

Stanisław Wróbel

SKUTECZNOŚĆ SORBENTÓW ORGANICZNYCH W DETOKSYKACJI GLEBY ZANIECZYSZCZONEJ

Streszczenie. W badaniach oceniono fitotoksyczne oddziaływanie zanieczyszczenia gleby lekkiej nadmiarem miedzi i pozostałością herbicydu w doświadczeniach wazonowych z rzepakiem ozimym, a także skuteczność detoksykacji badanej gleby poprzez wprowadzanie sorbentów organicznych (torfu, biohumusu) oraz węgla wapnia. Badania przeprowadzono w warunkach hali wegetacyjnej, stosując symulacyjne skażenie gleby miedzią na poziomie 180 i 360 mg Cu·kg⁻¹ suchej masy gleby oraz pozostałością herbicydu w ilościach stwierdzanych w glebie w następstwie stosowania preparatu Starane 250 EC w uprawie przedplonu. Stwierdzono niekorzystne dla rozwoju roślin współdziałanie badanych polutantów, wyrażające się spadkami plonowania przy wzrostowej tendencji biodostępności miedzi. Zastosowana remediacja wyraźnie łagodziła skutki fitotoksyczności nadmiaru miedzi, jednak jej skuteczność była mniejsza na glebie zanieczyszczonej pozostałością herbicydu. Efekt ten wiązać można z wolniejszym przebiegiem procesów degradacji herbicydu w glebie obiektów doświadczenia zanieczyszczonych miedzią. Najwyższą skuteczność remediacji uzyskano pod wpływem łącznej aplikacji biohumusu i węgla wapniowego.

Słowa kluczowe: gleba lekka, nadmiary miedzi, pozostałości herbicydu, remediacja gleby, rzepak ozimy.

WSTĘP

Nadmiary metali śladowych w glebach użytków rolnych prowadzą w pierwszej kolejności do pogorszenia jakości uzyskiwanych płodów rolnych, ocenianej poprzez ponadnormatywne koncentracje tych pierwiastków. W następnym etapie następuje ograniczenie poziomu plonowania roślin. Uprawa roślin na glebach zanieczyszczonych wiąże się ze stosowaniem agrochemikaliów, istnieje więc potencjalne niebezpieczeństwo dodatkowego zanieczyszczenia takich gleb ich pozostałościami (np. herbicydów). Pozostałości substancji aktywnej herbicydów selektywnych, zastosowanych pod przedplon wykazywać mogą działanie fitotoksyczne na rośliny następcze [Sadowski, Kucharski 2010]. W takich przypadkach oczekiwać można ich współdziałania z metalami. Literatura tematyczna zawiera tylko nieliczne doniesienia dotyczące tego typu zagadnień [Samson, Popovic 1988, Juhasz i in. 2006].

Negatywne skutki zanieczyszczenia substancjami o działaniu fitotoksycznym, stosunkowo najczęściej ujawniają się na glebach lekkich, kwaśnych o uboższym

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław, e-mail: s.wrobel@iung.wroclaw.pl

kompleksie sorpcyjnym [Spiak i in. 2000, Feng i in. 2007]. W badaniach podkreśla się jednocześnie dobre rezultaty remediacji takich gleb, osiągane poprzez stosowanie sorbentów organicznych lub mineralnych z jednoczesną poprawą odczynu gleby [Kyzioł 2002, Wróbel 2007].

Celem badań przeprowadzonych w doświadczeniach wazonowych była ocena fitotoksycznego oddziaływania nadmiarów miedzi w glebie lekkiej na rozwój i plonowanie rzepaku ozimego oraz skuteczności przeciwdziałania poprzez wprowadzanie do gleby sorbentów organicznych (torfu i biohumusu), oddzielnie lub w łącznie z węglanem wapnia. W schemacie doświadczenia uwzględniono również obiekty z glebą zanieczyszczoną dodatkowo pozostałością herbicydu Starane 250 EC (substancja aktywna fluroksypyr).

