

Optimizacija gnojidbe usjeva dušikom u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji

Sažetak

Održiva poljoprivreda temelji se na načelima prilagodbe agroekosustava stanišnim čimbenicima nekog područja i optimalnom korištenju biološko-fizikalno-kemijskih resursa. Mjerama dobre poljoprivredne prakse provode se optimalni agrotehnički zahvati koji osiguravaju stabilne prinose bez štetnog djelovanja na okoliš. Cilj ovog rada bio je utvrditi optimalnu, profitabilnu i ekološki prihvatljivu gnojidbu dušikom za tri najzastupljenija usjeva istočne Hrvatske: kukuruz, pšenicu i soju uz praćenje razine podzemne vode i koncentracije NO_3^- i NH_4^+ . Koncentracija nitratnog dušika u podzemnoj vodi na lokalitetima Šljivoševci i Čelije kretala se od $16 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ do $34 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$, a NH_4^+ od $3,2$ do $9,3 \text{ mg NH}_4^+ \text{ dm}^{-3}$. Najveći prinos, najgušći sklop i najveća masa žetvenih ostataka pšenice ostvareni su na tretmanu sa 170 kg N ha^{-1} , dok su najmanji prinos, najrjeđi sklop i najmanja masa žetvenih ostataka zabilježeni na kontroli i na tretmanu gnojidbe stajskim gnojem. Najveći prinosi i najveća masa žetvenih ostataka soje ostvareni su na lokalitetu Šljivoševci pri gnojidbi od 50 kg N ha^{-1} , dok su najmanji prinosi izmjereni na kontroli. Najveći prinosi kukuruza izmjereni su u Šljivoševcima na tretmanu s 170 kg N ha^{-1} , a najmanji na kontroli. Masa žetvenih ostataka nije bila pod utjecajem gnojidbe, a najveći sklop je izmjeren na tretmanu sa 150 kg N ha^{-1} na lokalitetu Šljivoševci. Dobiveni rezultati ukazuju na važnost dobrog poznavanja dinamike i raspoloživosti hraniva, posebice dušika i primjenjivanja gnojiva u skladu s biološkim, ekonomskim i ekološkim uvjetima. Visinu prinosa potrebno je promatrati kroz profitabilnost proizvodnje istovremeno vodeći računa o očuvanju plodnosti tla, sprječavanju njegove degradacije i zaštiti okoliša.

Ključne riječi: gnojidba dušikom, održiva poljoprivreda, prinos, ratarski usjevi

Uvod

Održiva poljoprivredna proizvodnja obuhvaća zaštitu tla, voda, biljnih i animalnih genetskih resursa, nije degradirajuća za okoliš, tehnički je primjerena, ekonomski isplativa i socijalno prihvatljiva (FAO, 2017). Održiva poljoprivreda počiva na načelima prilagodbe agroekosustava stanišnim čimbenicima nekog područja i optimalnom korištenju biološko-fizikalno-kemijskih resursa u agroekosustavu (Altieri, 1995; Lal, 2008). Mjerama dobre poljoprivredne prakse, koje obuhvaćaju zaštitu tla, vode, zraka i prirode, provode se optimalni agrotehnički zahvati koji osiguravaju stabilne prinose bez štetnog djelovanja na prirodu i okoliš. Mjere dobre poljoprivredne prakse obuhvaćaju racionalnu gnojidbu i primjenu sredstava za zaštitu bilja, očuvanje plodnosti tla, gospodarenje hranivima, pravilnu uporabu mehanizacije i slično. Gnojidba mora biti ekološki prihvatljiva i ekonomski isplativa što podrazumijeva primjenu gnojiva u količinama koje odgovaraju potrebama i stanju usjeva, plodnosti tla, profitabilnosti rada i uloženi sredstava, vremenskim uvjetima, okolišu i potencijalnom prinosu. Suvremena poljoprivredna proizvodnja podrazumijeva gnojidbu dušikom, kao „prinosotvornim elementom“, nezamjenjivom agrotehničkom mjerom. U razvijenim zemljama, glavni izvor dušika za biljke predstavljaju mineralna (Robertson i Vitousek, 2009) i organska gnojiva. Drugi izvori dušika mogu biti primjerice djelovanje simbiotskih fiksatora dušika (kvržične bakterije koje se razvijaju na korijenu leguminoznih biljaka), električna pražnjenja (depozicija dušika iz atmosfere u amonijačnom obliku ili u obliku različitih dušikovih oksida), organska tvar tla, itd. U poljoprivrednim tlima ukupna količina dušika najčešće iznosi 0,1-0,3 % od čega je za usjeve pristupačno tijekom jedne vegetacijske sezone 1-3 % (Vukadinović i Vukadinović, 2011). Iako je gnojidba dušikom neizostavna

¹ prof. dr. sc. Irena Jug, izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, prof. dr. sc. Vesna Vukadinović, prof. dr. sc. Danijel Jug, doc. dr. sc. Bojana Brozović
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Hrvatska (ijug@pfos.hr)

mjera za postizanje visokih prinosa, primjena dušika u prekomjernim količinama istovremeno uzrokuje i njegov gubitak, posebice u uvjetima prekomjerne vlažnosti i descendentnog kretanja vode što rezultira premještanjem nitrarnog oblika dušika vodom u podzemne vodotokove. U ciklusu kruženja dušika dolazi do njegovih gubitaka, no pravilnim gospodarenjem gubitci se mogu svesti na najmanju mjeru. Cilj ovog rada bio je utvrditi optimalnu, profitabilnu i ekološki prihvatljivu gnojdbenu dozu dušika za tri najzastupljenija usjeva istočne Hrvatske: kukuruz, pšenicu i soju uz praćenje razine podzemne vode i utvrđivanje koncentracije NO_3^- i NH_4^+ u podzemnoj vodi.

