

WPLYW WILGOTNOŚCI GLEBY NA POBIERANIE METALI CIĘŻKICH PRZEZ ROŚLINY

CZĘŚĆ I¹

ZAWARTOŚĆ I ROZMIESZCZENIE METALI CIĘŻKICH W POSZCZEGÓLNYCH ORGANACH ROŚLIN

Barbara Wiśniowska-Kielian

Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie

Wstęp

Woda jest źródłem wodoru niezbędnego w procesie fotosyntezy roślin, rozpuszczalnikiem składników pokarmowych pobieranych z gleby oraz środowiskiem wszystkich reakcji biochemicznych. Dlatego zaopatrzenie w wodę jest czynnikiem regulującym pobieranie z gleby, transport i przemieszczanie składników pokarmowych, produktów fotosyntezy oraz metabolitów wewnątrz rośliny [MENGEL, KIRKBY 1983]. W licznych badaniach stwierdzono, że pobieranie pierwiastków śladowych przez rośliny i ich przemieszczanie z korzeni do części nadziemnych zależy od gatunku, fazy rozwojowej i części rośliny oraz od właściwości fizykochemicznych gleby [KUBOI i in. 1986; GORLACH, CURYŁO 1991]. Ważnymi czynnikami są też: rodzaj, forma i dawka stosowanych nawozów mineralnych, gdyż mogą one zawierać znaczne ilości tych pierwiastków oraz powodować zmiany właściwości gleby [JURKOWSKA i in. 1990, 1991; GORLACH, GAMBUŚ 1997]. Obserwowano również zależność pobierania makro- i mikroelementów przez rośliny od wilgotności gleby [JURKOWSKA i in. 1992]. Natomiast kwestia wpływu wilgotności na pobieranie metali ciężkich nie jest wystarczająco wyjaśniona, istnieją jednak informacje o łatwiejszym pobieraniu, np. Cd z gleby lepiej napowietrzanej [ITO, IMURA 1975]. Wymienione czynniki mogą ze sobą współdziałać, stymulując lub hamując pobieranie składników mineralnych przez rośliny.

Celem badań było porównanie zawartości i rozmieszczenia metali ciężkich (Cu, Cd, Pb i Ni) w poszczególnych organach kilku gatunków roślin w warunkach zróżnicowanej wilgotności gleby w okresie wegetacji.

Materiał i metody

W 1997 r. przeprowadzono doświadczenie wazonowe w hali wegetacyjnej, w którym uprawiano rośliny jedno- i dwuliścienne na glebie lekkiej, bardzo kwaśnej,

¹ Kolejne części (II i III) w Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. nr 472.

częściowo wyczerpanej z metali ciężkich przez tytoń papierosowy jasny, uprawiany w 1996 r. (tab. 1).

Nawozy w ilości: 1 g N (NH_4NO_3), 0,83 g K i 0,35 g P (KCl i KH_2PO_4) dodano do 5 kg gleby i starannie wymieszano. Uprawiano: kukurydzę pastewną, owies, życię trwałą, bobik, gorczycę białą i tytoń papierosowy jasny. Wilgotność gleby utrzymywano na poziomie: 45% (W1), 60% (W2) i 75% (W3) maksymalnej pojemności wodnej przez podlewanie wodą redestylowaną 1–3 krotnie w ciągu dnia. Bobik, gorczycę i owies zebrano na początku kwitnienia, a kukurydzę przed pojawieniem się kwiatostanów męskich. Tytoń zbierano w miarę osiągnięcia dojrzałości technicznej liści, a zbiory zakończono w stadium zawiązywania nasion. Zbiory życicy zakończono po uzyskaniu 5 odrostów. W materiale roślinnym oznaczono zawartość pierwiastków śladowych metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej aparatem Philips PU 9100X po suchej mineralizacji i roztworzeniu popiołu w HNO_3 (1 : 2).

