

SISTEMI OBDELAVE TAL IN HERBICIDI VPLIVAJO NA KRITIČNO OBDOBJE ZA ZATIRANJE PLEVELA

Sergeja ADAMIČ ZAMLJEN¹, Robert LESKOVŠEK²

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

IZVLEČEK

Velike izgube pridelka koruze (*Zea mays* L.) povzročajo pleveli, ki najbolj vplivajo na rast in razvoj gojenih rastlin v obdobju, imenovanem kritično obdobje za zatiranje plevela (CPWC). Za določitev tega obdobja v razvoju koruze smo v letu 2021, na površinah Kmetijskega inštituta Slovenije v Jabljah, izvedli poljski poskus v zgodnjem obdobju prehoda iz konvencionalnega v manj intenziven sistem konzervirajoče in sistem brez obdelave tal. Poskus je bil zasnovan v naključnih blokih s tremi sistemi obdelave tal: konvencionalna (CN), konzervirajoča (CS) in brez obdelave (NT), pri slednjem je bil pred setvijo uporabljen tudi neselektivni herbicid. Pleveli so bili odstranjeni ali puščeni do različnih razvojnih faz koruze: V3, V6, V9, V15 in R1; poleg tega sta bili vključeni tudi celo leto zapleveljena in površina brez konkurence plevela (kontrola). Začetek in konec kritičnega obdobja za zatiranje plevela, s 5 % sprejemljivo mejo izgube pridelka sta bila določena z izračunom deleža od pridelka na celo leto nezapleveljeni površini. Suha biomasa plevela je bila skozi celoten poskus najnižja v sistemu NT. Poleg tega je bil tudi CPWC najkrajši v NT sistemu (V3 do V12) v primerjavi s CN (V2 do R1) in CS sistemom (V2 do V12). Naša študija kaže, da intenzivni postopki obdelave tal, ki se izvajajo v CN sistemu obdelave ter uporaba neselektivnega herbicida pred setvijo v sistemu NT zakasnjijo kritični čas odstranjevanja plevelov (CTWR) za več kot 14 dni. S tem se zmanjša potreba po zgodnji uporabi herbicidov po vzniku koruze ter izboljša učinkovitost njihovih programov za zatiranje plevela.

Ključne besede: koruza, tekmovanje s pleveli, konvencionalna obdelava, konzervirajoča obdelava, brez obdelave, izguba pridelka

ABSTRACT

TILLAGE SYSTEMS AND HERBICIDES AFFECT CRITICAL PERIOD OF WEED CONTROL

Major yield losses in maize (*Zea mays* L.) cultivation are caused by weeds, which affect growth and development of cultivated plants during the critical period of weed control (CPWC). To determine this period in development of maize, a field experiment was

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

² dr., prav tam

carried out in 2021 at Agricultural institute of Slovenia in Jablje, in the early transition period from conventional to less intensive tillage conservation and no-tillage system. The experiment was designed in randomized blocks with three tillage systems: conventional (CN), conservation (CS) and no-tillage (NT). Weeds were removed or left until the beginning of different maize development stages: V3, V6, V9, V15 and R1; in addition, season-long weedy and season-long weed-free plots (as controls) were included. The beginning and the end of the critical period for weed control with an acceptable yield loss level (AYL) of 5% was determined by calculating the proportion of the maize yield in season-long weed-free plots. Dry weed biomass was the lowest in the NT system throughout the experiment. Furthermore, the CPWC was also the shortest in the NT system (V3 to V12) compared to CN (V2 to R1) and CS system (V2 to V12). Our study shows that the intensive tillage practices performed in the CN system and the use of pre-sowing herbicide in the NT system delay the critical time of weed removal (CTWR) by more than 14 days. This leads to reduction in the need for early application of post-emergence herbicides in maize. These findings could help maize producers reduce costs and improve the effectiveness of weed control programs.

