

S PREZIMNIMI METULJNICAMI DO NADOMEŠČANJA DUŠIKA IZ MINERALNIH GNOJIL

WINTER LEGUMES AS A SUBSTITUTE FOR NITROGEN FROM MINERAL FERTILISERS

Anastazija GSELMAN¹, Urška LISEC², Tamara KOROŠEC³, Miran PODVRŠNIK²

IZVLEČEK

V zadnjih letih se kmetijska pridelava sooča z naraščajočimi cenami mineralnih gnojil in okoljskimi obremenitvami, povezanimi z njihovo uporabo. Cilj raziskave je bil oceniti možnosti nadomeščanja dušika (N) iz mineralnih gnojil z uporabo prezimnih dosevkov (inkarnatka in mnogocvetna ljujka) in ugotoviti njihov vpliv na pridelek koruze. Raziskave so bile izvedene na osmih kmetijah v petih statističnih regijah Slovenije med letoma 2022 in 2023. Prezimni dosevki so bili posejani v dveh rokih (konec avgusta in sredina septembra), nato pomulčeni in zaorani pred setvijo koruze. Koruza je bila gnojena s polnim (215 kg N ha^{-1}) ali polovičnim odmerkom (107 kg N ha^{-1}) dušika, odvisno od predhodno posejanih dosevkov. Rezultati kažejo, da je inkarnatka, kot prezimni dosevek, prispevala med 61,6 in 78,6 kg simbiotsko vezanega N ha^{-1} , skupna količina akumuliranega N pa je znašala do $100,7 \text{ kg N ha}^{-1}$. Kadar je bila inkarnatka pognojena s polovičnim odmerkom N, je bil pridelek koruze enak tistemu ob polnem odmerku N ($13,7\text{--}14,0 \text{ t SS zrnja ha}^{-1}$). Mnogocvetna ljujka ni imela podobnega učinka in je bila manj učinkovita pri zadrževanju N v tleh. Skupna količina mineralnega N v tleh po ljujki je bila za 32 % nižja kot pri inkarnatki in kontroli. Zaključujemo, da lahko prezimni dosevki, zlasti inkarnatka, zmanjšajo potrebe po mineralnih gnojilih, ne da bi pri tem zmanjšali pridelek koruze, kar pomeni pomemben prispevek k trajnostni pridelavi.

ABSTRACT

In recent years, agricultural production has been confronted with rising prices for mineral fertilisers and the environmental impacts associated with their use. The aim of this study was to evaluate the potential of replacing nitrogen (N) from mineral fertilisers with the use of winter cover crops (crimson clover and Italian ryegrass) and to determine their impact on maize yields. The study was conducted between 2022 and 2023 on eight farms in five statistical regions of Slovenia. The winter cover crops were sown at two dates (end of August and mid-September 2022), then mulched and ploughed under before maize sowing (April to May 2023). The maize was fertilised with full (215 kg N ha^{-1}) or half (107 kg N ha^{-1}) nitrogen, depending on which plants had been sown previously. The results show that crimson clover as a winter cover crop contributed between 61.6 and 78.6 kg of symbiotically bound N ha^{-1} and the total amount of accumulated N was up to $100.7 \text{ kg N ha}^{-1}$. When Italian ryegrass was fertilised with half N fertilisation, maize yields were similar to those with full N fertilisation ($13.7\text{--}14.0 \text{ t SS grain ha}^{-1}$). The Italian ryegrass did not have a similar effect and was less effective in retaining N in the soil. The total amount of mineral N in the soil after ryegrass was 32% lower than that of incarnate and control. We conclude that winter cover crops, especially crimson clover, can reduce mineral fertiliser requirements without reducing maize yields and thus make an important contribution to sustainable production.

