



**INSTITUT ZA POVRTARSTVO
SMEDEREVSKA PALANKA**

**Biotehnologija i savremeni pristup
u gajenju i oplemenjivanju bilja**

Nacionalni naučno-stručni skup sa
međunarodnim učešćem

ZBORNİK RADOVA

Smederevska Palanka, 3. novembar 2022.

INSTITUT ZA POVRTARSTVO SMEDEREVSKA PALANKA

Biotehnologija i savremeni pristup u gajenju i oplemenjivanju bilja

Nacionalni naučno-stručni skup sa
međunarodnim učešćem

ZBORNIK RADOVA

Smederevska Palanka

3. novembar 2022.

Zbornik radova

**Biotehnologija i savremeni pristup u gajenju i
oplemenjivanju bilja**

Nacionalni naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem

Smederevska Palanka, 3. novembar 2022.

Izdavač

Institut za povrtarstvo Smederevska Palanka

www.institut-palanka.rs

Za izdavača

Prof. dr Nenad Đurić, viši naučni saradnik

Direktor Instituta za povrtarstvo

Glavni i odgovorni urednik

Prof. dr Nenad Đurić, viši naučni saradnik

Urednici

Dr Slađana Savić, naučni saradnik

Dr Marina Dervišević, naučni saradnik

Tehnički urednik

Ljiljana Radisavljević

Štampa

ArtVision, Starčevo

Tiraž 60 komada

ISBN

978-86-89177-05-3





**Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
je finansijski podržalo održavanje skupa i štampanje Zbornika
radova.**

OPLEMENJIVANJE NA OTPORNOST PREMA PATOGENIMA PŠENICE - STANJE I PERSPEKTIVE

BREEDING FOR RESISTANCE TO WHEAT PATHOGENS - STATUS AND PERSPECTIVES

Radivoje Jevtić^{1*}, Vesna Župunski¹

¹*Institut za ratarstvo i povrtarstvo - institut od nacionalnog značaja za
Republiku Srbiju, Novi Sad*

**Autor za korespondenciju: radivoje.jevtic@ifvcns.ns.ac.rs*

Izvod

Proizvodnja strnih žita postala je izazov modernog društva imajući u vidu porast stanovništva i nepovoljne uticaje klimatskih promena. Intezivna primena hemijskih sredstava u biljnoj proizvodnji omogućila je sa jedne strane porast prinosa, ali je dovela i do narušavanja ne samo kvaliteta zemljišta, vode i vazduha već i prirodne ravnoteže između biljaka i patogena. To je dovelo do pojave sve češćih promena u strukturi populacija patogena, menjanja prevalentnih vrsta i rasa patogena, ali i do narušavanja mehanizama odbrane biljaka usled kompleksnosti delovanja abiotičkih i biotičkih faktora stresa. Organizacija za hranu i poljoprivredu (FAO) Ujedinjenih nacija definisala je integralnu zaštitu bilja (IZB) kao specifičnu strategiju u suzbijanja štetnih organizama na najekonomičniji, kao i ekološki i društveno prihvatljiv način. S obzirom da je IZB fleksibilan sistem koji koristi lokalne resurse u kontroli pojave patogena, bolje poznavanje kompleksnosti odnosa biljke domaćina i patogena postaje imperativ savremene zaštite bilja.

Ključne reči: strna žita, obligatni patogeni, fuzarioza klasa pšenice, klimatske promene, integralna zaštita

Abstract

The production of small grains has become a challenge taking into account the increment of global population and the adverse effects of climate change. The intensive plant production enabled cultivation of higher yielding cultivars but it also led to environmental degradation, and the disruption of the natural balance between plants and pathogens. Changes in structure of pathogen populations, variability in predominant pathogens in one growing area, and alterations of plant defence responses due to the complexity of combined effects of abiotic and biotic stressors, arised as major obsticules in pathogen control and crop protection. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has defined integrated pest management (IPM) as a specific strategy in controlling harmful organisms by using the most economical as well as ecologically and socially acceptable way. Given that IPM is a flexible system that uses local resources for pathogen control, better understanding of the complexity of factors affecting the plant-pathogen interaction has become imperative for modern plant protection.

Key words: small grains, obligate pathogens, Fusarium head blight, climate change, integrated pest management

Uvod

Načini proizvodnje pšenice kao najznačajnije ratarske kulture menjali su se kroz vekove. Razvoj novih tehnologija doprineo je sve većem iskorišćenju genetskih potencijala ove biljne vrste ali i do narušavanja prirodne sredine i ravnoteže između biljaka i patogena. Cilj oplemenjivačkih programa uvek je bio fokusiran na stvaranje visko prinosnih i kvalitetnih sorti pšenice sa visokim nivoom otpornosti prema prevalentnim patogenima. Međutim, ove ciljeve je teško ostvariti u jednom genotipu, s obzirom da su prinos i komponente prinosa samo delimično korelisani ili nisu korelisani uopšte (Laidig et al., 2017; Mladenov et al., 2011).

