija būtiska ($p=0.052$) (19. pielik.). Šķirnei 'Monta' sadīga būtiski mazāk ceru katrā sīkbumbuļu frakcijā (3.2. tab.), salīdzinājumā ar pārējo šķirņu atbilstošajām frakcijām. Nevienā no audzēšanas gadiem šķirnei 'Monta' netika novērota 100% laukdīdība, bet 2015. gads (24. pielik.), kad, atkarībā no SbF, sadīga tikai 68–84% sīkbumbuļu, būtiski atšķīrās no 2014. un 2016. gada. Šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' nebija būtiskas atšķirības starp gadiem sadīgušo ceru skaitā (attiecīgi $p=0.086$ un $p=0.557$).

3.2. tabula

Sīkbumbuļu laukdīdība, %, 2014.–2016. g.

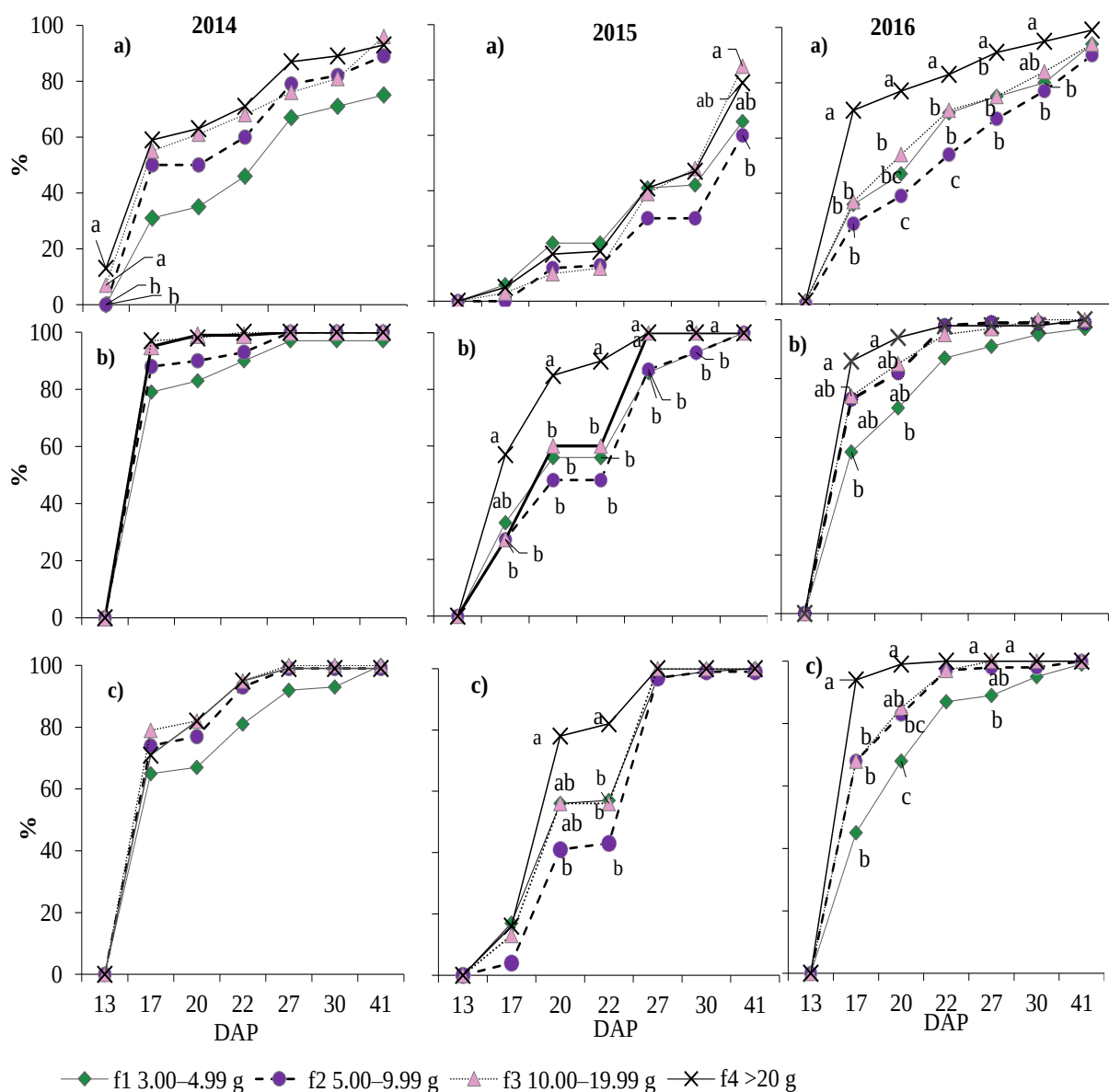
Sīkbumbuļu frakcija, g	Laukdīdība, %			
	Monta ^{**}		Prelma	Mandaga
	2015	2014 un 2016	2014–2016	2014–2016
f1 3.00–4.99	68 b	82	99	100
f2 5.00– 9.99	66 b	82	100	99
f3 10.00 – 19.99	86 a	92	100	100
f4 ≥ 20.00	84 a	92	100	100

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz kopējo sadīgušo ceru skaitu %. ** šķirnes laukdīdība būtiski atšķiras ($p<0.01$) no pārējām šķirnēm katrā sīkbumbuļu frakcijā atsevišķi

Neskatoties uz to, ka divu faktoru dispersijas analizē konstatēta būtiska SbF ietekme uz laukdīdību (19. pielik.), būtiskas atšķirības šajā rādītājā atkarībā no SbF tikai novērotas tikai vienā gadījumā – šķirnei 'Monta' 2015. gadā. Šķirņu 'Prelma' un 'Mandaga' rezultāti bija saskaņā ar citiem pētījumiem, kuros novērots, ka kopējais sadīgušo ceru skaits nebija atkarīgs no SbF, bet tas ne vienmēr sasniedz 100% (Lommen, Struik, 1994; Barry, Clancy, Molloy, 2001).

Relatīvi zemā šķirnes 'Monta' laukdīdība, īpaši 2015. gadā, varētu būt saistīta ar sīkbumbuļu fizioloģisko stāvokli. Jau agrāk pētnieki ir novērojuši tādu parādību, kā pārāk vecu bumbuļu nesadīgšana gan konvencionālajam sēklas materiālam (Bodlaender, Marinus, 1987; Van Loon, 1987; Oliveira, Moot, Brown, 2014), gan sīkbumbuļiem (Hagman, 1990). Turklāt tas, vai līdzīga vecuma bumbuļiem tiks novērota nesadīgšana, ir atkarīgs no genotipa (Bodlaender, Marinus, 1987; Hagman, 1990). Kartupeļu bumbuļi, kuri sāk asnot, ir fizioloģiski vecāki (Struik, Wiersema, 1999). Asnojot tie patērē barības vielu rezerves (Lommen, Struik, 1993). Šķirnei 'Monta' uzglabāšanas laikā tika novērota agra un izteikta asnošana, un pirms diedzēšanas tumsas asni tika nolauzti, ļaujot veidoties jaunajiem gaismas asniem. Asnu nolaušana ir izplatīta prakse kartupeļu sēklauzdzēšanā, jo, sertificējot sēklas materiālu, asni tiek uzskatīti par piemaisījumiem, kuri nav pieļaujami. Papildus ieguvums no asnu nolaušanas ir apikālās dominances pārtraukšana, kas ļauj veidoties vairāk stublājiem (Struik, Wiersema, 1999; Oliveira et al., 2017). Tomēr, iespējams, šķirnes 'Monta' sīkbumbuļi 2015. gadā bija iztērējuši pārāk daudz barības vielu un tas daļai ceru neļāva sadīgt.

Pretrunā apgalvojumam, ka šķirnes 'Monta' sīkbumbuļi, iespējams, bija fizioloģiski vecāki, ir tas, ka 'Monta' sasniedza E50% būtiski vēlāk kā pārējās šķirnes (3.1. tab.) un arī laukdīdības izmaiņu tendences dienās pēc stādīšanas parādīja lēnāku dīgšanas gaitu (3.12. att.).



3.12. att. Sīkbumbuļu laukdīdzības izmaiņu tendences
dienās pēc stādīšanas (DAP), 2014.–2016. g.

Attēla kolonnās attēloti gadi, rindās – šķirnes a) 'Monta', b) 'Prelma', c) 'Mandaga'. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības laukdīdzībā starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām attiecīgajā DAP katrai šķirnei atsevišķi. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% tīmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz laukdīdzību % konkrētajā DAP

Agrāki pētījumi parādījuši, ka fizioloģiski vecākiem bumbuļiem raksturīga ātrāka sadīgšana, salīdzinot ar jaunākiem bumbuļiem (Van der Zaag, Van Loon, 1987; Asiedu, Astatkie, Yiridoe, 2003; N. Knowles, L. Knowles, 2006; Oliveira, Moot, Brown, 2014). Līdz ar to nevar pārliecinoši apgalvot, ka sīkbumbuļu fizioloģiskais vecums bija galvenais iemesls zemajai šķirnes 'Monta' laukdīdzībai. Tomēr agrīnajām šķirnēm reizēm raksturīga paātrināta novecošanās un agra asnošana, kas negatīvi ietekmē bumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos (Struik et al., 2006). Tā kā katrā no izmēģinājumu gadiem 'Montas' sīkbumbuļi sāka agri asnot un tiem bija izteikta dehidratācija, tad, iespējams, ka 'Montas' sīkbumbuļi novecojās pārlietu jeb pārsniedza optimālo fizioloģisko vecumu, kas turpmāk palēnināja attīstību (Van Loon, 1987).

Izpētot AREI PPC pieejamajās lauka grāmatās atrodamo informāciju par dažādu šķirņu laukdīdzību kartupeļu šķirņu izmēģinājumos 2014.–2016. gadā (Dr.agr. I.Skrabule, AREI PPC, 2019. gada maijs, personiska komunikācija), tika noskaidrots, ka izmēģinājumos, kuros izmantots konvencionāls stādāmais materiāls, šķirnei 'Monta' netika novērota vēlāka sadīgšana salīdzinājumā ar šķirni 'Prelma' un tādām vidēji vēlīnām šķirnēm kā 'Brasla' un 'Imanta'. Iespējams, ka šķirnei 'Monta' tieši sīkbumbuļiem raksturīga paaugstināta jutība pret uzglabāšanas apstākļiem un tās izraisīta pārlieta fizioloģiska novecošanās, līdz ar to – pazemināta laukdīdzība.

Sīkbumbuļu laukdīdzības tendenču grafisks attēlojums parāda, ka sadīgšanai vislabvēlīgākajā 2014. gadā šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' tā notika ļoti strauji un statistiski būtiskas atšķirības 95% līmenī starp SbF netika novērotas (3.12. att.). Pirmajā novērojumu dienā jeb 13 DAP šajā gadā tikai šķirnei 'Monta' konstatēti sadīguši ceri, tomēr tālākais dīgšanas temps, salīdzinot ar pārējām šķirnēm, bija lēnāks. Savukārt 2015. un 2016. gados, kas bija mazāk labvēlīgi salīdzinājumā ar 2014. gadu, atsevišķās novērojumu dienās parādījās būtiskas atšķirības laukdīdzībā starp SbF, tomēr skaidras tendences neparādījās. Piemēram, šķirnei 'Mandaga' 2015. gadā laukdīdzība bija atkarīga no SbF tikai 20 un 22 DAP, bet 2016. gadā jau garākā periodā jeb starp 17 un 27 DAP. Savukārt šķirnei 'Prelma' novēroja pretēju tendenci, un 2016. gadā atšķirības laukdīdzībā starp SbF bija tikai 20 un 22 DAP, bet 2015. gadā no 17 DAP līdz pat 30 DAP un tikai pēc tam laukdīdzība starp SbF izlīdzinājās. Šķirnei 'Monta' 2015. gadā laukdīdzības izmaiņu tendences visām SbF bija līdzīgas un atšķirības parādījās tikai 41 DAP, saglabājoties arī kopējā laukdīdzībā (3.2. tab.). Šķirnes 'Monta' sadīgšanu 2016. gadā varētu uzskatīt par vislīdzīgāko pārējām divām šķirnēm, jo f4 (≥ 20 g) frakcijas sīkbumbuļiem visā dīgšanas periodā, izņemot 13 DAP un 41 DAP, bija būtiski lielāka laukdīdzība (%) salīdzinājumā ar pārējām frakcijām.

Neņemot vērā šķirnes 'Monta' dīgšanas īpatnības, kā arī izslēdzot mazāk labvēlīgo 2015. gadu, kopumā redzams, ka sīkbumbuļiem bija raksturīgs ļoti straujš dīgšanas sākums, īpaši starp 13 DAP un 17 DAP, bet vēlāk temps samazinājās.

Kopsavilkums. Lai arī laiku līdz sadīgšanai būtiski ietekmēja gan genotips, gan sīkbumbuļu frakcija, tomēr genotipam bija lielāka ietekme uz laiku līdz augu sadīgšanai, salīdzinājumā ar sīkbumbuļu frakcijas ietekmi. Laiku dienās pēc stādīšanas līdz sadīgšanai būtiski ietekmēja audzēšanas gada apstākļi. Piemēram, 2014. gada sezonas sākumā, valdot siltākai gaisa temperatūrai, sīkbumbuļi sadīga būtiski ātrāk nekā 2015. gadā, kas bija temperatūras ziņā sadīgšanai vismazāk labvēlīgais gads pētījuma periodā. Lai raksturotu vidējo laiku, kas nepieciešams dažādu frakciju sīkbumbuļu sadīgšanai, izvēlēta konservatīvāka pieeja – augšanas grādu dienas (GDD), kas parādīja, ka mazākajiem sīkbumbuļiem (3.00–4.99 g) nepieciešams būtiski vairāk GDD nekā lielākajiem sīkbumbuļiem (≥ 20.00 g), turklāt atšķirības starp frakcijām pieauga pēc tam, kad bija sadīguši 50% ceru. Lai gan dažādām frakcijām atšķīrās sadīgšanas temps, tomēr šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' tika sasniegta 99–100% laukdīdzība visu frakciju sīkbumbuļiem. Savukārt šķirnei 'Monta' bija raksturīga ilgāka dīgšana, salīdzinot ar pārējām šķirnēm, un labvēlīgākajos gados (2014. un 2016. g.) laukdīdzība bija 82–92%, bet 2015. gadā – tikai 68–84%, turklāt sadīga būtiski mazāk f1 un f2 bumbuļu, salīdzinot ar f3 un f4 frakcijām.

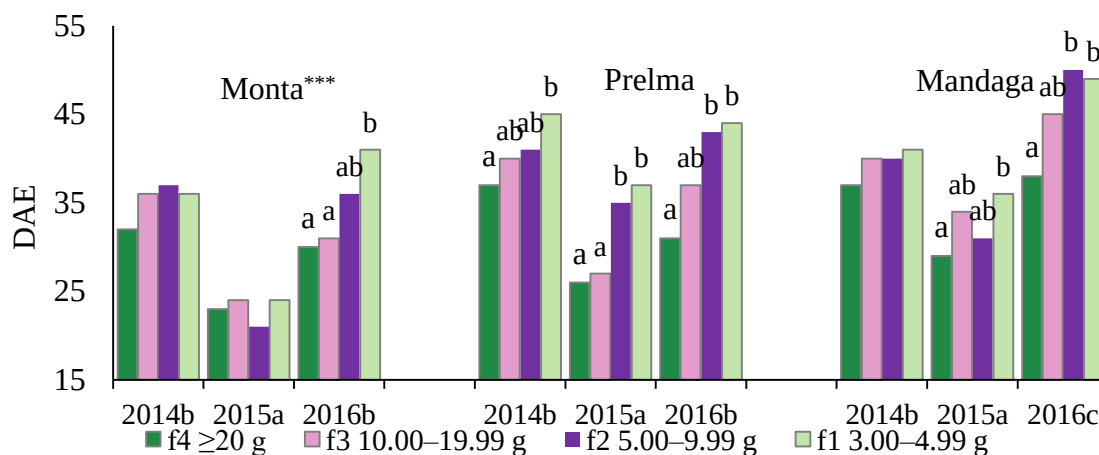
3.2.2. Lakstu sakļaušanās vagās

Lai gan lakstu sakļaušanos vagās var ietekmēt faktori, kas nav iesaistīti augu attīstības regulēšanā, piemēram, attālums starp vagām (Jefferies, Lawson, 1991), tomēr to uzskata par būtisku kartupeļu attīstību raksturojošu fāzi (MacKerron, 1985; MacKerron, Waister, 1985; Haverkort, Franke, Steyn, 2015; Lommen, 2015), jo tad augi sasniedz maksimālo fotosintētisko virsmu, tāpēc pēc iespējas agrāka augsnes noseģšana var pozitīvi ietekmēt ražu (MacKerron, Waister, 1985; Haverkort, Struik, 2015). Cera attīstību, ieskaitot lakstu sakļaušanos vagās, var

vērtēt gan izmantojot laiku dienās pēc stādīšanas (DAP), gan dienās pēc sadīgšanas (DAE). Tomēr par precīzāku atskaites brīdi tālāko attīstības fāžu novērtēšanai uzskata augu sadīgšanu (Allen, Scott, 1980; Firman, O'Brien, Allen, 1991; O'Brien, Firman, Allen, 1998; Connell, Binning, Schmitt, 1999; Finckh, Schulte-Gelderman, Bruns, 2006; Kawakami, Iwama, Jitsuyama, 2006; Fleisher, Timlin, Reddy, 2008).

Dienu skaitu pēc ceru sadīgšanas (DAE), kas bija nepieciešams, lai laksti sakļautos vagās, būtiski ietekmēja gan genotips (ietekmes īpatsvars $\eta=21.3\%$), gan SbF ($\eta=13.5\%$), bet mijiedarbība starp faktoriem nebija būtiska ($p=0.652$) (19. pielik.).

Visām šķirnēm būtiski mazāk DAE līdz laksti sakļāvās vagās, bija nepieciešams 2015. gadā (3.13. att.), kurā novēroja aizkavētu sadīgšanu, un vidēji tās bija 28.9 DAE. Turpretim 2014. gadā bija nepieciešamas vidēji 38.5 DAE, bet 2016. gadā – 39.6 DAE.



3.13. att. Lakstu sakļaušanās vagās (dienas pēc sadīgšanas, DAE), 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti pie stabindiaigrammām apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības DAE starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām (SbF) attiecīgajā gadā katrai šķirnei atsevišķi. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz laiku DAE līdz laksti sakļāvās vagās. Atšķirīgi mazie burti pie gadiem uz x-ass apzīmē būtiskas atšķirības starp gadiem, ņemot vērā vidējos rādītājus visām frakcijām. *** šķirnes DAE būtiski ($p<0.001$) atšķiras no pārējām šķirnēm, ņemot vērā vidējos rezultātus pa gadiem un SbF

Izsakot laiku augšanas grādu dienās pēc sadīgšanas (GDD AE), šķirnei 'Monta' šis rādītājs būtiski atšķīrās visos gados, šķirnei 'Mandaga' GDD AE no pārējiem gadiem būtiski atšķīrās 2016. gadā, bet Prelmai GDD AE būtiski atšķīrās 2015. un 2016. gadā (23. pielik.), līdz ar to GDD nevarēja izmantot kā konservatīvāku lielumu atšķirību raksturošanai starp šķirnēm un SbF. Lai gan lapu un cera attīstība atkarīga no gaisa temperatūras (Fleisher et al., 2006; Haverkort, Verhagen, 2008), tomēr bioloģiskie procesi, kas saistīti ar lakstu sakļaušanos nav lineāri saistīti ar temperatūru (Yin et al., 1995). Lapu un ceru attīstību papildus var ietekmēt citi faktori, piemēram, N nodrošinājums (Finckh, Schulte-Gelderman, Bruns, 2006; Ospina et al., 2014), mitruma nodrošinājums (Fleisher, Timlin, Reddy, 2008; Aliche et al., 2018), pieejamā fotosintētiski aktīvā radiācija (Van Delden, Pecio, Haverkort, 2000). Līdz ar to pastāv uzskats, ka GDD pieeju ceru attīstības raksturošanai (prognozēšanai) iespējams izmantot tikai apstākļos, kas maz pakļauti apkārtējās vides ietekmei (Haverkort, Franke, Steyn, 2015).

Lai gan lakstu sakļaušanās DAE 2014. un 2016. gadā būtiski atšķīrās tikai šķirnei 'Mandaga' (3.13. att.), tomēr 2016. gadā visām šķirnēm novērotas lielākas atšķirības starp SbF, un laksti vēlāk sakļāvās variantos, kur stādīti mazāku frakciju sīkbumbuļi. Šajā gadā gaisa temperatūra pēc sadīgšanas bija labvēlīga ceru attīstībai, tomēr tas neveicināja lakstu sakļaušanos. Iespējams, ka ceru attīstību ietekmēja spēcīgās lietusskābes jūnija pēdējā dekādē, kad nolija 85.6 mm lietus (309% no normas), turklāt no tiem 58 mm nolija 24 h laikā un tīrumā izveidojās lāmas un augsnes sablīvējums. Tas, iespējams, samazināja saknēm pieejamo skābekli, un augu attīstība aizkavējās, īpaši ietekmējot mazāko sīkbumbuļu frakcijas.

Tika novērota tendence, ka laksti ātrāk sakļāvās lauciņos, kur stādīti lielāki sīkbumbuļi, tomēr visos gados atšķirības starp SbF novērotas tikai šķirnei 'Prelma', bet šķirnei 'Mandaga' sīkbumbuļu frakcija lakstu sakļaušanos DAE būtiski ietekmēja 2015. un 2016. gadā, savukārt šķirnei 'Monta' – tikai 2016. gadā. Marokā veiktā pētījumā, izmantojot 15–20 g un smagākus sīkbumbuļus, novērots, ka 30 DAP augšnes projektīvais segums būtiski neatšķīrās starp dažādām frakcijām (Radouani, Lauer, 2015). Lai gan šajā promocijas darba pētījumā nav noteikts augšnes projektīvais segums, tomēr, tam pielīdzinot laiku DAE līdz brīdim, kad laksti sakļaujas, arī ir redzams, ka nevienai no šķirnēm būtiski neatšķiras rezultāti f3 un f4 frakciju sīkbumbuļiem. Savukārt P. Barrijs un kolēģi, izmantojot mazākus sīkbumbuļus, novēroja būtisku gada un sīkbumbuļu frakcijas ietekmi uz augšnes projektīvo segumu. Ceri no mazākajiem sīkbumbuļiem nosēda augsnī 14 dienas vēlāk nekā tie, kas izveidojušies no lielāko frakciju sīkbumbuļiem, izsakot laiku dienās pēc stādīšanas (Barry, Clancy, Molloy, 2001). Promocijas darba pētījumā ceri no f1 sīkbumbuļiem sakļāvās vidēji 11 (šķirnei 'Prelma'), 7 (šķirnei 'Mandaga') un 5 (šķirnei 'Monta') DAE vēlāk, salīdzinājumā ar ceriem, kas izveidojās no f4 sīkbumbuļiem, līdz ar to atšķirības dienās starp f1 un f4 lakstu sakļaušanos šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' bija izteiktākas, salīdzinājumā ar sadīgšanas laika atšķirībām (3.10. att.). Mazākiem sīkbumbuļiem lakstu attīstība kļūst relatīvi lēnāka tāpēc, ka jau dīgstot tiem tiek izsmeltas barības vielu rezerves (Lommen, Struik, 1994), bet cera attīstībai nepieciešamā enerģija no mātes bumbuļa tiek iegūta vismaz līdz laikam, kad lapu laukuma indekss sasniedz 0.75 (Haverkort, Franke, Steyn, 2015) vai augšnes projektīvais segums ir apmēram 25% (Haverkort et al., 1991). Tomēr šķirnei 'Monta' šī sakarība netika novērota.

Neskatoties uz to, ka šķirnei 'Monta' bija raksturīga vēlāka sadīgšana (3.2.1. apakšnodaļa) nekā pārējām šķirnēm, turpmākā cera attīstība tai noritēja straujāk, jo katrā audzēšanas gadā (izņemot 2016. gadu salīdzinājumā ar šķirni 'Prelma') tai bija nepieciešams būtiski mazāk dienu (23–35 DAE) pēc sadīgšanas, lai laksti sakļautos, salīdzinājumā ar šķirnēm 'Prelma' (31–41 DAE) un 'Mandaga' (23–46 DAE). Novērtējot lakstu sakļaušanos kalendārajā laika skalā (16., 17. un 18. pielik.), redzams, ka 2014. un 2015. gados lakstu sakļaušanās ātrāk aizsākās un noslēdzās šķirnei 'Prelma' (attiecīgi 4. līdz 11. jūlijs un 30. jūnijs līdz 13. jūlijs), bet 2016. gadā tā bija vienāda ar šķirni 'Monta' (30. jūnijs līdz 15. jūlijs). Arī šķirnei 'Mandaga' 2014. un 2015. gadā lakstu sakļaušanās sākās ātrāk nekā šķirnei 'Monta' un noslēdzās aptuveni vienā laikā. Tikai 2016. gadā šķirnei 'Mandaga' lakstu sakļaušanās sākās vēlāk nekā abām agrīnākajām šķirnēm un noslēdzās tikai 22. jūlijā.

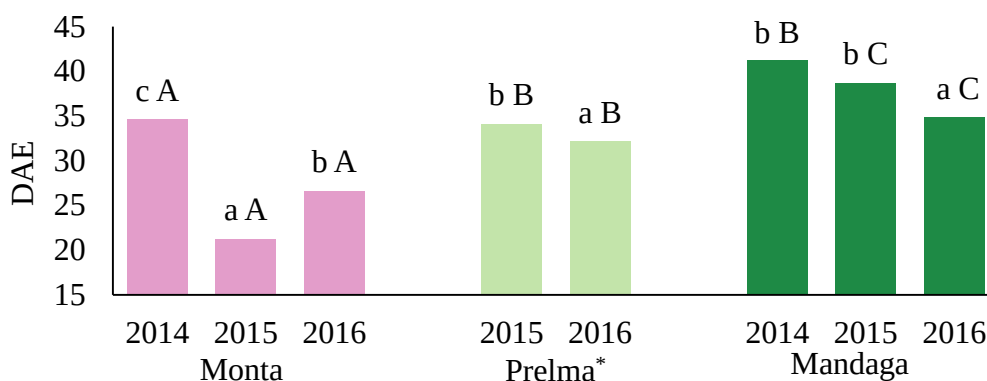
Kopsavilkums. Laiku dienās pēc sadīgšanas līdz laksti sakļaujas vagās būtiski ietekmēja gan genotips, gan sīkbumbuļu frakcija. Šķirnei 'Monta' nepieciešams būtiski mazāk laika, lai laksti sakļautos. Arī laksti no lielākiem sīkbumbuļiem, lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr sakļāvās ātrāk nekā laksti no mazākiem sīkbumbuļiem. Novērotas arī būtiskas atšķirības starp gadiem. Būtiski mazāk laika pēc ceru sadīgšanas, lai laksti sakļautos, bija nepieciešams 2015. gadā, savukārt 2016. gadā bija visizteiktākās atšķirības starp SbF, jo, iespējams, negatīva ietekme uz augu attīstību bija stiprajām lietusegāzēm jūnija trešajā dekādē, kuru rezultātā varēja samazināties skābekļa daudzums augsnē.

3.2.3. No sīkbumbuļiem iegūtu kartupeļu ceru ziedēšana

Lai arī pastāv uzskats, ka līdz ar ziedēšanas sākumu aizsākas jauno ražas bumbuļu veidošanās, tomēr ziedēšanas kā kartupeļu augu attīstības fāzes nozīme tiek vērtēta pretrunīgi. Tas ir saistīts gan ar to, ka ne visas šķirnes mēdz ziedēt, daļa šķirņu veido maz ziedkopu atsevišķos ceros, bet citas nezied katru gadu, kā šajā pētījumā tas bija šķirnei 'Prelma' 2015. gadā. Savukārt vēlīnāki genotipi var turpināt ziedēt līdz pat sēklas ražas novākšanas laikam, piemēram, cietes iegūšanai selekcionētās šķirnes 'Jogla' (vidēji vēlīna šķirne, selekcionārs AREI) un 'Kuras' (vēlīna šķirne, selekcionārs Agrico, Nīderlande) (28. pielik.). Ziedēšanas ilgumu var būtiski ietekmēt arī laikapstākļi, karstā laikā tas ievērojami saīsinās.

Šajā pētījumā noteikts ziedēšanas sākums kā iespējamā pazīme tam, ka ir sākuši veidoties ražas bumbuļi (Meier, 2001). Kā redzams fenoloģiskās attīstības laika skalā (16., 17. un 18. pielik.), tad ziedēšanas sākums apmēram sakrīt ar lakstu sakļaušanos vagās, tomēr bija vērojamas atšķirības starp genotipiem. Šķirnei 'Monta' katrā no gadiem ziedēšanas sākums bija vērojams laikā, kad sakļāvās laksti, savukārt šķirnei 'Mandaga' raksturīgāka bija ziedēšanas aizsākšanās pēc tam, kad laksti jau bija sakļāvušies. Savukārt 'Prelma' 2014. gadā neziedēja, 2015. gadā ziedēšana sākās aptuveni lakstu sakļaušanās laikā (katrai SbF īsi pēc lakstu sakļaušanās), bet 2016. gadā tikai f4 lauciņos augi sāka ziedēt pēc lakstu sakļaušanās, bet pārējo SbF ceri – jau pirms lakstu sakļaušanās.

Vērtējot ziedēšanas sākumu dienās pēc sadīgšanas (DAE), nevienai no šķirnēm 95% līmenī netika novērotas būtiskas atšķirības atkarībā no sīkbumbuļu frakcijas, savukārt atšķirības starp gadiem un starp genotipiem bija būtiskas (3.14. att.).



3.14. att. Ceru ziedēšanas sākums dienās pēc sadīgšanas (DAE) atkarībā no šķirnes vidēji sīkbumbuļu frakcijām, 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp audzēšanas gadiem katrai šķirnei atsevišķi, atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp šķirnēm katrā audzēšanas gadā atsevišķi,

*šķirne 'Prelma' 2014. g. neziedēja

Visos gados agrīnajai šķirnei 'Monta' bija nepieciešams būtiski mazāk dienu pēc sadīgšanas līdz ziedēšanas sākumam (21–35 dienas, atkarībā no gada), bet vidēji vēlīnajai šķirnei 'Mandaga' – būtiski vairāk jeb 35–41 DAE. Ļoti strauja attīstība bija vērojama šķirnei 'Monta' 2015. gadā, kad pēc relatīvi vēlās sadīgšanas bija nepieciešama tikai 21 diena līdz ziedēšanas sākumam. Savukārt 2014. gadā, kurš raksturojās ar strauju sadīgšanu, gan šķirnei 'Monta', gan šķirnei 'Mandaga' bija nepieciešams visvairāk DAE līdz sākās ziedēšana.

Kopsavilkums. Ziedēšanas sākumu dienās pēc sadīgšanas būtiski ietekmēja gan audzēšanas gads, gan genotips, bet netika konstatētas būtiskas atšķirības atkarībā no sīkbumbuļu frakcijas, izņemot šķirni 'Prelma' 2015. gadā. Visas šķirnes savstarpēji būtiski atšķirās, un izteikti izpaudās šķirņu piederība agrinuma grupām. Būtiski ātrāk pēc sadīgšanas sāka ziedēt agrīnā šķirne 'Monta', bet vēlāk – vidēji vēlīnā šķirne 'Mandaga'. Pēc relatīvi ļoti straujās sadīgšanas 2014. gadā, bija nepieciešams visvairāk dienu līdz ziedēšanas sākumam (šķirne 'Prelma' šajā gadā neziedēja).

3.2.4. Stublāju skaits no sīkbumbuļiem izveidojušos ceros

Stublāju skaits cerā ir viena no būtiskākajām pazīmēm, kas raksturo iestādītā sēklas materiāla fizioloģisko stāvokli un ceru augšanas spar. Stublāju skaitam ir būtiska ietekme uz ražas bumbuļu skaitu gan no cera, gan rezultātā arī no platības.

Genotips un sēklas bumbuļa izmērs ir faktori, kuri visvairāk ietekmē stublāju skaitu cerā (Struik et al., 1990). Tam tika gūts apstiprinājums arī šajā pētījumā, jo gan genotipam, gan

sīkbumbuļu frakcijai (SbF) bija būtiska ietekme un kopā šie faktori izskaidroja 77% no stublāju skaita variācijas, turklāt SbF faktora īpatsvars bija 59% (19. pielik.). Būtiska bija arī faktoru mijiedarbība, bet tās ietekmes īpatsvars bija 6.4%.

Stublāju skaitu cerā ietekmēja arī audzēšanas gada apstākļi, tomēr šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ būtiskas atšķirības starp audzēšanas gadiem novērotas tikai f4 frakcijas sīkbumbuļiem (3.3. tab.). Visām šķirnēm visos gados f4 sīkbumbuļiem izveidojās būtiski vairāk stublāju (vidēji 3.9 stublāji šķirnei ‘Prelma’ un šķirnei ‘Mandaga’ un 2.4 stublāji šķirnei ‘Monta’) nekā f1 sīkbumbuļiem (vidēji 1.6 stublāji šķirnei ‘Prelma’ un šķirnei ‘Mandaga’ un 1.4 stublāji šķirnei ‘Monta’). Šķirnei ‘Monta’ mazākais stublāju skaits bija 2015. gadā, turklāt atšķirības f1 un f4 starpā bija relatīvi nelielas (f4 bija tikai par 0.3 stublājiem vairāk nekā f1, salīdzinot ar atšķirībām gan šķirnei ‘Monta’ pārējos gados, gan šķirnei ‘Prelma’ un šķirnei ‘Mandaga’ visos gados). Iespējams, ka mazais stublāju skaits 2015. gadā apliecina šķirnes ‘Monta’ sīkbumbuļu slikto fizioloģisko stāvokli, kurš ietekmēja arī dīgšanu. Arī pārējos gados stublāju skaits šķirnei ‘Monta’ bija mazāks nekā pārējām šķirnēm.

3.3. tabula

Stublāju skaits cerā atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.

Sīkbumbuļu frakcija, g	Stublāju skaits cerā								
	Monta***			Prelma			Mandaga		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
f1 3.00–4.99	1.3 bB	1.4 bAB	1.6 cA	1.6 b	1.6 c	1.6 c	1.6 b	1.9 c	1.6 c
f2 5.00–9.99	1.6 b	1.3 b	1.6 c	2.0 b	1.8 c	2.2 c	2.1 b	2.2 c	2.2 bc
f3 10.00–19.99	1.8 bAB	1.5 abB	2.1 bA	2.7 a	2.3 b	3.0 b	2.5 ab	3.2 b	2.8 b
f4 ≥20.00	2.5 aB	1.7 aC	3.1 aA	3.3 aC	4.0 aB	4.7 aA	3.3 aB	4.1 aAB	4.2 aA

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei katrā gadā atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp gadiem katrai frakcijai un šķirnei atsevišķi. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī audzēšanas gadam nebija būtiska ietekme uz stublāju skaitu cerā.

*** stublāju skaits cerā šķirnei būtiski atšķiras ($p < 0.001$) no pārējām šķirnēm

Vairākos pētījumos konstatēti 1–2 stublāji cerā, piemēram, stādot diedzētus 4–18 g smagus sīkbumbuļus (Melching, Slack, Jones, 1992), un neprecizējot sīkbumbuļu masu vai izmēru (Ranalli et al., 1994; Akhtar et al., 2010; Ozturk, Yildirim, 2010). Minētajos pētījumos nav tikusi pārtraukta apikālā dominance, kas ir raksturīga sīkbumbuļiem (Ranalli, 1997), nolaužot etiolētos tumsas asnus. Savukārt apikālās dominances pārtraukšana var palielināt stublāju skaitu (Wurr et al., 2001). ASV veikts pētījums, kurā sīkbumbuļiem veikta apstrāde ar dažādiem augu augšanas regulatoriem, lai pārtrauktu miera periodu. Apstrādājot sīkbumbuļus ar giberelīnskābes un etepona ($C_2H_6ClO_3P$) maisījuma šķīdumu, tiem būtiski pieauga asnu skaits (3.2 asni piecas nedēļas kopš apstrādes), salīdzinājumā ar kontroli bez apstrādes, kad miera periods netika pārtraukts un asni neveidojās. Tomēr, izstādot laukā apstrādātos sīkbumbuļus, tiem izveidojās līdz 1.3 stublājiem, salīdzinot ar kontroles variantu, kurā lielākais stublāju skaits bija 1.2 (Külen et al., 2011). Tomēr pieņēmumu, ka tumsas asnu nolaušanai ir lielāks efekts uz apikālās dominances pārtraukšanu nekā augu augšanas regulatoriem neļauj izteikt informācijas trūkums par sīkbumbuļu izmēru O. Kulena un kolēģu pētījumā, jo

promocijas darba izstrādei Priekuļos veiktajā pētījumā 1.3 stublāji bija mazākais iegūtais skaits (3.3. tab.).

Promocijas darba pētījuma rezultāti, kur par 10 g smagākiem sīkbumbuļiem veidojās vairāk nekā divi stublāji (izņemot šķirni 'Monta'), līdzinās novērotajam pētījumos, kuros, izmantojot relatīvi lielus sīkbumbuļus jeb 18 g (Ozkaynak; Samanci, 2006), 20–30 g (Gopal, Kumar, Kang, 2002) un 15–30 mm (Wrobel, 2015), ieguva 1.1–5.0 stublājus cerā.

Zinātniskajā literatūrā tika atrasts ļoti maz datu par stublāju skaitu atkarībā no izstādīto sīkbumbuļu izmēra. Turcijā veiktā pētījumā no lielākiem sīkbumbuļiem ieguva būtiski vairāk stublāju (Ozkaynak, Samanci, 2006), savukārt Nīderlandē veiktā pētījumā, kurā izmantoja ļoti mazus sīkbumbuļus (0.13–3.99 g), ieguva 1–2 stublājus no cera un nenovēroja būtiskas atšķirības starp sīkbumbuļu frakcijām (Lommen, Struik, 1994).

Smagākiem kartupeļu bumbuļiem parasti ir vairāk acu, no kurām var veidoties stublāji (Wurr et al., 2001), kā arī tie ir fizioloģiski vecāki, kam arī ir pozitīvs efekts uz stublāju skaitu (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Oliveira, Moot, Brown, 2014). Lai gan pat fizioloģiski novecojuši bumbuļi, kuriem vēl saglabāties dīgšanas spars, mēdz veidot daudzus stublājus (Struik, Wiersema, 1999), tomēr šķirnēm, kurām raksturīga agrīna fizioloģiska novecošanās, stublāju skaits var būt arī mazāks nekā fizioloģiski jaunākai sēklai (Struik et al., 2006), kas promocijas darba pētījumā atbilst šķirnes 'Monta' datiem.

Kopsavilkums. Stublāju skaits bija atkarīgs gan no genotipa, gan no sīkbumbuļu frakcijas. Šķirnei 'Monta' bija būtiski mazāk stublāju nekā šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga'. Kopumā mazākais stublāju skaits iegūts no f1 sīkbumbuļiem šķirnei 'Monta' 2014. gadā (1.3 stublāji), bet lielākais – no f4 sīkbumbuļiem šķirnei 'Prelma' 2016. gadā (4.7 stublāji). Visām šķirnēm no f4 sīkbumbuļiem iegūtajiem ceriem bija būtiski vairāk stublāju nekā tiem, kas iegūti no f1 sīkbumbuļiem.

3.2.5. Bumbuļu skaits cerā un pavairošanas koeficients

Ražas bumbuļu skaits no sadīgušā cera parāda šķirnes potenciālu, savukārt izteikts kā ražas bumbuļu skaits pret iestādīto sīkbumbuļu skaitu (turpmāk pavairošanas koeficients lauka apstākļos jeb PkoefL) tas parāda faktisko situāciju ražošanas apstākļos, kad, kā aprakstīts 3.2.1. nodaļā, var nebūt novērojama 100% laukdīdzība. Abu rādītāju aprēķināšanai šajā pētījumā izmantots >25 mm lielu ražas bumbuļu skaits, kas ir mazākais kartupeļu sēklas materiāla izmērs atbilstoši MK noteikumiem¹⁵. Veicot t-testu, tika noskaidrots, ka šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' atšķirības starp ražas bumbuļu skaitu no sadīgušā cera un PkoefL nebija statistiski būtiskas (attiecīgi $p=0.117$ un $p=0.054$), bet šķirnei 'Monta' šo rādītāju vērtības savstarpēji atšķīrās būtiski ($p<0.001$).

Genotipa un sīkbumbuļu frakcijas (SbF), kā arī abu faktoru mijiedarbības ietekme gan uz pavairošanas koeficientu lauka apstākļos (PkoefL), gan uz ražas bumbuļu skaitu no sadīgušā sīkbumbuļa bija būtiska, kopā ietekmējot 76% no datu variācijas, tajā skaitā lielākais ietekmes īpatsvars bija SbF ($\eta=47$ –52%) (26. pielik.).

Ražas bumbuļu skaits no sadīgušā cera dažādos gados būtiski atšķīrās šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' (3.4. tab.). Šajā pētījumā audzēšanas gads visvairāk ietekmēja šķirni 'Monta', kurai novēroja gada ietekmi uz visu frakciju sīkbumbuļiem, izņemot f1. Viszemākais ražas bumbuļu skaits no cera (5.1–6.3) šķirnei 'Monta' bija 2015. gadā, un šis bija zemākais skaits starp visām šķirnēm visos audzēšanas gados, turklāt tas bija arī vienīgais gads, kad kādai no šķirnēm netika novērotas būtiskas atšķirības atkarībā no SbF ($p=0.061$). Tātad, šajā aprēķinā ņemti vērā tikai sadīgušie ceri, un zemā laukdīdzība 2015. gadā tiešā veidā šo rādītāju

¹⁵ 10. pielikums Ministru kabineta 2016. gada 5. janvāra noteikumiem Nr. 12. No: likumi.lv [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 10. febr.]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/279044-kartupelu-seklaudzšanas-un-seklas-kartupelu-tirdzniecibas-noteikumi>

neietekmēja, tomēr arī tiem bumbuliem, kuri sadīga, kopumā bija pazemināts augšanas spars, kas izpaudās gan kā lēnāka sadīgšana (3.12. att.), gan mazāks stublāju skaits cerā (3.3. tab.). Tā rezultātā samazinājās arī ražas bumbuļu skaits.

