



ISSN 1407-4427

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE

RAKSTI

PROCEEDINGS OF THE
LATVIA UNIVERSITY OF
AGRICULTURE

Nr. 26 (321), 2011
JELGAVA

SATURS / CONTENTS

Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā. I. Problēmas nostādne un augsnes organiskā viela / Soil Quality within the Context of Land Use Changes. I. Introductory Notes and Soil Organic Matter: I. Līpenīte, A. Kārklīšs	1
Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā. II. Augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības / Soil Quality within the Context of Land Use Changes II. Soil Physical and Agrochemical Properties: I. Līpenīte, A. Kārklīšs	18
Auzeņaireņu un hibrīdo aireņu produktivitāti noteicošie faktori / Factors Influencing <i>×Festulolium</i> and <i>Lolium ×Boucheanum</i> Sward Productivity: I. Gūtmane, A. Adamovičs	33
Photosynthesis Characteristics of <i>×Festulolium</i> and <i>Lolium ×Boucheanum</i> Sward / Fotosintētiskās darbības rādītāji <i>×Festulolium</i> un <i>Lolium ×boucheanum</i> zelmenī: I. Gūtmane, A. Adamovičs	45
Dažādu kartupeļu šķirņu bumbuļu slimību skrīnings un to nozīmīgums integrētās augu aizsardzības sistēmās / The Screening of Different Potato Varieties for Tuber Diseases and Its Importance in Integrated Pest Manegement: I. Turka, G. Bimšteine	54
Lopbarībā esošo karotinoīdu raksturojums un loma piena ieguvē / Carotenoids in Feedstuffs and Their Role in Milk Production: U. Antone, A. Jemeljanovs, B. Ošmane, V. Šterna	60
Aromātveidojošo vielu dinamika Krievijas siera nogatavināšanā / The Dynamics of Aroma Compounds during Krievijas Cheese Ripening: A. Miķelsone, I. Ciproviča	69
The Effects of Some Premedication and General Anesthesia Drugs on Intraocular Pressure and Pupil Diameter in Dog's Eyes / Acs iekšējā spiediena un acs zīlītes diametra izmaiņas suņiem dažādu premedikācijas un vispārējās anestēzijas līdzekļu ietekmē: L. Kovaļčuka, E. Birģele	77
Morphometric Parameters of the Small and Large Intestine of the Ostrich (<i>Struthio Camelus Var. Domesticus</i>) from Day 38 of Embrionic Development to the Age of 60 Days / Strausu (<i>Struthio camelus var. domesticus</i>) tievās un resnās zarnas morfometriskie rādītāji no 38. embrionālās attīstības dienas līdz 60 dienu vecumam: I. Duritis, A. Mugurevics	84

REDKOLĒĢIJA / EDITORIAL BOARD

Janis Alsins, vad. pētn., Dr. phil., Upsalas universitāte	Petrs Lazauskas, prof., Dr. habil. biol., Lietuvas Lauksaimniecības universitāte
Biruta Bankina, asoc. prof., Dr. biol., LLU	Imants Liepa, prof., Dr. habil. biol., LLU
Mārtiņš Beķers, prof., Dr. habil. biol., LU	Īzaks Rašals, prof., Dr. habil. biol., LU
Jānis Brauns, prof., Dr. habil. sc. ing., LLU	Aija Eglīte, asoc. prof., Dr. oec., LLU
Jānis Greivulis, prof., Dr. habil. sc. ing., RTU	Liudvikas Špokas, prof., Dr. habil. sc. ing., Lietuvas Lauksaimniecības universitāte
Aleksandrs Jemeljanovs, prof., Dr. habil. agr., Dr. med. vet., LLU	Henns Tuherms, prof., Dr. habil. sc. ing., Dr.h.c., LLU
Daina Kārklīņa, prof., Dr. sc. ing., LLU	Jānis Valters, prof., Dr. habil. sc. ing., LLU
Māris Kļaviņš, prof., Dr. habil. chem., LU	Pēteris Zālītis, prof., Dr. habil. silv., LVZMI „Silava”
Rihards Kondratovičs, Dr. habil. biol., LU	
Ēriks Kronbergs, prof., Dr. sc. ing., LLU	
Maija Kūle, prof., Dr. habil. phil., LU	

ATBILDĪGAIS REDAKTORS / RESPONSIBLE EDITOR

Aldis Kārklīšs, prof., Dr. habil. agr., LLU

© Latvijas Lauksaimniecības universitāte (LLU) 2011

LLU Raksti ir indeksēti datubāzēs CAB Abstracts un AGRIS. / The journal is indexed and abstracted by databases CAB Abstracts and AGRIS.

LLU Raksti (*Proceedings of the Latvia University of Agriculture*) is a scientific journal published by the Latvia University of Agriculture since 1946. The *Proceedings* operates on a non-profit basis.

Editorial Office: Latvia University of Agriculture, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001, Latvia;

phone: + 371-63005671; fax: + 371-63005685; e-mail: Inga.Skuja@llu.lv.

Printed and bound by *Drukātava Ltd.*

Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā

I. Problēmas nostādne un augsnes organiskā viela

Soil Quality within the Context of Land Use Changes

I. Introductory Notes and Soil Organic Matter

Ināra Līpenīte, Aldis Kārklīšs

LLU Augsnes un augu zinātņu institūts
Institute of Soil and Plant Sciences, LLU
e-mail: Inara.Lipenite@llu.lv

Abstract. Land use changes related to the intensification of agricultural production, and Thematic Strategy for soil protection, adopted by the Commission of the European Communities, raising awareness about the sustainable use of soil and other natural resources have stimulated research and discussions about soil quality. Soil quality becomes an issue which should be commonly clarified not only in the sense of terminology, understanding, and conception, but also practically – how to assess, measure and interpret it. The literature review gives an overview about recent findings and ideas in the sphere of the formulation of soil quality concept, about possible indicators used to assess the soil quality status and possible changes due to the shift of land use and land management, as well as about future visions. Soil organic carbon is one of the most fundamental parameters influencing a number of other soil properties. Therefore extensive research is done regarding the role of organic carbon and its different fractions within the context of soil quality. Radical changes in land use, e.g. from arable land to forestry, may induce long-lasting effects of accumulation of organic carbon in aboveground and underground biomass and in soil, forming the compounds in soil with different mobility etc. Taking into consideration that soil has different functions, that soil quality is an integral parameter and its formation as well as influence on other properties is complex, that variability of natural and anthropogenic factors is considerable, it is not possible to develop one simple and universal scheme for assessment and monitoring of the status and changes in soil quality in general, as well as soil organic carbon in particular.

Key words: soil quality indicators, soil organic carbon, land use change.

Ievads

Augsne ir būtisks ekosistēmu komponents, kas regulē vielu apriti, akumulāciju, emisijas, un tai ir netieša ietekme uz atmosfēras un hidrosfēras stāvokli, tāpēc augsnē notiekošo procesu pētījumi ir neatņemama sastāvdaļa vides stāvokļa un tajā notiekošo procesu izmaiņu prognozēšanai. Eiropas Savienība 2006. gada 22. septembrī apstiprināja Augsnes aizsardzības tematisko stratēģiju un Eiropas Komisijas direktīvas projektu augsnes aizsardzības jomā (COM, 2006). Dokumentā tiek uzsvērts, ka augsnes degradācija ir nopietna problēma visā Eiropā, un pētījumi liecina, ka degradācijas tempi pieaug. Augsni būtībā var uzskatīt par neatjaunojamu resursu, vismaz ar cilvēka mūžu salīdzināmā laika posmā. Jebkurš bojājums augsnei negatīvi ietekmē arī citus apkārtējās vides komponentus un ekosistēmas. Augsnes degradācijai ir tieša ietekme uz ūdens un gaisa kvalitāti, bioloģisko daudzveidību

un klimata pārmaiņām. Tiek uzsvērts, ka tās dēļ var pasliktināties Eiropas iedzīvotāju veselība un var tikt apdraudēts pārtikas un dzīvnieku barības nekaitīgums. Pašreizējā posmā, pateicoties lauksaimniecības intensifikācijai un pārtikas ražošanas subsīdijām, Eiropā veidojas zināma pārtikas pārprodukcija, tāpēc noteikts daudzums lauksaimniecībā noderīgās zemes (LIZ) tiek izmantots (vai tiek plānots izmantot) citām vajadzībām (mežsaimniecībai, atjaunojamo enerģētisko resursu ražošanai) vai vienkārši tiek izņemts no ražošanas un atstāts atmatā. Apzinoties to, ka pasaulē pārtikas nodrošinājuma jomā iespējamās krasas izmaiņas, kā arī ņemot vērā to, ka produktīvā zeme pilda cilvēku eksistencei vitālas ekoloģiskās funkcijas, nav pieļaujama augsnes kvalitātes progresējoša pasliktināšanās – pat tajās platībās, kuras pašlaik ir ārpus lauksaimnieciskās darbības. Tāpēc arī zinātnieki daudzās valstīs sāk pievērst īpašu uzmanību augsnes stāvoklim un tās īpašību

izmaiņām (De La Rosa, 2005; Eckelmann, Baritz et al., 2006; Kibblewhite, Ritz, Swift, 2008; Haygarth, Ritz, 2009).

Pašlaik Eiropas Savienībā (ES) notiek diskusijas un debates par vienotas Augšņu aizsardzības direktīvas pieņemšanu. Ja tas vainagosies panākumiem, tad zemes lietotājiem visās ES dalībvalstīs būs jārūpējas par to, lai definētie augšnes kvalitātes indikatori zemes lietošanas rezultātā nenoslīdētu zem kritiskajām robežvērtībām. Līdz ar to svarīgs jautājums ir definēt šādus augšnes kvalitāti raksturojošus indikatorus, noteikt to robežvērtības, kā arī izstrādāt metodes to noteikšanai. Indikatoru sistēmai ES dalībvalstīs jābūt vienotai, jo pretējā gadījumā nebūs iespējama iegūto datu salīdzināšana, taču konkrētu indikatoru izvēle un robežvērtības var atšķirties, jo jāņem vērā dabas apstākļu specifika. Aktuāls jautājums ir arī zemes lietošanas veidu radikāla maiņa un to iespējamā ietekme uz augšnes kvalitāti ilgtermiņā. Publikācijas (1. un 2. daļa) mērķis ir dot pārskatu par augšnes kvalitātes izpratni mūsdienu skatījumā, tās ieteiktajiem vērtēšanas indikatoriem, kuri ir svarīgi, izvēloties kvalitātes monitoringa stratēģiju, kā arī par praktiskās realizācijas metodēm.

Augsnes kvalitāte, tās vērtēšanas metodes

Augsnes kvalitāti un ekoloģisko stabilitāti raksturo tās īpašības. Atbilstoši definīcijai augšnes kvalitāte, ko nosaka ES Augšnes aizsardzības tematiskā stratēģija, ir augšnes spēju kopums realizēt savas funkcijas un reaģēt uz ārējām ietekmēm, lai nodrošinātu ekosistēmas un cilvēku vajadzības. Līdz ar to augšnes kvalitātes jēdziens ietver kompleksu informāciju par plašu augšnes īpašību un apstākļu spektru, kas nodrošina augšnes ekoloģisko un ar cilvēku darbību saistīto funkciju norisi. Augšnes pamatīpašības ir salīdzinoši stabilas, tās formējušās augšnes veidošanās procesos ilgstošā laika periodā klimata, reljefa, cilmieža, floras un faunas ietekmē un tiek raksturotas ar granulometrisku sastāvu, jonu apmaiņas kapacitāti, cilmieža atrašanās dziļumu, drenāžu. Cilvēka saimnieciskā darbība tās ietekmē nedaudz vai pat nemaz. Taču ir vesela virkne augšnes īpašību, kuras visai būtiski var izmainīties pavisam īsā laikā (dažos gados vai pat mēnešos). Pie šīm dinamiskajām īpašībām pieder augšnes organisko vielu saturs, augšnes struktūra, tilpummasa, ūdens infiltrācijas spēja, ūdensietilpība, reakcija, augu barības elementu resursi u.c. nozīmīgas augšnes auglību noteicošas īpašības¹. Dinamisko īpašību

izmaiņas galvenokārt nosaka cilvēka saimnieciskā darbība, t.i., zemes izmantošanas veids, augšnes apstrādes tehnoloģijas un audzētie kultūraugi, lai gan izmaiņas ir atkarīgas arī no augšnes pamatīpašībām. Tā, piemēram, augšnes organisko vielu satura izmaiņas atkarīgas no augšnes apstrādes intensitātes un no tā, kādi augi tiek audzēti, bet kopējais organisko vielu uzkrājums būs atkarīgs arī no augšnes granulometriskā sastāva un klimatiskajiem apstākļiem. Dažas augšnes īpašības, piemēram, tilpummasa, ir salīdzinoši stabilas tās dziļākos slāņos, bet pakļautas izmaiņām augšnes virskārtā. Tas nozīmē, ka augšnes izmantošana var gan optimizēt augsnē notiekošos procesus, gan arī būtiski pasliktināt tās kvalitāti. Jēdziens **augšnes kvalitāte** neaprobežojas tikai ar augšnes īpašībām un to piemērotību noteiktu augšnes funkciju realizēšanai, bet ir saistīts arī ar vides apstākļiem un augšnes ilgtspējīgas izmantošanas perspektīvu (Miller, Wali, 1995; Karlen, Mausbach et al., 1997; Karlen, Anrews, Doran, 2001; Carter, 2002; Doran, 2002; COM, 2006; Toth, Stolbovoy, Montanarella, 2007).

Augsnes kvalitātes izmaiņu noteikšana un novērtēšana ir sarežģīts process. Dažādās ekosistēmās un zemes lietošanas veidos augšne pilda vairāk vai mazāk atšķirīgas funkcijas, tāpēc arī kvalitātes prasības var ievērojami atšķirties. Tā, piemēram, lai augšne varētu uzturēt ilgtspējīgu lauksaimniecisko ražošanu, tai jāspēj:

- nodrošināt fizikālo, ķīmisko un bioloģisko apstākļu kopumu dzīvajiem organismiem;
- regulēt ūdens režīmu, kā arī augu barības un citu elementu apriti;
- uzturēt bioloģisko aktivitāti un daudzveidību augu augšanai un dzīvnieku produktivitātei;
- filtrēt, buferēt, noārdīt, imobilizēt kaitīgas organiskas un neorganiskas vielas, mazināt to toksiskumu;
- nodrošināt mehānisku balstu dzīvajiem organismiem (Nortcliff, 2002).

Augsnes kvalitātes noteikšana un kvalitātes izmaiņu konstatēšana ir saistīta ar apjomīgas informācijas vajadzību pēc ļoti daudzveidīgām augšnes pazīmēm un īpašībām, kas nodrošina funkciju realizēšanu. Tāpat jābūt zināmām un pieejamām skaidri definētām pieļaujamām robežvērtībām, kādās katra no šīm īpašībām var svārstīties, neietekmējot augšnes spēju veikt attiecīgu funkciju vai savstarpēji saistītu funkciju grupu. Zinot augšnes īpašību daudzveidību, svarīgi izvēlēties konkrēta mērķa sasniegšanai būtiskākos un atbilstošākos augšnes parametrus. Kā rāda daudzie pētījumi (Mausbach,

¹ http://soilquality.org/basics/inherent_dynamic.html – Resurss aprakstīts 2011. gada 14. maijā.

1. tabula / Table 1

Ieteicamie indikatori augsnes kvalitātes izvērtēšanai**Possible list of soil quality indicators**

(Mausbach, Seybold, 1998)

Indikatori / Indicators	Saistība ar augsnes apstākļiem un funkcijām / Relationship with soil conditions and functions
Fizikālie / Physical	
Granulometriskais sastāvs / Soil texture	Ūdens un izšķīdušo vielu noturēšana un pārvietošana / Retention and movement of water and soluble compounds
Augsnes virskārtas un sakņu zonas dziļums / Depth of soil surface and rooting	Augsnes produktivitātes potenciāls un erozija / Soil productivity potential and erosion
Infiltrācija un tilpummasa / Infiltration capacity and bulk density	Produktivitāte, izskalošanās un erozijas iespējamība / Productivity, leaching, and potential for erosion
Ūdensietilpība / Water capacity	Ūdens noturēšana un kustība, erozija. Augu ūdens nodrošinātība / Water holding capacity and movement, erosion. Plant available water
Ķīmiskie / Chemical	
Augsnes organiskās vielas / Soil organic matter	Augsnes auglība, stabilitāte, erodējamība / Soil fertility, stability, erodibility
Reakcija / Reaction	Augsnes bioloģiskās un ķīmiskās aktivitātes robežas / Limits for biological and chemical processes in soil
Ekstrahējamie N, P, K / Extractable N, P, K	Augiem pieejamie barības elementi un N iespējamie zudumi / Plant available nutrients and leaching potential of N
Bioloģiskie / Biological	
Mikroorganismu biomasas C:N attiecība / C:N in microbial biomass	Mikroorganismu katalītiskais potenciāls – primārais rādītājs, kas brīdina par iedarbību uz OV un tās izmaiņām / Catalytic potential of microorganisms – awareness for possible changes in organic matter content and quality
Potenciāli mineralizējama N / Potentially mineralisable N	Augsnes produktivitāte, nodrošinājums ar slāpekli / Soil productivity, nitrogen supply
Augsnes gaisa, ūdens un temperatūras apstākļi / Soil air, water and temperature regime	Mikrobioloģiskā aktivitāte / Microbiological activity

Seybold, 1998; Arshad, Martin, 2002; Carter, 2002; Nortcliff, 2002; Palojarvi, Nuutinen, 2002; Loveland, Webb, 2003), vienotas augsnes kvalitātes indikatoru sistēmas izstrādi apgrūtina nepietiekams izziņas līmenis šajos jautājumos, kā arī mērķu dažādība, kuru risināšanai indikatorus paredzēts izmantot, jo augsnes „labuma” pasliktināšanās var notikt gan tāpēc, ka tā tiek neatbilstoši izmantota, pakļauta erozijai, sablīvēšanai, reakcijas izmaiņām, gan tāpēc, ka ir ķīmiski piesārņota vai arī pati ir udeņu un atmosfēras piesārņojuma avots. Dažādu autoru ieteikto augsnes kvalitātes indikatoru skaits ir liels. Tāpēc ir mēģinājumi tos grupēt kādā loģiskā kārtībā, piemēram, pakārtot tos augsnes fizikālajām, ķīmiskajām un bioloģiskajām īpašībām, kuras, dabā savstarpēji mijiedarbojoties, nodrošina labvēlīgu mitruma un gaisa režīmu augiem

un augsnes mikroorganismu darbībai, kā arī sekmē galveno augu barības elementu bioloģisko apriti, rezultātā nosakot augsnes spēju pretoties degradējošo faktoru ietekmei.

Fizikālie indikatori – īpašības, kas saistītas ar cietās fāzes daļiņu un poru izkārtojumu un proporcijām augsnē: granulometriskais sastāvs, tilpummasa, porainība, agregātu izturība un stabilitāte, augsnes garozas veidošanās, sablīvētība.

Ķīmiskie indikatori – īpašības, kas var atšķirties dažādu augsnes funkciju veikšanai, taču galvenie ir augsnes organisko vielu saturs, augsnes buferspēja, katjonu (anjonu) apmaiņas kapacitāte, reakcija, augu barības vielu saturs, toksisku vielu koncentrācija.

Bioloģiskie indikatori – rādītāji, kas ļoti jūtīgi reaģē uz citiem procesiem augsnē un parāda

augšnes apstākļu izmaiņas, – mikro-, mezo- un makroorganismu populācijas, mikrobioloģiskā aktivitāte, augšnes organisko vielu kvalitāte, to sastāva atsevišķu komponentu attiecības.

Indikatoru grupējumu var veikt, balstoties arī uz citiem principiem. Viens no tādiem varētu būt spēja tos konstatēt morfoloģiski. Tādējādi varētu nodalīt tā saucamās **redzamās pazīmes** vai **saskatāmos indikatorus** – ārējās pazīmes, kas liecina par augšnes kvalitātes pasliktināšanos: augšnes virsējo slāņu noskalošanās, virsūdeņu uzkrāšanās un virszemes notece, augu augšanas traucējumi. Diemžēl atsevišķos gadījumos šo indikatoru konstatācija var būt novēlota un degradācijas procesi var būt jau neatgriezeniski.

Par ļoti nozīmīgu augšnes kvalitātes indikatoru uzskata tās **organisko vielu**, kas tiek raksturota kā universāla augšnes kvalitātes pazīme, īpaši lauksaimniecības zemēm, kā arī tiek uzsvērtā atsevišķu tās frakciju loma kvalitātes izmaiņu konstatēšanā (skat. turpmāk).

Viens no iespējamiem variantiem augšnes kvalitātes indikatoru kopumam un to kopsakarība ar augšnes apstākļiem un augšnes funkcijām parādīti 1. tabulā.

Kibblewhite, Ritz un Swift (2008), pieņemot augšni kā dzīvu un dinamisku sistēmu, ierosina noteikt augšnes kvalitāti un tās „veselību”, veicot diagnostiskus testus, kuri raksturotu augšni kā:

- dzīves vidi, ar raksturīgiem fizikāliem un ķīmiskiem apstākļiem (sakārtas blīvums, agregātu stabilitāte, reakcija, katjonu apmaiņas kapacitāte u.c.);
- enerģijas un augu barības vielu resursu nodrošinātāju (organiskās vielas un tās frakciju saturs un attiecības, NPK bilances u.c.);
- biotas daudzveidības un atsevišķu organismu grupu darbības vietu.

Arī pēc šo autoru slēdziena augšnes kvalitātes vērtējumam jābūt kompleksam, neaprobežojoties tikai ar atsevišķu parametru vai organismu grupu noteikšanu. Viņi skaidro, ka, piemēram, nomainot augšnes dabisko veģētāciju ar augšnes intensīvu izmantošanu, tiek ietekmētas praktiski visas iepriekšminētās augšnes funkcijas, turklāt lielākoties negatīvi. Jāpauzē ilgstošam periodam, līdz tās sasniedz jaunu dinamisku līdzsvaru. Visuzskatāmāk to demonstrē organisko vielu satura samazināšanās pirmajos gados pēc augšnes apstrādes uzsākšanas. Samazinoties organisko koloīdu daudzumam, samazinās augšnes vielu saistīšanas spēja, palielinās izskalošanās un arī vides piesārņošanas risks. Ja augsnē netiek papildināti augu barības elementu

resursi, bet notiek to pastiprināta iznese, augšnes spēja producēt biomasu samazinās. Izmainoties augšnes fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām, to sāk apdzīvot atšķirīgas mikroorganismu grupas, kas izmaina mikrobioloģisko procesu virzienu un intensitāti – līdz ar to arī augšnes nodarītumu (piemērotību) specifisku funkciju realizēšanai.

Nortcliff (2002) augšnes kvalitātes indikatoru izvēlē iesaka ņemt vērā: 1) zemes lietošanas veidu; 2) savstarpējās sakarības starp augšnes funkcijām un indikatoriem; 3) augšnes nevienādību telpā un laikā; 4) indikatora noteikšanas mērījumu vienkāršību un drošumu; 5) mērījumu jūtību attiecībā uz izmaiņām, kādas notiek augšnes izmantošanā un apstrādē; 6) savietojamību ar augšnes pētījumu metodēm dažādās monitoringa programmās; 7) jau apgūtās indikatora lietošanas prasmes un iespēju interpretēt informāciju.

Mausbach un Seybold (1998) rekomendē atsevišķi vērtēt: 1) augšnes, kuras atrodas dabiskos apstākļos un ir pakļautas dabiskai augšnes veidošanās faktoru un procesu ietekmei; 2) augšnes, kas pakļautas cilvēku saimnieciskai darbībai; un 3) pārveidotās (būtiski ietekmētās) augšnes (piemēram, augšne pēc mitruma režīma noregulēšanas). Autori iesaka kvalitātes indikatoru vērtības lauksaimniecībā izmantojamām augsnēm noteikt tādās robežās, kas ļautu saglabāt šo augšņu ilgtspējīgu izmantošanu, pie tam paredzot gan konkurētspējīgu ražu ieguves un ieņēmumu nodrošināšanu, gan arī prasībām atbilstošu augšnes, ūdeņu un gaisa, kā arī saražotās produkcijas kvalitāti.

Atsevišķi autori (Toth, Stolbovoy, Montanarella, 2007) augšnes kvalitāti iesaka vērtēt atbilstoši ES Augšņu aizsardzības tematiskajā stratēģijā formulētajām augšnes funkcijām, t.i., augšnes spēju pildīt šīs jau konkrēti definētās funkcijas. Vērtējums tiek veikts, apskatot atbilstošās augšnes īpašības, kas nodrošina noteiktu funkciju izpildi, kā arī ņemot vērā citus būtiskus ietekmējošos apstākļus (klimatu, hidroloģiju u.c.). Rezultātā kvalitāte tiek raksturota ar kompleksu rādītāju – augšnes kvalitātes indeksu. Lai to noteiktu, iesaka vērtēt atsevišķas būtiskas augšnes fizikālās, ķīmiskās un bioloģiskās īpašības, rast savstarpējās sakarības starp šīm īpašībām atbilstoši tam, kādas funkcijas pašlaik pilda attiecīgā augšne un kādiem mērķiem to paredzēts izmantot nākotnē.

Lai novērtētu augšnes kvalitāti un konstatētu tās izmaiņas, tiek izmantotas atbilstošo indikatoru normatīvās (kritiskās) vērtības. Tie ir augšnes īpašību skaitliskie rādītāji, funkcijas, kas apraksta pastāvošās sakarības starp indikatoriem, vai intervāli, kuru robežās augšne ar pilnu potenciālu var izpildīt

2. tabula / Table 2

Augsnes kvalitātes indikatori un to kritiskās vērtības ilgstoši kultivētām augsnēm
Quality indicators and their critical values for soils under continuous cultivation

Indikatori / Indicators	Intervāls, kurā augsne var nodrošināt tās galvenās funkcijas / Intervals where soil is able to provide its main functions
Fizikālie / Physical	
Ūdensizturīgi agregāti, % (vairāk ir labāk) / Water resistant aggregates, % (more is better)	30–60%
Porainība (virskārtas 7.5 cm slānī) / Porosity (topsoil 7.5 cm)	20–80%
Tilpummasa (zemāka labāk) / Bulk density (lower is better)	$1.3 \cdot 10^3$ – $2.1 \cdot 10^3$ kg m ⁻³
Sakņu izplatības dziļums (lielāks ir labāk) / Rooting depth (deeper is better)	60–250 cm
Ķīmiskie / Chemical	
Augiem pieejamais fosfors P / Plant available P	7.5–150 mg kg ⁻¹
Nitrātu slāpekļlis / Nitrate nitrogen	3–50 mg kg ⁻¹
Apmaiņas kālijs K / Exchangeable K	45–525 mg kg ⁻¹
Augsnes pH (virskārtas 25 cm) / Soil reaction pH (topsoil 25 cm)	5.5–8.2
Bioloģiskie / Biological	
Mikroorganismu biomasa (vairāk ir labāk) / Microbial biomass (more is better)	75–700 mg C kg ⁻¹
Kopējais slāpekļlis (vairāk ir labāk) / Total nitrogen (more is better)	1.5–5.0 mg cm ⁻³
Kopējais C (virskārtas 7.5 cm) / Total C (topsoil 7.5 cm)	15–50 mg cm ⁻³

tās funkcijas, kuras raksturīgas attiecīgām augsnes izmantošanas veidam vai apstākļiem. Augsnes kvalitātes galveno indikatoru kritiskās vērtības, ko piedāvājis Karlen ar līdzautoriem (Karlen, Wollenhaupt et al., 1994), parādītas 2. tabulā.

Augsnes kvalitātes indikatoru kritisko vērtību noteikšana un izmantošana nav gluži neapgūta joma, taču slēpj sevī arī ļoti daudz nezināmā. Vislielākā praktiskā pieredze uzkrāta, vērtējot LIZ auglības parametrus. Latvijā, tāpat kā citās pasaules valstīs, ir izstrādāti augsnes auglības optimālie parametri, noteikti galveno augu barības elementu un organiskās vielas nodrošinājuma līmeņi augsnē un veikts augšņu grupējums pēc apmaiņas skābuma u.c. rādītājiem (Timbare, Reinfelde, 2002). Taču šie augsnes īpašību rādītāji nesniedz pietiekamu informāciju pat par augsnes spēju pildīt tās galveno funkciju, t.i., pilnā mērā nodrošināt ilgtspējīgu lauksaimnieciskās produkcijas ražošanu. Mērķtiecīgai augsnes kvalitātes izmaiņu novērtēšanai katrā konkrētā gadījumā nepieciešams zināt: 1) augsnes izmantošanas mērķi; 2) kādas augsnes funkcijas tiks pakārtotas

šim mērķim; 3) kādi procesi nodrošina vajadzīgās funkcijas; 4) kuras augsnes īpašības apraksta šos procesus un kādas ir īpašību kritiskās vērtības; 5) vai ir nepieciešamība izvēlēties papildu indikatorus, ja kāda no īpašībām pati par sevi nav izvērtējama; 6) vai ir piemērotas metodes izvēlēto īpašību noteikšanai, metodiskais pamats un tehniskās iespējas augsnes paraugu iegūšanai, uzglabāšanai, izpētei un datu interpretācijai. Tāpēc pēdējā desmitgadē veiktie pētījumi galvenokārt veltīti augsnes kvalitāti raksturojošo rādītāju savstarpējās mijiedarbības noteikšanai, modelējot augsnē notiekošos procesus un prognozējot iespējamās izmaiņas ilgākā laika periodā. Lai pētījumos iegūtā informācija būtu starptautiski salīdzināma, pētījumos lietojamas starptautiski standartizētas augsnes paraugu noņemšanas un sagatavošanas metodes, kā arī kvalitātes indikatoru vērtību noteikšanas analītiskās metodes. Tiek rekomendēts augsnes kvalitātes vērtēšanu saistīt ar pastāvošajām augšņu klasifikācijas un kartēšanas sistēmām, augsnes īpašību monitoringa datiem, esošajām augsnes datu bāzēm u.c. informācijas

avotiem (Carter, 2002; Bieganowski, Skierucha, Walczak, 2004; De La Rosa, 2005; Toth, Stolbovoy, Montanarella, 2007; Pangos, Van Liedekerke, 2008).

Augsnes organisko vielu saturs un sastāvs kā augsnē kvalitātes izmaiņu indikators

Organiskās vielas (OV) augsnē ir viens no galvenajiem tās kvalitātes un produktivitātes rādītājiem. Daudzveidīgie organiskā oglekļa savienojumi nodrošina svarīgākās augsnē funkcijas un augsnē ilgtspēju un palīdz uzturēt vides kvalitāti. Sauszemes ekosistēmās lielākā daļa akumulētā organiskā oglekļa atrodas tieši augsnē – ganībās un daudzgadīgajos kultūraugos vairāk nekā 95%, bet aramzemes līdz pat 100% no to kopējā daudzuma šāda veida ekosistēmā (Robert, Nortcliff et al., 2004; Stolbovoy, Montanarella, 2008).

Organiskā oglekļa uzkrājums augsnē veidojas no ieneses ar augu, dzīvnieku un mikroorganismu atliekām un ir atkarīgs no tā, cik strauji noris dažādo organisko un organominerālo savienojumu mineralizācija. Neskatoties uz salīdzinoši lielo organiskās masas ienesi, humusa krājumu pieaugums augsnē izmainās salīdzinoši nedaudz, un to nodrošina pasīvās organisko savienojumu frakcijas (daļa organominerālo kompleksu, kokogle u.c.), kas praktiski nepakļaujas noārdīšanās procesiem. Tā, apstrādājot lielu informācijas apjomu par holocēna augsnēm, noskaidrots (Schlesinger, 1990), ka daudzu tūkstošu gadu laikā organiskā oglekļa satura pieaugums tajās visumā ir bijis lēns. Tas svārstās no $0.2 \text{ g m}^{-2} \text{ C}$ gadā polāros apgabalos līdz vairāk nekā $10 \text{ g m}^{-2} \text{ C}$ gadā meža ekosistēmās, bet vidēji pa visām ekosistēmām veido apmēram 2.4 g m^{-2} organiskā oglekļa gadā. Kā atzīmē pētījuma autors, viskrasākās izmaiņas augsnē organiskās vielas bilancē notiek, izjaucot pastāvošos vides apstākļus. Par to liecina virkne pētījumu Eiropas valstīs (Dersch, Boehm, 1997; Sleutel, De Neve, Hofman, 2003; Janssens, Freibauer et al., 2004), kur, gan veicot novērojumus, gan arī modelējot situāciju, ir pierādījies, ka klimatisko apstākļu un arī zemes lietošanas veida izmaiņu rezultātā organiskā oglekļa saturs aramzemē vairāku pēdējo desmit gadu laikā vidēji gadā ir samazinājies, piemēram, Beļģijā par 76 g m^{-2} , bet Austrijā par 24 g m^{-2} (vidēji ES – par $70 \text{ g m}^{-2} \text{ C}$ gadā). Samērā ievērojami organisko vielu zudumi atzīmēti pēc kūdraugšņu nosusināšanas ($0\text{--}47 \text{ g m}^{-2} \text{ C}$ gadā), kā arī sakarā ar kūdras ieguvei un izmantošanu lauksaimniecībā un enerģijas ieguvei (vidēji $0\text{--}36 \text{ g m}^{-2} \text{ C}$ gadā). Organiskā oglekļa uzkrāšanās augsnē notiek meža un zālāju ekosistēmās. Tā, meži Eiropā gadā no atmosfēras

piesaista vidēji $124 \text{ g m}^{-2} \text{ C}$, no kuriem 70% akumulējas koku biomasā, bet 30% – zemsedzē un augsnē, savukārt zālajos organiskā oglekļa uzkrājums augsnē vidēji sasniedz 60 g m^{-2} .

Organiskā oglekļa izvietojums augsnē profilā ir nevienmērīgs. Pētījumi globālā mērogā ir parādījuši, ka no kopējā augsnē profilā esošā organiskā oglekļa daudzuma apmēram puse atrodas augsnē virskārtas 30 cm biezā slānī, bet otra puse – 30–100 cm slānī (Batjes, 1996). Taču krājumu sadalījums starp virskārtu un dziļākiem slāņiem ir atkarīgs no veģetācijas tipa, zemes lietošanas veida un daudziem citiem faktoriem. Nozīmīga loma ir augu sakņu izplatībai augsnē, klimatam un māla saturam augsnē. Tā, piemēram, meža augsnē 0–20 cm slānī atrodas apmēram 50%, zālajos – ap 42%, bet krūmajos – 33% organiskā oglekļa no tā kopējā daudzuma augsnē 0–100 cm slānī. Organiskā oglekļa vertikālo izvietojumu meža augsnē un zālajos apraksta nepārtraukta eksponentfunkcija, bet aramzemē uz aramkārtas robežas notiek krasa organisko vielu satura maiņa (Jobbagy, Jackson, 2000; Hiederer, 2009).

Lai varētu izsekot un prognozēt augsnē organisko vielu sastāva un satura atšķirības dažādos zemes izmantošanas veidos, kā arī iespējamās izmaiņas, notiekot lietošanas veidu nomaiņai, jāizzina dažādu organisko savienojumu un to frakciju uzkrāšanās un pārveidošanās likumsakarības.

Jēdziens „augsnē organiskā viela” ietver sevī ļoti daudzveidīgu un dinamisku organisko savienojumu klāstu, kurus pēc to pazīmēm pieņemts iedalīt vairākās grupās. Lai gan absolūti lielāko daļu no augsnē organiskās vielas veido specifiskās humusvielas, liela nozīme ir arī citām sastāvdaļām. Stevenson (1994), balstoties uz to, kādā mērā dažādās sastāvdaļas pakļaujas mikroorganismu iedarbībai, augsnē organiskās vielas iedala **aktīvajā** un **stabilajā**. Aktīvā augsnē organisko vielu daļa sastāv no augu atliekām, tā saucamās **gaišās** frakcijas, augsnē mikroorganismu biomasas un ar minerālvielām nesaistītām nehumificētām vielām, kas salīdzinoši viegli pakļaujas mineralizācijai. Savukārt **stabilo** daļu veido pasīvais humuss, kas ne tikai kalpo par augu barības vielu rezervi, bet arī būtiski ietekmē daudzās augsnē īpašības.

Atmirušās augu atliekas, kas atrodas augsnē virspusē, Stevenson (1994) sauc par makroorganisko vielu. Tai ir liela ietekme augu barības elementu apritē meža un zālaugu ekosistēmās. Pēc tam kad augsnē makrofauna šīs atliekas sajauc ar minerālo daļu, augsnē veidojas **gaišā** frakcija, kura sastāv no augu atlieku sadalīšanās procesā veidojošos savienojumu

grupām. Gaišā frakcija ir ļoti dinamiska, tās daudzums svārstās sezonāli, bet visvairāk to ietekmē svaiga organiskā materiāla iestrāde augsnē. Šo frakciju no makroorganiskās vielas izdala, lietojot šķīdinātājus, kuru blīvums ir 1.6–2.0 g cm⁻³.

Mikroorganismu biomasu veido augsnes baktērijas, sēnes, aļģes, nematodes u.c. Šie mikroorganismi ne tikai veic augu atlieku adalīšanu, nodrošinot sevi un augus ar nepieciešamajām barības vielām, bet arī paši ir labils augu barības elementu avots. Biomasas ogleklis veido 1–3% no kopējā augsnes organiskā oglekļa daudzuma. Frakciju nosaka pēc izdalītās ogļskābās gāzes daudzuma, inkubējot dabisku un ar hloroformu fumigētu augsni. Mirušie mikroorganismi sadalās vieglāk un ātrāk. Savukārt stabilo humusu veido humīns, brūnās un pelēkās humīnskābes, himatomelānskābes un fulvoskābes (Stevenson, 1994). Šis iedalījums palīdz izprast pārmaiņas, kas notiek gan augsnes virspusē, gan arī pašā augsnē, ļauj novērtēt augsnes organisko vielu dinamisko dabu un orientēties, kā un cik lielā mērā augsnes izmantošana un tās apstrāde ietekmē augu barības elementu pieejamību un citas izmaiņas augsnē.

Baldock un Nelson (2000) sniedz augsnes organiskās vielas frakciju detalizētāku skaidrojumu, akcentējot arī to ķīmisko sastāvu un sastāva potenciālās izmaiņas augsnē notiekošajos procesos. Kā pirmo autori apraksta šķīstošo organiskā oglekļa savienojumu grupu, kuru veido augsnes šķīdumā izšķīdušie augu sakņu izdalījumi, mineralizācijas procesa un mikroorganismu metabolisma produkti. Pēc ķīmiskā sastāva tie ir ogļhidrāti, ogļūdeņraži, polifenolu grupas savienojumi, alifātiskās, aromātiskās un aminoskābes, bet no humusvielām tās pārsvarā ir fulvoskābes. Šīs augsnes organiskā oglekļa frakcijas koncentrācija aramkārtā veido 5–50 mg L⁻¹ C, bet B un C horizontos – 0.5–5 mg L⁻¹ C. Šī frakcija vairāk izteikta ir skābā vidē, un tā saistās ar Ca, Al un Fe, kā arī adsorbējas uz smalki dispersām virsmām.

Nākamo augsnes organisko vielu frakciju – cietdaļiņu organisko oglekli (*particulate/macroorganic organic carbon*) – veido augu atlieku daļiņas dažādās sadalīšanās pakāpēs. Tas ir augu izcelsmes materiāls, kas var saturēt arī sēņu hifas, sporas, ziedputekšņus, augsnes mikrofaunas skeletus u.c., un tas kalpo par enerģijas avotu un barības vielu augsnes organismiem, kā arī par augu barības elementu avotu. Makroorganisko frakciju izdala sijājot, un pēc izmēriem tās zemākā robeža sakrīt ar smilts frakcijas apakšējo robežu, t.i., 0.02 mm.

Pēc ķīmiskā sastāva organisko vielu daļiņas, kuru izmēri ir intervālā no 0.25 līdz 2.5 mm, atbilst augu materiāla sastāvam, bet, izmēram samazinoties, organiskajā materiālā samazinās O–alkil– grupu un palielinās alkil– un aromātisko oglekļa atvasinājumu īpatsvars, jo ogļūdeņražu struktūru ir noārdījuši mikroorganismi, atstājot lignīna un alifātiskās struktūras.

Vissmalkāko daļu (ap 0.02 mm) veido mikroorganismu metabolisma produkti un humificēts materiāls, kas adsorbēts uz minerālu virsmām. No makroorganiskās frakcijas **gaišo** augsnes organisko vielu frakciju izdala, nostādinot to virs blīviem (1.6–2.0 g cm⁻³) šķīdumiem. Gaišās frakcijas savienojumi augsnē ir vai nu brīvā veidā, bez redzamas sasaistes ar minerālo daļu, vai arī cieši ieslēgti augsnes agregātos. Tā kā minerālo augsnes daļiņu blīvums ir lielāks par 2 g cm⁻³, bet organisko – mazāks par vai vienāds ar 1 g cm⁻³, tad pēc blīvuma iespējams spriest arī par organisko vielu mijiedarbību ar dažādām augsnes granulometriskā sastāva frakcijām. Produkts, kas paliek pāri pēc ūdenī šķīstošo organisko savienojumu un makroorganiskās frakcijas atdalīšanas, ir amorfs organisks materiāls – augsnes humuss. Humusa nozīmi, sastāvu un īpašības vispilnīgāk raksturo Tjurina (Тюрин, 1965) fundamentālo pētījumu rezultāti.

Tā kā organiskie savienojumi augsnē ķīmiski, fizikāli ķīmiski un fizikāli ir saistīti ar augsnes minerālo daļu, piemēram, organominerālu kompleksu veidā, struktūragregātos u.c., Christensen (1992; 1996) augsnes organisko vielu mineralizāciju un pārvērtības piedāvā skatīt augsnes fizikālo frakciju kontekstā. Atbilstoši viņa modelim organisko savienojumu ienese augsnē notiek ar virszemes biomasas atliekām un augsnē izvietoto sakņu, dzīvnieku un mikroorganismu atliekām, kas visas pakļautas mikrobioloģiskiem pārveides procesiem. Ieneses šķīstošā daļa nepastarpināti nonāk mikroorganismu biomasā, kur transformācijas rezultātā izveidojušies specifiskie savienojumi saistās ar māla, putekļu un smilts frakciju daļiņām stabili organominerālu kompleksu veidā un tajos ietilpstošais organiskais ogleklis veido galvenos augsnes organiskās vielas resursus. Šādā veidā saistītā organiskā oglekļa lielākā koncentrācija attiecas uz minerālajām daļiņām, kuru izmēri ir mazāki par 5 mikrometriem. Tikai pēc tam notiek saistīšanās ar rupjāka izmēra mehāniskajiem elementiem, taču ar smilts frakciju saistītās organiskās vielas kompleksi uzrāda lielāku stabilitāti un to aprites cikls aizņem vairākas

3. tabula / Table 3

Augsnes organiskās vielas (OV) frakciju un agregātos ietvertās OV aprites laiks
Turnover of soil organic matter (SOM) fractions and SOM in soil aggregates

Organiskās vielas veids / Kind of soil organic matter	Aprites laiks (gadi) / Turnover time (years)
Augsnes OV frakcijas / SOM fractions:	
augu atliekas / plant residues	0.5–2
mikroorganismu biomasā / microbial biomass	0.1–0.4
makroorganiskā viela / macroorganic matter	1–8
gaišā frakcija / light fraction	1–15
OV augsnes agregātos / SOM in soil aggregates:	
bezstruktūras augsnē / apedal soils	1–7
makroagregātos / macroaggregates (>0.25 mm)	1–23
mikroagregātos / microaggregates (0.02–0.25 mm)	3–80
saistīts ar putekļu un mālu daļiņām / fixed on silt and clay particles (<0.02 mm)	5–1000

desmitgades, t.i., sadalās lēnāk nekā ar smalkākām minerālajām daļiņām saistītie kompleksi.

Mikroorganismu biomasā esošais ogleklis veido salīdzinoši nelielu augsnes organiskās vielas daļu, taču mineralizācijas un humifikācijas procesos kalpo par starpnieku starp organisko atlieku ienesi, sadalīšanās produktu nešķīstošo daļu un organominerālajiem kompleksiem. Organisko oglekli saturošo vielu pārveidošanās ātrumu ietekmē bioloģiski nozīmīgi faktori, starp kuriem svarīga vieta ir augsnes temperatūrai, mitrumam, kā arī citām augsnes īpašībām.

Savukārt ieneses nešķīstošā daļa veido gan to augsnes organisko vielu frakciju, kas tālāk tiek pakļauta vides apstākļu izraisītām pārvērtībām, gan arī humusa inerto daļu, kā arī iekļaujas augsnes struktūragregātu sastāvā. Šīs ar augsnes minerālo daļu nesaistītās organiskā oglekļa savienojumu frakcijas un to sastāvā esošie savienojumi atšķirīgā mērā ir pakļauti sadalīšanās procesiem, kas galvenokārt ir saistīti ar apkārtējās vides apstākļiem. Tā, piemēram, zemās temperatūrās un palielināta mitruma apstākļos organisko savienojumu sadalīšanās noris lēnāk un notiek to akumulācija. Savukārt intensīvi izmantotajās zemēs dominē sadalīšanās procesi (Bremer, Janzen, Johnston, 1994). Tomēr arī šādos apstākļos atšķirīgos zemes izmantošanas veidos iespējama vēra ņemama organiskā oglekļa daudzuma uzkrāšanās. Visuzskatāmāk tas novērojams daudzgadīgājo zālāju un mežu ekosistēmā, jo organisko atlieku ienese šeit ir ievērojama, kaut arī sezonāli un teritoriāli tā var būt visai atšķirīga (Boone, 1994). Zemes apstrādes gaitā šī nešķīstošo organisko savienojumu daļa

tiek ietverta un saistīta arī augsnes makroagregātu sastāvā, tādējādi veidojot fizikāli stabilu organiskā oglekļa uzkrājumu, kura aprite notiek (atkarībā no izcelsmes un sastāva) laikā no dažiem mēnešiem līdz pat vairākiem gadiem (Mann, 1986; Beare, Cabrera et al., 1994; Post, Kwon, 2000). Augšnes organiskās vielas dažādu frakciju pārvērtību procesu ilgumu un apriti raksturo 3. tabulas dati (Carter, 2001).

Atkarībā no tā, kāds organiskais materiāls nonāk augsnē, lielā mērā ir atkarīga augsnes organisko vielu kvalitāte un spēja nodrošināt dažādas augsnes funkcijas. Organiskās vielas augsnē ir augu barības elementu rezerve, kas jūtami ietekmē augsnes fizikālās, fizikāli mehāniskās un ķīmiskās īpašības, tās konsistenci, un ir svarīgs priekšnoteikums ūdensizturīgas struktūras izveidošanā; līdz ar to struktūragregātos ietvertai organiskai vielai ir svarīga loma ūdens un gaisa režīma regulēšanā augsnē un ūdens infiltrācijas un caurlaidības veicināšanā (Carter, 2002).

Virszemes un augsnē esošo organisko atlieku, to sadalīšanās un humifikācijas produktu daudzums, pārveidošanās un pārvietošanās ātrums, kā arī dislokācija augsnē galvenokārt ir atkarīgi no ekosistēmas tipa, kurā tās veidojas un akumulējas, un arī no zemes lietošanas veida. Lauksaimniecībā intensīvi izmantojamās zemēs virszemes augu atliekas un arī saknes tiek mehāniski sajauktas ar augsnes virsējo slāni. Daudzgadīgos zālajos, pļāvās un ganībās virszemes atmirušī augu masa vai pēcpļaujas atliekas sadalās turpat uz vietas un tikai atsevišķās vietās dzīvnieku vai tehnikas iedarbības rezultātā sajaucas ar augsni. Arī šo augu sakņu masa un sakņu izdalījumi

tālāk sadalās un nonāk tiešā kontaktā ar augsnes minerālo daļu. Šāda veida atšķirības līdz ar klimatisko apstākļu īpatnībām ietekmē mikrobioloģisko procesu aktivitāti, organisko vielu saturu augsnē un tās sastāvu, kā arī organisko vielu mijiedarbību ar augsnes minerālo daļu. Rezultātā, pielietojot atšķirīgus zemes lietošanas veidus, augsnēm izveidojas dažāda humusa bilance, atšķirīgas fizikālās īpašības, gaisa un mitruma režīms, oksidēšanās–reducēšanās procesu intensitāte, augu barības elementu pieejamība un migrācija (Post, Kwon, 2000; Swift, 2001; Baritz, De Neve et al., 2004; Sukkel, Van Geel, de Haan, 2008).

Kad dabisko veģetāciju nomaina ar intensīvu augsnes apstrādi un izmantošanu kultūraugu audzēšanai, notiek strauja organisko vielu satura samazināšanās. To izraisa gan organiskās masas ieneses apjoma samazināšanās, gan, vēl būtiskāk – tās sastāva izmaiņas, jo biomasā samazinās grūti sadalāmās, nešķīstošās frakcijas savienojumu īpatsvars. Turklāt intensīva augsnes apstrāde ne tikai nodrošina labvēlīgu vidi mineralizācijas procesu norisei, bet arī noārda struktūragrēgātus, tādējādi pakļaujot mineralizācijai arī augsnes agregātos ieslēgtos organiskos savienojumus. Šī iemesla dēļ organiskā oglekļa satura samazināšanās augsnes virskārtā (0–20 cm) dažādos pētījumos, kas veikti atšķirīgos agroklmatiskos apstākļos, 20–50 gadu laikā ir sasniegusi pat 50%, bet augsnē līdz 100 cm dziļumam – apmēram 30% (Post, Kwon, 2000; Murty, Kirschbaum et al., 2002; Shevtsova, Romanenkov et al., 2003; Bravo-Garza, Bryan, 2005; Celik, 2005). Arī Davidson un Ackerman (1993) norāda, ka, intensīvi izmantojot meža vai zālaugu agrāk aizņemtās zemes, organiskā oglekļa zudumi augsnē turpina samazināties vismaz 20 gadus, lielāko kritumu uzrādot tieši pirmajos 5 gados pēc zemes lietošanas veida maiņas.

Pretēja rakstura organisko vielu izmaiņu dinamika augsnē norisinās tad, kad lauksaimniecībā intensīvi izmantojamās zemes tiek transformētas zālaugu audzēšanai. Organisko vielu uzkrāšanās augsnē palielinās, pateicoties virszemes augu atliekām un salīdzinoši lielajai sakņu masai, t.i., lielākai organisko vielu ienesei augsnē, kā arī samazinātai augsnes apstrādei. Organiskā oglekļa uzkrāšanos augsnē veicina praktiski visi agrotehniskie pasākumi, kas uzlabo zemes produktivitāti. Novērojumi vairāk nekā 100 pētījumu vietās parādījuši, ka zālaugu ekosistēmās organiskā oglekļa uzkrāšanās galvenokārt novērojama augsnes virskārtā 0–10 cm slānī (Romkens, Van der Pflicht, Hassink,

1999; Conant, Paustian, Elliott, 2001).

Daudz pētījumu pievēršas augsnes organisko vielu satura izmaiņām sakarā ar augsnes apstrādes veida izmaiņu. Tā, analizējot 17 izmēģinājumu rezultātus, Smith ar kolēģiem (Smith, Powlson et al., 1998) konstatējis, ka augsnes apstrādes intensitātes samazināšana, pārejot no konvencionālās uz bezapstrādi, palielina augsnes organiskā oglekļa saturu par $0.73 \pm 0.39\%$ gadā. Izmaiņas ir ilgstošas, un jaunu līdzsvaru augsnes organiskās vielas sasniedz tikai 50 līdz 100 gadu laikā. Autori uzsver, ka šāda augsnes apstrādes maiņa izraisa organiskā oglekļa satura pieaugumu galvenokārt augsnes virskārtas 8 cm biezā slānī, mazāk tas izteikts 8–15 cm dziļumā, bet dziļāk par 15 cm izmaiņas praktiski vairs netiek novērotas. Novērtējot audzēto kultūraugu ietekmi (West, Post, 2002), secināts, ka, nomainot konvencionālo augsnes apstrādi ar minimālo, organiskā oglekļa uzkrāšanās nav konstatēta kviešu–papuves sistēmā, kā arī pārejot no kukurūzas monokultūras uz kukurūzas–sojas audzēšanu. Līdzīgi secinājumi gūti arī citos pētījumos (Kern, Johnson, 1993), kur akcentēts, ka tikai daļēji samazināta augsnes apstrādes intensitāte neuzrāda tik būtiskas augsnes organisko vielu satura izmaiņas.

Konvencionāla monokultūru sistēma arī noved pie augsnes organisko vielu degradācijas un satura samazināšanās. Izmēģinājumos Polijā (Rychcik, Adamiak, Wojciak, 2006), monokultūrā audzējot ziemas kviešus, tritikāli un auzas, organisko vielu saturs augsnē praktiski palika nemainīgs, bet zirņu un pupu bezmaiņas sējumi 12 gadu laikā organisko vielu saturu augsnē samazināja; savukārt variantos ar rudziem, kartupeļiem un cukurbietēm – atšķirībā no augsekas laukiem – humusa sastāvā sāka dominēt fulvoskābes. Arī Vācijā (Susyan, Wirth, 2010) 10 gadus monokultūrā audzētā kukurūza un rudzi nav izmainījuši augsnes organiskā oglekļa saturu, taču ir konstatēts atšķirīgs organisko savienojumu frakcionālais sadalījums. Augsnē, kur monokultūrā audzēti rudzi, konstatēts 2 reizes lielāks makroorganiskās vielas (augu atliekas dažādās sadalīšanās pakāpēs) frakcijas saturs nekā kukurūzas laukā un līdz ar to arī straujāka organiskā oglekļa aprīte, savukārt lielāka organisko vielu akumulācija augsnes mikroagregātu sastāvā noteikta, audzējot monokultūrā kukurūzu. Arī izmēģinājumos Polijā (Dabek-Szreniawska, Balashov, 2007) secināts, ka monokultūras sējumos augsnē dominē labilās makroorganiskās vielas, kas viegli pakļaujas mineralizācijai, bet, salīdzinot ar organisko un konvencionālo sistēmu, mazāk uzkrājas stabilie

humusa komponenti, tāpēc monokultūras noplicina augšnes organiskās vielas krājumus un samazina augšnes auglību.

Pēdējā laikā vairākās Eiropas valstīs un arī citviet pasaulē sakarā ar klimata izmaiņām un pārprodukciju lauksaimniecībā labi iekultivētās lauksaimniecībā izmantojamās zemes tiek apmežotas. Meža ekosistēma akumulē savā biomasā lielāku daudzumu oglekļa nekā attiecīgajās platībās audzētie lauka kultūraugi, tādējādi samazinot atmosfēras ogļskābās gāzes koncentrāciju un sekmējot globālo vides problēmu mazināšanu. Pētījumos noskaidrots (Bouwman, Leemans, 1995; Rosenqvist, 2007; Bolliger, Hagedorn et al., 2008), ka meža audzes aktīvas augšanas periodā līdz 45 gadu vecumam savā biomasā saista divreiz vairāk oglekļa nekā vecāks mežs, bet kopumā meža ekosistēma (virszemes un sakņu masa, O horizonts un minerālaugšnes 25 cm virskārta) oglekļa uzkrājumu gadā palielina par 2.8 Mg ha⁻¹. Apmēram trešdaļa no tā uzkrājas tieši augsnē un veido ap 0.8 Mg ha⁻¹ C gadā.

