

AKUMULACJA MIKROELEMENTÓW W BIOMASIE OWSA
ORAZ ICH DOSTĘPNOŚĆ W GLEBIE NAWOŻONEJ KOMPOSTEM
Z ODPADÓW ROŚLINNYCH

Krzysztof Gonddek, Barbara Filipek-Mazur

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

Streszczenie. Znaczne zmniejszenie ilości obornika stosowanego do nawożenia gleb, a także stosunkowo niewielkie ilości nawozów mineralnych wzbogaconych w mikroelementy wykorzystywanych w rolnictwie stwarza duże możliwości wykorzystania kompostów do nawożenia gleb i roślin. Celem niniejszych badań było określenie bezpośredniego i następczego działania kompostów z odpadów zielonych, w porównaniu do klasycznego nawożenia mineralnego (NPK) i organicznego (obornikiem), na akumulację wybranych mikroelementów w biomasie owsa oraz ich dostępność w glebie. Największe ilości pobranych przez owies mikroelementów (niezależnie od części rośliny) stwierdzono w obiekcie nawożonym mineralnie, co było podyktowane głównie największym plonem biomasy owsa. Ilości mikroelementów pobrane przez owies w obiektach nawożonych kompostami kształtowały się na poziomie porównywalnym z ilościami pobranymi w obiekcie nawożonym obornikiem. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów w glebie zwiększyła się po trzech latach badań, co między innymi było spowodowane postępującym zakwaszeniem gleby.

Słowa kluczowe: akumulacja, mikroelementy, owies, kompost

WSTĘP

Zawartość pierwiastków śladowych w glebach stale się zwiększa, między innymi w wyniku działalności człowieka (coraz większe uprzemysłowienie), a w przypadku rolnictwa chemizacja produkcji rolniczej. Rozwój szeroko pojętej cywilizacji pozostawia po sobie dodatkowo „produkt uboczny” w postaci odpadu. Unieszkodliwianie lub powtórne wykorzystanie odpadów w wielu przypadkach jest problemem nierozwiązanym i wymaga szybkiego uregulowania. Rozpatrując wykorzystanie odpadów organicznych wskazuje się na ich przyrodnicze zagospodarowanie, jako sposób najlepszy. Z jednej strony jest to zasadne, ze względu na po-

wrót do obiegu substancji organicznej i pierwiastków biogennych. Z drugiej jednak strony powstałe odpady to nie tylko „produkt” pomniejszony o składniki wykorzystane do produkcji w celu osiągnięcia „produktu finalnego”, ale często wzbogacone w substancje lub składniki utrudniające ich późniejsze wykorzystanie.

W przypadku odpadów roślinnych nie można mówić, że są to odpady powstałe w wyniku procesu produkcji. Problemem przy ich wykorzystaniu jest częste wzbogacenie biomasy w pierwiastki śladowe [11]. Odpady tego typu poddaje się procesowi kompostowania głównie dla poprawy ich właściwości chemicznych, a także fizycznych. Różnorodność źródeł oraz zmienność (w czasie) właściwości odpadów organicznych sprawiają, że istnieją trudności z ustaleniem odpowiedniego składu komponentów do kompostowania, co powoduje, że parametry jakościowe tych nawozów również ulegają dużej dynamice. Znaczne zmniejszenie ilości obornika stosowanego do nawożenia gleb, a także stosunkowo niewielkie ilości wykorzystywanych w rolnictwie nawozów mineralnych wzbogaconych w mikroelementy stwarza, duże możliwości dla wykorzystania kompostów do nawożenia gleb i roślin. Określenie zawartości mikroelementów w kompostach nie daje odpowiedzi na pytanie czy pierwiastki te po wprowadzeniu do gleby będą dostępne dla roślin, a zatem istnieje potrzeba określenia faktycznej bioprzyswajalności mikroelementów z kompostów.

