

AKUMULACJA METALI CIĘŻKICH W OWSIE NAWOŻONYM KOMPOSTAMI

Krzysztof Gondek

Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie. W kompostach metale ciężkie występują w różnych formach, na co wpływają zarówno właściwości samego pierwiastka, a także rodzaj materiału kompostowanego. Możliwości pobierania metali ciężkich przez rośliny są bardzo różne, dlatego celem przeprowadzonych badań było określenie akumulacji wybranych metali ciężkich w owsie uprawianym na glebie z dodatkiem kompostów różnego pochodzenia. Sumaryczny z 3 lat plon owsa był największy w obiekcie, w którym zastosowano nawożenie solami mineralnymi. Ilości badanych metali ciężkich wprowadzone do gleby z nawożeniem organicznym były niewielkie i za wyjątkiem kadmu nie spowodowały nadmiernej kumulacji tych pierwiastków w częściach nadziemnych owsa. Metale ciężkie gromadzone były głównie w systemie korzeniowym roślin. Największe wartości wskaźnika stopnia zanieczyszczenia dotyczyły, w przypadku ziarna – chromu i ołowiu, a w przypadku słomy dodatkowo niklu. Uzyskane wartości powyżej jedności świadczą o większym nagromadzeniu tych pierwiastków w biomacie roślin nawożonych organicznie, w stosunku do nawożonych solami mineralnymi. Wartości wskaźnika translokacji były najmniejsze dla chromu i ołowiu.

Słowa kluczowe: nawożenie, kompost, metale ciężkie, akumulacja, owsie

WSTĘP

Oprócz naturalnej zawartości w glebach użytkowanych rolniczo źródłem metali ciężkich dla roślin mogą być nawozy. Wobec narastającego deficytu materii organicznej w glebach naszego kraju i niewystarczającej produkcji obornika zachodzi konieczność poszukiwania innych źródeł materii organicznej i składników biogenych.

W myśl nowych aktów prawnych dotyczących ochrony środowiska istnieje obowiązek utylizacji bądź wtórnego zagospodarowania wytworzonych odpadów, w tym organicznych (Krzywy i in. 2004). Jedną z metod zagospodarowania odpadów organicznych jest ich kompostowanie. To naturalny procesem stale przebiegającym w środowisku. W wyniku kompostowania uzyskujemy cenny nawóz o dużej zawartości związków próchnicznych, stosowany m.in. do produkcji ziem ogrod-

nicznych, pod uprawę rozsąd i w produkcji szklarniowej, a także do rekultywacji gleb zdegradowanych. Współczesne technologie umożliwiają wytwarzanie kompostów z różnych odpadów, których wykorzystanie może być wszechstronne.

Komposty stanowią tanie i z niewielkimi wyjątkami bezpieczne dla środowiska źródło zaopatrzenia gleb w materię organiczną i składniki pokarmowe roślin. Barię przy stosowaniu kompostów, może być niekiedy podwyższona zawartość w nich metali ciężkich, chociaż jak podaje Siuta (1999) w kompostach roślinnych i z odpadów miejskich tylko zawartość kadmu i cynku może przekraczać poziom dopuszczalny.

Wprowadzenie składnika pokarmowego do gleby nie jest równoznaczne z jego pełną dostępnością dla roślin, głównie ze względu na procesy sorpcji i desorpcji zachodzące w środowisku glebowym (Mazur i Sadej 1989, Mazur 1995). Zawarte w kompostach metale ciężkie występują w różnych formach, w zależności od właściwości samego pierwiastka, a także materiału kompostowanego (Gondek i Filipek-Mazur 2004). Możliwości pobierania metali ciężkich i ich gromadzenia w roślinach są bardzo różne, dlatego celem przeprowadzonych badań było określenie akumulacji wybranych metali ciężkich w owsie uprawianym na glebie z dodatkiem kompostów różnego pochodzenia i o zróżnicowanej zawartości tych pierwiastków.

MATERIAŁ I METODY

Trzyletnie badania prowadzono w doświadczeniu wazonowym w hali wegetacyjnej Katedry Chemii Rolnej AR w Krakowie. Wazony PCV mieściły 5,5 kg powietrznie suchego materiału glebowego. Zastosowano komposty: z Krakowa (z dwóch różnych partii – różniące się dojrzałością) produkowane na bazie odpadów roślinnych – kompost (A) i (B), kompost o nazwie handlowej „Veget” będącym wersją handlową kompostu sporządzonego z materiałów roślinnych, a produkowany w Nitrze (Słowacja) – kompost (C) oraz kompost sporządzony na bazie słomy produkowany w Pradze (Czechy) – kompost (D). Charakterystykę badanych kompostów podano we wcześniejszej publikacji (Gondek i Filipek-Mazur 2005). Zawartość metali ciężkich w owsie z obiektów, w których zastosowano komposty porównywano z zawartością w roślinach z obiektów nawożonych solami mineralnymi i obornikiem.