3.4. tabula

Ražas bumbuļu (>25 mm) skaits cerā atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.

Sīkbumbuļu frakcija, g	Novākto bumbuļu skaits						
	Monta**			Prelma	Mandaga		
	2014	2015	2016	2014–2016	2014	2015	2016
f1 3.00–4.99	6.0 b	5.1	5.3 c	5.8 c	7.3 bA	5.5 bB	5.0 bB
f2 5.00–9.99	7.0 abA	4.7 B	5.1 cB	7.5 c	8.2 ab	6.3 b	5.8 b
f3 10.00–19.99	7.4 abA	4.9 B	6.7 bA	10.0 b	9.9 abA	10.4 aA	7.8 aB
f4 ≥20.00	8.9 aA	6.3 B	9.1 aA	13.1 a	10.0 a	11.9 a	11.4 a

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp gadiem katrai frakcijai un šķirnei atsevišķi. Ja neviens mazais burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz ražas bumbuļu skaitu. Ja neviens lielais burts nav pievienots, tad 95% līmenī audzēšanas gadam nebija būtiska ietekme uz bumbuļu skaitu. Šķirnei 'Prelma' gada ietekme nebija būtiska ($p = 0.332$), tāpēc attēloti 3 gadu vidējie dati.

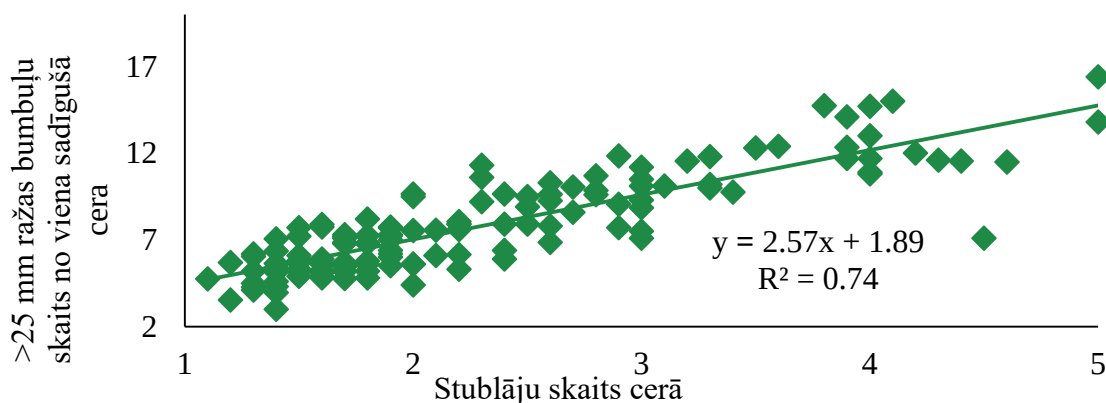
** šķirnei ražas bumbuļu (>25 mm) skaits būtiski atšķiras ($p < 0.01$) no pārējām šķirnēm

Savukārt šķirnei 'Prelma' ražas bumbuļu skaits no sadīgušā cera nevienai no SbF starp gadiem būtiski neatšķīrās 95% līmenī, un vidēji šai šķirnei izauga visvairāk bumbuļu no cera (no 7.5 f2 līdz 13.1 f4), izņemot f1, kurā vairāk bumbuļu (5.9) bija šķirnei 'Mandaga'.

Visām šķirnēm visos gados (izņemot 2015. g. šķirnei 'Monta') no lielākiem sīkbumbuliem ieguva vairāk ražas bumbuļu, turklāt visos gadījumos no f4 sīkbumbuliem ieguva būtiski vairāk >25 mm ražas bumbuļu nekā no f1 sīkbumbuliem, bet bumbuļu skaits no f1 un f2 nekad būtiski neatšķīrās 95% līmenī.

Tā kā promocijas darba pētījumā tika gūts apstiprinājums tam, ka lielākiem sēklas bumbuliem veidojas vairāk stublāju, bet stublāju skaits ietekmē ražas bumbuļu skaitu cerā (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Bussan et al., 2007; Haverkort, 2018), tad tas izskaidro to, ka no lielākiem sīkbumbuliem tika iegūts vairāk ražas bumbuļu.

Korelatīvā sakarība starp bumbuļu un stublāju skaitu cerā. Veicot lineārās regresijas analīzi, ieguva būtisku sakarību starp >25 mm ražas bumbuļu skaitu no viena sadīgušā cera un stublāju skaitu cerā. Regresijas vienādojums parādīja, ka, pieaugot stublāju skaitam par vienu, ražas bumbuļu skaits cerā pieauga par 2.57 (3.15. att.).

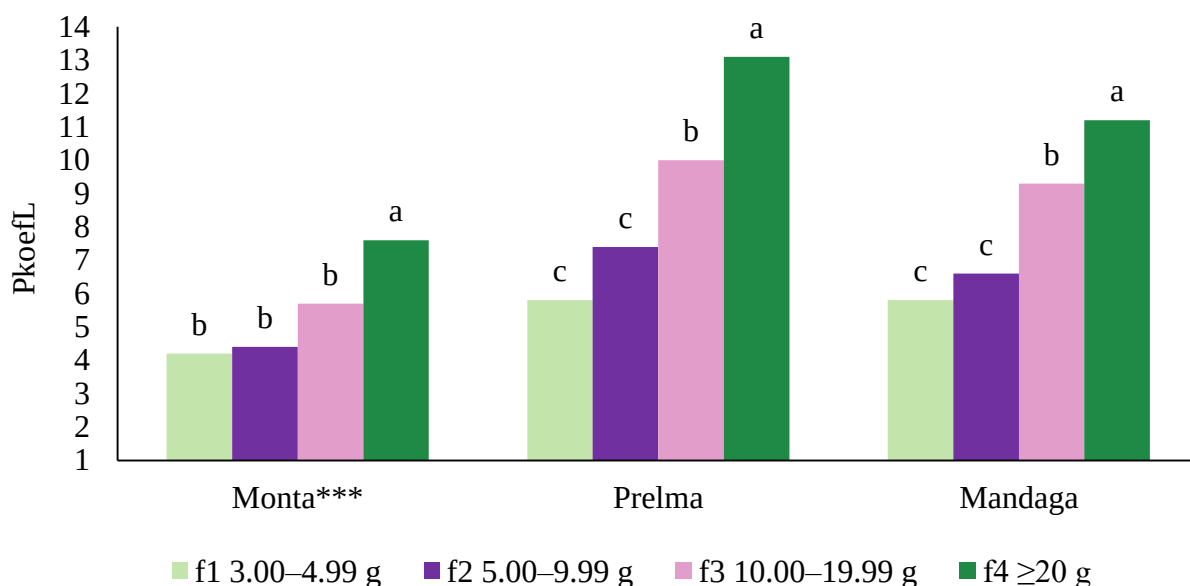


3.15. att. Sakarība starp stublāju skaitu cerā un >25 mm lielu ražas bumbuļu skaitu, $p < 0.001$

Arī izveidojot regresijas vienādojumu sakarībai starp stublāju skaitu un visu ražas bumbulu skaitu, tā bija būtiska, un bumbulu skaits pieauga par 3.1 uz katru papildus stublāju. Iegūtais rezultāts apstiprina sakarības, kuras publicētas pētījumos ar konvencionālo sēklas materiālu – pieaugot stublāju skaitam, būtiski pieaug ražas bumbulu skaits cerā (Love, Thompson-Johns, 1999; N. Knowles, L. Knowles, 2006; Bussan et al., 2007; Goeser et al., 2012). Turklāt promocijas darba pētījumā stublāju skaita izmaiņas izskaidroja 74% ražas bumbulu skaita variēšanas (gan kopējā, gan >25 mm lielu bumbulu skaita), salīdzinot ar A. Bussana un kolēģu iegūtajiem 55% (Bussan et al., 2007).

Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PkoefL). Dati par faktisko ražošanas situāciju jeb ražas bumbulu skaitu no katra iestādītā sīkbumbuļa atkarībā no tā frakcijas nepieciešami, lai turpmāk izvērtētu dažādo sīkbumbuļu stādīšanas biežību efektivitāti siltumnīcā. Izvērtēšanai tiks izmantoti vidējie trīs audzēšanas gadu dati, bet informācija par PkoefL katrā no gadiem ievietota 27. pielikumā.

Tāpat kā ražas bumbulu skaits no cera, arī PkoefL lielākiem sīkbumbuļiem bija augstāks (3.16. att.). Visām šķirnēm no f4 vidēji ieguva būtiski augstāku PkoefL nekā no pārējām frakcijām, tomēr ar SbF saistītais PkoefL izmaiņu raksturs šķirnēm bija atšķirīgs.



3.16. att. **Sīkbumbuļu pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PkoefL) atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.**

Atšķirīgi burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi.
 *** šķirnes PkoefL būtiski atšķiras ($p < 0.001$) no pārējo šķirņu PkoefL katrā sīkbumbuļu frakcijā atsevišķi

Šķirnei ‘Monta’ bija vismazākā PkoefL atšķirība starp f1 un f4 (3.4 bumbuli), turklāt tikai f4 PkoefL būtiski atšķīrās no tiem, ko nodrošināja pārējās SbF. Kopumā no visu frakciju sīkbumbuļiem šķirnei ‘Monta’ bija būtiski zemāks PkoefL nekā šķirnei ‘Prelma’ un šķirnei ‘Mandaga’. Zemā šīs šķirnes laukdīdžība (vidēji 87%) tikai daļēji izskaidro šādu rezultātu, jo arī sīkbumbuļu skaits no sadīgušā cera šķirnei ‘Monta’ bija būtiski zemāks nekā pārējām šķirnēm.

Šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ bija vienāds no mazāko sīkbumbuļu frakcijas jeb f1 iegūtais PkoefL (5.8 ražas bumbuli >25 mm no iestādītā sīkbumbuļa), arī pārējām sīkbumbuļu frakcijām 95% līmenī nebija būtisku atšķirību starp šīm šķirnēm. Tomēr Prelmai’ bija izteiktāka PkoefL paaugstināšanās, pieaugot sīkbumbuļu masai, īpaši salīdzinot pieaugumu starp f3 un f4. Šķirnei ‘Prelma’ no lielākās frakcijas sīkbumbuļiem ieguva par 3.1 lielāku PkoefL nekā no f3, bet šķirnei ‘Mandaga’ par 1.9 lielāku PkoefL. Arī PkoefL atšķirība starp f1 un f4 šķirnei ‘Prelma’ bija vislielākā (7.3), salīdzinot ar 5.4 šķirnei ‘Mandaga’. Tādējādi, stādot mazākos jeb

3–5 g smagus sīkbumbuļus, šķirnei ‘Monta’ ieguva vidēji 1.8 reizes, šķirnei ‘Mandaga’ 1.9 reizes, bet šķirnei ‘Prelma’ 2.3 reizes mazāku pavairošanas koeficientu, salīdzinot ar PkoefL lielāko jeb ≥ 20 g smagu sīkbumbuļu frakcijai.

Šajā darbā iegūtie rezultāti ir saskaņā ar citos pētījumos publicētajiem rezultātiem. Būtisku SbF ietekmi uz ≥ 20 mm lielu ražas bumbuļu skaitu no cera, iegūstot vidēji 7.05 bumbuļus no 6–8 g smagiem sīkbumbuļiem līdz vidēji 8.9 bumbuļus no 16–18 g smagiem sīkbumbuļiem, novērojuši pētnieki Turcijā (Ozkaynak, Samanci, 2006). Arī Īrijā veiktā pētījumā lielākiem sīkbumbuļiem bija būtiski lielāks pavairošanas koeficients, uzskaitot pilnīgi visus ražas bumbuļus, un tas bija robežās no 5.53 (izmantojot 12–15 mm lielus sīkbumbuļus) līdz 8.6, ja izmantoti 25–35 mm lieli sīkbumbuļi (Barry, Clancy, Molloy, 2001). Savukārt pētījumā, kurā salīdzināja pavairošanas koeficientu dažādām šķirnēm, izmantojot 20–30 g smagus diedzētus sīkbumbuļus, ieguva 5.4–12.2 bumbuļus no cera (Gopal et al., 2002b). Šajā promocijas darba izstrādei veiktajā pētījumā uzskaitīti tikai > 25 mm lieli ražas bumbuļi, līdz ar to šķirnes ‘Prelma’ sīkbumbuļu pavairošanas koeficients būtu uzskatāms par stabili ļoti augstu, jo nevienā no audzēšanas gadiem tas nebija zemāks par 12, bet 2015. gadā pat pārsniedza 14. PkoefL būtiski ietekmē ne tikai iestādīto sīkbumbuļu frakcija, bet arī sīkbumbuļu stādīšanas attālums. Sabiezinot stādījumu, PkoefL var būtiski samazināties (Karafyllidis et al., 1997; Dimante, Skrabule, 2021).

Kopsavilkums. Visām šķirnēm no lielākiem sīkbumbuļiem ieguva lielāku ražas bumbuļu skaitu gan aprēķinot to kā > 25 mm lielu ražas bumbuļu skaitu pret sadīgušo ceru, gan pret iestādīto bumbuļu (PkoefL). Šķirnei ‘Monta’ konstatēta būtiska atšķirība starp abiem rādītājiem, kas saistīta ar šīs šķirnes relatīvi zemāko laukdīdzību, bet šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ atšķirības nebija būtiskas. Kopumā šķirnei ‘Monta’ PkoefL (no 4.2–7.6) bija būtiski zemāks nekā pārējām šķirnēm, kurām šis rādītājs būtiski neatšķīrās un bija no 5.8–11.2 šķirnei ‘Mandaga’ un 5.8–13.1 šķirnei ‘Prelma’. Tika konstatēta būtiska pozitīva sakarība starp stublāju skaitu ceram un ražas bumbuļu skaitu cerā.

3.2.6. Bumbuļu skaits un raža

Genotipa un sīkbumbuļu frakcijas (SbF) ietekme gan uz bumbuļu skaitu, gan uz ražu kg m^{-2} bija būtiska, bet faktoru mijiedarbības efekts bija būtisks tikai attiecībā uz bumbuļu skaitu m^{-2} . Bumbuļu ražu vairāk ietekmēja genotips ($\eta=40\%$, salīdzinot ar $\eta=21\%$ sīkbumbuļu frakcijai), savukārt skaitu – sīkbumbuļu frakcija, kuras ietekmes īpatsvars bija 47%, salīdzinot ar genotipa ietekmes īpatsvaru $\eta=25\%$ (26. pielik.).

Mazākais ražas bumbuļu skaits un raža no 1 m^2 tika novēroti šķirnei ‘Monta’ 2015. gadā (3.5. tab.) un tas bija saistīts gan ar zemo laukdīdzību šajā gadā (3.2. tab.), gan arī ar zemo ražas bumbuļu skaitu cerā (3.4. tab.).

Šķirnei ‘Prelma’ atšķirības starp gadiem nebija būtiskas ne ražas bumbuļu skaitā ($p=0.712$ vidēji visām SbF), ne bumbuļu ražā ($p=0.689$ vidēji visām SbF). Savukārt šķirnei ‘Mandaga’ bumbuļu skaits starp gadiem būtiski atšķīrās divās frakcijās ($f1$ un $f3$), bet raža – tikai vienā frakcijā ($f1$). Tātad, lai arī 2015. gadā tika novērota būtiski vēlāka sadīgšana nekā 2014. gadā, bet 2016. gadā – relatīvi vēlāka lakstu sakļaušanās, tomēr tam kopumā nebija nozīmīga ietekme uz iegūto bumbuļu skaitu un ražu no 1 m^2 . Netika novērotas izteiktas priekšrocības straujajai augu attīstībai 2014. gadā, jo netika novērota konsekventa tendence lielākam bumbuļu skaitam vai ražai šajā gadā, salīdzinot ar pārējiem gadiem (šķirnei ‘Monta’ salīdzinājums veicams tikai ar 2016. gadu).

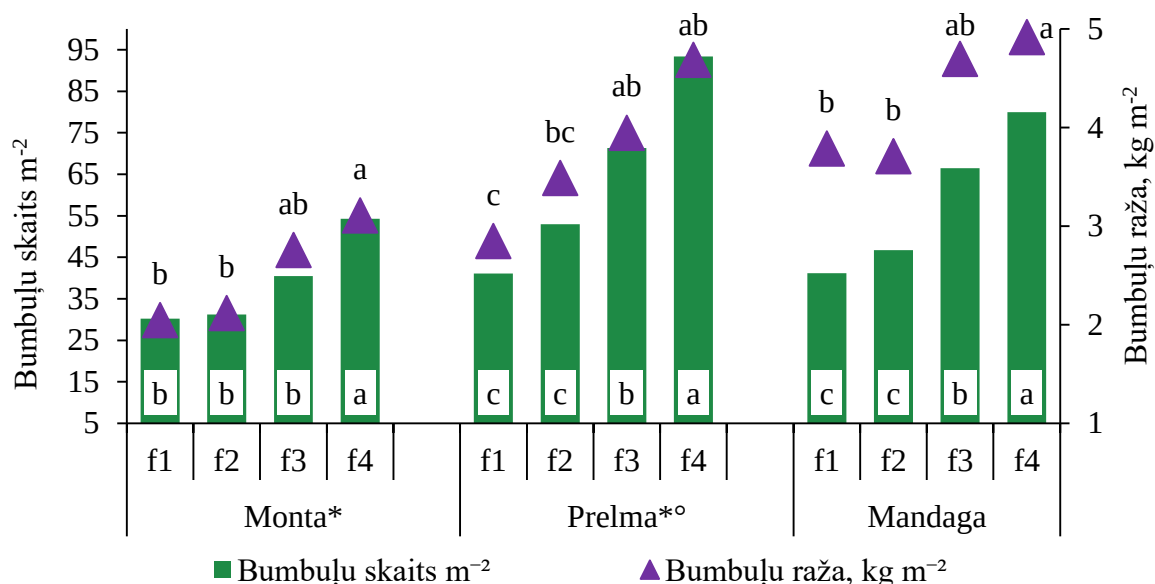
Bumbuļu skaits un raža atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, 2014.–2016. g.

Sīkbumbuļu frakcija, g	Monta			Prelma	Mandaga		
	2014	2015	2016	2014–2016	2014	2015	2016
>25 mm lielu bumbuļu skaits m⁻²							
f1 3.00–4.99	34.3 A	22.5 ab B	34.8 b A	41.1 c	51.8 A	39.3 B	35.3 b B
f2 5.00–9.99	44.1 A	19.8 b B	33.1 b A	53.0 c	57.4	44.4	41.0 b
f3 10.00–9.99	52.0 A	28.6 ab C	43.7ab B	71.3 b	70.3 A	74.3 A	55.8 ab B
f4 ≥20.00	59.9 A	35.8 a B	68.6 a A	93.4 a	71.2	85.1	81.5 a
>25 mm lielu bumbuļu raža, kg m⁻²							
f1 3.00–4.99	2.02 B	1.64 ab B	2.47 b A	2.85 c	4.39 A	3.93 AB	3.20 b B
f2 5.00–9.99	2.68 A	1.41 b B	2.42 b B	3.49 bc	4.41	3.71	3.17 b
f3 10.00–9.99	3.53 A	1.88 ab B	3.05ab A	3.95 ab	5.56	4.33	4.41 ab
f4 ≥20.00	3.24 AB	2.37 a B	3.75 a A	4.69 a	4.89	4.34	5.51 a

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp gadiem katrai frakcijai un šķirnei atsevišķi. Ja neviens mazais burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz rādītāju (skaitu vai ražu). Ja neviens lielais burts nav pievienots, tad 95% līmenī audzēšanas gadam nebija būtiska ietekme uz rādītāju. Šķirnei 'Prelma' gada ietekme nebija būtiska ($p = 0.269$ un $p = 0.533$, atbilstoši), tāpēc attēloti vidēji dati

Audzēšanas gadu vidējie dati (3.17. att.) parādīja, ka, pieaugot iestādīto sīkbumbuļu masai, pieaug gan ražas bumbuļu skaits, gan to raža, kas kopumā saskan ar citu autoru iegūtajiem rezultātiem gan pētījumos, kuros izmantots dažādu izmēru konvencionālais sēklas materiāls (O'Brien, Allen, 1992; Bohl, Stark, McIntosh, 2011), gan pētījumos, izmantojot dažādu izmēru sīkbumbuļus (Struik, Lommen, 1999; Barry, Clancy, Molloy, 2001; Ozkaynak, Samanci, 2006; Radouani, Lauer, 2015). Tomēr dažos pētījumos iegūtie rezultāti nav tik viennozīmīgi. Piemēram, D. Karafyllidis un kolēģi secināja, ka stādīšanai lauka apstākļos nav piemēroti tikai par 10 mm mazāki sīkbumbuļi, jo tikai tiem bija būtiski mazāks ražas bumbuļu skaits un raža, salīdzinot ar citām pētītajām frakcijām robežās no 10–25 mm (Karafyllidis et al., 1997).

Promocijas darba pētījumā apstiprinājās genotipa būtiska ietekme uz ražas bumbuļu skaitu un ražu, kas novērota virknē agrāk veiktu pētījumu par sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos (Karafyllidis et al., 1997; Gopal, Kumar, Kang, 2002; Radouani, Lauer, 2015; Rykaczewska, 2016a; Fulladolsa et al., 2018). Starp genotipiem var atšķirties bumbuļu skaita un ražas izmaiņu tendences. Piemēram, pētot šķirnes 'Nicola' sīkbumbuļus lauka apstākļos, konstatēts, ka ražas bumbuļu skaits no lielākiem sīkbumbuļiem pat bija zemāks nekā no mazākiem sīkbumbuļiem, un arī ražas pieaugums nebija būtisks (Radouani, Lauer, 2015). Veidojot sēklaudzēšanas tehnoloģiju jaunajai cietes ražošanai piemērotajai šķirnei 'Jogla' (selekcionārs AREI), papildus sīkbumbuļu frakcijas ietekmei pētīja arī stādīšanas attāluma ietekmi uz dažādiem ražu raksturojošiem rādītājiem. Bumbuļu skaitu no 1 m² būtiski ietekmēja ne tikai iestādīto sīkbumbuļu lielums, bet arī stādīšanas attālums (0.20 m, 0.15 m, 0.10 m starp ceriem). Ražas bumbuļu skaits no 1 m² pieauga, samazinot stādīšanas attālumu, savukārt kopraža frakcijas ietvaros būtiski nepieauga (Dimante, Skrabule, 2021). Arī izmantojot dažādu izmēru konvencionālo sēklas materiālu, bumbuļu skaita un masas izmaiņu tendences sēklas lieluma iespaidā var atšķirties. Bumbuļu skaits pieaug, palielinot sēklas bumbuļu izmēru, bet raža tā rezultātā var arī nepieaugt (O'Brien, Allen, 1992).



3.17. att. Ražas bumbuļu (>25 mm) skaits un raža m⁻² atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.

f1 ir 3.00–4.99 g sīkbumbuļi, f2 ir 5.00–9.99 g, f3 ir 10.00–19.99, f4 ir ≥20 g smagi sīkbumbuļi. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Burti stabīndiagrammas stabīņu iekšienē apzīmē atšķirības bumbuļu skaitā, bet virs trijstūriem – atšķirības pēc ražas.

* šķirne būtiski atšķiras ($p < 0.05$) no pārējām šķirnēm katrā sīkbumbuļu frakcijā atsevišķi. *° šķirne būtiski atšķiras no pārējām šķirnēm pēc bumbuļu ražas tikai f1 frakcijā

Promocijas darba pētījumā visām šķirnēm no f4 sīkbumbuļiem ieguva būtiski vairāk >25 mm lielu ražas bumbuļu nekā no pārējām frakcijām. Arī no f3 frakcijas šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’ ieguva būtiski vairāk ražas bumbuļu nekā no f1 un f2. Nevienai no šķirnēm starp f1 un f2 95% līmenī nebija būtiskas atšķirības ne pēc bumbuļu skaita, ne masas no 1 m². Šķirnei ‘Monta’ ieguva vismazāk ražas bumbuļu katrā no frakcijām jeb 30.2 bumbuļus m⁻² no f1, 31.2 bumbuļus no f2, 40.5 bumbuļus no f3 un 54.3 bumbuļus m⁻² no iestādītiem f4 sīkbumbuļiem. Visvairāk bumbuļu no 1 m², neatkarīgi no iestādītās sīkbumbuļu frakcijas, ieguva šķirnei ‘Prelma’: 41.1 no f1, 53 no f2, 71.3 no f3 un 93.4 bumbuļus m⁻² no f4. Šķirnei ‘Mandaga’ bumbuļu skaits m⁻² bija mazāks nekā šķirnei ‘Prelma’, tomēr nevienā no SbF 95% līmenī tas nebija būtiski mazāks.

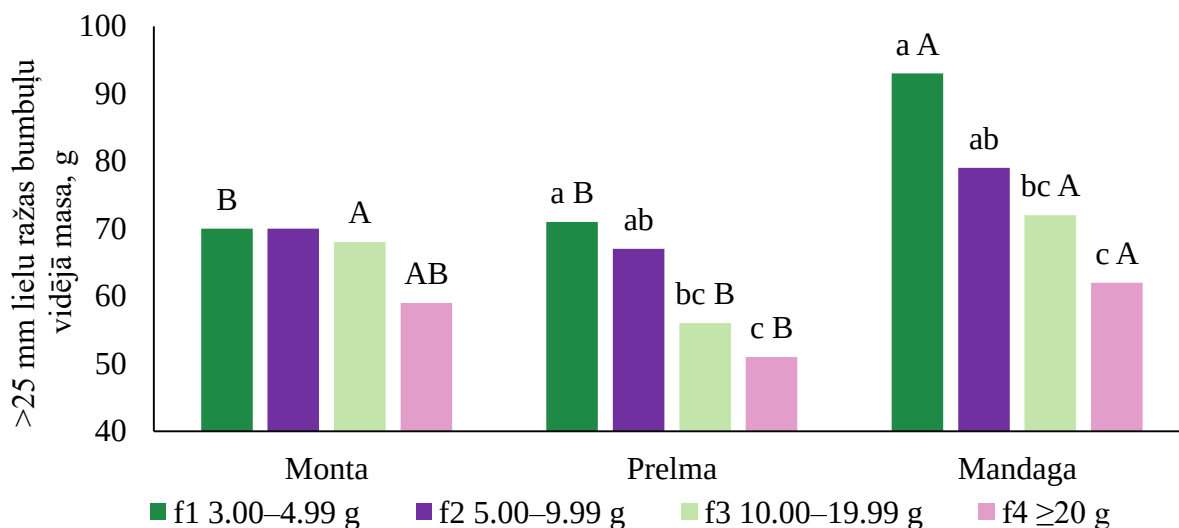
Pieaugot SbF, pieauga arī no 1 m² iegūto bumbuļu raža, un visām šķirnēm no f1 ieguva būtiski mazāku bumbuļu ražu nekā no f4 sīkbumbuļiem. Šķirnei ‘Monta’ no visu frakciju sīkbumbuļiem ieguva būtiski mazāku bumbuļu ražu (2.1 kg m⁻² no f1 līdz 3.1 kg m⁻² no f4) nekā pārējām šķirnēm (2.9–4.7 kg m⁻² šķirnei ‘Prelma’ un 3.8–4.9 kg m⁻² šķirnei ‘Mandaga’).

Vislielākais **relatīvais ražas bumbuļu skaita un ražas pieaugums**, pieaugot SbF, bija šķirnei ‘Prelma’, kurai no f4 sīkbumbuļiem ieguva 2.3 reizes vairāk ražas bumbuļu un 1.6 reizes lielāku bumbuļu ražu nekā no f1 sīkbumbuļiem. Šķirnei ‘Mandaga’ f4 un f1 pēc ražas bumbuļu skaita un ražas atšķīrās attiecīgi 1.9 un 1.3 reizes, bet šķirnei ‘Monta’ attiecīgi 1.8 un 1.5 reizes. Salīdzinot bumbuļu skaita un ražas relatīvās izmaiņas atkarībā no SbF, redzams, ka ražai tās bija mazākas.

Galvenais iemesls tam, ka ražas izmaiņas ir relatīvi mazāk izteiktas, saistīts ar ražas bumbuļu skaitu un viena bumbuļa **vidējo masu**. Lauciņos, kuros ir lielāks ražas bumbuļu skaits, to vidējā masa samazinās (N. Knowles, L. Knowles, 2006; Bussan et al., 2007; Blauer, L. Knowles, N. Knowles, 2013). Promocijas darba pētījumā sakarība starp bumbuļu skaitu un vidējo masu bija vidēji cieša un negatīva ($r = -0.521$, $p < 0.001$). Šo rezultātu visvairāk ietekmēja tas, ka šķirnei ‘Monta’ bumbuļu vidējā masas samazinājums starp SbF nebija būtisks 95% līmenī (3.18. att.). Minētā sakarība atsevišķi šķirnei ‘Prelma’ bija būtiska, cieša un negatīva

($r=-0.705$, $p<0.001$), bet šķirnei 'Mandaga' korelāciju raksturoja $r=-0.693$ ($p<0.001$). Ražas bumbuļa vidējās masas samazināšanās rezultātā raža no lielākiem sīkbumbuļiem var nebūt būtiski lielāka par ražu no mazākiem sīkbumbuļiem (Rykaczewska, 2016a). Priekuļos veiktajā pētījumā visizteiktākā vidējās viena bumbuļa masas samazināšanās, pieaugot SbF, bija šķirnei 'Mandaga', tomēr augstais sīkbumbuļu skaits daļēji līdzsvaroja šo samazinājumu un rezultātā bumbuļu raža no lielāko sīkbumbuļu frakcijas bija būtiski lielāka nekā no f1 un f2 sīkbumbuļiem (3.17. att.).

Iegūtie rezultāti kopumā atbilst citos pētījumos novērotajam sīkbumbuļu agronomiskajam sniegunam lauka apstākļos. Piemēram, 120 dienu garā veģetācijas sezonā Marokā, izmantojot lielus sīkbumbuļus (15–60 g), ieguva 44–63 bumbuļus no 1 m² un to raža bija 1.6–5.8 kg m⁻² (Radouani, Lauer, 2015). Polijā veiktā pētījumā veģetācijas sezona bija pat 144–147 dienas. Stādot 15–22 g smagus sīkbumbuļus, ieguva 68–71 ražas bumbuļus ar kopējo ražu 2.9–5.3 kg m⁻², vērtējumā iekļaujot >30 mm lielus bumbuļus (Rykaczewska, 2016a). Savukārt Turcijā, izmantojot 6–8 g, 8–16 g and 16–18 g smagus sīkbumbuļus, 88–102 dienas pēc stādīšanas ieguva vien 1.3–1.5 kg bumbuļu no 1 m² (Ozkaynak, Samanci, 2006). Īrijā veiktā pētījumā gadā, kurā veģetācijas sezona bija 117 dienas, atkarībā no sīkbumbuļu izmēra, ieguva 37.2–62.6 ražas bumbuļus m⁻² (Barry, Clancy, Molloy, 2001).



3.18. att. Šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas ietekme uz >25 mm lielu ražas bumbuļu vidējo masu, g, vidēji 2014.–2016. g.

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp šķirnēm atsevišķi katrai iestādīto sīkbumbuļu frakcijai. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai vai šķirnei nebija būtiska ietekme uz bumbuļu vidējo masu

Šādi rezultāti liecina, ka Latvijas apstākļos, kad kartupeļus stāda relatīvi vēlu un audzēšanas sezona ir īsa (2.2. tab.), iegūstamais ražas bumbuļu skaits un raža kg m⁻² no sīkbumbuļiem ir konkurētspējīgi un pat pārspēj rezultātus, kuri iegūti valstīs ar līdzīgu vai pat garāku audzēšanas sezonu.

Kopsavilkums. Bumbuļu skaitu, un ražu no 1 m² būtiski ietekmēja gan šķirne, gan iestādīto sīkbumbuļu frakcija (SbF). Dati parādīja, ka, pieaugot iestādīto sīkbumbuļu masai, pieauga gan ražas bumbuļu skaits, gan to raža kg m⁻². Vislielākais relatīvais ražas bumbuļu skaita un ražas pieaugums, pieaugot SbF, bija šķirnei 'Prelma', kurai no f4 sīkbumbuļiem ieguva 2.3 reizes vairāk ražas bumbuļu un 1.6 reizes lielāku bumbuļu ražu nekā no f1 sīkbumbuļiem. Bumbuļu vidējā masa bija mazāka ražā no lielākām SbF, un tas saistīts ar

sakarību, ka lauciņos, kuros ir lielāks ražas bumbuļu skaits, to vidējā masa samazinās. Iegūtais bumbuļu skaits un masa bija līdzīga vai pat pārspēja rādītājus, kuri iegūti valstīs ar garāku audzēšanas sezonu.

3.2.7. Ražas bumbuļu sadalījums frakcijās

Kartupeļu ražas bumbuļu izmērs ir viens no galvenajiem ražu raksturojošiem rādītājiem (Haverkort, Verhagen, 2008). Preču produkcijai vēlamais bumbuļu izmērs ir atkarīgs no paredzētā produkcijas izmantošanas veida. Būtiska ir arī pēc iespējas mazāka bumbuļu izmēra variēšana ap bumbuļu vidējo izmēru. Tas ir svarīgi ne tikai pārtikai un pārstrādei paredzētu kartupeļu, bet arī sēklas materiāla ražai. Lai sertificētu kartupeļu sēklas partiju, ir jāievēro vairāki ierobežojumi attiecībā uz bumbuļu izmēru tajā. Vienā partijā atšķirība starp lielāko un mazāko bumbuļu izmēru nepārsniedz 25 mm starp divām izmantoto sietu kvadrātveida acu malām. Vienā partijā pēc masas nedrīkst būt vairāk par 3% bumbuļu, kuri ir mazāki par etiķetē norādīto minimālo izmēru, vai vairāk par 3% bumbuļu, kuri ir lielāki par etiķetē norādīto maksimālo izmēru¹⁶. Maza ražas bumbuļu izmēra izkliede, kas nodrošina ražas šķirošanu vienā partijā, var palīdzēt samazināt ar sertificēšanu saistītās izmaksas.

Iestādītās sēklas izmērs ir viens no galvenajiem faktoriem, kas var ietekmēt ražas sadalījumu frakcijās (Struik et al., 1990). Šajā pētījumā ražas sadalījums frakcijās izteikts kā katra bumbuļu izmēra milimetra raža kilogramos m^{-2} (Travis, 1987; skat. 2.2.2. apakšnodaļu).

Bumbuļu izmērs ar visbiežāko sastopamību (μ) bija būtiski atkarīgs gan no genotipa, gan no iestādītās SbF, bet mijiedarbība starp faktoriem nebija būtiska ($p=0.470$).

Savukārt **bumbuļu izmēra standartnovirze (σ)** bija būtiski atkarīga tikai no SbF, bet ne šķirne ($p=0.188$), ne faktoru mijiedarbība to būtiski neietekmēja ($p=0.340$) (26. pielik.).

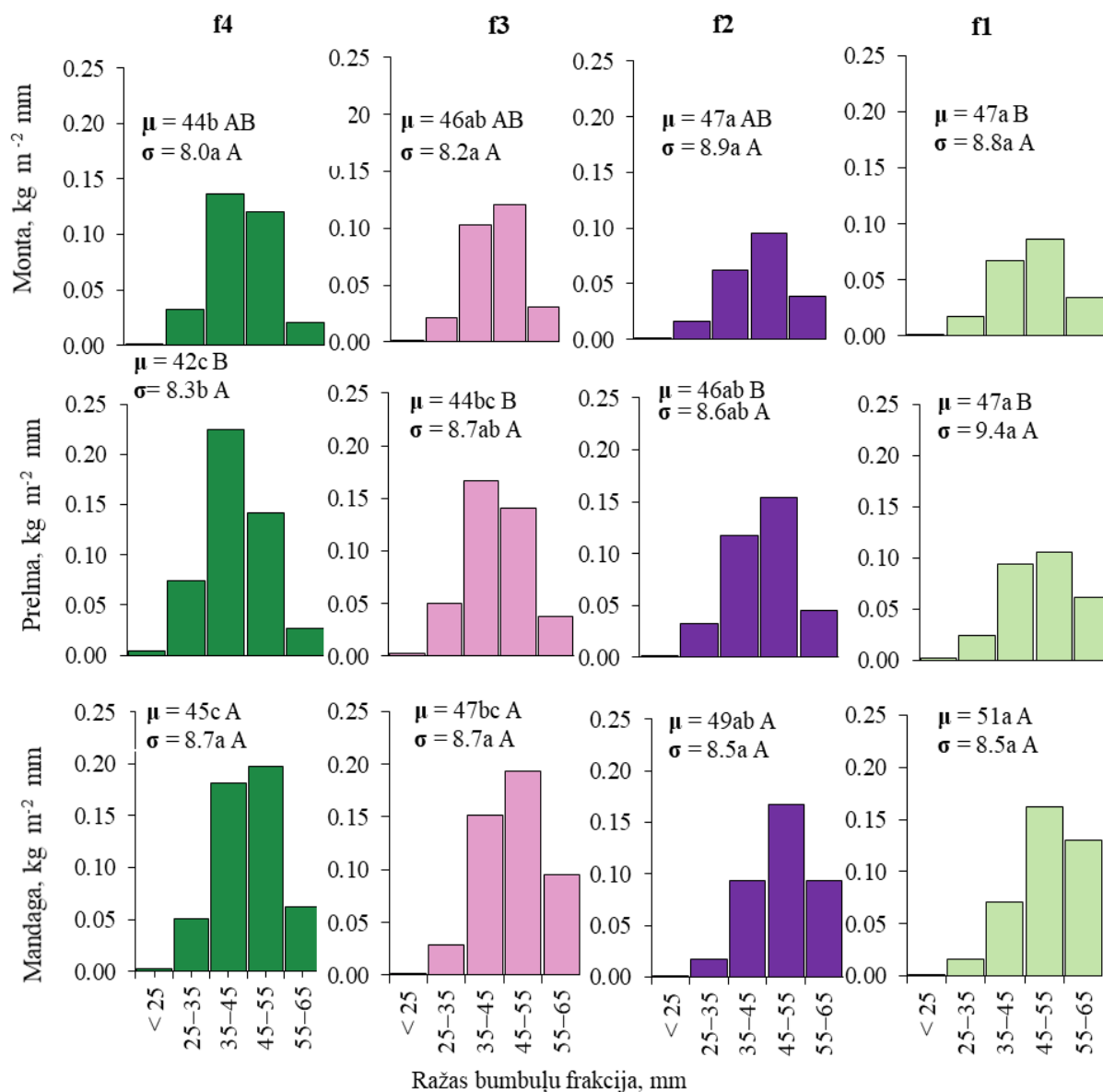
Izvērtējot grafisko attēlojumu ražas sadalījumam frakcijās (3.19. att.), redzams, ka vistuvāk normālam sadalījumam atradās raža, kas iegūta no f4 sīkbumbuļiem. Samazinoties iestādīto sīkbumbuļu frakcijai (SbF), visām šķirnēm novēroja lielāka ražas īpatsvara novirzīšanos pa labi jeb lielāko ražas bumbuļu frakciju virzienā. Līdzīga ražas frakciju proporcijas pārvirze novērota pētījumā ar konvencionālo sēklas materiālu, kad lauciņos, kuros bija mazāk stublāju, pieauga lielāko frakciju īpatsvars (N. Knowles, L. Knowles, 2006). Tā kā Priekuļos veiktajā pētījumā no mazākiem sīkbumbuļiem veidojās mazāk stublāju, tad ASV pētnieku noskaidroto sakarību var attiecināt arī uz sīkbumbuļiem. Tomēr jāatzīmē, ka šķirnei 'Mandaga' visos variantos tika novērots, ka lielākā ražas daļa atradās nevis vidējā, bet otrajā lielākajā (45–55 mm) frakcijā. Šāda likumsakarība, ka vēlīnākām šķirnēm ar bumbuļu sadalījumu frakcijās saistīto parametru vērtības ir lielākas, novērotas arī Nīderlandē (Aliche et al., 2019).

Visām šķirnēm μ vērtība ražai no f1 sīkbumbuļiem bija būtiski lielāka ($\mu=47$ mm šķirnei 'Monta' un šķirnei 'Prelma' un $\mu=51$ mm šķirnei 'Mandaga') nekā μ vērtība ražai no f4 sīkbumbuļiem ($\mu=42$ mm šķirnei 'Prelma', $\mu=42$ mm šķirnei 'Monta' un $\mu=45$ mm šķirnei 'Mandaga'). To, ka visos variantos šķirnei 'Prelma' μ vērtība, lai arī ne vienmēr būtiski, tomēr bija mazāka nekā pārējām šķirnēm, varēja ietekmēt lielais ražas bumbuļu skaits šai šķirnei (3.17. att.) (Nemecek et al., 1996). Arī citos pētījumos novērots, ka tajos variantos, kuros dažādu pasākumu rezultātā palielinājās bumbuļu skaits, ražai bija tendence novirzīties mazāko frakciju virzienā (Love, Thompson-Johns, 1999; Aliche et al., 2019; Van Dijk et al., 2021b).