Tabela 1; Table 1

Właściwości gleby użytej w doświadczeniu
Properties of soil used in experiment

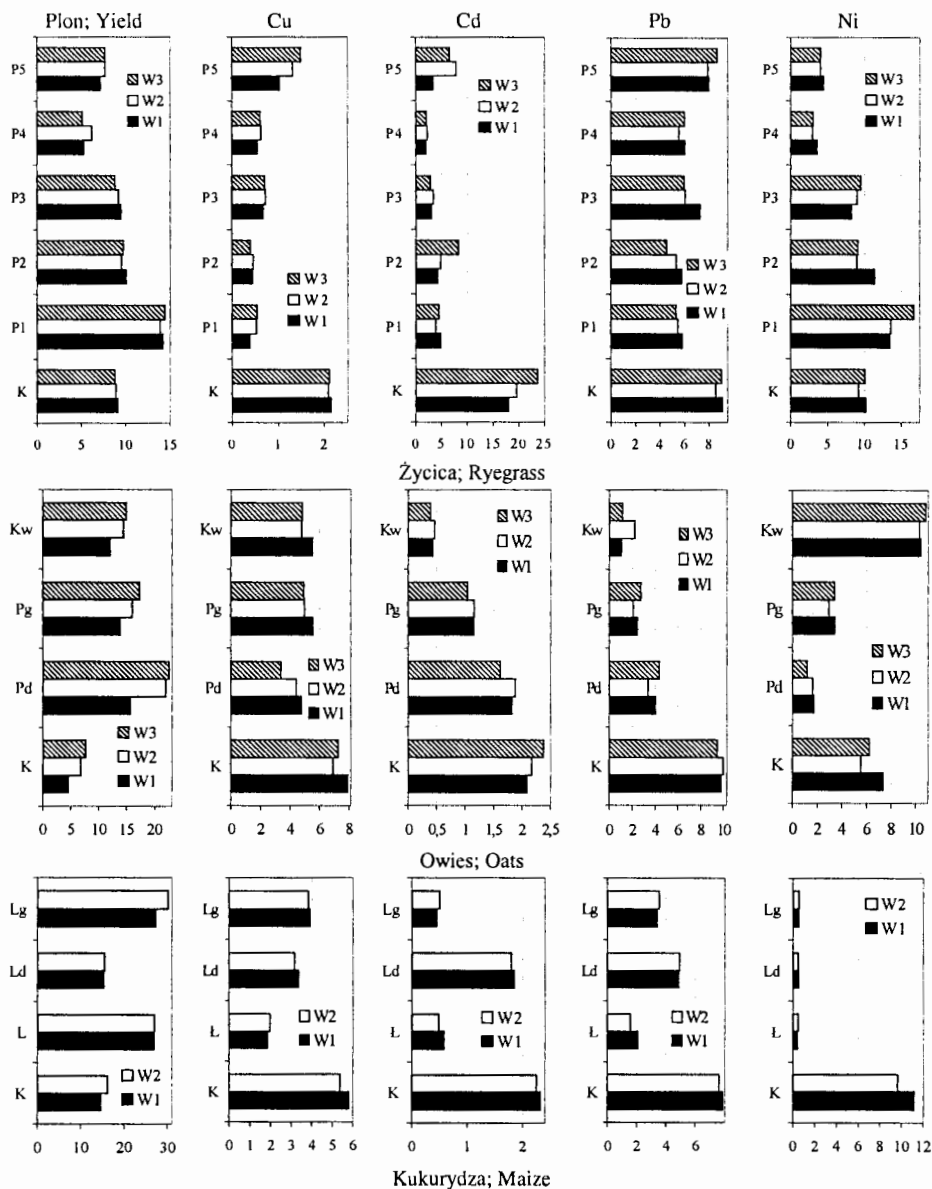
Kategoria agronomiczna Agronomic category	pH 1 mol KCl·dm ⁻³	C org. Organic C	Cu	Cd*	Pb*	Ni*
		1 mol HCl·dm ⁻³				
		%	mg·kg ⁻¹			
Piasek gliniasty mocny Heavy medium sand	3,12	1,36	4,94	0,60	25,3	1,26
ocena zawartości; content estimation						
Gleba lekka Light soil	bardzo kwaśna very acid	–	wysoka high	podwyższona raised	naturalna natural	