Keywords: maize, weed competition, conventional tillage, conservation tillage, no-tillage, yield loss

1 UVOD

58

Zatiranje plevela na kmetijskih površinah predstavlja enega glavnih ciljev v pridelavi poljščin, zaradi velike konkurenčne spodobnosti plevelov, ki povzročajo precejšnje izgube pridelka (Oerke, 2006). Skrb za zdravje ljudi in okolje je povezana z uporabo herbicidov (Rosenbom in sod., 2015), kar je privedlo do večjih prizadevanj za razvoj integriranih sistemov za zatiranja plevela (IVP) in orodij, ki so manj odvisna od uporabe herbicidov (Vasileiadis in sod., 2015; Riemens in sod., 2022). Nekatere IVP strategije ne izključujejo uporabe herbicidov, ampak obravnavajo potrebo po optimizaciji njihove uporabe in zmanjšanju njihovih škodljivih vplivov na okolje (Kudsk in Streibig, 2003; Lamichhane in sod., 2017). Napreden program integriranega varstva pred pleveli (IVP) mora vključevati kemična, gojitvena in genetska orodja (Knezevic in sod., 2002), vendar z bolj celostnim pristopom za podporo prehodu na dolgoročno trajnostno upravljanje plevelnih populacij (Riemens in sod., 2022).

Koruza (*Zea mays* L.) v svetovnem merilu predstavlja pomembno poljščino tako za prehrano ljudi kot živali (Erenstein in sod., 2022). Velik izziv v pridelavi koruze predstavljajo pleveli, saj tekmujejo za naravne vire, kot so voda, hranila in svetloba, zaradi česar povzročijo znatne izgube pridelka (Soltani in sod., 2016). Obdelava tal je ključna komponenta v konvencionalnem sistemu obdelave tal in vpliva na pojav erozije tal (Ramesh, 2015). Zaradi tega se povečuje uvajanje alternativnih, manj intenzivnih sistemov obdelave tal zaradi številnih koristi, med katerimi so izboljšanje kakovosti tal, ohranjanje kakovosti vode, stabilnost pridelka gojenih rastlin, zmanjšanje stroškov dela in povečanje biotske raznovrstnosti (Pittelkow in sod., 2015). Različni sistemi obdelave tal vplivajo na spremembe v strukturi tal, razpoložljivost hranil, infiltracijo vode in pogoje na setveni površini, ki vplivajo na tekmovalno sposobnost posevka in plevela ter na ta način vplivajo na kritično obdobje za zatiranje plevela (CPWC) (Price in sod.,

2018). Pogosto spregledan koncept kritičnega obdobja za zatiranje plevela predstavlja del programa IVP in obravnava tekmovanje med posevkom in plevelom, ocenjuje stopnjo zapleveljenosti in določi prag za zatiranje plevela (Sanyal in sod., 2008; Scavo in sod., 2020). CPWC predstavlja časovni interval v obdobju rasti posevka, v katerem je treba plevela nadzorovati, da se prepreči izgube pridelka (Knezevic in sod., 2002). Začetek CPWC je označen s kritičnim časom za odstranjevanje plevela (CTWR) in predstavlja najdaljši čas, v katerem posevki še prenesejo prisotnost plevela, ne da bi povzročili znatne izgube pridelka. CPWC se konča, ko se začne ločeno merjena komponenta tekmovalnosti med posevkom in plevelom, t. i. kritično obdobje brez plevela (CWFP), ki opisuje minimalno obdobje brez plevela, potrebno od vznika posevka do trenutka, ko pozen vznik plevelov ne vpliva več na pridelek (Knezevic in sod., 2003).

Po našem vedenju ni veliko raziskav, ki bi preučevale CPWC v koruzi, ki so bile osredotočene na začetno fazo izvajanja sprememb konkurenčne sposobnosti plevelov v zgodnji fazi prehoda na manj intenzivne sisteme obdelave tal (konzervirajoča in brez obdelave tal). Z boljšim poznavanjem interakcij med sistemi obdelave tal, vzorci pojavljanja plevela in dinamiko tekmovalnosti med posevkom in pleveli je mogoče določiti optimalen čas izvajanja ukrepov za zatiranje plevelov. To pa lahko prispeva k razvoju bolj trajnostnih strategij IVP, ki upoštevajo tudi CPWC.