1 doc. dr., UM, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Pivola 10, 2311 Hoče

2 mag., UM, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede

3 dr., KGZ MB

1 UVOD

V zadnjih letih se kmetijska pridelava sooča s številnimi izzivi, ki jih povzročajo tako gospodarski kot okoljski dejavniki. Eden izmed najpomembnejših je nenehno naraščanje cen energentov in repromaterialov, vključno z mineralnimi gnojili. Dušikova (N) gnojila, ki so neobhodno potrebna za doseganje visokih pridelkov, so vse dražja. Njihova prekomerna uporaba pa je za okolje tudi precej obremenjujoča (onesnaženje voda z nitrati, emisije toplogrednih plinov in degradacija tal) (Zhang s sod., 2015; Wang s sod., 2019; Fan s sod., 2020). Zaradi teh izzivov so tako raziskovalci kot kmetje prisiljeni iskati trajnostne alternative, s katerimi bi zmanjšali odvisnost od N mineralnih gnojil, ne da bi pri tem zmanjšali količino pridelka (Kramberger s sod., 2009; Ciampitti in Vyn, 2014; Breda s sod., 2020; Perdigao s sod., 2021).

Pri tem imajo prezimni dosevki poseben pomen, saj lahko pomembno prispevajo k izboljšanju gospodarjenja z N in zmanjšanju potreb po N iz mineralnih gnojil. Raziskave kažejo, da lahko nekateri prezimni dosevki zmanjšajo izpiranje nitrata (preko jesensko-zimskih mesecev, ko v naših klimatskih razmerah pričakujemo večje količine padavin) ne da bi negativno vplivali na produktivnost naknadno sejanih poljščin (Salmerón s sod., 2011; Marcillo s sod., 2019). Zato je njihova uporaba dolgoročno upravičena tako z okoljskega kot tudi z gospodarskega vidika (da Silva s sod., 2020). Razen na območjih, kjer je količina padavin majhna. Razlog za to je skrb, da bi rastline tekmovala za vodo in hranila z glavnimi posevki. Zato sta pravilna izbira rastlin in čas setve še toliko bolj pomembna, da se tem tveganjem izognemo (Alonso-Ayuso s sod., 2018).

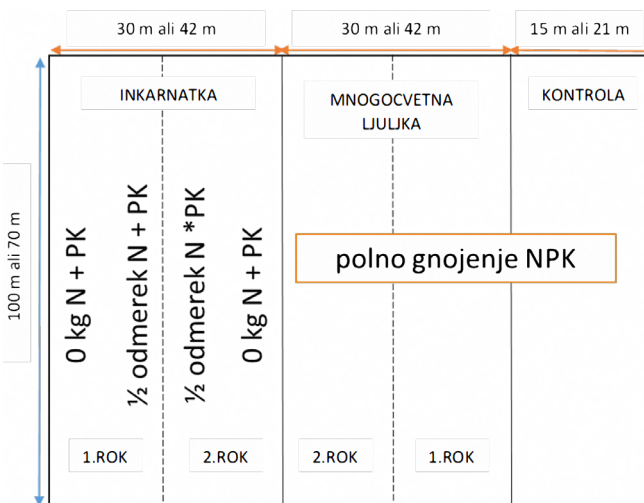
Učinkovitost prezimnih dosevkov je v prvi vrsti odvisna od rastlinske vrste, dinamike mineralizacije N med razgradnjo organskih snovi in specifičnih agroekoloških pogojev (Fan s sod., 2020). Še posebej prezimne metuljnice so tiste, ki v kolobarju s preostalimi kmetijskimi posevki prinašajo številne koristi. Z njimi lahko v obdobju, ko bi tla sicer ostala gola, izboljšamo strukturo tal, povečamo sposobnost tal za zadrževanje vode in zmanjšamo erozijo (Abdalla s sod., 2019). Poleg tega so prezimne metuljnice, za razliko od trav in križnic, simbiotsko aktivne in tako prispevajo N v agroekosistem. Skupna akumulacija dušika (simbioza in črpanje iz tal) lahko doseže do 200 kg N ha⁻¹. Z njimi pridelamo veliko biomase, zato je večja tudi vezava CO₂ iz ozračja. Zaradi ozkega razmerja C:N (10-15:1) se organska masa hitro razgradi, kar pomeni, da je dušik hitro dostopen naslednji poljščini (Kaye in Quemada, 2017).