Mežā, salīdzinot ar apstrādājamām zemēm, kur liela daļa izaudzētās biomasas tiek novākta, palielinās organisko vielu ienese augsnē, taču uzkrājums veidojas galvenokārt O horizontā. No organiskās vielas horizonta augšnes minerālajā daļā (0–60 cm) var pāriet līdz pat 90% šķīstošo organisko savienojumu, kuru tālākā mineralizācija to specifiskā sastāva dēļ ir apgrūtināta. Ar nokrišņiem, kas izgājuši cauri lapotnei un O horizontam, augšnes minerālajā daļā gadā nonāk 250–310 kg ha⁻¹ izšķīdušu organisko oglekļa un 8–9 kg ha⁻¹ organisko slāpekļa savienojumu, kuru saistīšanās augsnē ir atkarīga no oksalāta šķīdumā ekstrahējamā Al un Fe satura, tādējādi izraisot augšnes organisko vielu kvalitatīvas izmaiņas. Organiskā oglekļa uzkrāšanās tendences vairāk raksturīgas vājāk iekultivētām smiltis augsnēm. Savukārt smagāka granulometriskā sastāva augsnēs ar augstu augu barības elementu nodrošinājumu pat 30 gadus pēc apmežošanas organiskā oglekļa krājumi augšnes minerālajā daļā samazinās.

Karltun ar kolēģiem (Karltun, Harrison et al., 2005) uzsver, ka pēc lauksaimniecībā izmantojamās zemes apmežošanas iespējama iepriekšējā zemes lietošanas periodā aramkārtā uzkrāto organisko vielu pastiprināta mineralizācija, kas zināmā mērā limitē organiskā oglekļa krājumu palielināšanos meža augšnes minerālajā daļā. Citi pētījumi (Vesterdal, Ritter, Gundersen, 2002) par lauksaimniecības zemes transformāciju mežā (ozolu audze un Norvēģijas egles audze) rāda, ka egļu audze saista biomasā

4 reizes vairāk oglekļa nekā ozoli, taču tas neattiecas uz organiskā oglekļa saturu un uzkrājumu augsnē. Neskatoties uz audzēto koku sugu, organisko vielu uzkrājums un saturs augsnē bijis līdzīgs. Galvenais organisko vielu uzkrājums novērots meža augšnes virsējā 5 cm slānī. Turpretī dziļāk augsnē (5–25 cm) organisko vielu saturs 30 gadu laikā pakāpeniski samazinājies, pie kam 15–25 cm slānī samazinājums ir bijis būtisks. Tā, virsējā slānī organiskā oglekļa daudzums šajā laikā palielinājies par 3.8 Mg ha⁻¹, bet samazinājies par 7.1 un 8.4 Mg ha⁻¹ attiecīgi augšnes 5–15 cm un 15–25 cm slānī. Līdz ar to labi iekultivētas augšnes apmežošana ir samazinājusi organisko vielu krājumus augšnes aramkārtas slānī par 11.8 Mg ha⁻¹. Eksperimentā paralēli veiktā tās pašas zemes transformācija par ganībām līdzīgā dziļumā attiecīgajā laika periodā uzrādījusi 72 Mg ha⁻¹ lielu organiskā oglekļa masas uzkrājumu.

Līdzīgas tendences konstatētas Jug, Rehfuess un Hofmann-Schielle (1999) pētījumā, iekultivētu tīrumu vietā ierīkojot ātraudzīgo kārklu, apšu un vītulu audzes. Tur jau 9 gadu laikā augšnes virskārtā dziļāk par 20 cm bija vērojams organiskā oglekļa satura ievērojams kritums. Pētījumu autori gan apgalvo, ka šāda tendence raksturīga, apmežojot labi iekultivētas augšnes, un novērojama tikai meža attīstības pirmajās desmitgadēs, kamēr procesi augsnē iegūst jaunu līdzsvaru – nostabilizējas organisko vielu ienese, mikrobioloģiskie procesi, organiskā materiāla sadalīšanās un pārvietošanās augšnes profilā. Jackson ar kolēģiem (Jackson, Banner et al., 2002) atzīmē, ka arī krūmāju ieviešanās zālaugu ekosistēmā nevis veicina organisko vielu akumulāciju augsnē, kā ir bijis pieņemts domāt, bet gan būtiski to samazina. Tādējādi apgalvojums, ka meža ekosistēmā augšne ievērojami bagātinās ar organiskām vielām, vismaz meža audžu augšanas sākuma periodā, ne vienmēr ir pamatots.

Organiskā oglekļa krājumu samazināšanos augšnes minerālajā daļā, īpaši kokaudžu attīstības pirmajos 30 gados, apliecina arī vairāki citi pētījumi (Post, Kwon, 2000; Paul, Polglase et al., 2002; Guo, Gifford, 2002; Vesterdal, Rosenqvist et al., 2006), skaidrojot to ar salīdzinoši nelielu nobiru daudzumu šajā periodā, nedzīvajā zemsegā akumulēto organisko vielu lēnāku sadalīšanos un limitētu nonākšanu augšnes dziļākos slāņos. Lielākais organisko vielu krājumu samazinājums augšnes minerālajā daļā konstatēts, apmežojot pļavas un ganības. Savukārt transformējot graudaugu un rušināmaugu audzēšanai agrāk izmantoto zemi, augsnē dažkārt novērots arī organisko vielu satura pieaugums. Organiskā oglekļa

4. tabula / Table 4

Zemes lietošanas veida (ZLV) maiņas ietekme uz organiskā oglekļa daudzumu augsnē
C_{org} changes in soil depending on land use pattern

ZLV maiņa / Land use change	Izmaiņas, Mg ha ⁻¹ C gadā / Annual C changes, Mg ha ⁻¹		Ticamība (ekspertu slēdziens) / Plausibility (expert decision)	Literatūras avots / Source
	zudumi / losses	pieaugums / increase		
Aramzeme – zālājs / Arable land – ley	–	0.3–1.9	maza / low	Soussana, Loiseau et al., 2004
Aramzeme – mežs / Arable land – forest	–	0.3–1.4	augsta / high	Freibauer, Rounsevell et al., 2004
Aramzeme – ilggadīgas ganības / Arable land – pastures	–	0.27	maza / low	Post, Kwon, 2000
Zālājs – aramzeme / Ley – arable land	0.95–1.7	–	maza / low	Soussana, Loiseau et al., 2004; Freibauer, Rounsevell et al., 2004
Zālājs – mežs / Ley – forest	–	0.10	maza / low	Soussana, Loiseau et al., 2004
Mežs – aramzeme / Forest – arable land	0.6	–	vidēja / medium	Freibauer, Rounsevell et al., 2004
Mežs – zālājs / Forest – ley	0.1	–	maza / low	Soussana, Loiseau et al., 2004
Agromežsaimniecība / Agroforestry	–	0.52–0.74	maza / low	Sharrow, Ismail, 2004
Kūdrāja kultivēšana / Cultivation of peatlands	2.2–5.4	–	maza / low	Freibauer, Rounsevell et al., 2004

krājumu izmaiņas augsnē pēc apmežošanas ir atkarīgas ne tikai no iepriekšējā zemes izmantošanas veida, bet arī no klimatiskajiem apstākļiem, cilmieža, augsnē tipa, granulometriskā sastāva, augu barības elementu nodrošinājuma līmeņa, koku sugas, meža vecuma u.c. faktoriem. Neskatoties uz to, ka meža ekosistēma saista lielu daudzumu oglekļa, tieši minerālaugsnes tiek uzskatītas (Christensen, 1992; Six, Conant et al., 2002) par stabilāko oglekļa piesaistīšanas vidi, jo izveidojušies augsnē organo-minerālie kompleksi vājāk pakļaujas mineralizācijas procesiem un ir ilgstoši noturīgi, salīdzinot ar oglekļa savienojumiem nedzīvajā zemsegā.

Iepriekšminētā augsnē organisko vielu saturs un uzkrājumu samazināšanās var būtiski izmainīt

augsnē kvalitāti, kad lauksaimniecībā izmantojamās zemēs uzsāk enerģētisko augu, tai skaitā atsevišķu koku sugu, kultivēšanu. Atjaunojamās enerģijas resursu un tehnoloģiju izpēti devusi impulsu politikiem un enerģijas ražotājiem plānot lielu aramzemes un zālaugu platību transformēšanu līdz šim maz izpētītam zemes izmantošanas veidam (Grigal, Berguson, 1998). Aprēķināts (Fischer, Prieler et al., 2010), ka, būtiski neietekmējot pārtikas un lopbarības ražošanas apjomus, 2030. gadā ES un īpaši Austrumeiropas valstīs ap 44–53 miljoni hektāru pašreizējo iekultivēto zemju varētu tikt izmantoti enerģētisko augu audzēšanai. Diemžēl šobrīd ir salīdzinoši maz pētījumu, kas ļautu prognozēt šāda zemes

izmantošanas veida ietekmi uz augšnes īpašībām, tai skaitā uz augšnes humusa bilanci. Audzējot atšķirīgus biomasas augu veidus (ātraudzīgos kokus, zālaugus u.c.), organisko vielu ienese augsnē gan kvantitatīvi, gan pēc ķīmiskā sastāva būs dažāda. Atsevišķi zinātnieki (Lasch, Kollas et al., 2010) prognozē, ka, piemēram, audzējot kārkļus un iegūstot vidēji 7.47 Mg ha^{-1} koksnes sausnes gadā, augšnes organiskā oglekļa pieaugums augsnē būs $0.81 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ C}$ gadā. Citi pētījumi Vācijā (Kahle, Hildebrand et al., 2007) parādījuši, ka, audzējot papeles un vītulus biomasas ražošanai iekultivētā smilts augsnē, 12 gadu laikā ir palielinājis gan organiskā oglekļa, gan arī slāpekļa saturs augšnes virskārtā, taču C:N attiecība ir paplašinājusies, jo slāpekļa īpatsvars organiskajās atlikās, kas nonāk augsnē, ir samazinājis. 4. tabulā ir apkopoti literatūrā sastopamie dati par zemes lietošanas veida ietekmi uz organiskā oglekļa izmaiņām augsnē².

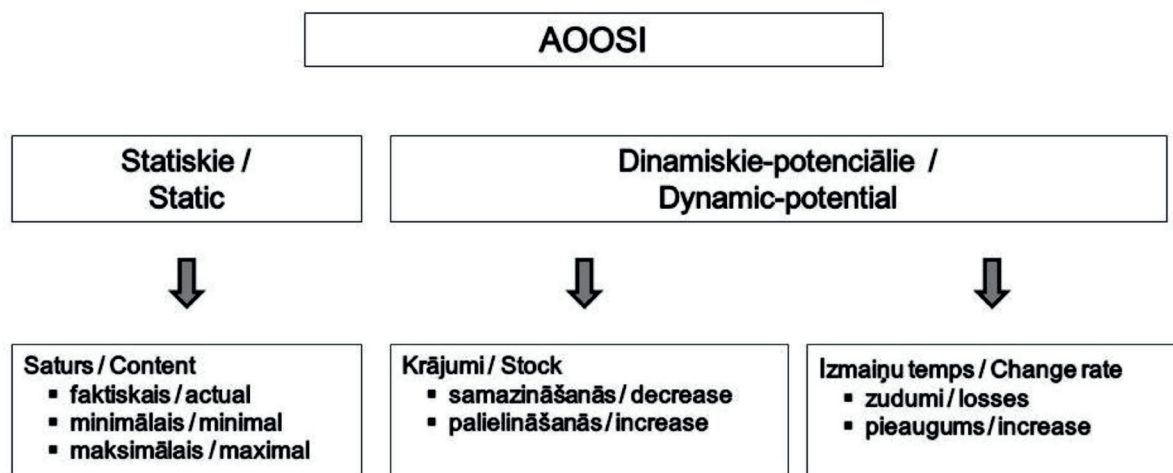
No iepriekšminētā izriet, ka ir daudz faktoru, kas nosaka organisko vielu satura izmaiņas un šo izmaiņu ātrumu, kad notiek vai tiek veiktas radikālas pārmaiņas augšnes izmantošanā un apstrādē. Svarīgākie faktori, kas ietekmē augšnes organisko vielu satura uzturēšanu un palielināšanu, ir: 1) organiskās masas ieneses palielināšana; 2) grūtāk noārdāmo organisko savienojumu īpatsvara pieaugums augsnē jaunveidojamā organiskajā vielā; 3) organiskās masas iestrāde dziļākos augšnes slāņos mehāniski vai arī veicinot augšnes dzīvo organismu darbību; un 4) izturīgas augšnes struktūras veidošanās nodrošināšana.

Kādam jābūt organisko vielu saturam augsnē, lai tiktu nodrošināta tās funkciju pilnvērtīga realizācija un arī augšnes ilgtspējīga izmantošana? Pētījumos par augšnes fizikālajām īpašībām un tās ietekmējošiem faktoriem (Greenland, Rimmer, Quirk, 1975) konstatēts, ka, organiskā oglekļa saturam augsnē pazeminoties zem 2% robežas, būtiski samazinās augšnes struktūragregātu stabilitāte un līdz ar to arī citas augšnes īpašības. Turpmākie pētījumi un iegūto datu analīze (Carter, 2001; Loveland, Webb, 2003; Huber, Prokop et al., 2008) liecina, ka noteikt universālas kritiskās robežvērtības organisko vielu, kā arī to frakciju un komponentu saturam augsnē ir problemātiski un diez vai tādas vispār ir iespējamas. Tas tiek skaidrots ar augšnes organisko vielu neviennozīmīgo un daudzfunkcionālo dabu, kas atkarīga no ģeoklimatiskiem apstākļiem, zemes izmantošanas veida, augšnes tipa, augšnes apsaimniekošanas un citiem faktoriem.

Atsevišķi mēģinājumi (Feller, Beare, 1997) noteikt organisko vielu augstākās un zemākās pieļaujamās vērtības mūsdienās saistīti galvenokārt ar erozijai pakļautajām tropiskajām augsnēm, kur konstatētas lineāras sakarības starp organisko vielu satura izmaiņām atkarībā no putekļu un mālu frakciju satura augsnēs, kurās dominē kaolinīta un smektitīta tipa māla minerāli, kā arī saistībā ar virszemes noteces turbidimetriju, t.i., ūdeņu uzduļķojuma un organiskās vielas satura sakarībām. Arī Loveland, Webb un Bellamy (1999), pētot organiskā oglekļa satura un augšnes agregātu stabilitātes sakarības lielumam skaitam augšņu paraugu, konstatējuši, ka kritiskās robežas ($C_{\min} < 2\%$ un $C_{\max} > 2.5\%$) atrodas salīdzinoši šaurā intervālā, bet oglekļa noteikšanas kļūda šajā intervālā ir 0.1%, tāpēc tiek uzskatīts, ka organiskā oglekļa saturs nav pietiekami labs indikators augšnes fizikālo īpašību izmaiņu prognozēšanai.

Citā publikācijā (Korschens, Weigel, Schulz, 1998) autori secina, ka tad, ja neņem vērā augšnes veidu, par kritisko organiskā oglekļa satura robežu varētu uzskatīt 1%, zem kuras tad vairs nav iespējams sasniegt potenciālo ražību. Tomēr viņi kritiski vērtē augšnes organisko vielu satura rādītāja kā augšnes īpašību un kultūraugu ražības izmaiņu indikatora nozīmību, norādot uz nepieciešamību plašāk pētīt tā saukto aktīvo frakciju ietekmi uz augšnes īpašībām dažādās augsnēs un atšķirīgos zemes izmantošanas veidos. Verheijen ar kolēģiem (Verheijen, Bellamy et al., 2005), pamatojoties uz Anglijas un Velsas augšņu apsekošanas datiem, konstatējuši, ka organiskā oglekļa saturs tīrumu un daudzgadīgo zālāju augsnēs variē zināmās robežās atkarībā no māla satura tajās un vidējās gada nokrišņu summas. Tā, smilts augsnēs zemākais C_{org} saturs ir bijis 0.5%, bet augstākais palielinājis no 1.6% (kad nokrišņu daudzums bijis <650 mm gadā) līdz 3.4% (800–1100 mm nokrišņu gadā). Savukārt māla augsnēs (māla saturs – 40–50%) zemākā robeža atkarībā no nokrišņu summas paaugstinājusies no 1.5% līdz 2.3% C_{org} , bet augšējā robeža – attiecīgi no 4.1% līdz 5.3% C_{org} . Pamatojoties uz pieejamo datu analīzi, Spink ar kolēģiem (Spink, Hackett et al., 2010) atzīmē, ka ir pilnīgi skaidrs, ka augšnes, kur organiskā oglekļa saturs pārsniedz 2%, spēj veikt savas funkcijas, taču satura pazemināšanās zem šīs robežas vienmēr jāizvērtē atsevišķi atkarībā no tā, vai tādējādi pasliktinās augšnes fizikālās īpašības, palielinās erozijas risks un vai tiek limitēta augšnes produktivitāte.

² http://www.snh.org.uk/pdfs/strategy/renewable/Patricia_Bruneau.PPS – Resurss aprakstīts 2011. gada 14. maijā.



1. att. Augsnē organiskā oglekļa statusa indikatoru (AOOSI) pamatstruktūra.

Fig. 1. Layout of indicators for monitoring of soil organic carbon status (AOOSI).

Lai būtu iespējams kontrolēt Eiropas Savienībā degradācijai potenciāli pakļauto lauksaimniecībā izmantojamo minerālaugšņu kvalitātes izmaiņas, Stolbovoy un Montanarella (2008) iesaka izmantot **Augsnes organiskā oglekļa statusa** indikatoru (AOOSI). To pamatstruktūra parādīta 1. attēlā.

Indikatoru izveide balstīta uz šādiem principiem: 1) augsnē organiskā oglekļa statusu nosaka atsevišķi katrai augsnē tipoloģijas vienībai; 2) faktiskais augsnē organiskā oglekļa saturs (C_{fakt}) (kg m^{-2} vai Mg ha^{-1}) raksturīgs augsnē tipam, mainās atkarībā no bioklimatiskiem apstākļiem un augsnē apsaimniekošanas veida, kas nosaka organisko vielu ieneses–izneses attiecību; 3) minimālais augsnē organiskā oglekļa saturs (C_{min}) ir atkarīgs no augsnē granulometriskā sastāva un māla minerālu veida, bet ne no augsnē ģeogrāfiskās atrašanās vietas, un atbilst bioloģiski „inertajai” augsnē organisko vielu frakcijai; 4) maksimālais augsnē organiskā oglekļa saturs (C_{max}) ir lielākais tā daudzums, ko attiecīgā tipa augsnē spēj akumulēt dotajos klimatiskajos apstākļos pie maksimālas ieneses un minimālas augu atlieku un humusa mineralizācijas; 5) augsnē organiskā oglekļa daudzuma izmaiņas notiek saskaņā ar eksponenciālu sakarību, t.i., tā uzkrāšanās straujāk notiek ar organiskām vielām nabadzīgās augsnēs, bet krājumi ātrāk sarūk augsnēs ar augstu organisko vielu saturu. Augsnē organiskā oglekļa kritisko līmeņu, kā arī izmaiņu apjoma un dinamikas aprēķiniem izmantojami autoru piedāvātie algoritmi (Stolbovoy, Montanarella, 2008). Taču tik detalizēti aprēķini prasa ievērojamu sākotnējo datu apjomu, kuru pieejamība nereti ir problemātiska. Tāpēc, izstrādājot indikatorus augsnē organisko vielu statusa izmaiņu un arī citu augsnē degradācijas risku novērtēšanai monitoringa

sistēmās, noteikti trīs galvenie (TOP3) indikatori: 1) augsnē organiskā oglekļa saturs (%) augsnē virskārtā; 2) augsnē organiskā oglekļa krājumi (Mg ha^{-1}); un 3) kūdras krājumi (Mt), neuzrādot to kritiskās vērtības, bet paredzot identificēt šo rādītāju izmaiņas laikā (Huber, Prokop et al., 2008).

Secinājumi

ES dalībvalstīs, no vienas puses, notiekot lauksaimniecības restrukturizācijai un daļējai LIZ transformācijai, bet, no otras puses, aktualizējot augsnē aizsardzības jautājumus, liela vērtība tiek pievērsta augsnē kvalitātes aspektiem. Tiek meklēti konceptuāli risinājumi augsnē kvalitātes būtības formulēšanai, kā arī tās raksturojošo rādītāju jeb indikatoru izvēlei. Ņemot vērā komplicēto sistēmu, kādu veido augsnē un tajā notiekošie procesi, augsnē atšķirīgās funkcijas, kā arī daudzskaitlīgās variācijas, ko veido dabiskie apstākļi un antropogēnā ietekme, nav viegli atrast vienkāršu un universāli pielietojamu shēmu augsnē kvalitātes novērtēšanai un tās izmaiņu monitoringam.

Literatūra

1. Arshad, M.A., Martin, S. (2002) Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 88, No. 2, 153–160.
2. Baldock, J.A., Nelson, P.N. (2000) Soil organic matter. *Handbook of Soil Science*. Editor-in-chief M. E. Summer. CRC PRESS, Boca Raton, London, New York, Washington DC, B25–B84.

3. Baritz, R., De Neve, S., Barancikova, G., Gronlund, A., Leifeld, J., Katzensteiner, K., Koch, H.-J., Palliere, C., Romanya, J., Schaminee, J. (2004) Organic matter and biodiversity. Task group 5 on Land use practices and SOM. *Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection*. EUR 21319 EN/3. Eds L. Van-Camp, B. Bujarrabal, A.-R. Gentile, R.J.A. Jones, L. Montanarella, C. Olazabal, S.-K. Selvaradjou. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 439–465.
4. Batjes, N.H. (1996) Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, Vol. 47, Iss. 2, 151–163.
5. Beare, M.H., Cabrera, M.L., Hendrix, P.F., Coleman, D.C. (1994) Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 58, 787–795.
6. Bieganski, A., Skierucha, W., Walczak, R.T. (2004) Research specificity and standardization of agrophysical methods on the example of investigations in soil physics. *Research in Agricultural Engineering*, Vol. 50, No. 3, 103–106.
7. Bolliger, J., Hagedorn, F., Leifeld, J., Böhl, J., Zimmermann, S., Soliva, R., Kienast, F. (2008) Effects of land-use change on carbon stocks in Switzerland. *Ecosystems*, Vol. 11, No. 6, 895–907.
8. Boone, R.D. (1994) Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 26, 1459–1468.
9. Bouwman, A.F., Leemans, R. (1995) The role of the forest soils in the global carbon cycle. *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Eds W.F. McFee, F.M. Kelly. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, 503–525.
10. Bravo-Garza, M.R., Bryan, R.B. (2005) Soil properties along cultivation and time sequences on vertisols in north-eastern Mexico. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 69, 473–481.
11. Bremer, E., Janzen, H.H., Johnston, A.M. (1994) Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter on management practices in a Lethbridge soil. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 74, 131–138.
12. Carter, M.R. (2001) Organic matter and sustainability. *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. Eds R.M. Rees, B.C. Ball, C.D. Campbell, C.A. Watson. Cabi Publishing, Wallingford, UK, 9–22.
13. Carter, M.R. (2002) Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, Vol. 94, 38–47.
14. Celik, I. (2005) Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, Vol. 83, Iss. 2, 270–277.
15. Christensen, B.T. (1992) Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, Vol. 20, 1–90.
16. Christensen, B.T. (1996) Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. *Evaluation of Soil Organic Matter Models*. NATO ASI Series I, Vol. 38. Eds D.S. Powlson, P. Smith, J.U. Smith. Springer-Verlag, Berlin, 143–159.
17. COM 2006/231. (2006) Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – *Thematic strategy for soil protection*. Commission of the European Communities, Brussels, 12 pp.
18. Conant, R.T., Paustian, K., Elliott, E.T. (2001) Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications*, Vol. 11, No. 2, 343–355.
19. Dabek-Szreniawska, M., Balashov, E. (2007) Seasonal changes in labile organic matter, mineral nitrogen, and N₂O emission in a loamy sand Orthic Luvisol cultivated under three management practices. *International Agrophysics*, Vol. 21, 127–132.
20. Davidson, E.A., Ackerman, I.L. (1993) Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, Vol. 20, 161–193.
21. De La Rosa, D. (2005) Soil quality evaluation and monitoring based on land evaluation. *Land Degradation and Development*, Vol. 16, Iss. 6, 551–559.
22. Dersch, G., Boehm, K. (1997) Bodenschutz in Österreich. *Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft*. Eds W.E.H. Blum, E. Klaghofer, A. Loechl, P. Ruckebauer. Österreich, Germany, 411–432.
23. Doran, J.W. (2002) Soil health and global sustainability: translation science into practice.

- Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 88, Iss. 2, 119–127.
24. Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carre, F., Houšková, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M.G., Kozak, J., Le Bas, C., Toth, G., Toth, T., Varallyay, G., Yli Halla, M., Zupan, M. (2006) *Common criteria for risk area identification according to soil threats. European Soil Bureau Research Report No. 20*. EUR 22185 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 94 pp.
 25. Feller, C., Beare, M.H. (1997) Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, Vol. 79, 69–116.
 26. Fischer, G., Prieler, S., van Velthuisen, H., Berndes, G., Faaij, A., Londo, M., de Wit, M. (2010) Biofuel production potentials in Europe: sustainable use of cultivated land and pastures. Part II: land use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 34, Iss. 2, 173–187.
 27. Freibauer, A., Rounsevell, M.D.A., Smith, P., Verhagen, A. (2004) Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, Vol. 122, 1–23.
 28. Greenland, D.J., Rimmer, D., Quirk, J.P. (1975) Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *Journal of Soil Science*, Vol. 26, 294–303.
 29. Grigal, D.F., Berguson, W.E. (1998) Soil carbon changes associated with short rotation system. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, 371–377.
 30. Guo, L.B., Gifford, R.M. (2002) Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, Vol. 8, 345–360.
 31. Haygarth, P.M., Ritz, K. (2009) The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services. *Land Use Policy*, Vol. 2, Supplement 1, S187–S197.
 32. Hiederer, R. (2009) *Distribution of organic carbon in soil profile data*. EUR 23980 EN. Luxembourg, Office of Official Publications of the European Communities, 126 pp.
 33. Huber, S., Prokop, G., Arrouays, D., Banko, G., Bispo, A., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M.G., Lexer, W., Moller, A., Rickson, R.J., Shishkov, T., Stephens, M., Toth, G., Van den Akker, J.J.H., Varallyay, G., Verheijen, F.G.A., Jones, A.R. (eds) (2008) *Environmental Assessment of Soil for Monitoring*: Vol. I Indicators & Criteria. EUR 23490 EN/1. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 339 pp.
 34. Jackson, R.B., Banner, J.L., Jobbagy, E.G., Pockman, W.T., Wall, D.H. (2002) Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature*, Vol. 418, 623–626: (<http://www.nature.com/nature/journal/v418/n6898/full/nature00910.html>) – Resurss apraksts 2011. gada 18. aprīlī.
 35. Janssens, I.A., Freibauer, A., Schlamadinger, B., Ceulemans, R., Ciais, P., Dolman, A., Heimann, M., Nabuurs, G.-J., Smith, P., Valentini, R., Schulze, E.-D. (2004) The carbon budget of terrestrial ecosystems at the country-scale – a European case study. *Biogeosciences Discussions*: www.biogeosciences-discuss.net/1/167/2004/bgd-1-167-2004.pdf – Resurss apraksts 2011. gada 18. aprīlī.
 36. Jobbagy, E.G., Jackson, R.B. (2000) The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, Vol. 10, No. 2, 423–436.
 37. Jug, A., Rehfuess, K.E., Hofmann-Schielle, C. (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willow on former arable land in the Federal Republic of Germany. III Soil ecology effects. *Forest Ecology Management*, Vol. 121, 85–99.
 38. Kahle, P., Hildebrand, E., Baum, C., Boelcke, B. (2007) Long-term effects of short rotation forestry with willows and poplar on soil properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol. 53, Iss. 6, 673–682.
 39. Karlen, D.L., Anrews, S.S., Doran, J.W. (2001) Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, Vol. 74, 1–40.
 40. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. (1997) Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 61, 4–10.
 41. Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B. (1994) Long term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research*, Vol. 32, 313–327.
 42. Karlton, E., Harrison, A.F., Alriksson, A., Bryant, C., Garnett, M.H., Olsson, M.T. (2005) Old organic carbon in soil solution DOC after afforestation – evidence from ¹⁴C analysis. *Geoderma*, Vol. 127, 188–195.

43. Kern, J.S., Johnson, M.G. (1993) Convectional tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 57, 200–210.
44. Kibblewhite, M.G., Ritz, K., Swift, M.J. (2008) Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Vol. 363, 685–701.
45. Korschens, M., Weigel, A., Schulz, E. (1998) Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances – tools for evaluating sustainable productivity of soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 161, 409–424.
46. Lasch, P., Kollas, C., Rock, J., Suckow, F. (2010) Potentials and impacts of short-rotation coppice plantation with aspen in Eastern Germany under conditions of climate change. *Regional Environmental Change*, Vol. 10, No. 2, 83–94.
47. Loveland, P., Webb, J. (2003) Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research*, Vol. 70, No. 1, 1–18.
48. Loveland, P.J., Webb, J., Bellamy, P. (1999) Critical levels of soil organic matter: the evidence for England and Wales. *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. Eds R.M. Rees, B.C. Ball, C.D. Campbell, C.A. Watson. Cabi Publishing, Wallingford, UK, 23–33.
49. Mann, L.K. (1986) Changes in soil carbon after cultivation. *Soil Science*, Vol. 142, 279–288.
50. Mausbach, M.J., Seybold, C.A. (1998) Assessment of soil quality. *Soil Quality and Agricultural Sustainability*. Ed. R. Lal. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 33–43.
51. Miller, F.P., Wali, M.K. (1995) Soils, land use and sustainable agriculture: a review. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 75, No. 4, 413–422.
52. Murty, D., Kirschbaum, M.U.F., Mcmurtrie, R.E., Mcgilvray, H. (2002) Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biology*, Vol. 8, No. 2, 105–123.
53. Nortcliff, S. (2002) Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 88, No. 2, 161–168.
54. Palojarvi, A., Nuutinen, V. (2002) The soil quality concept and its importance in the study of Finnish arable soils. *Agricultural and Food Science in Finland*, Vol. 11, 329–342.
55. Panagos, P., Van Liedekerke, M. (2008) Multi-scale European soil information system (MEUSIS): novel ways to derive soil indicators through upscaling. *Threats to Soil Quality in Europe*. Eds G. Toth, L. Montanarella, E. Rusco. Luxembourg, Office of Official Publications of the European Communities, 139–148.
56. Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., Khanna, P.K. (2002) Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, Vol. 168, 241–257.
57. Post, W.M., Kwon, K.C. (2000) Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, Vol. 6, 317–328.
58. Robert, M., Nortcliff, S., Yli-Halla, M., Palliere, C., Baritz, R., Leifeld, J., Bannick, C.G., Chenu, C. (2004) Organic matter and biodiversity. Task Group 1 on functions, roles and changes in SOM. *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/3. Eds L. Van-Camp, B. Bujarrabal, A.-R. Gentile, R.J.A. Jones, L. Montanarella, C. Olazabal, S.-K. Selvaradjou. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 313–327.
59. Romkens, P.F.A.M., Van der Plicht, J., Hassink, J. (1999) Soil organic matter dynamics after the conversion of arable land to pasture. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 28, 277–284.
60. Rosenqvist, L. (2007) *Afforestation of former arable land in north-western Europe – nitrate leaching, carbon sequestration and water recharge*. Doctoral thesis No. 2007:2. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 7–33.
61. Rychcik, B., Adamiak, J., Wojciak, H. (2006) Dynamics of the soil organic matter in crop rotation and long-term monoculture. *Plant Soil Environment*, Vol. 52, Special Issue, 15–20: www.cazv.cz/userfiles/File/Spec15.pdf – Resurss apraksts 2011. 18. aprīlī.
62. Schlesinger, W.H. (1990) Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature*, Vol. 348, 232–234.
63. Sharrow, S.H., Ismail, S. (2004) Carbon and nitrogen storage in western Oregon agroforests, forests, and pastures. *Agroforestry systems*, Vol. 60, 123–130.

64. Shevtsova, L., Romanenkov, V., Sirotenko, O., Smith, P., Smith, J.U., Leech, P., Kanzyvaa, S., Rodionova, V. (2003) Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic matter dynamics in arable soddy-podzolic soils – modelling and observation. *Geoderma*, Vol. 116, No. 1, 165–189.
65. Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustin, K. (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, Vol. 241, 155–175.
66. Sleutel, S., De Neve, S., Hofman, G. (2003) Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. *Soil Use and Management*, Vol. 19, 166–171.
67. Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J., Smith, J.U. (1998) Preliminary estimates of the potential carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology*, Vol. 4, 679–685.
68. Soussana, J.-F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T., Arrouays, D. (2004) Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, Vol. 20, Iss. 2, 219–230.
69. Spink, J., Hackett, R., Forristal, D., Creamer, R. (2010) Soil organic carbon: a review of 'critical' levels and practices to increase levels in tillage land in Ireland: www.teagasc.ie/publications/2010/20100715/SoilOrganicCarbon.pdf – Resurss apraksts 2011. gada 18. aprīlī.
70. Stevenson, F.J. (1994) Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd ed. John Wiley and Sons, INC, 496 pp.
71. Stolbovoy, V., Montanarella, L. (2008) Application of soil organic carbon status indicators for policy-decision making in the EU. *Threats to Soil Quality in Europe*. Eds G. Toth, L. Montanarella, E. Rusco. Luxembourg, Office of Official Publications of the European Communities, 87–99.
72. Sukkel, W., Van Geel, W., de Haan, J.J. (2008) Carbon sequestration in organic and conventional managed soils in the Netherlands. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16–20, 2008: <http://orgprints.org/view/projects/conference.html> – Resurss apraksts 2011. gada 18. aprīlī.
73. Susyan, E., Wirth, S. (2010) Microbial properties and carbon dynamics in a heterogeneous soil landscape under different cropping systems and fertilizer regimes. *Soil Solutions for a Changing World, 19th World Congress of Soil Science, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia*, 153–155: <http://www.iuss.org/19th%20WCSS/symposium/pdf/0331.pdf> – Resurss apraksts 2011. gada 13. maijā.
74. Swift, R.S. (2001) Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*, Vol. 166, Iss. 11, 858–871.
75. Timbare, A., Reinfelde, L. (2002) Augšņu agroķīmisko analīžu rezultātu vērtēšanas normatīvi. *Ražība*, Nr. 2, 11–13.
76. Toth, G., Stolbovoy, V., Montanarella, L. (2007) *Soil quality and sustainability evaluation – an integrated approach to support soil-related policies of the European Union*. EUR 22721 EN. Office for Official Publications of the European communities, Luxembourg, 40 pp.
77. Verheijen, F.G.A., Bellamy, P.H., Kibblewhite, M.G., Gaunt, J.L. (2005) Organic carbon ranges in arable soils of England and Wales. *Soil Use and Management*, Vol. 21, 2–9.
78. Vesterdal, L., Ritter, E., Gundersen, P. (2002) Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management*, Vol. 169, Issues 1–2, 137–147.
79. Vesterdal, L., Rosenqvist, L., Van Der Salm, C., Hansen, K., Groenenberg, B.-J., Johansson, M.-B. (2006) Carbon sequestration in soil and biomass following afforestation: experiences from oak and Norway spruce chronosequences in Denmark, Sweden and the Netherlands. *Environmental Effects of Afforestation in North-Western Europe – from Field Observations to Decision Support*. Eds G. Heil, B. Muys, K. Hansen. Series: Plant and vegetation, Vol. 1, 19–52.
80. West, T.O., Post, W.M. (2002) Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 66, No. 6, 1930–1946.
81. Тюрин, И.В. (1965) *Органическое вещество почвы и его роль в плодородии*. М., Наука, 320 с.

Pateicība

Pētījums veikts, pateicoties Latvijas Zinātnes padomes grantu Nr. 09.1530 finansējumam.

Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā

II. Augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības

Soil Quality within the Context of Land Use Changes

II. Soil Physical and Agrochemical Properties

Ināra Līpenīte, Aldis Kārklīš

LLU Augsnes un augu zinātņu institūts

Institute of Soil and Plant Sciences, LLU

e-mail: Inara.Lipenite@llu.lv

Abstract. Land use changes are one of the factors leading to the disturbance of existing equilibrium in the ecosystem, and as a result several undesirable processes might negatively influence the soil functions. Despite many investigations where different aspects of soil quality in relation to land use change are studied there is not unequivocal conception and explanation which could be applicable for all situations. Differences in soil formation, diversity of abiotic and biotic conditions, and management practice stimulate or hinder changes which are going on in soil after radical alteration of land use pattern. In many countries, including Latvia, great emphasis is put on energetic crops. Availability of productive land not used for agriculture, climate, and water resources are advantages for development of this sector. But necessity for intensive use of fertilisers, other chemicals, heavy field machinery, and radical changes in organic matter accumulation and turnover of plant nutrients are risks which should be foreseen and studied. The goal is to accumulate the advanced information for decision support as well as to develop an effective soil monitoring framework to control the situation. The present article gives a literature review and analysis of information accumulated in research publications to point out aspects which could be relevant for Latvia situation. This is the second article (the first one see on pp. 1–17 of the current issue) devoted to the possible effects of land use changes on soil quality and environmental risks.

Key words: soil indicators, energy crops, afforestation, environmental risks.

Ievads

Šajā rakstā tiek turpināts zinātniskās literatūras apskats un analīze, kas veltīti zemes lietošanas veida maiņas iespējamai ietekmei uz augsnes īpašībām, kā arī uz vides riskiem (raksta pirmo daļu skat. šī krājuma 1.–17. lpp.). Mainoties zemes izmantošanas veidam, audzētajiem kultūraugiem un tehnoloģijām, augsnē tiek izjaukts ilgstošā laika posmā nostabilizējies stāvoklis. Augsne savā ģenēzē izjūt traucējumu – kādu notikumu vai tā intensitātes un periodiskuma maiņu, kuru rezultātā mainās ekosistēmas struktūra vai funkcionālais stāvoklis. Līdz ar to mainās daudzi augsnē notiekošie mikro- un mezoprocesi: fizikālie (piemēram, notiek augsnes sablīvēšanās, daļiņu pārvietošanās, ūdens kustības maiņa), ķīmiskie (vielu aprites maiņa, reakcijas maiņa u.c.) un bioloģiskie (citu sugu ienākšana ekosistēmā, mainās apstākļi mikroorganismu darbībai, to barības vielu nodrošinājums u.c.). Daļa no šiem procesiem norit straujāk, citi lēnāk, daļai atkārtota stabilizācija iestājas

ātrāk, citiem ilgstošākā laika posmā. Tādējādi augsnē veidojas noteiktu īpašību maiņa, turklāt dažas no tām ir iespējams konstatēt ātrāk, citas var izpausties tikai pēc gadiem. Lai tomēr šīs konsekvences paturētu redzeslokā un lai pēc gadiem, veicot radikālus pasākumus, nepiedzīvotu nepatīkamus pārsteigumus, savlaicīgi jāveic atbilstoši pētījumi un jāapzina iespējamie riski.

Daudzās valstīs, tai skaitā arī Latvijā, lielas cerības tiek liktas uz tā saukto enerģijas kultūraugu (enerģētisko augu) audzēšanu. Latvijai ir priekšnoteikumi šīs nozares attīstībai: tradicionālo energoresursu ierobežota pieejamība, lielas platības produktīvu zemju, kuras pašlaik nav nepieciešamas pārtikas ražošanai, atbilstošs klimats un augsnes auglība. Taču lai enerģētisko augu audzēšana sevi attaisnotu, nepieciešams intensīvi pielietot ķīmiskos līdzekļus, uz augsni jāattīsta arī mehāniskā slodze, kā rezultātā mainās bioloģiskie procesi augsnē. Tāpēc iespējamās sekas jāapzina savlaicīgi.

Līdz ar to darba mērķis bija veikt literatūras analīzi par šiem jautājumiem, lai apzinātu iespējamās tiešās un netiešās sekas, ar ko varētu nākties saskarties šajā jomā, un lai rosinātu Latvijā uzsākt vai intensificēt atbilstošus pētījumus.

Augsnes fizikālās īpašības kā augsnes kvalitātes izmaiņu indikators

Augsnes kvalitāti un tās spēju pretoties degradācijas procesu attīstībai būtiski ietekmē augsnes fizikālās īpašības. Augsnes fizikālās īpašības raksturo augsnes cietās fāzes un poru savstarpējās sakarības augsnes masā. Augsnes cietās fāzes daļiņas dažādu fizikālu, fizikāli ķīmisku un ķīmisku faktoru iedarbības rezultātā sagrupējas, sasaistās un sakārtojas, veidojot augsnes struktūru, kas labāk vai sliktāk nodrošina augu sakņu augšanu un izplatību, sekmē vai limitē augiem nepieciešamā mitruma režīma veidošanos, nodrošina gaisa un gāzu apmaiņu starp augsni un atmosfēru, kā arī veic virkni citu funkciju. Augsnes fizikālās īpašības ir viens no galvenajiem augsnes auglību noteicošajiem faktoriem, tādējādi līdz ar citiem faktoriem sekmējot galvenās augsnes funkcijas – ilgtspējīgas lauksaimnieciskās ražošanas iespēju – realizēšanu. Līdztekus tam augsnes fizikālās īpašības būtiski ietekmē bioloģiskās daudzveidības saglabāšanas un vides kvalitātes nodrošināšanas funkcijas, nosaka vairāku augsnes degradācijas veidu intensitāti.

No augsnes fizikālo īpašību rādītājiem kā augsnes kvalitātes indikatorus literatūrā (Karlen, Mausbach et al., 1997; Ball, Campbell et al., 1997; Kladvko, 2002; De La Rosa, 2005) visbiežāk min augsnes tilpummasu, sakārtas blīvumu, struktūru un struktūragregātu stabilitāti, porainību, ūdens infiltrāciju, penetrācijas pretestību u.c.

Augsnes tilpummasa atspoguļo augsnes spēju būt par substrātu, kurā iespīezas un nostiprinās saknes, notiek ūdens un augsnes šķīduma pārvietošanās un augsnes aerācija. **Augsnes tilpummasa** kā dabiski porainas augsnes tilpuma vienības masa kalpo par augsnes porainības un sablīvētības indikatoru. Augsnes sablīvēšanos un poru tilpuma samazināšanos rada smagas tehnikas pārvietošanās īpaši palielināta mitruma apstākļos, augsnes ilgstoša apstrāde vienā dziļumā, ierobežota augu maiņa bez sakņu izvietojuma dziļuma variācijām, augu atlieku aizvākšana vai sadedzināšana, nepārdomāta ganību sistēma. Sablīvētā augsnē vāji attīstās sakņu sistēma, augu nodrošinājums ar mitrumu un gaisu ir limitēts un līdz ar to samazinās audzēto kultūraugu

ražība. Turklāt apgrūtināta ūdens infiltrācija izraisa virszemes noteces palielināšanos, kas rada augsnes erozijas risku reljefainās vietās vai virsūdeņu uzkrāšanos līdzenos laukos. Augu augšanai optimālus apstākļus nodrošina augsnes tilpummasa¹, kas smilts augsnēs ir mazāka par 1.60, putekļainā augsnē – mazāka par 1.40, un mālainā augsnē – mazāka par 1.10 g cm⁻³, bet tilpummasa, kas smilts, putekļu un māla augsnē jau ierobežo sakņu augšanu, ir attiecīgi lielāka par 1.80, 1.65 un 1.47 g cm⁻³. Dažādas augsnes apstrādes tehnoloģijas un zemes izmantošanas veidi, organiskās vielas satura izmaiņas un arī dažādi augsnēs notiekošie procesi izraisa tilpummasas svārstības laikā un telpā.

Augsnes sakārtas blīvums (*packing density*) pēc būtības ir tuvs tās tilpummasai. Taču šeit tiek ņemts vērā vēl viens papildu aspekts. Augu sakņu izplatības iespējas augsnē nosaka ne tikai tās tilpummasa, bet arī granulometriskais sastāvs. Smagās augsnēs tādu poru daudzums, kas netraucē augu sakņu izplatību, ir mazāks. Tāpēc tas jāņem vērā, lai pilnīgāk raksturotu augu sakņu izplatības iespējas. Tādējādi sakārtas blīvumu (L_d , g cm⁻³) aprēķina, augsnes tilpummasas (D , g cm⁻³) rādītāju koriģējot atbilstoši māla saturam (C , %):

$$L_d = D + 0.009 \times C.$$

Augsnes sablīvēšanās izraisa nekapilāro makroporu daudzuma un poru nepārtrauktības samazināšanos, tādējādi samazinot augsnes gaisietilpību, ūdens un gaisa caurlaidību un rezultātā veicinot anaerobu apstākļu veidošanos, virszemes noteces palielināšanos un erozijas riska pieaugumu. Arī augu saknes nespēj iespiesties un izplatīties normāli, ja kopējais poru tilpums ir mazāks par 40%. Pie šāda poru tilpuma ne tikai penetrācijas pretestība ir pārāk liela, bet arī skābekļa daudzums ir nepietiekams sakņu attīstībai. Vairākās publikācijās (Jones, Spoor, Thomasson, 2003; Spoor, Tijink, Weiskopf, 2003; Huber, Prokop et al., 2008), analizējot pētījumu rezultātus, tiek nodalītas 3 sakārtas blīvuma klases: zems – <1.40 g cm⁻³, vidējs – 1.40–1.75 g cm⁻³, un augsts – >1.75 g cm⁻³. Augsnes, kuru sakārtas blīvums ir lielāks par 1.75 g cm⁻³, tiek uzskatītas par sablīvētām, un to gaisietilpība gandrīz vienmēr ir mazāka par 10% vai bieži pat mazāka par 5%. Kaufmann ar kolēģiem (Kaufmann, Tobias, Schuln, 2010), pētot augsnes fizikālo kvalitāti un kvalitātes indikatoru kritiskās robežas, atzīst, ka augsnes tilpummasai, ko parasti izmanto kā

¹ http://soilquality.org/indicators/bulk_density.html – Resurss aprakstīts 2011. gada 18. aprīlī.

augsnes sablīvētību raksturojošu indikatoru, nav konstatējama lineāra funkcionāla sakarība ar augu augšanu, bet sakārtas blīvuma vērtība 1.70 g cm^{-3} labi nodala augu augšanas optimālos apstākļus no augšanu limitējošiem apstākļiem.

Augsnes struktūra ir augsnes masas izkārtojums diskrētās vienībās – struktūragregātos, kurus citu no cita atdala dažāda izmēra un formas tukšumi. Struktūra nodrošina augsnes aerāciju, regulē un pārdala ūdens un augsnes šķīduma plūsmu, rada piemērotu dzīves vidi mikroorganismiem un izplatības iespējas augu saknēm. Augsnes daļiņu pārgrupējumam un stabilitātei ir svarīga nozīme organiskā oglekļa uzkrāšanās, bioloģiskās daudzveidības saglabāšanā, kā arī citu svarīgu augsnes funkciju nodrošināšanā.

Struktūragregātu stabilitāte ir agregātu spēja pretoties ārējo ārdošo spēku iedarbībai. Agregātu stabilitāte ir augsnes organisko vielu satura, reakcijas, bioloģiskās aktivitātes un augsnē notiekošās augu barības elementu aprites indikators. Augsnes mikroagregātu veidošanā par saistvielām galvenokārt kalpo specifiskās humusvielas, savukārt mikroagregātus kopā notur organiskie savienojumi, kas veidojas augsnē, mikroorganismiem sadalot svaigu organisku materiālu. Makrostruktūru stabilizējošās organiskās vielas daudz vieglāk pakļaujas mineralizācijas procesam, tāpēc praktiski jebkura iedarbība uz augsni, kas veicina mineralizāciju vai samazina organisko vielu saturu augsnē, izraisa augsnes struktūras degradāciju un līdz ar to arī augsnes kvalitātes pasliktināšanos. Augsnes struktūragregātu stabilitāti ietekmē arī ūdens un mehāniska iedarbība uz augsni.

Infiltrācija ir augsnes kvalitātes indikators, kas raksturo augsnes spēju nodrošināt ūdens iesūkšanos un kustību cauri profilam, tādējādi sekmējot ūdens pieejamību augiem un labvēlīgu vidi augsnes organismiem. Infiltrācijas spēja un ūdens izplatība augsnē ir atkarīgas no porainības, kas labi strukturētā augsnē nodrošina gan lejupejošu plūsmu, gan arī ūdens noturēšanu augsnes kapilārajās porās. Aprūtināta infiltrācija novērojama smaga granulometriskā sastāva augsnēs ar vāji izteiktu struktūru vai zemu agregātu stabilitāti. Sairstot augsnes virskārtā esošajām drupatām, dispersās daļiņas aizpilda poras, tādējādi samazinot ūdenscaurlaidību un veicinot augsnes garozas veidošanos. Ja nokrišņu daudzums pārsniedz infiltrācijas kapacitāti, ūdens vai nu sakrājas augsnes virspusē, kā rezultātā tiek traucēta augsnes aerācija, sakņu darbība un barības vielu pieejamība augiem, vai arī pārvietojas uz reljefa zemākām vietām, uzduļķojot, šķīdinot un aiznesot

līdzī augsnes daļiņas un izšķīdušās vielas. Infiltrāciju pavājina augsnes izmantošanas un apstrādes veidi, kas samazina organisko vielu akumulāciju, sablīvē augsni un atstāj to bez augu vai augu atlieku segas, tādējādi pakļaujot to erozijai.

Augsnes fizikālās īpašības visvairāk ietekmē augsnes apstrāde. Sakarā ar vides aizsardzības jautājumu aktualizēšanu un augsnes kvalitātes saglabāšanas un uzlabošanas nepieciešamību, pastiprināta uzmanība pēdējas desmitgadēs tiek veltīta augsni saudzējošu apstrādes tehnoloģiju ieviešanai. Daudzos pētījumos (Hill, 1990; Rhoton, Bruce et al., 1993; Rasmussen, 1999; Pabin, Lipiec et al., 2003; Czyz, Dexter, 2008) tiek akcentēts, ka minimāla augsnes apstrāde palielina augsnes infiltrācijas spēju, samazina virszemes noteci, aizsargā augsni no ūdens erozijas, samazina zemamkārtas sablīvēšanu, izmaina ūdens režīmu augsnē, palielina augsnes stabilitāti un sakarā ar organiskās vielas akumulāciju kopumā pozitīvi ietekmē augsnes fizikālo kvalitāti.

Tomēr atsevišķu augsnes fizikālo īpašību rādītāju izmaiņas dažādās augsnēs nereti uzrāda atšķirīgas tendences. Tā, apkopojot literatūras datus, Pikul un Aase (1995) konstatē, ka salīdzinājumā ar konvencionālo augsnes apstrādi minimāla vai bezapstrādes sistēma parasti palielina augsnes tilpummasu, taču atsevišķos gadījumos izmaiņas netiek novērotas. Arī veicot ūdens infiltrācijas pētījumus, autori konstatējuši, ka augsnes apstrādes minimizēšana uzlabojusi ūdens iesūkšanās ātrumu tikai pirmās stundas laikā, bet turpmākajā laikā infiltrācija izlīdzinājusies, neskatoties uz augsnes tilpummasas atšķirībām. Citi pētījumi (Moreno, Pelegrin et al., 1997; Pabin, Lipiec et al., 2003; Czyz, Dexter, 2008) rāda, ka augsnes apstrādes samazināšana izmaina augsnes cietās fāzes un poru attiecību, samazinot makroporu īpatsvaru. Lai gan augu nodrošinājums ar mitrumu, veicot minimālu augsnes apstrādi, uzlabojas, tas tomēr nesaglabājas ilgstoši, jo līdz ar tilpummasas palielināšanos pastiprinās arī iztvaikošana no augsnes. Turklāt, palielinoties augsnes tilpummasai, pieaug arī penetrācijas pretestība, kas nepietiekama mitruma apstākļos kavē augu attīstību. Tā, piemēram, Dānijā konstatēts (Schjonning, Thomsen, 2006), ka augsnes minimāla apstrāde ilgstošākā laika periodā izraisa penetrācijas pretestības palielināšanos augsnes virskārtā (7–10 cm) vairāk par 1.5 MPa, kas ir kritiskā robeža augu sakņu augšanai un attīstībai. Tāpat augsnē samazinās ar gaisu pildīto poru tilpums un ir aprūtināta gāzu apmaiņa. Kā atzīmē Kladienko (2002), augsnes apstrādes minimizēšanai pozitīva

ietekme uz augsnes produktivitātes saglabāšanu vērojama galvenokārt tikai vāji strukturētās, ar organisko vielu nabadzīgās augsnēs.

Pēdējās desmitgadēs, pārstrukturējot lauksaimniecību, ne tikai Latvijā, bet arī citviet Austrumeiropā, diezgan lielas agrāk intensīvi izmantotās zemes platības tiek atstātas atmatā. Literatūrā ir atrodamī dati par to, kā šādas izmaiņas zemes izmantošanā ietekmē augsnes īpašības. Fizikālo īpašību uzlabošanās novērota izmēģinājumā Polijā (Pranagal, Podstawka-Chmielewska, Slowinska-Jurkiewicz, 2007), kur, podzolaugsnī atstājot atmatā uz 10 gadiem, būtiski izmainījusies šīs augsnes tilpummasa, kopējā porainība, lauka ūdensietilpība, gaisa ietilpība un caurlaidība. Kā īpaši nozīmīgu autori atzīmē sablīvēšanās ievērojamu samazinājumu un ūdensietilpības pieaugumu. Taču augsnes kvalitātes izmaiņas notiek pakāpeniski un uzlabošanās parādās ne ātrāk kā 5 gadu laikā. Citos pētījumos (Lampurlanes, Cantero-Martinez, 2003) akcentēts, ka, atstājot lauku papuvē, augsnes fizikālās īpašības uzlabojas arī daudz īsākā laikā. Ieviešot papuvi, samazinājusies augsnes tilpummasa un, pateicoties vairākkārtīgiem dabīgiem mitrināšanās un izžūšanas cikliem, augsne kļuvusi irdenāka, panākta tās īpatnējās pretestības samazināšana gan augsnes apstrādes, gan arī bezapstrādes variantos.

Dabisko zālāju augsnes ir labi strukturētas un bagātas ar organiskām vielām. Zemes izmantošanas veida maiņa parasti ir saistīta ar šo augšņu struktūras noārdīšanu un pakāpenisku organisko vielu satura samazināšanos. Šie procesi ir īpaši izteikti, kad zālājus transformē aramzemē. Tā, piemēram, ganību augsnē pārsvarā ir agregāti, kas lielāki par 4 mm, bet, šo augsni kultivējot, sāk dominēt par 0.5 mm mazāki struktūragregāti, tiek novērota augsnes tilpummasas ievērojama palielināšanās, porainības, ūdens infiltrācijas un caurlaidības pavājināšanās. Velēnai raksturīgo ūdensizturīgo augsnes struktūragregātu īpatsvars augsnē līdz ar tās kultivēšanu strauji samazinās, pie kam smilts augsnēs tas notiek ātrāk, bet smagāka granulometriskā sastāva augsnēs – pakāpeniski vairāku gadu garumā. Augsnes apstrāde viskrasāk ietekmē augsnes makroagregātus, kamēr mikroagregātu īpatsvars relatīvi palielinās. Mikroagregātos ietverts salīdzinoši neliels augsnes organiskā oglekļa daudzums, turklāt šiem savienojumiem raksturīgs ievērojami ilgāks pārveidošanās periods. Savukārt lielākā daļa augsnes organiskā oglekļa un slāpekļa labilo savienojumu atrodas makroagregātu sastāvā. Līdz ar zemes transformāciju makroagregāti noārdās, atbrīvojot un

pakļaujot straujai mineralizācijai organiskās vielas, kā rezultātā ilgstoši apstrādāta augsne arvien mazāk spēj nodrošināt augus ar tiem nepieciešamajām barības vielām (Low, 1972; Elliott, 1986; Cambardella, Elliott, 1993; Six, Elliott et al., 1998; Celik, 2005; Haghghi, Gorji, Shorafa, 2010).