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w dwuczynnikowym doświadczeniu wazonowym w hali vegetacyjnej Stacji Doświadczalnej IUNG PIB. Jednostkami doświadczalnymi były wazoni wykonane z polietylenu hostelenu GA/GC 7260, o pojemności 10 kg suchej masy gleby. Do badań użyto warstwy próchnicznej gleby płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego i kwaśnym odczynie. Gleba ta była średnio zasobna w podstawowe składniki pokarmowe (P, K, Mg, B, Cu, Mn, Mo i Zn), [Zalencenia 1990].

Doświadczenie prowadzono w 4 powtórzeniach według schematu:

Czynnik I rzędu (A) w doświadczeniu stanowiło symulacyjne zanieczyszczenie gleby, n=5

A1 – 0, gleba naturalna;

A2 - 180 mg Cu·kg⁻¹ suchej masy gleby;

A3 - 360 mg Cu·kg⁻¹ suchej masy gleby;

A4 - 180 mg Cu + 0, 050 mg herbicydu (H)·kg⁻¹ suchej masy gleby;

A5 - 360 mg Cu + 0, 200 mg herbicydu (H)·kg⁻¹ suchej masy gleby;

Czynnikami II rzędu (B- remediacja, n=6) było stosowanie torfu (T) lub biohumusu (BH) w dawce 3% suchej masy gleby oraz CaCO₃ w dawce według 1,5 kwasowości hydrolitycznej (1,5 Hh):

B1- 0, bez remediacji;

B2 - torf wysoki (T) - 3% suchej masy gleby;

B3 - biohumus (BH) - 3% suchej masy gleby;

B4 - CaCO₃ wg 1,5Hh gleby;

B5 – (T) 3% + CaCO₃ wg 1,5Hh;

B6 - (BH) 3%+ CaCO₃ wg 1,5Hh

Do badań użyto torfu wysokiego (71,6% substancji organicznej, pH_{KCl} – 4,6), biohumus o pH_{KCl} – 6,2 wytworzony przez dżdżownice kalifornijskie *Eisenia foetida* na bazie obornika bydłęcego zawierał 22,4 % substancji organicznej.

Glebę dokładnie wymieszaną z odpowiednią dla każdego z podbloków A2-A5 ilością roztworów CuSO₄·5H₂O oraz herbicydu Starane 250 EC poddano inkubacji przez okres 14 dni utrzymując jej wilgotność na poziomie 60% maksymalnej nasiąkliwości wodnej (MNW). Po okresie inkubacji glebę ponownie dokładnie mieszano

ze środkami remediacji tj. z torfem, biohumusem i CaCO_3 według schematu doświadczenia, po czym tak przygotowanym podłożem napełniano wazon. Rośliną testową był rzepak ozimy odmiany Kalifornia. Nawożenie podstawowe w doświadczeniu wynosiło (w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby): 0,2 N; 0,1 P; 0,2 K; 0,01 Mg. W okresie wegetacji wilgotność gleby w wazonach utrzymywano na poziomie 60% MNW (podlewanie ilością wody dejonizowanej ustaloną metodą wagową indywidualnie dla każdego wazonu). Części nadziemne rzepaku ozimego zebrano w stadium rozwojowym formowania pędów głównych, po czym i określono ich masę z poszczególnych wazonów. Pobrano próbki roślin i gleby do analiz chemicznych.

Oznaczono zawartość miedzi w roślinach, a w glebie pH_{KCl} , zawartość miedzi (formy rozpuszczalne w 1 mol HCl dm^{-3}) oraz węgla organicznego metodą Tiurina. Analizy wykonano w Głównym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG-PIB w Puławach (certyfikat akredytacji nr AB 339 wydany przez PCA w Warszawie), metodami przyjętymi w stacjach chemiczno-rolniczych [12]. Wyniki opracowano statystycznie wykonując analizę wariancji i korelacji przy użyciu programu Statgraphics Centurion XV.II.