* – ocena w oparciu o udział tej formy w całkowitej zawartości metalu w glebie [GAMBUŚ 1993]; estimate on a basis of this form share in total metal content in a soil [GAMBUŚ 1993]

Wyniki i dyskusja

W trakcie wegetacji zaobserwowano różnice w reakcji poszczególnych gatunków roślin na wzrastającą wilgotność gleby; tempo wzrostu bobiku, gorczycy i owsa regularnie nasilało się wraz z wilgotnością, a życicy i kukurydzy były bardziej wyrównane. Tytoń najlepiej rozwijał się w warunkach średniej wilgotności gleby, a przy najwyższym uwilgotnieniu wykazywał objawy „podtopienia” [Tso 1999], co uwidocznilo się słabszym wzrostem i wcześniejszym kwitnieniem (tworzenie „pośpiechów”) niż w pozostałych wariantach. Miało to wpływ na wielkość uzyskanych plonów roślin (rys. 1 i 2).

Intensywność pobierania metali ciężkich oraz ich rozmieszczenie w poszczególnych częściach roślin zależały od gatunku rośliny i od rodzaju składnika (rys. 1 i 2). Rośliny dwuliścienne odznaczały się wyższą zawartością miedzi w częściach nadziemnych i korzeniach niż rośliny jednoliścienne (odpowiednio: 4 do 24, 12 do 20, 0,5 do 6 i 2 do 8 mg Cu·kg⁻¹ s.m.). Poziom Cd w częściach nadziemnych tytoniu i gorczycy był kilkakrotnie wyższy niż w analogicznych organach owsa i kukurydzy (odpowiednio: 3 do 38 i 0,5 do 2 mg Cd·kg⁻¹ s.m.). Części nadziemne bobiku i życicy zawierały zbliżone ilości kadmu, wyższe niż rośliny jednoliścienne,