Ļoti krāsas augsnes kvalitātes izmaiņas vienmēr saistītas ar meža augšņu transformēšanu par aramzemi. Šāda zemes lietošanas veida maiņa galvenokārt izplatīta vietās, kur trūkst pārtikas ražošanai nepieciešamo zemju platību vai arī izstrādājot mežus. Kā liecina pētījumi dažādos pasaules reģionos (Hajabbasi, Jalalin, Karimzadeh, 1997; Xiubin, Fenli et al., 2002; Guo, Gifford, 2002; Lemenih, Karitun, Olsson, 2005), pēc augsnes apstrādes uzsākšanas bijušās meža zemēs ļoti krasi samazinās organisko vielu saturs un līdz ar to pasliktinās arī vairums augsnes fizikālo īpašību. Konstatēta, piemēram, divkārtīga augsnes tilpummasas palielināšanās, ievērojams nekapilāro poru tilpuma samazinājums, vairākkārt samazinājusies augsnes struktūragregātu stabilitāte, kas negatīvi ietekmē ūdens infiltrāciju, caurlaidību un citas hidrofizikālās īpašības. Tas visos gadījumos izraisījis dramatisku erozijas procesu intensitātes pieaugumu. Turpretī Spānijā veiktos pētījumos (Varela, De Blas, Benito, 2001) konstatēts, ka meža augsnes, kas palielināta mitruma apstākļos ir uzkrājušas augstu organisko vielu masu, pēc atmežošanas sākotnēji nav bijušas pakļautas straujām fizikālo īpašību izmaiņām. Vismazākās izmaiņas novērotas augsnes tilpummasai un kopporainībai, lai gan makroporu īpatsvars tomēr samazinājies. Kā labākie augsnes fizikālās degradācijas indikatori tiek atzīti agregātu stabilitāte un augsnes mehāniskā pretestība.

Lauksaimniecībā ilgstoši izmantoto zemju apmežošana arī būtiski ietekmē augsnē notiekošo procesu gaitu un intensitāti. Pārtraucot augsnes apstrādi, sākas augsnes cietās fāzes un poru aizņemtā tilpuma izmaiņas, kas salīdzinājumā ar aramzemi izpaužas kā tilpummasas pakāpeniska samazināšanās un kopporainības palielināšanās (Messing, Alriksson, Johansson, 1997; Compton, Boone et al., 1998; Kahle, Baum, Boelcke, 2005). Pētījumos Polijā (Olszewska, Smal, 2008) noskaidrots, ka 17 gadus pēc aramzemes apmežošanas priežu audzē augsnes tilpummasa un porainība izmainījusies salīdzinoši nelielā mērā – nav konstatētas būtiskas izmaiņas nevienā augsnes horizontā. Būtiska tilpummasas samazināšanās un kopporainības palielināšanās Ah horizontā salīdzinājumā ar aramzemes Ap horizontu novērota 36 gadus vecā priežu audzē, lai gan arī pēc

tik ilga laika tikai virskārtas 0–5 cm slānī augsnes tilpummasa un kopporainība sasniegusi līmeni, kāds raksturīgs dabiskā meža humusa akumulācijas horizontam. Autori uzsver, ka vajadzīgs ilgs laiks, lai transformētā augsnes aramkārtā izveidotos meža ekosistēmai raksturīgie augsnes fizikālo parametru līmeņi. Līdzīgi secinājumi atrodami arī citu autoru pētījumos (Alriksson, Olson, 1995; Ritter, Vesterdal, Gundersen, 2003). Taču atsevišķos izmēģinājumos (Wall, Hytonen, 2005) konstatēta salīdzinoši strauja (ap 10 gadu) augsnes tilpummasas pazemināšanās un porainības palielināšanās pēc aramzemes, kā arī dabisko zālāju apmežošanas. Fizikālo īpašību uzlabošanās tiek skaidrota ar augošo koku ietekmi, uzkrājot organiskās vielas, koku sakņu ķīmiskā sastāva īpatnībām, sakņu, temperatūras un mitruma maiņas ietekmi uz augsnes masas irdināšanu apstākļos, kad vairs nenotiek augsnes mehāniska apstrāde.

Augsnes fizikālo īpašību pasliktināšanās notiek enerģētisko kultūraugu audzēšanas procesā. Tā galvenokārt saistīta ar augsnes sablīvēšanu, ko izraisa smagās tehnikas pārvietošanās plantāciju ierīkošanas un biomasas novākšanas laikā. Lielākais sablīvēšanas risks novērots smagāka granulometriskā sastāva augsnēs palielināta augsnes mitruma apstākļos, kas raksturīgi novākšanas periodam. Atkarībā no mitruma augsnes vairāk vai mazāk pakļaujas ārējo spēku iedarbībai, kuru rezultātā notiek deformācija. Iedarbības lielums atkarīgs no māla un putekļu daļiņu īpatsvara, struktūragregātu izturības, vienlādiņa katjonu īpatsvara augsnes adsorbcijas kompleksā un organisko vielu daudzuma. Nelabvēlīgas šo faktoru kombinācijas augsnē sekmē augsnes struktūras noārdīšanos, augsnes sablīvēšanos, aerācijas samazināšanos. Atkarībā no ārējo mehānisko spēku iedarbības ilguma un biežuma deformācija tiek pārnesta uz dziļākiem augsnes horizontiem, kur veidojas plāksņveida struktūra. Tā, izmēģinājumos novācot kārkļus, nekapilārās poras augsnē noārdītas pat līdz 60 cm dziļumam, tādējādi gaisa caurlaidību samazinot 3 reizes augsnes virskārtā un 2 reizes dziļākos augsnes slāņos. Rezultātā palielinājusies augsnes tilpummasa, būtiski pavājinājusies infiltrācija, un paātrinājusies augsnes erozijas attīstība.

Anaerobie apstākļi izmaina augsnes redokspotenciālu, palielinās ogļskābās gāzes koncentrācija augsnes gaisā, pastiprināti notiek slāpekļa oksīda, metāna un ogļskābās gāzes emisija (Fazekas, Horn, 2005; Hamza, Anderson, 2005; Peth, Horn, 2006; Finch, Karp et al., 2009; Blum, Gerzabek et al., 2010). Savukārt Blanco-Canqui un Lal (2009) fizikālo īpašību pasliktināšanos saista ar lielas organiskās masas aizvākšanu no lauka, kas

būtiski samazina ļoti svarīgo organisko saistvielu ienesi un veidošanos augsnē, jo tās nodrošina augsnes struktūragregātu veidošanos un to izturību. Līdz ar to noārdās augsnes struktūra, augsnes virskārta sacietē un plaisā, augsne sablīvējas un veidojas eroziju veicinoši apstākļi. Citos pētījumos (Mann, Tolbert, 2000; Kahle, Hildebrand et al., 2007) pausts nedaudz atšķirīgs viedoklis: konstatēts, ka ilgstoša biomasas augu, īpaši ātraudzīgo koku, audzēšana agrāk lauksaimniecībā izmantotā augsnē samazina augsnes tilpummasu un palielina tās porainību, taču tas neattiecas uz stādījuma ierīkošanas gadu. Tikai pakāpeniski augsnē uzkrājoties organiskajām atliekām un palielinoties organisko vielu daudzumam, autori novērojuši labvēlīgas fizikālo īpašību izmaiņas.

Agroķīmisko īpašību izmaiņas LIZ apmežošanas un enerģētisko augu kultivēšanas rezultātā

Lauksaimniecības zemju apmežošana būtiski izmaina augsnes īpašības un augu barības elementu apriti. Pirmkārt, radikāli samazinās lauksaimniecības tehnikas radītā mehāniskā iedarbība uz augsni, izmainās augsnes fizikālās īpašības un darbības vide augsnes mikroorganismiem. Otrkārt, atkarībā no audzētajām koku sugām augsnē nonāk pēc kvantitātes un ķīmiskā sastāva atšķirīga biomasas. Tās mineralizācijas ātrums, ko ietekmē C:N attiecība, lignīna un citu sekundāro oglekļa savienojumu klātbūtne, nosaka slāpekļa un citu augu barības elementu apriti un nodrošinājumu augsnē (Berendse, 1998; Reich, Oleksyn et al., 2005).

Slāpekļa apriti meža ekosistēmā labi raksturo Zviedrijā, Dānijā un Holandē veikto pētījumu rezultāti (Dise, Matzner, Gundersen, 1998; Kristensen, Gundersen et al., 2004; Rosenqvist, Hansen et al., 2007). Noskaidrots, ka slāpekļa ienese augsnē notiek galvenokārt ar nobirām un nokrišņiem. Pēc lauksaimniecībā izmantotās zemes apmežošanas galvenais slāpekļa avots sākotnēji ir augsnē uzkrāto organisko vielu rezerves, kurām ir tendence samazināties. Līdz ar to samazinās arī slāpekļa resursi – par 3.4–48.2 kg ha⁻¹ N gadā. Izteiktāka slāpekļa uzkrāšanās zemsedzē sākas tikai 10–20 gadus pēc apmežošanas, un 30 gados uzkrātais slāpekļa daudzums svārstās no 85 līdz 400 kg ha⁻¹ N. Ar lapu koku nobirām slāpekļa ienese ir lielāka nekā no skujkokiem, taču jebkura veida audzēs ienese palielinās, pieaugot audzes vecumam, jo tad lielāka kļūst nobiru masa. Slāpekļa saturs nobirās ar audzes vecumu izmainās maz. Tā, ozoliem C:N attiecība saglabājas robežās 20–25, bet eglēm – 40–50. Slāpekļa depozicija ar nokrišņiem, kas izgājuši cauri

lapotnei, ir atkarīga no koku augstuma un audzes vecuma. Jaunās audzēs tā līdzinās atklātā laukā uz zemes nonākušajam slāpekļa daudzumam, taču, izejot cauri 30 gadu vecas ozolu audzes vainagiem, uz zemes nonāk 2–3 reizes lielāks slāpekļa daudzums – ap 20–30 kg ha⁻¹ N gadā. Noteikts, ka 5–30% no slāpekļa, kas nonāk uz zemes mežā, tiek izskalots no lapotnes, taču zināmu daļu nokrišņos esošā slāpekļa koki patērē, uzņemot to caur lapām un skujām.

Vairākos pētījumos (Tomaszewski, Boyce, Sievering, 2003; Rosenqvist, Hansen et al., 2007) noskaidrots, ka koki no depoziācijas patērē pat līdz 40% no tur esošā minerālā slāpekļa, un šis daudzums sasniedz līdz 12 kg ha⁻¹ N gadā. Patēriņa kopapjoms palielinās līdz ar audzes vecumu, taču intensīvāka slāpekļa akumulācija lapotnē novērota jaunākās audzēs, palielinoties koku augstumam: laikā no 4 līdz 18 gadiem pēc apmežošanas no atmosfēras depoziācijas akumulētā slāpekļa daudzums palielinājies no 1 līdz 11 kg ha⁻¹ N gadā. Savukārt slāpekļa izskalošanās no augsnes praktiski nav atkarīga no jaunaudzės vecuma. Pēc lauksaimniecības zemju apmežošanas nitrātu saturs ūdeņos, kas izgājuši cauri sakņu zonai (60–90 cm), samazinās, tomēr tas ir augstāks nekā nitrātu izskalošanās no nostabilizējušās meža ekosistēmas. Kā nitrātu izskalošanās galvenie indikatori Eiropas meža augsnēm tiek atzīmēta C:N attiecība zemsedzē, slāpekļa daudzums, kas nonāk no atmosfēras, un slāpekļa saturs lapotnē. Parasti nitrātu koncentrācijas paaugstināšanās filtrātā tiek novērota, kad slāpekļa depoziācija no atmosfēras gadā pārsniedz 15 kg ha⁻¹ N. Pēc pētījumu datiem (Rosenqvist, Hansen et al., 2007) slāpekļa bilance apmežotajās platībās (kopējā N depoziācija mīnus N izskalošanās zudumi) veido no -7 līdz 31 kg ha⁻¹ N gadā. Taču tā lielā mērā atkarīga arī no augsnes veida, granulometriskā sastāva, kā arī auglības līmeņa un potenciāla, kas uzkrāts iepriekšējā zemes izmantošanas veida laikā.

Pēc lauksaimniecības zemju apmežošanas ar laiku būtiski izmainās arī citu augu augšanai svarīgu elementu aprīte, samazinās bāzisko katjonu, īpaši kalcija, saturs, bet palielinās alumīnija katjonu koncentrācija augsnē un augsnes šķīdumā. Bāzisko elementu Ca, Mg un K saturs koku nobirās ietekmē augsnes reakciju, piesātinājuma pakāpi ar bāzēm, katjonu apmaiņas kapacitāti un citas īpašības. Tā, piemēram, izmēģinājumā Polijā (Olszewska, Smal, 2008) 16 gadus pēc LIZ apmežošanas apmaiņas kalcija, magnija un kālija saturs augsnē samazinājies 2 reizes, apmaiņas nātrija saturs – 1.4 reizes, bet piesātinājuma pakāpe ar bāzēm –

5 reizes salīdzinājumā ar šo rādītāju vērtībām neapmežotas augsnes aramkārtā. Izmaiņas skārušas ne tikai humusa akumulācijas horizontu, bet arī B un C horizontus, kuros visstraujāk samazinājies apmaiņas kalcija saturs.

Somijā (Wall, Hytonen, 2005) pētīta lauksaimniecībā izmantotās zemes apmežošanas ietekme uz augu barības elementu satura izmaiņām un šo vielu izplatību pa augsnes horizontiem salīdzinājumā ar līdzās esošo meža augsni. Autori konstatējuši, ka salīdzinoši nesen (pirms 10 un arī pirms 60–70 gadiem) apmežotas augsnes O horizonts satur būtiski vairāk kopējā slāpekļa un ekstrahējamo augu barības makro- un mikroelementu nekā meža augsne, ko viņi skaidro ar iepriekšējā aramkārtā esošo augu barības elementu intensīvāku uzkrāšanos augu masā, kas atmirstot veido O horizontu. Pēc apmežošanas augsnes 40 cm slānī slāpekļa, fosfora, kālija, kalcija un magnija saturs ir bijis attiecīgi par 64, 41, 83, 252 un 6% lielāks nekā meža augsnē.

Meža augsnēs virsējais organiskās vielas horizonts ir bagātāks ar augu barības vielām nekā zem tā esošie minerālie horizonti, savukārt ilgu laiku pēc apmežošanas bagātāki ir augsnes 0–10 un 10–20 cm slāņi, lai gan pakāpeniski notiek arī fosfora, kālija un kalcija translokācija uz dziļākiem horizontiem. Izteiktākās augsnes īpašību izmaiņas novērotas skujkoku audzēs (Binkley, Valentine, 1991; Richter, Markewitz et al., 1994; Olszewska, Smal, 2008). Līdz ar audzes vecumu viskrasāk samazinājies augsnes apmaiņas bāzu saturs un augsnes piesātinājuma pakāpe ar bāzēm. Hidrolītiskā skābuma izmaiņas galvenokārt novērotas tikai humusa akumulācijas horizontā. Pētnieki to skaidro ar bāzisko elementu mazāku ienesi augsnē ar meža nobiru organisko vielu, kā arī zudumiem, kas rodas, kokiem patērējot šos elementus, un arī ar pieaugošo augsnes skābumu, kas izraisa bāzisko katjonu kustīgumu un izskalošanos apstākļos, kad augsnē notiekošie dēdēšanas procesi nespēj kompensēt šos bāzisko vielu zudumus. Katjonu apmaiņas kapacitāte apmežotajās augsnēs izmainās ne tik izteikti, jo to ietekmē augsnes organiskās vielas saturs augsnē. Tā kā organiskā viela vairāk uzkrājas augsnes virskārtā, tad arī apmaiņas kapacitāte līdz ar audzes vecumu nedaudz palielinās plānā virskārtas slānī, savukārt dziļāk humusa akumulācijas horizontā tā pakāpeniski samazinās un ir pat zemāka nekā neapmežotās augsnes aramkārtā. Pētījumos secināts, ka zemes izmantošanas veida maiņas ietekmē ilgstoši notiek arī daudzveidīgas augsnes īpašību izmaiņas, kamēr tā iegūst meža ekosistēmai raksturīgo līdzsvaru.

Meža augsnēs Eiropā iepriekšminētās augsnes kvalitātes izmaiņas aktualizējas arī sakarā ar pastiprinātu koksnes izmantošanu enerģijas ražošanai (Sverdrup, Rosen, 1998). Izstrādājot mežu, tagad tiek izvākta arī blakusprodukcija (zari, pamežs), kā rezultātā krasi samazinās organiskās vielas ienese augsnē. Ar koku atliekām tiek aizvākts liels daudzums fosfora, kālija, kalcija, magnija u.c. elementu, kuru zudumus nespēj kompensēt augsnē notiekošie iežu dēdēšanas procesi un depoziācija no atmosfēras. Pēc Federer un kolēģu (Federer, Hornbeck et al., 1989) aprēķiniem, izvācot no meža visu koksnes masu, tiek zaudēti apmēram 3% no šajā ekosistēmā esošajiem fosfora, kālija un magnija, kā arī 4–8% no slāpekļa krājumiem. Taču kalcija zudumi veido pat 13–19%, kas ir visai būtiski, lai to neņemtu vērā, īpaši, ja mežs izvietots skābās, ar augu barības vielām nabadzīgās augsnēs. Veicot pētījumus, Reynolds un Stevens (1998) aprēķinājuši, ka kalcija iznese ar pamatkoksni no 1 ha veido 79 kg Ca, bet, aizvācot arī zarus un pārējās atliekas, tā sasniedz jau 197 kg. Samazinoties bāzisko katjonu daudzumam, šīs augsnes paskābinās un tajās aktualizējas kustīgā alumīnija toksiskums. Noskaidrots (de Vries, Reinds, Vel, 2002), ka 30–39% Eiropas meža augšņu augsnes reakcija ir zemāka par pH 4.5, piesātinājuma pakāpe ar bāzēm – mazāka par 25%, bet Al:(Ca+Mg+K) attiecība pārsniedz alumīnija toksiskuma kritisko līmeni.

Augsnes agroķīmisko īpašību un auglības izmaiņas ir aktuālas audzējot ātraudzīgos kokus biomasas ieguvei. Pētījumos (Andersohn, 1996; Mann, Tolbert, 2000; Adegbi, Briggs et al., 2003; Kahle, Hildebrand et al., 2007; Blanco-Canqui, Lal, 2009) konstatēts, ka, audzējot ātraudzīgos kokus, pazeminās augsnes virskārtas reakcija, t.i., augsne paskābinās, bet ar to ražu pastiprināti tiek izņests liels daudzums makro- un mikroelementu, kas samazina augsnes auglību un produktivitāti. Kā atzīmēts pētījumos, iznese ar izaudzēto koksni ir proporcionāla biomasas ieguvei, atskaitot augu barības elementu masu, kas uzkrājas ikgadējās nobīrās. Pirmajā audzēšanas gadā tā līdzinās iznesei ar lauka kultūraugu ražu, bet nākamajos gados ir mazāka.

Galvenie mikroorganismu dzīvības procesi nodrošināšanai nepieciešamie barības elementu resursi biomasas plantācijās veidojas no atmirušās koku smalko sakņu masas, kas zināmā mērā kompensē augsnes augu barības elementu iznesi un augsnes noplicināšanos. Tāpat kā konvencionālajā lauksaimniecībā, arī ātraudzīgo koku audzēšanai jāielabo augsne un jāregulē augu barības elementu aprīte. Tāpēc pastāv augšņu kalķošanas un NPK

mēslojuma lietošanas vajadzība. Mazāk zināms par mikroelementu vajadzību, tomēr atsevišķi pētījumi rāda, ka augsnēs var veidoties bora nepietiekamība.

Virkne pētījumu (Heilman, Norby, 1998; Moscatelli, Lagomarsino et al., 2008) liecina, ka augu barības elementu ienese augsnē pozitīvi ietekmē koku biomasas veidošanos, taču jāņem vērā arī tas, kā mēslojuma lietošana ietekmē sakņu izdalījumu ķīmisko sastāvu, koku nobiru sastāvu, augsnes mikrobioloģisko aktivitāti un ar to saistītos procesus augsnē, un līdz ar to arī vielu apriti. Tā kā kokaugu spējas izmantot augu barības elementu resursus no augsnes un mēslojuma nav pietiekami izpētītas, tad, strādājot bez zinātniski pamatotām mēslošanas rekomendācijām, tiek prognozēts paaugstināts vides piesārņojuma risks ar nitrātiem un virszemes noteci.

Latvijā (Lazdiņa, Lazdiņš, 2007) ieteicamās mēslošanas normas kārkļu plantācijas ierīkošanas gadā ir: 100–200 kg N, 20–40 kg P un 100–200 kg K uz 1 ha, kā arī tikpat katru reizi nākamajā pavasarī pēc kārkļu novākšanas. Citās publikācijās (Makeschin, 1994) norādīts, ka prasmīgi izvietotas un kultivētas kārkļu, papeļu un ozolu plantācijas var veicināt organisko vielu akumulāciju augsnē, palielināt tās auglību un samazināt augu barības vielu izskalošanos un augsnes eroziju.

Audzējot ātraudzīgos kokus, novērots būtisks augsnes faunas un mikroorganismu dažādības un skaita palielinājums. Arī nitrātu koncentrācija augsnes šķīdumā salīdzinājumā ar lauka kultūraugu kultivēšanu var samazināties, jo slāpekli patērē ne tikai koki, bet arī pārējā virszemes veģetācija. Par pozitīvu ietekmi tiek uzskatīta (Heilman, Norby, 1998; Jug, Hofmann-Schielle et al., 1999; Berthelot, Ranger, Gelhaye, 2000; Vervaeke, Luyssaert et al., 2003; Dimitriou, Aronsson, 2005; Gemste, Vucāns, 2002; Lazdiņa, 2009) īscirtmeta augu spēja izmantot augu barības elementus no dziļākiem augsnes slāņiem, augstā barības elementu izmantošanās efektivitāte, kā arī spēja attīrīt augsni, akumulējot sevī smagos metālus un citas videi kaitīgas vielas, un tādējādi kalpojot par bioloģisku filtru piesārņotās platībās, notekūdeņu dūņu un citu līdzīgu materiālu izmantošanas vietās. Tā, piemēram, noskaidrots (Vandenhove, Goor et al., 2002; Klang–Westin, Perttu, 2002; Klang–Westin, Eriksson, 2003), ka, audzējot kārkļus piesārņotā augsnē, to biomasā gada laikā spēj akumulēties 2.6 līdz 16.5 g ha⁻¹ kadmija un tādējādi arī iespējams samazināt radioaktīvā piesārņojuma līmeni. Tomēr, tiek stingri uzsvērts (Jug, Rehfuess, Hofmann-Schielle, 1999), ka, ierīkojot īscirtmeta plantācijas lauksaimniecībā izmantojamās zemēs un

īpaši transformējot zālājus, notiek krasa šo augšņu auglības pasliktināšanās, kā arī pastāv būtisks vides piesārņojuma risks.

Enerģētisko augu kultivēšanas ietekme uz augsni var būt atšķirīga atkarībā no tā, kādi augi tiek audzēti, kādu zemes lietošanas veidu tie nomaina un arī kāda ir biomasas novākšanas intensitāte. Tā, piemēram, atjaunojamās enerģijas iegūšanai audzējot kukurūzu, graudaugus vai rapsi, no lauka tiek novākta ļoti liela iegūtās biomasas daļa un līdz ar to arī ievērojami tiek iztukšoti augsnes augu barības vielu resursi. Piemēram, novācot kukurūzas zaļo masu, būtiski samazinās augsnes organisko vielu saturs, arī graudaugu salmu aizvākšana no lauka negatīvi ietekmē trūdvielu bilanci, taču, novācot rapsi – pat visu tā virszemes daļu –, organisko vielu saturs augsnē palielinās, pateicoties rapša lielajai sakņu masai, taču šis efekts var nebūt ilglaicīgs, ja rapša blakusprodukcija tiek izmantota bioenerģijas ražošanai.

Viengadīgo kultūraugu audzēšana prasa lielu mēslošanas normu un arī intensīvu pesticīdu lietošanu, kas ietekmē vides kvalitāti un bioloģiskās daudzveidības saglabāšanu (Hallam, Anderson, Buxton, 2001; Rowe, Street, Taylor, 2008; Blum, Gerzabek et al., 2010). Audzējot daudzgadīgās zāles (piemēram, *Miscanthus spp*), to spēcīgā sakņu sistēma un sakņu ķīmiskā sastāva specifika – lipīdi, steroli, brīvās taukskābes un mazs slāpekli saturošu savienojumu īpatsvars – būtiski uzlabo augsnes fizikālās īpašības, jo veicina izturīgas struktūras veidošanos. Taču šie ķīmiskie savienojumi pastiprina augsnes hidrofobās īpašības un līdz ar to izmaina vides apstākļus augsnes mikroorganismiem, kas piedalās augu barības elementu aprites nodrošināšanā. Pirmajos gados pēc plantācijas ierīkošanas novērots relatīvi augsts nitrātu slāpekļa izskalošanās risks (Christian, Riche, 1998; Kahle, Beuch et al., 2001; Blanco-Canqui, 2010). Alternatīva šiem enerģētiskajiem augiem varētu būt dabiskie un daudzgadīgie zālāji, kas labi piemēroti reģiona augšņu un klimatiskajiem apstākļiem.

Enerģētisko augu kultivēšanas ekoloģiskie riski

Biomasas ražošanai paredzēto kultūraugu un ātraudzīgo koku audzēšana saistīta ar nepieciešamību kāpināt to produktivitāti un paplašināt ar tiem aizņemtās zemes platības. Tā kā izmantojamās zemes platība ir ierobežota, risinājums ir zemes lietošanas veida maiņa, taču tas saistās ar attiecīgajā ekosistēmā esošā ekoloģiskā līdzsvara izjaukšanu. Tāpēc līdz ar atjaunojamās enerģijas īpatsvara palielināšanos tiek

prognozēta daudzveidīga negatīva ietekme uz vides (augšņu, ūdeņu, atmosfēras) kvalitāti. Ekoloģiskie riski vispirms tiek prognozēti tajās vietās, kur atrodas mazāk produktīvi dabiskie meži, degradētas zemes platības un arī tur, kur lauksaimniecībā izmantojamā zeme tiek transformēta par biomasas plantācijām. Kā uzskata pētnieki, šādu transformāciju rezultātā: 1) palielinās erozijas draudi un pasliktinās ūdens kvalitāte; 2) izmainās ūdens režīms, palielinās virszemes notece; 3) palielinās ķīmiskais piesārņojums no minerālmēsliem un pesticīdiem; 4) notiek augsnes kvalitātes un produktivitātes degradēšanās; 5) sakarā ar dabiskās ekosistēmas pārveidošanu, t.i., ieviešot ātraudzīgo koku monokultūras un izmantojot jaunas vietējiem apstākļiem nepiemērotas un nesaderīgas augu sugas, samazinās bioloģiskā daudzveidība (Perlack, Wright et al., 1995; Borjesson, 1999; Pimentel, 2004; Reijnders, 2006; Dimitriou, Baum et al., 2009; Han, King et al., 2011).

Augsnes erozija ir viens no galvenajiem augsnes degradācijas veidiem, kas rada ilglaicīgu augsnes produktivitātes samazināšanos vai tās pilnīgu iznīcināšanu. Erozijas procesu attīstību ietekmē augsnes īpašības, kā, piemēram, ūdens infiltrācijas spēja, vietas topogrāfija, nogāzes garums un slīpums, nokrišņu daudzums, ilgums un intensitāte, kā arī veģetācijas īpatnības. Tiek uzsvērts (Lal, 1998), ka augsnes masas zudumiem, kas radušies erozijas rezultātā, vajadzētu būt līdzsvarā ar augsnes veidošanās procesos notiekošo iežu dēdēšanas apjomu. Taču atšķirībā, piemēram, no augsnes organisko vielu satura izmaiņām, erozija augsnes kvalitāti var izmainīt ļoti īsā laikā. Tā, izmēģinājumā pēc pilnīgas koku biomasas novākšanas novērots (Yanai, 1998) nonesto sedimentu daudzuma pieaugums līdz pat 100 kg ha⁻¹ gadā salīdzinājumā ar 16 kg ha⁻¹ gadā kontroles variantā, kur koki netika novākti. Ar konstatēto erozijas pieaugumu proporcionāli izmainījies arī pārvietotā augsnes fosfora daudzums. Kā atzīst vairāki pētnieki (Thornton, Joslin et al., 1998; Kort, Collins, Ditsch, 1998; Lal, 1998; Mann, Tolbert, 2000), ātraudzīgo kokaugu kultivēšana ir viens no augsnes eroziju veicinošiem faktoriem, īpaši stādījumu ierīkošanas un ieaudzēšanas periodā. Atkarībā no klimatiskajiem apstākļiem, augsnes īpašībām un audzēto augu tipa, augsnes virskārtas masas zudumi var līdzināties erozijas apjomam, kāds rodas, audzējot rušīnāmaugus. Taču ar laiku tas pakāpeniski samazinās – kad koki sazarojas un lapotne aizkavē lietus pilienu iedarbību uz augsnes virskārtu, un kad izveidojas nobiru slānis, kas mazina nokrišņu un vēja iedarbību. Konstatēts

(Riksen, Brouwer, de Graff, 2003; Pimentel, 2004), ka erozijas apmērs var divkārtoties, ja, novācot biomasu, organiskās atliekas tiek aizvāktas vai sadedzinātas. Erozijas rezultātā nonestais augsnes virskārtas slānis ne tikai pazemina augsnes auglību, bet nonāk un izgulsnējas ūdenstilpēs, tās piesārņojot ar biogēniem elementiem, savukārt ūdeņi, kas pārvieto augsni, šķīdina tajā esošos savienojumus, kā rezultātā šādā virszemes notecē novērotas palielinātas kālija, amonija un nitrāta jonu koncentrācijas, kā arī paaugstināts organiskā un kopējā slāpekļa saturs (Rosen, Aronson, Eriksson, 1996).

Ātraudzīgo biomasas kokaugu ieviešana lauksaimniecībā izmantotajās zemēs stipri ietekmē augsnes fizikālās īpašības un ūdens režīmu. Viens no faktoriem, kas izraisa negatīvās pārmaiņas, ir **augšnes sablīvēšanās**. Stādījumu ierīkošanas, apkopes un biomasas novākšanas tehnoloģiju un mehānismu darbības rezultātā palielinās augsnes tilpummasa, samazinās porainība, pasliktinās ūdens infiltrācija, tiek ārdīta augsnes struktūra, pavājinās struktūragregātu stabilitāte, samazinās augsnes ūdens caurlaidība un ūdensietilpība un līdz ar to palielinās ūdens erozijas risks (Mann, Tolbert, 2000; Souch, Martin et al., 2004). Augšnes sablīvēšana, ko paaugstināta augsnes mitruma apstākļos izraisa smagās tehnikas pārvietošanās, krasi palielina augsnes īpašību izplatības nevienmērību un ievērojami samazina augsnes auglību (Mitchell, Stevens, Watters, 1999).

Augsnes, ūdeņu un atmosfēras piesārņojums no ķīmizācijas līdzekļiem – dažāda veida pesticīdiem un minerālmēsliem, notekūdeņiem, notekūdeņu dūņām, rūpniecības atkritumiem u.c. produktiem, ko lieto enerģētisko augu produktivitātes paaugstināšanai, – tiek uzskatīts par būtisku augsnes ilgspējīgas izmantošanas limitējošu faktoru. Šo pasākumu negatīvo ietekmi var raksturot dažādos aspektos.

Mēslošanas līdzekļu lietošanas īpatnības. Veicot pētījumus un aprēķinus, tiek prognozēts (Park, Yanai et al., 2005; Blum, Gerzabek et al., 2010; Han, King et al., 2011), ka līdz ar enerģētisko augu kultivēšanas paplašināšanos no 2 līdz pat 10 reizēm pieaugs augu barības elementu iznese no augsnes. Daļu izneses paredzēts kompensēt ar bioenerģijas ražošanas atkritumos (digestāts, pelni u.c.) esošo barības elementu atgriešanu bioloģiskajā apritē. Tomēr nedrīkst aizmirst, ka, piemēram, sadedzinot salmus, zūd līdz pat 98–100% slāpekļa, 70–92% sēra, kā arī 20–40% fosfora un kālija. Tāpēc ir skaidrs, ka konkurētspējīgas ražas iegūšanai būs jāizmanto liels daudzums mēslošanas līdzekļu. Noslaidot, ka atkarībā no plānotās biomasas augu produktivitātes un zemes lietošanas veida maiņas minerālmēslu

patēriņš var palielināties 2–5.5 reizes. Augu barības elementu izmantošanās no minerālmēsliem joprojām ir zema – tikai ap 30% N, 20% P₂O₅ un 60% K₂O. Tāpēc to neizmantojotā daļa atbilstošos augsnes un klimatiskajos apstākļos var atstāt bioloģisko apriti un radīt vides piesārņojumu: neizmantotais slāpeklis gan amonjaka veidā, gan oksīdu veidā emitē atmosfērā un izskalojas nitrātu veidā, bet fosfora savienojumi aizskalojas ar virszemes noteci. Savukārt notekūdeņu dūņu un dažādu rūpniecības atkritumu izmantošana mēslošanai saistīta ar augsnes piesārņošanu ar smagajiem metāliem u.c. kaitīgiem savienojumiem. Lai gan ātraudzīgie koki veic šo vielu bioekstrakciju no augsnes, atgriežot tajā biomasas pelnus, no kuriem kaitīgās vielas nav izdalītas, to akumulācija augsnē pastiprinās, un tas var radīt neatgriezeniskas augsnes kvalitātes izmaiņas (Perttu, Kowalik, 1997; Van-Camp, Bujarrabal et al., 2004).

Siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisija. Daudzos pētījumos Eiropā un citur (Henault, Devis et al., 1998; Hellebrand, Kern, Scholz, 2003; 2008; Bouwman, van Grinsven, Eickhout, 2010) skaidrota slāpekļa oksīda N₂O emisija, kura veidojas, audzējot enerģētiskos augus, tai skaitā ātraudzīgos kārkļus un papeles. Augstu biomasas ražu iegūšanai lieto ievērojamas N mēslojuma normas, augsnē veidojas denitrifikāciju veicinoši apstākļi, rodas dažādi slāpekļa gāzveida savienojumi, tai skaitā N₂O, kura emisija pavasarī pēc mēslojuma iestrādes veido ap 0.1 mg m⁻² stundā. Ja ņem vērā, ka N₂O ietekme uz siltumnīcas efekta izraisīšanu ir 298 reizes spēcīgāka nekā CO₂ emisijas ietekme, tad denitrifikāciju veicinoši apstākļi augsnē var būtiski ietekmēt globālās sasilšanas procesus (Mulvaney, Khan, Mulvaney, 1997; Blum, Gerzabek et al., 2010). Tieši zemes lietošanas veida maiņa izraisa augsnes organisko vielu pastiprinātu mineralizāciju. Tās rezultātā rodas ne tikai oglekļa dioksīds, bet arī slāpekļa savienojumi, kas potenciāli var kļūt par visai nozīmīgu N₂O avotu. Enerģētisko augu kultivēšana tikai ilgstošākā laika periodā, palielinoties organisko vielu akumulācijai, var mazināt siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisijas apmērus (Hiederer, Ramos et al., 2010).

Nitrātu izskalošanās. Dānijā, kultivējot kārkļus biodegvielas ražošanai, izmēģinājumos noskaidrots, ka stādīšanas gadā dodot 38 kg ha⁻¹ N, nitrātu izskalošanās zudumi bija ap 150 kg ha⁻¹ N gadā, taču audzēšanas otrajā un trešajā gadā, ar mēslojumu iestrādājot jau 75 kg ha⁻¹ N, zudumi ievērojami samazinājās (Mortensen, Nielsen, Jorgenson, 1998). Līdzīgi rezultāti iegūti lizimetru eksperimentos Zviedrijā (Aronsson, Bergstrom, 2001; Dimitriou, Aronsson, 2004), kur izmēģinājumos iecirtmeta

plantācijās stādīšanas gadā izmantotā slāpekļa norma ar notekūdeņiem bija sasniegusi pat 320 kg ha⁻¹ N. Tika konstatēts, ka pirmajā gadā smilts un māla augsnēs nitrātu zudumi sasniedza attiecīgi 140 un 341 kg ha⁻¹ N gadā, bet turpmākajos divos gados nitrātu zudumi bija mazāki un nepārsniedza 50 kg ha⁻¹ gadā. Nelieli bijuši arī amonija un organiskā slāpekļa savienojumu izskalošanās zudumi – tikai ap 10 kg ha⁻¹ N.

Secinājumi

Eiropas Parlaments ir atzinis (Ziņojums ..., 2007), ka ražīga lauksaimniecības zeme gan cilvēka darbības, gan arī dabisku cēloņu rezultātā kļūst par aizvien vairāk sarūkošu pasaules dabas resursu. Tādēļ, lai saglabātu augsnes vērtīgās īpašības, jāveic pasākumi un jāievieš metodes ilgtspējīgai saimniekošanai. Zemes lietošanas veida maiņa ir viens no faktoriem, kas izjauc ekosistēmā pastāvošo līdzsvaru un izraisa daudzu nevēlamu procesu attīstību, kuru rezultātā augsne vairs nespēj pilnībā veikt savas funkcijas. Ir veikts daudz pētījumu, lai skaidrotu zemes izmantošanas veida transformācijas ietekmi uz augsnes kvalitāti, taču iegūtie rezultāti nesniedz viennozīmīgu skaidrojumu. Augšņu un to veidošanās apstākļu daudzveidība, kas novērojama jau nelielā teritorijā, prasa izvērst augsnes novērojumu un pētījumu spektru. Lai varētu prognozēt augsnes kvalitātes izmaiņas, nedrīkst aprobežoties ar atsevišķu tās auglības parametru kontroli. ES Tematiskā stratēģija augsnes aizsardzībai paredz nepieciešamību uzlabot augšņu pētījumus un stāvokļa monitoringu, uzkrāt jaunu būtisku zinātnisku informāciju, lai labāk izprastu saikni starp augsnes īpašībām saistībā ar augsnes degradāciju, klimata pārmaiņām, bioloģisko daudzveidību, pārtuksnešošanos, eroziju un citiem riskiem.

Literatūra

1. Adegbedi, H.G., Briggs, R.D., Volk, T.A., White, E.H., Abrahamson, L.P. (2003) Effect of organic amendments and slow release nitrogen fertiliser on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, 389–398.
2. Alriksson, A., Olsson, M.T. (1995) Soil changes in different age classes of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) on afforested farmland. *Plant and Soil*, Vol. 168–169, 103–110.
3. Andersohn, C. (1996) Phosphate cycles in energy crop systems with emphasis on the availability of different phosphate fractions in the soil. *Plant and Soil*, Vol. 184, 11–21.
4. Aronsson, P.G., Bergstrom, L.F. (2001) Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 21, Iss. 3, 155–164.
5. Ball, B.C., Campbell, D.J., Douglas, J.T., Henshall, J.K., O'Sullivan, M.F. (1997) Soil structural quality, compaction and land management. *European Journal of Soil Science*, Vol. 48, Iss. 4, 593–601.
6. Berendse, F. (1998) Effect of dominant plant species on soil during succession in nutrient-poor ecosystems. *Biogeochemistry*, Vol. 42, 73–88.
7. Berthelot, A., Ranger, J., Gelhaye, D. (2000) Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France. *Forest Ecology and Management*, Vol. 128, 167–179.
8. Binkley, D., Valentine, D. (1991) Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine and Norway spruce in a replicate experiment. *Forest Ecology and Management*, Vol. 40, 13–25.
9. Blanco-Canqui, H. (2010) Energy crops and their implications on soil and environment. *Agronomy Journal*, Vol. 102, 403–419.
10. Blanco-Canqui, H., Lal, R. (2009) Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Vol. 28, Iss. 3, 139–163.
11. Blum, W.E.H., Gerzabek, M.H., Hachlander, K., Horn, R., Reimoser, F., Winiwarter, W., Zechmeister-Boltenstern, S., Zehetner, F. (2010) Ecological consequences of biofuels. *Soil Quality and biofuel production*. Eds R. Lal, B.A. Stewart. CRC Press, 63–92.
12. Borjesson, P. (1999) Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden. I. Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 16, 137–154.
13. Bouwman, A.F., van Grinsven, J.J.M., Eickhout, B. (2010) Consequences of the cultivation of energy crops for the global nitrogen cycle. *Ecological Applications*, Vol. 20, No. 1, 101–109.
14. Cambardella, C.A., Elliott, E.T. (1993) Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 57, No. 4, 1071–1076.
15. Celik, I. (2005) Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a

- southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, Vol. 83, Iss. 2, 270–277.
16. Christian, D.G., Riche, A.B. (1998) Nitrate leaching losses under miscanthus grass planted on a silty clay loam soil. *Soil Use and Management*, Vol. 14, 131–135.
17. Compton, J.E., Boone, R.D., Motzkin, G., Foster, D.R. (1998) Soil carbon and nitrogen in pine–oak sand plain in central Massachusetts: role of vegetation and land-use history. *Oecologia*, Vol. 111, 536–542.
18. Czyz, E.A., Dexter, A.R. (2008) Soil physical properties under winter wheat grown with different tillage systems at selected locations. *International Agrophysics*, Vol. 22, 191–200.
19. De La Rosa, D. (2005) Soil quality evaluation and monitoring based on land evaluation. *Land Degradation and Development*, Vol. 16, Iss. 6, 551–559.
20. Dimitriou, I., Aronsson, P. (2005) Willows for energy and phytoremediation in Sweden. *Unasylva*, Vol. 56, 47–50.
21. Dimitriou, I., Baum, C., Baum, S., Busch, G., Schulz, U., Kohn, J., Lamerdorf, N., Leinweber, P., Aronsson, P., Weih, M., Berndes, G., Bolte, A. (2009) The impact of short rotation coppice (SRC) cultivation on the environment. *Landbauforschung. Agriculture and Forestry Research*, Vol. 59 (3), 159–162.
22. Dise, N.B., Matzner, E., Gundersen, P. (1998) Synthesis of nitrogen pools and fluxes from European forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 105, 143–154.
23. Elliott, E.T. (1986) Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 50, 627–633.
24. Fazekas, O., Horn, R. (2005) Interaction between mechanical and hydraulically affected soil strength depending on time of loading. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 168, 60–67.
25. Federer, C.A., Hornbeck, J.W., Tritton, L.M., Martin, C.W., Pierce, R.S., Smith, C.T. (1989) Long-term depletion of calcium and other nutrients in eastern US forests. *Environment Management*, Vol. 13, 593–601.
26. Finch, J.W., Karp, A., McCabe, D.P.M., Nixon, S., Riche, A.B., Whitmore, A.P. (2009) Miscanthus, short-rotation coppice and the historic environment. English Heritage: http://nora.nerc.ac.uk/7566/1/EngHerit_Report_final.pdf – Resurss apraksts 2011. gada 18. maijā.
27. Gemste, I., Vucāns, A. (2002) *Notekūdeņu dūņas un to izmantošana*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 172 lpp.
28. Guo, L.B., Gifford, R.M. (2002) Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, Vol. 8, 345–360.
29. Haghighi, F., Gorji, M., Shorafa, M. (2010) A study of the effect of land use change on soil physical properties and organic matter. *Land Degradation and Development*, Vol. 21, Iss. 5, 496–502.
30. Hajabbasi, M.A., Jalalin, A., Karimzadeh, H.R. (1997) Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil*, Vol. 190, No. 2, 301–308.
31. Hallam, A., Anderson, I.C., Buxton, D.R. (2001) Comparative economic analysis of perennial, annual and intercrops for biomass production. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 21, 407–424.
32. Hamza, M.A., Anderson, W.K. (2005) Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, Vol. 82, No. 2, 431–436.
33. Han, F.X., King, R.L., Lindner, J.S., Yu, T.-Y., Durbha, S.S., Younan, N.H., Monts, D.L., Su, Y., Luthe, J.C., Plodinec, M.J. (2011) Nutrient fertilizer requirements for sustainable biomass supply to meet U.S. bioenergy goal. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, 253–262.
34. Heilman, P., Norby, R.J. (1998) Nutrient cycling and fertility management in temperate short rotation forest systems. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 4, 361–370.
35. Hellebrand, H.J., Kern, J., Scholz, V. (2003) Long-term studies on greenhouse gas fluxes during cultivation of energy crops on sandy soils. *Atmospheric Environment*, Vol. 37, 1635–1644.
36. Hellebrand, H.J., Kern, J., Scholz, V. (2008) Nitrogen conversion and nitrous oxide hot spots in energy crop cultivation. *Research in Agricultural Engineering*, Vol. 54, No. 2, 58–67.
37. Henault, C., Devis, X., Page, S., Justes, E., Reau, R., Germon, J.C. (1998) Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 26, 199–207.
38. Hiederer, R., Ramos, F., Capitani, C., Koeble, R., Blujdea, V., Gomez, O., Mulligan, D., Marelli, L. (2010) *Biofuels: a new methodology to estimate GHG emissions from global land use change*.

- EUR 24483 EN. Luxembourg, Office of Official Publications of the European Communities, 150 pp.
39. Hill, R.L. (1990) Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 54, 161–166.
40. Huber, S., Prokop, G., Arrouays, D., Banko, G., Bispo, A., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M.G., Lexer, W., Moller, A., Rickson, R.J., Shishkov, T., Stephens, M., Toth, G., Van den Akker, J.J.H., Varallyay, G., Verheijen, F.G.A., Jones, A.R. (eds) (2008) *Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume I Indicators & Criteria*. EUR 23490 EN/1. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 339 pp.
41. Jones, R.J.A., Spoor, G., Thomasson, A.J. (2003) Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil and Tillage Research*, Vol. 73, Iss. 1–2, 131–143.
42. Jug, A., Hofmann-Schielle, C., Makeschin, F., Rexfuess, K.E. (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willow on former arable land in the Federal Republic of Germany. II Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. *Forest Ecology Management*, Vol. 121, 67–83.
43. Jug, A., Rehfuess, K.E., Hofmann-Schielle, C. (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willow on former arable land in the Federal Republic of Germany. III Soil ecology effects. *Forest Ecology Management*, Vol. 121, 85–99.
44. Kahle, P., Baum, C., Boelcke, B. (2005) Effect of afforestation on soil properties and mycorrhizal formation. *Pedosphere*, Vol. 15, No. 6, 754–760.
45. Kahle, P., Beuch, S., Boelcke, B., Leinweber, P., Schulten, H.R. (2001) Cropping of miscanthus in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European Journal of Agronomy*, Vol. 15, 171–184.
46. Kahle, P., Hildebrand, E., Baum, C., Boelcke, B. (2007) Long-term effects of short rotation forestry with willows and poplar on soil properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol. 53, Iss. 6, 673–682.
47. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. (1997) Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 61, 4–10.
48. Kaufmann, M., Tobias, S., Schuln, R. (2010) Comparison of critical limits for crop plant growth based on different indicators for the state of soil compaction. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 173, Iss. 4, 573–583.
49. Kladivko, E.J. (2002) Structure. *Encyclopedia of Soil Science*. Ed. by R. Lal. Marcel Dekker, Inc., 1253–1254.
50. Klang-Westin, E., Eriksson, J. (2003) Potential of *Salix* as phytoextractor for Cd on moderately contaminated soils. *Plant and Soil*, Vol. 249, 127–137.
51. Klang-Westin, E., Perttu, K. (2002) Effect of nutrient supply and cadmium removal by willow. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 23, 415–426.
52. Kort, J., Collins, M., Ditsch, D. (1998) A review of soil erosion potential associated with biomass crops. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, 351–359.
53. Kristensen, H.L., Gundersen, P., Callesen, I., Reinds, G. (2004) Atmospheric N deposition influences soil nitrate concentrations differently in European coniferous and deciduous forests. *Ecosystems*, Vol. 7, 180–192.
54. Lal, R. (1998) Soil erosion impact on agronomic productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science*, Vol. 17, Iss. 4, 319–464.
55. Lampurlanes, J., Cantero-Martinez, C. (2003) Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, Vol. 95, 526–536.
56. Lazdiņa, D. (2009) *Notekūdeņu dūņu izmantošanas iespējas kārkļu plantācijās*. Promocijas darba kopsavilkums Dr.silv. zinātniskā grāda iegūšanai Mežzinātnes nozarē. Jelgava, 57 lpp.
57. Lazdiņa, D., Lazdiņš, A. (2007) *Kārkli. Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana*. Valsts SIA "Vides projekti", 82.–87. lpp.
58. Lemenih, M., Karitun, E., Olsson, M. (2005) Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 105, Iss. 1–2, 373–386.
59. Low, A.J. (1972) The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics

- of grassland and arable soils. *Journal of Soil Science*, Vol. 23, Iss. 4, 363–380.
60. Makeschin, F. (1994) Effects of energy forestry on soils. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 6, 63–79.
 61. Mann, L., Tolbert, V. (2000) Soil sustainability in renewable biomass plantings. *Journal of Human Environment*, Vol. 29, Iss. 8, 492–498.
 62. Messing, I., Alriksson, A., Johansson, W. (1997) Soil physical properties of afforested and arable land. *Soil Use and Management*, Vol. 13, No. 4, 209–217.
 63. Mitchell, C.P., Stevens, E.A., Watters, M.P. (1999) Short-rotation forestry – operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. *Forest Ecology and Management*, Vol. 121, 123–136.
 64. Moreno, F., Pelegrin, F., Fernandez, J.E., Murillo, J.M. (1997) Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research*, Vol. 41, Nos 1–2, 25–42.
 65. Mortensen, J., Nielsen, K.H., Jorgenson, U. (1998) Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and two fertilization levels. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 15, 457–466.
 66. Moscatelli, M.C., Lagomarsino, A., De Angelis, P., Grego, S. (2008) Short- and medium-term contrasting effects of nitrogen fertilization on C and N cycling in a poplar plantation soil. *Forest Ecology and Management*, Vol. 255, 447–454.
 67. Mulvaney, R.L., Khan, S.A., Mulvaney, C.S. (1997) Nitrogen fertilizers promote denitrification. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 24, 211–220.
 68. Olszewska, M., Smal, H. (2008) The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. I. Physical and sorptive properties. *Plant and Soil*, Vol. 305, 157–169.
 69. Pabin, J., Lipiec, J., Wlodek, S., Biskupski, A. (2003) Effect of different tillage systems and straw management on some physical properties of soil and on the yield of winter rye in monoculture. *International Agrophysics*, Vol. 17, 175–181.
 70. Park, B.B., Yanai, R.D., Sahm, J.M., Lee, D.K., Abrahamson, L.P. (2005) Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 28, 355–365.
 71. Perlack, R.D., Wright, L.L., Huston, M.A., Schramm, W.E. (1995) *Biomass fuel from woody crops for electric power generation. Biofuels Feedstock Development Programm.* ORNL–6871: <http://bioenergy.ornl.gov/reports/fuelwood/toc.html> – Resurss apraksts 2011. gada 18. maijā.
 72. Perttu, K.L., Kowalik, P.J. (1997) *Salix* vegetation filters for purification waters and soils. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, 9–19.
 73. Peth, S., Horn, R. (2006) The mechanical behaviour of structured and homogenized soils under repeated loading. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 169, 401–411.
 74. Pikul, J.L.Jr., Aase, J.K. (1995) Infiltration and soil properties as affected by annual cropping in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, Vol. 87, 656–662.
 75. Pimentel, D. (2004) Ethanol fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research*, Vol. 12, 127–134.
 76. Pranagal, J., Podstawka-Chmielewska, E., Slowinska-Jurkiewicz, A. (2007) Influence on selected physical properties of a haplic podzol during a ten-year fallow period. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 16, No. 6, 875–880.
 77. Rasmussen, K.J. (1999) Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil and Tillage Research*, Vol. 53, No. 1, 3–14.
 78. Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzynski, J., Mrozinski, P., Hobbie, S.E., Eissenstat, D.M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Hale, C.M., Tjoelker, M.G. (2005) Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters*, Vol. 8, 811–818.
 79. Reijnders, L. (2006) Conditions for sustainability of biomass based fuel use. *Energy policy*, Vol. 34, Iss. 7, 863–876.
 80. Reynolds, B., Stevens, P.A. (1998) Assessing soil calcium depletion following growth and harvesting of Sitka spruce plantation forestry in the acid sensitive Welsh uplands. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 2, 345–352.
 81. Rhoton, F.E., Bruce, R.R., Buehring, N.W., Elkins, G.B., Langdale, C.W., Tyler, D.D. (1993) Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil and Tillage Research*, Vol. 28, 51–61.

82. Richter, D.D., Markewitz, D., Wells, C.G., Allen, H.L., April, R., Heine, P.R., Urrego, B. (1994) Soil chemical change during three decades in an old-field loblolly pine (*Pinus taeda* L.) ecosystem. *Ecology*, Vol. 75, 1463–1473.
83. Riksen, M., Brouwer, F., de Graff, J. (2003) Soil conservation policy measures to control wind erosion in north-western Europe. *Catena*, Vol. 52, 309–326.
84. Ritter, E., Vesterdal, L., Gundersen, P. (2003) Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soils with oak and Norway spruce. *Plant and Soil*, Vol. 249, 319–330.
85. Rosen, K., Aronson, T.-A., Eriksson, H.M. (1996) Effect of clear-cutting on streamwater quality in forest catchments in central Sweden. *Forest Ecology and Management*, Vol. 83, 237–244.
86. Rosenqvist, L., Hansen, K., Vesterdal, L., Denier van der Gon, H., van der Salm, C., Bleeker, A., Johansson, M.-B. (2007) Nitrogen deposition and nitrate leaching following afforestation: experiences from oak and Norway spruce chronosequences in Denmark, Sweden and the Netherlands. *Environmental effects of afforestation in north-western Europe – from field observations to decision support*. Eds G. Heil, B. Muys, K. Hansen. Series: Plant and vegetation, Vol. 1, 79–108.
87. Rowe, R.L., Street, N.R., Taylor, G. (2008) Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, 260–279.
88. Schjonning, P., Thomsen, I.K. (2006) Screening of reduced tillage effects on soil properties for a range of Danish soils. NJF Report. *Tillage system for the benefit of agriculture and the environment*. NJF Seminar 378, 232–237.
89. Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., Doran, J.W. (1998) Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 62, 1367–1377.
90. Souch, C.A., Martin, P.J., Stephens, W., Spoor, G. (2004) Effect of soil compaction and mechanical damage at harvest on growth and biomass production of short rotation coppice willow. *Plant and Soil*, Vol. 263, 173–182.
91. Spoor, G., Tijink, F.G.J., Weisskopf, P. (2003) Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research*, Vol. 73, Iss. 1–2, 175–182.
92. Sverdrup, H., Rosen, K. (1998) Long-term base cation mass balances for Swedish forests and the concept of sustainability. *Forest Ecology and Management*, Vol. 110, 221–236.
93. Thornton, F.C., Joslin, J.D., Bock, B.R., Houston, A.E., Green, T., Schoenholtz, S., Pettry, D., Tyler, D.D. (1998) Environmental effects of growing woody crops on agricultural land: first year effects on erosion and water quality. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 15, 57–69.
94. Tomaszewski, T., Boyce, R.L., Sievering, H. (2003) Canopy uptake of atmospheric nitrogen and new growth nitrogen requirement at a Colorado subalpine forest. *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 33, 2221–2227.
95. Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selvaradjou, S., Varela, M.E., De Blas, E., Benito, E. (2001) Physical soil degradation induced by deforestation and slope modification in a temperate-humid environment. *Land Degradation and Development*, Vol. 12, Iss. 5, 477–484.
96. Vandenhove, H., Goor, F., O'brien, S., Grebenkov, A. (2002) Economic viability of short rotation coppice for energy production for reuse of caesium-contaminated land in Belarus. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 22, 421–431.
97. Vervaeke, P., Luyssaert, S., Mertens, J., Meers, E., Tack, F.M.G., Lust, N. (2003) Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. *Environmental Pollution*, Vol. 126, 275–282.
98. Varela, M.E., De Blas, E., Benito, E. (2001) Physical soil degradation induced by deforestation and slope modification in a temperate-humid environment. *Land Degradation and Development*, Vol. 12, Iss. 5, 477–484.
99. De Vries, W., Reinds, G.J., Vel, E. (2002) Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe 2: Atmospheric deposition and its impacts on soil solution chemistry. *Forest Ecology and Management*, Vol. 174, 97–115.
100. Wall, A., Hytonen, J. (2005) Soil fertility of afforested arable land compared to continuously forested sites. *Plant and Soil*, Vol. 275, 247–260.