Atutem nawozów organicznych jest rozłożenie ich działania nawozowego w czasie, a także wielokierunkowość tego działania, zarówno na roślinę, jak i właściwości gleby. Celem badań było określenie bezpośredniego i następczego działania kompostów z odpadów zielonych, w porównaniu do klasycznego nawożenia mineralnego (NPK) i organicznego (obornikiem), na akumulację wybranych mikroelementów w biomase owsa oraz ich dostępność w glebie.

MATERIAŁ I METODY

Badania 3 letnie prowadzono w doświadczeniu wazonowym w hali wegetacyjnej Katedry Chemii Rolnej AR w Krakowie. Wazony PCV mieściły 5,5 kg powietrznie suchego materiału glebowego. W doświadczeniu zastosowano komposty z odpadów roślinnych (z dwóch różnych partii) – kompost (A) i (B) produkowane wg. technologii MUT Kyberferm z kompostowni zlokalizowanej na terenie miasta Krakowa. Pobranie mikroelementów przez owies oraz ich dostępność w glebie, do której wprowadzono komposty, porównywano z obiektami nawożonymi mineralnie (NPK) oraz obornikiem.

W świeżych próbkach kompostów i obornika 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, Ni i Fe) po mineralizacji próbki na sucho w piecu muflowym (temp. 450°C przez 5 h) i roztworzeniu popiołu w kwasie azotowym (V) (1:2). Fosfor oznaczono kolorymetrycznie, wykonując pomiar spektrofotometrem firmy Backman 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 [9]. Wyniki dotyczące składu chemicznego kompostów podano w tabeli 1 i 2, a dokładnie omówiono w innej publikacji [3].

Tabela 1. Zawartość makroelementów w oborniku i kompostach użytych w doświadczeniu
Table 1. Macroelements content in FYM and composts used in experiment

Nawóz Fertiliser	Sucha masa	N ogólny Total N	P	K	Ca	Na	Mg
	Dry matter						
	g·kg ⁻¹		g·kg ⁻¹ s.m. – d.m.				
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

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

Nawóz – Fertiliser	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg·kg ⁻¹ s.m. - d.m.			
Obornik Farmyard manure	411,00	419	314	1405
Kompost – Compost (A)	35,15	291	245	4550
Kompost – Compost (B)	33,20	290	316	5345
Nawóz – Fertiliser	Cr	Pb	Cd	Ni
	mg·kg ⁻¹ s.m. - d.m.			
Obornik Farmyard manure	2,81	2,76	0,90	9,62
Kompost – Compost (A)	13,35	23,40	2,00	6,66
Kompost – Compost (B)	18,00	25,90	1,60	7,19

W doświadczeniu wegetacyjnym dawki kompostów i obornika ustalano w oparciu o zawartość w nich azotu. Dawka azotu, w przeliczeniu na wazon wynosiła 0,8 g. Fosfor i potas wyrównywano we wszystkich obiektach (poza kontrolą) do najwyższego poziomu wprowadzonego w formie materiałów organicznych. Fosfor stosowano w formie mączki fosforytowej, a potas w formie soli potasowej. W obiekcie nawożonym mineralnie azot stosowano w formie azotanu amonu. W drugim i trzecim roku badań stosowano uzupełniające nawożenie mineralne w wysokości 0,8 g N (w formie NH_4NO_3), 0,5 g P (w formie $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) i 1,2 g K na wazon (w formie KCl).

Badania prowadzono na materiale glebowym zawierającym 32% cząstek o średnicy $< 0,02$ mm. Dokładną charakterystykę materiału glebowego podano w tabeli 3.

