

## ZAWARTOŚĆ WAPNIA, MAGNEZU I SODU W ROŚLINACH NAWOŻONYCH OSADAMI ŚCIEKOWYMI

*Krzysztof Gonddek, Barbara Filipek-Mazur*

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

**Streszczenie.** Problem pobierania i kumulacji metali ciężkich z osadów ściekowych przez rośliny jest szeroko omawiany w literaturze. Mało uwagi poświęca się kwestii oddziaływania osadów ściekowych na zawartość makroskładników w roślinach i w glebie. Dlatego celem podjętych badań było określenie wpływu osadów ściekowych różnego pochodzenia na zawartość i pobranie wapnia, magnezu i sodu przez kukurydzę i gorczycę białą. Osady ściekowe stosowano w dwóch terminach – jesienią i wiosną. Uzyskane wyniki dowodzą, że stosowanie osadów ściekowych do nawożenia roślin istotnie zwiększyło zawartość w nich wapnia. Więcej tego pierwiastka gromadziły części nadziemne roślin w serii jesiennej. Stwierdzono istotne zróżnicowanie w zawartości magnezu w biomase roślin z poszczególnych terminów, trudno jednak jednoznacznie określić, który termin nawożenia jest lepszy pod kątem zawartości tego pierwiastka w roślinach. Niezależnie od terminu i części rośliny najwięcej sodu stwierdzono w biomase roślin z obiektów nawożonych obornikiem i osadem garbarskim. Większa ilość tego pierwiastka wprowadzona z nawożeniem zwiększa jego zawartość w biomase roślin.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, nawożenie, roślina, wapń, magnez, sód

### WSTĘP

Problem zagospodarowania osadów ściekowych jest ciągle aktualny i nie rozwiązany. Jak twierdzi Bień [1] składa się na to wiele przyczyn natury technologicznej, technicznej i ekonomicznej. Skutki niedociągnięć w dziedzinie gospodarki osadowej mogą być poważne, bowiem źle prowadzona może stanowić źródło zagrożenia dla środowiska naturalnego i człowieka.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [10] osady ściekowe zostały zakwalifikowane do odpadów i muszą podlegać wszystkim procedurom z tego względu wynikającym.

Osady ściekowe to ogromny potencjał składników pokarmowych dla roślin oraz substancji organicznej, co może kwalifikować je do wykorzystania nawozowego. Kwalifikacja osadu do wykorzystania przyrodniczego jest prawnie uwarunkowana [8] i opiera się głównie na ocenie zawartości metali ciężkich i właściwościach sanitarnych.

Oprócz zawartości metali ciężkich i czynników mikrobiologicznych, istotna jest także wiedza o zawartości i możliwościach wykorzystania przez rośliny makroskładników, jakie występują w osadach ściekowych. Kwestia ta jest bardzo ważna ze względu na możliwość wykorzystania stosunkowo taniego źródła takich pierwiastków jak wapń czy magnez, które istotnie wpływają na poprawę wartości biologicznej uzyskiwanej biomasy.

Problem pobierania i kumulacji metali ciężkich z osadów ściekowych przez rośliny jest szeroko omawiany w literaturze. Mało uwagi poświęca się kwestii oddziaływania osadów ściekowych na zawartość makroskładników w roślinach i w glebie. Dlatego celem podjętych badań było określenie wpływu osadów ściekowych różnego pochodzenia na zawartość i pobranie wapnia, magnezu i sodu przez kukurydzę i gorczycę białą.

#### MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w hali wegetacyjnej Akademii Rolniczej w Krakowie. Wazony z PCV wypełniono materiałem glebowym o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego zawierającego 14% frakcji o średnicy  $< 0,02$  mm, w ilości 5,6 kg. Odczyn materiału glebowego zmierzony w roztworze KCl o stężeniu  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  wyniósł 4,27, a kwasowość hydrolityczna oznaczona w roztworze  $\text{CH}_3\text{COONa}$  o stężeniu  $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  była równa  $32,93 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  suchej masy gleby. Użyty w doświadczeniu materiał glebowy zawierała węgiel organiczny w ilości  $9,65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  i azot ogólny w ilości  $1,03 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$  s. m. gleby. Zawartość przyswajalnych form fosforu wynosiła  $62,52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a potasu –  $86,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby. Zawartość metali ciężkich, oznaczona po uprzednim spopieleniu substancji organicznej ( $500^\circ\text{C}$  przez 8 h) i po mineralizacji w stężonych kwasach azotowym(V) i chlorowym(VII), mieściła się w zakresie wartości naturalnych i wynosiła ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. gleby): Cu – 5,70; Pb – 29,22; Zn – 72,00; Cr – 6,50; Cd – 0,58; Ni – 5,85 [2].