Intenziviranje proizvodnje pšenice uz primenu hemijskih sredstava kao i klimatske promene, podstakli su i promene u genetičkoj strukturi populacija patogena, nastanak novih rasa kao i menjanje prevalentnih vrsta u jednom proizvodnom području (Juroszek and von Tiedemann,

2013). Razvoj saobraćaja i inteziviranje trgovine dodatno su otežali praćenje i kontrolu patogena usled mogućnosti širenja na područja u kojima nisu bili zastupljeni. Iako svaka zemlja ima regulativu za kontrolu uvoza robe, patogeni imaju mogućnost širenja vazdušnim strujama i vetrom čime se podstiče njihova pojava u epidemijским razmerama.

Danas je glavni imperativ integralne zaštite bilja zaštita životne sredine i smanjena primena fungicida. Heeb i sar. (2019) su promovisali strategiju “climate-smart pest management“ za efikasnu kontrolu štetnih organizama, ali su takođe istakli da je predviđanje pojave štetnih organizama u epidemijским razmerama, na lokalnom nivou i u kratkom vremenskom roku malo verovatno ili gotovo nemoguće. Pandey i sar. (2017) su ukazali da promene temperaturnih režima, suša i promena saliniteta mogu uticati na interakciju biljke i patogena kroz narušene mehanizme odbrane biljaka. Znajući da komponente signalne mreže abiotičkog i biotičkog stresa mogu imati antagonističko delovanje ili jedna mreža može imati prioritet nad drugom (Glazebrook, 2005; Kissoudis et al., 2014; Yasuda et al., 2008), istraživanja reakcije biljaka na kombinovani abiotički i biotički stres dobijaju na sve većem značaju. Sa tim u vezi, cilj ovog rada je da izdvoji neke od osnovnih izazova praćenja i kontrole obligatnih patogena i prouzrokovaca fuzarioze klasa pšenice i da ukaže na mogućnosti daljih tokova istraživanja kako bi se obezbedila što efikasnija i po životnu sredinu bezbednija proizvodnja strnih žita u budućnosti.

Obligatni patogeni pšenice - promene u prostoru i vremenu

Obligatne patogene pšenice čine pepelnica (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) i tri vrste prouzrokovaca rđa: *Puccinia triticina* (prouzrokovac lisne rđe), *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (prouzrokovac žute rđe) i *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (prouzrokovac stabljичne rđe) (Jevtić et al., 2017). Gubici prinosa lisnom rđom mogu doseći 50% (Herrera-Foessel et al., 2006), dok su se gubici prinosa izazvani žutom rđom na teritoriji Srbije kretali i do 60% (Jevtić et al., 2020). Zavisno od sorte i rase, stabljичna rđa može da dovede i do potpunog gubitka prinosa, kao što je i bio slučaj 2013. kod etiopijske sorte Digalu (Olivera et al., 2015). Gubici prinosa izazvani pepelnicom mogu doseći 45% (Conner et al., 2003). Obe grupe patogena se mogu naći istovremeno na istom proizvodnom području ili biljci domaćinu ali dominaciju jednog nad drugim definiše

niz fakotra kao što su: klimatski faktori koji uslovljavaju razvojni ciklus patogena, interakcija patogena, nivo osetljivosti biljke domaćina, ali i faktori koji utiču na interakciju biljke domaćina i patogena.

Na globalnom planu, pojava rđa u epidemijskim razmerama je uvek predstavljala pretnju što je i podstaklo formiranje Borlagove Globalne inicijative za rđe (BGRI, eng. Borlaug Global Rust Initiative) i Globalnog referentnog centra za rđe (GRRC, eng. Global Rust Reference Center). Osnovni zadatak ove inicijative je bio intenziviranje međunarodne saradnje u borbi protiv prouzrokovaca rđa. U svetu su zabeležene epidemije stabljične i žute rđe u različitim periodima XX i XXI veka. Na području Ugande 1999. godine došlo je do pojave nove rase TTKSK (Ug99) sa kombinovanom virulentnošću prema više gena za otpornost što je izazvalo pojavu stabljične rđe u epidemijskim razmerama na tom prostoru (Pretorius et al., 2000). Do danas je opisano 8 varijanti *P. graminis* f. sp. *tritici* koje pripadaju grupi Ug99 (Singh et al., 2015). Epidemijska pojava stabljične rđe zabeležena je ponovo 2016. godine kada je nova rasa TTTTF zahvatila hiljade hektara na području Sicilije. Promene u strukturi populacija prouzrokovaca žute rđe takođe su pravile probleme u proizvodnji pšenice kako na području Severne Amerike 2000. godine, tako i u Evropi 2011. godine kada su se pojavile rase „Warrior” i “Kranich” poreklom iz Azije. Obe rase odlikovale su se većom agresivnošću i nizom drugačijih svojstava od dominantnih rasa prouzrokovaca žute rđe na evropskom kontinentu.