59

2 MATERIALI IN METODE

Poskus je bil izveden v letu 2021 na kmetijskih zemljiščih Kmetijskega inštituta Slovenije (Infrastrukturni center Jablje pri Mengšu, 46°08'33.9" N, 14°34'21.5" E, 309 m n.v.). Na območju vzorčenja prevladujejo plitva do srednje globoka, evtrična rjava tla, meljasto-illovnate teksture, dobro odcedna, sestavljena iz 25 % gline, 37 % melja in 38 % peska. Zaradi visoke vsebnosti kamna imajo tla omejeno sposobnost zadrževanja vode in so nagnjena k poletnim sušam. Pred poskusom je bil na tej površini uveden kolobar, v katerem so bili glavni posevki aleksandrijska detelja, soja in ozimna pšenica. Pred setvijo koruze je bilo izvedeno vzorčenje tal na globini med 0 in 25 cm, kateremu je sledila analiza tal za naslednje parametre: pH (v KCl) ter razpoložljivi fosfor (P_2O_5) in kalij (K_2O). Rezultati analize so pokazali, da so tla nevtralne reakcije (7,6) ter 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 %).

Poljski poskus je bila izveden v obliki naključnih blokov s petimi ponovitvami. Poskusno polje je bilo v fazi zgodnjega prehoda iz konvencionalnega v manj intenzivne sisteme obdelave tal, ki so bili vzpostavljeni jeseni 2018. V poskus so bili vključeni trije sistemi obdelave tal: konvencionalna (CN), konzervirajoča (CS) in brez obdelave (NT). Glavna parcela je bila velika 100 m x 24 m ter razdeljena na 8 m dolge in 3 m široke podparcele, v katerih so bile po 4 vrste koruze. V sistemu CN je bila osnovna obdelava opravljena s plugom (22 cm globine), takoj za tem je bila površina poravnana z njivsko vlačo. V sistemu CS je bila priprava tal opravljena z diskasto brano (8 cm globine). V sistemu NT je bil dva tedna pred setvijo koruze uporabljen glifosat (1800 g a.s./ha) za zatiranje zimskih enoletnih in večletnih plevelov.

Koruzi sorte DKC 4569 (FAO 350) je bila sejana 21. aprila 2021 v optimalnih razmerah, s sejalnico za direktno setev, na 70 cm medvrstne razdalje in 16,5 cm razdalje v vrsti, na globino 4-5 cm ter porabo semena 86.600 semen/ha. Pred setvijo je bilo opravljeno

osnovno gnojenje z gnojilom NPK (250 kg/ha). Po vzniku koruze smo vzpostavili 14 obravnavanj, ki so predstavljala različna dolga obdobja kompeticije plevela in dolžino obdobja brez plevela. V poskus je bilo vključenih 6 razvojnih faz koruze, do katerih je bil plevel puščen oziroma do katere smo plevel odstranjevali; V2 (dva lista), V3 (trije listi), V6 (šest listov), V9 (devet listov), V15 (petnajst listov) in R1 (svilanje). Pridelek koruze v teh obravnavanjih smo primerjali s pridelkom na celo leto čistih in celo leto zapleveljenih kontrolnih površinah (Knezevic in sod., 2002). Razvojne faze so bile določene z opazovanjem 10 rastlin v vsakem sistemu obdelave. Poskus je bil izveden v razmerah naravne zapleveljenosti. Pleveli so bili odstranjeni z okopavanjem med vrstami ter ročnim pletjem v vrsti. Od junija naprej je bil vznik plevela največji, zato smo poleg ročnega odstranjevanja plevela uporabili tudi herbicid z aktivno snovjo tembotrion (44 g a.s./ha).

Vzorčenje rastlin in meritve na njih smo opravili 24. septembra 2021, ko so rastline koruze dosegle končno fazo zorenja s trdimi in svetlečimi zrni ter približno 65 % suhe snovi (BBCH 89) (Meier, 2001). V vsakem sistemu obdelave tal smo posekali po 10 naključno izbranih rastlin koruze za oceno produkcije suhe snovi in izmero višine. Nadzemni deli rastlin brez storžev so se sušili 3 dni na 60 °C, potem smo jih stehali. Sestavo plevelne populacije smo redno spremljali na stalno določenih mestih velikosti 4,2 m². Biomasa plevela je bila vzorčena iz izbranega kvadrata površine 0,25 m². Sveže vzorce plevela smo sušili 3 dni na 60 °C in jih potem stehali. Žetev koruze je bila izvedena 1. in 4. oktobra 2021 z uporabo kombajna (Quantum Wintersteiger). Pridelek za posamezno obravnavanje je bil določen z žetvijo notranjih dveh vrst in preračunan na 14 % vlago.