101. Xiubin, H., Fenli, Z., Chenge, Z., Keli, T. (2002) Structural indicator response of soil quality to forestry cultivation on the Loess Plateau of China. 12th ISCO Conference, Beijing, 2002: <http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco12/VolumeIV/StructuralIndicatorResponse.pdf> – Resurss aprakstīts 2011. gada 18. maijā.
102. Yanai, R.D. (1998) The effect of whole-tree harvest on phosphorus cycling in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, Vol. 83, 237–244.
103. Ziņojums par tematisko stratēģiju augsnes aizsardzībai (2006/2293(INI)). Sesijas dokuments, galīgais A6–0411/2007. Referents Vittorio Prodi. Eiropas Parlaments, 24.10.2007: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A6-2007-0411+0+DOC+XML+V0//LV> – Resurss aprakstīts 2011. gada 18. maijā.

Pateicība

Pētījums veikts, pateicoties Latvijas Zinātnes padomes grantu Nr. 09.1530 finansējumam.

Auzeņaireņu un hibrīdo aireņu produktivitāti noteicošie faktori **Factors Influencing *×Festulolium* and *Lolium ×Boucheanum*** **Sward Productivity**

Iveta Gūtmane, Aleksandrs Adamovičs

LLU Agrobiotehnoloģijas institūts

Institute of Agrobiotechnology, LLU

e-mail: gutmane.i@gmail.com; Aleksandrs.Adamovics@llu.lv

Abstract. New hybrid grasses have been introduced in Latvia recently. Hybrid ryegrass (*Lolium×boucheanum* Kunth.), considered an ideal grass for European agriculture, is not sufficiently robust to meet many of environmental challenges that face extensive agriculture in less favoured areas. New opportunities for forage production using intergeneric hybrids between more distantly related ryegrass and fescue species have been identified. Diversity of factors controlling festulolium (*×Festulolium* Asch.&Graebn.) productivity is discussed in many researches. Using intergeneric hybrids, the identification of major factors controlling productivity and feeding value is complicated because of the numerous traits characteristic of their progenitor species. Parental species traits and potential of intergeneric hybrids have been investigated to determine the main factors that influence grass growth and quality, such as nitrogen fertilization, grazing and cutting management, climatic factors and sward age. The importance and potential of new grass species have been analysed. The main target for introgression has been the introduction of biotic and abiotic stress tolerance from *Festuca* spp. into *Lolium* spp. Festulolium can show completely novel characteristics, but mostly they are expressed intermediately. Some varieties are more like ryegrass and some more like fescue, depending on the breeding effort following the cross. Cultivars of festulolium are promising species of fodder grasses in Latvia. Due to its competitive productivity festulolium may be equally ranked with the main forage grasses such as meadow fescue grown in the climatic zone of Latvia.

Key words: *×Festulolium*, *Lolium×boucheanum*, productivity.

Ievads

Daudzgadīgie zālaugi Latvijas lauku saimniecībās ir galvenais un lētākais lopbarības avots visa gada vajadzībām. Zālāju zelmeņu produktīvā ilggadība nodrošina daudzgadīgu un stabilu lopkopības produktu ražošanu mazāk labvēlīgos klimatiskos apstākļos, samazinot ražošanas izmaksas un taupot resursus. Šo mērķu sasniegšanai katrā reģionā nepieciešams izmantot vietējiem augšanas un klimatiskajiem apstākļiem atbilstošas sugas un šķirnes. Ģenētiķu un selekcionāru pētījumos liela uzmanība tiek pievērsta starpsugu un starpģinšu hibrīdu veidošanai, kombinējot atšķirīgas augu prasības un iespējas. Pēc daudzu zinātnieku domām tuvākā nākotnē ļoti nozīmīgu vietu Eiropas lopbarības ražošanas sistēmās ieņems jauna suga – auzeņairene (Adamovičs, Koulakovskaja, 2003).

Auzeņairesnes (*×Festulolium* Asch.&Graebn.) ir jauna un maz pētīta zālaugu suga ne tikai Latvijā, bet arī Eiropā un pasaulē, tāpēc pētījumu par auzeņaireņu

produktivitātes veidošanos ir maz. Latvijā vienīgos pētījumus par auzeņaireņu sausnas ražu un kvalitāti veikuši selekcionāri LLU aģentūrā „Zemkopības zinātniskais institūts”. Tas ir nepietiekami, lai spriestu par auzeņaireņu un hibrīdo aireņu produktivitātes veidošanās noteicošajiem faktoriem, tāpēc nepieciešams apkopot un izmantot arī citās valstīs gūto pieredzi.

Darba mērķis bija analizēt Eiropas valstu – Čehijas, Dānijas, Francijas, Igaunijas, Īrijas, Latvijas, Lielbritānijas, Lietuvas, Polijas, Serbijas, Slovākijas, Vācijas, kā arī ASV veikto pētījumu rezultātus par auzeņaireņu un hibrīdo aireņu izmantošanas iespējām augstvērtīgu zālāju zelmeņu ierīkošanai lopbarības un sēklu ieguvei, apkopot informāciju par auzeņaireņu un hibrīdo aireņu selekcijas mērķiem, šķirņu piemērotību daudzgadīgu zālāju zelmeņu izveidošanā un galvenajiem to ražību un kvalitāti ietekmējošiem faktoriem.

Auzeņaireņu un hibrīdo aireņu selekcijas mērķis un to saimnieciski bioloģiskais raksturojums

Pirmais lielākais projekts Eiropā, kas veltīts, lai izpētītu augu attīstību un piemērotību dažādām stresa situācijām ar mērķi iegūt izturīgus un daudzgadīgus augus, ir SAGES (Sustainable Grasslands Withstanding Environmental Stresses) koncerna zinātniskais projekts (2001–2003). Projekta mērķis bija analizēt mērenās klimata zonas zālaugu sausumizturības un ziemcietības ģenētiskos aspektus. Tas panācīts, pārvietojot augu izturību nodrošināšos ģēnus no auzenēm uz airenēm, izmantojot un attīstot jaunākās selekcijas metodes. Projektu realizēja daudzu specialitāšu zinātnieki – ģenētiķi, selekcionāri, fiziologi, agroķīmiķi (Adamovičs, Koulakovskaja, 2003). SAGES projekts deva jaunas iespējas aireņu tipa šķirņu izveidei ar plašu izturības spektru stresa situācijās. Jauno uzlaboto šķirņu izmantošanas mērķis bija samazināt izdevumus, kuri rodas, bieži pārsējot augstražīgās, bet neizturīgās airesnes. Vienlaicīgi, samazinot augsnes apstrādes biežumu, mazāks bija arī lauksaimniecības tehnikas vidi degradējošais faktors (Humphreys, Tomas et al., 2002).

Eiropā no plašā stiebrzāļu klāsta visnozīmīgāko vietu ieņem airesnes (*Lolium*), kas izceļas ar produktivitāti un lopbarības kvalitāti. Visvairāk izmantotās sugas ir ganību airesne un daudzziedu airesne. Airenēm raksturīga ātra attīstība, augsts ražīgums, kā arī ļoti laba lopbarības kvalitāte. Tomēr vairāk tās piemērotas intensīvai izmantošanai un maigiem klimatiskajiem apstākļiem. Auzeņu (*Festuca*) ģints ir plaši izplatīta dažādos pasaules klimatiskajos reģionos, tajā skaitā Ziemeļeiropā. Lauksaimniecībā biežāk izmantotās sugas ir pļavas auzene un niedru auzene, bet sarkanā auzene un aitu auzene aizvien plašāk tiek sētas apzaļumošanas vajadzībām. Savukārt auzenes izceļas ar ilggadību, labu ziemcietību, izturību pret slimībām un nelabvēlīgiem klimatiskajiem apstākļiem, tās ir ražīgas, bet barības kvalitātes ziņā tomēr nav tik vērtīgas kā airesnes (Thomas, Morgan, Humphreys, 2003).

Gan daudzziedu airesne (*Lolium multiflorum* Lam. ssp. *italicum* A.Braun) un ganību airesne (*Lolium perenne* L.), gan pļavas auzene (*Festuca pratensis* Huds.) un niedru auzene (*Festuca arundinacea* Schreber) ir nozīmīgi daudzgadīgie augi. Tām visām piemīt no agronomiskā un lopkopības viedokļa

atšķirīgas īpašības, taču neviena no šiem zālaugiem nesatur visas šīs īpašības kopumā. SAGES projektā tika izstrādāta tabula par aireņu un auzeņu savstarpēji papildināmo īpašību kopumu atbilstoši Rietumeiropas klimatiskajiem apstākļiem. Tajā iekļauta arī niedru auzenes varietāte *Festuca arundinacea* Schreb. var. *glaucescens* Boiss., ko selekcijā izmanto, lai uzlabotu aireņu sausumizturību. Čehijas auzeņaireņu selekcionāri to piemērojuši atbilstoši Centrāleiropas klimatiskajiem apstākļiem (1. tabula).

Hibrīdo airenī (*Lolium*×*boucheanum* Kunth.) syn. (*Lolium*×*hybridum* Hausskn.) selekcionāri ir veidojuši, krustojot ganību airenī ar daudzziedu airenī. Hibrīdā airesne ir kā starpposms starp ganību airenī un daudzziedu airenī gan augšanas parametru, gan ražīguma, gan arī izturīguma ziņā. Arī temperatūras, mitruma un augsnes prasību ziņā hibrīdā airesne atrodas starp daudzziedu un ganību airenī (Breese, Thomas, 1978; Nekrošas, Sliesaravičus, 2002). Eiropā tā ir jau sen pazīstams un plaši izplatīts kultūraugs, taču Latvijā ir maz pētīta un maz pazīstama. Hibrīdās airesnes galvenā priekšrocība ir tās labā ziemcietība salīdzinājumā ar daudzziedu airenī un lielāka raža salīdzinājumā ar ganību airenī. Hibrīdās airesnes lopbarībai piemīt laba sagremojamība un kvalitāte, un mājdzīvnieki to labprāt ēd. Izmantošanas daudzveidība gan ganībām, gan lopbarības iegūšanai, kā arī apvienotais īpašību kopums palielina hibrīdās airesnes šķirņu pielietojamas īpatnību, salīdzinot ar citām aireņu sugām (Thomas, Humphreys, 1991).

Baltijas klimatiskajos apstākļos galvenā hibrīdās airesnes izmantošanas problēma varētu būt tās ziemcietība, līdz ar to arī noturība zelmenī un samazināta ražība. Lietuvas Zemkopības institūtā veidotie *L.multiflorum*×*L.perenne* hibrīdi izceļas ar ļoti ātru ataugšanu pavasarī un pēc pļaušanas, kā arī ražīgumu. Ražības ziņā hibrīdās airesnes sausas raža ir līdzvērtīga ganību airesnes un pļavas auzenes sausas ražai, bet ataugšanā pēc pļaujas tā pārspēj ganību airenī. Savukārt ziemcietības ziņā hibrīdā airesne ievērojami atpaliek gan no pļavas auzenes, gan vietējās ganību airesnes (Nekrošas, Sliesaravičus, 2002).

Auzeņairesne (×*Festulolium* Asch.&Graebn.) ir jauns kultūraugs gan Latvijā, gan citās pasaules valstīs. Par auzeņairenēm uzskata hibrīdus starp auzeņu ģinti un aireņu ģinti sugām (ES Direktīva 2009/74/EK no 26/06/2009)¹. *Festuca* un *Lolium* ģinšu tuvās radniecības dēļ starpģinšu hibrīdu veidošanās savvaļā ir novērota jau sen (Šiffelova,

¹ Komisijas Direktīva 2009/74/EK (2009. gada 26. jūnijs): <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:166:0040:01:LV:HTML> – Resurss aprakstīts 2011. gada 20. aprīlī.

1. tabula / Table 1

Aireņu un auzeņu savstarpēji papildināmo īpašību kopums
Complementary traits in the *Festuca-Lolium* complex
 (Cernoch, Houdek, Capka, 2004)

Īpašība / Trait	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>F. arundinacea</i> var. <i>glaucescens</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lolium perenne</i>
Zelmeņa izveidošanās ātrums / Speed of sward establishment	++	++	+	++++	+++
Augšanas ātrums agrā pavasarī / Earliness of spring growth	+++	++++	++	++++	+++
Augšanas intensitāte vasarā / Summer growth potential	+++	+++	+	++++	+++
Sagremojamība / Digestibility	+++	++	+	++++	+++
Ziemcietība / Winter hardiness	++++	+++	+++	+	++
Sausumizturība / Drought resistance	++	++++	++++	+	++
Noturība zelmenī / Persistence	++	++++	+++	+	++

+ – īpašība izteikta vāji / trait is poorly expressed

++++ – īpašība izteikta ļoti labi / trait is well expressed

Pavelkova et al., 1997; Bērziņš, Būmane, Stesele, 2006). Šo tuvo radniecību apstiprina arī samērā vieglā auzeņu–aireņu hibrīdu veidošana. Tas dod daudzpusīgas iespējas tādu jaunu hibrīdu selekcijā, kuri nodrošinātu mūsdienīgai lauksaimniecībai piemērotu šķirņu izveidi (Thomas, Morgan, Humphreys, 2003).

Galvenā auzeņairenēm (*×Festulolium*) izvirzītā prasība ir airenēm līdzvērtīgs ražīgums un kvalitāte, kas apvienoti ar auzenēm piemītošo biotisko un abiotisko faktoru izturību, kā sausumizturība, izturība pret augstām un zemām temperatūrām, izturība pret slimībām (Sliesaravičius, 1997; Humphreys, 1997; Humphreys, Turner et al., 2003). Ziemcietība ir īpašību kopums (ne tikai salcietība), līdz ar to selekcijā šai auzeņaireņu īpašībai tiek pievērsta īpaša uzmanība (Eagles, Fuller, 1982). Auzeņaireņu selekcija Centrāleiropā galvenokārt virzīta uz auzeņu kvalitātes uzlabošanu, turpretim Rietumeiropā – uz aireņu izturības uzlabošanu. Pēdējie selekcijas mēģinājumi ir arī apzaļumošanai piemērotu šķirņu izveide (Cernoch, Houdek, Capka, 2004).

Lai arī auzeņairenēm nav tik laba barības kvalitāte kā airenēm (tajā skaitā arī hibrīdai airenei), tomēr

to izturīgums, ziemcietība un līdz ar to salīdzinoši augstais ražīgums ir vērā ņemami faktori. Savas kvalitātes un konkurētspējīgās produktivitātes dēļ auzeņairenes var ieņemt līdzvērtīgu vietu starp šīs klimata zonas pamatstiebrzālēm – timotiņu un pļavas auzeni (Gutmane, Adamovich, 2007).

Auzeņaireņu šķirņu daudzveidība un klasifikācijas problēmas

Plaši pētījumi par hibrīdu veidošanu starp pļavas auzeni un daudzziēdu vai ganību aireni tiek veikti jau vairākus gadu desmitus. Šie hibrīdi izceļas ar labu ataugšanas spēju un labu aplapojumu un produktivitāti (Zwierzykowski, Joks, Naganowska, 1993; Fojtik, 1994). Viena no galvenajām problēmām selekcijā ir iegūto hibrīdu sterilitāte, kā arī to ģenētiskā nestabilitāte (Thomas, Humphreys, 1991; Bērziņš, Būmane, Stesele, 2006).

Labs piemērs, kā hibridizācijā apvienot un papildināt divu ģinšu pozitīvās īpašības, ir krustojumi starp daudzziēdu aireni un niedru auzeni. Daudzziēdu airenei ir laba ražība un lopbarības kvalitāte, savukārt auzenei raksturīga labi attīstīta sakņu sistēma, kas nodrošina augu izturību. Tā labāk pielāgojās

sausumam un aukstumam (Humphreys, 1997). Sākotnēji (*L. multiflorum*×*F. arundinacea*) selekcijā bija paredzēts uzlabot niedru auzenes ataugšanas spējas un vēlāk pilnveidot arī tās lopbarības kvalitāti. Izmantojot selekcijā niedru auzeni, būtiska problēma ir hibrīdu sterilitāte, kā arī grūtības izveidot stabilu šķirni (Humphrey, Turner et al., 2003; Bērziņš, Būmane, Stesele, 2006). Pirmā reģistrētā auzeņairesnes šķirne 'Kenhy' ir niedru auzenes un daudzziēdu aizesnes hibrīds, kura lopbarības kvalitāte ir labāka nekā niedru auzenei (Buckner, Burrus, Bush, 1977).

Pētījumu par niedru auzenes varietātes *F. arundinacea* var. *glaucescens* izmantošanu hibrizācijā ir salīdzinoši mazāk, un tie uzsākti vēlāk. Lai uzlabotu aizeņu sausumizturību, SAGES projekta ietvaros ir veikti izmēģinājumi *L. multiflorum*×*F. arundinacea* var. *glaucescens* hibrīdu selekcijā (Ghesquiere, Barre et al., 2002). Ja selekcija vērsta uz lopbarības kvalitātes uzlabošanu, tad šādiem hibrīdiem novērots lielāks dzinumu skaits, bet zemāka noturība zelmenī, un šie hibrīdi vairāk līdzinās aizenēm (Ghesquiere, Emile et al., 1996).

Tiek veikti mēģinājumi hibrizācijā izmantot arī milzu auzeni (*Festuca gigantea* (L.) Villars), lai uzlabotu niedru auzenes kvalitātes rādītājus, – iegūtas starpsugu formas tālāk tiek izmantotas auzeņaireņu selekcijā (Buckner, Webster et al., 1978; Thomass, Humphreys, 1991; Bērziņš, Būmane, Stesele, 2006).

SAGES zinātniskajā projektā starpgēnīšu hibrīdiem, kuru veidošanās novērojama savvaļā, tika lietota šāda klasifikācija:

vecāku formas	starpģēnīšu hibrīds
<i>F. pratensis</i> × <i>L. perenne</i> :	× <i>Festulolium loliaceum</i> (Huds.) P. Fourn.
<i>F. pratensis</i> × <i>L. multiflorum</i> :	× <i>Festulolium braunii</i> (K.Richter) A. Camus
<i>F. arundinacea</i> × <i>L. perenne</i> :	× <i>Festulolium holmbergii</i> (Doerfler) P. Fourn.

To papildina starpgēnīšu selekcijā iegūtie hibrīdi:

vecāku formas	starpģēnīšu hibrīds
<i>F. gigantea</i> × <i>L. perenne</i> :	× <i>Festulolium brinkmannii</i> (A.Br.) Aschers.et Graebn.
<i>F. arundinacea</i> × <i>L. multiflorum</i> :	× <i>Festulolium pabulare</i>

Terminu „×*Festulolium pabulare*” ierosinājuši G. Wackers, K. Netzbans un H. Kaltofens 1984. gadā (Hahn, Schoberlein, 1999).

Lai uzlabotu situāciju, SAGES zinātniskā projekta konsorcijs nolēma izvirzīt vienotu definīciju, kurā par *Festulolium* tiktu atzīti visi augi, kas iegūti hibrizācijas procesā starp jebkuru no *Lolium* un *Festuca* sugām.

Pašreiz atbilstoši ES Direktīvai 2004/55/EK² visi hibrīdi, kuri iegūti, krustojot *Festuca* ģints

Festuca ssp.×*Lolium* ssp. hibrīdiem, atkarībā no selekcionāru izvirzītajiem mērķiem, var būt dažādu sugu īpašību pārsvars. Tās var atšķirties ražīguma, sēklu produktivitātes, barības kvalitātes, sagremojamības ziņā, kā arī izturībā pret slimībām un nelabvēlīgiem klimatiskajiem apstākļiem un arī citu īpašību ziņā (Zwierzykowski, Naganowska, Kalinowski, 1996; Thomas, Humphreys, 1991; Hahn, Schoberlein, 1999).

Sakarā ar dažādajiem hibrīdu veidošanas variantiem, auzeņairesnes atšķiras morfoloģiski. Krustojumiem starp niedru auzeni un daudzziēdu aizeni ir morfoloģiski krasi atšķirīgas šķirnes. Literatūrā auzeņairenēm tiek nodalīti aizeņu tips (*Loloid type*) ar ziedkopu – vārpu – un aizeņu tips (*Festucoid type*) ar ziedkopu – skaru (Cernoch, Houdek, Capka, 2004; Banzhaf, Opitz von Boberfeld, 2005). Tas rada problēmas šī kultūrauga salīdzinājumos un šķirņu reģistrācijā, kā arī latīnisko nosaukumu piemērošanā. Problēmas taksonomijā rodas arī tad, kad hibrīdu vecāku formas iegūtas garā starpsugu krustojuma ceļā (Šiffelova, Pavelkova et al., 1997). Atbilstoši Eiropas Ekonomiskās Kopienas reglamentējošo dokumentu prasībām (Direktīva 90/654/EEC no 17/12/1990) (Beguier, 2002), daudzās Eiropas valstīs līdz 2004. gadam par *Festulolium* tika reģistrēti tikai hibrīdi starp daudzziēdu aizeni un pļavas auzeni (*L. multiflorum*×*F. pratensis*).

sugas ar *Lolium* ģints sugām ir (×*Festulolium*) (*Festuca* spp.×*Lolium* spp.), tiek iekļauti katalogā kā auzeņairesnes, papildus tiem norādot vecāku formas. Pēdējās izmaiņas ES direktīvā tika veiktas 2009. gadā, lai pilnveidotu auzeņairesnes (×*Festulolium* Asch.&Graebn.) latīnisko nosaukumu (Direktīva 2009/74/EK 2009. gada 26. jūnijā).

² Komisijas Direktīva 2004/55/EK (2004. gada 20.aprīlis): <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:03:44:32004L0055:LV:PDF> – Resurss aprakstīts 2011. gada 20. aprīlī

**Starpģinšu un starpsugu
hibrīdu produktivitāti un ražas
kvalitāti veidošanos ietekmējošie
agrobiocenoloģiskie faktori**

Stiebrzāļu produktivitāti un ražas kvalitāti ietekmē daudzi faktori – augsnes auglība, mēslojums, mitruma un temperatūras režīms, kā arī izmantošanas veids un intensitāte. Pie

tam tie ievērojami mainās zālāju zeltmeņa pastāvēšanas laika gaitā. Sausnas raža ir komplekss raksturlielums, ko nosaka šķirnes ģenētiskais potenciāls un tā izpausme dažādos ārējās vides apstākļos. Stiebrzāļu produktivitāti būtiski ietekmē tādi šķirņu biometriskie parametri kā augu garums un dzinumu skaits, aplapojums un agrinums.

2. tabula / Table 2

Auzeņaires, ganību aires un pļavas auzenes sausnas raža, t ha⁻¹
Dry matter yield of festulolium, perennial ryegrass and meadow fescue, t ha⁻¹

Suga / Species	Sausnas raža / Dry matter yield, t ha ⁻¹		
	Lietuva / Lithuania (Paplauskienė, Nekrošas, Sliesaravičius, 1999)	Lietuva / Lithuania (Nekrošas, Sliesaravičius, 2002)	Polija / Poland (Kryszak, Domański, Jokš, 2002)
Auzeņairene (aireņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch. & Graebn. (Loloid type)	12.9	12.9	14.5
Pļavas auzene <i>Festuca pratensis</i> Huds.	11.3	10.9	11.2
Ganību airene <i>Lolium perenne</i> L.	10.3	9.9	14.3
Hibrīdā airene <i>Lolium×boucheanum</i> Kunth.	–	9.8	–

3. tabula / Table 3

Auzeņaires, pļavas auzenes, ganību aires un niedru auzenes sausnas raža, t ha⁻¹
Dry matter yield of festulolium, meadow fescue perennial ryegrass and tall fescue, t ha⁻¹

Suga / Species	Šķirne / Variety	Sausnas raža / Dry matter yield, t ha ⁻¹		
		Latvija / Latvia (Bērziņš, Jansone u.c., 2002)	Čehija / Czechia (Cernoch, Houdek, Capka, 2004)	Slovākija / Slovakia (Gaborcik, Ilavská, 2006)
Niedru auzene <i>Festuca arundinacea</i> Schreber	Baltika	8.9	–	–
	Kora	–	15.2	12.4
Auzeņairene (auzeņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch. & Graebn. (Festucoid type)	Felina	8.3	16.2	11.8
	Hykor	–	16.2	12.7
Auzeņairene (aireņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch. & Graebn. (Loloid type)	Perun	–	9.8	–
	Saikava	7.5	–	–
	Lofa	–	–	6.4
Pļavas auzene <i>Festuca pratensis</i> Huds.	Arita	7.6	–	–
Ganību airene <i>Lolium perenne</i> L.	Mustang	–	8.9	–
	Spīdola	6.7	–	–

Dažādās Eiropas valstīs veiktiem stiebrzāļu produktivitātes pētījumiem ir atšķirīgs izmēģinājumu gadu skaits un agrofons un dažos pētījumos izmēģinājumu metodika nav konkretizēta. Tas neļauj savstarpēji salīdzināt sasūnas ražu un tās kvalitātes rādītājus. Mūsu mērķis bija parādīt, kādā secībā sarindojas auzeņaiņu šķirnes un to selekcijā izmantotās sugas ražības un kvalitātes ziņā katrā valstī, konkrētā izmēģinājumā.

Šķirnes nozīme

Vairumā gadījumu auzeņaienes ražība tiek salīdzināta ar ganību aienes, pļavas aizes vai niedru aizes ražu. Lietuvā un Polijā veiktajos

izmēģinājumos auzeņaienes vidējā sausnas raža ir lielāka ne tikai par ganību aienes, bet arī par pļavas aizes ražu (2. tabula).

Ir maz literatūras datu par auzeņaiņu šķirņu ražības savstarpējiem salīdzinājumiem. Tomēr tajos ir konstatētas būtiskas sausnas ražas atšķirības starp aizeņu tipa un aizeņu tipa šķirnēm. Tā, dažādās valstīs veiktajos izmēģinājumos aizeņu tipa šķirnēm 'Felina' un 'Hykor' konstatēta augstāka raža nekā aizeņu tipa šķirnēm. Interesanti ir dati, kur divās dažādās valstīs auzeņaiene 'Hykor' uzrāda augstāku sausnas ražu, pat salīdzinājumā ar niedru aizeni (3. tabula).

Stiebrzāļu attīstības fāze veģetācijas periodā ir viens no galvenajiem faktoriem, kas nosaka

4. tabula / Table 4

Kopproteīna saturs auzeņaiņu un to selekcijā izmantoto sugu un šķirņu sausnā, %
Crude protein content in the dry matter of festulolium and of the varieties and species used for festulolium hybridization, %

Suga / Species	Šķirne / Variety	Kopproteīna saturs sausnā / Crude protein content in dry matter, %			
		Čehija / Czechia (Cernoch, Houdek, Capka, 2004)	Serbija / Serbia (Negovanovič, Ružič-Muslić et al., 2003)	Polija / Poland (Kryszak, Domański, Jokš, 2002)	Lietuva / Lithuania (Paplauskienė, Nekrošas, Sliesaravičius, 1999)
Niedru aize <i>Festuca arundinacea</i> Schreber	K20	–	13.2	–	–
	Kora	13.4	–	–	–
Auzeņaiene (aizeņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch.&Graebn. (Festucoid type)	Felina	13.5	12.4	–	–
	Hykor	12.2	–	–	–
Auzeņaiene (aizeņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch.&Graebn. (Loloid type)	Perun	8.1	13.9	–	–
	Bečva	–	15.3	–	–
Auzeņaiene × <i>Festulolium</i> Asch.&Graebn.	nav norādīta / not mentioned	–	–	13.0	11.4
Pļavas aize <i>Festuca pratensis</i> Huds.	nav norādīta / not mentioned	–	–	13.8	12.0
	Mustang	8.2	–	–	–
Ganību aiene <i>Lolium perenne</i> L.	nav norādīta / not mentioned	–	–	13.7	11.8

zāles barības vielu saturu, to sagremojamību un izmantojamību. Zālaugiem novecojot, kopproteīna, minerālvielu un vitamīnu saturs sausnā samazinās, arī barības vielu sagremojamība pazeminās salīdzinājumā ar agrākām attīstības fāzēm (Gill et al., 1989; Adamovičs, Driķis, 1999). Zāles kvalitātes un sagremojamības pazemināšanās saistīta ar augu aplapojuma samazināšanos vēlākās attīstības fāzēs (Sokolovičs, Tomič, Lugič, 2003).

To daudzo faktoru dēļ, kuri ietekmē vecāku sugu lopbarības kvalitāti, starpsugu selekcijā ir apgrūtināši noteikt galvenos auzeņaireņu lopbarības kvalitāti ietekmējošos faktorus (Buckner, Buch, Burrus, 1979). Vairāku autoru darbos atzīmēti rezultāti, kas ir netipiski vispārpieņemtajiem un tiek skaidroti ar izmēģināto šķirņu atšķirīgo agrinumu. Tā, 4. tabulā redzams, ka pļavas auzene un niedru auzene ir uzrādījušas augstāku proteīna saturu salīdzinājumā ar auzeņairenēm.

Citos pētījumos atzīmēta arī negatīva korelācija starp šķirņu lopbarības kvalitātes rādītājiem (kopproteīns, sagremojamība) un sausnas ražu. Šķirnēm, kurām raksturīga augstāka raža, ir zemāki kvalitātes rādītāji (Dovel, Rainey, 1998). Niedru auzenes šķirnēm, kuru selekcija vērsta uz lopbarības kvalitātes paaugstināšanu, zemāka raža veidojas sakarā ar lēnāku lapu augšanas un nobriešanas ātrumu (Ghesquiere, Emile et al., 1996).

Sagremojamība dažādām stiebrzāļu sugām ir atšķirīga. Lopbarības kvalitātes ziņā vispāratzīts ir aireņu pārākums pār auzenēm. Zālaugu sugas lopbarības kvalitāti kopumā ietekmē arī atšķirīga lapu un stiebru attiecība, kas labāka ir daudzziedu airenei, bet sliktāka – pļavas un niedru auzenei. Piemēram, niedru auzenei ir konstatēta zemāka sagremojamība nekā ganību airenei un auzeņairenēm (5. tabula).

Slāpekļa mēslojuma ietekme

Slāpekļa mēslojums būtiski paaugstina zālaugu ražu un kvalitāti, ja augsnē ir zems humusa saturs un zems nodrošinājums ar slāpekli (Adamovičs, Driķis, Kravale, 1999). Pēc daudzu zinātnisko pētījumu datiem, slāpekļa mēslojuma normu palielināšana ietekmē ne tikai stiebrzāļu sausnas ražu, bet paaugstina arī kopproteīna saturu sausnā (Vuckovic, Simic et al., 2003; Bumane, Berzins et al., 2004; Aavola, 2005). Atzīta ir slāpekļa mēslojuma pozitīvā ietekme uz aireņu un auzeņu produktivitāti, bet nav pētījumu datu par slāpekļa mēslojuma ietekmi uz auzeņaireņu ražas veidošanos.

Mūsdienās parasti tiek lietotas zemākas slāpekļa mēslojuma normas un tiek pētīts, kā mēslojums ietekmē gan zālaugu ražu dažādās attīstības fāzēs, gan

arī zālaugu noturību zelmenī (Soegaard, Gierus et al., 2007). Lietojot augstas slāpekļa mēslojuma normas (vairāk par 300 kg ha⁻¹ N), paātrinās zāles ataugšana, un līdz ar to zāli var pļaut agrākās attīstības fāzēs un iegūt augstākas kvalitātes lopbarību. Samazinot slāpekļa normas līdz 150–250 kg ha⁻¹ N, vienlaicīgi tiek pagarināts arī zāles ataugšanas periods. Šajā gadījumā ir divas iespējas – novākt vecākas attīstības fāzes zāli ar zemāku lopbarības kvalitāti vai nopļaut zāli agrāk, iegūstot zemākas sausnas ražas, bet augstāku lopbarības kvalitāti (Lantinga, Duru, Groot, 2002).

Pļaušanas režīma ietekme uz sausnas ražu

Daudzgadīgo zālaugu ražas veidošanos nosaka tās sezonālais raksturs, t.i., ataugšanas tempa izmaiņas veģetācijas sezonas laikā: pavasarī un vasaras sākumā zāle ataug straujāk un sausnas ražas veidošanās ātrums ir lielāks, bet vasarā un rudenī šie procesi norit lēnāk. Palielinot intervālu starp pļāvumiem un vienlaicīgi samazinot pļāvumu skaitu, iegūtā raža palielinās, taču tajā pašā laikā samazinās zāles lopbarības kvalitāte (Adamovich, Adamovicha, 2003; Staniak, 2006). Vidēji pļāvumu skaits kultivētajos zālāju zelmeņos svārstās no viena līdz sešiem. Pļāvumu skaits ir atkarīgs ne tikai no veģetācijas sezonas garuma un klimatiskajiem apstākļiem katrā zemē, bet arī no vietējām tradīcijām un laukkopības sistēmas. Tas nozīmē, ka arī uzsvars uz lopbarības enerģētisko vērtību ir atšķirīgs (Soegaard, Gierus et al., 2007).

Lielāko sausnas ražas daļu pļaušanas režīmā parasti dod pirmais pļāvums (Cernoch, Houdek, Capka, 2004; Lemežiene, Kanapeckas et al., 2004; Tarakanovas, Kanapeckas et al., 2004). Pirmā pļāvuma ražu būtiski iespaido arī sugas un šķirnes agrinums, ataugšanas spējas, kā arī meteoroloģiskie apstākļi ataugšanas perioda laikā. Lietuvā iegūtie dati par pirmā pļāvuma sausnas ražas salīdzinājumu dažādām stiebrzāļu sugām ir atšķirīgi. Ir dati, ka auzeņairene dod visaugstāko sausnas ražu pirmajā pļāvumā, tai ražības ziņā seko ganību airene, pēc tās – pļavas auzene (Lemežiene, Kanapeckas et al., 2004). Auzeņairenei konstatēta arī labāka ataugšana salīdzinājumā ar ganību aireni un pļavas auzeni (Kanapeckas, Lemežiene et al., 2000). Savukārt citos izmēģinājumos pirmā pļāvuma sausnas raža pļavas auzenei ir lielāka nekā ganību airenei (Butkute, Paplauskienė, 2006). Hibrīdai airenei salīdzinājumā ar ganību aireni novērota straujāka ataugšana pavasarī, ko apstiprina arī augstāka pirmā pļāvuma raža (Kennedy, Donovan et al., 2006). Aireņu tipa auzeņairenes šķirnei 'Perun' ir straujāks ražas kritums starp pirmo un trešo pļāvumu

5. tabula / Table 5

Auzeņaireņu un to selekcijā izmantoto sugu un šķirņu sausnas sagremojamība, %
Digestibility of the dry matter of festulolium and of the varieties and species used for festulolium hybridization, %

Suga / Species	Šķirne / Variety	Sausnas sagremojamība / Digestibility of dry matter, %			
		Čehija / Czechia (Cernoch, Houdek, Capka, 2004)	Latvija / Latvia (Bērziņš, Jansone u.c., 2002)	Lietuva / Lithuania (Nekrošas, Sliesaravičius, 2002)	Polija / Poland (Kryszak, Domański, Jokš, 2002)
Niedru auzene <i>Festuca arundinacea</i> Schreber	Baltika	–	46.4	–	–
	Kora	76.7	–	–	–
Auzeņairene (auzeņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch. & Graebn. (Festucoid type)	Felina	76.9	52.4	–	–
	Hykor	77.1	–	–	–
Auzeņairene (aireņu tips) × <i>Festulolium</i> Asch. & Graebn. (Loloid type)	Perun	78.8	–	–	–
	Saikava	–	62.1	–	–
Auzeņairene × <i>Festulolium</i> Asch. & Graebn.	nav norādīta / not mentioned	–	–	60.6	73.3
Pļavas auzene <i>Festuca pratensis</i> Huds.	Arita	–	50.2	–	–
	nav norādīta / not mentioned	–	–	52.4	74.9
Ganību airene <i>Lolium perenne</i> L.	Mustang	80.2	–	–	–
	Spīdola	–	66.4	–	–
	nav norādīta / not mentioned	–	–	63.0	75.9
Hibrīdā airene <i>Lolium</i> × <i>boucheanum</i> Kunth.	nav norādīta / not mentioned	–	–	60.8	–

salīdzinājumā ar sausumizturīgākām niedru auzenes tipa šķirnēm 'Felina' un 'Hykor' (Cernoch, Houdek, Capka, 2004).

Zelmeņa izmantošanas gada ietekme uz sausnas ražu

Faktoru ietekmes īpatsvara analīze liecina, ka sausnas ražas veidošanā zelmeņa izmantošanas gads nodrošina lielu datu variēšanu (Tarakanovas,

Kanapeckas et al., 2004). Augstāku zelmeņa produktivitāti nodrošina jauni zālāju sējumi. Centrāleiropas apstākļos ganību aireses šķirnēm produktīvā ilggadība ir vidēji 2–3 gadi, bet pļavas auzenes šķirnēm – 3–5 gadi (Kohoutek, Carlier et al., 2007).

Arī auzeņairenēm novērots secīgs ražas samazinājums pa izmantošanas gadiem (Dovel, Rainey, 1998; Cernoch, Houdek, Capka, 2004).

Lietuvā veiktajos izmēģinājumos auzeņairesnes sausas ražas otrajā izmantošanas gadā samazinājās vidēji par 30%, salīdzinot ar pirmo ražas gadu (Kanapeckas, Lemežiene et al., 2000; Lemežiene, Kanapeckas et al., 2004). Izmēģinājumos Slovākijā šķirne 'Perun' pirmajā ražas gadā uzrādīja ievērojami augstāku (10.9 t ha^{-1}) ražu, salīdzinot ar otro (5.3 t ha^{-1}) ražas gadu (Gaborcik, Zametakova, Rataj, 2004). Salīdzinoši mazāku ražas kritumu un stabilāku zeltmeņu produktivitāti uzrāda niedru auzenes tipa auzeņaireņu šķirne 'Felina'. Čehijā veiktajos izmēģinājumos tās raža bija līdzvērtīga niedru auzenes ražai, bet sausas raža piektajā ražas gadā bija samazinājusies tikai par 20–30% (Kohoutek, Odstrcilova et al., 2004).

Stiebrzāļu produktivitāti ietekmējošie ārējās vides faktori

Stiebrzāļu produktivitāti un tās stabilitāti lielā mērā ietekmē ne tikai sugas ģenētiskais potenciāls, izmantošanas veids un gads, bet arī klimatiskie apstākļi veģetācijas periodā. Faktoru ietekmes īpatsvara analīze ražu atšķirību veidošanā liecina, ka līdzvērtīgu datu mainību dod gan zeltmeņa izmantošanas gads, gan arī izmēģinājuma gads, kā meteoroloģisko faktoru kopums konkrētajā izmēģinājuma gadā (Tarakanovas, Kanapeckas et al., 2004).

Tādiem klimatiskajiem faktoriem kā vasaras sausuma un ziemas aukstuma periodi ir izšķiroša loma zālāju ilggadībā. Ziemeļu klimatiskajā zonā zeltmeņa sliktas ziemcietības izraisītie bojājumi var būt galvenais ražas samazināšanās iemesls (Nekrošas, Sliesaravičus, 2002; Soegaard, Gierus et al., 2007). Aireņu gēnu klātbūtne auzeņairenēs samazina to salcietību un ziemcietību (Casler, Peterson et al., 2002). Kopumā auzeņaireņu selekcijā iekļautās sugas izturības ziņā pret zemām temperatūrām, neskatoties uz ievērojamām atšķirībām sugas robežās, var sarindot šādi: *F. pratensis* > *F. arundinacea* > *L. perenne* un *F. arundinacea* var. *glaucescens* > *L. multiflorum*. Tā kā *F. arundinacea* var. *glaucescens* ir dienvīdus izcelsme, tās aukstumizturība nav plaši pētīta (Humphreys, Pasakinskiene et al., 1998).

Ziemeļeiropā pēdējos gados novērojamas klimatiskas izmaiņas, kurām raksturīgas augstākas temperatūras un sausuma periodi vasarā (Hopkins, Prado, 2006). Tas ietekmē arī zālāju ražas veidošanos veģetācijas sezonā: pavasaros un rudenos tiek iegūtas augstākas sausas ražas, bet vasaras vidū novērojams straujās ražības kritums sausuma dēļ (Soegaard, Gierus et al., 2007). Tādējādi arī Ziemeļeiropā aktuāla

kļūst viena no būtiskākajām auzeņaireņu selekcijā izvirzītajām īpašībām – sausumizturība.

Zālaugu sausumizturība tiek skatīta kompleksi – kā augus ietekmē ne tikai to nodrošinājums ar ūdeni, bet arī temperatūras, augu transpirācijas un fotosintēzes process, barības vielu režīma un augsnes īpašību izmaiņas. Daudzgadīgiem zālaugiem jāņem vērā to produktivitāte ne tikai sausuma periodos, bet arī pēc tiem. Kopumā auzeņaireņu selekcijā iekļautās sugas sausumizturības ziņā var sarindot šādi: *F. arundinacea* > *F. arundinacea* var. *glaucescens* > *F. pratensis* un *L. perenne* > *L. multiflorum* (Humphreys, Pasakinskiene et al., 1998).

Dati par auzeņaireņu šķirņu sausumizturību ir atšķirīgi. Tā, pēc J. Kryszaka un kolēģu (Kryszak, Domański, Jokš, 2002) pētījumiem auzeņaireņu šķirnes (*L. multiflorum* × *F. pratensis*) tikai nedaudz atpaliek no niedru auzenes sausumizturības ziņā. Savukārt pēc D. Vilmana un kolēģu (Wilman, Gao, Leitch, 1998) pētījumiem auzeņu sugas un to hibrīdus var sarindot šādi: niedru auzene (*F. arundinacea*) > auzeņairene (*L. perenne* × *F. pratensis*) > pļavas auzene (*F. pratensis*) > auzeņairene (*L. multiflorum* × *F. pratensis*). Optimāli mitruma apstākļi samazina daudzgadīgo zālāju ražas kritumu to turpmākajos izmantošanas gados (Adamovičs, Driķis, Kravale, 1999).

Secinājumi

Starpsugu un starpginšu populāciju veidošana paver daudzpusīgas iespējas jaunu hibrīdu veidošanā. Hibrīdā airene ir kā starpposms starp ganību aireni un daudzziēdu aireni gan augšanas parametru, gan ražīguma, gan arī izturīguma ziņā. Baltijas valstu klimatiskajos apstākļos galvenā hibrīdās airesnes izmantošanas problēma varētu būt tās ziemcietība.

Auzeņairesnes ir jauna un maz pētīta zālaugu suga ne tikai Latvijā, bet arī Eiropā un pasaulē. Sakarā ar dažādajiem hibrīdu veidošanas variantiem auzeņairenēm sastopams ļoti plašs īpašību spektrs, kas rada problēmas to novērtēšanā un salīdzināšanā. Izvēloties šķirni audzēšanai, būtu jāņem vērā, vai tā ir auzeņu vai areņu tipa un kādas vecāku formas izmantotas tās selekcijā. Literatūrā minēti dažādi rezultāti par auzeņaireņu ražību un lopbarības kvalitātes rādītājiem salīdzinājumā ar to vecāku formām, kā arī novērotas atšķirības starp auzeņu un aireņu tipa auzeņairenēm. Dažādi ir arī dati par auzeņaireņu aukstumizturību un sausumizturību salīdzinājumā ar vecāku formām.

Auzeņaireņu produktivitāti ietekmē zemeņa izmantošanas veids un zemeņa vecums. Pļaušanai izmantojamās zemes lielāko sausas ražas daļu dod pirmais pļāvums. Novērots secīgas sausas ražas samazinājums pa izmantošanas gadiem. Pagaidām nav pētījumu datu par slāpekļa mēslojuma ietekmi uz auzeņaireņu ražas veidošanos, kā arī par temperatūras un nokrišņu daudzuma ietekmi uz dažādām auzeņaireņu šķirnēm.

Auzeņaires ir perspektīvs kultūraugs Ziemeļeiropā, kur klimatiskie apstākļi nav pietiekami labvēlīgi aieņu audzēšanai. Savas kvalitātes un konkurētspējīgās produktivitātes dēļ tās var ieņemt līdzvērtīgu vietu starp citām audzētajām stiebrzālēm.

Literatūra

1. Aavola, R. (2005) The yield potential of Estonian perennial ryegrass (*Lolium perenne*) cultivars at different mineral fertilization levels and cutting frequencies. *Grassland Science in Europe*, Vol. 10, 449–453.
2. Adamovich, A., Adamovicha, O. (2003) Productivity and forage quality of *Festulolium*/legume mixed swards in response to cutting frequency. *Grassland Science in Europe*, Vol. 8, 453–456.
3. Adamovičs, A., Driķis, J. (1999) Zālāju sastāva un produktivitātes vērtējums tilpumainas lopbarības ražošanai. *Latvijas lauksaimniecības zinātniskie pamati*. Zinātniska monogrāfija. Jelgava, LLU, 7.64.–7.71.
4. Adamovičs, A., Driķis, J., Kravale, D. (1999) Zāles lopbarības saimniecības attīstības nosacījumi. *Latvijas lauksaimniecības zinātniskie pamati*. Zinātniska monogrāfija. Jelgava, LLU, 5.13.–5.30.
5. Adamovičs, A., Koulakovskaja, T. (2003) Eiropas pļāvkopības federācijas zinātnisko forumu aktualitātes. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 5, 23–25.
6. Banzhaf, K., Opitz von Boberfeld, W. (2005) Ensilability and silage quality of different *Festulolium* hybrids in comparison to *Festuca arundinacea*. *XX International Grassland Congress: offered papers*. Ireland, Wageningen Academic Publishers, p. 472.
7. Beguier, V. (2002) The development and commercialization of *Festulolium* in France. *SAGES project site*: http://www.sages-eu.co.uk/Eng_artyr1.htm#SAGES_YEAR_1_REPORT – Resurss apraksts 2011. gada 20. aprīlī.
8. Bērziņš, P., Būmane, S., Stesele, V. (2006) Daudzgadīgo stiebrzāļu selekcija laika posmā no 1997.–2006. gadam. *Zemkopības institūta zinātnei – 60./60 years of research at the Latvian Agricultural Institute*. Skrīveri, 29–35.
9. Bērziņš, P., Jansone, B., Būmane, S., Spārniņa, M., Lukša, S. (2002) Daudzgadīgo stiebrzāļu un tauriņziežu selekcijas darba rezultāti. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 4, 181–185.
10. Breese, E.L., Thomas, A.C. (1978) Uniformity and stability of *Lolium multiflorum* × *L. perenne* allotetraploids. *Inter-specific Hybridization in Plant Breeding. Proceedings of 8th Eucarpia Congress, Spain*, 155–160.
11. Buckner, R.C., Buch, L.P., Burrus, P.B. (1979) Succulence as a selection criterion for improved forage quality in *Lolium–Festuca* hybrids. *Crop Science*, Vol. 19, 93–96.
12. Buckner, R.C., Burrus, P.B., Bush, L.P. (1977) Registration of Kenky variety. *Crop science*, Vol. 17, 672–673.
13. Buckner, R.C., Webster, G.T., Burrus, P.B., Bush, L.P. (1978) Cytological, morphological and agronomic characters of tall × giant fescue hybrids and their amphiploid progenies. *Crop Science*, Vol. 16, 811–816.
14. Būmane, S., Berzins, P., Leep, R.H., Dietz, T. (2004) The effect on nitrogen use on perennial ryegrass seed yield and forage quality parameters. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*, Nr. 10 (305), 13–18.
15. Butkute, B., Paplauskiene, V. (2006) Comparison of the variability in quality of the LIA-bred perennial grasses, relationships between quality parameters. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 158–160.
16. Casler, M., Peterson, P.R., Hoffman, L.D., Ehlke, N.J., Brummer, E.C., Hansen, J.L., Mlynarek, M.J., Sulc, M.R., Henning, J.C., Undersander, D.J., Pitts, P.G., Bilkey, P.C., Rose-Fricker, C.A. (2002) Natural selection for survival improves freezing tolerance, forage yield and persistence of *Festulolium*. *Crop Science*, Vol. 42, 1421–1426.
17. Cernoch, V., Houdek, I., Capka, R. (2004) *Festulolium* – grass for future. *Bericht über die 55. Tagung 2004 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. HBLFA Raumberg–Gumpenstein, 23–25 November, 2004*, 87–89.
18. Dovel, R.L., Rainey, J. (1998) Pasture and hay grass variety trial. *Research in the Klamath Basin 1998 Annual Report*. Agricultural Experiment Station of Oregon State University, Special Report 1007, 96–99.

19. Eagles, C.F., Fuller, M.P. (1982) Evaluation of cold hardiness in forage grass and legumes. *Proceedings of the 11th Meeting of the EUCARPIA Fodder Crops Section, 13–16 September, 1983, Aberystwyth, United Kingdom*, 172–184.
20. Fojtik, A. (1994) Methods of plant improvement used at the Plant Breeding station Hladke Zivotice. *Genetica Polonica*, Vol. 35A, 25–31.
21. Gaborcik, N., Ilavska, I., Zibritova, I., Kizekova, M. (2006) Photosynthesis, growth and productivity of tall fescue and their intergeneric hybrids. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 167–169.
22. Gaborcik, N., Zametakova, Z., Rataj, D. (2004) Impact of water deficit on growth and productivity of *Festulolium* hybrids. *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, 431–432.
23. Ghesquiere, M., Barre, P., Beguier, V., Durand, J.L., Garnier, S., Laurent, V. (2002) Interspecific hybridization in the fescue–ryegrass complex for European grasslands. *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 298–299.
24. Ghesquiere, M., Emile, J.C., Jadas-Hecart, J., Mousset, C., Traineau, R., Poisson, C. (1996) First *in vivo* assessment of feeding value of *Festulolium* hybrids derived from *Festuca arundinacea* var. *glaucescens* and selection for palatability. *Plant Breeding*, Vol. 115, 238–244.
25. Gill, M., Beever, D.E., Osbourn, D.F. (1989) The feeding value of grass and grass products. *Grass, its production and utilization*. Ed. W. Holmes. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 12–88.
26. Gutmane, I., Adamovich, A. (2007) Productivity and persistency of *Festulolium* and *Lolium*×*boucheanum* swards. Permanent and temporary grassland. *Grassland Science in Europe*, Vol. 12, 59–62.
27. Hahn, H., Schoberlein, W. (1999) Characterization and identification of *Festulolium* hybrids by electrophoresis of seed proteins. *Seed Science and Technology*, Vol. 27, 525–542.
28. Hopkinss, A., Prado, A. (2006) Implications of climate change for grassland: impacts, adaptations and mitigation options. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 749–759.
29. Humphreys, J., Tomas, H.M., Jones, N., Humphreys, M. (2002) Sustainable grasslands withstanding environmental stress (SAGES). *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 310–311.
30. Humphreys, M.W., Pasakinskiene, I., James, A.R., Thomas, H. (1998) Physically mapping quantitative traits for stress-resistance in the forage grasses. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 49, 1611–1618.
31. Humphreys, M.O. (1997) The contribution of conventional plant breeding to forage crop improvement. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Session 4: Conventional and novel methodologies for plant improvement, Canada*, 71–78.
32. Humphreys, M.O., Turner, L.B., Skot, L., Humphreys, M.W., King, I.P., Armstead, I., Wilkins, P.W. (2003) The use of genetic markers in grass breeding. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, No. 39 (Special Issue), 112–119.
33. Kanapeckas, J., Lemežiene, N., Tarakanovas, P., Nekrošas, S. (2000) Comparison of aftermath dry matter yield of different perennial grass species. *Žemes ūkio mokslai*, Nr. 3 58–65.
34. Kennedy, E., Donovan, M., Delaby, L., Rath, M., O'Mara, F.P. (2006) Investigating the contribution of hybrid ryegrass to early spring grazing systems. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 50–52.
35. Kohoutek, A., Carlier, L., Zimakova, M., Odstrčilova, V., Nerušil, P., Komarek, P. (2007) Yield, persistence and forage quality of some grass and legumes species under central European conditions. *Grassland Science in Europe*, Vol. 12, 90–93.
36. Kohoutek, A., Odstrčilova, V., Komarek, P., Nerušil, P. (2004) Persistence and production ability of *Dactylis glomerata* L., *Dactylis polygama* Horvat, *Festuca arundinacea* L. and genus hybrids in 1986–2003. *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, 422–424.
37. Kryszak, J., Domański, P., Jokś, W. (2002) Use value of *Festulolium brauni* (K. Richter) A. Camus cultivars registered in Poland. *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 436–437.
38. Lantinga, E.A., Duru, M., Groot, J.C.J. (2002) Dynamics of plant architecture at sward level and consequences for grass digestibility: modelling approaches. *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 45–55.
39. Lemežiene, N., Kanapeckas, J., Tarakanovas, P., Nekrošas, S. (2004) Analysis of dry matter yield structure of forage grasses. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 50, No. 6, 277–282.

