

## MIKROORGANISMU IZMANTOŠANA RAŽĪBAS PALIELINĀŠANAI BIOĻĒGSKAJĀ UN KONVENCIŅĀLAJĀ LAUKSAIMNIECĪBĀ APPLICATION OF MICRO-ORGANISMS FOR INCREASING YIELD IN ORGANIC AND CONVENTIONAL AGRICULTURE

Simona Larsson<sup>1</sup>, Vivita Viksniņa<sup>1,2</sup>, Larisa Černova<sup>3</sup>, Veneranda Stramkale<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SIA „Bioefekts”, <sup>2</sup>Latvijas Lauksaimniecības universitātes Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultāte, <sup>3</sup>Latgales lauksaimniecības zinātnes centrs

<sup>1</sup>simona.larsson@bioefekts.lv; <sup>1,2</sup>viksniņa.vivita@gmail.com; <sup>3</sup>llzc.vilani@gmail.com

**Abstract.** *The overarching goal of the EU Green Deal, launched in December 2019, is to make the EU the first climate-neutral continent by 2050, leading to a cleaner environment, more affordable energy, smarter transport, new jobs and a better quality of life in general. The Green Deal aims to reduce the use of plant protection products by 50% and the use of fertilizers by 20%, reducing the overall reduction in soil pollution by 50%. Such transformation will require a new approach and broad coordination between all agricultural stakeholders and new, sustainable innovations based on the latest scientific discoveries and new technologies and agricultural enterprises. Today's environmentally friendly solutions are the result of interdisciplinary collaboration that combines the knowledge and solutions of microbiology, agronomy and economics, including green and circular economics. The Latvian Agricultural Development Program defines grain growing as one of the priority agricultural sectors in the country. Several tasks have been set for the development of this sector, where one of the main goals of improving cultivation technology is to obtain a higher grain yield with appropriate quality. In connection with these objectives, a study was carried out on the effectiveness of microbiological fertilizers in the biological and conventional farming system. Preparations of micro-organisms containing nitrogen-fixing and phosphorus-solubilizing bacteria and microscopic fungi *Trichoderma* spp. were used in the biological and conventional field. The pilot scheme was performed in 5 variants and 4 replicates. In the control variant (1), no microbiological preparations were used (in the biological field) or a full conventional treatment scheme (in the conventional field) was used. The seed and plant and treatment scheme of the seed material was used in the 2-5 variant. The obtained results show that by applying microbiological products, it is possible to obtain up to 21% higher wheat yield in organic grain growing, while in conventional farming - up to 15.5% higher yield. Thus, it is possible to reduce the doses of agrochemicals, while working in accordance with the goals of the Green Deal and gaining economic benefits.*

**Key words:** *Green Deal, microbiological fertilizers, innovations in agriculture, economic efficiency, wheat.*

### Ievads

2019. gada decembrī iesniegtā Eiropas Savienības Zaļā kursa visaptverošais mērķis ir šāds – ES līdz 2050. gadam jāklūst par pirmo klimatneitrālo kontinentu (Johnson *et al.*, 2021), tādējādi radot tīrāku vidi, pieejamāku enerģiju, viedāku transportu, jaunas darbavietas un kopumā labāku dzīves kvalitāti. Stratēģijas „No lauka līdz galdam” mērķis ir paātrināt mūsu pāreju uz ilgtspējīgu pārtikas sistēmu, kurai ir neitrāla vai pozitīva ietekme uz vidi, kas palīdzēs mazināt klimata pārmaiņas un pielāgoties to ietekmei, kas novērs bioloģiskās daudzveidības samazināšanos, un kas nodrošinās to, ka ikvienam ir pieejama pietiekama, droša, barojoša un ilgtspējīga pārtika. Lai īstenotu izaicinājumu ilgtspējīgi nodrošināt ar pārtiku 9 miljardus cilvēku līdz 2050. gadam, lauksaimniecības nozarei nāksies piedzīvot lielas pārvērtības. Būs nepieciešams uzturvielām bagāts ēdiens, kas ražots, izmantojot mazāk resursu. Zaļais kurss paredz samazināt augu aizsardzības līdzekļu lietošanu par 50%, minerālmēslu izmantošanu par 20%, samazinot vispārējo augsnes piesārņojumu par 50% (European Commission, 2020). Šādu pārmaiņu īstenošanai būs nepieciešama jauna pieeja un plaša koordinācija starp visām lauksaimniecībā ieinteresētajām pusēm un jaunas, uz ilgtspējību orientētas inovācijas, kas balstītas uz jaunākajiem zinātniskajiem atklājumiem, inovatīvām tehnoloģijām un lauksaimniecības produkciju ražojošiem uzņēmumiem. Šobrīd paredzami divi iespējamie risinājumi – lauksaimniecības digitalizācija un biotehnoloģiju izmantošana.