Pastāv pozitīva sakarība starp σ un μ (Hall, Glasbey, 1993; Wurr et al., 1993), bet promocijas darba pētījumā tā tika apstiprināta tikai šķirnēm 'Monta' un 'Prelma'. Turklāt vienīgā šķirne, kurai bumbuļu izmēra standartnovirzes lielumu būtiski ietekmēja SbF, bija

¹⁶ 10. pielikums Ministru kabineta 2016. gada 5. janvāra noteikumiem Nr. 12. No: likumi.lv [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 10. febr.]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/279044-kartupelu-seklaudzesanas-un-seklas-kartupelu-tirdzniecibas-noteikumi>

‘Prelma’. Ražai no mazākām SbF bija lielākas μ vērtības. Pieaugot μ vērtībām, būtiski pieauga bumbuļu izmēra variēšana (σ), bet vislielākā novērotā σ vērtība bija 9.4 šķirnei ‘Prelma’ no f1 sīkbumbuļiem un tā uzskatāma par relatīvi mazu. Piemēram, D. Makkerona un kolēģu iegūtās σ vērtības ražai no konvencionālā sēklas materiāla bija no 35–155, jāatzīmē, ka arī μ vērtības bija ievērojami augstākas (86–234 mm) (MacKerron et al., 1988) nekā promocijas darba pētījumā.



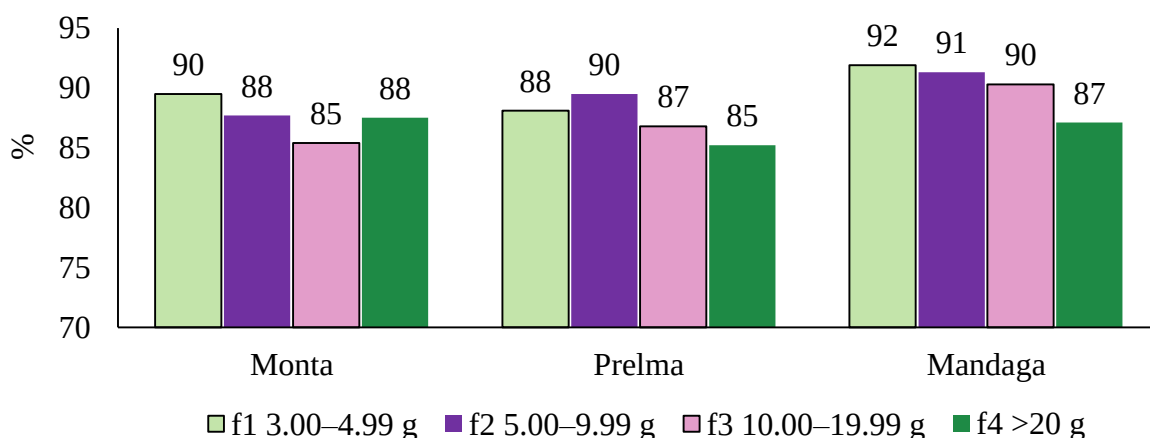
3.19. att. Ražas bumbuļu sadalījums frakcijās, vidēji 2014.–2016. g.

f1 ir 3.00–4.99 g, f2 ir 5.00–9.99 g, f3 ir 10.00–19.99, bet f4 ir ≥ 20 g smagi sīkbumbuļi; μ ir bumbuļu izmērs mm, kuram ir visbiežākā sastopamība datu kopā; σ ir standartnovirze. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp šķirnēm atsevišķi katrai iestādīto sīkbumbuļu frakcijai

Augstāk minētās lineārās sakarības starp σ un μ dēļ, variācijas koeficientu (CVr) varētu uzskatīt par stabilāku bumbuļu izmēra vairēšanas mēru (Wurr et al., 1993). Sekojot šim ieteikumam, variēšana kā standartnovirze (σ) tika aizstāta ar CVr un tā rezultātā ražas μ variēšana vairs būtiski neatšķīrās starp ražu no dažādām iestādīto sīkbumbuļu frakcijām ($p = 0.705$). Vidēji ražai no visām SbF CVr bija robežās no 17% šķirnei ‘Mandaga’ līdz 19% ‘Prelmai’. Tādējādi no katras pētītās sīkbumbuļu frakcijas raža bija samērā viendabīga bumbuļu

izmēra ziņā, jo tika novērota relatīvi neliela variācija ap vidējo izmēru μ jeb bumbuļu izmēru, kuram novērota visbiežākā sastopamība katrā datu kopā. Tas liecina, ka no visām sīkbumbuļu frakcijām potenciāli var iegūt lielu proporciju noteiktam izmēram atbilstošas preču produkcijas.

Pētot no sīkbumbuļiem iegūtās ražas sadalījumu frakcijās un izsakot to procentos, Grieķijā veiktā izmēģinājumā tika secināts, ka ražas sadalījums frakcijās nebija būtiski atkarīgs no sīkbumbuļu izmēra, un konkrētajā pētījumā vairāk nekā 50% no ražas bumbuļiem, neatkarīgi no sīkbumbuļu frakcijas, bija 25–50 mm lieli. Tomēr <25 mm bumbuļu īpatsvars bija ļoti augsts jeb 15–41% atkarībā no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas (Georgakis et al., 1997). Priekuļos veiktajā pētījumā to bumbuļu īpatsvars, kuru izmērs neatbilda minimālajam sēklas izmēram, bija ievērojami zemāks jeb vidēji 12% (no 8% šķirnei ‘Mandaga’ f1 līdz 15% šķirnei ‘Monta’ f3 un šķirnei ‘Prelma’ f4) (3.20. att.). Turklāt tika novērota tendence, ka, jo mazākas frakcijas sīkbumbuļi tika iestādīti, jo attiecīgajos laucīņos sēklas izmēram neatbilstošo ražas bumbuļu proporcija bija mazāka.



3.20. att. Par >25 mm lielāku bumbuļu īpatsvars kopražā atkarībā no šķirnes un iestādīto sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.

Kopsavilkums. Atkarībā no iestādīto sīkbumbuļu frakcijas un šķirnes 85–92% no kopējā lauka apstākļos iegūtā ražas bumbuļu skaita veidoja sēklas izmēram (>25 mm) atbilstoši bumbuļi. Bumbuļu vidējo izmēru, kuram bija visbiežākā sastopamība datu kopā (μ) būtiski ietekmēja gan genotips, gan iestādīto sīkbumbuļu frakcija, bet standartnovirze no μ bija būtiski atkarīga tikai no sīkbumbuļu frakcijas un atšķirības starp frakcijām novēroja tikai šķirnei ‘Prelma’. Visām šķirnēm μ vērtība ražai no f1 sīkbumbuļiem bija būtiski lielāka (47–51 mm) nekā μ vērtība ražai no f4 sīkbumbuļiem (42–45 mm), līdz ar to ražā no mazākām SbF pieauga lielāko ražas frakciju daļa. Standartnovirzes vērtība bija robežās no 8.0–9.4 mm un tika novērota tendence, ka tās vērtība pieauga, pieaugot μ vērtībai. Savukārt variācijas koeficients bumbuļu vidējam izmēram ar visbiežāko sastopamību datu kopā nebija būtiski atkarīgs ne no šķirnes, ne SbF un tas bija no 17–19%. Līdz ar to var secināt, ka no visām sīkbumbuļu frakcijām potenciāli var iegūt lielu proporciju noteiktam izmēram atbilstošas preču produkcijas.

3.3. Sīkbumbuļu lauka vērtība

Tā kā AREI ne tikai saražo sīkbumbuļus, bet veic pilnu kartupeļu sēklaudzēšanas ciklu, tad bija svarīgi noskaidrot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti arī pirmās lauka paaudzes kontekstā. To var noteikt, aprēķinot platību, kuru var apstādīt ar izaudzētajiem sīkbumbuļiem, tomēr šāda pieeja nesniedz pilnīgu priekšstatu par efektivitāti, jo, kā tika noskaidrots 3.2.5. un 3.2.6. apakšnodalās, tad gan pavairošanas koeficients, gan ražas bumbuļu skaits un raža no laukuma vienības ir būtiski atkarīgi no iestādīto sīkbumbuļu frakcijas. Precīzāks varētu būt

ASV pētnieku aprakstītais paņēmiens, kurš nodēvēts par sīkbumbuļu sēklas potenciālu. To izsaka kā platību (piemēram, ha), kuru var apstādīt ar sēklas bumbuļiem, kuri izauguši konkrētā ar sīkbumbuļiem apstādītā platības vienībā (piemēram, ha) (Rykbost, Charlton, 2004). Veicot šādus aprēķinus, autori konstatēja, ka smagākiem sīkbumbuļiem ir augstāks sēklas potenciāls. Tomēr šajā pieejā nav ņemti vērā sīkbumbuļu audzēšanas rezultāti siltumnīcā, tātad, šis paņēmiens neraksturo sīkbumbuļu izaudzēšanas paņēmiena efektivitāti.

Nemot vērā šos apsvērumus, promocijas darba izstrādei veiktā pētījuma ietvaros tika izveidots sīkbumbuļu lauka vērtības koncepts, kas sevī apvieno sīkbumbuļu audzēšanas datus un to agronomiskā snieguma lauka apstākļos izvērtēšanas rezultātus (skat. (11) un (12) formulas). Lauka vērtība noteikta gan vienam siltumnīcas kvadrātmetrām (LaV_{pla}), gan vienam mikroaugam (LaV_{ma}). Jo augstāka ir lauka vērtība, jo efektīvāka ir pielietotā mikroaugu stādīšanas biežība (MSB).

Sīkbumbuļu lauka vērtība atkarībā no genotipa un mikroaugu stādīšanas biežības siltumnīcā (MSB). Gan LaV_{pla} , gan LaV_{ma} bija būtiski atkarīgas no genotipa ($p < 0.001$), no MSB ($p < 0.001$), bet faktoru mijiedarbībai bija būtiska ietekme uz LaV_{pla} ($p < 0.05$), savukārt LaV_{ma} nebija būtiski atkarīga no faktoru mijiedarbības ($p = 0.088$). Lielākais faktora ietekmes īpatsvars uz LaV_{pla} bija genotipam ($\eta = 40\%$ genotipam un $\eta = 23\%$ MSB), savukārt LaV_{ma} variēšanu vairāk ietekmēja MSB ($\eta = 52\%$, salīdzinot ar genotipa $\eta = 22\%$).

Salīdzinot aprēķinātās lauka vērtības šķirnēm, redzams, ka šķirnei 'Monta' bija gan zemākā LaV_{pla} (3.6. tab.) gan zemākā LaV_{ma} (3.7. tab.).

3.6. tabula

Siltumnīcas laukuma vienības (1 m^2) lauka vērtība (LaV_{pla})[#] atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.

Šķirne	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m^{-2}			
	MSB63	MSB95	MSB142	MSB184
Monta	1641 bB	1984 bB	1959 bB	2324 aB
Prelma	2639 cA	2838 bcA	3494 aA	3365 abA
Mandaga	2249 cAB	2687 bcA	3005 abA	3633 aA

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi.

[#] par 25 mm lielāku bumbuļu skaits pirmajā lauka paaudzē, kuri iegūti no visiem par 3 g smagākiem 1 m^2 siltumnīcas platības izaudzētiem sīkbumbuļiem

Šķirnei 'Monta' bija relatīvi augsts pavairošanas koeficients siltumnīcā (3.2. att.), kā arī relatīvi augsts sīkbumbuļu skaits no 1 m^2 (3.1. att.). Tādējādi tieši salīdzinoši zema agronomiskais sniegums lauka apstākļos, īpaši pavairošanas koeficients lauka apstākļos (P_{koefL}) (3.16. att.), ietekmēja sīkbumbuļu lauka vērtības, kas visām mikroaugu stādīšanas biežībām (MSB) šķirnei 'Monta' bija būtiski zemākas nekā šķirnei 'Prelma' un trijām no četrām MSB šķirnei 'Monta' lauka vērtības bija būtiski zemākas nekā šķirnei 'Mandaga'.

Atšķirības starp šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga' 95% līmenī nebija būtiskas ne LaV_{pla} , ne LaV_{ma} , tomēr sīkbumbuļu lauka vērtību izmaiņu raksturs atkarībā no MSB starp šķirnēm nedaudz atšķīrās. Šķirnei 'Prelma' augstākā LaV_{pla} bija no MSB63 līdz MSB142, bet pie MSB184 tā nedaudz samazinājās, savukārt šķirnei 'Mandaga' turpināja pieaugt, pārsniedzot 'Prelmas' LaV_{pla} . Līdzīga tendence, tikai pretējā virzienā, bija arī attiecībā uz LaV_{ma} (3.21. att.).

Visām šķirnēm LaV_{pla} MSB184 bija būtiski augstāka nekā MSB63. Visaugstākā LaV_{pla} bija šķirnei 'Mandaga', kad siltumnīcā bija pielietota MSB184 un tā bija 3633 sēklas materiāla minimālajam izmēram atbilstoši ražas bumbuļi pirmajā lauka paaudzē, kuri iegūti no ≥ 3 g smagiem sīkbumbuļiem izaugušiem 1 m^2 siltumnīcas, kurā pielietota stādīšanas biežība 184 mikroaugi m^{-2} . Turpretim zemākā LaV_{pla} bija šķirnei 'Monta' MSB63 un tas bija 1641 ražas bumbulis pirmajā lauka paaudzē.

Vērtējot LaV_{ma} (3.7. tab.), redzams, ka visām šķirnēm stādītām MSB63 tā bija būtiski augstāka, salīdzinot ar MSB142 un MSB184. Visaugstākā LaV_{ma} bija šķirnes ‘Prelma’ mikroaugiem stādītiem MSB63, un no viena mikroauga, kurš iestādīts siltumnīcā šajā MSB, iegūtajiem sīkbumbuļiem pirmajā lauka paaudzē ieguva 42 ražas bumbuļus, kuri atbilda minimālajam kartupeļu sēklas materiāla izmēram. Turklāt, šī vērtība šķirnei ‘Prelma’ bija būtiski augstāka par abu pārējo šķirņu rezultātiem, kas bija 26 bumbuļi šķirnei ‘Monta’ un 36 bumbuļi šķirnei ‘Mandaga’. Savukārt zemākā LaV_{ma} bija šķirnei ‘Monta’ MSB184 jeb 13 bumbuļi pirmajā lauka paaudzē.

Tas, ka sīkbumbuļu skaits m^{-2} siltumnīcā vidēji mikroaugu stādīšanas biežībām starp šķirnēm būtiski neatšķīrās (8. pielik.), bet MSB ietekme uz LaV_{pla} bija būtiska, norāda uz dažādu sīkbumbuļu frakciju $PkoeffL$ vērtību nozīmīgo ietekmi uz LaV_{pla} . Tomēr neskatoties uz to, ka lielāko sīkbumbuļu, kuriem ir augstāks $PkoeffL$, īpatsvars samazinājās, palielinoties MSB (3.4. att.), LaV_{pla} turpināja pieaugt. Tas nozīmē, ka lielākam kopējam sīkbumbuļu skaitam augstākās MSB bija nozīmīgāka ietekme nekā tam, ka sīkbumbuļu frakciju īpatsvars izmainījās par labu mazākiem sīkbumbuļiem ar zemāku $PkoeffL$.

3.7. tabula

Mikroauga lauka vērtība (LaV_{ma})[#] atkarībā no to stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.

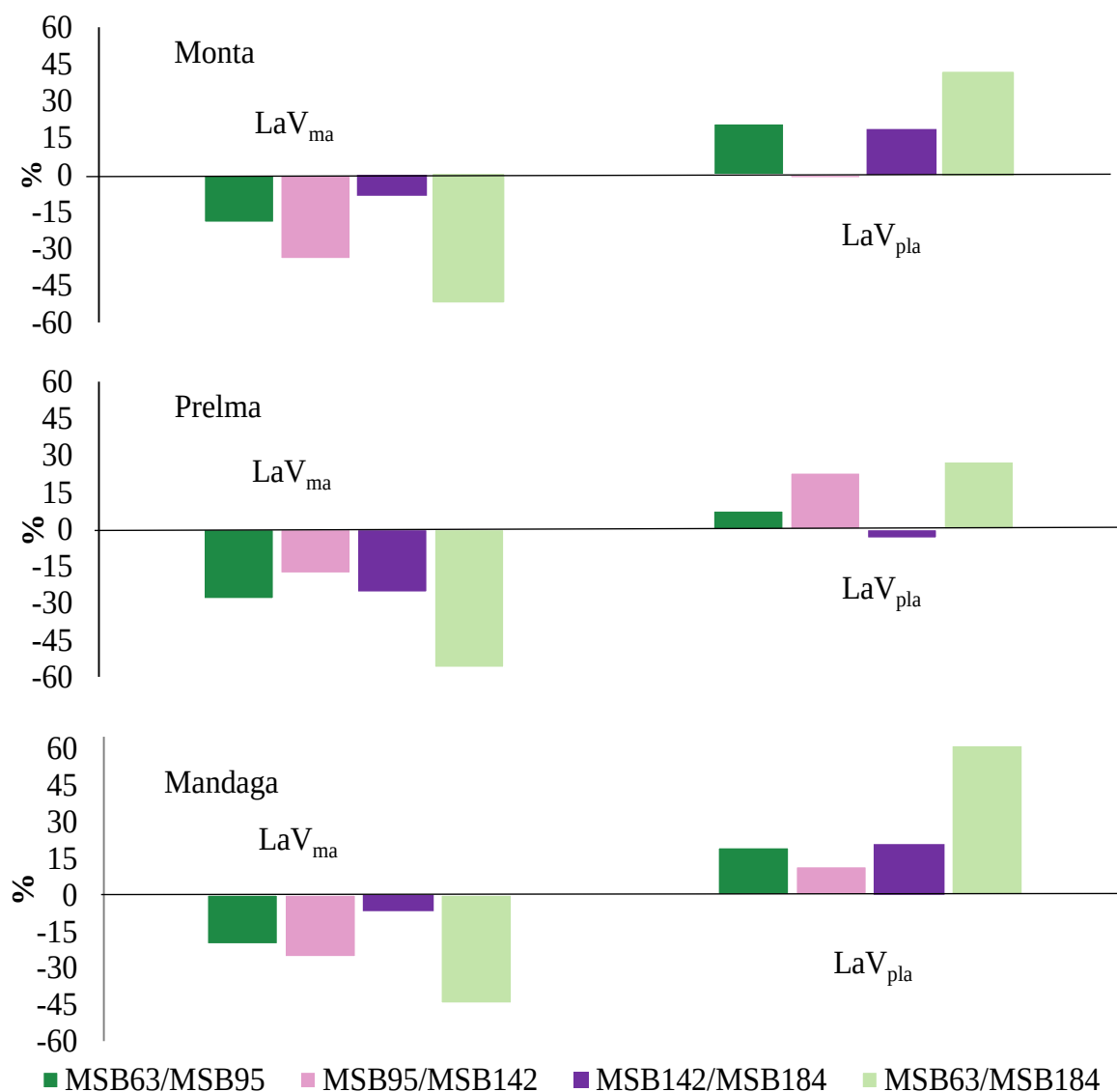
Šķirne	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m^{-2}			
	MSB63	MSB95	MSB142	MSB184
Monta	26 aB	21 aB	14 bB	13 bB
Prelma	42 aA	30 bA	25 bA	18 cA
Mandaga	36 aA	28 abA	21 bcA	20 cA

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp MSB katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā MSB atsevišķi

[#] par 25 mm lielāku bumbuļu skaits pirmajā lauka paaudzē, kuri iegūti no par 3 g smagākiem sīkbumbuļiem, kuri izaudzēti no viena noteiktā stādīšanas biežībā iestādīta mikroauga

Lauka vērtību izmaiņu tendences MSB izmaiņu ietekmē un salīdzinājums ar $PkoeffS$ un SbS izmaiņu tendencēm. Kopumā gan lauka vērtību siltumnīcas kvadrātmentram (LaV_{pla}) gan viena mikroauga lauka vērtību (LaV_{ma}) izmaiņu tendences, pieaugot mikroaugu stādīšanas biežībai (MSB) (3.21. att.), bija līdzīgas tām, kuras novēroja attiecībā uz sīkbumbuļu pavairošanas koeficientu siltumnīcā ($PkoeffS$) un sīkbumbuļu skaitu m^{-2} (SbS) (3.6. att.).

Pieaugot MSB, samazinājās LaV_{ma} , bet LaV_{pla} pieauga, tomēr LaV_{ma} samazināšanās bija izteiktāka nekā $PkoeffS$ samazināšanās, savukārt LaV_{pla} pieaugums bija mazāks nekā SbS pieaugums. Šādu tendenci novēroja gan starp katru no pētītajām MSB, gan starp mazāko un lielāko MSB. Piemēram, šķirnei ‘Monta’ LaV_{ma} starp MSB63 un MS184 samazinājās par 51.4% (salīdzinājumam $PkoeffS$ samazinājās par 46.5%), bet LaV_{pla} pieauga par 41.6% (SbS par 52.6%). Šķirnei ‘Prelma’ attiecīgi LaV_{ma} samazinājās par 56.3% ($PkoeffS$ par 50.0%), bet LaV_{pla} pieauga par 27.5% (SbS par 41.7%). Šķirnei ‘Mandaga’ LaV_{ma} starp MSB63 un MSB184 samazinājās par 44.6% ($PkoeffS$ attiecīgi par 38.9%), bet LaV_{pla} pieauga par 61.5% (SbS par 76.4%). Šķirne ‘Mandaga’ bija vienīgā, kurai MSB pieauguma ietekmē LaV_{pla} relatīvais pieaugums bija lielāks nekā LaV_{ma} relatīvais samazinājums (SbS un $PkoeffS$ salīdzinājumā SbS pieaugums bija lielāks par $PkoeffS$ pieaugumu arī šķirnei ‘Monta’).



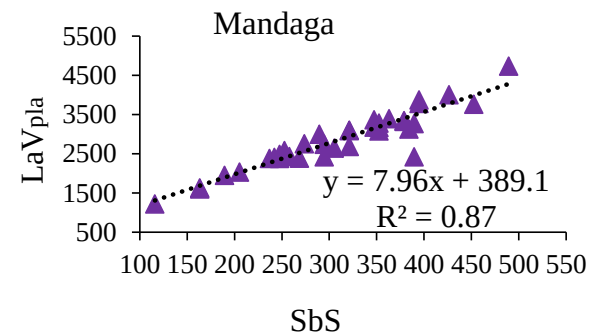
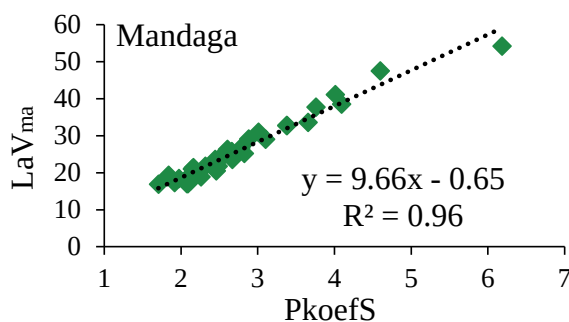
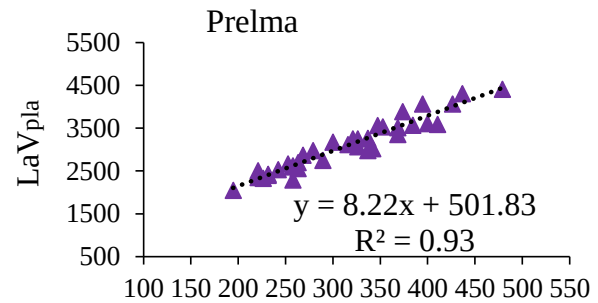
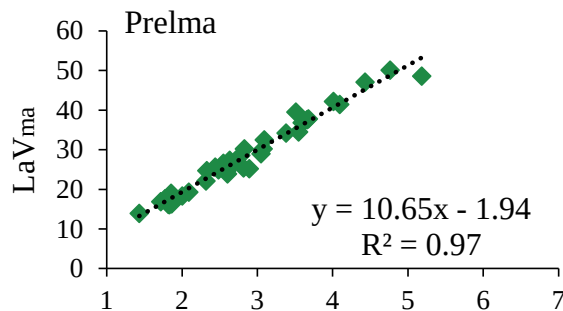
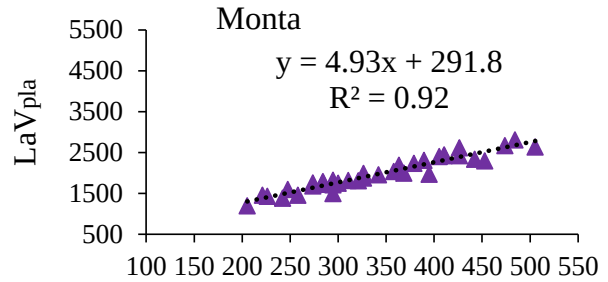
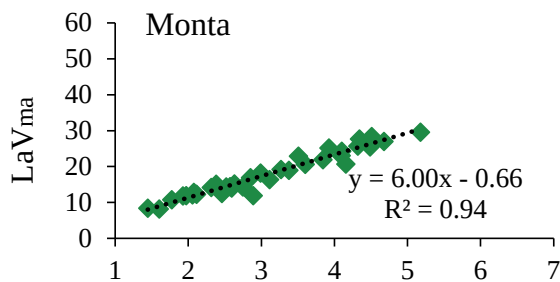
3.21. att. Sīkbumbuļu lauka vērtību relatīvās izmaiņas, %

LaV_{ma} ir lauka vērtība vienam noteiktā biežībā iestādītam mikroaugam; LaV_{pla} ir lauka vērtība siltumnīcas laukuma vienībai (m²), kurā mikroaugi stādīti noteiktā MSB.
MSB63/MSB95 ; MSB95/142; MSB142/MSB184 un MSB63/MSB184 apzīmē mikroaugu stādīšanas biežības, starp kurām aprēķinātas attēlotās izmaiņas

Korelatīvās sakarības starp LaV_{ma} un PkoefS un starp LaV_{pla} un SbS. Lineārās regresijas modelis parādīja, ka starp LaV_{ma} un PkoefS un starp LaV_{pla} un SbS pastāv statistiski būtiska sakarība. Siltumnīcā iegūtā PkoefS vērtību izmaiņas izskaidroja 94–97% no LaV_{ma} variēšanas, bet SbS vērtību izmaiņas izskaidroja 87–93% no LaV_{pla} variēšanas (3.22. att.).

Tādējādi ir iespējams prognozēt gan noteiktā biežībā iestādīta mikroauga lauka vērtību pēc PkoefS, gan siltumnīcas platības vienības lauka vērtību, izmantojot datus par sīkbumbuļu skaitu tajā, neskatoties uz to, ka, pieaugot MSB, palielinās mazāko sīkbumbuļu ar zemāku PkoefL skaits un īpatsvars.

Iegūtās sakarības parāda, ka gadījumos, kad audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu ietekmē sīkbumbuļu sadalījums frakcijās mainās aptuveni tādā mērā, kā tas bija šajā pētījumā, tehnoloģijas efektivitāti iespējams vērtēt, papildus neveicot sīkbumbuļu agronomiskā snieguma lauka apstākļos izvērtējumu.



3.22. att. Sakarība starp pavairošanas koeficienta siltumnīcā (PkoefS) un lauka vērtību vienam noteiktā biežībā iestādītam mikroaugam (LaV_{ma}) (pa kreisi) un sakarība starp iegūto sīkbumbuļu skaitu 1 m^2 siltumnīcā (SbS) un lauka vērtību siltumnīcā laukumam vienībai (m^2) (LaV_{pla}) (pa labi), $p < 0.001$

Kopsavilkums. Gan viena mikroauga (LaV_{ma}), gan siltumnīcā platības vienības (LaV_{pla}) lauka vērtību būtiski ietekmēja genotips un mikroaugu stādīšanas biežība. Pieaugot stādīšanas biežībai, pieauga siltumnīcā platības vienībā (1 m^2) izaudzēto sīkbumbuļu lauka vērtība, savukārt no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu lauka vērtība samazinājās. Šādas izmaiņu tendences atbilda pavairošanas koeficienta siltumnīcā (PkoefS) un sīkbumbuļu skaita no 1 m^2 (SbS) izmaiņu virzienam, tomēr LaV_{ma} samazināšanās augstākās mikroaugu stādīšanas biežībās (MSB) un LaV_{pla} pieaugums bija relatīvi mazāki nekā PkoefS un SbS izmaiņas. Tādējādi izpaudās sīkbumbuļu pavairošanas koeficienta lauka apstākļos koriģējošā ietekme uz lauka vērtībām, jo PkoefL ir būtiski atkarīgs no sīkbumbuļu frakcijas. Neskatoties uz to, bija iespējams izveidot būtiskus lineārās regresijas vienādojumus, ar kuriem varēja izskaidrot vairāk nekā 94% LaV_{ma} datu variācijas un vairāk nekā 87% LaV_{pla} datu variācijas.

3.4. Mikroaugu stādīšanas biežības paaugstināšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtējums

Lai veiktu mikroaugu stādīšanas biežības paaugstināšanas ekonomiskās efektivitātes izvērtēšanu, izvēlēta daļēji budžeta un robežanalīze, kuru iesaka Starptautiskais kukurūzas un kviešu selekcijas centrs (CIMMYT) kā vienkāršu metodi, ar kuras palīdzību salīdzināt dažādas audzēšanas tehnoloģijas. Metode neietver visaptverošu izdevumu un ieņēmumu analīzi, kādu ir veikusi pētnieku grupa no Kolumbijas un Peru, kuri salīdzināja konvencionālās sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas, hidroponikas un aeroponikas ekonomisko efektivitāti dažādās Dienvidamerikas valstīs (Mateus-Rodriguez et al., 2014). Pēc daudzpusīgu datu iegūšanas par naudas plūsmām autori analizēja tādas rādītājus kā metodes finansiālā dzīvostpēja, ieskaitot pašreizējo neto vērtību, iekšējo atdeves koeficientu, atmaksāšanās periodu un ieņēmumu–izmaksu attiecību. Nepilnā apmērā šādus aprēķinus pielietojušas arī citas pētnieku grupas, lai izvērtētu tehnoloģijas ekonomisko efektivitāti (Calori et al., 2018), tomēr šāda kalkulācija ir pārāk datu un laika ietilpīga tādu vienkāršu lēmumu pieņemšanai, kā optimālās mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) izvēle, vai tehnoloģijas maiņa uz augstāku MSB. CIMMYT ieteiktā metode ir relatīvi vienkāršāka un ļauj analizēt tehnoloģijas izmaiņu ekonomisko efektivitāti, nepiesaistot ekonomiskās analīzes ekspertu.

3.4.1. Mikroaugu un sīkbumbuļu pašizmaksas struktūra

Lielākās izmaksas, kuras mainās, paaugstinot mikroaugu stādīšanas biežību (pielietotās ekonomiskās efektivitātes analīzes kontekstā tā atbilst audzēšanas tehnoloģijas izmaiņām), veido nepieciešamo mikroaugu vērtība, kā arī saražoto sīkbumbuļu vērtība, kuru pašizmaksas AREI PPC aprēķinātas, izmantojot Starptautiskajā kartupeļu centrā (CIP) izstrādāto metodiku (Espinoza, Crissman, Hibon, 1996), un tās iekļauj gan fiksētās, gan mainīgās izmaksas. Daži pētnieki uzskata, ka fiksētās izmaksas pašizmaksu aprēķinā varētu neņemt vērā, jo ēku uzturēšanas un iekārtu cenas dažādās vietās mēdz ļoti atšķirties (Pozoga, Olewnicki, Jabłońska, 2019). Bet, piemēram, ASV pētnieku grupa uzskata, ka sīkbumbuļu ražotājs, kas ir publiska persona, iespējams, ražošanas izmaksas novērtē par zemu, un tas ir saistīts ar saņemto valsts finansējumu (Guenther et al., 2014).

Pēc CIP metodikas veidotās pašizmaksu aprēķina matricas, kuras AREI PPC izmanto mikroaugu un sīkbumbuļu ražošanas pašizmaksu noteikšanai, apskatāmas 29. un 30. pielikumos.

Saskaņā ar pašizmaksas aprēķinu, fiksētās izmaksas mikroaugu ražošanā ir 20%, bet 80% ir mainīgās izmaksas. Pēc CIP izstrādātās metodikas darbaspēka izmaksas ir mainīgās izmaksas, un AREI PPC tās veido lielāko izmaksu daļu jeb 66% no kopējām izmaksām un 84% no mainīgajām izmaksām. Tomēr, tā kā AREI PPC darbiniekiem ir spēkā pastāvīgie darba līgumi, tad realitātē darbaspēka izmaksas būtu uzskatāmas par fiksētām izmaksām, jo šobrīd tās nav atkarīgas no saražotās produkcijas apjoma. Sīkbumbuļu ražošanā fiksētās izmaksas veidoja 15%, bet mainīgās izmaksas 85% no pašizmaksas. Darbaspēka izmaksas bija 26% no kopējām izmaksām (31% no mainīgajām izmaksām). Lielākā izmaksu (55%) proporcija sīkbumbuļu ražošanā bija dažādiem ar ražošanu saistītiem materiāliem (kūdra, minerālmēsli, mikroaugi), no kuru izmaksām 92% veidoja mikroaugu cena.

3.4.2. Sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju salīdzinājums ar daļēji budžeta metodi

Tā kā daļēji budžeta analīzes metode iekļauj tikai tās izmaksas, kuras izmainās, mainot audzēšanas tehnoloģiju (Roth, Hyde, 2020), tad ar tās palīdzību var relatīvi vienkārši salīdzināt

ieņēmumus un zaudējumus, kurus rada tehnoloģijas izmaiņa (Horton, 1982; Evans, 2005; Cho, Hodges, Chase, 2012; Tigner, 2018).

Analīze veikta četriem dažādiem sīkbumbuļu ražošanas scenārijiem (3.8. tab.).

3.8. tabula

Sīkbumbuļu ražošanas scenāriji atkarībā no mikroauga un sīkbumbuļa vērtības

Scenārijs	Mikroauga vērtība, EUR gab	Sīkbumbuļa vērtība, EUR gab	Piezīmes
A	0.54	0.41	<u>Bāzes scenārijs</u> atbilst aktuālajai ražošanas situācijai ARE PPC. Mikroauga un sīkbumbuļa vērtība ir to pašizmaksa
B	0.54	0.52	Mikroauga vērtība ir pašizmaksa, bet sīkbumbuļa vērtība ir tirgus cena (<i>opportunity cost</i>)
C	1.00	0.56	Mikroauga vērtība ir tā tirgus cena, bet sīkbumbuļa vērtība ir pašizmaksa. Šajā scenārijā pašizmaksa pārsniedz A scenārijā izmantoto pašizmaksu un arī B un D scenārijos izmantoto tirgus cenu, jo tā ir pielāgota mikroauga tirgus cenai, kura būtiski paaugstina sīkbumbuļu ražošanas izmaksas.
D	1.00	0.52	Mikroauga un sīkbumbuļa vērtība ir to tirgus cena

Bruto ieņēmumi. Veicot parciālā budžeta analīzi, sākumā aprēķināja bruto ieņēmumus (BI) vienam siltumnīcas m² dažādos ražošanas scenārijos. Tos izteica EUR m⁻² un BI katrai mikroaugu stādīšanas biežībai (MSB) bija atkarīgi no sīkbumbuļu skaita m⁻² (SbS). Līdz ar to augstāki BI ir tajās MSB (3.9. tab.), kurās katrai šķirnei bija lielākais SbS (3.1.1. apakšnodaļa).

Visām šķirnēm vislielākā BI atšķirība starp augstāko un zemāko MSB bija C scenārijā (95 EUR šķirnei ‘Mandaga’, 77 EUR šķirnei ‘Monta’ un 57 EUR šķirnei ‘Prelma’), bet vismazākā atšķirība bija A scenārijā (69 EUR šķirnei ‘Mandaga’, 55 EUR šķirnei ‘Monta’ un 41 EUR šķirnei ‘Prelma’).

3.9. tabula

Bruto ieņēmumi (BI) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) un šķirnes dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos, EUR m⁻²

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	BI, EUR m ⁻²		
		Monta	Prelma	Mandaga
A	MSB63	111	104	94
	MSB95	139	112	113
	MSB142	137	146	134
	MSB184	166	145	163
B&D [#]	MSB63	140	132	119
	MSB95	177	143	143
	MSB142	175	186	170
	MSB184	212	185	207
C	MSB63	151	142	128
	MSB95	191	155	155
	MSB142	188	200	183
	MSB184	228	199	223

[#] B un D scenāriji ir apvienoti, jo tiem ir vienāda sīkbumbuļu vērtība, līdz ar to vienādas BI vērtības

Mainīgās izmaksas. Arī 1 m² mainīgās izmaksas (MI) augstākās MSB bija lielākas (3.10. tab.), tomēr, paaugstinoties MSB, MI pieaugums starp zemāko un augstāko MSB scenārijiem atšķirās izteiktāk, salīdzinot ar BI atšķirībām starp dažādiem scenārijiem.

Bāzes jeb A scenārijā un arī B scenārijā MI starp MSB63 un MSB184 pieauga par 66 EUR m⁻², bet C un D scenārijos šis pieaugums bija jau 122 EUR m⁻². Iemesls tik lielai atšķirībai ir mikroaugu vērtība katrā no šiem scenārijiem, jo sīkbumbuļu audzēšanas darbaspēka izmaksas dažādos ražošanas scenārijos neatšķiras. Neskatoties uz to, ka darbaspēka izmaksas starp MSB63 un MSB184 pieauga par 193%, to proporcionālā daļa kopējās mainīgajās izmaksās saglabājās neliela (< 1% katrā MSB katrā scenārijā).

3.10. tabula

Mainīgās izmaksas (MI) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos, EUR m⁻²

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	MI, EUR m ⁻²
A&B [#]	MSB63	34
	MSB95	52
	MSB142	77
	MSB184	100
C&D [#]	MSB63	63
	MSB95	95
	MSB142	143
	MSB184	185

[#] A un B scenāriji ir apvienoti, un C un D scenāriji ir apvienoti, jo tiem ir vienāda mikroaugu vērtība, līdz ar to vienādas MI vērtības. MI visām šķirnēm ir vienādas

Neto ieņēmumi. Pētījumā tika noskaidrots, ka NI bija atšķirīgi visām MSB un visām šķirnēm visos izveidotajos scenārijos (3.11. tab.). Līdz ar to punkts, kurā ražošanas efektivitāte krītas, mainoties MSB, bija atkarīgs no šķirnes un ražošanas scenārija. Šķirne ‘Monta’ bija vienīgā, kurai visos scenārijos varēja novērot NI pieaugumu starp MSB63 un MSB95. Nākamajās MSB NI samazinājās ne tikai salīdzinājumā pret MSB95, bet arī pret MSB63. Izņēmums bija B scenārijs (mikroauga vērtība ir pašizmaksa, bet sīkbumbuļu vērtība ir tirgus cena), kurā NI turpināja pieaugt, paaugstinoties MSB, un šķirnēm ‘Monta’ un ‘Mandaga’ mikroaugu stādīšanas biežībā MSB184 tie bija augstāki nekā MSB63, bet šķirnei ‘Prelma’ tie samazinājās, pārsniedzot MSB142. Līdz ar to, NI izmaiņas B scenārijā ir salīdzināmas ar sīkbumbuļu skaita no 1 m² izmaiņu tendencēm (3.1.1. apakšnodaļa) atkarībā no MSB. Tas nozīmē, ka ražošanas apstākļos, kad sīkbumbuļu audzētājs tos pārdod sēklu tirgū, audzēšanas agronomiskā efektivitātes izmaiņas MSB paaugstināšanas rezultātā būtu līdzīgas ekonomiskajai efektivitātei, ja to vērtētu tikai kā neto ieņēmumus no katras MSB.

B un C scenārijos šķirnēm ‘Prelma’ un ‘Mandaga’, atšķirībā no ‘Montas’, bija novērojama NI samazināšanās jau starp MSB63 un MSB95, savukārt A scenārijā šķirnei ‘Prelma’ saglabājās minētā tendence, bet šķirnei ‘Mandaga’ vērojamas NI vērtību svārstības bez skaidri izteiktas tendences.

Mainīgās izmaksas visām šķirnēm bija vienādas (3.10. tab.), jo mikroauga vērtība visām šķirnēm ir vienāda. Savukārt neto ieņēmumu griezumā tika novērotas atšķirības starp šķirnēm katrā no scenārijiem (3.11. tab.) un šīs atšķirības saistītas galvenokārt ar starp šķirnēm novērotajām atšķirībām sīkbumbuļu skaitā no 1 m², un tas ir galvenais iemesls ražošanas izmaksu atšķirībām starp šķirnēm (Guenther et al., 2014).

**Neto ieņēmumi (NI) atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB)
un šķirnes dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos, EUR m⁻²**

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	NI, EUR m ⁻²		
		Monta	Prelma	Mandaga
A	MSB63	77	70	60
	MSB95	87	60	61
	MSB142	60	69	57
	MSB184	66	45	63
B	MSB63	106	98	85
	MSB95	125	91	91
	MSB142	98	109	93
	MSB184	112	85	107
C	MSB63	88	79	65
	MSB95	96	60	60
	MSB142	45	57	40
	MSB184	43	14	38
D	MSB63	77	69	56
	MSB95	82	48	48
	MSB142	32	43	27
	MSB184	27	0	22

Jebkura audzēšanas tehnoloģija (MSB), kurā NI ir vienādi (jeb tiek saglabāts līdzsvars (*equilibrium rule*)) vai pārsniedz MI ($NI \geq MI$), *per se* būtu uzskatāma par akceptējamu jeb rentablu, jo tā nerada zaudējumus. Līdz ar to bāzes jeb A scenārijā visām šķirnēm būtu akceptējamās MSB63 un MSB95 (3.12. tab.). B scenārijā, kurš visvairāk atbilst audzēšanas agronomiskās efektivitātes vērtējumam, akceptējamās ir visas MSB, izņemot MSB184 šķirnei 'Prelma'. Kopumā MSB63 ir akceptējama visos scenārijos, izņemot šķirni 'Mandaga' D scenārijā. Tas nozīmē, ka apstākļos, kad mikroaugi būtu jāpērk un sīkbumbuļi jāpārdod par tirgus cenu, šķirne 'Mandaga' būtu jāaudzē zemākā mikroaugu biežībā nekā MSB63. Arī pārējām šķirnēm šajā scenārijā mikroaugu stādīšanas biežības samazināšana zem 63 mikroaugiem m⁻² varētu būt efektīvāka no NI un MI analīzes viedokļa.