40. Negovanovič, D., Ružič–Muslič, D., Petrovič, P.M., Tomič, Z., Dinič, B., Mrfat–Vukelič, S., Djordjevič–Milošević, S., Djordjevič, N. (2003) Dynamics of changes in the nutritive value of selected varieties of *Festuloliums* and *Festuca arundinaces* Schreb. during first growth in spring. *Grassland Science in Europe*, Vol. 8, 234–237.
41. Nekrošas, S., Sliesaravičius, A. (2002) Investigation of intergeneric ryegrass–fescue and inerspecific ryegrass hybrids developed in Lithuania. *Žemdirbyste: Mokslo darbai*, T. 78, 158–163.
42. Paplauskienė, V., Nekrošas, S., Sliesaravičius, A. (1999) Comparison of intergeneric ryegrass–fescue hybrids and their parental forms. *Žemdirbyste: Mokslo darbai*, T. 65, 187–193.
43. Sliesaravičius, A. (1997) Methods and results of changing genome composition and number in grasses. *Proceedings of International Conference, Dotnuva-Akademija, 14–16 July 1997, Lithuania*, 149–152.
44. Soegaard, K., Gierus, M., Hopkins, A., Halling, M. (2007) Temporary grassland – challenges in the future. *Grassland Science in Europe*, Vol. 12, 27–38.
45. Sokolovič, D., Tomič, Z., Lugič, Z. (2003) Dry matter yield components of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) populations. *Grassland Science in Europe*, Vol. 8, 126–129.
46. Staniak, M. (2006) Reaction of *Festulolium braunii* on the time of the first regrowth cut. *European education and research in agronomy. IX ESA Congress Book of proceedings, 4–7 September, 2006, Poland*, 135–136.
47. Šiffelova, G., Pavelkova, M., Klabouchova, A., Wiesner, I. (1997) RAPD fingerprinting of diploid *Lolium perenne*×heksaploid *Festuca arundinacea* hybrid genomes. *Biologia Plantarum*, Vol. 40(2), 183–192.
48. Tarakanovas, P., Kanapeckas, J., Lemežienė, N., Nekrošas, S. (2004) Analysis of dry matter yield stability parameters in different varieties of forage grasses. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*, Nr. 10 (305), 19–25.
49. Thomas, H., Humphreys, M.O. (1991) Progress and potential of interspecific hybrids of *Lolium* and *Festuca*. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 117, 1–8.
50. Thomas, H.M., Morgan, W.G., Humphreys, M.W. (2003) Designing grasses with a future combining the attributes of *Lolium* and *Festuca*. *Euphytica*, Vol. 133, 19–26.
51. Vuckovic, S., Simic, A., Eric, P., Cupina, B., Petrovic, R., Stojanovic, I., Stanisavljevic, R., Vuckovic, M. (2003) Relationships between forage yield and quality of perennial ryegrass and different rates of nitrogen fertilizer. *Grassland Science in Europe*, Vol. 8, 198–199.
52. Wilman, D., Gao, Y., Leitch, M.H. (1998) Some differences between eight grasses within the *Lolium–Festuca* complex when grown in conditions of severe water shortage. *Grass and Forage Science*, Vol. 53 (1), 57–65.
53. Zwierzykowski, Z., Joks, W., Naganowska, B. (1993) Potential of tetraploid *Festulolium* (*Festuca pratensis*×*Lolium multiflorum*). *Proceedings of 18th Meeting of the EUCARPIA Fodder Crops Section, August 25–28, 1993, North Fiord–Loen, Norway*, 60–61.
54. Zwierzykowski, Z., Naganowska, B., Kalinowski, A. (1996) A preliminary study on the controlled introgression of *Festuca arundinacea* genes into tetraploid *Lolium multiflorum*. *Proceedings of 20th Meeting of the EUCARPIA Fodder Crops and Amenity Grasses Section, October 7–10, 1996, Radzikow, Poland*, 183–184.

Photosynthesis Characteristics of *×Festulolium* and *Lolium×Boucheanum* Sward Fotosintētiskās darbības rādītāji *×Festulolium* un *Lolium×boucheanum* zelmenī

Iveta Gūtmane, Aleksandrs Adamovičs

Institute of Agrobiotechnology, LLU

LLU Agrobiotehnoloģijas institūts

e-mail: gutmane.i@gmail.com; Aleksandrs.Adamovics@llu.lv

Abstract. The productivity of grasslands and pastures mostly depends on cultivated grass varieties. *Festulolium* (*×Festulolium* Asch.&Graebn.) is among the most persistent and productive grasses used in many European countries, especially in adverse environments. The aim of the present research was to study photosynthesis activity and crop yield of local and foreign varieties of *festulolium* and hybrid ryegrass (*Lolium×boucheanum* Kunth.) under agro-ecological conditions of Latvia. The most significant indices of photosynthetic activity – leaf area index (LAI) and net photosynthesis productivity (NPP) – during growth period till first cut were investigated. Field trials were established on sod-gleyic soil (*Luvic Epigleyic Phaeozem* (Calcaric) – WRB 2006), fine sandy loam; fertilizers – 120 kg ha⁻¹ of N, 78 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and 90 kg ha⁻¹ of K₂O. The average NPP for *festulolium*, hybrid ryegrass and perennial ryegrass varieties varied from 5.63 to 8.29 g m⁻² day⁻¹. No positive correlation between NPP and dry matter (DM) yield was established. The average LAI was within the range of 1.94–2.91, and a relationship between LAI and DM was found.

Key words: *×Festulolium*, *Lolium×boucheanum*, productivity, photosynthesis.

Introduction

Under climatic conditions of Latvia, forage grasses are the main fodder source in cattle breeding. Efficient farming requires better use of grass.

Greater sward productivity may be obtained through use of hybrid combinations of contrasting grass species. *Festulolium* hybrids are among the most persistent and productive grasses of the grasses used in many European countries, especially in adverse environments (Nesheim, Bronstad, 2000; Kohoutek, Odstrcilova et al., 2004).

In all grasses the basis of growth is photosynthesis. However, the accumulation of dry matter is not the result of a single process, but represents the net balance between a number of processes. Leaf development and age, as well as leaf photosynthetic capacity influence the grass yield (Kolomeychenko, 2005). In optimal photosynthetic and moisture conditions perennial grasses can achieve good growth and photosynthetic productivity. The optimal fertilization level can help improve the photosynthesis (Bumane, Adamovich, 2006).

Leaf surface area and net photosynthesis productivity are the most significant indices of

photosynthesis (Adamovich, 2002). Leaf surface area is usually expressed as leaf area index (LAI) which represents leaf area per unit ground surface area and shows how many times leaf surface is greater than soil area occupied by plants (Robson, Parsons, Williams, 1989). Net photosynthesis productivity (NPP) characterizes the increase in plant dry matter (DM) production per leaf area unit of time, expressed in g m⁻² day⁻¹ (Ничипорович, Строгонова и др., 1961).

Several environmental and physiological factors determine the rate of photosynthesis: light intensity, temperature, mineral content, and water. Grass photosynthesis is affected also by sward management (Robson, Parsons, Williams, 1989). In the grass crops the leaves are not only the photosynthesis organ, but the harvestable fraction as well. Increase in leaf area results in greater light interception and canopy photosynthesis. Higher photosynthesis productivity leads to an even greater rate of leaf area expansion and biomass production (Parsons, Penning, 1988). The increase in leaf area significantly reduces interception of light by plants, thus having a negative effect on the NPP and sward productivity (Adamovich,

2002). Development of leaves in shade may lead to a decrease of about 30% in leaf photosynthesis in vegetative grass canopy (Nosberger, Staszewski, 2002). Frequent defoliation repeatedly interrupts leaf area growing before canopy is reaching the maximum yield. The following more lenient defoliation extends each regrowth period so that the crop may be close to maximum yield before it is harvested. However, under intermittent defoliation there is increasing rate of tissue death (Robson et al., 1989).

Photosynthesis productivity for perennial ryegrass, Italian ryegrass, tall fescue and intergeneric hybrids is highest during the recovery period for the first cut, and is lower during the periods following the second and third cut. The difference in photosynthesis productivity rates between the first and second cut is highly significant. A close relationship between photosynthesis productivity value and DM production has been found. In some researches DM production of various grasses has declined between the first and third cut corresponding to the changes in photosynthesis productivity over the growing period (Gaborcik, Ilavská et al., 2006).

The aim of the present research was to study the most important indices of photosynthesis (leaf area index and net photosynthesis productivity) and crop yield of festulolium (*Festulolium* Asch.&Graebn.) and hybrid ryegrass (*Lolium*×*boucheanum* Kunth.) foreign varieties under agro-ecological conditions of Latvia.

Materials and Methods

Field trials were conducted at LLU Research and study farm "Vecauce", Latvia. Soil: sod-gleyic (*Luvic Epigleyic Phaeozem (Calcaric)* – WRB 2006), fine sandy loam, medium cultivated, medium drained, pH KCl – 7.1, P_2O_5 – 579 mg kg⁻¹, K_2O – 238 mg kg⁻¹, organic matter content – 31 g kg⁻¹ of soil. Swards were composed of: perennial ryegrass 'Spidola' (control); festulolium – 'Perun' (*L. multiflorum*×*F. pratensis*), 'Punia' (*L. multiflorum*×*F. pratensis*), 'Saikava' (*L. perenne*×

F. pratensis), 'Lofa' (*L. multiflorum*×*F. arundinacea*), and 'Hykor' (*L. multiflorum*×*F. arundinacea*); hybrid ryegrass – 'Tapirus' (*L. multiflorum*×*L. perenne*). The total seeding rate was 1000 germinating seeds per m². The plots were fertilized as follows: N – 108 kg ha⁻¹, P_2O_5 – 78 kg ha⁻¹, K_2O – 90 kg ha⁻¹ (in the sowing year); N – 120 kg ha⁻¹, P_2O_5 – 78 kg ha⁻¹, K_2O – 90 kg ha⁻¹ in the year of sward use. Dynamics of plant leaf area index and net photosynthesis productivity, expressed in g m⁻² day⁻¹, were determined for first cut.

Sampling of each variety plants was carried out in 2 replications at 7–10-day intervals after spring regrowth till first cut. The sampling plot, in the area of 0.05 m², was cut by hand using sickle. The cut biomass was used to determine the LAI employing the disc method. The fully developed grass leaves were removed and weighed, and then 100 discs with a diameter of 3 mm were cut and weighed. A sample leaf area was calculated and expressed in square meters per 1 m² of sown area considering the leaf disc mass and the area. Net photosynthesis productivity was determined following the method described by Kidd, West and Briggs (Ничипорович, Строгонова et al., 1961). Dry weight and leaf area were determined at the beginning and end of each week. NPP was calculated as weekly increase in dry weight divided by the average leaf area of sample and then expressed for one day period (Ничипорович, Строгонова et al., 1961). Data were statistically analyzed employing analysis of variance, and correlation and regression analyses.

Meteorological conditions were different in wintering and vegetation periods. The main indices – average daily temperature and precipitation – for spring growing season till first cut are shown in Table 1.

In the year 2003, the cold winter with black frost and dry spring, hot July and first part of August followed by mild temperatures and rainfalls in the second part of August. Whereas in 2004, winter was mild, spring – dry and cool, but summer – rich in

Table 1

The air temperature and precipitation during the vegetation period compared with meteorological norm, 2003–2006

Month	Average daily air temperature, °C					Precipitation, mm				
	2003	2004	2005	2006	Norm	2003	2004	2005	2006	Norm
April	4.2	6.9	6.0	5.8	4.8	29	3	17	20	42
May	12.3	10.2	11.2	11.6	11.1	16	43	43	28	40
June	14.3	13.3	14.3	16.2	15.1	49	118	49	24	51

Table 2

The net photosynthesis productivity, g m⁻² day⁻¹, and leaf area index on average for 2003–2006

Parameters	Varieties						
	Spidola	Lofa	Saikava	Hykor	Perun	Tapirus	Punia
Net photosynthesis productivity	5.63	7.48	8.29	6.99	7.30	7.94	7.85
$S_{\bar{x}}$	0.88	0.53	0.79	0.31	0.23	0.17	0.45
Leaf area index	2.01	2.28	1.94	2.91	2.53	1.98	2.66
$S_{\bar{x}}$	0.35	0.38	0.38	0.37	0.45	0.25	0.37
LSD _{0.05} for NPP=3.02, for LAI=0.63							

precipitation and cool. Early snow cover without frost contributed to snow mildew formation in the winter of 2004/2005. The year 2005 was characterized by a late and cool spring and hot and dry July. In 2006, cold and long winter with sufficient snow cover was followed by an extremely hot and dry summer.

Results and Discussion

In the Latvian climatic conditions, most of the dry matter yields are produced by the first cut grass. According to our results, NPP and LAI for festulolium, hybrid ryegrass and perennial ryegrass individual grass species were different during regrowth period till the first cut.

On the average between four years of trial, the highest NPP was observed for festulolium cv. 'Saikava' – 8.29 g m⁻² day⁻¹ (Table 2). Perennial ryegrass demonstrated not only the lowest average value of NPP but also the lowest DM yield. Though there were differences between NPP values of the investigated varieties, they were not statistically significant ($p>0.05$). In the four years of trials, festulolium cv. 'Hykor' and 'Punia' gave the highest average values of LAI – 2.91 and 2.66 respectively. Differences between LAI values of investigated varieties were statistically significant ($p<0.05$).

Weather conditions affect leaf development and photosynthetic capacity. The dry and warm weather in May 2003 led to faster reaching of the maximum LAI and its reduction afterwards. The leaf photosynthesis was influenced by current meteorological conditions and by the leaf age. Greater leaf area did not provide increase in plant DM production per leaf area in the year 2003, and correlation between LAI and DM production was not significant ($p>0.05$).

In the year 2003, the highest net photosynthesis productivity was shown by festulolium cv.

'Hykor' – 6.68 g m⁻² day⁻¹. NPP of perennial ryegrass cv. 'Spidola' was 3.37 g m⁻² day⁻¹, and all festulolium and hybrid ryegrass cultivars exceeded it. In the year 2003, the average NPP of festulolium cultivars was by 74% higher compared to perennial ryegrass, and no close relationship between NPP and DM yield production was established ($p>0.05$).

In the year 2004, formation of leaf area was slow due to late and cool spring. Determination of festulolium and hybrid ryegrass leaf area dynamics showed that development of the maximum LAI was achieved before ear emergence stage. There was an upward trend of plant leaf area expansion over spring growing season till reaching maximum LAI. With the ageing of leaves, their photosynthetic capacity declines. A downward trend of NPP over spring growing season till first cut was observed. NPP was the highest during the first ten days of spring regrowth, but lower at ear emergence stage (Fig. 1).

In the year 2004, the highest net photosynthesis productivity was exhibited by festulolium cv. 'Saikava' – 8.97 g m⁻² day⁻¹. This year for festulolium and hybrid ryegrass swards a significant ($p<0.05$) negative correlation was observed between the DM yield formation during spring growing season till first cut and the NPP (Fig. 2). It was determined that LAI and DM production had close relationship which was expressed by an equation of linear regression ($p<0.01$) (Fig. 3). In 2004, the maximum LAI was achieved by festulolium cv. 'Perun' – 3.6.

Generally, in spring 2005, the weather conditions as well as net photosynthesis productivity and leaf area dynamics were similar to those in the year 2004. The maximum LAI was achieved before ear emergence stage. An upward trend of plant leaf area expansion over spring growing season till reaching

maximum LAI and a downward trend of NPP over spring growing season till first cut were observed. NPP was the highest at the beginning of spring regrowth, but the lowest at ear emergence stage (Fig. 4).

In the year 2005, hybrid ryegrass cv. 'Tapirus' had the highest net photosynthesis productivity – $9.23 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. NPP of perennial ryegrass cv. 'Spidola' was $5.53 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, and

all festulolium and hybrid ryegrass cultivars exceeded it. The average net photosynthesis productivity of festulolium cultivars was by 45% higher than that of perennial ryegrass. There was a significant ($p < 0.05$) negative correlation between the DM yield formation during spring growing season till first cut and the net photosynthesis productivity for festulolium and hybrid ryegrass swards (Fig. 5). It was

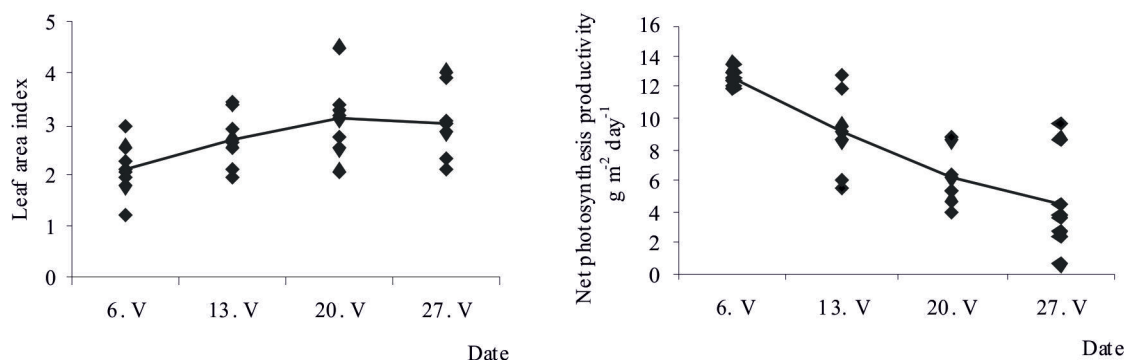


Fig. 1. Indices of photosynthesis for festulolium and hybrid ryegrass swards, 2004.

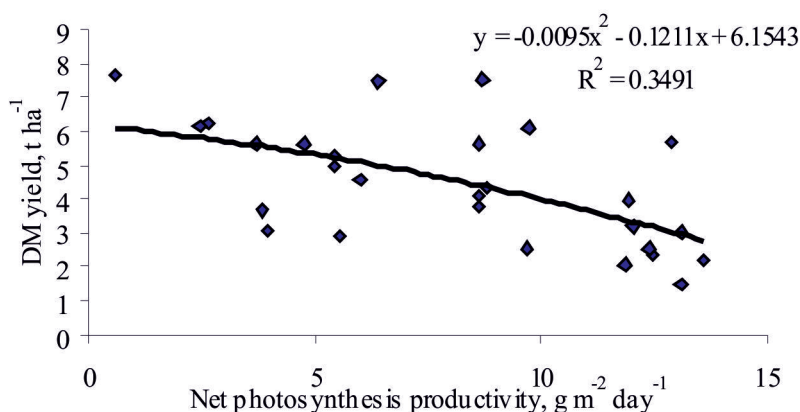


Fig. 2. The relationship between net photosynthesis productivity and plant dry matter yield in 2004, $p < 0.05$.

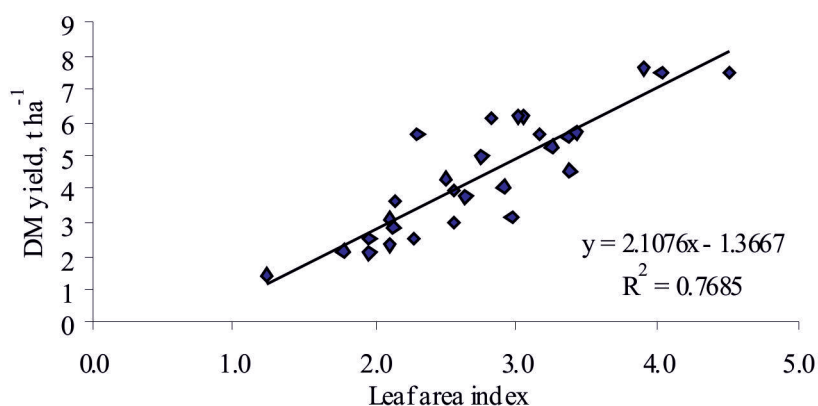


Fig. 3. The relationship between leaf area index and plant dry matter yield in 2004, $p < 0.01$.

also determined that LAI and DM production had a close relationship which was expressed by an equation of linear regression ($p < 0.01$) (Fig. 6). The maximum LAI (3.5) was achieved by festulolium cv. 'Hykor'.

In the year 2006, the dry and hot weather at the beginning of summer led to small average leaf area

formation for all investigated varieties, and plant leaf area expansion over spring growing season till reaching maximum LAI was slow (Fig. 7). That year all varieties had the lowest LAI values compared to other trial years.

The rate of photosynthesis which a leaf exhibits in high light intensities declines faster with age. Smaller

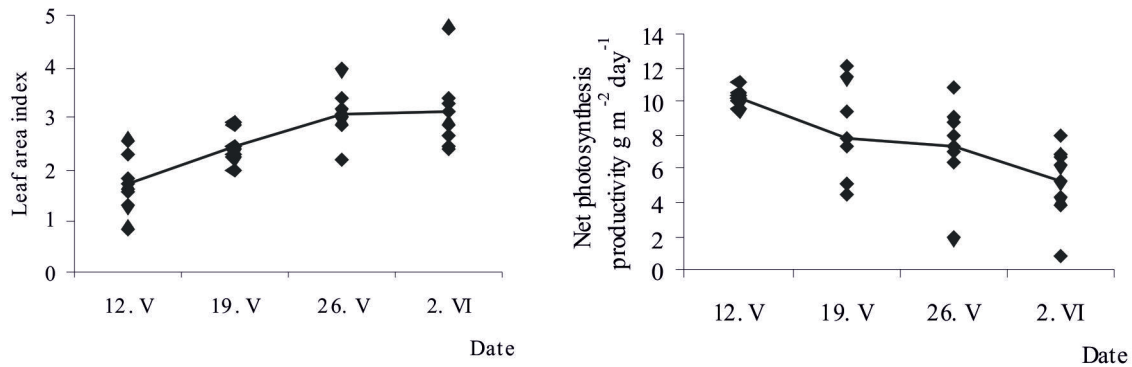


Fig. 4. Indices of photosynthesis for festulolium and hybrid ryegrass swards in 2005.

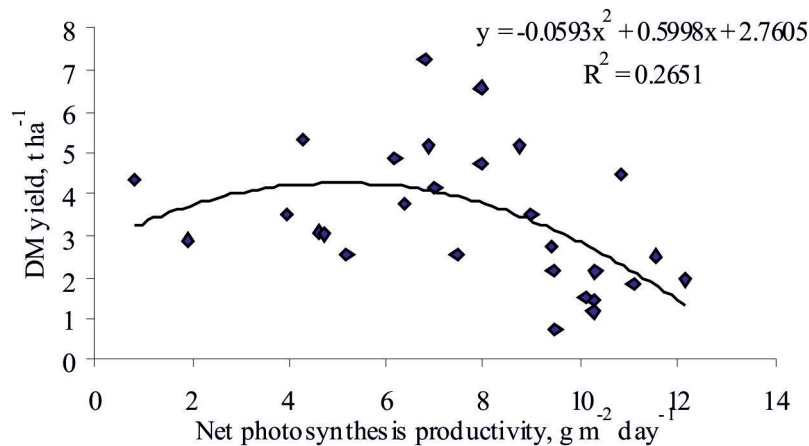


Fig. 5. The relationship between net photosynthesis productivity and plant dry matter yield in 2005, $p < 0.05$.

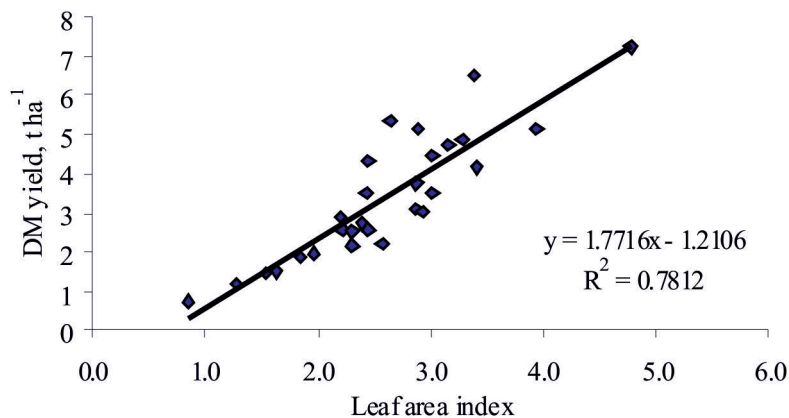


Fig. 6. The relationship between leaf area index and plant dry matter yield in 2005, $p < 0.01$.

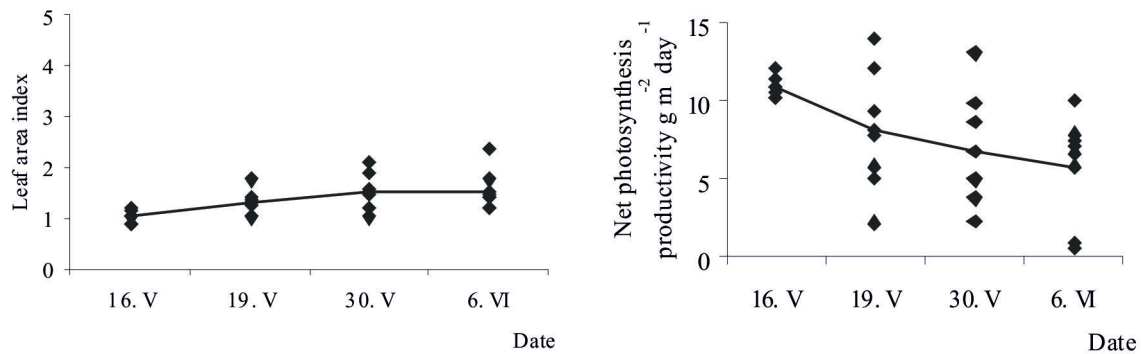
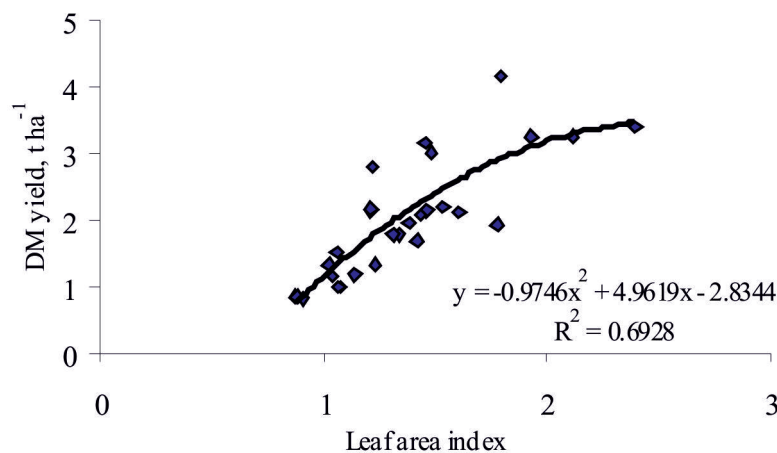


Fig. 7. Indices of photosynthesis for festulolium and hybrid ryegrass swards in 2006.

Fig. 8. Dependence between leaf area index and plant dry matter yield in 2006, $p < 0.01$.

increase in leaf area and better light saturation in sward did not lead to higher photosynthetic capacity. In the year 2006, the highest NPP was demonstrated by hybrid ryegrass cv. 'Tapius' and festulolium cv. 'Punia' – 9.27 and 9.11 g m⁻² day⁻¹ respectively. NPP of perennial ryegrass cv. 'Spidola' was 5.98 g m⁻² day⁻¹, and all festulolium and hybrid ryegrass cultivars exceeded it. The average net photosynthesis productivity of festulolium cultivars was by 36% higher compared to perennial ryegrass. Correlation between net photosynthesis productivity and dry matter yield production was not significant ($p > 0.05$). There was a significant correlation between leaf area index and dry matter production ($p < 0.01$) (Fig. 8). That year, maximum value of LAI, i.e., 1.8, was achieved by festulolium cv. 'Hykor'.

Our results confirmed the data of other researchers (Parsons, Penning, 1988; Robson, Parsons, Williams, 1989; Nosberger, Staszewski, 2002) regarding changes in grass canopy photosynthesis during sward growth and at different leaf ages. The amount of leaves in a sward is a very important parameter as leaves intercept solar energy and provide

photosynthesis. LAI values are influenced by the age of a sward (Būmane, 2009). Our trial also confirmed that increase in DM yield of grasses is closely associated with leaf area increase. Initially, increase in leaf area led to a greater biomass production, and a significant correlation between leaf area index and dry matter production was established in the years 2004, 2005, and 2006. It is found in the literature that there is a significant positive correlation between LAI and DM for tall fescue cultivars and their intergenetic hybrids (Gaborcik, Ilavska et al., 2006).

Leaves in herbage plants are not only the main organ which takes part in photosynthesis, but also a part of the harvested yield. The great influence of sward management regime on LAI and DM yield should also be noted. For the frequently defoliated swards of perennial ryegrass maximum weight of herbage harvested has been obtained between LAI 2 and 3. It has been determined that the relationship between net canopy photosynthesis and LAI for frequently defoliated swards is linear (King, Grant et al., 1984). At a three-time cutting regime,

LAI values from 2.3 to 5.8 have been observed for festulolium 'Perun' (Gaborcik, Zametakova, Rataj, 2004). Following lenient defoliation average growth rate is lower overall, compared to frequently defoliated swards, and growth rate may actually decline during regrowth (Parsons, Johnson, Harvey, 1988). Defoliation intensity affect on the growth and production of tall fescue DM has been reported (Adamczewski, Donaghy, 2005). Other researcher has reported that large leaf area during particular years has resulted in a negative effect on the DM production (Adamovich, 2002). Three cuts during the vegetation season correspond to the lenient defoliation regime. Our research results did not show significant correlation between LAI and DM production in the year 2003 when leaves aged faster due to the dry and warm weather and the loss of green matter in leaf turnover was higher.

Leaf area expansion leads not only to higher dry matter production but also to greater shadow in swards. A significant negative correlation has been established between LAI and NPP for perennial ryegrass sward (Būmane, 2009). Within a vegetative sward the increase in leaf area results in the decrease of photosynthetic capacities because of mutual shading of leaves (Woledge, 1972; Рунце, 1986). This is the reason why data regarding correlation between net photosynthesis productivity and dry matter yield production are different. Some data indicate a significant positive correlation (Gaborcik, Ilavská et al., 2006), but some do not confirm a close relationship between NPP and DM production (Daepf, Suter et al., 2000; Adamovich, 2002).

Increase in dry matter yield for grasses is closely associated with leaf area increase, which was also proved by the results of our trials. The increase in leaf area resulted in the decrease of NPP indices because of mutual shading of leaves. Relationships between NPP and DM yields were characterised by weak negative linear correlation in all trial years; however, these relationships were significant at 95% probability level only in the years 2004 and 2005.

Our results showed that harvesting grasses at the beginning of ear emergence stage extends the regrowth period. On the one hand, it leads to increase in biomass production close to maximum, but, on the other hand, it decreases the photosynthesis productivity. It is necessary to achieve the best balance between photosynthesis and plant tissue production, and the amount of leaf removed by grazing or cutting (Hodgson, 1985). In Latvia, the highest NPP

values (10.2–12.7 g m⁻² day⁻¹) have been achieved in 24–32 days after the beginning of spring regrowth, which was influenced by meteorological conditions in the particular regrowth period.

Conclusion

1. Increase in grass dry matter yield was closely related to leaf area increase. A significant ($p < 0.01$) positive correlation was established between the dry matter yield and leaf area index during regrowth period in spring till the first cut.
2. The influence of leaf area on net photosynthesis productivity was different in different periods of regrowth. Net photosynthesis productivity of festulolium and hybrid ryegrass swards decreased during the regrowth period in spring till the first cut.
3. The highest NPP (10.2–12.7 g m⁻² day⁻¹) for festulolium, hybrid ryegrass and perennial ryegrass varieties was achieved 24–32 days after renewal of vegetation, which was greatly influenced by the weather conditions during leaf formation.
4. Relationships between net photosynthesis productivity and dry matter yields in all trial years were characterised by a weak negative linear correlation; however, they were significant only in two trial years.

References

1. Adamczewski, K.A., Donaghy, D.J. (2005) The effect of defoliation interval on regrowth of tall fescue. *XX International Grassland Congress*. Offered papers. Ireland, Wageningen Academic Publishers, p. 352.
2. Adamovich, A. (2002) Indices of photosynthesis activity in forage galega–grass swards. *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 274–275.
3. Būmane, S., Adamovich, A. (2006) Influence of fertilisation rates on *Lolium perenne* sward photosynthetic characteristics and seed yield. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 116–118.
4. Būmane, S. (2009) *Minerālmēslojuma optimizācija ganību aireses sēkludzēšanas sējumos minerālaugsnēs*. Promocijas darbs lauks. zin. Dr. grāda ieguvei. Latvijas Lauksaimniecības universitātes Agrobiotehnoloģijas institūts, Jelgava, 151 lpp.
5. Daepf, M., Suter, D., Almeida, J.P.F., Isopp, H., Hartwing, U.A., Frehner, M., Blum, H., Nosberger, J., Luscher, A. (2000)

- Yield response of *Lolium perenne* swards to free CO₂ enrichment increased over six years in a high N input system on fertile soil. *Global Change Biology*, Vol. 6, 805–816.
6. Gaborcik, N., Ilavská, I., Zibritova, I., Kizekova, M. (2006) Photosynthesis, growth and productivity of tall fescue and their intergeneric hybrids. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 167–169.
 7. Gaborcik, N., Zametakova, Z., Rataj, D. (2004) Impact of water deficit on growth and productivity of *festulolium* hybrids. *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, 431–432.
 8. Hodgson, J. (1985) The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. *Proceedings of the XV International Grassland Congress, Kyoto, Japan*, 31–34.
 9. King, J., Grant, S.A., Torvell, L., Sim, E.M. (1984) Growth rate, senescence and photosynthesis of ryegrass swards cut to maintain a range of values for leaf area index. *Grass and Forage Science*, Vol. 39, issue 4, 371–380.
 10. Kohoutek, A., Odstřilova, V., Komarek, P., Nerušil, P. (2004) Persistence and production ability of *Dactylis glomerata* L., *Dactylis polygama* Horvat, *Festuca arundinacea* L. and genus hybrids in 1986–2003. *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, 422–424.
 11. Kolomeychenko, V.V. (2005) Utilisation of photosynthetic active radiation by grasslands in time and in space. *XX International Grassland Congress*. Offered papers. Ireland, Wageningen Academic Publishers, p. 211.
 12. Nesheim, L., Bronstad, I. (2000) Yield and winter hardiness of *Festulolium* (*Festuca x Lolium*) in Norway. *Grassland Science in Europe*, Vol. 5, 238–240.
 13. Nosberger, J., Staszewski, Z. (2002) Overview of the changes in research on grasslands in Europe. *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, 17–27.
 14. Parsons, A.J., Johnson, I.R., Harvey, A. (1988) Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science*, Vol. 43 (1), 49–59.
 15. Parsons, A.J., Penning, P.D. (1988) The effect of duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotational grazed sward. *Grass and Forage Science*, Vol. 43 (1), 15–27.
 16. Robson, M.J., Parsons, A.J., Williams, T.E. (1989) Herbage production. *Grass, its production and utilization*. Ed. by W. Holmes. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 12–88.
 17. Woledge, J. (1972) The effect of shading on the photosynthetic rate and longevity of grass leaves. *Annals of Botany*, Vol. 36, 551–561.
 18. Ничипорович, А.А., Строгонова, Л.Е., Чмора, С.Н., Власова, М.П. (1961) Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. Москва, Гос. изд. АН СССР, 153 с.
 19. Рунце, А. (1986) Интенсивное возделывание многолетних трав – основа рационального использования мелиорованных дерново-глебовых переувлажненных почв. Диссертация доктора сельскохозяйственных наук. Сквири, 441 с.

Anotācija

Auzeņāirenes (*Festulolium* Asch.&Graebn.) ir perspektīvs kultūraugs Ziemeļeiropā, kur klimatiskie apstākļi nav pietiekami labvēlīgi aireņu audzēšanai. Pētījumi veikti, lai noteiktu ārzemju un vietējās izcelsmes auzeņāireņu un hibrīdo aireņu (*Lolium x boucheanum* Kunth.) šķirņu produktivitāti. Līdz pirmajam plāvējumam noteikti fotosintētisko darbību raksturojošie parametri – fotosintēzes tīrā produktivitāte (FTP) un lapu virsmas laukuma indekss (LLI) –, kā arī to ietekme uz sausas ražu. Veģetācijas perioda sākumā notiek strauja augu audu veidošanās, kas savukārt nodrošina fotosintēzējošās virsmas palielināšanos un rezultātā arī kopējo sausas ražas palielinājumu. To apstiprina arī mūsu pētījumu rezultāti. Trijos izmēģinājuma gados auzeņāirenes, hibrīdās airenes un ganību airenes šķirnēm tika konstatēta būtiska pozitīva sakarība starp LLI un sausas ražas veidošanos veģetācijas periodā līdz vārpošanas fāzei. Palielinoties lapu virsmas laukumam, savstarpējā noēnojuma dēļ FTP rādītāji samazinājās. Tādēļ dati par sausas ražas palielinājumu atkarībā no FTP ir atšķirīgi. Ir pētījumi, kuros konstatēta būtiska pozitīva korelācija starp FTP un sausas ražu (Gaborcik, Ilavská et al., 2006), un ir arī pētījumi, kuros būtiskas likumsakarības nav novērotas (Daepf, Suter et al., 2000;

Adamovich, 2002). Mūsu pētījumu rezultāti daļēji saskan ar iepriekš literatūrā publicēto: sakarību starp FTP un sausnas ražu visos izmēģinājuma gados raksturoja vāja negatīva lineāra korelācija, tomēr šīs sakarības bija būtiskas 95% ticamības līmenī tikai 2004. un 2005. gadā. Pētījuma rezultāti liecina, ka auzeņaireņu un hibrīdo aireņu pļauja vārpošanas sākuma stadijā, no vienas puses, nodrošina lielāku biomasas ieguvu, bet, no otras puses, samazina FTP rādītājus. Augstākā FTP tika sasniegta 24–32 dienas pēc veģetācijas atjaunošanās, un šos rādītājus lielā mērā ietekmēja meteoroloģiskie apstākļi lapu veidošanās laikā.

Dažādu kartupeļu šķirņu bumbuļu slimību skrīnings un to nozīmīgums integrētās augu aizsardzības sistēmās

The Screening of Different Potato Varieties for Tuber Diseases and Its Importance in Integrated Pest Management

Ināra Turka, Gunita Bimšteine

LLU Augsnes un augu zinātņu institūts
Institute of Soil and Plant Sciences, LLU
e-mail: Inara.Turka@llu.lv

Abstract. In an Integrated Pest Management system it is very important to follow all scientifically recognized measures in order to limit plant disease problems. In this research we focused on the importance of variety choice to decrease potato tuber diseases in integrated or biological growing systems. Data of 75 potato varieties grown under similar Latvian agroclimatic and soil conditions were used. Potato tubers were not treated with fungicides. The selected tolerant 20 potato varieties were evaluated against common scab *Streptomyces scabies* Guss, black scab *Rhizoctonia solanacearum* Kühn, powdery scab *Spongospora subterranea f.sp. subterranea* Lag, and silver scurf *Helminthosporium solani* Durieu & Mont, as well as whether they are appropriate for use in an integrated plant cultivation system or organic farming. Statistical analysis was done by MS Excel data analysis tool "Correlation". Diagnostics of tuber diseases was done by visual testing and the Bioreba and Adgen Ltd Neogen test kits. Only 23% of the varieties had healthy tubers that had not suffered from damage of wireworms (*Agriotes spp.*). Experimental data showed the phenomenon that under identical agroclimatic and soil conditions, some varieties were more attractive for wireworm damages than others. A relationship was established between wireworm damages and the spread of black scab ($r=0.594$).

Key words: potato tuber pathogens, varietal susceptibility, tolerant varieties.

Ievads

Latvijā kartupeļu platības, iespējams, varētu būtiski palielināt, jo kartupeļu audzētājiem ir bagātīga pieredze šī kultūrauga audzēšanā. Arī pasaules valstis, kur kartupeļi nav tradicionāls pārtikas produkts, piemēram, Indija un Ķīna, sāk atzīt kartupeļu produkcijas ievērojamo uzturvērtību. Kā zināms, kartupeļu raža un arī kvalitāte ir atkarīga gan no pielietoto minerālmēslu, gan pesticīdu daudzuma. Minētie faktori tomēr ir tikai daļa no kopējās audzēšanas sistēmas, jo kartupeļu ražas kvalitāte ir būtiski atkarīga no audzēšanas tehnoloģijas un sēklas kvalitātes. Svarīgs faktors, kas lielā mērā samazina plānoto ražu un ko zinātnieki atzīmējuši jau pirms vairākiem desmitiem gadu, ir tieši kartupeļu bumbuļu slimības, šķirņu tolerance un rezistence pret tām (Dowley, 1972). Kartupeļu bumbuļu slimības parasti ierosina augšnes patogēni, kas pēdējos gados daudzās saimniecībās konstatēti postošā daudzumā un kas ievērojami samazina produkcijas tirgus vērtību. Nozīmīgākie augšnes patogēni ir melnais kraupis (*Rhizoctonia solani*

Kühn), parastais kraupis (*Streptomyces scabies* Güss) un sudrabortais kraupis (*Helminthosporium solani* Durieu & Mont). Jāatzīmē, ka tieši šo bumbuļu slimību ierobežošanai fungicīdu lietošana nav īpaši efektīva. Kaut arī kartupeļu ražas ir augstas, tirgus produkcijas iznākums reāli ir ievērojami zemāks.

Dažās kartupeļu audzētāju saimniecībās konstatēts līdz šim maz pētīts augšnes patogēns *Spongospora subterranea f.sp. subterranea* Lag, kas ierosina kartupeļu bumbuļu irdeno kraupī. Irdenais kraupis nav jauns patogēns, tas bija zināms Latvijā jau agrāk, taču vairāku desmitu gadu laikā nav bijis postīgs. Irdenā kraupja plašāka izplatība ir saistīta ar sēklas materiāla globālo tirdzniecību, kā arī ar ievērojamām klimata izmaiņām. Salīdzinot siltās ziemās augšnes patogēni pārziemo labāk. Iespējams, ka irdenā kraupja radītie ražas zudumi Latvijā ir tādi paši kā citās Eiropas valstīs – Somijā, Lielbritānijā, Šveicē, Itālijā (Mercz, Faloon, 2009; Mercz, 2008; Wale, 1987). Viena no pazīmēm, kas liecina par inficēšanos ar *S. subterranea*, ir stipras bumbuļu deformācijas, kas dažām šķirnēm ir pat ļoti izteiktas.

Bez tam patogēns ir arī kartupeļu *mop-top* vīrusa pārnēsātājs, kas savukārt veicina plašāku šīs vīrusu slimības izplatību.

Kvalitātes prasībās sēklas kartupeļiem nav ietvertas kartupeļu iedegas, sudrabainais kraupis un irdenais kraupis, līdz ar to daļēji pieļaujot nekvalitatīva sēklas materiāla izplatīšanu. Jāatzīmē, ka funkcīdu lietošana šo slimību ierobežošanai nav pietiekami efektīva un relatīvi izturīgu šķirņu izvēle ir ļoti būtiska īpaši integrētās audzēšanas sistēmās.

Lai savlaicīgi diagnosticētu augšnes patogēnu infekcijas uz kartupeļu bumbuļiem, ir pieejami dažādi laterālās plūsmas testerī, piemēram, Adgen Ltd Neogen testerī *S. subterranea*, Alert LF *Rhizoctonia* spp. u.c. patogēnu ātrākai noteikšanai.

Darba mērķis bija skrīnēt to Latvijā pieejamo kartupeļu šķirņu kolekcijas, kuras augušas vienādos agroklimatiskos un augšnes apstākļos, lai diagnosticētu kartupeļu bumbuļu slimības, noteiktu to izturību atkarībā no šķirnes un lai noskaidrotu potenciālo šķirņu piemērotību audzēšanai integrētās audzēšanas sistēmās.

Materiāli un metodika

Skrīnings veikts 2010. gada rāžai, lai izslēgtu citus, dažādu gadu, ietekmējošus faktorus (Manici, Accinelli, Caputo, 2010), kuri sevišķi ietekmē Latvijā dominējošā patogēna *R. solani* attīstību (Turka, 2008). Skrīninga gaitā veikta paraugu vizuālā analīze un atlasīti bumbuļi ar redzamām dažādu augšnes patogēnu (*R. solani*, *S. scabies*, *H. solani*, *S. subterranea*) infekciju pazīmēm precīzākai diagnostikai ar viena soļa imunohromatogrāfijas testeriem. Pēc Latvijas sēklkopības noteikumiem (Kartupeļu sēklaudzēšanas ..., 2003) ar melno kraupi inficēto sēklas kartupeļu pieļaujamais daudzums sēklas materiālā ir 5% no masas, ja gadījumā sklerociji pārklāj vairāk nekā 1/10 no kartupeļu bumbuļu virsmas. Ar parasto kraupi inficēto kartupeļu bumbuļu daudzums no masas nedrīkst pārsniegt 5% ar nosacījumu, ja brūces aizņem vairāk nekā 1/3 no kartupeļu bumbuļu virsmas. Pētījumā skrīnējot bumbuļu patogēnus, tika ievēroti šie kritēriji. Uzmanība tika pievērsta arī bumbuļu daudzumam, kuriem konstatēja augšanas kropļības un dažādus ārējos bojājumus.

Lai konstatētu iespējamās latentās infekcijas, papildus vizuālai bumbuļu vērtēšanai tika izmantota viena soļa imunohromatogrāfijas metode jeb laterālās plūsmas testerī – no Bioreba un Adgen Ltd Neogen. Metodes būtība ir: katram patogēnam

specifiski sagatavoti viena soļa laterālās plūsmas imunohromatogrāfijas testerī (lateksa plāksnītes), kuras, nonākot kontaktā ar pārbaudāmā auga sulu, pozitīvas reakcijas rezultātā uzrāda krāsu reakciju. Šī metode izmantota kopā ar vizuālo bumbuļu analīzi, lai izslēgtu kļūdīšanos dažādu simptomu pārsegšanās gadījumos.

Irdenais kraupis diagnosticēts ne tikai ar minētajiem testeriem, bet veicot arī paraugu mikroskopēšanu, lai konstatētu snaudsporas irdenā kraupja zvaigzņveida brūcēs. Kopumā skrīnēti 75 dažādu kartupeļu šķirņu paraugi (B2 kategorijas sēklas materiāls), lai noteiktu kartupeļu bumbuļu slimību izplatību vienādos agroklimatiskos un augšnes apstākļos augušām šķirnēm.

Uzskaitīti arī kaitēkļu bojājumi bumbuļos un noteikta to saistība ar augšnes patogēnu izplatību, izmantojot MS Excel datu analīzes rīku „Correlation”.

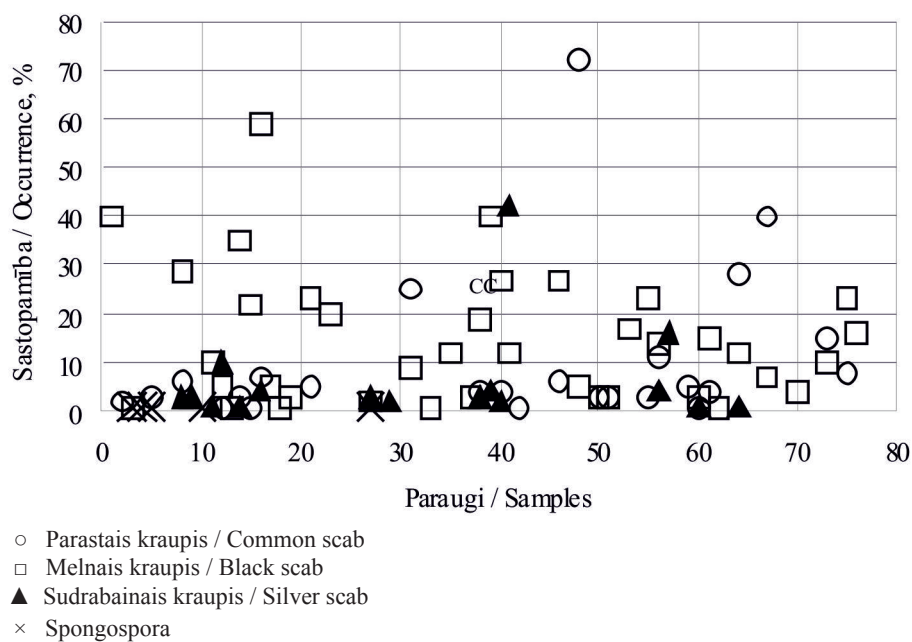
Rezultāti

Analizējot kolekcijas 75 kartupeļu šķirņu paraugus, konstatēts, ka tikai 32% vienādos apstākļos un vienā sezonā augušo šķirņu nav nekādu slimības pazīmju. Pārējām kartupeļu šķirnēm konstatēja bumbuļu infekcijas un drātstārpu bojājumus: melno kraupi (*R. solani*), parasto kraupi (*S. scabies*), sudraboto kraupi (*H. solani*) un irdeno kraupi (*S. subterranea*). Kopumā melnā kraupja pazīmes atrada 49.3% skrīnēto šķirņu bumbuļu paraugos (1. att.). Slimības attīstības pakāpe pārsniedza 10% (sklerociji vairāk par 10% no bumbuļu virsmas) šādām šķirnēm: Agrie dzeltenie, Appel, Bete, Brasla, Elfe, Evelin, Laimdota, Laura, Lenora, Madara, Magdalēna, Monta, Presto, Raja, Roberta, Sante, Valisa, Vineta un Vitara. Īpaši augsta melnā kraupja attīstības pakāpe bija šķirnēm Agrie dzeltenie, Bete, Brasla un Lenora (2-4. att.). Skrīnētās šķirnes attēlos sakārtotas alfabētiskā kārtībā.

Ar parasto kraupi bija inficēti 38.6% šķirņu. Skrīnētajām šķirnēm infekcijas pakāpe, protams, bija atšķirīga. Augstu parastā kraupja attīstību konstatēja tikai četrām šķirnēm: Impala (25%), Mutagenagrie (72%), Sante (28%) un Sigunda (40%).

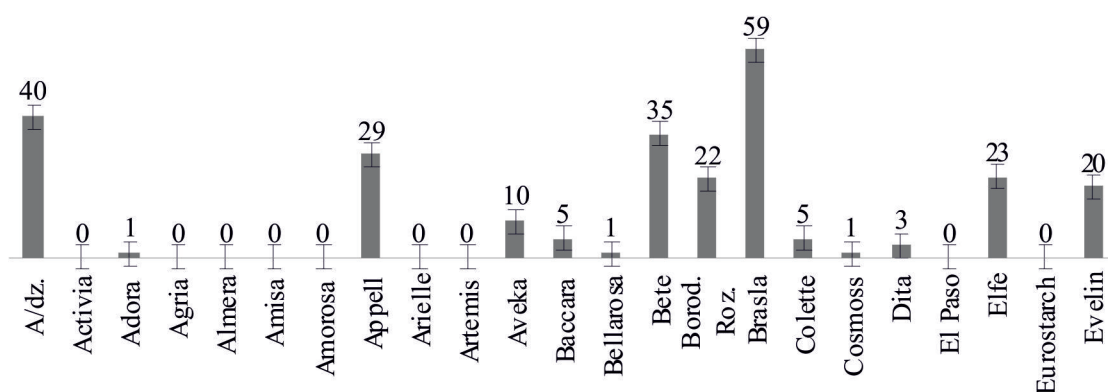
Sudrabaino kraupi konstatēja 21% no pārbaudītajām šķirnēm, tomēr augsta infekcijas pakāpe bija tikai divām šķirnēm: Riviera (16%) un Marlen (42%). Savukārt irdeno kraupi konstatēja 6.7% skrīnēto šķirņu.

Vairākām šķirnēm, kuras bija augušas vienādos apstākļos, novēroja drātstārpu bojājumus.



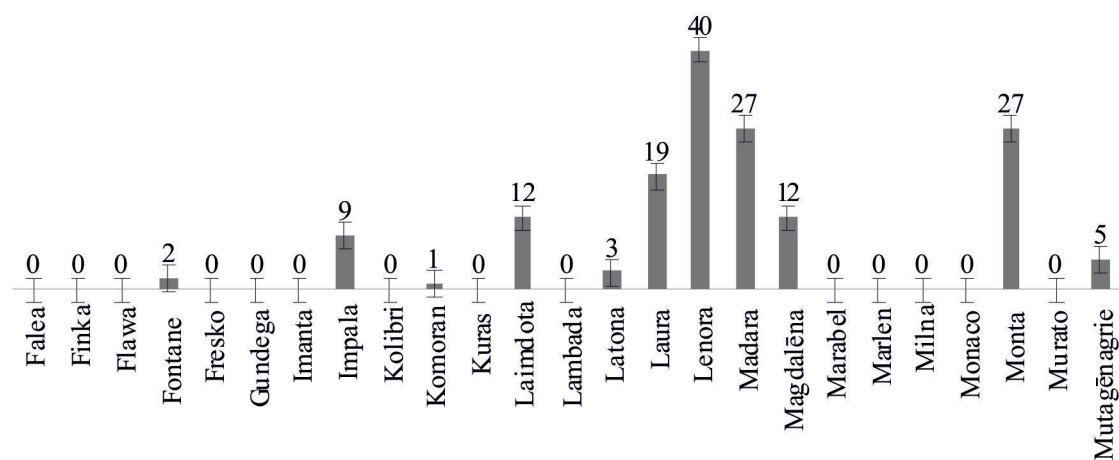
1. att. Skrīningā konstatēto kartupeļu bumbuļu slimību sastopamība.

Fig. 1. Occurrence of potato tuber diseases during screening.



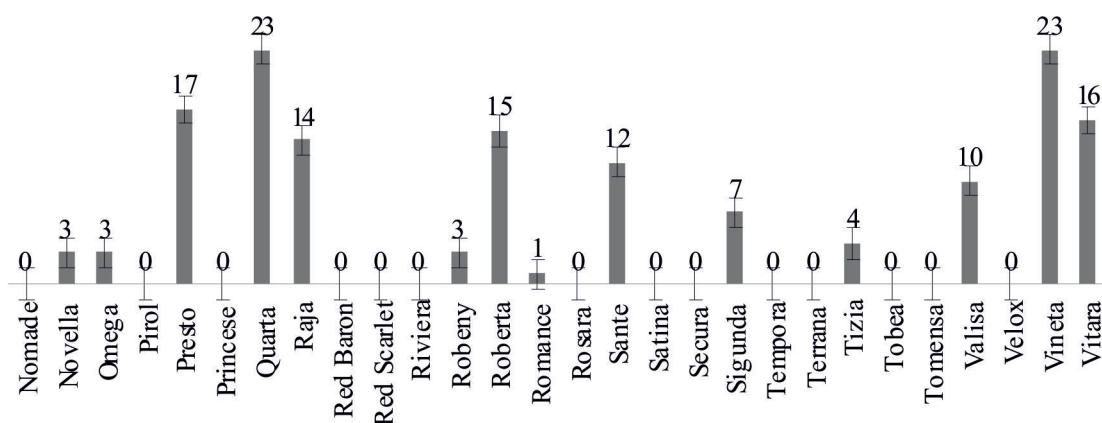
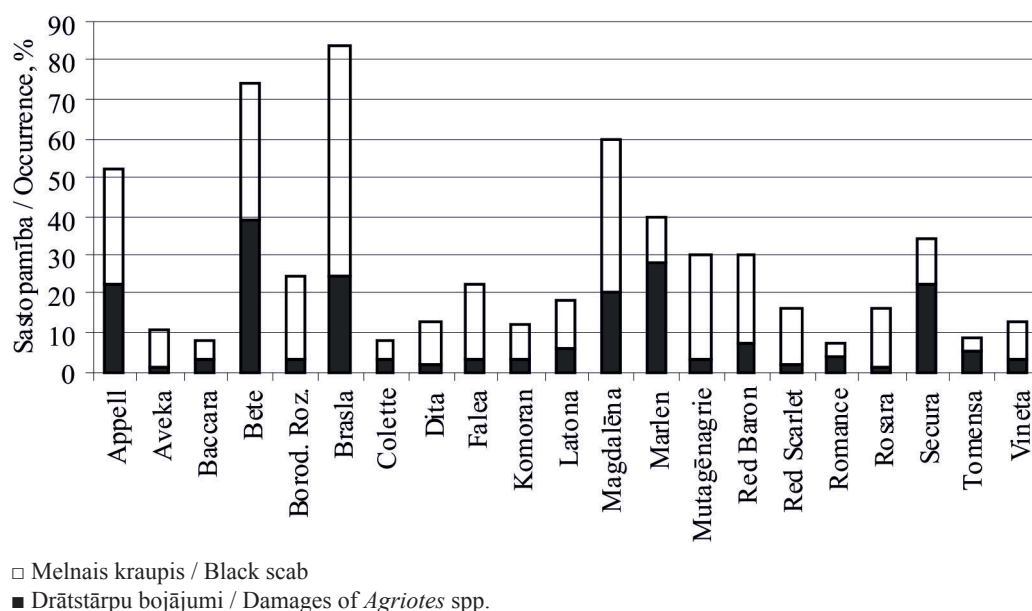
2. att. Kartupeļu melnā kraupja *R. solani* sastopamība dažādām šķirnēm, % (A-E).