Digitālā lauksaimniecība tiek raksturota kā revolūcija, kas radīs pakāpeniskas pārmaiņas ekonomikā, uzlabojot efektivitāti un ilgtspēju, kā arī sekmēs ārkārtīgi nepieciešamo reģionālās un sociālās labklājības pieaugumu (Fleming *et al.*, 2021).

Biotehnoloģiskās inovācijas varētu samazināt bioloģiskās lauksaimniecības risku, kas saistīts ar ražas apjoma starpību, kas rodas, izmantojot integrēto vai bioloģisko lauku apstrādāšanas metodi. Kultūraugi pastāvīgi ir pakļauti patogēnu un kaitēkļu draudiem, savukārt sintētisko pesticīdu izmantošana bioloģiskajā lauksaimniecībā ir aizliegta (Purnhagen, *et al.*, 2021). Lai gan modernās biotehnoloģijas ir spēcīgi orientētas uz augu DNS izmaiņām, nodrošinot augu ražības pieaugumu, izturību pret dažādām slimībām, plaši tiek veikti arī augsnes mikrobioma pētījumi. Lauksaimniecībā nozīmīgu mikroorganismu (piemēram, augu augšanu veicinošu mikroorganismu) izmantošana ir galvenā ekoloģiskā stratēģija integrētai lauksaimniecības praksei, piemēram, barības vielu nodrošinājumam, bioloģiskajai kontrolei, abiotiskā stresa (piemēram, sausuma, sāluma, smago metālu) mazināšanai, līdz minimumam samazināta agroķīmisko vielu lietojuma panākšanai lauksaimniecībā, kā arī ražīguma nodrošināšanai (Ma *et al.*, 2016). Baktērija *Azotobacter vinelandii*, kas spēja piesaistīt atmosfēras slāpekli 20–50 kg apjomā sezonā, ir dokumentēta daudzos zinātniskos pētījumos (Cheng, 2008) – atkarībā no pieejamā fosfora (P) un molibdēna koncentrācijas (Timmusk *et al.*, 2017). Augsnes parasti satur lielu daudzumu kopējā P dažādās, tostarp nešķīstošās, formās, piemēram, kalcija ( $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ), alumīnija ( $\text{Al}_3\text{PO}_4$ ) un dzelzs ( $\text{Fe}_3\text{PO}_4$ ) fosfāti. Diemžēl, salīdzinot ar citām galvenajām barības vielām, P ir visnekustīgākā un augiem nepieejamākā barības viela lielākajā daļā augšņu – pat tad, ja kopējais augsnes P saturs krietni pārsniedz augu vajadzības (400–1200 mg/kg) (Nosrati *et al.*, 2014). Fosfora šķīdināšana ar zemas molekulas organiskajām skābēm ir daudz pētīta un plaši pieņemta teorija. Dažādos pētījumos ir identificētas un kvantificētas organiskās skābes un noteikta to loma šķīdināšanā (Cheng, 2008). Šo funkciju veic noteiktas baktērijas, piemēram *Bacillus subtilis*. Šis process ietver mikrobu šūnu un to apkārtnes paskābināšanos, kā rezultātā P-joni tiek atbrīvoti no P-minerāla, H<sup>+</sup> aizstājot ar kalciju (Trivedi and Sa, 2008).

