



Latvijas
Lauksaimniecības
universitāte



Zemkopības ministrija



SusCrop – ERA-NET
Cofund on Sustainable Crop Production
FACCEJPI

ATSKAITE

par ZM subsīdiju projektu

Augu olbaltumvielu ražošanas produktivitātes un ilgtspējības palielināšana Eiropā

Projekta vadītāja

Ina Alsiņa

Dr. biol., prof.

Jelgava

2021

Projekta izpildītāji

Ina Alsiņa	Vadošā pētniece, Dr, biol.
Laila Dubova	Pētniece, PhD
Zinta Gaile	Vadošā pētniece, Dr. agr.
Biruta Bankina	Vadošā pētniece, Dr. biol.
Gunita Bimšteine	Vadošā pētniece, Dr. agr.
Jānis Kaņeps	Mg.agr., doktorants

Satura rādītājs

IEVADS.....	4
1. Lauka pupu šķirņu izvērtējums.....	6
2. Optimāla menedžmenta izpēte.....	9
2.1. Sējas laika izvēle.....	9
2.2. Mikrosimbiontu izmantošana lauka pupu audzēšanā.....	11
2.3. Lauka pupu slimību un to ierobežošanas izvērtējums	14
3. Ražu ietekmējošo faktoru analīze.	17
3.1. Inokulācijas ietekme uz Latvijā audzēto lauka pupu un sojas minerālelementu sastāvu.....	17
3.2. Nedestruktīvo metožu izmantošana inokulācijas efektivitātes novērtēšanā.....	19
4. Projekta koordinācija un zināšanu popularizēšana.....	24
SECINĀJUMI.....	25
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	27
PIELIKUMI.....	29

IEVADS

Pākšaugiem ir būtiska loma proteīna nodrošināšanā cilvēka pārtikā un dzīvnieku barībā, kā arī vides ilgtspējas nodrošināšanā. Pākšaugu audzēšanas palielināšana nodrošinātu Eiropas pašpietiekamību proteīna apgādē, dažādotu lauksaimniecības ražošanas sistēmas, samazinātu minerālmēslu un pesticīdu lietošanu, samazinātu siltumnīcu gāzu emisiju, novērstu lauksaimniecībā izmantojamo zemju degradāciju, novērstu bioloģiskās daudzveidības samazināšanos. Neraugoties uz šiem ieguvumiem, pākšaugu ražošanas apjomi Eiropā vēl joprojām ir zemi, daļēji nepietiekamās pākšaugu selekcijas un suboptimālās lauksaimniecības prakses dēļ, un nepietiekamām zemnieku zināšanām. Pilnīgāka pākšaugu potenciāla izmantošana, ņemot vērā klimata pārmaiņas, nodrošinātu pārtiku ar pilnvērtīgām olbaltumvielām. Projekts LegumeGap identificē pupu un sojas šķirņu potenciālu, skaidro optimālo lauksaimniecības praksi un apzina lauksaimnieku zināšanas pākšaugu ražas un proteīna ieguvei, samazinot klimata izmaiņu izraisīto ražas svārstīgumu un proteīnu iztrūkumu Eiropas Savienības līmenī, optimizējot pākšaugu ražošanas ekoloģisko potenciālu.

Projekts fokusējas uz pupām un soju, kā pākšaugiem ar pieaugošu popularitāti, plašām adaptācijas spējām un augstu proteīna saturu sēklās. Lai novērtētu biofizikālo un sociālekonomiskos ierobežojumus un to savstarpējo mijiedarbību, tiek izmantota sistēmisko pieeja. Novatoriskais, dažādu metodisko pieeju apvienojums (modelēšana, lauka eksperimenti, liela mēroga lauksaimnieku aptauja un datu analīze) ļauj noteikt divu projektā izmantojamo kultūraugu ražošanas potenciālu un ieteikt veidus kā šo potenciālu maksimāli izmantot un palielināt.

Projekts tiek izstrādāts trīs gadu garumā, bet, ņemot vērā ES ieinteresētību šī projekta realizēšanā, ir **iegūts akcepts šī projekta turpināšanai 2022. gadā.**

Projekta mērķis ir analizēt un definēt lauka pupu un sojas produktivitāti noteicošos faktorus.

Mērķa realizācijai izvirzītie uzdevumi:

- Ar modelēšanas palīdzību novērtē divu pākšaugu ražas potenciālu un vides apstākļu ietekmi, tādējādi ļaujot izstrādāt ražošanas rekomendācijas, ko varētu ekstrapolēt visas Eiropas Savienības līmenī.
- Analizē dažādu Eiropā sastopamo šķirņu potenciālu, raksturojot pupu un sojas ģenētisko materiālu. Skaidro šo šķirņu pielāgošanās spēju mainīga klimata apstākļiem.
- Tiek veidota optimāla pārvaldības prakse, kas balstīta uz literatūras studijām, ilgtermiņa eksperimentiem un jauniem pētījumiem, izmantojot sensorus un modernās informācijas un komunikācijas tehnoloģijas nedestruktīvām paraugu analīzēm.
- Analizē ražu ietekmējošos faktorus (klimats, šķirne, menedžments un zināšanu trūkums), lai novērstu ražas zudumus.

- Veikta liela mēroga lauksaimnieku aptauju astoņās Eiropas valstīs, lai pirmo reizi noskaidrotu lauksaimnieku zināšanu ietekmi uz atšķirībām starp potenciālo un reālo ražu.
- Projekta rezultātu ietekmi skaidro, izmantojot efektīvu saziņu un datu izplatīšanu.

Projekta LegumeGap realizācijā iesaistīti desmit partneri no astoņām valstīm. Projekts balstās uz sinerģisku un metodoloģisku integrāciju ar fokusu uz selekciju, menedžmentu un zināšanu izplatību par divu produktīvāko pākšaugu – pupu un sojas kultivēšanas iespējām. Projekts aptver visus Eiropas agroklimatiskos reģionus, vides un sociālekonomiskās iespējas, tādējādi palielinot pākšaugu produkcijas potenciālu Eiropā, veicinot pākšaugu iekļaušanu lauksaimniecības sistēmās, veicinot ilgtspējību attīstību globālo pārmaiņu kontekstā.

Latvijas partneri ir pilnībā integrējušies projekta pētnieku grupā un fokusējas uz pupu produktivitāti ietekmējošo faktoru skaidrošanu.

1. Lauka pupu šķirņu izvērtējums

Veikta pupu šķirņu ražības, proteīna satura un proteīna ražas izvērtējums. Datu izvērtējumā iekļauti dati no Vaidavas pagasta zemnieku saimniecības, LLU mācību un pētījumu saimniecības “Pēterlauki” un Agroresursu un ekonomikas institūta zinātnisko atskaišu dati. Dati ievākti laika posmā no 2016. gada līdz 2020. gadam. Lai samazinātu veģetācijas perioda un pētījumu vietas ietekmi, katrai izmēģinājuma vietai aprēķināts šķirnes novērtējums (ŠN).

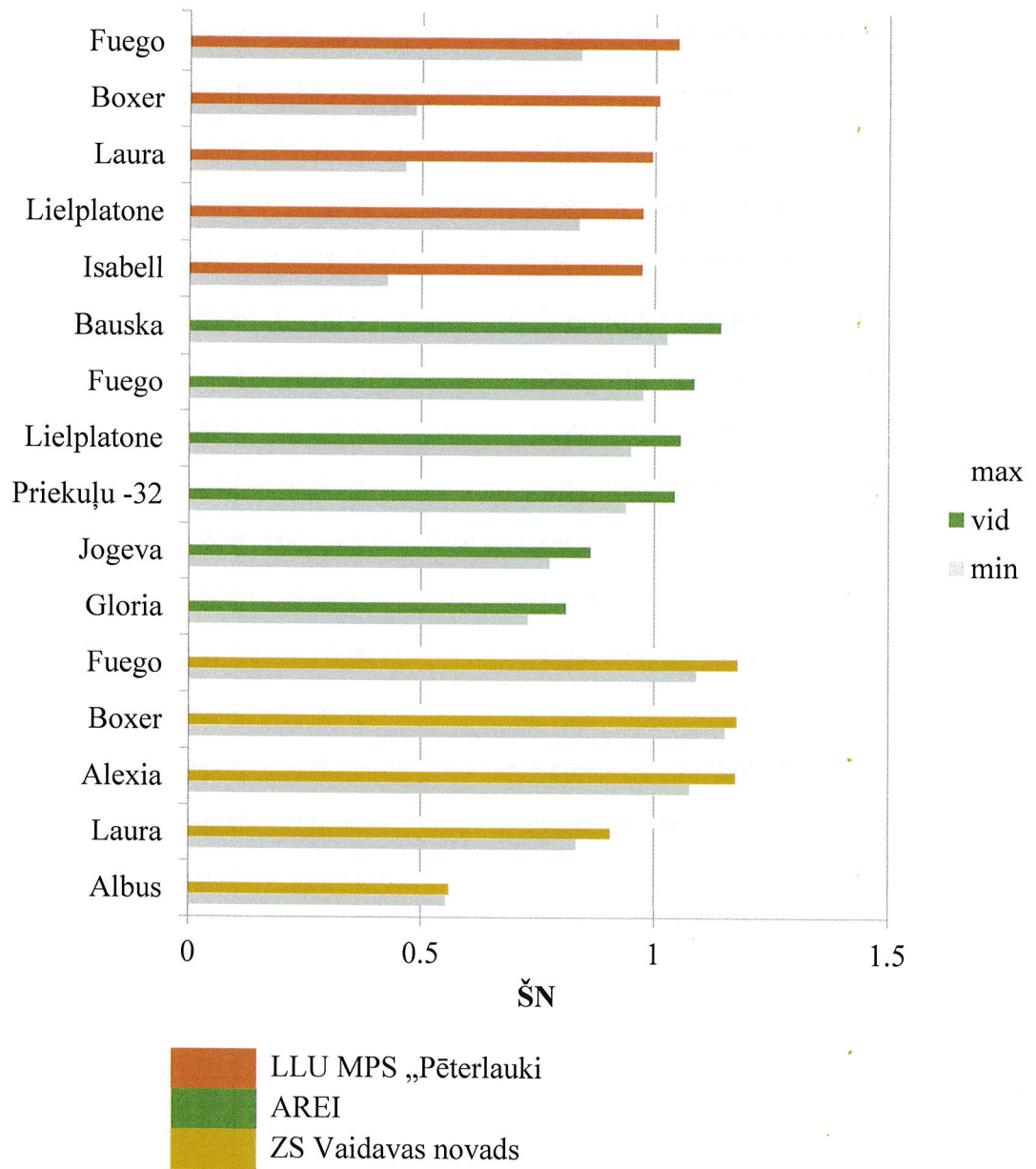
$$\text{ŠN} = \frac{X_i}{X_v} \quad (1)$$

kur X_i - pētāmās šķirnes parametrs konkrētajā izmēģinājuma vietā
 X_v - konkrētās vietas vidējais pētāmo šķirņu parametru novērtējums