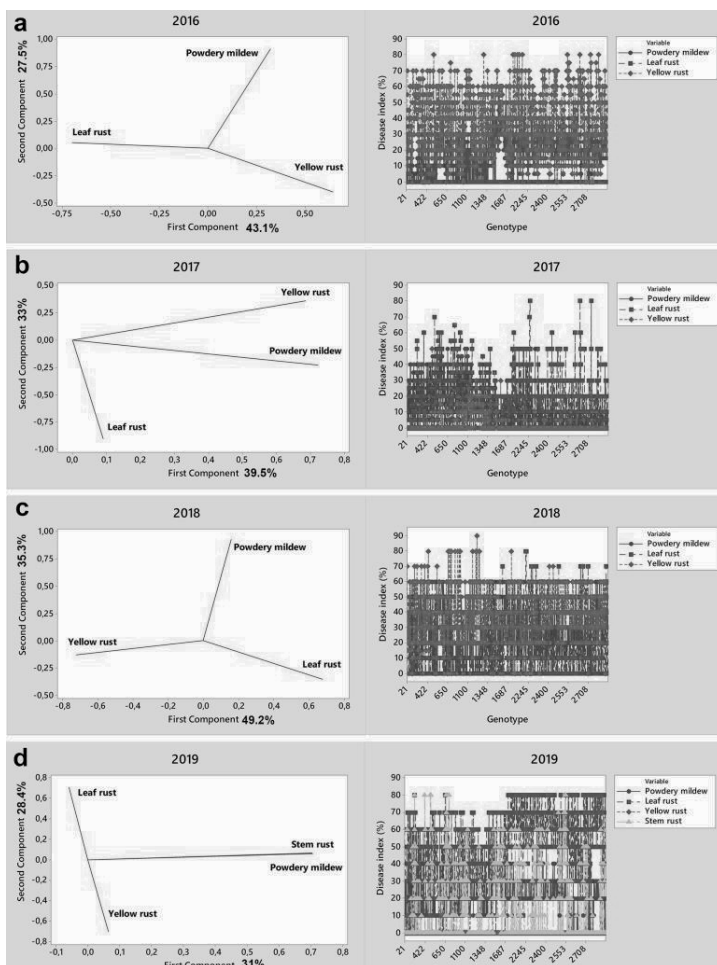
U Srbiji, žuta rđa je bila sporadično prisutna 1997. godine u genetskoj kolekciji na Rimskim šančevima (Jevtić et al., 1997), da bi 2007. godine Jevtić i Jasnić ponovo upozorili na opasnost od jače pojave žute rđe, koja se i desila 2014. usled pojave rase Ratnik „Warrior” (Jevtić et al., 2017). Pojava žute rđe u Srbiji u većim razmerama bila je uslovljena ekstremnim fluktuacijama klimatskih faktora koji su izlazili iz okvira desetogodišnjih proseka. U 2014. godini srednje temperature u januaru i februaru nadmašile su desetogodišnje proseke, a zabeležene su i obilne padavine u martu i aprilu koje su takođe bile iznad prosečnih (Jevtić et al., 2017).

Ekstremno variranje klimatskih faktora dovelo je i do jače pojave stabljične rđe u genetskoj kolekciji na Rimskim šančevima proizvodne 2018/2019, iako je gotovo potpuno nestala sa teritorije Srbije nakon 1960. godine uvođenjem ranih sorti pšenice u proizvodnju (Jevtić et al., 2020). Upozorenje za moguću ponovnu pojavu stabljične rđe u Srbiji ukazao je Jevtić 2017. kada je na pojedinačnim genotipovima iz jarog roka setve

utvrđeno prisustvo rase TTTTF (Jevtić et al., 2020). Proizvodne 2018/2019, suša u vreme setve, koja je nastavljena u vreme nicanja i rasta dovela je do kašnjenja fenofaze izduživanja u stablo (vlatanja), što je bio predulsov da se stabiljčna rđa pojavi na 35% genotipova gentske kolekcije na Rimskim šančevima (Jevtić et al., 2020).

Uticaj klimatskih faktora na broj generacija pepelnice a time i na broj infekcionih ciklusa je velik. Pogodni uslovi za pojavu pepelnice podrazumevaju temperature od 15 do 22°C i visoku vlažnost od 85 do 100% sa povremenom pojavom hladnih talasa. Povoljni temperaturni uslovi za klijanje konidija obuhvataju širok raspon od 1 do 30°C, bez prisustva vode, dok se infekcija ostvaruje na temperaturama od 5 do 30°C. Pepelnica u toku jedne sezone može da ostvari 15-18 generacija uključujući i period od žetve do ponovne setve kada zaražava samonikle biljke tzv. "zeleni most" (Jevtić et al., 2012).