Pētījums tika veikts ar mērķi noskaidrot, vai mikrobioloģiskie līdzekļi varētu tikt izmantoti pašreizējā pārejas periodā, kad būs nepieciešams samazināt agroķīmijas patēriņu. Visos mikrobioloģiskajos preparātos izmantotās mikroorganismu grupas ir iegūtas, izolējot tās no Latvijas augsnes. To dabiskā attīstīšanās un vairošanās vide ir augsne, rizosfērā. Apvienojot mikroorganismu grupas vienā produktā, tiek veicināta šo mikroorganismu sinerģija. Kultūraugu mēslošana caur lapām, lietojot mikroorganismu producētās vielas – biostimulantus –, pozitīvi ietekmē ražu.

Saistībā ar Zaļā kursa un stratēģijas „No lauka līdz galdam” izvīzītajiem mērķiem tika veikts pētījums par mikrobioloģisko mēslošanas līdzekļu efektivitāti bioloģiskajā un konvencionālajā saimniekošanas sistēmā, lai noskaidrotu, vai, izmantojot mikrobioloģiskus organismus saturošus preparātus gan bioloģiskajā, gan konvencionālajā lauksaimniecībā, ir iespējams panākt līdzšinējos ražības rezultātus.

### **Materiāli un metodes**

Izmēģinājumā iekļauta vasaras kviešu šķirne ‘Robijs’, 4 atkārtojumos. Tika izmantoti SIA „Bioefekts” ražotie mikrobioloģiskie preparāti, to koncentrācija produktos ir  $10^9$  kvv/ml – trihodermins (*Trihoderma harzianum* 8-20, *Trihoderma viride* 1-5), subtimikss (*Trihoderma sp.*, *Bacillus subtilis*), vitmīns (*Azotobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*), azotobakterīns (*Azotobacter sp.*).

Izmēģinājumi tika veikti gan bioloģiskajā, gan konvencionālajā laukā.

Bioloģiskā lauka pētījuma uzskaites lauciņa lielums vienā atkārtojumā bija 16 m<sup>2</sup>, kopējā izmēģinājuma platība veidoja 820 m<sup>2</sup>. Izmēģinājums iesēts trūdainā podzolētā glejauksnē ar organiskās vielas saturu 3.3%. Augu barības elementu nodrošinājums augsnē bija šāds: kālijs ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 129 mg kg<sup>-1</sup>; fosfors ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 50 mg kg<sup>-1</sup>; magnijs (Mg) 448 mg kg<sup>-1</sup>; kalcijs (Ca) 1570 mg kg<sup>-1</sup>; bors (B) 0.6 mg kg<sup>-1</sup>; varš (Cu) 1.5 mg kg<sup>-1</sup>; mangāns (Mn) 149 mg kg<sup>-1</sup>; cinks (Zn) 0.5 mg kg<sup>-1</sup>; sērs ( $\text{S-SO}_4$ ) < 5.9 mg kg<sup>-1</sup>. Augsne – vāji skāba, tās reakcija – pH KCl 6.4. Priekšaugš – zaļmēslojums. Lauka sagatavošanas darbos ietilpa zaļmēslojuma iestrāde ar diskiem (10.07.2020, UNIA ARES 3TLP), rudens aršana (12.10.2020.) un kultivēšana divās kārtās (15.04.2021. Laumetris KLG-3,6 un 10.05.2021. Viking L5, 3H). Sēja veikta 2021. gada 11. maijā ar sējmašīnu SN-16. Izsējas norma šķirnei ‘Robijs’ noteikta, lai nodrošinātu 500 dīgstošu augu uz kvadrātmetru. Sējumu kopšana tika veikta ar kultivatoru Stars 2,2 (31.05., 11.06., 30.06., 09.07. un 02.08.2021.). Pilngatavību kviešu

šķirne 'Robijs' sasniedza no 9. augusta. Kviešu izmēģinājumu 10. augustā novāca ar graudu novākšanas kombainu Sampo 130.

Bioloģiskā laukā izmēģinājums ierīkots 5 variantos un 4 atkārtojumos. 1. variants – kontroles variants –, kurā netika izmantoti mikrobioloģiskie preparāti. 2.–5. variantā izmantotā sēklas materiāla un augu, augsnes apstrādes shēma, kā arī izmantotās mikrobioloģisko preparātu devas ir ietvertas 1. tabulā.