Osady ściekowe pobrano z jednej oczyszczalni przemysłowej, oczyszczającej ścieki garbarskie metodą chemiczną, w Radomiu (I) i dwóch komunalnych oczyszczalni mechaniczno-biologicznych – w Niepołomicach (II) i Krzeszowicach (III). Przed pobraniem próbek osady ściekowe były stabilizowane, przy czym technologia i czas stabilizacji były różne. Zastosowane w doświadczeniu osady ściekowe nie budziły zastrzeżeń ani pod względem mikrobiologicznym i parazytologicznym ani pod względem zawartości metali ciężkich z wyjątkiem

zawartości chromu w osadzie garbarskim, która nieznacznie przekraczała wartość dopuszczalną przyjętą dla osadów ściekowych przeznaczonych do wykorzystania rolniczego [8]. Skład chemiczny osadów ściekowych i obornika podano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Skład chemiczny obornika i osadów ściekowych użytych w doświadczeniu  
**Table 1.** Chemical composition of the FYM and sewage sludges used in the experiment

Oznaczenie Determination	Obornik FYM	Osady ściekowe – Sewage sludge		
		Radom I*	Niepołomice II*	Krzeszowice III*
Sucha masa Dry mass (g·kg <sup>-1</sup> )	213,3	284,6	327,5	465,0
g·kg <sup>-1</sup> s.m. – d.m.				
N ogółem Total N	31,3	29,7	41,0	12,9
P	26,3	1,9	20,2	3,6
K	35,6	3,0	3,9	3,7
Ca	17,8	89,3	44,9	45,0
Na	5,4	16,0	1,9	1,3
Mg	14,6	4,2	5,3	6,2
mg·kg <sup>-1</sup> s. m.– d. m.				
Cu	39,55	17,25	121,50	67,80
Zn	503,0	72,8	1155,0	759,5
Mn	354	63	479	150
Cr	4,24	572,00	59,95	20,10
Cd	1,03	0,22	2,73	3,44
Pb	6,64	2,91	40,15	81,55
Ni	7,34	9,24	35,80	11,40
Hg	ślady – trace	0,09	0,31	0,73
Fe	1945	1205	17500	8970

\*Osady ściekowe z oczyszczalni w Radomiu (I), Niepołomicach (II) i Krzeszowicach (III) – Sewage sludge from treatment plants in Radom (I), Niepołomice (II) and Krzeszowice (III).

Schemat doświadczenia obejmował sześć obiektów (tab. 2) w dwóch seriach. Pierwszą serię założono jesienią (I dekada października) 2000 r. Po wymieszeniu materiałów organicznych z glebą doprowadzono jej wilgotność za pomocą wody destylowanej do 60% maksymalnej pojemności wodnej gleby i pozostawiono w pomieszczeniu zamkniętym na sześć miesięcy, uzupełniając okresowo straty wody. Drugą serię (o takim samym schemacie jak pierwsza) założono wiosną (I dekada kwietnia) 2001 r. i wtedy w obu seriach wysiano nasiona roślin. Każdy

obiekt prowadzono w 4 powtórzeniach. Osady ściekowe zastosowano jednorazowo w pierwszym roku eksperymentu. Dawka azotu wniesiona w formie osadów ściekowych i obornika wynosiła 1,2 g N na wazon. Dawki fosforu i potasu wyrównano we wszystkich obiektach, poza kontrolą, do jednakowego poziomu P – 1,8 g na wazon, co wynikało z ilości fosforu wprowadzonej z nawożeniem organicznym; K uzupełniono do 1,4 g na wazon. W obiekcie, w którym zastosowano nawożenie solami mineralnymi oraz w obiektach, w których należało wyrównać dawki fosforu lub potasu, stosowano roztwory czystych chemicznie soli: [N-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, P-Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)·H<sub>2</sub>O, K-KCl].

**Tabela 2.** Zawartość Ca, Mg i Na w częściach nadziemnych kukurydzy (g·kg<sup>-1</sup> s. m.)  
**Table 2.** Ca, Mg and Na content in top parts of maize (g kg<sup>-1</sup> d. m.)