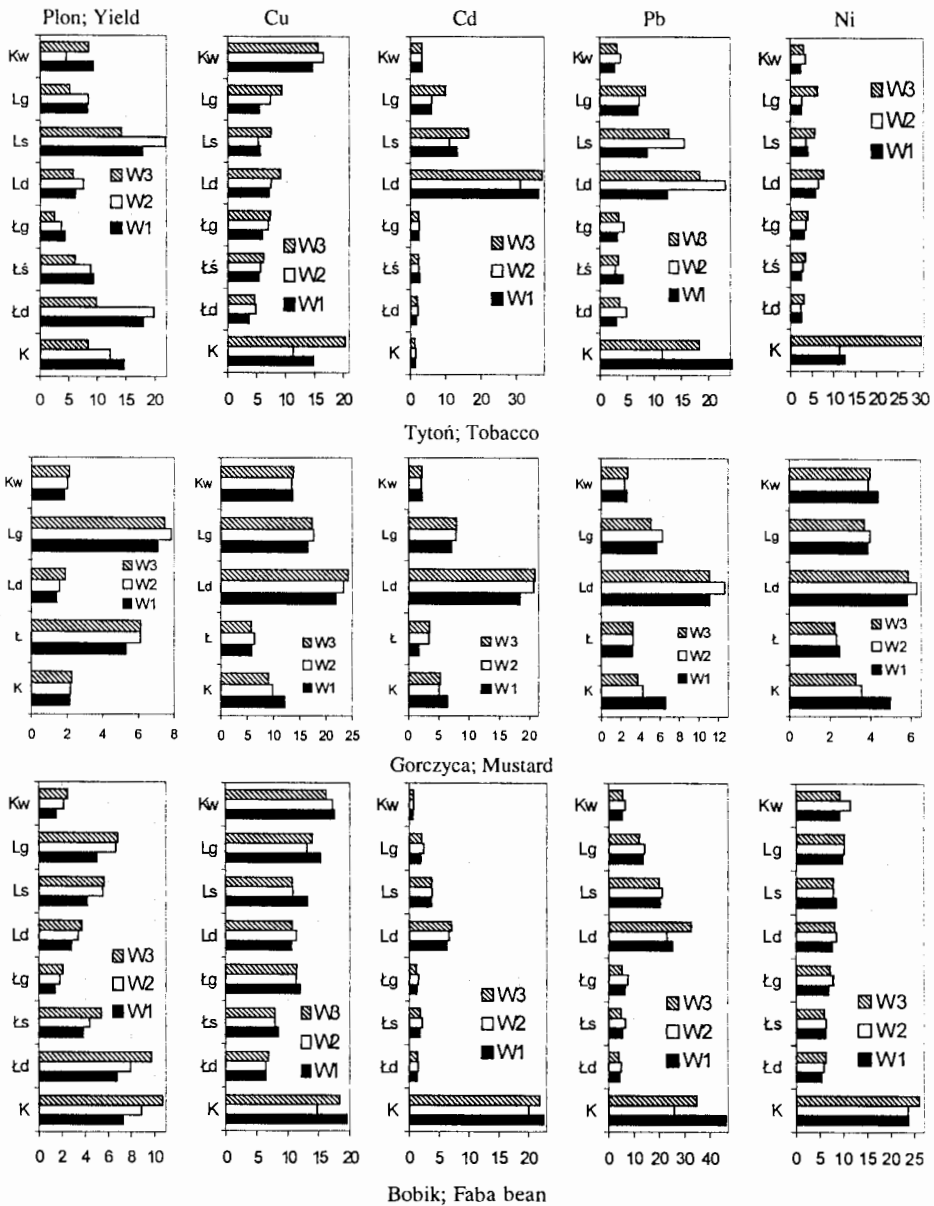


Objaśnienia; Explanations

Kw - kwiatostan; inflorescence, L - liście; leaves: Ld - dolne; bottom, Ls - środkowe; middle, Lg - górne; upper, Ł - łodyga; stalk: Łd - część dolna; bottom part, Łs - część środkowa; middle part, Łg - część górna; upper part, P - pęd; shoot: Pd - część dolna; bottom part, Pg - część górna; upper part, P1, P2, P3, P4, P5 - odpowiednio pokos I, II, III, IV, V; I, II, III, IV, V cut respectively, K - korzenie; roots

Rys. 1. Plon poszczególnych części roślin jednoliściennych (g na wazon) i zawartość w nich metali ciężkich (mg·kg⁻¹)

Fig. 1. Yield of particular parts of monocotyledonous plants (g per pot) and their heavy metal contents (mg·kg⁻¹)



Objaśnienia; Explanations

Kw – kwiatostan; inflorescence, L – liście; leaves: Ld – dolne; bottom, Ls – środkowe; middle, Lg – górne; upper, Ł – łodyga; stalk: Łd – część dolna; bottom part, Łś – część środkowa; middle part, Łg – część górna; upper part, P – pęd; shoot: Pd – część dolna; bottom part, Pg – część górna; upper part, P1, P2, P3, P4, P5 – odpowiednio pokos I, II, III, IV, V; I, II, III, IV, V cut respectively, K – korzenie; roots

Rys. 2. Plon poszczególnych części roślin dwuliściennych (g na wazon) i zawartość w nich metali ciężkich ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Fig. 2. Yield of particular parts of dicotyledonous plants (g per pot) and their heavy metal contents ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