Kritično obdobje za zatiranje plevela je temeljilo na 5 % sprejemljivi izgubi pridelka. Rastne dneve koruze smo izračunali po enačbi, ki sta jo določila Gilmore in Rogers (1958):

$$GDD = \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}]$$

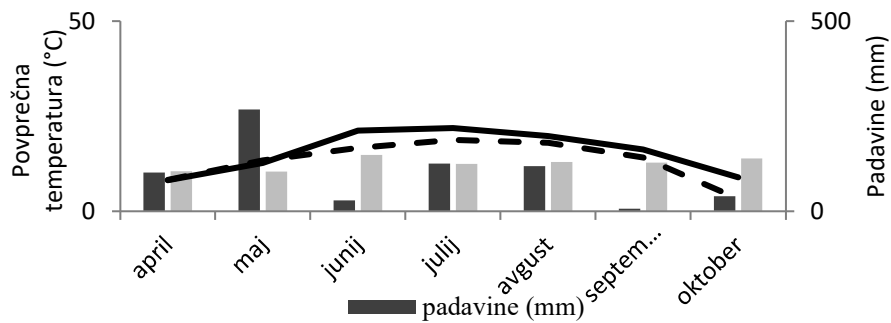
kjer sta T_{max} in T_{min} najvišja oziroma najnižja dnevna temperatura zraka (°C) s spodnjo mejo 10 °C, T_{base} pa je osnovna temperatura (10 °C).

V poskusu smo določili dolžino kritičnega obdobja za zatiranje plevela, ko sprejemljiva izguba pridelka znaša največ 5 %. Za analizo relativne izgube pridelka koruze smo uporabili štiri-parametrski logaritemski model:

$$Y = C + (D - C) / \{1 + \exp [B (\log X - \log E)]\}$$

kjer je Y relativni pridelek (delež pridelka v primerjavi s pridelkom na celo leto čisti kontroli), C je spodnja meja, D je zgornja meja (določena pri 100), X je GDD (izračunan po vzniku koruze), E je GDD (pri 50 % odzivu med zgornjo in spodnjo mejo; t. i. 'točka preloma' I_{50}), B je naklon črte v I_{50} .

Količina padavin in temperatura zraka je bila izmerjena na vremenski postaji v bližini poskusne površine (Adcon, A753GSM, Adcon Telemetry GmbH, Avstrija). V času raziskave (april-oktober) sta bili povprečna letna temperatura 15,9 °C in količina padavin 930 mm, dolgoletni povprečji pa 16,2 °C in 770 mm.



Slika 1: Povprečne temperature in padavine na območju poskusa v Jabljah v letu 2021 v primerjavi z dolgoročnimi temperaturami in padavinami (1990-2020).

Statistična analiza je bila izvedena s programom R Commander (R Core Team, 2022), kjer je bila predpostavka o homogenosti varianc preverjena z Levenovim testom. Za testiranje značilnosti vpliva posameznih obravnavanj smo uporabili enosmerno analizo variance (ANOVA). Primerjava povprečij je bila izvedena z uporabo post-hoc Tukeyevega testa ($p \leq 0,05$). Za izračun kritičnega obdobja za zatiranje plevla smo v programu R Commander aktivirali dodatni paket "drc".

