

Dorota Nowak*, Czesława Jasiewicz*, Dariusz Kwaśniewski**

**ZAWARTOŚĆ ROZPUSZCZALNYCH FORM PIERWIASTKÓW
ŚLADOWYCH W GLEBIE W TRZYLETNIM DOŚWIADCZENIU
POŁOWYM Z UPRAWĄ WIERZBY ENERGETYCZNEJ**

**THE CONTENT OF SOLUBLE FORMS OF TRACE ELEMENTS IN SOIL
IN THREE SUMMER CROP FIELD EXPERIMENT WITH WILLOW**

Słowa kluczowe: pierwiastki śladowe, formy rozpuszczalne, wierzba energetyczna.

Key words: trace elements, soluble forms, willow.

Streszczenie

Prezentowane w pracy badania miały na celu określenie zmian zawartości form rozpuszczalnych pierwiastków śladowych w glebie w trzyletnim doświadczeniu polowym z uprawy wierzby energetycznej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, w grudniu 2004 r.

Doświadczenie przeprowadzono na trzech poletkach, każde o powierzchni 58,8 m², na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego, według następującego schematu: obiekt kontrolny, obiekt z nawożeniem mineralnym NPK oraz obiekt z nawożeniem kompostem. Każde poletko podzielono na dwie części, na których wysadzono dwa klony wierzby 1052 i 1059, w rozstawie 0,7 x 0,7 m.

Z poletek pobierano próby glebowe, w których oznaczono zawartość pierwiastków śladowych w formie rozpuszczalnej w 1 mol HCl·dm⁻³. Zawartość mikroelementów w formie rozpuszczalnej wahała się w szerokim zakresie, w zależności od badanego pierwiastka, roku poboru próbek oraz zastosowanego nawożenia.

* *Prof. dr hab. Czesława Jasiewicz, mgr inż. Dorota Nowak – Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Wydział Rolniczo-ekonomiczny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. A. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; tel.: 12 662 43 41; e-mail: dorota_nowak3@vp.pl; rrjasiew@cyf.kr.edu.pl*

** *Dr inż. Dariusz Kwaśniewski – Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków; tel.: 12 662 46 21; e-mail: dariusz.kwasniewski@ur.krakow.pl*

Summary

The aim of this work was to evaluate the content of soluble forms of trace elements in the soil in field experiment in three summer of growing willow. The experiment was established at the Faculty of Agricultural Engineering Agricultural University in Krakow in December 2004.

The experiment was conducted on three plots, each with an area of 58.8 m², on the soil of granulometric composition of loamy sand strong, as follows: control object, the object with mineral NPK fertilizer and compost from the facility. Each plot was divided into two parts in which two clones of willow planted in 1052 and 1059, spaced 0.7 x 0.7 m.

The soil samples of plots in which to determine the content of trace elements in a form soluble in HCl 1 mol·dm⁻³. The content of trace elements in soluble form, varied widely depending on the test element, the year of sampling and applied fertilizer.

1. WPROWADZENIE

Badania dotyczące zawartości rozpuszczalnych form pierwiastków śladowych w glebach mają istotne znaczenie praktyczne, zarówno w prawidłowym żywieniu roślin [Czekała, Jakubus 2006, Korzeniowska, Stanisławska-Glubiak 2008], jak i w ocenie możliwości ich oddziaływania na środowisko [Chojnicki, Kowalska 2009]. Całkowite zawartości pierwiastków śladowych w glebie określają tylko stopień ich zasobności w dany pierwiastek i nie świadczą o możliwości pobierania tego pierwiastka przez rośliny. Rośliny pobierają tylko formy rozpuszczalne metali, jakie znajdują się w roztworze glebowym [Gorlach 1995, Gorlach, Gambuś 2000]. Istotne jest również to, że o ilości fitodostępnych form pierwiastków śladowych decydują m.in. takie właściwości gleby, jak: zawartość substancji organicznej, odczyn i skład granulometryczny [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Gębski 1998].

2. MATERIAŁ I METODYKA

Celem badań, których wyniki są analizowane w niniejszej pracy, było określenie zmian zawartości form rozpuszczalnych pierwiastków śladowych w glebie w trzyletnim doświadczeniu polowym z uprawą wierzby energetycznej.