Iz pregledanih virov je razvidno, da je vpeljevanje prezimnih dosevkov (med njimi tudi prezimnih metuljnic) v njivski kolobar v preteklih letih že bilo predmet številnih raziskav doma in v tujini. Danes pridelovalci sicer razpolagajo s podatki o količini simbiotsko vezanega in akumuliranega N, ne razpolagajo pa s podatki o dejanskem učinku na zmanjšanje potreb po gnojenju z N iz mineralnih gnojil naslednji poljščini. Zato je glavni cilj praktičnih preizkusov (in s tem tudi projekta EIP) določiti, za koliko v praksi dejansko lahko zmanjšamo količino N iz mineralnih gnojil (za polovico ali celo več) pri gnojenju naslednje poljščine, da ohranimo visoke pridelke in hkrati izboljšamo ekološko ravnotežje.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Rezultati, ki jih podajamo v nadaljevanju, so pridobljeni v praktičnih preizkusih, ki smo jih izvedli na osmih kmetijskih gospodarstvih v petih statističnih regijah Slovenije med letoma 2022 in 2023. Raziskave potekajo v okviru projekta EIP »Integracija dosevkov za ozelenitev tal v njivski kolobar - možnosti nadomeščanja N iz mineralnih gnojil pri gnojenju naslednje poljščine« (<http://dosevki.um.si/>). Projekt se izvaja v okviru ukrepa M16: Sodelovanje iz Programa razvoja podeželja (podukrep 16.5).

Velikost praktičnega preizkusa z izmero ter načrt setve prezimnih dosevkov in gnojenja koruze je prikazan v sliki 1.



Slika 1. Načrt praktičnih preizkusov - setev prezimnih dosevkov in gnojenje koruze

Figure 1. Experimental plan - sowing of winter cover crops and fertilisation for maize

Preglednica 1. Rastlinske vrste uporabljene v poskusu.

Table 1. Plant species used on the experimental plots.

Oznaka	Rastlinska vrsta	Sorta	Količ. sem. za setev (kg ha ⁻¹)
INK	Inkarnatka (<i>Trifolium incarnatum</i> L.)	Bolsena, Hun	28
ML	Mnogocvetna ljuljka (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	Turtetra	48

V preglednici 1 so prikazani uporabljeni prezimni dosevky in sorte ter količine semena za setev. Zaradi okoljskih dejavnikov (tla in klimatske razmere) smo uporabili nekoliko večje odmerke od priporočenih za slovenske rastne razmere (Kramberger, 1999). Setev prezimnih dosevkov smo opravili konec avgusta (1. rok) in v sredini septembra (2. rok) v predhodno zorano ali minimalno obdelano žitno strnišče.

Tla poskusnih površin so pred zasnovo poskusa v povprečju vsebovala 13,8 mg P_2O_5 in 15,6 mg K_2O na 100 g zračno suhih tal, s povprečno $pH_{(KCl)}$ vrednostjo 6,11 (Al-metoda). Ob setvi in v času trajanja poskusov dosevom nismo dodajali ne organskih in ne mineralnih gnojil.

Spomladi naslednjega leta (konec aprila do začetek maja) smo dosevke pomulčili in v celoti zaorali ali z orodji za minimalno obdelavo tal (gruber) plitvo zadelali v tla. Temu je sledila setev koruze (med 25.4. in 10.5.; hibrid DKC 4717 - primeren za kombinirano rabo za zrnje ali silažo). Ob gnojenju koruze smo upoštevali gnojilno normo 200-230 kg N, 110 kg P_2O_5 in 220 kg K_2O na hektar. Na kontroli in po mnogocvetni ljujki smo za gnojenje uporabili polni odmerek N iz mineralnih gnojil (215 kg N ha^{-1}), na delu površin, kjer je rastla inkarnatka smo uporabili le polovični odmerek N (107 kg N ha^{-1}) ali pa z N sploh nismo gnojili (slika 1).

Za potrebe vrednotenja akumuliranega in simbiotsko vezanega N smo pridelke nadzemne mase dosevkov in njihovih korenin na vseh obravnavanih odvezli na več naključno izbranih mestih