Izmēģinājumos noskaidrots, ka katrā audzēšanās vietā un katrā veģetācijas periodā **pupu ražas** atšķirās. Jāatzīst, ka tik augstas ražas kā Ziemeļkurzemes reģiona apstākļos¹ iegūt nav izdevies, bet kopumā likumsakarības saglabājas. Kā ražīgākās pupu šķirnes var minēt ‘Alexia’, ‘Bauska’, ‘Fuego’ un ‘Boxer’ (1. attēls). Ražīgākajām šķirnēm raksturīgas arī vislielākās svārstības pa izmēģinājumu gadiem un, ja novērtē dažādas šķirnes ilgākā laika periodā, tad atšķirības starp atsevišķām šķirnēs izlīdzinās, kas liecina par to, ka būtiski katra šķirne savu potenciālu var parādīt noteiktos agroklimatiskajos apstākļos, un faktiski ir jāizvēlas vietējiem apstākļiem piemērotas, varbūt pat Latvijā selekcionētas, pupu šķirnes. 1. attēlā redzams, ka visas Latvijā selekcionētās šķirnes ir uzrādījušas būtiski labākus ražību nekā ‘Jogeva’, kura selekcionēta Igaunijā un ‘Gloria’, kura selekcionēta Zviedrijā.

LLU mācību un pētījumu saimniecībā “Pēterlauki” pierādās, ka pupu ražu visvairāk ietekmē veģetācijas perioda gaita. Parādās būtiska mijiedarbība starp veģetācijas periodu un šķirni, bet vidēji piecos veģetācijas periodos atšķirības starp šķirņu ražību izlīdzinās.

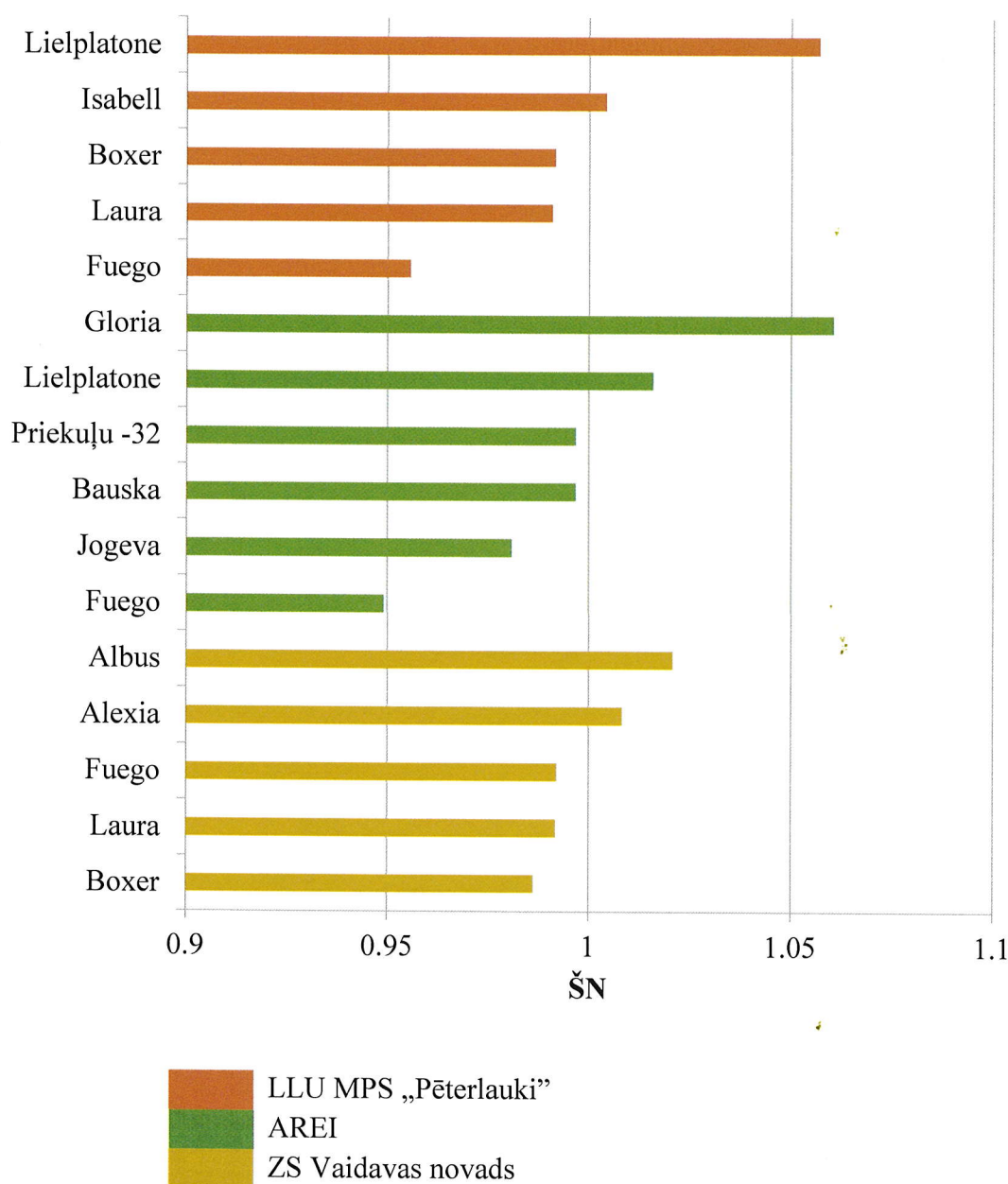
¹ https://www.arei.lv/sites/arei/files/2017-12/ZM%20P%C4%81k%C5%A1augi%202017%20LLU_0.pdf



1. attēls. Pupu šķirņu ražas vērtējums.

Proteīna saturs pupu sēklās.

Pupas ir labs proteīna avots. Likumsakarīgi, jo vairāk proteīna būs pupās, jo mazāk tās būs jāizēdina dzīvniekam, lai nodrošinātu tā vajadzības pēc proteīna. Dažādās vietās veiktie izmēģinājumi liecina, ka proteīna saturs pupās ir ģenētiski noteikts un to salīdzinoši maz ietekmē ārējās vides apstākļi. Ar augstāku proteīna saturu nekā vidēji izmēģinājumu vietā, raksturojas tādas pupu šķirnes kā 'Gloria', 'Lielplatone', 'Albus' un 'Aleksia' (2.att.)



2. attēls. Pupu šķirņu proteīna satura vērtējums.

Dati liecina, ka, aprēķinot proteīna ražu, lielāka ietekme ir šķirnes ražībai, nevis proteīna saturam sēklā.

2. Optimāla menedžmenta izpēte.

2.1. Sējas laika izvēle

Izvēloties piemērotu sējas laiku un izsējas normu var samazināt dažādu biotisko un abiotisko faktoru ietekmi uz augu augšanu un attīstību (Bonelli et. Al, 2016). Lauka pupām ir novērota izteikta sējas laika ietekme uz auga fenoloģiju un ražas formēšanos. Lauka pupām ir zema ziedu un pākšu attiecība, vidēji tikai katrs piektais zieds veido pāksti, tādēļ ir būtiski samazināt nelabvēlīgo faktoru ietekmi augu augšanas un ziedēšanas laikā (Alharbi, Adhikari, 2020).

Veicot Latvijas zemnieku aptauju noskaidrots, ka zemnieki uzskata, ka galvenie ražu ietekmējošie faktori ir sēšanas laiks, sējas dziļums, izsējas norma, slimību un kaitēkļu ierobežošana (Klūga, 2020).

Latvijā lauka pupu sēja bieži tiek uzsākta pēc iespējas agrāk, pat marta beigās. Zemnieki to skaidro ar ūdens pieejamību augsnē un lauka pupu izturību pret pazeminātām temperatūrām, un arī lauku darbu sadalījumu.

Veikti pētījumi, lai noskaidrotu sēšanas laika ietekmi uz lauka pupu ražu. Sējas laiki atspoguļoti tabulā (Ļapsenkova, 2018). Izmēģinājumi pierāda, ka neskatoties uz dažādajiem sējas laikiem, visas lauku pupa jūlija pirmajā dekādē ir sasniegušas ziedēšanas fāzi (1. tabula). Tas, ka lauka pupu vēla sēja saīsina laika posmu no sadīgšanas līdz ziedēšanas sākumam, pierādās arī citu pētnieku darbos. (Landry et al., 2016)

1. tabula

Sējas laika ietekme uz lauku pupu šķirnes 'Boxer' augu ontogēnēzi Bauskas novada ZS „Gali”.

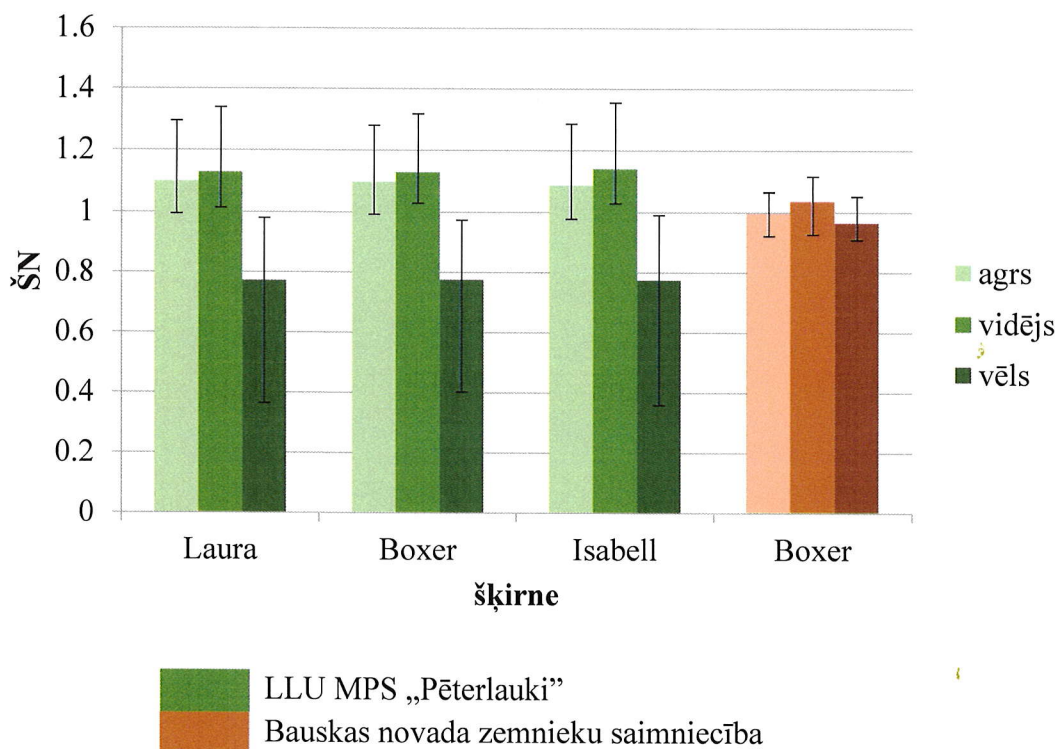
Mēnesis	Aprīlis			Maijs			Jūnijs			Jūlijs			Augusts			Sept.	
sēja \dekāde	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
agra		s		d	d	v	v	p	p/z	z	a	a	a	a	a	a	n
vidēja			s		d	v	p	p/z	z	z	a	a	a	a	a	a	n
vēla					s	d	v	p	p/z	z	a	a	a	a	a	a	n
agra		s		d	d	v	v	p	p/z	z	a	a	a	a	a	a	n
vidēja			s		d	v	p	p/z	z	z	a	a	a	a	a	a	n
vēla					s	d	v	p	z	z	a	a	a	a	a	a	n