ale znacznie niższe niż dwuliścienne (1 do 6 mg Cd·kg⁻¹ s.m.). Owies, kukurydza i tytoń miały zbliżoną zawartość kadmu w korzeniach, gorczyca zawierała więcej, a życica i bobik najwięcej tego metalu (odpowiednio: 2, 6, 18 i 24 mg Cd·kg⁻¹ s.m.). Rośliny dwuliścienne zawierały więcej ołowiu w częściach nadziemnych i korzeniach niż rośliny jednoliścienne (odpowiednio: 4 do 25, 7 do 50, 0,5 do 8 i 8 do 10 mg Pb·kg⁻¹ s.m.). Największą zawartością tego metalu w częściach nadziemnych odznaczał się wśród roślin dwuliściennych bobik, a jednoliściennych – życica, najmniejszą zaś gorczyca i owies. Zawartość niklu w częściach nadziemnych mieściła się w granicach 0,5 do 16 i 2 do 10 mg Ni·kg⁻¹ s.m., odpowiednio dla roślin jedno- i dwuliściennych. Korzenie zawierały odpowiednio: 5 do 24 i 7 do 11 mg Ni·kg⁻¹ s.m. Spośród roślin dwuliściennych najwięcej niklu stwierdzono w częściach nadziemnych bobiku, a jednoliściennych – życicy. Gorczyca i tytoń zawierały zbliżone ilości tego metalu, a zdecydowanie najmniej – kukurydza. Najwięcej niklu w korzeniach akumulował bobik, zbliżone ilości tytoń oraz wszystkie rośliny jednoliścienne, a najmniej – gorczyca.

Jeżeli porównać rozmieszczenie metali w poszczególnych roślinach, to można zauważyć dość znaczne różnice pomiędzy gatunkami. Tytoń i bobik gromadziły największe ilości miedzi w kwiatostanach oraz więcej w liściach górnych i górnej części łodygi niż w dolnych partiach rośliny. Gorczyca i kukurydza kumulowały Cu w większym stopniu w liściach niż w łodydze, przy czym gorczyca więcej w dolnych, a kukurydza – w górnych liściach. Zawartość miedzi w kolejnych pokosach życicy była coraz wyższa, a jej poziom w organach owsa był najbardziej wyrównany. Wszystkie rośliny gromadziły kadm, głównie w dolnych partiach części nadziemnych, znacznie więcej w liściach niż w łodygach, a zdecydowanie najmniej tego metalu znajdowało się w częściach generatywnych. Zawartość Cd obniżała się w kolejnych (I do IV) pokosach życicy, z wyjątkiem ostatniego, w których nastąpił niewielki wzrost jego poziomu. Analogicznie układało się rozmieszczenie ołowiu w poszczególnych częściach roślin testowych. Wyjątek stanowiła życica, której pokosy I do IV zawierały zbliżone ilości Pb. Podobnie przedstawiało się rozmieszczenie niklu w tytoniu i gorzycy, z tą różnicą, że organy generatywne zawierały podobne ilości Ni jak liście górne. Natomiast w bobiku i owsie nikiel gromadził się w większym stopniu w górnych partiach pędu, a w największym stopniu w kwiatostanach. Podobnie kształtowała się zawartość Ni w kukurydzy, chociaż w tym przypadku różnice nie były tak wyraźne.

Wzrastająca wilgotność gleby powodowała niejednokierunkowe zmiany zawartości metali w poszczególnych częściach roślin testowych. Zwykle wzrostowi wilgotności do średniego poziomu towarzyszyło zwiększenie zawartości wszystkich metali w częściach nadziemnych gorzycy, Cu, Pb i Ni w tytoniu, Cd, Pb i Ni w bobiku, Cu i Cd w życicy oraz Cd w owsie. Następowo to zwykle przy równoczesnym obniżeniu się ich poziomu w korzeniach. Poziom pozostałych metali w tych roślinach obniżał się przy średniej wilgotności gleby. Dalsze zwiększanie wilgotności nie zmieniało w wyraźnym stopniu zawartości metali w roślinach, prowadziło do wzrostu ich poziomu w stosunku do roślin uprawianych w warunkach najniższej wilgotności, lub następowało dalsze obniżanie się ich zawartości. Zwykle zmiany te miały przeciwny przebieg niż w korzeniach.

Zawartość poszczególnych pierwiastków w roślinach jest ściśle związana z wielkością uzyskanych plonów; zwiększeniu plonu towarzyszy zwykle obniżanie się zawartości składnika jako skutek tzw. efektu rozcieńczenia. Dla tytoniu, bobiku i owsa można zauważyć taką zależność w przypadku Cu, Cd i Ni, zwłaszcza w częś-

ciach nadziemnych. Nie można stwierdzić takiej regularności dla gorczycy i życicy, a zmiany wielkości plonu i zawartości metali zachodzące w tych warunkach w kukurydzy były niewielkie. Jednak obniżenie lub podwyższenie zawartości metali ciężkich, obserwowane w tym doświadczeniu, nie zawsze pokrywało się z odpowiednio większym lub mniejszym plonem części nadziemnych i korzeni w warunkach zróżnicowanej wilgotności gleby.