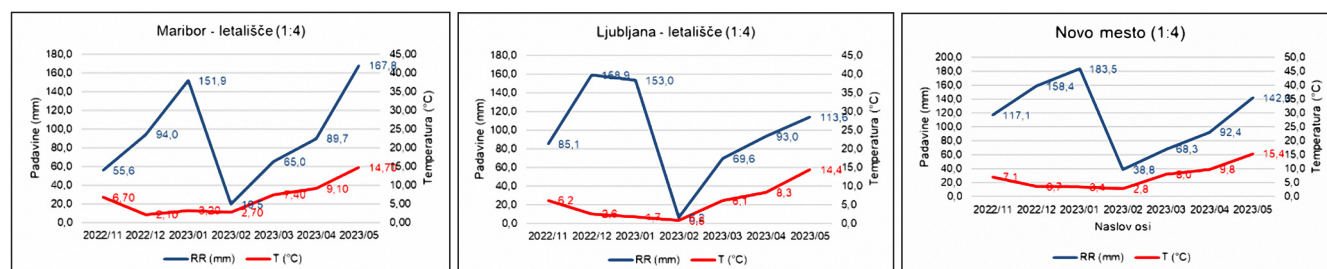
pred zaoravanjem. Prav tako smo pred setvijo dosevkov v jeseni in pred zaoravanjem spomladi odvezli še talne vzorce za določanje mineralnega dušika (N_{min}) v tleh. Ob spravilu koruze jeseni smo določili še pridelke koruze (v kg SS ha^{-1} ; celotne mase rastlin in zrnja) na posameznem obravnavanju.

Na območju izvajanja poskusov nismo postavili nobene avtomatske aparature za spremljanje meteoroloških parametrov, temveč smo le te spremljali na najbližjih meteoroloških postajah (Maribor, Ljubljana in Novo mesto). Zanimale so nas predvsem povprečne temperature zraka in količina padavin v času rasti dosevkov (grafikon 1) in v času rasti koruze (grafikon 2).

V praktičnih preizkusih pridobljene podatke smo analizirali s programom MS-Excel (2016) in IMB SPSS Statistics 22. Analizo variance (ANOVA) smo izvedli za pridelke suhe snovi zrnja koruze za vsa v poskus vključena obravnavanja. Statistično značilne razlike med povprečji smo testirali z LSD testom pri 5 % tveganju.

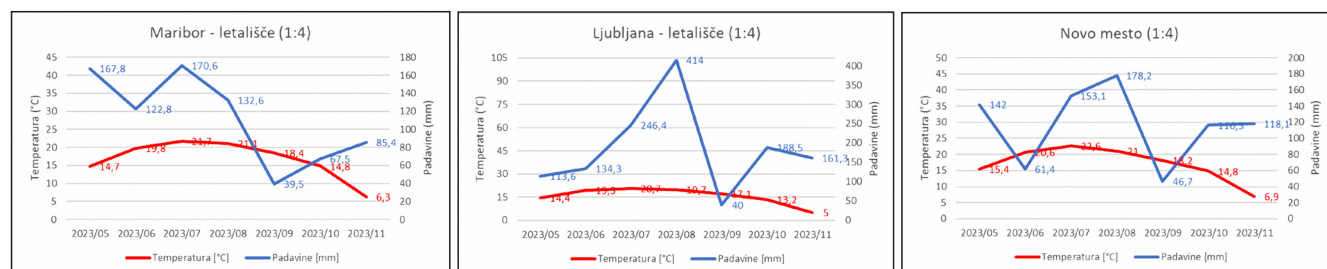
3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultati do sedaj izvedenih praktičnih preizkusov so zelo spodbudni. Analize tal in prezimnih dosevkov (april 2023) so pokazale, da je inkarnatka (metuljnica) prispevala med 61,6 in 78,6 kg simbiotsko vezanega N ha^{-1} , česar mnogocvetna ljujka (trava) ne more ustvariti (pregl. 2). Skupna količina akumuliranega dušika v organski snovi inkarnatke je znašala 100,7 kg N ha^{-1} , kar je



Grafikon 1. Povprečne mesečne temperature zraka (°C na 2 m) in količine padavin (mm) v obdobju rasti dosevkov (ARSO, november 2022 do maj 2023)

Graph 1. Average monthly air temperatures (°C at 2 m) and precipitation (mm) during the vegetation period of winter cover crops (ARSO, November 2022 to May 2023)