Tabela 3. Wybrane właściwości gleby użytej w doświadczeniu

Table 3. Some properties of soil used in experiment

Oznaczenie – Determination							
Frakcja Fraction < 0,02 %	pH (H_2O)	pH (KCl)	Hh ¹⁾ mmol(+)-kg ⁻¹ s.m. – d.m.	C org. Organic C g·kg ⁻¹ s.m.– d.m.	N ogólny Total N 1,10	P Przyswajalne Available mg·kg ⁻¹ s.m. – d.m.	K 294,73
32	6,27	5,75	11,2	11,0	1,10	75,21	294,73
Formy ogólne – Total form mg·kg ⁻¹ s.m. – d. m.							
Cu	Zn	Mn	Fe	Pb	Ni	Cr	Cd
9,68	73,49	232,99	11585	30,75	17,35	8,29	0,55

¹⁾ Hh – kwasowość hydrolityczna – hydrolytic acidity.

Rośliną testową w każdym roku był owies (w pierwszym roku odmiany „Dragon”, a w drugim i trzecim odmiany „Kasztan”). Obsada roślin w każdym roku była jednakowa (14 roślin w wazonie). Długość okresu wegetacji w pierwszym roku wynosiła 82 dni, w drugim 90 dni, a w trzecim 109 dni. 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 we wcześniejszej publikacji [3]. Wysuszone i rozdrobnione próbki materiału roślinnego mineralizowano na sucho w piecu muflowym (temp. 450°C przez 5 godz.) [9]. Uzyskany popiół roztworzono w rozcieńczonym kwasie azotowym (V) (1:2) i przeniesiono na gorąco do kolb miarowych. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość Cu, Zn, Mn i Fe metodą ICP-AES na aparacie firmy JY 238 Ultrace (Francja). Ilości mikroelementów po-

branych z plonem owsa wyliczono jako iloczyn plonu suchej masy i zawartości w plonie. W materiale glebowym (pobranym z każdego wazonu oddzielnie) wysuszonym i przesianym przez sito o średnicy oczek 1 mm oznaczono: pH w zawieszynie gleby i wody oraz gleby i KCl o stężeniu 1 mol·dm⁻³; wybrane mikroelementy (Cu, Zn, Mn i Fe) wyekstrahowano z gleby roztworem HCl o stężeniu 1 mol·dm⁻³ [9]. W uzyskanych ekstraktach zawartość badanych pierwiastków oznaczono metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace.

Analizy materiału roślinnego i glebowego prowadzono w czterech równoległych powtórzeniach, a materiałów organicznych i gleby wyjściowej w dwóch powtórzeniach dołączając do każdej serii analizowanego materiału próbkę laboratoryjną o znanych parametrach, a wynik uznawano za wiarygodny, jeżeli względny błąd oznaczenia (RSD) nie przekraczał 5%.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z uwzględnieniem analizy wariancji jednoczynnikowej i szacowaniem różnic przy pomocy testu Duncana, przy poziomie istotności $p < 0,05$ [12].

WYNIKI I DYSKUSJA

Plonowanie owsa w poszczególnych latach badań było zróżnicowane [3]. Sumaryczne plony (ziarna, słomy lub korzeni) świadczą, że największy plon, niezależnie od części rośliny stwierdzono w obiekcie, gdzie zastosowano nawożenie solami mineralnymi (tab. 4). W obiektach, nawożonych kompostami plony owsa były zbliżone do uzyskanych w obiekcie nawożonym obornikiem.

Tabela 4. Plon suchej masy owsa (suma z trzech lat)
Table 4. Yield of oat dry matter (sum from three years)

Obiekt – Treatment	Plon g·wazon ⁻¹ – Yield g pot ⁻¹					
	ziarno – grain		słoma – straw		korzenie – roots	
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	30,38	a*	36,28	a	3,69	a
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	102,74	d	79,18	d	7,15	c
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	80,66	bc	64,54	b	5,96	b
Gleba + compost (A) Soil + compost (A)	77,90	b	64,27	b	6,03	b
Gleba + compost (B) Soil + compost (B)	83,05	c	68,42	c	6,55	bc

* a, b, c – grupy jednorodne według testu Duncana $\alpha < 0,05$ – * a, b, c – homogeneous groups according to the Duncan test, $\alpha < 0.05$.

