

Joanna LEMANOWICZ, Agata BARTKOWIAK

Zakład Biochemii, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Sub-Department Biochemistry, University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz

Wpływ intensywności uprawy roślin na zawartość i rozmieszczenie fosforu oraz metali ciężkich w wybranych profilach gleb płowych

Effect of cultivation intensity on the content and distribution of phosphorus and heavy metals in selected soil profiles of luvisols

Słowa kluczowe: fosfor, metale ciężkie, wskaźnik dystrybucji, gleba płowa

Key words: phosphorus, heavy metals, distribution index, luvisol

Wprowadzenie

Stopień intensywności technologii uprawy roślin wpływa na zmiany fizyczne i chemiczne gleb (Bartkowiak i Lemanowicz 2012). Nieprawidłowo zastosowane zabiegi agrotechniczne decydują o mobilności i dostępności składników pokarmowych dla roślin, ale również o stopniu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, które wprowadzane są wraz z nawozami mineralnymi, naturalnymi i organicznymi. Niezrównoważone nawożenie mineralne stosowane często

w celu pozyskania wysokich plonów prowadzi do zmian w dostępności składników pokarmowych poprzez migracje jonów w głębsze warstwy profilu glebowego (Kowalkowski i Buszewski 2002). W konsekwencji może to doprowadzić do degradacji środowiska glebowego (Kobierski i in. 2011). Całkowita zawartości makro- i mikroelementów w środowisku glebowym określa tylko poziom zasobności w dany składnik pokarmowy i nie informuje o zdolności pobierania tego pierwiastka przez rośliny.

Celem pracy było określenie wpływu dwóch typów technologii uprawy roślin na zmiany zawartości i zasobności fosforu ogółem i jego wybranych form oraz metali ciężkich.

Material i metody

Teren, z którego zostały pobrane próbki z profili glebowych, położony jest we wschodniej części Pojezierza Chodzieskiego, znajdującego się między Doliną Środkowej Noteci a Doliną Wełny, prawego dopływu Warty (Kondracki 2001) – rysunek 1.



RYSUNEK 1. Lokalizacja obszaru badawczego
FIGURE 1. Location of study area

Analizowany materiał badawczy został pobrany jesienią (trzecia dekada września) w 2011 roku i stanowił dwa profile gleby płowej, reprezentatywne dla różnych technologii uprawy roślin: profil sI – reprezentujący grunty orne w zmianowaniu z dominacją zbóż (technologia średnio intensywna), bez nawadniania oraz profil sII – reprezentujący grunty orne z uprawą warzyw (technologia intensywna), intensywnie nawożone i nawadniane. W roku przeprowadzonych badań uprawianymi roślinami były: w profilu sI pszenżyto, a w sII brokuł.

Próbki glebowe pobrano z każdego z poziomów genetycznych i oznaczono w nich podstawowe właściwości chemiczne: pH w KCl, węgiel związków organicznych (TOC) za pomocą analiza-

tora TOC Primacs firmy Scalar, zawartość fosforu ogółem (P_{og}) metodą Mehta i innych (1954), zawartość fosforu organiczny (P_{org}) wyliczono z różnicy między ogólną zawartością fosforu, oznaczonego w zmineralizowanych próbkach mieszaniną stężonych kwasów – azotowego (V), chlorowego (VII) i siarkowego (VI) w stosunku objętościowym 10 : 1 : 4, a zawartością fosforu mineralnego (P_{min}) oznaczonego w próbkach nieminerlizowanych, zawartość $CaCO_3$ metodą objętościową według Scheiblera (Lityński i in. 1976), całkowitą zawartość Zn, Cu i Ni, Pb, Cr po mineralizacji w mieszaninie kwasów $HF+HClO_4$ metodą Crocka i Seversona (1980).

Dystrybucję badanych pierwiastków w profilach glebowych opisano wartością wskaźnika dystrybucji (DI), obliczonego według wzoru Kobierskiego i innych (2011):

$$\text{wskaźnik dystrybucji (DI)} = \frac{\text{zawartość pierwiastka w poziomie solum}}{\text{zawartość pierwiastka w skale macierzystej}}$$

gdzie: $DI < 1$ – brak antropogenicznego oddziaływania, $1 \leq DI \leq 3$ – umiarkowana akumulacja, $3 \leq DI \leq 6$ – znaczna akumulacja, $DI > 6$ – bardzo duża akumulacja.

Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach. W pracy przedstawiono średnie arytmetyczne wyników. Dla stwierdzenia ewentualnych korelacji między parametrami gleby przeprowadzono analizę statystyczną wyników, wykorzystując program komputerowy Statistica 10.0.

Wyniki badań i dyskusja

Zawartość węgla w związkach organicznych kształtowała się w zakresie od 0,12 do 1,12 g·kg⁻¹. Największe wartości tego parametru odnotowano w poziomach powierzchniowych obydwu profili: profil sI – 1,12 g·kg⁻¹ i profil sII – 0,41 g·kg⁻¹. Były to wartości małe. Akumulacja substancji organicznej jest związana przede wszystkim z typami i rodzajami gleb, jak również z odmiennym sposobem ich użytkowania (Pranagal 2004). Odczyn wahał się w zakresie od pH 5,05 do 7,73. Analiza odczynu gleby wyraźnie świadczyła o wpływie technologii uprawy roślin. Zarówno zawartość węgla związków organicznych, jak i pH gleby wpływają na dostępność i mobilność większości metali (Gruca-Królikowska i Waclawek 2006). W wyniku przeprowadzonej analizy składu granulometrycznego stwierdzono, że poziomy powierzchniowe obydwu profili charakteryzowały się najmniejszym procentowym udziałem frakcji < 0,002 mm (tab. 1). Rozmieszczenie frakcji ilowej gleb jest odzwierciedleniem przebiegu procesu *lessivage* w badanych glebach płowych.

Fosfor ogółem w glebie płowej wybranych profili kształtował się na podobnym poziomie: średnio 0,158 g·kg⁻¹ dla profilu sI i 0,155 g·kg⁻¹ dla profilu sII (tab. 1). W badaniach Borie i Rubio (2003) zawartość P_{og} w glebach uprawnych wynosiła 0,258 g·kg⁻¹ i była większa o 28% w porównaniu z fosforem ogółem w glebach nieuprawnych. Nagromadzenie fosforu organicznego w glebach uprawnych stanowi 20–50% całkowitej zawartości tego składnika pokarmowego. W badanym profilu

TABELA 1. Wybrane właściwości chemiczne badanych gleb
TABLE 1. Selected chemical properties of studied soils

Nr profilu Profile no	Poziom Horizon	C _{org}	g·kg ⁻¹			P _{org} · P _{og}	P _{min}	C _{org} : P _{org}	P _{org} · P _{og} %	CaCO ₃ %	< 0,002	pH KCl
			P _{og}	P _{org}	P _{min}							
sI	Ap	1,12	0,302	0,130	0,172	8,583	43	0,43	6	6,68		
	Et	0,70	0,164	0,066	0,098	10,680	40	0,60	7	6,47		
	Btg	0,66	0,133	0,068	0,066	9,776	51	0,64	22	6,70		
	Cg	0,61	0,104	0,047	0,057	12,840	45	0,64	21	7,70		
sII	Ckg	0,38	0,087	0,038	0,049	9,977	44	9,44	16	7,16		
	Ap	0,41	0,324	0,087	0,238	4,724	27	0,52	6	5,94		
	Et	0,26	0,153	0,051	0,103	4,116	33	0,56	10	5,32		
	EB	0,18	0,143	0,050	0,093	3,630	35	0,60	16	5,05		
	Btg	0,18	0,117	0,050	0,067	3,597	43	0,52	18	5,59		
	Cg	0,16	0,102	0,036	0,066	4,423	35	0,52	9	6,31		
	Ckg	0,12	0,091	0,034	0,057	3,567	37	4,08	14	7,73		

sI zawartość ta kształtowała się od 40 do 51%, natomiast w profilu sII, reprezentującym gleby z technologią intensywną, była mniejsza – od 27 do 43% (tab. 1). Dostępność P_{org} dla roślin zależy od tempa mineralizacji, a nie od ogólnej zawartości związków organicznych, dlatego stosunek $C_{org} : P_{org}$ uważany jest za dobry wskaźnik mineralizacji fosforu ze związków organicznych w glebie. Stosunek $C_{org} : P_{org}$ w poziomach glebowych profilu sI był większy niż w profilu sII (tab. 1), co świadczy o mniejszym tempie mineralizacji organicznych połączeń fosforu. Prawidłowe nawożenie mineralne może przyspieszyć mineralizację fosforu ze związków organicznych, a tym samym zwiększyć dostępność tego składnika dla roślin, jednak zależy to od systemu nawożenia również w latach wcześniejszych (Potarzycki 2006).