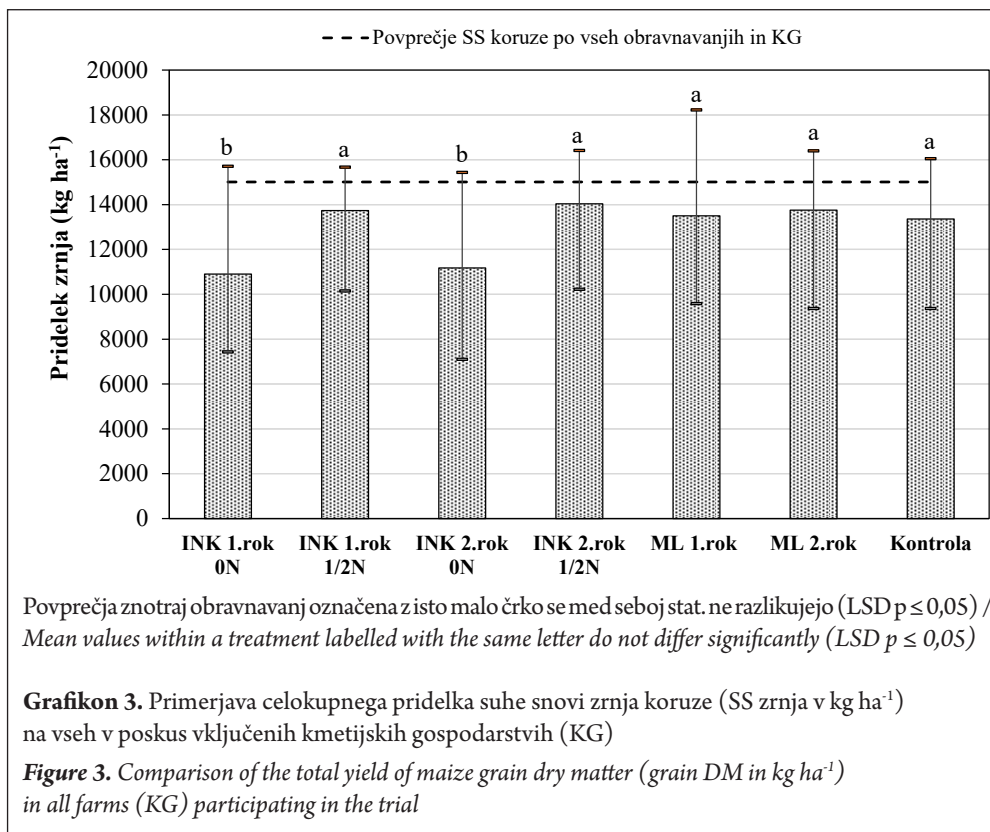
Grafikon 2. Povprečne mesečne temperature zraka (°C na 2 m) in količine padavin (mm) v obdobju rasti koruze (ARSO, maj 2023 do november 2023)

Graph 2. Average monthly air temperatures (°C at 2 m) and precipitation (mm) during the vegetation period of maize (ARSO, May 2023 to November 2023)

skoraj dvakrat več kot pri mnogocvetni ljuljki (50,4 kg N ha⁻¹). Vrednosti mineralnega dušika (N_{min}) v tleh pod mnogocvetno ljuljko so bile za 32 % nižje kot v tleh pod inkarnatko ali kontrolo. To kaže, da je mnogocvetna ljuljka velika porabnica dušika. Prav zato ni primerna za uporabo z namenom zmanjševanja vnosa N iz mineralnih gnojil. Bolj smiselno jo je uporabiti kot dosevek, ki izkorišča presežni dušik v tleh, preostali po predhodnih kulturah.

Povprečni pridelki zrnja koruze (grafikon 3) so dosegli vrednost 15 t SS zrnja ha⁻¹ (povprečje po vseh obravnavanjih skupno po vseh KG), kar je občutno nad slovenskim povprečjem iz leta 2022 (6,7 t SS zrnja ha⁻¹) in 2023 (8,8 t SS zrnja ha⁻¹) (SISTAT, 2024). Primerjava pridelka SS zrnja koruze po obravnavanjih je pokazala, da so bili le ti značilno najnižji (10,9 t SS zrnja ha⁻¹) na površinah, kjer je bila kot prezimni dosevek zgodaj posejana inkarnatka, pri čemer koruza ni prejela dodatnega gnojenja z dušikom iz mineralnih gnojil (INK, 1. rok, 0 N). Kadar je bila inkarnatka uporabljena kot prezimni dosevek, koruza pa pognojena s polovičnim odmerkom dušika, so bili pridelki zrnja (13,7 oz. 14,0 t SS zrnja ha⁻¹) enakovredni tistim na površinah, kjer smo uporabili polni odmerek dušika (pri mnogocvetni ljuljki 13,5 oz. 13,8 t SS zrnja ha⁻¹ in kontroli 13,4 t SS zrnja ha⁻¹).