Apzīmējumi: s-sēja, d-dīgsti, v-veģetatīvā augšana, p-pumpurošanās, z-ziedēšana, a – pākstu attīstība, n-novākšana

Neskatoties uz to, ka vēlāk sēti augi uzsāk ziedēšanu vienlaicīgi ar agrāk sētajiem, tiem varētu būt mazāka veģetatīvā masa un tādējādi tas var atstāt iespaidu uz ražas potenciālu. Divu vairākgadīgu pētījumu rezultāti atspoguļoti 3. attēlā. LLU MPS „Pēterlauki” atkarībā no izmēģinājuma gada sēja ir bijusi „vēla” no 17. aprīļa līdz 8. maijam. (Plūduma-Pauniņa et al., 2021). Abos pētījumos pierādās meteoroloģisko apstākļu būtiska ietekme konkrētajā pētījumu gadā. Ļoti nozīmīga ir arī augsnes ietekme, jo tā nosaka gan augsnes iesilšanas spēju, gan ūdens saturu tajā.

Abi pētījumi pierāda, ka novēlota sēja samazina pupu ražu neatkarīgi no šķirnes. Vēlāk sētajiem augiem novēro pa gadiem arī lielāku datu izkliedi. Tas sakrīt

ar Bonelli et al. (2020) secinājumu, ka piemērota sējas laika izvēle varētu būtiski samazināt dažu biotisko un abiotisko faktoru ietekmi uz augu produktivitāti.



3. attēls. Sēšanas laika ietekme uz pupu ražu.

Izmēģinājumos noskaidrots, ka agrais sējas laiks var samazināt 100 gumiņu masu, bet vienā no izmēģinājuma gadiem ziedēšanas fāzē konstatēta būtiski lielāka pupu vasas masa.

Turpretim vēla sēja būtiski samazinājusi pākstu skaitu uz viena auga un vienā no izmēģinājuma gadiem arī sēklu skaitu pākstī, kas liecina par problēmām apaugļošanās procesā (Lapsenkova, 2018).

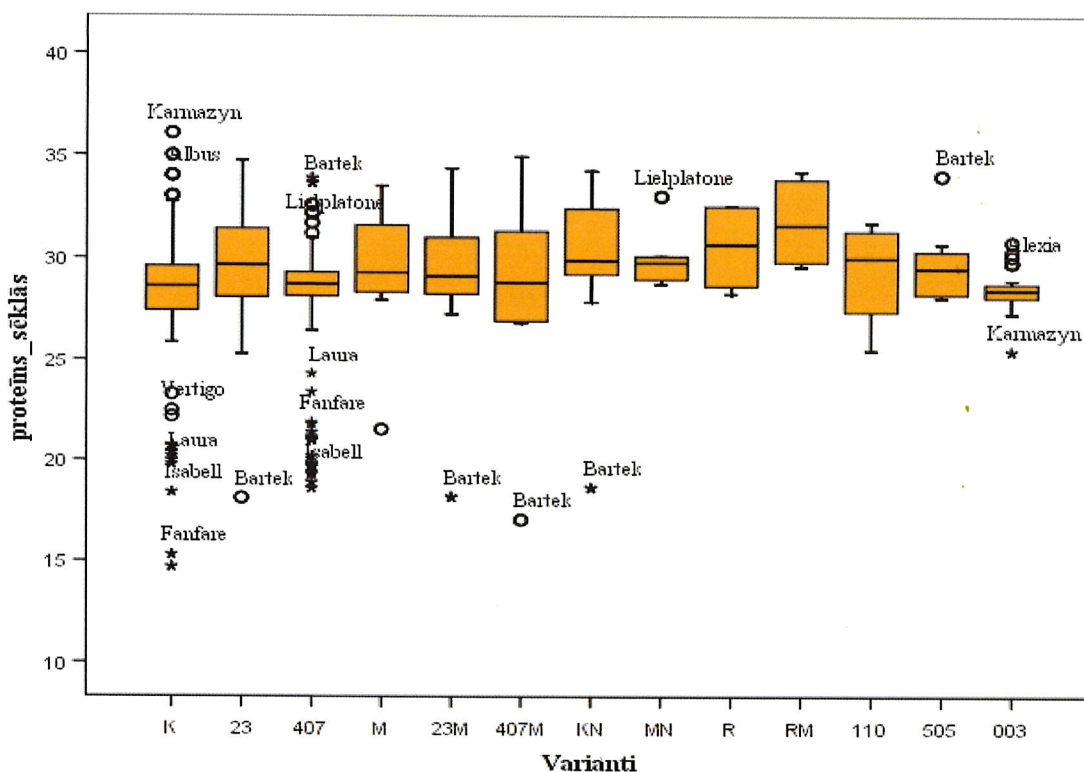
Abi pētījumi pierāda, ka lauka pupas labāk iesēt agrāk, jo tad ražas samazinājums būs statistiskās kļūdas ietvaros. Jāpiekrīt A. Klūgas secinājumam (2020), ka būtiska ir konkrētās vietas agroklimatisko un meteoroloģisko apstākļu ietekmei un, ka pētījumi būtu jāveic dažādos reģionos, vēl vairāk, katrā saimniecībā jāveic savi novērojumi, lai izvēlētos optimālo sējas laiku.

2.2 Mikrosimbiontu izmantošana lauka pupu audzēšanā

Pupu augšana un attīstība, to labvēlīgā ietekme uz dažādiem vides procesiem nebūtu iespējama bez simbiotisko mikroorganismu klātbūtnes. Pākšaugu audzēšanā rekomendē sēklu inokulēšanu ar gumiņbaktērijām. Inokulēšanu var neveikt, ja attiecīgajam kultūraugam atbilstošas baktērijas ir sastopamas augsnē. Ja izvēlēts audzēšanas reģionam tipisks kultūraugs, vai pākšaugi tiek audzēti regulāri, tā parasti arī ir. Tomēr, atkarībā no veiktajiem agrotehniskajiem pasākumiem un audzētajiem kultūraugiem, efektīvu gumiņbaktēriju saglabāšanās laiks augsnē ir atšķirīgs.

Mikrosimbiontu un pākšaugu mijiedarbība, kas nodrošina augam labvēlīgu augšanu un attīstību, veidojas noteiktu vides faktoru iedarbībā. Lai izveidotos efektīva simbioze (attiecības, kad labumu iegūst gan augs, gan baktērija vai sēne), vides faktoriem jāatbilst abu organismu prasībām. Augsnes apstākļi un nodrošinājums ar mikro- un makroelementiem ietekmē gan auga augšanu un attīstību, gan mikroorganismu aktivitāti. Augsnes īpašības ietekmē simbiozes veidošanās efektivitāti. Konstatēts, ka atšķiras ne tikai dažādu gumiņbaktēriju sugu, bet arī sēklu inokulēšanā lietoto baktēriju celmu aktivitāte. Būtiskākās atšķirības, vairumā gadījumu, novērojamas starp augsnēm ar atšķirīgu organiskās vielas saturu (Dubova, et al., 2016).

Iekārtojot izmēģinājumus dažādās audzēšanas vietās, lai novērtētu inokulācijai lietoto gumiņbaktēriju aktivitāti un ietekmi uz ražu, konstatēta augsnes apstākļu un šķirnes ietekme. Apkopojot vairāku veģetācijas periodu datus, var novērot mainīgu inokulācijas efektu uz pupu ražu un tās kvalitāti. Proteīna saturs ir nozīmīgs iegūtās ražas kvalitātes rādītājs. Salīdzinot dažādu inokulācijas variantu ietekmi uz proteīna uzkrāšanos sēklās, konstatēts, ka inokulētajos variantos vidēji proteīna saturs ir augstāks nekā kontrolē. Apkopojot visu analizēto šķirņu proteīna analīžu rezultātus (4.att.) redzams, ka lielākas svārstības ap vidējo vērtību inokulāciju variantos ar vienu atsevišķu mikrosimbiontu. Variantos, kur inokulātu veido atsevišķi gumiņbaktēriju celmi, vidējais proteīna saturs sēklās būtiski neatšķiras no dubultinokulācijas varianta ar mikorizas sēnēm. Proteīna saturu sēklās ietekmē ne tikai sēklu inokulēšanai lietotie mikroorganismi, bet arī audzēšanas apstākļi. Gumiņbaktēriju celmiem RP003, RV505 un RP110 bija konstatējams būtisks audzēšanas vietas ietekmes efekts. Pozitīva ietekme bija inokulātam, kura sastāvā iekļauti vairāki gumiņbaktēriju celmi (varianti R un RM). Tas mazina konkrētās audzēšanas vietas un vides apstākļu ietekmi uz gumiņbaktēriju aktivitāti un spēju veidot simbiozi ar pupām. Trīspusējās simbiozes pozitīvā ietekme uz proteīna uzkrāšanos sēklās arī lielāka bija variantā ar gumiņbaktēriju asociāciju (RM variants).