Fig. 2. Occurrence of potato black scab *R. solani* in different potato varieties, % (A-E).



3. att. Kartupeļu melnā kraupja *R. solani* sastopamība dažādām šķirnēm, % (F-M).

Fig. 3. Occurrence of potato black scab *R. solani* in different potato varieties, % (F-M).

4. att. Kartupeļu melnā kraupja *R. solani* sastopamība dažādām šķirnēm, % (N–V).Fig. 4. Occurrence of potato black scab *R. solani* in different potato varieties, % (N–V).

□ Melnais kraupis / Black scab

■ Drārstārpu bojājumi / Damages of *Agriotes* spp.

5. att. Drārstārpu bojājumu un melnā kraupja sastopamība, %.

Fig. 5. Occurrence of *Agriotes* spp. damages and infection with black scab, %.

Tika konstatēta pozitīva, izteikta korelācija starp drārstārpu (*Agriotes* spp.) bojājumiem un melnā kraupja infekciju ($R=0.59148$). Arī starp citiem mehāniskiem bojājumiem (caur kuriem varētu iekļūt infekcija) un melnā kraupja attīstību, bija pozitīva, bet ļoti vāja korelācija (0.19152). Interesanti atzīmēt, ka sešas šķirnes vienādos apstākļos audzētai kolekcijai bija īpaši pievilcīgas drārstārpiem (5. att.), kuru radītie bojājumi veicina *R. solani* infekcijas iekļūšanu bumbulī (6. att.).

Irdeno kraupi (izmantojot gan viena soļa laterālās plūsmas testerus, gan mikroskopēšanas metodi) konstatēja tikai piecām šķirnēm: Adora, Agria, Almera, Artemiss un Fontane. Šķirnēm Almera, Ariella, Artemiss un Fontane konstatēja

ievērojamas bumbuļu deformācijas un arī *mop-top* vīrusa simptomus kartupeļu bumbuļu mīkstumā. Būtiski atzīmēt, ka fungicīdu lietošana šo slimību ierobežošanai nav pietiekami efektīva. Latvijā selekcionētām pārbaudītajām šķirnēm irdenais kraupis netika konstatēts.

Diskusija

Kartupeļu melno kraupi, ko ierosina *R. solani*, Julius Kühn aprakstījis jau pirms vairāk nekā 150 gadiem, tomēr joprojām literatūras avotos *R. solani* tiek minēts kā grūti ierobežojams augšes patogēns (Rowe, 1992), par ko liecina arī mūsu pētījumi.

No Latvijas augu šķirņu katalogā (Latvijas augu ..., 2000) iekļautajām šķirnēm, 12.5% šķirņu (Agrie



6. att. *R. solani* infekcijas izplatība caur drātstārpu bojājumiem.
Fig. 6. Spread of *R. solani* infection through *Agriotes* spp. damage.

dzeltenie, Bete, Brasla, Madara, Laimdota, Lenora) ir ļoti ieņēmīgas pret melno kraupi un parasto kraupi. Savukārt pēc Eiropā audzēto kartupeļu datu bāzes (The European cultivated ..., 2011) tikai 9 kartupeļu šķirnēm (Omega, Pirol, Quarta, Secura, Tempora, Tomensa, Falea, Finka un Impala) minēta augsta vai vidēji augsta neieņēmība pret kartupeļu melno kraupi. Arī mūsu veiktajā skrīningā iegūtie dati to vēlreiz apstiprina. Mūsu pētījumos, līdzīgos agroklmatiskos un augsnes apstākļos, 20 kartupeļu šķirnes bija relatīvi tolerantas pret visiem pētītajiem patogēniem. Diemžēl relatīvi izturīgāko šķirņu grupā nevarēja ieskaitīt Latvijā selekcionētās šķirnes. To varētu izskaidrot ar to, ka patreizējās selekcijas programmas paredz izveidot šķirnes, kas ir izturīgas pret karantīnas patogēniem, kartupeļu lakstu puvi un postīgākajām vīrusu slimībām, bet neietver izturību pret visa veida bumbuļu kraupjiem, tajā skaitā melno un irdeno kraupi. Iegūtie rezultāti liecina, ka turpmākajos gados aktuāla varētu kļūt vispusīgas un detalizētas informācijas ieguve par irdenā kraupja izplatību, jo patogēns jānosaka ne tikai uz bumbuļiem, bet arī augsnē. Saskaņā ar integrētās audzēšanas prasībām kartupeļiem (MK noteikumi Nr. 511, 2010) audzētājam jāizmanto pret kaitīgiem organismiem izturīgas vai tolerantas kartupeļu šķirnes.

Secinājumi

Analizējot kolekcijas 75 kartupeļu šķirņu paraugus, slimību pazīmes netika atrastas

32% vienādos agroklmatiskos apstākļos un vienā sezonā augušām šķirnēm.

Kartupeļu bumbuļu patogēnu skrīningā dominēja melnais kraupis (*Rhizoctonia solani* Kühn).

Vienādos agroklmatiskos apstākļos dažas šķirnes bija ļoti pievilcīgas drātstārpiem (*Agriotes* spp.). Tika konstatēts, ka pastāv pozitīva, izteikta korelācija starp drātstārpu bojājumiem un melnā kraupja infekciju ($r=0.59148$).

Izmantojot gan viena soļa laterālās plūsmas testerus, gan mikroskopēšanas metodi, irdenais kraupis tika konstatēts tikai piecām šķirnēm: Adora, Agria, Almera, Artemiss un Fontane.

Literatūra

1. Dowley, L.J. (1972) Varietal susceptibility of potato tubers to *Rhizoctonia solani* in Ireland. *Irish Journal of Agricultural Research*, Vol. 11, 281–285.
2. *Kartupeļu sēklaudzēšanas un sēklas kartupeļu tirdzniecības noteikumi* (MK 12.08.2003., not. Nr. 446.). (Grozījumi 22.04.2004., Nr. 425): <http://www.likumi.lv/doc.php?id=340498> – Resurss aprakstīts 2011. gada 20. janvārī.
3. *Latvijas augu šķirņu katalogs*. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr. 369, 2000. gada 24. oktobrī: <http://www.likumi.lv/dopc.php?id=12192> – Resurss aprakstīts 2011. gada 20. janvārī.
4. Manici, L.M., Accinelli, C., Caputo, F. (2010) Simulation of crop infection of two economically

- important potato soil-born pathogens under differing spring weather conditions of the southern Europe. *Proceedings of Agro 2010 the XIth ESA Congress, August 29th – September 3rd, 2010, Montpellier, France*, 649–650.
5. Merz, U. (2008) Powdery scab of potato – occurrence, life cycle and epidemiology. *American Journal of Potato Research*, Vol. 185 (4), 241–246.
 6. Merz, U., Falloon, R.E. (2009) Review: powdery scab of potato – increased knowledge of pathogen biology and disease epidemiology for effective disease management. *Potato Research*, Vol. 52 (1), 17–37.
 7. MK noteikumi Nr. 511, 08.06.2010. „Grozījumi Ministru kabineta 2009. gada 15. septembra noteikumos Nr. 1056 „Lauksaimniecības produktu integrētās audzēšanas, uzglabāšanas un marķēšanas prasības un kontroles kārtība”” („LV”, 93 (4285), 11.06.2010.) (stājas spēkā 12.06.2010.): http://www.likumi.lv/doc.php?id=211649#saist_13 – Resurss aprakstīts 2011. gada 20. aprīlī.
 8. Rowe, R. C. (1992) Future challenges in managing potato health. *American Potato Journal*, Vol. 69, No. 11, 769–776.
 9. *The European cultivated potato database*: <http://www.europotato.org/menu.php> – Resurss aprakstīts 2011. gada 20. janvārī.
 10. Turka, I. (2008) Economically important potato tuber diseases in organic farming in Latvia. *9th International Congress of Plant Pathology, August 2008, Torino, Italy*, 24–29.
 11. Wale, S.J. (1987) Powdery scab – are there any easy solutions? *Potato World*, Vol. 4 (4), 8–9.

Lopbarībā esošo karotinoīdu raksturojums un loma piena ieguvē Carotenoids in Feedstuffs and Their Role in Milk Production

Unigunde Antone, Aleksandrs Jemeljanovs, Baiba Ošmane, Vita Šterna

LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskais institūts „Sigra”

Research Institute of Biotechnology and Veterinary Medicine „Sigra”, LLU

e-mail: vitasterna@inbox.lv

Abstract. Carotenoids are involved in the sensory and nutritional values of dairy products. The milk used for consumption or dairy processing should have a high antioxidative capacity to achieve high-quality products. Feeding is one of the most significant factors influencing cow productivity, and composition and quality of milk. It is expected that milk from cows fed silage has higher concentration of β -carotene and α -tocopherol than milk from cows fed hay. In grazing systems herbage maturity stage affects the amount of carotenoids ingested and may affect carotenoid concentrations in milk. In the present study, the content of total carotenes in different forages was analysed, and the content of β -carotene, vitamin A and vitamin E in milk samples was investigated. It was detected that the average content of total carotenes in feed samples of silage, haylage, hay, grass, clover, rapeseed cake, and carrots was respectively 87.64, 7.57, 1.78, 24.06, 47.13, 2.96, and 138.95 mg kg⁻¹ of dry matter. The results of investigations showed that the content of total carotenes in pasture grass, clover and stem-grass samples decreased from June till August. Correlation between the protein and total carotenes content in pasture grass samples was calculated ($r=0.49$, $p<0.05$). The content of β -carotene (131 $\mu\text{g L}^{-1}$), vitamin A (44 $\mu\text{g L}^{-1}$), and vitamin E (48 $\mu\text{g L}^{-1}$) in milk samples was higher when the feed of cows had higher content of total carotenes, e.g. 830 mg per cow per day. The milk samples demonstrated an average content of β -carotene (40 $\mu\text{g L}^{-1}$), vitamin A (37 $\mu\text{g L}^{-1}$), and vitamin E (35 $\mu\text{g L}^{-1}$) when cows were not provided with an optimal content of total carotenes.

Key words: cows, milk, forages, antioxidants, vitamins.

Ievads

Augu valstī karotinoīdi ir plaši pārstāvēti; augi un aļģes sintezē vairāk nekā 600 dažādu karotinoīdu. Tie veido galveno dabīgo pigmentu grupu. Karotinoīdus var iedalīt divās lielās grupās atkarībā no to ķīmiskās uzbūves. Pirmo grupu veido karotīni, kas ir ogļūdeņraži, kuru struktūra veidota uz tetraterpenoīdu skeleta bāzes ar 40 oglekļa atomiem ķēdē, bet otrajā grupā ietilpst ksantofīli, kuru struktūrās vēl papildus ietilpst skābeklis hidroksil-, metoksil-, karboksil-, keto- vai epoksīdgrupu formā (Osītis, 2005; Wilska-Jeszka, 1997). Pigmentu krāsa rodas, pateicoties šajos savienojumos ietilpstošo konjugēto dubultsaišu klātbūtnei. Jo vairāk dubultsaišu, jo sarkanāka krāsa. Ksantofīli, karotīni un likopēns veido attiecīgi dzelteno, oranžo un sarkano krāsojumu (Wilska-Jeszka, 1997). No augiem tie lielākā vai mazākā mērā pāriet dzīvnieku valsts produktos – vairāk olu dzeltenumā, mazāk atgremotājdzīvnieku pienā un ķermeņa taukos. Karotinoīdi organismā pilda vairākas

bioloģiskas funkcijas. Piemēram, β -karotīns, kas ir viens no visnozīmīgākajiem karotinoīdiem, ir gan provitamīns A vitamīnam, gan imūnsistēmas stiprinātājs, un tam piemīt arī pretvēža un antioksidatīva iedarbība (Kumaresan, Murugan et al., 2008). Tas ir pieskaitāms pie tiešajiem antioksidantiem, reaģē ar peroksiradikāļiem, veidojot produktus, kuri nespēj turpināt oksidācijas procesu ķēdē, kā arī saista singletu jeb aktivēto skābekli, tādējādi palīdzot aizkavēt fotooksidācijas izraisītu pārtikas u.c. produktu bojāšanos (Chow, 1991). Pietiekams nodrošinājums ar karotinoīdiem barībā sekmē govju veselību. Atsevišķi pētījumi apstiprina ciešu korelāciju starp A vitamīna un β -karotīna saturu govju asinīs un veselību (Chew, Hollen et al., 1982), bet citi būtiskas sakarības nenovēro (Oldham, Eberhart, Muller, 1991). Veiss (Weiss, 2010) skaidro, ka pēc patogēno mikroorganismu iekļūšanas tesmenī sākas iekaisuma reakcija; tās laikā būtiski palielinās imūnsūnu izdalīto

reaģētspējīgo skābekļa metabolītu daudzums, kas imūnšūnām palīdz iznīcināt patogēnos mikroorganismus. Ja imūnšūnās antioksidantu kapacitāte nav pietiekama, samazinās to dzīvotspēja un sākas infekcija, vai arī tā pastiprinās.

Vairākos pētījumos secināts, ka tādi antioksidanti kā α -tokoferols un karotinoīdi var tikt iesaistīti piena sintēzē, tādējādi uzlabojot piena oksidatīvo stabilitāti (Granelli, Barrefors et al., 1998; Havemose, Weisbjerg et al., 2004). Ēdināšana ir galvenais faktors, kas nosaka karotinoīdu saturu govju pienā un asinīs, tomēr to ietekmē arī govju šķirne, laktācija, fizioloģiskais stāvoklis, produktivitāte un laktācijas periods (Noziere, Grolier et al., 2006), kā arī ģeogrāfiskā atrašanās vieta un sezona (Weller, Marley, Moorby, 2007). Neskatoties uz to, ka augos ir sastopama liela karotinoīdu dažādība, atgremotājdzīvnieku barībā tie noteikti ne vairāk kā desmit, un kvantitatīvi vissvarīgākie ir β -karotīns un luteīns (Noziere, Graulet et al., 2006).

Zinātniskajā literatūrā publicēto pētījumu rezultāti par slaucamām govīm izēdinātās barības ietekmi uz piena karotinoīdu un tokoferolu sastāvu apkopoti 1. tabulā. Jāsecina, ka ļoti atšķiras karotinoīdu saturs līdzīgos barības līdzekļos, kas atkarīgs gan no augu augšanas apstākļiem un barības līdzekļu sagatavošanas veida, gan pētījumā izmantotās analīzes metodes. Piemēram, noteikts, ka β -karotīna saturs sienā kūstures perioda beigās veidojis 11 mg kg⁻¹ sausas (Noziere, Grolier et al., 2006) un 41.6 mg kg⁻¹ sausas, kas izmēģinājuma divos mēnešos samazinājies līdz 20.8 mg kg⁻¹ sausas (Havemose, Weisbjerg et al., 2006). Attiecīgi pienā β -karotīna saturs bijis 62 μ g L⁻¹, bet otrā pētījumā tas samazinājies no 445 līdz 264 μ g L⁻¹. Bieži vien antioksidantu saturs pienā tiek analizēts, nenosakot karotinoīdu saturu barībā, vien norādot, kādi barības līdzekļi tiek izēdināti. Pētījumi veikti dažādās valstīs ar tajās turētajām govju šķirnēm un izēdinot atšķirīgus barības līdzekļus, tādēļ arī β karotīna saturs pienā ļoti atšķiras. Pamatojoties uz iepriekš teikto, dati nav pilnībā piemērojami Latvijas apstākļiem barības karotinoīdu satura izvērtēšanai un barības devu aprēķināšanai.

Karotīna diennakts normatīvi: cietstāvošām govīm – 50 mg katrā kilogramā barības sausas; slaucamām govīm – 30 mg uz 100 kg dzīvmasas un 15–20 mg kg⁻¹ slauktā piena (Ostis, 2005). Nacionālā Zinātņu Padome (ASV) iesaka ar barību govij nodrošināt vismaz 300 mg β -karotīna dienā, jo optimālai tesmeņa veselībai β -karotīna saturam asinīs vajadzētu būt vairāk nekā 3 mg L⁻¹ (Nutrient Requirements ..., 2001). Karotīna

izmantošanās salīdzinošā efektivitāte dzīvniekiem mainās atkarībā no A vitamīna līmeņa barības devās, kā arī no karotīna avota un citiem faktoriem. Liela nozīme karotīnu bioloģiskajā aktivitātē ir arī to ķīmiskajai struktūrai. Ievērojami aktīvāki ir trans- nekā cis-izomēri (ģeometriskie izomēri) (Beķers, Jākobsons u.c., 1973). Neapstrādātos augu produktos karotinoīdiem parasti sastopama visu dubultsaišu trans-konfigurācija. Pārstrādes un uzglabāšanas laikā var notikt saišu izomerizācija un, veidojoties cis- konfigurācijas saitēm, produkti pakāpeniski var zaudēt krāsu (Wilska-Jeszka, 1997).

Tiek uzskatīts, ka ganību zālē karotinoīdu saturs ir pietiekams, lai nodrošinātu govīs ar tik ļoti nepieciešamajiem bioloģiski aktīvajiem savienojumiem; diemžēl kūstures periodam sagatavotajos barības līdzekļos to saturs nav pietiekams. Bieži vien, sastādot barības devas slaucamajām govīm, karotīnu saturs barībā vispār netiek izvērtēts. Tādēļ mūsu pētījumu mērķis bija izvērtēt slaucamo govju ēdināšanā biežāk izmantoto barības līdzekļu kopējo karotīnu saturu un to ietekmi uz piena sastāvu.

Materiāli un metodes

Lopbarības un piena analīzes tika veiktas LLU Biotehnoloģijas un veterinārmedicīnas zinātniskā institūta „Sigra” Bioķīmijas un mikrobioloģijas zinātniskajā laboratorijā no 2009. gada līdz 2010. gadam. Analizēti slaucamām govīm sagatavotie barības līdzekļi no sešām Latvijas saimniecībām Siguldas, Smiltenes un Ogres novados.

Kopumā kūstures perioda beigās (februārī–aprīlī) analizēti 37 skābbarības, 13 skābsiena, 6 siena, 3 rapšu raušu un 5 burkānu paraugi, un ganību periodā – 11 ganību zāles, 9 sarkanā āboliņa (*Trifolium pratense*) un 8 stiebrzāļu maisījuma paraugi (jūnijā–septembrī). Stiebrzāļu maisījuma aptuvenais sastāvs: 35% timotiņa (*Phleum pratense*), 35% ganību airenes (*Lolium perenne tetraploid*) un 30% pļavu airenes (*Festuca pratensis*). Lai izvērtētu kopējo karotīnu satura izmaiņas ganību zālē visā ganību perioda laikā, tika ievākti pa vienam paraugam sarkanā āboliņa, stiebrzāļu maisījuma un dabīgo ganību zāles 8., 12., 15., 18., 25. un 29. jūnijā, 8. jūlijā, 31. augustā un 7. septembrī. Barībā noteikts sausas, proteīna, koptauku un kopējo karotīnu saturs.

Lai izvērtētu ar barību uzņemto karotinoīdu daudzuma ietekmi uz piena antioksidantu sastāvu, kūstures periodā tika analizēti 8 un ganību periodā

1. tabula / Table 1

Literatūrā aprakstīto pētījumu apskats par ēdināšanas ietekmi uz piena antioksidantu saturu
Rewiev of the investigations about feed influence on the content of antioxidants in milk

Izēdinātā barība / Feeding	Antioksidantu saturs barībā / Content of antioxidants in feed		Antioksidantu saturs pienā / Content of antioxidants in milk			Pētījums / Source
	β-karotīns, mg kg ⁻¹ sausnas / β-carotene, mg kg ⁻¹ dry matter	α-tokoferols, mg kg ⁻¹ sausnas / α-tocopherol, mg kg ⁻¹ dry matter	β-karotīns / β-carotene, μg L ⁻¹	α-tokoferols / α-tocopherol, μg L ⁻¹	Luteīns / Lutein, μg L ⁻¹	
Zāles-āboliņa skābbarība / Grass-clover silage	13.1±0.1	11.1±2.3	440±23	472±33	–	Havemose, Weisbjerg et al., 2006
Siens / Hay	41.6–20.8	13.8±0.1	445–246	504±48	–	
Zāles skābbarība / Grass silage	–	–	697±76	854±31	19±1	Havemose, Weisbjerg et al., 2004
Kukurūzas skābbarība / Corn silage	–	–	223±25	375±12	3±1	
Kūstures periodā / Indoor period	–	–	156 (3.9)	–	–	Toledo, Andren, 2003
Ganību periodā / Outdoor period	–	–	232 (5.8)	–	–	
Zāles skābbarība / Grass silage	31	–	133 (3.64)	–	–	Noziere, Grolier et al., 2006
Siens / Hay	11	–	62 (1.7)	–	–	
Kūstures periodā / Indoor period	–	–	(5.5–6.3)	(23.1–23.9)	(0.4–0.5)	Butler, Nielsen et al., 2008
Ganību periodā / Outdoor period	–	–	(6.0–9.3)	(21.4–32)	(0.5–1.1)	
Ganību zāle jūnijā–augustā / Pasture grass, June–August	22.6–79.3	–	154–191	–	0.5–0.7	Calderon, Tornambe et al., 2006
Kukurūzas skābbarība, blakusprodukti, koncentrātu maisījums konvencionālajās saimniecībās / Corn silage, byproducts, concentrate mixture in farms of conventional production system			(3.7±0.2)	(20.3±0.4)		Slots, Butler et al., 2009
Ganību zāle, graudaugi, zāles skābbarība bioloģiskajās saimniecībās / Pasture grass, cereals, grass silage in farms of organic production system			(4.3±0.3)	(21.0±0.5)		
Ganību zāle ekstensīvajās saimniecībās / Pasture grass in farms of extensive production system			(9.3±0.5)	(32.0±0.8)		

Piezīme. Lielums iekavās norādīts μg g⁻¹ tauku. / Note. The amount in brackets is expressed in μg g⁻¹ of fat.

4 koppiena paraugi. Koppiena paraugi ņemti divās saimniecībās, kur katrā no tām tika turēts ap simts slaucamo govju. Kūstures periodā vienā saimniecībā no karotinoīdus saturošiem barības līdzekļiem tika izēdināta skābbarība un siens, bet otrā – skābbarība, burkāni un lopbarības saknes. Ganību periodā vienā no saimniecībām govīs atradās ganībās, bet otrā tās tika turētas kūtī un tām izēdināja pievesto barību.

Pienā tika noteikts proteīna, tauku, β -karotīna, A vitamīna un E vitamīna saturs.

Analīžu metodes lopbarības paraugiem

Sausnas saturu paraugos noteica, žāvējot tos 60 °C 18 stundas, lai nerastos kopējo karotīnu satura zudumi;

Proteīna satura aprēķināšanai lopbarības paraugos ar Kjeldāla metodi noteica slāpekļa saturu, ko reizināja ar koeficientu 6.25 saskaņā ar LVS EN ISO 5983-1-2005 metodi;

Kopējo tauku saturu noteica ar Soksleta metodi ISO 6492:1999(E);

Kopējo karotīnu saturu noteica, tos ekstrahējot no 3 g parauga ar 50 mL petrolētera un fotometrējot uz FEK-56 M pie viļņa garuma 450 nm saskaņā ar ГОСТ 13496.17-95 metodi.

Analīžu metodes piena paraugiem

Piena tauku un olbaltumvielu saturu noteica ar infrasarkanā staru spektrometrijas metodi ISO 9622-1999, izmantojot iekārtu Milcoscan.

Vitamīna A, vitamīna E un β -karotīna satura noteikšanai veica lipīdu ekstrakciju: 10 mililitriem piena pievienoja 10 mL izopropanola un 5 mL heksāna/toluola maisījuma (10/8), centrifugēja 5 min ar 2800 apgr. min⁻¹ 4 °C temperatūrā. Augšējo lipīdu slāni pārnesa mēģenē un atlikušajam paraugam pievienoja 3 mL heksāna/toluola maisījuma; centrifugēja un atdalīja augšējo slāni un atlikušajam paraugam vēlreiz pievienoja 3 mL heksāna/toluola maisījuma. Mēģenē savāko ekstraktu ietvaicēja ar slāpekli 40 °C temperatūrā. Mēģenei ar sauso atlikumu pievienoja 5 mL butilētā hidroksitoluola

2. tabula / Table 2

Kopējo karotīnu saturs barības līdzekļos
The content of total carotenes in feedstuffs

Barības līdzekļi / Forage	n	Kopējo karotīnu saturs, mg kg ⁻¹ sausnas / Content of total carotenes, mg kg ⁻¹ dry matter				Tauku saturs / Fat content, %	Proteīna saturs / Protein content, %
		vidējā vērtība / average	standart- novirze / STD	minimālā vērtība / minimum	maksimālā vērtība / maximum		
	64	Kūstures periods / Indoor period					
Skābbarība / Silage	37	87.64	55.47	7.54	163.57	5.39	11.03
Skābsiens / Haylage	13	7.57	7.13	0.42	12.84	3.74	12.00
Siens / Hay	6	1.78*	1.82	0.01	3.60	1.87	6.58
Rapšu rauši / Rapeseed cake	3	2.96	3.36	0.01	6.62	13.26	31.68
Burkāni / Carrots	5	138.95	83.04	13.35	221.75	0.24	0.87
	28	Ganību periods / Outdoor period					
Ganību zāle / Pasture grass	11	24.06	15.58	10.28	46.34	3.12	12.79
Sarkanais āboliņš / Red clover	9	47.13	30.23	10.05	88.21	3.56	17.82
Stiebrzāļu maisījums / Stem-grass mixture	8	25.17	11.59	11.44	39.36	2.76	9.20

Piezīme. Kopējo karotīnu saturs četros no sešiem analizētajiem paraugiem bija zemāks par noteikšanas robežu – 0.01. /
Note. In four of six samples the content of total carotenes was lower than detection limit – 0.01.

metanolā (2 g L^{-1}) un $5 \text{ mL } 2 \text{ M}$ kālija hidroksīda šķīduma metanolā (Graneli, Helmerson, 1996); ekstraktu ietvaicēja 40°C temperatūrā ar slāpekli. Sauso atlikumu izšķīdināja 2 mL metanola, filtrēja un analizēja ar augstas efektivitātes šķidrums hromatogrāfu (Waters) ar fotodiožu detektoru (Waters), lietojot apgrieztās fāzes kolonnu RP C18 ($150 \times 4.6 \text{ mm}$). Vitamīna A saturu noteica pie viļņa garuma 325 nm , vitamīna E saturu – pie viļņa garuma 292 nm , un β -karotīna saturu – pie viļņa garuma 475 nm .

Datu statistiskā apstrāde tika veikta ar datu apstrādes programmu SPSS 11.0.

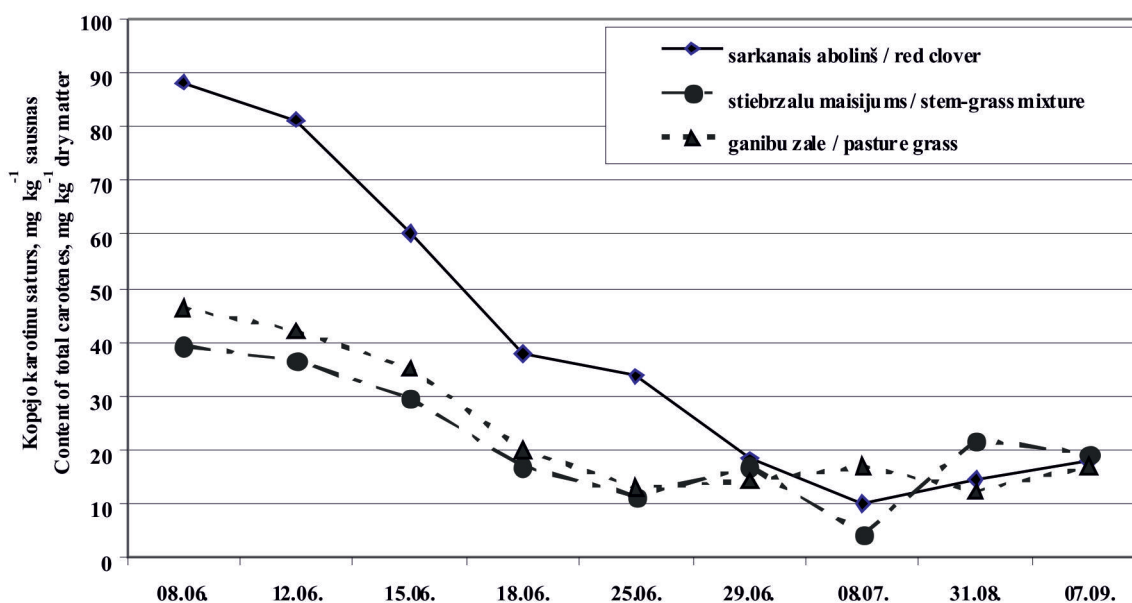
Rezultāti un diskusija

Mūsu pētījumā analizēto skābbarības, skābsiena, siena, kā arī ganību zāles, āboliņa, stiebrzāļu maisījuma, rapšu raušu un burkānu kopējo karotīnu, proteīna un tauku saturs atspoguļots 2. tabulā. Barības līdzekļu pilnīgākai raksturošanai norādītas arī noteiktā kopējo karotīnu satura minimālās un maksimālās vērtības. No 2. tabulas var secināt, ka kūstures perioda beigās kopējo karotīnu saturs skābbarībā svārstījies no 7.54 līdz $163.67 \text{ mg kg}^{-1}$ sausas. Līdzīgi rezultāti iegūti arī ārzemju zinātnieku pētījumos: β -karotīns āboliņa skābbarībā veidojis $30\text{--}150 \text{ mg kg}^{-1}$ sausas (Jensen, 2003), bet ganību airesnes – 31 mg kg^{-1} sausas (Noziere, Grolier et al., 2006). Saskaņā ar Viljamsa pētījumiem par literatūras datiem skābbarībā β -karotīns vidēji veido 81 mg kg^{-1} sausas (Williams, Ballet, Robert, 1998).

Mūsu pētījumu rezultāti liecina, ka ievērojami mazāk kopējo karotīnu satur skābsiens ($0.42\text{--}12.84 \text{ mg kg}^{-1}$ sausas), kā arī siens, kur četros no sešiem martā analizētajiem paraugiem kopējo karotīnu saturs bija mazāks par 0.01 mg kg^{-1} sausas. Jāsecina, ka kūstures perioda beigās martā un aprīlī, izēdinot tikai skābbarību un sienu, slaucamām govīm nevar nodrošināt pietiekamu kopējo karotīnu daudzumu barībā. Arī rapšu rauši satur salīdzinoši maz kopējo karotīnu – vidēji 2.96 mg kg^{-1} sausas. Pētījuma rezultāti ļauj secināt, ka burkānos karotīnu saturs arī martā vēl ir salīdzinoši augsts – vidēji $138.95 \text{ mg kg}^{-1}$ sausas, vienīgi jāņem vērā, ka β -karotīns veido aptuveni 60% no kopējo karotīnu satura burkānos (Osītis, 2005).

Ganību zāles paraugos kopējo karotīnu saturs vidēji bija 24.06 mg kg^{-1} sausas. Sezonas laikā tas mainījās no 46.34 mg kg^{-1} jūnija sākumā līdz 12.42 mg kg^{-1} augustā un bija salīdzinoši zems (1. att.). Karotīna saturs augos, kuri tiek izmantoti skābbarības sagatavošanai, var sasniegt pat $200\text{--}800 \text{ mg kg}^{-1}$ sausas (Osītis, 2005). Savukārt saskaņā ar Calderon un līdzautoru (Calderon, Tornambe et al., 2006) pētījumiem Alpu ganību zālēs β -karotīna saturs no jūnija līdz oktobrim ir svārstījies $22.6\text{--}79.3 \text{ mg kg}^{-1}$ robežās. Šie rezultāti ir līdzīgi mūsu pētījumā iegūtajiem un varētu būt izskaidrojami ar to, ka zāles paraugi ņemti dabīgās ganībās.

Kopējo karotīnu satura izmaiņas ganību zāles, āboliņa un stiebrzāļu maisījuma paraugos sezonas



1. att. Kopējo karotīnu satura izmaiņas zāles lopbarībā 2009. gada ganību periodā.

Fig. 1. Changes in the content of total carotenes in grass forage in the 2009 outdoor period.

laikā parādītas 1. attēlā. Var secināt, ka āboliņa paraugos karotīna saturs jūnija sākumā bija aptuveni divas reizes lielāks nekā stiebrzāļu maisījuma paraugos, bet jūlijā šo bioloģiski aktīvo savienojumu saturs būtiski neatšķīrās. Mūsu pētījuma rezultāti liecina, ka visaugstākais kopējo karotīnu saturs augos bija jūnija sākumā, bet pēc tam pakāpeniski samazinājās. Literatūras dati liecina, ka sarkanais āboliņš satur par 25% vairāk karotīna nekā kamolzāle vai ganību airene (Chauveau-Duriot, Thomas et al., 2005).

Attiecībā uz karotinoīdu saturu augos sezonas laikā literatūras dati ir pretrunīgi, jo to būtiski ietekmē augu veģetācijas fāze un ar to saistītās zaļmasas biokīmiskā sastāva izmaiņas, kā arī laika apstākļi un augsne. Tā, piemēram, augsnes ielabošana ar slāpekļa mēslojumu palielina kā proteīna, tā arī kopējo karotīnu saturu zaļajos augos. Iespējams, proteīni sekmē karotinoīdu sintēzes procesu (Park, Anderson et al., 1983). Literatūrā minēts, ka starp kopējo karotinoīdu un proteīna saturu zāles paraugos pastāv cieša korelācija ($r=0.71$), bet starp kopējo karotinoīdu un kokšķiedru saturu – cieša negatīva korelācija ($r=-0.73$) (Calderon, Tornambe et al., 2006).

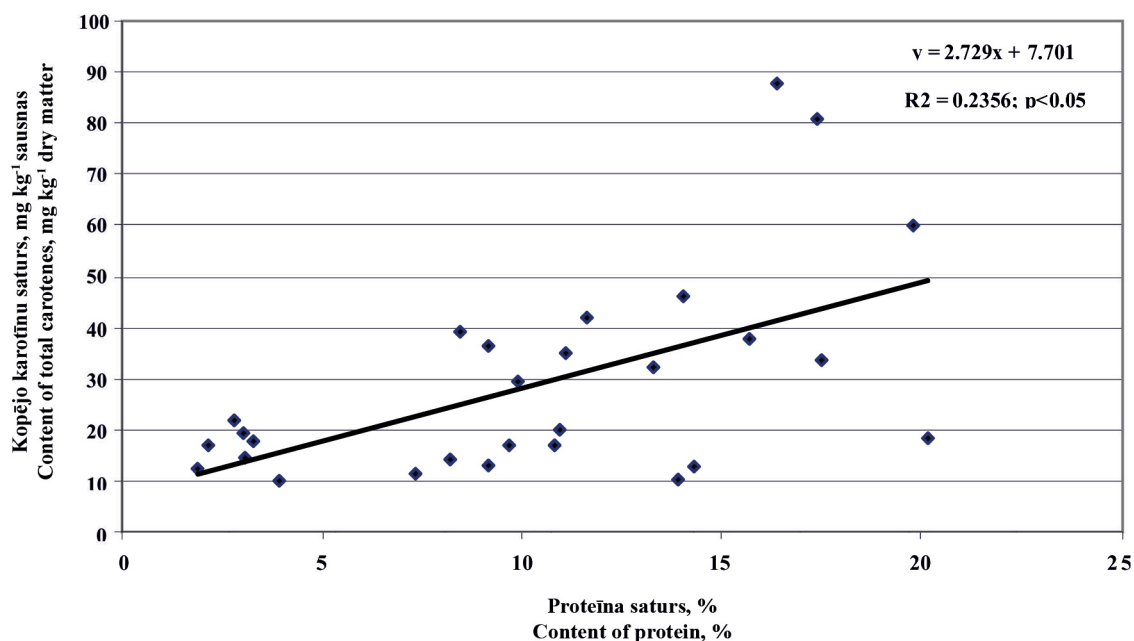
Sakarība starp kopproteīna un kopējo karotīnu saturu Latvijas ganību zāles paraugos parādīta 2. attēlā. Analīžu rezultāti liecina par vidēji ciešu ($r=0.49$, $p<0.05$) kopējo karotīnu satura korelāciju ar proteīna saturu paraugos. Analizējot datus par skābbarības paraugu sastāvu, tika secināts, ka

kopējo karotīnu satura atšķirības nav saistāmas ne ar tauku, ne proteīna saturu paraugos. Tas varētu būt skaidrojams ar atšķirīgām skābbarības sagatavošanas tehnoloģijām un atšķirīgu vides pH, kas lielā mērā ietekmē šo bioloģiski aktīvo savienojumu zudumus uzglabāšanas laikā.

No augiem absorbētie karotinoīdi sarežģītu biokīmisku procesu rezultātā nonāk asins plazmā, pēc tam uzkrājas aknās un rezerves taukaudos, no kurienes β -karotīns var tikt iesaistīts pašas govju veselības nodrošināšanas procesos vai piena sintēzē gadījumā, ja tā saturs barībā kādu laiku ir nepietiekams (Noziere, Graulet et al., 2006). Tomēr β -karotīna pārneses procesi no barības pienā vēl nav pilnībā izpētīti (Slots, Butler et al., 2009). Neskatoties uz lielo ksantofīlu un karotīnu dažādību lopbarībā, liellopu asinīs un pienā noteikti tikai β -karotīns, α -karotīns un luteīns (Noziere, Grolier et al., 2006).

Pasaulē veiktie pētījumi apliecina, ka, ēdinot govīs ar barību, kas bagātāka ar karotinoīdiem, to saturs parasti palielinās arī pienā, kaut gan šīs pārejas intensitāte lielā mērā ir atkarīga arī no dzīvnieku šķirnes, barības tauku satura un veida un vairākiem citiem faktoriem (Havemose, Weisbjerg et al., 2006; Noziere, Graulet et al., 2006). To apstiprina arī mūsu veikto pētījumu rezultāti.

Kūstures periodā analizētajos piena paraugos noteiktā β -karotīna, A un E vitamīna saturs atspoguļots 3. tabulā. Rezultāti liecina, ka, izēdinot skābbarību un sienu (kopējo karotīnu daudzums dienā –



2. att. Sakarība starp proteīna un kopējo karotīnu saturu ganību zāles paraugos.
Fig. 2. The coherence between protein and total carotene content in the samples of pasture grass.

3. tabula / Table 3

Antioksidantu saturs govs pienā atkarībā no kopējo karotīnu satura barībā kūstures periodā
The content of antioxidants in cow's milk depending on total carotenes content in feed in the indoor period

Barības līdzekļi / Forage	Kopējo karotīnu saturs barībā, mg govij dienā / Content of total carotenes in feed, mg per cow per day	Antioksidantu saturs pienā / Content of antioxidants in milk		
		β-karotīns / β-carotene, μg L ⁻¹	A vitamīns / Vitamin A, μg L ⁻¹	E vitamīns / Vitamin E, μg L ⁻¹
Skābbarība, burkāni, lopbarības saknes / Silage, carrots, forage roots	830±16	131±6 (3.74)	44±4 (1.26)	48±6 (1.03)
Skābbarība, siens / Silage, hay	220±10	40±5 (1.2)	37±5 (1.1)	35±2 (0.87)

Piezīme. Lielums iekavās norādīts μg g⁻¹ tauku. / Note. The amount in brackets is expressed in μg g⁻¹ of fat.

220±10 mg) un nenodrošinot optimālu kopējo karotīnu saturu barībā, β-karotīna saturs pienā bija tikai 40±5 μg L⁻¹, A vitamīna saturs – 37±5 μg L⁻¹, bet E vitamīna saturs – 35±2 μg L⁻¹. Papildinot barības devu ar lopbarības saknēm un burkāniem un tādējādi nodrošinot 830±14 mg kopējo karotīnu govij dienā, β-karotīna saturs pienā sasniedza 131±6 μg L⁻¹, savukārt A vitamīna saturs bija tikai nedaudz augstāks – 44±4 μg L⁻¹, un E vitamīna saturs – 48±6 μg L⁻¹. Noziere ar līdzautoriem (Noziere, Grolier et al., 2006) secinājuši, ka, izēdinot slaucamām govīm sienu (β-karotīna daudzums dienā – 116.6 mg), pienā noteiktais β-karotīna saturs ir 62 μg L⁻¹ un A vitamīna saturs – 141 μg L⁻¹. Iespējams, ka šie rādītāji ir augstāki tādēļ, ka šajā pētījumā govīm papildus tika izēdināta arī minerālvielu piedeva, kas varēja veicināt uzņemto bioloģiski aktīvo vielu izmantošanos organismā, lai tiktu nodrošināta dzīvnieku vajadzība pēc vitamīniem A, D₃ un E.

Ganību periodā veiktā pētījuma rezultāti liecina, ka ganībās esošo govju piena paraugos β-karotīns vidēji ir 58.2±5 μg L⁻¹, bet kūtī turēto govju piena paraugos – tikai 26.6±2 μg L⁻¹. Ganībās esošo govju piena paraugos ievērojami vairāk ir arī E vitamīns – vidēji 254±7 μg L⁻¹ piena (kūtī turēto govju piena paraugos – vidēji 16.8±2 μg L⁻¹). Kopumā jāatzīmē, ka barības sastāvā esošie ļoti dažādie karotinoīdi katrs savā veidā uzlabo govs veselību un vielmaiņu, un tie tiek iesaistīti sarežģītos bioķīmiskos procesos, kā rezultātā palielinās gan β-karotīna, gan arī A vitamīna saturs pienā. Tādēļ, runājot par piena sastāvu, būtu jāvērtē šo komponentu summa.

Secinājumi

1. Skābbarības paraugos noteiktais kopējo karotīnu saturs bija 7.54 līdz 163.57 mg kg⁻¹ sausas, bet siena paraugos – 0.01 līdz 3.60 mg kg⁻¹ sausas, tāpēc optimālai slaucamo govju nodrošināšanai ar β-karotīnu jāmeklē iespējas, kā ar to papildināt barību.
2. Jūnija sākumā sarkanā āboliņa paraugos kopējo karotīnu saturs bija 88.21 mg kg⁻¹ sausas, bet stiebrzāļu maisījuma paraugos – 39.36 mg kg⁻¹ sausas; savukārt jūlijā šo bioloģiski aktīvo savienojumu saturs būtiski ($p<0.05$) neatšķīrās.
3. Dabīgu ganību zāles paraugos tika konstatēta vidēji cieša korelācija ($r=0.49$, $p<0.05$) starp kopējo karotīnu saturu un proteīna saturu.
4. Kūstures periodā veiktā pētījuma rezultāti liecina, ka, izēdinot skābbarību un sienu un nenodrošinot optimālu kopējo karotīnu saturu barībā (kopējo karotīnu daudzums dienā – 220 mg), β-karotīna saturs pienā veidoja tikai 40 μg L⁻¹. Papildinot barības devu ar lopbarības saknēm un burkāniem un nodrošinot 830 mg kopējo karotīnu daudzuma govij dienā, β-karotīna saturs pienā sasniedza 131 μg L⁻¹.
5. Ganībās esošo govju piena paraugos tika konstatēts ievērojami vairāk E vitamīna (vidēji 254 μg L⁻¹) un β-karotīna (58.2 μg L⁻¹) nekā ganību periodā kūtī turēto govju piena paraugos (attiecīgi 168 μg L⁻¹ un 26.6 μg L⁻¹).

Literatūra

1. Beķers, M., Jākobsons, J., Krauze, I., Andersons, P. (1973) *Karotīns*. Rīga, Zinātne, 48 lpp.

2. Butler, G., Nielsen, J.H., Slots, T., Seal, C., Eyre, M.D., Sanderson, R., Leifert, C. (2008) Fatty acid and fat-soluble antioxidant concentrations in milk from high- and low-input conventional and organic systems: seasonal variation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(8), 1431–1441.
3. Calderon, F., Tornambe, G., Martin, B., Pradel, P., Chauveau-Duriot, B., Noziere, P. (2006) Effects of mountain grassland maturity stage and grazing management on carotenoids in sward and cow's milk. *Animal Research*, 55, 533–544.
4. Chauveau-Duriot, B., Thomas, D., Portelli, J., Doreau, M. (2005) Carotenoids content in forages: variation during conservation. *Renc. Rech. Ruminants*, 12, 117.
5. Chew, B.P., Hollen, L.L., Hillers, J.K., Herlugson, M.L. (1982) Relationship between vitamin A and beta-carotene in blood plasma and milk and mastitis in Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 65, 2111–2118.
6. Chow, C.K. (1991) Vitamins and related dietary antioxidants. In: *Trace Elements, Micronutrients, and Free Radicals*. Ed. I.E. Dreosti. Humana Press, Totowa, New Jersey, 129–147.
7. Granelli, K., Barrefors, P., Bjoerck, L., Appelqvist, L.-A. (1998) Further studies on lipid composition of bovine milk in relation to spontaneous oxidised flavour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(2), 161–171.
8. Granelli, K., Helmersson, S. (1996) Rapid high-performance liquid chromatographic method for determination of β -carotene in milk. *Journal of Chromatography A*, 723, 355–358.
9. Havemose, M.S., Weisbjerg, M.R., Bredie, W.L.P., Nielsen, J.H. (2004) Influence of feeding different types of roughage on the oxidative stability of milk. *International Dairy Journal*, 14, 563–570.
10. Havemose, M.S., Weisbjerg, M.R., Bredie, L.P., Poulsen, H.D., Nielsen, J.H. (2006) Oxidative stability of milk influenced by fatty acids, antioxidants and copper derived from feed. *Journal of Dairy Science*, 89, 1970–1980.
11. Jensen, S.K. (2003) Absorption og omsætning af vitaminer. *Kvægets ernæring og fysiologi. Report No. 53*. Eds. T. Hvelplund, P. Nørgaard. Danish Institute of Agricultural Research, Foulum, Denmark, 375–387.
12. Kumaresan, G., Murugan, B., Saravanakumar, K., Ramasamy, D., Selvaraj, P., Sivakumar, K. (2008) Carotene fortification of flavoured milk. *Indian Veterinary Journal*, 85, 904–905.
13. Noziere, P., Graulet, B., Lucas, A., Martin, B., Grolier, P., Doreau, M. (2006) Carotenoids for ruminants: from forages to dairy products. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 418–450.
14. Noziere, P., Grolier, P., Durand, D., Ferlay, A., Pradel, P., Martin, B. (2006) Variations in carotenoids, fat-soluble micronutrients, and color in cow's plasma and milk following changes in forage and feeding level. *Journal of Dairy Science*, 89, 2634–2648.
15. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh revised edition. (2001) Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Natural Resources, National Research Council: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=9825&page=R1 – Resurss apraksts 2011. gada 24. janvārī.
16. Oldham, E.R., Eberhart, R.J., Muller, L.D. (1991) Effects of supplemental vitamin A and β -carotene during the dry period and early lactation on udder health. *Journal of Dairy Science*, 74, 3775–3781.
17. Osītis, U. (2005) *Dzīvnieku ēdināšana kompleksā skatījumā*. LLU, Jelgava, 320 lpp.
18. Park, Y.M., Anderson, M.J., Walters, J.L., Mahoney, A.W. (1983) Effects of processing methods and agronomic variables on carotene contents in forages and predicting carotene in alfalfa hay with near-infrared-reflectance spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 66, 235–245.
19. Slots, T., Butler, G., Leifert, C., Kristensen, T., Skibsted, L.H., Nielsen, J.H. (2009) Potentials to differentiate milk composition by different feeding strategies. *Journal of Dairy Science*, 92, 2057–2066.
20. Toledo, P., Andren, A. (2003) Content of β -carotene in organic milk. *Food, Agriculture & Environment*, 1(2), 122–125.
21. Weiss, W.P. (2010) Antioxidant nutrients and milk quality: http://www.extension.org/pages/Antioxidant_Nutrients_and_Milk_Quality – Resurss apraksts 2011. gada 24. janvārī.
22. Weller, R.F., Marley, C.L., Moorby, J.M. (2007) Effects of organic and conventional feeding regimes and husbandry methods on

- the quality of milk and dairy products. In: *Handbook of organic food safety and quality*. Eds. J. Cooper, U. Niggli, C. Leifert. CRC Press, Cambridge, UK, 97–103.
23. Williams, P.E.V., Ballet, N., Robert, J.C. (1998) A review of the provision of vitamins for ruminants. *Proceedings of the Preconference Symposium of the Cornell Nutrition Conference* 1998. *Provision of Vitamins and Amino Acids for Ruminants*. Rhône Poulenc Animal Nutrition, Antony, France, 7–37.
24. Wilska-Jeszka, J. (1997) Food Colorants. In: *Chemical and Functional Properties of Food Components*. Ed. Z.E. Sikorski. Technomic publishing company, Lancaster, USA, 191–197.

Aromātveidojošo vielu dinamika Krievijas siera nogatavināšanā The Dynamics of Aroma Compounds during Krievijas Cheese Ripening

Alla Miķelsone, Inga Ciproviča
LLU Pārtikas tehnoloģijas katedra
Department of Food Technology, LLU
e-mail: Inga.Ciprovica@llu.lv

Abstract. Glycolysis, proteolysis and lipolysis occur during cheese ripening, liberating chemical compounds that impart cheese with characteristic flavour notes. It is generally accepted that there is no individual compound which defines cheese flavour completely, and the flavour sensation is the result of numerous compounds in the correct proportions. Manipulation with ripening conditions such as temperature and time changes rates of biochemical reaction of main cheese components and influences formation of product flavour due to changing of diversity, proportions and concentrations of aroma compounds. Hence the aim of the paper was to analyse diversity and concentrations of aroma compounds during Krievijas cheese ripening at the temperature of 6 °C and 12 °C. Aroma compounds were detected using solid phase GC/MS. The extraction of headspace volatiles was carried out using 75 µm CAR-PDMS fibre. Helwett-Packard G 1530A with a J&W Scientific DB-Wax column (30 m×0.25 mm×0.25 µm) coupled with massspectrometer Hewlett-Packard 5973 was used for aroma compound isolation and identification. In total, 26 aroma compounds were detected in commercial and experimental Krievijas cheeses. Analysing the concentrations of aroma compounds, differences were observed between the cheeses and between the samples ripened at 6 °C and 12 °C. This only points to differences in biochemical processes which are influenced also by the temperature and the qualitative and quantitative content of microflora. As a result, the sensory properties of analysed cheeses differed considerably.

Key words: aroma compounds, Krievijas cheese, ripening conditions.

Ievads

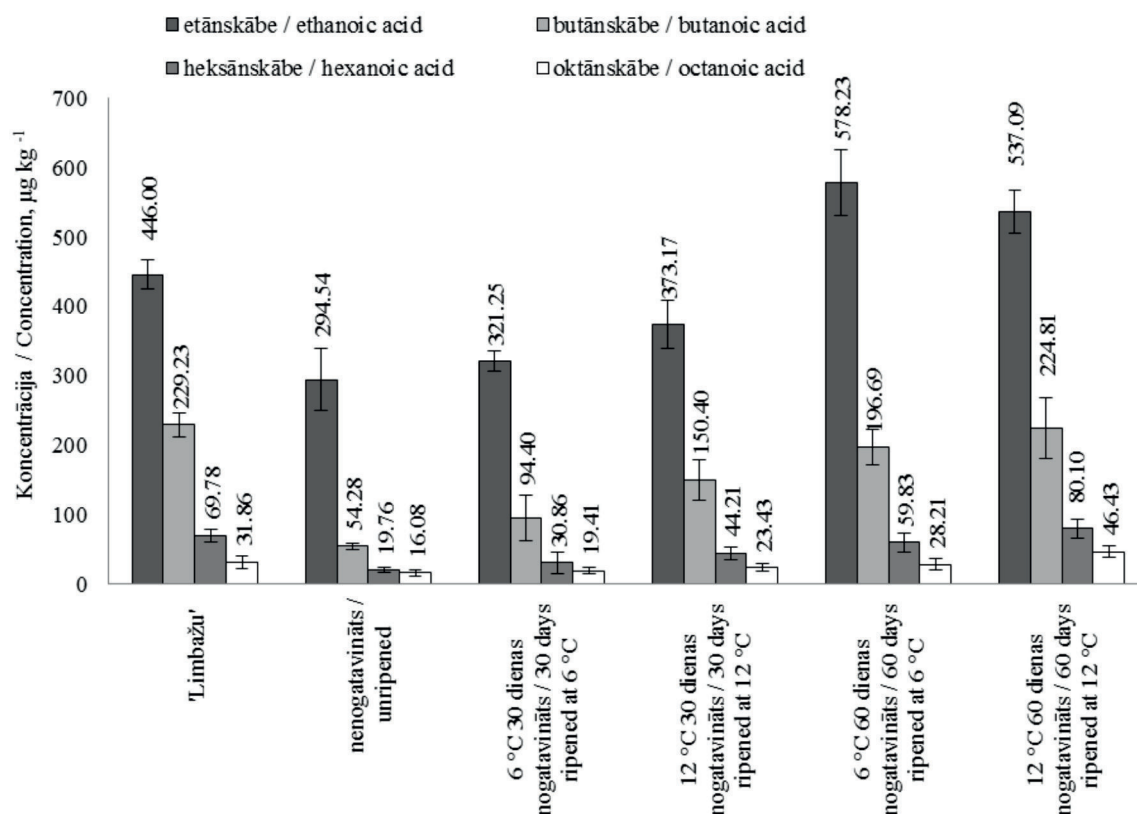
Olbaltumvielu, laktozes un tauku pārvērtību rezultātā veidojas vairāki simti dažādu ķīmisku vielu, kuras piedalās siera garšas un aromāta veidošanā. Šo vielu daudzveidība, koncentrācija un savstarpējā mijiedarbība nosaka siera sensorās īpašības un to intensitāti. Turklāt siera vides faktori, proti, pH, ūdens aktivitāte, sāls saturs un oksidēšanās–reducēšanās potenciāls, ietekmē bioķīmisko reakciju norises ātrumu siera nogatavināšanas laikā, t.sk. mikrofloras iniciētās izmaiņas. Mazākās novirzes no siera tehnoloģijā noteiktajiem parametriem, t.sk. nogatavināšanas temperatūra un ilgums, var novest pie garšas un smaržas nesabalansētības produktā, kā arī konsistences atšķirībām (Singh, Drake, Cadwallader, 2003). Siera sensoro īpašību veidošanās galvenokārt notiek nogatavināšanas laikā, līdz ar to bioķīmisko procesu ātrumu un aromātveidojošo vielu daudzveidību un koncentrāciju nosaka izvēlētie nogatavināšanas apstākļi, lietotā ierauga sastāvs un siera mikroflora.

Apkopojot iepriekšminēto, darba mērķis bija analizēt aromātveidojošo vielu daudzveidību un koncentrācijas, nogatavinot Krievijas sieru 6 °C un 12 °C temperatūrā.

Materiāli un metodes

Darbā analizēts Krievijas siers. Komerciālais Krievijas siers „Limbažu” iegādāts mazumtirdzniecībā. Savukārt eksperimentālā nenogatavinātā Krievijas siera paraugi saņemti no a/s „Rīgas piena kombināts” un pēc sālīšanas nogādāti LLU Pārtikas tehnoloģijas katedras Piena un gaļas produktu kvalitātes laboratorijā, kur tos tālāk sagatavoja nogatavināšanai – iepakoja termosaraukuma plēvē vakuumpakojumā.