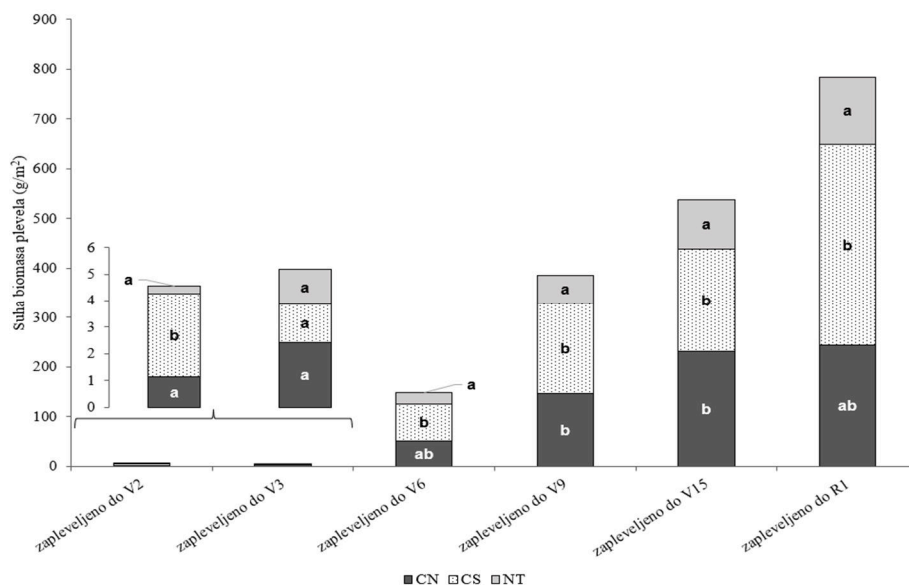
61

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Razvoj plevelne biomase

Vrstna sestava in gostota plevelne populacije sta bili ocenjeni na celo leto zapleveljenih parcelah. V vseh treh sistemih obdelave tal so prevladovali širokolistni pleveli, skupno pa smo zabeležili 10 različnih plevelnih vrst (9 dvokaličnic in navadna preslica, t. i. kriptogam oziroma brezcvetnica). Zgodaj spomladi so v plevelni združbi prevladovali zimsko-spomaldanski pleveli, od sredine maja naprej pa so višje temperature zraka pospešile kalitev poletnih plevelov. Enoletni širokolistni pleveli kot so mnogosemenska metlika (*Chenopodium polyspermum* L.), škrlatnordeča mrtva kopriva (*Lamium purpureum* L.), perzijski jetičnik (*Veronica persica* Poir.), srhkodlakavi ščir (*Amaranthus retroflexus* L.) in drobnocvetni rogovilček (*Galinsoga parviflora* Cav.), so prevladovali skozi celoten poskus, poleg tega pa so oblikovali tudi največ biomase. Največja gostota plevla je bila zabeležena v CS (570 plevelov/m²) in najmanjša v NT sistemu (323 plevelov/m²). Najnižja gostota plevla v sistemu NT je posledica predhodne uporabe glifosata. Tudi Bilalis in sod. (2010) so v njihovi raziskavi največjo gostoto plevla zabeležili v sistemih CN in CS, najmanjšo pa v sistemu NT.

Do konca rastne sezone koruze se je razvoj vzniklih plevelov zmanjšal, septembra smo opazili tudi zmanjšanje gostote plevla, ki je bila posledica interference med osebki (Agonstinho in sod., 2006). Čeprav pleveli, katerih vznik je bil opažen po koncu kritičnega obdobja za zatiranje plevla niso vplivali na pridelek koruze, vseeno oblikujejo semena, ki kalijo v naslednji rastni sezoni (Colbach in sod., 2023).



62

Slika 2: Suha plevelna biomasa (g/m^2) v treh sistemih obdelave tal (konvencionalna [CN], konzervirajoča [CS] in brez obdelave [NT]) in različnih razvojnih fazah koruze. Različne črke v stolpcih (a, b) označujejo statistično značilne razlike (Tukey test, $p \leq 0,05$).

Suha plevelna biomasa je naraščala s podaljševanjem dolžine prisotnosti plevela na parcelah. Gostota plevela in njihova biomasa sta bili bistveno večji na zapleveljenih površinah. Največja plevelna biomasa je bila zabeležena v CS sistemu v razvojni fazi R1 ($405,2 \text{ g/m}^2$). V sistemu NT do razvojne faze V2 nismo opazili vznika plevela zaradi predhodne uporabe glifosata. Biomasa plevela je bila tekom poskusa najnižja v sistemu NT, Amuri in sod. (2010) pa so poročali, da je to lahko tudi posledica velike količine rastlinskih ostankov predhodnega posevka.