Gadījumos, kad nebūtu nepieciešams vērtēt MSB jeb audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu efektivitāti, neto ieņēmumu (NI) un mainīgo izmaksu (MI) attiecības (*benefit/cost ratio*) noskaidrošana būtu pietiekoša, lai pieņemtu lēmumu par tehnoloģijas izvēli. Tomēr šāda pieeja nav pietiekoši informatīva, lai salīdzinātu audzēšanas tehnoloģijas izmaiņu efektivitāti.

**Neto ieņēmumu un mainīgo izmaksu attiecības analīze
atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības un šķirnes**

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	Monta	Prelma	Mandaga
A	MSB63	+	+	+
	MSB95	+	+	+
	MSB142	-	-	-
	MSB184	-	-	-

3.12. tabulas nobeigums

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	Monta	Prelma	Mandaga
B	MSB63	+	+	+
	MSB95	+	+	+
	MSB142	+	+	+
	MSB184	+	-	+
C	MSB63	+	+	+
	MSB95	+	-	-
	MSB142	-	-	-
	MSB184	-	-	-
D	MSB63	+	+	-
	MSB95	-	-	-
	MSB142	-	-	-
	MSB184	-	-	-

Ja neto ieņēmumi pārniedz vai ir vienādi ar mainīgajām izmaksām $NI \geq MI$, tad attiecība ir apzīmēta ar "+", bet, ja neto ieņēmumi ir mazāki nekā mainīgās izmaksas $NI < MI$, tad attiecība apzīmēta ar "-".

3.4.3. Robežanalīze (*marginal analysis*)

Skaidrus un vienkāršus kritērijus lēmumu pieņemšanai par ražošanas (audzēšanas) tehnoloģijas maiņu, izmantojot parciālā budžeta analīzi ir uzstādījis D. Hortons (Horton, 1982):

- 1) ja, mainot tehnoloģiju, neto ieņēmumi nemainās vai samazinās, tad jaunā tehnoloģija nav akceptējama;
- 2) ja, mainot tehnoloģiju, neto ieņēmumi pieaug, bet mainīgās izmaksas nemainās vai pat samazinās, tad tehnoloģija ir akceptējama bez tālākas analīzes;
- 3) ja, mainot tehnoloģiju, pieaug gan NI, gan MI, tad nepieciešams noteikt **robežieņēmumu likmi** (*marginal rate of return*) (RiL), turklāt audzētājam ir jāizvērtē minimālā RiL vērtība, kas saimniecībā ir pieņemama, lai akceptētu tehnoloģijas maiņu.

Robežanalīze tiek izmantota kā rīks lēmumu pieņemšanai par jaunu tehnoloģiju ieviešanu. Robežanalīzes laikā lēmumu pieņemšanas process tiek sadalīts pakāpeniskās mazākās vienībās (Hutchinson, 2006), un tādā veidā iespējams noteikt punktu, līdz kuram ir lietderīgi veikt darbību (tas ir – izmaiņas tehnoloģijā). Analīzes pamatā esošais ekonomiskais princips ir tāds, ka ražotājam ir vērts turpināt ieguldīt līdz brīdim, kamēr atdeve no katras papildu ieguldītās vienības ir vienāda ar papildu vienības izmaksām (jeb $NI=MI$). Kad ražotājs saskaras ar vairāku alternatīvu tehnoloģiju kopumu, ražotājam jāiegulda dārgākā tehnoloģijā tik ilgi, kamēr robežieņēmumu likme, pārejot no zemāku izmaksu tehnoloģijas uz augstāku izmaksu tehnoloģiju, ir lielāka par minimālo pieņemamo robežieņēmumu likmi. Tādējādi tehnoloģiju ieteikšana ražotājiem nav balstīta tikai uz pieņēmumu, ka tehnoloģijai ir jābūt rentablai (t.i. neto ieņēmumi ir lielāki par mainīgajām izmaksām), bet tai arī jāatbilst papildu kritērijam, ka robežieņēmumu likmei ir jābūt lielākai par minimālo pieņemamo likmi. Tehnoloģijas, kas atbilst šiem kritērijiem, ir akceptējamas, lai aizvietotu zemāku izmaksu tehnoloģijas (Evans, 2005).

Dominances analīze. Pirms robežieņēmumu likmes noteikšanas nepieciešams veikt dominances analīzi (Perrin et al., 1988; Evans, 2005; Santos, Rodriguez, 2008), lai no tālākas vērtēšanas izslēgtu tās mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), kuru MI vērtība bija augstāka un NI vērtība zemāka nekā secīgi iepriekšējai MSB. Šāda pieeja atbilst D. Hortona pirmajam

kritērijam. Ja kādu tehnoloģiju izslēdz, tad secīgi nākamo tehnoloģiju salīdzina ar secīgi iepriekšējo tehnoloģiju, kura nav izslēgta.

Dominances analīze (3.13. tab.) katram ražošanas scenārijam palīdz identificēt tās sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas (mikroaugu stādīšanas biežības jeb MSB), kuras jāizslēdz no efektivitātes analīzes.

3.13. tabula

Dominances analīzes rezultāti atkarībā no šķirnes un mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) dažādos sīkbumbuļu ražošanas scenārijos

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	Monta		Prelma		Mandaga	
		MI [#] , EUR m ⁻²	NI ^{##} , EUR m ⁻²	MI, EUR m ⁻²	NI, EUR m ⁻²	MI, EUR m ⁻²	NI, EUR m ⁻²
A	MSB63	34	77	34	70	34	60
	MSB95	52	87	52	60 D	52	61
	MSB142	77	60 D	77	69 D	77	57 D
	MSB184	100	66 D	100	45 D	100	63
B	MSB63	34	106	34	98	34	85
	MSB95	52	125	52	91 D	52	91
	MSB142	77	98 D	77	109	77	93
	MSB184	100	112 D	100	85 D	100	107
C	MSB63	63	88	63	79	63	65
	MSB95	95	96	95	60 D	95	60 D
	MSB142	143	45 D	143	57 D	143	40 D
	MSB184	185	43 D	185	14 D	185	38 D
D	MSB63	63	77	63	69	63	56
	MSB95	95	82	95	48 D	95	48 D
	MSB142	143	32 D	143	43 D	143	27 D
	MSB184	185	27 D	185	0 D	185	22 D

[#] MI ir mainīgās izmaksas; ^{##} NI ir neto ieņēmumi; pelēks šūnas tonējums un D apzīmē “dominējošos” (Perrin et al., 1988; Evans, 2005) variantus, kuri no tālākās analīzes jāizslēdz

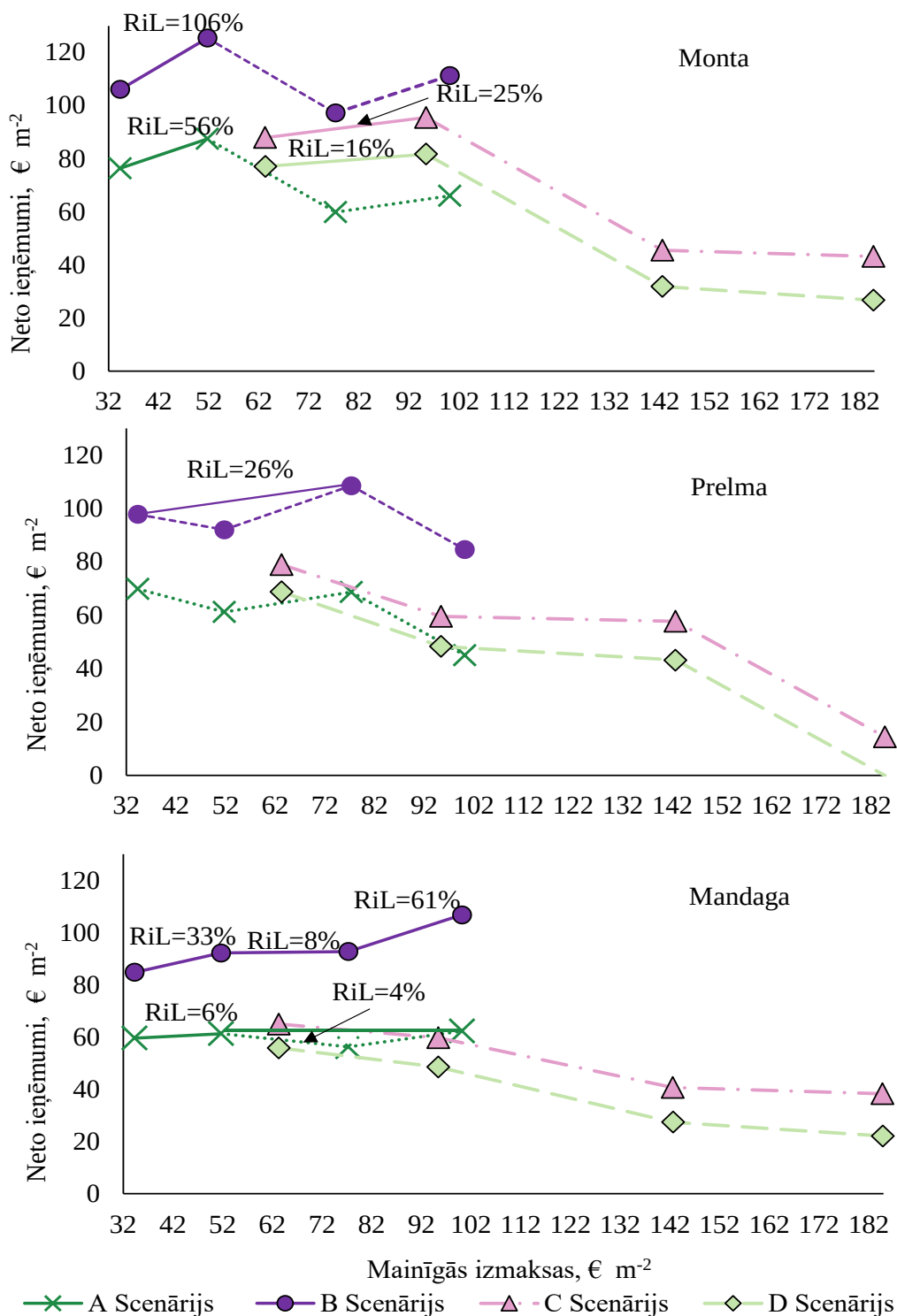
Vismazāk variantu jeb divas augstākās MSB katrā scenārijā jāizslēdz šķirnei ‘Monta’, bet visvairāk variantu jāizslēdz šķirnei ‘Prelma, kurai A, C, un D scenārijos akceptējama ir tikai standarta audzēšanas tehnoloģija jeb MSB63, bet B scenārijā – MSB63 un MSB142. Savukārt šķirne ‘Mandaga’ ir vienīgā, kurai kādā no scenārijiem (B) akceptējamās ir visas četras pētītās MSB, bet A scenārijā jāizslēdz tikai MSB142.

Robežieņēmumu likme (RiL) % aprēķināta tikai starp tām blakus esošām mikroaugu stādīšanas biežībām (MSB), kuras netika izslēgtas pēc dominances analīzes. Tādējādi RiL vērtība vienmēr ir pozitīva. Ja kādu no MSB izslēdza, tad RiL aprēķināja starp divām blakusesošām MSB. Aprēķina piemērs 32. pielikumā.

Pievienojot NI un MI datiem informāciju par RiL, var izveidot tā dēvēto Neto ieņēmumu līkni (Perrin et al., 1988), kura parāda, ka sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģiju izmaiņas dažādos ražošanas scenārijos dažādi ietekmē audzētās šķirnes (3.23. att.).

Izvērtējot bāzes jeb A scenāriju (mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir to pašizmaksa), redzams, ka sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas maiņa no MSB63 uz MSB95 šķirnei ‘Monta’ radītu 56% robežieņēmumu likmi (RiL) jeb – tiktu atgūts katrs ieguldītais EUR un papildus varētu nopelnīt 0.56 EUR m⁻² (3.23. att.). Nākamās MSB tika izslēgtas. Šķirnei ‘Prelma’ šajā scenārijā tehnoloģijas maiņa nav akceptējama, jo neto ieņēmumi katrā MSB virs MSB63 bija

mazāki nekā iepriekšējā MSB, bet mainīgās izmaksas turpināja pieaugt. Tomēr, apstākļos, kad nepieciešams iegūt pēc iespējas lielāku sīkbumbuļu skaitu, varētu tikt pielietota MSB95, jo šajā MSB mainīgās izmaksas nepārsniedza neto ieņēmumus (3.12. tab.).



3.23. att. Mikroaugu stādīšanas biežības (audzēšanas tehnoloģijas maiņas) neto ieņēmumu līkne un robežieņēmumu līkme (RiL) četriem ražošanas scenārijiem

Uz līnijām novietotie marķieri pieaugošā secībā (pirmais marķieris apzīmē MSB63, otrais – MSB95, trešais – MSB142, bet pēdējais – MSB184) apzīmē mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) atrašanās vietu uz mainīgo izmaksu ass. MSB, kuras izslēgtas pēc dominances analīzes, ir savienotas ar pārtrauktām līnijām. Neizslēgtās MSB savienotas ar nepārtrauktām līnijām

Šķirnei 'Mandaga' RiL vērtība, mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95, bija ļoti zema jeb 6%, tāpēc jāņem vērā iepriekš minētie apsvērumi par sīkbumbuļu skaitu, kuru nepieciešams saražot. Interesanti atzīmēt, ka, lai gan mainīgās izmaksas atsevišķi MSB142 un MSB184 pārsniedza neto ieņēmumus, tomēr RiL vērtība starp MSB95 un MSB184 (MSB142 izslēgta pēc dominances analīzes) ir 4%, tātad, var atgūt katru ieguldīto EUR un vēl papildus 0.04 EUR m⁻². Neskatoties uz šādu iznākumu, MSB184 šķirnei 'Mandaga' A scenārijā nav ieteicama, jo neto ieņēmumi ir mazāki nekā mainīgās izmaksas (3.12. tab.).

Robežanalīzes rezultāti B scenārijam nedaudz atšķirās no A scenārija un potenciālās tehnoloģijas maiņas RiL vērtības bija pat daudzsološākas nekā bāzes scenārijam. B scenārijs paredz, ka audzētājs pats saražo mikroaugus (tātad, iegūst tos par pašizmaksu), bet sīkbumbuļus pārdod par tirgus cenu. Šķirnei 'Mandaga' katra nākamā MSB sniedza pozitīvu RiL, salīdzinot ar mazāko blakusesošo MSB, turklāt augstākā RiL jeb 61% bija starp MSB142 un MSB184, kas bija divas augstākās MSB šajā pētījumā. Šķirnei 'Monta' noteikti ir ieteicama tehnoloģijas maiņa no PD63 uz PD95, jo tā nodrošina RiL 106%, tālākas izmaiņas, neskatoties uz to, ka MSB142 un MSB184 neto ieņēmumi pārsniedza mainīgās izmaksas, nav akceptējamās, jo RiL vērtības ir negatīvas (tāpēc tās nav attēlotas Neto ieņēmumu līknē, jo attiecīgās MSB ir izslēgtas dominances analīzes rezultātā). Savukārt šķirnei 'Prelma' vienīgā akceptējamā tehnoloģijas maiņa šajā scenārijā ir no PD63 uz PD142, kas rezultējas ar 26% RiL.

C un D scenārijos ne šķirnei 'Prelma', ne šķirnei 'Mandaga' MSB paaugstināšana virs MSB63 jeb standarta tehnoloģijas nav akceptējama. Turklāt šķirnei 'Mandaga' D scenārijā būtu ieteicams pat samazināt mikroaugu stādīšanas biežību zem MSB63, lai neto ieņēmumi pārsniegtu mainīgās izmaksas. Šķirnei 'Monta' abos scenārijos ir pozitīva RiL, mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95, tomēr izvēle par labu augstākai MSB būtu jābalsta citos apsvērumos, no kuriem galvenie ir pieejamā siltumnīcu platība un sīkbumbuļu skaits, kuru nepieciešams saražot. Turklāt, D scenārijā, neskatoties uz RiL 16% starp MSB63 un MSB95, mainīgās izmaksas MSB95 pārsniedz neto ieņēmumus.

Saimniecībā akceptējamā RiL vērtība ir atkarīga no tā, cik inovatīva (un tāpēc – riskanta) ir jaunā tehnoloģija, kuru vēlas ieviest (Evans, 2005). Parasti RiL vērtību 100% uzskata par akceptējamu, lai pārietu uz jaunu tehnoloģiju, bet bieži arī 50–100% uzskata par pieņemamu lielumu. Gadījumos, kad jaunā tehnoloģija neprasa lielus materiālos ieguldījumus un jaunu prasmju un zināšanu apguvi, arī mazākas RiL vērtības var būt akceptējamās (Perrin, et al., 1988). Šajā pētījumā netika noteikta mazākā akceptējamā RiL vērtība, jo kopumā mikroaugu stādīšanas biežības paaugstināšana neprasa ne būtiskas investīcijas jaunos materiālos, ne arī personāla kvalifikācijas paaugstināšanu. Šādā gadījumā tehnoloģijas maiņas efektivitāti var vērtēt, ņemot vērā ne tikai RiL, bet arī citus apsvērumus (piemēram, vajadzību pēc lielāka sīkbumbuļu skaita). Līdz ar to galvenais kritērijs ir tas, ka RiL jābūt pozitīvai.

Pētnieki Brazīlijā veica RiL analīzi dažādās biežībās stādītiem mikroaugiem, audzējot sīkbumbuļus aeroponikā (Calori et al., 2018). Pētnieki novēroja būtiskas atšķirības starp pētītajiem genotipiem, tomēr kopumā bija izteikta tendence RiL vērtībām pieaugt, paaugstinot mikroaugu stādīšanas biežību. Pētījumā pielietotas MSB 25; 44; 66 un 100 mikroaugi m⁻² un RiL bija pozitīva pārējot no katras zemākās biežības uz nākamo augstāko. Turklāt viszemākā RiL bija 44% (šķirnei 'Asterix' mainot biežību no 25 uz 44 mikroaugiem m⁻², bet šai šķirnei augstākā RiL (662%) bija starp 66 un 100 mikroaugu biežībām). Visaugstākā RiL sasniedza 1325% (šķirnei 'Agata' mainot biežību no 25 uz 44 mikroaugiem m⁻²). Sīkbumbuļu skaita pieaugums m⁻², paaugstinot stādīšanas biežību (1.9–2.5 reizes starp zemāko un augstāko biežību), tikai daļēji izskaidro to, kāpēc iegūtas tik augstas RiL, salīdzinājumā ar promocijas darba pētījumu, kurā pieaugums starp zemāko un augstāko biežību bija 1.65–2.06 reizes (3.1.5. apakšnodaļa). Iespējams, ka lielo atšķirību radīja mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība, bet, tā kā autori to nav precizējuši, tad nevar sniegt šādu vērtējumu.

3.4.4. Jūtīguma analīze

Jūtīguma analīze, izmantojot mērķa meklēšanas funkciju, ļāva noteikt augstāko mikroauga vērtību katrā MSB katrai šķirnei, pie kuras neto ieņēmumi būtu vienādi ar mainīgajām izmaksām, tātad, konkrētās MSB pielietošana neradītu zaudējumus. Iegūtie rezultāti palīdzētu MSB izvēlē apstākļos, kad būtu jāatrod kompromiss starp pieejamo platību siltumnīcā un paaugstinātu pieprasījumu pēc sīkbumbuļiem. Piemēram, aktuālajā ražošanas jeb A scenārijā, maksimālā pieļaujamā vērtība mikroaugam, kas ļauj pielietot MSB63, šķirnei 'Monta' ir 0.87 EUR, šķirnei 'Prelma' 0.82 EUR, bet šķirnei 'Mandaga' 0.74 EUR. Savukārt, ja mikroaugu vērtība nepārsniedz 0.45 EUR šķirnei 'Monta', 0.44 EUR šķirnei 'Mandaga' un 0.39 EUR šķirnei 'Prelma', tad pieļaujama MSB184 izmantošana. B scenārijā maksimālā pieļaujamā mikroaugu vērtība, kas ļauj pielietot kādu no MSB, bija augstāka nekā bāzes scenārijam, tāpēc ka scenārijā B sīkbumbuļiem bija augstāka vērtība (tirgus cena), līdz ar to iespējams iegūt lielākus neto ieņēmumus. Šī sakarība norāda uz būtisku trūkumu veiktajai jutīguma analīzei, jo izmantota fiksēta sīkbumbuļu vērtība, kas nav atkarīga no mikroaugu pašizmaksas izmaiņām. Faktiskajos ražošanas apstākļos, pieaugot mikroaugu pašizmaksai, pieaugtu arī sīkbumbuļu pašizmaksa un otrādi. Līdz ar to, ja būtu nepieciešama tik detalizēta informācija, jutīguma analīzei būtu jāpievieno saistītās sīkbumbuļu pašizmaksas izmaiņas. Šī pētījuma ietvaros varam secināt, ka tad, ja mikroaugu pašizmaksa katrā scenārijā pārsniegtu 3.14. tabulā MSB63 rindā norādīto, tad MSB būtu jāsamazina zem 63 mikroaugiem m⁻².

3.14. tabula

Maksimālā pieļaujamā vērtība vienam mikroaugam, lai mikroaugu stādīšanas biežība (MSB) būtu akceptējama

Scenārijs	Mikroaugu stādīšanas biežība, gab m ⁻²	Mikroauga pašizmaksa, EUR gab		
		Monta	Prelma	Mandaga
A	MSB63	0.87	0.82	0.74
	MSB95	0.73	0.59	0.59
	MSB142	0.48	0.51	0.47
	MSB184	0.45	0.39	0.44
B	MSB63	1.11	1.04	0.94
	MSB95	0.93	0.75	0.76
	MSB142	0.61	0.65	0.60
	MSB184	0.57	0.50	0.58

Nīderlandē veiktā pētījumā autori izteikuši pieņēmumu, ka zemākās mikroaugu stādīšanas biežībās nepieciešams mazāk mikroaugu, tāpēc var samazināt šo mainīgo izmaksu daļu (Veeken, Lommen, 2009). Līdz ar to zemākas mikroaugu stādīšanas biežības (piemēram MSB63 vai pat zemākas, ja tādā veidā var būtiski paaugstināt pavairošanas koeficientu siltumnīcā) izmantošana būtu ieteicamas nelielās saimniecībās, kurām mikroaugi jāiegādājas par relatīvi augstu cenu. Savukārt AREI PPC ražošanas apstākļos mikroaugu pašizmaksa samazinās, palielinot to ražošanas apjomu. Līdz ar to var izteikt pieņēmumu, ka pieaugot pieprasījumam pēc sīkbumbuļiem, augstākas MSB varētu būt efektīvākas ne tikai no agronomiskās, bet arī ekonomiskās efektivitātes viedokļa. Pielietojot augstākas MSB, nerastos nepieciešamība pēc papildus platības sīkbumbuļu audzēšanai, bet neto ieņēmumi joprojām pārsniegtu mainīgās izmaksas, jo mikroaugu pašizmaksa būtu zemāka nekā aktuālajos ražošanas apstākļos.

Kopsavilkums. Parciālā budžeta analīze parādīja, ka bruto ieņēmumi (BI) pieauga, palielinot mikroaugu stādīšanas biežību (MSB) un bija augstāki tām MSB, kurās bija lielāks

sīkbumbuļu skaits no 1 m². Salīdzinot dažādus ražošanas scenārijus, konstatēja, ka BI, līdz ar MSB paaugstināšanu, relatīvi vismazāk pieauga A scenārijā jeb aktuālajā ražošanas scenārijā AREI PPC (mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir to pašizmaksa). Arī mainīgās izmaksas (MI) visos scenārijos pieauga, paaugstinot MSB. Aprēķinot neto ieņēmumus (NI), konstatēja, ka punkts, kurā ražošanas efektivitāte krītas, mainoties MSB, atšķiras starp šķirnēm un ražošanas scenārijiem. Tikai šķirnei 'Monta' visos ražošanas scenārijos NI MSB95 bija augstāki nekā NI MSB63. Savukārt vienīgais scenārijs, kurā NI MSB184 bija augstāki nekā NI MSB63 (šķirnei 'Prelma' attiecīgi NI MSB142 augstāks nekā NI MSB63), bija B scenārijs (mikroauga vērtība ir tā pašizmaksa, bet sīkbumbuļu vērtība ir tā tirgus cena). Vērtējot NI un MI attiecību (nosacījums, lai tehnoloģija *per se* būtu akceptējama ir $NI \geq MI$), konstatēja, ka bāzes jeb A scenārijā visām šķirnēm būtu akceptējamās MSB63 un MSB95. B scenārijā, kurš visvairāk atbilst audzēšanas agronomiskās efektivitātes vērtējumam, akceptējamās bija visas MSB, izņemot MSB184 šķirnei 'Prelma'. Kopumā MSB63 ir akceptējama visos scenārijos, izņemot šķirni 'Mandaga' D scenārijā. Tas nozīmē, ka apstākļos, kad mikroaugi būtu jāpērk un sīkbumbuļi jāpārdod par tirgus cenu, šķirne 'Mandaga' būtu jāaudzē zemākā mikroaugu biežībā nekā MSB63.

Veicot dominances analīzi, no tālākas vērtēšanas izslēdza tās sīkbumbuļu audzēšanas tehnoloģijas jeb mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), kuru mainīgās izmaksas (MI) bija augstākas, bet neto ieņēmumi (NI) – zemāki nekā secīgi iepriekšējai MSB. Starp neizslēgtajām tehnoloģijām noteica robežieņēmumu likmi (RiL) %. Robežieņēmumu analīze parādīja, ka AREI PPC aktuālajā ražošanas scenārijā (A scenārijs) šķirnei 'Monta' pozitīva RiL bija tikai mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95. Šķirnei 'Prelma' visas MSB virs MSB63 tika izslēgtas, tomēr MSB95 varētu tikt pielietota, ja pieaugtu pieprasījums pēc šīs šķirnes sīkbumbuļiem, jo šajā MSB izpildījās nosacījums $NI \geq MI$. Līdzīgi būtu jāvērtē tehnoloģijas maiņa šķirnei 'Mandaga' kurai RiL starp MSB63 un MSB95 bija tikai 6%. Savukārt, lai arī RiL starp MSB95 un MSB184 šķirnei 'Mandaga' bija pozitīva (4%), tomēr MSB184 nav ieteicama, jo šajā MSB $NI < MI$.

B scenārijā (mikroauga vērtība ir to pašizmaksa, sīkbumbuļu vērtība ir tirgus cena) bija vairāk pozitīvu RiL vērtību nekā A scenārijā. Šķirnei 'Mandaga' katra nākamā MSB sniedza pozitīvu RiL, salīdzinot ar mazāko blakusesošo MSB, turklāt augstākā RiL jeb 61% bija starp MSB142 un MSB184. Šķirnei 'Monta' noteikti ir ieteicama tehnoloģijas maiņa no MSB63 uz MSB95, jo tā nodrošina RiL 106%, tālākas izmaiņas, neskatoties uz to, ka MSB142 un MSB184 neto ieņēmumi pārsniedz mainīgās izmaksas, nebūtu akceptējamās, jo RiL vērtības ir negatīvas. Savukārt šķirnei 'Prelma' vienīgā akceptējamā tehnoloģijas maiņa šajā scenārijā bija no MSB63 uz MSB142.

C un D scenārijos ne šķirnei 'Prelma', ne šķirnei 'Mandaga' MSB paaugstināšana virs MSB63 nav rentabla. Turklāt šķirnei 'Mandaga' D scenārijā būtu ieteicams pat samazināt mikroaugu stādīšanas biežību zem MSB63, lai neto ieņēmumi pārsniegtu mainīgās izmaksas. Šķirnei 'Monta' abos scenārijos bija pozitīva RiL, mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95, tomēr izvēle par labu augstākai MSB būtu jābalsta citos apsvērumos, no kuriem galvenie ir pieejamā siltumnīcu platība un sīkbumbuļu skaits, kuru nepieciešams saražot. Turklāt, scenārijā D, neskatoties uz RiL 16% starp MSB63 un MSB95, MSB95 neizpildījās nosacījums, ka $NI \geq MI$.

Jutīguma analīze parādīja, ka AREI PPC aktuālajā ražošanas A scenārijā (scenārijs, kurā mikroaugu un sīkbumbuļu vērtība ir to pašizmaksa) maksimālā pieļaujamā mikroaugu pašizmaksa šķirnei 'Monta' būtu 0.87 EUR gab, šķirnei 'Prelma' – 0.82 EUR gab, bet šķirnei 'Mandaga' – 0.74 EUR gab. Ja mikroaugu pašizmaksa pieaugtu virs šīm vērtībām, būtu nepieciešams pazemināt mikroaugu stādīšanas biežību zem 63 mikroaugiem m⁻². Savukārt scenārijā B (mikroauga vērtība ir to pašizmaksa, bet sīkbumbuļu vērtība ir to tirgus cena) pieļaujama augstāka mikroaugu pašizmaksa, lai varētu saglabāt esošos standarta MSB63.

3.5. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā

Mikroaugu vērtība veido lielāko proporciju no sīkbumbuļu ražošanas izmaksām AREI PPC (3.4.1. apakšnodaļa). Mikroaugu pašizmaksu var samazināt vai nu palielinot ražošanas apjomu, vai arī ražošanā pielietojot paņēmienus, kuri izmaksātu mazāk nekā aktuāli pielietotie. Svarīgi, lai šādi paņēmieni negatīvi neietekmētu mikroaugu pavairošanas rādītājus un tiem nebūtu negatīva pēcietekme uz sekojošo sīkbumbuļu ražu siltumnīcā.

3.5.1. *In vitro* audzēšanas paņēmiena ietekme uz mikroaugu morfoloģiskajiem parametriem

Pārstādot mikroaugus *ex vitro* apstākļos (piemēram, kūdras substrātā siltumnīcā), tie sākotnēji tiek pakļauti stresa apstākļiem, no kuriem nozīmīgākais ir pazemināta mitruma radītais stress, salīdzinājumā ar apstākļiem *in vitro*. Pārstādīšanas brīdī lapu atvārsnītes paliek atvērtā stāvoklī, līdz augs pilnībā pielāgojies jaunajiem apstākļiem (Gayatri, Kavyashree, 2015). Tāpēc – jo labāk attīstīts (lielāka masa (kas ietver arī lielāku lapu laukumu), labi izveidojušās saknes) ir mikroaugšs pirms izstādīšanas *ex vitro*, jo lielāka iespēja, ka tas ātrāk aklimatizēsies un izdzīvos jaunajos apstākļos (Pruski, 2007; Kyte et al., 2013). Tā kā AREI PPC nepielieto mikroaugu pakāpenisku norūdīšanu, tad labi attīstītiem mikroaugiem ir jo lielāka nozīme.

Mikroaugu masa. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena ietekme izvērtēta, salīdzinot AREI PPC lietoto standarta audzēšanas paņēmieni (ar vates-marles korķi noslēgta stikla mēģene pildīta ar MS barotni bez vitamīniem citām organiskajām vielām pēc MS (MMS)) ar trīs modificētiem mikroaugu audzēšanas variantiem:

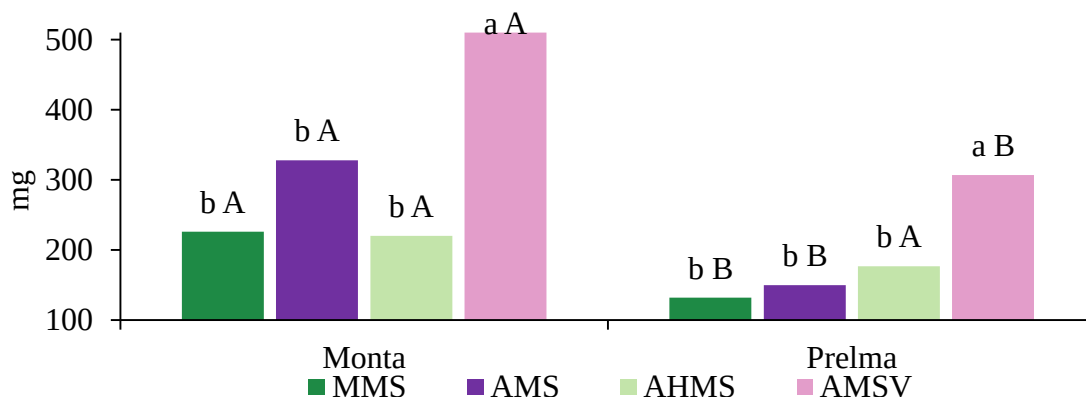
- ar caurspīdīgu plastmasas vāku noslēgts cilindrisks plastmasas trauks pildīts ar MS barotni bez vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS (variants AMS);
- ar caurspīdīgu plastmasas vāku noslēgts cilindrisks plastmasas trauks pildīts ar MS barotni un pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS (variants AMSV);
- ar caurspīdīgu plastmasas vāku noslēgts cilindrisks plastmasas trauks pildīts ar MS barotni, kura saturēja pusi no makrosāļu daudzuma pēc MS, barotnei nav pievienoti vitamīni un citās organiskās vielas pēc MS (variants AHMS).

Pētījumā konstatēja, ka plastmasas traukos augušajiem šķirņu ‘Monta’ un ‘Prelma’ mikroaugiem, neatkarīgi no barotnes sastāva, vidējā masa bija lielāka nekā standarta variantā, tomēr statistiski būtiski lielāka tā bija tikai AMSV variantā (3.24. att.).

Tikai šķirnei ‘Monta’ AHMS variantā bija nebūtiski ($p=0.999$) mazāka masa nekā MMS variantā augušiem mikroaugiem. Iegūtie rezultāti apstiprina pētījumā par audzēšanas trauka tilpuma ietekmi uz dārza salātu (*Lactuca sativa* L.) un piparmētru (*Mentha spicata* L.) morfoloģiskajiem rādītājiem iegūtos datus, kurā konstatēts, ka lielāka tilpuma traukos augušiem mikroaugiem ir lielāka masa (Tisserat, Silman, 2000). Arī audzējot dažādas koku sugas *in vitro*, lielāka tilpuma traukos novērots lielāks augu masas pieaugums (McClelland, Smith, 1990). Mikroaugu masu šajā pētījumā ietekmēja ne tikai audzēšanas trauka tilpums, bet arī tas, ka plastmasas traukos novērota mitruma uzkrāšanās, jo noslēgtos traukos, kādi ir arī šajā pētījumā pielietotie plastmasas trauki, gaisa apmaiņa ir samazināta (Zobayed, 2001; Millam, Sharma, 2007). Pētījumā ar kartupeļiem dažādos *in vitro* audzēšanas traukos ir konstatēts, ka būtiski lielāka mikroaugu masa ir tieši ciešāk noslēgtos traukos (Chanemougasoundharam et al., 2004), kādi bija arī šajā pētījumā izmantotie plastmasas trauki, salīdzinot ar mēģenēm, kuras noslēgtas ar vates-marles korķiem. Arī tas, ka pat samazināts makrosāļu daudzums barotnē būtiski nesamazināja mikroaugu masu, salīdzinot ar pilna stipruma MS barotnē augušiem augiem mēģenēs, ļauj izdarīt pieņēmumu, ka trauka tilpums

pozitīvi ietekmēja šo morfoloģisko parametru (cilindriskajā plastmasas traukā katram mikroaugam bija pieejami 45 cm³ gaisa, salīdzinot ar 18 cm³ mēģenēs).

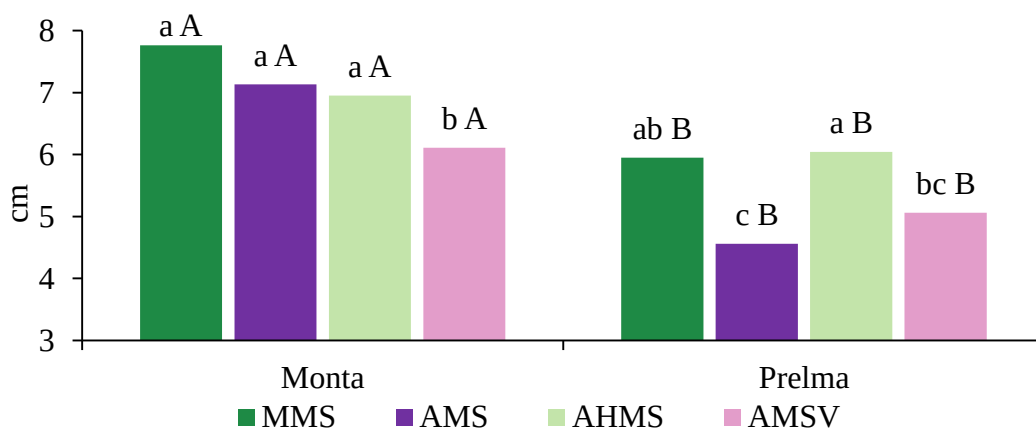
Kopumā visos variantos viena mikroaugu vidējā masa šķirnei 'Monta' (28.9 mg MMS, 46.8 mg AMS, 31.6 mg AHMS un 83.4 mg AMSV variantos) bija augstāka nekā šķirnei 'Prelma' (attiecīgi 21.7 mg, 32.4 mg, 28.5 mg un 60.6 mg). Būtiskas atšķirības starp šķirnēm bija trīs variantos (MMS, AMS AMSV), bet variantā AHMS atšķirība bija statistiski nebūtiska ($p=0.278$) 95% līmenī (3.24. att.).



3.24. att. Mikroaugu masa (g) atkarībā no pielietotā audzēšanas paņēmiena *in vitro*, vidēji 2014. un 2017. g.

MMS – mēģene ar korķi, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp variantiem katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā variantā atsevišķi

Mikroaugu garums. Izstādīšanai *ex vitro* (siltumnīcā) piemērotāki ir īsāki mikroaugi (Kozai et al., 1993). Šķirnei 'Monta' novērota tendence, ka AMS, AMSV un AHMS variantos mikroaugi bija īsāki nekā MMS variantā, lai arī būtiski īsāki tie bija tikai AMSV variantā. Šķirnei 'Prelma' tendence bija līdzīga, bet būtiski mazāks augu garums novērots jau divos variantos – AMS un AMSV (3.25. att.).



3.25. att. Mikroaugu garums (cm) atkarībā no audzēšanas paņēmiena *in vitro*, vidēji 2014. un 2017. g.

MMS – mēģene ar korķi, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp variantiem katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā variantā atsevišķi

Šī pētījuma rezultāti tikai daļēji atbilst citos pētījumos iegūtajiem secinājumiem, ka lielāks relatīvais mitrums audzēšanas trauka iekšienē būtiski veicina kartupeļu mikroaugu stiepšanos garumā (Kozai et al., 1993; Chanemougasoundharam et al., 2004), jo nevienā no variantiem, kuros izmantoti ciešāk noslēgtie plastmasas trauki, kuros novēroja mitruma uzkrāšanos uz trauku sienām, netika novērots būtiski lielāks auga garums, salīdzinājumā ar mēģenēm, kuru korķi nodrošina labāku gāzu apmaiņu.

Iespējams, ka šajā pētījumā mikroaugu garuma atšķirības vairāk ietekmēja apgaismojuma jauda, kā tas pētījumos minēts iepriekš (Fujiwara, Kozai, 1995). Promocijas darba pētījumā cilindriskajos plastmasas traukos mikroaugiem piekļuva par 37% vairāk apgaismojuma jaudas, jo trauki bija noslēgti ar relatīvi caurspīdīgiem vākiem, savukārt vates-marles korķi samazināja apgaismojuma plūsmu uz mikroaugiem mēģenēs, tā veicinot augu stīdzesānu. Japānas zinātnieki (Kitaya et al., 1995), pētot fotosintētiskās fotonu plūsmas blīvuma (PPFD) ietekmi uz kartupeļu mikroaugu garumu, konstatēja, ka, pieaugot PPFD intensitātei, mikroaugu garums būtiski samazinājās, turklāt šādos apstākļos augušie mikroaugiem bija lielāks stublāja diametrs un lapu virsmas laukums. Rezultāti, kad samazināta apgaismojuma apstākļos *in vitro* mikroaugi ir garāki, iegūti pētījumos ne tikai ar kartupeļiem (Charles, L. Rossignol, M. Rossignol, 1992), bet arī ar citu sugu augiem, piemēram, paulovniju (*P. tomentosa* × *P. fortunei*) (Pozoga, Olewnicki, Jabłońska, 2019); alokāziju (*Alocasia amazonica*) (Jo et al., 2008), savukārt nelķu (*Dianthus caryophyllus*) mikroaugu garumu atkarībā no audzēšanas trauka vāka ietekmēja arī atšķirības dažādu šķirņu reakcijā uz pieejamā apgaismojuma intensitāti (Fal, Majada, Sanchez Tames, 2002).

Jāņem vērā, ka audzēšanas trauka vāka veids ir tikai viens no daudziem faktoriem, kas var samazināt gaismas piekļuvi mikroaugiem, bet šajā pētījumā tas bija būtiskākais ierobežojums. Kā atzīmē Dž. Zībruka (Seabrook, 2005), tad labāku PPFD piekļuvi mēģenēs augošie mikroaugiem var nodrošināt, novietojot mēģenes nedaudz ieslīpi pret gaismas avotu. Paaugstināta PPFD uzlabotu iespēju iegūt īsākus un druknākus augus ar lielāku lapu laukumu (Kitaya et al., 1995), kas varētu būt piemērotāki izstādīšanai siltumnīcā (Kozai et al., 1993).

