

Mirosław Wyszkowski*, Maja Radziemska*

**WPŁYW KOMPOSTU, ZEOLITU I TLENKU WAPNIA NA WYBRANE
WŁAŚCIWOŚCI GLEBY ZANIECZYSZCZONEJ CHROMEM
TRÓJ- I SZEŚCIOWARTOŚCIOWYM**

**EFFECT OF COMPOST, ZEOLITE AND CALCIUM OXIDE ON SOME
PROPERTIES OF SOIL CONTAMINATED WITH TRI- AND HEXAVALENT
CHROMIUM**

Słowa kluczowe: chrom (III), chrom (VI), kompost, zeolit, tlenek wapnia, właściwości gleby.

Key words: chromium (III), chromium (VI), compost, zeolite, calcium oxide, soil properties.

The purpose of this study has been to determine the influence of compost, zeolite and calcium oxide added to soil contaminated with chromium (III) and chromium (VI) in the doses of: 0, 25, 50, 100 and 150 mg Cr/kg d.m. on the soil's acidity and sorption parameters. The application of compost, zeolite or calcium oxide had a significant effect on the pH, hydrolytic acidity and sorption parameters of soil polluted with chromium (III) or (VI).

The application of trivalent chromium caused an increase in the soil's reaction but depressed its total exchange bases, cation exchange capacity and base cation saturation. Soil with hexavalent chromium had a higher reaction but lower hydrolytic acidity, total exchange bases and cation exchange capacity.

The addition of calcium oxide to soil raised the value of pH but decreased the hydrolytic acidity in the treatments with tri- and hexavalent chromium; it also lowered the total exchange bases and cation exchange capacity in the soil contaminated with chromium (VI). Zeolite and CaO had a positive influence on the total exchange bases, cation exchange capacity and base cation saturation, but only in the treatments with chromium (III).

* *Prof. dr hab. Mirosław Wyszkowski, dr inż. Maja Radziemska – Katedra Chemii Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 4, 10-727 Olsztyn; tel.: 89 523 33 02; e-mail: miroslaw.wyszkowski@uwm.edu.pl*

1. WPROWADZENIE

Metale ciężkie bardzo powoli migrują w głąb profilu glebowego, w związku z czym należą do najbardziej trwałych zanieczyszczeń – obecne w środowisku powodują biologiczną degradację gleby, a pobrane przez rośliny mogą być włączone w łańcuch pokarmowy [Kabata-Pendias i in. 1993]. Jednym z tych metali jest chrom [Lautenschläger i in. 2007]. Najbardziej rozpowszechnione w środowisku naturalnym są związki chromu na +3 i +6 stopniu utlenienia, które różnią się między sobą właściwościami chemicznymi oraz reaktywnością chemiczną i biologiczną [Shupack 1991, Leita i in. 2009]. Pierwotnym źródłem chromu w glebie jest skała macierzysta, ale znaczne ilości tego pierwiastka trafiają do niej ze źródeł antropogenicznych. Znaczne ilości chromu są wprowadzane do gleby również z nawozami oraz z innymi materiałami odpadowymi, wykorzystywanymi w nawożeniu. Zawierają one chrom w zmiennych ilościach, np. nawozy fosforowe – od 6 do 190 mg Cr/kg [Górecki 1990, Kabata-Pendias, Pendias 1999], a nawozy wapniowe – od ilości śladowych do 350 mg Cr/kg [Fotyma 1991]. Zachodzi zatem potrzeba ograniczenia wpływu chromu na gleby i rośliny, np. przez aplikację różnych substancji [Wyszkowski, Radziemska 2009a, 2009b, 2010, Wyszkowski, Ziółkowska 2007, 2008, 2009, 2011].

Celem niniejszych badań było określenie wpływu dodatku kompostu, zeolitu i tlenku wapnia wprowadzonych do gleby zanieczyszczonej Cr (III) i Cr (VI) na kwasowość i inne wybrane właściwości gleby.