4. attēls.. Proteīna saturs (%) pupu sēklās dažādos inokulātu variantos.(Dubova, 2020):

K – kontrole- variants bez sēklu pirmssējas inokulācijas;

23, 407, 110, 505, 003 – varianti, kuros sēklas inokulētas ar attiecīgo gumiņbaktēriju celmu no LLU Augsnes un augu zinātņu institūta gumiņbaktēriju kolekcijas;

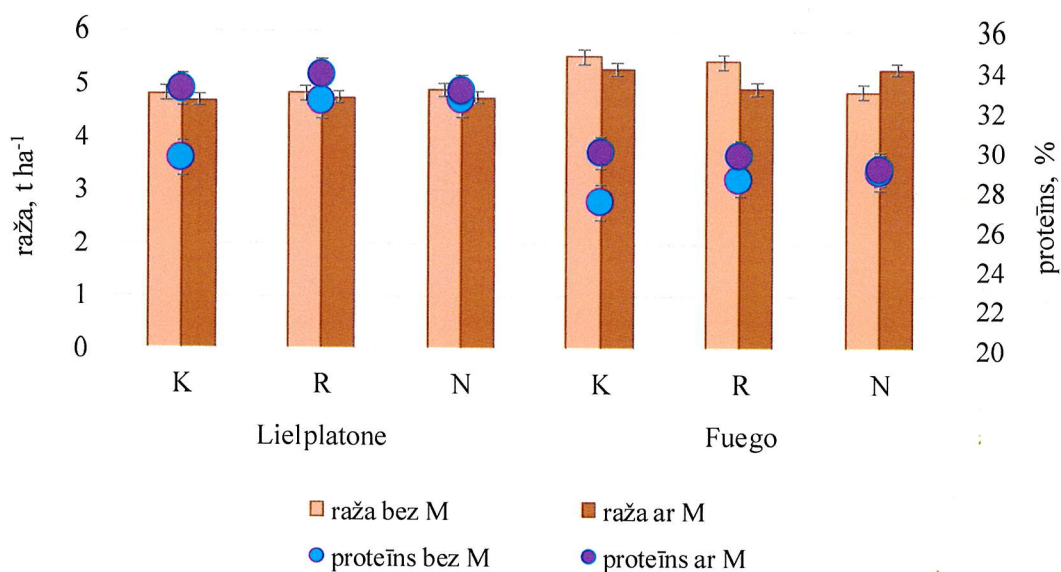
R- varianti, kuros sēklas inokulētas ar attiecīgo gumiņbaktēriju asociāciju;

*N – varianti ar papildus slāpekļa mēslojumu

M, *M, M* – varianti, kuros izmantotas mikorizas sēnes,

Izmēģinājumā, kurš iekārtots MPS „Pēterlauki” sēklu inokulēšanai lietota gumiņbaktēriju asociācija. Vērtējot ražu veidojošos komponentus konstatēts, ka izveidoto pākstu skaits būtiski neatšķirās ne starp šķirnēm, ne variantiem. Vidēji vienam augam izveidojās 12 – 16 pākstis. Atšķirās 100 sēklu masa starp variantiem, kuri bija inokulēti ar mikorizas sēnēm un neinokulētajos. Šķirnei ‘Lielplatone’ vidējā 100 sēklu masa bija 41.3 g, bet variantos, kur lietota inokulācija ar mikorizas sēnēm 42.9 g. Atšķirība statistiski būtiska ($p=0.02$, $RS_{0.05} = 1.32$).

Šķirnei ‘Fuego’ vidējā 100 sēklu masa bija 54.6 g, bet variantos, kur lietota inokulācija ar mikorizas sēnēm 57.0 g. Atšķirība statistiski būtiska ($p<0.001$, $RS_{0.05} = 0.79$). Proteīna saturs noteikts pupu lakstos ziedēšanas fāzē un sēklās. Statistiski būtiska atšķirība starp variantiem, kur sēklas inokulētas ar mikorizas sēnēm, bija tikai sēklās ($p<0.001$) (5.att.). Ziedēšanās fāzē lakstos proteīns vairāk veidojās variantos, kuros sēklas bija inokulētas.



5. attēls. Raža un proteīna saturs sēklās šķirnēm 'Lielplatone' un 'Fuego':

K – varianti bez inokulācijas ar gumiņbaktērijām; R – varianti, kuros sēklas inokulētas ar gumiņbaktērijām; N – varianti bez inokulācijas ar gumiņbaktērijām, bet ar papildus slāpekļa mēslojumu.

Pupu veģetatīvie parametri (lapu skaits, dzinum skaits) starp variantiem vairumā gadījumu būtiski neatšķirās. Starp parametriem, kuri izteiktāk varētu raksturot mikrosimbiontu ietekmi (lakstu masa un sausne, proteīna saturs lakstos un sēklās) atsevišķos izmēģinājumos varēja konstatēt arī būtisku atšķirību.

LLU LF Augsnes un augu zinātņu institūta gumiņbaktēriju kolekcijas baktēriju celmi uzrāda atšķirīgu aktivitāti un spēju veidot simbiozi ar pupām. No pārbaudītajiem baktēriju celmiem nevar izvēlēties vienu, kurš vienlīdz efektīvi darbotos dažādos vides apstākļos (Dubova, 2020).

Pozitīvi rezultāti iegūti lietojot gumiņbaktēriju celmu asociācijas, kas ļauj novērst viena atsevišķa baktēriju celma konkurētspējas un efektivitātes izmaiņas, ko var ietekmēt vides faktori un augsnes dabīgā mikrobiotas aktivitāte. (Dubova, 2020)

Dubultinokulācijas variantos var konstatēt simbiontu pozitīvu ietekmi uz augu ražu un tās kvalitāti, tomēr pozitīvā ietekme nebija konstatēta katrā veģetācijas periodā. Vairumā gadījumu izpaudās tikai pozitīva tendence. Lietderīgi atsevišķu gumiņbaktēriju celmu vietā lietot asociāciju. (Dubova, 2020)

2.3. Lauka pupu slimību un to ierobežošanas izvērtējums

Latvijā ir konstatēts, ka visnozīmīgākā slimība ir pupu lapu brūnplankumainība, ko ierosina *Botrytis* ģints sēnes – *B. fabae*, *B. cinerea*, *B. fabiopsis* un *B. pseudocinerea*, (Bankina et al. 2017). Lapu plankumainība, ko ierosina *Alternaria* spp. un *Stemphylium* spp. pēdējos gados tiek biežāk novērota, un tas liecina par šīs slimības izplatīšanos un postīguma palielināšanos (Sheikh et al. 2015; Vasićet al. 2019), un tā bieži konstatēta arī Baltijas reģionā (Plūduma-Pauniņa et al., 2019). Uz pupu lapām novērota arī neīstā miltrasa (ier. *Peronospora viciae*)), kā arī pupu rūsa (Bimšteine, Bankina, 2017; Brauna-Morževska et al., 2019; Kaņeps u.c., 2020). Pētījumos dažādās valstīs ir konstatēts, ka lauka pupu slimību ierobežošana nodrošina ražas pieaugumu un bieži arī ražas kvalitātes uzlabošanu.

Izmēģinājums veikts 2015. līdz 2019. gadam LLU MPS „Pēterlauki”. Ar divu nedēļu intervālu no slimības parādīšanās brīža līdz ražas novākšanai veikta slimību attīstības pakāpes novērtēšana 10 ballu skalā, kur

- 0- slimības simptomu nav;
- 1- 1–3 plankumi uz visa auga;
- 2- 4–6 plankumi uz auga;
- 3- līdz 10% no visa auga pārklāti ar plankumiem;
- 4- slimības skarta 11–25% no auga virsmas;
- 5- 26–50% no visa auga virsmas bojāta;
- 6- 51–75% no visa auga klāj plankumi;
- 7- 7: >75% no auga klāta ar plankumiem;
- 8- visas lapas pārklātas ar plankumiem;
- 9- 9: augs ir miris.

Noteikta AUDPC (*area under diseases progress curve*/laukums zem slimības progresā līknes) vērtība izmantojot vienādojumu

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \quad (2)$$

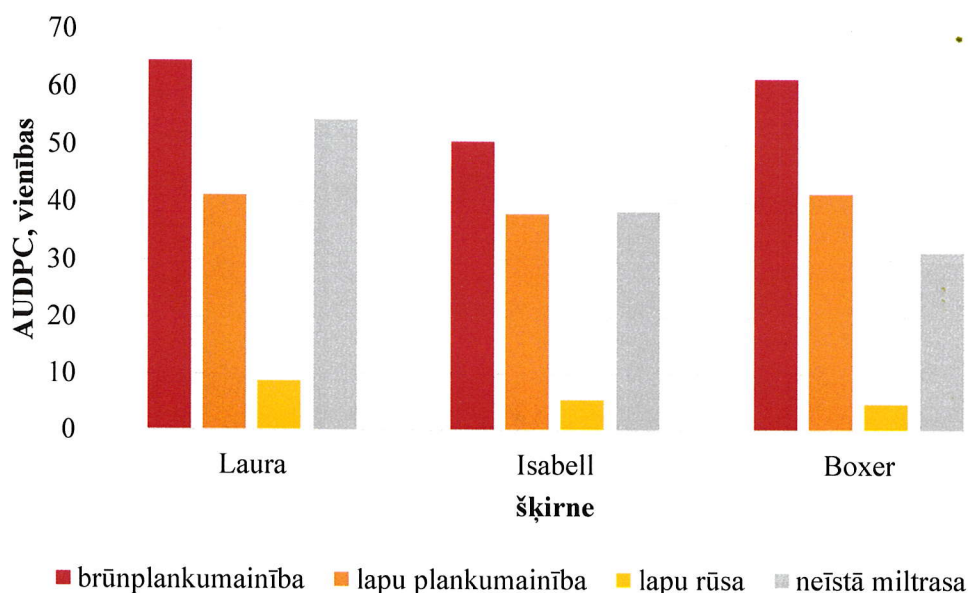
Kur Y- slimības attīstības pakāpe
t- novērojuma laiks dienās

Lapu brūnplankumainība uz pupu lapām konstatēta visos izmēģinājuma gados. Tipiski nelieli sarkanbrūni plankumi un /vai lieli nekrotiski laukumi ar sarkanbrūnām malām konstatēti uz lapām, stumbriem un pākstīm. Arī lapu plankumainība, ko ierosina *Alternaria* spp. un *Stemphylium* spp. un pupu rūsa konstatēta katru gadu. Neīstā miltrasa novērota tikai 2017. gadā.

