

VPLIV SISTEMA OBDELAVE TAL NA VELIKOST IN RAZNOVRSTNOST TALNE PLEVELNE SEMENSKE BANKE

Sergeja ADAMIČ ZAMLJEN¹, Anže ROVANŠEK², Robert LESKOVŠEK³

^{1,2,3} Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za kmetijsko ekologijo in naravne vire,
Ljubljana

IZVLEČEK

V zadnjih letih se je povečalo zanimanje za uporabo manj intenzivnih sistemov obdelave tal, ki imajo zaradi različnih načinov in intenzivnosti posegov v tla, vpliv tudi na stanje dinamiko talne semenske banke. Ker je na voljo malo podatkov o količini in sestavi talne semenske banke v obdobju neposredno po spremembi načina obdelave tal, smo med leti 2020 in 2022 na površinah Kmetijskega inštituta Slovenije v Jabljah izvedli vzorčenje talne semenske banke. V raziskavi smo preučevali odziv semenske banke v zgodnjem obdobju prehoda iz konvencionalnega v manj intenzivne sisteme obdelave tal. Kalivo semensko banko smo določili v dveh terminih (spomladi in jeseni) s kalilnimi testi v mrežniku Kmetijskega inštituta Slovenije v Ljubljani. V poskus so bili vključeni trije sistemi obdelave tal: konvencionalna (CN), konzervirajoča (CS) in brez obdelave (NT), vzorčenje tal pa je bilo izvedeno na treh globinah: 0-5 cm, 5-10 cm in 10-20 cm. V primerjavi z jesensko sezono smo v spomladanskem terminu vzorčenja ugotovili značilno večjo semensko banko v tleh. Plevelna združba, ki je bila določena v semenski banki v jesenskem terminu, je imela večjo relativno številčnost vrst v združbi (E) v primerjavi s spomladansko. Tako spomladanska kot jesenska plevelna združba sta imeli podobno število plevelnih vrst (D). Zaradi večje intenzitete obdelave v CN in CS sistemu je bilo v primerjavi z NT sistemom opaženo manjše število vrst v obeh terminih. Nasprotno pa je bila manjša relativna številčnost vrst v združbi v intenzivnejšem sistemu obdelave. Rezultati raziskave so pokazali, da ima uvedba različnih sistemov obdelave dokaj hiter vpliv tako na velikost kot sestavo plevelne semenske banke. Priporočljivo je, da bi se študije semenske banke obravnavale kot pomemben postopek v okviru integriranega uravnavanja plevelne populacije, ki bi preprečila večje izzive pri zatiranju plevela v obdobju prehoda v manj intenzivne sisteme obdelave.

Ključne besede: plevelna semenska banka, intenzivnost obdelave tal, vrstna pestrost, raznolikost plevela

¹ mag. inž. hort. Hacquetova ulica 17, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: sergeja.adamic@kis.si

² mag. inž. agr., prav tam

³ dr., prav tam

ABSTRACT

INFLUENCE OF TILLAGE SYSTEM ON THE SIZE AND DIVERSITY OF THE SOIL WEED SEED BANK

In recent years an increase in interest in the use of less intensive tillage systems have been observed, due to different methods and intensity of tillage regime and also have impact on the dynamics of the soil seed bank. Since small amount of information is available of the size and composition of weed seed bank in the period immediately after the alteration of tillage regime, sampling of soil seed bank was performed in years 2020-2022 at the Agricultural institute of Slovenia in Jablje. We examined the viable weed seed bank response in the early transition period from conventional to less intensive tillage systems. The viable weed seed bank was determined at two cropping periods (spring and autumn), in the germination experiments, performed in a net greenhouse at the Agricultural institute in Ljubljana. Three tillage systems were included in the experiment: conventional (CN), conservation (CS) and no-tillage (NT), while soil sampling was carried out at three sampling depths: 0-5 cm, 5-10 cm in 10-20 cm. Significantly larger soil seed bank was observed in the spring, compared to the autumn sampling period. Weed community determined in the viable weed seed bank in autumn cropping period had a higher species evenness (E) compared to spring cropping period. Spring and autumn weed community have a similar number of weed species (D) in all tillage systems. Due to greater soil disturbance level in the CN and CS tillage system a decrease in species richness was observed in both cropping periods compared to NT system. In contrast, species evenness was lower in more intensive tillage systems. The results of the study showed that the introduction of different tillage systems had an immediate impact on both size and composition of the weed seed bank. We recommend that seed bank studies should be considered as an important element of integrated weed management to avoid greater weed control challenges in the process of transition to less intensive tillage systems.

