

NAWOŻENIE ORGANICZNE I REGULACJA ODCZYNU GLEBY JAKO CZYNNIKI OGRANICZAJĄCE FITOTOKSYCZNOŚĆ MIEDZI W UPRAWIE GORCZYCY BIAŁEJ

Stanisław Wróbel, Borys Hryńczuk, Karolina Nowak

Zakład Techniki Uprawy Roli i Nawożenia w Jelczu-Laskowicach,
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

Wstęp

Jedną z metod skutecznego zapobiegania fitotoksyczności metali ciężkich w uprawach rolnych jest ich unieruchamianie w glebie poprzez stosowanie substancji sorbujących. Obok minerałów ilastych, popiołów i zeolitów wysoką skutecznością w stabilizowaniu szkodliwych nadmiarów metali ciężkich w glebie odznaczają się różnego rodzaju substancje organiczne, jak: węgiel brunatny, kora drzewna, algi, wodorosty, torfy itp. Poszukiwanie i ocena działania tanich sorbentów naturalnych jest przedmiotem zainteresowania wielu ośrodków naukowych [GWOREK 1992; BAILEY i in. 1999; KYZIOŁ 2002]. W doniesieniach tematycznych wskazuje się także na poprawę skuteczności działania sorbentów organicznych poprzez stosowanie ich łącznie z wapnowaniem [GORLACH, GAMBUŚ 1991; KAROŃ 1996].

W pracy określano skuteczność wprowadzania do gleby lekkiej skażonej miedzią dodatków torfu i wermikompostu oraz CaCO_3 w zapobieganiu fitotoksycznemu oddziaływaniu Cu na gorczycę białą. Oceniano także przydatność metody tzw. analizy grupowej (z 1 mol HCl-dm^{-3}) w diagnozowaniu fitodostępności nadmiarów miedzi z gleby lekkiej.

Materiał i metody badań

Doświadczenia wazonowe dwuczynnikowe przeprowadzono w hali wegetacyjnej Zakładu Techniki Uprawy Roli i Nawożenia IUNG w Jelczu-Laskowicach w 2004 roku. Jednostkami doświadczalnymi były wazony typu Wagnera mieszczące 6 kg gleby. Do badań użyto warstwy próchnicznej gleby płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego i kwaśnym odczynie. Była to gleba średnio zasobna w makroelementy (P, K i Mg), o niskiej zawartości boru i średniej Cu, Mn, Mo oraz Zn [ZALECENIA NAWOZOWE 1990]. Czynnikiem I rzędu w doświadczeniu były poziomy skażenia gleby miedzią, $n = 4$ (A1 – 0, A2 – 150, A3 – 300

i A4 – 450 mg Cu·kg⁻¹ suchej masy gleby). Czynnikiem II rzędu – zabiegi remediacyjne, n = 9: dodatki torfu (T) lub wermikompostu (W) w ilości 3 lub 1,5% wagowych suchej masy gleby oraz CaCO₃ wg 1 lub 2 kwasowości hydrolitycznych gleby (Hh). Warianty czynnika II: B1 – 0; B2 – T 3%; B3 – W 3%; B4 – CaCO₃ – wg 1 Hh; B5 – CaCO₃ – wg 2 Hh; B6 – CaCO₃ wg 1 Hh + T 3%; B7 – CaCO₃ wg 1 Hh + W 3%; B8 – CaCO₃ wg 2 Hh + T 1,5%; B9 – CaCO₃ wg 2 Hh + W 1,5%. Rośliną testową była gorczyca biała odmiany 'Salvo' uprawiana jako plon po pszenzycie jarym (plon główny). Zarówno miedź w postaci roztworu CuSO₄·5 H₂O, jak i zabiegi remediacyjne zastosowano przedsięwzięcie pod plon główny (pszenżyto). Glebę dokładnie wymieszaną z odpowiednią dla podbloków A2, A3 i A4 ilością roztworu CuSO₄·5 H₂O poddano inkubacji przez okres 14 dni utrzymując jej wilgotność na poziomie 60% maksymalnej kapilarnej pojemności wodnej (MKPW), po czym napełniano nią wazon, ponownie dokładnie mieszając z CaCO₃, T i W według schematu doświadczenia. Do badań użyto torfu ogrodniczego (56% substancji organicznej, pH_{KCl} 5,7) i wermikompostu wyprodukowanego na podłożu z obornika bydlęcego (21% substancji organicznej, pH_{KCl} 6,2). Niezależnie od nawożenia podstawowego pod pszenżyto w ilościach powszechnie stosowanych w doświadczeniach wazonowych (z wyjątkiem Cu), gorczycę zasilono azotem stosując 0,6 g N-na wazon.