Obiekty – Treatments	Ca	Mg	Na
	Jesień – Autumn		
A. Bez nawożenia – No fertilization	3,51 a**	1,37 a	0,67 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	11,63 e	3,12 g	0,52 a
C. Obornik – FYM	3,02 a	2,03 bc	2,23 b
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	8,30 d	2,36 de	6,32 d
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	7,43 cd	2,60 e	0,76 a
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	8,23 d	2,47 de	0,52 a
Obiekty – Treatments	Wiosna – Spring		
	A. Bez nawożenia – No fertilization	3,50 a	1,61 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	10,85 e	2,82 f	0,58 a
C. Obornik – FYM	2,80 a	1,90 b	2,26 b
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	6,03 b	2,18 bcd	5,12 c
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	6,64 bc	2,27 cd	0,68 a
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	7,51 cd	2,34 de	0,39 a

\*Osady ściekowe z oczyszczalni w Radomiu (I), Niepołomicach (II) i Krzeszowicach (III) – Sewage sludge from treatment plants in Radom (I), Niepołomice (II) and Krzeszowice (III),

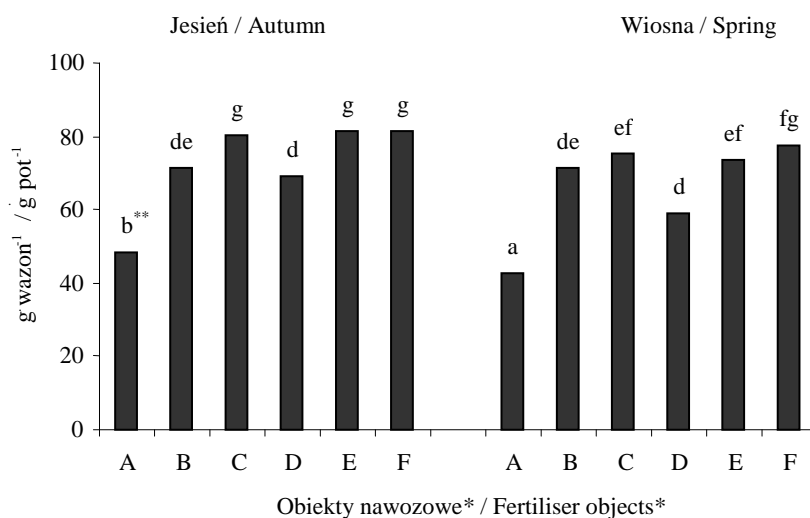
\*\*grupy jednorodne według testu Duncana przy,  $p < 0,05$  – homogeneous groups according to the Duncan test,  $p < 0.05$ .

W pierwszym roku doświadczenia rośliną testową była kukurydza odmiany „Koka”, a w drugim gorczyca biała odmiany „Barka”. Podczas eksperymentu rośliny podlewano wodą destylowaną do 60% maksymalnej pojemności wodnej

gleby. Po zbiorze rośliny suszono w suszarce z przepływem gorącego powietrza (temp. 70°C), a następnie ważono i rozdrobiono w młynku laboratoryjnym. Tak przygotowany materiał mineralizowano w piecu muflowym (temp. 450°C przez 5 godz.), a następnie popiół roztworzono w rozcieńczonym (1:2) kwasie azotowym. Zawartość wapnia i sodu oznaczono metodą fotometrii płomieniowej (FES), natomiast magnez za pomocą metody ASA na aparacie Philips PU 9100X [7]. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z uwzględnieniem analizy wariancji dwuczynnikowej i szacowaniem różnic przy pomocy testu Duncana, przy poziomie istotności  $p < 0,05$  [9].

### WYNIKI

Sumaryczne plony roślin z obu lat doświadczenia mieściły się w przedziale (dla obiektów nawożonych), dla serii jesiennej 69,16 g – 81,20 g-wazon<sup>-1</sup>; dla serii wiosennej 58,82 g – 77,79 g-wazon<sup>-1</sup> suchej masy. Istotne zróżnicowanie w zależności od terminu zastosowanego nawożenia stwierdzono jedynie w obiektach nawożonych obornikiem i osadem ściekowym z Krzeszowic (III) (rys. 1).