Tas, ka augu garums abām šķirnēm barotnē ar uz pusi samazinātu makrosāļu saturu (AHMS) būtiski neatšķīrās no standarta varianta, iespējams saistīts tieši ar barības vielu trūkuma ietekmi. Piemēram, A. Zarabeitia (Zarrabeitia et al., 1997), pētot četru kartupeļu šķirņu morfoloģisko rādītāju izmaiņas *in vitro* atkarībā no N devas barotnē, noskaidroja ka samazināts N daudzums barotnē nesamazināja starpmezglu posmu skaitu, bet palielināja šo posmu garumu, tātad – veicināja mikroaugu stiepšanos garumā. Rezultātā autori izteica pieņēmumu, ka kartupeļu mikropavairošanas vajadzībām N devu MS barotnē varētu samazināt, tādējādi izmantot modificētu MS barotni ar samazinātu N devu.

Katrā no variantiem šķirnes 'Monta' mikroaugi bija statistiski būtiski garāki nekā šķirnei 'Prelma' attiecīgajā variantā, kas liecina, ka pastāv izteiktas genotipiskas atšķirības šajā morfoloģiskajā rādītājā (skat. arī 33. pielik.).

Stublāja starpmezglu posmu skaits un garums. Kartupeļu mikroaugu starpmezglu posmu skaits būtiski ietekmē mikropavairošanas efektivitāti. Jo vairāk posmu ir mikroaugam, jo vairāk jaunu mikroaugu var iegūt vienā pavairošanas ciklā jeb pasāžā.

Šajā pētījumā šķirnes 'Monta' posmu skaits nebija būtiski atkarīgs no audzēšanas varianta ($p=0.191$), tomēr visvairāk posmu iegūts MMS variantā (3.15. tab.). Tā kā garākiem mikroaugiem arī posmu garums ir lielāks, tad tas atvieglo augu sadalīšanu posmos, un tāpēc šis audzēšanas paņēmieni būtu ieteicams mikropavairošanas ciklos.

Šķirnei 'Prelma' posmu skaits bija būtiski atkarīgs no mikroaugu audzēšanas varianta, būtiski vairāk posmu bija variantā AHMS, bet vismazāk – variantā MMS. Tā kā šķirnei 'Prelma' AHMS variantā bija gan lielākais augu garums (3.25. att.), gan arī posmu skaits, tad šo paņēmieni varētu pielietot mikroaugu audzēšanai to mikropavairošanas posmā. Situācijā, kad audzēšana mēģenēs būtu ekonomiski efektīvāka, šķirnei 'Prelma' ieteicams pārbaudīt MS barotnes ar samazinātu makrosāļu saturu ietekmi uz mikroaugu posmu skaitu mēģenēs, īpaši ņemot vērā to, ka MMS variantā mikroaugu garums nebija būtiski mazāks ($p=0.994$) par AHMS

variantā iegūto (3.25. att.). Mikropavairošanas noslēguma fāzē jeb pēdējā pasāžā pirms izstādīšanas siltumnīcā, posmu skaitam varētu būt mazāka nozīme nekā mikropavairošanas ciklos. Literatūrā ir norādīts, ka standarta pavairošanas apstākļos (četrus nedēļu cikls, MS barotne, +22 °C audzētavā) iegūto mikroaugu posmu skaitam nav būtiska ietekme uz sekojošo sīkbumbuļu ražu (Milinkovic et al., 2012).

Statistiski būtiskas atšķirības starp šķirnēm novērotas tikai stublāja starpmezglu posmu skaitā variantos MMS un AMS (3.15. tab.).

3.15. tabula

Mikroaugu starpmezglu posmu skaits un garums, vidēji 2014. un 2017. g.

Šķirne	Variants	Vidējais starpmezglu posmu skaits stublājam, gab	Vidējais stublāja starpmezglu posmu garums, cm
Monta	MMS	5.06 A	1.54
	AMS	4.85 A	1.47
	AHMS	4.56	1.53
	AMSV	4.49	1.37
Prelma	MMS	3.55 b [#] B	1.68 a
	AMS	3.52 b [#] B	1.31 b
	AHMS	4.22 a [#]	1.43 ab
	AMSV	4.05 ab [#]	1.32 b

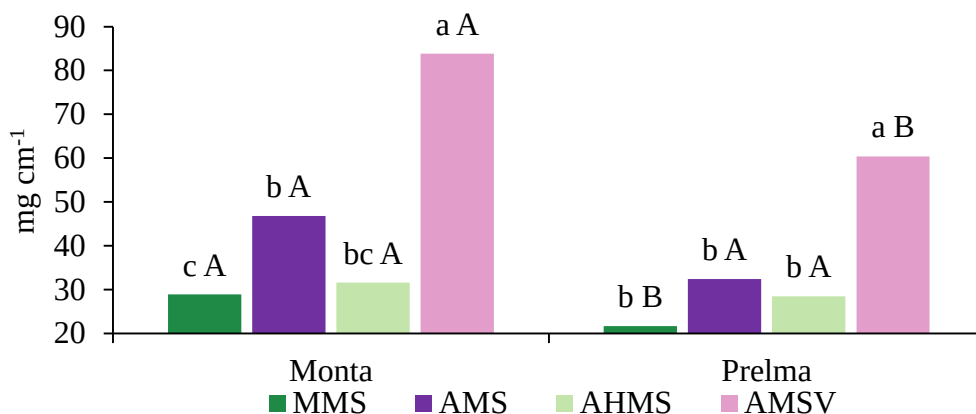
MMS – mēģene ar korķi, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS - ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV - ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp variantiem (mikroaugu audzēšanas paņēmieniem) katrai pazīmei un šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā variantā un katrai pazīmei atsevišķi. Ja neviens mazais burts nav pievienots, tad nepastāv būtiskas atšķirības starp variantiem, ja viens liels burts nav pievienots, tad nepastāv būtiskas atšķirības starp šķirnēm. [#] variantu salīdzināšanai izmantots neparametriskais Games-Howell tests

Mikroaugu masas–garuma attiecība. Literatūrā ir atzīmēts, ka mikroaugu izmērs un forma var ietekmēt augu attīstību siltumnīcā un pat sīkbumbuļu skaitu (Milinkovic et al., 2012). T. Kozai un kolēģi (Kozai et al., 1993) uzskatīja, ka izstādīšanai siltumnīcā labāk piemēroti ir īsāki un drūknāki mikroaugi. Promocijas darba pētījumā šādiem parametriem labāk atbilda plastmasas traukos izaudzētie mikroaugi (3.24. att. un 3.25. att.). Lai precīzāk noteiktu atšķirības starp dažādiem variantiem, kā mikroaugu drūkuma mērs aprēķināta augu masas – garuma attiecība, kura izteikta kā masa mg uz katru mikroauga stublāja garuma cm. Šis aprēķins parādīja, ka abām šķirnēm būtiski lielāka masas–garuma attiecība iegūta variantā AMSV (3.26. att.), tātad šajā variantā bija visdrūknākie augi, turklāt šķirnei ‘Monta’ būtiski drūknāki nekā šķirnei ‘Prelma’.

Tomēr tieši AMSV variantā augušajiem mikroaugiem šķirnei ‘Prelma’ daļā trauku abos pētījuma gados novērota jaukta tipa (sēņu un baktēriju) kontaminācija. Šī iemesla dēļ nevarēja veikt destruktīvos mērījumus (sakņu masas noteikšana), jo atlikušie mikroaugi bija nepieciešami stādīšanai veģetācijas traukos. Paaugstinātā kontaminācija šajā variantā, iespējams, ir saistīta ar diviem iemesliem. Pirmkārt, veicot mikropavairošanas manipulācijas plastmasas traukos, barotne ir ilgāk pakļauta ārējās vides iedarbībai, jo tajā vienlaicīgi jāievieto vairākus mikroaugus. Otrkārt, praktiskā darba pieredze AREI rāda, ka barotnei pievienotie vitamīni var radīt labvēlīgāku vidi dažādu infekciju attīstībai, salīdzinot ar barotni bez pievienotiem vitamīniem. Ja nepieciešams izmantot AMSV variantu, tad jāpastiprina higiēnas pasākumi manipulāciju laikā, piemēram, jālieto sejas maskas, biežāk jādezinficē rokas, jāizkopj spraudņošanas tehnika, lai darbu paveiktu ātrāk, kā arī samazinātu laiku, kad trauks ar barotni

ir atvērts). Īpaša piesardzība jāievēro, veicot mikropavairošanas manipulācijas ar šķirnēm, kurām raksturīgi vājāk attīstīti augi (piemēram, šajā pētījumā tāda bija šķirne 'Prelma', salīdzinot ar šķirni 'Monta'), jo, stublāja trausluma dēļ, mikrospraudeņu ievietošana barotnē var prasīt vairāk laika.

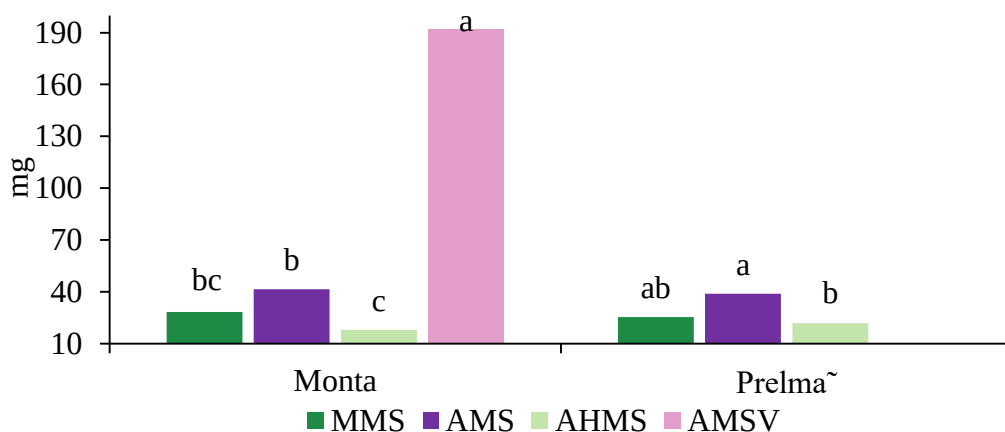
Tomēr, ja nenovēro būtisku pozitīvu pēcefektu uz sekojošo sīkbumbuļu ražu siltumnīcā, tad AMSV varianta pielietošana nebūtu uzskatāma par sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti paaugstinošu.



3.26. att. Mikroaugu masas-garuma attiecība atkarībā no audzēšanas paņēmiena *in vitro*, vidēji 2014. un 2017. g.

MMS – mēģene ar korki, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp variantiem katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā variantā atsevišķi

Sakņu masa un sakņu–stublāja masas attiecība. Sakarā ar konstatēto kontamināciju, šķirnei 'Prelma' AMSV variantā nevarēja noteikt sakņu masu. Vismazākā sakņu masa abām šķirnēm novērota AHMS variantā (3.27. att.), tomēr tā nebija būtiski mazāka nekā kontroles variantā MMS (šķirnei 'Monta' $p = 0.562$, šķirnei 'Prelma' $p = 0.827$).

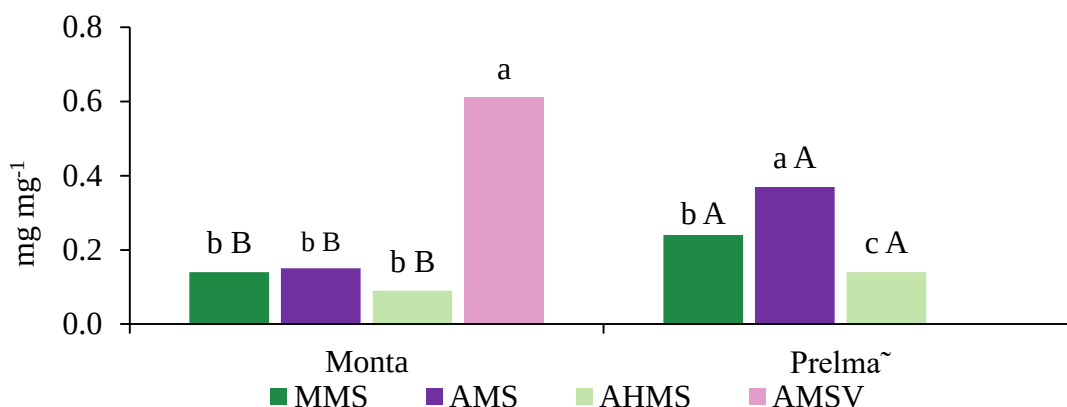


3.27. att. Mikroaugu sakņu masa atkarībā no audzēšanas paņēmiena *in vitro*, vidēji 2014. un 2017. g.

MMS – mēģene ar korki, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas; ~ šķirnei 'Prelma' nav noteikta sakņu masa. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp variantiem katrai šķirnei atsevišķi

Savukārt AMSV variantā sakņu masa šķirnei 'Monta' bija pat 4.6 reizes lielāka nekā AMS variantā, kurā bija nākamā augstākā sakņu masa. Būtiskas atšķirības starp šķirnēm netika novērotas nevienā no variantiem (MMS $p=0.586$, AMS $p=0.732$, AHMS $p=0.424$). Šādi rezultāti atbilst agrāk novērotajam, ka sakņu augšana *in vitro* ir vairāk atkarīga no augšanas apstākļiem un pielietotās barotnes, bet genotipa ietekmei nav tik liela nozīme (Gopal, Chamail, Sarkar, 2002).

Šķirnei 'Prelma', kurai kopumā bija mazāka visa mikroauga masa (3.24. att.), sakņu-stublāja masas attiecība visos salīdzinātajos variantos (3.28. att.) bija būtiski augstāka nekā šķirnei 'Monta'.



3.28. att. Mikroaugu sakņu-stublāja masas attiecība atkarībā no audzēšanas paņēmiena *in vitro*, vidēji 2014. un 2017. g.

MMS – mēģene ar korki, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas; ~ šķirnei 'Prelma' nav noteikta sakņu masa. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp variantiem katrā šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p<0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā variantā atsevišķi.

Kā aprakstījuši J. Vilsons (Wilson, 1988) un P. Reihs (Reich, 2002), tad barības vielu (īpaši slāpekļa) trūkuma apstākļos augu kopējā masā pieaug sakņu masas īpatsvars, bet pētījumā promocijas darba izstrādei tas netika novērots. Vācijas zinātnieku komanda, pētot kartupeļu mikroaugu morfoloģiju *in vitro*, konstatēja būtisku N devas ietekmi gan uz sakņu masu, gan sakņu masas proporciju pret kopējo mikroauga masu. Samazinoties pielietotajai N devai, pieauga gan sakņu masa, gan tās proporcija attiecībā pret stublāja masu, bet tika novērotas būtiskas atšķirības starp genotipiem. Samazinot N devu, četriem no 17 pētītajiem genotipiem sakņu masa un tās proporcija nepieauga (Schum et al., 2017). Iespējams, ka promocijas darba pētījumā nenovērotais sakņu masas pieaugums AHMS barotnē ar samazinātu barības vielu daudzumu ir saistīts tieši ar izmantoto genotipu īpatnībām.

Pēc morfoloģisko pazīmju salīdzināšanas, jāsecina, ka nevienai no šķirnēm viens no modificētajiem audzēšanas paņēmieniem kopumā nedevisliktākus rezultātus, salīdzinot ar standarta paņēmieni MMS. Tikai šķirnei 'Prelma' AMS variantā diviem morfoloģiskajiem parametriem iegūti būtiski zemāki rezultāti (3.16. tab.).

Kopumā vislabākie rezultāti abām šķirnēm iegūti AMSV variantā, tomēr šī varianta pielietošana nebūtu vēlama, jo, kā parādīja pētījums, var būt lielāks kontaminācijas risks, turklāt vitamīnu pievienošana barotnei, lai gan relatīvi nedarbojas, tomēr nevajadzīgi paaugstina tās izmaksas.

No barotnes izmaksu samazināšana viedokļa abām šķirnēm ieteicama AHMS audzēšanas paņēmiena izmantošana, jo tajā ne tikai nav pievienoti vitamīni, bet ir arī uz pusi samazināta makrosāļu koncentrācija. Jau agrāk literatūrā uzsvērts, ka kartupeļu mikropavairošanā var izmantot MS barotni ar pusi no nepieciešamās sāļu koncentrācijas (Ranalli et al., 1994;

Ahloowalia, 1999), tā samazinot barotnes izmaksas. AREI PPC turpmāk būtu nepieciešams pārbaudīt MS barotnes ar samazinātu mikrosāļu koncentrāciju izmantošanas iespējas.

3.16. tabula

Dažādu mikroaugu audzēšanas paņēmieni salīdzinājums ar standarta audzēšanas paņēmieni (kontroli)

Mikroaugu morfoloģijas pazīme	Šķirne	Mikroaugu audzēšanas paņēmiens		
		AMS	AHMS	AMSV
Stublāja masa	Monta	==	==	++
	Prelma	==	==	++
Stublāja garums	Monta	==	==	--
	Prelma	--	==	==
Starpmezglu posmu skaits	Monta	==	==	==
	Prelma	==	++	==
Starpmezglu posmu garums	Monta	==	==	==
	Prelma	--	==	==
Mikroauga masas–garuma attiecība	Monta	++	==	++
	Prelma	==	==	++
Sakņu masa	Monta	==	==	++
	Prelma	==	==	–
Sakņu–stublāja masas attiecība	Monta	==	==	++
	Prelma	++	--	–

++ būtiski ($p < 0.05$) lielāka vērtība nekā kontroles variantam MMS;

-- būtiski ($p < 0.05$) mazāka vērtība nekā kontroles variantam MMS;

== vērtība būtiski ($p > 0.05$) neatšķiras no kontroles varianta MMS; nav datu

MMS – mēģene ar korķi, pildīta ar MS barotni, kontrole; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS - ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV - ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas

Kopsavilkums. Cilindriskos plastmasas traukos augušajiem mikroaugiem neatkarīgi no pielietotās barotnes kopumā bija lielāka masa nekā kontroles variantā (jeb mēģenēs, MMS) augušajiem, bet statistiski būtiski lielāka tā bija tikai variantā, kurā MS barotne papildināta ar vitamīniem (AMSV). Īsāki augi, salīdzinot ar MMS variantu iegūti visos variantos, kad augi audzēti plastmasas traukos. Šķirnes ‘Monta’ mikroaugiem novērot tendence veidot garākus augus ar lielāku masu nekā šķirnes ‘Prelma’ mikroaugiem. Abām šķirnēm būtiski drūknāki augi (masas–garuma attiecība) iegūti AMSV variantā, turklāt šķirnei ‘Monta’ būtiski drūknāki nekā šķirnei ‘Prelma’. Šajā variantā šķirnei ‘Monta’ bija būtiski augstāka sakņu masa nekā citos variantos (šķirnei ‘Prelma’ šo pazīmi nevarēja izvērtēt kontaminācijas dēļ), otra augstākā masa bija variantā ar plastmasas traukiem, kuros pildīta MS barotne bez pievienotiem vitamīniem (AMS), nevienā no variantiem nenovēroja būtiskas atšķirības sakņu masā starp šķirnēm. Salīdzinot visus mikroaugu audzēšanas paņēmienus pēc iegūto mikroaugu morfoloģiskajām pazīmēm, konstatēts, ka nevienai no šķirnēm neviens no modificētajiem audzēšanas paņēmieniem kopumā nedevis sliktākus rezultātus, salīdzinot ar standarta paņēmieni MMS.

3.5.2. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā

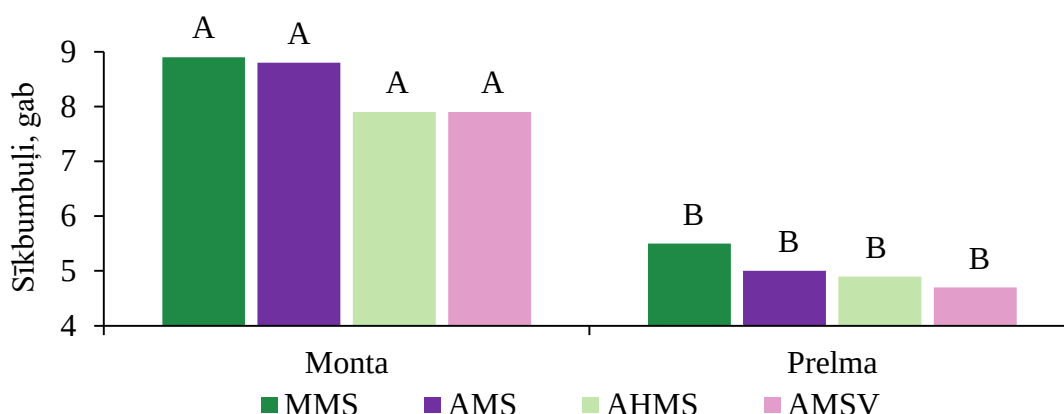
Audzēšanas paņēmieni ietekmēja mikroaugu morfoloģiskos parametrus (skat. 3.5.1. apakšnodaļu), tomēr tiem nebija būtiska pēcietekme uz sīkbumbuļu, kuri iegūti siltumnīcā no attiecīgajā variantā izaudzētajiem mikroaugiem, skaitu un masu (3.17. tab.).

3.17. tabula

Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pēcietekme uz sīkbumbuļu ražas parametriem (p vērtības), vidēji 2014. un 2017. g.

Šķirne	No viena mikroauga iegūtie sīkbumbuļi, gab	No viena mikroauga iegūtie sīkbumbuļi ar masu ≥ 3 g, gab	No viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu kopējā masa, g	No viena mikroauga iegūto ≥ 3 g sīkbumbuļu kopējā masa, g
Monta	0.569	0.340	0.585	0.551
Prelma	0.503	0.639	0.530	0.378

Salīdzinot abas šķirnes, statistiski būtiskas atšķirības konstatētas tikai sīkbumbuļu skaitā (gan kopskaitā, gan ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu skaitā), kuri iegūti no viena mikroauga. Atšķirības starp šķirnēm šajā rādītājā bija statistiski būtiskas visos mikroaugu audzēšanas paņēmiena variantos (3.29. att.).



3.29. att. Sīkbumbuļu skaits no viena mikrauga atkarībā no mikroaugu audzēšanas paņēmiena *in vitro*, vidēji 2014. un 2017. g.

MMS – mēģene ar korķi, pildīta ar MS barotni; AMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni; AHMS – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kas satur pusi makrosāļu; AMSV – ar vāku noslēgts plastmasas trauks, pildīts ar MS barotni, kam pievienoti vitamīni u.c. organiskās vielas. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm katrā variantā atsevišķi

Vidēji no viena šķirnes ‘Monta’ mikroauga ieguva 8.4 sīkbumbuļus, no tiem 6.9 sīkbumbuļi katrs bija smagāki par 3 g. Savukārt šķirnei ‘Prelma’ vidējais sīkbumbuļu skaits no mikroauga bija attiecīgi 4.8 un 4.2 sīkbumbuļi. Vidējā sīkbumbuļu masa un vidējā ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu masa starp šķirnēm būtiski neatšķirās (attiecīgi $p = 0.158$ un $p = 0.249$) un vidēji kopējā sīkbumbuļu masa bija 86.7 g no mikroauga, bet ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu masa – 85.1 g no mikroauga.

Vairākos zinātniskos pētījumos ir konstatēts, ka mikroaugu audzēšanas apstākļu izmaiņšana pavairošanas pēdējā posmā ietekmē augu attīstību un sekojošo sīkbumbuļu ražu. Tomēr publicētie rezultāti ir pretrunīgi. Piemēram, M. Milinkovičs un kolēģi

(Milinkovic et al., 2012) konstatēja, ka mikroaugu morfoloģiskās izmaiņas, kuras radās, pagarinot pēdējās pavairošanas pasāžas ilgumu no četrām līdz desmit un divpadsmit nedēļām, būtiski pozitīvi ietekmēja sīkbumbuļu pavairošanas koeficientu. Ilgāku periodu augušajiem mikroaugiem *in vitro* sāka veidoties sānu dzinumi. Pazeminot gaisa temperatūru audzēšanas telpā, pētnieki ieguva mikroaugus ne tikai ar vairākiem dzinumiem, bet tiem *in vitro* veidojās arī stoloni. Izstādot šādus mikroaugus siltumnīcas apstākļos, iegūti kartupeļu augi ar vairāk nekā vienu stublāju, tādā veidā tika sekmēta sīkbumbuļu veidošanās.

Literatūrā atrodami arī rezultāti, kad sīkbumbuļu skaits no ilgāku pēdējo mikropavairošanas pasāžu (86 dienas) piedzīvojušiem mikroaugiem bija būtiski mazāks nekā no jaunākiem mikroaugiem (9 dienas ilga pēdējā pavairošanas pasāža) (Ahloowalia, 1994). Tātad mikroaugi ar vājāk attīstītu sakņu sistēmu, īsāku stublāju un mazāku lapu virsmu deva vairāk sīkbumbuļu nekā labāk attīstīti augi. Iespējams, ka B. Ahlovalija ieguva šādus rezultātus tāpēc, ka ilgāku laiku augušajiem mikroaugiem *in vitro* jau sāka veidoties mikrobumbuļi, kuri, lai arī tika nolasīti, bija ietekmējuši mikroaugu spēju vēlāk veidot sīkbumbuļus.

Mikroaugu morfoloģiju ietekmē arī fotoperiods jeb diennakts gaismas un tumsas periodu attiecība audzēšanas telpā. Īsāka fotoperioda (12/12 h) apstākļos mikroaugiem ir mazāka masa un lapu virsma, salīdzinot ar fotoperiodu 16/8 h, kurš kartupeļu mikropavairošanā ir pieņemts kā norma (Roca et al., 1978; Economou, 1987; Wilson et al., 1993; Kitaya et al., 1995; Pruski, Astatkie, Nowak, 2002; Jao, Fang, 2004; Seabrook, 2005; Ma et al., 2015). No īsākā fotoperiodā augušiem mikroaugiem iegūts būtiski mazāks sīkbumbuļu skaits un raža, salīdzinot ar 16/8 stundu fotoperioda apstākļos augušiem mikroaugiem (Seabrook et al., 1995; Otroshy, 2006). No zemākā temperatūrā (16 °C salīdzinot ar 20 °C un 24 °C) audzētiem mikroaugiem pēc to izstādīšanas siltumnīcā iegūti kuplāki ceri. Tomēr dažādās temperatūrās augušo mikroaugu masai nebija būtiska pēcietekme uz sīkbumbuļu skaitu, bet tie bija būtiski smagāki, līdz ar to iegūta lielāka raža (Otroshy, 2006). Savukārt M. Tadesse un kolēģi (Tadesse, Lommen, Struik, 2001b) novēroja, ka augstākā temperatūrā augušiem mikroaugiem bija lielāka masa un lapu virsma, kas pozitīvi ietekmēja ceru attīstību uz lauka, tomēr arī tam nebija būtiskas ietekmes uz sīkbumbuļu ražu, salīdzinājumā ar ražu no zemākā temperatūrā augušiem mikroaugiem.

Acīmredzot, šajā pētījumā novērotās mikroaugu morfoloģijas izmaiņas nav pietiekoši nozīmīgas, lai tām būtu būtiska pozitīva pēcietekme uz sekojošo sīkbumbuļu ražu. Tomēr, tā kā pētījumā nevienā no variantiem, salīdzinot ar kontroli, sīkbumbuļu skaits un raža arī būtiski nesamazinājās, tad var uzskatīt, ka izmantotajiem mikroaugu audzēšanas paņēmieniem nebija būtiskas agronomiskas ietekmes. Līdz ar to mikroaugu pavairošanai to pēdējā pasāžā var izmantot resursu izmantošanas ziņā efektīvāko paņemienu, kas šajā pētījumā bija variants AHMS.

Kopsavilkums. Mikroaugu audzēšanas variantam laboratorijā (mikroaugu audzēšanas paņēmienam) 95% līmenī nebija būtiskas pēcietekmes uz tādiem sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem kā no viena mikroauga iegūtie sīkbumbuļi un sīkbumbuļi ar masu ≥ 3 g, un no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu kopējā un ≥ 3 g sīkbumbuļu kopējā masa. Būtiskas atšķirības starp šķirnēm novērotas tikai kopējā un ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu skaitā, kad šķirnei 'Monta' visos variantos šie rādītāji būtiski pārsniedza šķirnes 'Prelma' rezultātus.

3.5.3. Mikroaugu audzēšanas paņēmiena pielietošanas ekonomiskā efektivitāte

Stikla mēģeņu izmantošana ir relatīvi ilgtspējīgāka pieeja, jo mēģenes var izmantot atkārtoti daudzas reizes. Tomēr arī to izmantošana prasa papildus resursus. Mēģeņu mazgāšanai un žāvēšanai nepieciešami darba spēka resursi, ūdens (gan karsts ūdens mazgāšanai, gan destilēts ūdens skalošanai), mazgāšanas līdzekļi un materiāli, etiķskābe starpskalošanai un jaudīgs žāvēskapis. Vates-marles korķus izmanto daudzu gadu garumā, tomēr tiem nepieciešama regulāra labošana (darbaspēka ieguldījums) un arī sterilizēšana autoklāvā un žāvēšana, kas

patērē elektroenerģiju. Arī veicot mikropavairošanu, mēģeņu izmantošana patērē vairāk laika, jo nepieciešams atvērt katru mēģeni, ievietot tajā auga daļu un aizvērt korķi. Savukārt ievietojot vairākus mikrospraudēņus vienā traukā, patērējamais laiks samazinās. Izmantošanai vairs nederīgās mēģenes šobrīd nav iespējams nodot pārstrādei, jo pārstrādes uzņēmumi nepieņem laboratorijas stiklu, līdz ar to tās nonāk kopējos atkritumos. Arī sazinoties ar AS “Latvijas zaļais punkts”, netika gūts apstiprinājums, ka laboratorijas stiklu var nodot pārstrādei.

Mūsdienās ir iespējams pārstrādāt dažādu plastmasu materiālus, tajā skaitā traukus no polipropilēna, kuri izmantoti promocijas darba pētījumā. Vienreizlietojamu pārstrādājamu trauku izmantošana pēdējā mikroaugu pavairošanas pasāžā varētu uzlabot ražošanas efektivitāti no darbaspēka un elektroenerģijas izmaksu samazināšanas viedokļa.

Latvijā 2021. gadā vienu 500 mL lielu polipropilēna trauku ar vāku varēja iegādāties par 0.04–0.06 EUR, pērkot tos lielākos iepakojumos¹⁷. Ja šķirnei nepieciešams iestādīt 2000 mikroaugus, tam vajadzīgās 2000 mēģenes pēdējā pavairošanas pasāžā var aizstāt ar 200 vienreizlietojamajiem traukiem, kas kopā izmaksātu 8.00–12.00 EUR. Lai izmazgātu 2000 stikla mēģenes, nepieciešamas ne mazāk kā 10 darba stundas. Darba devējam tas izmaksā 42.90 EUR ieskaitot darba devēja valsts sociālās apdrošināšanas nodokli, ja darba samaksa noteikta 3.20 EUR stundā. Tādējādi vienreizlietojamo trauku iegādes izmaksas ir 3.6–5.4 reizes zemākas, salīdzinot ar mēģeņu mazgāšanai nepieciešamajām darbaspēka izmaksām. Pievienojot mazgāšanai nepieciešamo pārējo resursu izmaksas, šī starpība būtu pat lielāka. Līdz ar to vienreizlietojamo polipropilēna trauku izmantošana kartupeļu mikropavairošanā var nozīmīgi samazināt ražošanas izmaksas.

Pētījumā iegūtie rezultāti parādīja, ka mikroaugu audzēšanas paņēmiens AHMS, kuram ir vismazākās izmaksas, ir efektīvi pielietojams pavairošanas pēdējā pasāžā, jo mikroaugu morfoloģija netiek ievērojami ietekmēta, salīdzinot ar standarta variantu MMS.

¹⁷ Preču katalogs No: SIA Valrek. [Tiešsaiste] [sk,s 2021. g. 6. dec.]. Pieejams: https://valrek.lv/public/lat/precu_katalogs/89/97/

SECINĀJUMI

1. Paaugstinot mikroaugu stādīšanas biežību siltumnīcā (MSB), ir iespējams uzlabot sīkbumbuļu audzēšanas efektivitāti, iegūstot vairāk sīkbumbuļu no 1 m². Pētījumā tika novērotas atšķirības starp genotipam piemērotāko MSB, kurā stādīšanai lauka apstākļos piemēroto sīkbumbuļu (≥ 3 g) skaits turpināja pieaugt. Šķirnēm 'Monta' un 'Mandaga' agronomiski efektīvākā MSB bija augstākā no pētītajām (184 mikroaugi m⁻² jeb MSB184), bet šķirnei 'Prelma' – MSB142. Ja ir ierobežota audzēšanas platība un ir brīvi pieejams liels daudzums mikroaugu, tad var pielietot arī MSB184, jo sīkbumbuļu skaits m⁻² šajā MSB šķirnei 'Prelma' būtiski nesamazinājās. Paaugstinot stādīšanas biežību siltumnīcā, šķirnēm samazinājās pavairošanas koeficients siltumnīcā, iegūstot mazāku ≥ 3 g smagu sīkbumbuļu skaitu no viena iestādītā mikroauga. (1. un 4. tēze)
2. Sīkbumbuļu ražu raksturojošu rādītāju izmaiņu tendences MSB izmaiņu ietekmē siltumnīcā starp genotipiem atšķirās, tāpēc arī turpmāk atsevišķi jāvērtē katra audzētā šķirne. (1. un 4. tēze)
3. Paaugstinot MSB samazinājās sīkbumbuļu vidējā masa, tomēr saglabājās sīkbumbuļu frakciju proporcijas novirze lielāko sīkbumbuļu frakciju virzienā. Tātad, nepieciešamības gadījumā mikroaugu stādīšanas biežība varētu tikt paaugstināta vēl vairāk, atsevišķi izvērtējot genotipu īpatnības. (1. un 4. tēze)
4. Pirmajā lauka paaudzē mazākiem sīkbumbuļiem bija raksturīga lēnāka sadīgšana, vēlāka lakstu sakļaušanās vagās, tiem veidojās mazāk stublāju. Šķirnei 'Monta' mazākajiem sīkbumbuļiem novērota ne tikai būtiski zemāka laukdīdzība šķirnes ietvaros, bet arī visu frakciju sīkbumbuļu zemāka laukdīdzība, salīdzinājumā ar šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga'. Nepieciešama sīkbumbuļu glabāšanas apstākļu ietekmes uz laukdīdzību izpēte. (2. tēze)
5. Lauka apstākļos visām šķirnēm no lielākiem sīkbumbuļiem ieguva lielāku ražas bumbuļu skaitu gan aprēķinot to kā >25 mm lielu ražas bumbuļu skaitu pret sadīgušo ceru skaitu, gan pret iestādīto bumbuli (pavairošanas koeficients lauka apstākļos). Šķirnei 'Monta' visām frakcijām bija būtiski zemāks pavairošanas koeficients lauka apstākļos nekā šķirnēm 'Prelma' un 'Mandaga'. (2. tēze)
6. Gan viena mikroauga (LaV_{ma}), gan siltumnīcas platības vienības (LaV_{pla}) lauka vērtību būtiski ietekmēja genotips un mikroaugu stādīšanas biežība. Pieaugot stādīšanas biežībai, pieauga vienā kvadrātmetrā izaudzēto sīkbumbuļu lauka vērtība, savukārt no viena mikroauga iegūto sīkbumbuļu lauka vērtība samazinājās. Šādas izmaiņu tendences atbilda pavairošanas koeficienta siltumnīcā un sīkbumbuļu skaita m⁻² izmaiņu virzienam, tomēr izpaudās arī sīkbumbuļu pavairošanas koeficienta lauka apstākļos koriģejošā ietekme uz lauka vērtībām, jo pavairošanas koeficients lauka apstākļos bija būtiski atkarīgs no sīkbumbuļu frakcijas. Bija iespējams izveidot būtiskus lineārās regresijas vienādojumus starp LaV_{ma} un pavairošanas koeficientu siltumnīcā un starp LaV_{pla} un sīkbumbuļu skaitu m⁻². (3. un 4. tēze)
7. Iegūtās sakarības starp viena mikroauga lauka vērtību un pavairošanas koeficientu siltumnīcā un starp siltumnīcas platības vienības lauka vērtību un sīkbumbuļu skaitu no 1 m² parādīja, ka gadījumos, kad mikroaugu stādīšanas biežības izmaiņu ietekmē sīkbumbuļu sadalījums frakcijās mainās aptuveni tādā mērā, kā tas bija šajā pētījumā, mikroaugu stādīšanas biežības paaugstināšanas efektivitāti iespējams vērtēt, papildus neizvērtējot sīkbumbuļu agronomisko sniegumu lauka apstākļos. (3. tēze)
8. Veicot parciālā budžeta analīzi, konstatēts, ka aktuālajos sīkbumbuļu ražošanas apstākļos AREI (mikroauga pašizmaksa 0.54 EUR, sīkbumbuļu pašizmaksa 0.41 EUR jeb A scenārijs) no visām pētītajām mikroaugu stādīšanas biežībām visām šķirnēm *per se* bija akceptējamas tikai divas zemākās mikroaugu stādīšanas biežības (MSB) (63 un 95 mikroaugi m⁻²). Vērtējot MSB paaugstināšanas ekonomisko efektivitāti ar

robežienesīguma analīzes metodi, tika noskaidrots, ka šķirnei 'Monta' A scenārijā pozitīva robežienesīguma likme (RiL) bija tikai mainot tehnoloģiju no MSB63 uz MSB95. Šķirnei 'Prelma' visas MSB virs MSB63 tika izslēgtas, tomēr MSB95 varētu tikt pielietota, ja pieaugtu pieprasījums pēc šīs šķirnes sīkbumbuļiem, jo šajā MSB izpildījās nosacījums, ka neto ieguvums pārsniedz mainīgās izmaksas. Līdzīgi vērtējama MSB paaugstināšana šķirnei 'Mandaga' kurai RiL starp MSB63 un MSB95 bija tikai 6%. Savukārt, lai arī RiL starp MSB95 un MSB184 šķirnei 'Mandaga' bija pozitīva (4%), tomēr MSB184 nav ieteicama, jo šajā MSB neto ieguvums bija mazāks par mainīgajām izmaksām. Ja mikroaugi būtu jāiegādājas par tirgus cenu, tad akceptējama būtu tikai MSB63 un pat zemākas MSB, bet, ja sīkbumbuļu vērtība būtu tirgus cena, tad šķirnei 'Mandaga' efektīva būtu MSB paaugstināšana līdz MSB184, šķirnei 'Prelma' līdz MSB142, bet šķirnei 'Monta' līdz MSB95(4. *tēze*)

9. AREI pielietoto mikroaugu pavairošanu stikla mēģenēs, pildītās ar pilnas koncentrācijas Murašiges – Skuga barotni, pēdējā pavairošanas ciklā aizvietošana ar audzēšanu vienreizlietojamos plastmasas traukos MS barotnē ar samazinātu makrosāļu saturu būtiski neietekmēja mikroaugu morfoloģiju un neatstāja negatīvu pēcefektu uz sekojošo sīkbumbuļu ražu siltumnīcā no šādi pavairotiem mikroaugiem. Šāda mikroaugu pavairošanas tehnoloģijas maiņa ļautu samazināt mikroaugu ražošanas izmaksas (5. *tēze*)
10. Sīkbumbuļu audzētājam lēmumu pieņemšanu par visefektīvāko mikroaugu stādīšanas biezību var būt atkarīga no vairākiem apsvērumiem, piemēram, vai audzēšanas teritorijā ir spēkā 3G (sertificēta sēkla trīs paaudzēs) sēklaudzēšanas stratēģija, kurā jānodrošina liels skaits sīkbumbuļu, vai arī nepieciešams ātri ieviest ražošanā jaunu šķirni. Šādā gadījumā agronomiskās efektivitātes aspekti var dominēt pār ekonomiskiem apsvērumiem.

PATEICĪBAS

Paldies Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes doktorantūras skolai un ESF līdzfinansētajam projektam „LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli” Nr.8.2.2.0/20/i/001 par iespēju pabeigt promocijas darba sagatavošanu.

Esmu pateicīga visam AREI kolektīvam Priekuļos (līdz 2015. gadam – Valsts Priekuļu laukaugu selekcijas institūts). Īpašs paldies Dr. agr. Ilzei Skrabulei par iepazīstināšanu ar kartupeļu pasauli, par atbalstu izmēģinājumu iekārtošanas organizēšanā, par vērtīgajiem padomiem un diskusijām. Visam Kartupeļu atveseļošanas laboratorijas kolektīvam par tehnisko atbalstu mikroaugu sagatavošanā un izmēģinājumu nodrošināšanā, īpaši mūsu bijušajai kolēģei Ērikai Anmanei (agrāk – Kukemilkai) par lauka novērojumu veikšanu un ražas apstrādi 2015. gadā manas prombūtnes laikā. Paldies Leldei Skrabulei un Līgai Auziņai par palīdzību lauka izmēģinājumu ražas novākšanā. Paldies arī manai bijušajai kolēģei Ievai Mežakai, kura palīdzēja izveidot matemātisku formulu ražas no sīkbumbuļiem sadalījuma frakcijās vērtēšanai. Paldies visām kolēģēm, kuras palīdzēja orientēties terminoloģijas pasaulē, bija ar mieru diskutēt par dažādiem metodiskiem jautājumiem un sniegt citu nepieciešamo atbalstu.

Paldies LBTU Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes pētniekiem Dr. oec. K. Naglim-Liepam un L. Proškinai, kā arī manai kolēģei Dr. oec. S. Cerīnai par konsultatīvo atbalstu ekonomiskās efektivitātes vērtēšanā.

Paldies LBTU Fundamentālajai bibliotēkai, īpaši Guntai Tranai par vienmēr ātro nodrošināšanu ar publikāciju kopijām, kuru pilnie teksti nebija atrodamī datubāzēs. Šī sadarbība ļāva iegūt arī samērā retus nedigitalizētus darbus.