WYNIKI I DYSKUSJA

Koncentracja miedzi w roślinach uprawianych na glebie zawierającej $180 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ (IV stopień zanieczyszczenia wg kryteriów IUNG PIB, w podbloku A2) wykazywała wysokie wartości, które dopiero w warunkach łącznej aplikacji sorbentów organicznych i CaCO_3 ulegały obniżeniu do poziomu dopuszczalnego dla przydatności paszowej roślin [Kabata-Pendias i in. 1993]. W warunkach silniejszego zanieczyszczenia gleby ($360 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ podblok A3), koncentracje Cu w biomase części nadziemnych rzepaku były odpowiednio większe, jednak wzrost zawartości metalu w roślinach nie przebiegał równomiernie ze wzrostem zanieczyszczenia gleby. Wykazane analitycznie zawartości Cu w roślinach z podbloku A3 nie zwiększały się proporcjonalnie wraz ze wzrostem zanieczyszczenia gleby. Wynikało to z powodu istnienia odpowiedniej bariery biologicznej u roślin ograniczającej transfer metalu z gleby o wyższym poziomie zanieczyszczenia do tkanek części nadziemnych roślin. Na istnienie takiej cechy u roślin w odniesieniu do miedzi wskazują wcześniejsze badania, [11,17,19]. Michaud i in. 2007 wykazali zawężanie się stosunku koncentracji Cu – części nadziemne/korzeń (w zakresie od 0,86 do 0,06) wraz ze wzrostem zawartości Cu w glebie, czego przyczyną było zatrzymywanie znacznych ilości Cu w korzeniach [Michaud i in. 2007].

Dodatkowe zanieczyszczenie gleby fluorksyperyem w podblokach (A3 i A5) było czynnikiem stymulującym pobieranie miedzi przez rośliny, w efekcie czego koncentracja Cu w biomase rzepaku zwiększała się, powodując dalsze spadki plonów (tab. 1 i 2). Negatywny wpływ fluorksypery, nasilający fitotoksyczność nadmiaru miedzi, był widoczny na wszystkich poziomach remediacji (tab. 1 i 2).

Wykazano dodatnią zależność korelacyjną pomiędzy zawartością w glebie miedzi rozpuszczalnej w 1 mol $\text{HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$, a zawartością tego metalu w częściach nadziemnych rzepaku: $r = 0,507$; $p = 0,001$.

Tabela 1. Zawartość miedzi w częściach nadziemnych rzepaku ozimego (w mg kg⁻¹ suchej masy)
Table 1. Copper concentration in winter rape aerial parts (mg kg⁻¹ of dry matter)

Czynnik II rzędu - remediacja Second rate factor - remediation		Czynnik I rzędu - zanieczyszczenie gleby First rate factor – soil contamination				
		A1	A2	A3	A4	A5
		Kontrola (gleba naturalna) Control (natural soil)	Cu 180 mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg·kg ⁻¹	Cu 180 mg + H* 0,05 mg mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg + H 0,20 mg mg·kg ⁻¹
B1	0 – bez remediacji 0 – no remediation	9,2	41,7	brak plonu	57,7	brak plonu
B2	Torf, peat	7,3	33,1	45,7	55,6	64,6
B3	Biohumus	6,7	29,8	39,4	40,6	56,7
B4	CaCO ₃ 1,5 Hh	6,4	31,9	42,0	42,4	60,1
B5	Torf+CaCO ₃ Peat + CaCO ₃	6,0	26,1	33,3	44,5	47,3
B6	Biohumus + CaCO ₃	6,4	22,9	29,3	35,0	37,6
NIR, LSD $P=0,01$		II(B)/I(A) = 10,9; I(A)/II(B) = 17,12				
Wartość krytyczna wg IUNG-PIB dla przydatności paszowej roślin [7] = 25 mg Cu·kg ⁻¹ suchej masy Critical values acc. to the ISSPC-SRI for fodder suitability of plants [7]= 25 mg Cu·kg ⁻¹ dry matter						

* herbicyd, herbicide

Najwyższe koncentracje miedzi w rzepaku stwierdzono w obiektach bez remediacji. Były one przyczyną istotnych spadków plonowania roślin w podbłokach A2 i A4 w stosunku do obiektu kontrolnego A1. W podbłokach A3 i A5 brak plonów uniemożliwił wykonanie analizy chemicznej. Bez wątplenia jednak, całkowita redukcja plonów wiązała się z wysoką koncentracją miedzi w biomase roślin z tych wariantów (tab. 1 i 2).