Materijali i metode

Gnojdbeni kalibracijski pokus postavljen je na dva lokaliteta: Čelije u Vukovarsko-srijemskoj županiji, N 45.4293°, E 18.7980 i Šljivoševci u Osječko-baranjskoj županiji, N 45.6607°, E 18.2176°. Randomizirani blok je kreiran za tri pojedinačna pokusa sa sljedećim planom gnojidbe za pšenicu i kukuruz: 1) Kontrola (bez gnojidbe i žetvenih ostataka), 2) $\text{N}_{30}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 3) $\text{N}_{50}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 4) $\text{N}_{70}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 5) $\text{N}_{90}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 6) $\text{N}_{110}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 7) $\text{N}_{130}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 8) $\text{N}_{150}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 9) $\text{N}_{170}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$ i 10) 170 kg N ha⁻¹ u vidu stajskog gnoja. Gnojdbeni plan za bakteriziranu soju identičan je s prvih šest tretmana gnojidbe za pšenicu i kukuruz na oba lokaliteta, a činili su ga: 1) Kontrola (bez gnojidbe i žetvenih ostataka), 2) $\text{N}_{30}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 3) $\text{N}_{50}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 4) $\text{N}_{70}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 5) $\text{N}_{90}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$, 6) $\text{N}_{110}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$. Na pokusnim poljima iskopani su pedološki profili do dubine matičnog supstrata i uzeti uzorci tla po genetskim horizontima u svrhu determinacije tipa tla. Pokus u Šljivoševcima postavljen je 22. listopada 2010. godine provođenjem osnovne gnojidbe (cjelokupne doze P i K te 50 % predviđenih potreba N) i jesenske osnovne obrade (oranje do 25 cm dubine). Nakon predstjetvene pripreme (dva prohoda tanjuračom i jedan prohod rotodrljačom) sutradan je izvršena sjetva pšenice Tye sijačicom (sorta „Srpanjka“). Pokus u Čelijama postavljen je 23. listopada 2010. provođenjem osnovne gnojidbe (cjelokupne doze P i K i 50 % predviđenih potreba N) i osnovne obrade (oranje do 25 cm dubine). Predstjetvena priprema (isti zahvati kao i na lokaciji Šljivoševci) i sjetva iste sorte pšenice obavljani su 24. listopada 2010. godine. Prva prihrana pšenice KAN-om na oba lokaliteta obavljena je u busanju 08. i 09. ožujka 2011. god., dok je druga prihrana obavljena početkom vlatanja 04. i 05. travnja 2011. god. U rano proljeće, s nastupom povoljnih uvjeta za obradu tla, zatvorena je zimska brazda na površinama predviđenim za sjetvu jarih kultura (soja i kukuruz) što je bio preduvjet za predstjetvenu pripremu tla, kao i predstjetvenu gnojidbu KAN-om u skladu s gnojdbenim tretmanima (11. travnja 2011. god. u Čelijama i 12. travnja 2011. god. u Šljivoševcima). Sjetva soje (sorta „Zora“ Poljoprivrednog instituta Osijek) i kukuruza (hibrid „Drava 404“ Poljoprivrednog instituta Osijek) obavljena je na lokalitetu Čelije 18. travnja 2011., a na lokalitetu Šljivoševci 20. travnja 2011. godine. Za sjetvu soje i kukuruza u Čelijama korištena je šestoredna sijačica PSK OLT, zahvata 3,5 m, a dubina sjetve iznosila je 5 cm. U Šljivoševcima je korištena sijačica No-Till Tye s istom dubinom sjetve. Na oba lokaliteta su postavljeni piezometri na 250 cm dubine radi praćenja razine podzemne vode i utvrđivanje koncentracije NO_3^- i NH_4^+ ($\text{mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ i $\text{mg NH}_4^+ \text{ dm}^{-3}$) u vodi. Uzorci tla uzorkovani su s dubine od 0 do 30 cm i pripremljeni za standardnu laboratorijsku analizu prema ISO 11464 standardu (ISO 1994a). Reakcija tla izražena kao pH vrijednost mjerena je elektrometrijski pH metrom prema ISO 10390 standardu (ISO 1994b). Određivanje biljci lako pristupačnog fosfora i kalija ($\text{AL-P}_2\text{O}_5$ i $\text{AL-K}_2\text{O}$) provedeno je prema Egner i sur. (1960). Sadržaj organske tvari tla određen je oksidacijom organske tvari u sumpomoj kiselini prema ISO 14235 (ISO 1998). Karbonati u tlu određeni su volumetrijskom metodom prema ISO standardu 10693 (ISO 1995). Koncentracija NO_3^- određena je primjenom brze test metode pomoću uređaja Reflectoquant (u uzorak vode uranja se testna trakica koja ima dvije reakcijske zone koje sadrže reagense za redukciju nitrata do nitrita i reakciju nitrita s Griessovim reagensom. Kao

krajnji produkt nastaje nitro-spoj crvenkaste boje određenog intenziteta. Umetanjem trake u uređaj, očitava se koncentracija nitrata izražena u $\mu\text{g NO}_3^- \text{ ml}^{-1}$. Koncentracija NH_4^+ utvrđena je spektrofotometrijski na 420 nm (Đurđević, 2014). U određenim fenološkim fazama utvrđen je sklop biljaka, a u žetvi je izmjerena visina prinosa i masa žetvenih ostataka. Statistička obrada podataka provedena je analizom varijance za $P < 0,05$ u računalnom programu Statistica 12.

Rezultati i rasprava

Na temelju analize morfoloških, fizikalnih i kemijskih svojstava, izvršena je determinacija tipova tala na oba lokaliteta. Pokusna parcela u Čelijama je, prema Husnjaku (2014) i Bašiću (2013), svrstana u razred hipoglejnih tala, tip ritska crnica (Slika 1).



Slika 1. Ritska crnica, Čelije
Figure 1. Humic gyesol, Čelije



Slika 2. Hipoglej, Šljivoševci
Figure 2. Hypogley, Šljivoševci

Rezultati analiza (Tablica 1) pokazuju da je pokus u Čelijama postavljen na parceli umjerno alkalne reakcije, slabe humoznosti te dobre opskrbljenosti biljkama pristupačnim oblicima fosfora i kalija ($\text{AL-K}_2\text{O}$ i $\text{AL-P}_2\text{O}_5$).

Tablica 1. Rezultati kemijskih analiza prosječnih uzoraka tla na lokalitetu u Čelijama
Table 1. Results of chemical analysis of average soil samples in Čelije

uzorak/ sample	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	mg 100g ⁻¹ tla mg 100g ⁻¹ soil		humus, %	CaCO ₃ , %
			AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O		
1	8,37	7,43	17,20	26,64	2,51	3,38
2	8,06	7,01	18,70	28,12	2,05	2,11
3	8,14	7,17	17,10	27,05	2,35	1,69

1 – uzorak tla za pšenicu; 2 – uzorak tla za soju; 3 – uzorak tla za kukuruz

1 – soil sample for wheat; 2 – soil sample for soybean; 3 – soil sample for maize

U Osječko-baranjskoj županiji lokalitet Šljivoševci (Slika 2). također je svrstan u razred hipoplejnih tala, tip hipoglej (Husnjak, 2014; Bašić, 2013). Rezultati kemijskih analiza tla na lokalitetu Šljivoševci prikazani su u Tablici 2. Reakcija otopine tla mjerena u vodi kretala se u granicama od slabo kisele ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 6,16$) do umjereno alkalne ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 7,99$). U uzorku umjereno alkalne reakcije, izmjerena je i prisutnost CaCO_3 (2,11 %) te slaba opskrbljenost humusom. Opskrbljenost fiziološki aktivnim hranivima ($\text{AL-K}_2\text{O}$ i $\text{AL-P}_2\text{O}_5$) u antropogenom horizontu bila je siromašna ($\text{AL-P}_2\text{O}_5$) do dobra ($\text{AL-K}_2\text{O}$). Tekstura je praškasta ilovača s najvišim sadržajem gline u Gso horizontu (21,72 %).