W kompostach i oborniku określano zawartość suchej masy, po wysuszeniu próbek w temperaturze 70°C w suszarce z przepływem gorącego powietrza oraz zawartość azotu ogólnego, po mineralizacji próbki w stężonym kwasie siarkowym (VI), metodą Kjeldahla. W wysuszonych i rozdrobnionych próbkach nawozów oznaczono fosfor, potas, magnez, wapń, sód oraz pierwiastki śladowe (Cu, Zn, Mn, Cr, Pb, Cd i Ni) po mineralizacji próbki na sucho w piecu muflowym (temp. 450°C przez 5 h) i rozтворzeniu popiołu w kwasie azotowym (V) (1:2).

Fosfor oznaczono kolorymetrycznie, wykonując pomiar spektrofotometrem firmy Beckman DU 640 przy długości fali 436 nm, potas, wapń i sód oznaczono metodą fotometrii płomieniowej (FES), a magnez i pierwiastki śladowe metodą absorpcji atomowej (ASA) z użyciem spektrofotometru Philips PU 9100X (Ostrowska i in. 1991). Wyniki dotyczące składu chemicznego kompostów podano w tabelach 1 i 2, a dokładnie omówiono w innej publikacji (Gondek i Filipek-Mazur 2005).

Tabela 1. Zawartość makroelementów w oborniku i kompostach użytych w doświadczeniu
Table 1. Macro-elements content in FYM and composts used in the experiment

| Nawóz – Fertiliser | Sucha masa Dry matter | N ogólny Total N | P | K | Ca | Na | Mg |
|---|--------------------------------|---------------------|------|------|------|-----|-----|
| | (g· kg ⁻¹) | | | | | | |
| Obornik – Farmyard manure | 205 | 20,9 | 21,4 | 18,7 | 23,8 | 5,0 | 4,6 |
| Kompost (A) – Compost (A) | 514 | 20,8 | 4,9 | 25,4 | 38,6 | 2,2 | 4,5 |
| Kompost (B) – Compost (B) | 483 | 17,5 | 4,5 | 26,7 | 38,0 | 0,9 | 4,1 |
| Kompost (C) – Compost (C) | 941 | 30,8 | 10,8 | 11,7 | 16,0 | 1,8 | 2,0 |
| Kompost (D) – Compost (D) | 424 | 24,7 | 43,6 | 30,4 | 14,4 | 0,5 | 1,9 |
| Współczynnik zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 40 | 24 | 117 | 35 | 50 | 58 | 44 |

Tabela 2. Zawartość pierwiastków śladowych w oborniku i kompostach użytych w doświadczeniu
Table 2. Trace elements content in FYM and composts used in the experiment

| Nawóz – Fertiliser | Cu | Zn | Mn | Cr | Pb | Cd | Ni |
|---|----------------------------------|-----|-----|-------|-------|------|------|
| | mg· kg ⁻¹ s.m. – d.m. | | | | | | |
| Obornik – Farmyard manure | 411,00 | 419 | 314 | 2,81 | 2,76 | 0,90 | 9,62 |
| Kompost (A) – Compost (A) | 35,15 | 291 | 245 | 13,35 | 23,40 | 2,00 | 6,66 |
| Kompost (B) – Compost (B) | 33,20 | 290 | 316 | 18,00 | 25,90 | 1,60 | 7,19 |
| Kompost (C) – Compost (C) | 58,30 | 495 | 113 | 57,25 | 15,45 | 0,92 | 2,79 |
| Kompost (D) – Compost (D) | 8,45 | 72 | 104 | 3,03 | 1,08 | 0,03 | 9,23 |
| Współczynnik zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 60 | 60 | 53 | 104 | 68 | 76 | 42 |

W przeprowadzonym doświadczeniu dawka azotu, w przeliczeniu na wazon (5,5 kg materiału glebowego) wynosiła 0,8 g. Fosfor i potas wyrównywano we wszystkich obiektach nawozowych do najwyższego poziomu wprowadzonego z nawożeniem organicznym – fosfor do 1,41 g/wazon – w formie mączki fosforowej [ilość wpro-

wadzona z dawką kompostu z Pragi (D)], potas do 1,21 g/wazon – w formie wodnego roztworu KCl [ilość wprowadzona z dawką kompostu z Krakowa (B)].