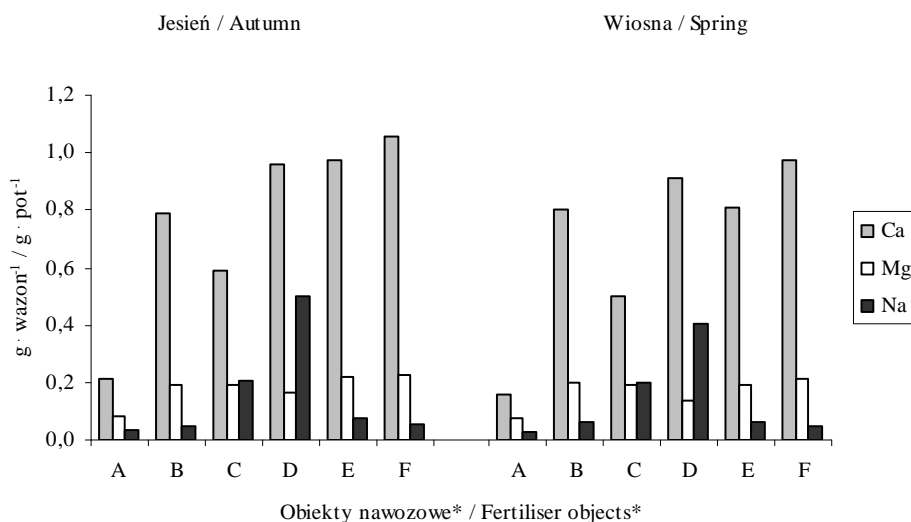


**Rys. 1.** Sumaryczny plon (części nadziemnych i korzeni) kukurydzy i gorczyicy białej. \* jak w tabeli 2, \*\* grupy jednorodne według testu Duncana przy,  $p < 0,05$

**Fig. 1.** Total yield (top parts and roots) of maize and white mustard. \* see Table 2, \*\* homogeneous groups according to the Duncan test,  $p < 0.05$

Istotne zróżnicowanie plonów stwierdzono również w obiektach nie nawożonych, przy czym większy plon wystąpił w obiekcie kontrolnym serii jesiennej. Mogło to być spowodowane m.in. większą ilością dostępnych form składników pokarmowych uwolnionych w wyniku procesu mineralizacji, zachodzącym w okresie jesieni i zimy. Gleba w tym czasie utrzymywana była w stanie wilgotnym. W obrębie poszczególnych terminów istotnie większe sumaryczne plony biomasy (w porównaniu do obiektu nawożonego mineralnie) stwierdzono w serii jesiennej w obiektach, w których zastosowano obornik i osady komunalne (II i III) (rys. 1). Jak wynika z badań Lekana i Winiarskiej [5] zastosowanie osadów ściekowych – pochodzenia komunalnego spowodowało istotne zwiększenie plonu roślin, natomiast przemysłowego silnie hamowało przyrost biomasy roślin. Według cytowanych autorów dodatkowe nawożenie mineralne (przy stosowaniu osadów komunalnych) może wspomagać działanie nawozowe osadu ściekowego.

Zawartość wapnia w biomacie roślin zależała głównie od gatunku rośliny (tab. 2-5). Istotnie więcej tego pierwiastka stwierdzono w częściach nadziemnych gorczycy białej, natomiast kukurydza gromadziła tego pierwiastka więcej w systemie korzeniowym. W wyniku zastosowanego nawożenia najwięcej wapnia w częściach nadziemnych i korzeniach kukurydzy stwierdzono w obiekcie nawożonym mineralnie, (co wynikało z kumulacji tego składnika w stosunkowo niższym plonie roślin), natomiast w przypadku gorczycy białej pod wpływem nawożenia osadem garbarskim (I). Na ogół więcej tego pierwiastka gromadziły części nadziemne roślin serii jesiennej. Większe zróżnicowanie w zawartości wapnia w zależności od terminu nawożenia stwierdzono w przypadku systemu korzeniowego obu roślin. Uzyskane wyniki dowodzą, że stosowanie osadów ściekowych do nawożenia roślin istotnie wpływa na zawartość wapnia w roślinach, co wynika m.in. ze znacznej zasobności osadów ściekowych w ten składnik. Mniejsza zawartość wapnia w biomacie kukurydzy (uprawianej w pierwszym roku) wynikała prawdopodobnie z trudności w pobieraniu tego pierwiastka, który występował w osadach ściekowych głównie w połączeniach organicznych. Badane osady ściekowe miały lepszy następczy wpływ na zawartość wapnia niż nawożenie obornikiem. Wyższą zawartość wapnia w roślinach nawożonych osadami komunalno-przemysłowymi i przemysłowymi stwierdzili Lekan i Winiarska [5], natomiast Kalembasa [3] (stosując do nawożenia odpady organiczne) wykazała największą zawartość tego pierwiastka w roślinach z obiektów kontrolnych, co według autorki wynikało z koncentracji tego składnika w niskim plonie. Pobranie wapnia jako wypadkowa plonu suchej masy i zawartości tego pierwiastka w plonie, było większe w serii jesiennej, do czego przyczyniły się większe plony jak również zawartość wapnia w plonie roślin z tej serii. Na ogół największe pobranie wapnia stwierdzono w obiektach, w których zastosowano nawożenie osadami ściekowymi (rys. 2).