Pirmie lapu brūnplankumainības un lapu plankumainības simptomi konstatēti jūnija sākumā pirms augu ziedēšanas, bet strauja slimību izplatība novērota ziedēšanas beigās, pākstu veidošanās sākumā. Lapu rūsa parādās pākstu veidošanās laikā.

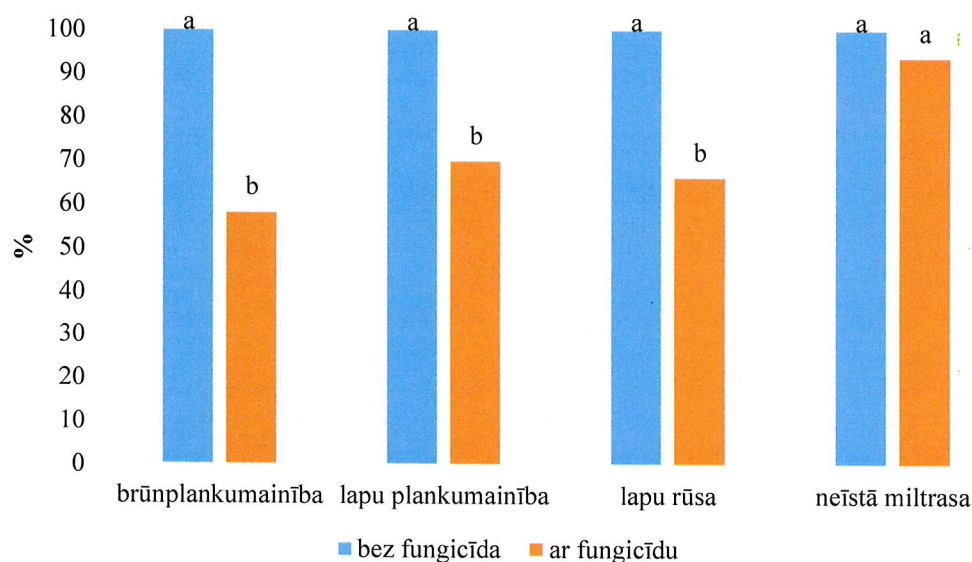
Izmēģinājumos noskaidrots, ka dažādu šķirņu pupas ir dažādi ieņēmīgas pret lapu slimībām. No pētītajām šķirnēm visizturīgākā pret lapu brūnplankumainību bija

‘Isabell’, bet pret neīsto miltrasu ‘Boxer’ (6.att.). Jāatzīst, ka jutība pret slimībām starp dažādām šķirnēm statistiski būtiski neatšķīrās.



6. attēls. Dažādu šķirņu pupu slimību ieņēmība:

Fungicīdu kombinācija (boskalīds un piraklostrobīns) nodrošināja daļēju aizsardzību pret brūnplankumainību, lapu plankumainību un lapu rūsu vidēji (7. attēls). Efektivitāte bija atkarīga no gada un šķirnes, ar lielāku efektivitāti gados, kad slimības attīstības līmenis bija lielāks. Diemžēl šie fungicīdi nav piemēroti pret *Oomycota* nodalījuma mikroorganismiem (valsts *Chromista*), tāpēc arī to ietekme uz neīsto miltrasu netika novērota (Bankina et al., 2021).



7. attēls. Fungicīdu ietekme uz pupu lapu slimību izplatību

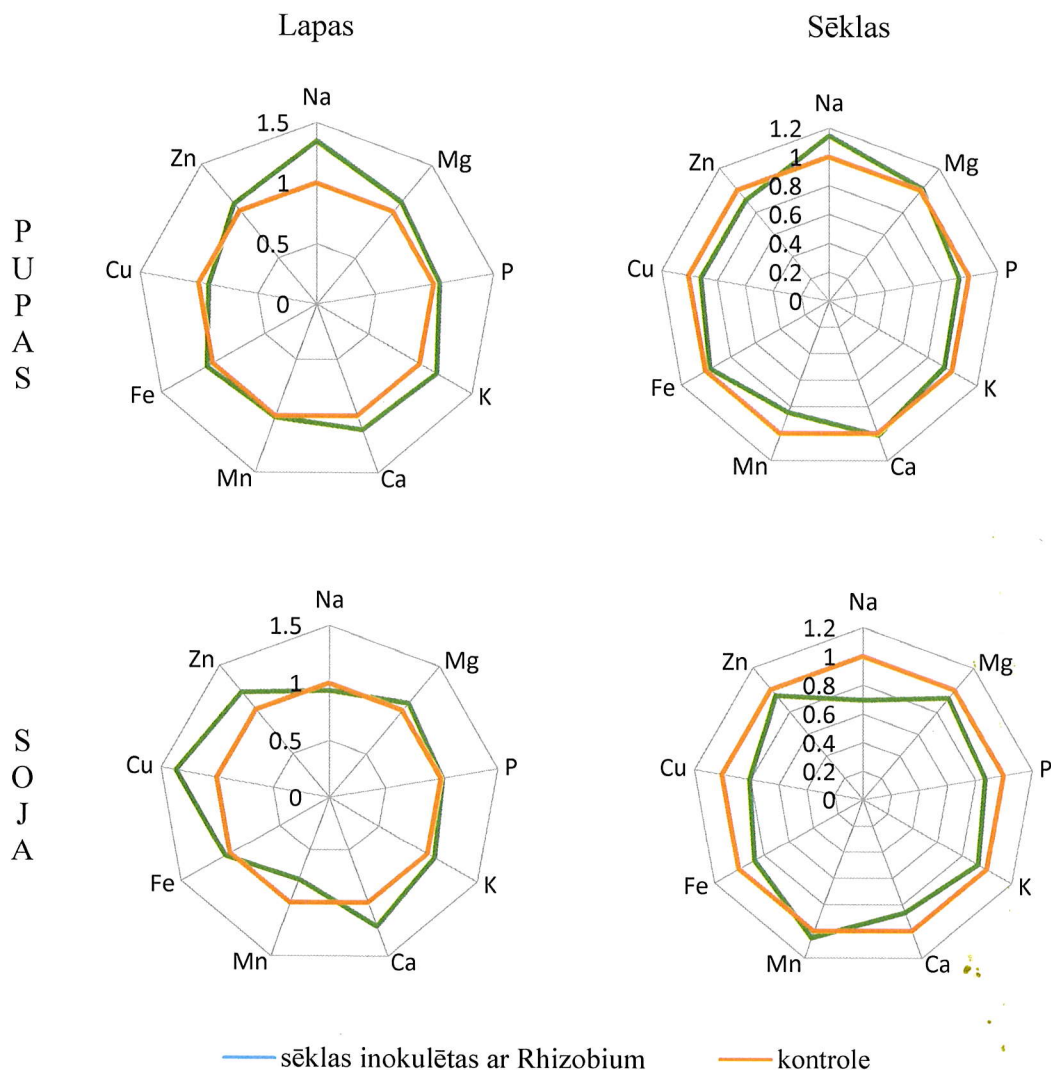
Eksperimenti parādīja, ka lapu plankumainība, ko izraisa *Alternaria/Stemphylium* ir nozīmīga slimība, kas pēc postīguma ir salīdzināma ar lapu brūnplankumainību. Tā ir kompleksa saslimšana, literatūrā ir pretrunīgi viedokļi par biežāk sastopamajām sugām. Latvijā nav identificētas pupu slimību ierosinātāju sugas ne *Alternaria*, ne *Stemphylium* ģintij, ir skaidrs, ka ir sastopamas vairākas sugas. Katram ierosinātajam ir savi temperatūras un mitruma optimumi, tādēļ būtu jāturpina pētījumi, par ierosinātāju sugu spektru, spektra atkarību no dažādiem apstākļiem un to bioloģiskajām īpatnībām, lai varētu izvēlēties optimālu ierobežošanas sistēmu, tajā skaitā fungicīdu izmantošanu. (Bankina et al., 2021).

3. Ražu ietekmējošo faktoru analīze.

3.1. Inokulācijas ietekme uz Latvijā audzēto lauka pupu un sojas minerālelementu sastāvu

Pētījums veikts sadarbībā ar Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultātes Analītiskās ķīmijas katedru. Minerālelementu sastāvs noteikts pupu un sojas lapās un sēklās, izmantojot saistītās plazmas masas spektrometrijas metodi (ICP-MS).

Izmēģinājumos noskaidrots, ka abi pākšaugi būtiski atšķiras pēc elementu atsevišķu elementu akumulācijas spējām. Tā pupas ļoti intensīvi akumulē nātriju, bet soja turpretim šo satur salīdzinoši nedaudz. Vidēji nātrija saturs sojas lapās ir 68 reizes mazāks nekā pupu lapās.



8. attēls. Sēklu pirmssējas inokulācijas ar gumiņbaktērijām ietekme uz minerālelementu saturu pupu un sojas lapās .

Izmēģinājumi pierādīja, ka sēklu pirmssējas inokulācija ar gumiņbaktērijām palielina minerālelementu saturu abu augu lapās. Izņēmumi ir tikai vara saturs pupu lapās un mangāna saturs sojas lapās, kur šo elementu ir mazāk nekā kontroles variantā. Inokulācija maz ietekmē dzelzs un fosfora saturu lapās, bet tomēr neliels šo elementu palielinājums ir novērojams (dzelzs saturs pupu lapās pieaudzis par 6,0 %, bet sojas lapās par 4.9 %, fosfora saturs attiecīgi par 4.7% un 1.0%). Visvairāk pieaudzis ir kālija saturs pupām par 16%, sojai par 6.8% un kalcija saturs attiecīgi par 12.0 un 21.9%. Šāds makro un mikroelementu pieaugums var veicināt fotosintēzes procesu augā un rezultēties paaugstinātā augu produktivitātē (8.att.).

Pretēji minerālelementu satura palielinājumam augu lapās augu sēklās novēro minerālelementu daudzuma samazināšanos. Izņēmumi ir tikai magnija un kalcija saturs pupās, kas attiecīgi nebūtiski ir palielinājies pupās attiecīgi par 1.8 un 1.2% un mangāna saturs sojas pupās – par 5.0%. Visu pārējo minerālelementu saturu sēklās ir samazinājies un jāpiezīmē, ka sojas pupās šis samazinājums ir bijis lielāks (8. attēls). No vienas puses šāds minerālelementu samazinājums uzskatāms par sēklu kvalitātes zaudējumu, bet tas pierāda, ka inokulācijas rezultātā gan pupās, gan sojā uzkrājas vairāk organiskās vielas, tajā skaitā proteīnu, kas ir galvenais šo sēklu barības vērtības kritērijs.

Eksperimentus šajā virzienā būtu interesanti turpināt.

3.2. Nedestruktīvo metožu izmantošana inokulācijas efektivitātes novērtēšanā

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Augsnes un augu zinātņu institūtā ir iekārtas, kuras ļauj noteikt no lapām atstarotās gaismas spektra izmaiņas. Pētījumos tika izmantots portatīvais lapu spektrometrs CI-710 Ltd CID Bio-Sciences, kurš ļauj noteikt lapu atstarošanās spektrus diapazonā no 360nm līdz 1100 nm. Ja izdotos sameklēt atstarošanas spektrus specifiskus reģionus, kas ļautu identificēt inokulācijas efektivitāti, tad nevajadzētu izmantot dārgās un videi nedraudzīgās ķīmiskās analīzes.

Izmēģinājumos tika iekļautas lauka pupas ‘Fuego’ un lielsēklu pupas ‘Karmazyn’, kuru sēklas pirms sējas inokulētas ar gumiņbaktēriju celmiem RL23 un RL407 no LLU Augsnes un augu zinātņu institūta Gumiņbaktēriju kolekcijas un papildus ar mikorizas sēņu preparātu.

Pēc atstarošanas spektru iegūšanas tika izrēķināti veģetācijas indeksi, kuri citu autoru darbos atzīmēti kā auga slāpekļa apgādes nodrošinājuma, karotīnu un fenolu satura indikatori un ūdens satura nodrošinājuma indikatori.

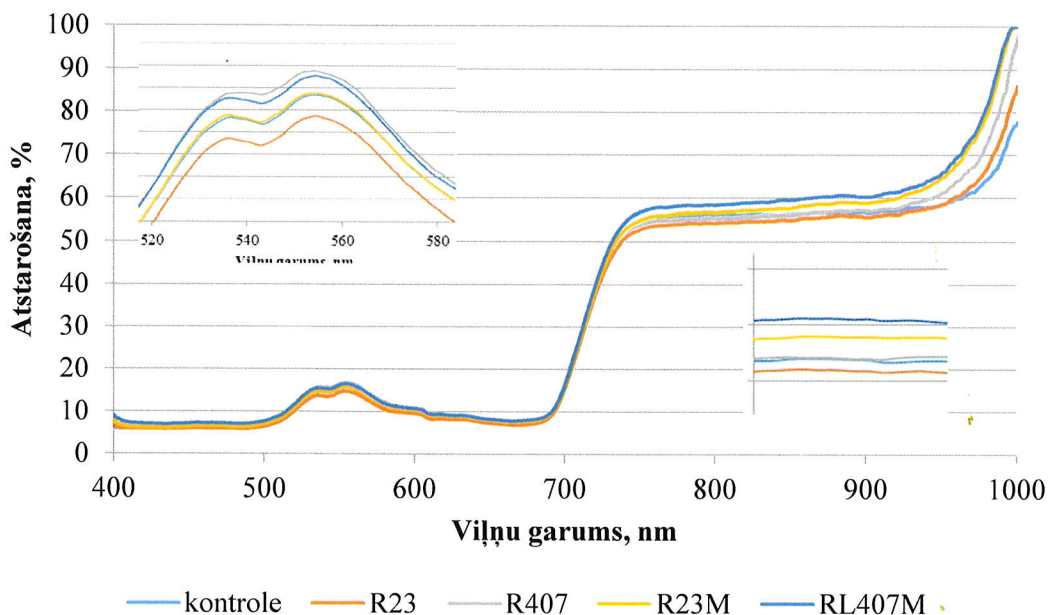
Izvēlēto veģetācijas indeksu atšifrējumi un aprēķināšanas vienādojumi doti 2.tabulā.

2. tabula

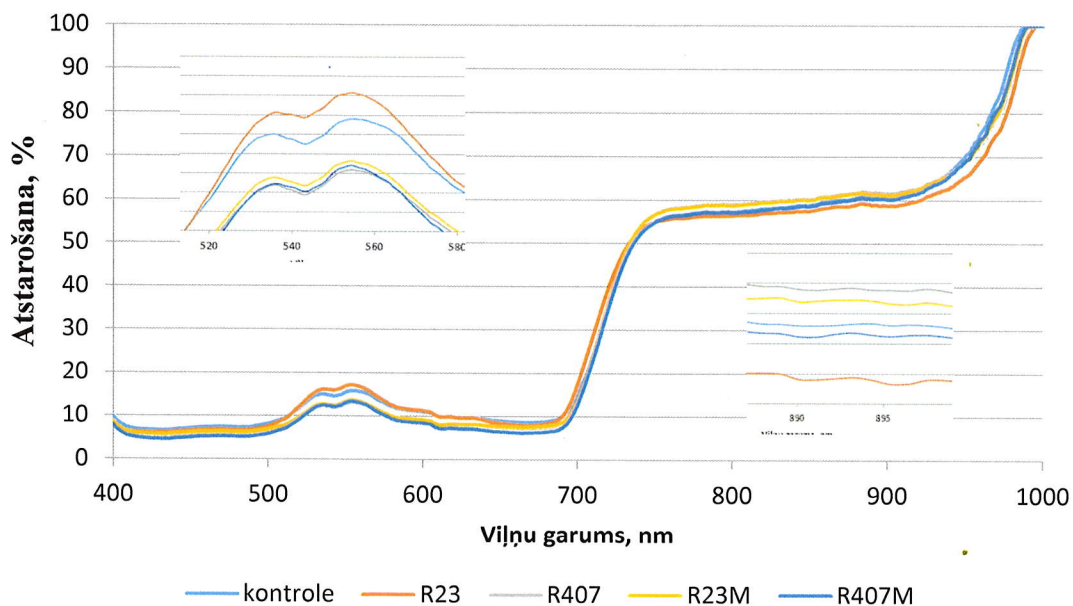
Pētījumā izmantotie veģetācijas indeksi

Indekss	Nosaukums	Vienādojums aprēķināšanai	Autors
CRI1	Karotinoīdu atstarošana	$1/w510-1/550$	Gitelson et al., 2001
FRI	Flavonoīdu atstarošana	$(1/W410-1/460)*W800$	Skoczowski et al., 2021
SIPI	Structure intensive pigment index	$(W800-W445)/(W800+W680)$	Peñuelas & Filella 1998
CNDVI	Hlorofila normalizēts indekss	$(W750-W705)/(W750+W705)$	Lu et al., 2018
G	Zaļuma indekss	$W554/W677$	Zarco-Tejada et al., 2001
NDVI	Normalized difference vegetation reflectance	$(W680-W430)/(W680+W430)$	
LIC-1	Normalized pheophytinization index	$(W800-W680)/(W800+W680)$	Lichtenthaler, 1996
SRPI	Simple ratio pigment index	$W430/W680$	Peñuelas et al., 1994
PSRI	Plant senescence reflectance index	$(W680-W500)/W750$	Merzlyak et al., 1999
WBI	Water band index	$(W900/W970)$	Peñuelas et al., 1997
REI 1	Red edge index	$W760/W730$	Padilla, 2017
REI 2	Red edge index	$(W750-W710)/(W750+W710)$	
NDVI - 1	Normalized difference vegetation reflectance	$(W760-W670)/(W760+W670)$	Padilla, 2017
LIC -2	Lichtenthaler index 2	$W440/W690$	Lichtenthaler, 1996

Iegūtie pupu lapu atstarošanās spektri vizuāli izskatās līdzīgi (8. un 9. attēli). Saskaņā ar likumsakarības tajās spektra daļās, kuras tiek uzskatītas par jutīgām, neizdodas (attēlos ienesti kā papildus attēli).



8. attēls. Pupu šķirnes 'Karmazin' lapu atstarošanas spektri.



9. attēls. Pupu šķirnes 'Fuego' lapu atstarošanas spektri.

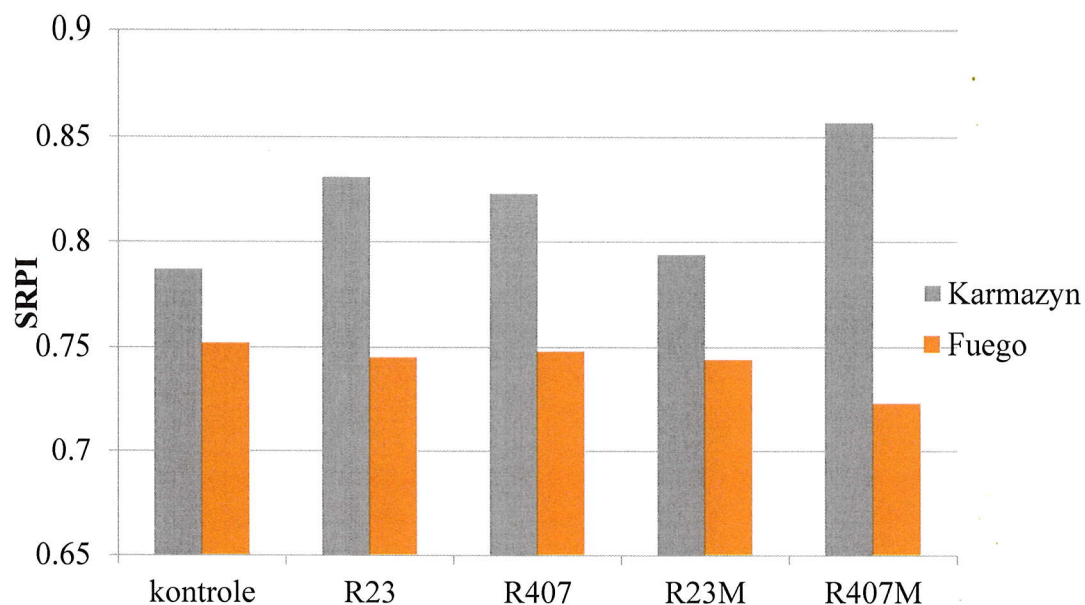
Pārbaudot izvēlētos veģetācijas indeksus (tabula) noskaidrots, ka šķirnes atpazīšanai varētu izmantot SRPI (Simple ratio pigment index), kur $p=0.011$ vai WBI (Water band index), $p=0.027$

Veģetācijas indeksu vērtības

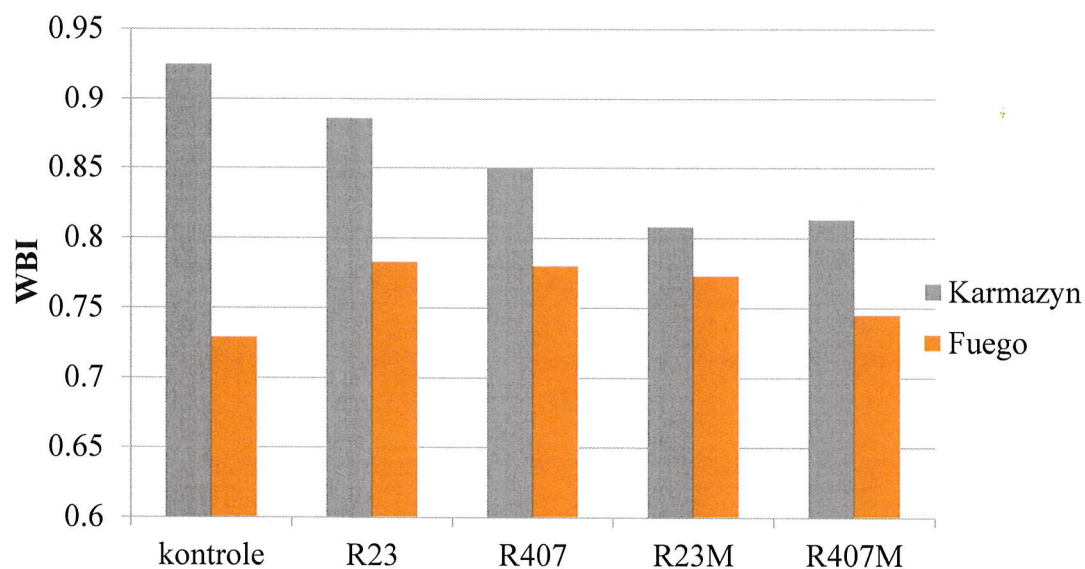
Indekss	Karmazyn					Fuego				
	kontr	R23	R407	R23M	R407M	kontr	R23	R407	R23M	R407M
CRI1	0.060	0.066	0.056	0.059	0.052	0.043	0.052	0.056	0.054	0.068
FRI	0.723	0.070	-0.069	0.127	-0.172	0.068	0.405	-0.464	-0.137	-0.472
SIPI	0.778	0.791	0.772	0.784	0.772	0.762	0.774	0.803	0.794	0.824
CNDVI	0.053	0.059	0.049	0.060	0.058	0.075	0.053	0.078	0.076	0.075
G	2.031	2.124	2.156	2.081	2.062	1.812	2.121	1.790	1.787	2.133
NDVI	0.120	0.092	0.097	0.115	0.077	0.142	0.146	0.145	0.147	0.161
<i>LIC-1</i>	0.754	0.771	0.750	0.762	0.756	0.734	0.746	0.776	0.768	0.800
SRPI	0.787	0.831	0.823	0.794	0.857	0.752	0.745	0.748	0.744	0.723
PSRI	0.018	0.013	0.012	0.013	0.009	0.011	0.013	0.016	0.015	0.010
WBI	0.925	0.886	0.850	0.808	0.813	0.729	0.783	0.780	0.773	0.745
REI 1	1.165	1.177	1.154	1.183	1.179	1.225	1.158	1.242	1.233	1.228
REI 2	0.031	0.034	0.028	0.036	0.033	0.045	0.031	0.046	0.047	0.046
<i>NDVII</i>	0.761	0.776	0.758	0.763	0.761	0.735	0.752	0.778	0.770	0.802
LIC -2	0.675	0.691	0.698	0.687	0.744	0.695	0.643	0.667	0.694	0.651

Šķirnei ‘Karmazyn’ indekss SRPI mainās robežās no 0.787 līdz 0.857, bet šķirnei ‘Fuego’ indeksa vērtības svārstās robežās no 0.723 līdz 0.752. Diemžēl konstatēt atšķirības starp sēklu apstrādes variantiem neizdevās. (10. attēls).

Līdzīgas likumsakarības atrastas arī WBI, kur šķirnei Karmazyn’ indekss nenokrīt zem 0.8, bet šķirnei ‘Fuego’ tas svārstās robežās no 0.7 līdz 0.8. Pēc literatūras datiem lielāka indeksa WBI vērtība liecina par labāku auga apgādi ar ūdeni. Teorētiski augiem, kuri inokulēti ar mikorizas sēnēm vajadzēja uzlaboties ūdens apgādei. Fuego gadījumā visos inokulētajos variantos novēro lielāku indeksa vērtību, bet šķirnei ‘Karmazyn’ novērota pretēja likumsakarība. (11. attēls)



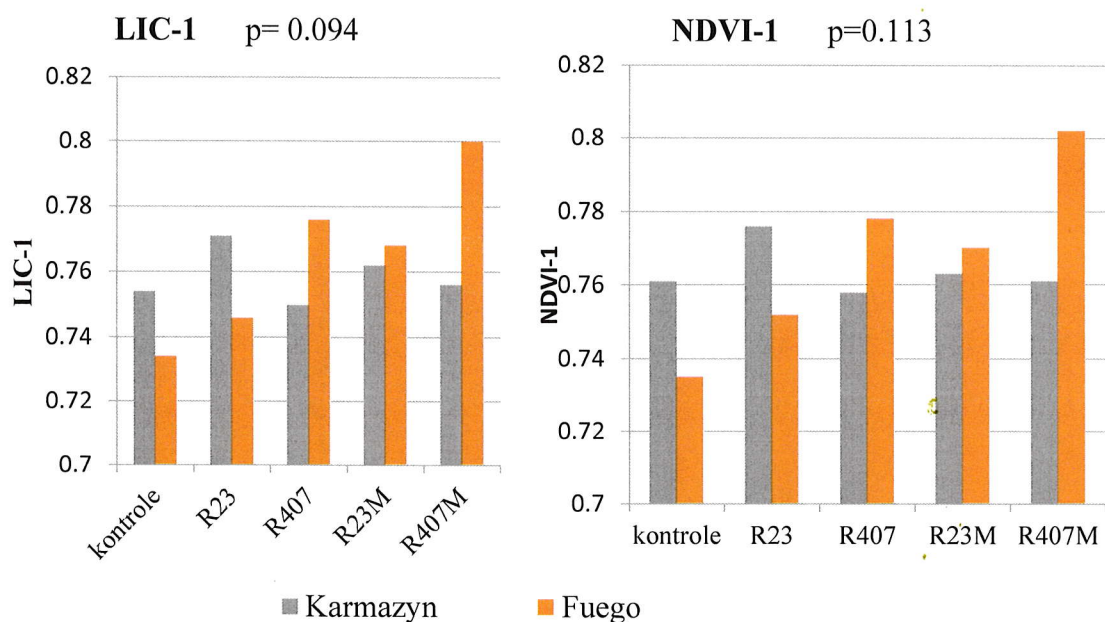
10. attēls. Indeksa SRPI vērtības.



11. attēls. Indeksa WBI vērtības.

Inokulācijas efektivitātes izvērtēšanai labākie rezultāti iegūti izmantojot indeksus LIC-1 un NDVI-1. Šie indeksi norāda uz auga vitalitāti un tiek uzskatīts, ka augs „jūtas labi”, ja indeksa vērtība ir lielāka par 0.7.

Šķirnes ‘Fuego’ gadījumā redzams, ka visi varianti, kuros sēklas pirms sējas aprādātas ar mikrosimbiontiem pārsniedz kontroles variantus par 2.3-9.5%, bet šķirnei ‘Karmazin’ indeksa vērtības svārstās 2% robežās. (12. attēls)



12. attēls. Indeksa LIC-1 un NDVI-1 vērtības.

Pašreizējie iegūtie rezultāti liecina, ka ar izmantoto portatīvo lapu spektrometru CI-710 Ltd CID Bio-Sciences var atšķirt dažādu šķirņu augus. Šos pētījumus būtu lietderīgi turpināt. Tas varētu palīdzēt novērtēt selekcijas materiālu.

Diemžēl novērtēt pupu sēklu inokulācijas efektivitāti neizdevās. Tas varētu būt skaidrojams ar to, ka visi augi bija pietiekoši vitāli un lapu atstarošanas spektros neparādījās būtiskas atšķirības. Vispiemērotākie augu vitalitātes novērtēšanai izrādījās visplašāk lietotie veģetācijas indeksi NDVI un LIC-1, kura abos izmantota attiecība starp lapu atstarošanas spektru starpību un summu tuvajā infrasarkanajā spektra daļā (760 nm vai 800 nm) un sarkanajā spektra daļā, kas (670 nm vai 680 nm), kas sakrīt ar hlorofilu absorbcijas maksimumu).

4. Projekta koordinācija, komunikācija un zināšanu pārnese

Projekta trešā gada laikā notika projekta koordinācija un komunikācija ar projektā iesaistītajiem partneriem, tajā skaitā starptautiskajiem Sus-Crop ERA-NET projekta LegumeGap sadarbības partneriem. Komunikācija veiksmīgi organizēta attālināti, izmantojot platformu Zoom. Kopumā pārskata periodā organizētas piecas tikšanās Zoom platformā. Ja pagājušajā gadā lielākoties tikšanās tika organizētas, lai diskutētu par lauksaimnieku aptaujas izveidi, tad šogad tikšanās laikā kāds no partneriem atskaitās par projektā paveikto.

Par projekta rezultātiem ziņots

- 1) Ikgadējā Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības fakultātes, Latvijas Agronomu biedrības, Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmijas organizētajā zinātniski praktiskajā konferencē „Līdzsvarota lauksaimniecība”, kura notika 2021. gada 25. februārī. Referāta tēmas:
 - Klūga A., Alsiņa I., Dubova L., Lepse L., Zeipiņa S. „Lauka pupu un sojas šķirņu izvērtējums, gumiņbaktēriju efektivitāte un galvenie faktori augstākas pākšaugu ražas iegūšanai”.
 - Plūduma-Pauniņa I., Gaile Z. Sējas laika ietekme uz lauka pupu (*Vicia faba* L.) ražu un tās struktūrelementiem 2020. gadā. https://www.lf.llu.lv/sites/lf/files/2021-04/T%C4%93zes%202021%20gatavs_LLU.pdf
- 2) 12. starptautiskajā konferencē „Biosystems engineering 2021”, kura notika 2021. gada 5.-7. maijā:
 - Plūduma-Pauniņa, Z. Gaile, G. Bimšteine Does the sowing time affect yield and quality of field beans in the Baltic region?
 - Klūga A., Bērtiņš M., Dubova L., Alsiņa I. Vīksna A. Elemental content of faba beans affected by rhizobia and mycorrhiza fungi
- 3) Ražas svētki „Vecauce- 2021” Raža ekstremālos apstākļos. Stenda referāts:
 - Klūga A., Bērtiņš M., Dubova L., Alsiņa I. Vīksna A. Gumiņbaktēriju un mikorizas sēņu ietekme uz minerālelementu saturu lauka pupās https://www.lf.llu.lv/sites/lf/files/files/lapas/LLU_Razas_svetki_Vecauce_2021.pdf

Projekta ietvaros publicēti raksti:

1. Plūduma-Pauniņa I., Gaile Z., Bimšteine G. (2021) Sowing time effect on yield and quality of field beans in a changing meteorological situation in the Baltic region, *Agronomy Research* 19(X), xxx–ccc, 2021 <https://doi.org/10.15159/AR.21.112>
2. Bankina B., Bimšteine G., Kaņeps J., Plūduma-Pauniņa I., Gaile Z., Paura L., Stoddard F.L. (2021). Discrimination of leaf diseases affecting faba bean (*Vicia faba*), *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, DOI: 10.1080/09064710.2021.1903985 To link to this article. 10 p.

Tā kā projekts LegumeGap tika oficiāli pagarināts vēl par vienu gadu, tad nākošajā gadā plānots apkopot pētījumu rezultātus, publicēt zemnieku aptaujas rezultātus.

SECINĀJUMI

- 1) Izmēģinājumos noskaidrots, ka katrā audzēšanās vietā un katrā veģetācijas periodā pupu ražas atšķīrās. Kā ražīgākās pupu šķirnes var minēt 'Alexia', 'Bauska', 'Fuego' un 'Boxer'. Ražīgākajām šķirnēm raksturīgas arī vislielākās svārstības pa izmēģinājumu gadiem un, ja novērtē dažādas šķirnes ilgākā laika periodā, tad atšķirības starp atsevišķām šķirnēs izlīdzinās, kas liecina par to, ka būtiski katra šķirne savu potenciālu var parādīt noteiktos agroklimatiskajos apstākļos. Augstāks proteīna saturs bija pupu šķirnēm 'Gloria', 'Lielplatone', 'Albus' un 'Aleksia'.
- 2) Pētījumi pierāda, ka novēlota sēja samazina pupu ražu neatkarīgi no šķirnes. Vēlāk sētajiem augiem novēro pa gadiem arī lielāku datu izkliedi. Lauka pupas labāk iesēt agrāk, jo tad ražas samazinājums būs statistiskās kļūdas ietvaros. Būtiska ir konkrētās vietas agroklimatisko un meteoroloģisko apstākļu ietekme un pētījumi būtu jāveic dažādos reģionos.
- 3) Mikrosimbiontu izmantošanas dubultinokulācijas variantos var konstatēt pozitīvu ietekmi uz augu ražu un tās kvalitāti, tomēr pozitīvā ietekme nepierādās katrā veģetācijas periodā. Vairumā gadījumu izpaudās tikai pozitīva tendence. Lietderīgi atsevišķu gumiņbaktēriju celmu vietā lietot asociāciju.
- 4) Dažādu šķirņu pupas ir dažādi ieņēmīgas pret lapu slimībām. No pētītajām šķirnēm visizturīgākā pret lapu brūnplankumainību bija 'Isabell', bet pret neīsto miltrasu 'Boxer'. Fungicīdu kombinācija (boskalīds un piraklostrobins) nodrošināja daļēju aizsardzību pret brūnplankumainību, lapu plankumainību un lapu rūsu. Fungicīdu efektivitāte bija atkarīga no gada un šķirnes, ar lielāku efektivitāti gados, kad slimības attīstības līmenis bija lielāks. Fungicīdu ietekme uz neīsto miltrasu netika novērota.
- 5) Pupas un soja būtiski atšķiras pēc atsevišķu minerālelementu akumulācijas spējām. Pupas ļoti intensīvi akumulē nātriju, bet soja turpretim šo satur salīdzinoši nedaudz. Vidēji nātrija saturs sojas lapās ir 68 reizes mazāks nekā pupu lapās. Sēklu pirmssējas inokulācija ar gumiņbaktērijām palielina minerālelementu saturu abu augu lapās bet samazina sēklās.
- 6) Nedestruktīvo metožu iespēju skaidrošana, lai novērtētu mikrosimbiontu ietekmi uz pupu lapu atstarošanas spektriem un no tiem aprēķinātiem indeksiem, nedeva pārlicinošus rezultātus. Noskaidrots, ka šķirnes atpazīšanai varētu izmantot SRPI (Simple ratio pigment index) un WBI (Water band index).

- 7) Par projekta rezultātiem ziņots zinātniski praktiskajā konferencē „Līdzsvarota lauksaimniecība”, 12. starptautiskajā konferencē „Biosystems engineering 2021 un Ražas svētki „Vecauce- 2021”.Raža ekstremālos apstākļos. Publicēti divi raksti, kas iekļauti starptautiskās datu bāzēs.
- 8) Ņemot vērā Covid-19 pandēmiju, Era-Net SusCrop projektu vadība ir nolēmusi pagarināt projektu LegumeGap uz vēl vienu gadu.

Izmantotā literatūra

- Alharbi, N., Adhikari, K. (2020). Factors of yield determination in faba bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science*, Vol. 71, p. 305–321.
- Augu olbaltumvielu ražošanas produktivitātes un ilgtspējības palielināšana Eiropā” (2020) Projekta pārskats. Projekta vadītāja: A. Klūga, file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/19-00-SOINV05-000017_LLU_A_KI%C5%ABga.pdf
- Bankina B., Bimšteine .G, Kaņeps J., Plūduma-PauniņaI., Gaile Z., Paura L., Stoddard F.L.(2021). Discrimination of leaf diseases affecting faba bean (*Vicia faba*), *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, DOI: 10.1080/09064710.2021.1903985 To link to this article.10 p.
- Bimšteine, G., Bankina, B. (2017). Neīstā miltrasa lauka pupu sējumos. No: Ražas svētki “Vecauce – 2017”: Lauksaimniecības zinātne Latvijas simtgades gaidās, Zinātniskā semināra rakstu krājums (2017. g. 2. nov.). Jelgava: LLU, 13.–16. lpp.
- Bonelli, L.E., Monzon, J.P., Cerrudo, A., Rizzalli, R.H., Andrade, F.H. (2016). Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, p. 215–225.
- Brauna-Morževska, E., Bankina, B., Kaņeps, J. (2019). Botrytis genus fungi as causal agents of legume diseases: a review. In: *Research for Rural Development 2019: annual 25th International scientific conference proceedings*, Jelgava, Latvia, 15–17 May, Vol. 2, p. 63–69.
- Dubova L. (2020) Simbiotisko asociāciju ietekme uz pupu *Vicia faba* L. produktivitāti, Promocijas darba kopsavilkums, Jelgava, 74 lpp
- Dubova, L., Šenberga, A., Alsīņa, I., Sergejeva, D. (2016). Simbiotiskās sistēmas efektivitātes izvērtējums pupu (*Vicia faba* L.) sējumos. Ražas svētki „Vecauce – 2016”, 20.–23. lpp.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., Zur, Y., Stark, R. & Gritz, U. 2001. Non-destructive and remote sensing techniques for estimation of vegetation status. In: *Third European Conference on Precision Agriculture France 1*, 301-306.
- Kaņeps, J., Brauna-Morževska, E., Bankina, B., Bimšteine, G., Neusa-Luca, I. (2020). Botrytis cinerea un B. pseudocinerea – nozīmīgi pupu brūnplankumainības ierosinātāji. No: Ražas svētki “Vecauce – 2020”: Pētniecība COVID–19 ēnā, Zinātniskā semināra rakstu krājums (2020. g. 5. nov.). Jelgava: LLU, 37.–40. lpp.
- Landry, E.J., Coyne, C.J., McGee, R.J., Hu, J. (2016). Adaptation of Autumn-Sown Faba Bean Germplasm to Southeastern Washington. *Agronomy Journal*, 108(1), p. 301–308
- Lichtenthaler, H. K. 1996. Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology* 148, 4-14.
- Lu, J., Ehsani, R., Shi, Y., de Castro, A.I. & Wang, S. 2018. Detection of multi-tomato leaf diseases (late blight, target and bacterial spots) in

- different stages by using a spectral-based sensor, Scientific Reports 8 (1), art. no. 2793.
16. Ļapsenkova S. (2019) Sēšanas laika ietekme uz lauka pupu (*Vicia faba* var. *minor*.) ražu, tās formēšanos un kvalitāti: zinātniskais darbs profesionālā bakalaura grāda un agronoma ar specializāciju laukkopībā kvalifikācijas ieguvei. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava, LLU. 45 lpp.
 17. Padilla, F.M., Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M. & Thompson, R.B. 2017. Determination of sufficiency values of canopy reflectance vegetation indices for maximum growth and yield of cucumber. European Journal of Agronomy 84, 1-15.
 18. Pākšaugi – alternatīva sojas izmantošanai proteīnbagātas spēkbarības ražošanā: audzēšanas agrotehniskais un ekonomiskais pamatojums Latvijas apstākļos, (2017) Projekta pārskats. Projekta vadītāja: Dr.agr. Sanita Zute https://www.arei.lv/sites/arei/files/2017-12/ZM%20P%C4%81k%C5%A1augi%202017%20LLU_0.pdf
 19. Peñuelas, J. & Filella, I. (1998) Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. Trends in Plant Science 3, 151-156.
 20. Peñuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R. & Filella, I. 1997. Estimation of Plant Water Concentration by the Reflectance Water Index WI (R900/R970). International Journal of Remote Sensing 18(13), 2869-2875.
 21. Plūduma-Pauniņa I., Gaile Z., Bimšteine G. (2021) Sowing time effect on yield and quality of field beans in a changing meteorological situation in the Baltic region, Agronomy Research 19(X), xxx-ccc, 2021 <https://doi.org/10.15159/AR.21.112>
 22. Skoczowski, A., Odrzywolska-Hasiec, M., Oliwa, J., Ciereszko, I. & Kornaś, A. 2021. Ecophysiological variability of *Alnus viridis* (Chaix) dc. green alder leaves in the Bieszczady mountains (Poland) . Plants 10(1), 1-17.
 23. Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Noland, T. L., Mohammed, G. H. & Sampson, P. H. 2001. Scaling-up and model inversion methods with narrow-band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 39, 1491-1507.
 24. Zīverts K. (2017) Gumiņbaktēriju ietekme uz dažādu šķirņu lauka pupu augšanu un ražas formēšanos : zinātniskais darbs profesionālā bakalaura grāda un agronoma ar specializāciju laukkopībā kvalifikācijas ieguvei. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava, LLU. 44 lpp.

Pielikumi