Tabela 3. Odmiana owsa, dni wegetacji oraz dawki składników nawozowych
Table 3. Cultivar of oat, day of vegetation and doses of fertiliser elements

| Rok Year | Odmiana Cultivar | Obsada roślin w wazonie Number of plants in pot | Dni wegetacji Days of vegetation | Nawożenie (g·wazon ⁻¹) Fertilisation (g pot ⁻¹) | | |
|------------------------------|---------------------|--|---|--|--------|--------|
| | | | | N | P | K |
| 1 rok – 1 st year | Dragon | 14 | 82 | 0,80* | 1,41** | 1,21** |
| 2 rok – 2 nd year | Kasztan | 14 | 90 | 0,80 | 0,50 | 1,20 |
| 3 rok – 3 st year | Kasztan | 14 | 109 | 0,80 | 0,50 | 1,20 |

* w formie nawozów organicznych – in the form of organic fertilisers,

** uzupełnione mineralnie – supplemented by mineral fertilisation.

Badania prowadzono na materiale glebowym zawierającym 32% cząstek o średnicy < 0,02 mm. Materiał ten charakteryzował się odczynem lekko kwaśnym, kwasowość hydrolityczna oznaczona metodą Kappena wynosiła 11,2 mmol(+)·kg⁻¹, zawartość węgla organicznego oznaczona metodą Tiurina była równa 11,0 g·kg⁻¹, a zawartość azotu ogólnego oznaczonego metodą Kjeldahla wynosiła 1,10 g·kg⁻¹ suchej masy. Zawartość przyswajalnych form potasu była bardzo wysoka, a przyswajalnych form fosforu wysoka (Ostrowska i in. 1991).

Rośliną testową w każdym roku był owies (w pierwszym roku odmiany „Dragon”, a w drugim i trzecim odmiany „Kasztan”). Obsadę roślin, nawożenie uzupełniające oraz długość okresu wegetacji przedstawiono w tabeli 3. Rośliny zbierano w fazie dojrzałości pełnej, rozdzielając uzyskany plon biomasy na ziarno, słomę i korzenie. Plon poszczególnych części suszono w suszarce z przepływem gorącego powietrza (temp. 70°C) następnie ważono, określając ilość suchej masy, oddzielnie ziarna, słomy i korzeni. Wyniki dotyczące plonowania owsa omówiono w innej publikacji (Gondek i Filipek-Mazur 2005). Wsuszone i rozdrobnione próbki materiału roślinnego mineralizowano na sucho w piecu muflowym (temp. 450°C przez 5 godz.) (Ostrowska i in. 1991). Uzyskany popiół roztworzono w kwasie azotowym (V) (1:2) i przeniesiono do kolb miarowych. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość Cd, Cr, Ni i Pb metodą ICP-AES na aparacie firmy JY 238 Ultrace (Francja).

Na podstawie uzyskanych wyników wyliczono ilości pobrane poszczególnych pierwiastków (suma dla trzech lat) jako iloczyn plonu suchej masy i zawartości, wskaźnik stopnia zanieczyszczenia jako iloraz zawartości metalu w roślinie nawożonej organicznie do zawartości w roślinie nawożonej solami mineralnymi, a także wskaźnik translokacji przyjmując zawartość metalu w korzeniach za 100 (Kopcewicz

i Lewak 1998). Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z uwzględnieniem analizy wariancji jednoczynnikowej i szacowaniem różnic przy pomocy testu Dunca-
na, przy poziomie istotności $p < 0,05$ (Stanisz 1998). Dla analizowanych paramet-
rów obliczono również współczynnik zmienności (V%).

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki dotyczące składu chemicznego kompostów, zwłaszcza zawartości metali ciężkich wskazujące na możliwość stosowania tych materiałów do celów nawozowych, skłoniły autorów niniejszej publikacji do przeprowadzenia badań wegetacyjnych, mających na celu określenie wpływu dodatku kompostów do gleby na zawartość oraz ilości metali ciężkich pobranych przez owies.

Plonowanie owsa w trzyletnim okresie badań było zróżnicowane (Gondek i Filipek-Mazur 2005). Sumaryczne plony ziarna, słomy i korzeni były największe w obiekcie gdzie zastosowano nawożenie solami mineralnymi (tab. 4). W obiektach, w których zastosowano nawożenie kompostami plony owsa były zbliżone, chociaż można zaobserwować tendencję do istotnie większego plonu (niezależnie od części rośliny) w obiektach, w których zastosowano kompost (B) z Krakowa i kompost (D) z Pragi.

Tabela 4. Plony suchej masy owsa (suma z trzech lat)

Table 4. Yield of oat dry matter (sum from three years)

| Obiekt – Treatment | g·wazon ⁻¹ – pot ⁻¹ | | |
|---|---|---------------|------------------|
| | ziarno – grain | słoma – straw | korzenie – roots |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 30,38 a* | 36,28 a | 3,69 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 102,74 d | 79,18 d | 7,15 c |
| Obornik – Farmyard manure | 80,66 bc | 64,54 b | 5,96 b |
| Kompost (A) – Compost (A) | 77,90 b | 64,27 b | 6,03 b |
| Kompost (B) – Compost (B) | 83,05 c | 68,42 c | 6,55 bc |
| Kompost (C) – Compost (C) | 77,66 b | 64,94 b | 6,09 b |
| Kompost (D) – Compost (D) | 82,24 bc | 66,77 bc | 6,71 bc |
| Współczynnik zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 29 | 21 | 19 |

* średnie w kolumnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg. testu Dunca-
na, $p < 0,05$ – means in the same column followed by the same letters are not significantly different acc.
to the Duncan test, $p < 0.05$.