2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Prezentowane wyniki pochodzą z doświadczenia wazonowego przeprowadzonego w hali wegetacyjnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Przedmiotem badań było określenie wartości odczynu (pH), kwasowości hydrolitycznej i właściwości sorpcyjnych gleby zanieczyszczonej chromem trój- i sześciowartościowym. Wykorzystaną w doświadczeniu glebę o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego charakteryzowały następujące właściwości: pH_{KCl} – 5,0, kwasowość hydrolityczna (Hh) – 26,6 mmol(H⁺)/kg gleby, suma wymiennych kationów zasadowych (S) – 100,0 mmol/kg, pojemność wymienna kationów (T) – 126,6 mmol/kg, wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V) – 79,0%, zawartość C_{org} – 7,87 g/kg, zawartość przyswajalnych: fosforu – 90,2 mg/kg, potasu – 37,9 mg/kg i magnezu – 77,0 mg/kg. W warunkach naturalnych była to gleba o składzie granulometrycznym piasku słabogliniastego (zawierająca frakcje w mm: <0,002 – 0,85%; 0,002-0,020 – 6,85%; 0,020-0,050 – 7,19%; 0,050-0,100 – 7,06%; 0,100-0,250 – 34,63%; 0,250-0,500 – 34,06%; 0,500-1,000 – 9,36%; 1,000-2,000 – 0%). Przed umieszczeniem w wazonach do gleby wprowadzono wodne roztwory chromu (III) w postaci $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ oraz chromu (VI) w formie $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, w ilościach 0 (kontrola), 25, 50, 100 i 150 mg Cr/kg gleby. Dodano także podstawowe makro- i mikroelementy, w następują-

cych ilościach w mg/kg gleby: N – 110 [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$], P – 50 [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$]; K – 110 [$\text{KCl} + \text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$], Mg – 50 [$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$], Mn – 5 [$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], Mo – 5 [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], B – 0,33 [H_3BO_3], a także jako dodatki kompost i zeolit w ilości 3% w stosunku do masy gleby oraz tlenek wapnia w ilości równoważnej 1 kwasowości hydrolitycznej (Hh).

Rośliną uprawną był owies (*Avena sativa* L.) odmiany Kasztan, w obsadzie 25 roślin w wazonie. W czasie wegetacji utrzymywano stałą wilgotność na poziomie 60% kapilarnej pojemności wodnej. Zbiór części nadziemnych (słomy i ziarna) oraz podziemnych (korzeni) wykonano w fazie dojrzałości pełnej.

Glebę poddano analizie chemicznej, oznaczając: odczyn (pH) gleby – metodą potencjometryczną w wodnym roztworze KCl o stężeniu 1 mol/dm³, kwasowość hydrolityczną (Hh) i sumę wymiennych kationów zasadowych (S) – metodą Kappena [Lityński i in. 1976]. Na podstawie kwasowości hydrolitycznej (Hh) i sumy wymiennych kationów zasadowych (S) obliczono całkowitą pojemność wymienną gleby (T) i stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi (V) według następujących wzorów: $T = S + \text{Hh}$; $V = S/T \cdot 100$. Otrzymane wyniki badań poddano analizie wariancji trójczynnikowej ANOVA programem STATISTICA [2008].

3. OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Parametrami, które kształtują i regulują procesy wymywania z gleby substancji chemicznych, takich jak składniki pokarmowe, jest zawartość kationów zasadowych oraz właściwości sorpcyjne [Hartmann i in. 1998]. Obecne w glebach metale ciężkie są wymieniane sorbowane przez kompleks sorpcyjny gleby, mogą również ulegać wytrąceniu w postaci związków nierozpuszczalnych, co może prowadzić do zmniejszenia zawartości ich wolnych form [Łabętowicz, Rutkowska 2001]. W prezentowanych badaniach na wartość odczynu, kwasowość hydrolityczną i właściwości sorpcyjne gleby, na której uprawiano owies, miały wpływ zarówno rodzaj, jak i dawka zanieczyszczenia oraz użyty kompost, zeolit i tlenek wapnia (tab.1–2). Odczyn jako jeden z głównych czynników wpływających na formę, w jakiej metale ciężkie występują w środowisku glebowym, decyduje o ich dostępności dla roślin.