Spośród wariantów doświadczenia, w których zastosowano remediację, najwyższe koncentracje miedzi stwierdzano w roślinach z podbłoków o najwyższym poziomie zanieczyszczenia gleby (A3 i A5), w wariantach z dodatkiem do gleby pojedynczych substancji (B2, B3 i B4), (tab. 1). Wysokie koncentracje miedzi w biomase roślin wiązały się tutaj ściśle ze spadkami plonowania części nadziemnych łubinu (tab. 2). Ochronne działanie zabiegów remediacyjnych wyraźnie ograniczało pobieranie miedzi przez rośliny, zwiększając plony zielonej masy łubinu. Remediacja gleby przeprowadzona w postaci łącznej aplikacji sorbentów (T i BH) + CaCO₃

wyraźnie poprawiała tę niekorzystną sytuację ograniczając zawartość Cu w roślinach, co miało odbicie we wzroście plonowania roślin (tab. 1 i 2).

Tabela 2. Plony części nadziemnych rzepaku ozimego (zielona masa g · wazon⁻¹)

Table 2. Yields of winter rape aerial parts (green matter g · pot⁻¹)

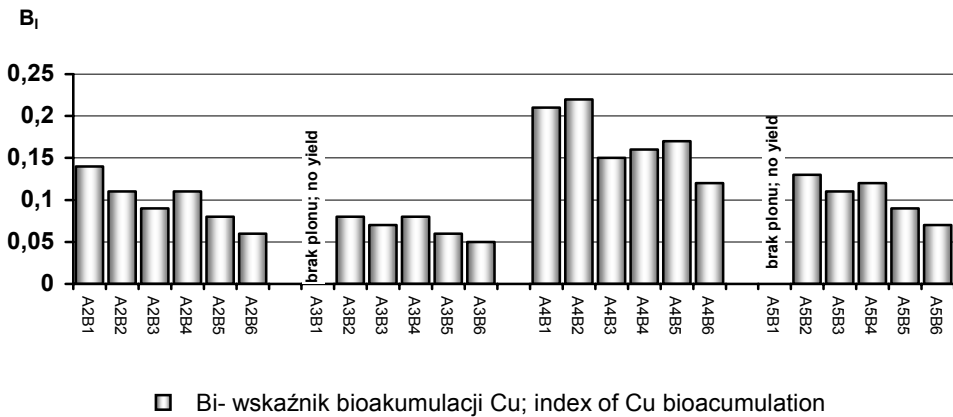
Czynnik II rzędu - remediacja Second rate factor - remediation		Czynnik I rzędu - zanieczyszczenie gleby First rate factor – soil contamination				
		A1	A2	A3	A4	A5
		Kontrola (gleba naturalna) Control (natural soil)	Cu 180 mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg·kg ⁻¹	Cu 180 mg + H 0,05 mg mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg + H 0,20 mg mg·kg ⁻¹
B1	0 – bez remediacji 0 – no remediation	36,4	18,0	brak plonu	11,0	brak plonu
B2	Torf, peat	58,1	23,3	11,6	19,7	7,6
B3	Biohumus	69,0	32,0	11,2	27,5	7,1
B4	CaCO ₃ 1,5 Hh	60,2	26,0	15,8	22,6	8,0
B5	Torf+CaCO ₃ Peat + CaCO ₃	71,4	36,6	20,2	33,3	13,4
B6	Biohumus + CaCO ₃	71,8	39,1	27,5	37,7	21,6
NIR, LSD _{P=0,01}		II(B)/I(A) = 7,11; I(A)/II(B) = 17,66				