Ugotovitve se skladajo z analizo rezultatov, ki jih v svoji raziskavi podajata Marcillo in Miguez (2017). Avtorja ugotavljata, da metuljnice (Fabaceae) kot prezimni dosevki znatno izboljšajo pridelke koruze, še posebej tam, kjer je količina dodanega dušika



z gnojili majhna. Druge študije (Raimondi, Maucieri in Borin, 2023) pa kažejo, da prezimni dosevki nimajo vedno enakega učinka na rast naslednje poljščine v kolobarju. Tako prezimni dosevki iz družine trave (Poaceae) zmanjšajo dostopnost dušika zaradi njegove imobilizacije, kar negativno vpliva na začetno rast

Preglednica 2. Količine simbiotsko vezanega (N_{simb}) ter akumuliranega dušika (N_{akum}) s prezimnimi dosevki ter količina mineralnega dušika (N_{min}) v tleh (april 2023)

Table 2. Amounts of symbiotically fixed (N_{simb}) and accumulated nitrogen (N_{akum}) through winter cover crops and the amount of mineral nitrogen (N_{min}) in the soil (April 2023)

	N _{simb} (kg ha ⁻¹)	N _{akum} (kg ha ⁻¹)	N _{min} (kg ha ⁻¹)
Inkarnatka 1. rok	61,6	100,7 a	44,9 a
Inkarnatka 2. rok	78,6	99,9 a	44,7 a
Mnogocvetna ljuljka 1. rok	-	50,4 b	31,5 b
Mnogocvetna ljuljka 2. rok	-	51,1 b	30,4 b
Kontrola (brez dosevka)	-	-	43,2 a

Povprečja znotraj obravnavanj označena z isto malo črko se med seboj stat. ne razlikujejo (LSD $p \leq 0,05$) / Mean values within a treatment labelled with the same letter do not differ significantly (LSD $p \leq 0,05$)

koruze. Nasprotno pa prezimne metuljnice, kot je inkarnatka, povečajo dostopnost dušika in tako prispevajo k višjim pridelkom (Torbert, Reeves in Mulvaney, 1996; Breda s sod., 2020).

Naši raziskavi povsem primerljive so tudi ugotovitve Caporali s sod. (2004). V raziskavi avtorji ugotavljajo vpliv v celoti zaorane biomase (zeleno gnojenje) prezimnih metuljnic (dlakava grašica in podzemna detelja) in mnogocvetne ljuljke na pridelke korusu (gnojenje z 0, 100 ali 200 kg N ha⁻¹). Njihova študija je potrdila, da so pridelki korusu sejane po grašici in podzemni detelji večji kot pa po mnogocvetni ljuljki. Mineraliziran dušik v tleh po zaoravanju podzemne detelje ali dlakave grašice pa je nadomestil uporabo 100 do 200 kg N ha⁻¹ iz mineralnih gnojil, kar je več kot je v njihovem primeru priporočena količina dušika za korusu.

Kombinacija prezimnih metuljnic z zmanjšanim gnojenjem z dušikom se tako izkazuje kot obetavna praksa, ki lahko izboljša trajnost kmetijskih sistemov, ne da bi pri tem ogrozila pridelek naknadno sejanih poljščin v kolobarju.

4 ZAKLJUČKI

Primerjava različnih načinov gnojenja je pokazala, da lahko kmetje z uporabo prezimnih metuljnic učinkovito zmanjšajo potrebo po dušiku iz mineralnih gnojil, ne da bi to negativno vplivalo na količino pridelka glavne poljščine v kolobarju. Rezultati kažejo, da inkarnatka kot prezimni dosevek zagotavlja stabilen pridelek zrnja korusu, tudi pri zmanjšani uporabi dušika. Dušik, vezan v njeni organski masi, lahko nadomesti tudi do 100 kg N ha⁻¹ (iz literature do 200 kg N ha⁻¹), kar pomeni znatne prihranke pri gnojilih, hkrati pa ohranja oziroma povečuje pridelek zrnja korusu.