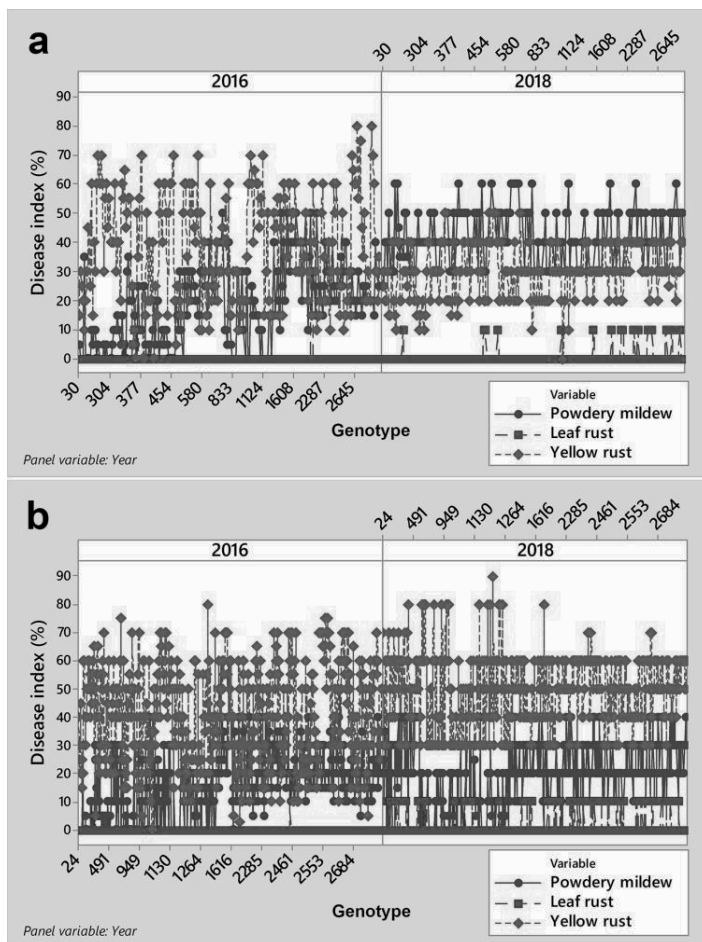
Pojava pepelnice i rđa pšenice u istom proizvodnom području definisana je statusom ekvilibrijuma, što znači da će pojava jednog patogena biti praćena manjom pojavom drugog. Međutim, faktori koji utiču na predominaciju pepelnice nad rđom ili obrnuto uključuju ne samo interakciju samih patogena već i interakciju biljke domaćina i patogena. Ovi odnosi su dodatno složeni imajući u vidu da kompleksno delovanje komponenata signalnih mreža abiotičkog i biotičkog stresa kod biljke domaćina mogu delovati antagonistički ili pospešiti odbranu na više stresnih faktora. Na kompleksnu prirodu faktora koji definišu pojavu obligatnih patogena ukazano je višegodišnjim praćenjem ekonomski značajnih patogena pšenice od strane fitopatološke laboratorije Odeljenja za strna žita, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, na lokalitetu Rimski šančevi u „rasadniku bolesti“ koji uključuje oko 3000 genotipova pšenice. Studija koja je obuhvatila podatke od 2016. do 2019. ukazala je da se faktori koji favorizuju predominaciju jedne vrste rđe nad drugom, kao i faktori koji definišu odnos rđa i pepelnice, menjaju na godišnjem nivou (Jevtić et al., 2020) (Slika 1).



Slika 1. Odnos obligatnih patogena na 1389 genotipova ozime pšenice na lokalitetu Rimski šančevi od 2016. do 2019. godine (Jevtić et al., 2020)

Takođe je ukazano da se značaj uticaja interakcije biljke domaćina i patogena ne sme potceniti, kao i da reakcija biljaka na abiotički stres može uticati na infekciju obligatnim patogenima. To je posebno bilo izraženo u reakciji osetljivih genotipova na žutu rđu, kada su 2016. godine svi genotipovi bili zaraženi, dok je 2018. godine došlo do zaraze samo jedne grupe genotipova, i pored toga što je 2018. godina bila povoljna za pojavu žute rđe. Kod druge grupe osetljivih genotipova u

2018. godini pepelnica je bila predominantna (Jevtić et al., 2020) (Slika 2).



Slika 2. Odnos pepelnice i žute rđe na 740 osetljivih genotipova ozime pšenice u 2016. i 2018. godini. (a) Set genotipova gde je pepelnica bila predominantna u odnosu na žutu rđu 2018. (b) Set genotipova kod kojih je žuta rđa bila predominantna u odnosu na pepelnicu 2018. Kod oba seta genotipova žuta rđa je bila predominantna 2016. (Jevtić et al., 2020)

Imajući u vidu da klimatske promene utiču na pojavu, distribuciju i predominantnost patogena direktno (uskraćujući ili obezbeđujući pogodne uslove za ostvarenje infekcije i razvoj bolesti), ali i indirektno

preko uticaja na: 1) interakciju patogena koji zauzimaju istu ekološku nišu, ili 2) odnos biljke domaćina i patogena, razvijanje novih sistema praćenja i analiza strukture populacije patogena je od suštinskog značaja za njihovu uspešnu kontrolu. Primena novih tehnologija sekvencioniranja DNK i RNK patogena kao što je platforma (MinION) čiji je zastupnik Oxford Nanopore Technologies omogućila je praćenje rasnog sastava prouzrokovaca rđa direktno u polju iz biljnog tkiva, što je opet preduslov za razvijanje blagovremene i efikasne strategije u kontroli ovih patogena.