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono różnice w zawartości fosforu mineralnego. W glebie profilu sII zawartość ta była większa ($0,057 - -0,238 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w porównaniu z profilem sI, w którym kształtowała się w zakresie od $0,049$ do $0,172 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 1). Intensywna technologia uprawy, a co z tym związane – wzmożone nawożenie mineralne spowodowało zwiększenie tej formy fosforu, która jednak nie w pełni może być przyswajana przez rośliny.

Zawartość całkowitych form wybranych mikropierwiastków kształtowała się następująco: Zn od $17,05$ do $39,85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Cu od $4,73$ do $12,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Ni od $4,68$ do $21,59 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Pb od $6,91$ do $10,41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i Cr od $10,96$ do $26,89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Zawartość całkowitych form badanych metali ciężkich układała się w następującym szeregu: $\text{Zn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb}$. Oceniając

stopień zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2002) w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnej zawartości dla analizowanych pierwiastków. Świadczy to o naturalnej ich zawartości w glebie (Terelak i in. 2000). Niezależnie od technologii uprawy rozkład profilowy zawartości badanych metali był silnie determinowany przez proces płowienia i największe wartości tych pierwiastków stwierdzono w poziomach wzbogacenia. Na poziom stężenia wyżej wymienionych pierwiastków duży wpływ miały przede wszystkim właściwości fizykochemiczne gleb uprawnych oraz działalność człowieka (Kabata-Pendias i Pendias 2001).

W warunkach niezmiennych przez człowieka zawartość metali ciężkich w glebach zależy od rodzaju skały macierzystej, procesów glebotwórczych oraz składu granulometrycznego (Czarnowska 1996). W badaniach stwierdzono statystycznie istotne zależności między zawartością Zn, Cu, Ni i Cr a frakcją $< 0,002 \text{ mm}$. Nie stwierdzono natomiast zależności statystycznie istotnych omawianych pierwiastków z węglem organicznym i odczynem gleby (tab. 4).

Wyliczone wskaźniki dystrybucji w przypadku Zn, Cu, Ni i Cr wskazują na wyraźną tendencję do akumulacji tych pierwiastków w poziomach wzbogacenia obydwu profili glebowych, co jest związane z procesem przemiany i nie ma charakteru antropogenicznego (tab. 3). Natomiast w przypadku ołowiu stwierdzono umiarkowaną akumulację we wszystkich poziomach genetycznych, wynikającą z intensyfikacji uprawy roślin.

TABELA 2. Całkowita zawartość metali w glebie
TABLE 2. Total content of metals in soil

Nr profilu Profile no	Poziom Horizon	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr
		mg·kg ⁻¹				
sI	Ap	18,49	5,43	5,030	9,84	10,96
	Et	17,05	6,66	5,640	7,45	21,60
	Btg	39,85	12,33	21,59	10,41	26,54
	Cg	36,83	10,94	18,38	8,75	26,14
	Ckg	35,48	10,68	14,60	8,25	20,64
sII	Ap	21,54	4,73	4,680	10,49	6,99
	Et	18,41	5,45	7,640	7,60	10,68
	EB	30,01	11,66	14,19	8,25	26,89
	Btg	34,76	11,96	17,94	9,39	22,88
	Cg	29,98	8,46	13,53	7,26	13,70
	Ckg	29,33	8,13	13,06	6,91	13,06

TABELA 3. Wartości wskaźnika rozmieszczenia *DI*
TABLE 3. Distribution index value (*DI*)

Nr profilu Profile no	Poziom Horizon	C _{org}	P _{og}	P _{org}	P _{min}	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr
		g·m ⁻²								
sI	Ap	4,48	3,39	3,25	3,61	0,57	0,58	0,63	1,30	0,65
	Et	2,80	1,84	1,85	1,83	0,53	0,71	0,41	0,92	1,28
	Btg	2,64	1,49	1,25	1,89	1,23	1,31	1,56	1,37	1,58
	Cg	4,44	1,17	1,05	1,31	1,14	1,16	1,33	1,15	1,55
sII	Ap	1,64	3,65	4,49	2,42	0,66	0,50	0,34	1,38	0,41
	Et	1,04	1,72	1,94	1,43	0,57	0,58	0,56	1,00	0,63
	EB	0,72	1,61	1,75	4,39	0,93	1,24	1,03	1,09	1,60
	Btg	0,72	1,31	1,26	4,39	1,07	1,27	1,30	1,24	1,36
	Cg	0,64	1,15	1,25	4,00	0,93	0,90	0,98	0,96	0,81