Eksperimentālie paraugi 60 dienas tika nogatavināti 6 °C un 12 °C temperatūrā LLU Pārtikas tehnoloģijas katedras laboratorijās. Izvēlētais nogatavināšanas temperatūras pamatots ar Latvijas sieru ražošanas tradīcijām un pētniecisko rakstu atziņām (Fox, McSweeney et al., 2004)



1. att. Krievijas siera paraugos identificētās brīvās taukskābes un to koncentrācijas.

Fig. 1. Free fatty acids and their concentrations identified in Krievijas cheese samples.

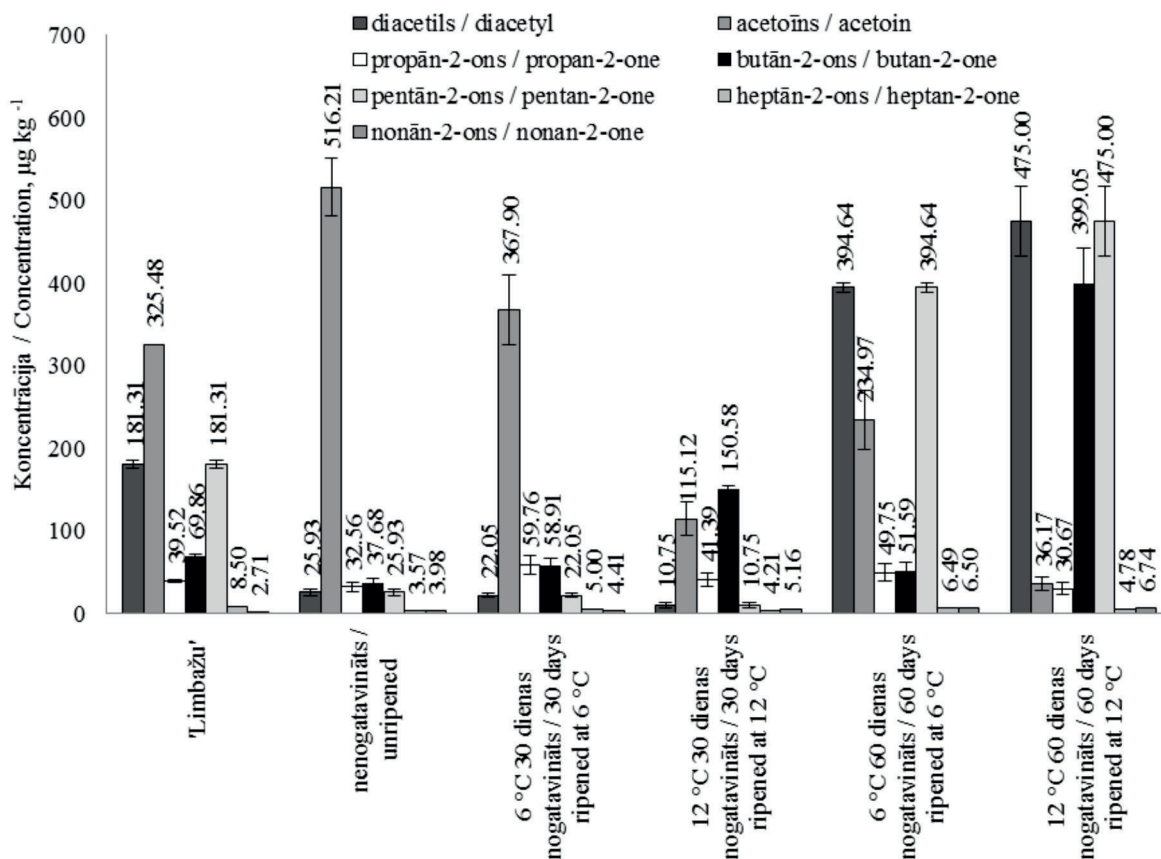
par mikrofloras mainību un tās ietekmi uz bioķīmisko procesu norises ātrumu (6 °C) un Krievijas siera ražošanas tehnoloģijā ieteiktajiem nogatavināšanas režīmiem (10–12 °C).

Komerčiālajam, nenogatavinātajam eksperimentālajam, kā arī 30 un 60 dienas nogatavinātajiem eksperimentālajiem siera paraugiem tika noteiktas aromātveidojošās vielas trijos atkārtojumos Kopenhāgenas universitātes Dabas zinātņu fakultātes Pārtikas zinātnes katedras laboratorijās ar gāzu hromatogrāfu Hewlett Packard 1530A tandēmā ar masspektrometru Hewlett-Packard 5973.

Analīzes gaita: stikla pudelītē ar tilpumu 15 mL ievēra četrus gramus siera, pievienoja 0.1 mL iekšējās standartvielas – 4-metilpentān-1-ola (50 µL L⁻¹) – un cieši noslēdza ar alumīnija vāciņu. Līdz analīzei paraugus turēja 5 °C temperatūrā automātiskā parauga ievadišanas sistēmā „Combi Pal autosampler” (CTC Analytics, Switzerland). Parauga kušana un līdzsvara sasniegšana tvaika fāzē 60 °C ilga 15 min, bet aromātveidojošo vielu ekstrakcija uz cietās fāzes mikroekstrakcijas 75 µm šķiedras ar CAR/PDMS pārklājumu (Sulpeco, Bellafonte,

PA) – 50 min. Tvaika fāzē esošo aromātveidojošo vielu izdalīšanai lietoja gāzu hromatogrāfu Hewlett-Packard 1530A (Palo Alto, CA), kas aprīkots ar kapilāro kolonnu „J&W Scientific DB-Wax column” (30 m×0.25 mm×0.25 µm). Krāsns temperatūru no 40 °C un parauga izturēšanu divas minūtes pakāpeniski palielināja līdz 160 °C ar kāpumu 6 °C min⁻¹ un no 160 °C līdz 210 °C ar kāpumu 10 °C min⁻¹. Detektora temperatūra bija 250 °C. Nesējgāzes (hēlija) plūsmas ātrums – 1 mL min⁻¹ bez plūsmas dalīšanas režīma. Izolēto aromātveidojošo vielu desorbciņa ilga divas minūtes 250 °C temperatūrā. Izdalītās aromātveidojošās vielas identificēja, lietojot masas selektīvo detektoru Hewlett-Packard 5973. Jonizāciju veica ar 70 eV enerģiju 250 °C temperatūrā. Vielas identificēja pēc vielas masas spektru līdzības ar masu spektru bibliotēkām, un aptuvenās aromātveidojošo vielu koncentrācijas noteica, dalot iekšējās standartvielas koncentrācijas un aromātveidojošās vielas smailes laukuma reizinājumu ar iekšējās standartvielas smaileslaukumu.

Lai noskaidrotu pastāvošās atšķirības starp komerciālā un eksperimentālā, dažādās temperatūrās



2. att. Krievijas siera paraugos identificētie ketoni un to koncentrācijas.
Fig. 2. Ketones and their concentrations identified in Krievijas cheese samples.

nogatavinātā Krievijas siera paraugiem, lietota dispersijas analīze. Datu apstrādei izmantota Microsoft Excel programma. Lai varētu salīdzināt iegūtos rezultātus, attēlos apkopoti tikai komerciālā un eksperimentālā nogatavinātā, 30 un 60 dienas nogatavinātā siera paraugu aromātveidojošo vielu koncentrāciju dati.

Rezultāti un diskusija

Siera aromāta veidošanā neaizstājamas ir gaistošās taukskābes. Tās rodas tauku metabolisma rezultātā. Gaistošās taukskābes var ietekmēt siera garšu un smaržu tieši vai netieši, tādējādi kalpojot par prekursoriem citu aromātveidojošo vielu radīšanā. Sieros konstatētās gaistošās taukskābes ir apkopotas 1. attēlā.

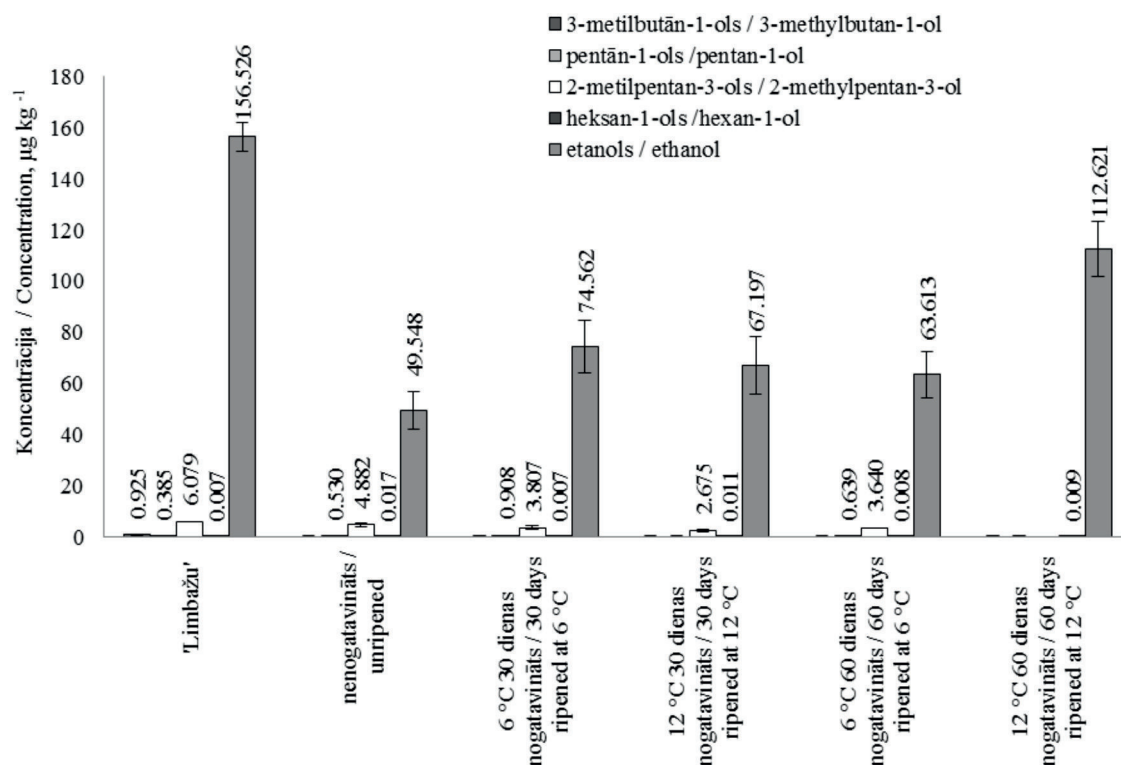
Paraugos noteiktas etānskābe, butānskābe, heksānskābe un oktānskābe. Tā kā oglekļa atomu skaits taukskābēs nepārsniedz 12, pamatojoties uz Acree un Arn (2004) datiem, jāatzīmē to loma siera sensoro īpašību veidošanā. Nogatavināšanas laikā tauku hidrolīzes ietekmē palielinās brīvo taukskābju koncentrācija, tādēļ 12 °C temperatūrā nogatavinātajos Krievijas siera paraugos tika konstatēts lielāks

butānskābes, heksānskābes un oktānskābes saturs nekā 6 °C temperatūrā nogatavinātajā sierā.

Salīdzinot komerciālajā un eksperimentālajā sierā noteiktās gaistošās taukskābes un to koncentrācijas, noskaidrots, ka butānskābes koncentrācijā nepastāvēja būtiskas atšķirības ($p > 0.05$). Atšķirības konstatētas tikai heksānskābes un oktānskābes saturā.

Bez taukskābēm sieros noteikti ketonu pārstāvji, to vidū – propān-2-ons, butān-2-ons, pentān-2-ons, diacetils, acetoīns, heptān-2-ons un nonān-2-ons (2. att.). Tie siera smaržu papildina ar ziedu un augļu notīm (Fox, McSweeney et al., 2004).

Lielākā daļa noteikto ketonu veidojas no β -ketoskābēm, un to uztveršanas sliekšnis ir no 0.01 līdz 10 mg kg⁻¹ (Tunick, 2007; Acree, Arn, 2004). Diacetiļa veidošanās laktozes un citrātu pārvērtībās notiek ierauga pienskābes baktēriju ietekmē. Diacetils ir viens no nozīmīgākajiem aromātveidojošiem savienojumiem Čederas sierā. Tas produkta garšu papildina ar riekstu un sviesta aromāta niansēm (Curioni, Bosset, 2002). Diacetils ir arī prekursors acetoīna veidošanā. Wilkinson un Kilcawley (2007) uzsver ierauga un netipisko pienskābes baktēriju spēju veidot diacetilu, acetoīnu



3. att. Krievijas siera paraugos identificētie spirti un to koncentrācijas.

Fig. 3. Alcohols and their concentrations identified in Krievijas cheese samples.

un butān-2-onu Goudas sierā citrātu pārvērtību rezultātā.

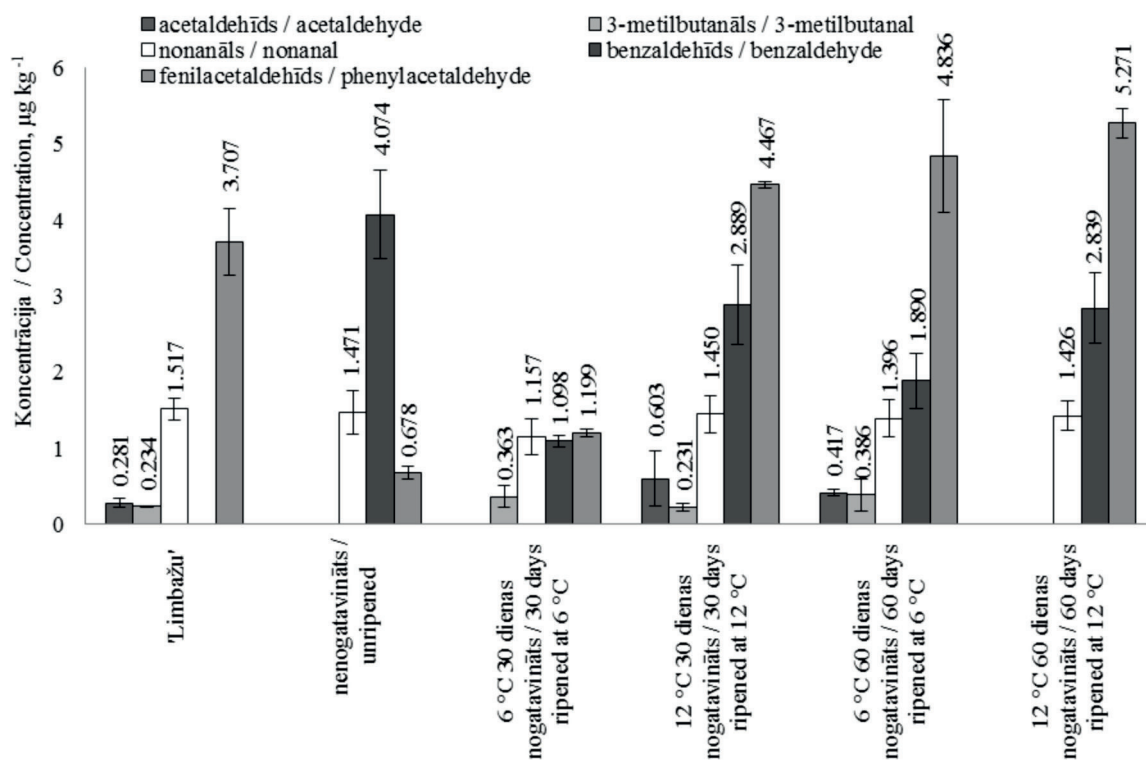
Heptān-2-ons un nonān-2-ons sieros var veidot augļu, ziedu vai pelējuma aromātu koncentrācijās no 0.01 līdz 10 mg kg⁻¹ (Curioni, Bosset, 2002). 12 °C temperatūrā nogatavinātajā Krievijas sierā konstatēta lielāka nonān-2-ona koncentrācija, bet 6 °C nogatavinātajā paraugā – lielāka heptān-2-ona koncentrācija. Analizētajos sieros noteiktās heptān-2-ona (4.70 līdz 8.49 µg kg⁻¹) un nonān-2-ona (2.71 līdz 6.74 µg kg⁻¹) koncentrācijas bija ļoti mazas, līdz ar to iepriekšminētās sensorās īpašības sieriem nodrošināt nevar. Collins ar līdzautoriem (Collins, McSweeney, Wilkinson, 2004) konstatējuši pakāpenisku heptān-2-ona un nonān-2-ona koncentrācijas pieaugumu Čederas siera nogatavināšanā.

Mūsu pētījumā būtiskas atšķirības ($p < 0.05$) analizētajos sieros noteiktas arī diacetila un pentān-2-ona koncentrācijās. Acetoīna, propān-2-ona un butān-2-ona koncentrācijās netika konstatētas atšķirības starp komerciālo sieru un 6 °C temperatūrā nogatavināto paraugu. Tas nozīmē, ka komerciālā siera nogatavināšana netika praktizēta 60 dienas vai arī nogatavināšana veikta temperatūrās, kas zemākas par 10–12 °C.

Paraugos tika noteikti arī dažādi spirti. Tie veidojas ogļhidrātu, olbaltumvielu un tauku pārvērtībās un piešķir sieram saldu, tauku, alkohola vai rūgtenu smaržu (Singh, Drake, Cadwallader, 2003; Fox, Guinee et al., 2000; Molimard, Spinnler, 1996).

Krievijas siera paraugos identificētie spirti parādīti 3. attēlā. 3-metilbutān-1-olu konstatēja tikai komerciālajā Krievijas sierā. Savukārt pentān-1-ola klātbūtne noteikta komerciālajā un 6 °C temperatūrā nogatavinātajā Krievijas sierā.

Etanols, kas tika konstatēts visos Krievijas siera paraugos, bieži vien uzskatāms par pamatspirtu produktā. Tā nozīme siera garšas un smaržas veidošanā ir ierobežota. Visbiežāk etanols kalpo par izejvielu tālākajās esterifikācijas reakcijās. Dispersijas analīze parādīja, ka starp Krievijas sieriem pastāv būtiskas atšķirības etanola koncentrācijās. Lielākais etanola saturs noteikts komerciālajā sierā. Eksperimentālajam sieram lielākā etanola koncentrācija konstatēta 12 °C temperatūrā nogatavinātajā paraugā. Savukārt butān-2-ols tika uztverts tikai 12 °C temperatūrā nogatavinātos Krievijas siera paraugos. Daži autori norāda uz netipisko pienskābes baktēriju spēju no acetoīna veidot butān-2-onu un butān-2-olu (Hannon, Kilcawley et al., 2006). Augsta noteiktā



4. att. Krievijas siera paraugos identificētie aldehīdi un to koncentrācijas.

Fig. 4. Aldehydes and their concentrations identified in Krievijas cheese samples.

butān-2-ola koncentrācija apliecina netipisku pienskābes baktēriju strauju vairošanos sieros, nogatavinot tos 12 °C temperatūrā (Miķelsone, Ciproviča, 2009).

Mūsu pētījumā sieros tika identificēti arī aldehīdi, to vidū – acetaldehīds, nonanāls, 3-metilbutanāls, benzaldehīds un fenilacetaldehīds (4. att.).

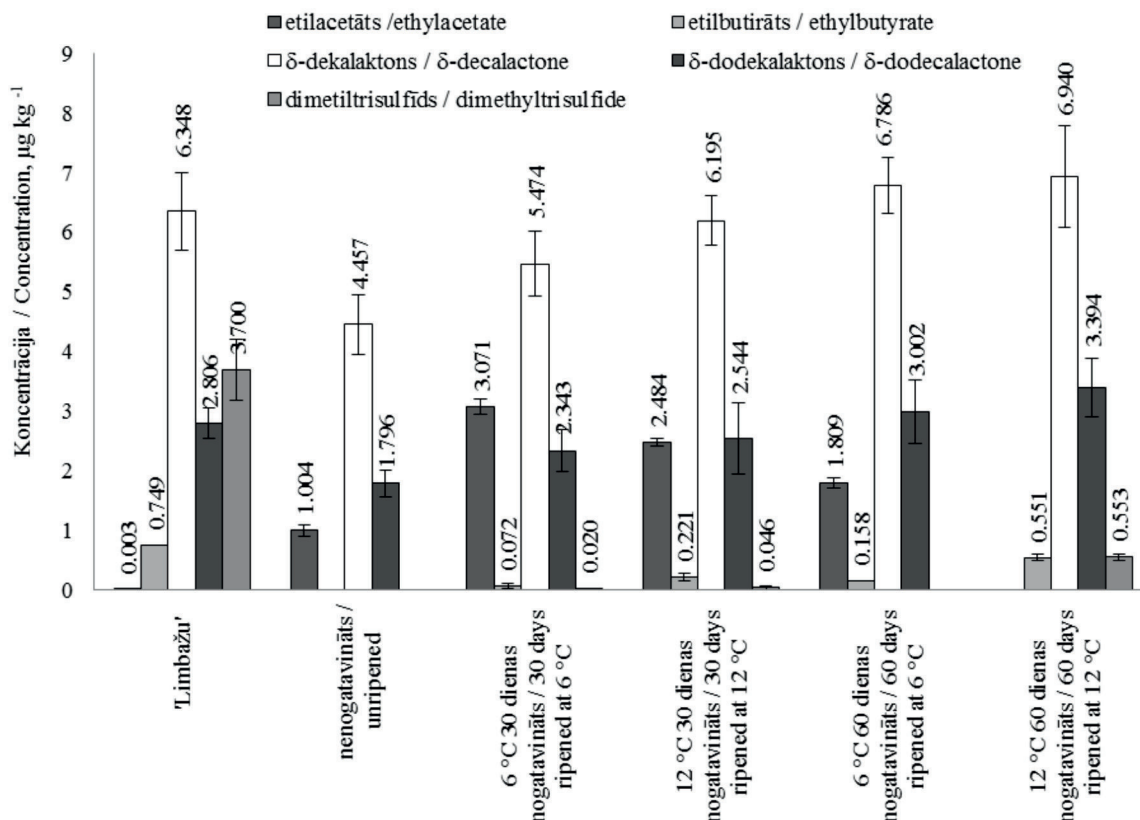
Saskaņā ar Qian un Burbank (2007) datiem aldehīdi veidojas taukskābju autooksidēšanās ceļā, bet daži sazarotās ķēdes aldehīdi – no aminoskābēm *Strecker* degradācijā. Saskaņā ar Acree un Arn (2004) pētījumiem aldehīdiem ir zems uztveršanas sliekšnis, tāpēc tie uzskatāmi par galvenajiem aromāta veidotājiem sierā.

Sieros konstatētais 3-metilbutanāls veidojas no leicīna, piedaloties *Lactococcus lactis* fermentiem (Christensen, Dudley et al., 1999; McSweeney, Sousa, 2000). Avsar, Karagul-Yuceer et al. (2004) ziņo, ka 3-metilbutanāls sieros asociējas ar riekstu smaržu. Mūsu pētījumā siera nogatavināšanas beigās 3-metilbutanāls netika konstatēts 12 °C temperatūrā nogatavinātā paraugā, bet starp komerciālā un 6 °C temperatūrā nogatavinātā eksperimentālā siera koncentrācijām būtiskas atšķirības nepastāvēja ($p > 0.05$).

Acetaldehīds ir uzskatāms par piruvāta metabolisma produktu sierā, un tas var veidoties arī no triptofāna *Lactococcus* spp. darbības rezultātā. Tālāk acetaldehīds var tikt reducēts līdz etanolam (Christensen, Dudley et al. 1999; Fox, Guinee et al., 2000). Vielas koncentrācija būtiski atšķirās komerciālajam un zemākā temperatūrā nogatavinātajam eksperimentālajam sieram, bet 12 °C nogatavinātajā sierā acetaldehīds konstatēts netika. Acetaldehīdam atkarībā no koncentrācijas piemīt saldo vai aso, bet nonanālam – zaļas zāles aromāts (Singh, Drake, Cadwallader, 2003; Fox, Guinee et al., 2000).

Nonanāls veidojas no nepiesātinātām taukskābēm β -oksidēšanās laikā. Tā koncentrācija eksperimentālo paraugu nogatavināšanas laikā praktiski nemainījās, kā arī netika konstatētas būtiskas atšķirības nonanāla koncentrācijā starp komerciālo un eksperimentālo sieru.

Benzaldehīdam un fenilacetaldehīdam sierā ir raksturīga mandeļu un rožu smarža. To veidošanā piedalās triptofāns un fenilalanīns (Christensen, Dudley et al., 1999). Fenilacetaldehīda koncentrācijas pieaugums bija vērojams abās temperatūrās nogatavinātajos sieros. Koncentrācija mainījās straujāk 12 °C temperatūrā nogatavinātajos Krievijas



5. att. Krievijas siera paraugos identificēto esteru, laktonu un sēru saturošās vielas un to koncentrācijas.

Fig. 5. Esters, lactons, sulphur compounds and their concentrations identified in Krievijas cheese samples.

siera paraugos. Tas norāda uz proteolīzes ātrumu, kas palielinās, pieaugot nogatavināšanas temperatūrai (Guinee, Wilkinson et al., 2001).

Krievijas siera identificētie esteri, laktoni un sēru saturošie savienojumi parādīti 5. attēlā.

Esteri, kuru veidošanā piedalās taukskābes un etanols, tika identificēti visos analizētajos Krievijas siera paraugos. Esteri sieram piešķir ziedu vai augļu garšu (Singh, Drake, Cadwallader, 2003; Molimard, Spinnler, 1996).

Lielākā etilacetāta koncentrācija tika noteikta siera nogatavināšanas vidū. Tālāku etilacetāta koncentrācijas samazinājumu līdz nogatavināšanas beigām var skaidrot ar tā izmantošanu citās reakcijās. Eksperimentālo siera nogatavināšanas beigās etilacetāts netika konstatēts. Savukārt komerciālajā Krievijas sierā etilacetāta koncentrācija bija 0.003 µg kg⁻¹.

Pretēji etilacetātam, etilbutirāta koncentrācija siera nogatavināšanas laikā pakāpeniski palielinājās. Straujāku pieaugumu novēroja augstākā temperatūrā nogatavinātā sierā, kas norāda uz izvēlētas temperatūras nozīmi bioķīmisko procesu regulēšanā.

Nogatavināšanas beigās nepastāvēja būtiskas atšķirības etilbutirāta koncentrācijā starp komerciālā un 12 °C temperatūrā nogatavinātā eksperimentālā Krievijas siera paraugiem.

Paraugos tika konstatēts arī dimetiltrisulfīds, kas veidojas metāniola oksidēšanas rezultātā (Bonnarme, Psoni, Spinnler, 2000; McSweeney, Sousa, 2000) un produktā asociējas ar ķiploku smaržu. Zemā uztveršanas sliekšņa dēļ dimetiltrisulfīds ietekmē siera garšu un smaržu veidošanos (Curioni, Bosset, 2002). Vislielākā dimetiltrisulfīda koncentrācija tika noteikta komerciālajā Krievijas sierā. 12 °C temperatūrā nogatavinātajos Krievijas siera paraugos tā palielinājās nogatavināšanas laikā, bet 6 °C nogatavinātajā sierā – samazinājās.

δ-dekalaktons un δ-dodekalaktons tika identificēti visos paraugos. Siera laktoni veidojas no hidroksiskābēm intramolekulārā esterifikācijā. Saskaņā ar Acree un Arn (2004) datiem δ-dekalaktons un δ-dodekalaktons ir uzskatāmi par svarīgākajiem laktoniem sierā. Pētnieki uzsver, ka to uztveršanas sliekšnis svārstās no

0.1 līdz 3 mg kg⁻¹. Produkta smaržas buķeti laktoni papildina ar augļu notīm.

Laktonu koncentrācija siera nogatavināšanas laikā pakāpeniski palielinājās: palielinoties nogatavināšanas dienu skaitam, paaugstinājās arī laktonu koncentrācija. Savukārt siera nogatavināšanas temperatūras ietekme uz laktonu koncentrācijas paaugstināšanos nebija būtiska. Nogatavināšanas beigās laktonu koncentrācijas analizētajos sieros bija līdzvērtīgas.

Analizējot aromātveidojošo vielu koncentrācijas komerciālajā un eksperimentālajā sierā, atšķirības bija vērojamas gan noteikto savienojumu koncentrācijā, gan to satura dinamikā dažādu nogatavināšanas temperatūru ietekmē. Tas tikai norāda uz bioķīmisko procesu norises atšķirībām, ko sekmē gan izvēlēta nogatavināšanas temperatūra, gan ilgums. Tā rezultātā radušies savienojumi ievērojami ietekmē siera sensoros rādītājus. Turklāt jāuzsver, ka radušos savienojumu koncentrācijā neatsverama loma ir mikrofloras daudzveidībai un kvantitatīvajiem rādītājiem, kas, tāpat kā aktualizētā nogatavināšanas temperatūra, ietekmē aromātveidojošo savienojumu pārstāvniecību un saturu tajos.

Secinājumi

1. Būtiskas atšķirības starp komerciālo un eksperimentālo sieru konstatētas brīvo taukskābju – heksānskābes un oktānskābes – saturā.
2. Atšķirības starp komerciālo un eksperimentālo sieru ketonu saturā norāda, ka mazumtirdzniecībā iegādātais produkts bija nogatavināts Krievijas sieram neatbilstošā temperatūrā vai nepietiekamu laiku.
3. Atšķirības aldehīdu, esteru un sēru saturošo savienojumu saturā konstatētas ne tikai starp komerciālo un eksperimentālo sieru, bet arī starp dažādās temperatūrās nogatavinātajiem Krievijas siera paraugiem.
4. Atšķirības noteikto aromātveidojošo vielu sastāvā un koncentrācijā skaidrojamas ar bioķīmisko procesu norises ātrumu ierauga un siera mikrofloras producēto fermentu ietekmē nogatavināšanas laikā dažādās temperatūrās. Atšķirības izpaudās siera garšas, smaržas un konsistences intensitātē un radīja atšķirīgu sensoro rādītāju buķeti Krievijas sierā.

Literatūra

1. Acree, T., Arn, H. (2004) Flavornet and human odor space: <http://www.flavornet.org>. – Resurss aprakstīts 2011. gada 10. janvārī.
2. Avsar, Y.K., Karagul-Yuceer, Y., Drake, M.A., Singh, T.K., Yoon, Y., Cadwallader, K.R. (2004) Characterization of Nutty Flavor in Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science*, 87, 1999–2010.
3. Bonnarne, P., Psoni, L., Spinnler, H.E. (2000) Diversity of L-methionine catabolism pathways in cheese-ripening bacteria. *Applied Environmental Microbiology*, 66, 5514–5517.
4. Christensen, J.E., Dudley, E.G., Pederson, J.A., Steele, J.L. (1999) Peptidases and amino acid catabolism in lactic acid bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 76, 217–246.
5. Collins, Y.F., McSweeney, P.L.H., Wilkinson, M.G. (2004) Lipolysis and catabolism of fatty acids in cheese. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 3rd ed. Eds P.F. Fox, P.L.H. McSweeney, T.M. Cogan, T.P. Guinee. Elsevier, Amsterdam, 373–389.
6. Curioni, P.M.G., Bosset, J.O. (2002) Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography–olfactometry. *International Dairy Journal*, 12, 959–984.
7. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2000) *Fundamentals of Cheese Science*. Gaithersburg, MD, Aspen, 587 pp.
8. Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M., Guinee, T.P. (2004) *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. 3rd ed. Academic Press, Amsterdam, 617 pp.
9. Guinee, T.P., Wilkinson, M.G., Mulholland, E.O., Fox, P.F. (2001) Influence of ripening temperature, added commercial enzyme preparations and attenuated mutant (Lac⁻) *Lactococcus lactis* starter on the proteolysis and maturation of Cheddar cheese. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 15, 27–52.
10. Hannon, J.A., Kilcawley, K.N., Wilkinson, M.G., Delahunty, C.M., Beresford, T.P. (2006) Production of ingredient-type cheddar cheese with accelerated flavor development by addition of enzyme-

- modified cheese powder. *Journal of Dairy Science*, Vol. 89, 3749–3762.
11. McSweeney, P.L.H., Sousa, M.J. (2000) Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: a review. *Lait*, 80, 293–324.
 12. Miķelsone, A., Ciproviča, I. (2009) Diversity of non-starter lactic acid bacteria in Latvian semi-hard cheeses. *Annual 15th International Scientific Conference Proceedings "Research for rural development 2009"*, 103–107.
 13. Molimard, P., Spinnler, H.E. (1996) Compounds involved in the flavor of surface mould-ripened cheeses: origins and properties. *Journal of Dairy Science*, 79, 69–184.
 14. Qian, M., Burbank, H.M. (2007) Hard Italian cheeses. *Improving the Flavour of Cheese*. Ed. B.C. Weimer. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 421–443.
 15. Singh, T., Drake, M.A., Cadwallader, K.R. (2003) Flavor of Cheddar cheese: a chemical and sensory perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 139–162.
 16. Tunick, M.H. (2007) Origins of cheese flavor. *Flavor of Dairy Products*. Eds K.R. Cadwallader, M.A. Drake, R.J. McGorin. American Chemical Society, Washington, 155–173.
 17. Wilkinson, M.G., Kilcawley, K.N. (2007) Carbohydrate metabolism and cheese flavour development. *Improving the Flavour of Cheeses*. Ed. B.C. Weimer. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 55–69.

The Effects of Some Premedication and General Anesthesia Drugs on Intraocular Pressure and Pupil Diameter in Dog's Eyes

Acs iekšējā spiediena un acs zīlītes diametra izmaiņas suņiem dažū premedikācijas un vispārējās anestēzijas līdzekļu ietekmē

Līga Kovaļčuka, Edīte Birģele

Preclinical Institute, LLU

LLU Preklīniskais institūts

e-mail: kovalcuka@gmail.com

Abstract. The objective of the study was to determine the effects of the premedication and general anesthesia combination on intraocular pressure (IOP) and horizontal pupil diameter (HPD) in dog's eyes. Ten dogs of different age and sex were used, and all animals were approved for a planned surgery – castration or ovariectomies. For premedication, the combination of 0.1% atropine sulphate and 1% acepromazine maleate solution was used intramuscularly, but for general anesthesia – 10% ketamine hydrochloride together with 0.5% diazepam solution was used intravenously. Ten clinically healthy dogs with a similar weight and age were used as a control. Instead of premedication and general anesthesia, 0.9% NaCl solution was injected. It was established that the combination of atropine sulphate and acepromazine maleate causes irregular changes in the intraocular pressure. A significant and rapid IOP increase was obtained in both eyes immediately after intravenous injection of general anesthesia – combination of ketamine hydrochloride and diazepam. Premedication induces small and fluctuating changes in the horizontal pupil diameter in both eyes, but ketamine hydrochloride together with diazepam significantly increased it. The premedication and general anesthetic drugs cause a significant increase in the intraocular pressure, therefore their administration in dogs should be considered in various eye pathologies.

Key words: premedication, general anesthesia, dog, intraocular pressure, horizontal pupil diameter.

Introduction

Atropine sulphate and acepromazine maleate as a premedication, and general anesthetics – ketamine hydrochloride together with diazepam – are commonly used in veterinary medicine.

To develop a model of general anesthesia for ophthalmic surgery, a constant cardio-pulmonary function and intraocular pressure (IOP) should be considered as important (Brunson, 1980; Collins, Gress et al., 1995).

Some drugs, including general anesthetics, may affect the intraocular pressure. In human medicine, general anesthetics and some premedication drugs decrease intraocular pressure and reduce the pupil diameter, causing miosis, with the exception of ketamine hydrochloride, which, on the contrary, increases the IOP and causes dilation of the pupil – mydriasis (Hahnenberger, 1976; Frischmeyer, Miller et al., 1993; Verbruggen, Akkerdaas, Hellebrekers, 2000; Vanags, Sondore, 2008).

Atropine sulphate is normally used in premedication in the combination with acepromazine maleate to minimize or prevent vagal effects that may induce bradycardia. Also these drugs reduce potential smooth muscle spasms, gastrointestinal motility and secretion, salivation and animal respiratory secretion, as well as decrease the tear production during anesthesia and in awake (Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996; Vanags, Sondore, 2008). Overall, the administration of atropine sulphate decreases intraocular pressure (Hahnenberger, 1976; Frischmeyer, Miller et al., 1993; Verbruggen, Akkerdaas, Hellebrekers, 2000), or it does not cause significant changes in intraocular pressure (Vanags, Sondore, 2008).

Atropine sulphate together with acepromazine maleate is widely used to calm the animal, to gain a faster sleep and muscle relaxation, and also to prevent vomiting and spontaneous movement of the animals during surgery (Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996). Acepromazine maleate blocks α -adrenoreceptors in

vascular walls, dilates blood vessels, and decreases arterial pressure (Muir, Werner, Hanalin, 1975; Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996).

Regarding the effects of acepromazine maleate on the intraocular pressure, studies in dogs have shown that acepromazine given intramuscularly in combination with morphine hydrochloride does not cause significant changes in IOP 10 or even 25 minutes after injection (Stephan, Vestre et al., 2003). However, the effects of the atropine sulphate and acepromazine maleate combination on the intraocular pressure in animals have not been studied.

In veterinary medicine, ketamine hydrochloride is usually used in combination with other anesthetic drugs and in mononarcosis as a strong analgetic agent (Wright, 1982; Haskins, Farver, Platz, 1985; Hartsfield, 1992; Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996). In Latvia, a combination of ketamine hydrochloride and diazepam is used for general anesthesia.

Ketamine hydrochloride in dogs induces increase in cerebral blood flow and intracranial and cerebrospinal fluid pressure as a result of cerebral vasodilatation, and elevated arterial blood pressure (Booth, 1982; Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996). Therefore increased IOP is mentioned as a possible side effect. In humans, a slight but significant increase in IOP occurs independently of the changes in blood pressure (Corssen, Hoy, 1967; Yoshikawa, Murai, 1971; Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996).

Concerning effects of ketamine hydrochloride on intraocular pressure, a significant IOP increase has been obtained in rabbits and cats (Hahnenberger, 1976; Antal, Musci, Faludi, 1978). In a similar study with dogs, a dose of 10 mg kg⁻¹ of ketamine hydrochloride in combination with acepromazine or xylazine has been administered, but increase in IOP was not obtained (Gelatt, Gwin et al., 1977). Some authors suggest that ketamine and xylazine injection causes increase in intraocular pressure in dogs, but in horses, conversely, results in decrease (Trim, Colbern, Martin, 1985; Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996).

Also diazepam is often used in general anesthesia for its sedative, tranquilizing, and muscle relaxant and anticonvulsant effects (Purviņš, 1994). Studies show that diazepam decreases systemic arterial pressure, cerebral blood flow and cerebral pressure that presumably decreases IOP (Vanags, Sondore, 2008). Another study with human subjects has shown that diazepam decreases IOP and is recommended to use in general anesthesia, especially in ophthalmological

cases such as perforated cornea, corneal ulcers, trauma or glaucoma (Cunningham, Albert et al., 1981).

As to the effects of diazepam, it has been found that diazepam used alone does not cause a decrease in IOP in dogs. At the same time, authors report that diazepam in combination with ketamine hydrochloride increases IOP in the first 5 minutes after intravenous injection (Hofmeister, Mosunic et al., 2006).

Despite the fact that some of premedication and general anesthesia drug pharmacokinetics and pharmacodynamics are rather well investigated, data on their effects on functional parameters of the eye, such as intraocular pressure and pupil diameter in animals and especially dogs, are few, incomplete and quite controversial.

Therefore our **aim** was to investigate the summary effect of premedication drugs atropine sulphate and acepromazine maleate and general anesthetic drugs ketamine hydrochloride and diazepam on dog's intraocular pressure and horizontal pupil diameter (HPD).

Materials and Methods

All animals were outpatients of the Preclinical and Clinical Institute of the Faculty of Veterinary Medicine of the Latvia University of Agriculture in 2008– 2009. This study was approved by the Committee for Animal Protection and Ethics of the Latvian State Food and Veterinary Service. In all cases, an informed consent was obtained from the pet owners for the study.

All animals included in the study were examined clinically and ophthalmologically. Ocular examination included slit lamp-biomicroscopy, direct ophthalmoscopy, and monocular indirect ophthalmoscopy with the Pan Optic® (Welch Allyn, USA). Prior to the study, all patients were determined to be free of ocular lesions which could alter IOP from normal.

A total of 20 mixed breed adult dogs of both sexes were used. To ascertain the effects of premedication and general anesthesia on the intraocular pressure and horizontal pupil diameter, ten dogs were used. All animals were approved for a planned surgery – castration or ovari hysterectomy. As a premedication, a combination of atropine sulphate (0.04 mg kg⁻¹) and acepromazine maleate (0.1 mg kg⁻¹) was used intramuscularly, but for general anesthesia – a combination of ketamine hydrochloride (5.5 mg kg⁻¹) and diazepam (0.25 mg kg⁻¹) was used intravenously. The dose of premedication and general anesthesia has been

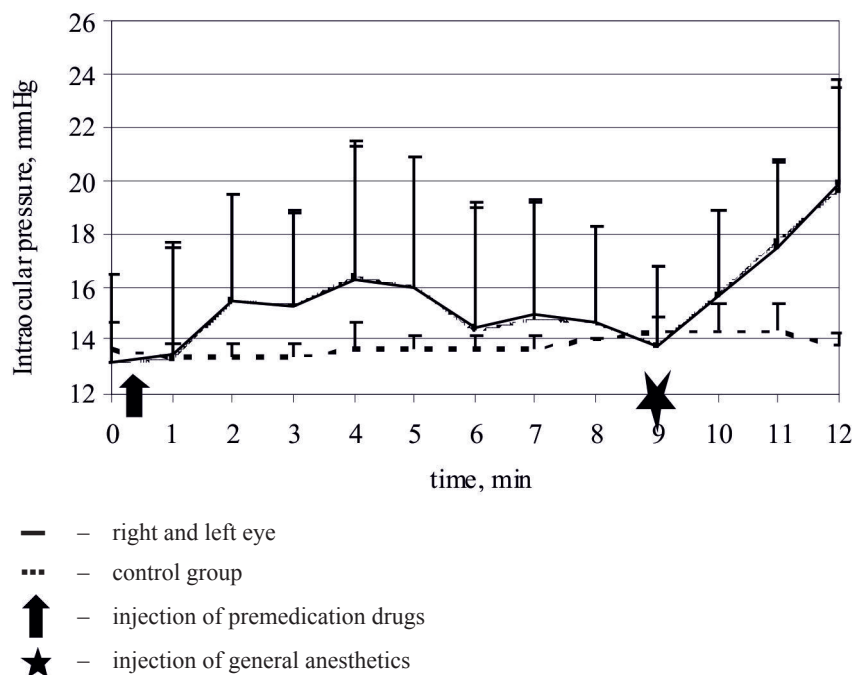


Fig. 1. The effects of premedication and general anesthesia on the intraocular pressure (IOP) in the dog's eyes (mean values $\pm$ SD).

recommended by researchers as suitable for dogs (Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996).

Ten clinically healthy dogs with a similar weight were used as a control. Instead of premedication and general anesthesia, a NaCl solution was injected (0.1 ml kg^{-1}).

All tonometric measurements were performed by the same person with the rapid and minimal stress inducing method of rebound tonometry with a tonometer (TonoVet®, Tiolat Ltd, Finland) using values that achieve less than 5% standard deviation. For this tonometer it is not necessary to use topical anesthesia. Some authors have noticed that the corneal endothelial and systemic toxicity could occur with a frequent use of topical anesthesia (Judge, Najafi et al., 1997; McGee, Fraunfelder, 2007).

Horizontal pupil diameter was measured with Jameson calipers (USA) under fixed daylight conditions at the same time of the day.

In all dogs, IOP and HPD measurements were taken before premedication, every minute after premedication till general anesthesia was injected, and three minutes after, avoiding any tension on the animal's neck (Pauli, Bentley et al., 2006).

To determine the effect of premedication drugs atropine sulphate and acepromazine maleate and of general anesthetics ketamine hydrochloride and diazepam, arithmetic mean values (X) and standard deviation (SD) of the IOP and HPD were calculated for each eye. Changes in IOP and HPD between the

right and left eye and between the pretreatment and treatment period in a time period were evaluated using a paired two-sample t-test, and p -values less than 0.05 were considered to be statistically significant (Arhipova, Bāliņa, 2006).

Results

Prior to premedication, the initial position of the animal's eye – intraocular pressure – was estimated. It was established that there was no difference in the IOP measurements between the right and left eye – $13.1 \pm 3.4 \text{ mmHg}$. The influence of premedication and general anesthesia is shown in Figure 1.

A significant IOP increase was obtained immediately after injection of premedication drugs. The IOP increased in both eyes for an average of $2.4 \pm 2.4 \text{ mmHg}$, reaching $15.5 \pm 4.4 \text{ mmHg}$ ($p < 0.01$). In the next two to four minutes after treatment, IOP was varying: at first the values decreased, but in the third treatment minute –repeatedly increased.

Five minutes after the treatment, intraocular pressure decreased from an average of $16.0 \pm 4.5 \text{ mmHg}$ to $14.5 \pm 4.7 \text{ mmHg}$, but in the next three minutes – varied between $13.8 \pm 3.0 \text{ mmHg}$ and $14.9 \pm 4.4 \text{ mmHg}$ (Fig. 1).

Nine minutes after injection of premedication drugs, general anesthesia – a combination of ketamine hydrochloride and diazepam – was added. A significant IOP increase was obtained immediately

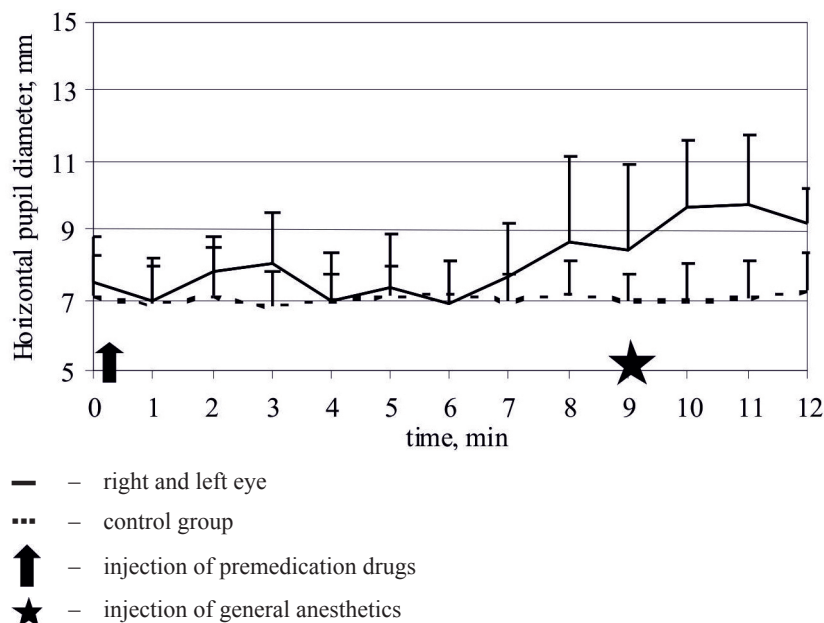


Fig. 2. The effects of premedication and general anesthesia on the horizontal pupil diameter (HPD) in the dog's eyes (mean values $\pm$ SD).

after administration of general anesthesia ($p<0.05$), and in the 10th minute of treatment IOP gained an average of 15.7 ± 3.1 mmHg in both eyes (Fig. 1). Comparing the measurements done before and 12 minutes after the treatment it was seen that IOP had increased for an average of 6.8 ± 4.4 mmHg, reaching 19.9 ± 3.9 mmHg ($p<0.01$). No significant differences in intraocular pressure between the right and the left eye were found during the research (Fig. 1).

In the control group, no changes in IOP were determined after injection of saline instead of premedication and general anesthesia. IOP values during all the treatment period were varying in both eyes between 13.3 ± 0.5 mmHg and 14.3 ± 1.0 mmHg (Fig. 1).

The effects of the premedication and general anesthesia drugs on the other functional parameter – horizontal pupil diameter – are shown in Figure 2.

Before the injection of premedication drugs, HPD was practically equal in both eyes – 7.5 ± 1.3 mm. In the first treatment minute, HPD in both eyes decreased to an average of 7.0 ± 1.2 mm, but afterwards increased, and three minutes after treatment gained an average of 8.0 ± 1.5 mm. In the next treatment minutes (three to six minutes after premedication), the pupil diameter was varying between 7.4 ± 1.5 mm and 6.8 ± 1.3 mm, but starting from the sixth minute – increased and reached 8.6 ± 2.5 mm on average (Fig. 2).

In the first minute after injection of the ketamine hydrochloride and diazepam combination, HPD increased significantly in both eyes for an average of 1.2 ± 1.1 mm, reaching 9.6 ± 2.0 mm ($p<0.01$). It continued to increase one more minute till reaching 9.7 ± 2.0 mm. In the 11th treatment minute HPD started to decrease, and in the 12th minute reached an average of 9.2 ± 1.0 mm (Fig. 2). Comparing the measurements done before and at the end of the treatment it was found that HPD had increased for an average of 1.6 ± 1.7 mmHg ($p<0.01$). During the research, no significant differences in HPD between the right and the left eye were detected (Fig. 1).

In the control group, HPD values were similar in both eyes – they had not changed significantly during the research and varied between 6.8 ± 1.0 mm and 7.2 ± 1.0 mm ($p>0.05$).

Discussion

The results of this study show that in dogs a significant increase in IOP was obtained immediately after the injection of premedication drugs atropine sulphate and acepromazine maleate. During premedication, the highest IOP increase was obtained two to five minutes after the treatment.

In the literature it is mentioned that atropine sulphate blocks the mediator acetylcholine in the M-cholinergic postganglionic synapses in the short ciliary muscles (Jones, 1977; Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996; Block, Beales, 2004; Vanags,

Sondore, 2008), which leads to relaxation of the ciliary muscles, thereby inhibiting the outflow of the aqueous humor through the uveoscleral pathway (Bill, 1967, 1969; Harris, 1968; Valle, 1974). Also in our study IOP increase can be related to mechanical obstruction of the iridocorneal angle due to pupillary dilatation (Stadbaumer, Frommlet, Nell, 2006).

In our study, a rapid and significant IOP increase was obtained immediately after injection of ketamine hydrochloride and diazepam, which continued till the 12th treatment minute. These results, to some extent, are similar to the data of other authors, who have recorded a significant IOP increase in dogs five minutes after injection of the ketamine and diazepam combination (Hofmeister, Mosunic et al., 2006).

There are some factors which, in our opinion, explain the effects of ketamine hydrochloride and diazepam on intraocular pressure. First of all, complete sedation did not occur in animals immediately after injection of the general anesthetics, and small muscle contractions were observed, which, to some extent, could increase the intraocular pressure. It is confirmed by the authors that ketamine hydrochloride can cause strong muscle contractions and convulsions (Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996), so it is an evidence that mechanical pressure on the animal's neck or squeezing of the neck muscles significantly increases the IOP (Pauli, Bentley et al., 2006). Secondly, it is noted that ketamine hydrochloride in dogs increases arterial pressure, thus increasing the blood supply to the brain and also intracranial and intracerebral pressure (Thurmon, Tranquilli, Benson, 1996), possibly at the same time increasing the intraocular pressure.

As to the effects of premedication agents like atropine sulphate and acepromazine maleate on pupil diameter, our study showed variable effects – increase and decrease in HPD. However, before injecting general anesthetics ketamine hydrochloride and diazepam, HPD was already increased in both eyes and later, after the injection, continued to increase for two more minutes.

To explain the effects of an individual drug on intraocular pressure and pupil diameter accurately, further research is required.

Conclusion

1. It was established that injection of premedication drugs atropine sulphate and acepromazine

maleate caused irregular changes in the intraocular pressure in dogs.

2. A significant and rapid increase in IOP was obtained in both eyes immediately after intravenous injection of general anesthetic drugs ketamine hydrochloride and diazepam.
3. Administration of the combination of premedication drugs atropine sulphate and acepromazine maleate caused fluctuating changes in the horizontal pupil diameter in both eyes in dogs. Injection of the ketamine hydrochloride and diazepam combination continued to increase the horizontal pupil diameter.
4. The total effect of the general anesthetic drugs on the IOP and HPD should be taken into account in various ocular pathologies diagnosed in animals.

References

1. Antal, M., Musci, G., Faludi, A. (1978) Ketamine anaesthesia and intraocular pressure. *Ann. Ophthalmol.*, 10, 1281–1284.
2. Arhipova, I., Bāliņa, S. (2006) *Statistika ekonomikā un biznesā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel*. Rīga, Datorzinību centrs, 131–151.
3. Bill, A. (1967) Effects of atropine and pilocarpine on aqueous dynamics in cynomolgous monkeys (*Macaca irus*). *Exp. Eye Res.*, 6, 120–125.
4. Bill, A. (1969) Effects of atropine on aqueous humor dynamics in the vervet monkey (*Ceropithecus ethiops*). *Exp. Eye Res.*, 8, 284–291.
5. Block, J.H., Beale, J. (2004) Central nervous system depressants. *Wilson & Gisvold Textbook of organic medicinal and pharmaceutical chemistry*. 11th edition, Lippincott Williams & Wilkins, USA, 485–510.
6. Brunson, D.B. (1980) Anesthesia in ophthalmic surgery. *Vet. Clin. North. Am. Small Anim. Pract.*, 10, 481–495.
7. Booth, N.H. (1982) Psychotropic agents. *Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. Eds N.H. Booth, L.E. McDonald. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 321–345.
8. Collins, B.K., Gress, M.E., Moore, C.P., Branson, K.R. (1995) Physiologic, pharmacologic, and practical considerations for anesthesia of domestic animals with eye disease. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 207 (2), 220–320.