Średnia arytmetyczna zawartość kadmu w suchej masie owsa zależała od organu rośliny i zastosowanego nawożenia (tab. 5).

Tabela 5. Średnia ważona zawartość metali ciężkich w suchej masie owsa
Table 5. Average weighted content of heavy metals in dry matter of oat

| Obiekt – Treatment | Cd | Cr | Pb | Ni |
|---|-----------------------------------|---------|----------|----------|
| | mg· kg ⁻¹ s.m. – d. m. | | | |
| | ziarno – grain | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,15 a | 0,43 a | 0,19 a | 1,12 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 0,59 d | 0,48 ab | 0,16 a | 1,74 e |
| Obornik – Farmacyard manure | 0,48 c | 0,57 b | 0,25 b | 1,68 de |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,42 b | 0,58 b | 0,17 a | 1,43 bc |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,40 b | 0,47 a | 0,19 a | 1,30 b |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,57 d | 0,42 a | 0,18 a | 1,40 bc |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,57 d | 0,46 a | 0,19 a | 1,51 cd |
| Współczynnik zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 34 | 13 | 15 | 15 |
| słoma – straw | | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,17 a | 0,39 a | 0,61 abc | 0,41 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 0,69 d | 0,45 b | 0,73 cd | 0,44 a–d |
| Obornik – Farmacyard manure | 0,54 c | 0,48 bc | 0,47 a | 0,43 ab |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,50 c | 0,49 cd | 0,68 bc | 0,46 bcd |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,41 b | 0,53 e | 0,62 abc | 0,44 abc |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,52 c | 0,52 de | 0,55 ab | 0,48 cd |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,55 c | 0,54 e | 0,92 d | 0,49 d |
| Współczynnik zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 33 | 11 | 22 | 6 |
| korzenie – roots | | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,76 a | 1,64 a | 2,77 bc | 2,13 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 1,45 d | 6,66 c | 3,05 c | 4,46 c |

| | | | | |
|---|---------|--------|----------|---------|
| Obornik – Farmyard manure | 1,23 c | 5,55 b | 2,88 bc | 3,80 b |
| Kompost (A) – Compost (A) | 1,00 b | 6,54 c | 2,59 abc | 4,31 bc |
| Kompost (B) – Compost (B) | 1,13 bc | 6,61 c | 2,17 a | 4,44 c |
| Kompost (C) – Compost (C) | 1,17 c | 6,68 c | 2,53 ab | 4,73 c |
| Kompost (D) – Compost (D) | 1,11 bc | 6,37 c | 2,89 bc | 4,29 bc |
| Współczynnik zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 19 | 32 | 11 | 22 |

* średnie w kolumnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg. testu Duncana, $p < 0,05$ – means in the same column followed by the same letters are not significantly different acc. to the Duncan test, $p < 0.05$.

Największe zawartości tego pierwiastka stwierdzono w systemie korzeniowym. Ziar- no i słoma owsa w obiektach nawożonych zawierały porównywalne ilości tego pier- wiastka, przy istotnym zróżnicowaniu międzyobiekowym. Przyjmując wartość $0,15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy (Gorlach i Gambuś 2000) za dopuszczalną przy przeznaczeniu ziarna do konsumpcji należy stwierdzić znaczne przekroczenie tej zawartości w bio- masie ziarna ze wszystkich obiektów, poza obiektem kontrolnym. Z punktu widzenia przeznaczenia paszowego zawartość kadmu w badanej biomase nie budziła zastrze- żeń (Gorlach i Gambuś 2000). Istotnie najwięcej kadmu, niezależnie od organu, stwierdzono u roślin nawożonych solami mineralnymi, w tym obiekcie również naj- większe były ilości pobrane tego pierwiastka (tab. 6).

Na ogół stwierdzono również większe ilości kadmu pobrane przez rośliny owsa w obiektach, w których zastosowano komposty z Nitry (C) i Pragi (D). Wskaźnik stopnia zanieczyszczenia kadmem we wszystkich obiektach kształtował się poniżej jedności, przy czym największą wartość tego parametru, zarówno w ziarnie jak i słomie, stwierdzono u roślin nawożonych kompostem z Nitry (C) (tab. 7). Wartości wskaźnika translokacji dla tego pierwiastka charakteryzowały się niewielkim zróżni- cowaniem międzyobiekowym i potwierdziły mniejsze nagromadzenie kadmu w częściach nadziemnych, w stosunku do korzeni (tab. 8). Prezentowane wyniki są zgodne z opublikowanymi przez Logana i Chaneya (1983), w których stwierdzono większe ilości pobierane kadmu w warunkach doświadczenia wazonowego, niż w uprawie polowej. Kadm jak twierdzi Chaney (1982) jest tym pierwiastkiem, który nie podlega działaniu tzw. barier gleba – roślina, co oznacza, że rośliny tolerują w swoim organizmie (nie wykazując objawów jego toksyczności) takie ilości kadmu, które są szkodliwe dla zwierząt spożywających te rośliny. Powyższe twierdzenie tłumaczy brak obniżenia plonu roślin w obiekcie nawożonym solami mineralnymi gdzie zawar- tość tego pierwiastka była największa. Z kolei Kabata-Pendias i Pendias (1999) twierdzą, że kadm przy zwiększonym pobieraniu jest gromadzony w większości w korzeniach, co stwierdzono również na podstawie wskaźników translokacji tego me-