W okresie wegetacji wilgotność gleby w wazonach utrzymywano na poziomie 60% MKPW. Gorczycę zebrano w fazie przed kwitnieniem i określono wielkość plonów zielonej masy części nadziemnych. Po zbiorze oznaczono zawartość miedzi w roślinach, a w glebie pH_{KCl}, zawartość dostępnych form miedzi oraz próchnicy. Analizy chemiczne gleby i roślin wykonano w Głównym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG (certyfikat akredytacji nr AB 339 wydany przez PCA w Warszawie), metodami stosowanymi w stacjach chemiczno-rolniczych [METODY BADAŃ 1980a, b; METODY OZNACZANIA 1986]. W kontroli wewnętrznej GLACH stosuje wskaźnik Z-score |Z|, wyliczany na podstawie międzylaboratoryjnych i własnych oznaczeń kontrolnych (wyniki analiz uznaje się za poprawne, gdy |Z| ≤ 2). W dwóch seriach analiz na zawartość Cu w gorczycy dla celów niniejszej pracy |Z| wynosiło: (– 0,44) oraz (– 0,26). Wyniki opracowano statystycznie, wykonując analizę wariancji, korelacji i regresji.

Wyniki i dyskusja

Fitotoksyczność nadmiarów miedzi w badanej glebie lekko ujawniała się wyraźnie nawet przy najniższym skażeniu (150 mg Cu·kg⁻¹ gleby). W obiektach bez remediacji wschody były opóźnione, obserwowano zahamowanie rozwoju korzeni, a następnie nekrotyczne zmiany na liściach powodujące zamieranie roślin, w wyniku czego w podblokach z glebą silnie skażoną (A3 – 300 i A4 – 450 mg Cu·kg⁻¹ gleby) plonów nie uzyskano (tab. 1).

Stosowane zabiegi remediacyjne wykazały wysoką skuteczność w przywracaniu zdolności produkcyjnej glebie lekko skażonej miedzią, najwyższą, gdy nawożenie organiczne i wapnowanie zastosowano łącznie (tab. 1). Rola badanych czynników dobrze oddaje równanie regresji wielokrotnej wyliczonej dla plonu gorczycy (y), jako zmiennej zależnej (Cu_g – Cu dostępna·kg⁻¹ gleby, pH_g – pH gleby w 1 mol KCl·dm⁻³, SO_g – glebowa substancja organiczna w %).

$$y_{\text{plon}} = -41,69 - 0,40 \text{ Cu}_g + 23,79 \text{ pH}_g + 33,29 \text{ SO}_g \quad R^2 = 0,807 \quad \alpha < 0,01.$$

Tabela 1; Table 1

Średnie plony zielonej masy gorczycy (g na wazon) i indeksy tolerancji rośliny (T_i)
 Mean yields of the mustard green matter (g per pot) and plant tolerance indices (T_i)

Remediacja (czynnik II) Remediation (factor II)	Poziomy skażenia miedzią (czynnik I rzędu) Copper contamination level (I order factor)						
	A1 gleba naturalna natural soil	A2 150 mg Cu·kg ⁻¹		A3 300 mg Cu·kg ⁻¹		A4 450 mg Cu·kg ⁻¹	
		g	T_i	g	T_i	g	T_i
B1	114,9	3,2	0,03	0,0	–	0,0	–
B2	197,2	87,2	0,44	39,0	0,20	8,1	0,04
B3	144,9	44,9	0,31	12,4	0,09	2,4	0,02
B4	158,4	86,5	0,55	14,5	0,09	2,3	0,02
B5	173,8	72,8	0,42	26,2	0,15	7,5	0,04
B6	203,6	176,0	0,86	130,3	0,64	115,2	0,57
B7	188,2	157,6	0,84	51,1	0,27	46,6	0,25
B8	194,8	136,7	0,70	106,1	0,55	77,1	0,40
B9	147,6	128,3	0,87	65,9	0,45	30,2	0,21