3.2 Parametri razvoja koruze

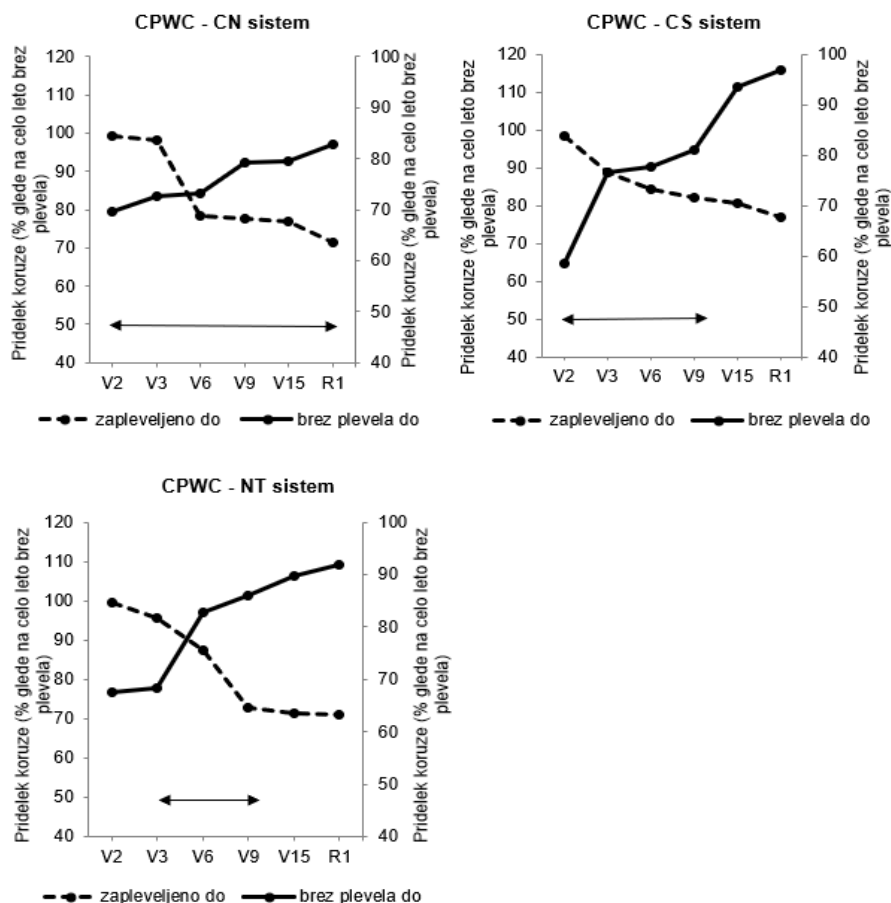
Rezultati statistične analize so pokazali, da je imel sistem obdelave tal statistično značilen vpliv na gostoto rastlin koruze ($p \leq 0,001$), medtem ko na višino in suho biomaso rastlin koruze ni vplival ($p = 0,40$ in $p = 0,14$). Največja gostota rastlin je bila zabeležena v sistemu NT z 9 rastlinami koruze/ m^2 , sledila sta mu sistema CN in CS, kjer je bilo v povprečju 8 oziroma 7 rastlin koruze/ m^2 . Manjša gostota rastlin v sistemih CN in CS je bila posledica sušnega stresa na začetku rastne dobe, saj je tu zaradi (minimalne) obdelave tal nižja vlažnost tal. Djaman in sod. (2022) so poročali, da je optimalna gostota rastlin med 8 in 9, s čimer je dosežen največji pridelek in učinkovitost izrabe vode. Rastline koruze so bile v sistemu CN v primerjavi s sistemoma CS in NT višje (289 cm v CN ter 287 cm in 281 cm v CS in NT) in produktivnejše. Suha biomasa rastlin koruze se je gibala od $154,9 \text{ g/rastlino}$ v NT do $118,5 \text{ g}$ in $103,5 \text{ g/rastlino}$ v

sistemih CS in CN. Konvencionalni sistem obdelave tal izboljša vodno-zračni režim v tleh in poveča mobilnost mineralov v globlje plasti tal (Lasisi in Aluko, 2009). Odsotnost obdelave v sistemu NT pa poveča zbitost tal in s tem vpliva na večjo vlažnost in nižjo temperaturo tal (Ferreira in sod., 2000).