1. tabula / Table 1

**Vasaras kviešu šķirnes 'Robijs' izmēģinājumos lietotie SIA „Bioefekts” preparāti un to devas**

***Bioefekts Ltd. products and application rates used in field trials on summer wheat variety 'Robijs'***

N.p.k.	Veiktās darbības apraksts, mērķis	Datums	Pētījuma variants	Pētījumā izmantotais produkts, deva (1 t <sup>-1</sup> vai 1 ha <sup>-1</sup> )		
				azotobakterīns	vitmīns	trihodermīns + subtimikss
1.	Sēklas apstrāde (bio-kodne)	10.05.2020.	2.	-	1.5 l t <sup>-1</sup>	5 l t <sup>-1</sup> + 5 l t <sup>-1</sup>
			3., 4., 5.	5 l t <sup>-1</sup>	1.5 l t <sup>-1</sup>	5 l t <sup>-1</sup> + 5 l t <sup>-1</sup>
2.	Augsnes apstrāde pirms sējas (augsnas ielabošana)	11.05.2020.	2., 3.	5 l ha <sup>-1</sup>	-	5 l ha <sup>-1</sup> + 5 l ha <sup>-1</sup>
			4.	7.5 l ha <sup>-1</sup>	-	7.5 l ha <sup>-1</sup> + 7.5 l ha <sup>-1</sup>
			5.	10 l ha <sup>-1</sup>	-	10 l ha <sup>-1</sup> + 10 l ha <sup>-1</sup>
3.	Augu apstrāde - cerošanas sākumā BBCH 21 (cerošanas veicināšanai un profilaktiskai augu aizsardzībai)	07.06.2020.	2.	-	-	5 l ha <sup>-1</sup> + 5 l ha <sup>-1</sup>
			3.	5 l ha <sup>-1</sup>	1.5 l ha <sup>-1</sup>	5 l ha <sup>-1</sup> + 5 l ha <sup>-1</sup>
			4.	-	2.0 l ha <sup>-1</sup>	7.5 l ha <sup>-1</sup> + 7.5 l ha <sup>-1</sup>
			5.	-	2.0 l ha <sup>-1</sup>	10 l ha <sup>-1</sup> + 10 l ha <sup>-1</sup>
4.	10 dienas pēc BBCH 21 augu apstrādes (augu aizsardzībai)	17.06.2020.	2., 3.	-	-	5 l ha <sup>-1</sup> + 5 l ha <sup>-1</sup>
			4., 5.	-	-	7.5 l ha <sup>-1</sup> + 7.5 l ha <sup>-1</sup>
5.	BBCH 37, pirms parādās karoglapa (ražas kvalitātes uzlabošanai)	25.06.2020.	2.,3.	1.5 l ha <sup>-1</sup>	-	-
			4.,5.	2.0 l ha <sup>-1</sup>	-	-
6.	BBCH 51, pēc nepieciešamības (vārpas aizsardzībai)	05.07.2020.	2.,3.	-	-	5 l ha <sup>-1</sup> + 5 l ha <sup>-1</sup>
			4.,5.	-	-	7.5 l ha <sup>-1</sup> + 7.5 l ha <sup>-1</sup>