682

Key words: weed seed bank, tillage, species richness, weed diversity

1 UVOD

Pleveli ostajajo eden izmed najpomembnejših biotskih dejavnikov v kmetijstvu, ki povzročajo velike izgube pridelka (Oerke, 2006). Pomen obvladovanja plevelne populacije za doseganje intenzifikacije kmetijstva je pomembno, saj so sedanji ukrepi za zatiranje plevela v veliki meri odvisni od uporabe herbicidov (Chikowo in sod., 2009). Kot odgovor na vse večji pritisk javnosti za zmanjšanje uporabe sintetičnih herbicidov, se je znova povečalo zanimanje za študije talne plevelne semenske banke (Mahé in sod., 2020). Ta predstavlja "rezervoar" kalivih plevelnih semen in s tem glavni vir širjenja plevelov v prihodnosti (Chauhan in Johnson, 2010). Velikost semenske banke je odraz preteklih in sedanjih praks upravljanja s tlemi, spremembe pa kažejo na razlike v gostoti in čas pojavljanja plevela (Auffret in Cousins, 2011). Na lastnosti plevelne združbe in stopnjo zapleveljenosti vplivata predvsem gostota in sestava plevelne semenske banke, kar pa na koncu vpliva tudi na samo učinkovitost zatiranja plevelov (Taylor in Hartzler, 2000). Pristop integriranega zatiranja plevelov predlaga

proaktivni pristop, v katerem je uporabljenih več taktik zatiranja plevela, vključno z izčrpavanjem semenske banke kot ključnim elementom zatiranja enoletnih in večletnih plevelov, ki se širijo s semeni (Riemens in sod., 2022). Med agronomskimi dejavniki, ki vplivajo na obvladovanje plevela, je bilo ugotovljeno, da obdelava tal in kolobarjenje v največji meri vplivata na velikost in sestavo plevelne združbe (Buhler in sod., 2001; Hosseini in sod., 2014).

Obdelava tal je glavna kmetijska praksa, ki vključuje mehansko obdelavo tal za pripravo setvene površine, vpliva na vznik plevela in ravnanje z rastlinskimi ostanki (Hobbs in sod., 2008). Alternativni sistemi obdelave tal se uvajajo kot odziv na zmanjšanje kakovosti tal (erozija, spiranje hranil in izguba rodovitnosti tal), ki jo povzroča konvencionalna obdelava tal (Tilman in sod., 2002; Soane in sod., 2012). Poleg tega je bilo ugotovljeno, da obračanje plasti tal vpliva na boljše obvladovanje plevela, medtem ko je v sistemih konzervirajoče obdelave in neobdelanih tal prisotna večja zapleveljenost (Gruber in sod., 2012). Spremembe v okolju različno vplivajo na kalitev plevelnih semen (Nichols in sod., 2015), pri čemer se lahko zgodi, da semena ne kalijo, če so zakopana pregloboko, tista, ki so blizu površja ali celo na površini tal pa kalijo hitro (Chauhan in Johnson, 2010). V večletnih študijah, v katerih so preučevali vplive načinov obdelave na dinamiko plevelne populacije, poročajo o velikih razlikah v gostoti plevela in poudarjajo kompleksne interakcije med kolobarjem, obdelavo tal in obvladovanjem plevela (Ruisi in sod., 2015). Ker je sestava plevelne populacije odvisna od sprememb v času in prostoru, sta začetno stanje in razporeditev plevelne semenske banke opredeljena kot pomembna dejavnika, ki vplivata na odziv plevela na sistem obdelave tal (Barberi in sod., 1997).

Trenutno imamo malo znanja o kratkoročnih spremembah dinamike plevelne semenske banke, povezanih s preходом na alternativne sisteme obdelave tal. Več raziskav je pokazalo, da lahko konzervirajoč sistem in sistem brez obdelave tal povečata skupno številčnost plevelov in vplivata na sestavo plevelne združbe, da se zmanjša število enoletnih dvokaličnih plevelov in poveča število enoletnih trav in večletnih plevelov (Derrouch in sod., 2021). Nasprotno pa so Smith in sod. (2009) ugotovili le majhne razlike v študiji o povečanju števila plevelnih semen med začetkom in koncem triletnega prehodnega obdobja na manj intenzivne sisteme obdelave tal.