Pobranie poszczególnych metali, zwłaszcza z plonem części nadziemnych, w przypadku bobiku, gorczycy i owsa niemal regularnie zwiększało się ze wzrostem wilgotności gleby. Ich odprowadzenie z plonem życicy było zwykle mniejsze, a przez tytoń – większe w warunkach średniej wilgotności. W przypadku kukurydzy zmiany pobrania były mniej regularne (dane niezamieszczone). Przyczyny większego pobrania metali przy najniższej wilgotności gleby można upatrywać w warunkach panujących w hali wegetacyjnej, w której istnieje duży niedosyt wilgotności powietrza [TABIN, SKALSKI 1976], a towarzyszący jej duży niedostatek wody w roślinie może wznagać bierne pobierania metali z prądem wytranspirowanej wody. Jako skutek różnic w ilości metali odprowadzonych z plonem zaznaczyły się zmiany ich poziomu w glebie po zbiorze roślin [WIŚNIEWSKA-KIELIAN 2000].

Przyczyną różnic stwierdzanych pomiędzy gatunkami są indywidualne zdolności do absorbowania metali przez rośliny należące do różnych rodzin czy gatunków [KUBOJ i in. 1986], wynikające z różnej ich zdolności do przeciwdziałania nadmiernej koncentracji szkodliwych substancji [INOUE i in. 1994; WANG, EVANGÉLOU 1995; WÓJCIK, TUKENDORF 1999]. Są one przyczyną różnic w akumulacji metali ciężkich w korzeniach, w których rośliny, zwłaszcza jednoliścienne, wytwarzają fitochelatyny wiążące te metale. Takich właściwości, jak się wydaje, nie wykazują w wystarczającym stopniu gorczyca – w stosunku do wszystkich metali, oraz tytoń – w stosunku do Cd, a miejscem ich największego nagromadzenia były dolne liście. Wysokie zawartości Pb i Cd stwierdzano też w dolnych liściach kukurydzy i dolnych partiach części nadziemnych owsa. Prawdopodobnie w nich metale te zostały wbudowane w mało mobilne związki i zdeponowane w wakuolach. Nieregularności można też wyjaśnić zmianami rozpuszczalności substancji oraz metabolizmu komórek korzenia, zachodzącymi w warunkach zmieniającej się wilgotności gleby. Zarówno niedobór, jak i nadmiar wody może zmieniać dostępność składników mineralnych; przy niedoborze wody następuje zagęszczenie roztworu glebowego, co prowadzi do wędnięcia roślin w następstwie obniżenia siły ssącej liści, zaś w przypadku jej nadmiaru – ulegają zahamowaniu procesy metaboliczne w korzeniach wskutek niedostatku tlenu, co prowadzi do upośledzenia biernego i czynnego pobierania przez nie metali [MENDEL, KIRKBY 1983].

Wnioski

1. Rośliny w różnym stopniu reagowały na wzrastającą wilgotność gleby: plony bobiku, gorczycy i owsa wzrastały wraz z wilgotnością, życicy i kukurydzy były bardziej wyrównane, a tytoń najgorzej plonował w warunkach najwyższej wilgotności gleby.
2. Zawartość metali zależała od gatunku rośliny, a rośliny dwuliścienne zawierały znacznie więcej metali niż jednoliścienne. Więcej metali gromadziły rośliny w korzeniach niż w częściach nadziemnych. Wyjątek stanowiła gor-