Tablica 2. Rezultati kemijskih analiza prosječnih uzoraka tla na lokalitetu Šljivoševci
Table 2. Results of chemical analysis of average soil samples in Šljivoševci

uzorak/ sample	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	$\text{pH}(\text{KCl})$	mg 100g^{-1} tla mg 100g^{-1} soil		humus, %	CaCO_3 , %
			$\text{AL-P}_2\text{O}_5$	$\text{AL-K}_2\text{O}$		
1	7,99	7,14	9,10	19,37	2,01	2,11
2	6,16	5,06	8,60	22,74	1,49	-
3	6,22	4,98	10,10	23,74	1,22	-

1 – uzorak tla za pšenicu; 2 - uzorak tla za soju; 3 – uzorak tla za kukuruz

1 – soil sample for wheat; 2 – soil sample for soybean; 3 – soil sample for maize

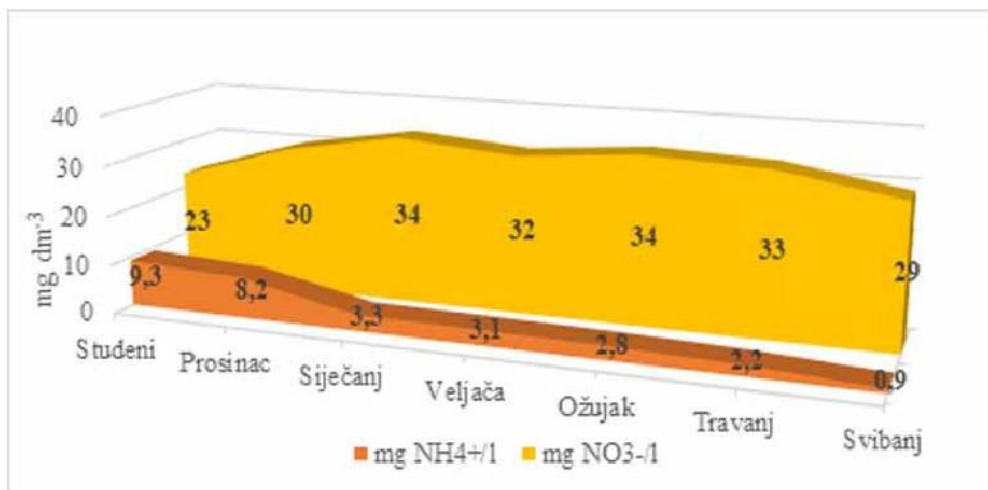
Oba istraživana lokaliteta sastavni su dio panonskog i peripanonskog prostora gdje prosječna godišnja temperatura zraka raste u smjeru zapad – istok i sjeverozapad – sjeveroistok, a kreće se u granicama od 9 do 11°C . Ukupne prosječne godišnje količine oborina variraju od istoka (≈ 600 mm) do zapada (≈ 800 mm). Podaci dobiveni mjerenjem na oba istraživana lokaliteta upućuju na kolebanje vremenskih prilika, naročito u vidu ispodprosječnih količina oborina u odnosu na višegodišnji prosjek. U Čelijama je tijekom 2011. godine bilo 40,0 % manje oborina u odnosu na prosjek (650 mm), dok je u Šljivoševcima (prosjek 707 mm) ovaj manjak bio još izraženiji (49,3 % manje oborina). Najmanje oborina je palo u kolovozu na lokalitetu Čelije (1 mm) što je iznimno niska vrijednost za kolovoz u odnosu na višegodišnji prosjek (59 mm). Osim manjka oborina problem je nastao i zbog njihove neravnomjerne raspodjele. Tako je tijekom svibnja izmjereno 92 mm oborina što predstavlja 23,5 % od ukupne količine u 2011. godini.

Prisutnost nitrata u podzemnoj vodi može biti uvjetovana prirodnim (geološkim) i antropogenim putem (aplikacijom mineralnih gnojiva). Primjenom načela održivosti, odnosno mijenjanjem načina poljoprivredne proizvodnje uz uvažavanje postulata konzervacijske poljoprivrede, moguće je smanjiti ispiranje dušika u podzemne vode i okoliš (Jug i sur., 2017; Tomer i Burkart, 2003). Prema Horvatu i sur. (2010) kvalitetu vode dodatno ugrožavaju poljoprivredne djelatnosti zbog apliciranja mineralnih gnojiva koja se ispiru putem procjernih voda u podzemnu vodu. Isti autori upozoravaju kako se koncentracija nitratnog iona, koji je obično prisutan u podzemnoj i površinskoj vodi u vrlo niskim koncentracijama, može značajno povisiti ispiranjem s poljoprivrednih površina i kontaminacijom s otpadnim vodama ljudi i životinja. Prema trenutno važećoj legislativi (NN 125/2013) najveća dozvoljena koncentracija (MDK) nitrata u pitkoj vodi iznosi $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$.

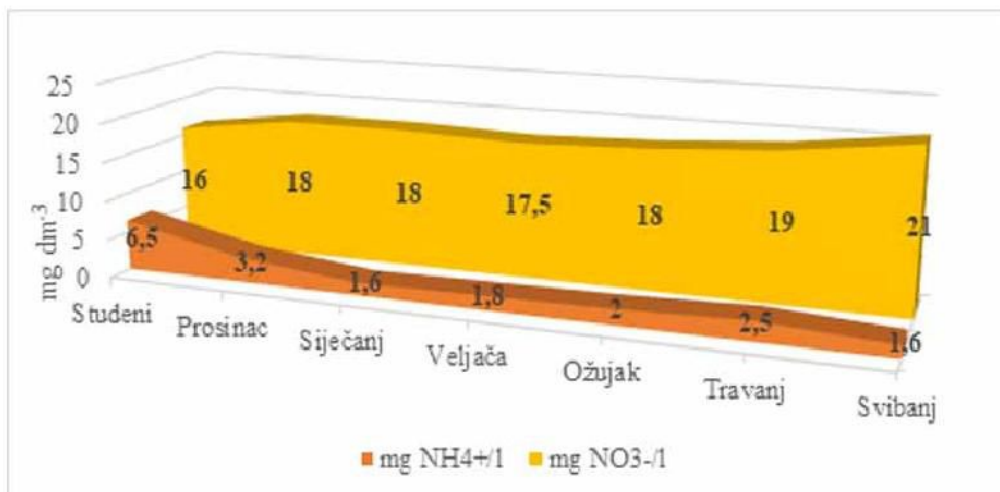
Koncentracija nitratnog dušika u podzemnoj vodi, mjerena tijekom studenog i prosinca 2010. godine, kretala se od $16 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ do $30 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ (Grafikoni 1 i 2). U razdoblju od siječnja do lipnja 2011. godine koncentracija nitrata u uzorcima vode u Šljivoševcima kretala se od 17,5 do $21 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$, a u Čelijama od 29 do $34 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$. Tomer i Burkart (2003)

u svom istraživanju ističu kako je izmjerena povećana koncentracija nitrata u podzemnim vodama pod jakim utjecajem prekomjerne gnojidbe dušikom primijenjene prije 30 godina. Isti autori navode kako se koncentracija NO_3^- smanjuje povećanjem dubine podzemne vode, što je moguća posljedica povećane denitrifikacije. Koncentracija NH_4^+ bila je najveća tijekom studenog i prosinca 2010. godine, a kretala se u intervalu 3,2-9,3 $\text{mg NH}_4^+ \text{ dm}^{-3}$. Od siječnja do lipnja 2011. godine koncentracija NH_4^+ smanjivala se od 3,3 do 0,9 $\text{mg NH}_4^+ \text{ dm}^{-3}$. Od lipnja do listopada 2011. godine koncentracija dušika u amonijačnom i nitratnom obliku bila je ispod mjerljivih vrijednosti.