Razumevanje kratkoročnih vplivov različnih sistemov obdelave tal na talno plevelno semensko banko, ki so specifični za posamezno lokacijo je ključnega pomena za zmanjšanje porabe herbicidov in razvoj bolj trajnostnih metod zatiranja plevela s čim manjšim vplivom na agroekosistem. Cilj tega poskusa je bil količinsko opredeliti odziv plevelne semenske banke v zgodnjih fazah prehoda na manj intenzivne sisteme obdelave tal.

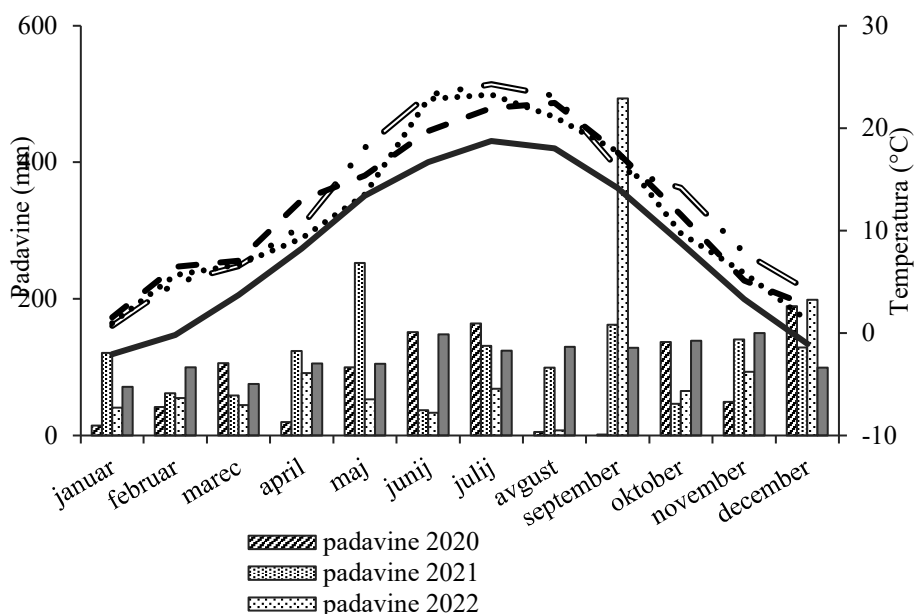
2 MATERIALI IN METODE

Poskus je bil izveden med leti 2020 in 2022 na površinah Kmetijskega inštituta Slovenije (Infrastrukturni center Jablje pri Mengšu, 46°08'31.5" N 14°34'30.8"E, 309 m n. v.), kalilni poskus pa v mrežniku na Kmetijskem inštitutu v Ljubljani (46°06'12.7"N 14°51'83.6"E, 295 m n. v.). Vzorčenje talne semenske banke je potekalo v dveh terminih (spomladi in jeseni), pred setvijo glavnih posevkov. Na območju vzorčenja tal

prevladujejo plitva do srednje globoka, evtrična rjava tla, meljasto-ilovnate teksture. Tla so dobro prepustna, vendar vsebujejo veliko skeleta, zaradi česar imajo v poletnem času omejeno vodo-zadrževalno sposobnost. Rezultati kemične analize tal so pokazali, da so tla na tem območju nevtralne reakcije (pH 7,6) in prekomerno založena tako s fosforjem (30 mg/kg P_2O_5) kot kalijem (35 mg/kg K_2O). Tudi vsebnost organske snovi je bila visoka (4,3 %).