tal. Blokada kadmu w korzeniach jak twierdzą cytowani autorzy polega prawdopodobnie na tworzeniu połączeń kadmu z grupami sulfhydrylowymi jak również białkami w wyniku, czego powstają tzw. fitochelatyny.

Tabela 6. Ilości metali ciężkich pobrane (suma z trzech lat) przez biomasę owsa
Table 6. Heavy metals uptake (sum from three years) by the biomass of oat

| Obiekt – Treatment | Cd | Cr | Pb | Ni |
|--|--|----------|----------|----------|
| | mg·wazon ⁻¹ – pot ⁻¹ | | | |
| | ziarno – grain | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,005 a | 0,013 a | 0,006 a | 0,034 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 0,061 e | 0,050 d | 0,017 c | 0,179 d |
| Obornik – Farmyard manure | 0,039 c | 0,046 cd | 0,020 d | 0,136 c |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,032 b | 0,045 cd | 0,014 b | 0,112 b |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,033 b | 0,039 bc | 0,016 bc | 0,108 b |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,044 d | 0,033 b | 0,014 b | 0,109 b |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,048 d | 0,039 bc | 0,016 bc | 0,128 b |
| Wsp. zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 46 | 33 | 30 | 38 |
| słoma – straw | | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,006 a | 0,014 a | 0,022 a | 0,015 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 0,054 e | 0,036 c | 0,058 d | 0,035 d |
| Obornik – Farmyard manure | 0,035 cd | 0,031 b | 0,030 ab | 0,028 b |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,032 cd | 0,032 b | 0,044 c | 0,030 bc |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,028 b | 0,037 c | 0,042 c | 0,030 bc |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,034 cd | 0,034 bc | 0,036 bc | 0,031 bc |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,037 d | 0,037 c | 0,063 d | 0,033 cd |
| Wsp. zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 44 | 26 | 35 | 23 |
| korzenie – roots | | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,002 a | 0,005 a | 0,008 a | 0,006 a |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 0,010 d | 0,048 d | 0,022 d | 0,032 c |

| | | | | |
|-------------------------------|----------|-----------|----------|----------|
| Obornik – Farmyard manure | 0,007 bc | 0,033 bc | 0,017 bc | 0,023 b |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,006 b | 0,040 bc | 0,016 bc | 0,026 bc |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,007 bc | 0,043 cd | 0,014 b | 0,029 c |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,007 bc | 0,041 bcd | 0,015 b | 0,029 c |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,008 c | 0,043 cd | 0,020 cd | 0,029 c |
| Wsp. zmienności (V%) | | | | |
| Coefficient of variation (V%) | 36 | 40 | 28 | 35 |

* średnie w kolumnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg. testu Duncana, $p < 0,05$ – means in the same column followed by the same letters are not significantly different acc. to the Duncan test, $p < 0.05$.

Tabela 7. Wartość indeksu stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi ziarna i słomy owsa
Table 7. Value of index of contamination with heavy metals for grain and straw of oat

| Obiekt – Treatment | Cd | Cr | Pb | Ni |
|--|----------------|--------|--------|----------|
| | ziarno – grain | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,26 a | 0,91 a | 1,14 a | 0,66 a |
| Obornik – Farmyard manure | 0,82 c | 1,20 a | 1,54 b | 0,98 b |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,71 b | 1,24 a | 1,07 a | 0,84 ab |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,68 b | 1,01 a | 1,18 a | 0,76 ab |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,96 d | 0,92 a | 1,09 a | 0,82 ab |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,95 d | 0,94 a | 1,15 a | 0,86 ab |
| Wsp. zmienności (V%) | | | | |
| Coefficient of variation (V%) | 35 | 14 | 15 | 13 |
| słoma – straw | | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 0,25 a | 0,85 a | 0,84 a | 0,93 a |
| Obornik - Farmyard manure | 0,80 c | 1,07 b | 0,64 a | 0,98 ab |
| Kompost (A) – Compost (A) | 0,74 bc | 1,09 b | 0,94 a | 1,04 abc |
| Kompost (B) – Compost (B) | 0,61 b | 1,18 b | 0,85 a | 0,99 abc |
| Kompost (C) – Compost (C) | 0,77 c | 1,15 b | 0,75 a | 1,08 bc |
| Kompost (D) – Compost (D) | 0,83 c | 1,16 b | 1,40 b | 1,10 c |
| Wsp. zmienności (V%) | | | | |
| Coefficient of variation (V%) | 33 | 11 | 29 | 6 |

* średnie w kolumnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg. testu Duncana, $p < 0,05$ – means in the same column followed by the same letters are not significantly different acc. to the Duncan test, $p < 0.05$.