Ilości pobranej miedzi przez ziarno owsa były największa w obiekcie nawożonym mineralnie (tab. 5). Istotnie mniej miedzi z plonem ziarna pobrały rośliny nawożone obornikiem i kompostami.

Tabela 5. Pobranie mikroelementów (suma za 3 lata) przez owies
Table 5. Microelements uptake (sum from three years) of oat

Obiekt – Treatment	Cu		Zn		Mn		Fe	
	mg·wazon ⁻¹ – mg pot ⁻¹							
ziarno – grain								
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	0,094	a*	0,854	a	0,503	a	1,089	a
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	0,393	c	4,566	c	4,022	c	4,825	d
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	0,332	b	3,025	b	3,672	c	3,665	bc
Gleba + kompost (A) Soil + compost (A)	0,308	b	3,021	b	3,020	b	3,467	b
Gleba + kompost (B) Soil + compost (B)	0,301	b	2,864	b	2,734	b	3,924	c
słoma – straw								
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	0,035	a	0,502	a	0,734	a	1,084	a
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	0,120	c	2,796	c	4,203	e	3,919	d
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	0,085	b	1,331	b	3,091	d	2,808	b
Gleba + kompost (A) Soil + compost (A)	0,111	c	1,275	b	2,084	c	3,204	c
Gleba + kompost (B) Soil + compost (B)	0,092	b	1,316	b	1,242	b	3,237	c
korzenie – root								
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	0,016	a	0,134	a	0,096	a	2,587	a
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	0,049	d	0,399	d	0,329	d	7,532	d
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	0,046	cd	0,345	c	0,239	c	5,359	b
Gleba + kompost (A) Soil + compost (A)	0,036	b	0,291	b	0,187	b	4,617	b
Gleba + kompost (B) Soil + compost (B)	0,040	bc	0,380	cd	0,243	c	4,776	b

* a, b, c – grupy jednorodne według testu Duncana $\alpha < 0,05$ – * a, b, c – homogeneous groups according to the Duncan test, $\alpha < 0.05$.

W odniesieniu do obiektu nawożonego obornikiem rośliny nawożone kompostami pobierały blisko 10% miedzi mniej. Podobnie jak w przypadku ziarna największe ilości miedzi z plonem słomy pobrały rośliny nawożone mineralnie (tab. 5). W obiektach nawożonych kompostami (w stosunku do obiektu nawożonego obornikiem) stwierdzono większe pobranie miedzi o 30% w przypadku kompostu (A) i 8% w przypadku kompostu (B). Ilości pobranej miedzi przez korzenie owsa były najmniejsze i nie przekraczały $0,05 \text{ mg Cu-wazon}^{-1}$ (tab. 5). Istotnie największe ilości miedzi pobrał system korzeniowy owsa nawożonego mineralnie. Według Błaziaka i in. [1] zastosowanie do nawożenia zarówno słomy z dodatkiem azotu jak i obornika spowodowało zwiększenie zawartość miedzi w zbożach. Według cytowanych autorów wynikało to z korzystnych warunków glebowych, a głównie odczynu, który sprzyjał pobieraniu tego pierwiastka. Według Curyły [2], dodatek do gleby między innymi miedzi spowodował zwiększenie jej pobrania przez owies. W cytowanych badaniach miedź do gleby została wprowadzona w formie potencjalnie dostępnej dla roślin – roztworów czystych chemicznie soli. Trudno jest oczekiwać podobnego rezultatu badań po zastosowaniu do nawożenia kompostów. Według Winiarskiej [14] wpływ nawożenia kompostem na zawartość miedzi w roślinach był niewielki.