Istovremeno, molekularne tehnike sekvencioniranja iRNK biljke domaćina i analize SNP (single nucleotide polymorphism) markera, daju mogućnost da se u perspektivi istraži povezanost genotipa prouzrokovča rđa i pedigrea biljke domaćina kako bi se utvrdilo da li je pad otpornosti prethodno otporne biljke domaćina zaista posledica pojave novih virulentnijih rasa ili nekog drugog faktora. Primenom novih tehnologija biće moguće značajno skratiti proceduru praćenja populacija patogena i karakterizacije sorti i linija strnih žita. To znači da će biti moguće preskočiti pojedine faze analiza koje su po tradicionalnim protokolima bile vremenski zahtevne i koje su uključivale: umnožavanje patogena, testiranje virulentnosti kao i utvrđivanje identiteta biljke domaćina DUS testovima, razdvajanjem proteina gelovima, ili drugim laboratorijski zahtevnim tehnikama (Hubbard et al., 2015). Osavremenjivanje pristupa praćenja populacija pepelnice, kako aseksualne tako i seksualne generacije, uvođenjem novih koeficijenata za analizu sličnosti populacija i razvijanjem novih matematičkih modela prostorne raspodele daće mogućnost za bolje razumevanje faktora koji utiču na promene strukture populacije pepelnice, i njenih odnosa sa biljkom domaćina (Kosman and Leonard, 2007).

I pored toga što su u osnovi poznata dva osnovna tipa otpornosti biljke domaćina prema patogenima (horizontalna i vertikalna), ne sme se izgubiti iz vida i uticaj klimatskih elemenata na efikasnost delovanja mehanizama otpornosti. Naime, utvrđeno je da otpornost biljke na određene abiotičke stresove (visoke temperature, suša) može da podstakne, ali i da inhibira funkcionisanje različitih mehanizama otpornosti prema patogenima. Utvrđeno je da otpornost na visoke temperature može da inhibira sintezu R-proteina (koji obezbeđuju vertikalnu otpornost), ali je isto tako utvrđeno da se ekstremnim fluktacijama temperatura može podstaći ili inhibirati horizontalni tip otpornosti.

Izazovi kontrole fuzarioze klasa u savremenoj proizvodnji pšenice

Fuzarioza klasa pšenice pripada grupi ekonomski značajnih oboljenja koje dovodi do gubitaka prinosa i do 70 % (Zhang et al., 2012). Štetnost fuzarioze klasa se ogleda i u smanjenju kvaliteta zrna pšenice kao i produkciji mikotoksina koji nepovoljno utiču na zdravlje ljudi i životinja. Prouzrokovajući fuzarioze klasa pšenice čine toksigene vrste roda *Fusarium*: *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. poae*, *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides*, *F. graminearum* kompleks vrsta i *F. tricinctum* kompleks vrsta, kao i netoksigeni *Microdochium nivale* i *M. majus* (Pasquali et al., 2016).

Imajući u vidu da se patogena svojstva različitih *Fusarium* vrsta pa čak i različitih hemotipskih grupa u okviru jedne vrste razlikuju (Beyer et al., 2007; Cowger and Arrellano, 2010; He et al., 2019; Lee Jungkwan et al., 2009), praćenje distribucije *Fusarium* vrsta i hemotipskih grupa jedan je od preduslova za ostvarenje efikasne kontrole ovih patogena. Način obrade zemljišta (redukovan ili konvencionalan), klimatski faktori koji utiču na životni ciklus patogena i stepen otpornosti biljke domaćina su obično smatrani najuticajnijim faktorima na pojavu fuzarioze klasa i akumulaciju mikotoksina (Blandino et al., 2017; Shah et al., 2018). Oni su uključivani i u sisteme progonoze pojave fuzarioze klasa pšenice, kao što su: DONCast (Schaafsma and Hooker, 2007), FusaProg (Musa et al., 2007), i Qualimètre® (Froment et al., 2011). Međutim, negativan uticaj klimatskih promena na proizvodnju pšenice, nedostatak visoke korelacije između prinosa i komponenata prinosa i poligena priroda otpornosti prema fuzariozi klasa otežavaju kako oplemenjivanje na otpornost prema ovim patogenima, tako predviđanje šteta koje oni mogu da izazovu (Buerstmayr et al., 2009; Laidig et al., 2017; Mladenov et al., 2011). Do danas je opisano pet tipova otpornosti prema fuzariozi klasa i to su: otpornost na inicijalnu infekciju (Tip I), otpornost na širenje u okviru klasa (Tip II), otpornost na mikotoksine (Tip III), otpornost na infekciju zrna (Tip IV) i tolerantnost (Tip V) (Mesterházy et al., 1999).