Esmu pateicīga AREI par nodrošināto iespēju apmeklēt zinātniskās konferences, kuru laikā bija iespēja sastapt lieliskus zinātniekus, kuri katrs ir viens no spožākajiem ekspertiem savā ar kartupeļu pētniecību saistītā apakšnozarē. Īpašs paldies prof. V. Lommenai (W. J. M. Lommen) no Vāgeningenas universitātes par diskusijām veltīto laiku, kuru rezultātā radās ideja par lauka vērtības konceptu. V. Lommenas plašā pētnieciskā darbība, viņas publikācijas un diskusijās paustais kalpoja par pamatu promocijas darba izmēģinājumu metodikas izveidošanā. Paldies prof. J. Hagmanei (J. Hagman) no Zviedrijas lauksaimniecības universitātes (SLU), kura dalījās savā ar sīkbumbuļiem saistīto pētījumu pieredzē un kura nodrošināja mani ar sevis izstrādātā promocijas darba tēzēm. Paldies dr. D. Firmanam (D. Firman) no Kembridžas universitātes, kurš palīdzēja izprast un pielietot promocijas darbā izmantoto pieeju ražas bumbuļu sadalījuma frakcijās vērtēšanu (raža lauka apstākļos).

Paldies manai ģimenei par sapratni, ka laiks ir viens no būtiskākajiem resursiem promocijas darba rakstīšanā. Paldies Jānim par atbalstu mūsu mazās meitiņas audzināšanā, kad man, viņai vēl pavisam mazai esot, bija jādodas komandējumos, lai prezentētu pētījuma rezultātus. Paldies manai meitai Rasai Ilzei par viņas vecumā tik dziļo izpratni par pētnieciskā darba specifiku un to, kāpēc nepieciešams, lai mamma uzrakstītu šo īpašo darbu.

Post scriptum.

2020. gada pavasarī aizsākās korona vīrusa Covid-19 izraisītā pandēmija, kura šīs sadaļas rakstīšanas laikā ir mazinājusies, bet vēl nav beigusies. Pandēmijas laiks ļāva skaidrāk paskatīties uz mūžīgām un patiesi būtiskām vērtībām. Laikā, kad virkne pakalpojumu vairs nebija nepieciešami, kad daudziem uzņēmumiem nācās pārtraukt savu darbību, zemnieka darbs savu aktualitāti nezaudēja. Mēs sapratām, ka lauksaimniecība ir viens no valsts drošības pamatiem. Diemžēl laikā, kad mazinājās pandēmijas ierobežojumi, notika nežēlīgs Krievijas Federācijas uzbrukums Ukrainai. Pasaule sāk apzināties, cik katastrofālas sekas šis karš pasaulei nesīs ne tikai uzreiz pamanāmas ietekmes veidā, bet arī pārtikas drošības ziņā. Šodien mēs vēl visas sekas neapzināmies, tomēr starptautiskās organizācijas prognozē bada pieaugumu pasaulē un milzīgu pārtikas cenu kāpumu. Mēs vēl jo vairāk apzināmies, cik liela nozīme ir zemnieka darbam. Lai mūsu moto šobrīd ir bijušā Ukrainas Zemkopības ministra Romana Leščenko (Roman Leshchenko) teiktais 2022. gada martā – "mēs sēsim visur, kur vien būs iespējams".

IZMANTOTIE LITERATŪRAS AVOTI

1. Abdalnour J., Roy G., Desjardins Y. (2003). Effect of supplemental lighting, substrate (pooting mix) volume and plant densities on potato production during winter greenhouse culture in Quebec. *Acta Horticulturae*, 619, p. 53–58.
2. Ahloowalia B. S. (1994). Production and performance of potato mini-tubers. *Euphytica*, Vol. 75 (3), p. 163–172.
3. Ahloowalia B. S. (1999). Production of mini-seed tubers using a modular system of plant micropropagation. *Potato Research*, Vol. 42 (3–4), p. 569–575.
4. Ahloowalia B. S. (2000). Stability of micropropagated plants and mini-tubers of potato. *Acta Horticulturae*, Vol. 530, p. 163–164.
5. Ahmadi Lahijani M. J., Kafi M., Nezami A., Nabati J., Erwin J. E. (2019). Effect of CO₂ Enrichment on Gas Exchanges, Biochemical Traits, and Minituber Yield in Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol. 21 (4), p. 883–894.
6. *Aizrādījumi eksportējamu kartupeļu audzēšanai* (1937). Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības kamera. 18 lpp.
7. Akhtar P., Abbas S. J., Aziz M., Shah A. H., Ali N. (2010). Effect of growth behavior of potato mini tubers on quality of seed potatoes as influenced by different cultivars. *Pakistan Journal of Plant Sciences*, Vol. 16 (1), [Tiešsaiste] [skatīts 2022. gada 25. martā]. Pieejams: <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=d48e968f-8aa4-4157-90e0-4678a0fb7a65%40redis>
8. Ali A., Alam S. M. M., Souza Machado V. (1995). Potato minituber production from nodal cuttings compared to whole in vitro plantlets using low volume media in a greenhouse. *Potato Research*, Vol. 38, p. 69–76.
9. Aliche E. B., Oortwijn M., Theeuwes T. P. J. M., Bachem C. W. B., van Eck H. J., Visser R. G. F., van der Linden C. G. (2019). Genetic mapping of tuber size distribution and marketable tuber yield under drought stress in potatoes. *Euphytica*, Vol. 215 (11). [Tiešsaiste] [skatīts 2022. gada 25. martā]. Pieejams: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-019-2508-0#citeas>
10. Aliche E. B., Oortwijn M., Theeuwes T. P. J. M., Bachem C. W. B., Visser R. G. F., van der Linden C. G. (2018). Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agricultural Water Management*, Vol. 206 (February), p. 20–30.
11. Allen E. J., O'Brien P. J., Firman D. (1992). An evaluation of small seed for ware-potato production. *The Journal Of Agricultural Science*, Vol. 118 (2), p. 185c193.
12. Allen E. J., Scott R. K. (1980). An analysis of growth of the potato crop. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 94 (03), p. 583–606.
13. Altman A., Loberant B. (1997). Micropropagation: Clonal Plant Propagation In Vitro. **In:** A. Altman (Ed.), *Agricultural Biotechnology*. CRC Press, p. 19–42.
14. Asakaviciute R. (2011). Meristem culture for potato seed production in Lithuania. **In:** *Book of abstracts: Advances in plant biotechnology in Baltic sea region*, 30–31 March 2011, Kaunas, Lithuania: Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, p. 65–67.
15. Asiedu S. K., Astatkie T., Yiridoe E. K. (2003). The effect of seed-tuber physiological age and cultivar on early potato production. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Vol. 189 (3), p. 176–184
16. Balena L., Malanchuk J. P., Tamanini Junior C., Ribas E. L., Eschemback V., Kawakami J. (2021). Growth, yield and dormancy of aeroponically produced potato minitubers as a function of planting density and harvesting date. *Horticultura Brasileira*, Vol. 39 (2), p. 161–168.

17. Bandara M. S., Tanino K. K., Waterer D. R. (1998). Effect of Pot Size and Timing of Plant Growth Regulator Treatments on Growth and Tuber Yield in Greenhouse-Grown Norland and Russet Burbank Potatoes. *Journal of Plant Growth Regulation*, Vol. 17 (2), p. 75–79.
18. Barra M., Correa J., Salazar E., Sagredo B. (2013). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) Germplasm to water stress under in vitro conditions. *American Journal of Potato Research*, Vol. 90 (2013), p. 591–606.
19. Barry P., Clancy P. C., Molloy M. (2001). The effect of seed size and planting depth on the yield of seed potatoes grown from minitubers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, Vol. 40 (1), p. 71–81.
20. Batista D. S., Felipe S. H. S., Silva T. D., de Castro K. M., Mamedes-Rodrigues T. C., Miranda N. A., Ríos-Ríos A. M., Faria D. V., Fortini E. A., Chagas K., Torres-Silva G., Xavier A., Arencibia A. D., Otoni W. C. (2018). Light quality in plant tissue culture: does it matter? *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, Vol. 54 (3), p. 195–215.
21. Birch P. R. J., Bryan G., Fenton B., Gilroy E. M., Hein I., Jones J. T., Prashar A., Taylor M. A., Torrance L., Toth I. K. (2012). Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? *Food Security*, Vol. 4 (4), p. 477–508.
22. Bittner H., Schenk G., Schuster G., Kluge S. (1989). Elimination by chemotherapy of potato virus S from potato plants grown in vitro. *Potato Research*, Vol. 32 (2), p. 175–179.
23. Blauer J. M., Knowles L. O., Knowles N. R. (2013). Manipulating stem number, tuber set and size distribution in specialty potato cultivars. *American Journal of Potato Research*, Vol. 90 (5), p. 470–496.
24. Bodlaender K. B. A., Marinus J. (1987). Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 3. Effect on plant growth under controlled conditions. *Potato Research*, Vol. 30 (3), p. 423–440.
25. Bohl W. H., Stark J. C., McIntosh C. S. (2011). Potato Seed Piece Size, Spacing, and Seeding Rate Effects on Yield, Quality and Economic Return. *American Journal of Potato Research*, Vol. 88 (6), p. 470–478.
26. Boyd E., Carpenter E., Ross B. T., Zidack N., Flenniken M. L. (2018). Potato Cultivar and Seed Type Affect the Development of Systemic Potato virus Y (PVYN-Wi) Infection. *American Journal of Potato Research*, Vol. 95 , p. 183–190.
27. Brown P. H. (2007). The Canon of Potato Science: 37. Stolonization, Tuber Induction and Tuberization. *Potato Research*, Vol. 50 (3), p. 363–365.
28. Bussan A. J., Mitchell P. D., Copas M. E., Drilias M. J. (2007). Evaluation of the effect of density on potato yield and tuber size distribution. *Crop Science*, Vol. 47 (6), p. 2462–2472.
29. Caldiz D. O. (2009). Physiological Age Research during the Second Half of the Twentieth Century. *Potato Research*, Vol. 52 (4), p. 295–304.
30. Çalışkan M. E., Yavuz C., Yağız A. K., Demirel U., Çalışkan S. (2021). Comparison of Aeroponics and Conventional Potato Mini Tuber Production Systems at Different Plant Densities. *Potato Research*, Vol. 64 (1), p. 41–53.
31. Calori A. H., Factor T. L., Feltran J. C., Watanabe E. Y., Moraes C. C., Purquerio L. F. V. (2018). Seed potato minituber production in an aeroponic system under tropical conditions: electrical conductivity and plant density. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 41 (17), p. 2200–2209.
32. Caram de Souza Dias J., Imark M., Gagnon A., Berube L., Jardim F.S.F. (2014). Advances toward commercial import-export of sprouts as seed potato: Brazil-Canada pioneering on a potential new alternative (Pre-) Basic seed - potato stock supply system. *In: Goffart J.P., Rolot J.L., Demeulemeester K., Goeminne M (Eds.). 19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research 6 to 11 July 2014,*

- Abstracts book (Appendix)*. Brussels, p. 140–141. [Tiešsaiste] [skatīts 2018. g. 21. apr.]. Pieejams: <http://edepot.wur.nl/324674>
33. Cassells A. C., Kowalski B., Fitzgerald D. M., Murphy G. A. (1999). The use of image analysis to study developmental variation in micropropagated potato (*Solanum tuberosum* L.) plants. *Potato Research*, Vol. 42 (3–4), p. 541–548.
 34. Cassells A. C., Long R. D. (1982). The elimination of potato viruses X, Y, S and M in meristem and explant cultures of potato in the presence of Virazole. *Potato Research*, Vol. 25 (2), p. 165–173.
 35. Celis-Gamboa B.C. (2002). The life cycle of the potato (*Solanum tuberosum* L.): From crop physiology to genetics: Ph.D. Thesis. Wageningen University. 191 p.
 36. Chanemougasoundharam A., Sarkar D., Pandey S. K., Al-Biski F., Helali O., Minhas J. S. (2004). Culture Tube Closure-Type Affects Potato Plantlets Growth and Chlorophyll Contents. *Biologia Plantarum*, Vol. 48 (1), p. 7–11.
 37. Chang D. C., Cho I. C., Suh J.-T., Kim S. J., Lee Y. B. (2011). Growth and Yield Response of Three Aeroponically Grown Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to Different Electrical Conductivities of Nutrient Solution. *American Journal of Potato Research*, Vol. 88 (6), p. 450–458.
 38. Chang D. C., Park C. S., Kim S. Y., Lee Y. B. (2012). Growth and Tuberization of Hydroponically Grown Potatoes. *Potato Research*, Vol. 55 (1), p. 69–81.
 39. Charles G., Rossignol L., Rossignol M. (1992). Environmental Effects on Potato Plants in vitro. *Journal of Plant Physiology*, Vol. 139 (6), p. 708–713.
 40. Chen C. (2004). Humidity in Plant Tissue Culture Vessels. *Biosystems Engineering*, Vol. 88 (2), p. 231–241.
 41. Chen C. (2005). Fluorescent Lighting Distribution for Plant Micropropagation. *Biosystems Engineering*, Vol. 90 (3), p. 295–306.
 42. Cho A. H., Hodges A. W., Chase C. A. (2012). Partial budget analysis of summer fallows for organic nutrient and weed management in Florida. *HortTechnology*, Vol. 22 (2), p. 258–262.
 43. Connell T. R., Binning L. K., Schmitt W. G. (1999). A canopy development model for potatoes. *American Journal of Potato Research*, Vol. 76 (3), p. 153–159.
 44. Correa R. M., Pinto J. E. B. P., Pinto C. A. B. P., Faquin V., Reis É. S., Monteiro A. B., Dyer W. E. (2008). A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, Vol. 116 (1), p. 17–20.
 45. Čirkovs J. (1978). Lauksaimniecības meteoroloģijas pamati. Rīga: Zvaigzne. 186 lpp.
 46. Danci O., Erdei L., Vidacs L., Danci M., Baciú A., David I., Berbentea F. (2009). Influence of ribavirin on potato plants regeneration and virus eradication. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, Vol. (13), p. 421–425.
 47. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. (2016). Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, Vol. 176, p. 122–131.
 48. De Bokx J. A. (1972). *Viruses of potatoes and seed-potato production*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation. 233 p.
 49. De Bokx J. A., Mooi J. C. (1974). Methods of quality assessment of seed potatoes. *Potato Research*, Vol. 17 (4), p. 410–433.
 50. Demo P., Kuria P., Nyende A. B., Kahangi E. M. (2008). Table sugar as an alternative low cost medium component for in vitro micro-propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Biotechnology*, Vol. 7 (15), p. 2578–2584.
 51. Demo P., Lemaga B., Kakuhenzire R., Schulz S., Borus D., Barker I., Woldegiorgis G., Parker M. L., Schulte-Geldermann E. (2015). Strategies to improve seed potato quality and supply in sub-Saharan Africa: experience from interventions in five countries. *In: Potato and sweetpotato in Africa: transforming the value chains for food and nutrition security*. Wallingford: DABI, p. 155–167

52. Dimante I. (2013). Kartupeļu izlases sēklas (minibumbuļu) audzēšanas izvērtējums Valsts Priekuļu LSI (Evaluation of potato breeders' seed material (minitubers) production in State Priekuli PBI). *No: Ražas svētki „Vecauce – 2013”*: Lauksaimniecības augstākajai izglītībai – 150. Jelgava: LLU, 37.–40. lpp.
53. Dimante I., Skrabule I. (2021). Kartupeļu sīkbumbuļu izmēra un stādīšanas attāluma ietekme uz PB1 kategorijas sēklaudzēšanas tehnoloģijas izvēli šķirnei 'Jogla'/ The effect of the size of potato minitubers and planting distance on the choice of growing technology for PB1 seed production. *No: Līdzsvarota Lauksaimniecība, Zinātniski Praktiskās Konferences Raksti*. Jelgava: LLU, p. 66–70.
54. Dodds J. H. (1988). Tissue culture technology: practical application of sophisticated methods. *American Journal of Potato Research*, Vol. 65 (4), p. 167–180.
55. Dutta Gupta S., Jatothu B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, Vol. 7 (3), p. 211–220.
56. Dwelle R. B. (1990). Source/sink relationships during tuber growth. *American Journal of Potato Research*, Vol. 67 (12), p. 829–833.
57. Economou A. S. (1987). Light treatments to Improve Efficiency of in Vitro Propagation Systems. *HortScience*, Vol. 22 (5), p. 751–753.
58. Edesi J., Pirttilä A. M., Haggman H. (2016). Modified light spectral conditions prior to cryopreservation alter growth characteristics and cryopreservation success of potato (*Solanum tuberosum* L.) shoot tips in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, Vol. 128 (2), p. 409–421.
59. Espinoza P. A., Crissman C. C., Hibon A. (1996). *Accounting for seed potato production costs: A computer spreadsheet-based management tool. Training manual*. Lima: Fredy's Publicaciones, 64 p.
60. Evans E. (2005). Marginal analysis: An economic procedure for selecting alternative technologies/practices. University of Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). [Tiešsaiste] [skatīts 2022. gada 1. aprīlī]. Pieejams: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FE/FE56500.pdf>
61. Ewing E. E. (1978). Critical photoperiods for tuberization: A screening technique with potato cuttings. *American Potato Journal*, Vol. 55 (1), p. 43–53.
62. Ewing E.E., Struik P.C. (1992). Tuber formation in potato: induction, initiation, and growth. *In*: Janick J. (Ed.). *Horticultural Reviews*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, p. 89–197.
63. Ewing E. E., Wareing P. F. (1978). Shoot, Stolon, and Tuber Formation on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cuttings in Response to Photoperiod. *Plant Science*, Vol. 61 (734), p. 348–353.
64. Faccioli G., Rubies-Autonell C., Resca R. (1988). Potato leafroll virus distribution in potato meristem tips and production of virus-free plants. *Potato Research*, Vol. 31 (3), p. 511–520.
65. Faccioli G., Rubies-Autonell C. (1982). PVX and PVY distribution in potato meristem tips and their eradication by use of thermotherapy and meristem-tip culture. *Journal of Phytopathology*, Vol. 103 (1), p. 67–76.
66. Factor T. L., De Araujo J. A. C., Kawakami F. P. C., Iunck V. (2007). Potato Basic Minitubers Production in Three Hydroponic Systems. *Horticultura Brasileira*, Vol. 25, p. 82–87.
67. Fal M. A., Majada J. P., Sanchez Tames R. (2002). Physical environment in non-ventilated culture vessels affects in vitro growth and morphogenesis of several cultivars of *Dianthus Caryophyllus* L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, Vol. 38 (6), p. 589–594.

68. Farran I., Mingo-Castel M. A. (2006). Potato Minituber Production Using Aeroponics: Effect of Plant Density and Harvesting Intervals. *American Journal of Potato Research*, Vol. 83 , p. 47–53.
69. Finckh M. R., Schulte-Geldermann E., Bruns C. (2006). Challenges to organic potato farming: Disease and nutrient management. *Potato Research*, Vol. 49 (1), p. 27–42.
70. Firman D.M., Daniels S.J. (2011). *Factors affecting tuber numbers per stem leading to improved seed rate recommendations*. Final report. Potato Council AHDB. [Tiešsaiste] [skatīts 2018. g. 23. apr.]. Pieejams: https://potatoes.ahdb.org.uk/sites/default/files/publication_upload/20112%20Tuber%20Numbers%20Final%20Report%20R296.pdf
71. Firman D. M., O'Brien P. J., Allen E. J. (1991). Leaf and flower initiation in potato (*Solanum tuberosum*) sprouts and stems in relation to number of nodes and tuber initiation. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 117 (1991), p. 61–74.
72. Firman D. M., O'Brien P. J., Allen E. J. (1992). Predicting the emergence of potato sprouts. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 118 (01), p. 55–61.
73. Fischer T., Byerlee D., Edmeades G. (2014). *Crop yields and global food security*: (T. McGillion, K. Hawkins (Eds.)). Canberra: ACIAR, 660 p.
74. Fleisher D. H., Shillito R. M., Timlin D. J., Kim S. H., Reddy V. R. (2006). Approaches to modeling potato leaf appearance rate. *Agronomy Journal*, Vol. 98 (3), p. 522–528.
75. Fleisher D. H., Timlin D. J., Reddy V. R. (2008). Interactive effects of carbon dioxide and water stress on potato canopy growth and development. *Agronomy Journal*, Vol. 100 (3), p. 711–719.
76. Fleisher D. H., Timlin D. J., Yang Y., Reddy V. R. (2011). Potato Stem Density Effects on Canopy Development and Production. *Potato Research*, Vol. 54 (2), p. 137–155.
77. Fletcher J. D., Fletcher P. J., Cross R. J. (1998). Potato germplasm: in vitro storage and virus reduction. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol. 26 (3), p. 249–252.
78. Forbes G. A., Charkowski A., Andrade-Piedra J., Parker M. L., Schulte-Geldermann E. (2020). Potato seed systems. *In: The Potato Crop*, p. 431–447.
79. Fujiwara K., Kozai T. (1995). Physical microenvironment and its effects. *In: Automation and environmental control in plant tissue culture*. Dordrecht: Springer, p. 319–369
80. Fulladolsa A. C., LaPlant K. E., Groves R. L., Charkowski A. O. (2018). Potato plants grown from minitubers are delayed in maturity and lower in yield, but are not at a higher risk of potato virus Y infection than plants grown from conventional seed. *American Journal of Potato Research*, Vol. 95 (1), p. 45–53.
81. Gaujers V. (1962). *Kartupeļu šķirnes*. Rīga: Latvijas Valsts izdevniecība. 108 lpp.
82. Gaujers V. (1967). *Ieteikumi sēklas kartupeļu audzēšanā*. Rīga: Zinātniski tehniskās informācijas un propagandas centrālais birojs. 32 lpp.
83. Gaujers V. (1969). *Kartupeļi*. Rīga: Liesma. 216 lpp.
84. Gayatri M. C., Kavyashree R. (2015). *Plant Tissue Culture: Protocols in Plant Biotechnology*. Oxford: Alpha Science International, 214 p.
85. Gābere A. (2004). Influence of various growing factors on recovered potato cultivars meristem plant yield in greenhouse (Audzēšanas paņēmiena ietekme uz atveseļotu kartupeļu šķirņu meristēmu augu ražu siltumnīcā). *Agronomijas Vēstis*, Vol. 6 , p. 28–33.
86. Georgakis D. N., Karafyllidis D. I., Stavropoulos N. I., Nianiou E. X., Vezyroglou I. A. (1997). Effect of planting density and size of potato seed-minitubers on the size of the produced potato seed tubers. *Acta Horticulturae*, Vol. 462 , p. 935–942.
87. Goeser N. J., Mitchell P. D., Esker P. D., Curwen D., Weis G., Bussan A. J. (2012). Modeling Long-Term Trends in Russet Burbank Potato Growth and Development in Wisconsin. *Agronomy*, Vol. 2 (4), p. 14–27.

88. Gopal J., Chamail A., Sarkar D. (2002a). Slow-growth in vitro conservation of potato germplasm at normal propagation temperature. *Potato Research*, Vol. 45 (2–4), p. 203–213.
89. Gopal J., Kumar R., Kang G. S. (2002b). The effectiveness of using a minituber crop for selection of agronomic characters in potato breeding programmes. *Potato Research*, Vol. 45 , p. 145–151.
90. Gray S., De Boer S., Lorenzen J., Karasev A., Whitworth J., Nolte P., Singh R., Boucher A., Xu H. (2010). Potato Virus Y: An Evolving Concern for Potato Crops in the United States and Canada. *Plant Disease*, Vol. 94 (12), p. 1384–1397.
91. Gregorini G., Lorenzi R. (1974). Meristem-tip culture of potato plants as a method of improving productivity. *Potato Research*, Vol. 17 (1), p. 24–33.
92. Grigoriadou K., Leventakis N. (1999). Large scale commercial production of potato minitubers, using in vitro techniques. *Potato Research*, Vol. 42 (3–4), p. 607–610.
93. Guenthner J. F., Charkowski A., Genger R., Greenway G. (2014). Varietal Differences in Minituber Production Costs. *American Journal of Potato Research*, Vol. 91 , p. 376–379.
94. Haapala T. (2005). Use of single-leaf cuttings of potato for efficient mass propagation. *Potato Research*, Vol. 48 (3), p. 201–214.
95. Hagman J. (1990). Micropropagation of potatoes: Comparisons of different methods: Ph.D. Thesis. Uppsala: SLU/Repro. 94 p.
96. Hagman J. E., Mårtensson A., Grandin U. (2009). Cultivation practices and potato cultivars suitable for organic potato production. *Potato Research*, Vol. 52 (4), p. 319–330.
97. Hall J. E., Glasbey C. A. (1993). Analysis of size-grouped potato yield data using a bivariate normal distribution of tuber size and weight. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 121 (02), p. 193.
98. Halterman D., Charkowski A., Verchot J., Daami-Remadi M. (2012). Potato, viruses, and seed certification in the USA to provide healthy propagated tubers. *Pest Technology*, Vol. 6 (Special Issue 1), p. 1–14.
99. Hassanpanah D., Azimi J., Azizi S. (2011). Effect of planting bed composition on mini-tuber production of potato cultivars under greenhouse condition. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol. 9 (1), p. 384–388.
100. Haverkort A. J. (2007). The canon of potato science: 46. Potato crop modelling. *Potato Research*, Vol. 50 (3–4), p. 399–402.
101. Haverkort A. J. (2018). *Potato handbook: crop of the future*. Den Haag: Aardappelwereld BV, 592 p.
102. Haverkort A. J., Franke A. C., Steyn J. M. (2015). A Robust Potato Model: LINTUL-POTATO-DSS. *Potato Research*, Vol. 58 , p. 313–327.
103. Haverkort A. J., Hillier J. G. (2011). Cool Farm Tool – Potato: Model Description and Performance of Four Production Systems. *Potato Research*, Vol. 54 (4), p. 355–369.
104. Haverkort A. J., Struik P. C. (2015). Yield levels of potato crops: recent achievements and future prospects. *Field Crops Research*, Vol. 182 , p. 76–85.
105. Haverkort A. J., Uenk D., Veroude H., Van De Waart M. (1991a). Relationships between ground cover, intercepted solar radiation, leaf area index and infrared reflectance of potato crops. *Potato Research*, Vol. 34 (1), p. 113–121.
106. Haverkort A. J., Van De Waart M., Bodlaender K. B. A. (1990). The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. *Potato Research*, Vol. 33 (1), p. 89–96.
107. Haverkort A. J., Van De Waart M., Marinus J. (1991b). Field performance of potato microtubers as propagation material. *Potato Research*, Vol. 34 (3), p. 353–364.
108. Haverkort A. J., Verhagen A. (2008). Climate change and its repercussions for the potato supply chain. *Potato Research*, Vol. 51 (3–4), p. 223–237.

109. Herman D. J., Knowles L. O., Knowles N. R. (2016). Differential Sensitivity of Genetically Related Potato Cultivars to Treatments Designed to Alter Apical Dominance, Tuber Set and Size Distribution. *American Journal of Potato Research*, Vol. 93 (4), p. 331–349.
110. Herold A. (1980). Regulation of photosynthesis by sink-activity-the missing link. *The New Phytologist*, Vol. 86 , p. 131–144.
111. Holms I. (1992). Kartupeļu selekcija. **No:** *Laukaugu selekcija Latvijā*. I. Holma red. Rīga: Avots, 97.–111. lpp.
112. Horton D. (1982). *Partial budget analysis for on-farm potato research*. Lima: CIP, 18 p.
113. Hospers-Brands A. J. T. M., Ghorbani R., Bremer E., Bain R., Litterick A., Halder F., Leifert C., Wilcockson S. J. (2008). Effects of presprouting, planting date, plant population and configuration on late blight and yield of organic potato crops grown with different cultivars. *Potato Research*, Vol. 51 (2), p. 131–150.
114. Hossain A., Al-Mahmud A., Al-Mamun A., Shamimuzzaman, Rahman M. (2015). Optimization of minituber size and planting distance for the breeder seed production of potato. *American Journal of Agriculture and Forestry*, Vol. 3 (2), p. 58–64.
115. Huang C., Chen C. (2005). Physical Properties of Culture Vessels for Plant Tissue Culture. *Biosystems Engineering*, Vol. 91 (4), p. 501–511.
116. Hussey G., Stacey N. J. (1981). In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Annals of Botany*, Vol. 48 , p. 787–796.
117. Hutchinson E. (2006). Principles of microeconomics. **In:** *Principles of Microeconomics*. Victoria: University of Victoria, 378 p. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 20. dec.]. Pieejams: <https://pressbooks.bccampus.ca/uvicecon103/>
118. Jamovi. (2021). *The Jamovi project*. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 20. dec.]. Pieejams: <https://www.jamovi.org/>
119. Jao R. C., Fang W. (2004). Growth of potato plantlets in vitro is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods. *HortScience*, Vol. 39 (2), p. 380–382.
120. Jefferies R. A., Lawson H. M. (1991). A key for the stages of development of potato (*Solanum tuberosum*). *Annals of Applied Biology*, Vol. 119 (2), p. 387–399.
121. Jefferies R. A., MacKerron D. K. L. (1987). Thermal time as a non-destructive method of estimating tuber initiation in potatoes. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 108, p. 249–252.
122. Jiménez E., Pérez N., de Fera M., Barbón R., Capote A., Chávez M., Quiala E., Pérez J. C. (1999). Improved production of potato microtubers using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, Vol. 59 (1), p. 19–23.
123. Jin H., Liu J., Song B., Xie C. (2013). Impact of Plant Density on the Formation of Potato Minitubers Derived from Microtubers and Tip-Cuttings in Plastic Houses. *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 12 (6), p. 1008–1017.
124. Jo E. A., Tewari R. K., Hahn E. J., Paek K. Y. (2008). Effect of photoperiod and light intensity on in vitro propagation of *Alocasia amazonica*. *Plant Biotechnology Reports*, Vol. 2 (3), p. 207–212.
125. Johansen T. J., Lund L., Nilsen J. (2002). Influence of daylength and temperature during formation of seed potatoes on subsequent growth and yields under long day conditions. *Potato Research*, Vol. 45 (2), p. 139–143.
126. Johansen T. J., Mølmann J. A. B. (2018). Seed potato performance after storage in light at elevated temperatures. *Potato Research*, Vol. 61 , p. 133–145.
127. Johansen T. J., Molteberg E. L. (2012). Effect of Storage and Pre-sprouting Regimes on Seed Potato Performance in Norway. *Potato Research*, Vol. 55 (3–4), p. 279–292.
128. Jolliffe I. T., Cadima J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical,*

- Physical and Engineering Sciences*, Vol. 374 (2065). [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 5. janv.]. Pieejams: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2015.0202>
129. Jones E. D. (1988). A current assessment of in vitro culture and other rapid multiplication methods in North America and Europe. *American Potato Journal*, Vol. 65, p. 209–220.
 130. Jones E. D. (1991). Progress in seed potato technology. *American Journal of Potato Research*, Vol. 68 (4), p. 247–248.
 131. Joyce S. M., Cassells A. C. (2002). Variation in potato microplant morphology in vitro and DNA methylation. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, Vol. 70 , p. 125–137.
 132. Kacheyo O. C., van Dijk L. C. M., de Vries M. E., Struik P. C. (2021). Augmented descriptions of growth and development stages of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown from different types of planting material. *Annals of Applied Biology*, Vol. 178 (3), p. 549–566.
 133. Karafyllidis D. I., Georgakis D. N., Stavropoulos N. I., Nianiou E. X., Vezyroglou I. A. (1997). Effect of planting density and size of potato seed-minitubers on their yielding capacity. *Acta Horticulturae*, Vol. 462 , p. 943–950.
 134. Kassanis B. (1957). The use of tissue cultures to produce virus-free clones from infected potato varieties. *Annals of Applied Biology*, Vol. 45 (3), p. 422–427.
 135. Kawakami J., Iwama K., Hasegawa T., Jitsuyama Y. (2003). Growth and yield of potato plants grown from microtubers in fields. *American Journal of Potato Research*, Vol. 80, p. 371–378.
 136. Kawakami J., Iwama K., Jitsuyama Y. (2006). Soil water stress and the growth and yield of potato plants grown from microtubers and conventional seed tubers. *Field Crops Research*, Vol. 95 (1), p. 89–96.
 137. Kawakami T., Oohori H., Tajima K. (2015). Seed potato production system in Japan, starting from foundation seed of potato. *Breeding Science*, Vol. 65 (1), p. 17–25.
 138. Kerlan C. (2008). Potato Viruses. *In*: B. W. J. Mahy, M. H. V. Van Regenmortel (Eds.), *Encyclopedia of Virology (Third Edition)*. Oxford: Academic Press, p. 296–309.
 139. Kim Y.-U., Lee B.-W. (2016). Effect of High Temperature, Daylength, and Reduced Solar Radiation on Potato Growth and Yield. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 18 (2), p. 74–87.
 140. Kim Y. U., Lee B. W. (2019). Differential Mechanisms of Potato Yield Loss Induced by High Day and Night Temperatures During Tuber Initiation and Bulking: Photosynthesis and Tuber Growth. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 10. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 1. apr.]. Pieejams: www.frontiersin.org
 141. Kim Y. U., Seo B. S., Choi D. H., Ban H. Y., Lee B. W. (2017). Impact of high temperatures on the marketable tuber yield and related traits of potato. *European Journal of Agronomy*, Vol. 89 , p. 46–52.
 142. Kitaya I., Fukuda O., Kozai T., Kirdmanee C. (1995). Effects of light intensity and lighting direction on the photoautotrophic growth and morphology of potato plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, Vol. 62 (1), p. 15–24.
 143. Knowles N. R., Knowles L. O. (2006). Manipulating stem number, tuber set, and yield relationships for northern- and southern-grown potato seed lots. *Crop Science*, Vol. 46 (1), p. 284–296.
 144. Knutson K. W. (1988). Implications of new technologies for seed potato certification programs and seed growers. *American Potato Journal*, Vol. 65 (4), p. 229–235.
 145. Kohler U., Luniak M. (2005). Data inspection using biplots. *Stata Journal*, Vol. 5 (2), p. 208–223.
 146. Kooman P.L., Haverkort A.J. (1995). Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL - POTATO. *In*: Haverkort A.J., MacKerron D.K.L. (Eds.). *Potato ecology and modeling of crops under conditions limiting growth*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 41–60.

147. Kotkas K., Rosenberg V. (1999). Disease eradication and propagation of the initial seed potato material in Estonia. *Potato Research*, Vol. 42 (3–4), p. 577–583.
148. Kozai T. (1997). Environmental control for the large-scale production of plants through in vitro techniques. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, Vol. 51 , p. 49–56.
149. Kozai T., Tanaka K., Jeong B. R., Fujiwara K. (1993). Effect of Relative Humidity in the Culture Vessel on the Growth and Shoot Elongation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlets In Vitro. *Journal- Japanese Society for Horticultural Science*, Vol. 62 (2), p. 413–417.
150. Külen O., Stushnoff C., Davidson R. D., Holm D. G. (2011). Gibberellic Acid and Ethephon Alter Potato Minutuber Bud Dormancy and Improve Seed Tuber Yield. *American Journal of Potato Research*, Vol. 88 (2), p. 167–174.
151. Kumar D., Singh O., Lal S., Singh B., Singh V. (2011). Growth and yield of potato plants developed from in vitro plantlets in nethouse. *Potato Journal*, Vol. 38 (2), p. 143–148.
152. Kyte L., Keyin J., Scoggins H., Bridgen M. (2013). *Plants from Test Tubes: An Introduction to Micropropagation*. Portland: Timber Press, 269 p.
153. Leclerc Y., Donnelly D. J. (1990). Seasonal differences in the field performance of micropropagated potato under a short growing season in Quebec. *American Potato Journal*, Vol. 67 (8), p. 507–516.
154. Lindermanis J., Brigmane A., Kalniņš L., Holms I., Rubenis J. (1970). *Vispārīgā laukaugu selekcija*. Rīga: Zvaigzne, 381 lpp.
155. Lommen W. J. M. (1993a). Post-harvest characteristics of potato minutuber with different fresh weight and from different harvests. I. Dry-matter concentration and dormancy. *Potato Research*, Vol. 36 , p. 265–272.
156. Lommen W. J. M. (1993b). Post-harvest characteristics of potato minutuber with different fresh weight and from different harvests. II. Losses during storage. *Potato Research*, Vol. 36 (4), p. 273–292.
157. Lommen W. J. M. (1994). Effect of weight of potato minitubers on sprout growth, emergence and plant characteristics at emergence. *Potato Research*, Vol. 37 (3), p. 315–322.
158. Lommen W. J. M. (1995). *Basic studies on the production and performance of potato minitubers*: Ph.D. Thesis. Landbouw: Universiteit Wageningen. 181 p.
159. Lommen W. J. M. (1999). Causes for low tuber yields of transplants from in vitro potato plantlets of early cultivars after field planting. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 133, p. 275–284.
160. Lommen W. J. M. (2007). The canon of potato science: Hydroponics. *Potato Research*, Vol. 50 (3–4), p. 315–318.
161. Lommen W. J. M. (2015). How Age of Transplants from In Vitro Derived Potato Plantlets Affects Crop Growth and Seed Tuber Yield After Field Transplanting. *Potato Research*, Vol. 58 , p. 343–360.
162. Lommen W. J. M., Struik P. C. (1992a). Influence of a single non-destructive harvest on potato plantlets grown for minutuber production. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Vol. 40 (1), p. 21–41.
163. Lommen W. J. M., Struik P. C. (1992b). Production of potato minitubers by repeated harvesting: Effects of crop husbandry on yield parameters. *Potato Research*, Vol. 35 (4), p. 419–432.
164. Lommen W. J. M., Struik P. C. (1993). Performance of potato minitubers in a controlled environment after different storage periods. *Potato Research*, Vol. 36 (4), p. 283–292.
165. Lommen W. J. M., Struik P.C. (1994). Field performance of potato minitubers with different fresh weights and conventional seed tubers: Crop establishment and yield formation. *Potato Research*, Vol. 37 (3), p. 301–313.

166. Lommen W. J. M., Struik P. C. (1995). Field performance of potato minitubers with different fresh weights and conventional seed tubers: Multiplication factors and progeny yield variation. *Potato Research*, Vol. 38 (2), p. 159–169.
167. Lommen W. J. M., Struik P. C. (2006). Tuber induction and initiation during production and early field growth of transplants from in vitro-derived potato plants. *Annals of Applied Biology*, Vol. 149 (3), p. 281–290.
168. Love S. L., Thompson-Johns A. (1999). Seed piece spacing influences yield, tuber size distribution, stem and tuber density, and net returns of three processing potato cultivars. *HortScience*, Vol. 34 (4), p. 629–633.
169. Ma X., Wang Y., Liu M., Xu J., Xu Z. (2015). Effects of green and red lights on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, Vol. 190, p. 104–109.
170. MacKerron D. K. L. (1985). A simple model of potato growth and yield: Part II. Validation and external sensitivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 34 (4), p. 285–300.
171. MacKerron D. K. L., Marshall B., Jefferies R. A. (1988). The distributions of tuber sizes in droughted and irrigated crops of potato. II. Relation between size and weight of tubers and the variability of tuber-size distributions. *Potato Research*, Vol. 31 (2), p. 279–288.
172. MacKerron D. K. L., Waister P. D. (1985). A simple model of potato growth and yield. Part I. Model development and sensitivity analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 34 (2–3), p. 241–252.
173. Manrique L. A., Hodges T. (1989). Estimation of tuber initiation in potatoes grown in tropical environments based on different methods of computing thermal time. *American Potato Journal*, Vol. 66 (7), p. 425–436.
174. Mateus-Rodriguez J., de Haan S., Rodríguez-Delfín A. (2014). Genotype by Environment Effects on Potato Mini-Tuber Seed Production in an Aeroponics System. *Agronomy*, Vol. 4 (4), p. 514–528.
175. Mateus-Rodriguez J. R., Haan S., Andrade-Piedra J. L., Maldonado L., Hareau G., Barker I., Chuquillanqui C., Otazú V., Frisancho R., Bastos C., Pereira A. S., Medeiros C. A., Montesdeoca F., Benítez J. (2013). Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America. *American Journal of Potato Research*, Vol. 90 (4), p. 357–368.
176. McClelland M. T., Smith M. A. L. (1990). Vessel Type, Closure, and Explant Orientation Influence in Vitro Performance of Five Woody Species. *HortScience*, Vol. 25 (7), p. 797–800.
177. McGrann G., Feehan L., Duff J., Saubeau G., Ormiston N., Mchugh R. C. (2020). *Evaluation of alternative approaches for production of healthy PBTC mini tubers*. Final report. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 1. apr.]. Pieejams: <https://projectblue.blob.core.windows.net/media>
178. McMaster G. S., Wilhelm W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 87, p. 291–300.
179. Meier U. *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants*. BBCH Monograph. 2nd ed. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. 158 p.
180. Melching J. B., Slack A. S., Jones E. D. (1992). Field performance of peat-lite mix encapsulated small minitubers. *American Potato Journal*, Vol. 70, p. 285–299.
181. Mhango J. K., Hartley W., Harris W. E., Monaghan J. M. (2021). Comparison of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber size distribution fitting methods and evaluation of the relationship between soil properties and estimated distribution parameters. *The Journal of Agricultural Science*. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 13. janv.]. Pieejams: <https://www.cambridge.org/core/article/comparison-of-potato-solanum-tuberosum-l-tuber-size-distribution-fitting-methods-and-evaluation-of-the-relationship-between-soil-properties-and-estimated-distribution->

- parameters/DFFB5D8740E77C33830F1CBE2CB03E1A
182. Miglavs U. (1987). *Kartupeļu sākotnējās sēklkopības tehnoloģija*. Rīga: Latvijas PSR Valsts Agrorūpnieciskās komitejas Zinātniski tehniskās informācijas pārvalde. 12 lpp.
 183. Miglavs U., Damroze, I. (1976). *Latvijas PSR sastopamās kartupeļu vīrusslimības un to ierobežošanas iespējas sēklaudzēšanas stādījumos*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības Akadēmija. 34 lpp.
 184. Miguel C., Marum L. (2011). An epigenetic view of plant cells cultured in vitro: Somaclonal variation and beyond. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 62 (11), p. 3713–3725.
 185. Milinkovic M., Horstra C. B., Rodoni B. C., Nicolas M. E. (2012). Effects of Age and Pretreatment of Tissue-Cultured Potato Plants on Subsequent Minituber Production. *Potato Research*, Vol. 55 (1), p. 15–25.
 186. Millam S., Sharma S.K. (2007). Soil-free techniques. **In:** Vreugdenhill D., Bradshaw J., Gebhardt C., Govers F, Taylor M., MacKerron D., Ross H. (Eds.). *Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier. p. 705–716.
 187. Moore K. J., Dixon P. M. (2015). Analysis of combined experiments revisited. *Agronomy Journal*, Vol. 107 (2), p. 763–771.
 188. Murashige T., Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, Vol. 15 , p. 473–497.
 189. Muro J., Diaz V., Goni J. L., Lamsfus C. (1997). Comparison of hydroponic culture and culture in a peat / sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *Potato Research*, Vol. 40 (4), p. 431–438.
 190. Mustonen L., Wallius E., Hurme T. (2010). Nitrogen fertilization and yield formation of potato during a short growing period. *Agricultural and Food Science*, Vol. 19 (2), p. 173–183.
 191. Nascimento L. C., Pio-Ribeiro G., Willadino L., Andrade G. P. (2003). Stock indexing and Potato virus Y elimination from potato plants cultivated in vitro. *Scientia Agrícola*, Vol. 60 (3), p. 525–530.
 192. Nelson D. C. (1967). Effects of row spacing and plant populations on yields and tuber-size of potatoes. *American Potato Journal*, Vol. 44 (95), p. 17–21.
 193. Nelson L. A., Rawlings J. O. (1983). Ten common misuses of statistics in agronomic research and reporting. *Journal of Agronomic Education*, Vol. 12 (1), p. 100–105.
 194. Nemecek T., Derron J., Rothe O., Fischlind A. (1996). Adaptation of a Crop-growth Model and its Extension by a Tuber Size Function for Use in a Seed Potato Forecasting System. *Agricultural Systems*, Vol. 52 , p. 419–437.
 195. Nistor A., Câmpeanu G., Atanasiu N., Chiru N. (2011). Effect of cropping system, planting density and size of potato seed-minitubers on their yielding capacity. *Romanian Agricultural Research*, Vol. 28 , p. 137–141.
 196. Nistor A., Karacsonyi D., Chiru N. (2010). Behavior of different potato varieties on seed production process, using of different culture substrates on greenhouse. *Studia Universitatis Vasile Goldis Arad, Seria Stiintele Vietii*, Vol. 20 (3), p. 49–53.
 197. O'Brien P. J., Allen E. J. (1992). Effects of seed crop husbandry, seed source, seed tuber weight and seed rate on the growth of ware potato crops. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 119 , p. 355–366.
 198. O'Brien P. J., Allen E. J., Firman D. M. (1998a). REVIEW A review of some studies into tuber initiation in potato (*Solanum tuberosum*) crops. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 130 (03), p. 251–270.
 199. O'Brien P. J., Firman D. M., Allen E. J. (1998b). Effects of shading and seed tuber spacing on initiation and number of tubers in potato crops (*Solanum tuberosum*). *Journal of Agricultural Science*, Vol. 130 (4), p. 431–449.
 200. Oliveira, J. S. (2015). *Growth and development of potato (Solanum tuberosum L.) crops after different cool season*: Ph.D. Thesis. Lincoln University, New Zealand. 287 p.