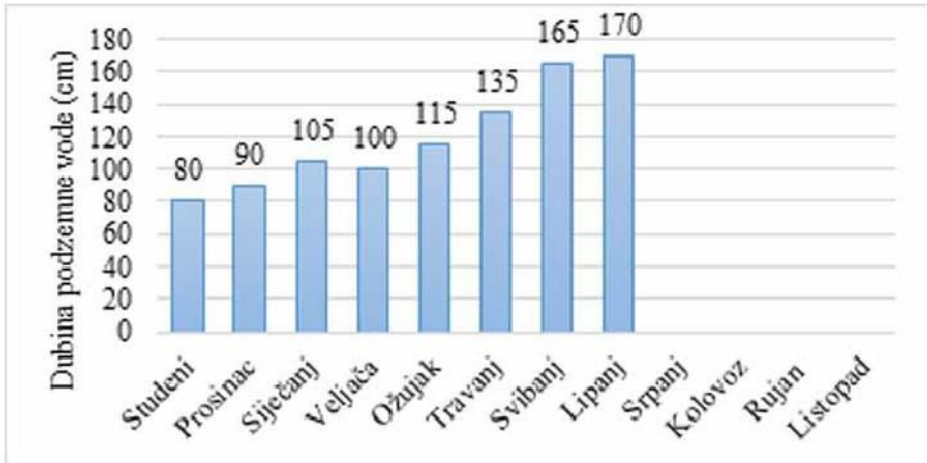
Grafikon 1. Koncentracija NO_3^- i NH_4^+ u podzemnoj vodi na lokalitetu Čelije
Graph 1. NO_3^- and NH_4^+ concentration in underground water on Čelije



Grafikon 2. Koncentracija NO_3^- i NH_4^+ u podzemnoj vodi na lokalitetu Šljivoševci
Graph 2. NO_3^- and NH_4^+ concentration in underground water on Šljivoševci

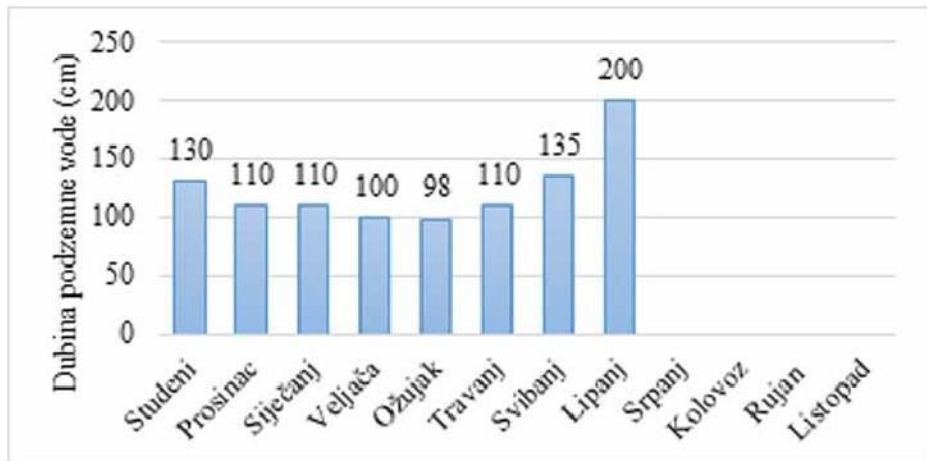


Izmjerene koncentracije amonijačnog iona veće su od preporučenih (WHO, 2003), što je moguće povezati s izraženim utjecajem gnojiva posebice organskog, prisustvom humusnih supstanci i sl. (WHO, 2003). Razina podzemne vode u piezometrima (Grafikoni 3 i 4) spuštala se s porastom temperature na oba lokaliteta u odnosu na rezultate mjerenja u siječnju 2011. godine, kao izravna posljedica sušnog razdoblja. Smanjivanje razine podzemne vode manje je bilo izraženo na lokalitetu Šljivoševci (sa 130 cm na 135 cm) u odnosu na lokalitet Čelije (s 80 cm na 165 cm).



Grafikon 3. Razina podzemne vode na lokalitetu Čelije (od studenog 2010. godine do lipnja 2011. godine)

Graph 3. Groundwater level in Čelije (from November 2010 to June 2011)



Grafikon 4. Razina podzemne vode na lokalitetu Šljivoševci (od studenog 2010. godine do lipnja 2011. godine)

Graph 4. Groundwater level in Šljivoševci (from November 2010 to June 2011)

Pšenica

Pšenica do proljetnog kretanja vegetacije akumulira rezerve hraniva koja se lako transformiraju u građevne jedinice organske tvari. Kapacitet biljaka za akumulaciju najviše ovisi o njihovoj fenološkoj fazi i temperaturi okoline (tlo i zrak). Pšenica akumulira biljna hraniva, posebice nitrata, kada je temperatura tla viša od 0° C (Vukadinović i Vukadinović, 2016). Dušik u tlu, za razliku od fosfora i kalija, ne može stvarati trajne rezerve. Njegov sadržaj varira s dubinom profila i tijekom vremena, stoga se mora dodavati u više navrata (prihranom). Kao prinosotvorni element biljne ishrane, dušik se često primjenjuje u prekomjernim količinama na poljoprivrednim površinama s ciljem postizanja visokih prinosa. Biljke su veliki sakupljači dušika te ga ugrađuju tijekom cijele vegetacije u organsku tvar (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Opskrbljenost biljaka potrebnim količinama dušika ima izuzetan značaj u tvorbi prinosa i njegove kakvoće te intenzivna gnojidba pšenice dušikom u većini slučajeva povećava prinos zrna pšenice (Horvat i sur., 2006). Na primjenu većih doza dušika pšenica reagira povećanjem vrijednosti komponenta prinosa (Varga i sur., 2000). Za postizanje stabilnih i optimalnih prinosa, nužna je povoljna mineralna ishrana posebice u razdoblju od nediferenciranog rasta vegetacijskog vrha pa sve do faze formiranja cvjetnih zametaka (Vukadinović i Vukadinović, 2011). Prosječan prinos pšenice, na oba lokaliteta i u prosjeku za sve tretmane gnojidbe, iznosio je 4,70 t ha⁻¹ (Tablica 3).