$NIR_{<0,001}$; $LSD_{<0,001}$ II/I = 40,8; I/II = 33,6

Według KILKENSÁ i CAMERLYNCKA [1992] miarodajnym wskaźnikiem toksycznej ilości metalu ciężkiego w glebie jest tzw. indeks tolerancji (T_i) roślin definiowany jako stosunek wielkości plonu uzyskanego na glebie skażonej do plonu z gleby o naturalnej zawartości tego pierwiastka. Wartości $T_i < 1$ oznaczają spadki plonowania spowodowane fitotoksycznością metalu. Obliczony w badaniach własnych dla poszczególnych obiektów doświadczenia T_i potwierdza istotną rolę stosowanych zabiegów w przeciwdziałaniu fitotoksyczności nadmiaru miedzi (tab. 1). Najbardziej skuteczne ich działanie uzyskano, gdy dodatki substancji organicznej i wapnowanie zastosowano łącznie. Indeks tolerancji miedzi T_i w obiektach doświadczenia z glebą najslabiej skażoną (150 mg Cu·kg⁻¹ gleby) mieścił się wtedy w zakresie 0,70–0,87. W miarę postępującego skażenia gleby skuteczność remediacji była coraz słabsza, przy czym ujawniały się różnice pomiędzy zastosowanymi sorbentami organicznymi. Wyraźną przewagę w przywracaniu produktywności gleby wykazywał torf (zwłaszcza stosowany łącznie z wapnowaniem), podczas gdy na obiektach z wermikompostem notowano istotnie większe spadki plonów. Główną przyczyną lepszego działania torfu jest fakt, że wprowadzono w nim 2,7 raza więcej substancji organicznej niż z wermikompostem. Przy wszystkich poziomach skażenia, torf dodawany w ilości 3% masy gleby łącznie z CaCO₃ wg 1 Hh (wariant B6) przynosił najlepszy efekt remediacyjny w postaci przywracania poziomu plonowania w stosunku do gleby naturalnej (86%, 64% i 57% – odpowiednio), tab. 1.

Wprowadzenie 150 mg Cu·kg⁻¹ gleby spowodowało wielokrotny przyrost jej zawartości w biomacie gorczycy (500–700%), jednak kolejne dawki nie wywołały już tak dużych zmian. Zawartość ta zależała od sposobu zastosowanej remediacji i rzadko przekraczała 50 mg Cu·kg⁻¹ suchej masy określonej jako wartość progowa dla roślin pastewnych [KABATA-PENDIAS i in. 1993]. Najniższa zawartość Cu

w gorczycy występowała na ogół w obiektach doświadczenia, w których nawożenie organiczne stosowano łącznie z wapnowaniem (tab. 2). Ograniczona zdolność roślin do gromadzenia miedzi w częściach nadziemnych była powodem, że jej pobranie uzależnione było głównie od wielkości plonów, a więc najwyższe w obiektach A3B6 i A3B8. Warto zauważyć, że były to bardzo małe części (0,05% i 0,04%) wprowadzonej do gleby ilości miedzi w tym obiekcie (1800 mg Cu·wazon⁻¹), tab. 2.

Tabela 2; Table 2

Zawartość w roślinie (z) i pobranie (p) miedzi z plonem gorczycy
Copper content (z) in plant and uptake (p) of the element by mustard yields

Czynnik II Factor II	Czynnik I rzędu; I order factor							
	A1		A2		A3		A4	
	z	p	z	p	z	p	z	p
B1	6,20	70,1	44,8	17,9	b.m.	-	b.m.	-
B2	4,52	81,8	34,6	332,2	36,5	142,4	44,5	80,1
B3	4,80	68,6	25,6	166,4	44,2	79,6	b.m.	-
B4	4,33	63,6	30,9	299,7	55,2	115,9	b.m.	-
B5	3,97	63,1	25,4	200,7	54,9	148,2	50,2	80,3
B6	4,13	87,1	22,5	396,0	28,7	772,0	33,7	387,6
B7	4,41	80,7	22,3	408,1	38,2	156,6	30,3	242,4
B8	4,20	77,7	22,5	393,8	39,6	653,4	36,0	342,0
B9	4,29	53,2	24,8	347,2	41,8	142,1	41,1	127,4

z mg Cu·kg⁻¹ powietrznie suchej masy; mg Cu·kg⁻¹ air dried matter

p μg Cu·wazon⁻¹; μg Cu·pot⁻¹

b.m. brak materiału; no material available

A₁, A₂, A₃, A₄ – objaśnienia jak w tabeli 1; explanations see Table 1

Tabela 3; Table 3

Odczyn (pH_{KCl}) oraz zawartość miedzi rozpuszczalnej (mg Cu·kg⁻¹)
i substancji organicznej (SO – %) w glebie

Reaction (pH_{KCl}) and contents of soluble copper (mg Cu·kg⁻¹)
and organic matter (SO – %) in soil