Konvencionālā lauka pētījuma uzskaites lauciņa lielums vienā atkārtojumā bija 20 m<sup>2</sup>, kopējā izmēģinājuma platība veidoja 860 m<sup>2</sup>. Izmēģinājums iesēts trūdainā podzolētā glejaugsnē ar organiskās vielas saturu 9.6%. Lauks drenēts, reljefs izlīdzināts, augsnes novērtējums – 48 balles. Augu barības elementu nodrošinājums augsnē bija šāds: kālijs (K<sub>2</sub>O) 183 mg kg<sup>-1</sup>; fosfors (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 199 mg kg<sup>-1</sup>; magnijs (Mg) 994 mg kg<sup>-1</sup>; kalcijs (Ca) 3289 mg kg<sup>-1</sup>. Augsne neitrāla, tās reakcija – pH KCl 7.3. Priekšaugi – ziemas kvieši. Priekšauga pamatmēslojumā lietots kompleksais minerālmēslojums YaraMila NPK(S) 9-12-25(7) – 3.0 c ha<sup>-1</sup>, papildmēslojumā amonija salpetris 4.4 c ha<sup>-1</sup>. Pamatmēslojumā pirms vasaras kviešu šķirnes 'Robijs' sējas izmantots kompleksais minerālmēslojums Yara Mila NPK (S) 18-11-13(7), deva 300 kg ha<sup>-1</sup>. Veģetācijas periodā N mēslojums lietots 4. jūnijā cerošanas fāzē N 90 kg ha<sup>-1</sup> ar YaraBela Sulfan 24-6. Sēklu apstrādes procesā, kas aprakstīts 1. tabulā, konvencionālajā laukā visos variantos papildus tika izmantots fungicīds Celest Trio 2 l t<sup>-1</sup>. Sēja veikta 2021. gada 11. maijā ar sējmašīnu SN-16. Izsējas norma šķirnei 'Robijs' noteikta, lai nodrošinātu 500 dīgstošu augu uz kvadrātmetru. SIA „Bioefekts” preparāti migloti 2021. gada 11. maijā, 7. jūnijā, 17. jūnijā un 25. jūnijā. Attiecīgi 1. jūnijā veikta kviešu miglošana ar herbicīdiem Banvel 0.2 l ha<sup>-1</sup> + Primus XL 0.75 l ha<sup>-1</sup>, insekticīdu

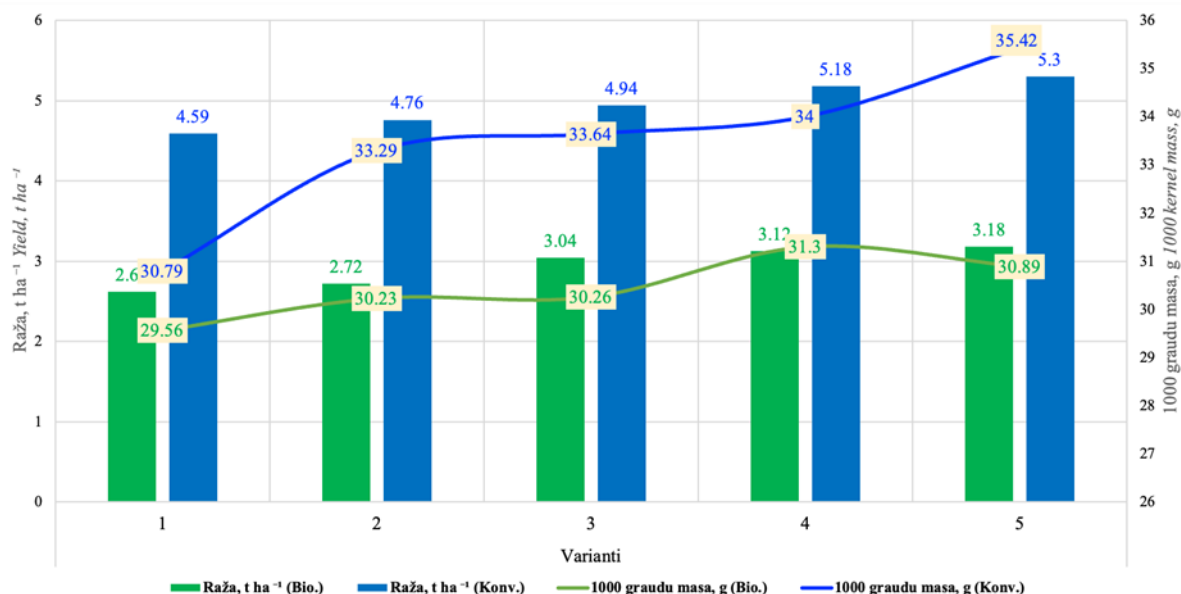
Fastac 50 0.3 l ha<sup>-1</sup> un 1. variantā (kontrolē) ar pretveldres preparātu Cikocels 750 1.0 l ha<sup>-1</sup>. 10. jūnijā tāpat 1. variantā īstenota miglošana ar fungicīdu Input 1.0 l ha<sup>-1</sup>, bet 1. jūlijā ar fungicīdiem Priaxor 0.5 l ha<sup>-1</sup> + Curbatur 0.5 l ha<sup>-1</sup>. 2.–5. variantā augu aizsardzības līdzekļi ir aizstāti ar SIA „Bioefekts” preparātiem. Jāpiebilst, ka 1. tabulā minētā augu apstrāde ar SIA „Bioefekts” preparātiem 5. jūlijā netika veikta.