Zabiegiem o najwyższej skuteczności ograniczania nadmiernych ilości Cu pobieranych przez rośliny okazało się stosowanie biohumusu łącznie z CaCO₃ w dawce według 1,5 kwasowości hydrolitycznej (wariant B6). Detoksykacyjny wpływ tego wariantu remediacji potwierdzają istotne korelacje, pomiędzy pH_{KCl} gleby, a masą plonów części nadziemnych łubinu: $r = 0,684$; $\alpha = 0,001$ oraz pomiędzy zawartością węgla organicznego w glebie po zakończeniu doświadczenia, a masą plonów części nadziemnych łubinu: $r = 0,705$; $\alpha = 0,001$. W przeciwieństwie do tego proces immobilizacji miedzi glebowej pod wpływem fizjologicznie kwaśnego torfu wysokiego był mniej efektywny, w znacznie mniejszym stopniu ograniczając koncentrację metalu w biomase łubinu (B2). Doniesienia literaturowe potwierdzają to wnioskowanie wskazując na wysoką skuteczność łączenia sorbentów organicznych z jednoczesną regulacją odczynu w detoksykacji gleb zanieczyszczonych nadmiarem miedzi [Adhikari, Mandal 1999, Khan, Jones 2009, Wróbel, Nowak-Winiarska 2011].

Niezależnie od sposobu prowadzonej remediacji obecność w podłożu fluorksy-pyru zwiększała poziom koncentracji Cu w roślinach, w rezultacie czego plony ule-

gały zmniejszeniu (tab. 1 i 2). Próbę wyjaśnienia tego zjawiska wiązać można z procesami chemicznymi, jakie mogą zachodzić między substancją aktywną herbicydu a metalem w glebie. Doniesienia z wcześniejszych badań wskazują na interakcje między metalami ciężkimi i herbicydami, oparte na kompleksujących właściwościach substancji czynnej herbicydów [Kobyłecka, Skiba 2008, Guo i in. 2009, Wróbel, Sadłowski 2012]. Z drugiej strony nadmierna zawartość metalu w glebie może negatywnie oddziaływać na aktywność mikrobiologiczną gleby, odpowiedzialną za degradację pozostałości herbicydu [Azmat i in. 2005].

Opisaną sytuację dobrze odzwierciedla wyliczony wskaźnik bioakumulacji miedzi (B_1), który jako stosunek przyrostu zawartości metalu w roślinie do przyrostu jego zawartości w glebie obrazuje zdolność metalu do przemieszczania się z gleby do tkanek roślinnych i sygnalizuje zaistnienie sytuacji sprzyjającej temu procesowi [Kiekens, Camerlynck 1992]. (rys. 1). Spadki wartości B_1 w podblokach A3 i A5 z wyższym poziomem zanieczyszczenia gleby miedzią wynikają z istnienia bariery biologicznej, co wyjaśniono wyżej. Widoczny jest stymulujący wpływ herbicydu w pobieraniu Cu przez rośliny w podblokach A4 i A5 w stosunku do podbloków A2 i A3.



Rys. 1. Wartości wskaźnika bioakumulacji miedzi (B_1) w obiektach doświadczenia

Fig. 1. Indices of copper bioaccumulation (B_1) in experimental treatments

Po zakończeniu doświadczeń wykonano analizę gleby oznaczając pH gleby (w 1 mol KCl dm^{-3}), zawartość węgla organicznego metodą Tiurina [Metody... 1980] oraz zawartość miedzi rozpuszczalnej w 1 mol HCl $\cdot \text{dm}^{-3}$ [Metody... 1986, Stanisławska-Głubiak, Korzeniowska 2010].

Analiza wykazała, że wprowadzenie do gleby sorbentów organicznych spowodowało istotne statystycznie przyrosty zawartości węgla organicznego, a pod wpływem CaCO_3 stosowanego według 1,5 kwasowości hydrolytycznej wartość pH gleby, zwiększała się w zakresie od 1,0 do 1,8 jednostki.