**Rys. 2.** Sumaryczne ilości Ca, Mg i Na w plonie (części nadziemnych i korzeni) kukurydzy i gorczycy białej. \* jak w tabeli 2

**Fig. 2.** Total content of Ca, Mg and Na in yield (top parts and roots) of maize and white mustard. \* see table 2

Istotną dla wartości paszowej roślin jest zawartość magnezu. Więcej tego pierwiastka stwierdzono w częściach nadziemnych gorczycy białej niż w kukurydzy (tab. 2 i 3). Odwrotna sytuacja wystąpiła w zawartości tego składnika w systemie korzeniowym, gdzie więcej magnezu stwierdzono w korzeniach kukurydzy. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w przypadku kukurydzy lepiej na zawartość tego pierwiastka w częściach nadziemnych wpływało nawożenie jesienne, natomiast w przypadku gorczycy białej więcej magnezu stwierdzono w biomacie części nadziemnych w serii wiosennej. Choć system korzeniowy uprawianych roślin nie przedstawia wartości paszowej to ilości magnezu zawarte w tej biomacie mogą informować o ilości tego składnika, jaka może się uwolnić w wyniku mineralizacji i stanowić źródło tego pierwiastka dla rośliny następczej. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zastosowane do nawożenia osady ściekowe zwłaszcza komunalne spowodowały zwiększenie zawartości tego pierwiastka w częściach nadziemnych w stosunku do zawartości oznaczonych w roślinach nawożonych mineralnie i obornikiem. Stosunkowo wysoka zawartość magnezu w biomacie roślin nawożonych mineralnie (czystymi chemicznie solami) wynikała z kumulacji tego składnika w plonie, który był istotnie mniejszy niż w obiektach nawożonych osadami ściekowymi. Porównywalne zawartość magnezu w roślinach nawożonych osadami przemysłowo-komunalnymi i przemysłowymi stwierdzili

Lekan i Winiarska [5]. Ilości magnezu pobrane z plonem nie wykazywały większego zróżnicowania w obiektach nawożonych (rys. 2). Najwięcej tego składnika (w serii jesiennej) pobierały rośliny nawożone osadami komunalnymi, a w serii wiosennej osadem z Krzeszowic (III) i obornikiem.

**Tabela 3.** Zawartość Ca, Mg i Na w częściach nadziemnych gorczycy białej ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m.)  
**Table 3.** Ca, Mg and Na content in top parts of white mustard ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  d. m.)

Obiekty – Treatments	Ca	Mg	Na
	Jesień – Autumn		
A. Bez nawożenia – No fertilization	9,80 c**	3,10 c	1,60 bc
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	13,68 c	1,98 a	1,50 ab
C. Obornik – FYM	16,20 d	3,30 d	4,13 d
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	25,50 gh	2,80 b	11,25 f
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	23,10 ef	3,33 d	1,45 ab
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	24,95 fgh	3,75 e	1,13 a
Obiekty – Treatments	Wiosna – Spring		
A. Bez nawożenia – No fertilization	4,60 a	1,95 a	1,27 ab
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	16,20 d	3,18 cd	1,97 c
C. Obornik – FYM	13,28 c	3,83 e	4,03 d
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	26,98 h	2,83 b	10,20 e
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	22,68 e	4,00 f	1,43 ab
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	24,65 efg	4,07 f	1,20 ab

\* Osady ściekowe z oczyszczalni w Radomiu (I), Niepołomicach (II) i Krzeszowicach (III) – Sewage sludge from treatment plants in Radom (I), Niepołomice (II) and Krzeszowice (III),

\*\* grupy jednorodne według testu Duncana przy,  $p < 0,05$  – homogeneous groups according to the Duncan test,  $p < 0.05$ .