Czynnik II Factor II	Czynnik I rzędu; I order factor											
	A1			A2			A3			A4		
	pH	Cu	SO	pH	Cu	SO	pH	Cu	SO	pH	Cu	SO
B1	4,6	3,7	1,32	4,5	130	1,16	4,5	248	1,18	4,7	390	1,17
B2	4,6	2,5	2,89	4,5	104	3,11	4,9	205	2,76	4,7	296	2,89
B3	4,9	4,7	1,59	4,8	109	1,62	4,7	207	1,37	4,6	308	1,46
B4	6,2	3,3	1,26	5,6	119	1,16	5,3	232	1,08	5,1	371	1,35
B5	7,1	4,0	1,27	7,0	120	1,26	7,0	241	1,21	6,8	360	1,21
B6	5,9	2,7	2,62	5,9	111	2,57	6,4	215	2,89	6,1	313	3,16
B7	6,3	4,8	1,52	6,0	117	1,36	5,8	229	1,45	5,5	343	1,54
B8	7,1	4,1	1,81	7,0	114	2,02	6,9	226	2,35	6,9	317	1,92
B9	7,0	3,6	1,36	7,0	112	1,36	7,0	232	1,35	6,8	330	1,28

A₁, A₂, A₃, A₄ – objaśnienia jak w tabeli 1; explanations see Table 1

Poziom uzyskiwanych plonów gorczycy był skorelowany negatywnie zarówno z zawartością miedzi przyswajalnej w glebie $r = -0,784$, jak i miedzi ogólnej w biomase $r = -0,876$ ($\alpha = 0,001$).

Zawartość miedzi przyswajalnej w glebie, oznaczonej metodą Rinkisa (ekstrakcja 1 mol HCl·dm⁻³) zależała od ilości, jaką dodano do gleby (tab. 3). Metodą tą ekstrahowano 83–87% ilości miedzi wprowadzanej. Wysoka wartość współczynnika korelacji pomiędzy oznaczoną frakcją miedzi glebowej a jej zawartością ogólną w roślinie ($r = 0,868$, $\alpha = 0,001$) świadczy o przydatności metody do celów diagnostycznych.

Dodatek 3% torfu, z którym wprowadzono do gleby najwięcej substancji organicznej (niezależnie od tego czy stosowano go oddzielnie, czy łącznie z CaCO₃) był czynnikiem w największym stopniu zwiększającym udział tej substancji w glebie, w stosunku do innych porównywanych kombinacji nawozowych. Maksymalne jej zawartości w glebie poszczególnych podbloków (poziomów skażenia gleby) pod wpływem dodatku torfu kształtowały się następująco: A1 – 219%, A2 – 268%, A3 – 245%, A4 – 270% (w stosunku do gleby obiektu kontrolnego B1), tab. 3.

Wnioski

1. W warunkach doświadczeń wazonowych, fitotoksyczność zastosowanych dawek miedzi (150–450 mg·kg⁻¹) na glebie lekkiej uniemożliwiła uprawę poplonową gorczycy białej bez uprzednio zastosowanej remediacji.
2. Wprowadzenie do gleby sorbentów organicznych w połączeniu z wapnowaniem przywracało plonowanie gorczycy, maksymalnie do poziomu 86% plonów z gleby naturalnej.
3. Najlepszym zabiegiem remediacyjnym w przeprowadzonych badaniach okazało się dodawanie do gleby skażonej 3% wagowych torfu łącznie z wapnem węglanowym wg 1 Hh.
4. W świetle przeprowadzonych badań oznaczenie miedzi przyswajalnej w glebie metodą ekstrakcji 1 mol HCl·dm⁻³ może być stosowane w diagnostyce skażenia gleb lekkich tym metalem.

Literatura

BAILEY S.E., OLIN T.J., BRICKA R.M., ADRIAN D.D. 1999. *A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals*. Water Research 33(11): 2469–2479.

GORLACH E., GAMBUŚ F. 1991. *The effect of liming adding peat and phosphorus fertilization on the uptake of heavy metals by plants*. Pol. J. Soil. Sci. XXIV(2): 199–204.

GWOREK B. 1992. *Zeolity a pobieranie mikroelementów przez rośliny*. Materiały VII. Sympozjum „Mikroelementy w rolnictwie”. 16–17 IX 1992, AR we Wrocławiu: 123–127.

KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITEK T. 1993. *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką*. Wyd. IUNG, Puławy P(53): 20 ss.

KARON B. 1996. *Wpływ odczynu oraz dodatków węgla brunatnego i torfu na fitotoksyczność miedzi*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 1006–1009.

KIEKENS L., CAMERLYNCK R. 1992. *Determination of upper critical level of heavy metals in plants*. Prot. VDLUFA Kongress, Munster: 255–261.

KYZIOŁ J. 2002. *Sorpcja i siła wiązania wybranych jonów metali ciężkich z substancją organiczną*. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze: 97 ss.

METODY BADAŃ 1980a. *Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych*. Cz. I. *Badanie gleb*. IUNG, Puławy: 76 ss.

METODY BADAŃ 1980b. *Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych*. Cz. II. *Badanie materiału roślinnego*. IUNG, Puławy: 126 ss.

METODY OZNACZANIA 1986. *Metody oznaczania ruchomych form mikroelementów w glebie do rutynowych oznaczeń w stacjach chemiczno-rolniczych (wspólna ekstrakcja 1 M HCl)*. IUNG, Wrocław: 11 ss.

ZALECENIA NAWOZOWE 1990. Cz. I. *Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów*. Praca zbiorowa, Wyd. IUNG, Puławy P(44): 34 ss.

Słowa kluczowe: skażenie miedzią, remediacja gleby, gorczyca biała

Streszczenie

Praca dotyczy oceny skuteczności stosowania sorbentów organicznych oraz wapnowania w zapobieganiu fitotoksyczności nadmiaru miedzi w uprawie gorczycy białej na glebie lekkiej. Badania przeprowadzono w dwuczynnikowych doświadczeniach wazonowych w 2004 roku (wazony Wagnera o pojemności 6 kg gleby). Glebę skażono, dodając 0, 150, 300 i 450 mg Cu·kg⁻¹ gleby. Najwyższą skuteczność remediacji (do 86% plonu z gleby naturalnej) uzyskano, gdy dodatki organiczne i wapnowanie stosowano łącznie. Najlepszą kombinacją zabiegów remediacyjnych okazało się wprowadzanie do gleby skażonej 3% torfu łącznie z CaCO₃ wg 1 Hh. Poziom plonów gorczycy był skorelowany negatywnie zarówno z zawartością miedzi przyswajalnej w glebie $r = -0,784$, jak i miedzi ogólnej w biomase $r = -0,876$ ($\alpha = 0,001$). Metodą Rinkisa (1 mol HCl·dm⁻³) ekstrahowano 83–87% ilości miedzi wprowadzanej do gleby. Istotna zależność korelacyjna pomiędzy oznaczoną frakcją miedzi glebowej a jej zawartością ogólną w roślinie ($r = 0,868$, $\alpha = 0,001$) świadczy o możliwości stosowania metody do celów diagnostycznych.

ORGANIC FERTILIZATION AND DEACIDIFICATION OF THE SOIL AS THE REMISSIVE FACTORS OF COPPER PHYTOTOXICITY AT WHITE MUSTARD CULTIVATION

Stanisław Wróbel, Borys Hryńczuk, Karolina Nowak

Department of Soil Tillage and Fertilization Techniques in Jelcz-Laskowice, Institute of Soil Science and Plant Cultivation, Puławy

Key words: copper pollution, soil remediation, white mustard

Summary

The study evaluated the effectiveness of organic sorbents and lime application to prevent the phytotoxicity of copper excess at white mustard cultivation on light soil. Two-factorial pot experiment was carried out in 2004 using Wagner's pots containing 6 kg soil. Copper was applied in doses of 0, 150, 300 or 450 mg Cu·kg⁻¹ soil. Best efficiency of the treatments applied (up to 86% control yield) was obtained at joint organic sorbent and lime application. Addition of 3% peat jointly with CaCO₃, applied according to 1 Hh, occurred to be most effective combination. The level of mustard yield was negatively correlated with both, available copper in soil $r = -0.784$ and total Cu content in biomass $r = -0.876$ ($\alpha = 0.001$). With the use of Rinkis' method (extraction with 1 mol HCl·dm⁻³) 83–87% copper introduced to soil was extracted. Significant positive correlation between determined fraction of copper in soil and its total content in plant $r = 0.868$ $\alpha = 0.001$ confirm the method usability to diagnostic purposes.

Doc. dr hab. Stanisław **Wróbel**
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Zakład Techniki Uprawy Roli i Nawożenia
ul. Łąkowa 2
55-230 JELCZ-LASKOWICE
e-mail: s.wrobel@iungwr.edu.pl