- czyca, której liście zawierały znacznie więcej metali niż korzenie oraz tytoń, którego liście kumulowały więcej Cd.
3. Liście zawierały więcej metali niż łądygi. Tytoń i bobik gromadziły Cu w górnej części pędu, gorczyca – w dolnych, a kukurydza – w górnych liściach, jej poziom w owsie był wyrównany, a kolejne pokosy życicy zawierały coraz więcej Cu. Rośliny gromadziły Cd i Pb w niższych partiach pędu. Zawartość Cd obniżała się, a Pb była zbliżona w kolejnych pokosach życicy. Podobnie rozmieszczony był Ni w tytoniu i gorzycy, a bobik i owies gromadziły Ni w górnych partiach pędu. W przypadku kukurydzy różnice były niewielkie. Kwiatostany gromadziły więcej Cu i Ni, natomiast mniej Cd i Pb.
 4. Wzrost wilgotności do średniego poziomu zwiększał zawartość wszystkich metali w częściach nadziemnych gorzycy, Cu, Pb i Ni w tytoniu, Cd, Pb i Ni w bobiku, Cu i Cd w życicy oraz Cd w owsie. Poziom pozostałych metali był w tych warunkach najniższy. Zwykle przeciwnie zmieniały się ich zawartości w korzeniach.
 5. Zmiany zawartości metali ciężkich w roślinach nie zawsze były wynikiem różnic w wielkości plonu, co wskazuje na zależność ich absorpcji przez rośliny od wilgotności poprzez jej wpływ na ich rozpuszczalność oraz na metabolizm komórek korzenia.

Literatura

- GAMBUŚ F. 1993. *Metale ciężkie w wierzchniej warstwie gleb i w roślinach Regionu Krakowskiego*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozpr. 176: 81 ss.
- GORLACH E., CURYŁO T. 1991. *Comparison of the effect of soil pH on the uptake of heavy metals by various plant species*. Acta Agr. Silv., Ser. Agr. 29: 83–92.
- GORLACH E., GAMBUŚ F. 1997. *Nawozy fosforowe i wieloskładnikowe jako źródło zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 448: 139–146.
- INOUE M., NINOMIYA S., TOHOYAMA H., JOHO M., MURAYAMA T. 1994. *Different characteristics of roots in the cadmium-tolerance and Cd-binding complex formation between mono- and dicotyledonous plants*. Journal of Plant Research 107/1087: 201–207.
- ITO H., IIMURA K. 1975. *Absorption of cadmium by rice plants in response to change of oxidation-reduction conditions in soils*. Y. Sci. Soil a. Manure 46: 82–85.
- JURKOWSKA H., WIŚNIEWSKA-KIELIAN B., ROGÓZ A., WOJCIECHOWICZ T. 1990. *Wpływ nawożenia azotowego na zawartość składników mineralnych w roślinach owsa w zależności od stadium rozwojowego*. Cz. II. Mikroelementy. Acta Agr. et Silv., Ser. Agr. 29: 109–119.
- JURKOWSKA H., WIŚNIEWSKA-KIELIAN B., ROGÓZ A., WOJCIECHOWICZ T. 1991. *Wpływ dawki azotu na zawartość składników mineralnych w różnych gatunkach roślin*. Cz. II. Mikroelementy. Zesz. Nauk. AR Kraków 247, Roln. 29: 51–64.
- JURKOWSKA H., ROGÓZ A., WIŚNIEWSKA-KIELIAN B., WOJCIECHOWICZ T. 1992. *Wpływ nawożenia azotowego na zawartość składników mineralnych w roślinach w zależnoś-*

ci od wilgotności gleby. Cz. II. Mikroelementy. Zesz. Nauk. AR Kraków 265, Roln. 30: 113–120.

KUBOI T., NOGUCHI A., YAZAKI J. 1986. *Family-dependent cadmium accumulation characteristics in higher plants. Plant Soil 103: 405–415.*

MENGEL K., KIRKBY E.A. 1983. *Podstawy żywienia roślin. PWRiL, Warszawa: 527 ss.*

TABIN S., SKALSKI J. 1976. *Plon i jakość tytoniu papierosowego jasnego w zależności od gleby i nawożenia mikroelementami. Biul. CLPT 1–4: 5–14.*

TSO T.C. 1999. *Seed to smoke, w: Tobacco Production, Chemistry and Technology. D.L. Davis & M.T. Nielsen, Blackwell Science, UK: 1–31.*