Podobnie jak w przypadku wapnia i magnezu więcej sodu stwierdzono w biomacie gorczycy białej niż w kukurydzy (tab. 2-5). Niezależnie od terminu nawożenia i części rośliny najwięcej sodu stwierdzono w biomacie roślin z obiektów nawożonych obornikiem i osadem garbarskim (I). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że większa ilość tego pierwiastka wprowadzona z nawożeniem spowodowała zwiększenie jego zawartości w plonie roślin. Zastosowa-



ne nawożenie osadami pochodzenia komunalnego (II i III) nie spowodowało znaczących zmian w zawartości tego pierwiastka w plonie roślin, a stwierdzone zawartości sodu w roślinach nawożonych tymi osadami były porównywalne z oznaczonymi w roślinach z obiektu nawożonego mineralnie. Również Kopeć i in. [4] stwierdzili większą koncentrację sodu w roślinach nawożonych osadami pochodzenia garbarskiego. Z badań Mazur i Koca [6] wynika, że nawożenie roślin osadami garbarskimi wpływa szczególnie na zawartość sodu, natomiast nie wywiera wpływu na zawartość wapnia i magnezu. Ilości sodu pobranego z plonem roślin kształtowały się na niewielkim poziomie poza obiektami, w których zastosowano do nawożenia obornik i osad garbarski (I). Większe pobranie sodu stwierdzono u roślin uprawianych w serii jesiennej (rys. 2).

**Tabela 4.** Zawartość Ca, Mg i Na w korzeniach kukurydzy ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m.)

**Table 4.** Ca, Mg and Na content in roots of maize ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  d. m.)

Obiekty – Treatments	Ca	Mg	Na
	Jesień – Autumn		
A. Bez nawożenia – No fertilization	3,48 bcd**	1,97 e	0,020 ab
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	5,28 g	1,93 de	0,018 ab
C. Obornik – FYM	2,46 a	1,53 ab	0,022 ab
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	4,69 fg	1,60 b	0,055 d
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	4,60 efg	1,75 c	0,020 ab
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	4,30 ef	1,80 cd	0,020 ab
Obiekty – Treatments	Wiosna – Spring		
A. Bez nawożenia – No fertilization	3,31 bc	1,81 cde	0,020 ab
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	5,28 g	1,78 cd	0,015 a
C. Obornik – FYM	2,82 b	1,52 ab	0,025 bc
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	5,06 g	1,43 a	0,033 cd
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	3,86 cde	1,42 a	0,020 ab
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	4,12 def	1,45 ab	0,022 ab

\*Osady ściekowe z oczyszczalni w Radomiu (I), Niepołomicach (II) i Krzeszowicach (III) – Sewage sludge from treatment plants in Radom (I), Niepołomice (II) and Krzeszowice (III),

\*\* grupy jednorodnie według testu Duncana przy,  $p < 0,05$  – homogeneous groups according to the Duncan test,  $p < 0.05$ .

**Tabela 5.** Zawartość Ca, Mg i Na w korzeniach gorczycy białej ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m.)  
**Table 5.** Ca, Mg and Na content in roots of white mustard ( $\text{g kg}^{-1}$  d. m.)

Obiekty – Treatments	Ca	Mg	Na
	Jesień – Autumn		
A. Bez nawożenia – No fertilization	1,87 b**	0,87 a	0,84 cd
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	1,54 ab	1,24 b	0,57 ab
C. Obornik – FYM	1,33 a	1,19 b	0,72 bcd
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	2,64 c	1,02 ab	1,39 e
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	1,66 ab	1,14 b	0,56 ab
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	1,59 ab	1,07 ab	0,36 a
Obiekty – Treatments	Ca	Mg	Na
	Wiosna – Spring		
A. Bez nawożenia – No fertilization	1,88 b	0,86 a	0,83 cd
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilization	1,55 ab	1,21 b	0,57 ab
C. Obornik – FYM	1,38 a	1,05 ab	0,67 bc
D. Osad ściekowy I* – Sewage sludge I*	1,97 b	0,85 a	1,25 e
E. Osad ściekowy II* – Sewage sludge II*	1,62 ab	0,88 a	0,93 d
F. Osad ściekowy III* – Sewage sludge III*	1,85 b	1,16 b	0,40 a

\* Osady ściekowe z oczyszczalni w Radomiu (I), Niepołomicach (II) i Krzeszowicach (III) – Sewage sludge from treatment plants in Radom (I), Niepołomice (II) and Krzeszowice (III),

\*\* grupy jednorodne według testu Duncana przy,  $p < 0,05$  – homogeneous groups according to the Duncan test,  $p < 0.05$ .