Pilngatavību kviešu šķirne ‘Robijs’ sasniedza 13. augustā. Attiecīgi kviešu izmēģinājumu 20. augustā novāca ar graudu novākšanas kombainu Sampo 130.

1000 kviešu sēklas saskaitītas ar sēklu skaitītāju CONTADORE, nosvērtas ar precizitāti ± 0.001 g. Raža pārrēķināta pie standartmitruma 14%.

## Rezultāti

Analizējot iegūto vasaras kviešu šķirnes ‘Robijs’ graudu ražu bioloģiskajā un konvencionālajā laukā un 1000 graudu masu gan bioloģiskajā, gan konvencionālajā laukā, jāsecina, ka, izmantojot SIA „Bioefekts” produktus, iegūta arī augstāka graudu raža. Veicot ražas datu analīzi, iespējams secināt, ka iegūtais ražas pieaugums, lietojot SIA „Bioefekts” produktus, ir būtisks visos variantos, kur produkti izmantoti (2.–5. variantā). Lielākā atšķirība starp 4. un 5. variantu konstatēta preparātu Trihodermins, Subtimikss un Azotobakterīns devā augsnes apstrādei un pirmajam miglojumam (cerošanas stadijā).



1. att. Vasaras kviešu šķirnes ‘Robijs’ graudu raža atkarībā no SIA „Bioefekts” produktiem bioloģiskajā un konvencionālajā laukā. Kolonnas attēlo ražas datus, līnijas – 1000 graudu masu.

*Fig. 1. Spring wheat “Robijs” yield after “Bioefekts” Ltd. product use in organic and conventional trials. Bars represent the yield data, the lines – 1000 kernel mass data.*

Apkopojot pētījuma datus par bioloģiskā lauka kviešu ražu un tās atšķirību, salīdzinot ar kontroles variantu, respektīvi, 1. variantu un 2.–5. izmēģinājuma variantu, var secināt, ka kontroles variantā iegūtie ražas rādītāji ir 2.62 t ha<sup>-1</sup>, starpība starp 1. un 2. variantu ir 4% apmērā, attiecīgi 2. variantā iegūtā raža sasniedz 2.72 t ha<sup>-1</sup>. Savukārt 3. un 4. variantā ir vērojama būtiska atšķirība starp abiem variantiem un kontroles varianta rādītājiem – attiecīgi 16% un 19%. Vislielāko starpību uzrāda 5. variants salīdzinājumā ar 1. variantu – 21%. 5. varianta ražas rādītāji ir 3.18 t ha<sup>-1</sup>, kas ir uzskatāms par lielāko ražas pieaugumu. Konvencionālajā laukā 1. variants jeb kontroles variants sasniedza ražu 4.59 t ha<sup>-1</sup> apjomā. Kviešu raža 2. variantā ir par 4% augstāka nekā kontroles variantā. Savukārt 3. un 4. varianta dati atspoguļo ražas pieaugumu, kas ir par 8% un 13% vairāk salīdzinājumā ar kontroles variantu. Savukārt 5. variants uzrāda jau 15% ražas pieaugumu salīdzinājumā ar kontroles variantu.

1000 graudu masa bioloģiskajā laukā kontroles variantā ir 29.56 g, 2. un 3. variantā novērojams 2% pieaugums, 4. variantā – 6% pieaugums, 5. variantā – 4% pieaugums. 1000 graudu masu konvencionālajā laukā raksturo vienmērīga pieauguma tendence salīdzinājumā ar konvencionālo

kontroles variantu. 1000 graudu masa kontroles variantā ir 30.79 g, 2. un 3. variantā novērojams pieaugums par 8% un 9%, 4. un 5. variantā 1000 graudu masas pieaugums ir būtisks, tas ir par 10% un 15% augstāks, salīdzinot ar kontroles variantu.