Realizacja wymienionego wyżej celu wymagała założenia doświadczenia polowego przy Wydziale Agrotechnologii Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (obecnie Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki) w grudniu 2004 r. Doświadczenie przeprowadzono na trzech poletkach, każde o powierzchni 58,8 m², na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego, według następującego schematu: obiekt kontrolny, obiekt z nawożeniem mineralnym NPK oraz obiekt z nawożenia kompostem. Każde poletko podzielono na dwie części, na których wysadzono dwa klony wierzby 1052 i 1059, w rozstawie 0,7 x 0,7 m.

Glebę, na której założono doświadczenie, charakteryzował odczyn lekko kwaśny (pH_{KCl} 6,4), mała zawartość materii organicznej (1,87%), wysoka zawartość fosforu przyswajalnego ($178,5 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz średnia zawartość przyswajalnego potasu ($117,5 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. 2002, nr 165, poz. 1359) w glebie nie zostały przekroczone wartości dopuszczalne stężeń następujących metali ciężkich – Cr, Zn, Ni, Pb i Cd w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Według granicznych zawartości metali ciężkich określających stopień zanieczyszczenia gleby, opracowanych w IUNG [1992], w glebie, na której przeprowadzono doświadczenie, stwierdzono naturalną zawartość (stopień 0) Cr, Cu, Ni, Pb i Zn oraz zwiększoną zawartość (stopień 1) w stosunku do Cd.

Do badań zastosowano następujące komponenty:

- kompost dojrzały, o wilgotności = 45,28%, zawartości substancji organicznej = 43,73%, zawartości N ogólnego = 2,4 % s.m., zawartości P = 0,51 % s.m., zawartości K = 1,34 % s.m. oraz
- nawozy mineralne NPK, w postaci chemicznie czystych soli – NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ oraz KCl, w stosunku 1:1:1,5, czyli 20:20:30 kg (co było porównywalne z ilością składników NPK wprowadzonych z kompostem).

Po pierwszym i trzecim roku prowadzonego doświadczenia pobrano z poletek próby glebowe, w których oznaczono, metodą Rinkisa, zawartość pierwiastków śladowych w formie rozpuszczalnej w 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$. W badanych próbkach glebowych, oznaczono również:

- pH gleby,
- zawartość substancji organicznej

oraz

- zawartość przyswajalnych form potasu i fosforu, metodą Egnera-Riehma.

3. WYNIKI

Zawartość rozpuszczalnych form pierwiastków śladowych wahała się w szerokim zakresie w zależności od badanego pierwiastka, roku poboru próbek oraz zastosowanego nawożenia (tab. 1).

Na ilość zawartych w glebie rozpuszczalnych form badanych pierwiastków (Cr, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni oraz Fe), niewątpliwie wpłynął odczyn gleby (pH) oraz zawartość w niej substancji organicznej.

Tabela 1. Zawartość pierwiastków śladowych w formie rozpuszczalnej w glebie oznaczonej w 1 mol HCl-dm⁻³ po pierwszym i trzecim roku prowadzenia doświadczenia

Table 1. The content of trace elements in soluble form in the soil determined in 1 mol HCl-dm⁻³ after the first and third year of experience

Klon	Zawartość w mg·kg ⁻¹ s.m.													
	Cr		Zn		Pb		Cu		Cd		Ni		Fe	
	pobór próbek glebowych													
	I	III	I	III	I	III	I	III	I	III	I	III	I	III
kontrola														
A	0,9	1,6	45,9	38,8	20,0	27,0	6,6	7,1	0,7	0,5	1,2	1,6	1245	1490
B	1,2	1,3	37,9	33,6	21,6	22,4	6,0	8,6	0,6	0,7	1,1	1,1	1125	1255
nawożenie mineralne (NPK)														
A	0,9	0,9	44,5	47,2	21,1	26,0	7,9	8,8	0,7	0,8	1,3	1,2	1510	1515
B	0,9	1,4	37,0	38,8	20,6	24,0	8,2	8,5	0,6	0,7	1,3	1,2	1410	1405
kompost														
A	0,8	1,3	33,8	50,8	18,2	24,8	9,1	7,2	0,6	0,7	1,2	1,32	1380	1325
B	0,8	1,2	28,3	40,7	15,4	20,9	7,5	5,8	0,5	0,6	1,16	1,0	1370	1015

Objaśnienie: A – klon 1052, B – klon 1059; I – pobór próbek glebowych po pierwszym roku prowadzenia doświadczenia, III – pobór próbek glebowych po trzecim roku prowadzenia doświadczenia.

Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 1, zawartość rozpuszczalnych form chromu, kadmu, ołowiu, miedzi i niklu po pierwszym roku prowadzenia doświadczenia nie różniła się znacząco na obiektach z dodatkiem kompostu i z nawożeniem NPK w stosunku do obiektu kontrolnego. Zawartość chromu wahała się od 0,8 do 0,9 mg Cr·kg⁻¹ gleby, kadmu od 0,5 do 0,7 mg Cd·kg⁻¹ gleby, ołowiu 15,4 do 21,1 mg Pb·kg⁻¹ gleby, miedzi 7,5 do 9,1 mg Cu·kg⁻¹ gleby natomiast zawartość niklu wahała się od 1,1 do 1,3 mg Ni·kg⁻¹ gleby.

Pomimo niewystąpienia znaczących różnic w zawartościach rozpuszczalnych form wymienionych pierwiastków pomiędzy poszczególnymi obiektami po pierwszym roku prowadzenia doświadczenia, na uwagę zasługuje mniejsza zawartość chromu, cynku, ołowiu oraz kadmu, zwłaszcza na obiekcie z dodatkiem kompostu, w stosunku do zawartości tych pierwiastków na obiekcie kontrolnym. Znaczne różnice dotyczyły natomiast cynku (tab. 1). W odniesieniu do żelaza w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia, zwłaszcza na obiekcie z nawożeniem NPK, wyraźnie zaznaczył się wzrost zawartości rozpuszczalnej formy tego pierwiastka w stosunku do obiektu kontrolnego (tab. 1).

Tabela 2. Zawartość % materii organicznej, pH gleby po pierwszym roku prowadzenia doświadczenia oraz zawartość przyswajalnych form potasu i fosforu po trzecim roku prowadzenia doświadczenia

Table 2. % organic matter content, soil pH after the first year of experience and content of available potassium and phosphorus in the third year of experience

Klon	pH _{KCl}		Zawartość mat. organicznej w %		Zawartość w mg·kg ⁻¹ gleby	
	pobór próbek glebowych					
	I	III	I	III	III	III
kontrola						
A	7,26	6,35	1,72	1,29	42,0	108,4
B	7,27	6,40	2,02	1,40	43,3	123,7
nawożenie mineralne (NPK)						
A	6,80	6,57	1,37	1,45	43,9	124,7
B	6,98	6,51	1,28	1,50	57,0	141,0
kompost						
A	6,92	6,59	1,51	1,17	60,6	132,6
B	6,92	6,46	1,52	1,93	70,2	150,1

Objaśnienie: A – klon 1052, B – klon 1059; I – pobór próbek glebowych po pierwszym roku prowadzenia doświadczenia, III – pobór próbek glebowych po trzecim roku prowadzenia doświadczenia.

Po trzecim roku prowadzonego doświadczenia zawartości form rozpuszczalnych chromu, cynku i ołowiu – zarówno dla obiektu z dodatkiem kompostu, jak i z nawożeniem NPK – były większe niż w roku pierwszym (tab. 1). Zaobserwowano znaczącą różnicę zawartości cynku w glebie w formie rozpuszczalnej, zarówno w stosunku do kontroli, jak i do pierwszego roku badań, na obiekcie z dodatkiem kompostu. Wzrost zawartości form rozpuszczalnych wyżej wymienionych metali jest wynikiem zmniejszenia pH gleby do wartości odpowiadającej odczynowi lekko kwaśnemu po trzecim roku prowadzenia doświadczenia (tab. 2). Zawartość rozpuszczalnych form niklu wahała się w niewielkim zakresie (1,1–1,3 mg Ni·kg⁻¹ gleby), podobnie jak kadmu (0,6–0,8 mg Cd·kg⁻¹ gleby) oraz miedzi (5,8–8,8 mg Cu·kg⁻¹ gleby). Zawartość żelaza natomiast wahała się w szerokim zakresie, od 1015 do 1515 mg Fe·kg⁻¹ gleby.

4. PODSUMOWANIE

Badania dotyczące obciążenia gleb pierwiastkami śladowymi pod względem ich bio-przyswajalności są prowadzone od wielu lat [Brümmer i in. 1986, Kociołkowski, Komisarrek 1998]. Metoda oceny zawartości całkowitej lub zbliżonej do całkowitej pierwiastków śladowych w glebie jest mało precyzyjna, a ogólna zawartość pierwiastków śladowych w glebie nie zawsze jest bezpośrednim wskaźnikiem ich bioprzyswajalności [Gębski i in. 2000]. Spowodowane jest to dużą zmiennością niektórych czynników glebowych (np. od-

czyn gleby, zawartość substancji organicznej, pojemność sorpcyjna) oraz nawozowych, które mają duży wpływ na ilość fitodostępnych frakcji pierwiastków w glebie [Sady, Smoleń 2004] oraz mogą istotnie oddziaływać na ich przyswajalność biologiczną [Gambuś, Rak 2000, Gębski i in. 2000]. Z rolniczego punktu widzenia najważniejsza jest ocena dotycząca ilości pierwiastków śladowych w formie rozpuszczalnej – przyswajalnej dla roślin [Gorlach, Gambuś 2000].

Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy wskazują, że zastosowane nawożenie, wpływało niejednoznacznie na zawartość form rozpuszczalnych pierwiastków śladowych w glebie w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia. Po pierwszym roku badań, nawożenie mineralne, jak i nawożenie kompostem, spowodowało nieznaczne zmniejszenie zawartości cynku i chromu w glebie oraz w niewielkim stopniu zwiększenie zawartości miedzi, niklu i żelaza w stosunku do obiektu kontrolnego. Jest to niewątpliwie powiązane z odczynem gleby, który po pierwszym roku prowadzenia doświadczenia był obojętny i tym samym mógł wpłynąć na ilość rozpuszczalnych form tych pierwiastków.

Odczyn uważany jest za jeden z głównych czynników, który wpływa na formę, w jakiej metale ciężkie występują w środowisku glebowym, oraz na ich dostępność dla roślin [Chłopecka 1994, Gębski 1998, Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Na zawartość badanych pierwiastków śladowych w glebie wpływ mogła mieć również zawartość materii organicznej (tab. 1). Na podstawie badań wielu autorów [Łabętowicz, Rutkowska 2001] materia organiczna może wiązać specyficznie metale w związki nierozpuszczalne lub trudno rozpuszczalne w wodzie, ograniczając ich desorpcję do roztworu glebowego, a tym samym ich mobilność w glebie. Substancja organiczna, zarówno występująca w glebie, jak i ta wprowadzana do gleby wraz z nawozami naturalnymi, organicznymi i organiczno-mineralnymi, przyczynia się do ograniczenia ilości dostępnych dla roślin form metali ciężkich, a tym samym do uzyskania plonu charakteryzującego się zmniejszoną zawartością omawianych pierwiastków [Curyło i Jasiewicz 1998].

Po trzecim roku badań zaobserwowano natomiast nieznaczne zwiększenie zawartości chromu, ołowiu i kadmu w formach rozpuszczalnych w stosunku do pierwszego roku badań. Stwierdzono również zwiększenie zawartości form rozpuszczalnych cynku zarówno w odniesieniu do obiektu kontrolnego, jak i w odniesieniu do pierwszego roku prowadzenia doświadczenia (tab. 1).

Cynk jest jednym z bardziej ruchliwych metali w glebie, a jego przyswajalność przez rośliny jest duża ze względu na dużą rozpuszczalność związków, w których występuje [Gambuś i in. 2000]. Zdaniem wielu autorów [Sanders, Adams 1987, Curyło 1996] wzrost kwasowości gleby ma decydujący wpływ na rozpuszczalność cynku, a tym samym na jego biodostępność i aktywność. Według Gębskiego [1998] najbardziej podatne na zmiany wartości pH są cynk i kadm. Wzrost rozpuszczalnych form pierwiastków śladowych w glebie, wynika niewątpliwie z obniżenia pH gleby i zmiany jej odczynu z kwaśnego do lekko kwaśnego po trzecim roku prowadzenia doświadczenia (tab. 2). Jak podaje Chłopecka

[1994] oraz Gębski [1998], zmiana odczynu gleby do lekko kwaśnego i kwaśnego powoduje zwiększenie stężenia metali ciężkich w roztworze glebowym dostępnych dla roślin, a tym samym podwyższenie wartości wskaźnika ich akumulacji w roślinach. Jest to spowodowane zwiększeniem rozpuszczalności chemicznych połączeń tych pierwiastków, jak również zmniejszeniem ich absorpcji na koloidach glebowych przy niskim odczynie gleby [Sady, Smoleń 2004].

Należy również pamiętać, że stosowane nawozy jedno-, dwu- oraz wieloskładnikowe oddziałują na wiele właściwości fizykochemicznych i biologicznych gleby, co powoduje zwiększenie lub zmniejszenie ilości fitodostępnych form metali ciężkich w środowisku glebowym. Z drugiej strony nawozy te zawierają pewne ilości metali ciężkich, które po wprowadzeniu do gleby zwiększają w niej stężenie fitodostępnych form tych pierwiastków [Nowak i Wojtasik 1997, Gębski 1998, Sady i Rożek 2002].

5. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zawartość w glebie rozpuszczalnych form pierwiastków śladowych wahała się w szerokim zakresie w zależności od rodzaju badanego pierwiastka, roku prowadzenia doświadczenia oraz formy nawożenia.
2. Zastosowane nawożenie mineralne NPK oraz nawożenie kompostem wpływało niejednoznacznie na zawartość rozpuszczalnych form pierwiastków śladowych w glebie w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia.
3. Na zawartość przyswajalnych form badanych pierwiastków największy wpływ miał odczyn gleby oraz zawartość w niej substancji organicznej.

PIŚMIENNICTWO

- BRÜMMER B. G., GERTH J., HERMS U. 1986. Heavy metal species, mobility and availability In soils. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149: 382–398.
- CHŁOPECKA A. 1994. Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartość w roślinach. IUNG, Seria R.
- CHOJNICKI J., KOWALSKA M. 2009. Rozpuszczalne Zn, Cu, Pb i Cd w uprawnych glebach płowych, wytworzonych z pokrywowych utworów pyłowych równiny Błońskiego-Sochaczewskiej. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 40: 49–55.
- CURYŁO T. 1996. Wpływ odczynu gleby na pobieranie cynku, miedzi i niklu przez rośliny owsa. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 434: 49–54.
- CURYŁO T., JASIEWICZ C. 1998. Porównanie wpływu wieloskładnikowych nawozów organiczno-mineralnych i mineralnych na plonowanie oraz pobieranie metali ciężkich przez rośliny. Fol. Univ. Agr. Stet.–Agr. 72: 35–41.

- CZEKAŁA J., JAKUBUS M. 2006. Influence of Long-Term Plant Cultivation and Nitrogen Fertilization on the Content of Soluble Forms of trace Elements in a Lessive Soil. *Pol. J. Environ. Stud.* 15, 2a: 36–42.
- GAMBUŚ F., RAK M., WIECZOREK J. 2000. Ocena możliwości akumulacji cynku w glebach regionu krakowskiego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 472: 259–265.
- GAMBUŚ F., RAK M. 2000. Wpływ właściwości gleby na rozpuszczalność związków kadmu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 472: 251–257.
- GĘBSKI M. 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. *Postępy Nauk Rolniczych* 5: 3–16.
- GĘBSKI M., STĘPIEŃ W., MERCIK S. 2000. Ocena metod oznaczania metali ciężkich w glebie w oparciu o ich zawartości w roślinach. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 472: 267–273.
- GORLACH E. 1995. Metale ciężkie jako czynnik zagrażający żyzności gleby. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 421a: 113–122.
- GORLACH E., GAMBUŚ F. 2000. Potencjalne toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 472: 275–296.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. PWN, Warszawa.
- KOCIOŁKOWSKI W.Z., KOMISAREK J. 1998. Porównanie roztworów ekstrakcyjnych stosowanych do oznaczania rozpuszczalnych form Cu, Mn, Fe. *Rozniki Akadem Rolniczej w Poznaniu*, CCIII: 75–83.
- KORZENIOWSKA J., STANISŁAWSKA-GLUBIAK E. 2008. Przydatność niektórych roztworów ekstrakcyjnych do oceny zawartości przyswajalnych form mikroelementów w glebie. *Roczniki Gleboznawcze* 59, 3/4: 152–160.
- ŁABĘTOWICZ J., RUTKOWSKA B. 2001. Czynniki determinujące stężenie mikroelementów w roztworze glebowym. *Postępy Nauk Rolniczych*, 6: 75–85.
- NOWAK W., WOJTASIK A. 1997. Zawartość kadmu i niklu w marchwi uprawianej na dwóch typach gleb przy zastosowaniu różnych nawozów wieloskładnikowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 448a: 269–272.
- Raport o stanie użytków rolnych w Polsce 1980–1990. 1992. IUNG, Puławy maszynopis.**
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi** (Dz. U. 2002, nr 165, poz. 1359).
- SADY W., ROŻEK S. 2002. The effect of physical and chemical soil properties on the accumulation of cadmium in carrot. *Acta Hort.* 571: 73–75.

- SADY W., SMOLEŃ. S. 2004. Wpływ czynników glebowo0nawozowych na akumulację metali ciężkich w roślinach. Efektywność stosowania nawozów w uprawach ogrodniczych: 269–277.
- SANDERS J.R., ADAMS T.M. 1987. The effect of pH and soil type on concentration of zinc. Environ. Pollut. A 43: 219–228.