Na variranje prinosa zrna vrlo značajan utjecaj imala je gnojidba, pa su tako najveći prinosi u prosjeku ostvareni na tretmanu sa 170 kg N ha⁻¹ (6,19 t ha⁻¹), a najmanji na kontroli (3,65 t ha⁻¹) i gnojidbi sa stajnjakom (4,01 t ha⁻¹) što je u skladu s istraživanjima Šestak i sur. (2014) koji su najveće prinose pšenice zabilježili na gnojidbi od 150-200 kg N ha⁻¹. Statistički nije utvrđena značajna razlika u visini prinosa na tretmanima sa 170 kg N ha⁻¹ i 150 kg N ha⁻¹ te između tretmana kontrole, stajnjaka, 30 kg N ha⁻¹, 50 kg N ha⁻¹ i 70 kg N ha⁻¹. Prinosi pšenice koja je uzgajana na tretmanu sa 170 kg N ha⁻¹ bili su za 11 % veći u odnosu na pšenicu uzgajanu na tretmanu sa 130 kg N ha⁻¹, 25,8 % veći u odnosu na pšenicu na tretmanu sa 110 kg N ha⁻¹, 22,4 % veći u odnosu na pšenicu čiji je tretman gnojidbe iznosio 90 kg N ha⁻¹ i preko 30 % u odnosu na ostale tretmane gnojidbe. Prosječna masa žetvenih ostataka pšenice iznosila je 3,8 t ha⁻¹ i bila je pod značajnim utjecajem gnojidbe. Najveća masa je izmjerena je na gnojidbi sa 170 kg N ha⁻¹ (4,7 t ha⁻¹), dok je najmanju masu žetvenih ostataka imala pšenica na kontroli (3,1 t ha⁻¹) što je i bilo očekivano s obzirom da veće količine primijenjenog dušika stvaraju veću nadzemnu masu.

Na variranje sklopa pšenice značajno je utjecala gnojidba dušikom, pa je tako najveći sklop utvrđen kod pšenice s najvećom gnojidbom (642 biljke m⁻²), a najmanji kod gnojidbe stajskim gnojem (509 biljaka m⁻²). Sklop pšenice na tretmanu sa 170 kg N ha⁻¹ statistički je bio značajno veći u odnosu na sklop pšenice na kontroli, na tretmanu sa stajnjakom i na tretmanu s 30 kg N ha⁻¹ i 50 kg N ha⁻¹. Razlike u sklopu pšenice na navedenim tretmanima nisu bile značajne, kao ni razlike u sklopovima pšenice uzgajane na tretmanu sa 170 kg N ha⁻¹, 150 kg N ha⁻¹, 130 kg N ha⁻¹, 110 kg N ha⁻¹ i 90 kg N ha⁻¹. Najveći prinosi, najgušći sklopovi i najveća masa žetvenih ostataka ostvareni su na tretmanu sa 170 kg N ha⁻¹, dok su najmanje vrijednosti navedenih parametara zabilježene na kontroli i na tretmanu gnojidbe stajskim gnojem (Tablica 3).

Tablica 3. Prinos zrna pšenice, masa žetvenih ostataka i sklop na različitim tretmanima gnojide na lokalitetima Šljivoševci i Čelije

Table 3. Wheat grain yield, mass of harvest remains and plant density on various fertilization treatments at the locations of Šljivoševci and Čelije

	L1			L2			\bar{x}		
	S	ŽO	P	S	ŽO	P	S	ŽO	P
G1	532	3,1	3,83	516	3,1	3,47	524 ^b	3,1 ^d	3,65 ^d
G2	529	3,4	4,26	488	3,2	3,77	509 ^b	3,3 ^d	4,01 ^d
G3	537	3,4	4,38	498	3,2	3,99	518 ^b	3,3 ^d	4,18 ^d
G4	551	3,4	4,22	551	3,3	4,02	551 ^b	3,4 ^d	4,12 ^d
G5	651	3,6	4,64	511	3,4	3,86	581 ^{ab}	3,5 ^{cd}	4,25 ^{cd}
G6	595	4,3	4,65	632	3,7	4,95	614 ^{ab}	4,0 ^b	4,80 ^c
G7	623	3,9	5,22	538	3,9	3,96	581 ^{ab}	3,9 ^{bc}	4,59 ^c
G8	602	4,2	5,38	646	4,8	5,70	624 ^{ab}	4,5 ^a	5,54 ^b
G9	598	4,3	5,54	571	4,7	5,85	585 ^{ab}	4,5 ^a	5,70 ^{ab}
G10	654	4,4	6,45	629	5,0	5,94	642 ^a	4,7 ^a	6,19 ^a
\bar{x}	587	3,8	4,86	558	3,8	4,55	573	3,8	4,70

L1-lokalitet Šljivoševci, L2-lokalitet Čelije, S – sklop (broj biljaka m⁻²); ŽO – žetveni ostaci (t ha⁻¹); P – prinos (t ha⁻¹), \bar{x} – prosjek; G1-0 kg N ha⁻¹; G2-stajski gnoj kg N ha⁻¹; G3-30 kg N ha⁻¹; G4-50 kg N ha⁻¹; G5-70 kg N ha⁻¹; G6-90 kg N ha⁻¹; G7-110 kg N ha⁻¹; G8-130 kg N ha⁻¹; G9-150 kg N ha⁻¹; G10-170 kg N ha⁻¹;

U usporedbi po kolonama, vrijednosti iste slovne oznake nisu statistički značajne P<0,05

L1-locality Šljivoševci, L2-locality Čelije, S – plant density (number of plant m⁻²); ŽO – harvest remains (t ha⁻¹); P – yield (t ha⁻¹), \bar{x} – average; G1-0 kg N ha⁻¹; G2 - manure kg N ha⁻¹; G3-30 kg N ha⁻¹; G4-50 kg N ha⁻¹; G5-70 kg N ha⁻¹; G6-90 kg N ha⁻¹; G7-110 kg N ha⁻¹; G8-130 kg N ha⁻¹; G9-150 kg N ha⁻¹; G10-170 kg N ha⁻¹;

In columns comparison means with the same letter are not significantly different from each other P<0,05