WANG J., EVANGELOU V.P. 1995. *Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole, w: Handbook of plant and crop physiology. Wyd. Pessavakki M., Rozdz. 33: 695–717.*

WIŚNIEWSKA-KIELIAN B. 2000. *Influence of soil moisture and Cd addition on the contents of soluble forms of heavy metal (pot experiment), w: The role of soil in functioning of ecosystems. R. Dębicki (red.), UMCS-IA PAN, Lublin: 821–829.*

WÓJCIK M., TUKENDORF A. 1999. *Cd-tolerance of maize, rye and wheat seedlings. Acta Physiol. Plant. 21/2: 99–107.*

Słowa kluczowe: metale ciężkie, rośliny, zawartość, rozmieszczenie, wilgotność gleby

Streszczenie

Praca prezentuje wyniki badań prowadzonych w doświadczeniu wazonowym nad wpływem wzrastającej wilgotności gleby na zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich w roślinach.

Plony bobiku, gorczycy i owsa wzrastały z wilgotnością gleby, życicy i kukurydzy były bardziej wyrównane, a tytoń najgorzej plonował w warunkach najwyższej wilgotności.

Rośliny dwuliścienne zawierały znacznie więcej metali niż jednoliścienne, a ich poziom zależał w największym stopniu od gatunku rośliny. Liście zawierały więcej metali niż łodygi, a korzenie – więcej niż części nadziemne. Wyjątek stanowiły tytoń i gorczyca, których części nadziemne zawierały znacznie więcej Cd, a w przypadku gorczycy również Cu, natomiast życica i owies gromadziły w nich więcej Ni. Organy generatywne kumulowały mniej Cd i Pb oraz zazwyczaj więcej Cu i Ni. Wzrost wilgotności do średniego poziomu zwiększał zawartość wszystkich metali w pędach gorczycy, Cu, Pb i Ni w tytoniu, Cd, Pb i Ni w bobiku, Cu i Cd w życicy oraz Cd w owsie. Poziom pozostałych metali był w tych warunkach najniższy. Przeciwne zmiany następowały zwykle w korzeniach.

Zmiany zawartości metali ciężkich w roślinach nie zawsze były wynikiem różnic w wielkości plonu, co wskazuje na wpływ wilgotności na absorpcję metali przez rośliny.

EFFECT OF SOIL MOISTURE CONTENT ON THE ABSORPTION OF HEAVY METALS BY PLANTS

PART I

CONTENT AND DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN PARTICULAR PLANT ORGANS

Barbara Wiśniowska-Kielian

Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University, Kraków

Key words: heavy metals, plants, content, distribution, soil moisture

Summary

Paper presents the results of pot experiment on the effect of raised soil moisture content (m.c.) on the contents and distribution of heavy metals in plants.

Yields of faba bean, mustard and oats increased along with soil m.c., yields of ryegrass and maize were similar, whereas tobacco yielded the worse at highest soil m.c.

Dicotyledonous plants contained much more metals than monocotyledonous ones, and metal levels depended to most extent on plant species. The leaves contained more metals than stalk, and roots – usually more than the shoots. Exception were tobacco and mustard, containing much more Cd (in case of mustard also Cu), and ryegrass and oats that accumulated more Ni in shoots. Generative organs accumulated smaller Cd and Pb amounts and usually more Cu and Ni. An increase of soil m.c. up to middle level raised all metal contents in mustard shoots, Cu, Pb and Ni in tobacco, Cd, Pb and Ni in faba bean, Cu and Cd in ryegrass and Cd in oats. Level of other metals under these conditions was the lowest. The opposite changes usually were observed in roots.

Changes of heavy metal contents in plants not always were accompanied by differences of plant yields, what indicates the effect of soil m.c. on heavy metals' absorption by plants.

Dr inż. Barbara **Wiśniowska-Kielian**
Katedra Chemii Rolnej
Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja
al. Mickiewicza 21
31-120 KRAKÓW
e-mail: rkielia@cyf-kr.edu.pl