Zawartość chromu w ziarnie i słomie owsa nie przekraczała $0,60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ (tab. 5). Były to zawartości mieszczące się w zakresie zawartości normalnych (Gorlach i Gambuś 2000). Pomimo nieznacznych różnic w zawartościach bezwzględnych tego pierwiastka zarówno w ziarnie ($V\% = 13$), jak również w słomie ($V\% = 11$), różnice te okazały się istotne statystycznie. W korzeniach owsa zawartość tego metalu była kilkakrotnie większa od oznaczonej w częściach nadziemnych. Stwierdzono dodatkowo większe zróżnicowanie międzyobiektywne ($V\% = 32$). Ilości chromu pobranego przez ziarno i słomę owsa kształtowały się na poziomie porównywalnym z ilościami pobranego kadmu (tab. 6). Ilości chromu pobrane przez system korzeniowy owsa były porównywalne z ilością tego pierwiastka pobraną przez ziarno i słomę, co wynikało z wyraźnie mniejszego plonu biomasy korzeni (tab. 4). Wskaźnik stopnia zanieczyszczenia biomasy ziarna i słomy tym pierwiastkiem był prawie w każdym przypadku większy od jedności, co świadczy o większej koncentracji tego pierwiastka w biomacie roślin nawożonych organicznie, w stosunku do biomasy nawożonej solami mineralnymi (tab. 7).

Można to również wytłumaczyć efektem rozcieńczenia w większym plonie owsa w obiekcie nawożonym solami mineralnymi. Przemieszczanie chromu z systemu korzeniowego do części nadziemnych było niewielkie i w obiektach nawożonych nie przekraczało 10% (tab. 8). Największe wartości wskaźnika translokacji stwierdzono w ziarnie i słomie owsa nienawożonego, co wynikało z najmniejszej koncentracji tego pierwiastka w systemie korzeniowym. Zawartość chromu w częściach nadziemnych roślin mogących stanowić paszę dla zwierząt (ziarno i słoma) kształtowała się na poziomie zawartości niedoborowych (Gorlach 1991). Spowodowało to bierne pobieranie tego pierwiastka z gleby w zależności od jego dostępności dla roślin. Szybka redukcja chromu w środowisku glebowym według Kabaty-Pendias i Pendias (1999) oraz Czeakały (1997), powoduje, że jest on na ogół trudno dostępny dla roślin. Powyższy pogląd jest tylko częściowo słuszny, ponieważ, jak wskazują przeprowadzone badania własne, był on pobierany, ale główna jego część była zatrzymywana w korzeniach roślin, co potwierdzają bardzo małe wartości wskaźnika translokacji obliczone dla tego pierwiastka. Mechanizm tego procesu wynikał prawdopodobnie z powinowactwa chromu trójwartościowego do tworzenia kompleksów i chelatów ze składnikami ściany komórkowej. Proces ten jak twierdzi Czeakała (1997) ogranicza wnikanie chromu do wnętrza komórki i przemieszczanie się do organów nadziemnych, co tłumaczyłoby niewielką koncentrację Cr w ziarnie i słomie.

Koncentracja ołowiu w ziarnie owsa nie przekraczała $0,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$, przy nieznacznym zróżnicowaniu międzyobiektywnym (tab. 5). Były to zawartości niebudzące zastrzeżeń pod względem przeznaczenia ziarna na cele spożywcze, a tym bardziej na cele paszowe (Gorlach i Gambuś 2000). Od blisko 2 do 5 krotnie większe okazały się zawartości ołowiu w słomie, a najwięcej tego pierwiastka

stwierdzono w biomase słomy z obiektów, w których zastosowano nawożenie mineralne i kompost z Pragi (D). Najwięcej ołowiu oznaczono w korzeniach owsa, przy istotnym zróżnicowaniu międzyobiekowym. Ilości ołowiu pobranego przez rośliny owsa nie różniły się znacząco w stosunku do ilości pobranego kadmu czy chromu (tab. 6), przy czym największe ilości tego pierwiastka pobrał owies ze słomą. Wskaźnik zanieczyszczenia biomasy ziarna ołowiem kształtował powyżej jedności, co świadczy o większym nagromadzeniu tego metalu w ziarnie owsa nawożonego organicznie niż solami mineralnymi (tab. 7). Oprócz słomy z obiek-