Zarówno w rozmieszczeniu fosforu ogółem, jak i jego form w badanych profilach zaobserwowano tendencję do ich akumulacji w poziomie Ap profilu sI oraz sII, o czym świadczą wskaźniki dystrybucji (*DI*) (tab. 3). Wyższe wskaźniki *DI* uzyskano w poziomach EB, Btg oraz Cg profilu sII (odpowiednio: 4,39, 4,39 i 4,00), co związane jest z intensywniejszą technologią uprawy roślin. Nawadnianie spowodowało przemieszczenie się fosforu mineralnego w głąb profilu glebowego, mimo iż pierwiastek ten należy do składników mało mobilnych. Natomiast P_{org} związany był z C_{org},

o czym świadczy istotny dodatni współczynnik korelacji ($r = 0,82$, $p < 0,05$) stwierdzony między tymi parametrami (tab. 4), dlatego też nie stwierdzono różnic w rozmieszczeniu P_{org} w głębszych warstwach profili sI oraz sII. Fosfor należy do pierwiastków trudno wymywanych w głąb profilu glebowego. Potwierdza to ujemna wartość wskaźnika korelacji między ilem koloidalnym a zawartością fosforu zarówno ogółem ($r = -0,69$, $p < 0,05$), jak i mineralnego ($r = -0,72$, $p < 0,05$) – tabela 4.

Stwierdzono istotnie ujemne korelacje między całkowitą zawartością

TABELA 4. Współczynniki korelacji istotne przy $p < 0,05$
 TABLE 4. Correlation coefficients significant at $p < 0,05$

Parametry Paramètres	C _{org}	P _{org}	P _{min}	P _{org}	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	< 0,002
C _{org}	–	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	0,82	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.
P _{ogt}		–	0,97	0,89	–0,64	–0,68	–0,72	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	–0,69
P _{min}			–	0,76	–0,65	–0,72	–0,75	n.i.-n.s.	–0,64	–0,72
P _{org}				–	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.	0,65	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.
Zn					–	0,91	0,96	n.i.-n.s.	0,67	0,92
Cu						–	0,94	n.i.-n.s.	0,88	0,89
Ni							–	n.i.-n.s.	0,74	0,95
Pb								–	n.i.-n.s.	n.i.-n.s.
Cr									–	0,78
< 0,002										–

n.i. – nieistotne / n.s. – not significant.

fosforu w glebie a cynkiem ($r = -0,64$, $p < 0,05$), miedzią ($r = -0,68$, $p < 0,05$) i niklem ($r = -0,72$, $p < 0,05$) oraz fosforem mineralnym a cynkiem ($r = -0,65$, $p < 0,05$), miedzią ($r = -0,72$, $p < 0,05$), niklem ($r = -0,72$, $p < 0,05$) i chromem ($r = -0,64$, $p < 0,05$) – tabela 4.

Wnioski

1. Uprawa roślin wpłynęła na zmiany odczynu, zawartości węgla w związkach organicznych, fosforu oraz jego form w glebie. Średnio intensywna technologia uprawy spowodowała wzrost omawianych parametrów.

2. Największą koncentrację zarówno fosforu, jak i cynku, chromu, niklu, miedzi i ołowiu stwierdzono w poziomach wzbogacenia (Ap) analizowanych profili glebowych, co było determinowane procesem płowienia, który wpłynął na wykształcenie tych gleb.

3. Całkowita zawartość fosforu oraz jego organicznych i mineralnych form, a także metali ciężkich w analizowanych glebach koreluje ze składem granulometrycznym gleby. Nie stwierdzono tych zależności od odczynu i zawartości węgla w związkach organicznych.

Literatura

- BARTKOWIAK A., LEMANOWICZ J. 2012: Właściwości chemiczne wybranych profili glebowych Basenu Unistawskiego na tle aktywności enzymatycznej. *Nauka Przyr. Technol.* 6, 3: 3.
- BORIE F., RUBIO R. 2003: Total and organic phosphorus in Chilean volcanic soils. *Gayana Bot.* 60 (1): 69–78.
- CROCK J.G., SEVERSON R. 1980: Four reference soil and rock samples for measuring