V poskus so bila vključena tri obravnavanja, zasnovana glede na predhodni način obdelave tal: konvencionalno (CN) in konzervirajoče (CS) obdelana tal ter sistem brez obdelave tal (NT). Obravnavanja so bila vzpostavljena v letu 2018, od takrat so bili v postopkih konzervirajoče obdelave izvedeni le plitvi prehodi s krožno brano (8 cm globine). Osnovna obdelava tal v konvencionalni obdelavi je bila izvedena s plugom (22 cm globoko), takoj za tem pa je bila površina poravnana z njivsko vlačo. Predsetvena priprava tal je bila opravljena z vrtavkasto brano. Vsako obravnavanje je bilo razdeljeno na 4 bloke. Znotraj posameznega sistema obdelave je vzorčenje potekalo s sondo v štirih ponovitvah in na treh različnih globinah: 0-5 cm, 5-10 cm in 10-20 cm. Do postavitve poskusa so bili vzorci posameznih serij shranjeni v hladilnici na 4 °C. Vzorce smo pred poskusom presejali skozi sito s premerom odprtín na mreži 1 cm, da smo odstranili kamne in zdrobili večje grude. Potem smo 1000 ml vsakega vzorca zmešali s šoto (70 %), vermikulitom (20 %) in finim peskom – mivko (10 %) ter enakomerno razporedili v podstavke velikosti 39 cm x 29 cm ter višine 6,5 cm. Vzorce so bili, odvisno od dnevnih temperatur, dnevno zaliti z meglilnim sistemom. Kalitev je potekala pod vplivom realnih okoljskih razmer. Vznikla semena smo v rednih časovnih intervalih številčno in vrstno popisali.

684



Slika 1: Povprečne temperature (°C) in količina padavin (mm) na poskusnem polju v Jabljah med leti 2020 in 2022, v primerjavi z dolgoletnim povprečjem (1951-1994).

Temperature in količino padavin tekom poskusa smo primerjali s povprečnimi vrednostmi dolgoletnega povprečja (1951-1994) (Slika 1). Povprečne temperature v letih med 2020 in 2022 so bile 10.8 °C, 10.3 °C in 11.6 °C, dolgoletno povprečje pa 10.9 °C. Letne količine padavin med leti 2020 in 2022 so bile 1316 mm, 1238 mm in 1048 mm, dolgoletna količina padavin pa je znašala 1294 mm.

Na podlagi podatkov o gostoti kalivih plevelnih smo izračunali tri različne parametre raznolikosti plevelne populacije za kalivo semensko banko. Z Margaleff-ovim indeksom vrstne bogatosti (D) smo izračunali, kako vrstno bogata je dobljena plevelna populacija:

$$D = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Pestrost (diverziteta) plevelnih vrst je bila izračunana po naslednji enačbi s Shannon-Wiener indeksom (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i (\ln p_i)$$

Enakost (stalnost) plevelnih vrst smo izračunali s Pielou-jevim indeksom (E), ki je merilo izenačenosti plevelnih vrst v plevelni združbi in je bila izračunana z naslednjo enačbo:

$$E = \frac{H'}{\ln(k)}$$

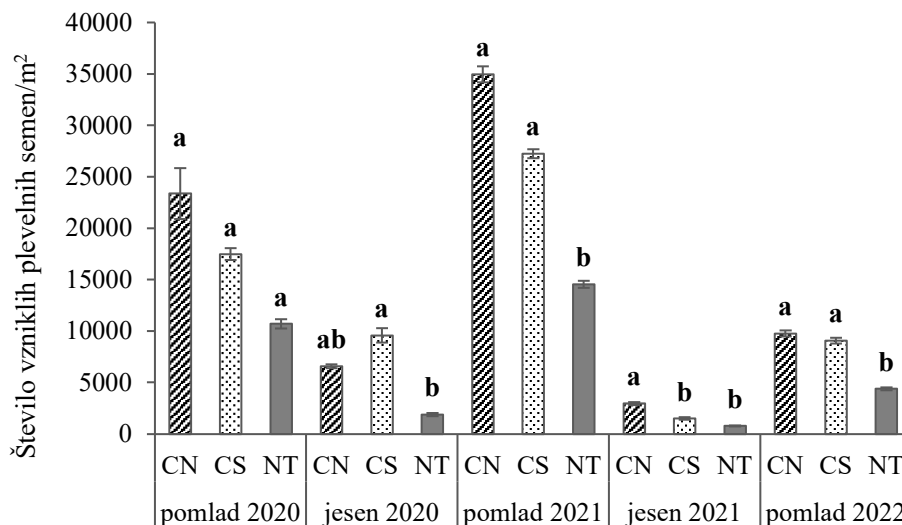
Statistična analiza je bila izvedena s programom R Commander (R Core Team, 2022), kjer je bila predpostavka o normalni porazdelitvi in homogenosti varianc preverjena z Levenovim testom. Podatki o kalitvi plevelnih semen v kalivi semenski banki in indeksi o raznolikosti plevelne populacije so bili analizirani z linearnimi mešanimi modeli. Ko je enosmerna analiza variance (ANOVA) pokazala statistične razlike je bil izveden Tukey-jev post-hoc test mnogoterih primerjav ($p \leq 0,05$).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Sezonska dinamika kalitve plevelnih semen