Największe ilości pobranego cynku przez ziarno owsa stwierdzono w obiekcie nawożonym mineralnie ($4,566 \text{ mg-wazon}^{-1}$) (tab. 5). Istotnie mniejsze ilości pobranego cynku stwierdzono w obiektach nawożonych obornikiem i kompostami. Ilości cynku pobranego przez słomę były mniejsze od stwierdzonych w ziarnie (tab. 5). Podobnie jak ziarno również biomasa słomy owsa pobrała największe ilości cynku w obiekcie nawożonym mineralnie. W pozostałych obiektach nawożonych ilości cynku pobranego przez biomasę słomy były mniejsze o ponad 50%, przy braku istotnego zróżnicowania. Ilości cynku pobrane przez system korzeniowy owsa były mniejsze o ponad 3 do 7-krotnie (w stosunku do ilości pobranych przez słomę) (tab. 5). Jak podaje Wołoszyk [15] w wyniku działania bezpośredniego komposty mogą zwiększać zawartość między innymi cynku w roślinach w stosunku do nawożenia mineralnego. Jednocześnie stwierdza on [15], że stosowanie umiarkowanych dawek kompostów, o małej zawartości pierwiastków śladowych nie powoduje ich nadmiernej kumulacji w roślinach. Według Winiarskiej [14] wpływ nawożenia kompostami na zawartość cynku w roślinach jest niewielki.

Najwięcej manganu pobrała biomasa ziarna owsa w obiekcie nawożonym mineralnie, podobnie było w przypadku słomy i korzeni (tab. 5). Ziarno owsa z obiektów nawożonych kompostami pobrało istotnie mniej tego pierwiastka w porównaniu do obiektu nawożonego obornikiem. Biomasa słomy pobrała porównywalne ilości manganu do pobranych przez ziarno owsa (tab. 5). Ilości manganu pobrane przez korzenie owsa nie przekraczały $0,330 \text{ mg-wazon}^{-1}$ (tab. 5). Najmniej tego pierwiastka pobrał system korzeniowy w obiekcie bez nawożenia.

Według Winiarskiej [14] wpływ nawożenia kompostem na zawartość cynku i miedzi w biomacie zielonki z żyta i słomie owsa był niewielki natomiast stosunkowo większe zmiany dotyczyły zawartości manganu [14]. Cytowana autorka dodatkowo stwierdziła, że zwiększenie dawki kompostu spowodowało zmniejszenie zawartości manganu w kukurydzy i łubinie.

Największe zróżnicowanie międzyobiektywne i pomiędzy poszczególnymi częściami owsa stwierdzono w ilościach pobranego żelaza (tab. 5). Największe ilości tego pierwiastka, mimo najmniejszego plonu pobrał system korzeniowy owsa. Najmniej żelaza niezależnie od nawożenia pobrała słoma owsa. Bez względu na część rośliny największe ilości żelaza pobranego stwierdzono w obiekcie nawożonym mineralnie. Pomimo porównywalnej dostępności żelaza w glebie poszczególnych obiektów doświadczenia stwierdzono istotne zróżnicowanie w ilościach pobranych tego pierwiastka przez owies. Według Lingle i in. [7] pobieranie żelaza może być między innymi ograniczone przez nadmiar Ca, Mg i P. Gleba, na której prowadzono badania charakteryzowała się względnie wysoką zawartością fosforu, a jej kompleks sorpcyjny był głównie wysycany przez jony Ca^{2+} .

Nawożenie gleby kompostami spowodowało istotne zwiększenie jej wartości pH (oznaczone w H_2O i KCl), zwłaszcza po pierwszym roku doświadczenia, w porównaniu do pozostałych obiektów doświadczenia (tab. 6). Statystycznie udowodniono odkwaszające działanie kompostów. W trzecim roku badań, niezależnie od zastosowanego nawożenia, stwierdzono obniżanie się wartości pH, przy czym największe tempo zakwaszania gleby stwierdzono w obiekcie nawożonym mineralnie. Wzrost wartości pH pod wpływem stosowania kompostów stwierdzili Lekan i Kacperk [6], Pinamonti [10] oraz Szulc i in. [13]. Korzystny wpływ kompostów na odczyn gleby wynikał przede wszystkim z większej zawartości w nich wapnia, w porównaniu do ilości oznaczonych w oborniku. Stosunkowo krótkotrwały, dodatni efekt działania nawożenia kompostami na pH gleby był związany z wielkością dawki tych materiałów, co potwierdzają wyniki badań Szulca i in. [13], w których stwierdzono zwiększenie wartości pH wraz ze zwiększeniem dawki kompostu.