Zwiększenie zawartości dostępnych form metali ciężkich w roztworze glebowym występuje w razie zmiany odczynu gleby do lekko kwaśnego i kwaśnego [Gębski 1998]. Wyższe wartości pH gleby w obiektach bez dodatków neutralizujących, charakteryzowały glebę zanieczyszczoną chromem sześciowartościowym (tab.1). W glebie tej zaobserwowano istnienie dodatniej korelacji ($r = 0,947$) między wartością pH a wzrastającym zanieczyszczeniem gleby chromem. Odwrotna zależność wystąpiła w przypadku chromu trójwartościowego – (III), gdzie dawka 150 mg/kg gleby spowodowała obniżenie wartości pH ($r = -0,596$), jakkolwiek dawki mniejsze sprzyjały niewielkiemu wzrostowi wartości pH gleby.

Tabela 1. pH i kwasowość hydrolityczna gleby

Table 1. pH and hydrolitic acidity of soil

Dawka chromu w mg/kg gleby	Rodzaj zanieczyszczenia									
	chrom (III)					chrom (VI)				
	rodzaj substancji łagodzącej działanie chromu									
	bez dodatków	kompost	zeolit	CaO	średnia	bez dodatków	kompost	zeolit	CaO	średnia
pH_{KCl}										
0	4,39	4,88	4,53	6,61	–	4,39	4,88	4,53	6,61	–
25	4,70	5,01	4,49	6,92	–	4,91	5,30	4,94	7,09	–
50	4,64	5,07	4,53	6,20	–	5,02	5,30	5,01	7,02	–
100	4,50	4,73	4,27	5,90	–	5,57	5,74	5,45	7,17	–
150	4,19	4,41	4,20	6,19	–	5,64	5,90	6,03	7,47	–
r	-0,596	-0,838**	-0,940**	-0,692*	–	0,947**	0,963**	0,990**	0,902**	–
kwasowość hydrolityczna w mmol(H ⁺)/kg s.m.										
0	24,1	24,8	25,3	15,5	22,4	24,1	24,8	25,3	15,5	22,4
25	23,7	23,7	25,6	17,5	22,6	24,8	23,6	27,1	14,3	22,5
50	23,6	24,2	26,7	18,5	23,3	21,3	21,8	22,7	14,2	20,0
100	24,5	26,3	26,9	20,9	24,7	19,3	19,5	20,2	17,4	19,1
150	26,8	30,2	27,2	21,5	26,4	17,9	19,5	16,1	12,5	16,5
Średnia	24,5	25,8	26,3	18,7	23,8	21,4	21,8	22,2	14,7	20,1
r	0,848**	0,896**	0,915**	0,964**	0,988**	-0,949**	-0,943**	-0,952**	-0,270	-0,973**
NIR	a – 0,79**, b – n. i., c – 1,11**, a · b – 1,76**, a · c – n. i., b · c – 2,49, a · b · c – n. i.									

Objaśnienia:

– nie obliczana; NIR dla: a – rodzaju zanieczyszczenia, b – dawki chromu, c – rodzaju substancji łagodzącej; NIR dla współdziałania: a · b (a – rodzaju zanieczyszczenia z b – dawką chromu), a · c (a – rodzaju zanieczyszczenia z c – rodzajem substancji łagodzącej), b · c (b – dawki chromu z c – rodzajem substancji łagodzącej), a · b · c (a – rodzaju zanieczyszczenia z b – dawką chromu i c – rodzajem substancji łagodzącej); n.i. – różnice nieistotne, ** – istotne dla p=0,01, * – istotne dla p=0,05; r – współczynnik korelacji.

Wskaźnikiem zakwaszenia gleb jest także wartość kwasowości hydrolitycznej [Andrzejewski 1993]. Na tę wartość w badaniach własnych wpływała dawka i forma chromu oraz

użyte substancje łagodzące: kompost, zeolit i tlenek wapnia (tab.1). W serii bez aplikacji substancji neutralizujących większe średnie wartości kwasowości hydrolitycznej gleb po zbiorze roślin charakteryzowały obiekty z chromem trójwartościowym – Cr (III). Na kwasowość hydrolityczną gleb po zbiorze owsa, w serii bez dodatków neutralizujących, istotnie, choć w nieukierunkowany sposób, wpływała wysokość dawki Cr (III). W serii tej dawka 150 mg Cr (III)/kg gleby spowodowała zwiększenie wartości kwasowości hydrolitycznej o 11% ($r = 0,848$). Odwrotne zależności stwierdzono w obiektach zanieczyszczonych chromem sześciowartościowym – Cr (VI), ponieważ największa jego dawka wywołała obniżenie kwasowości hydrolitycznej w glebie o 26% ($r = -0,949$).

W serii bez dodatków w glebie, na której uprawiano owies, obiekty z chromem sześciowartościowym charakteryzowała odpowiednio o 24% i 15% większa średnia wartość sumy wymiennych kationów zasadowych (S) oraz całkowitej pojemności wymiennej gleb (T) niż wazon z chromem trójwartościowym (tab. 2). W serii bez dodatków neutralizujących chrom trójwartościowy spowodował sukcesywne zmniejszenie sumy wymiennych kationów zasadowych i całkowitej pojemności wymiennej w miarę wzrostu zanieczyszczenia gleby. W serii tej najwyższa dawka Cr (III) – 150 mg/kg gleby – zmniejszyła odpowiednio o 35% ($r = -0,849$) i 27% ($r = -0,807$) wartość omawianych wskaźników, w porównaniu do wartości tych wskaźników w obiekcie kontrolnym (bez zanieczyszczenia). Podobny rezultat zanotowano w serii z chromem sześciowartościowym pod wpływem jego najwyższej dawki, jednakże w tym wypadku mniejsze dawki sprzyjały zwiększeniu zarówno sumy wymiennych kationów zasadowych, jak i całkowitej pojemności wymiennej gleby. W serii bez dodatków neutralizujących stopień wysycenia kationami zasadowymi gleby po zbiorze owsa w obiektach zanieczyszczonych Cr (VI) nie ulegał znaczącym zmianom. W analogicznej serii w obiektach z chromem trójwartościowym wystąpiła ujemna korelacja ($r = -0,969$) między zwiększającym się zanieczyszczeniem gleby Cr (III) a stopniem jej wysycenia kationami zasadowymi. Wartość omawianego parametru uległa zmniejszeniu o 9% w porównaniu do obiektu kontrolnego (bez zanieczyszczenia).

Dodane w celu neutralizacji zanieczyszczenia gleby chromem (III) i chromem (VI) substancje w sposób istotny modyfikowały jej właściwości (tab.1). W przeprowadzonym doświadczeniu wazonowym kompost i szczególnie tlenek wapnia w glebie z aplikacją Cr (III) przyczyniały się do zwiększenia pH gleby, w porównaniu do pH w serii bez dodatków. Podobny, lecz znacznie większy wpływ zaobserwowano w kombinacjach z chromem Cr (VI). W badaniach własnych w obiektach z chromem (III) i chromem (VI) tlenek wapnia najsukuteczniej wpływał na zmniejszenie kwasowości hydrolitycznej gleby, na której uprawiano owies, w porównaniu do obiektów, w których nie zastosowano substancji neutralizujących.

Tabela 2. Suma wymiennych kationów zasadowych (S), całkowita pojemność wymienna (T) i stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi (V)

Table 2. Exchangeable base cations (EBC), cation exchange capacity (CEC) and base saturation (BS) in soil

Dawka chromu w mg/kg gleby	Rodzaj zanieczyszczenia									
	chrom (III)					chrom (VI)				
	Rodzaj substancji łagodzącej działanie chromu									
	bez dodatków	kompost	zeolit	CaO	średnia	bez dodatków	kompost	zeolit	CaO	średnia
suma wymiennych kationów zasadowych w mmol(+)/kg s.m.										
0	110,0	94,0	90,0	102,0	99,0	110,0	94,0	94,0	102,0	100,0
25	86,0	76,0	98,0	96,0	89,0	108,0	122,0	122,0	86,0	109,5
50	82,0	82,0	120,0	92,0	94,0	102,0	106,0	106,0	84,0	99,5
100	74,0	86,0	112,0	98,0	92,5	100,0	102,0	102,0	88,0	98,0
150	72,0	62,0	106,0	104,0	86,0	104,0	90,0	90,0	70,0	88,5
Średnia	84,8	80,0	105,2	98,4	92,1	104,8	102,8	102,8	86,0	99,1
r	-0,849**	-0,727*	0,482	0,365	-0,719*	-0,661*	-0,453	-0,453	-0,838**	-0,790**
NIR	a – 1,14**, b – 1,81**, c – 1,61**, a · b – 2,55**, a · c – 2,28**, b · c – 3,61**, a · b · c – 5,11**									
całkowita pojemność wymienna w mmol(+)/kg s.m										
0	134,1	118,8	115,3	117,5	121,4	134,1	118,8	119,3	117,5	122,4
25	109,7	99,7	123,6	113,5	111,6	132,8	145,6	149,1	100,3	132,0
50	105,6	106,2	146,7	110,5	117,3	123,3	127,8	128,7	98,2	119,5
100	98,5	112,3	138,9	118,9	117,2	119,3	121,5	122,2	105,4	117,1
150	98,8	92,2	133,2	125,5	112,4	122,0	109,5	106,1	82,5	105,0
Średnia	109,3	105,8	131,5	117,1	115,9	126,3	124,6	125,0	100,7	119,2
r	-0,807**	-0,612*	0,519	0,724*	-0,477	-0,830**	-0,586	-0,620*	-0,794**	-0,855**
NIR	a – 1,43**, b – 2,27**, c – 2,03**, a · b – 3,21**, a · c – 2,87**, b · c – 4,54**, a · b · c – 6,42**									
stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi w %										
0	82,0	79,2	78,1	86,9	81,5	82,0	79,2	78,8	86,9	81,7
25	78,4	76,2	79,3	84,6	79,6	81,3	83,8	81,8	85,7	83,2

c.d. tab. 2 na str. 572

50	77,7	77,3	81,8	83,2	80,0	82,7	83,0	82,4	85,5	83,4
100	75,1	76,6	80,6	82,5	78,7	83,8	83,9	83,5	83,9	83,8
150	72,9	67,3	79,6	82,9	75,7	85,4	82,2	84,8	84,8	84,3
Średnia	77,2	75,3	79,8	84,0	79,1	83,0	82,4	82,2	85,3	83,2
r	-0,969**	-0,858**	0,329	-0,806**	-0,952**	0,951**	0,391	0,923**	-0,802**	0,892**
NIR	a - 0,64**, b - 1,01, c - 0,90**, a · b - 1,42**, a · c - 1,27**, b · c - 2,01**, a · b · c - 2,85*									

Objaśnienia: jak pod tabelą 1.

Zastosowane w celu neutralizacji zanieczyszczenia gleby związkami chromu trój- i sześciowartościowego (Cr III i Cr VI) dodatki łączące: kompost, zeolit i tlenek wapnia, istotnie modyfikowały sumę wymiennych kationów zasadowych, całkowitą pojemność wymienną i stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi po zbiorze uprawianych roślin (tab.2). W obiektach z chromem Cr (VI) wszystkie z użytych substancji neutralizujących, kształtowały ujemnie, ale w małym stopniu, średnią wartość sumy wymiennych kationów zasadowych w glebie, przy czym szczególnie niekorzystnie oddziaływał dodatek tlenku wapnia. Dodatnio na zawartość omawianego parametru w glebie z Cr (III) wpływała aplikacja zeolitu i w mniejszym stopniu tlenku wapnia, w odniesieniu do serii kontrolnej (bez dodatków). Zastosowanie substancji neutralizujących modyfikowało wartość całkowitej pojemności wymiennej gleby, przy czym korzystny wpływ na wartość omawianego parametru miał dodatek zeolitu i kompostu, ale tylko w obiektach z Cr (III). Kompost, zeolit i tlenek wapnia w obiektach zanieczyszczonych wysokimi dawkami Cr VI działały ujemnie na średnią wartość pojemności wymiennej gleby. W serii z Cr (III) na średni stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi najkorzystniej wpływał dodatek tlenku wapnia i w mniejszym stopniu zeolitu.

Zeolity wprowadzane do gleby mogą zwiększyć pojemność sorpcyjną gleby oraz zmniejszyć ilość fitoprzyswajalnych form metali ciężkich w glebie [Gworek 1992], a wapnowanie gleby poprawia w istotny sposób jakość próchnicy glebowej [Andrzejewski 1993]. Wprowadzana do gleby substancja organiczna przyczynia się do ograniczenia ilości dostępnych dla roślin form metali ciężkich [Gawęda 1995]. W badaniach Ruszkowskiej i in. [1996], Strączyńskiej [1998] i Gondka [2009] wapnowanie spowodowało istotne zwiększenie wartości pH gleby. Substancja organiczna wprowadzona do gleby wpływa na siłę, z jaką kwasowość wpływa na rozpuszczalność metali ciężkich w glebie [Mercik, Kubik 1995]. Chrom jest, w porównaniu z innymi metalami ciężkimi, najsilniej związany z frakcją organiczną gleby [Karathanasis, Pils 2005]. W badaniach Kwiatkowskiej i Maciejewskiej [2008] wprowadzenie do gleby substancji organicznej zwiększyło pojemność sorpcyjną, zawartość kationów zasadowych oraz stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi, zmniejszyło kwasowość hydrolytyczną oraz

zwiększyło pH gleby. Mazur i Sądej [2002] w doświadczeniu z nawożeniem organicznym zaobserwowali zmniejszenie zakwaszenia badanej gleby. Zmniejszenie kwasowości hydrolitycznej w doświadczeniu Barana i in. [1998] wystąpiło pod wpływem dodatku do gleby osadu komunalnego.

4. WNIOSKI

1. Zanieczyszczenie gleby chromem oraz dodatek kompostu, zeolitu i tlenku wapnia istotnie wpływały na pH, kwasowość hydrolityczną i właściwości sorpcyjne gleby zanieczyszczonej chromem trójwartościowym – Cr (III) oraz sześciowartościowym – Cr (VI).
2. Aplikacja chromu trójwartościowego spowodowała zwiększenie odczynu gleby i obniżenie sumy wymiennych kationów zasadowych, całkowitej pojemności wymiennej i stopnia wysycenia gleby kationami zasadowymi.
3. W glebie z dodatkiem chromu sześciowartościowego wystąpiło zwiększenie wartości odczynu gleby i obniżenie kwasowości hydrolitycznej, sumy wymiennych kationów zasadowych i całkowitej pojemności wymiennej.
4. Dodatek do gleby tlenku wapnia spowodował zwiększenie wartości pH i obniżenie kwasowości hydrolitycznej w obiektach z chromem trój- i sześciowartościowym oraz sumy wymiennych kationów zasadowych i całkowitej pojemności wymiennej w glebie z chromem sześciowartościowym. Zeolit i CaO korzystnie wpłynęły na sumę wymiennych kationów zasadowych, całkowitą pojemność wymienną i stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi, ale tylko w obiektach z chromem trójwartościowym.

Badania wykonane w ramach projektu MNiSW nr N N305 1059 33.

PIŚMIENNICTWO

- ANDRZEJEWSKI M. 1993. Znaczenie próchnicy dla żyzności gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. 411: 11–22.
- BARAN S., BIELIŃSKA J., WIŚNIEWSKI J. 1998. Wpływ stosowania niekonwencjonalnych nawozów wieloskładnikowych na wybrane właściwości gleby lekkiej. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rol. 190(72): 11–20.
- ŁABĘTOWICZ J., RUTKOWSKA B. 2001. Czynniki determinujące stężenie mikroelementów w roztworze glebowym. Post. Nauk Rol. 6: 75–85.
- FOTYMA M. 1991. Nawozy, gleba, roślina. IUNG.
- GAWĘDA M. 1995. The effect of organic matter in soil on the lead level in edible parts of lettuce and carrot. Acta Hort. 379: 221–228.
- GĘBSKI M. 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. Post. Nauk Rol. 5: 3–16.

- GONDEK K. 2009. Wpływ nawożenia na zawartość mobilnych form wybranych makroelementów w glebie oraz ich wymywanie w doświadczeniu wazonowym. *Acta Agroph.* 13(1): 89–101.
- GWOREK B. 1992. Wpływ zeolitów na pobieranie kadmu przez rośliny. *Arch. Och. Środ.* 3-4: 149–156.
- GÓRECKI H. 1990. Metale ciężkie w nawozach fosforowych i wieloskładnikowych. *Przem. Chem.* 69(1): 5–9.
- HARTMANN A., GRÄSLE W., HORN R. 1998. Cation exchange processes in structured soils at various hydraulic properties. *Soil Till. Res.* 47: 67–72.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITTEK T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG, Puławy.
- KARATHANASIS A.D., PILS J.R.V. 2005. Solid-phase fractionation of selected trace metals in some northern Kentucky soils. *J. Soil Sediment Contam.* 14: 293–308.
- KWIATKOWSKA J., MACIEJEWSKA A. 2008. Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. *Rocz. Gleboz.* 59: 128–133.
- LAUTENSCHLÄGER K.H., SCHRÖTER W., WANNINGER A. 2007. *Nowoczesne kompendium chemii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 540–543.
- LEITA L., MARGON A., PASTRELLO A., ARCON I., CONTIN M., MOSSETI D. 2009. Soil humic acids may favour the persistence of hexavalent chromium in soil. *Environ. Poll.* 157: 1862–1866.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H., GORLACH E. 1976. *Analiza chemiczno-rolnicza*. Wydawnictwo PWN: 129–132.
- MAZUR T., SADEJ W. 2002. Porównanie stanu zakwaszenia gleb w wyniku wieloletniego nawożenia gnojowicą, obornikiem i nawozami mineralnymi. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* 482: 375–383.
- MERCIK S., KUBIK I. 1995. Chelatowanie metali ciężkich przez kwasy humusowe oraz wpływ torfu na pobieranie Zn, Pb, Cd przez rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 422: 19–30.
- RUSZKOWSKA M., KUSIO M., SYKUT S., MOTOWIECKA-TERELAK T. 1996. Zmiany zawartości pierwiastków śladowych w glebach w warunkach doświadczenia lizymetrycznego. *Roczn. Gleboz.* XLVII (1/2): 23–32.
- SHUPACK S.I. 1991. The chemistry of chromium and some resulting analytical problems. *Environ. Health Perspect.* 92: 7–11.
- STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.** 2008. STATSOFT, INC

- STRĄCZYŃSKA S. 1998. Zmiany odczynu i właściwości sorpcyjnych gleb piaszczystych pod wpływem wieloletniego nawożenia mineralnego, organicznego i organiczno-mineralnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 165–168.
- WYSZKOWSKI M., RADZIEMSKA M. 2009a. The effect of chromium content in soil on the concentration of some mineral elements in plants. *Fresenius Environ. Bull.* 18(7): 1039–1045.
- WYSZKOWSKI M., RADZIEMSKA M. 2009b. Content of nitrogen compounds in soil polluted with chromium (III), chromium (VI) after application of compost, bentonite and calcium oxide. *Ecol. Chem. Eng. A* 16(8): 1039–1046.
- WYSZKOWSKI M., RADZIEMSKA M. 2010. The effect of chromium (III) and chromium (VI) on the yield and content of nitrogen compounds in plants. *Journal Toxicol. Environ. Heal. A* 73(17): 1274–1282.
- WYSZKOWSKI M., ZIÓŁKOWSKA A. 2007. Content of organic carbon and mineral components in soil contaminated with petroleum-derived substances. *Proceedings of SECO-TOX Conference and the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics* (eds. Kungolos A. et al.) 1: 77–82.
- WYSZKOWSKI M., ZIÓŁKOWSKA A. 2008. Effect of petrol and diesel oil on content of organic carbon and mineral components in soil. *Am.-Eurasian Journal Sustain. Agric.* 2 (1): 54–60.
- WYSZKOWSKI M., ZIÓŁKOWSKA A. 2009. Role of compost, bentonite and calcium oxide in restricting the effect of soil contamination with petrol and diesel oil on plants. *Chemosphere* 74: 860–865.
- WYSZKOWSKI M., ZIÓŁKOWSKA A. 2011. The importance of relieving substances in restricting the effect of soil contamination with oil derivatives on plants. *Fresenius Environ. Bull.* 20(3a): 711–719.