Tabela 8. Wartość indeksu translokacji metali ciężkich dla ziarna i słomy owsa
Table 8. Heavy metals translocation index for grain and straw of oat

| Obiekty – Treatment | Cd | Cr | Pb | Ni |
|--|----------------|------|-------|-------|
| | ziarno – grain | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 20 a | 26 c | 7 ab | 53 d |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 41 b | 7 a | 5 a | 39 bc |
| Obornik – Farmyard manure | 39 b | 10 b | 9 c | 44 cd |
| Kompost (A) – Compost (A) | 42 b | 9 ab | 7 ab | 33 ab |
| Kompost (B) – Compost (B) | 36 b | 7 a | 9 c | 29 a |
| Kompost (C) – Compost (C) | 49 c | 6 a | 7 ab | 30 a |
| Kompost (D) – Compost (D) | 49 c | 8 a | 6 c | 36 ab |
| Wsp. zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 23 | 89 | 20 | 24 |
| słoma – straw | | | | |
| Kontrola (bez nawożenia) Control (no fertilisation) | 23 a | 24 b | 22 ab | 20 b |
| Nawożenie mineralne Mineral fertilisation | 48 c | 7 a | 24 b | 10 a |
| Obornik – Farmyard manure | 44 bc | 9 a | 16 a | 11 a |
| Kompost (A) – Compost (A) | 50 c | 8 a | 27 b | 11 a |
| Kompost (B) – Compost (B) | 37 b | 8 a | 29 bc | 10 a |
| Kompost (C) – Compost (C) | 45 bc | 8 a | 23 ab | 10 a |
| Kompost (D) – Compost (D) | 49 c | 9 a | 34 c | 12 a |
| Wsp. zmienności (V%) Coefficient of variation (V%) | 21 | 74 | 22 | 34 |

* średnie w kolumnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg. testu Duncana, $p < 0,05$ – means in the same column followed by the same letters are not significantly different acc. to the Duncan test, $p < 0.05$.

tu nawożonego kompostem z Pragi (D), wartość wskaźnika skażenia dla tego plonu kształtowała się poniżej jedności. Wskaźnik translokacji ołowiu wyliczony dla ziarna nie przekraczał 10% (tab. 8). Na ogół ponad 2-krotnie większe wartości tego parametru stwierdzono dla słomy. Jak wynika z prezentowanych badań zawartość ołowiu w biomase mogącej stanowić źródło paszy dla zwierząt nie budziła zastrzeżeń (Gorlach i Gambuś 2000). Koncentracja tego pierwiastka w biomase owsa zależała od jego dostępności w podłożu, a także organu rośliny. Ołów podobnie jak kadm i chrom był zatrzymywany w korzeniach owsa, co wynikało z powstawania w systemie korzeniowym form ołowiu słabo rozpuszczalnych.

Zawartość niklu w owsie zależała przede wszystkim od analizowanego organu (tab. 5). Pod względem zawartości tego pierwiastka można ułożyć następujący szereg w kolejności wzrastającej: słoma < ziarno < korzenie. Zarówno w przypadku ziarna jak i słomy owsa stwierdzono niewielkie, ale istotne różnicowanie międzyobiektywne, a oznaczone zawartości nie budziły zastrzeżeń pod względem przydatności paszowej badanej biomasy (Gorlach i Gambuś 2000). Zawartość niklu w korzeniach była średnio ponad 2-krotnie większa niż w ziarnie i ponad 8-krotnie większa niż w słomie. Pobrane ilości niklu przez owies było bardziej zróżnicowane, przy czym w każdym przypadku istotnie najwięcej tego pierwiastka pobierały rośliny nawożone solami mineralnymi (tab. 6). Większe wartości wskaźnika stopnia zanieczyszczenia stwierdzono w przypadku słomy owsa przy niewielkim zróżnicowaniu międzyobiektywnym (tab. 7). Porównywalne z wyliczonymi dla kadmu w ziarnie owsa okazały się wskaźniki translokacji dla niklu (tab. 8), przy czym dla kadmu wskaźnik ten osiągnął najmniejszą wartość u roślin z obiektu kontrolnego, a w przypadku niklu była to wartość największa. Podobnej zależności nie stwierdzono w przypadku słomy. Koncentracja niklu w roślinach zdaniem wielu autorów (Brown i in. 1987, Alloway 1997, Gębski 1998, Filipek i Olek 2000) w dużej mierze zależy od zawartości tego pierwiastka w glebie, a szczególnie dostępnych jego form. Zawartość niklu w ziarnie owsa była największa z badanych metali ciężkich, ale nie dyskwalifikowała uzyskanej biomasy pod względem przydatności do spożycia, a tym bardziej pod względem przeznaczenia paszowego (Gorlach i Gambuś 2000). Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono nadmiernej kumulacji tego pierwiastka w poszczególnych frakcjach plonu owsa nawożonego kompostami, co wynikało z małej jego koncentracji w kompostach, jak również jego niewielkiej biodostępności (Filipek-Mazur i in. 2001).

WNIOSKI

1. Sumaryczny plon owsa był największy w obiekcie, gdzie zastosowano nawożenie solami mineralnymi.

2. Ilości badanych metali ciężkich wprowadzone do gleby z zastosowanym nawożeniem były niewielkie i za wyjątkiem kadmu nie spowodowały nadmiernej kumulacji tych pierwiastków w częściach nadziemnych owsa.