Zawartość miedzi w glebie po pierwszym roku doświadczenia, wyekstrahowanej roztworem HCl była najmniejsza w glebie obiektów nawożonych kompostami (tab. 7). Największą dostępność tego pierwiastka stwierdzono w glebie nawożonej obornikiem. Po trzech latach badań zawartość dostępnej miedzi w glebie obiektu nawożonego obornikiem utrzymywała się na zbliżonym poziomie, przy znacząco, bo o $1,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, większej zawartości miedzi ekstrahowanej kwasem solnym z gleby nawożonej mineralnie. Zawartość miedzi w glebie nawożonej kompostami kształtowała się na zbliżonym poziomie (kompost B) do zawartości oznaczonych po roku pierwszym lub nieznacznie się zwiększyła (kompost A). Wśród składników glebowych wpływających na mobilność miedzi wymienia się

minerały ilaste, odczyn, wodorotlenki żelaza i manganu, oraz substancję organiczną gleby [5]. Znaczące ilości miedzi wprowadzone do gleby z obornikiem spowodowały istotne zwiększenie jej dostępności w glebie. W badaniach Jakubus i in. [4] nad wpływem wieloletniego nawożenia mineralnego i organicznego na zawartość między innymi miedzi w różnych frakcjach w glebie stwierdzono, że nawożenie to nie spowodowało nadmiernej kumulacji tego pierwiastka w glebie, przy czym nawożenie obornikiem zmniejszyło udział frakcji łatwo rozpuszczalnej miedzi w zawartości ogólnej, a nawożenie mineralne ten udział zwiększyło.

Tabela 6. pH gleby

Table 6. Soil pH

Obiekt – Treatment	pH H ₂ O				pH KCl			
	1. rok – 1 st year		3. rok – 3 rd year		1. rok – 1 st year		3. rok – 3 rd year	
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	6,92	a*	6,90	bc	6,32	a	6,49	b
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	7,05	b	6,56	a	6,52	b	6,34	a
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	7,03	b	6,58	a	6,51	b	6,41	ab
Gleba + compost (A) Soil + compost (A)	7,29	c	6,83	b	6,79	c	6,65	c
Gleba + compost (B) Soil + compost (B)	7,28	c	6,93	c	6,80	c	6,68	c

* a, b, c – grupy jednorodne według testu Duncana $\alpha < 0,05$ – * a, b, c – homogeneous groups according to the Duncan test, $\alpha < 0.05$.

Zawartość dostępnych form cynku w glebie po pierwszym roku badań nie różniła się istotnie (poza obiektem nawożonym obornikiem) pomiędzy poszczególnymi obiektami doświadczenia (tab. 7). Średnio zawartość ta wynosiła 26,3 mg·kg⁻¹ suchej masy gleby. Po trzech latach badań ilość dostępnych form cynku, niezależnie od nawożenia, zwiększyła się od 0,6 mg do 3 mg·kg⁻¹ gleby, przy podobnym zróżnicowaniu międzyobiektywnym. Cynk należy do bardziej mobilnych pierwiastków w glebie [5]. Jego dostępność zmniejsza się proporcjonalnie do wzrostu wartości odczynu gleby. W przeprowadzonych badaniach w wyniku zastosowanego nawożenia obniżający się odczyn gleby sprzyjał dostępności cynku, przy czym nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości tego metalu pomiędzy glebą z poszczególnych obiektów. Na istotną zależność odczynu i zawartości frakcji mobilnej cynku wskazuje również Jakubus i in. [4].