Medsezonska primerjava je pokazala nihanja v gostoti kalive plevelne semenske banke v celotnem obdobju izvedbe poskusa ($p < 0,01$). Plevelna semenska banka spomladi leta 2020 (povprečno 17.000 semen/m²) se je v naslednji sezoni povečala za polovico, potem pa se je v letu 2022 v primerjavi s prvim letom zmanjšala za več kot 50 %. Tudi v jesenskem obdobju so bile opažene razlike v gostoti; v letu 2021 je bila semenska banka za 70 % manjša v primerjavi z letom prej (Slika 2). Tudi Barberi in sod. (1997) so opazili razlike v gostoti plevelnih semen med spomladanskim in jesenskim terminom. Te razlike naj bi bile po njihovih navedbah posledica časovne in prostorske spremenljivosti, ki je odvisna od vrste plevela in sistema obdelave tal. Felix in Owen (2001) sta domnevala, da so zmanjšanja plevelnih semen v semenski banki znotraj rastne sezone posledica plenjenja plevelnih semen in delovanja gliv, če pa so

opažena velika zmanjšanja v gostoti semen je posledica uspešno izvedenih ukrepov za zatiranje plevla.



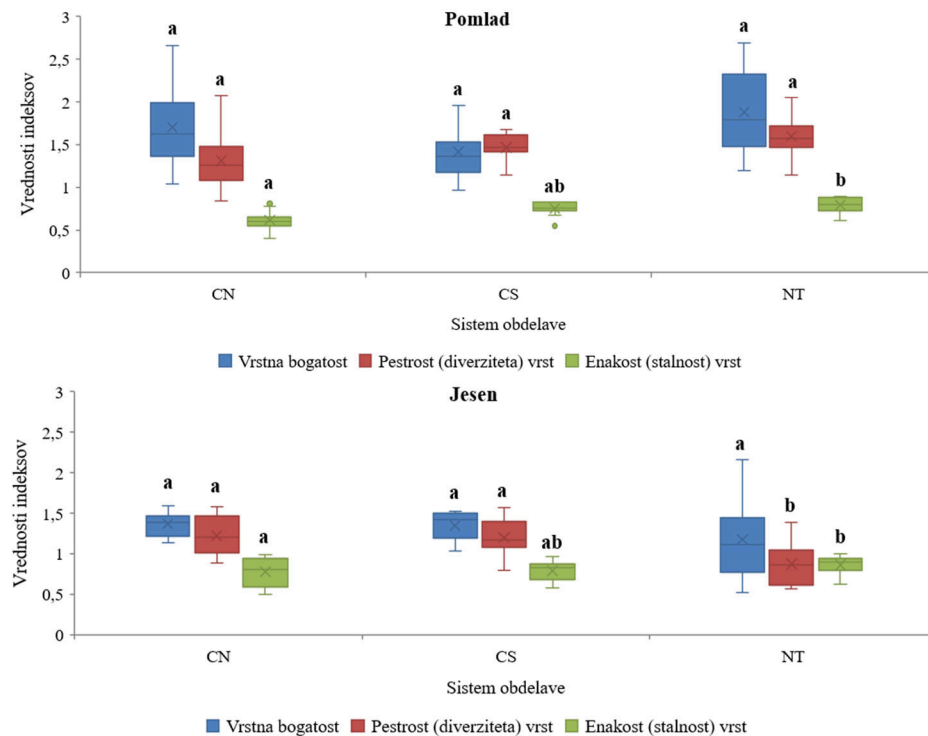
686

Slika 2: Skupna gostota plevelnih semen v kalivi semenski banki spomladi in jeseni, med leti 2020 in 2022, v treh sistemih obdelave tal. Različne črke označujejo statistično značilne razlike ($p \leq 0,05$) v gostoti plevelnih semen v različnih sistemih obdelave tal.