3.3 Določanje kritičnega obdobja za zatiranje plevela v koruzi

Pridelek suhega zrnja koruze se je zmanjševal z daljšanjem obdobja, v katerem so bili prisotni pleveli ter med posameznimi sistemi obdelave tal in razvojnimi fazami koruze.

63



Slika 3: Pridelek zrnja koruze (% glede na pridelek na celo leto čisti parceli) in odziv na dolžino prisotnosti plevela.

Na celo leto nezapleveljenih parcelah so bili pridelki podobni in so naraščali z naraščanjem intenzivnosti obdelave tal (17.06 t/ha v NT, 17.68 t/ha v CS do 17.95 t/ha v CN sistemu). Na celo leto zapleveljenih parcelah so bili pridelki nižji in so se gibali od 10.81 t/ha v CS, 11.63 t/ha v CN do 12.16 t/ha v sistemu NT.

Začetek in konec CPWC sta se razlikovala med sistemi obdelave tal. Najdaljše kritično obdobje za zatiranje plevela je bilo v sistemu CN, in sicer med razvojnimi fazami V2 do R1. V sistemu NT je bilo obdobje zatiranja plevela najkrajše, in sicer za 17 oziroma 18 dni krajše v primerjavi s sistemoma CN in CS. Teasdale (1995) je poročal, da se CPWC pri koruzi zaključí, ko posevek popolnoma prekrije tla, kar se v primeru koruze zgodi v fazi V11. V našem poskusu se je končalo pozneje, in sicer v fazi V12 v CS in NT ter v fazi R1 v sistemu CN. Na spremenljivost rezultatov v študijah o CPWC vplivajo gostota, konkurenčnost in razvojno obdobje obstoječe plevelne populacije (Halford in sod., 2001; Evans in sod., 2003). Izgube pridelka koruze zaradi konkurenčnosti plevela se v različnih sistemih obdelave niso razlikovale in so bile od 22 do 41 % manjše od pridelka suhega zrnja koruze v primerjavi s celo leto nezapleveljenimi parcelami.

4 SKLEPI

64

Zaradi vse manjše razpoložljivosti novih aktivnih snovi in manjše uporabe herbicidov ostaja obdelava tal najpomembnejša strategija za zatiranje plevela. Naša raziskava je med prvimi, ki raziskuje povezavo med konkurenčno sposobnostjo koruze in plevelom ter se osredotoča na spremembe v tekmovalni sposobnosti plevela v zgodnjem obdobju prehoda na manj intenzivne sisteme obdelave tal. Dokazali smo, da sta tako gostota plevela kot produkcija suhe biomase plevela v sistemu NT nižja kot na obdelanih površinah. Uporaba sistema brez obdelave tal in neselektivnega herbicida pred setvijo posevka koruze sta vplivala na manjšo konkurenčnost plevela in s tem na 17 oziroma 18 dni krajši CPWC v primerjavi s CN in CS. Uporaba sistema CS je povečala konkurenčnost plevela, kar je privedlo do potreb po zatiranju plevela skoraj takoj po setvi, kar je več kot dva tedna prej kot v CN in NT.

5 ZAHVALA

Zahvala za finančno pomoč pri 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. Za pomoč pri izvedbi okopavanja in spretno tehnične rešitve se zahvaljujemo tudi sodelavcu Anžetu Rovanski. Zahvaljujemo se tudi zaposlenim na Kmetijskem inštitutu na Infrastrukturnem centru Jable za optimalno izvedene agrotehnične ukrepe.

6 LITERATURA

- Agostinho F. H., Gravena R., Alves P. L. C. A., Salgado T. P., Mattos E. D. 2006. The effect of cultivar on critical periods of weed control in peanuts. *Peanut Science*, 33: 29-35
- Amuri N., Brye K. R., Gbur E. E., Oliver D., Kelley J. 2010. Weed populations as affected by residue management practices in a wheat-soybean double-crop production system. *Weed Science*, 58: 234-243

- Bilalis D., Papastylianou P., Konstantas A., Patsiali S., Karkanis A., Efthimiadou A. 2010. Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. *International Journal of Pest Management*, 56: 173-181
- Colbach N., Audeux G., Cordeau S., Moreau D. 2023. Weed-induced yield loss through resource competition cannot be sidelined. *Trends in Plant Science*, 28: 1329-1330
- Djaman K., Allen S., Djaman D. S., Koudahe K., Irmak S., Puppala N., Darapuneni M. K., Angadi S. V. 2022. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 100417
- Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B. M. 2022. Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security*, 14: 1295-1319
- Evans S. P., Knezevic S. Z., Lindquist J. L., Shapiro C. A., Blankenship E. E. 2003. Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. *Weed Science*, 51: 408-417
- Ferreira M. C., Andrade D. D. S., Chueire L. M. D. O., Takemura S. M., Hungria M. 2000. Tillage method and crop rotation effects on the population sizes and diversity of *Bradyrhizobia* nodulating soybean. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 627-637
- Gilmore E. C., Rogers J. S. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 50: 611-615
- Halford C., Hamill A. S., Zhang J., Doucet C. 2001. Critical period of weed control in no-till soybean (*Glycine max*) and corn (*Zea mays*). *Weed Technol.* 2001, 15, 737-744.
- Knezevic S. Z., Evans S. P., Blankenship E. E., Van Acker R. C., Lindquist J. L. 2002. Critical period for weed control: The concept and data analysis. *Weed Science*, 50: 773-786
- Knezevic S. Z., Evans S. P., Mainz M. 2003. Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 17: 666-673
- Kudsk P., Streibig J. C. 2003. Herbicides—A two-edged sword. *Weed Research*, 43: 90-102
- Lamichhane J. R., Devos Y., Beckie H. J., Owen M. D., Tillie P., Messéan A., Kudsk P. 2017. Integrated weed management systems with herbicide-tolerant crops in the European Union: Lessons learnt from home and abroad. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37: 459-475
- Lasisi D., Aluko O. B. 2009. Effects of tillage methods on soybean growth and yield in a tropical sandy loam soil. *International Agrophysics*, 23: 147-153
- Meier U. Growth Stages of Mono and Dicotyledonous Plants; BBCH Monograph, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry: Bonn, Germany, 2001.
- Oerke E. C. 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144: 31-43
- Pittelkow C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., Van Groenigen K. J., Lee J., Van Gestel N., Six J., Venterea R. T., Van Kessel C. 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 183: 156-168
- Price A. J., Korres N. E., Norsworthy J. K., Li S. 2018. Influence of a cereal rye cover crop and conservation tillage on the critical period for weed control in cotton. *Weed Technology*, 32: 683-690
- 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., Sønderkov M., Moonen A. C., Storkey J., Kudsk P. 2022. An integrated weed management framework: A pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, 133, 126443
- Rosenbom A. E., Olsen P., Plauborg F., Grant R., Juhler R. K., Brüsch W., Kjær J. 2015. Pesticide leaching through sandy and loamy fields—Long-term lessons learnt from the Danish pesticide leaching assessment programme. *Environmental Pollution*, 201: 75-90
- Sanyal D., Bhowmik P. C., Anderson R. L., Shrestha A. 2008. Revisiting the perspective and progress of integrated weed management. *Weed Science*, 56: 161-167
- Scavo A., Mauromicale G. 2020. Integrated weed management in herbaceous field crops. *Agronomy*, 10, 466
- Soltani N., Dille J. A., Burke I. C., Everman W. J., VanGessel M. J., Davis V. M., Sikkema P. H. 2016. Potential corn yield losses from weeds in North America. *Weed Technology*, 30: 979-984
- Teasdale J. R. 1995. Influence of narrow row/high population corn (*Zea mays*) on weed control and light transmittance. *Weed Technology*, 9: 113-118
- Vasileiadis V. P., Otto S., Van Dijk W., Urek G., Leskovšek R., Verschwele A., Furlan L., Sattin M. 2015. On-farm evaluation of integrated weed management tools for maize production in three different agro-environments in Europe: Agronomic efficacy, herbicide use reduction, and economic sustainability. *European Journal of Agronomy*, 63: 71-78