Zawartość dostępnych form manganu w glebie po pierwszym roku badań mieściła się w przedziale od 150 do 165 mg·kg⁻¹ suchej masy gleby (tab. 7). Za-

stosowane nawożenie na ogół nieznacznie zwiększyło zawartości dostępnych form tego pierwiastka, w porównaniu do gleby obiektu bez nawożenia. Po trzech latach badań zawartość dostępnego manganu zwiększyła się w glebie wszystkich obiektów doświadczenia, najbardziej w glebie obiektu nawożonego mineralnie (o blisko $22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dostępność manganu, od której zależy jego pobranie przez rośliny jest wypadkową wielu czynników, ale w zbliżonych warunkach decydujący wpływ na pobranie tego pierwiastka wywiera odczyn gleby [5].

Tabela 7. Zawartość mikroelementów w glebie

Table 7. Microelements content in soil

Obiekt – Treatment	Cu		Zn		Mn		Fe	
	mg·kg ⁻¹ s.m. – d. m.							
	1. rok – 1 st year							
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	4,42	b*	26,0	ab	159,8	bc	1165	b
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	4,14	ab	26,1	ab	156,8	b	1170	b
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	6,42	c	27,5	b	165,0	c	1120	a
Gleba + kompost (A) Soil + compost (A)	3,93	a	25,1	a	160,0	bc	1128	a
Gleba + kompost (B) Soil + compost (B)	4,09	ab	26,6	ab	150,0	a	1108	a
Obiekt – Treatment	3. rok – 3 rd year							
Gleba bez nawożenia Soil with no fertilisation	4,99	ab	28,0	ab	171,8	ab	1275	c
Gleba + nawożenie min. Soil + mineral fertilisation	5,52	ab	26,7	a	178,5	bc	1245	b
Gleba + obornik Soil + farmyard manure	6,56	c	29,8	b	183,0	bc	1245	b
Gleba + kompost (A) Soil + compost (A)	4,27	a	28,1	ab	185,0	c	1290	c
Gleba + kompost (B) Soil + compost (B)	3,92	a	27,9	ab	161,5	a	1103	a

* a, b, c – grupy jednorodne według testu Duncana $\alpha < 0,05$ – * a, b, c – homogeneous groups according to the Duncan test, $\alpha < 0.05$.

Po pierwszym roku badań zawartość dostępnych form żelaza w glebie była największa w obiekcie bez nawożenia i nawożonym mineralnie (tab. 7). Po trzecim roku badań zawartość dostępnych form żelaza najbardziej zwiększyła się w glebie

obiektu nawożonego kompostem (A). Rozpuszczalność związków żelaza wzrasta proporcjonalnie do zakwaszenia gleby [5]. Na podstawie przeprowadzonych badań postępujący proces zakwaszenia niewątpliwie przyczynił się do zwiększenia dostępności tego pierwiastka w glebie. Również z badań Łabętowicza [8] wynika, że ilości żelaza w roztworze glebowym były skorelowane z odczynem gleby. W badaniach Jakubus i in. [4] nie stwierdzono istotnej zależności między pH gleby, a ilościami żelaza w poszczególnych frakcjach, niemniej autorzy potwierdzają wpływ niższego odczynu gleby na zwiększenie rozpuszczalności tego metalu.

WNIOSKI

1. Największe ilości pobranych mikroelementów (niezależnie od części rośliny) stwierdzono w obiekcie nawożonym mineralnie, co było podyktowane największym plonem biomasy owsa.
2. Ilości mikroelementów pobrane przez owies w obiektach nawożonych kompostami kształtowały się na poziomie porównywalnym z ilościami pobranymi w obiekcie nawożonym obornikiem.
3. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów w glebie zwiększyła się po trzech latach badań, co między innymi było spowodowane postępującym zakwaszeniem gleby.