Glavna dejavnika, ki sta vplivala na velikost plevelne semenske banke, sta bila intenzivnost obdelave tal in dolžina rastne dobe posevkov. Med posameznimi sistemi obdelave tal in leti raziskave je jesenska semenska banka v povprečju predstavljala manj kot tretjino velikosti spomladanske semenske banke. V sistemu NT je bila konstantno manjša semenska banka kot v sistemih CN in CS. Spomladi se je gostota plevelnih semen v NT zmanjšala za 72 oziroma 75 % v primerjavi s CN in CS, jeseni pa za 56 oziroma 45 % v primerjavi s CN in CS. Fonderflick in sod. (2020) ter Köllman in Waldhardt (2022) so v raziskavah dokazali, da se plevelne semenske banke na površinah z intenzivno obdelavo tal zmanjšujejo predvsem zaradi vnosa velikih količin herbicidov.

3.2 Kazalniki raznovrstnosti kalive plevelne semenske banke

Ob spomladanskem vzorčenju smo določili 15 do 21 različnih plevelnih vrst, med katerimi sta prevladovali mnogosemenska metlika (*Chenopodium polyspermum* L.) in drobnocvetni rogovilček (*Galinsoga parviflora* Cav.). Jeseni smo določili le med 5 in 9 plevelnih vrst, med katerimi sta prevladovali škrlatnordeča mrtva kopriva (*Lamium amplexicaule* L.) in njivska vijolica (*Viola arvensis* Murray).



687

Slika 3: Kazalniki raznovrstnosti v kalivi semenski banki v dveh terminih vzorčenja in treh sistemih obdelave tal. Različne črke označujejo statistično značilne razlike ($p \leq 0,05$) med različnimi kazalniki raznovrstnosti v različnih sistemih obdelave tal.

Med sezonska nihanja kazalnikov raznovrstnosti plevelnih vrst znotraj sezone so bila majhna. V povprečju so bile plevelne združbe spomladi med različnimi sistemi obdelave tal vrstno bolj bogate ($1,67 \pm 0,08$ proti $1,30 \pm 0,07$) in pestre ($1,46 \pm 0,05$ proti $1,09 \pm 0,06$) v primerjavi z jesensko združbo. Nasprotno so bile plevelne vrste jeseni bolj enakomerne kot spomladi ($0,81 \pm 0,03$ proti $0,72 \pm 0,02$). Jeseni 2020 smo opazili večjo vrstno pestrost plevelnih vrst v sistemih CN in CS, kjer je bila prisotna intenzivnejša obdelava tal. Spomladi sta bili tako raznovrstnost kot stalnost plevelnih vrst v CS in NT večji, kar pa je bilo opaženo šele proti koncu raziskave.

4 SKLEPI

V obdobju intenzifikacije kmetijstva novi pristopi upravljanja tal in gojenih rastlin stalno povzročajo spremembe v plevelni vegetaciji. Razumevanje vpliva manj intenzivnih sistemov obdelave tal na sestavo semenske banke omogoča napovedovanje izzivov pri upravljanju plevelov v prihodnosti. Različni sistemi obdelave tal, ki smo jih preučevali v naši raziskavi so značilno vplivali na velikost in v manjši meri tudi na

raznolikost plevelov v kalivi semenski banki. Dokazali smo, da se je število kalivih plevelnih semen znatno zmanjšalo že v obdobju leta in pol od vpeljave sistema NT. Poleg tega se je v plevelni semenski banki v NT v naslednjih letih ocenjevanja stalno zmanjševalo število kalivih semen tudi zaradi skupnega vpliva vključevanja raznovrstnih posevkov (kolobar) in uravnavanja plevelne vegetacije, prilagojeno lokalnim pridelovalnim pogojem. Glede na dobljene rezultate, gostota in sestava kalive plevelne semenske banke ne bi smela predstavljati grožnje za pridelavo gojenih rastlin, tudi na površinah, ki so v obdobju prehoda v sistem CS oziroma NT. V času vse manjše razpoložljivosti herbicidov, zmanjševanja njihove uporabe in omejen obseg uporabe nekemičnih ukrepov za zatiranje plevela, študije ocenjevanja plevelnih semenskih bank lahko predstavljajo preventivni ukrep integriranega varstva pred pleveli (IVP) na površinah, ki so v obdobju prehoda na alternativne sisteme obdelave tal.