- element availability in the western energy regions. *Geochem. Survey Circular* 841: 1–16.
- CZARNOWSKA K. 1996: Ogólna zawartość metali ciężkich w skałach macierzystych jako tło geochemiczne gleb. *Rocz. Glebozn.* 47, supl.: 43–50.
- GRUCA-KRÓLIKOWSKA S., WACŁAWEK W. 2006: Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metodologia* 11 (1–2): 41–56.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS P. 2001: Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press. Taylor and Francis Group, Boca Raton FL.
- KOBIERSKI M., STASZAK E., KONDRATOWICZ-MACIEJEWSKA K., RUSZKOWSKA A. 2011: Wpływ rodzaju użytkowania gleb na zawartość metali ciężkich i ich dystrybucję w profilach gleb rdzawych. *Ochr. Środ. Zas. Nat.* 49: 163–177.
- KONDRACKI J. 2001: Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KOWALKOWSKI T., BUSZEWSKI B. 2002: Sorption and migration of selected heavy metals in different soil matrices. *Pol. J. Environ. Stu.* 11 (2): 135–139.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H., GORLACH E. 1976: Analiza chemiczno-rolnicza. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MEHTA N.C., LEGG J.O., GORING C.A., BLACK C.A. 1954: Determination of organic phosphorus in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 44: 443–449.
- POTARZYCKI J. 2006. Przemiany związków fosforu w glebie w zależności od systemu nawożenia w przeszłości. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 512: 465–473.
- PRANAGAL J. 2004: The effect of tillage system on organic carbon content in the soil. *Annales UMCS. E*, 59 (1): 1–10.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz jakości ziemi. Dz.U. nr 165, poz.1359.
- TERELAK H., MOTOWICKA-TERELAK T., STUCZYŃSKI T., PIETRUCH C. 2000: Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. IUNG Puławy, Warszawa.

Streszczenie

Wpływ intensywności uprawy roślin na zawartość i rozmieszczenie fosforu oraz metali ciężkich w wybranych profilach gleb płowych. W pracy przedstawiono wyniki badań nad całkowitą zawartością fosforu i jego wybranych form na tle właściwości chemicznych gleby płowej przy uprawie roślin o technologii średnio intensywnej (sI) i intensywnej (sII). W glebie oznaczono pH w KCl, zawartość węgla w związkach organicznych (TOC), fosforu ogółem (P_{og}), fosforu organicznego (P_{org}), fosforu mineralnego (P_{min}), $CaCO_3$, oraz formy całkowite Zn, Cu i Ni, Pb, Cr. Stwierdzono, że zastosowane technologie uprawy roślin wpłynęły na zmianę odczynu, zawartości węgla organicznego, fosforu i jego form. Badane parametry korzystnie kształtowały się w glebie, gdzie zastosowano średnio intensywną technologię uprawy. Stosunek $C_{org} : P_{org}$ w poziomach glebowych profilu sI był większy niż w poziomach profilu sII, co świadczy o mniejszym tempie mineralizacji organicznych połączeń fosforu. Największą koncentrację cynku, miedzi, niklu, ołowiu i chromu stwierdzono w poziomach wzbogacenia badanych profili, co było determinowane procesem płowienia. Na podstawie obliczonego wskaźnika dystrybucji (DI) stwierdzono wpływ technologii uprawy roślin zarówno na rozmieszczenie fosforu ogółem, jak i jego form w badanych profilach glebowych.

Summary

Effect of cultivation intensity on the content and distribution of phosphorus and heavy metals in selected soil profiles of luvisols. The paper presents the results of research into the total content of phosphorus and its selected forms against the chemical properties of Luvisol due to plant growing technologies applied: medium intensive (sI) and intensive (sII) technologies. In the soil

the following were determined: pH in KCl, total organic carbon (TOC), total phosphorus (P_{og}), organic phosphorus (P_{org}), mineral phosphorus (P_{min}), content of CaCO_3 , as well as the total contents of Zn, Cu and Ni, Pb, Cr. It was found that the plant growing technologies applied changed the reaction, total organic carbon, phosphorus and its forms. The macronutrients for the plants were more favourable in the soil with the medium intensive growing technologies used. The value of the ratio $C_{\text{org}} : P_{\text{org}}$ in the soil horizons of profile sI was higher than in the horizons of profile sII, which demonstrates a lower rate of mineralization of organic phosphorus bonds. The highest content of the zinc, copper, nic-

kel, chrome and lead investigated was recorded in horizons B of the profiles studied, which was determined by the process of soil washing. Drawing on the distribution index (*DI*) calculated, there was identified an anthropogenic effect on the distribution of total phosphorus and its forms in the soil profiles investigated.

Author's address:

Joanna Lemanowicz
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
w Bydgoszczy
Zakład Biochemii
ul. Bernardyńska 6, 85-129 Bydgoszcz
Polska
e-mail: j109@interia.pl; lemanowicz@utp.edu.pl