Soja

Za postizanje optimalnih prinosa, soja usvaja dušik na dva načina: biološkom fiksacijom kvrličnim nodulima na korijenu i usvajanjem dušika iz otopine tla putem korijena. Prema nekim pretpostavkama, dušik usvojen simbiotskom fiksacijom nije uvijek dostatan za postizanje maksimalnih prinosa soje (Ray i sur., 2005). Postoje mnogi čimbenici koji utječu na fiksaciju dušika kvrličnim bakterijama na korijenu soje i reakciju soje na dušičnu gnojidbu. Sorensen i sur. (1978) u svom istraživanju navode kako reakcija soje na gnojidbu dušikom ovisi o pH reakciji, temperaturi i vlazi tla. Manja količina dušika u početnom porastu soje potpomaže razvoju kvrličnih bakterija, dok u uvjetima dovoljne količine raspoloživog dušika u tlu (kada su potrebe biljaka i bakterija zadovoljene) rast kvrčica se smanjuje i dolazi do pada njihove brojnosti (Marschner, 1995). Na prinos soje, koji je u prosjeku iznosio 3 t ha⁻¹ statistički je vrlo značajan utjecaj imao lokalitet sa svojim agroekološkim svojstvima. Veći prinos soje (Tablica 4) zabilježen je na lokalitetu Šljivoševci i u prosjeku je iznosio 3,5 t ha⁻¹, dok je na lokalitetu Čelije ostvaren prinos od 2,5 t ha⁻¹. Gnojidba dušikom statistički je vrlo značajno utjecala na variranje prinosa. Najveći prosječni prinos (3,69 t ha⁻¹) izmjeren je na tretmanu gnojide s 50 kg N ha⁻¹, dok je najmanji zabilježen na kontroli (1,95 t ha⁻¹), što je u skladu s istraživanjima Gai

i sur. (2017). Na lokalitetu Čelije uočeno je pozitivno djelovanje dušične gnojidbe te je najveći prinos zabilježen na tretmanu sa 110 kg N ha⁻¹ (3,28 t ha⁻¹). Ovi rezultati su posljedica kemijskih svojstava tala na kojima su provedena istraživanja. Na lokalitetu Čelije, reakcija otopine tla bila je umjereno alkalna, što je za posljedicu imalo nemogućnost usvajanja mikroelemenata, posebice željeza čiji nedostatak onemogućuje asimilaciju dušika od strane kvržičnih bakterija (Vukadinović i Vukadinović, 2011; Jug, 2008). Na oba lokaliteta najmanji prinosi soje zabilježeni su na kontrolnom tretmanu (Tablica 4).

Tablica 4. Prinos zrna soje, masa žetvenih ostataka i sklop na različitim tretmanima gnojidbe na lokalitetima Šljivoševci i Čelije

Table 4. Soybean grain yield, mass of harvest remains and plant density on various fertilization treatments at the locations of Šljivoševci and Čelije

	L1			L2			\bar{X}		
	S	ŽO	P	S	ŽO	P	S	ŽO	P
G1	51	3,9	2,42	53	2,4	1,48	52	3,1 ^d	1,95 ^d
G2	49	4,9	3,08	54	3,9	2,44	31	4,4 ^c	2,76 ^c
G3	48	7,5	4,89	56	3,9	2,50	66	5,7 ^a	3,69 ^a
G4	56	5,6	3,60	53	4,2	2,71	53	4,9 ^{bc}	3,15 ^{bc}
G5	52	5,5	3,42	55	4,5	2,83	69	5,0 ^{abc}	3,12 ^{bc}
G6	52	5,8	3,55	55	5,3	3,28	69	5,5 ^{ab}	3,41 ^{ab}
\bar{X}	52	5,5 ^a	3,49 ^a	54	4,0 ^b	2,54 ^b	50	4,8	3,01

L1-lokalitet Šljivoševci, L2-lokalitet Čelije, S – sklop (broj biljaka m⁻²); ŽO – žetveni ostatci (t ha⁻¹); P – prinos (t ha⁻¹), \bar{X} – prosjek; G1-0 kg N ha⁻¹; G2-30 kg N ha⁻¹; G3-50 kg N ha⁻¹; G4-70 kg N ha⁻¹; G5-90 kg N ha⁻¹; G6-110 kg N ha⁻¹; U usporedbi po kolonama, vrijednosti iste slovne oznake nisu statistički značajne P<0,05

L1-locality Šljivoševci, L2-locality Čelije, S – plant density (number of plant m⁻²); ŽO – harvest remains (t ha⁻¹); P – yield (t ha⁻¹), \bar{X} – average; G1-0 kg N ha⁻¹; G2-30 kg N ha⁻¹; G3-50 kg N ha⁻¹; G4-70 kg N ha⁻¹; G5-90 kg N ha⁻¹; G6-110 kg N ha⁻¹

In columns comparison means with the same letter are not significantly different from each other P<0,05

Na masu žetvenih ostataka soje statistički su značajno utjecali lokalitet i gnojidba. Najveću masu žetvenih ostataka u prosjeku je imala soja na lokalitetu Šljivoševci (5,5 t ha⁻¹) dok je ona na lokalitetu Čelije iznosila 4,0 t ha⁻¹. U prosjeku za oba lokaliteta najveća masa žetvenih ostataka (5,7 t ha⁻¹) zabilježena je na tretmanu s 50 kg N ha⁻¹, a najmanja na kontrolnom tretmanu (3,1 t ha⁻¹). Uočena je vrlo značajna interakcija lokaliteta i tretmana gnojidbe. Sklop soje u prosjeku za oba lokaliteta iznosio je 53 biljke m⁻² i nije bio pod statistički značajnim utjecajem niti lokaliteta niti tretmana gnojidbe (Tablica 4).

Kukuruz

Produktivnost kukuruza u odnosu na ostale glavne žitarice je visoka, ali još uvijek ispod proizvodnog potencijala (Abebe i Feyisa, 2017). Gospodarenje dušikom u proizvodnji kukuruza je izrazito osjetljivo s obzirom na činjenicu da je dušik primarno element neophodan za rast i razvoj usjeva (Blumenthal i sur., 2008). Optimalna količina i vrijeme primjene dušičnih gnojiva povećava produktivnost i bolju iskoristivost hraniva, a smanjuje mogućnost onečišćenja okoliša (Fernández i sur, 2009; Nielsen, 2013). Luksuzna gnojidba kukuruza dušikom često ne rezultira

ra povećanjem prinosa, ali dovodi do povećane koncentracije nitrata u tlu što predstavlja realnu opasnost od ispiranja istih u podzemne vodotokove (Gehl i sur., 2005). Prinos zrna kukuruza u prosjeku je iznosio 7,59 t ha⁻¹ i bio je pod značajnim utjecajem lokaliteta i gnojidbe dušikom. Veći prinosi utvrđeni su na lokalitetu Šljivoševci (8,95 t ha⁻¹) u odnosu na Čelije (6,23 t ha⁻¹).