PIŚMIENNICTWO

1. **Błaziak J., Dechnik I., Wiater J.:** Wpływ nawożenia słomą i obornikiem na zawartość mikroelementów w pszenicy i jęczmieniu. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 269-273, 1996.
2. **Curyło T.:** Wpływ odczynu gleby na pobieranie cynku, miedzi i niklu przez rośliny owsa. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 49-54, 1996.
3. **Gondek K., Filipek-Mazur B.:** Agrochemiczna ocena wartości nawozowej kompostów różnego pochodzenia. Acta Agrophysica, 116, 271-282, 2005.
4. **Jakubus M., Czekala J., Blecharczyk A.:** Wpływ wieloletniego nawożenia na frakcje mikroelementów w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 443-448, 1996.
5. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. PWN Warszawa, ss. 397, 1999.
6. **Lekan Cz., Kacperek K.:** Ocena wartości nawozowej kompostu z odpadów miejskich ("Dano") w doświadczeniu wazonowym. Pam. Puławski, 36, 188-198, 1990.
7. **Lingle J., Tiffin L., Brown.:** Iron uptake-transport of soybeans as influenced by other cations. Plant Physiol., 38, 71-76, 1963.
8. **Łabętowicz J.:** Skład chemiczny roztworu glebowego w zróżnicowanych warunkach glebowych i nawozowych. Rozp. habilitacyjna, Wyd. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa, ss. 103, 1995.
9. **Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z.:** Metody analizy i oceny gleby i roślin. Wyd. IOŚ Warszawa, ss. 325, 1991.
10. **Pinamonti E.:** Compost mulch effect on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51, 239-248, 1998.

11. **Siuta J.:** Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. Mat. I Konf. Nauk. – Tech., Puławy-Warszawa, 16-18.06.1999, 7-20.
12. **Stanisz A.:** Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska, 1998, ss. 362.
13. **Szulc W., Rutkowska B., Łabętowicz J., Ożarowski G.:** Zmiany właściwości fizykochemicznych gleby w warunkach zróżnicowanego nawożenia kompostem „Dano”. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 494, 445-541, 2003.
14. **Winiarska Z.:** [W]: Możliwości rolniczego wykorzystania osadów ściekowych i kompostów z substancji odpadowych. Wartość użyźniająca kompostu trocinowo-trawiaстого w świetle doświadczeń polowych. Wyd. IUNG Puławy, 280, 29-48, 1991.
15. **Wołoszyk Cz.:** Agrochemiczna ocena nawożenia kompostami z komunalnych osadów ściekowych i odpadami przemysłowymi. Wyd. AR w Szczecinie, ser. Rozp., 217, ss. 120, 2003.

ACCUMULATION OF MICROELEMENTS IN OAT BIOMASS AND THEIR BIOAVAILABILITY FROM SOIL FERTILIZED WITH PLANT WASTE COMPOST

Krzysztof Gonddek, Barbara Filipek-Mazur

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

Abstract. Much lower quantities of farmyard manure used for soil fertilization and relatively small amounts of mineral fertilizers enriched with microelements applied in agriculture create great opportunities for the use of composts for fertilizing soils and crops. Presented research aimed at determining the direct and consequent effect of composts based on green wastes in comparison with traditional mineral (NPK) and organic (FYM) fertilization on the accumulation of selected microelements in oat biomass and their bio-availability from soil. The largest amounts of microelements taken up by oat (irrespective of the plant part) were registered in mineral treatment, which was determined mainly by the highest oat biomass yield. Microelement quantities absorbed by oats in compost treatments were on a level comparable to the amounts taken up from the farmyard manure treatment. Concentrations of assimilable microelement forms in soil increased after three years of research, which among others was caused by proceeding soil acidification.

Keywords: accumulation, microelements, oat, composts