Otežavajući faktor u praćenju pojave fuzarioze klasa je i sama činjenica da se struktura populacije i prevalentnost *Fusarium* vrsta može promeniti na jednom proizvodnom području usled uticaja selekcionog pritiska klimatskih promena, genetičke strukture sorti i sredstava za zaštitu bilja. Do 2000. godine dominantna vrsta u Engleskoj, Holandiji,

Norveškoj, Finskoj, severnoj Nemačkoj i severnoj Poljskoj bila je *F. culmorum*, da bi nakon 2000. godine prevalentna vrsta bila *F. graminearum* (Yli-Mattila, 2010; Yli-Mattila et al., 2013). Rasprostranjenost hemotipskih grupa takođe nije ujednačena u različitim delovima Evrope. U centralnoj i južnoj Evropi dominira 15ADON, dok je na severu uobičajenija 3ADON hemotipska grupa (Yli-Mattila et al., 2013).

Karakterizacija biljke domaćina na otpornost/osetljivost prema fuzariozi klasa je kompleksna imajući u vidu da postoji više parametara koji se moraju pratiti kako bi se što preciznije okarakterisao odgovor biljke na infekciju. Parametri ocene fuzarioze klasa su: indeks oboljenja (FHB index - *Fusarium* head blight index) koji uključuje zastupljenost obolelih biljaka po jedinici površine (incidence) i intenzitet infekcije pojedinačnih biljaka (severity); prisustvo fuzarioznih zrna (FDK – *fusarium* damaged kernels); i akumulacija mikotoksina (Gilbert and Woods, 2006). Kolb i Boze (2003) su uveli ISK indeks (Incidence, Severity, Kernel damage) koji podrazumeva različito učešće parametara ocene fuzarioze klasa u jednom indeksu. Odnos incidence : severity : FDK u okviru ISK je 30% : 30% : 40%. Pored ISK Kolb i Boze (2003) su uveli DISK indeks koji uključuje i učešće akumulacije mikotoksina u sledećem odnosu: incidence (20 %) : severity (20 %) : FDK (30 %) : DON (30 %). U Kanadi je DISK modifikovan sa ISD indeksom koji isključuje uticaj FDK, a povećava uticaj akumulacije mikotoksina sa učešćem od 60% u indeksu (He et al., 2019). Iako bi bilo praktično da se reakcija biljke domaćina na infekciju fuzariozom klasa izražava samo jednim brojem, Wegulo et al. (2011) i Jevtić et al. (2021) su ukazali da se korelacija indeksa oboljenja (FHB) i FDK razlikuje kod umereno otpornih i osetljivih sorti, kao i da je veća kod umereno otpornih. Ova pojava mogla bi imati za posledicu potcenjivanje ili precenjivanje učešća pojedinih parametara ocene fuzarioze klasa u ukupnoj oceni reakcije genotipova na infekciju *Fusarium* vrstama (Jevtić et al., 2021).

Pored pomenutih, postoje i druga pitanja koja otežavaju uspešno praćenje i kontrolu prouzrokovala fuzarioze klasa pšenice. Ova pitanja proističu iz: 1) nekonzistentnosti odnosa između gubitaka prinosa i parametara za ocenu nivoa zaraze fuzariozom klasa (Wegulo et al., 2011; Willyerd et al., 2012); 2) nedostataka korelacije između akumulacije mikotoksina i nivoa zaraze zrna usled čega i dejstvo fungicida u suzbijanju patogena i smanjenju akumulacije mikotoksina može biti

neujednačeno (Cowger and Arrellano, 2010; Mesterházy, 2002); 3) neujednačenosti efekata načina obrade zemljišta na pojavu *Fusarium* vrsta jer je utvrđeno da zaoravanje podstiče kontrolu jednih (*F. graminearum*) dok pospešuje pojavu drugih vrsta (*F. poe*) (Vogelgsang et al., 2019) i 4) neefikasnosti preparata da u potpunosti kontrolišu pojavu fuzarioze klasa (Wegulo, 2012).

Zaključak

S obzirom da su savremeni uslovi proizvodnje strnih žita suočeni sa neprestanim promenama u populacijama ekonomski značajnih patogena, kao i da se reakcije biljaka na kombinovani abiotički i biotički stres ne mogu predvideti samo na osnovu praćenja efekta individualnih stresora, ovaj rad je ukazao da ni jedna pojedinačna mera zaštite nije dovoljno efikasna u sprečavanju pojave i širenja ekonomski značajnih patogena. Osim toga, ukazano je i da više pažnje treba posvetiti istraživanjima kompleksnosti delovanja faktora abiotičkog i biotičkog stresa na reakciju biljke domaćina, kako bi se sa većom pouzdanošću mogli predvideti ne samo uslovi za pojavu patogena već i razviti efikasni mehanizmi integralne zaštite koji će obezbediti održivu proizvodnju strnih žita u budućnosti.

Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan kao rezultat Projekta 451-03-68/2022-14/200032 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Beyer, M., Klix, M.B., Verreet, J.A. (2007). Estimating mycotoxin contents of *Fusarium* - damaged winter wheat kernels. *International Journal of Food Microbiology* 119(3): 153–158.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.007>
- Blandino, M., Scarpino, V., Sulyok, M., Krska, R., Reyneri, A. (2017). Effect of agronomic programmes with different susceptibility to deoxynivalenol risk

- on emerging contamination in winter wheat. *European Journal of Agronomy* 85: 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.01.001>
- Buerstmayr, H., Ban, T., Anderson, J. A. (2009). QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: A review. *Plant Breeding* 128(1): 1–26. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01550.x>
- Conner, R. L., Kuzyk, A. D., Su, H. (2003). Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science* 83(4): 725–728. <https://doi.org/10.4141/P03-043>
- Cowger, C., Arrellano, C. (2010). Plump Kernels with High Deoxynivalenol Linked to Late Gibberella zeae Infection and Marginal Disease Conditions in Winter Wheat. *Phytopathology* 100(7): 719–728. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-7-0719>
- Froment, A., Gautier, P., Nussbaumer, A., Griffiths, A. (2011). Forecast of mycotoxins levels in soft wheat, durum wheat and maize before harvesting with Qualimètre®. *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit* 6(2): 277–281. <https://doi.org/10.1007/s00003-010-0655-2>
- Gilbert, J., Woods, S. (2006). Strategies and considerations for multi-location FHB screening nurseries.
- Glazebrook, J. (2005). Contrasting Mechanisms of Defense Against Biotrophic and Necrotrophic Pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 43(1): 205–227. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923>
- He, X., Dreisigacker, S., Singh, R. P., Singh, P. K. (2019). Genetics for low correlation between Fusarium head blight disease and deoxynivalenol (DON) content in a bread wheat mapping population. *Theoretical and Applied Genetics* 132(8): 2401–2411. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03362-9>
- Heeb, L., Jenner, E., Cock, M. J. W. (2019). Climate-smart pest management: Building resilience of farms and landscapes to changing pest threats. *Journal of Pest Science* 92(3): 951–969. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01083-y>
- Herrera-Foessel, S. A., Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Crossa, J., Yuen, J., Djurle, A. (2006). Effect of leaf rust on grain yield and yield traits of durum wheats with race-specific and slow-rusting resistance to leaf rust. *Plant Disease* 90(8):1065–1072. <https://doi.org/10.1094/PD-90-1065>
- Hubbard, A. et al. (2015). Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population. *Genome Biology*, 16(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s13059-015-0590-8>
- Jevtić, R., Maširević, S., Vajgand, D. (2012). The impact of climate change on diseases and pests of small grains and sunflowers in the Vojvodina region (Serbia). In D. Mihajlović (Ed.) *Essays on fundamental and applied environmental topics* (pp. 277-305). Nova Science Publishers, Inc.

- Jevtić, R., Jerković, Z., Denčić, S., Stojanović, S. (1997). Pojava žute rđe (*Puccinia striiformis*) na pšenici u 1997. Godini. *Biljni Lekar* 4: 455–458.
- Jevtić, R., Skenderović, N., Župunski, V., Lalošević, M., Orbović, B., Maširević, S., Bagi, F. (2021). Association between yield loss and Fusarium head blight traits in resistant and susceptible winter wheat cultivars. *Journal of Plant Diseases and Protection* 128(4): 1013–1022.
<https://doi.org/10.1007/s41348-021-00486-3>
- Jevtić, R., Župunski, V., Lalošević, M., Jocković, B., Orbović, B., Ilin, S. (2020). Diversity in susceptibility reactions of winter wheat genotypes to obligate pathogens under fluctuating climatic conditions. *Scientific Reports* 10(1): 19608. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76693-z>
- Jevtić, R., Župunski, V., Lalošević, M., Župunski, L. (2017). Predicting potential winter wheat yield losses caused by multiple disease systems and climatic conditions. *Crop Protection* 99: 17–25.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.005>
- Juroszek, P., von Tiedemann, A. (2013). Climate change and potential future risks through wheat diseases: A review. *European Journal of Plant Pathology* 136(1): 21–33. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0144-9>
- Kissoudis, C., van de Wiel, C., Visser, R. G. F., van der Linden, G. (2014). Enhancing crop resilience to combined abiotic and biotic stress through the dissection of physiological and molecular crosstalk. *Frontiers in Plant Science* 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00207>
- Kolb, F. L., Boze, L. K. (2003). An alternative to the FHB index: incidence, severity, kernel rating (ISK) index. Description of proceedings of the National Fusarium Head Blight Forum (p. 259). Michigan State University, Bloomington MN
- Kosman, E., Leonard, K. J. (2007). Conceptual analysis of methods applied to assessment of diversity within and distance between populations with asexual or mixed mode of reproduction. *New Phytologist* 174(3): 683–696.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02031.x>
- Laidig, F., Piepho, H.-P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., Huesken, A. (2017). Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theoretical and Applied Genetics* 130(1): 223–245.
<https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3>
- Lee Jungkwan, Chang In-Young, Kim Hun, Yun Sung-Hwan, Leslie John F., Lee Yin-Won. (2009). Genetic diversity and fitness of Fusarium graminearum populations from rice in Korea. *Applied and Environmental Microbiology* 75(10): 3289–3295. <https://doi.org/10.1128/AEM.02287-08>