3. Niezależnie od badanego pierwiastka najwięcej metali ciężkich oznaczono w systemie korzeniowym owsa.

4. Największe wartości wskaźnika zanieczyszczenia ziarna uzyskano w przypadku chromu i ołowiu, a w przypadku słomy dodatkowo niklu. Uzyskane wartości powyżej jedności świadczą o większym nagromadzeniu tych pierwiastków w biomacie roślin nawożonych organicznie w stosunku do nawożonych solami mineralnymi.

5. Uzyskane wartości wskaźnika translokacji badanych metali ciężkich wskazując na większe nagromadzenie tych pierwiastków w korzeniach niż częściach nadziemnych owsa.

PIŚMIENNICTWO

- Alloway B. J., 1997. Heavy metals in soils. Secondo editio. Blackie Academic and Professional, 152-179.
- Brown P. H., Welch R. M., Cary E. E., 1987. Nickel: a micronutrient essential for higher plant growth. *J. Plant Nutr.*, 10, 2125-2135.
- Chaney R. L., 1982. Fate of toxic substance in sludge applied to cropland. *Proc. Intern. Symp. on Land Application of Sewage Sludge. Association for Utilization of Sewage Sludge, Tokio, Japan*, 259-324.
- Czekała J., 1997. Chrom w glebie i roślinie występowanie, sorpcja i pobieranie w zależności od jego formy i dawki, właściwości środowiska i nawożenia. *Wyd. AR w Poznaniu, ser. Rozpr.* 274, ss. 90.
- Filipek T., Olek J., 2000. Akumulacja i pobieranie niklu przez rośliny testowe nawadniane oczyszczonymi ściekami komunalnymi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 472, 235-240.
- Filipek-Mazur B., Mazur K., Gondek K., 2001. Zawartość mobilnych form metali ciężkich w kompostach i wermikompostach z osadów z oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych. *Cz. I. Cynk, nikiel i chrom. Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 372, 133-138.
- Gębski M., 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajalność metali przez rośliny. *Post. Nauk Roln.*, 5, 3-16.
- Gondek K., Filipek-Mazur B., 2004. Zmiany zawartości rozpuszczalnych form manganu i żelaza oraz związków próchnicznych w osadzie ściekowym kompostowanym i wermikompostowanym. *Acta Agrophysica*, 112, 667-686.
- Gondek K., Filipek-Mazur B., 2005. Agrochemiczna ocena wartości nawozowej kompostów różnego pochodzenia. *Acta Agrophysica*, 116, 271-282.
- Gorlach E., 1991. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach pastewnych jako miernik ich wartości. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ses. Nauk.*, 34, 13-22.
- Gorlach E., Gambuś F., 2000. Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 472, 275-296.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. PWN Warszawa, ss. 397.
- Kopcewicz J., Lewak S., 1998. *Podstawy fizjologii roślin*. Wyd. PWN Warszawa, ss. 774.
- Krzywy E., Wołoszyk Cz., Iżewska A., 2004. Wartość nawozowa kompostów z komunalnych osadów ściekowych. [W]: *Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym*. Wyd. AP Siedlce, ser. Monogr. 54, 98-109.

- Logan T. J., Chaney R. L., 1983. Utilization of municipal waste water and sludge on land – metals. [In]: “Utilization of Municipal Waste Water and Sludge on Land”. Ed. by University of California. Riverside, 235-326.
- Mazur T., 1995. Rozważania o degradacji gleb w wyniku nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 418, 25-36.
- Mazur T., Sądej W., 1989. Wpływ wieloletniego nawożenia gnojowicą, obornikiem i NPK na niektóre właściwości chemiczne i fizykochemiczne właściwości gleby. Roczn. Glebozn., 40, 1, 147-153.
- Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny gleby i roślin. Wyd. IOŚ Warszawa.
- Siuta J., 1999. Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. Mat. I Konf. Nauk. – Tech., Puławy-Warszawa, 16-18.06, 7-20.
- Stanisz A., 1998. Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN OATS FERTILIZED WITH COMPOSTS

Krzysztof Gondek

Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

Abstract. Heavy metals occur in composts in various forms, depending on the properties of the element itself and also on the composted material. Potential of heavy metal uptake by plants and accumulation in tissues vary considerably, therefore the investigations were conducted to present the accumulation of selected heavy metals in oats cultivated in soil supplemented with composts. The total oat yield for three years was the biggest on mineral salts treatment. Amounts of studied heavy metals brought into the soil with organic fertilizers were small and except for cadmium did not cause excessive accumulation of these elements in oat aerial parts. Heavy metals were accumulated in the root system. The highest values of contamination degree index in grain were registered for chromium and lead, and in straw additionally for nickel. Obtained values exceeding one show greater accumulation of these elements in biomass of plants receiving organic fertilization than in those fertilized with mineral salts. Values of translocation index were the smallest for chromium and lead.

Key words: fertilization, compost, heavy metals, accumulation, oat