- [Tiešsaiste] [skatīts 2018. g. 23. apr.]. Pieejams: <https://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/6494>
201. Oliveira J. S., Brown H. E., Gash A., Moot D. J. (2017). Yield and weight distribution of two potato cultivars grown from seed potatoes of different physiological ages. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol. 45 (2), p. 91–118.
 202. Oliveira J. S., Moot D. J., Brown H. E. (2014). Seed potato physiological age and crop establishment. *Agronomy New Zealand*, Vol. 44, p. 85–93.
 203. Oraby H., Lachance A., Desjardins Y. (2015). A Low Nutrient Solution Temperature and the Application of Stress Treatments Increase Potato Mini-tubers Production in an Aeroponic System. *American Journal of Potato Research*, Vol. 92 (3), p. 387–397.
 204. Orsák M., Kotíková Z., Hnilička F., Lachman J., Stanovič R. (2020). Effect of drought and waterlogging on hydrophilic antioxidants and their activity in potato tubers. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 66 (3), p. 128–134.
 205. Ortiz-Montiel G., Lozoya-Saldana H. (1987). Potato minitubers technology validation in Mexico. *American Potato Journal*, Vol. 64 (10), p. 535–545.
 206. Ospina C. A., Lammerts van Bueren E. T., Allefs J. J. H. M., Engel B., van der Putten P. E. L., van der Linden C. G., Struik P. C. (2014). Diversity of crop development traits and nitrogen use efficiency among potato cultivars grown under contrasting nitrogen regimes. *Euphytica*, Vol. 199 (1–2), p. 13–29.
 207. Otroshy, M. (2006). *Utilization of tissue culture techniques in a seed potato tuber production scheme*: Ph.D. Thesis. Wageningen University. 230 p. [Tiešsaiste] [skatīts 2018. g. 23. apr.]. Pieejams: <http://edepot.wur.nl/121820>
 208. Ozkaynak E. (2021). Tuber size effects on yield and number of potato minitubers of commercial varieties in a greenhouse production system. *Turkish Journal of Field Crops*, Vol. 26 (1), p. 123–128.
 209. Ozkaynak E., Samanci B. (2005). Yield and yield components of greenhouse, field and seed bed grown potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets. *AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ*, Vol. 18 (1), p. 125–129.
 210. Ozkaynak E., Samanci B. (2006). Field performance of potato minituber weights at different planting dates. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol. 52 (3), p. 333–338.
 211. Ozturk G., Yildirim Z. (2011). Uniformity of potato minitubers derived from meristem cultures of nuclear seed stocks. *Turkish Journal of Field Crops*, Vol. 16 (2), p. 149–152.
 212. Ozturk G., Yildirim Z. (2010). A comparison of field performances of minitubers and microtubers used in seed potato production. *Turkish Journal of Field Crops*, Vol. 15 (2), p. 141–147.
 213. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Hakala K., Ojanen H. (2009). Climate change and prolongation of growing season: Changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science*, Vol. 18 (3–4), p. 171–190.
 214. Perrin R., Anderson J., Winkelmann C., Moscardi E. (1988). From agronomic data to farmer recommendations: An Economics training manual. *In: CIMMYT Economics program*, (27th ed.). Mexico: CIMMYT, 80 p.
 215. Pētersons E. (1947). *Kartupeļu šķirnes un sēklkopība*. Rīga: Latvijas Valsts izdevniecība. 113 lpp.
 216. Pijnacker L. P., Skree Ramulu K. (1990). Somaclonal variation in potato: a karyotypic evaluation. *Acta Bot. Neerl.*, Vol. 39 (2), p. 163–169.
 217. Plant R. E. (2018). *Spatial data analysis in ecology and agriculture using R*. Boca Raton: cRc Press. 619 p.
 218. Pozoga M., Olewnicki D., Jabłońska L. (2019). In vitro propagation protocols and variable cost comparison in commercial production for *Paulownia tomentosa* × *Paulownia fortunei* hybrid as a renewable energy source. *Applied Sciences*, Vol. 9 (11).

- [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 20. aug.]. Pieejams: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/11/2272>
219. Prossy N., Peter N., Benon M., Alex B. (2014). In Vitro Agronomic Performance and Mini-Tuber Production of Potato Varieties. *Modern Agricultural Science and Technology*, Vol. 1 (1), p. 65–71.
 220. Pruski K. (2001). *Micropropagation technology in early phases of commercial seed potato production*: Ph.D. Thesis. Wageningen University. 161 p.
 221. Pruski K. (2007). The Canon of Potato Science: In vitro Multiplication through Nodal Cuttings. *Potato Research*, Vol. 50 (3/4), p. 293–296.
 222. Pruski K., Astatkie T., Duplessis P., Lewis T., Nowak J., Struik P. C. (2003). Use of Jasmonate for Conditioning of Potato Plantlets and Microtubers in Greenhouse Production of Minitubers. *American Journal of Potato Research*, Vol. 80 (February), p. 183–193.
 223. Pruski K., Astatkie T., Nowak J. (2002). Jasmonate effects on in vitro tuberization and tuber bulking in two potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Under different media and photoperiod conditions. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, Vol. 38 (2), p. 203–209.
 224. Radcliffe E.B., Ragsdale D.W., Suranyi R.A. (2007). IPM Case Studies: Seed Potato. **In:** van Emden H.F., Harrington R. (Eds.). *Aphids as crop pests*. Wallingford: CABI international. p. 613–625.
 225. Radouani A., Lauer F. I. (2015). Field Performance of Cultivars Nicola and Russet Burbank Micro and Minitubers. *American Journal of Potato Research*, Vol. 92 (2), p. 298–302.
 226. Radzka E., Rymuza K., Lenartowicz T. (2015). Analysis of hydrothermal conditions and their impact on early potato yields. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 16 (2), p. 120–124.
 227. Ranalli P. (1997). Innovative propagation multiplication programmes methods in seed tuber Propagule production. *Potato Research*, Vol. 40 , p. 439–453.
 228. Ranalli P., Bassi F., Ruaro G., Re P., Candilo M., Mandolino G. (1994). Microtuber and minituber production and field performance compared with normal tubers. *Potato Research*, Vol. 37 (4), p. 383–391.
 229. Ranalli P., Forti E., Mandolino G., Casarini B. (1990). Improving production and health of seed potato stocks in Italy. *Potato Research*, Vol. 33 (3), p. 377–387.
 230. Rannali P. (2007). The Canon of Potato Science: Microtubers. *Potato Research*, Vol. 50 (3/4), p. 301–304.
 231. Rasocha V., Hausvater E., Doležal, P. (2008). *Harmful agents of potato*. Havlíčkův Brod: Havlíčkův Brod, Potato Research institute. 161 p.
 232. Ratner B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between 1/1, or do they. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, Vol. 17 (2), p. 139–142.
 233. Reich P. B. (2002). Root-shoot relations: optimally in acclimation and adaption or the “Emperor’s new clothes”? **In:** *Plant roots. The hidden half*. Basel: Marcel Dekker Inc., p. 205–220.
 234. Reust W. (1986). Working group Physiological age of the potato. *Potato Research*, Vol. 29 (2), p. 251–271.
 235. Ritter E., Angulo B., Riga P., Herrán C., Relloso J., San Jose M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, Vol. 44 (2), p. 127–135.
 236. Roca W. M., Espinoza N. O., Roca M. R., Bryan J. E. (1978). A tissue culture method for the rapid propagation of potatoes. *American Journal of Potato Research*, Vol. 55, p. 691–701.

237. Rodríguez-Falcón M., Bou J., Prat S. (2006). Seasonal control of tuberization in potato: Conserved elements with the flowering response. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 57 (June 2014), p. 151–180.
238. Rokka V., Kämäräinen-Karppinen T., Virtanen E., Pirttilä, A. M. (2013). Bioreactor technologies for mass propagation of potato. **In:** Mérillon J.M. (Ed.). *Bulbous Plants: Biotechnology*. CRC Press. p. 37–49.
239. Rolot J. L. (2007). *Rapport d'essai démonstratif subsidié par la Direction générale de l'Agriculture sous le n° ED 07 / 09 . Saison culturale 2007 « Projet de démonstration de l'utilisation de microtubercules, minitubercules et vitroplants acclimatés dans l'exploit*. Libramont: Centre Wallon de recherches agronomiques, 29 p.
240. Rolot J. L., Seutin H. (1999). Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. *Potato Research*, Vol. 42 (3–4), p. 457–469.
241. Rosenberg V., Särekanno M., Kotkas K., Vasar V., Ojarand A. (2007). Variation of agronomic traits of potato somaclones produced by meristem culture. *South African Journal of Plant and Soil*, Vol. 24 (2), p. 95–99.
242. Roth S., Hyde J. (2002). Partial Budgeting for Agricultural Businesses. The Pennsylvania State University. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 20. sept.]. Pieejams: <https://extension.psu.edu/partial-budgeting-for-agricultural-businesses>
243. Roy R. D., Souza Machado V., Alam S. M. M., Ali A. (1995). Greenhouse production of potato (*Solanum tuberosum* L. cv . Desiree) seed tubers using in vitro plantlets and rooted cuttings in large propagation beds. *Potato Research*, Vol. 38 (1), p. 61–68.
244. Roze K. (1975). Sēklas kartupeļu paaugstinātā savairošana. Rīga: Zinātne. 22 lpp.
245. Rusite E., Gertnere, D. (2001). Induction of stress tolerance in potato microplants by hydrogen peroxide in vitro. *Acta Horticulturae*, Vol. 560, p. 315–318.
246. Ruža A., Skrabule I., Vaivode A. (2013). Influence of nitrogen on potato productivity and nutrient use efficiency. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, Vol. 67 (3), p. 247–253.
247. Rykaczewska K. (2016a). Field performance of potato minitubers produced in aeroponic culture. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 62 (11), p. 522–526.
248. Rykaczewska K. (2016b). The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 62 (5), p. 210–214.
249. Rykbost K. A., Charlton B. A. (2004). Effects of prenuclear minituber seed size on production of Wallowa Russet seed. **In:** *Research in the Klamath Basin 2004 Annual Report*, p. 38–43.
250. Salaman R. (2008). *The history and social influence of the potato*. 2nd ed. London, UK: Cambridge University Press. 685 p.
251. Sanchez G. E., Slack S. A., Dodds J. H. (1991). Response of selected *Solanum* species to virus eradication therapy. *American Potato Journal*, Vol. 68 (5), p. 299–315.
252. Sands P. J., Regel P. A. (1983). V. A simple model for predicting graded yields. *Field Crops Research*, Vol. 6 (C), p. 25–40.
253. Santos B. M., Rodriguez P. R. (2008). Optimum In-row Distances for Potato Minituber Production. *HortTechnology*, Vol. 18 (3), p. 403–406.
254. Särekanno M., Kadaja J., Kotkas K., Rosenberg V., Eremeev V. (2012). Development of field-grown potato plants derived from meristem plants multiplied with different methods. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, Vol. 62 (2), p. 114–124.
255. Särekanno M., Kadaja J., Kotkas K., Rosenberg V., Vasar V., Ojarand A., Eremeev V. (2010). Dependence of leaf area index on different multiplication methods of potato meristem plants grown under field conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, Vol. 60 (1), p. 1–9.

256. Särekanno M., Kadaja J., Kotkas K., Rosenberg V., Vasar V., Saue T., Ereemeev V. (2010a). Potato seed from meristem plants using EVIKA multiplication methods. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, Vol. 60 (2), p. 101–109.
257. Särekanno M., Kadaja J., Kotkas K., Rosenberg V., Vasar V., Saue T., Ereemeev V. (2010b). Yield potential and tuber-size distribution using EVIKA multiplication methods. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, Vol. 60 (4), p. 297–306.
258. Schmilewski G. (2008). The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*, Vol. 3. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 20. febr.]. Pieejams: http://mires-and-peat.net/map03/map_03_02.pdf
259. Schum A., Meise P., Jansen G., Seddig S., Ordon F. (2017). Evaluation of nitrogen efficiency associated traits of starch potato cultivars under in vitro conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, Vol. 130 (3), p. 651–665.
260. Seabrook J. E. A. (2005). Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum*) in vitro: A review. *American Journal of Potato Research*, Vol. 82 (5), p. 353–367.
261. Seabrook J. E. A., Percy J. E., Douglass L. K., Tai G. C. C. (1995). Photoperiod in vitro affects subsequent yield of greenhouse- grown potato tubes. *American Potato Journal*, Vol. 72 (6), p. 365–373.
262. Sharma A. K., Kumar V., Venkatasalam E. (2014). Effect of method of planting and plantlet density on potato mini-tuber production. *Potato Journal*, Vol. 41 (1), p. 52–57.
263. Shukla M. R., Singh A. S., Piunno K., Saxena P. K., Jones A. M. P. (2017). Application of 3D printing to prototype and develop novel plant tissue culture systems. *Plant Methods*, Vol. 13 (1), p. 1–11.
264. Slack A. S. (1980). Meristem tip Culture. *Plant Disease*, Vol. 64 (1), p. 15–17.
265. Slack A.S. (1993). Seed certification and seed improvement programs. **In:** Rowe R. (Ed.). *Potato Health Management*. St Paul: American Phytopathological Society Press. p. 61–65.
266. Streck N. A., de Paula F. L. M., Bisognin D. A., Heldwein A. B., Dellai J. (2007). Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 142 (1), p. 1–11.
267. Struik P.C. (2006). Physiological age of seed potato. **In:** *NJF-Seminar 386 Seed Potatoes: Physiological age, diseases and variety testing in the Nordic countries 1-2 February 2006, Sigtuna, Sweden. Nordic Association of Agricultural Scientists (NJF)*. Vol. 2, p. 3–5.
268. Struik P.C. (2007a). Above-ground and below-ground plant development. **In:** Vreugdenhil D, Bradshaw J., Gebhardt C., Govers F, Taylor M., MacKerron D., Ross H. (Eds.). *Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier B.V. p. 219–236.
269. Struik P C. (2007b). Responses of the potato plant to temperature. **In:** Vreugdenhil D, Bradshaw J., Gebhardt C., Govers F, Taylor M., MacKerron D., Ross H. (Eds.). *Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier B.V. p. 367–393.
270. Struik P. C. (2007c). The Canon of Potato Science: Minitubers. *Potato Research*, Vol. 50 (3–4), p. 305–308.
271. Struik P. C., Haverkort A. J., Vreugdenhil D., Bus C. B., Dankert R. (1990). Manipulation of tuber-size distribution of a potato crop. *Potato Research*, Vol. 33 (4), p. 417–432.
272. Struik P. C., Vreugdenhil D., Haverkort A. J., Bus C. B., Dankert R. (1991). Possible mechanisms of size hierarchy among tubers on one stem of a potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. *Potato Research*, Vol. 34 (2), p. 187–203.

273. Struik P. C., Lommen W. J. M. (1999). Improving the field performance of micro-and minitubers. *Potato Research*, Vol. 42 (3–4), p. 559–568.
274. Struik P. C., Wiersema S.G. (1999). *Seed potato technology*. Wageningen: Wageningen academic publishers. 383 p.
275. Struik P. C., Van der Putten P. E. L., Caldiz D. O., Scholte K. (2006). Response of stored potato seed tubers from contrasting cultivars to accumulated day-degrees. *Crop Science*, Vol. v. 46 (3), p. 1156–1168.
276. Svubure O., Struik P. C., Haverkort A. J., Steyn J. M. (2015). Yield gap analysis and resource footprints of Irish potato production systems in Zimbabwe. *Field Crops Research*, Vol. 178 , p. 77–90.
277. Šip V. (1972). Eradication of potato viruses A and S by thermotherapy and sprout tip culture. *Potato Research*, Vol. 15 (3), p. 270–273.
278. Tadesse M. (2007). The Canon of Potato Science: Transplants. *Potato Research*, Vol. 50 (3/7), p. 297–299.
279. Tadesse M., Lommen W. J. M., Struik P. C. (2001a). Development of micropropagated potato plants over three phases of growth as affected by temperature in different phases. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, Vol. 49 (1), p. 53–66.
280. Tadesse M., Lommen W. J. M., Struik P. C. (2001b). Effects of temperature pre-treatment of transplants from in vitro produced potato plantlets on transplant growth and yield in the field. *Potato Research*, Vol. 44 (2), p. 173–185.
281. Thornton M. K., John R., Buhrig W. (2014). The Influence of Plant Growth Regulators and Inflorescence Removal on Plant Growth, Yield, and Skin Color of Red LaSoda Tubers. *Potato Research*, Vol. 57 (2), p. 123–131.
282. Tierno R., Carrasco A., Ritter E., de Galarreta J. I. R. (2014). Differential Growth Response and Minituber Production of Three Potato Cultivars Under Aeroponics and Greenhouse Bed Culture. *American Journal of Potato Research*, Vol. 91 , p. 346–353.
283. Tigner R. (2018). *Partial budgeting: Making Incremental Farm Business Changes*. Cornhusker Economics, University of Nebraska-Lincoln Extension. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 1. apr.]. Pieejams: <https://agecon.unl.edu/cornhusker-economics/2018/partial-budgeting>
284. Tisserat B., Silman R. (2000). Interactions of culture vessels, media volume, culture density, and carbon dioxide levels on lettuce and spearmint shoot growth in vitro. *Plant Cell Reports*, Vol. 19 (5), p. 464–471.
285. Travis K. Z. (1987). Use of a simple model to study factors affecting the size distribution of tubers in potato crops. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 109 (03), p. 563–571.
286. Turka I. (1994). *Pētījumi par sistēmu “Kartupeļu sēkludzēšana - kukaiņi - vīrusslimības” Latvijā : disertācija kā paplašināts referāts Dr.h. lauksaimniecības zinātniskā grāda iegūšanai*. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava. 97 lpp.
287. Turka I., Lazda, V. (1990). *Kartupeļu vīrusslimības un to ierobežošana*. Jelgava: LLA, Augu aizsardzības katedra. 33 lpp.
288. *UNECE Standard S-1*. (2018). UNECE Standard S-1 Concerning the Marketing and Commercial Quality Control of Seed Potatoes. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 1. apr.]. Pieejams: <https://unece.org/trade/wp7/SeedPotatoes-Standards>
289. Valkonen J.P.T. (2007). Viruses: economical losses and biotechnological potential. *In*: Vreugdenhill D, Bradshaw J., Gebhardt C., Govers F, Taylor M., MacKerron D., Ross H. (Eds.). *Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier B.V. p. 619–641
290. Van Dam J., Kooman P. L., Struik P. C. (1996). Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, Vol. 39 (1), p. 51–62.

291. Van Delden A., Pecio A., Haverkort A. J. (2000). Temperature response of early foliar expansion of potato and wheat. *Annals of Botany*, Vol. 86 (2), p. 355–369.
292. Van der Zaag D. E., Van Loon C. D. (1987). Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 5. Review of literature and integration of some experimental results. *Potato Research*, Vol. 30 (3), p. 451–472.
293. Van Dijk L. C. M., de Vries M. E., Lommen W. J. M., Struik P. C. (2021a). Transplanting Hybrid Potato Seedlings at Increased Densities Enhances Tuber Yield and Shifts Tuber-Size Distributions. *Potato Research*. [Tiešsaiste] [skatīts 2022. g. 1. apr.]. Pieejams: <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09522-z>
294. Van Dijk L. C. M., Lommen W. J. M., de Vries M. E., Kacheyo O. C., Struik P. C. (2021b). Hilling of Transplanted Seedlings from Novel Hybrid True Potato Seeds Does Not Enhance Tuber Yield but Can Affect Tuber Size Distribution. *Potato Research*, Vol. 64 (3), p. 353–374.
295. Van Ittersum M. K. (1992). Variation in the duration of tuber dormancy within a seed potato lot. *Potato Research*, Vol. 35 (3), p. 261–269.
296. Van Keulen H., Stol W. (1995). Agro-ecological zonation for potato production. **In:** Haverkort A.J., MacKerron D.K.L. (Eds.) *Potato ecology and modeling of crops under conditions limiting growth*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 357–372.
297. Van Loon C. D. (1987). Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 4. Influence of storage period and storage temperature on growth and yield in the field. *Potato Research*, Vol. 30 (3), p. 441–450.
298. Van Loon C. D. (2007). The seed potato market. **In:** D. Vreugdenhill, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, M. Taylor, D. MacKerron, H. Ross (Eds.), *Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives*. Amsterdam, Elsevier, p. 45–51
299. Vanaei H., Kahrizi D., Chaichi M., Shabani G., Zarafshani K. (2008). Effect of Genotype , Substrate Combination and Pot Size on Minituber Yield in Potato (*Solanum tuberosum* L .). *American -Eurasian J. Agric.&Environm.Sci.*, Vol. 3 (6), p. 818–821.
300. Veeken A. J. H., Lommen W. J. M. (2009). How Planting Density Affects Number and Yield of Potato Minitubers in a Commercial Glasshouse Production System. *Potato Research*, Vol. 52 (2), p. 105–119.
301. Virtanen E., Tuomisto J. (2016). Hydroponic Minituber Production in Growth Room Conditions and Carry-Over Effects of the Technique on Produced Minitubers. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 9 (1), p. 41–48.
302. Vos J. (2009). Nitrogen responses and nitrogen management in potato. *Potato Research*, Vol. 52 (4), p. 305–317.
303. Wale S., Platt B., Kattlin, N.D (2011). *Diseases, Pests and Disorders of Potatoes*. 2nd ed. London, UK: Manson Publishing. 176 p.
304. Walworth J. L., Carling D. E. (2002). Tuber initiation and development in irrigated and non-irrigated potatoes. *American Journal of Potato Research*, Vol. 79 (6), p. 387–395.
305. Wang B., Ma Y., Zhang Z., Wu Z., Wu Y., Wang Q., Li M. (2011). Potato viruses in China. *Crop Protection*, Vol. 30 (9), p. 1117–1123.
306. Wasilewska-Nascimento B., Boguszewska-Mańkowska D., Zarzyńska K. (2020). Challenges in the Production of High-Quality Seed Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in the Tropics and Subtropics. *Agronomy*, Vol. 10 (2), p. 260.
307. Wattimena G., McCown B., Weis G. (1983). Comparative field performance of potatoes from microculture. *American Journal of Potato Research*, Vol. 60 (1), p. 27–33.
308. Wheeler R. M., Mackowiak C. L., Sager J. C., Knott W. M., Hinkle C. R. (1990). Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *American Journal of Potato Research*, Vol. 67 , p. 177–187.
309. Wiersema S. G. (1986). A method of producing seed tubers from true potato seed. *Potato Research*, Vol. 29 (2), p. 225–237.
310. Wiersema S.G. (1987). *Effect of stem density on potato production*. Lima: International

- Potato Center. 16 p.
311. Wiersema S. G. (1989). Comparative performance of three small seed tuber sizes and standard size seed tubers planted at similar stem densities. *Potato Research*, Vol. 32 (1), p. 81–89.
 312. Wiersema S. G., Cabello R. (1986). Comparative performance of different-sized seed tubers derived from true potato seed. *American Potato Journal*, Vol. 63 (5), p. 241–249.
 313. Wiersema S. G., Cabello R., Tovar P., Dodds J. H. (1987). Rapid seed multiplication by planting into beds micro tubers and in vitro plants. *Potato Research*, Vol. 30 (1), p. 117–120.
 314. Wilson D. A., Weigel R. C., Wheeler R. M., Sager J. C. (1993). Light spectral quality effects on the growth of potato (*Solanum Tuberosum* L.) nodal cuttings in vitro. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, Vol. 29 , p. 5–8.
 315. Wilson J. B. (1988). A Review of Evidence on the Control of Shoot : Root Ratio, in Relation to Models. *Annals of Botany*, Vol. 61 , p. 433–449.
 316. Wolf S. (1993). Effect of leaf age on photosynthesis, carbon transport and carbon allocation in potato plants. *Potato Research*, Vol. 36 (3), p. 253–262.
 317. Wright N. S. (1983). Uniformity among virus-free clones of ten potato cultivars. *American Potato Journal*, Vol. 60 , p. 381–388.
 318. Wrobel S. (2014). Assessment of Possibilities of Microtuber and in vitro Plantlet Seed Multiplication in Field Conditions . Part 1 : PVY , PVM and PLRV Spreading. *American Journal of Potato Research*, Vol. 91 , p. 554–565.
 319. Wrobel S. (2015). Assessment of potato microtuber and in vitro plantlet seed multiplication in field conditions – Growth, development and yield. *Field Crops Research*, Vol. 178 , p. 26–33.
 320. Wurr D. C. E., Fellows J. R., Akehurst J. M., Hambidge A. J., Lynn J. R. (2001). The effect of cultural and environmental factors on potato seed tuber morphology and subsequent sprout and stem development. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 136 , p. 55–63.
 321. Wurr D. C. E., Fellows J. R., Lynn J. R., Allen E. J. (1993). The impact of some agronomic factors on the variability of potato tuber size distribution. *Potato Research*, Vol. 36 (3), p. 237–245.
 322. Yang L., Nie B., Liu J., Song B. (2014). A Reexamination of the Effectiveness of Ribavirin on Eradication of Viruses in Potato Plantlets in vitro Using ELISA and Quantitative RT-PCR. *American Journal of Potato Research*, Vol. 91 (3), p. 304–311.
 323. Yin X., Kropff M. J., McLaren G., Visperas R. M. (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 77 (1–2), p. 1–16.
 324. Yuan F. M., Bland W. (2005). Comparison o f Light- and Temperature-based Index Models for Potato (*Solanum tuberosum* L.) Growth and Development. *American Journal of Potato Research*, Vol. 82 (5), p. 345–352.
 325. Yuan F. M., Bland W. L. (2004). Light and temperature modulated expolinear growth model for potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 121 (3–4), p. 141–151.
 326. Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, Vol. 14 , p. 415–421.
 327. Zapata Arias F. J., Akter S., Haque Asadul S. M., Akther S., Khatun F., Mazid M. A., Hossain M. (2014). The Significance of Non controlled Natural Light, Temperature and Humidity in the Commercial Micropropagation of *Solanum tuberosum* L. Cultivar Diamant. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, Vol. 24 (2), p. 131–139.
 328. Zapata C., Miller J. C., Smith R. H. (1995). An in vitro procedure to eradicate potato viruses X, Y, and S from Russet Norkotah and two of its strains. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, Vol. 31 (3), p. 153–159.

329. Zariņa L. (1997). Sēklas frakcijas un stādīšanas attāluma ietekme uz kartupeļu ražas veidošanos. **No:** A. Priedītis (Ed.), *Zinātniskās konferences 1997.gada 13. un 14. februārī referātu tēzes*. Jelgava: LLU. 125. lpp.
330. Zarrabeitia A., Lejarceguil X., Veramendi J., Mingo-castep A. M. (1997). Influence of nitrogen supply on micropropagation and subsequent microtuberization of four potato cultivars. *American Journal of Potato Research*, Vol. 74, p. 369–378.
331. Zobayed S. (2001). Micropropagation of Potato: Evaluation of Closed, Diffusive and Forced Ventilation on Growth and Tuberization. *Annals of Botany*, Vol. 87 (1), p. 53–59.
332. Вазнонене И. (1975). Выращивание здорового исходного материала для элиты картофеля в Литовском Научно исследовательском институте Земледелия. **В: Современные методы получения безвирусного картофеля**. Тезисы докладов по Всесоюзному семинару-совещанию. Москва. с. 39–41.
333. Дапкунене С. (1992). *Культура оздоровленного меристемного картофеля и ее свойства*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Вильнюс. 20 с.
334. Дуда В. (1968). *Вирусные болезни картофеля и проблемы выращивания безвирусного картофеля в Латвии*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Ленинград. 32 с.
335. Кеса Н. (1973а). Влияние загущения посадок и предуборочного удаления ботвы на урожай и качество семенного картофеля в условиях Латвийской ССР. **В: Результаты Исследований Молодых Ученых По Картофелю**, Москва. с. 39–42.
336. Кеса Н. (1973b). *Влияние загущения посадок и предуборочного удаления ботвы на урожай и качество семенного картофеля в условиях Латвийской ССР*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Москва. 26 с.
337. Кеса Н. (1975). Основные приемы выращивания безвирусного семенного картофеля на Приекульской селекционно-опытной станции. **В: Современные методы получения безвирусного картофеля**. Тезисы докладов по Всесоюзному семинару-совещанию. Москва. с. 43–44.
338. Миглавс У. (1974). *Вирусные болезни и методы выращивания оздоровленного картофеля в Латвийской ССР*. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Латвийская ордена Трудового Красного Знамени Сельскохозяйственная академия, Елгава. 203 с.
339. Миглавс, У. (1975а). *Вирусные болезни и методы выращивания оздоровленного картофеля в Латвийской ССР*. Автореферат диссертации кандидата биологических наук. Елгава. 23 с.
340. Миглавс У. (1975b). Опыт оздоровления картофеля сортов Лаймдота и Ранний желтый от вирусов Х, М и S. **В: Современные методы получения безвирусного картофеля**. Тезисы докладов по Всесоюзному семинару-совещанию. Москва. с. 18–19.
341. Розенберг В. (1975). Опыт получения свободных от вирусов растений сорта Йегева Коллане методом верхушечной меристемы. **В: Современные методы получения безвирусного картофеля**. Тезисы докладов по Всесоюзному семинару-совещанию. Москва. с. 15–16.
342. Розенберг В. (1980). *Факторы влияющие на эффективность оздоровление картофеля от мозаичных вирусов методом верхушечной меристемы*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Самохваловичи, Минская область. 22 с.

PIELIKUMI

Pētījumā izmantoto šķirņu raksturojums

Izcelsme un raksturojuma pazīme	‘Monta’	‘Prelma’	‘Mandaga’
Uzturētājs un selekcionāru tiesību pārstāvis	AREI		
Izcelsme	16934.1 / ‘Ausonia’	‘Ibis’ / ‘Rosara’	‘Picasso’ / ‘Zarevo’
Reģistrēšanas gads	2003	2010	2010
Morfoloģiskais raksturojums	Cers zems līdz vidējs, izklīdēts. Lapas lielas, gaiši zaļas. Ziedi – balti. Bumbuļi ovāli, izlīdzināti, acis sekla, Miza dzeltena, mīkstums gaiši dzeltens.	Cers vidēji augsts, izklīdēts. Lapas lielas līdz vidējās. Ziedi – balti. Bumbuļi ovāli, izlīdzināti, acis sekla. Miza dzeltena, mīkstums dzeltens.	Cers vidēji stāvs. Ziedi – sārti violeti. Bumbuļi ovāli, acis sekla, Miza dzeltena, mīkstums gaiši dzeltens
Izmantošana	Pārtikai, agraī ražai.	Pārtikai, agraī ražai.	Pārtikai
Saimnieciskais raksturojums	Agrīna šķirne. Gatavošanas tips – vidēji līdz maz miltaini, atdziestot netumšojas. Cietes saturs – vidējs.	Vidēji agrīna šķirne. Gatavošanas tips – vidēji līdz maz miltaini, atdziestot netumšojas. Garša – laba. Cietes saturs – vidējs.	Vidēji vēlīna šķirne. Gatavošanas tips – miltaini, atdziestot netumšojas. Cietes saturs – vidējs līdz augsts.

Kartupeļu mikroaugu stādījuma biežības ietekmes uz sīkbumbuļu skaitu un ražu siltumnīcā izmēģinājumu plāna paraugs, 2014. g.

1. atkārtojums		V1D3			V1D1			V1D4			V1D2	
	V1D3	V1D3	V1D3	V1D1	V1D1	V1D1	V1D4	V1D4	V1D4	V1D2	V1D2	V1D2
		V1D3			V1D1			V1D4			V1D2	
otrās pakāpes lauciņa nr.	1			2			3			4		
Laučiņa nr.	1											
2. atkārtojums		V3D2			V3D4			V3D1			V3D3	
	V3D2	V3D2	V3D2	V3D4	V3D4	V3D4	V3D1	V3D1	V3D1	V3D3	V3D3	V3D3
		V3D2			V3D4			V3D1			V3D3	
otrās pakāpes lauciņa nr.	13			14			15			16		
Laučiņa nr.	4											
3. atkārtojums		V2D4			V2D3			V2D1			V2D2	
	V2D4	V2D4	V2D4	V2D3	V2D3	V2D3	V2D1	V2D1	V2D1	V2D2	V2D2	V2D2
		V2D4			V2D3			V2D1			V2D2	
otrās pakāpes lauciņa nr.	25			26			27			28		
Laučiņa nr.	7											

	V2D3			V2D4			V2D2			V2D1			
V2D3	V2D3	V2D3	V2D4	V2D4	V2D4	V2D2	V2D2	V2D2	V2D1	V2D1	V2D1	V2D1	
	V2D3			V2D4			V2D2			V2D1			
5				6				7				8	
2													
	V1D4			V1D3			V1D2			V1D1			
V1D4	V1D4	V1D4	V1D3	V1D3	V1D3	V1D2	V1D2	V1D2	V1D1	V1D1	V1D1	V1D1	
	V1D4			V1D3			V1D2			V1D1			
17				18				19				20	
5													
	V3D1			V3D4			V3D3			V3D2			
V3D1	V3D1	V3D1	V3D4	V3D4	V3D4	V3D3	V3D3	V3D3	V3D2	V3D2	V3D2	V3D2	
	V3D1			V3D4			V3D3			V3D2			
29				30				31				32	
8													

	V3D3			V3D2			V3D4			V3D1		
V3D3	V3D3	V3D3	V3D2	V3D2	V3D2	V3D4	V3D4	V3D4	V3D1	V3D1	V3D1	V3D1
	V3D3			V3D2			V3D4			V3D1		
9		10				11			12			
3												
	V2D2			V2D4			V2D3			V2D1		
V2D2	V2D2	V2D2	V2D4	V2D4	V2D4	V2D3	V2D3	V2D3	V2D1	V2D1	V2D1	V2D1
	V2D2			V2D4			V2D3			V2D1		
21		22				23			24			
6												
	V1D4			V1D2			V1D1			V1D3		
V1D4	V1D4	V1D4	V1D2	V1D2	V1D2	V1D1	V1D1	V1D1	V1D3	V1D3	V1D3	V1D3
	V1D4			V1D2			V1D1			V1D3		
33		34				35			36			
9												

APZĪMĒJUMI

Šķirne		Mikroaugu stādīšanas biežība		Augu skaits	
				kastē	skaitis m ²
V1	Monta		D1	12	63
V2	Prelma		D2	18	95
V3	Mandaga		D3	27	142
			D4	35	184

Sīkbumbuļu novākšana un šķirošana pēc to masas



Kartupeļu sīkbumbuļu agronomiskā snieguma lauka apstākļos novērtēšanai iekārtoto lauka izmēģinājuma plāna paraugs, 2016. g.

Vaga nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52								
4. atkārtojums	Izolācija	Izolācija	V2F3				V2F1				V2F4				V2F2				V3F4				V3F1				V3F3				V3F2				V1F3				V1F1				V1F4				V1F2				Izolācija	Izolācija								
Otrās pakāpes lauciņa numurs			37				38				39				40				41				42				43				44				45				46				47				48													
Laučiņa numurs			10																		11																		12																					
3. atkārtojums	Izolācija	Izolācija	V1F2				V1F4				V1F1				V1F3				V2F2				V2F3				V2F4				V2F1				V3F4				V3F3				V3F2				V3F1				Izolācija	Izolācija								
Otrās pakāpes lauciņa numurs			25				26				27				28				29				30				31				32				33				34				35				36													
Laučiņa numurs			7																		8																		9																					
2. atkārtojums	Izolācija	Izolācija	V3F3				V3F1				V3F2				V3F4				V1F1				V1F2				V1F4				V1F3				V2F1				V2F2				V2F3				V2F4				Izolācija	Izolācija								
Otrās pakāpes lauciņa numurs			13				14				15				16				17				18				19				20				21				22				23				24													
Laučiņa numurs			4																		5																		6																					
1. atkārtojums	Izolācija	Izolācija	V1F4				V1F2				V1F3				V1F1				V2F4				V2F1				V2F3				V2F2				V3F2				V3F4				V3F1				V3F3				Izolācija	Izolācija								
Otrās pakāpes lauciņa numurs			1				2				3				4				5				6				7				8				9				10				11				12													
Laučiņa numurs			1																		2																		3																					
Vaga nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52								

APZĪMĒJUMI

Šķirne	V1	Monta	Sīkbumbuļu frakcija (masa, g)	F1	3-5 g
	V2	Prelma		F2	5-10 g
	V3	Mandaga		F3	10-20 g
				F4	>20 g

MS (Murašiges un Skūga) barotnes sastāvs

Viela	Koncentrācija, mg L ⁻¹
Makroelementi	
NH ₄ NO ₃	1650
KNO ₃	1900
KH ₂ PO ₄	170
CaCl ₂ × 2H ₂ O	440
MgSO ₄ × 7H ₂ O	370
Mikroelementi	
H ₃ BO ₃	6.20
CoCl ₂ × 6H ₂ O	0.025
Na ₂ MoO ₄ × 2 H ₂ O	0.25
KI	0.83
MnSO ₄ × 4H ₂ O	22.30
CuSO ₄ × 5H ₂ O	0.025
ZnSO ₄ × 7H ₂ O	8.60
FeSO ₄ × 7H ₂ O	27.80
Na ₂ EDTA × 2H ₂ O	37.3

Vidējā gaisa temperatūra Priekuļos, 2014.–2016. g.
(LVĢMC Priekuļu meteoroloģisko novērojumu stacijas dati)

Mēnesis	Dekāde	2014		2015		2016	
		Vidēji, °C	Novirze no ilgg. datiem, °C *	Vidēji, °C	Novirze no ilgg. datiem, °C *	Vidēji, °C	Novirze no ilgg. datiem, °C *
Maijs	2	13.5	2.3	8.8	-3.1	12.0	0.1
	3	15.5	2.7	11.6	-1.5	16.6	3.4
	<i>Vidēji</i>	11.9	0.8	10.2	-1.5	14.5	2.7
Jūnijs	1	16.8	2.9	14.1	-0.6	14.5	-0.1
	2	12.0	-2.8	14.6	0.1	14.7	0.2
	3	11.7	-3.9	14.4	-1.3	20.1	4.5
	<i>Vidēji</i>	13.5	-1.3	14.3	-0.6	16.4	1.5
Jūlijs	1	18.0	1.6	17.5	0.5	16.9	-0.2
	2	18.5	1.5	14.4	-3.4	17.0	-0.8
	3	21.8	4.6	15.8	-1.9	19.5	1.8
	<i>Vidēji</i>	19.5	2.6	15.9	-1.6	17.9	0.4
Augusts	1	21.8	4.7	19.1	1.4	16.7	-0.1
	2	16.0	-0.2	16.7	0.3	14.6	-1.8
	3	12.7	-1.8	17.5	2.6	17.6	2.7
	<i>Vidēji</i>	16.7	0.8	17.8	1.4	16.3	0.0

* Ilggadīgie vidējie rādītāji (norma) aprēķināti laika periodam 1920.–2010. g.