- Mesterházy, Á. (2002). Role of Deoxynivalenol in Aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in Resistance to *Fusarium* Head Blight. *European Journal of Plant Pathology* 108(7): 675–684.
<https://doi.org/10.1023/A:1020631114063>
- Mesterházy, Á., Bartók, T., Mirocha, C. G., & Komoróczy, R. (1999). Nature of wheat resistance to *Fusarium* head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. *Plant Breeding* 118(2): 97–110.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.1999.118002097.x>
- Mladenov, N., Hristov, N., Kondic-Spika, A., Djuric, V., Jevtic, R., Mladenov, V. (2011). Breeding progress in grain yield of winter wheat cultivars grown at different nitrogen levels in semiarid conditions. *Breeding Science* 61(3): 260–268. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.260>
- Musa, T., Hecker, A., Vogelgsang, S., Forrer, H. R. (2007). Forecasting of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in winter wheat with FusaProg*. *EPP0 Bulletin*, 37(2), 283–289.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2007.01122.x>
- Olivera, P., et al. (2015). Phenotypic and genotypic characterization of race TKTTF of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013–14. *Phytopathology* 105(7): 917–928.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-14-0302-FI>
- Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M. V., Senthil-Kumar, M. (2017). Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Frontiers in Plant Science* 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00537>
- Pasquali, M. et al. (2016). A European database of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* trichothecene genotypes. *Frontiers in Microbiology* 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00406>
- Pretorius, Z. A., Singh, R. P., Wagoire, W. W., Payne, T. S. (2000). Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene Sr31 in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. *Plant Disease* 84(2): 203–203.
<https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.2.203B>
- Schaafsma, A. W., Hooker, D. C. (2007). Climatic models to predict occurrence of *Fusarium* toxins in wheat and maize. *International Journal of Food Microbiology* 119(1): 116–125.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.08.006>
- Shah, L., Ali, A., Yahya, M., Zhu, Y., Wang, S., Si, H., Rahman, H., Ma, C. (2018). Integrated control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. *Plant Pathology* 67(3): 532–548.
<https://doi.org/10.1111/ppa.12785>

- Singh, R. P. et al. (2015). Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology* 105(7): 872–884.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-15-0030-FI>
- Vogelgsang, S. et al. (2019). An eight-year survey of wheat shows distinctive effects of cropping factors on different *Fusarium* species and associated mycotoxins. *European Journal of Agronomy* 105: 62–77.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.01.002>
- Wegulo, S. N. (2012). Factors Influencing Deoxynivalenol Accumulation in Small Grain Cereals. *Toxins* 4(11). <https://doi.org/10.3390/toxins4111157>
- Wegulo, S. N., Bockus, W. W., Nopsa, J. H., De Wolf, E. D., Eskridge, K. M., Peiris, K. H. S., Dowell, F. E. (2011). Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in winter wheat. *Plant Disease* 95(5): 554–560.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-07-10-0495>
- Willyerd, K. T. et al. (2012). Efficacy and stability of integrating fungicide and cultivar resistance to manage *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in wheat. *Plant Disease* 96(7): 957–967.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0763>
- Yasuda, M. et al. (2008). Antagonistic interaction between systemic acquired resistance and the abscisic acid-mediated abiotic stress response in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 20(6): 1678–1692.
<https://doi.org/10.1105/tpc.107.054296>
- Yli-Mattila, T. (2010). Ecology and evolution of toxigenic *Fusarium* species in cereals in northern Europe and Asia. *Journal of Plant Pathology* 92(1): 7–18. Jstor.
- Yli-Mattila, T., Rämö, S., Hietaniemi, V., Hussien, T., Carlobos-Lopez, A. L., Cumagun, C. J. R. (2013). Molecular quantification and genetic diversity of toxigenic *Fusarium* species in Northern Europe as compared to those in Southern Europe. *Microorganisms* 1(1): 162–174.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms1010162>
- Zhang, H., Van der Lee, T., Waalwijk, C., Chen, W., Xu, J., Xu, J., Zhang, Y., Feng, J. (2012). Population analysis of the *Fusarium graminearum* species complex from wheat in China shows a shift to more aggressive isolates. *PLOS ONE* 7(2): e31722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031722>

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

631.52(082)

606:63(082)

НАЦИОНАЛНИ научно-стручни скуп са међународним учешћем
Биотехнологија и
савремени приступ у гајењу и оплемењивању биља (2022 ; Смедеревска
Паланка)

Zbornik radova / Nacionalni naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem
Biotehnologija i savremeni pristup u gajenju i oplemenjivanju bilja,
Smederevska Palanka 3. novembar 2022. ; [urednici Slađana Savić, Marina
Dervišević]. - Smederevska Palanka : Institut za povrtarstvo, 2022
(Starčevo : ArtVision). - 349 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 60. - Str. 9: Predgovor / urednici. - Bibliografija uz svaki rad. -
Abstracts.

ISBN 978-86-89177-05-3

а) Биљке - Оплемењивање - Зборници б) Биотехнологија - Зборници

COBISS.SR-ID 78390537