#### WNIOSKI

1. Uzyskane wyniki wskazują, że stosowanie osadów ściekowych do nawożenia roślin istotnie wpływa na zawartość w nich wapnia. Więcej tego pierwiastka gromadziły części nadziemne roślin nawożonych osadami ściekowymi w terminie jesiennym niżwiosennym.

2. Stwierdzono istotne zróżnicowanie w zawartości magnezu w biomacie roślin z poszczególnych terminów, trudno jednak jednoznacznie określić, który termin nawożenia osadami ściekowymi jest lepszy pod kątem zawartości tego pierwiastka w roślinach.

3. Niezależnie od terminu i części rośliny najwięcej sodu stwierdzono w biomacie roślin z obiektów nawożonych obornikiem i osadem garbarskim. Większa ilość tego pierwiastka wprowadzona z nawożeniem zwiększa jego zawartość w biomacie roślin.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Bień J.B.:** Osady ściekowe teoria i praktyka. Wyd. Politechnika Częstochowska, 2002.
2. **Kabata-Pendias A., Motowiecka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.:** Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Wyd. IUNG, Puławy, ss. 19, 1993.
3. **Kalembasa D.:** Wpływ wermikompostów na plon i skład chemiczny owoców pomidora. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 437, 249-252, 1996.
4. **Kopeć M., Mazur K., Babula J.:** Wpływ odpadów garbarskich na plonowanie i zmiany zawartości makroskładników w roślinach uprawnych w doświadczeniu wazonowym. Zesz. Nau. AR w Szczecinie, 172, Roln. LXII/1, 241-247, 1996.
5. **Lekan S., Winiarska Z.:** Zależność plonowania i składu chemicznego roślin oraz właściwości gleby od składu chemicznego osadów ściekowych. [W]: „Możliwości rolniczego wykorzystania osadów ściekowych i kompostów z substancji odpadowych”, Wyd. IUNG Puławy, R (280), 5-28, 1991.
6. **Mazur T., Koc J.:** Badania nad wartością nawozową osadów garbarskich. Cz. III. Wpływ nawożenia osadami garbarskimi na skład chemiczny roślin. Roczn. Glebozn., XXVII, 1, 123-135, 1976.
7. **Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z.:** Metody analizy i oceny gleby i roślin. Wyd. IOŚ Warszawa, 1991.
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1.08.2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. (Dz. U. Nr. 134, poz. 1140).
9. **Stanisz A.:** Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska, ss. 362, 1998.
10. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz. U. Nr. 62, poz. 628.

CONTENT OF CALCIUM, MAGNESIUM AND SODIUM IN PLANTS  
FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE

*Krzysztof Gondek, Barbara Filipek-Mazur*

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

**Abstract.** The problem of taking up and accumulating heavy metals by plants from sewage sludge has been widely discussed in literature. However, little attention has been paid so far to the question of sewage sludge effect on macroelement content in plants and soil. Therefore the investigations were conducted to determine the influence of sewage sludge of various origins on the content and uptake of calcium, magnesium and sodium by maize and white mustard. Sewage sludge was applied at two dates – in autumn and in spring. Obtained results prove that sewage sludge applied for treatment of crops significantly increased their calcium concentrations. Larger amounts of this element accumulated in the aboveground plant parts in the autumn series. An apparent diversification has been registered in magnesium content in plant biomass of individual dates, however it is difficult to state unanimously which date of fertilization is better considering this element plant concentrations. Irrespective of the plant part, the greatest amounts of sodium were assessed in plant biomass from farmyard manure and tannery sewage treatments. Larger quantities of this element supplied with the fertilizer increased its content in plant biomass.

**Key words:** sewage sludge, fertilization, plant, calcium, magnesium, sodium