Tablica 5. Prinos zrna kukuruza, masa žetvenih ostataka i sklop na različitim tretmanima gnojidbe na lokalitetima Šljivoševci i Čelije

Table 5. Maize grain yield, mass of harvest remains and plant density on various fertilization treatments at the locations of Šljivoševci and Čelije

	L1			L2			\bar{X}		
	S	ŽO	P	S	ŽO	P	S	ŽO	P
G1	7,0	8,30	6,57	5,3	4,86	4,25	6,2 ^c	6,58	5,40 ^e
G2	8,0	9,52	7,82	5,7	5,12	4,62	6,8 ^a	7,32	6,22 ^{de}
G3	7,7	9,85	7,98	6,0	4,58	5,19	6,8 ^a	7,21	6,58 ^{cd}
G4	7,3	7,99	8,51	6,0	5,92	5,47	6,7 ^b	6,95	6,98 ^{cd}
G5	7,7	10,27	8,95	5,7	5,74	5,75	6,7 ^b	8,00	7,35 ^{bc}
G6	7,7	12,43	9,09	5,7	6,86	6,41	6,7 ^b	9,64	7,52 ^{bc}
G7	7,7	10,10	9,58	6,0	6,74	6,85	6,8 ^a	8,42	8,21 ^b
G8	7,7	10,37	9,73	5,7	6,00	6,86	6,7 ^b	8,13	8,29 ^b
G9	8,3	11,76	10,62	6,0	5,98	8,40	7,2 ^a	8,86	9,50 ^a
G10	8,0	10,57	10,63	6,0	7,37	8,52	7,0 ^{ab}	8,97	9,57 ^a
\bar{X}	7,8 ^a	10,11 ^a	8,95 ^a	5,8 ^b	5,92 ^b	6,23 ^b	6,8	8,02	7,58

L1-lokalitet Šljivoševci, L2-lokalitet Čelije, S – sklop (broj biljaka m⁻²); ŽO – žetveni ostatak (t ha⁻¹); P – prinos (t ha⁻¹), \bar{X} – prosjek; G1-0 kg N ha⁻¹; G2-stajski gnoj kg N ha⁻¹; G3-30 kg N ha⁻¹; G4-50 kg N ha⁻¹; G5-70 kg N ha⁻¹; G6-90 kg N ha⁻¹; G7-110 kg N ha⁻¹; G8-130 kg N ha⁻¹; G9-150 kg N ha⁻¹; G10-170 kg N ha⁻¹;

U usporedbi po kolonama, vrijednosti iste slovne oznake nisu statistički značajne P<0,05

L1-locality Šljivoševci, L2-locality Čelije, S – plant density (number of plant m⁻²); ŽO – harvest remains (t ha⁻¹); P – yield (t ha⁻¹), \bar{X} – average; G1-0 kg N ha⁻¹; G2 - manure kg N ha⁻¹; G3-30 kg N ha⁻¹; G4-50 kg N ha⁻¹; G5-70 kg N ha⁻¹; G6-90 kg N ha⁻¹; G7-110 kg N ha⁻¹; G8-130 kg N ha⁻¹; G9-150 kg N ha⁻¹; G10-170 kg N ha⁻¹; P<0,05

In columns comparison means with the same letter are not significantly different from each other P<0,05

Analizom dobivenih vrijednosti vidljiv je značajan utjecaj gnojidbe dušikom na visinu ostvarenog prinosa kukuruza (Tablica 5). Najveći prosječni prinos zabilježen je na tretmanu s najvećom dozom dušika (9,57 t ha⁻¹), dok je najmanji izmjeren na kontrolnom tretmanu (5,40 t ha⁻¹). Razlika u visini prinosa kod kukuruza na gnojidbenom tretmanu od 170 kg N ha⁻¹ i 150 kg N ha⁻¹ statistički nije bila opravdana, dok su prinosi na drugim gnojidbenim tretmanima bili statistički značajno niži. Abebe i Feyisa (2017) navode kako je količina dušika, ali i vrijeme primjene, presudno za visinu prinosa kukuruza te su u svom istraživanju zabilježili najveće prinose uz najveće doze dušika (92 kg N ha⁻¹ i 115 kg N ha⁻¹), a u zavisnosti o vremenu primjene gnojiva. Prosječan sklop kukuruza iznosio je 6,8 biljaka m⁻² i bio je pod značajnim utjecajem lokaliteta sa svojim agroekološkim specifičnostima te gnojidbom dušikom. Na lokalitetu Šljivoševci (Tablica 5) utvrđen veći sklop kukuruza (7,8 biljaka m⁻²) u odnosu na lokalitet Čelije (5,8 biljaka m⁻²) što je i logično, jer je na istom lokalitetu ostvaren i viši prinos. Najveći sklop u prosjeku je zabilježen na gnojidbenom tretmanu sa 150 kg N ha⁻¹ (7,2 biljaka m⁻²), a najmanji na kontrolnom tretma-

nu ($6,2 \text{ biljaka m}^{-2}$). Razlike u sklopovima kukuruza između svih gnojidbenih tretmana statistički nisu bile opravdane, osim u usporedbi s kontrolom. Na variranje mase žetvenih ostataka kukuruza, koja je u prosjeku iznosila $8,02 \text{ t ha}^{-1}$, statistički je značajno utjecao lokalitet sa svojim svojstvima, dok je utjecaj gnojidbe dušikom izostao. Veća masa žetvenih ostataka (u prosjeku 41 %) ostvarena je na lokalitetu Šljivoševci (Tablica 5).

Zaključak

Koncentracija nitratnog dušika u podzemnoj vodi na oba lokaliteta, mjerena tijekom istraživanja (2010.-2011.), kretala se od $16 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ do $34 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$, što je prema postojećem Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju. (NN 125/2013) relativno niska vrijednost. Koncentracija NH_4^+ se kretala u intervalu od $3,2$ do $9,3 \text{ mg NH}_4^+ \text{ dm}^{-3}$. Najveći prinos, najgušći sklop i najveća masa žetvenih ostataka pšenice ostvareni su na tretmanu sa 170 kg N ha^{-1} , dok su najmanji prinos, najrjeđi sklop i najmanja masa žetvenih ostataka zabilježeni na kontrolnom tretmanu i na tretmanu gnojidbe stajskim gnojem. Najveći prinosi zrna i najveća masa žetvenih ostataka soje ostvareni su na lokalitetu Šljivoševci i pri gnojidbi od 50 kg N ha^{-1} , dok su najmanji prinosi izmjereni na kontrolnom tretmanu. Sklop soje nije bio pod utjecajem lokaliteta niti gnojidbene doze dušika. Najveći prinosi zrna kukuruza izmjereni su u Šljivoševcima na tretmanu s 170 kg N ha^{-1} , a najmanji na kontroli. Masa žetvenih ostataka nije bila pod utjecajem gnojidbe, a najveći sklop je izmjeren na gnojidbenom tretmanu sa 150 kg N ha^{-1} na lokalitetu Šljivoševci. Dobiveni rezultati ukazuju na činjenicu kako količina dušika izravno utječe na visinu prinosa te je važno dobro poznavati dinamiku i raspoloživost hraniva i primjenjivati gnojiva u skladu s biološkim, ekonomskim i ekološkim uvjetima. Visinu prinosa potrebno je promatrati kroz profitabilnost proizvodnje istovremeno vodeći računa o očuvanju plodnosti tla, sprječavanju njegove degradacije i zaštiti okoliša. U cilju veće pouzdanosti zaključaka ovakva bi istraživanja trebalo provoditi tijekom većeg broja godina u različitim agroekološkim uvjetima.