Tabela 4. Odczyn gleby po zbiorze rzepaku ozimego (pH w 1 mol KCl dm⁻³)

Table 4. Soil reaction after winter rape harvest (pH w 1 mol KCl dm⁻³)

Czynnik II rzędu - remediacja Second rate factor - remediation		Czynnik I rzędu - zanieczyszczenie gleby First rate factor – soil contamination				
		A1	A2	A3	A4	A5
		Kontrola (gleba natu- ralna) Control (natural soil)	Cu 180 mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg·kg ⁻¹	Cu 180 mg + H 0,05 mg mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg + H 0,20 mg mg·kg ⁻¹
B1	0 – bez remediacji 0 – no remediation	5,2	5,2	5,5	5,1	5,6
B2	Torf, peat	4,7	4,8	4,8	4,7	4,8
B3	Biohumus	6,9	6,8	6,4	6,7	6,4
B4	CaCO ₃ 1,5 Hh	7,0	6,8	6,6	6,8	6,5
B5	Torf+CaCO ₃ Peat + CaCO ₃	6,2	5,8	5,3	5,6	5,1
B6	Biohumus + CaCO ₃	7,1	7,0	7,0	6,8	7,0

Tabela 5. Zawartość węgla organicznego w glebie po zbiorze rzepaku ozimego (% C_{org.})

Table 5. Organic carbon contents in soil after winter rape harvest (% C_{org.})

Czynnik II rzędu - remediacja Second rate factor - remediation		Czynnik I rzędu - zanieczyszczenie gleby First rate factor – soil contamination				
		A1	A2	A3	A4	A5
		Kontrola (gleba natu- ralna) Control (natural soil)	Cu 180 mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg·kg ⁻¹	Cu 180 mg + H 0,05 mg mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg + H 0,20 mg mg·kg ⁻¹
B1	0 – bez remediacji 0 – no remediation	0,64	0,69	0,51	0,66	0,71
B2	Torf, peat	1,43	1,33	1,35	1,34	1,35
B3	Biohumus	1,09	1,19	1,01	1,24	0,87
B4	CaCO ₃ 1,5 Hh	1,03	0,87	0,68	0,96	0,62
B5	Torf+CaCO ₃ Peat + CaCO ₃	1,49	1,31	1,34	1,46	1,32
B6	Biohumus + CaCO ₃	1,23	1,29	1,22	1,35	1,14
NIR, LSD $P=0,01$		II(B)/I(A) = 0,49; I(A)/II(B) = 0,36				

Zwiększaniu się zawartości węgla organicznego w glebie wariantów doświadczenia, w których stosowano torf bez CaCO₃ (B2) towarzyszyła spadkowa tendencja wartości pH. Efekt ten wynikał z właściwości torfu wysokiego, kwaśnego fizjologicznie, nie sprzyjającej stabilizacji miedzi glebowej. Podobne wnioski wynikają z wcześniejszych badań prowadzonych w tym zakresie [Kyziół 2002, Gambuś i in. 2004, Wróbel, Nowak-Winiarska 2011].

Tabela 6. Zawartość w glebie miedzi rozpuszczalnej w 1 mol HCl dm⁻³, po zbiorze rzepaku ozimego (w mg·kg⁻¹ suchej masy gleby)

Table 6. Copper extracted with 1 mol HCl dm⁻³ concentration in soil after winter rape harvest (mg·kg⁻¹ soil dry matter)

Czynnik II rzędu - remediacja Second rate factor - remediation		Czynnik I rzędu - zanieczyszczenie gleby First rate factor – soil contamination				
		A1	A2	A3	A4	A5
		Kontrola (gleba natu- ralna) Control (natural soil)	Cu 180 mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg·kg ⁻¹	Cu 180 mg + H 0,05 mg mg·kg ⁻¹	Cu 360 mg + H 0,20 mg mg·kg ⁻¹
B1	0 – bez remedia- cji 0 – no remedia- tion	7,1	176 ⁹⁸	342 ⁹⁵	171 ⁹⁵	356 ⁹⁹
B2	Torf, peat	6,3	159 ⁸⁸	338 ⁹⁴	155 ⁸⁶	351 ⁹⁸
B3	Biohumus	6,1	150 ⁸⁴	321 ⁸⁹	150 ⁸³	333 ⁹²
B4	CaCO ₃ 1,5 Hh	5,5	167 ⁹³	324 ⁹⁰	159 ⁸⁸	328 ⁹¹
B5	Torf+CaCO ₃ Peat + CaCO ₃	4,1	149 ⁸³	318 ⁸⁷	145 ⁸⁰	328 ⁹¹
B6	Biohumus + CaCO ₃	4,7	144 ⁸⁰	295 ⁸²	149 ⁸³	317 ⁸⁸
NIR, LSD _{P=0,01}		II(B)/I(A) = 16,16; I(A)/II(B) = 43,09				