EIP projekt tako ponuja inovativne rešitve za pridelovalce, ki želijo zmanjšati stroške in hkrati ohraniti donose pridelkov. Uporaba dosevkov za prezimno ozelenitev tal (še posebej metuljnic) pa je priložnost, da zmanjšamo odvisnosti od mineralnih gnojil, kar prispeva k trajnostni pridelavi in boljšemu gospodarskemu izkoristku. Ugotovili smo, da je simbiotska vezava dušika s prezimnimi metuljnicami in njihova akumulacija dušika v organski snovi pridelka učinkovit pristop za zmanjšanje potrebe po dušiku iz mineralnih gnojil, hkrati pa omogoča ohranjanje visokih pridelkov korusu. Slednje potrjujejo tudi rezultati iz literature.

5 LITERATURA

- Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., ... Smith, P. 2019. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global change biology*, 25(8), 2530-2543.
- Alonso-Ayuso, M., Quemada, M., Vanclooster, M., Ruiz-Ramos, M., Rodriguez, A., Gabriel, J.L. 2018. Assessing cover crop management under actual and climate change conditions. *Science of the Total Environment*, 621, 1330-1341.
- Breda, F.A.D.F., Alves, G.C., Lopez, B.D.O., de Aragão, A.R., Araújo, A.P., Reis, V.M. 2020. Inoculation of diazotrophic bacteria modifies the growth rate and grain yield of maize at different levels of nitrogen supply. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(14), 1948-1962.
- Caporali, F., Campiglia, E., Mancinelli, R., Paolini, R. 2004. Maize performances as influenced by winter cover crop green manuring. *Ital. J. Agron*, 8(1), 37-45.
- Ciampitti, I.A., Vyn, T.J. 2014. Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps. *Agronomy Journal*, 106(6), 2107-2117.
- da Silva, E.C., Muraoka, T., Bastos, A.V.S., Franzini, V.I., da Silva, A., Buzetti, S., ... de Araujo, L.C. 2020. Nitrogen recovery from fertilizers and cover crops by maize crop under no-tillage system. *Australian Journal of Crop Science*, 14(5), 766-774.
- Fan, X., Vrieling, A., Muller, B., Nelson, A. 2020. Winter cover crops in Dutch maize fields: Variability in quality and its drivers assessed from multi-temporal Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102139.
- Kaye, J.P., Quemada, M. 2017. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37, 1-17.
- Kramberger, B., Gselman, A., Janzekovic, M., Kaligarić, M., Bracko, B. 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy*, 31(2), 103-109.
- Kramberger, B. 1999. Krmni dosevki. Fakulteta za kmetijstvo UM, Maribor, 134 s.
- Marcillo, G.S., Miguez, F.E. 2017. Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72(3), 226-239.
- Marcillo, G.S., Carlson, S., Filbert, M., Kaspar, T., Plastina, A., Miguez, F.E. 2019. Maize system impacts of cover crop management decisions: A simulation analysis of rye biomass response to planting populations in Iowa, USA. *Agricultural Systems*, 176, 102651.
- Perdigao, A., Pereira, J.L.S., Moreira, N., Trindade, H., Coutinho, J. 2021. A 3-year field study to assess winter cover crops as nitrogen sources for an organic maize crop in Mediterranean Portugal. *European Journal of Agronomy*, 128.
- Raimondi, G., Maucieri, C., Borin, M. 2023. Maize yield and N dynamics after cover crops introduction. *European Journal of Agronomy*, 150, 126944.
- Salmerón, M., Isla, R., Caverio, J. 2011. Effect of winter cover crop species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 123(2), 89-99.

-
- Torbert, H.A., Reeves, D.W., Mulvaney, R.L. 1996. Winter legume cover crop benefits to corn: Rotation vs. fixed-nitrogen effects. *Agronomy journal*, 88(4), 527-535.
- Wang, Y., Ying, H., Yin, Y., Zheng, H., Cui, Z. 2019. Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 657, 96-102.
- Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P., Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), 51-59.
- ARSO: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet> (12. 10. 2024)
- SISTAT: <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1502402S.px> (12. 10. 2024)