9. Corssen, G., Hoy, J.E. (1967) A new parenteral anesthetic – CI 581: its effect on intraocular pressure. *J. Ped. Ophthalmol.*, 4, 20–23.
10. Cunningham, A.J., Albert, O., Cameron, J., Watson, A.G. (1981) The effect of intravenous diazepam on rise of intraocular pressure following succinylcholine. *Can. Anesth. Soc. J.*, 28(6), 591–596.
11. Frischmeyer, K.J., Miller, P.E., Bellay, Y., Smedes, S.L., Brunson, D.B. (1993) Parenteral anticholinergics in dogs with normal and elevated intraocular pressure. *Vet. Surg.*, 23 (3), 230–234.
12. Gelatt, K.N., Gwin, R.M., Peifer, R.L., Glenwood, G.G. (1977) Tonography in the normal and glaucomatous Beagle. *Am. J. Vet. Res.*, 38, 515–520.
13. Hahnenberger, R.W. (1976) Influence of various anaesthetic drugs on the intraocular pressure in cats. *Alb. Von Graefes Arch. Klin. Exp. Ophthalmol.*, 199, 179–186.
14. Hartsfield, S.M. (1992) Advantages and guidelines for using ketamine induction of anesthesia. *Vet. Clin. North. Am. Small Anim. Prac.*, 22, 266–267.
15. Harris, L.S. (1968) Cycloplegic-induced intraocular pressure elevations. *Arch. Ophthalmol.*, 79, 242–246.
16. Haskins, S., Farver, T.B., Platz, J.D. (1985) Ketamine in dogs. *Am. J. Vet. Res.*, 46, 1855–1869.
17. Hofmeister, E.H., Mosunic, C.B., Torres, B.T., Ralph, A.G., Moore, R.P., Read, R.R. (2006) Effects of ketamine, diazepam, and their combination on intraocular pressure in clinically normal dogs. *Am. J. Vet. Res.*, 67(7), 1136–1139.
18. Jones, D.M. (1977) The sedation and anaesthesia of birds and reptile. *Vet. Rec.*, 101, 340–342.
19. Judge, A.J., Najafi, K., Lee, D.A., Miller, K.M. (1997) Corneal endothelial toxicity of topical anesthesia. *Ophthalmology*, 104, 1373–1379.
20. McGee, H.T., Fraunfelder, F.W. (2007) Toxicities of topical ophthalmic anaesthetics. *Exp. Opin. Drug Safety*, 6, 637–640.
21. Muir, W.W., Werner, L.I., Hanalin, R.I. (1975) Effects of xylazine and acerylpromazine upon induced ventricular fibrillation in dogs anesthetized with thimaylal and halotan. *Am. J. Vet. Res.*, 36, 1299–1303.
22. Pauli, A.M., Bentley, E., Diehl, K.A., Miller, P.E. (2006) Effects of the application of neck pressure by a collar or harness on intraocular pressure. *J. Anim. Hosp. Assoc.*, 42, 207–211.
23. Purviņš, I. (1997) *Praktiskā farmakoloģija*. Rīga, Farmserviss, 640 lpp.
24. Stephan, D.D., Vestre, W.A., Stiles, J., Krohne, S. (2003) Changes in intraocular pressure and pupil size following intramuscular administration of hydromorphone hydrochloride and acepromazine in clinically normal dogs. *Vet. Ophthalmol.*, 6, 73–76.
25. Stadbaumer, K., Frommlet, F., Nell, B. (2006) Effects of mydriatics on intraocular pressure and pupil size in the normal feline eye. *Vet. Ophthalmol.*, 9, 233–237.
26. Thurmon, J.C., Tranquilli, W.J., Benson, G.J. (1996) *Veterinary anesthesia*. 3rd ed. William&Wilkins, Baltimore, 928 pp.
27. Trim, C.M., Colbern, G.T., Martin, C.L. (1985) Effect of xylazine and ketamine on intraocular pressure in horses. *Vet. Rec.*, 117, 442–443.
28. Yoshikawa, K., Murai, Y. (1971) Effects of ketamine on intraocular pressure in children. *Anesth. Analg.*, 50, 199–202.
29. Valle, O. (1974) Effect of cyclopentolate on the aqueous dynamics in incipient or suspected open-angle glaucoma. *Acta Ophthalmol. Suppl.*, 123, 52–60.
30. Vanags, I., Sondore A. (2008) *Klīniskā anestezioģija un intensīvā terapija*. Rīga, Nacionālais apgāds, 145–194.
31. Verbruggen, A.M.J., Akkerdaas, L.C., Hellebrekers, L.J. (2000) Effects of intravenous medetomidine on pupil size and intraocular pressure in normotensive dog. *Vet. Quarter*, 22, 179–180.
32. Wright, M. (1982) Pharmacologic effects of ketamine and its use in veterinary medicine. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 180, p. 1462.

Anotācija

Pētījuma mērķis bija noskaidrot premedikācijas līdzekļu atropīna sulfāta un acepromazīna maleāta un narkozes līdzekļu ketamīna hidrohlorīda un diazepāma summāro ietekmi uz acs iekšējo spiedienu un

acs zīlītes diametru suņiem. Pētījumā iekļāva desmit klīniski veselus dažāda vecuma un dzimuma suņus, kuriem tika nozīmēta plānveida operācija – kastrācija vai ovariohisterektomija. Dzīvniekiem premedikācijā tika lietots atropīna sulfāta (0.04 mg kg^{-1}) un acepromazīna maleāta (0.1 mg kg^{-1}) šķīdums, kuru ievadīja intramuskulāri, bet vispārējā anestēzijā – ketamīna hidrohlorīda (5.5 mg kg^{-1}) un diazepāma (0.25 mg kg^{-1}) šķīdumu kombinācija, kuru ievadīja intravenozi. Kontroles grupā atkārtoti iekļāva desmit klīniski veselus līdzīga svara un vecuma suņus, kuriem premedikācijas un vispārējās anestēzijas līdzekļu vietā attiecīgi ievadīja NaCl šķīdumu. Tika konstatēts, ka premedikācijas līdzekļu atropīna sulfāta un acepromazīna maleāta intramuskulāra injekcija suņiem izraisa viļņveidīgu un nevienmērīgu acs iekšējā spiediena palielināšanos un pēc narkozes līdzekļu ketamīna hidrohlorīda un diazepāma intravenozas ievadīšanas būtiski un strauji ($p < 0.01$) palielinās intraokulārais spiediens abās acīs. Premedikācijas līdzekļi suņiem izraisīja svārstīgas izmaiņas acs zīlītes diametrā abās acīs. Intravenozi ievadītais ketamīna hidrohlorīds kopā ar diazepāmu izraisīja būtisku acs zīlītes horizontālā diametra palielināšanos ($p < 0.01$). Vispārējās anestēzijas līdzekļu ietekme uz acs funkcionālajiem parametriem jāņem vērā, suņiem konstatējot dažādas acs patoloģijas.

Morphometric Parameters of the Small and Large Intestine of the Ostrich (*Struthio Camelus Var. Domesticus*) from Day 38 of Embrionic Development to the Age of 60 Days

Strausu (*Struthio camelus var. domesticus*) tievās un resnās zarnas morfometriskie rādītāji no 38. embrionālās attīstības dienas līdz 60 dienu vecumam

Ilmars Duritis, Arnis Mugurevics

Preclinical institute, LLU

LLU Preklīniskais institūts

e-mail: ilmars.duritis@llu.lv

Abstract. The anatomic intestine structure of the ostrich (*Struthio camelus var. domesticus*) is characterized by a number of essential intrinsic properties related to the climatic conditions of their natural distribution area (desert) and the relatively high fibre content in feed. The objective of the present research was to establish the mass-metric and morphometric parameters of the large and small intestine of the ostrich in the period from the 38th day of embryonic development till the 60th day of life. A total of 42 ostrich specimens of both genders were used, including six embryos obtained on the 38th incubation day and 36 chicks at the age of one day, 3, 7, 14, 30, and 60 days, distributed in groups of 6 birds in each group. The total absolute and relative weight and length of separate segments of the large and small intestine were established. The small and large intestine relative weight of the ostrich chicks increased with the birds advancing in age and reached its maximum on day 30; however, by the age of 60 days the relative weight diminished. A substantial increase in the absolute length of the small and large intestine was observed starting with day 3 of life ($p < 0.05$; 0.001), and with chicks advancing in age it continued to elongate. Assessing the length proportions of separate intestine segments it was found that they had not significantly changed over the whole period of ontogenesis.

Key words: the ostrich, small intestine, large intestine, morphometric parameters.

Introduction

The intestine structure of domestic poultry has been studied in great detail already in the middle of the last century; however, in case of the ostrich, especially its gastro-intestinal tract and development of its parts in ontogenesis period, the research information is quite scarce. The anatomic intestine structure of the ostrich (*Struthio camelus var. domesticus*) is characterized by a number of essential intrinsic properties related to the climatic conditions of their natural distribution area (desert) and the relatively high fibre content in feed (Sales, 2006; Cooper, Mahroze, 2004). In comparison with other bird species, the Struthioniformes are characterized by a strongly developed large intestine which constitutes the largest part of the gastro-intestinal tract for an adult ostrich (Bezuidenhout 1993; Fowler, 1991; Порчеусь, 2007) and, as is

common knowledge, the large intestine plays an especially important role in fibre fermentation processes.

The development stage of the digestion tract at the time of hatching, especially that of the stomach and intestines, determines the ability of chicks to consume feed, thus enabling to deduce the abilities of the organism to digest the feed consumed or the functionality of the digestive organs. Development of intestines plays a leading role in the growing and development processes of the organism also in later ontogenesis periods.

Each species of birds has a characteristic (natural) type and composition of feed determining anatomical differences of the digestion tract between ostriches and other poultry species (Bezuidenhout, 1993; Fowler, 1991; Порчеусь, 2007; Wang, Peng et al., 2007). Therefore, in order to facilitate the development of

optimum, age-adjusted feeding programmes, it is essential to understand the gastro-intestinal tract anatomy and physiology of the ostrich at different periods of ontogenesis.

The objective of the present research study was to establish the mass-metric and morphometric parameters of the large and small intestine of the ostrich in the period from day 38 of embryonic development to the 60th day of life.

Materials and Methods

In the research study, 42 ostrich specimens of both genders raised in the farm "Ozoliņi AB" of Jēkabpils district, Latvia, were used: six embryos obtained on the 38th incubation day, and 36 chicks at the age of one day, 3, 7, 14, 30, and 60 days. Ostriches were distributed in groups of 6 birds each. Chicks were obtained over the period of May–October of 2009. The first 3 days following the hatching, the chicks were kept in the hatchery. Starting with day 4, the chicks were placed in a heated box with sand bedding and they started to receive the commercial ostrich chick feed "Strus Premium – Strus 1". Feed and water were supplied *ad libitum*.

Before euthanasia, the birds of age group in question (7, 14, 30, and 60 days old) were taken off feed for 12 hours. After that, they were anaesthetised by intra-muscular injection of 0.5 ml of 10% ketamine and 0.5 ml of 2% xylazine solution and afterwards euthanized by intracardial injection of 0.5 ml of 20% pentobarbital solution. After euthanasia, each carcass was weighted on electronic scales (± 1 g) and subjected to necropsy for further examination.

The total absolute weight of the intestines (together with their contents), as well as the absolute weight of the large and small intestine separately was determined using scales (± 0.01 g).

Also the length of separate segments of the large and small intestine was established: for the duodenum – from *ostium pyloricoduodenale* to *flexura duodenojejunalis*; for the jejunum – from *flexura duodenojejunalis* to the apex level of caecum; for the ileum – from the apex level of caecum to *ostium ileocecale*; for the caecum – from *ostium ileocecale* to the apex; for the colon – from the connection point of caecum and colon to the cloacal extension (Baumel, 1993). A tape measure (± 1 mm) was applied for measuring the length of intestines.

The relative weight of each segment of the intestines separately (in relation to body weight) as well as their relative length (in relation to the total

intestinal length) was calculated. The data obtained in the study were statistically processed by the SPSS 11.5 software program. The mean arithmetic value and standard error (SEM) were calculated for each parameter. For comparison of the mean parameters among age groups, the multifactor dispersion analysis ANOVA was applied.

Results

Over the ontogenesis period studied, the total intestine weight for the ostrich chicks (small and large intestine) increased 67 times (from 8.8 ± 1.00 g on the 38th embryonic development day to 593.6 ± 82.66 g on the 60th day of life). A critical weight increase was observed between days 3 and 14 ($p < 0.05$), days 7 and 30 ($p < 0.01$), and days 30 and 60 ($p < 0.001$) (Table 1).

Having determined **the absolute and relative weight of the small intestine** it was established that on day 38 of embryonic development the small intestine weighed 3.0 ± 0.39 g on average, constituting $0.3 \pm 0.04\%$ of the chick body weight. On the day of hatching, these parameters increased to 5.8 ± 0.45 g and $0.7 \pm 0.08\%$ respectively (Table 1).

Over the first days after hatching, increase in the absolute weight of the small intestine was quite slow; however, after the 3rd day of hatching a rapid increase was observed. The absolute weight of the small intestine continued to increase over the whole ontogenesis period. On the earlier stages of postnatal ontogenesis, the weight increase of the small intestine was more rapid. For instance, between day 30 and day 60, the weight of the small intestine increased 2.5 times ($p < 0.001$), but between days 3 and 14 – 5 times ($p < 0.001$) (Table 1).

With chicks advancing in age, the relative weight of the small intestine increased reaching its maximum at the age of 30 days when it constituted already $4.9 \pm 0.37\%$ of the body weight; the most rapid increase could be observed between days 7 and 14 ($p < 0.01$). Afterwards, from the 30th to 60th day of life, the relative weight of the small intestine of the ostrich chicks decreased to $3.8 \pm 0.14\%$ of their body weight (Table 1).

The absolute and relative weight of the large intestine, in its turn, on the 38th day of embryonic development was 5.8 ± 0.62 g or $0.7 \pm 0.07\%$ of the body weight. On the day of hatching, the absolute weight of the large intestine had already increased almost threefold (14.3 ± 1.55 g;

Table 1

The weight of the small and large intestine of the ostrich chicks from 38th day of embryonic development to 60th day of life

Age, days	Small intestine		Large intestine		Total, g±SEM
	g±SEM*	%±SEM, of body weight	g±SEM	%±SEM, of body weight	
38 (embr.)**	3.0±0.39	0.3±0.04	5.8±0.62	0.7±0.07	8.8±1.00
1	5.8±0.45	0.7±0.08	14.3±1.55	1.7±0.25	20.2±1.84
3	8.0±0.85	0.9±0.07	14.1±1.92	1.6±0.17	22.1±2.70
7	16.2±1.77	2.1±0.21	51.2±5.00	6.6±0.7	67.5±6.04
14	42.2±7.22	4.0±0.62	129.6±16.94	12.2±1.29	171.6±23.17
30	72.7±5.49	4.9±0.37	204.2±17.95	13.6±0.71	276.9±22.40
60	182.1±28.62	3.8±0.14	411.6±58.20	8.9±1.10	593.6±82.66

* – standard error of mean

** – 38th day of embryonic development

Table 2

Morphometric parameters of the small and large intestine of the ostrich chicks from 38th day of embryonic development to 60th day of life

Age, days	Length of the small intestine, mm±SEM	Length of the large intestine, mm±SEM	Total intestine length, mm±SEM
38 (embr.)	509±24.1	680±72.9	1189±99.9
1	576±24.9	978±61.2	1555±66.6
3	762±42.7	1036 ±84.4	1798±81.1
7	1002±65.5	1605±81.1	2607±133.7
14	1424±138.5	2733±81.9	4157±206.5
30	2043±81.9	3654±178.7	5697±210.9
60	2960±314.6	4987±475.8	7947±773.7

1.7±0.25%). After the 3rd day of life it increased much more rapidly and reached a ninefold size on the 14th day thus constituting 129.6±16.94 g or 12.3±1.29% on average ($p<0.05$) (Table 1).

At the age of 30 days, the relative weight of the large intestine reached its maximum, constituting 13.6±0.71% of the body weight. A significant decrease in the weight of large intestine was observed at the age of 60 days ($p<0.01$), when it constituted only 8.9±1.10% of the chick body weight (Table 1).

The total intestine length for the ostrich chicks over the studied ontogenesis period increased 6.7 times on average (from 1189±99.9 mm on the 38th embryonic development day to 7947.00±773.7 mm on the 60th day of life). An important intestine length increase could be observed between days 7 and 14 ($p<0.05$), days

14 and 30 ($p<0.05$), as well as between days 30 and 60 ($p<0.01$) (Table 2).

Analysing the **total length** of the **small intestine** it was found that on the 38th embryonic development day it had reached 509±24.1 mm on average or 43.4±2.04% of the total intestine length (Table 2). A rapid growth in the length of the small intestine started after hatching, when on the 7th day of life its length had already doubled compared to the 38th day of embryonic development making up 1002±65.5 mm or 38.4±1.09% of the total intestine length. A critical growth in the length of the small intestine could be observed between days 3 and 14 ($p<0.05$), as well as between days 30 and 60 ($p<0.001$).

The relative length of the small intestine for the ostrich chicks of all age groups ranged from

33.9±1.76% at the age of 14 days to 43.4±2.04% on the 38th day of embryonic development with a decreasing trend as chicks advanced in age (Table 2).

The large intestine formed the longest portion of the intestine length in the ostrich chicks of all age groups. On the 38th embryonic development day, the large intestine length (679.50±72.87 mm) only slightly exceeded length of the small intestine, but on the 14th day of chick life the large intestine was two times longer than the small intestine. At this age, length of the small intestine was 1423.67±138.49 mm, whereas that of the large intestine – 2733.17±81.85 mm respectively; furthermore, this correlation persisted also for 30- and 60-day-old birds (Table 2). A substantial increase in the absolute length of the large intestine was observed between days 3 and 14 ($p<0.001$), days 7 and 14 ($p<0.01$), and days 30 and 60 ($p<0.01$).

The relative length of the large intestine for the ostrich chicks included in the study ranged from 56.58±2.07% (38th embryonic development day) to 66.15±1.76% (14th day). The relative length of the large intestine increased as chicks advanced in age (Table 2).

For birds of all age groups included in the research, all three parts (segments) of the small intestine, namely, duodenum, jejunum, and ileum, indicated an adequate and well-marked development.

Assessing the morphometric parameters of each part of the small intestine we established that

the jejunum formed the greatest weight and length proportion.

Figure 1 demonstrates that the jejunum had a pronounced increase in weight starting with the 3rd day of life of the ostrich chicks. In comparison with other segments of the small intestine, the weight increase of jejunum was faster.

On the 38th day of embryonic development, the absolute weight of the jejunum was 2.3±0.30 g on average or 0.25±0.03% of the body weight, on the day of hatching it almost doubled (4.0±0.35 g), but at the age of 30 days it was 51.1±4.00 g. A significant increase in the weight of jejunum was observed between days 1 and 30 ($p<0.01$), and days 30 and 60 ($p<0.001$) (Fig. 1).

The weight of the duodenum and ileum was increasing slower and more evenly. A rapid increase in the weight of these two parts could be observed between days 7 and 30 ($p<0.01$), and days 30 and 60 ($p<0.001$).

Of the three segments of the small intestine, the jejunum made up also the relatively greater weight proportion.

Relative weight of the duodenum on the 38th embryonic development day constituted only 0.06±0.007% of the body weight, and reached its maximum (0.96±0.023%) on the 30th day of life, after which a downwards trend set in (in a similar way as for the total relative weight of the small intestine) (Fig. 2). Relative

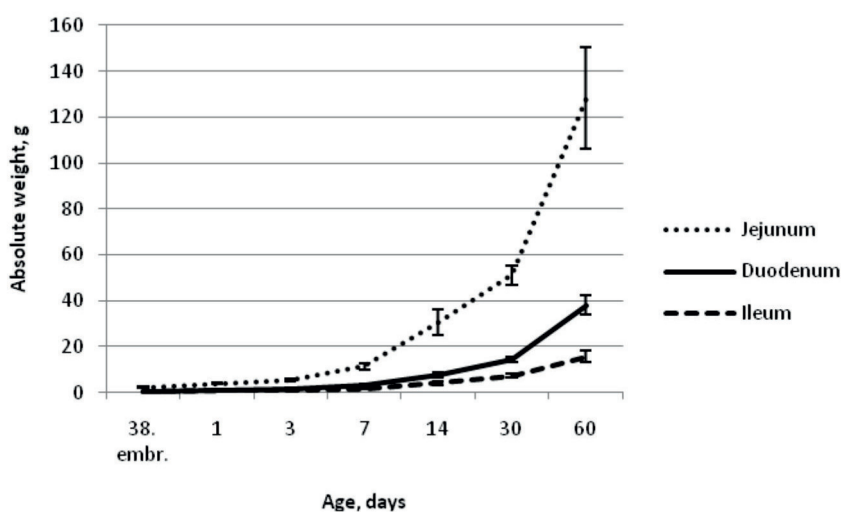


Fig. 1. The dynamics of absolute weight (g±SEM) of the small intestine segments (duodenum, jejunum, and ileum) of the ostrich chicks in the period between 38th day of embryonic development and 60th day of life.

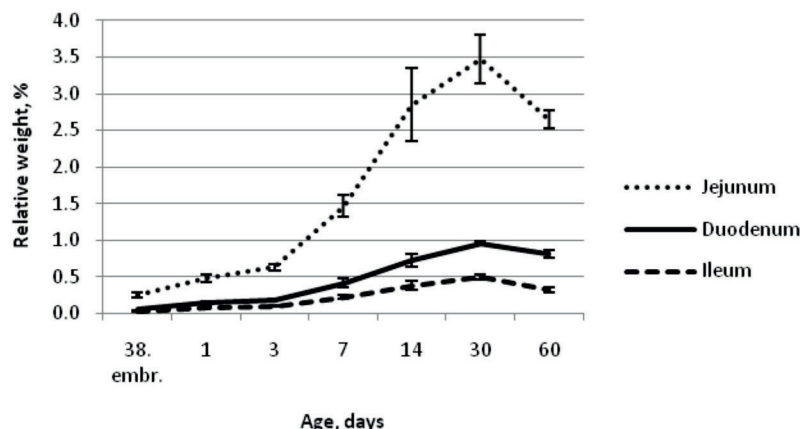


Fig. 2. The dynamics of relative weight ($\% \pm \text{SEM}$) of the small intestine segments (duodenum, jejunum, and ileum) of the ostrich chicks in the period between 38th day of embryonic development and 60th day of life.

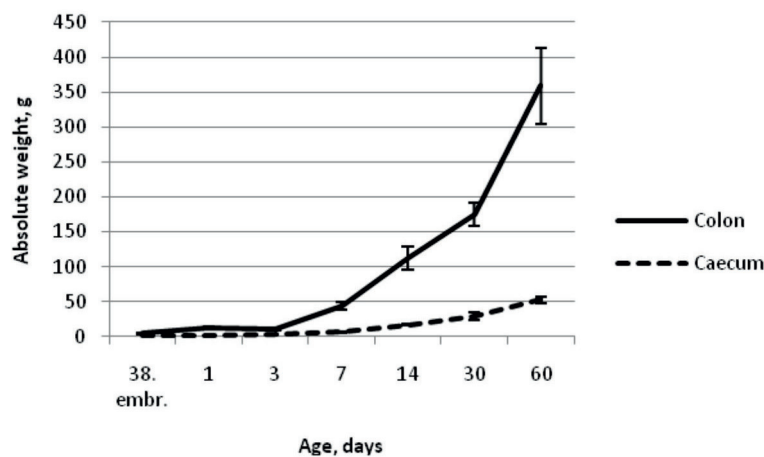


Fig. 3. The dynamics of absolute weight ($\text{g} \pm \text{SEM}$) of the large intestine segments (colon and caecum) of the ostrich chicks between 38th day of embryonic development and 60th day of life.

weight of the jejunum reached $3.47 \pm 0.34\%$ on the 30th day of ostrich chick life, but at the age of 60 days decreased to $2.65 \pm 0.12\%$ of the body weight.

On the 38th day of embryonic development, the relative weight of the ileum was only $0.03 \pm 0.005\%$ of the body weight on average, between the age of 1 day to 14 days ($p < 0.001$) it increased significantly, but in 30-day-old ostrich chicks reached its maximum – $0.49 \pm 0.04\%$ of the body weight (Fig. 2).

Analysis of the absolute weight of the large intestine segments showed that the weight of the colon had grown faster than that of the caecum (Fig. 3).

The weight of the caecum on the 38th embryonic development day was 0.9 ± 0.10 g on average, relatively constituting

$0.10 \pm 0.01\%$ of the chick body weight, but on the day of hatching it had more than doubled (2.2 ± 0.21 g and $0.26 \pm 0.03\%$ respectively). Over further development, a substantial absolute weight increase of the caecum was established between days 3 and 14 ($p < 0.01$), as well as between days 30 and 60 ($p < 0.001$) (Fig. 3). A substantial relative weight increase of the caecum was established between days 7 and 14 of chick life ($p < 0.01$). At the age of 30 days, the relative weight of the caecum was $1.96 \pm 0.28\%$ on average, but on the 60th day it decreased significantly – to $1.14 \pm 0.09\%$ ($p < 0.01$) (Fig. 4).

For the ostrich chicks of all age groups, the colon both in length and weight was developed better than other intestine parts and formed the largest portion of the total intestine length and weight.

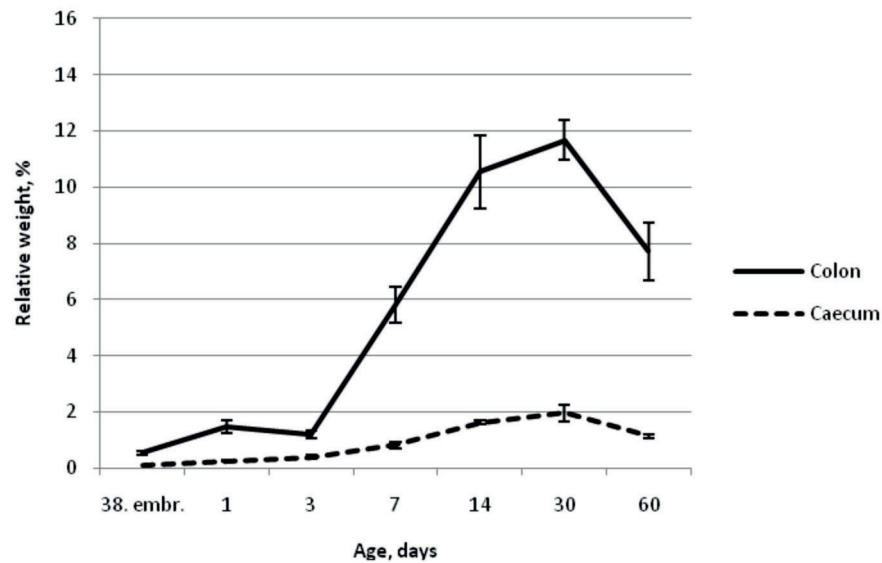


Fig. 4. The dynamics of relative weight of the large intestine segments (% $\pm$ SE) of the ostrich chicks from 38th day of embryonic development to the age of 60 days.

Table 3

The length of the small and large intestine segments of the ostrich chicks from 38th day of embryonic development to 60th day of life

Age, days	Small intestine length, mm $\pm$ SEM			Large intestine length, mm $\pm$ SEM	
	duodenum	jejunum	ileum	caecum	colon
38 (embr.)	93 $\pm$ 5.2	363 $\pm$ 15.9	53 $\pm$ 8.1	67 $\pm$ 4.6	613 $\pm$ 69.8
1	125 $\pm$ 5.3	391 $\pm$ 22.6	60 $\pm$ 2.3	85 $\pm$ 5.2	893 $\pm$ 59.9
3	156 $\pm$ 5.9	535 $\pm$ 37.7	72 $\pm$ 14.5	100 $\pm$ 6.3	936 $\pm$ 78.8
7	207 $\pm$ 14.8	677 $\pm$ 47.7	118 $\pm$ 15.0	150 $\pm$ 10.2	1 456 $\pm$ 71.5
14	278 $\pm$ 30.8	1 004 $\pm$ 99.0	142 $\pm$ 12.7	226 $\pm$ 9.5	2 507 $\pm$ 79.1
30	372 $\pm$ 19.4	1 463 $\pm$ 61.0	209 $\pm$ 22.5	311 $\pm$ 17.9	3 343 $\pm$ 165.9
60	526 $\pm$ 40.5	2 142 $\pm$ 254.6	301 $\pm$ 24.6	409 $\pm$ 23.0	4 568 $\pm$ 455.5

On the 38th embryonic development day, the absolute weight of the colon was 4.9 $\pm$ 0.53 g on average, composing 0.55 $\pm$ 0.06% of the body weight (Figs 3 and 4). On the day of hatching, the weight of the colon reached 12.2 $\pm$ 1.52 g or 1.47 $\pm$ 0.23% on average. Over the first three days of life, the absolute and relative weight of the colon showed a downward trend, but afterwards a rapid increase was observed. On the 30th day, the weight of the colon was 174.9 $\pm$ 16.38 g on average, or 11.7 $\pm$ 0.70% of the body weight. It should be noted that a substantial growth in the relative weight of the colon could be observed between days 3 and 7, as well as between days 7 and 14 ($p<0.01$). On the 60th day of ostrich chick life it was

established that the absolute weight of the colon had increased significantly ($p<0.001$) (358.7 $\pm$ 55.13 g), but its relative weight had decreased ($p<0.05$) to 7.7 $\pm$ 1.04% of the body weight (Fig. 4).

Determining the length of the duodenum it was found that on the embryonic development day 38 it was 94 $\pm$ 6.2 mm on average, but on the day of hatching it already reached 125 $\pm$ 5.3 mm (Table 3). A rapid increase in the length of the duodenum was observed also in further ontogenesis period. Thus, for instance, between days 3 and 14 of life, the intestine length almost doubled and at the end of this period constituted 278 $\pm$ 30.8 mm on average ($p<0.05$), but at the age of 60 days the intestine length reached 526 $\pm$ 40.5 mm on average.

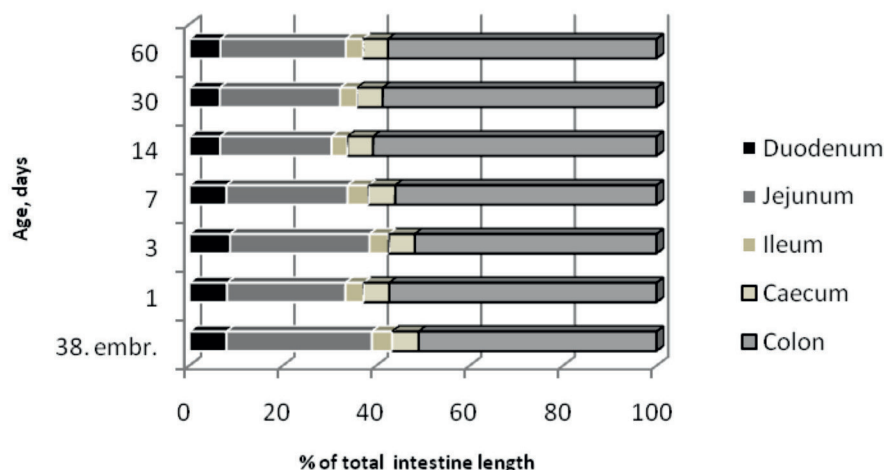


Fig. 5. The relative length of the small and large intestine segments of the ostrich chicks from 38th day of embryonic development to the age of 60 days.

The jejunum was the longest of all small intestine parts, and its length on the 38th embryonic development day was 363 ± 15.9 mm. At the age of 14 days it extended significantly ($p < 0.01$) to 1004 ± 99.1 mm, but on the 60th day of life reached 2142 ± 254.7 mm on average ($p < 0.001$) (Table 3).

Length of the ileum at the age of 30 days had increased 4 times (208.5 ± 22.49 mm) on average ($p < 0.001$) compared to that in the ostriches on the 38th embryonic development day (52.5 ± 8.12 mm). It should be noted that the most significant growth in the length of ileum had occurred already on the 14th day of the chick life ($p < 0.05$) (Table 3).

The length of the caecum on the 38th day of embryonic development was 67.0 ± 4.60 mm on average, but a substantial increase in the caecum length was observed from the moment of hatching till day 7 ($p < 0.05$) when it reached already 149.7 ± 10.21 mm (Table 3). At the end of the second month of life (60 days of age) the caecum was on average 409.17 ± 23.03 mm long.

As mentioned above, the colon was the longest of all intestine parts in the ostriches of all age groups. On the 38th embryonic development day its average length was 612.5 ± 69.80 mm or $50.9 \pm 2.10\%$ of the total intestine length (Table 3). A substantial increase in the length of the colon was observed between days 7 and 14 ($p < 0.05$), as well as between days 30 and 60 ($p < 0.01$), but on the 60th day it reached 4568.0 ± 455.47 mm or $57.5 \pm 1.25\%$ of the total intestine length.

The length of the duodenum in all age groups of ostrich chicks ranged within 6–9% of the total intestine length; furthermore, while chicks advanced in age, its growing slowed down. Thus, at the age of 3 days, the length of duodenum composed $8.7 \pm 0.20\%$ of the total intestine length, whereas at the age of 30 days it was only $6.5 \pm 0.25\%$ ($p < 0.01$) (Fig. 5).

The relative length of the jejunum showed a downwards tendency with chicks advancing in age (Fig. 5). Ostrich chicks of different age groups displayed no statistically significant difference as to this parameter.

The relative length of the ileum was $4.0 \pm 0.17\%$ of the total intestine length on average, and it did not substantially change over the ontogenesis period studied (Fig. 5).

The relative length of caecum and colon did not change substantially in all age groups staying on average $5.5 \pm 0.91\%$ and $56.1 \pm 0.81\%$ of the total intestine length respectively (Fig. 5).

Discussion

The relative weight of the small intestine of the birds included in the trial reached its maximum at the age of 30 days constituting 4.9% of the body weight on average, but at the age of 60 days it reduced to 3.8%. Whereas researchers Iji, Van der Walt et al. (2003) have observed that on the 27th day of life the relative weight of the small intestine in ostrich chicks was 4.6%, then it increased slightly to 4.7% till day 41, but afterwards decreased, and on the 72nd day composed only 4.2% of the chick

body weight. Decrease in the relative weight of the small intestine over the second month of life was associated with an overall rapid increase in the body weight during that time.

The results of our study indicated that for 3-day-old ostrich chicks the relative weight of the small intestine constituted only 0.9% of the body weight on average, while Iji, Van der Walt et al. (2003), on the contrary, have established that at the age of 3 days this parameter reached 2.1%; whereas for more advanced age periods the data of these researchers are similar to our results. Differences in the results might be explained by the different ages of chicks when their feeding started (day 3 of chick life – in the research of Iji, Van der Walt et al., day 4 – in our research).

In ostrich, similarly to other bird species, the jejunum constitutes the longest portion of the small intestine. Wang and Peng (2008) have established that in 24-hour-old chicks the relative weight of the jejunum was 0.65% of the body weight, of duodenum – 0.1 %, and of ileum – 0.08%. Examining one-day, 45, 90, and 334 days old birds, the researchers have found that the relative weight of the jejunum and ileum reached its maximum at the age of 45 days (4.42% and 0.54% of the body weight respectively), but relative weight of the duodenum increased till 90th day of life constituting 1.07% of the ostrich body weight. Also Iji, Van der Walt et al. (2003) studying 3, 27, 41, 55, and 72 days old chicks have established that the largest relative weight of the small intestine was in 41-day-old chicks (4.7%).

Regarding relative weight of separate segments of the small intestine for 24-hour-old chicks, our research findings are rather similar to the data obtained by Wang and Peng (2008). In our research, on the 30th day of ostrich chick life the highest relative weight was observed for all segments of the small intestine (duodenum – 0.81%, jejunum – 3.47%, ileum – 0.49%), but on the 60th day of life these parameters had decreased. Whereas data of Iji, Van der Walt et al. (2003) and Wang and Peng (2008) demonstrate a further increase in the relative weight of the small intestine up to 41st–45th day of life.

The distinct results of the relative intestine weight point to necessity to carry out research also over the further period of ontogenesis, as well as to continue to study the relation between the weight gain of chicks and the feeding and raising conditions.

Research on chicks of *Gallus domesticus* and ducklings has shown that the relative weight of the

small intestine reached its maximum already in the first week of life and afterwards gradually decreased (Soriano, Rovira et al., 1993; King, Asem, Adeola, 2000).

Wang and Peng (2008) have indicated that the length of the small intestine for ostrich chicks in the period between days 1 and 45 increased much more rapidly than between days 45 and 90. This is confirmed also by data obtained in our research. During the first month of ostrich life, the length of the small intestine increased by 1467 mm (3.5 times), but in the second month – only by 917 mm (1.4 times). On the whole, our data showed that during the first two months of life the length of the small intestine in ostrich chicks had increased 5 times. Whereas other authors in their researches on the development of intestinal canal in birds during first three months of life, have found that the length of small intestine increased 6 times in ostriches (Wang, Peng, 2008), and only 3.4 times in chicken of *Gallus domesticus* (Soriano, Rovira et al., 1993). The relatively rapid growth of the small intestine over the first months of ostrich life point to an important anatomically physiological trait of this species, which has to be taken into account when evaluating the characteristic pathologies and selecting the optimum feeding conditions for the ostriches of this age.

Wang and Peng (2008) have established that the length of duodenum for 24-hour-old chicks was 17.3 cm, of jejunum – 43.2 cm, but of ileum – 7.9 cm; whereas in our study the same parameters were 12.5 ± 0.53 cm, 39.1 ± 2.25 cm, and 6.0 ± 0.23 cm respectively.

The relative weight dynamics of the large intestine of ostrich chicks of different age groups have been pointed out by several authors. According to Iji, Van der Walt et al. (2003), relative weight of the large intestine on the 3rd day of ostrich life constituted 4%, but on the 72nd day – 19.8%; whereas according to Porchesku (Порческу, 2007) it reached 3.17% of the body weight in adult ostriches.

Several authors have established that in one-month-old ostriches the length of the colon was 1.6 m or 57% of the total intestine length (Cho, Brown, Anderson, 1984; Fowler, 1991), but in adult ostriches it reached 11–13 m or 57% of the total intestine length (Порческу, 2007; Skadhauge, Warü, 1984; Fowler, 1991).

The results of our research demonstrated that for 3-day-old chicks the relative weight of the

large intestine constituted 1.6% of the body weight. During the growth period, this parameter increased and reached its maximum at the age of 1 month (13.6%), but at the end of the second month it had already diminished. Decrease in the relative weight of the large intestine during the second month of life could be related to the rapid body weight gain due to fast development of the muscles.

The longest part of the large intestine is the colon. In our research its length in one-month-old ostrich chicks reached 3.3 metres or 58% of the total intestine length. Rather disparate parameters of the absolute length of the colon can probably be explained by the critical impact of individual factors (growing development) and feeding on the absolute parameters (Shanawany, 1996; Jamroz, Wertelecki et al., 2006).

Conclusions

The relative weight of the small intestine of the ostrich chicks increased with the birds advancing in age, reaching its maximum on day 30 when it constituted 4.9% of the total body weight, but by the age of 60 days it reduced to 3.8%.

The relative weight of the large intestine also reached its maximum at the age of 30 days when it constituted 13.6% of the total body weight, but by the age of 60 days it reduced to 8.9%.

The reduction in the relative weight of the small and large intestine over the second month of life can be associated with the rapid overall increase in ostrich chick body weight during that period.

A substantial increase in the absolute length of the small and large intestine was observed starting with day 3 of ostrich life ($p < 0.05$; 0.001), and it continued to increase with chicks advancing in age.

Over all the age periods observed, the large intestine of the ostrich chicks constituted the largest part of the total intestine length, and its relative length increased faster than that of the small intestine.

Analysis of the length proportions of different intestine segments showed that they did not substantially change over the whole period of ontogenesis.

References

1. Baumel, J.J. (1993) Apparatus digestorius. *Handbook of avian anatomy: Nomina anatomica avium*. 2nd ed. Cambridge, Massachusetts, Joint Nature Conservation Committee, 301–327.
2. Bezuidenhout, A. (1993) The spiral fold of the cecum in the ostrich (*Struthio Camelus*). *Journal of Anatomy*, Vol. 183, No. 3, 587–592.
3. Cho, P., Brown, R., Anderson, M. (1984) Comparative gross anatomy of ratites. *Zoo Biology*, 3, 133–144.
4. Cooper, R.G., Mahroze, K.M. (2004) Anatomy and physiology of the gastro-intestinal tract and growth curves of the ostrich (*Struthio camelus*). *Animal Science Journal*, 75, 491–498.
5. Fowler, M.E. (1991) Comparative clinical anatomy of ratites. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, Vol. 22, No. 2, 204–227.
6. Iji, P.A., Van der Walt, J.G., Brand, T.S., Boomker, E.A., Booyse, D. (2003) Development of the digestive tract in the ostrich (*Struthio camelus*). *Archives of Animal Nutrition*, 57(3), 217–228.
7. Jamroz, D., Wertelecki, T., Houszka, M., Kamel, C. (2006) Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 90, (5/6), 255–268.
8. King, D.E., Asem, E.K., Adeola, O. (2000) Ontogenic development of intestinal digestive functions in white Pekin ducks. *The Journal of Nutrition*, Vol. 130, 57–62.
9. Sales, J. (2006) Digestive physiology and nutrition of ratites. *Avian and poultry biology reviews*, 17(3), 41–55.
10. Shanawany, M.M. (1996) Principles and practice of ostrich feeding. *Feed Mix*, 4, 44–46.
11. Skadhauge, E., Warü, C.N., Kamau, J.M.Z., Maloiy, G.M.O. (1984) Function of the lower intestine and osmoregulation in the ostrich: preliminary anatomical and physiological observations. *Quarter Journal of Experimental Physiology*, Vol. 69, 809–818.
12. Soriano, M.E., Rovira, N., Pedros, N., Planas, J.M. (1993) Morphometric changes in chicken small intestine during development. *Gastroenterology*, Vol. 31, p. 578.
13. Wang, J.X., Peng, K.M. (2008) Developmental morphology of the small intestine of African ostrich chicks. *Poultry Science*, Vol. 87, 2629–2635.
14. Wang, J.X., Peng, K.M., Du, A.N., Tang, L., Wei, L. (2007) Histological study on the digestive ducts of African ostrich chicks. *Chinese Journal of Zoology*, 42(3), 131–135.

15. Порческу, Г.С. (2007) *Сравнительная морфология пищеварительного тракта Африканского черного страуса, курицы и индейки*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук. Кишинев, 40 с.

Anotācija

Āfrikas strausu (*Struthio camelus* var. *domesticus*) zarnu trakta anatomiskajā uzbūvē ir vērojama virkne būtisku īpatnību, kas saistītas ar šīs sugas dabīgās izplatības areāla klimatiskajiem apstākļiem (tuksnesis) un samērā augsto kokšķiedras īpatsvaru barībā. Pētījuma mērķis bija noskaidrot strausa cāļu tievās un resnās zarnas un to daļu masometriskos un morfometriskos rādītājus no 38. embrionālās attīstības dienas līdz 60 dienu vecumam. Pētījumā izmantoti 42 abu dzimumu Āfrikas strausu īpatņi, no kuriem seši embriji bija 38. inkubācijas dienā un 36 cāļi – 1, 3, 7, 14, 30 un 60 dienu veci, katrā grupā attiecīgi seši putni. Tika noteikta atsevišķu tievās un resnās zarnas segmentu absolūtā un relatīvā masa un garums. Strausu cāļu tievās un resnās zarnas relatīvā masa palielinājās, putnam pieaugot, un maksimumu sasniedza 30 dienu vecumā, taču 60 dienu vecumā visu zarnu segmentu relatīvā masa samazinājās. Būtisks tievās un resnās zarnas absolūtā garuma pieaugums bija vērojams, sākot ar trešo dzīves dienu ($p < 0.05$; 0.001), un tas turpināja pieaugt, palielinoties strausu cāļu vecumam. Vērtējot atsevišķu zarnu segmentu garuma attiecības, tās būtiski nemainījās visā pētītajā ontogēnēzes periodā.

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTES RAKSTI

AUTORU IEVĒRĪBAI

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Raksti ievieto publikācijas par nozīmīgiem oriģināliem, teorētiskiem un eksperimentāliem pētījumiem, kas interesē zinātnieku un nozares speciālistu auditoriju. Publicē arī nozares zinātnes pārskatus un hronikas rakstura materiālus.

Manuskriptus autori iesniedz tehniskajam redaktoram vai nu latviešu, vai angļu valodā. Personas, kas iesniedz manuskriptu, to paraksta un pilnībā atbild par iesniegtā manuskripta īpašuma tiesībām un zinātnisko līmeni. Redkolēģijai ir tiesības pakļaut manuskriptus tālākai izvērtēšanai un izņēmuma gadījumos arī noraidīt, ja tie neatbilst vispārējiem publikācijas kritērijiem vai tiek uzskatīti kā nepiemēroti *LLU Rakstiem*. Iesniedzot manuskriptus publicēšanai, autors(i) apliecinā, ka darbs nav iepriekš publicēts, nav paredzēts publicēšanai citos izdevumos, un to izlasījuši un atzinuši par labu visi autori. Autori piešķir ekskluzīvas tiesības Latvijas Lauksaimniecības universitātei iesniegtā raksta publicēšanai.

Vēlamā rakstu struktūra: **virsraksts** (raksta valodā un angļu valodā); **autors** vai autori – pilni vārdi un uzvārdi, darba vietas nosaukums (raksta valodā un angļu valodā), pilna pasta adrese, tālruna numurs, fakss, e-pasta adrese; **abstract** – kopsavilkums angļu valodā līdz 250 vārdiem vienā rindkopā izsmēloši informē par rakstā iekļauto datu būtību; **key words** – ne vairāk kā 5 (angļu valodā); angļu valodā iesniegtiem rakstiem **kopsavilkums** – latviešu valodā, 230–250 vārdu garš, vienā rindkopā; **ievads** – situācija un hipotēze; **materiāli un metodes** – pētījuma objekts, metodes un metodika, lai ikviens gūtu priekšstatu par pētījumu gaitu; **rezultāti** – teksta, tabulu, attēlu veidā ar atbilstošu datu ticamības novērtējumu un rezultātu analīzi; **diskusija** – pētījumu rezultātu interpretācija, salīdzinājums ar citu autoru līdzīgiem pētījumiem, jaunākajām zinātnes atziņām; **secinājumi**; **literatūras saraksts**. Manuskriptu apjomam nevajadzētu pārsniegt 15 lappuses – oriģinālrakstam, 20 lappuses – apskata rakstam un 6 – īsiem ziņojumiem. Manuskriptā jānumurē lappuses, attēli, tabulas un formulas.

Teksts

Darbs jānoformē datorsalikumā programmā *MS Word* uz A4 formāta lapām, lietojot *Unicode* fontu *Times New Roman* ar izmēru 12. Pamatteksts sastāv no rindkopām. Sarežģītu un optiski grūti uztveramu burtu veidu lietošana pamattekstā nav pieļaujama. Teksta attālums no kreisās lapas malas 30 mm, no pārējām – 25 mm. Rindstarpu attālums – 1.5. Skaitļos kā decimāldalītājs jālieto punkts, nevis komats. Manuskriptā lietojamas SI sistēmas mērvienības un arī attiecīgie saīsinājumi.

Tabulas

Tabulām jābūt veidotām programmā *MS Word* vai *Excel* un tās novietojamas teksta beigās uz atsevišķām lapām. Teksta izmērs tabulās – ne lielāks par 10 punktiem. Tabulu virsraksti, teksts tajās un paskaidrojumi pie tām tulkojami arī angļu valodā. Tabulām jābūt saprotamām arī tad, ja teksts nav lasīts. Tabulu numuri rakstāmi ar arābu cipariem labajā pusē virs tabulas virsraksta. Tās nedrīkst pārsniegt apdrukai paredzēto lapas laukumu, un tabulu zemteksta piezīmēm jābūt uz tās pašas lapas. Ja tabula turpinās uz vairākām lappusēm, tabulas galva bez virsraksta jāatkārto katrā lapā, virsraksta vietā rakstot „...tabulas turpinājums” vai „...tabulas nobeigums”. Nav ieteicams veidot tabulas, kurām rindu vai kolonnu skaits mazāks par trīs. Kolonnās skaitļiem jābūt nolīdzinātiem. Daudzskaitļu skaitļi jāsadala grupās pa trim. Ja kolonnā uz leju atkārtojas tas pats skaitlis vai teksts, tas jāraksta atkārtoti, nedrīkst likt atkārtojuma simboliku.

Attēli

Diagrammas, zīmējumus un fotogrāfijas uzskata par attēliem. Attēliem jābūt labas kvalitātes, melnbaltā izpildījumā un tie

novietojami teksta beigās uz atsevišķām lapām. Skenētos attēlus, digitālās fotogrāfijas un zīmējumus var veidot jebkurā grafiskajā programmā, bet ievietot tos *MS Word* kā attēlus (*Picture*), nevis kā attiecīgās programmas objektus. Diagrammas ieteicams veidot *MS Excel* vai *MS Word*, izmantojot *Microsoft Graph*. Diagrammās vēlams izvairīties no fona tonējuma un ierāmējuma līniju lietošanas, tīklu līniju biezums – ¼ pt, rakstzīmju izmērs – ne lielāks par 10 punktiem. Attēlos jāizvairās no uzrakstiem uz tiem. Uzrakstu vietā lietojami simboli vai cipari, kas atšifrējami zem attēla. Paraksts zem attēla sākas ar attēla numuru, tad seko nosaukums, kas atklāj vai raksturo attēlā redzamo, un tad attēlā lietoto ciparu, simbolu atšifrējums. Attēla nosaukums un visi paskaidrojumi tajā tulkojami arī angļu valodā.

Formulas

Formulas jāraksta *MS Equation* programmā. Formulas tekstā raksta atsevišķā rindā pa vidu. Formulas numurē, numuru rakstot tajā pašā rindā starp divām apaļajām iekavām lapas labajā pusē. Formulās lietotajam pamatvienību lielumam jābūt tādām pašām kā pamattekstā. Kursīvā rakstāmi pieņemto apzīmējumu simboli. Formulās ietvertu lielumu mērvienības raksta aiz to nosaukumiem vai skaitliskajām vērtībām tekstā. Formulu paskaidrojumi rakstāmi aiz formulas, katrs savā rindā. Starp paskaidrojumu un mērvienību liek defisi, bet aiz mērvienības – semikolu, un aiz pēdējās mērvienības paskaidrojuma – punktu.

Citējumi

Atsauces tekstā pieraksta, apaļajās iekavās ierakstot izmantotā izdevuma autoru un izdošanas gadu, piem. (Monod, 2010; Hahey, Senseman et al., 2002).

Literatūras saraksts darba beigās jānoformē alfabēta kārtībā, atsevišķus darbus pierakstot šādi: **žurnālu raksti** – Hahey, R., Senseman, S., Krutz, L., Hons, F. (2002) Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosphate. *Biol. Fertil. Soils*, 35, 35–40; **grāmatas** – *Lauksaimniecības ilgtermiņa investīciju kreditēšanas programma*. (2001) LR Zemkopības ministrija, Rīga, 20 lpp.; **grāmatu nodaļas** – Carrey, E. A. (1989) Peptide mapping. In: *Protein Structure*. Ed. T.E. Creighton. ILR Press, Oxford, 191–224.; **INTERNET resursu apraksts** – Veselību noteicošie faktori. Vide kā dzīvības un veselības resurss: http://www.liis.lv/vid_ves/faktori.htm – Resurss aprakstīts 2010. gada 20. novembrī.

Atsaucēm tekstā jāsakrīt ar literatūras sarakstā minētajiem avotiem, un tiem jābūt publiski pieejamiem.

Fināls

Recenzēto un attiecīgi papildināto manuskripta pēdējo versiju autors(i) elektroniskā veidā kopā ar izdruku iesniedz tehniskajam redaktoram. Fotogrāfijas (JPEG formātā) un grafiski izpildītos attēlus pievieno kā atsevišķus failus.

Tikai precīza visu iepriekšminēto prasību ievērošana sekmēs sagatavoto manuskriptu ātrāku publicēšanu.

Atkāpes no šo noteikumu prasībām pieļaujamas, iepriekš saskaņojot ar *LLU Rakstu* redkolēģiju.

LLU Rakstu redkolēģijas adrese:

Lielā iela 2, Jelgava, LV 3001

Telefons: 630 05671; fakss: 630 05685;

e-pasts: Inga.Skuja@llu.lv

Papildu informācija par *LLU Rakstiem*

pieejama LLU mājas lapā <http://www.llu.lv>

sadaļā *Pētniecība: Raksti*.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti (Proceedings of the Latvia University of Agriculture) publishes reports that describe the results of original theoretical or experimental research of importance and interest to diverse groups of scientists. The scientific articles should be intelligible to a broad scientific audience. The journal publishes also information on events pertaining to science life.

Submission of manuscripts. The persons who submit manuscripts assume responsibility for the intellectual property and scientific standards of the manuscripts they submit. However, the Editorial Board reserves the right to subject manuscripts to further review and when necessary to reject those that do not meet the general criteria for publication or are regarded as inappropriate in some another way. The Editorial Board also reserves the right to edit all manuscripts linguistically and stylistically. Authors submitting a paper do so on the understanding that the work has not been published before, is not considered for publication elsewhere and has been read and approved by all authors. The submission of the manuscript means that the authors automatically agree to assign exclusive copyright to the Latvia University of Agriculture if and when the manuscript is accepted for publication. The work shall not be published elsewhere in any language without the written consent of the Latvia University of Agriculture.

The manuscript, two copies, should be printed out with standard-size (12 points) letters, the font *Times New Roman* or equivalent, on one side of good white paper of A4 format, with margins of at least 25 mm and left-hand margin – 30 mm. 1.5 line spacing should be throughout, including references, tables, figures, and footnotes. Reviews should not exceed 20 pages, original papers – 15 pages, and short communications – 6 pages. The pages should be numbered throughout, including tables and figures. The structure of original paper should be arranged in the following succession:

Title should reveal precisely, in a few words, the subject matter in the shortest possible form; the **Author**, or authors, should type their full names, followed by the names of the department and institution where the investigation was conducted, including a complete postal address. Co-authors from other departments or institutions should be named in the sequence of authorship. The telephone number and e-mail of the corresponding author should be provided; **Abstract** is in one paragraph – 230–250 words should adequately summarize the essential findings described in the paper; **Key words** – not more than five, should be presented in a separate line; **Introduction** outlines the purpose, scope and methods of the investigation and its relation to other research in the same field; **Materials and Methods** should be described in detail, so that one might follow the procedures. Standard laboratory procedures should be mentioned only, but reference citation is necessary; **Results** are presented in textual, tabular, or figure form. Data analysis, plausibility and certainty criteria should be added; **Discussion** provides interpretation of the

results. One should not avoid discussion of controversial or unsettled points or of data obtained by the authors, or any evidence for drawing **Conclusions**; those whose role is limited to providing materials, financial support or review should be recognized in the **Acknowledgements** section of the paper; **References**, when cited in the text, should be written as follows: (Carrey, 1989; Hahey, Senseman et al., 2002; Naturalizing ..., 2007). In the list at the end of the manuscript, they should be arranged in alphabetical order and each reference should be described as in the following examples: **journal article** – Hahey, R., Senseman, S., Krutz, L., Hons, F. (2002) Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosphate. *Biol. Fertil. Soils*, 35, 35–40; **a book** – Chard, T. (1995) *An Introduction to Radioimmunoassay*. Amsterdam, Elsevier, 534 pp.; **chapter from a book** – Carrey, E. A. (1989) Peptide mapping. In: *Protein Structure*. Ed. T.E. Creighton. Oxford, ILR Press, 191–224; **INTERNET resources** – Naturalizing with flower bulbs: <http://www.flower-gardening-made-easy.com/naturalizing.html> – Accessed on November 20, 2010.

Tables and figures. Tables should be intelligible by them, without reference to the text. Table headings should be concise and should adequately represent the subject matter and be part of the table. Footnotes to the tables should be placed on the same page and designated by superscripts ¹, ², etc. Graphs, diagrams, drawings and photographs are considered as figures. Both tables and figures should be numbered with Arabic numerals in the order of appearance in the text and typed on separate pages at the end of the manuscript. Font size in tables and figures – 10 points or smaller. Equations should be written in *MS Equation* program or similar, graphs and diagrams – in *Excel* or another graphic creation – editing program, without toning in background, and in black-and-white version.

Units of measurement and abbreviations. Use of the International System of Units (SI) is required. In decimals, use the decimal point, not the comma. In the text and tables, use the minus exponential (e.g. g m⁻²) instead of a slash, and use SI abbreviations. The conventional designation of the authority of a binomial scientific name of organism should be added the first time the name is introduced in the main text.

Paper submission. Authors are encouraged to provide the final version of accepted manuscripts as a hard copy and electronically, e.g. by e-mail.

Scrupulous adherence to these instructions can speed up publication.

Address of the Editorial Board:

LLU Raksti
Lielā iela 2, Latvia University of Agriculture
Jelgava, LV-3001, Latvia
phone: +371-630 05671; fax: +371-630 05685;
e-mail: Inga.Skuja@llu.lv

LLU Raksti Nr. 26 (321)
Atbildīgais redaktors Aldis Kārklīšs
Iespēsts SIA “Drukātava”
Liliju iela 95/1, Mārupe