Objaśnienie: w indeksach górnych podano procentowy udział miedzi oznaczonej w glebie po zakończeniu doświadczenia, w zawartości wyjściowej.

Note: the superscripts give the percentage of copper determined in soil after experiment termination in initial concentration

Po zbiorze rośliny doświadczalnej oznaczono w glebie zawartość cynku metodą tzw. wspólnego wyciągu (roztwór 1 mol HCl·dm⁻³), przyjętego w praktyce analitycznej stacji chemiczno-rolniczych do analizy grupowej form przyswajalnych mikroelementów [Metody... 1986]. Metodą tą oznaczono 80-99% miedzi wprowadzonej do gleby, co wskazuje na stopień rozpuszczalności metalu pozostającego w glebie po zakończeniu doświadczenia oraz świadczy o przydatności metody do diagnozowania zanieczyszczeń gleby miedzią przyswajalną dla roślin.

WNIOSKI

1. Symulacyjne zanieczyszczenie gleby lekkiej miedzią na poziomie 180 i 360 mg Cu·kg⁻¹ gleby wywarło silne działanie fitotoksyczne na rośliny rzepaku ozimego, prowadzące do istotnych spadków plonowania (w tym całkowitej utraty plonu łącznie) oraz ponadnormatywnych koncentracji Cu w roślinach.
2. Zarówno wzrost poziomu zanieczyszczenia gleby miedzią jak i dodatkowe zanieczyszczenie gleby herbicydem Starane 250 EC było czynnikiem zwiększającym zawartość miedzi w roślinach i powodującym dalsze spadki poziomu plonowania części nadziemnych rośliny testowej.
3. Na podstawie wyliczonego wskaźnika bioakumulacji miedzi wykazano, że rośliny rzepaku posiadają zdolność ograniczania kumulacji miedzi w częściach nadziemnych.
4. Wszystkie zastosowane sposoby remediacji spowodowały modyfikacje właściwości chemicznych gleby korzystne w procesie ograniczania dostępności miedzi dla rośliny testowej. Najwyższą skuteczność detoksykacji badanej gleby uzyskano stosując biohumus łącznie z CaCO₃.

Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG PIB

LITERATURA

- Adhikari T., Mandal B. 1999. Effect of lime and organic matter on distribution of zinc, copper, iron, and manganese in acid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 30, (13&14), 1811-1819.
- Azmat, R., Akhatr, Y., Talar, R., Uddin, F. 2005. The inhibition on bean plant metabolism by Cd metal and atrazine. *Biotechnology*, 4(3), 238-242.
- Feng N., Dagan R., Bitton G. 2007. Toxicological approach for assessing the heavy metal binding capacity of soils. *Soil Sed. Cont.*, 16, 5: 451-458.
- Gambuś F., Rak M., Wieczorek J. 2004. Wpływ niektórych właściwości gleby na fitoprzysswajalność i rozpuszczalność cynku, miedzi i niklu w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 502(1): 71-79.
- Guo B.Y., Wei W.L., Lin J.M. 2009. The study of the interactions between heavy metals with sulfonylurea herbicides using ACE. *J. Chromatogr Sci.*, 47(2): 116-20S.
- Juhász E, Szabó R, Keserü M, Budai P, Várnagy L. 2006. Toxicity of a pendimethalin containing herbicide formulation and three heavy metals in chicken embryos. *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.* 71(2 Pt A): 107-10.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG Puławy. P(53):* 1-20.
- Khan M.J., Jones D.L. 2009. Effect of composts, lime and diammonium phosphate on the phytoavailability of heavy metals in a copper mine tailing soil. *Pedosphere*, 19(5): 626-631.
- Kiekens L., Camerlynck R. 1992. Determination of upper critical level heavy metals in plants. *Prot. VDLUFA Kongress, Munster:* 255-261.
- Kobylecka J., Skiba E. 2008. The effects of phenoxyacetic herbicides on the uptake of copper, zinc and manganese by *Triticum Aestivum* L., *Polish J. of Environ. Stud.*, 17, 6: 895-901.