5 ZAHVALA

Zahvala za finančno pomoč pi izvedbi raziskave gre Javni agenciji za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in programski skupini Kmetijstvo naslednje generacije (P4-0431) v okviru financiranja programa usposabljanja mladih raziskovalcev. Zahvaljujemo se tudi zaposlenim na Kmetijskem inštitutu na Infrastrukturnem centru Jablje za optimalno izvedene agrotehnične ukrepe.

6 LITERATURA

- 688
- Oerke E. C. 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144: 31-43, <https://doi.org/10.1017/s0021859605005708>
- Chikowo R., Faloya V., Petit S., Munier-Jolain N. M. 2009. Integrated weed management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132: 237-242, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.009>
- Auffret A. G., Cousins S. A. O. 2011. Past and present management influences the seed bank and seed rain in a rural landscape mosaic. *Journal of Applied Ecology*, 48, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02019.x>
- Barberi P., Silvestri N., Bonari E. 1997. Weed communities of winter wheat as influenced by input level and rotation. *Weed Research*, 37, <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1997.d01-53.x>
- Buhler D. D., Kohler K. A., Thompson R. L. 2001. Weed Seed Bank Dynamics During a Five-Year Crop Rotation. *Weed Technology*, 15: 170-176, [https://doi.org/10.1614/0890-037x\(2001\)015](https://doi.org/10.1614/0890-037x(2001)015)
- Chauhan B. S., Johnson D. E. 2010. The role of seed ecology in improving Weed Management Strategies in the Tropics. *Advances in Agronomy*, 105: 221-262, [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(10\)05006-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(10)05006-6)
- Derrouch D., Dessaint F., Fried G., Chauvel B. 2021. Weed community diversity in conservation agriculture: Post-adoption changes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 312: 107351, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107351>
- Felix J., Owen M. D. K. 2001. Weed seedbank dynamics in post conservation reserve program land". *Weed Science*, 49: 780-787, [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049)
- Fonderflick J., Besnard A., Chardès M.-C., Lanuzel L., Thill C., Pointereau P. 2020. Impacts of agricultural intensification on arable plants in extensive mixed crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 290: 106778, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106778>
- Gruber S., Carola P., Möhring J., Wilhelm C. 2012. Long-term yield and weed response to conservation and stubble tillage in SW Germany". *Soil and Tillage Research*, 121: 49-56, <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.015>
- Hobbs P. R., Sayre K., Gupta R. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Royal Science*, 363: 543-555, <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169>

- Hosseini P., Karimi H., Babaei S., Mashhadi H. R., Oveisi M. 2014. Weed seed bank as affected by crop rotation and disturbance. *Crop Protection*, 64: 1-6, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.022>
- Köllmann P., Waldhardt R. 2022. Farming intensity affects soil seedbank composition and spontaneous vegetation of arable weeds. *Diversity*, 14, 2: 111, <https://doi.org/10.3390/d14020111>
- Mahé I., Cordeau S., Bohan D. A., Derrouch D., Dessaint F., Millot D., Chauvel B. 2020. Soil seedbank: Old methods for new challenges in agroecology? *Annals of Applied Biology*, 178: 23-38, <https://doi.org/10.1111/aab.12619>
- Nichols V., Verhulst N., Cox R., Govaerts B. 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research*, 183: 56-68, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.012>
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Riemens M., Sønderskov M., Moonen A.-C., Storkey J., Kudsk P. 2022. An integrated weed management framework: A pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, 133: 126443, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443>
- Ruisi P., Frangipane B., Amato G., Badagliacca G., Miceli G., Plaia A., Giambalvo D. 2015. Weed seedbank size and composition in a long-term tillage and crop sequence experiment. *Weed Research*, 55: 320-328, <https://doi.org/10.1111/wre.12142>
- Smith R. G., Jabbour R., Hulting A. G., Barbercheck M. E., Mortensen D. A. 2009. Effects of initial seed-bank density on weed seedling emergence during the transition to an organic feed-grain crop rotation. *Weed Science*, 57: 533-540, <https://doi.org/10.1614/ws-09-031.1>
- Soane B. D., Ball B. C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 118: 66-87, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
- Taylor K. L., Hartzler R. G. 2000. Effect of seed bank augmentation on herbicide efficacy. *Weed Technology*, 14, 2: 261-267, [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0261:EOSBAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0261:EOSBAO]2.0.CO;2)
- Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677, <https://doi.org/10.1038/nature01014>