Original scientific paper

Optimization of nitrogen crop fertilization in sustainable agriculture practices

Abstract

Sustainable agriculture is based on the principles of adaptation of agroecosystem to a particular area habitat factors and the optimal utilization of biological-physical-chemical resources. Optimal agrotechnical procedures are carried out by measures of good agricultural practice that will ensure stable yields without harmful effect on nature and the environment. The aim of this paper was to determine the optimum, profitable and environmentally acceptable nitrogen dose for the three most common crops in eastern Croatia: maize, wheat and soybean and to track and measure level of ground water and concentration of NO_3^- i NH_4^+ . The concentration of nitrate nitrogen in the groundwater at the locations of Šljivoševci and Čelije ranged from 16 to $34 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ and concentration of NH_4^+ from $3,2$ to $9,3 \text{ mg NH}_4^+ \text{ dm}^{-3}$. The highest yield, plant population density and the largest crop residue mass of winter wheat were achieved on treatment with 170 kg N ha^{-1} , while the lowest yields, plant population density and the crop residue mass were recorded on control and on treatment with manure. The highest yields and largest mass of soybean crop residue were measured at the location of Šljivoševci on treatment with 50 kg N ha^{-1} , while the lowest yields were measured on the control. The highest yields of maize were measured in Šljivoševci location on treatment with 170 kg N ha^{-1} and the lowest on control. The fertilization treatment did not have any effect on crop residue mass and the largest plant population density was measured on treatment with 150 kg N ha^{-1} at the Šljivoševci location. The obtained results point the great importance of knowing the dynamics and availability of nutrients in soil, especially nitrogen, and to apply fertilizers in accordance with biological, economic and ecological conditions. The yield level should be observed through the profitability of production and also at the same time take into account the preservation of soil quality, prevention of degradation and protection of the environment.

Keywords: nitrogen fertilization, sustainable agriculture, yield, field crops,

Literatura

- Abebe, Z., Feyisa, H. (2017) Effects of Nitrogen Rates and Time of Application on Yield of Maize: Rainfall Variability Influenced Time of N Application. *International Journal of Agronomy*, 2017, Article ID 1545280, 10 pages. DOI:10.1155/2017/1545280.
- Altieri, M.A. (1995) *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture, Second Edition*. CRC press.
- Bašić, F. (2013) *The Soils of Croatia*. World Soils Book Series. Springer.
- Blumenthal, J.M., Baltensperger, D.D., Cassman, K.G., Mason, S.C., Pavlista, A.D. (2008) Importance and Effect of Nitrogen on Crop Quality and Health. U: J.L. Hatfield, R.F. Follett, ur. *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management, Second Edition*. Elsevier, Oxford.
- Đurđević, B. (2014) *Praktikum iz ishrane bilja*. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
- FAO (2017) *Strategic work of FAO for Sustainable Food and Agriculture*. URL: <http://www.fao.org/3/a-i6488e.pdf> (10.03.2018.).
- Fernández, F.G., Nafziger, E.D., Ebelhar, S.A., Hoef, R.G. (2009) Managing nitrogen, Chapter 9. U: *Illinois Agronomy Handbook*. Univ. Illinois Coop. Ext. Serv, Urbana-Champaign. 113–132.
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960) Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden, II: Chemische Extraktionsmethoden zu Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199–215.
- Gai, Z., Zhang, J., Li, C. (2017) Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. *PLoS ONE*, 12 (4), e0174841. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0174841> (08.03.2018.).
- Gehl, R.J., Schmidt, J.P., Maddux, L.D., Gordon, W.B. (2005) Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils. *Agronomy Journal*, 97 (4), 1230–1238.
- Horvat, I., Senta, A., Racz, A. (2010) Praćenje koncentracije nitrata u vodi kopirivničkog vodovoda. *Sigurnost*, 52 (4) 359–365. URL: <https://hrcak.srce.hr/62378> (11.03.2018.).
- Horvat, D., Lončarić, Z., Vukadinović, V., Drezner, G., Bertić, B., Dvojković, K. (2006) The influence of mineral fertilization on winter wheat yield and quality. *Cereal Research Communications*, 34 (1), 429–432.
- Husnjak, S. (2014) *Sistematika tala Hrvatske*. Hrvatska sveučilišna naklada. Zagreb.
- International Standard Organisation, [ISO 11464: 1994 (E)] (1994a) Soil quality – pretreatment of samples for physico-chemical analyses.
- International Standard Organisation, [ISO 10390: 1994 (E)] (1994b) Soil quality – determination of pH.
- International Standard Organisation, [ISO 10693: 1995(E)] (1995) Soil quality – determination of carbonate content-volumetric method.
- International Standard Organisation, [ISO 14235: 1998 (E)] (2015) Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation.
- Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017) *Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena*. HDPOT, Osijek.
- Jug, I. (2008) *Uzroci kloroze kukuruza na čemozemu istočne Hrvatske*. Doktorska disertacija. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
- Lal, R. (2008) Soils and sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28 (1), 57–64.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd Edition*. Academic Press, London.
- Nielsen, R.B. (2013) *Root Development in Young Corn*. Purdue University Department of Agronomy. URL: <http://www.kingcorn.org/news/timeless/Roots.html> (05.03.2018.).
- NN 125/2013 *Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju*
- Ray, J.D., Heatherly, L.G., Fritsch, F.B. (2005) Influence of Large Amounts of Nitrogen on Nonirrigated and Irrigated Soybean. *Crop Sci.*, 46 (1), 52–60.
- Robertson, G.P., Vitousek, P.M. (2009) Nitrogen in Agriculture: Balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 97–125.
- Sorensen, R.C., Purcell, L.C. (1978) Nitrogen fertilization of soybeans. *Agronomy Journal*, 70 (2), 213–216.
- Sestak, I., Mešić, M., Zgorelec, Z., Kisić, I., Bacić, F. (2014) Winter wheat agronomic traits and nitrate leaching under variable nitrogen fertilization. *Plant, Soil and Environment*, 60 (9), 394–400.
- Tomer, M.D., Burkart, M.R. (2003) Long-Term Effects of Nitrogen Fertilizer Use on Ground Water Nitrate in Two Small Watersheds. *Journal of Environmental Quality*, 32, 2158–2171.
- Varga, B., Svečnjak, Z., Pospišil, A., Vinter, J. (2000) Promjene nekih agronomskih svojstava sorata ozime pšenice u ovisnosti o razini agrotehnike. *Agriculturae conspectus scientificus*, 65 (1), 37–44.
- Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011) *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.
- Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2016) Tlo, gnojidba i prinost. Elektroničko izdanje, (http://ishranabilja.com.hr/literatura/eKnjiga_Tlo-gnojidba-prinos.pdf) (22.02.2018.).
- WHO (2003) Ammonia in Drinking-Water. *Background Document for Preparation of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/1. World Health Organization, Geneva, Switzerland.