Iegūtie rezultāti apliecina, ka bioloģiskajā graudkopībā iespējams iegūt līdz 21% augstāku kviešu ražu, savukārt saimniekojot konvencionāli, var sasniegt līdz 15% augstāku ražu. Izvērtējot ekonomisko efektivitāti, iespējams secināt, ka, ieviešot mikrobioloģiskos mēslojumus līdztekus konvencionāli lietotajiem mēslojumiem, ir iespējams samazināt agroķīmisko līdzekļu devas, vienlaikus strādājot saskaņā ar Zaļā kursa mērķiem un gūstot ekonomisko labumu.

### Secinājumi

1. Mikrobioloģisko preparātu izmantošana lauksaimniecībā atbilst Zaļā kursa mērķiem – samazināt minerālā mēslojuma un sintētisko augu aizsardzības līdzekļu izmantošanu.
2. Lietojot mikrobioloģiskos produktus esošajā augu audzēšanas tehnoloģijā, iespējams palielināt graudaugu ražību.
3. Konvencionālajā lauksaimniecībā mikrobioloģisko preparātu izmantošana var samazināt un daļēji aizstāt lauksaimniecībā izmantoto ķīmisko preparātu lietošanu, taču nepieciešams pētījumus turpināt.
4. Ņemot vērā ievērojamo minerālā mēslojuma cenu kāpumu un ģeopolitisko situāciju 2022. gadā, mikrobioloģisko preparātu lietošana var būt arī ekonomiski izdevīga.

### Izmantotā literatūra

1. Cheng, Q. (2008). Perspectives in biological nitrogen fixation research. *J. Integr. Plant Biol.* 50, p. 786–798.
2. Fleming, A., Jakku, E., Fielke, S., Taylor, B. M., Lacey, J., Terhorst, A., & Stitzlein, C. (2021). Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. *Agricultural Systems*, 190(March), 103120. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120>.
3. Johnson, C., Ruiz Sierra, A., Dettmer, J., Sidiropoulou, K., Zicmane, E., Canalis, A., Llorente, P., Paiano, P., Mengal, P., & Puzzolo, V. (2021). The Bio-Based Industries Joint Undertaking as a catalyst for a green transition in Europe under the European Green Deal. *EFB Bioeconomy Journal*, 1(March), 100014. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2021.100014>.
4. Ma, Y., Oliveira, R. S., Freitas, H., and Zhang, C. (2016). Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. *Front. Plant Sci.* 7:918.
5. Nosrati, R., Owlia, P., Sadari, H., Rasooli, I., and Ali Malboobi, M. (2014). Phosphate solubilization characteristics of efficient nitrogen fixing soil *Azotobacter* strains. *Iran. J. Microbiol.* 6, p. 285–295.
6. Purnhagen, K. P., Clemens, S., Eriksson, D., Fresco, L. O., Tosun, J., Qaim, M., Visser, R. G. F., Weber, A. P. M., Wesseler, J. H. H., & Zilberman, D. (2021). Europe's Farm to Fork Strategy and Its Commitment to Biotechnology and Organic Farming: Conflicting or Complementary Goals? *Trends in Plant Science*, 26(6), 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.012>.
7. Timmusk, S., Behers, L., Muthoni, J., Muraya, A., and Aronsson, A.-C. (2017). Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Front. Plant Sci.* 8:49.
8. Trivedi, P., and Sa, T. (2008). *Pseudomonas corrugata* (NRRL B-30409) mutants increased phosphate solubilization, organic acid production, and plant growth at lower temperatures. *Curr. Microbiol.* 56, p. 140–144.
9. European Commission. (2020). Farm to Fork Strategy. DG SANTE/Unit 'Food Information and Composition, Food Waste' 23. [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/f2f\\_action-plan\\_2020\\_strategy-info\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf).