

LATVIJAS BIOZINĀTŅU UN TEHNOLOĢIJU UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES AND TECHNOLOGIES

LAUKSAIMNIECĪBAS FAKULTĀTE
FACULTY OF AGRICULTURE

AUGSNES UN AUGU ZINĀTŅU INSTITŪTS
INSTITUTE OF SOIL AND PLANT SCIENCES



Latvijas
Biozinātņu un tehnoloģiju
universitāte

Mg. agr. Agrita Švarta

**ZIEMAS KVIEŠU LAPU SLIMĪBU IETEKME UZ RAŽU UN TĀS
STRUKTŪRELEMENTIEM**

*THE INFLUENCE OF WINTER WHEAT LEAF DISEASES ON YIELD AND YIELD
COMPONENTS*

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
zinātnes doktora grāda (Ph.D.) iegūšanai lauksaimniecības, meža un
veterinārajās zinātnēs

SUMMARY
*of the Doctoral Thesis for Degree Doctor of Science (Ph.D) in Agriculture,
Forestry and Veterinary Sciences*

Jelgava
2023

Darba zinātniskā vadītāja / Scientific supervisor: Dr.agr. Gunita Bimšteine

Darba recenzenti / Reviewers: Dr. agr. Arta Kronberga
Dr. agr. Sanita Zute
Ph. D. Laila Dubova

Promocijas darba aizstāvēšana paredzēta Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnes, mežzinātnes ar specializāciju “Lauksaimniecība” promocijas padomes atklātajā sēdē 2023. gada 31. augustā plkst. 10.00, Jelgavā, Lielā iela 2, 123. auditorijā.

The defense of the thesis in an open session of the Promotion Board of Agriculture, Forestry and Fisheries with specialization “Agriculture” of Latvia University of Life Sciences and Technologies will held on 31 August 2023 at 10:00 am in room 123, Liela street 2, Jelgava, Latvia.

Ar promocijas darbu un tā Kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgavā un interneta vietnē: <https://lbtufb.lbtu.lv/lv>.

The thesis is available at the Fundamental Library of Latvia University of Life Sciences and Technologies, Lielā street 2, Jelgava, Latvia and website: <https://lbtufb.lbtu.lv/lv>.

Atsauksmes lūdzu sūtīt Lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnes, mežzinātnes ar specializāciju “Lauksaimniecība” promocijas padomes sekretārei Dr.sc.ing. Ingrīdai Augšpolei, Lielā iela 2, Jelgava, Latvija, LV–3001 vai e-pastā: ingrida.augspole@lbtu.lv.

References are welcome to be sent to Dr.sc.ing. Ingrīda Augšpole, the Secretary of the Promotion board in Field of Agriculture and Fisheries Sciences, Forest science with specialization “Agriculture”, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Lielā Street 2, Jelgava, Latvia, LV–3001 or by e-mail: ingrida.augspole@lbtu.lv.

SATURS

Saturs / Content	3
Ievads	5
Materiāli un metodes	7
Lauka izmēģinājuma varianti	7
Lauka izmēģinājuma apstākļi un pielietotā agrotehnika	9
Veiktie novērojumi un analīzes	10
Meteoroloģisko apstākļu raksturojums	12
Datu matemātiskā apstrāde	14
Rezultāti	15
Lapu slimību attīstības izvērtējums	15
Lapu slimību attīstība vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas ..	15
Fungicīdu ietekme uz kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstību	17
Fungicīdu ietekme uz kviešu lapu pelēkplankumainības attīstību	20
Lapu zaļās virsmas laukums	22
Fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte	23
Slāpekļa papildmēslojuma ietekme uz kviešu lapu slimību attīstību	25
Ziemas kviešu raža atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas	26
Ziemas kviešu ražas struktūrelementu analīze	29
Secinājumi	35
Pateicības	37
Pētījumu datu aprobācija	37
<i>Introduction</i>	<i>40</i>
<i>Materials and methods</i>	<i>42</i>
<i>Variants of field experiment</i>	<i>42</i>
<i>Field experiment conditions and applied agrotechnics</i>	<i>43</i>
<i>Observation and analyses performed</i>	<i>43</i>
<i>Characterization of meteorological conditions</i>	<i>45</i>
<i>Statistical analysis of data</i>	<i>47</i>
<i>Results</i>	<i>48</i>
<i>Evaluation of the development of leaf disease</i>	<i>48</i>
<i>Development of leaf diseases on average in variants without fungicide treatment</i>	<i>48</i>
<i>Effect of fungicides on the development of tan spot</i>	<i>49</i>
<i>Effect of fungicides on the development of Septoria tritici blotch</i>	<i>51</i>
<i>Leaf green area</i>	<i>52</i>
<i>Technical efficacy of fungicide treatment</i>	<i>52</i>
<i>Effect of nitrogen top-dressing rates on the development of wheat</i>	

<i>leaf diseases</i>	53
<i>Winter wheat grain yield depending on fungicide treatment scheme and nitrogen top-dressing rates</i>	54
<i>Analyzis of winter wheat yield-forming components</i>	56
<i>Conclusions</i>	59
<i>Acknowledgement</i>	61

Ievads

Kvieši (*Triticum* spp.) ir pasaulē plašāk audzētie kultūraugi, kuru sējplatības pārsniedz 200 milj. ha ar kopražu 770 milj. tonnu gadā. Latvijā ziemas kviešu sējplatības un iegūtā raža pēdējos divdesmit gados ir būtiski pieaugusi, jo tie ir viens no ekonomiski izdevīgākajiem kultūraugiem, it sevišķi valsts centrālajā daļā. Ja 2000. gadā ziemas kviešus audzēja 117.4 tūkst. ha platībā ar kopražu 336.0 tūkst. t., tad 2020. gadā platības aizņēma jau 382.2 tūkst. ha ar kopražu 2174.5 tūkst. t.. Ienākot ražošanā jaunām un augstražīgām šķirnēm, kā arī pilnveidojot audzēšanas tehnoloģijas, vidējās graudu ražas pieaugušas no 2.86 t ha⁻¹ (2000. g.) līdz 5.69 t ha⁻¹ (2020. g.), taču daudzi zemnieki iegūst krietni augstākas graudu ražas, kas nereti sasniedz pat 10 t ha⁻¹.

Ziemas kviešu augšanu un attīstību ietekmē daudzi faktori, viens no tiem ir lapu slimības. Līdzšinējo pētījumu rezultāti pasaulē un Eiropā rāda, ka kviešu lapu slimības attīstībai labvēlīgos apstākļos rada ievērojamus ražas zudumus un samazina graudu kvalitāti. Lapu slimību ierobežošanai lieto fungicīdus, kurus bieži smidzina pēc iepriekš izstrādātām fungicīdu lietošanas shēmām, neņemot vērā situāciju uz lauka. Saskaņā ar Augu aizsardzības likumu, saimniecībās ir obligāta integrētās augu aizsardzības ieviešana, kas paredz bioloģisku, agrotehnisku un ķīmisku pasākumu kombinēšanu, lai pēc iespējas mazinātu augu aizsardzības līdzekļu lietošanu. Pārsvārā pētījumi par lapu slimību ierobežošanu veikti reģionos ar atšķirīgu klimatu, tāpēc šos rezultātus nevar pilnībā izmantot Latvijas agroklimatiskajos apstākļos.

Līdz šim plaši pētīta kviešu ražas un tās struktūrelementu (produktīvo stiebru skaits, graudu skaits vārpā, 1000 graudu masa) veidošanās atkarībā no dažādiem agrotehniskajiem pasākumiem kā augu maiņa, augsnes apstrādes sistēma, slāpekļa papildmēslojums, taču trūkst pētījumu par lapu slimību ietekmi uz ražas struktūrelementiem un abu iepriekš minēto faktoru mijiedarbību. Lapu slimību izplatību un attīstību ietekmē arī meteoroloģiskie apstākļi, līdz ar to slimību attīstība un ietekme ir grūti prognozējama. Svarīgi noteikt un analizēt slimību attīstības tendences, kas katrā reģionā var būt stipri individuālas atkarībā no apstākļiem, kas vai nu veicina vai kavē lapu slimību attīstību.

Darba hipotēze

Ziemas kviešu lapu slimību postīgums ir atkarīgs no slimību attīstības pakāpes veģetācijas periodā un gada meteoroloģiskajiem apstākļiem.

Promocijas darba mērķis

Noskaidrot ziemas kviešu lapu slimību ietekmi uz ražu un tās struktūrelementiem atkarībā no agroekoloģiskajiem apstākļiem.

Pētījuma uzdevumi

1. Raksturot ziemas kviešu lapu slimību attīstības īpatnības atkarībā no meteoroloģiskajiem apstākļiem.
2. Analizēt lapu slimību attīstību atkarībā no fungicīdu lietošanas intensitātes.
3. Analizēt ziemas kviešu ražu un tās struktūrelementus atkarībā no fungicīdu lietošanas intensitātes.
4. Analizēt slāpekļa ietekmi uz lapu slimību attīstību, kviešu ražu un tās struktūrelementiem.

Aizstāvējamās tēzes

1. Latvijā nozīmīgākās kviešu lapu slimības ir lapu dzeltenplankumainība (ieros. *Pyrenophora tritici-repentis*) un kviešu lapu pelēkplankumainība (ieros. *Zymoseptoria tritici*).
2. Fungicīdu lietošana būtiski samazina ziemas kviešu slimību attīstību, bet atsevišķu shēmu efektivitāte atkarīga no apstākļiem veģetācijas periodā.
3. Kviešu lapu dzeltenplankumainības un kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība nav atkarīga no slāpekļa mēslojuma normas.
4. Slimību ietekme uz ražu un tās struktūrelementiem atkarīga no veģetācijas perioda agroekoloģiskajiem apstākļiem.

Novitāte

Latvijā nav pētīta saistība starp kviešu lapu slimību attīstības pakāpi un ražu, kā arī ražu veidojošiem struktūrelementiem.

Projekti, kas nodrošināja promocijas darba izstrādi:

1. EIP–AGRI projekts “Lēmuma pieņemšanas atbalsta sistēmas izstrāde ziemas kviešu lapu un vārpu slimību ierobežošanai”;
2. ESF projekts Nr. 8.2.2.0/201/001 “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli”.

Pētījumu datu aprobācija

Par pētījuma rezultātiem sagatavotas 7 publikācijas, no kurām 4 indeksētas Scopus un/vai WEB of Science datu bāzēs. Sniegti 5 mutiskie un 2 stenda ziņojumi zinātniskās konferencēs un semināros.

Materiāli un metodes

Lauka izmēģinājuma varianti

Ziemas kviešu lauka izmēģinājumi no 2017./2018. līdz 2020./2021. gadam iekārtoti pētījumu laukā Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Mācību un pētījumu saimniecībā "Pēterlauki".

Izmēģinājumā pētīti divi faktori: (F) fungicīdu lietošana (kopā pieci varianti: variants bez fungicīdu lietošanas un četras fungicīdu lietošanas shēmas) un slāpekļa (N) papildmēslojuma normas (četras normas). Izmēģinājumā kopā novērtēti 20 varianti, kurus veido visu fungicīdu lietošanas (F0–F4) un N papildmēslojuma (N120–N210) variantu kombinācijas ($5 \times 4 = 20$). Izmēģinājuma lauciņi izvietoti randomizēti četros atkārtojumos, ražas uzskaites platība 20 m².

Fungicīdu lietošanas varianti. Lauka izmēģinājumā salīdzinātas četras fungicīdu smidzināšanas shēmas ar dažādu fungicīdu lietošanas intensitāti (FTI) (1. tab.), kā arī iekļauts variants bez fungicīdu lietošanas (F0).

1. tabula / *Table 1*

Fungicīdu lietošanas shēmas *Fungicide treatment schemes*

Auga attīstības etaps / <i>Growth stage</i>	Fungicīda tirdzniecības nosaukums / <i>Trade name of the fungicide</i>	Darbīgās vielas / <i>Active ingredients of fungicides</i>	Deva, L ha ⁻¹ / <i>Dose, L ha⁻¹</i>	Fungicīdu lietošanas intensitāte (TFI) <i>Treatment frequency index (TFI)</i>
F0 – bez fungicīdiem / <i>untreated variant</i>				
–	–	–	–	–
F1 – puse no pilnas fungicīda devas / <i>a half of full fungicide dose</i>				
55.–59.	Ascra Xpro	protiokonazols 130 g L ⁻¹ / <i>protioconazole 130 g L⁻¹</i> biksafēns 65 g L ⁻¹ / <i>bixafen 65 g L⁻¹</i> fluopirams 65 g L ⁻¹ / <i>fluopyram 65 g L⁻¹</i>	0.750	0.5
F2 – pilna fungicīda deva / <i>a full fungicide dose</i>				
55.–59.	Ascra Xpro	protiokonazols 130 g L ⁻¹ / <i>protioconazole 130 g L⁻¹</i> biksafēns 65 g L ⁻¹ / <i>bixafen 65 g L⁻¹</i> fluopirams 65 g L ⁻¹ / <i>fluopyram 65 g L⁻¹</i>	1.500	1.0

1.tabulas nobeigums / The end of Table 1

Auga attīstības etaps / Growth stage	Fungicīda tirdzniecības nosaukums / Trade name of the fungicide	Darbīgās vielas / Active ingredients of fungicides	Deva, L ha ⁻¹ / Dose, L ha ⁻¹	Fungicīdu lietošanas intensitāte (TFI) Treatment frequency index (TFI)
F3 – pilna fungicīda deva, divi smidzinājumi / a full fungicide dose divide in two treatments				
32.–33.	Input	protiokonazols 160 g L ⁻¹ / <i>protioconazole</i> 130 g L ⁻¹ / spiroksamīns 300 g L ⁻¹ / <i>spiroxamin</i> 300 g L ⁻¹	0.625	1.0
55.–59.	Ascra Xpro	protiokonazols 130 g L ⁻¹ / <i>protioconazole</i> 130 g L ⁻¹ / biksafēns 65 g L ⁻¹ / <i>bixafen</i> 65 g L ⁻¹ / fluopirams 65 g L ⁻¹ / <i>fluopyram</i> 65 g L ⁻¹	0.750	
F4 – divas pilnas fungicīda devas, trīs smidzinājumi / two full fungicide doses divide in three treatments				
32.–33.	Input	protiokonazols 160 g L ⁻¹ / <i>protioconazole</i> 130 g L ⁻¹ / spiroksamīns 300 g L ⁻¹ / <i>spiroxamin</i> 300 g L ⁻¹	0.625	2.0
55.–59.	Ascra Xpro	protiokonazols 130 g L ⁻¹ / <i>protioconazole</i> 130 g L ⁻¹ / biksafēns 65 g L ⁻¹ / <i>bixafen</i> 65 g L ⁻¹ / fluopirams 65 g L ⁻¹ / <i>fluopyram</i> 65 g L ⁻¹	0.750	
63.–65.	Juventus 90	metkonazols 90 g L ⁻¹ / <i>metconazole</i> 90 g L ⁻¹	1.000	

Slāpekļa papildmēslojuma varianti. Lauka izmēģinājumā salīdzinātas četras slāpekļa papildmēslojuma normas (2. tab.), kuras sadalītas divās vai trīs devās atkarībā no kopējās slāpekļa normas.

Pirmajā mēslošanas reizē (pēc veģētācijas atjaunošanās) un trešajā reizē (47.–51. AE) ziemas kviešu mēslošanai lietoja amonija nitrātu (NH₄NO₃) ar 34% N saturu. Otrajā slāpekļa papildmēslojuma lietošanas reizē 31.–32. AE. lietoja amonija sulfātu ((NH₄)₂SO₄, kur N21% un S 24%) 100 kg ha⁻¹, nodrošinot kviešus ar sēru S – 28.8 kg ha⁻¹. Trūkstošo slāpekļa daudzumu (pēc shēmas) nodrošināja ar amonija nitrātu.

Slāpekļa papildmēslojuma varianti
Nitrogen top-dressing rates

Variants / Variant	Slāpekļa papildmēslojuma lietošanas laiks un deva (N kg ha ⁻¹) / Application time and rate of nitrogen fertilizations (N kg ha ⁻¹)		
	Atjaunojoties veģetācijai / After vegetation renewing	31.–32. AE / GS 31–32	47.–51. AE / GS 47–51
N120	80	40	–
N150		70	–
N180			30
N210		80	50

Izmēģinājumā audzēja ziemas kviešu šķirni ‘Skagen’, kas raksturojas ar labu ziemcietību un augstu ražību. Šķirne ir vidēji ieņēmīga pret visām postīgākajām lapu slimībām: kviešu lapu dzeltenplankumainību, kviešu lapu pelēkplankumainību, dzeltenu rūsu un graudzāļu miltrasu. Priekšaugus visus izmēģinājuma gadus bija kvieši, kā lapu slimību attīstību veicinošs fons.

Lauka izmēģinājuma apstākļi un pielietotā agrotehnika

Augsne visās izmēģinājuma vietās bija piemērota ziemas kviešu audzēšanai. Lauka izmēģinājumi iekārtoti: 2017./2018. un 2019./2020.g. sezonās velēnglejotā augsnē (*Epiabruptic Endostagnic Endoprotocalcic Luvisol*), bet 2018./2019. un 2020./2021. gada sezonā – velēnu karbonātaugsnē (*Cambic Calcisol*). Augsnes agroķīmiskie rādītāji apkopoti 3. tabulā.

3.tabula / Table 3

Augsnes agroķīmiskie rādītāji ziemas kviešu izmēģinājumu laukos
Soil agrochemical properties in experimental fields of winter wheat

Rādītāji / Parameters	2017./2018.	2018./2019.	2019./2020.	2020./2021.
Organiskās vielas saturs, g kg ⁻¹ / Organic matter content, mg kg ⁻¹	42	29	40	31
pH _{KCl}	7.0	6.4	7.0	6.7
P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	138	118	167	122
K ₂ O mg kg ⁻¹	208	262	244	181

Lauka izmēģinājumu ierīkošanai izmantoja tradicionālo augsnes apstrādi ar augsnes aršanu 22 cm dziļumā. Pēc augsnes uzaršanas tā nošļūkta, izkliedēts pamatmēslojums un augsne nokultivēta. Minerālmēsli tīrvielā lietoti atkarībā no

izmantotā mēslošanas līdzekļa, plānojot 8 t ha⁻¹ graudu ražu: 10–25 kg ha⁻¹ N, 33–66 kg ha⁻¹ P₂O₅ un 52–66 K₂O. Izsējas norma 450 dīgstošas sēklas uz m² (2017., 2018. un 2020.), bet 2019. gadā – 500 dīgstošām sēklām uz 1 m². Ziemas kviešu augšanas regulēšanai lietoti augu augšanas regulatori, kā arī lietoja ārpussakņu mēslojumu. Nezāļu ierobežošanai lietoti herbicīdi. Ziemas kvieši novākti 89.–90. AE.

Veiktie novērojumi un analīzes

Izmēģinājumā vērtēja **inficēšanos ar lapu slimībām**: kviešu lapu dzeltenplankumainību (ieros. *Pyrenophora tritici-repentis*), kviešu lapu pelēkplankumainību (ieros. *Zymoseptoria tritici*), brūno rūsu (ieros. *Puccinia recondita*) un graudzāļu miltrasu (ieros. *Blumeria graminis*). Lapu slimību attīstību vērtēja dabīgās infekcijas fonā piecas reizes veģetācijas laikā, vizuāli nosakot slimības attīstības pakāpi visā izmēģinājumu lauciņā katrā atkārtojumā. Slimības attīstības pakāpe parāda slimību bojāto lapas virsmu procentos no kopējās lapas virsmas, kur: 0% – nav redzamu slimības simptomu, 100% – lapa ir atmirusi. Lapu slimības uzskaitīja 1. līdz 2. mezgla attīstības fāzē (31.–32. AE), karoglapas parādīšanās līdz attīstītas karoglapas fāzē (37.–39. AE), ziedēšanas fāzes vidū (63.–65. AE), piengatavības fāzes sākumā (71.–73. AE) un piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE). Pirmajā uzskaites reizē vērtēja 50 augi lauciņā. Tālākās uzskaitēs vērtēja 50 lapas no katra lauciņa, proporcionāli ņemot karoglapas, pirmās un otrās lapas.

Slimību attīstības raksturošanai visa veģetācijas perioda laikā, katrai slimībai atsevišķi, aprēķināts laukums zem slimības attīstības līknes – AUDPC (angļu valodā: *area under disease progress curve*) pēc formulas (1):

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

kur:

AUDPC – laukums zem slimības attīstības līknes;

n – uzskaites reizes;

y_i – slimības attīstības pakāpe (%) i -ajā uzskaites reizē;

t_i – dienu skaits i -ajā uzskaites reizē.

Lapu zaļās virsmas laukumu noteica ziemas kviešu piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE). Laukums aprēķināts procentos, no lapu kopējās virsmas atņemot slimību bojāto lapu virsmu (hloroze, nekrotiskie plankumi) procentos.

Fungicīdu lietošanas tehniskās efektivitātes aprēķināšanai summēja kviešu lapu dzeltenplankumainībai un kviešu lapu pelēkplankumainībai aprēķinātās AUDPC vienības. Fungicīdu lietošanas tehnisko efektivitāti aprēķināja pēc formulas (2):

$$T = \frac{(k-v) \times 100}{k} \quad (2)$$

kur:

T – tehniskā efektivitāte;

k – kviešu lapu dzeltenplankumainības un kviešu lapu pelēkplankumainības kopējā attīstība (AUDPC vienības) variantā, kur nav lietoti fungicīdi;

v – kviešu lapu dzeltenplankumainības un kviešu lapu pelēkplankumainības kopējā attīstība (AUDPC vienības) variantā, kur lietoti fungicīdi.

Ražas struktūrelementus noteica ziemas kviešu 87.–89. attīstības etapā, izmantojot ievāktu paraugkūli, kuru ievāca katrā lauciņā divās vietās no 0.5 m²: produktīvo stiebru skaits 1 m²; graudu skaits vārpā, ko aprēķināja paraugkūļa kopējo graudu skaitu, izdalot ar produktīvo stiebru skaitu, 1000 graudu masa, ko noteica atbilstoši LVS EN ISO 520:2011 “Graudaugi un pākšaugi” izmantojot sēklu skaitītāju “Pfeuffer CONTADOR” un elektroniskos svarus, vienas vārpas produktivitāte, ko aprēķināja paraugkūļa kopējo graudu masu, izdalot ar vārpu skaitu paraugkūlī.

2020. gadā izmēģinājumā konstatēja **veldri** un izturību pret veldri novērtēja ballēs (9–1), kur: 9 – veldres nav, stieбри atrodas vertikālā stāvoklī, bet 1 – veldre ļoti stipra, visi stieбри noliekušies slīpumā līdz 90°.

Kviešu ražību noteica, nokūlot katra lauciņa ražu atsevišķi. No katra atkārtojuma noņēma vidējo paraugu graudu mitruma un tīrības noteikšanai. Mitrumu noteica, izmantojot Infratec Analyzer 1241. Tīrību noteica atbilstoši standartam LVS-271:2000 (“Labība. Analīžu metodes. Piemaisījumu noteikšana labību graudos”). Kviešu graudu raža pārrēķināja t ha⁻¹ pie 100% tīrības un 14% mitruma.

Augu slimības izraisītos ražas zudumus aprēķināja kā starpību starp variantu bez fungicīdu lietošanas un variantiem, kur lietoja fungicīdus.

Lai atvieglotu iegūto rezultātu aprakstīšanu un uztveršanu, izmēģinājumu gadi ir apzīmēti šādi:

2017./2018. g. sezona – 2018. g.,

2018./2019. g. sezona – 2019. g.,

2019./2020. g. sezona – 2020. g.,

2020./2021. g. sezona – 2021. g.

Meteoroloģisko apstākļu raksturojums

Meteoroloģisko apstākļu raksturošanai izmantoti gaisa temperatūras un nokrišņu daudzuma mērījumi, kas salīdzināti ar ilggadīgajiem rādītājiem. Rādītājus reģistrēja ar pārvietojamo automātisko meteoroloģisko staciju Davis Wireless Vantage Pro2 Plus UV & Solar. Ilggadējie temperatūras un nokrišņu mērījumi iegūti no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra Jelgavas novērojumu stacijas.

Mitruma apstākļu novērtēšanai izmantots hidrotermiskais koeficients, kas raksturo nokrišņu daudzumu un iztvaikošanas attiecību noteiktā laika periodā. Hidrotermisko koeficientu aprēķina pēc formulas (3):

$$HTK = \frac{\sum N \times 10}{\sum t_{>10}}, \quad (3)$$

kur:

$\sum N$ – nokrišņu summa attiecīgajā periodā, mm;

$\sum t_{>10}$ – temperatūru summa virs +10 °C.

Iegūto hidrotermisko koeficientu raksturojums: HTK 0.4 līdz 0.7 – ļoti sauss, HTK 0.7 līdz 1.0 – sauss, HTK 1.0 līdz 2.0 – mitrums ir pietiekams, HTK > 2.0 – pārlietu mitrs.

Meteoroloģiskie apstākļi izmēģinājumu gados ievērojami atšķīrās gan temperatūras, gan nokrišņu daudzuma ziņā, kas ietekmēja augu augšanas fāžu iestāšanos un ilgumu. Meteoroloģisko apstākļu analīzē lielāks uzsvars likts uz ziemas kviešu lapu slimību attīstības periodu (32.–77. AE).

Stiebrošanas sākums (31. AE) – attīstīta karoglapa (39. AE) Perioda ilgums izmēģinājuma gados ievērojami atšķīrās: 14–48 dienas (4. tab.).

Augu attīstībai nelabvēlīgākie laika apstākļi šajā periodā bija 2018. gadā (HTK 0.18). Lai gan vidējā gaisa temperatūra sasniedza +16.2 °C, tomēr nokrišņu daudzums bija tikai 4 mm. Uzskaites periodā reģistrēta viena diena, kad nokrišņu daudzums pārsniedza 2 mm. Nokrišņiem bagātāks uzskaites periods bija 2019. gadā, kad nolija 14 mm. Šajā gadā novēroja krasākas temperatūras svārstības, kā arī bija zemāka vidējā gaisa temperatūra. Periods ilga 19 dienas un vērtējams, kā ļoti sauss (HTK 0.55). 2020. gada vēsie un sausie apstākļi (HTK 0.88) palēnināja ziemas kviešu attīstību, periods ilga 48 dienas. Vidējā gaisa temperatūra šajā periodā ievērojami zemāka (+7.9°C) nekā pārējos izmēģinājuma gados. Lai gan nokrišņu daudzums sasniedza 34 mm, tie pārsvarā bija nelieli. Arī 2021. gadā šajā periodā vidējā gaisa temperatūra bija zema (+11.7 °C), tomēr perioda beigās tā sasniedza jau +14.6 °C (17.05.2021.), kas sakrita kopā ar divām nokrišņiem bagātām dienām (17.05.2021. – 4.4 mm, 18.05.2021. – 9.2 mm).

**Meteoroloģisko apstākļu raksturojums dažādos ziemas kviešu
attīstības etapos**

Meteorological situation at different growth stages of winter wheat

Attīstības etapi / Growth stages	Gads/ Year	Perioda ilgums, dienas/ Durati on of period	Vidējā gaisa temperatūra, °C / Average air temperature. °C	Nokrišņu daudzums, mm / Amount of precipitation on, mm	Lietaino dienu skaits (>2mm) / Number of rainy days (>2 mm)	Hydro-termiskais koeficients (HTK) / Hydro-termical coefficient (HTK)
31.–39.	2018.	14	16.2	4.0	1	0.18
	2019.	19	13.3	14.0	1	0.55
	2020.	48	7.9	34.2	6	0.88
	2021.	15	11.7	14.2	2	0.81
39.–65.	2018.	15	17.6	2.0	0	0.08
	2019.	18	16.3	5.8	0	0.20
	2020.	22	16.9	81.4	3	2.19
	2021.	21	13.7	36.6	1	1.27
65.–73.	2018.	13	17.9	0	0	0.00
	2019.	9	20.5	1.6	0	0.09
	2020.	12	21.0	59.8	1	2.37
	2021.	19	20.0	14.0	2	0.37
73.–77.	2018.	8	15.8	14.0	3	1.11
	2019.	12	18.8	6.2	1	0.27
	2020.	7	16.7	2.4	0	0.21
	2021.	8	21.1	3.2	1	0.19

Attīstīta karoglapa (39. AE.) – ziedēšanas vidus (65. AE). Meteoroloģiskie apstākļi šajā periodā starp izmēģinājumu gadiem ievērojami atšķirās (HTK 0.08–2.19). 2018. un 2019. gadā nokrišņu daudzums bija neliels, bet atšķirās vidējā gaisa temperatūra. Augiem labvēlīgāki augšanas apstākļi bija 2019. gadā (HTK 0.20). 2020. gadā uzskaites periods ilga 22 dienas un raksturojās kā pārlietu mitrs (HTK 2.19). Šajā periodā nokrišņi lietusgāzu veidā (07.06.2020. – 32.5 mm, 08.06.2020. – 20.5 mm.) un ievērojamas vidējās gaisa temperatūras svārstības (piemēram, 03.06.2020 – +12.3 °C, 12.06.2020. – +20.5 °C). Augu attīstībai optimālāki apstākļi bija 2021. gadā (HTK 1.27).

Ziedēšanas vidus (65. AE) – agrā piengatavība (73. AE). Arī šajā periodā meteoroloģiskie apstākļi ievērojami atšķirās. Trijos gados no četriem augi šajā periodā cieta no sausuma. Jāatzīmē 2018. gads, kad 13 dienu laikā netika reģistrēti nokrišņi (HTK 0). Līdzīga situācija veidojās 2019. gadā

(HTK 0.09), kad reģistrēti tikai 1.6 mm. Taču šajā gadā bija ievērojami augstāka vidējā gaisa temperatūra (+20.5 °C), kā rezultātā augi sasteidza attīstību. Savukārt 2021. gadā uzskaites periodā nokrišņu daudzums bija lielāks (14 mm), lielākā daļa no tiem nolija divās dienās (12.06.2021. – 5.0 mm, 24.06.2021. – 8.8 mm). Pēc lietus turpmāk sekoja sausuma periods. Pretēji laika apstākļi šajā periodā bija 2020. gadā (HTK 2.37). Pēc stiprām lietusgāzēm 29. jūnijā (56 mm) izmēģinājumā konstatēja veldri, kas saglabājās līdz ražas novākšanai.

Agrā piengatavība (73. AE) – vēlā piengatavība (77. AE). Optimālākie apstākļi ziemas kviešu attīstībai piengatavības fāzes laikā bija 2018. gadā (HTK 1.11). Vidējā gaisa temperatūra gan bija zemāka nekā citos izmēģinājuma gados šajā periodā, taču vairākas dienas lija lietus. Pārējos trīs izmēģinājuma gados augi šajā laikā cieta no mitruma trūkuma (HTK 0.19–0.27 atkarībā no gada), taču atšķīrās mitruma režīms. Ja 2019. gadā nokrišņi bija epizodiski, bet lielākā daudzumā (1.6–2.2 mm dienā), tad 2020. gadā katru dienu 0.2–0.6 mm uzturot sējumā rasu un veidojot labvēlīgu vidi augu slimību ierosinātāju attīstībai.

Vēlā piengatavība (77. AE) – pilngatavība (89.–90. AE).

Graudu nogatavošanās laikā optimālākie apstākļi bija 2020. gadā, kad gaisa vidējā temperatūra nepārsniedza + 16.7 °C un periodiski bija nelieli nokrišņi. Turpretim 2021. gadā šajā periodā gaisa vidējā temperatūra sasniedza +22.9 °C, taču atsevišķās dienās pārsniedza +25.0 °C. Nokrišņi šajā periodā praktiski nebija.

Vērtējot visus četrus izmēģinājuma gadu meteoroloģiskos rādītājus, var secināt, ka labvēlīgākais gads augstu ražu ieguvei bija 2020. gads.

Datu matemātiskā apstrāde

Fungicīdu lietošanas, slāpekļa papildmēslojuma un gada ietekmes būtiskuma novērtēšanai uz ziemas kviešu lapu slimību attīstību, fungicīdu lietošanas tehnisko efektivitāti, graudu ražu un ražas struktūrelementiem izmantoja trīsfaktoru dispersijas analīzi. Tā kā gada ietekme bija būtiska, tad izmantota divfaktoru analīze katra gada datu analīzei. Starpības starp variantiem noteica ar Bonferroni testu pie 95% būtiskuma līmeņa ($p < 0.05$).

Sakarības starp rādītājiem noteiktas, izmantojot Pīrsona korelācijas analīzi.

Datu matemātiskā apstrāde veikta brīvpieejas programmā “R”, versijā 4.0.2.

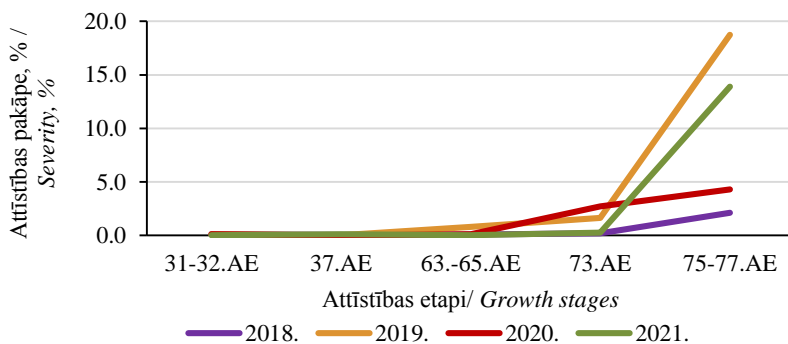
Rezultāti

Lapu slimību attīstības izvērtējums

Lapu slimību attīstība vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas

Ziemas kviešu sējumos konstatēta kviešu lapu dzeltenplankumainība (ieros. *Pyrenophora tritici-repentis*), kviešu lapu pelēkplankumainība (ieros. *Zymoseptoria tritici*), graudzāļu mltrasa (ieros. *Blumeria graminis*) un brūnā rūsa (ieros. *Puccinia recondita*). Kviešu lapu dzeltenplankumainība dominēja trijos izmēģinājumu gados: 2018., 2019. un 2021. gadā. Kviešu lapu pelēkplankumainība dominēja 2020. gadā, taču arī kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpe šajā gadā bija salīdzinoši augsta.

Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības dinamika vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas. Lai gan visos izmēģinājuma gados pirmās kviešu lapu dzeltenplankumainības pazīmes uz augiem novēroja jau kviešu stiebrošanas fāzes sākumā (1. att.), straujāka slimības attīstība sākās piengatavības sākumā. Būtiskākās atšķirības kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības dinamikā redzamas piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE): slimības attīstības pakāpe vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas variēja robežās no 2.1% (2018.) līdz 18.7% (2019.) un izmēģinājumu gados būtiski atšķīrās ($p < 0.001$).



1. att. Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības dinamika vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas 2018.–2021. g., %

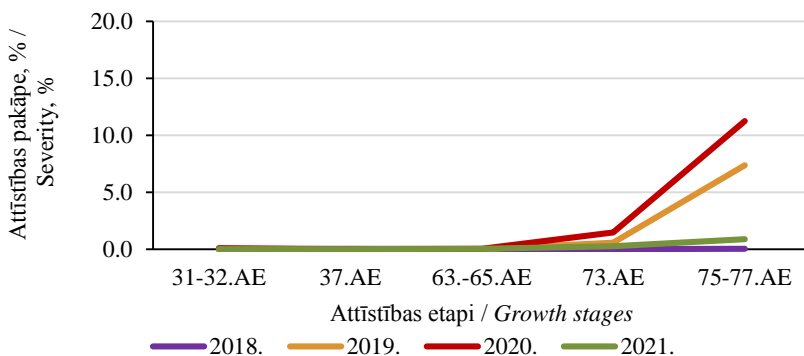
Fig. 1. Development of tan spot on average in variants without fungicide treatment 2018–2021, %

P. tritici-repentis attīstību ietekmēja vidējā gaisa temperatūra. 2018. gadā periods no ziedēšanas līdz piengatavības fāzes vidum bija vēss: vidējā gaisa temperatūra nepārsniedza +19.9 °C, dažās dienās pazeminājās līdz pat +12.4 °C,

kas varēja aizkavēt slimības attīstību. Turpretim 2019. gadā diennakts vidējā gaisa temperatūra šajā periodā bija ievērojami augstāka (+18.8 °C), vairākas dienas pārsniedza +20 °C. Šajā laikā bija arī nelieli nokrišņi, kas nodrošināja mitrumu konīdiju dīgšanai, kā rezultātā piengatavības fāzes vidū slimības attīstības pakāpe sasniedza 18.7% un bija augstākā izmēģinājuma gados. Savukārt 2021. gadā piengatavības laikā reģistrēta augstākā vidējā gaisa temperatūra izmēģinājumu laikā (+21.1 °C), taču bija neliels nokrišņu daudzums. Šādos apstākļos kviešu dzeltenplankumainības attīstība sasniedza 13.9%.

2020. gadā no pilnas karoglapas fāzes līdz ziedēšanas vidum bija palielināts nokrišņu daudzums, galvenokārt lietavu veidā: HTK 2.19 (pārlietu mitrs), savukārt no ziedēšanas vidus līdz piengatavības sākumam HTK 2.37, tomēr kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpe piengatavības fāzes vidū bija zema (4.3%).

Kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības dinamika vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas. Kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība (2. att.) vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas izmēģinājumu gados būtiski atšķīrās ($p < 0.001$).



2. att. **Kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības dinamika vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas 2018.–2021. g., %**

Fig. 2. Development of Septoria tritici blotch on average in variants without fungicide treatment 2018–2021, %

Zemākā kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpe vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas konstatēta 2018. un 2021. gadā, attiecīgi 0.05% un 0.9% piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE). Lai gan 2021. gada veģetācijas periodā novēroja nokrišņu trūkumu un pirmās slimības pazīmes konstatētas tikai kviešu ziedēšanas fāzes vidū, piengatavības fāzes beigās slimības attīstības pakāpe bija salīdzinoši augsta un sasniedza 7.4%.

Nokrišņiem bagātākajā 2020. gadā kviešu lapu pelēkplankumainības pirmie simptomi konstatēti jau stiebrošanas fāzes sākumā (1.0%). Straujāka

slimības attīstība sākās piengatavības sākumā un sakrita ar lietusgāzēm (29.06.2020. – 56 mm). Piengatavības fāzes vidū kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpe kontroles variantā sasniedza 11.4%.

Kopumā kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība bija mazāk nozīmīga nekā citās valstīs.

Graudzāļu miltrasas izplatība vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas konstatēta 2018. un 2019. gadā. Abos gados pirmie simptomi novēroti izplaukušas karoglapas fāzē, taču graudzāļu miltrasas attīstība bija lēna un nepārsniedza 0.2% (2018.) un 0.5% (2019.).

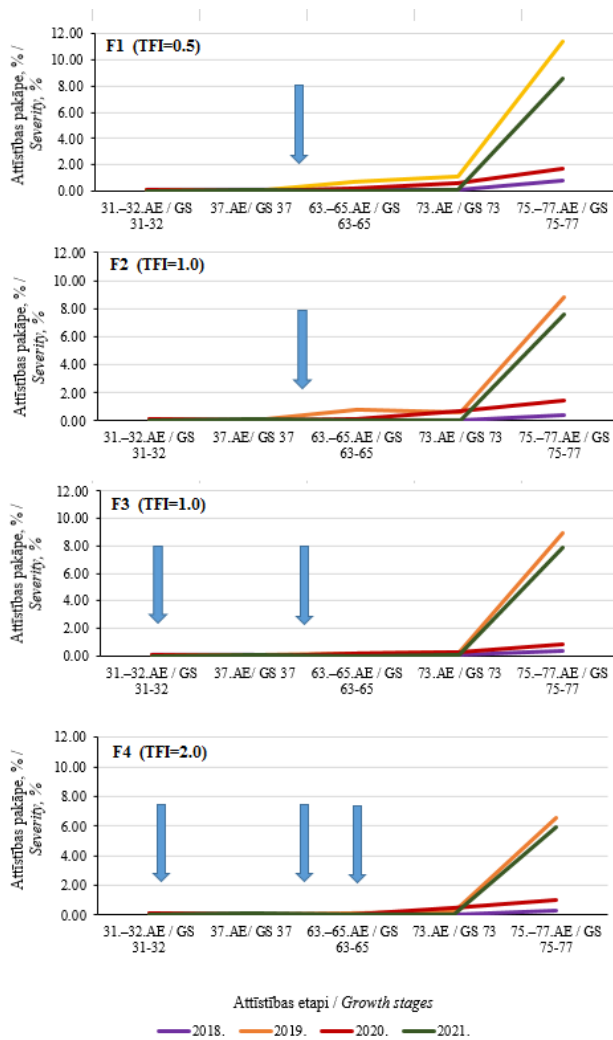
Brūnā rūsa konstatēta tikai 2021. gadā. Pirmās slimības pazīmes novērotas kviešu vārpošanas beigās (58.–59. AE), piengatavības beigās šīs slimības attīstība kontroles variantā nepārsniedza 0.43%.

Tā kā graudzāļu miltrasas un brūnās rūsas izplatība bija neliela un periodiska, grūti izdarīt secinājumus, vai to attīstība varēja ietekmēt kviešu ražu. Turpmākajā darbā analizēta tieši kviešu lapu plankumainību (dzeltenplankumainības un pelēkplankumainības) attīstības ietekme uz kviešu ražu, kā arī minēto slimību ierobežošanas iespējas.

Fungicīdu ietekme uz kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstību

Variantos, kur lietoja fungicīdus, visos izmēģinājuma gados pirmās kviešu lapu dzeltenplankumainības pazīmes uz augiem novēroja jau kviešu stiebrošanas fāzes sākumā (3. att.), taču tālāko slimības attīstību ietekmēja fungicīdu lietošanas shēma. Pētījumā visos gados strauja lapu plankumainību attīstība sākās piengatavības fāzes sākumā un un piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE) var novērtēt fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāti lapu plankumainību ierobežošanā.

Fungicīdu lietošana būtiski samazināja kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpi ($p < 0.001$) kviešu piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE), bet lietoto fungicīdu shēmu efektivitāte izmēģinājumu gados ($F \times G$ mijiedarbība) būtiski atšķīrās ($p < 0.001$).



3. att. Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības dinamika atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas 2018.–2021. g., %

Fig.3. The development of tan spot depending on fungicide treatment schemes in 2018–2021, %

F1 – puše no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0); bultas norāda fungicīdu smidzināšanas laiku / F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide doses divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0); arrows indicate the time of fungicide treatment

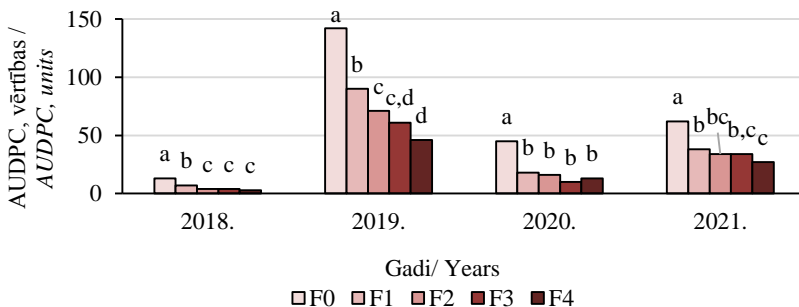
Izmēģinājuma gados ar zemu kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpi, slimības ierobežošanai pietika ar vienu smidzinājumu vārpošanas laikā. 2018. gadā vienreizējas fungicīdu smidzināšanas efektivitāte bija nepietiekama, ja lietoja pusi no pilnas fungicīdu devas (TFI=0.5), savukārt 2020. gadā fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāte būtiski neatšķīrās.

Gados, kad ziemas kviešu dzeltenplankumainības attīstība bija būtiski augstāka, fungicīdu lietošanas efektivitāte pieauga variantos, kur bija augstāka fungicīdu lietošanas intensitāte. 2019. gadā vienreizējas fungicīdu smidzināšanas ar pusi no pilnas fungicīdu devas vārpošanas laikā efektivitāte (TFI=0.05) bija būtiski zemāka nekā lietojot pilnu fungicīda devu (TFI=1.0). Augstāka efektivitāte novērojama shēmās, kur fungicīdu deva bija dalīta divās (TFI=1.0) vai trīs (TFI=2.0) daļās. 2021. gadā, kad kviešu dzeltenplankumainības attīstības pakāpe starp variantiem, kur smidzināja fungicīdus, variēja no 6.0 līdz 8.5%, jau vienreizējs fungicīdu smidzinājums, kur lietoja pusi no pilnas fungicīda devas vārpošanas laikā (TFI=0.5), nodrošināja līdzīgu efektivitāti kā smidzinājums ar pilnu fungicīda devu (TFI=1.0) vai divreizējs smidzinājums (TFI=1.0). Fungicīdu lietošanas shēmai, kur fungicīda deva bija sadalīta trīs daļās (TFI=2), bija līdzīga efektivitāte kā fungicīdu lietošanas shēmai ar pilnu fungicīda devu vārpošanas laikā un shēmu, kur fungicīdu deva bija sadalīta divās daļās.

Fungicīdu smidzināšana būtiski samazināja **kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstību** (4. att.), kuras raksturošanai aprēķinātas AUDPC vienības ($p<0.001$), bet lietoto fungicīdu shēmu efektivitāte izmēģinājumu gados būtiski atšķīrās ($p<0.001$).

Zemākās kviešu lapu dzeltenplankumainības AUDPC vērtības (4. att.) variantos, kur lietoti fungicīdi, aprēķinātas 2018. gadā: 3–7 vienības un 2020. gadā: 10–18 vienības. Izmēģinājuma gados, kad iegūtas zemākās kviešu lapu dzeltenplankumainības AUDPC vērtības, slimības ierobežošanai pietika ar vienu smidzinājumu vārpošanas laikā. 2018. gadā vienreizējas fungicīdu smidzināšanas efektivitāte nebija pietiekama, ja lietoja pusi no pilnas fungicīdu devas (F1).

2020. gadā visas fungicīdu lietošanas shēmas būtiski samazināja kviešu lapu dzeltenplankumainības AUDPC vērtības. Gados, kad strauja kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstība sākas tikai pēc ziedēšanas, vienreizējs smidzinājums nodrošina pietiekamu efektivitāti.



4. att. Kviešu lapu dzeltenplankumainības AUDPC vērtības atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas 2018. –2021. g.

Fig. 4. Values of AUDPC of tan spot depending on fungicide treatment schemes 2018–2021

F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0), atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības katrā izmēģinājumu gadā / F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide doses divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0); significant different means are marked with different letters for each year

Gados, kad ziemas kviešu dzeltenplankumainības AUDPC vērtības bija būtiski augstākas, fungicīdu lietošanas efektivitāte pieauga variantos, kur bija augstāka fungicīdu lietošanas intensitāte. Augstākās AUDPC vērtības variantos, kur lietoja fungicīdus, aprēķinātas 2019. gadā: 46–90 vienības un 2021. gadā: 27–38 vienības. 2019. gadā vienreizējas fungicīdu smidzināšanas ar pusi no pilnas fungicīdu devas vārpošanas laikā efektivitāte (TFI=0.05) bija būtiski zemāka nekā lietojot pilnu fungicīda devu (TFI=1.0). Augstāka efektivitāte bija shēmām, kur fungicīdu deva bija dalīta divās (TFI=1.0) vai trīs (TFI=2.0) daļās. 2021. gadā jau vienreizējs fungicīdu smidzinājums, kur lietoja pusi no pilnas fungicīda devas vārpošanas laikā (TFI=0.5), nodrošināja līdzīgu efektivitāti kā smidzinājums ar pilnu fungicīda devu (TFI=1.0) vai divreizējs smidzinājums (TFI=1.0). Augstākā efektivitāte iegūta variantā, kur fungicīdu deva sadalīta trīs daļās (TFI=2.0).

Divreizēja fungicīdu smidzināšana (31. AE. un 39. AE.) ir efektīva gados, kad meteoroloģiskie apstākļi ir labvēlīgi kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstībai.

Fungicīdu ietekme uz kviešu lapu pelēkplankumainības attīstību

Kviešu lapu pelēkplankumainības pirmās pazīmes izmēģinājumu gados konstatētas atšķirīgās kviešu attīstības fāzēs: 2018. gadā – karoglapas plaukšanas laikā (37. AE), 2019. gadā – ziedēšanas fāzes vidū (63.–65. AE), bet 2020. un

2021. gadā jau stiebrošanas fāzes sākumā (31.–32. AE). Pētījumā visos gados strauja lapu plankumainību attīstība sākās piengatavības fāzes sākumā un piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE) var novērtēt fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāti lapu plankumainību ierobežošanā.

Vidēji četros izmēģinājumu gados kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE) būtiski ietekmēja fungicīdu lietošana ($p < 0.001$), bet lietoto fungicīdu shēmu efektivitāte izmēģinājumu gados ($F \times G$ mijiedarbība) būtiski atšķīrās ($p < 0.001$).

Lai gan fungicīdu lietošana būtiski samazināja kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi piengatavības fāzes vidū, tomēr atsevišķu fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāte bija būtiska tikai 2020. un 2021. gadā ($p < 0.001$). 2020. gadā, kad konstatēta augstākā kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpe piengatavības fāzes vidū, lielāku efektivitāti nodrošināja fungicīdu lietošanas shēma, kur fungicīdu deva bija dalīta divās daļās (F3). Lai gan TFI starp pārējiem izmēģinājumā pārbaudītajiem variantiem variēja no 1.0 līdz 2.0, efektivitāte būtiski neatšķīrās. Vērtējot meteoapstākļus 2020. gada veģetācijas periodā, redzams, ka starp pirmo smidzinājumu 32. AE un otro smidzinājumu 55.–59. AE intervāls ir 41 diena, kurā periodiski ir nokrišņi (tai skaitā, 8 dienas ar nokrišņu daudzumu $> 2\text{mm}$). Šajā gadā kviešu lapu pelēkplankumainība konstatēta jau stiebrošanas fāzes sākumā (0.1%) un redzams, ka pirmais smidzinājums 31. AE ir ierobežojis patogēna attīstību, jo līdz otrajam smidzinājumam variantā F3 slimības attīstības pakāpe pieaug lēnām (nākošajā uzskaitē (37.–39. AE) – 0.1%).

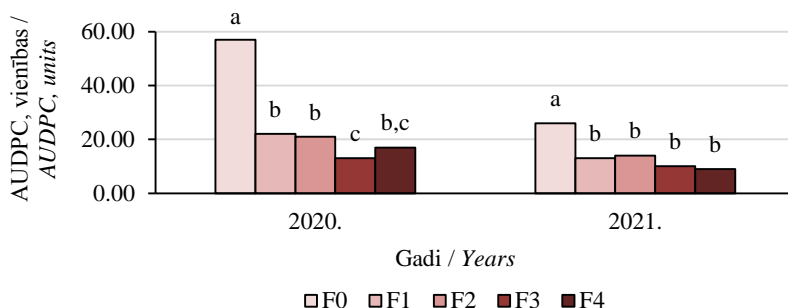
Lai gan 2021. gadā iegūtas statistiski būtiskas atšķirības starp fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāti (vienreizējas fungicīdu smidzināšanas efektivitāte bija nepietiekama, ja lietoja pusi no fungicīda devas (TFI=0.5), tomēr šajā gadā slimības attīstība nepārsniedz 1%, un nevar objektīvi novērtēt fungicīdu ietekmi.

Vidēji četros izmēģinājumu gados **kviešu lapu pelēkplankumainības attīstību (AUDPC)** būtiski ietekmēja fungicīdu lietošana ($p < 0.001$), gada meteoroloģiskie apstākļi ($p < 0.001$), kā arī būtiska faktoru mijiedarbība $F \times G$.

Zemākās kviešu lapu pelēkplankumainības AUDPC vērtības (5. att.) iegūtas 2018. gadā (0.8–1.4 vienības). Šajā gadā fungicīdu ietekme uz kopējo slimības attīstību bija nebūtiska, kas izskaidrojams ar slimības attīstības zemo pakāpi ($< 1\%$).

Fungicīdu lietošana būtiski samazināja kviešu lapu pelēkplankumainības kopējo attīstību (AUDPC) ($p < 0.001$) trijos gados no četriem (2019., 2020. un 2021.), tomēr atsevišķu fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāte bija būtiska tikai 2020. un 2021. gadā ($p < 0.001$). 2020. gadā, kad kviešu lapu pelēkplankumainībai aprēķinātās AUDPC vienības smidzinātajos variantos variēja no 13–22 vienībām, augstāko efektivitāti nodrošināja fungicīdu lietošanas shēma, kur fungicīdu deva bija dalīta divās daļās. Lai gan TFI starp pārējiem izmēģinājumā pārbaudītajiem variantiem variēja no 1.0 līdz 2.0, efektivitāte

būtiski neatšķirās. 2021. gadā, vienreizējas fungicīdu smidzināšanas efektivitātē bija nepietiekama, ja lietoja pusi no fungicīda devas (TFI=0.5).



5. att. Kviešu lapu pelēkplankumainības AUDPC vērtības atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas 2020.–2021. g.

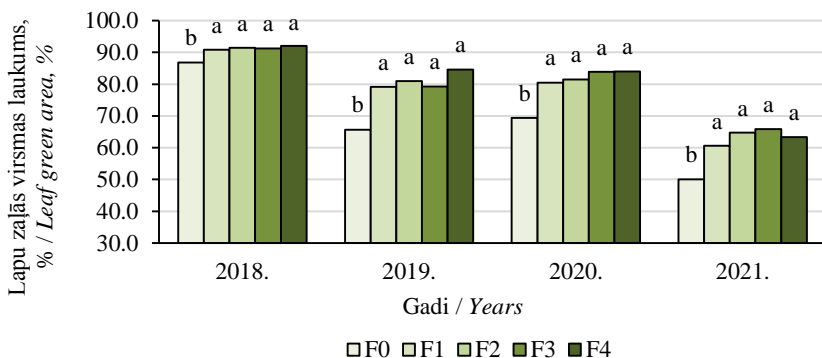
Fig. 5. Values of AUDPC of *Septoria tritici* blotch depending on fungicide treatment schemes in 2018–2021

F0 – bez fungicīdu lietošanas, F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=2.0); atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības katrā izmēģinājumu gadā / F0 – without fungicide treatment, F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide dose divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0), significant different means are marked with different letters for each year

Lapu zaļās virsmas laukums

Lapu zaļās virsmas laukums piengatavības fāzes vidū (75.–77. AE) izmēģinājumu gados atšķirās. Fungicīdu lietošana (6. att.) būtiski palielināja lapu zaļās virsmas laukumu ($p < 0.001$), tomēr fungicīdu lietošanas shēmu izvēle to neietekmēja. Pētījumā iegūta būtiska faktoru F×G un N×G mijiedarbība ($p < 0.001$).

Vērtējot vidējo lapu zaļās virsmas laukumu piengatavības vidū, veselākās lapas bija 2018. gadā (90.4 %). Šajā gadā bija arī mazākās atšķirības starp variantiem bez fungicīdu lietošanas (86.8%) un variantiem, kur lietoja fungicīdus (90.8–92% atkarībā no varianta). 2019. un 2020. gadā lapu zaļās virsmas laukums 75.–77. AE bija būtiski mazāks (vidēji gados: 79.9 un 77.9%).



6. att. Lapu zaļās virsmas laukums atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas 75.–77. AE 2018.–2021. g., %

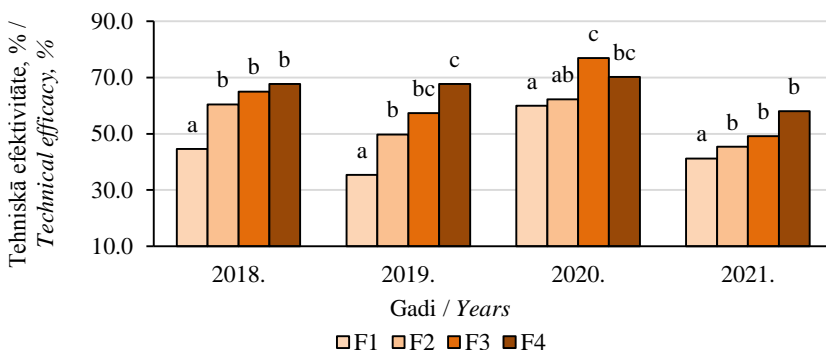
Fig. 6. Leaf green area depending on fungicide treatment scheme at GS 75–77 in 2018–2021

F0 – bez fungicīdu lietošanas, F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0); atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības katrā izmēģinājumā gadā / F0 – without fungicide treatment, F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide dose divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0), significant different means are marked with different letters for each year

Mazākais lapu zaļās virsmas laukums konstatēts 2020. gadā, kad vidēji variantos bez fungicīdu lietošanas vesela bija vairs tikai 50.0% no lapas virsmas, bet variantos, kur lietoja fungicīdus, – 60.6–65.9% atkarībā no pielietotās fungicīdu shēmas.

Fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte

Fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte izmēģinājumu gados atšķīrās ($p < 0.001$) un tā bija atkarīga no fungicīdu lietošanas shēmas ($p < 0.001$). Slāpekļa papildmēslojuma norma fungicīdu lietošanas tehnisko efektivitāti būtiski ietekmēja tikai divos (2018., 2021.) izmēģinājuma gados no četriem. Promocijas darba pētījumā iegūta būtiska faktoru $F \times G$ un $N \times G$ mijiedarbība ($p < 0.001$).



7. att. Fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas 2018.–2021. g., %

Fig. 7. The technical efficacy of fungicide depending on fungicide treatment scheme in 2018–2021, %

F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0); atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības katrā izmēģinājumu gadā / F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide dose divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0); significant different means are marked with different letters for each year

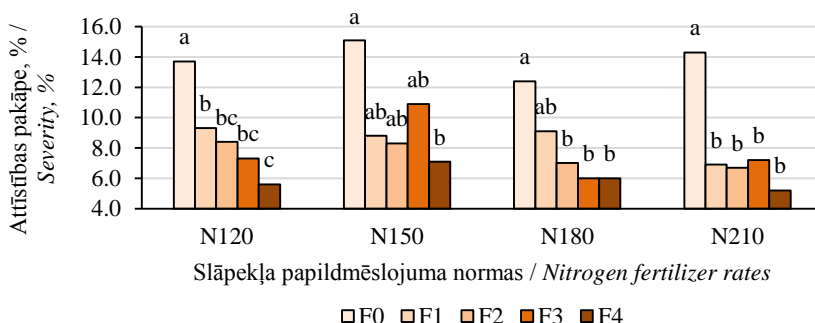
Visos izmēģinājumu gados būtiski zemāka fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte (7. att.) iegūta variantā F1 (TFI=0.5), kur lietoja pusi no pilnas fungicīdu devas vārpošanas laikā (55.–57. AE). Gados ar zemu lapu slimību attīstības pakāpi (2018., 2021.), palielinot fungicīdu lietošanas intensitāti (TFI=1.0 vai 2.0), iegūta līdzīga tehniskā efektivitāte.

Savukārt gados, kad meteoapstākļi labvēlīgāki lapu slimību attīstībai, pieaugot fungicīdu lietošanas shēmu intensitātei, pieaug arī tehniskā efektivitāte. 2019. gadā atšķirības starp tehniskās efektivitātes vērtībām variēja visvairāk: no 35.4% (F1) līdz 67.7% (F4). Šajā gadā augstāko tehnisko efektivitāti ieguva variantā F4, kur fungicīdus smidzināja trīs reizēs. Taču rezultāts statistiski būtiski neatšķīrās no varianta F3. Savukārt 2020. gadā, kad tehniskā efektivitāte variē no 60.0% (F1) līdz 76.2% (F3), augstākā tehniskā efektivitāte iegūta variantā F3, kur fungicīdi lietoti divas reizes, taču statiski neatšķiras no varianta F4, kur fungicīdi lietoti trīs reizes.

Slāpekļa papildmēslojuma ietekme uz kviešu lapu slimību attīstību

Lapu plankumainību attīstība variantos bez fungicīdu lietošanas atkarībā no slāpekļa papildmēslojuma normas. Variantos bez fungicīdu lietošanas N papildmēslojuma norma neietekmēja kviešu lapu dzeltenplankumainības ($p>0.05$) un kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi ($p>0.05$) piengatavības fāzes vidū.

Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstība atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas. Lai gan datu statistiskā analīze rāda, ka slimības attīstības pakāpi piengatavības fāzes vidū ietekmēja N papildmēslojuma norma, tomēr faktora ietekme ir būtiska tikai 2021. gadā ($p=0.011$).



8. att. Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpe 75.- 77. AE atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas 2021. gadā, %

Fig. 8. The severity of tan spot at GS 75–77 depending on fungicide treatment scheme and nitrogen fertilizer rates in 2021, %

F0 – bez fungicīdu lietošanas, F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0); atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības pie katras slāpekļa mēslojuma normas / F0 – without fungicide treatment, F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide dose divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0), significant different means are marked with different letters at each nitrogen fertilizer rate

Šajā gadā būtiski augstāka kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstība konstatēta pie N papildmēslojuma normas N150 (8. att.), palielinot slāpekļa normu, slimības attīstības pakāpe samazinās. Nav konstatēta būtiska faktoru F×N mijiedarbība. Arī dzeltenplankumainības AUDPC vērtības ir augstākās pie N papildmēslojuma normas 150 kg ha⁻¹ un, palielinot N papildmēslojuma normu, samazinās. Tomēr nevar droši apgalvot, ka, palielinot N papildmēslojuma normu, kopējā slimības attīstība samazinās, jo AUDPC

vērtības pie N mēslojuma normas 120 kg ha^{-1} būtiski neatšķiras no N mēslojuma normas 180 kg ha^{-1} un 210 kg ha^{-1} .

Kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas. N papildmēslojuma norma būtiski ietekmēja kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi piengatavības vidū tikai 2021. gadā ($p=0.001$). Būtiski augstāka kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība konstatēta pie N papildmēslojuma normas N180 salīdzinot ar kontroles variantu. Vērtējot slimības kopējo attīstību (AUDPC) tomēr redzams, ka slāpekļa papildmēslojuma norma nav ietekmējusi slimības attīstību ($p>0.05$). Šajā gadā kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība bija neliela ($<1\%$).

Lapu zaļās virsmas laukums atkarībā no slāpekļa papildmēslojuma normas. Vienā no četriem izmēģinājuma gadiem (2021.) lapu zaļās virsmas laukumu ietekmēja arī lietotā N papildmēslojuma norma ($p<0.001$). Būtiski lielāks lapas zaļās virsmas laukums piengatavības fāzes vidū konstatēts pie lielākām N papildmēslojuma normām 180 kg ha^{-1} (64.7%) un 210 kg ha^{-1} (69.2%). Abiem N papildmēslojuma variantiem kopējā slāpekļa norma ir sadalīta trīs devās. Zaļās lapas saglabāšanos varēja veicināt trešā N mēslojuma deva vārpošanas laikā (30 kg ha^{-1} un 50 kg ha^{-1} atkarībā no mēslošanas varianta).

Fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte atkarībā no slāpekļa papildmēslojuma normas. Slāpekļa papildmēslojuma norma fungicīdu lietošanas tehnisko efektivitāti būtiski ietekmēja tikai divos izmēģinājuma gados no četriem (2018., 2021.).

2018. gadā fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte atkarībā no N papildmēslojuma mēslojuma normas variē no 52.2 līdz 66.5%. Zemākā tehniskā efektivitāte iegūta variantā F1 (TFI=0.5), kur lietota puse no pilnas fungicīdu devas vārpošanas laikā (55.–57. AE). Palielinot fungicīdu lietošanas intensitāti, tehniskā efektivitāte pieaug, tomēr nevar apgalvot, ka pie lielākām N papildmēslojuma normām tā būtiski palielinās. Savukārt 2021. gadā būtiski augstāka fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte bija pie N mēslojuma normas 210 kg ha^{-1} (55.6%).

Ziemas kviešu raža atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas

Vērtējot četru gadu vidējos datus par ziemas kviešu graudu ražu, būtiska ietekme novērojama lietotajam slāpekļa papildmēslojumam ($p<0.001$), fungicīdu lietošanai ($p<0.001$), gada meteoroloģiskajiem apstākļiem ($p<0.001$), kā arī novērota būtiska faktoru $F \times N$, $F \times G$ un $N \times F \times G$ mijiedarbība (5 tab.), taču atsevišķos pētījumu gados faktoru ietekmes būtiskums atšķirās.

Vidējās graudu ražas izmēģinājumu gados (5. tab.) būtiski atšķīrās (5.23–8.41 t ha⁻¹). Izmēģinājumā plānota 8.00 t ha⁻¹ graudu raža, tomēr plānotā raža (8.00 t ha⁻¹) sasniegta tikai vienā no četriem gadiem (2020.).

5. tabula/ Table 5

Ziemas kviešu ražas atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas 2018.–2021. g.

Winter wheat grain yield depending on fungicide treatment scheme and nitrogen top-dressing rate in 2018–2021, t ha⁻¹

Varianti/ Variants	Vidēji 2018.–2021./ Average 2018–2021	Atsevišķi izmēģinājumu gados / <i>Seperate year data</i>			
		2018.	2019.	2020.	2021.
Fungicīdu lietošanas shēmas (F) / <i>Fungicide treatment schemes (F)</i>					
F0	6.65 ^a	7.16 ^a	5.08 ^{nb}	7.82 ^a	6.55 ^{nb}
F1	6.89 ^b	7.15 ^a	5.25 ^{nb}	8.61 ^b	6.56 ^{nb}
F2	6.75 ^c	6.87 ^b	5.25 ^{nb}	8.33 ^c	6.55 ^{nb}
F3	6.78 ^{c,d}	6.58 ^c	5.33 ^{nb}	8.63 ^b	6.59 ^{nb}
F4	6.86 ^{b,d}	6.90 ^b	5.25 ^{nb}	8.64 ^b	6.67 ^{nb}
Slāpekļa papildmēslojuma norma (N) / <i>Nitrogen fertilizer rates (N)</i>					
N120	6.62 ^a	6.78 ^a	5.03 ^a	8.27 ^a	6.39 ^a
N150	6.80 ^b	6.92 ^b	5.21 ^{ab}	8.53 ^b	6.54 ^b
N180	6.88 ^c	6.98 ^{bc}	5.42 ^b	8.43 ^{b,c}	6.70 ^c
N210	6.85 ^{b,c}	7.05 ^c	5.27 ^{ab}	8.40 ^c	6.70 ^c
Gads (G) / <i>Year (G)</i>					
G	6.79	6.93 ^B	5.23 ^A	8.41 ^D	6.58 ^C
Faktoru ietekme (p-vērtība) / <i>Effect of studied factors (p-value)</i>					
F	p<0.001	p<0.001	nb	p<0.001	nb
N	p<0.001	p<0.001	0.036	p<0.001	p<0.001
G	p<0.001	x	x	x	x
F×N	0.006	p<0.001	nb	0.009	p<0.001
F×G	p<0.001	x	x	x	x
N×G	nb	x	x	x	x
N×F×G	0.014	x	x	x	x

Fungicīdu lietošanas shēmas: F0 – bez fungicīdiem, F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0); atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības: mazie burti – katrā izmēģinājumu gadā, lielie burti – starp izmēģinājumu gadiem; nb – faktoru ietekme nav statistiski būtiska (p>0.05) / *Fungicide treatment schemes: F0 – without fungicide treatment, F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide dose divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0), different letters mean significant difference: lowercase letter – for each year, capital letters – between years, nb – effect of studied factors was not significant (p>0.05).*

Vērtējot četru gadu vidējo ražu, variantos, kur lietoja fungicīdus, būtiski palielinājās graudu raža (ražas pieaugums fungicīdu smidzināšanas rezultātā 0.10–0.24 t ha⁻¹) salīdzinot ar variantu bez fungicīdu lietošanas. Augstākās ražas iegūtas variantos ar zemāko (F1; TFI=0.5) un augstāko (F4; TFI=2.0) fungicīdu lietošanas intensitāti, taču ražu atšķirības nav statistiski būtiskas. Lapu slimību ierobežošanai pietika ar vienu smidzinājumu vārpošanas fāzes vidū.

Fungicīdu lietošanas shēmas ietekme. Fungicīdu lietošana būtiski paaugstināja graudu ražas (5. tab.) tikai vienā no četriem izmēģinājumu gadiem (2020.), divos gados fungicīdu lietošana graudu ražu neietekmēja (2019. un 2021.). Savukārt 2018. gadā, pieaugot fungicīdu lietošanas intensitātei, graudu raža būtiski samazinājās.

Pētījumu gadā, kad novēroja ilgstošus sausuma periodus (2018.), augstākās ražas iegūtas variantā bez fungicīdu lietošanas un variantā ar pusi no pilnas fungicīda devas vārpošanas laikā. Pētījumā, pieaugot fungicīdu intensitātei, graudu raža variantā ar vislielāko FTI samazinājās par 0.58 t ha⁻¹ jeb 8% salīdzinot ar variantu bez fungicīdu lietošanas.

Fungicīdu lietošanas rezultātā graudu ražas pieaugums iegūts 2020. gadā (0.51–0.82 t ha⁻¹ salīdzinot ar variantu bez fungicīdu lietošanas), kas bija bagāts ar nokrišņiem, kuri veicināja kviešu lapu pelēkplankumainības attīstību. Būtisks ražas pieaugums salīdzinājumā ar variantu bez fungicīdu lietošanas iegūts jau variantos, kuros veikts viens smidzinājums vārpošanas vidū. Palielinot TFI, graudu ražas pieaugums būtiski neatšķiras.

Slāpekļa papildmēslojuma normu ietekme. Vidēji četros gados graudu ražas (5. tab.) pieauga līdz N mēslojuma normai 180 kg ha⁻¹, tomēr novēroja arī gada ietekmi: 2020. gadā graudu ražas pieauga tikai līdz N mēslojuma normai 150 kg ha⁻¹.

Veldres ietekme uz graudu ražu. 2020. gada apstākļos pēc spēcīgām lietussgāzēm sējumā konstatēta veldre (izturība pret veldri 2.2–3.1 balles), kas saglabājās līdz ražas novākšanai. Veldri ietekmēja slāpekļa papildmēslojuma normas (p=0.02), tā būtiski pieauga lielākajai slāpekļa mēslojuma normai N210. Lai gan veldre bija spēcīga, tomēr tās ietekme uz ražu nebija būtiska (r=–0.04, p>0.05). Tomēr konstatēta būtiska sakarība starp izturību pret veldri un lapu plankumainību attīstību: vidēji cieša negatīva (r=–0.61, p<0.001) starp izturību pret veldri un kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpi 75.–77. AE, vidēji cieša, negatīva (r=–0.67, p<0.001) starp izturību pret veldri un kviešu dzeltenplankumainības AUDPC vienībām. Savukārt cieša, negatīva sakarība (r=–0.75, p<0.001) konstatēta starp izturību pret veldri un kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi 75.–77. AE, kā arī starp izturību pret veldri un kviešu lapu pelēkplankumainības AUDPC vienībām.

Fungicīdu lietošanas shēmas ietekme uz graudu ražu atkarībā no slāpekļa papildmēslojuma normas. Trīs izmēģinājuma gados no četriem iegūta būtiska faktoru F×N mijiedarbība, kas nozīmē, ka fungicīdu lietošana shēmas ietekme uz graudu ražu pie dažādām slāpekļa papildmēslojuma normām atšķiras.

Nokrišņiem bagātākajā 2020. gadā promocijas darba pētījumā visos variantos, kur lietoti fungicīdi, novērots būtisks ražas pieaugums, salīdzinot ar F0. Arī šajā gadā ir būtiska F×N mijiedarbība, taču, vērtējot datus, nevar izdarīt secinājumus, jo ražu pieauguma vērtības ir izklaidētas un nevar konstatēt likumsakarības.

Promocijas darba pētījumā F×N mijiedarbība ir būtiska arī 2018. gadā, kad, pieaugot fungicīdu intensitātei, pazeminājās graudu raža. Variantā F2, kur vārpošanas fāzes vidū lietota pilna fungicīda deva, ražas samazinājums, pieaugot N mēslojuma normai, pakāpeniski pieaug no -0.13 t ha^{-1} (N120) līdz -0.62 t ha^{-1} (N210). Variantā, kur FTI ir līdzīgs kā F1, taču fungicīdu deva sadalīta divos smidzinājumos, graudu ražas samazinājums pie visām slāpekļa papildmēslojuma normām ir līdzīgs un variē no -0.51 (N210) līdz -0.66 t ha^{-1} (N180). Šajā gadā smidzinājums vārpošanas vidū veikts 03.06.2018. Pirms smidzinājuma ilgu periodu nav bijuši nokrišņi (15 dienas). Pēc fungicīdu smidzinājuma divas dienas ar nokrišņu daudzumu 1 mm dienā, pēc tam turpinājās sausuma periods (14 dienas) bez nokrišņiem un vidējo gaisa temperatūra 17.9°C . Lai gan variantā, kur fungicīdu lietošanas intensitāte ir augstākā (FTI=2.0), T3 veikts pēc deviņām dienām (13.06.2018.) sausuma apstākļos, ražas samazinājums, pieaugot slāpekļa papildmēslojuma normai, samazinās no -0.73 t ha^{-1} (N120) līdz $+0.07$ (N210).

Ziemas kviešu ražas struktūrelementu analīze

Produktīvo stiebru skaits. Vidēji četros izmēģinājumu gados produktīvo stiebru skaitu būtiski ietekmēja meteoroloģiskie apstākļi ($p<0.001$). Lielākais produktīvo stiebru skaits izmēģinājumā konstatēts 2020. gadā (vidēji 612 gab. m^{-2}). Gan 2019. gada rudens, gan 2020. gada pavasaris bija silti, ar pietiekamu mitruma nodrošinājumu, kas veicināja kviešu cerošanu.

Produktīvo stiebru skaits nebija atkarīgs no N papildmēslojuma devas. Atjaunojoties veģetācijai (kad veidojas šis struktūrelements), visos variantos augiem nodrošināja vienādu N papildmēslojuma normu ($80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$). Lai gan augi, atkarībā no izmēģinājuma varianta, N papildmēslojumu saņēma arī stiebrošanas fāzē un vārpošanas fāzes sākumā, tomēr šajās attīstības fāzēs slāpekļa mēslojums vairs nevar palielināt produktīvo stiebru skaitu.

Promocijas darbā netika novērota fungicīdu lietošanas shēmu ietekme uz produktīvo stiebru skaitu 1m^2 . Variantos F1 un F2 fungicīdus smidzināja vārpošanas fāzes vidū, bet produktīvo stiebru skaits izveidojās pirms fungicīdu lietošanas.

Graudu skaits vārpā. Visos izmēģinājuma gados graudu skaitu vārpā būtiski ietekmēja meteoroloģiskie apstākļi ($p<0.001$), bet 2021. gadā arī fungicīdu lietošanas shēma ($p=0.01$). Graudu skaits vārpā variēja no 20.7 gab. (2019.) līdz 37.0 gab. (2021.). Mazākais graudu skaits vārpā iegūts 2019. gadā. Jau periodā no veģetācijas atjaunošanās līdz stiebrošanas sākumam nokrišņu

daudzums bija neliels un epizodisks, bet struktūrelementam kritiskajos periodos novērots mitruma trūkums (no attīstītas karoglapas līdz ziedēšanas vidum: HTK 0.20, no ziedēšanas vidus līdz agrajai piengatavībai – HTK 0.09). Lielākais graudu skaits vārpā iegūts 2021. gadā, kad ziedēšanas laikā bija augu attīstībai labvēlīgāks mitruma nodrošinājums. Šajā gadā parādās kompensācijas mehānisma darbība, jo 2021. gadā konstatēja vismazāko produktīvo stiebru skaitu $1m^2$.

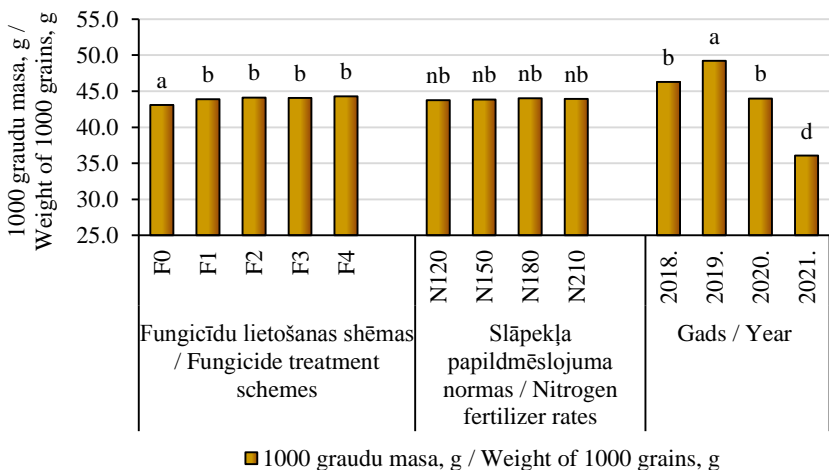
Slāpekļa papildmēslojuma norma graudu skaitu vārpā neietekmēja ($p>0.05$). 2021. gadā graudu skaitu vārpā ietekmēja fungicīdu lietošanas shēma ($p=0.01$). Salīdzinot ar kontroles variantu, būtiski lielāku graudu skaitu vārpā ieguva variantā, kur fungicīdu deva bija sadalīta trīs daļās (TFI=2.0).

Vienas vārpas graudu masa. Vidēji četros izmēģinājumu gados vienas vārpas graudu masu būtiski ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi ($p<0.001$), bet 2019. gadā novēroja slāpekļa papildmēslojuma normas ietekmi ($p=0.017$). Zemākā vienas vārpas graudu masa iegūta 2019. gadā (vidēji 1.16 g), ko var izskaidrot ar sausumu graudu nobriešanas laikā.

Slāpekļa papildmēslojuma norma vienas vārpas graudu masu ietekmēja tikai vienā izmēģinājumu gadā (2019.: $p=0.017$). Būtiski augstāku graudu skaitu vārpā, salīdzinot ar N120, nodrošināja N mēslojuma norma 210 kg ha^{-1} . Turklāt 2020. gadā konstatēta būtiska sakarība starp izturību pret veldri un vienas vārpas masu ($r=0.27$, $p=0.017$).

1000 graudu masa (TGM). Vidēji četros izmēģinājumu gados TGM būtiski ietekmēja gada meteoroloģiskie apstākļi ($p<0.001$) un fungicīdu lietošanas shēmas ($p<0.01$). Rupjākos graudus ieguva 2019. gadā, kad TGM variēja no 48.40 – 49.66 g. Turpretī 2021. gadā ieguva zemāko TGM (35.32– 36.44 g), ko var izskaidrot ar sausuma periodu graudu nobriešanas laikā. Savukārt 2020. gadā graudu veidošanos ietekmēja veldre ($r=0.36$, $p=0.001$, kā rezultātā TGM variēja no 42.28–44.79 g.

Fungicīdu lietošanas rezultātā TGM pieauga trīs gados no četriem (2019., 2020. un 2021.), tomēr pieaugums bija būtisks tikai nokrišņiem bagātajā 2020. gadā ($p=0.001$), kad konstatēja augstāko lapu plankumainību attīstības pakāpi izmēģinājumu gados. Šajā gadā TGM pieauga jau variantā, kur smidzināja pusi no pilnas fungicīdu devas vārpošanas laikā (TFI=0.05), taču būtisks rādītāja pieaugums novērots, smidzinot pilnu fungicīda devu. Palielinot fungicīdu smidzināšanas intensitāti, TGM pieauga nebūtiski. TGM nebija atkarīga no N papildmēslojuma normas ($p>0.05$). Promocijas darba pētījumā iekļautās N papildmēslojuma normas ir salīdzinoši augstas: $120\text{--}210\text{ kg ha}^{-1}$ N. Netika konstatēta statistiski būtiska $F\times N$ mijiedarbības ietekme uz TGM.

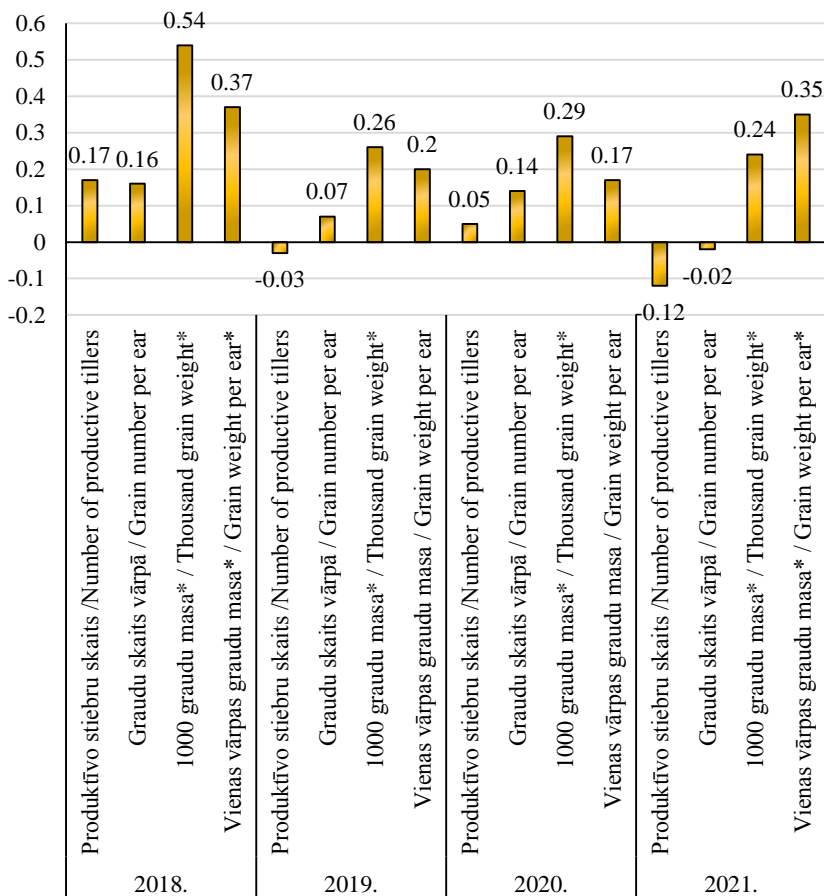


9. att. 1000 graudu masa atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma normas 2018.–2021. g., g

Fig. 9. Weight of 1000 grains depending on fungicide treatment scheme and nitrogen fertilizer rate in 2018–2021, g

Fungicīdu lietošanas shēmas: F0 – bez fungicīdiem, F1 – puse no pilnas devas (TFI=0.5), F2 – pilna deva (TFI=1.0), F3 – pilna deva dalīta divos smidzinājumos (TFI=1.0), F4 – divas pilnas devas dalītas trīs smidzinājumos (TFI=2.0); atšķirīgi burti apzīmē statistiski būtiskas atšķirības starp 1000 graudu masu katrā faktorā starp faktoriem; nb – faktoru ietekme nav statistiski būtiska ($p>0.05$), / Fungicide treatment schemes: F0 – without fungicide treatment, F1 – a half of full fungicide dose (TFI=0.5), F2 – a full fungicide dose (TFI=1.0), F3 – a full fungicide dose divided in two treatments (TFI=1.0), F4 – two full fungicide doses divided in three treatments (TFI=2.0), different letters mean significant differences between weight of 1000 grains on the specific factor; nb – effect of studied factors was not significant ($p>0.05$).

Sakarības starp ražas struktūrelementiem un graudu ražu. Pētījuma rezultāti rāda, ka 1000 graudu masai (TGM) bija vislielākā ietekme uz graudu ražu. Būtisku lineāru pozitīvu sakarību starp TGM un graudu ražu novēroja katrā izmēģinājuma gadā (10 att.). Divos no izmēģinājuma gadiem tika novērota būtiska lineāra pozitīva sakarība starp vienas vārpas graudu masu un graudu ražu (2018. g.: $r=0.37$, $p=0.001$; 2021. gadā: $r=0.35$, $p=0.002$).



10. att. **Lineārās korelācijas koeficienti r_{yx} starp ražu (y) un ražas struktūrelementiem (x) 2018.–2021. g.**

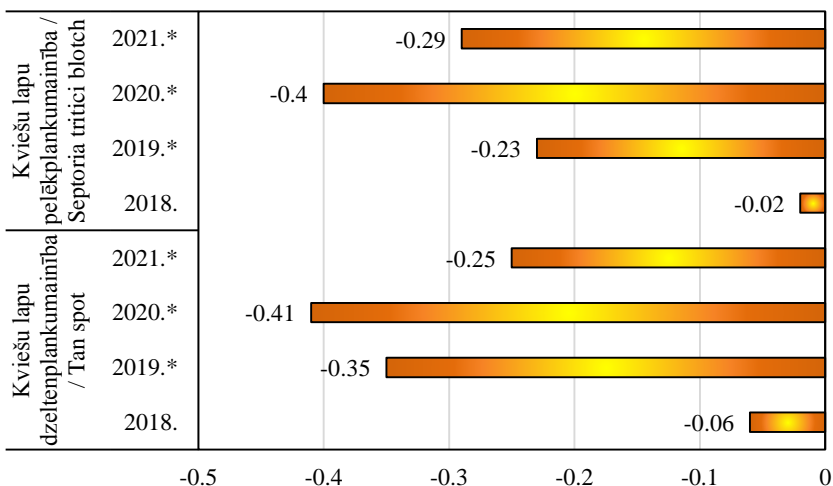
Fig. 10. Correlation coefficients r_{yx} between yield (y) and yield-components (x) in 2018–2021

* sakarības būtiskas pie $p < 0.05$; * differences were significant at $p < 0.05$

Savukārt vienas vārņas graudu masai bija lielākā ietekme uz TGM. Visos izmēģinājumu gados iegūtas būtiskas lineāras pozitīvas sakarības starp graudu skaitu vārņā un vienas vārņas graudu masu, kā arī divos gados (2018: $r=0.29$, $p=0.008$; 2020: $r=0.42$, $p<0.001$) – starp vienas vārņas graudu masu un TGM.

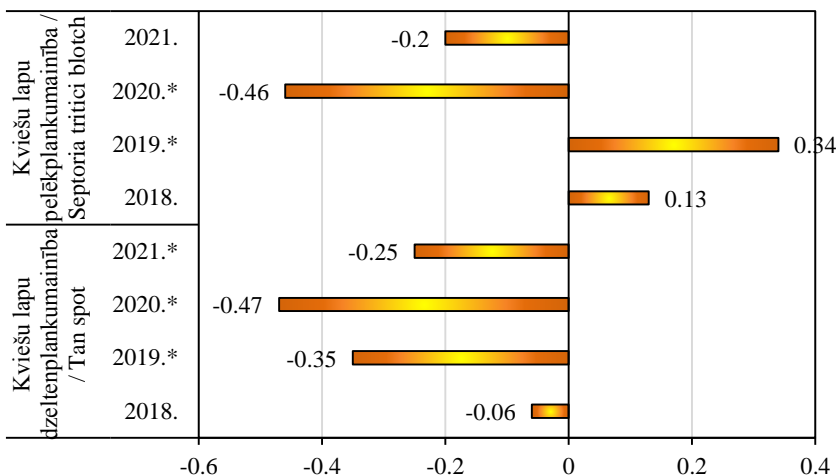
Noteiktās korelācijas starp ražas struktūrelementiem norāda uz to ciešo sakarību ražas veidošanā un apstiprina, ka ziemas kviešos darbojas ražas kompensācijas mehānisms.

Sakarības starp lapu plankumainību attīstību un ražas struktūrelementiem. Lapu plankumainību attīstībai bija vislielākā ietekme uz TGM, bet ar pārējiem struktūrelementiem būtiskas korelācijas nekonstatēja. Vērtējot kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpi 75.–77. AE un TGM sakarības, statistiski būtiskas lineāras negatīvas sakarības iegūtas trīs izmēģinājuma gados no četriem (11. att.). Statistiski būtiskas lineāras negatīvas sakarības starp kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi 75.–77. AE un TGM sakarības (11. att.) iegūtas arī gados ar zemu slimības attīstības pakāpi (2021. g.).



11. att. Lineārās korelācijas koeficienti r_{yx} starp lapu plankumainību attīstības pakāpi 75.–77. AE (x) un 1000 graudu masu (y), 2018.–2021. g.
 Fig. 11. Correlation coefficients r_{yx} between severity of leaf blotch at GS 75–77 (y) and 1000 grain weight (x) in 2018–2021

* sakarības būtiskas pie $p < 0.05$; * differences were significant at $p < 0.05$



12. att. Lineārās korelācijas koeficienti r_{yx} starp lapu plankumainību AUDPC vienībām (x) un 1000 graudu masu (y) izmēģinājumu gados
 Fig. 12. Correlation coefficients r_{yx} between AUDPC of leaf blotch (y) and 1000 grain weight (x) in 2018–2021

* sakarības būtiskas pie $p < 0.05$; * differences were significant at $p < 0.05$

Vērtējot kviešu lapu dzeltenplankumainības AUDPC vērtību un TGM sakarības, statistiski būtiskas lineāras negatīvas sakarības iegūtas trīs izmēģinājuma gados no četriem (12. att.). Līdzīgas sakarības iegūtas arī starp kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi 75.–77. AE un TGM (12. att.).

Secinājumi

1. Kviešu lapu dzeltenplankumainība (ieros. *Pyrenophora tritici-repentis*) ir dominējošā lapu slimība un sējumos bija sastopama katru gadu. Gados ar pastiprinātu nokrišņu daudzumu attīstījās kviešu lapu pelēkplankumainība (ieros. *Zymoseptoria tritici*). Lai gan pirmie lapu slimību simptomi parādījās jau stiebrošanas fāzes sākumā, tomēr strauja kviešu lapu dzeltenplankumainības un kviešu lapu pelēkplankumainības attīstība sākās piengatavības sākumā. (1. tēze).
2. Fungicīdu lietošana būtiski samazināja kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstību, bet atsevišķu shēmu efektivitāte bija atkarīga no gada agroekoloģiskajiem apstākļiem. Gados ar zemu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpi, slimības ierobežošanai pietika ar vienu smidzinājumu vārpošanas laikā. Tomēr vienreizējas fungicīdu smidzināšanas efektivitāte var būt nepietiekama, ja lieto pusi no pilnas fungicīda devas. Gados ar augstu slimības attīstības pakāpi, augstāka efektivitāte bija novērojama shēmām, kur fungicīdu deva bija dalīta divās (32.–33. AE un 55–59. AE) vai trīs daļās (32.–33. AE, 55–59. AE un 63.– 65. AE). (2. tēze).
3. Fungicīdu lietošana būtiski samazināja kviešu lapu pelēkplankumainības attīstību, bet atsevišķu shēmu efektivitāte ir atkarīga no gada agroekoloģiskajiem apstākļiem. Nokrišņiem bagātos gados, kas veicina slimības attīstību, lielāko efektivitāti nodrošināja fungicīdu lietošanas shēma, kur fungicīdu deva sadalīta divās daļās (smidzinājumi veikti 32.– 33. AE un 55–59. AE). Gados ar zemu slimības attīstību, slimības ierobežošanai pietiek ar vienu smidzinājumu vārpošanas laikā ar pilnu fungicīda devu. (2. tēze).
4. Fungicīdu lietošana būtiski palielināja lapu zaļās virsmas laukumu piengatavības fāzes vidū. Trīs izmēģinājumu gados no četriem iegūta būtiska pozitīva korelācija starp lapu zaļās virsmas laukumu un 1000 graudu masu, un graudu ražu (2. tēze)
5. Zemākā fungicīdu lietošanas efektivitāte visos pētījuma gados iegūta variantā, kur lietota puse no pilnas fungicīdu devas vārpošanas laikā (55.– 57. AE). Gados ar zemu lapu slimību attīstības pakāpi, palielinot fungicīdu lietošanas intensitāti, iegūta līdzīga tehniskā efektivitāte. Savukārt gados, kad labvēlīgāki apstākļi lapu slimību attīstībai, pieaugot fungicīdu lietošanas shēmu intensitātei, pieaug arī tehniskā efektivitāte. Vērtējot vidējos rezultātus, fungicīdu lietošanas tehniskā efektivitāte variantos, kur fungicīdu deva dalīta divās vai trīs daļās, būtiski neatšķiras. (2. tēze).
6. Variantā bez fungicīdu lietošanas slāpekļa papildmēslojuma norma neietekmēja ne kviešu lapu dzeltenplankumainības un kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi piengatavības vidū (75.–77. AE), ne abu slimību kopējo attīstību (AUDPC). (3. tēze).

7. Fungicīdu lietošanas shēmu efektivitāte lapu slimību ierobežošanā dažādos slāpekļa mēslojuma fonos atšķīrās tikai vienā pētījuma gadā (2021.) no četriem. Augstākā kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības (AUDPC), lietojot fungicīdus, konstatēta pie N mēslojuma normas 150 kg ha^{-1} , palielinot slāpekļa normu, slimības attīstības pakāpe samazinās. Lai gan būtiski augstāku kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi piengatavības vidū, lietojot fungicīdus, konstatēja pie N papildmēslojuma normas 180 kg ha^{-1} , N papildmēslojuma norma slimības attīstību (AUDPC) neietekmēja. (3. tēze).
8. Vērtējot četru gadu vidējo ražu, fungicīdu lietošana būtiski palielināja graudu ražu. Lai gan augstākās ražas ieguva variantos F1 (TFI=0.5) un F4 (TFI=2.0), tomēr nevar pārliecināties apgalvot, kura no fungicīdu lietošanas shēmām bijusi efektīvākā. Tomēr jāņem vērā, ka fungicīdu lietošanas efektivitāti ietekmē meteoroloģiskie apstākļi. Pētījumā fungicīdu lietošana būtiski paaugstināja graudu ražas vienā gadā (2022.) divos gados graudu ražu neietekmēja (2019., 2021.), bet 2018. gadā, sausuma apstākļos, pieaugot fungicīdu intensitātei, garudu raža būtiski samazinājās. (4. tēze).
9. Vērtējot vidējos četru gadu rezultātus, ražas struktūrelementi: produktīvo stiebru skaits un graudu skaits vārpā bija atkarīgs no gada meteoroloģiskajiem apstākļiem, bet fungicīdu lietošanas shēmas un slāpekļa papildmēslojuma norma šos rādītājus neietekmēja. 1000 graudu masu būtiski ietekmēja meteoroloģiskie apstākļi audzēšanas gadā un fungicīdu lietošana. Lai gan 1000 graudu masa fungicīdu lietošanas rezultātā pieauga trīs izmēģinājuma gados no četriem (2019., 2020. un 2021.), tomēr pieaugums bija būtisks tikai 2020. gadā. (4. tēze).
10. Lapu plankumainību attīstībai bija ietekme uz 1000 graudu masas veidošanos, bet ar pārējiem struktūrelementiem būtiska korelācijas netika novērota. Vērtējot kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstības pakāpes 75.–77. AE un 1000 graudu masas sakarības, statistiski būtiskas lineāras negatīvas sakarības iegūtas trīs izmēģinājuma gados no četriem. Savukārt statistiski būtiskas lineāras negatīvas sakarības starp kviešu lapu pelēkplankumainības attīstības pakāpi 75.–77. AE un TGM sakarības iegūtas arī gados ar zemu slimības attīstības pakāpi (2021.). (4. tēze).

Pateicība

Izsaku pateicību LF MPS “Pēterlauki” kolektīvam par lauka izmēģinājumu ierīkošanu, kopšanu un novākšanu, īpašs paldies izmēģinājumu lauka vadītājai L. Šternai un agronomei I. Plūdumai-Pauniņai.

Paldies Mg. agr. J. Kaņepam par palīdzību datu ievākšanā un interpretācijā, kā arī datu matemātiskajā apstrādē.

Paldies profesoriem Dr. biol. B. Bankinai un Dr. agr. Z. Gailei par ieteikumiem rezultātu interpretācijā.

Paldies profesorei Dr.sc.ing. I. Arhipovai par ieteikumiem izmēģinājumu datu matemātiskajā apstrādē.

Paldies Zemkopības institūta kolektīvam par atbalstu.

Īpašs paldies manai ģimenei par sapratni un atbalstu.

Pētījumu datu aprobācija/

Approbation of the scientific work

Publikācijas, kas indeksētas SCOPUS un/vai WEB of SCIENCE datu bāzēs/ Articles which indexes in SCOPUS and/or Web of science data bases

1. Gaile Z., Bankina B., Plūduma-Paunina I., Sterna L., Bimšteine G., Svarta A., Kaneps J., Arhipova I., Sutka A. (2023). Performance of winter wheat (*Triticum aestivum*) depending on fungicide application and nitrogen top-dressing rate. *Agronomy*, 13(2), Art. No. 318. DOI: 10.3390/agronomy13020318 (Scopus, Web of Science).
2. Švarta A., Bimšteine G., Gaile Z., Kaņeps J., Plūduma-Pauniņa I. (2022). Winter wheat leaf blotches development depending on fungicide treatment and nitrogen level in two contrasting years. *Agronomy Research*, Vol. 20 (2), p. 414–423. DOI: 10.15159/ar.21.160 (Scopus (citēts 1 reizi))
3. Švarta A., Bimšteine G., Gaile Z., Stanka T., Daugaviņa L., Plūduma-Pauniņa I. (2020). Development of winter wheat blotches depending on fungicide treatment schemes and nitrogen rates. *In: Research for Rural Development 2020; annual 26th International Scientific conference proceedings, Jelgava, May 13–15, 2020. Latvia University of Life sciences and Technologies, Vol. 35, p. 7–13. DOI: 10.22616/rrd.26.2020.001 (Scopus (citēts 2 reizes))*
4. Švarta A., Bimšteine G. (2019). Winter wheat leaf diseases and several steps included in their integrated control: a review. *In: Research for Rural Development 2019: annual 25th International Scientific conference proceedings, Jelgava, May 15–17, 2019. Latvia University of Life Sciences and technologies, Vol. 2, p. 55–62. DOI: 10.22616/rrd.25.2019.049. (Scopus (citēts 4 reizes), Web of Science (citēts 3 reizes)).*

Recenzēti zinātniskie raksti / Peer-reviewed scientific articles

1. Gaile Z., Bankina B., Plūduma-Pauniņa I., Šterna L., Bimšteina G., Švarta A., Kaņeps J., Arhipova I., Šutka A. (2022). fungicīdu pielietojuma un slāpekļa papildmēslojuma ietekme uz ziemas kviešu ražu un ražas kvalitāti 2018.–2021. g. **No: Ražas svētki “Vecauce 2022”** Miers baro, karš posta: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte. SIA LLU MPS “Vecauce”. Jelgava: LLU, 32.–35. lpp.
2. Švarta A., Bimšteine G., Kaņeps J. (2021). Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstība atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas. **No: Ražas svētki “Vecauce 2021”** Raža ekstremālos apstākļos: zinātniskā semināra rakstu krājums. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. SIA LLU MPS “Vecauce”. Jelgava: LLU, 55.–58. lpp.

Apstiprināts publicēšanai / Accepted for publication

1. Švarta A., Bimšteine G., Bankina B., Kaņeps J., Gaile Z. (2023). Impact of fungicide treatment schemes on the severity of leaf blotches in winter wheat. *Rural Sustainability Research*, Vol. 49 (344).

Konferenču tēzes / Abstracts of conferences

1. Švarta A., Bimšteine G., Kaņeps J. (2022). Development of winter wheat leaf blotches depending on meteorological conditions. *Journal of Biological Studies*, Vol 5 (3) (Special Issue). <https://onlinejbs.com/index.php/jbs/article/view/7091>
2. Švarta A., Bimšteine G., Gaile Z., Kaņeps J., Plūduma-Pauniņa I. (2021). Winter wheat leaf blotch development depending on fungicide treatment scheme under different nitrogen levels. **In: International Scientific conference Byosystems Engineering 2021. Book of Abstracts.**, Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia, May 05–07, 2021, p. 86. https://science.rsu.lv/ws/portalfiles/portal/25356424/Biosystems_Engineering_2021_Abstract_Book.pdf
3. Švarta A., Bimšteine G., Kaņeps J. (2020). Slāpekļa papildmēslojuma un slimību ierobežošanas ietekme uz ziemas kviešu ražu un kvalitāti. **In: The 3rd international scientific virtual conference AgroEco 2020 sustainability: Links between carbon sequestration in soils, food security and climate change. Abstract book.** Vytautas Magnus University Kaunas, Lithuania, December 02–03, 2020, p. 30

Referāti starptautiskās konferencēs / Oral presentation in scientific conferences

1. Švarta A., Bimšteine G., Kaņeps J. (2022). Development of winter wheat leaf blotches depending on meteorological conditions. *International conference on Food, nutrition and Agriculture ICFNA22*, June 25–26, 2022. Budapest, Hungary (online)

2. Švarta A., Bimšteine G., Gaile Z., Kaņeps J., Plūduma-Pauniņa I. (2021). Winter wheat leaf blotch development depending on fungicide treatment scheme under different nitrogen levels. *International Scientific conference Byosystems Engineering 2021*, May 05–07, 2021. Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia (online).
3. Švarta A., Bimšteine G., Kaņeps J. (2020). Slāpekļa papildmēslojuma un slimību ierobežošanas ietekme uz ziemas kviešu ražu un kvalitāti. *The 3rd International scientific virtual conference AgroEco 2020 sustainability: Links between carbon sequestration in soils, food security and climate change*, December 02–03, 2020, Vytautas Magnus University Kaunas, Lithuania (online).
4. Švarta A., Bimšteine G., Gaile Z., Stanka T., Daugaviņa L., Plūduma-Pauniņa I. (2020). Development of winter wheat blotches depending on fungicide treatment schemes and nitrogen rates. *Annual 26th International scientific conference Research for Rural Development 2020*, May 13–15, 2020. Jelgava, Latvia.
5. Švarta A., Bimšteine G. (2019). Winter wheat leaf diseases and several steps included in their integrated control: a review. *Annual 25th International scientific conference Research for Rural Development 2019*, May 15–17, Jelgava, Latvia.

Stenda referāti / Poster presentations

1. Švarta A., Bimšteine G., Bankina B., Kaņeps J., Gaile Z. (2023). Fungicīdu lietošanas intensitātes ietekme uz ziemas kviešu lapu plankumainību attīstību. *V. Pasaulē latviešu zinātnieku kongress "Zinātne Latvijai"*. 2023. g. 28.–29. jūnijā, Rīga, Latvija.
2. Švarta A., Bimšteine G., Kaņeps J. (2021). Kviešu lapu dzeltenplankumainības attīstība atkarībā no fungicīdu lietošanas shēmas. *Zinātniskais seminārs "Ražas svētki Vecauce – 2021: Raža ekstremālos apstākļos"*. 2021. g. 4. novembrī, Vecauce, Latvija.

Introduction

Wheat (*Triticum* spp.) is the world's most widely grown crop, with a sown area exceeding 200 million hectares and a total annual yield of 770 million tonnes. In Latvia, the sown area and yield of winter wheat has increased significantly over the last 20 years, as it is one of the most economically advantageous crops, especially in the central part of the country. In 2000, winter wheat was grown on an area of 117.4 thousand ha with a total yield of 336.0 thousand tonnes. In 2020, the area under winter wheat is already 382.2 thousand ha with a total yield of 2174.5 thousand tonnes. With the introduction of new and high-yielding varieties and improved cultivation technologies, average grain yields have increased from 2.86 t ha⁻¹ (2000) to 5.69 t ha⁻¹ (2020) and many farmers are achieving much higher yields, often as high as 10 t ha⁻¹.

Winter wheat growth and development is affected by many factors, one of which is leaf diseases. Research results worldwide and in Europe have shown that under favourable conditions wheat leaf diseases cause significant yield losses and reduce grain quality. Fungicides used to control leaf diseases are often sprayed according to pre-defined fungicide treatment schemes, without taking the field situation into account. According to the Law of Plant Protection, the introduction of integrated pest management on farms is compulsory and involves combining biological, agronomic, and chemical measures to minimise the use of pesticides. Most of the researches on leaf disease control has been carried out in regions with different climates, therefore, these results cannot be fully applied to Latvian agro-climatic conditions.

The formation of wheat yield and yield-forming components (number of productive tillers, grain number per ear, weight of 1000 grains) as a function of different agronomic measures such as crop rotation, tillage system, nitrogen top-dressing has been extensively studied, nevertheless, there is a lack of research on the effect of leaf diseases on yield-forming components and the interaction between the above two factors. The incidence and development of leaf diseases are also influenced by meteorological conditions, making disease progress and impact difficult to predict. It is important to identify and analyse disease progress trends that can be highly individual from region to region, depending on the conditions that either favour or hinder the development of leaf diseases.

Hypothesis of the Thesis

The harmfulness of winter wheat leaf diseases depends on the severity of disease during the vegetation period and the meteorological conditions of the year.

The aim of the Thesis

To determine the impact of the winter wheat leaf diseases on the yield and yield-forming components, depending on the agro-ecological conditions

Research tasks

1. To characterise the peculiarities of development of winter wheat leaf diseases depending on meteorological conditions.
2. To analyse the development of leaf diseases depending on fungicide treatment intensity.
3. To analyse the yield and yield-forming components of winter wheat depending on fungicide treatment intensity.
4. To analyse the effect of nitrogen on the development of winter wheat leaf diseases, the yield and the yield-forming components.

Theses to be defended

1. The most important wheat leaf diseases in Latvia are tan spot, caused by *Pyrenophora tritici-repentis*, and wheat Septoria tritici blotch, caused by *Zymoseptoria tritici*.
2. Fungicide treatment significantly reduces disease development in winter wheat, however, the efficiency of individual schemes depends on conditions during vegetation period.
3. The development of tan spot and Septoria tritici blotch does not depend on the nitrogen top-dressing rate.
4. The impact of diseases on yield and yield-forming components depends on the agro-ecological conditions of the vegetation period.

The novelty of the Thesis

In Latvia, the relationship between the severity of wheat leaf diseases and yield and yield-forming components has not been studied.

The research was supported by:

1. the EIP-AGRI project “The development of the decision-making support system for restriction of the diseases, affecting leaves and ears of winter wheat”
2. the European Social Fund within the project 522 (No. 8.2.2.0/20/I/001) “LLU Transition to a new funding model of doctoral studies”

Approbation of study results

Based on the results of this study, 7 publications have been prepared, (4 of them are indexed in *Scopus* and/or *Web of Science* databases, 5 oral and 2 poster presentations in conferences.

Materials and methods

Variants of field experiment

Winter wheat field trials from 2017/2018 to 2020/2021 have been set up in the research field at the Training and Research Farm "Pēterlauki" of the Latvia University of Life Sciences and Technologies.

Two factor trials were conducted: (F) fungicide treatment (five variants in total: without fungicide treatment and four fungicide treatment schemes) and nitrogen (N) top-dressing rates (four rates). A total of 20 variants were evaluated in the trial, comprising combinations of all fungicide applications (F0–F4) and N fertiliser (N120–N210) rates ($5 \times 4 = 20$). The experimental fields were randomly distributed in four replicates, with a yield recording area of 20 m².

Fungicide treatment schemes. The field trial compared four fungicide treatment schemes with different fungicide treatment frequency index (TFI) (Table 1) and included variant without fungicide treatment (F0).

The complete fungicide dose (100%) corresponds to the highest registered dose of the demethylase inhibitor (DMI) group active substance prothioconazole per hectare (200 g ha⁻¹). In the first application, prothioconazole (50% of the full dose or 100 g ha⁻¹) was applied together with spiroxamine (187.5 g ha⁻¹), an active substance of the sterol biosynthesis inhibitor (SBI) group, intended for the control of powdery mildew, caused by *Blumeria graminis*. In the second application, together with prothioconazole (half or full dose depending on the fungicide treatment scheme), active substances from the group of succinate dehydrogenase blockers in mitochondria (SDHI) were used: bixaphene and fluopyram (both active substances 48.75 g ha⁻¹ (F1) and 97.5 g ha⁻¹ (F2)). In the third application, a DMI group active ingredient metconazole (90 g ha⁻¹) was used for the control of Fusarium ear blight, caused by *Fusarium* spp.

Nitrogen top-dressing rates. Four nitrogen top-dressing rates (Table 2) were compared in the field trial, divided into two or three doses, depending on the total nitrogen rate.

At the first top-dressing (after resumption of vegetative growth) and at the third top-dressing (GS 47–51) ammonium nitrate (NH₄NO₃) with 34% N content was used to fertilise winter wheat. In the second top-dressing (GS 31–32) ammonium sulphate ((NH₄)₂SO₄, where N 21% and S 24%) 100 kg ha⁻¹ was used, providing wheat with sulphur S – 28.8 kg ha⁻¹. The remaining amount of needed nitrogen was added (according to the scheme) by ammonium nitrate.

In the trial, the winter wheat variety 'Skagen', which is characterised by good winter hardiness and high yield, was grown in the trial. The variety is moderately susceptible to all the major devastating leaf diseases: tan spot, Septoria tritici blotch, yellow rust and powdery mildew. Wheat was the pre-crop for all years of the trial, as a background promoting leaf diseases.

Field experiment conditions and applied agrotechnics

The soil at all the trial sites was suitable for winter wheat cultivation. Field trials were set up in the 2017/2018 and 2019/2020 seasons – *Epiabruptic Endostagnic Endoprotocalcic Luvisol* and in the 2018/2019 and 2020/2021 seasons – *Cambic Calcisol*. Table 3 summarises the agrochemical parameters of the soil.

The field trial was set up using conventional tillage with ploughing to a depth of 22 cm. After ploughing, the soil was planed, basic fertiliser was spread, and the soil was cultivated. The rate of basic fertilizer was calculated with the aim to obtain an 8 t ha⁻¹ grain yield, and it was 10–25 kg ha⁻¹ N, 33–66 kg ha⁻¹ P₂O₅, and 52–66 K₂O depending on year. Seeding rate 450 germinating seeds per m² (2017, 2018, and 2020) and 500 germinating seeds per m² in 2019. Herbicides for weed control and plant growth regulators (twice) were applied every year. The leaf fertilizer was applied in spring together with the plant growth regulator. Insecticides were applied to the need in 2020 and 2021. Winter wheat was harvested at GS 89–90.

Observation and analyses performed

The trial evaluated **infection with the leaf diseases**: tan spot, caused by *Pyrenophora tritici-repentis*, Septoria tritici blotch, caused by *Zymoseptoria tritici*, brown rust, caused by *Puccinia recondita*, and powdery mildew, caused by *Blumeria graminis*. The development of leaf diseases was assessed five times during the vegetation period, by visually determining the severity of the disease throughout the experimental fields in each replicate. Severity of diseases shows the percentage of the leaf surface damaged by the disease as a rate of the total leaf surface, where: 0% – no visible symptoms, 100% – the leaf is dead. Leaf diseases were assessed in the 1st to 2nd node stage (GS 31–32), flag leaf just visible to fully emerged (GS 37–39), in the middle of flowering stage (GS 63–65), at the beginning of the milk stage (GS 71–73) and in the middle of the milk stage (GS 75–77). In the first time of assesment 50 plants per field were evaluated. In further assesments, 50 leaves per field were evaluated, with proportionally taken flag leaf, first leaf, and second leaf.

The development of leaf diseases in vegetation period was characterised for each disease individually by the area under disease progress curve (AUDPC), calculated using formula (1):

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

where:

AUDPC – area under disease progress curve;

n – total number of assessments;

y_i – disease severity (%) at the *i*th assessment;

t_i – days at the *i*th assessment.

Leaf green area was determined in the middle of the milk stage (GS 75–77). The area is calculated as a percentage, subtracting from the total leaf area the leaf area damaged by diseases (chlorosis, necrotic spots).

To assess the **technical effectivity of fungicide applications**, the AUDPC units calculated for tan spot and wheat *Septoria tritici* blotch were summed. The technical efficacy of the fungicides was calculated according to formula (2):

$$T = \frac{(k-v) \times 100}{k} \quad (2)$$

where:

T – technical efficacy;

k – development of tan spot and *Septoria tritici* blotch (AUDPC units) in the variant without fungicide treatment;

v – development of tan spot and *Septoria tritici* blotch (AUDPC units) in the variant with fungicide treatment.

Yield-forming components were determined at GS 87–89 of winter wheat, using a plant samples collected in each plot at two locations from 0.5 m²: number of productive tillers per 1 m²; grain number per ear, calculated as the total number of grains in the plant samples divided by the number of productive tillers; weight of 1000 grains, determined according to standard EN ISO 520:2011 “Cereals and Pulses”, using a “Pfeuffer CONTADOR” seed counter and an electronic balance; grain weight per ear, calculated as the total weight of grains in the plant samples divided by the number of ears in the plant samples.

In 2020, lodging was detected in the trial, and the lodging resistance was evaluated in points (9 – 1), where: 9 – no lodging, tillers are upright, and 1 – very strong lodging, all tillers are inclined up to a 90° angle.

Wheat yield was determined by harvesting each plot separately. The average grain sample was taken from each replicate to determine moisture and purity. Moisture was measured using an Infratec Analyzer 1241. Purity was determined according to standard LVS-271:2000 (Cereals. Methods of analysis.

Determination of impurities in cereal grains). Wheat grain yield was converted to t ha⁻¹ at 100% purity and 14% moisture.

Yield losses due to plant disease were calculated as the difference between the variant without fungicide application and the variant with the application of fungicides.

For the ease of description and perception of the results obtained, the trial years are labelled as follows:

season 2017/2018 – 2018,

season 2018/2019 – 2019,

season 2019/2020 – 2020,

season 2020/2021 – 2021.

Characterization of meteorological conditions

Meteorological conditions were characterised by measurements of air temperature and rainfall, compared with long-term values. The data were recorded with a Davis Wireless Vantage Pro2 Plus UV & Solar mobile automatic weather station. Long-term temperature and rainfall measurements were obtained from the Jelgava Observation Station of the Latvian Environment, Geology, and Meteorology Centre.

To assess humidity, hydrothermal coefficient (HTK), describing the ratio of precipitation to evaporation over a given period of time, was used. The hydrothermal coefficient was calculated according to formula (3):

$$HTK = \frac{\sum N \times 10}{\sum t_{>10}}, \quad (3)$$

where:

$\sum N$ – amount of rainfall in the respective period, mm;

$\sum t_{>10}$ – sum of temperatures above +10 °C.

Characterisation of the hydrothermal coefficients obtained: HTK 0.4 to 0.7 – very dry, HTK 0.7 to 1.0 – dry, HTK 1.0 to 2.0 – sufficient humidity, HTK > 2.0 – excessive humidity.

Meteorological conditions varied considerably over the trial years, both in terms of temperature and rainfall, which influenced the onset and duration of the plant growth phases. The analysis of meteorological conditions focuses more on the period of development of leaf diseases in winter wheat (GS 32–77).

First node detectable (GS 31) – Flag leaf fully emerged (GS 39). The length of the period varied considerably between the trial years: 14–48 days (Table 4).

The most unfavourable weather conditions for plant development during this period were in 2018 (HTK 0.18). Although the average temperature reached +16.2 °C, rainfall was only 4 mm. During the reference period, there was one day

on record with rainfall exceeding 2 mm. The rainiest period on record was in 2019, when 14 mm fell. This year saw more extreme temperature fluctuations and lower average temperatures. The period lasted 19 days and is evaluated as very dry (HTK 0.55). The cool and dry conditions of 2020 (HTK 0.88) slowed down the development of winter wheat, with a period lasting 48 days. The average air temperature during this period was considerably lower (+7.9 °C) than in the other years of the trial. Although rainfall reached 34 mm, it was mostly light. In 2021, the average air temperature was also low (+11.7 °C), however, by the end of the period it had already reached +14.6 °C (on May 17, 2021), coinciding with two days of high precipitation (on May 17, 2021 – 4.4 mm, on May 18, 2021 – 9.2 mm).

Flag leaf fully emerged (GS 39) – mid-flowering stage (GS 65). Meteorological conditions during this period varied considerably between the years of the trials (HTK 0.08–2.19). In 2018 and 2019, rainfall was low but average temperatures varied. The growing conditions were more favourable in 2019 (HTK 0.20). In 2020, the reference period lasted 22 days and was characterised as excessively humid (HTK 2.19). During this period, there was precipitation in the form of heavy rain (32.5 mm on June 07, 2020, 20.5 mm on June 08, 2020) and considerable fluctuations in average air temperature (e.g. +12.3 °C on Jun 03, 2020, +20.5 °C on June 12, 2020). Conditions were more favourable for plant development in 2021 (HTK 1.27).

Mid-flowering stage (GS 65) – early milk stage (GS 73). Meteorological conditions also varied considerably during this period. In three out of four years, the plants suffered from drought during this period. Of note is 2018, when no rainfall was recorded in 13 days (HTK 0). A similar situation occurred in 2019 (HTK 0.09), when only 1.6 mm were recorded. However, this year the average air temperature was considerably higher (+20.5 °C), which caused faster development of plants. In 2021, however, the amount of rainfall in the reference period was higher (14 mm), most of it fell in two days (on June 12, 2021 – 5.0 mm, on June 24, 2021 – 8.8 mm). The rains were followed by a period of drought. In 2020, the opposite was true (HTK 2.37). After heavy rainfall on 29 June (56 mm), lodging was recorded in the trial, it persisted until harvest.

Early milk stage (GS 73) – late milk stage (GS 77). The optimum conditions for the development of winter wheat during the milk stage were in 2018 (HTK 1.11). Although the average temperature was lower than in other years during the trial period, it rained on several days. In the other three years of the trial, the plants suffered from insufficient humidity (HTK 0.19–0.27 depending on the year), however, the rainfall regime differed. While in 2019 rainfall was episodic but higher (1.6–2.2 mm per day), in 2020 daily rainfall of 0.2–0.6 mm maintained dew and created a favourable environment for the growth of plant pathogens.

Late milk stage (GS 77) – hard dough (GS 89–90).

The optimum conditions for grain ripening were in 2020, when the average air temperature did not exceed +16.7 °C, accompanied by intermittent light rainfall. In 2021, by contrast, the average temperature during this period was +22.9 °C, some days exceeding +25.0 °C. There was almost no rainfall during this period.

The analysis of the meteorological indicators for all four years of the trial shows that the most favourable year for high yields was 2020.

Statistical analysis of data

Three-way ANOVA was used to assess the significance of fungicide application, N top-dressing rate and annual effects on the development of winter wheat leaf diseases, technical efficiency of fungicide treatment, grain yield and yield-forming components. As the annual effect was significant, a two-factor analysis was used to assess each year's data. Differences between variants were determined by the Bonferroni test at 95% significance level ($p < 0.05$).

The correlations between the indicators were determined using the Pearson correlation coefficient.

The mathematical processing of the data was carried out in the free software environment "R", version 4.0.2.

Results

Evaluation of the development of leaf diseases

Development of leaf diseases on average in variants without fungicide treatment

Tan spot (caused by *Pyrenophora tritici-repentis*), Septoria tritici blotch (caused by *Zymoseptoria tritici*), powdery mildew (caused by *Blumeria graminis*), and brown rust (caused by *Puccinia recondita*) were observed in the sowings of winter wheat. Tan spot dominated in three trial years: 2018, 2019, and 2021. Septoria tritici blotch dominated in 2020, but the severity of tan spot that year was also quite high.

Development of tan spot on average in variants without fungicide treatment. Although in all years of the trials the first symptoms of tan spot were observed already at the stage of stem elongation (GS 31–32) (Fig. 1), the disease progressed more rapidly at the onset of the milk stage. The most significant differences in the dynamics of tan spot development are observed in the middle of the milk stage (GS 75–77): disease severity averaged across variants without fungicide application ranged from 2.1% (2018) to 18.7% (2019) and was significantly different between trial years ($p < 0.001$).

The development of *P. tritici-repentis* was influenced by the average air temperature. In 2018, the period from flowering to milk stage was cool: the average air temperature did not exceed +19.9 °C, dropping to +12.4 °C on some days, which could have delayed the disease development. In 2019, by contrast, the average daily temperature was significantly higher (+18.8 °C) and exceeded +20 °C on several days. During this period, there was also some rainfall, which provided humidity for germination of conidia, resulting in a disease severity of 18.7% in the middle of the milk stage, the highest in the trial years. In 2021, the highest average air temperature during the trials (+21.1 °C) was recorded during the milk stage, but there was little rainfall. Under these conditions, the severity of wheat tan spot reached 13.9%.

In 2020, there was increased rainfall (from the full flag leaf stage to the mid-flowering stage: HTK 2.19 (excessive humidity) and HTK 2.37 from mid-flowering to the onset of the milk stage), however, the severity of tan spot in the middle of the milk stage was low (4.3%).

Development of Septoria tritici blotch on average in variants without fungicide treatment. The development of Septoria tritici blotch (Fig.2) differed significantly ($p < 0.001$) on average in variants without fungicide treatment during the trial years.

The lowest levels of Septoria tritici blotch severity on average in variants without fungicide treatment were found in 2018 and 2021, at 0.05% and 0.9%, respectively, in the middle of the milk stage (GS 75–77). Although the

2021 vegetation period was characterised by a lack of rainfall and the first symptoms of the disease were only obtained in the mid-flowering stage of wheat, at the end of the milk stage the disease severity was rather high, reaching 7.4%.

In 2020, the rainiest year, the first symptoms of *Septoria tritici* blotch (1.0%) were already obtained at the beginning of the stem elongation stage (GS 31–32). The disease started to progress more rapidly at the beginning of milk stage and coincided with heavy rainfall (56 mm on June 29, 2020). In the middle of the milk stage (GS 75–77), the severity of *Septoria tritici* blotch in the variant without fungicides reached 11.4%.

Overall, the development of *Septoria tritici* blotch was less significant than in other countries.

On average, the **incidence of powdery mildew** in the variants without fungicide application was recorded in 2018 and 2019. In both years, the first symptoms were observed at the fully unrolled flag leaf stage (GS 39), however, the progress of powdery mildew was slow and severity did not exceed 0.2% (2018) and 0.5% (2019).

Brown rust was obtained only in 2021. The first symptoms of the disease were observed at the end of ear emergence (GS 58–59). By the end of the milk stage, the disease severity in the control variant did not exceed 0.43%.

Since the incidence of powdery mildew and brown rust was low and intermittent, it is difficult to conclude whether their progress could have affected wheat yields. The following work analyses the impact of the development of wheat leaf blotches (tan spot and *Septoria tritici* blotch) on wheat yields and the control possibilities of these diseases.

Effect of fungicides on the development of tan spot

In the variants with the fungicide treatment, in all years of the trial the first symptoms of tan spot were obtained already at the beginning of the stem elongation (Fig. 3), however, further disease development was influenced by fungicide treatment scheme. In all years of the study, the rapid development of tan spot started at the early milk stage and at the medium milk stage (GS 75–77) the efficacy of fungicide treatment schemes in controlling tan spot can be evaluated.

Fungicide application significantly reduced the development of tan spot ($p < 0.001$) in the middle of the milk stage (GS 75–77), however, the efficacy of the fungicide schemes applied during the trial years (F×G interaction) varied significantly ($p < 0.001$).

In the trial years with low levels of tan spot, one fungicide treatment at the time of ear emergence was sufficient to control the disease. In 2018, the efficacy of a single fungicide treatment was insufficient at half the full fungicide

rate (TFI=0.5), while in 2020 there was no significant difference in the efficacy of fungicide treatment schemes.

In years when the severity for tan spot in winter wheat were significantly higher, fungicide use efficacy increased in variants with higher fungicide treatment intensity. In 2019, the efficacy of a single fungicide application at half of the full fungicide dose at the time of ear emergence (TFI=0.05) was significantly lower than applying a full fungicide dose (TFI=1.0). The highest efficacy was observed for schemes where the fungicide dose was divided into two (TFI=1.0) or three (TFI=2.0) treatments. In 2021, when the severity of tan spot between the variants with fungicide applications varied from 6.0 to 8.5%, a single fungicide applications with half of the full fungicide dose applied at the time of ear emergence (TFI=0.5) already provided similar efficacy to a full fungicide dose (TFI=1.0) or two fungicide treatments (TFI=1.0). The fungicide application scheme with the fungicide dose divided into three parts (TFI=2) had similar efficacy to the fungicide application scheme with the full fungicide dose at the time of ear emergence and the scheme with the fungicide dose divided into two parts.

Fungicides significantly reduced the **development of tan spot** (Fig. 4), for which AUDPC units were calculated ($p<0.001$), but the efficacy of the fungicide schemes used differed significantly between the trial years ($p<0.001$).

The lowest AUDPC values (Fig. 4) for tan spot were calculated in 2018 for the variants where fungicides were applied: 3–7 units, and in 2020: 10–18 units. In the trial years with the lowest AUDPC values for tan spot, one treatment at the time of ear emergence was sufficient to control the disease. In 2018, the efficacy of a single fungicide applications was insufficient, if using half of the fungicide dose (F1).

In 2020, all fungicide treatment schemes significantly reduced the AUDPC values for tan spot. In years when the rapid development of tan spot in wheat started after flowering, a single treatment provides sufficient efficacy.

In years when the AUDPC values for tan spot in winter wheat were significantly higher, fungicide use efficacy increased in variants with higher fungicide treatment intensity. The highest AUDPC values in the variants where fungicides were applied were calculated in 2019: 46–90 units, and in 2021: 27–38 units. In 2019, the efficacy of a single fungicide treatment at half of the full fungicide dose (TFI=0.05) at the time of ear emergence (GS 55–57) was significantly lower than applying a full fungicide dose (TFI=1.0). The highest efficacy was observed for variants where the fungicide dose was divided into two (TFI=1.0) or three (TFI=2.0) treatments. In 2021, a single fungicide treatment with half of the full fungicide dose applied at the time of ear emergence (TFI=0.5) already provided similar efficacy to a treatment of a full fungicide dose (TFI=1.0) or two fungicide applications (TFI=1.0). The highest efficacy was obtained in the variant where the fungicide dose was divided into three treatments (TFI=2.0).

Two fungicide spray treatments (GS 31 and GS 39) are efficient in years when meteorological conditions are favourable for the development of tan spot in wheat.

Effect of fungicides on the development of *Septoria tritici* blotch

The first symptoms of *Septoria tritici* blotch in wheat were observed at different stages of wheat development during the years of the trials: 2018 – at the time of the flag leaf visible (GS 37), in 2019 at the stage of middle of flowering (GS 63–65), and in 2020 and 2021 already at the beginning of the stem elongation stage (GS 31–32). In all years of the study, the rapid development of leaf spot started at the early milk stage and at the medium milk stage (GS 75–77) the efficacy of fungicide treatment schemes in controlling leaf blotch can be evaluated.

On average over the four years of the trials, the severity of *Septoria tritici* blotch in wheat at the medium milk stage (GS 75 to 77) was greatly affected by fungicide treatment ($p < 0.001$), while the efficacy of the fungicide schemes during the trial years (F×G interaction) varied significantly ($p < 0.001$).

Although fungicides significantly reduced the severity of *Septoria tritici* blotch in wheat at the medium milk stage, the efficacy of individual fungicide treatment schemes was significant only in 2020 and 2021 ($p < 0.001$). In 2020, when the highest levels of *Septoria tritici* blotch in wheat were observed in the medium milk stage, a fungicide treatment scheme with a fungicide dose (F3) split in two treatments was more efficient. Although the FTI varied between 1.0 and 2.0 among the other variants tested in the trial, there was no significant difference in efficacy. Looking at the meteorological conditions during the 2020 vegetation period, it can be seen that the interval between the first fungicide treatment at GS 32 and second treatment GS 55–59 is 41 days with intermittent precipitation (including 8 days with precipitation level $> 2\text{mm}$). This year, *Septoria tritici* blotch in wheat was obtained at the start of the stem elongation stage (0.1%) and it can be seen that the first treatment at GS 31 has limited the pathogen development, as the disease develops slowly until the second treatment in variant F3 (in the next assesment (GS 37–39) – 0.1%).

Although statistically significant differences in the efficacy of fungicide treatment schemes were obtained in 2021 (the efficacy of a single fungicide treatment was insufficient at half the fungicide dose (TFI=0.5)), the disease severity in this year is less than 1% and the effect of fungicides cannot be objectively assessed.

On average over the four years of the trials, **the development of *Septoria tritici* blotch (AUDPC)** in wheat was significantly affected by fungicide application ($p < 0.001$), annual meteorological conditions ($p < 0.001$) and a significant F×G factor interaction.

The lowest AUDPC values (Fig. 5) for *Septoria tritici* blotch in wheat were obtained in 2018 (0.8–1.4 units). In this year, fungicides had an insignificant effect on the overall disease development, due to the low level of disease severity (<1%).

Fungicide treatment significantly reduced the overall development of *Septoria tritici* blotch in wheat (AUDPC) ($p < 0.001$) in three out of four years (2019, 2020 and 2021), but the efficacy of individual fungicide treatment schemes was only significant in 2020 and 2021 ($p < 0.001$). In 2020, when the AUDPC units, calculated for *Septoria tritici* blotch in the variants with fungicide treatment, ranged from 13 to 22 units, the fungicide treatment scheme with a fungicide dose split in two treatments was the most efficient. Although the TFI varied between 1.0 and 2.0 among the other variants tested in the trial, there was no significant difference in efficacy. In 2021, the efficacy of a single fungicide spray was insufficient, if using half of the fungicide dose (TFI=0.5).

Leaf green area

Leaf green area at medium milk stage (GS 75–77) varied over the years of the trials. Fungicide treatment (Fig. 6) significantly increased the green leaf area ($p < 0.001$), but the choice of fungicide treatment scheme did not affect this. A significant F×G and N×G interaction ($p < 0.001$) was found in the study.

In terms of average green leaf area at medium milk stage, the healthiest leaves were in 2018 (90.4%). In this year, there was also the smallest difference between variants without fungicide application (86.8%) and variants with fungicide treatment (90.8–92% depending on the variant). In 2019 and 2020, the leaf green area at GS 75–77 was significantly lower (on average 79.9 and 77.9% per year).

The lowest green leaf area was found in 2020, when on average, in the variants without fungicide application, only 50.0% of the leaf area was health, and in the variants with fungicide application 60.6–65.9%, depending on the fungicide application scheme applied.

Technical efficacy of fungicide treatment

The technical efficacy of fungicide treatment varied between years ($p < 0.001$) and depended on the fungicide treatment scheme ($p < 0.001$). The rate of nitrogen top-dressing rate had a significant effect on technical efficacy in only two (2018, 2021) of the four years of the trial. The thesis study found a significant interaction between F×G and N×G factors ($p < 0.001$).

In all years of the trials, significantly lower technical efficacy (Fig. 7) was obtained in variant F1 (TFI=0.5), where half of the full fungicide dose was

applied at the time of ear emergence (GS 55–57). In years with low leaf disease development (2018, 2021), increasing the fungicide treatment intensity (TFI=1.0 or 2.0) resulted in similar technical efficacy.

However, in years when weather conditions are more favourable for the development of leaf diseases, the technical efficacy increases with the growing intensity of fungicide treatment. In 2019, the differences between the technical efficacy values varied the most: from 35.4% (F1) to 67.7% (F4). That year, the highest technical efficacy was obtained in variant F4, where fungicides were sprayed three times. However, the result was not statistically significantly different from variant F3. In 2020, where technical efficacy varies from 60.0% (F1) to 76.2% (F3), the highest technical efficacy is obtained in variant F3, where fungicides are applied twice, but is not statistically different from variant F4, where fungicides are applied three times.

Effect of nitrogen top-dressing rates on the development of wheat leaf diseases

Development of leaf blotches in variants without fungicide treatment depending on nitrogen top-dressing rate. In the variants without fungicide treatment, the N top-dressing rate had no effect on the development of tan spot ($p>0.05$) and *Septoria tritici* blotch ($p>0.05$) in wheat at the medium milk stage.

Development of tan spot depending on fungicide treatment scheme and nitrogen top-dressing rate. Although the statistical analysis of the data shows that the severity of disease development at the medium milk stage was influenced by the nitrogen top-dressing rate, the effect of the factor is significant only in 2021 ($p=0.011$).

In this year, significantly higher level of tan spot in wheat was observed at nitrogen top-dressing rate N150 (Fig. 8), with a decrease in disease development with increasing the N rate. No significant $F \times N$ factor interaction was found. The AUDPC values for tan spot are also highest at N150 and decrease with increasing nitrogen top-dressing rates. However, it cannot be stated with certainty that increasing the nitrogen top-dressing rates reduces the overall disease development, since the AUDPC values at N fertilisation rates of 120 kg ha⁻¹ are not significantly different from those at N fertilisation rates of 180 kg ha⁻¹ and 210 kg ha⁻¹.

Development of *Septoria tritici* blotch depending on fungicide treatment scheme and nitrogen top-dressing rate. The nitrogen top-dressing rate had a significant effect on the severity of *Septoria tritici* blotch in wheat at medium milk stage only in 2021 ($p=0.001$). Significantly higher *Septoria tritici* blotch development was observed at nitrogen top-dressing rate N180 compared to the variant without fungicide treatment. However, the overall disease development (AUDPC) showed that the nitrogen top-dressing rate had no effect

on the disease development ($p>0.05$). In this year, the severity of *Septoria tritici* blotch was low ($<1\%$).

Leaf green area depending on the nitrogen top-dressing rate. In one of the four years of the trial (2021), the leaf green area was also influenced by the nitrogen top-dressing rate applied ($p<0.001$). Significantly higher leaf green area at medium milk stage was found at higher rates of nitrogen top-dressing: 180 kg ha⁻¹ (64.7%) and 210 kg ha⁻¹ (69.2%). For both nitrogen top-dressing rates, the total N rate is split into three doses. A third top-dressing of nitrogen at the time of ear emergence (30 kg ha⁻¹ and 50 kg ha⁻¹ depending on the fertilisation variant) could have contributed to the retention of green leaves.

Technical efficacy of fungicide treatment depending on the nitrogen top-dressing rate. The nitrogen top-dressing rate had a significant effect on the technical efficacy of fungicide application in only two of the four years of the trial (2018, 2021).

In 2018, the technical efficacy of fungicide treatment varies between 52.2 and 66.5% depending on the N fertiliser rate. The lowest technical efficacy was obtained in variant F1 (TFI=0.5), where half of the full fungicide dose was applied at the time of ear emergence (GS 55–57). Technical efficacy increases with increasing fungicide treatment intensity, but it cannot be said that it increases significantly at higher N fertiliser rates. In 2021, however, the technical efficacy of fungicide application was significantly higher at the nitrogen top-dressing rate of 210 kg ha⁻¹ (55.6%).

Winter wheat yield depending on the fungicide treatment scheme and nitrogen top-dressing rate

On average per four years, the grain yield (Table 5) was effected significantly by fungicide treatment ($p<0.001$), N top-dressing rate ($p<0.001$) and the interaction of both, but the factor influencing the yields most was the annual meteorological conditions ($p<0.001$).

Average grain yields varied significantly between the years of the trial (Table 5) (5.23–8.41 t ha⁻¹). The planned grain yield (8.00 t ha⁻¹) was only achieved in one of the four years (2020).

On average per four years, the variants with fungicide treatment showed a significant increase in grain yield (0.10–0.24 t ha⁻¹ yield increase due to fungicide treatment) compared to the variant without fungicide treatment. The highest yields were obtained in the variants with the lowest (F1; TFI=0.5) and highest (F4; TFI=2.0) fungicide treatment intensity, but the yield differences were not statistically significant. One treatment in the middle of the ear emergence stage was sufficient to control leaf diseases.

Effect of the fungicide treatment schemes. Fungicide treatment significantly increased grain yields (Table 5) in only one of the four years of the trial (2020), in two years fungicide treatment had no effect on grain yields (2019 and 2021).

In 2018, however, the fungicide treatment caused a significant negative effect – grain yields decreased.

In the year of the study, when prolonged dry periods were observed (2018), the highest yields were obtained in the variant without fungicide application and in the variant with half of the full fungicide dose at the time of ear emergence. As fungicide intensity increased, grain yield decreased by 0.58 t ha⁻¹ or 8% in the variant with the highest TFI compared to the variant without fungicide application.

Fungicide treatment resulted in an increase in grain yield in 2020 (0.51– 0.82 t ha⁻¹ compared to the variant without fungicide treatment), which was a year with high rainfall that favoured the development of wheat *Septoria tritici* blotch. Significant yield increases compared to the variant without fungicide treatment were already obtained in the variants with one treatment in the middle of ear emergence. Increasing the Treatment Frequency Index (TFI) does not lead to a significant difference in grain yield.

Effect of nitrogen top-dressing rates. On average over the four years, grain yields (Table 5) increased up to the N fertiliser rate of 180 kg ha⁻¹, but annual effects were also observed: in 2020, grain yields only increased up to the N fertiliser rate of 150 kg ha⁻¹.

Impact of lodging on grain yield. In 2020 conditions, after heavy rainfall, lodging (lodging resistance score 2.2–3.1) was obtained in the wheat and persisted until harvesting. Lodging was affected by nitrogen top-dressing rates ($p=0.02$), with a significant increase for the highest nitrogen fertiliser rate N210. Although lodging was heavy, its effect on yield was not significant ($r=-0.04$, $p>0.05$). However, a significant relationship was found between resistance to lodging and leaf spot development: a moderately strong negative correlation ($r=-0.61$, $p<0.001$) between resistance to lodging and the severity of tan spot development at GS 75–77, moderately close, negative ($r=-0.67$, $p<0.001$) correlation between resistance to lodging and tan spot AUDPC units. However, a strong relationship ($r=-0.75$, $p<0.001$) was found between resistance to lodging and the severity of *Septoria tritici* blotches at GS 75–77, as well as between resistance to lodging and AUDPC units of *Septoria tritici* blotches.

Effect of fungicide treatment scheme on grain yield depending on the nitrogen top-dressing rate. In three of the four years of the trial, a significant F×N factor relationship was obtained, indicating that the effect of fungicide treatment scheme on grain yield varies at different rates of nitrogen top-dressing.

In 2020, the year with the most rainfall, the Thesis study showed significant yield increases compared to F0 in all variants where fungicides were applied. Again in this year, there is a significant F×N factor interaction, but no

conclusions can be drawn from the data because the values of the yield increase are scattered and no regularities can be established.

In the study, the F×N interaction is also relevant in 2018, when grain yields decreased with increasing intensity of fungicide treatment. In variant F2, where the full fungicide rate was applied in the middle of the ear emergence stage, the yield reduction with increasing N fertiliser rate increased gradually from -0.13 t ha^{-1} (N120) to -0.62 t ha^{-1} (N210). In the variant where the FTI is similar to F1, but the fungicide rate is divided into two applications, the reduction in grain yield at all rates of top-dressing nitrogen fertilisation is similar and ranges from -0.51 (N210) to -0.66 t ha^{-1} (N180). That year, the treatment of fungicide in the middle of ear emergence was carried out on 03.06.2018. There was no rainfall for a long period (15 days) before spraying. After fungicide spraying, there were two days of 1 mm/day rainfall, followed by a dry period (14 days) without rainfall and an average air temperature of $17.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Although in the variant with the highest fungicide treatment intensity (FTI=2.0), T3 was carried out after nine days (13.06.2018) under drought conditions, the yield reduction with increasing nitrogen top-dressing rate decreases from -0.73 t ha^{-1} (N120) to $+0.07$ (N210).

Analysis of winter wheat yield-forming components

Number of productive tillers. On average per four data, the number of productive tillers was significantly affected by meteorological conditions ($p < 0.001$). The highest number of productive tillers in the trial was obtained in 2020 (on average 612 pcs m^{-2}). Both autumn 2019 and spring 2020 were warm, with sufficient moisture supply to support wheat tillering.

Nitrogen top-dressing rate had no significant effect on the number of productive tillers. When vegetation renewed (when this yield-forming component was formed), the same rate of top-dressing N fertilisation ($80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) was given to the plants in all treatments. Although, depending on the experimental design, the plants also received additional N fertilisation during the stem elongation stage and at the start of the ear-emergence stage, N fertilisation could not increase the number of productive tillers during these stages of development.

In the study, no effect of fungicide treatment schemes on the number of productive tillers per m^2 was observed. In variants F1 and F2, fungicides were used in the middle of the ear-emergence stage, but the number of productive tillers developed before fungicide treatment.

Grain number per ear. In all years of the trial, the number of grains per ear was significantly affected by meteorological conditions ($p < 0.001$), and in 2021 also by the fungicide treatment scheme ($p = 0.01$). The grain number per ear varied from 20.7 (2019) to 37.0 pieces (2021). The lowest number of grains per

ear was obtained in 2019. Rainfall was already low and sporadic from the period from vegetation resumption to the beginning of stem elongation, while the critical periods for the structural element were characterised by a lack of moisture (from the stage of a developed flag leaf to middle of flowering: HTK 0.20, from middle of flowering to early milk stage – HTK 0.09). The highest number of grains per ear was obtained in 2021, when the moisture supply was more favourable for plant development during flowering. In this year, the compensatory mechanism comes into play, as the lowest number of productive tillers per 1m² was found in 2021.

The nitrogen top-dressing rate had no effect on the number of grains per ear ($p>0.05$). In 2021, the number of grains per ear was influenced by the fungicide treatment scheme ($p=0.01$). Compared to the variant without fungicide, significantly more grains per ear were produced in the variant where the fungicide dose was divided into three applications (FTI=2.0).

Grain weight per ear. On average per four years, grain weight per ear was significantly affected by annual meteorological conditions ($p<0.001$), while in 2019 there was an effect of the nitrogen top-dressing rate ($p=0.017$). The lowest grain weight per ear was obtained in 2019 (average 1.16 g), which can be explained by the drought during grain maturation.

The nitrogen top-dressing rate had an effect on grain weight per ear in only one trial year (2019: $p=0.017$). A significantly higher number of grains per ear compared to N120 was obtained at a N fertiliser rate of 210 kg ha⁻¹. In addition, in 2020, a significant correlation was found between resistance to lodging and grain weight per ear ($r=0.27$, $p=0.017$).

Weight of 1000 grains (TGW). On average per four years, TGW was significantly affected by annual meteorological conditions ($p<0.001$) and fungicide treatment scheme ($p<0.01$). The coarsest grains were obtained in 2019, when TGW varied from 48.40 to 49.66 g. In contrast, 2021 had the lowest TGW (35.32–36.44 g), which can be explained by the dry period during the maturation of the grain. In 2020, however, grain formation was affected by lodging ($r=0.36$, $p=0.001$), resulting in a TGW ranging from 42.28–44.79 g.

Fungicide treatment resulted in an increase in TGW in three out of four years (2019, 2020 and 2021), but the increase was only significant in the rainfall-rich 2020 ($p=0.001$), when the highest leaf blotch development was observed in the years of the trials. That year, TGW increased already in the variant where half of the full fungicide dose (TFI=0.05) was used at the time of earing (GS 55–57), but a significant increase was observed when the full fungicide dose was sprayed. Increasing the intensity of fungicide treatment did not significantly increase TGW. The influence of nitrogen top-dressing rate on the TGW was not significant. No statistically significant effect of F×N factor interaction on TGW was found.

Relationship between yield-forming components and grain yield. The results show that TGW had the greatest impact on grain yield. A significant

positive linear relationship between TGW and grain yield was observed in each year of the trial (Fig. 10). In two of the trial years, a significant positive linear correlation was observed between grain weight per ear and grain yield (2018: $r=0.37$, $p=0.001$; 2021: $r=0.35$, $p=0.002$).

However, the grain weight per ear had the greatest effect on TGW. In all years of the trials, there was a significant positive linear correlation between the number of grains per ear and grain weight per ear, and in two years (2018: $r=0.29$, $p=0.008$; 2020: $r=0.42$, $p<0.001$) between grain weight per ear and TGW.

The correlations found between the yield-forming components indicate their close relationship to yield formation and confirm that a yield compensation mechanism is at work in winter wheat.

Relationship between development of leaf blotches and yield-forming components. The development of leaf blotches had the greatest effect on TGW, but no significant correlations were found with other yield-forming components. In the evaluation of the correlation between the severity of tan spot at GS 75–77 and TGW, a statistically significant negative linear relationship was obtained in three of the four trial years (Fig. 11). A statistically significant linear negative relationship between the severity of *Septoria tritici* blotch at GS 75–77 and TGW (Fig. 11) was also obtained in years with low disease development (2021).

When assessing the relationship between AUDPC values and TGW for tan spot, a statistically significant linear negative relationship was found in three out of four years of the trial (Fig. 12). Similar significant linear negative relationships between the severity of wheat *Septoria tritici* blotch at GS 75–77 and TGW (Figure 12) were found.

Conclusions

1. Tan spot (caused by *Pyrenophora tritici-repentis*) is the dominant leaf disease and was present in the wheat every year. In years with increased rainfall, Septoria tritici blotch (caused by *Zymoseptoria tritici*) developed in wheat. Although the first symptoms of leaf diseases appeared at the beginning of the stem elongation stage, the rapid development of tan spot and Septoria tritici blotch in wheat started at the early milk stage. (*Thesis 1*).
2. Fungicide treatment significantly reduced the development of tan spot, but the effectiveness of individual fungicide treatment schemes depended on the agro-ecological conditions of the year. In years with low levels of tan spot, one treatment at the time of ear emergence was sufficient to control the disease. However, the effectiveness of a single fungicide application may be insufficient, if half of the full fungicide dose is applied. In years with high disease severity, higher efficacy was observed for schemes where the fungicide dose was split in two (GS 32–33 and GS 55–59) or three treatments (GS 32–33, GS 55–59 and GS 63–65). (*Thesis 2*).
3. Fungicide treatment significantly reduced the development of Septoria tritici blotch, but the effectiveness of individual scheme depends on the agro-ecological conditions of the year. In years of high rainfall, which favour disease development, higher efficacy was observed for schemes with a fungicide dose split in two treatments (sprays at GS 32–33 and GS 55–59). In years with low disease development, one application at the time of ear emergence with the full fungicide dose is sufficient to control the disease. (*Thesis 2*).
4. Fungicide treatment significantly increased the leaf green area in the middle of the milk stage. In three of the four years of the trials, there was a significant positive correlation between leaf green area and weight of thousand grain, and grain yield (*Thesis 2*).
5. The lowest fungicide efficacy in all years of the study was obtained in the variant where half of the full fungicide dose was applied at the time of ear emergence (GS 55–57). In years with low levels of leaf disease development, increasing the intensity of fungicide treatment resulted in similar technical efficacy. However, in years when conditions are more favourable for leaf disease development, the technical efficacy increases with increasing the intensity of fungicide treatment schemes. In terms of average results, there is no significant difference in the technical efficacy of fungicide applications in the variants where the fungicide dose is split into two or three applications. (*Thesis 2*).
6. In the variant without fungicide application, the nitrogen top-dressing rate did not affect the severity of tan spot and Septoria tritici blotch in the middle

- of the milk stage (GS 75–77), nor the overall development of both diseases (AUDPC). (*Thesis 3*).
7. The efficacy of fungicide treatment scheme in controlling leaf diseases under different nitrogen top-dressing rates differed in only one of the four years of the study (2021). The highest development of tan spot (AUDPC) in wheat when applying fungicides was observed at a N top-dressing rate of 150 kg ha⁻¹, with a decrease in disease severity with increasing N rates. Although a significantly higher development of Septoria tritici blotch in the middle of the milk stage was observed with applying fungicides at a N top-dressing rate of 180 kg ha⁻¹, the disease development (AUDPC) was not affected by the N fertiliser rate. (*Thesis 3*).
 8. On average per four years, fungicide applications significantly increased grain yields. Although the highest yields were obtained in variants F1 (TFI=0.5) and F4 (TFI=2.0), it is not possible to say for sure which fungicide application scheme was the most effective. However, it is necessary to take in account that the efficacy of fungicide applications is influenced by meteorological conditions. In the study, fungicide treatment significantly increased grain yields in one year (2022), without affecting grain yields in two years (2019, 2021), but in 2018, under drought conditions, increasing fungicide intensity significantly reduced grain yields. (*Thesis 4*).
 9. On average per four years, the yield-forming components: number of productive tillers and grains number per ear, depended on the meteorological conditions of the year, while fungicide treatment schemes and the nitrogen top-dressing rate had no effect on these parameters. TGW was significantly influenced by meteorological conditions during the growing year and fungicide use. Although the TGW increased as a result of fungicide treatment in three of the four years of the trial (2019, 2020 and 2021), the increase was significant only in 2020. (*Thesis 4*).
 10. The development of leaf blotches had an effect on the formation of TGW, but no significant correlation was observed with the other yield-forming elements. In the evaluation of the correlation between severity of tan spot at GS 75–77 and TGW, a statistically significant negative linear correlation was obtained in three of the four years of the trial. However, a statistically significant negative linear correlation between the severity of Septoria tritici blotch at GS 75–77 and TGW was also obtained in years with low disease development (2021). (*Thesis 4*).

Acknowledgement

I would like to express my gratitude to the staff of Training and Research Farm "Pēterlauki" for setting up, tending and harvesting the field trials, with special thanks to L. Šterna, trial field manager, and I. Plūduma-Pauniņa, agronomist.

Thanks to Mg. agr. J. Kaņeps for his help in data collection and interpretation, as well as in mathematical processing of the data.

Thanks to professors Dr. biol. B. Bankina and Dr. agr. Z. Gaile for their suggestions in the interpretation of the results.

Thanks to Professor Dr.sc.ing. I. Arhipova for recommendations on mathematical processing of the trial data.

Thanks to the staff of the Research Institute of Agronomy for their support.

Special thanks to my family for their understanding and support.