Nokrišņu summa Priekuļos, 2014.–2016. g.
(LVĢMC Priekuļu meteoroloģisko novērojumu stacijas dati)

Mēnesis	Dekāde	2014		2015		2016	
		Summa, mm	% no ilgg. datiem	Summa, mm	% no ilgg. datiem	Summa, mm	% no ilgg. datiem
Maijs	2	36.0	195	19.3	100	9.3	48
	3	36.5	174	24.3	115	0.5	2
	<i>Kopā</i>	96.7	173	53.3	97	9.8	18
Jūnijs	1	15.9	67	0.8	3	9.6	40
	2	49.7	190	6.2	21	49.3	167
	3	42.7	149	32.4	117	85.6	309
	<i>Kopā</i>	108.3	138	39.4	49	144.5	178
Jūlijs	1	45.4	149	21.9	107	40.7	199
	2	16.9	54	53.3	162	55.6	169
	3	14.2	45	16.3	50	13.2	40
	<i>Kopā</i>	76.5	82	91.5	106	109.5	127
Augusts	1	30.2	98	16	65	54.5	223
	2	48.4	165	1.3	6	72.7	312
	3	79.6	285	6.8	20	48.6	144
	<i>Kopā</i>	158.2	180	24.1	30	175.8	216

* Ilggadīgie vidējie rādītāji (norma) aprēķināti laika periodam 1920.–2010. g.

**Šķirnes (G), mikroaugu stādījuma biežības (MSB) un faktoru mijiedarbības (G × MSB)
ietekmes p vērtības un faktoru ietekmes īpatsvars (η, %)
uz sīkbumbuļu ražu raksturojošiem rādītājiem, vidēji 2014.–2016. g.**

Faktors	Pavairošanas koeficients siltumnīcā	η, %	Sīkbumbuļu skaits, gab m ⁻²	η, %	Sīkbumbuļu ražā, kg m ⁻²	η, %	Sīkbumbuļa vidējā masa, g	η, %
G	*	2.6	p=0.057	×	p=0.079	×	**	9.7
MSB	***	58.5	***	4.32	p=0.392	×	***	20.1
G × MSB	p=0.231	×	p=0.185	×	p=0.808	×	p=0.815	×

* p<0.05

** p<0.01

*** p<0.001

× ietekmes īpatsvars nav noteikts, jo faktora ietekme uz pētāmo pazīmi nav statistiski būtiska

Šķirnes (G), mikroaugu stādījuma biežības (MSB) un faktoru mijiedarbības (G × MSB) ietekmes uz sīkbumbuļu sadalījumu frakcijās p vērtības un faktoru ietekmes īpatsvars (η, %), vidēji 2014.–2016. g.

Faktors	Sīkbumbuļu frakcija 3.00–4.99 g (f1)				Sīkbumbuļu frakcija 5.00–9.99 g (f2)				Sīkbumbuļu frakcija 10.00–19.99 g (f3)				Sīkbumbuļu skaits frakcijā ≥20 g (f4)			
	Sīkbumbuļu skaits, gab m ⁻²	η, %	Frakcijas īpatsvars, %	η, %	Sīkbumbuļu skaits, gab m ⁻²	η, %	Frakcijas īpatsvars, %	η, %	Sīkbumbuļu skaits frakcijā, gab m ⁻²	η, %	Frakcijas īpatsvars, %	η, %	Sīkbumbuļu skaits, gab m ⁻²	η, %	Frakcijas īpatsvars, %	η, %
G	***	10.6	***	16.1	*	4.0	**	6.9	***	13.3	***	14.1	**	11.7	***	15.9
MSB	***	31.0	***	20.5	***	28.7	***	13.2	***	24.1	p=0.245	×	p=0.891	×	***	20.4
G × MSB	p=0.302	×	p=0.376	×	p=0.187	×	p=0.071	×	p=0.587	×	p=0.818	×	p=0.815	×	p=0.609	×

* p<0.05

** p<0.01

*** p<0.001

× ietekmes īpatsvars nav noteikts, jo faktora ietekme uz pētāmo pazīmi nav statistiski būtiska 95% līmenī

**Sīkbumbuļu ražu raksturojošie rādītāji, ņemti vērā visi iegūtie
sīkbumbuļi (>0 g), vidēji 2014.–2016. g.**

Šķirne	MSB	Pavairošanas koeficients (PkoefS)	Sīkbumbuļu skaits, gab m ⁻²	Sīkbumbuļu ražs, kg m ⁻²	Sīkbumbuļa vidējā masa, g
Monta	MSB63	4.9 a	305 b	5.74	19.2
	MSB95	4.2 a	396 b	6.08	15.9
	MSB142	2.8 b	401 b	5.96	15.5
	MSB184	2.7 b	503 a	6.72	13.6
Prelma	MSB63	4.3 a	270 b	6.10	23.2 a
	MSB95	3.3 b	310 b	6.04	19.2 ab
	MSB142	3.0 bc	430 a	6.20	14.3 b
	MSB184	2.4 c	440 a	6.03	14.6 b
Mandaga	MSB63	3.9 a	246 c	6.30	26.6 a
	MSB95	3.3 ab	314 bc	6.51	20.8 a
	MSB142	2.7 b	377 b	6.88	18.1 a
	MSB184	2.5 b	457 a	8.10	17.6 b

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp MSB pēc sīkbumbuļu skaita katrā atsevišķā pētītajā frakcijā atsevišķi katras šķirnes ietvaros. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī faktoram nav būtiska ietekme uz pētāmajām pazīmēm

Atšķirības starp genotipiem pēc sīkbumbuļu skaita atsevišķās frakcijās atkarībā no mikroaugu stādīšanas biežības (MSB), vidēji 2014.–2016. g.

MSB	Šķirne	Sīkbumbuļu skaits frakcijā, gab m ⁻²			
		3.00–4.99 g	5.00–9.99 g	10.00–19.99	≥20 g
MSB63	Monta	26	46 AB	92 A	106
	Prelma	20	59 A	70 AB	106
	Mandaga	15	27 B	56 B	130
MSB95	Monta	43 A	87 A	112 A	104 B
	Prelma	30 AB	60 AB	77 B	109 AB
	Mandaga	20 B	43 B	81 B	138 A
MSB142	Monta	44	77	120	99
	Prelma	60	81	110	110
	Mandaga	32	75	105	121
MSB184	Monta	63 AB	98	146 A	105
	Prelma	70 A	94	99 B	97
	Mandaga	42 B	96	112 AB	153

Atšķirīgi burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp grupām (šķirnēm pēc sīkbumbuļu skaita katrā atsevišķā pētītajā frakcijā atsevišķi katras MSB ietvaros). Ja neviens burts nav norādīts, tad atšķirības starp grupām nebija statistiski būtiskas 95% līmenī.

Atšķirības starp genotipiem pēc sīkbumbuļu frakcijas īpatsvara kopējā sīkbumbuļu skaitā dažādās mikroaugu stādīšanas biežībās (MSB), vidēji 2014.–2016. g.

MSB	Šķirne	Sīkbumbuļu frakcijas īpatsvars kopējā sīkbumbuļu skaitā, %			
		3.00–4.99 g	5.00–9.99 g	10.00–19.99	≥20 g
MSB63	Monta	9.7	16.8 AB	33.7 A	39.8 B
	Prelma	7.6	22.6 A	27.2 AB	42.7 B
	Mandaga	5.6	10.4 B	24.6 A	59.4 A
MSB95	Monta	12.3 A	24.3 A	32.3	31.1 B
	Prelma	12.0 A	20.7 A	27.5	39.8 AB
	Mandaga	7.1 B	14.7 B	28.6	49.6 A
MSB142	Monta	12.7 AB	22.2	34.6	30.5
	Prelma	16.5 A	22.6	30.6	30.3
	Mandaga	9.4 B	22.7	31.6	36.3
MSB184	Monta	15.4 AB	23.2	35.4 A	26.0
	Prelma	19.1 A	26.4	27.0 B	27.5
	Mandaga	10.4 B	24.1	28.0 B	37.5

Atšķirīgi burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp grupām (šķirnēm pēc sīkbumbuļu skaita katrā atsevišķā pētītajā frakcijā atsevišķi katras MSB ietvaros). Ja neviens burts nav norādīts, tad atšķirības starp grupām nebija statistiski būtiskas 95% līmenī

Sakarības starp sīkbumbuļu ražas rādītājiem (n=108)

Rādītāji	SbS	PkoefS	SbM	SbAW	SskF f1	F% f1	SskF f2	F% f2	SskF f3	F% f3	SskF f4	F% f4
SbS	1											
PkoefS	-0.047 ^{ns}	1										
SbM	0.371***	0.093 ^{ns}	1									
SbAW	-0.506***	0.128 ^{ns}	0.580***	1								
SskF f1	0.668***	-0.176 ^{ns}	-0.109 ^{ns}	-0.629***	1							
F% f1	0.411***	-0.219*	-0.274**	-0.597***	0.928***	1						
SskF f2	0.735***	-0.079 ^{ns}	-0.172 ^{ns}	-0.761***	0.600***	0.430***	1					
F% f2	0.429***	-0.070 ^{ns}	-0.402***	-0.754***	0.403***	0.345***	0.904***	1				
SskF f3	0.769***	-0.018 ^{ns}	-0.016 ^{ns}	-0.662***	0.462***	0.260**	0.621***	0.403***	1			
F% f3	0.233*	0.033 ^{ns}	-0.369^{ns}	-0.567***	0.079 ^{ns}	0.024 ^{ns}	0.256**	0.228*	0.781***	1		
SskF f4	0.167 ^{ns}	0.100 ^{ns}	0.912***	0.655***	-0.266**	-0.381***	-0.380***	-0.56***	-0.244*	-0.510***	1	
F% f4	-0.518***	0.112 ^{ns}	0.515***	0.937***	-0.637***	-0.608***	-0.800***	-0.804***	-0.713***	-0.629***	0.715***	1

* sakarība būtiska p<0.05 līmenī

** sakarība būtiska p<0.01 līmenī

*** sakarība būtiska p<0.001 līmenī

ns sakarība nav būtiska (p>0.05)

krāsu shēma:

0.700-1.000	0.300-0.699	0.299-(-0.299)	-0.300-(-0.699)	-0.700-(-1.000)
-------------	-------------	----------------	-----------------	-----------------

SbS sīkbumbuļu skaits

PkoefS pavairošanas koeficients siltumnīcā jeb sīkbumbuļu skaits no viena mikroauga

SbM sīkbumbuļu raža

SbAW sīkbumbuļu vidējā masa

SskF sīkbumbuļu skaits frakcijā

F% frakcijas īpatsvars kopējā sīkbumbuļu skaitā, %

f1 sīkbumbuļu frakcija 3.00-4.99 g

f2 sīkbumbuļu frakcija 5.00-9.99 g

f3 sīkbumbuļu frakcija 10.00-19.99 g

f4 sīkbumbuļu frakcija ≥20.00 g

Sīkbumbuļu ražu raksturojošo pazīmju slodze uz galvenajiem komponentiem, kuri izveidoti, izmantojot galveno komponentu analīzi (PCA), un reducējot pazīmes līdz diviem komponentiem (tabulā nav attēlotas korelāciju vērtības <0.3)

Faktors	Galvenais komponents PC	
	PC1	PC2
SbS	0.946	
SskF f2	0.845	
SskF f1	0.81	
SskF f3	0.786	
F% f4	-0.744	0.647
SbAW	-0.712	0.643
F% f1	0.62	
F% f2	0.61	-0.515
PkoefS		
SskF f4		0.966
SbM		0.964
F% f3	0.318	-0.522

SbS sīkbumbuļu skaits

PkoefS pavairošanas koeficients siltumnīcā jeb sīkbumbuļu skaits no viena mikroauga

SbM sīkbumbuļu raža

SbAW sīkbumbuļa vidējā masa

SskF sīkbumbuļu skaits frakcijā

F% frakcijas īpatsvars kopējā sīkbumbuļu skaitā, %

f1 sīkbumbuļu frakcija 3.00-4.99 g

f2 sīkbumbuļu frakcija 5.00-9.99 g

f3 sīkbumbuļu frakcija 10.00-19.99 g

f4 sīkbumbuļu frakcija ≥ 20.00 g

PC1 pazīmes, kuras saistītas ar SbS

PC2 pazīmes, kuras saistītas ar SbM

Sīkbumbuļu ražu raksturojošo rādītāju relatīvās izmaiņas, %, vidēji 2014.–2016. g.

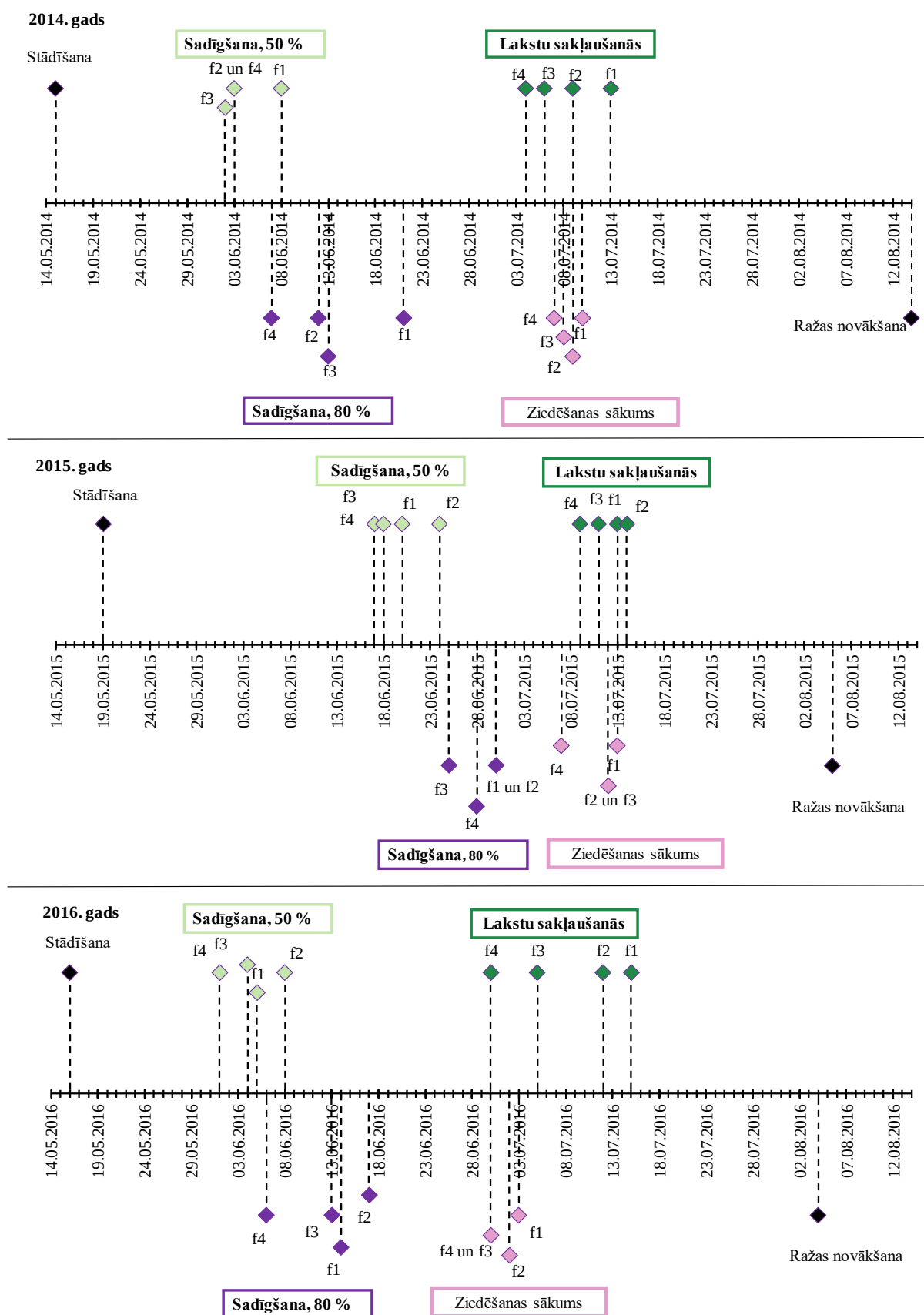
MSB starp kurām aprēķinātas izmaiņas	PkoefS	SbS	SbM	SbAW
Monta				
MSB63/MSB95	-16.3%	27.8%	5.5%	-15.6%
MSB95/MSB142	-33.3%	-1.4%	-2.3%	-0.6%
MSB142/MSB184	-4.2%	21.2%	12.1%	-9.6%
MSB63/MSB184	-46.5%	52.6%	15.6%	-24.1%
Prelma				
MSB63/MSB95	-27.5%	10.2%	-1.5%	-10.7%
MSB95/MSB142	-13.8%	29.3%	1.6%	-22.2%
MSB142/MSB184	-20.0%	-0.6%	-3.1%	-1.2%
MSB63/MSB184	-50.0%	41.7%	-3.0%	-31.4%
Mandaga				
MSB63/MSB95	-16.7%	22.7%	2.9%	-17.7%
MSB95/MSB142	-23.3%	18.1%	5.5%	-12.1%
MSB142/MSB184	-4.3%	21.7%	17.5%	-3.9%
MSB63/MSB184	-38.9%	76.4%	27.6%	-30.5%

PkoefS ir pavairošanas koeficients siltumnīcā

SbS ir sīkbumbuļu skaits 1 m^{-2} SbM ir sīkbumbuļu masa, g m^{-2}

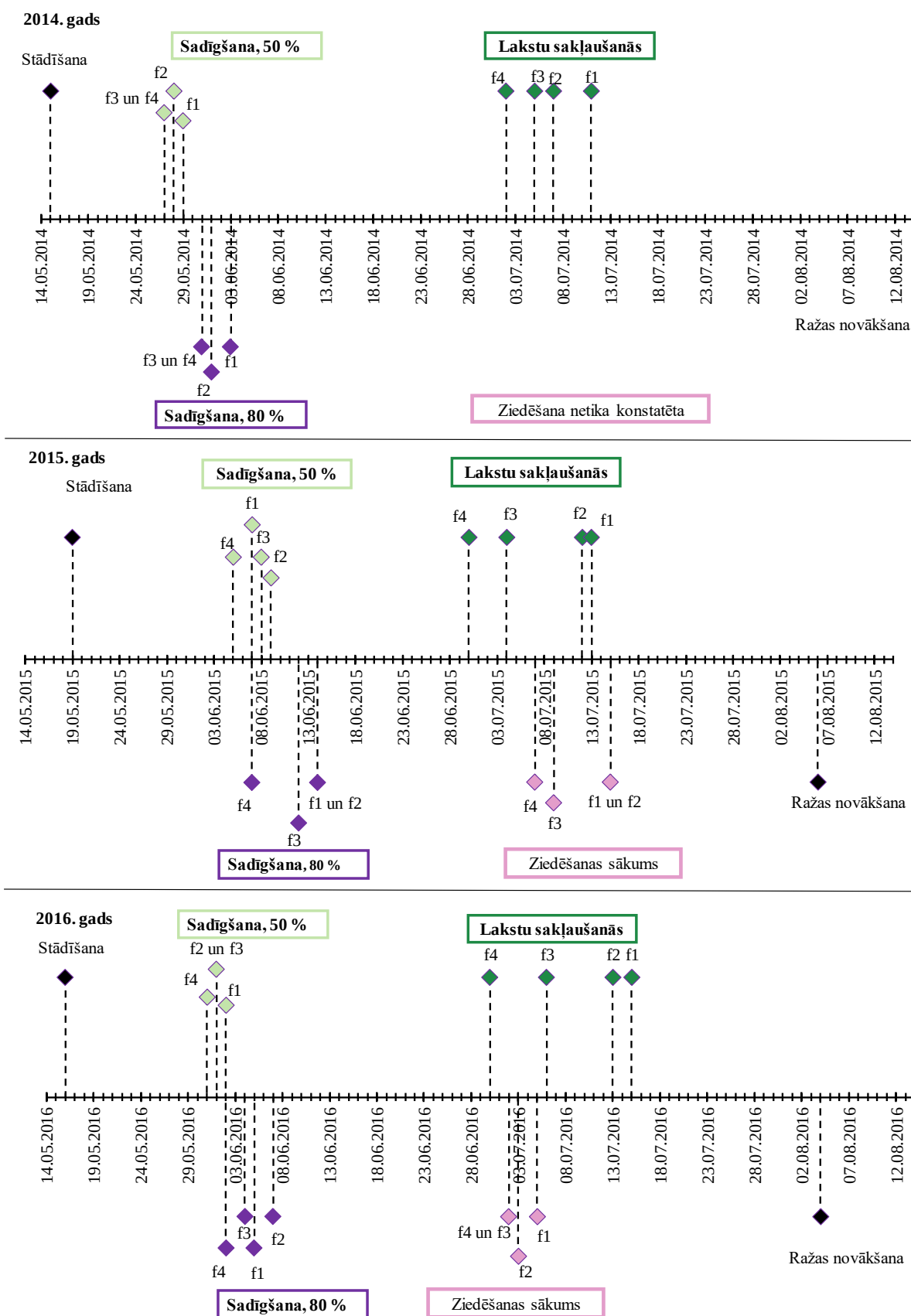
SbAW ir sīkbumbuļu vidējā masa, g

Šķirnes 'Monta' fenoloģiskās attīstības laika skala, 2014.–2016. g.



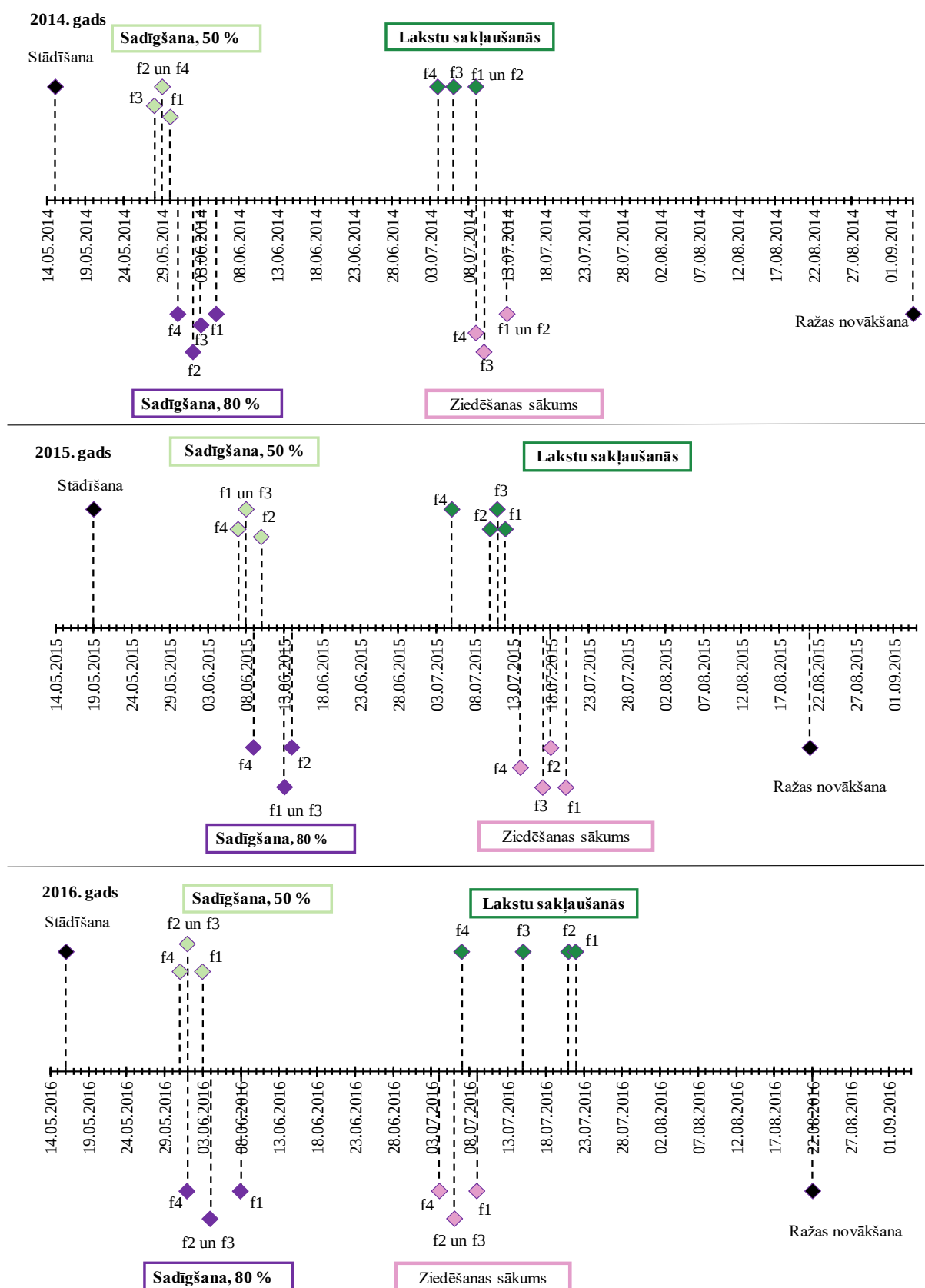
f1 ir 3.00–4.99 g sīkbumbuļi, f2 ir 5.00–9.99 g f3 ir 10.00–19.99, bet f4 ir ≥ 20 g smagi sīkbumbuļi. Stabiņu augstumam nav informatīvas nozīmes

Šķirnes 'Prelma' fenoloģiskās attīstības laika skala, 2014.–2016. g.



f1 ir 3.00–4.99 g sīkbumbuļi, f2 ir 5.00–9.99 g f3 ir 10.00–19.99, bet f4 ir ≥ 20 g smagi sīkbumbuļi. Stabiņu augstumam nav informatīvas nozīmes

Šķirnes 'Mandaga' fenoloģiskās attīstības laika skala, 2014.–2016. g.



f1 ir 3.00–4.99 g sīkbumbuļi, f2 ir 5.00–9.99 g f3 ir 10.00–19.99, bet f4 ir ≥ 20 g smagi sīkbumbuļi. Stabiņu augstumam nav informatīvas nozīmes

Šķirnes (G), iestādīto sīkbumbuļu frakcijas (SbF) un abu faktoru mijiedarbības (G × SbF) ietekme (p vērtības) un faktoru ietekmes īpatsvars (η, %) uz augu attīstību raksturojošiem rādītājiem lauka apstākļos, vidēji 2014.–2016. g.

Faktors	E50% DAP	η, %	E80% DAP	η, %	E50% līdz E80%, dienas	η, %	Sadīgušo ceru skaits 50 DAP	η, %	Lakstu sakļaušanās, DAE	η, %	Stublāju skaits cerā	η, %
G	***	36.1	***	49.5	***	44.0	***	41.0	***	21.3	***	17.9
SbF	*	4.6	***	6.7	***	9.5	*	3.8	***	13.5	***	59.0
G × SbF	p=0.895	×	p=0.994	×	p=0.731	×	p=0.052	×	p=0.652	×	***	6.4

* p<0.05

** p<0.01

*** p<0.001

× ietekmes īpatsvars nav noteikts, jo faktora ietekme uz pētāmo pazīmi nav statistiski būtiska

E50% sadīguši 50% ceru, E80% sadīguši 80% ceru, DAP dienas pēc stādīšanas; DAE dienas pēc E50%

Audzēšanas gada apstākļu ietekme uz kartupeļu attīstības rādītājiem lauka apstākļos

Šķirne	E50% DAP	E80% DAP	E50% līdz E80%, dienas	Lakstu sakļaušanās DAE	Sadīguši ceri 50 DAP, %	Stublāju skaits cerā
Monta	***	***	p=0.552	***	***	**
Prelma	***	***	p=0.157	***	p=0.086	**
Mandaga	***	***	*	***	p=0.582	*

* p<0.05

** p<0.01

*** p<0.001

E50% sadīguši 50% ceru, E80% sadīguši 80% ceru;

DAP dienas pēc stādīšanas;

DAE – dienas pēc sadīgšanas

**Sīkbumbuļu sadīgšana (E80%) dienās pēc iestādīšanas atkarībā
no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.**

Šķirne	Gads	Iestādīto sīkbumbuļu frakcija			
		3.00–4.99 g	5.00–9.99 g	10.00–19.99 g	≥20.00 g
Monta ***	2014	37.0	28.3 A	29.3 A	22.7 A
	2015	42.0	42.0 B	37.3 B	39.5 B
	2016	29.3 b	32.0 A b	27.8 A b	21.0 A a
Prelma	2014	18.7 A	17.3 A	15.7 A	15.7 A
	2015	25.8 B b	26.0 B b	23.5 B b	19.3 B a
	2016	22.0 AB b	19.8 A ab	19.0 A ab	16.8 A a
Mandaga	2014	21.0	18.3 A	19.0 A	19.0 B
	2015	24.8 b	25.8 B b	24.5 B b	21.3 C a
	2016	22.8 b	19.3 A ab	18.8 A ab	16.3 A a

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām atsevišķi katra gada un šķirnes ietvaros. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) sīkbumbuļu sadīgšanas dienās pēc iestādīšanas (DAP) atšķirības starp gadiem katrā atsevišķā pētītajā frakcijā atsevišķi katras šķirnes ietvaros. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai vai gadam nebija būtiska ietekme uz 80% sīkbumbuļu sadīgšanu DAP.

E80% sadīguši 80% ceru

*** šķirne DAP līdz E80% būtiski atšķiras ($p < 0.001$) no pārējām šķirnēm

**Sīkbumbuļu sadīgšana no E50% līdz E80% dienās atkarībā
no šķirnes un sīkbumbuļu frakcijas, vidēji 2014.–2016. g.**

Šķirne	Iestādīto sīkbumbuļu frakcija			
	3.00–4.99 g	5.00–9.99 g	10.00–19.99 g	≥20.00 g
Monta	10.9 B	9.6 B	9.0 B	6.7 B
Prelma	5.5 A c	4.6 A bc	3.6 A ab	2.5 A a
Mandaga	5.0 A b	3.1 A a	4.0 A ab	2.7 A a

Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp šķirnēm pēc sīkbumbuļu sadīgšanas dienās pēc iestādīšanas (DAP) katrā atsevišķā pētītajā frakcijā. Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām šķirnes ietvaros. Ja neviens burts nav pievienots, tad 95% līmenī, būtiskas atšķirības netika konstatētas

E50% sadīguši 50% ceru

E80% sadīguši 80% ceru

**Augšanas grādu dienas pēc sadīgšanas (GDD AE) līdz laksti sakļaujas
vagās atkarībā no šķirnes, sīkbumbuļu frakcijas un pētījuma gada**

Šķirne	Gads	3.00–4.99 g	5.00–9.99 g	10.00–19.99 g	≥20.00 g
Monta	2014	442 B	442 A	416 B	361 BC
	2015	308 A	356 A	312 A	300 AB
	2016	568 C	503 A	429 B	408 C
Prelma	2014	530 BC	472 A	439 A	401 A
	2015	461 AB	438 A	324 A	301 A
	2016	620 C	613 B	528 B	387 A
Mandaga	2014	488 A	467 A	456 A	422 A
	2015	446 A	398 A	425 A	354 A
	2016	703 B	727 B	643 B	543 A

Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp gadiem pēc GDD AE, kas bija nepieciešamas, lai laksti sakļautos vagās katrā atsevišķā pētītajā frakcijā atsevišķi katras šķirnes ietvaros.

**Nevienmērīga augu attīstība no sīkbumbuļiem un nepilnīga sadīgšana
46 dienas pēc stādīšanas (DAP), šķirne 'Monta', 2015. g.**



**Lakstu sakļaušanās vagās 03.07.2016. (48 DAP) atkarībā no
iestādītās sīkbumbuļu frakcijas šķirnei 'Prelma' 2016. g.**



f1 ir 3.00–4.99 g sīkbumbuļi, f2 ir 5.00–9.99 g f3 ir 10.00–19.99, bet f4 ir ≥ 20 g smagi sīkbumbuļi.
DAP ir dienas pēc stādīšanas

Šķirnes (G), iestādīto sīkbumbuļu frakcijas (SbF) un faktoru mijiedarbības (G × SbF) ietekme (p vērtības) un faktoru ietekmes īpatsvars (η, %) uz ražu raksturojošiem rādītājiem lauka apstākļos, vidēji 2014.–2016. g.

Faktors	Pavairošanas koeficients (ražas bumbuļi no viena iestādītā sīkbumbuļa)	η, %	Rražas bumbuļi no viena sadīgušā sīkbumbuļa	η, %	>25 mm ražas bumbuļu skaits m ⁻²	η, %	>25 mm bumbuļu raža kg m ⁻²	η, %	>25 mm bumbuļu vidējā masa, g	η, %	Ražas sadalījums frakcijās, μ	η, %	Ražas sadalījums frakcijās, σ	η, %
G	***	25.3	***	16.9	***	25.2	***	39.8	***	18.3	***	17.0	p=0.188	×
SbF	***	46.7	***	52.4	***	46.7	***	20.9	***	27.7	***	26.3	**	9.9
G × SbF	**	4.1	***	6.4	**	4.1	p=0.545	×	p=0.055	×	p=0.470	×	p=0.340	×

* p<0.05

** p<0.01

*** p<0.001

× ietekmes īpatsvars nav noteikts, jo faktora ietekme uz pētāmo pazīmi nav statistiski būtiska
μ ir bumbuļu izmērs mm, kuram ir visbiežākā sastopamība datu kopā; σ ir standartnovirze

**Pavairošanas koeficients lauka apstākļos (PkoefL) jeb ražas bumbuļu
(>25 mm) skaits pret vienu iestādīto sīkbumbuli, 2014.–2016. g.**

Iestādīto sīkbumbuļu frakcija, g	Novākto bumbuļu skaits						
	Monta ***			Prelma	Mandaga		
	2014	2015	2016	2014– 2016	2014	2015	2016
3.00–4.99	4.8 bA	3.2 bB	4.9 cA	5.8 c	7.3 A	5.5 b B	5.0 bB
5.00–9.99	6.2 abA	2.8 bB	4.7 cA	7.4 c	8.0	6.2 b	5.8 b
10.00–9.99	7.3 abA	4.0 abC	6.1 bB	10.0 b	9.9 A	10.4 aA	7.8 a B
≥20.00	8.4 aA	5.0 aB	9.6 aA	13.1 a	10.0	11.9 a	11.4 a

Atšķirīgi mazie burti apzīmē būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp iestādīto sīkbumbuļu frakcijām katrai šķirnei atsevišķi. Atšķirīgi lielie burti apzīmē būtiskas atšķirības starp gadiem katrai frakcijai un šķirnei atsevišķi. Ja neviens mazais burts nav pievienots, tad 95% līmenī sīkbumbuļu frakcijai nebija būtiska ietekme uz pavairošanas koeficientu. Ja neviens lielais burts nav pievienots, tad 95% līmenī audzēšanas gadam nebija būtiska ietekme uz pavairošanas koeficientu. Šķirnei 'Prelma' gada ietekme nebija būtiska ($p = 0.275$), tāpēc attēloti 3 gadu vidējie dati. *** šķirnes PkoefL būtiski atšķiras ($p < 0.001$) no pārējām šķirnēm

**Šķirņu 'Kuras' (vēlīna) un 'Jogla' (vidēji vēlīna) ziedēšana
97 dienas pēc stādīšanas (20.08.2020.)**



Matrica, kuru AREI PPC izmanto mikroaugu ražošanas pašizmaksas aprēķinam*
(sagatavota pēc Espinoza, Crissman, Hibon, 1996)

Nosaukums	Vienības	Cena par vienību, EUR	Koeficients #	Daudzums	Vērtība, EUR	Vērtība kopā, EUR	%
A	B	C	D	E	F	G	H
	h, gab, L, kWh utt	EUR	#	Norāda vienību skaitu, stundu skaitu utt.	=B*C*D	=E*F	
A. Darbaspēks							66.0
B. Reaģenti, materiāli un pakalpojumi							3.7
<i>Reaģenti barotnēm</i>							
<i>Kvalitātes kontrole (analīzes)</i>							
<i>Citi reaģenti un materiāli (asmeņi, marķieri, vate utt.)</i>							
C. Inventārs (mēģenes, pipetes, spuldzes utt.)							0.8
D. Pamatlīdzekļi							9.1
E. Elektrība un ūdens							6.4
F. Iekārtu uzturēšana							1.9
G. Infrastruktūra (apkure, atkritumu apsaimniekošana utt.)							12.0
<i>F. Administrēšana</i>							
KOPĀ							100
Fiksētās izmaksas (D+G)							21.1
Mainīgās izmaksas (A+B+C+E+F)							78.9

*Aprēķini netika veikti promocijas darba ietvaros. Analīzei izmantota AREI PPC noteiktā pašizmaksa saskaņā AREI PPC 2021. gada 12.februārī izdotu rīkojumu Nr. R/1.2-7-11PPC par noliktavu cenu apstiprināšanu produkcijai Priekuļu pētniecības centrā. Lai ilustrētu pašizmaksas struktūru, parādīts tās pozīciju īpatsvars % # darbaspēkam tas ir mikroaugu pavairošanai veltītais laiks % no kopējā darba laika, inventāram un iekārtām tā ir amortizācija utt.

Matrica, kuru AREI PPC izmanto sīkbumbuļu pašizmaksas aprēķinam*
(sagatavota pēc Espinoza, Crissman, Hibon, 1996)

Nosaukums	Vienības	Cena par vienību, EUR	Koeficients	Daudzums	Vērtība, EUR	Vērtība kopā, EUR	%
A	B	C	D	E	F	G	H
	h, gab, L, kWh utt	EUR	#	Norāda vienību skaitu, stundu skaitu utt.	=B*C*D	=E*F	
A. Darbaspēks							26.2
B. Minerālmēsli un materiāli							55.3
<i>T.sk. mikroaugi, kūdra</i>							
C. Inventārs							1.2
D. Pamatlīdzekļi							14.9
t.sk. siltumnīca							
F. Elektrība un ūdens							2.2
D. Iekārtu uzturēšana							0.0
E. Infrastruktūra							0.3
<i>F. Administrēšana</i>							
KOPĀ							100
Fiksētās izmaksas (D+E+F)							15.2
Mainīgās izmaksas (A+B+C+D)							84.8

*Aprēķini netika veikti promocijas darba ietvaros. Analīzei izmantota AREI PPC noteiktā pašizmaksa saskaņā AREI PPC 2021. gada 12.februārī izdotu rīkojumu Nr. R/1.2-7-11PPC par noliktavu cenu apstiprināšanu produkcijai Priekuļu pētniecības centrā. Lai ilustrētu pašizmaksas struktūru, parādīts tās pozīciju īpatsvars %

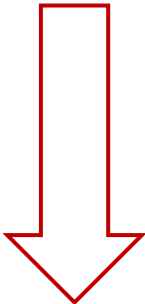
darbaspēkam tas ir ar sīkbumbuļu audzēšanu saistītā darba laiks % no kopējā darba laika, inventāram un iekārtām tā ir amortizācija utt.

Kartupeļu sēklaudzēšanas shēma Eiropas Savienībā

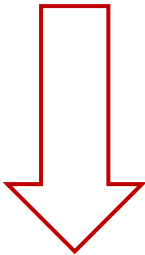
Sēklu kategorija

Sēklu paaudze

Pirmsbāzes sēklas



Bāzes sēklas



Sertificētas sēklas

PBTC (sīkbumbuļi)

PB1

PB2

PB3

PB4

S

SE

E

A

B

Robežieņēmumu likmes (RiL) aprēķina piemērs.

Aprēķins veikts A scenārijam, šķirnei 'Monta',
starp mikroaugu stādīšanas biezībām MSB63 un MSB 95

Izejas dati: Bruto ieņēmumi (BI), EUR (3.9. tab.)
BI MSB63=111 EUR; BI MSB95=139 EUR

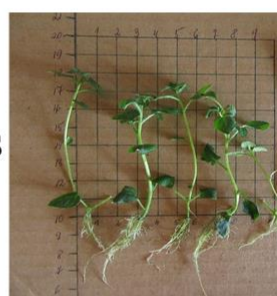
Mainīgās izmaksas (MI), EUR (3.10. tab.)
MI MSB63=34 EUR; MI MSB95=52 EUR

Formulas RiL aprēķināšanai: ΔNI ((14) formula 60. lpp) $\Delta NI = \Delta BI - \Delta MI$
RiL ((15) formula 61. lpp)

$$RiL = \frac{\Delta NI}{\Delta MI}$$

Robežieņēmumu likmes aprēķināšanas ceļš:

RiL Monta MSB63 uz MSB95 = $((139-111)-(52-34))/(52-34)=0.56 \times 100=56\%$ (3.23. att.)

Ar dažādiem audzēšanas paņēmieniem *in vitro* iegūti kartupeļu mikroaugi**MMS****AMS****AHMS****AMSV****‘Prelma’****‘Monta’**

MMS ir ar vates-marles korķi noslēgta stikla mēģenes pildītas ar MS barotni bez vitamīniem;

AMS ir ar caurspīdīgu plastmasas vāku noslēgts cilindrisks plastmasas trauks pildīts ar MS barotni bez vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS;

AHMS ir ar caurspīdīgu plastmasas vāku noslēgts cilindrisks plastmasas trauks pildīts ar MS barotni, kura satur pusi no makrosāļu daudzuma pēc MS, barotnei nav pievienoti vitamīni un citas organiskās vielas pēc MS;

AMSV ir ar caurspīdīgu plastmasas vāku noslēgts cilindrisks plastmasas trauks pildīts ar MS barotni un pievienotiem vitamīniem un citām organiskajām vielām pēc MS.