- Kyzioł J. 2002. Sorpcja i siła wiązania wybranych jonów metali ciężkich z substancją organiczną na przykładzie torfów. PAN IPIŚ. Zabrze: 1-97.
- Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. 1980. Część I. Badanie gleb. Część II. Badanie materiału roślinnego. IUNG, Puławy: 1-126.
- Metody oznaczania ruchomych form mikroelementów w glebie do rutynowych oznaczeń w stacjach chemiczno-rolniczych (wspólna ekstrakcja 1 M HCl). 1986. IUNG Wrocław: 1-11.
- Michaud A.M., Bravin M.N., Galleguillos M., Hinsinger P. 2007. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil.*, 298, 1-2: 99-111.
- Sadowski J., Kucharski M. 2004. Wpływ czynników agrometeorologicznych na pobieranie i fitotoksyczność pozostałości herbicydów w glebie. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin*, 44(1): 355-363.
- Samson G., Popovic R. 1988. Use of algal fluorescence for determination of phytotoxicity of heavy metals and pesticides as environmental pollutants. *Ecotox. Environ. Saf.*: 272-278.
- Spiak Z., Romanowska M., Radoła J. 2000. Toksyczna zawartość cynku w glebach dla różnych gatunków roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 471: 1125-1134.
- Stanisławska-Głubiak, E., Korzeniowska, J. (2010) Usefulness of 1 mol HCl·dm⁻³ extractant to assess copper, zinc and nickel contamination in sandy soil. *Fresenius Environmental Bulletin.*, 19(4): 589-593.
- Wróbel S. 2007. Interaction of organic sorbents and liming in remediation of light soil contaminated with copper and zinc. *Biogeochemistry of trace elements*. Tsinghua University Press, Beijing: 931-933.
- Wróbel S., Nowak-Winiarska K. 2011. Interaction of Liming and Earthworm Humus in Detoxification of Soil Contaminated with Excess Copper. *Pol. J. Environ. Stud.*, 20, 6, 1611-1616.
- Wróbel S., Sadowski J. 2012. Interaction of copper and herbicide in contaminated soil under remediation. *Fres. Environ. Bull.* 21, 3: 599-603.
- Zalecenia nawozowe. 1990. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Praca zbiorowa. Wyd. IUNG Puławy, P (44): 1-34.

EFFECTIVENESS OF ORGANIC SORBENTS IN POLLUTED SOIL DETOXIFICATION

Abstract. The study has been carried out in order to assess the phytotoxic effect that light soil polluted with excess copper and herbicide residue can exert on winter rape plants. Another aim has been to evaluate the effectiveness of detoxifying the analyzed soil by amending it with organic sorbents (peat, biohumus) or/and calcium carbonate. The experiment consisted of pot trials, carried out in a greenhouse, in which the simulated soil contamination with copper reached the levels of 180 and 360 mg Cu.kg⁻¹ of soil dry matter and herbicide was introduced in the amounts determined in soil after the herbicide Starane 250 EC had been applied while cultivating the preceding crop. Adverse interaction of the analyzed pollutants on the crop development was observed with the bioavailability of Cu being elevated. Soil remediation alleviated the harmful effect of excess copper toxicity with this positive impact being impaired on soil polluted with herbicide residue. This effect can be associated with the reduced degradation of herbicide in the copper contaminated soil. The highest remediation effectiveness was achieved when soil had been amended with biohumus along with CaCO₃.

Keywords: Light soil, excess copper, herbicide residue, soil remediation, winter rape.