

OCENA EFEKTYWNOŚCI NAWOŻENIA OSADAMI ŚCIEKOWYMI NA PODSTAWIE PLONOWANIA ROŚLIN I WYKORZYSTANIA SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH

Krzysztof Gondek, Barbara Filipek-Mazur

Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Badania miały na celu porównanie wartości plonotwórczej różnych osadów ściekowych oraz określenie stopnia wykorzystania przez rośliny składników pokarmowych (N, P, K) z zastosowanych nawozów. Osady ściekowe stosowano w dwóch terminach – jesienią i wiosną. Uzyskane plony roślin wskazują na większą efektywność nawożenia osadami ściekowymi w terminie jesiennym niż wiosennym. Spośród porównywanych osadów ściekowych lepsze działanie plonotwórcze wykazały osady pochodzenia komunalnego niż przemysłowego. Niezależnie od terminu nawożenia i gatunku, a nawet części uprawianej rośliny największą zawartość azotu w biomase roślin stwierdzono w obiektach nawożonych mineralnie. W tych obiektach odnotowano również największe wykorzystanie tego składnika. Ilość azotu wykorzystywana przez rośliny w obiektach nawożonych osadami ściekowymi zawierała się w przedziale od 21,8 do 37,3%. Nawożenie osadami ściekowymi nie spowodowało zwiększenia zawartości tego składnika w roślinach w stosunku do jego zawartości w roślinach nawożonych obornikiem. Wykorzystanie fosforu kształtowało się na niskim poziomie i niezależnie od serii doświadczenia i rodzaju nawożenia mieściło się w przedziale od 8,9 do 13,9%. Składnikiem, którego rośliny zawierały najwięcej, był potas, przy czym większą zawartość tego składnika miała biomasa roślin uprawianych w serii wiosennej. Potas w największym stopniu wykorzystywany był w obiektach nawożonych obornikiem.

Słowa kluczowe: nawożenie, osady ściekowe, plon, azot, fosfor, potas

WSTĘP

Optymalizacja nawożenia należy do podstawowych zasad zrównoważonego rolnictwa. Nadmiar składników pokarmowych nie wykorzystanych przez rośliny ulega rozpro-

szeniu do środowiska przyrodniczego, co wywołuje ujemne skutki ekologiczne [Fotyma i Fotyma 2004a, b]. O ile stosowanie i przemiany składników pokarmowych z nawozów mineralnych są dobrze znane, o tyle kwestia dostępności i wykorzystania składników pokarmowych z substancji odpadowych, np. osadów ściekowych, pozostaje w dalszym ciągu w sferze badań.

Teoretyczne ustalenie dawki osadu ściekowego nie stwarza trudności, zważywszy że jest uwarunkowane przepisami zawartymi w aktach prawnych [Ustawa... 2000, Rozporządzenie... 2002]. Problem stanowi określenie tempa uwalniania składników pokarmowych z osadów ściekowych i szybkości pobierania tych składników przez rośliny. Zagrożenia dotyczą głównie azotu, chociaż stwierdzano także straty fosforu po zastosowaniu osadów ściekowych, spowodowane zmywem powierzchniowym [Korboulewsky i in. 2002].

Badania miały na celu porównanie wartości plonotwórczej różnych osadów ściekowych oraz określenie, w jakim stopniu rośliny wykorzystują składniki pokarmowe (N, P, K) z zastosowanego nawożenia.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w hali wegetacyjnej Akademii Rolniczej w Krakowie. Wazony z PCV wypełniono materiałem glebowym w ilości 5,6 kg. Użyty materiał glebowy miał skład granulometryczny piasku gliniastego lekkiego i zawierał 14% frakcji o średnicy $< 0,02$ mm. Wartość pH materiału glebowego zmierzona w roztworze KCl o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ wynosiła 4,27, a kwasowość hydrolityczna oznaczona po ekstrakcji z użyciem CH_3COONa o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ była równa $32,93 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy gleby. Materiał glebowy zawierał węgiel organiczny w ilości $9,65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ i azot ogólny w ilości $1,03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 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°C przez 8 h) i po mineralizacji w stężonych kwasach azotowym(V) i chlorowym(VII), mieściła się w zakresie wartości naturalnych [Kabata-Pendias i in. 1993] 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.

Osady ściekowe pobrano z jednej oczyszczalni przemysłowej, oczyszczającej ścieki garbarskie metodą chemiczną, a znajdującej się w Radomiu, i dwóch komunalnych oczyszczalni mechaniczno-biologicznych położonych w Niepołomicach i Krzeszowicach. Przed pobraniem próbek osady ściekowe były stabilizowane z użyciem różnej technologii i czasu stabilizacji. 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 [Rozporządzenie... 2002]. Skład chemiczny osadów ściekowych i obornika, który traktowano jako punkt odniesienia dla analizy, podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny obornika i osadów ściekowych użytych w doświadczeniu
 Table 1. Chemical composition of farmyard manure (FYM) and sewage sludges used in experiment

Oznaczenie Determination	Obornik FYM	Osad ściekowy* – Sewage sludge*		
		I (Radom)	II (Niepołomice)	III (Krzeszowice)
Sucha masa, g · kg ⁻¹ Dry matter, g · kg ⁻¹	213,3	284,6	327,5	465,0
g · kg ⁻¹ s.m. – d.m.				
N ogólny – 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 ⁻¹ 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

* Pochodzenie osadu: I – chemiczne oczyszczanie ścieków garbarskich, II i III – mechaniczno-biologiczne oczyszczanie ścieków komunalnych

* Origin of sludge: I – chemical treatment of tannery sewage, II and III – mechanical-biological treatment of municipal sewage

Schemat doświadczenia obejmował sześć obiektów: bez nawożenia, z nawożeniem mineralnym, z nawożeniem obornikiem i z nawożeniem osadami ściekowymi z Radomia (I), Niepołomic (II) i Krzeszowic (III), w dwóch seriach. Pierwszą serię założono jesienią (I dekada października) 2000 r. Po wymieszaniu materiałów organicznych z glebą wilgotność mieszaniny doprowadzono za pomocą wody destylowanej do 60% maksymalnej pojemności wodnej gleby i pozostawiono te mieszaninę w pomieszczeniu zamkniętym na sześć miesięcy, uzupełniając okresowo straty wody. Drugą serię o takim samym schemacie nawożenia założono wiosną (I dekada kwietnia) 2001 r. i wtedy wysiano nasiona roślin w obu seriach. Każdy obiekt prowadzono w czterech powtórzeniach. Dawka azotu wniesiona w formie osadów ściekowych i obornika wynosiła 1,2 g na wazon. Dawki fosforu i potasu we wszystkich obiektach poza kontrolnym wyrównano do jednakowego poziomu: P do 1,8 g na wazon (co wynikało z ilości fosforu wprowadzonej z nawożeniem organicznym), K do 1,4 g na wazon. W obiekcie, w któ-

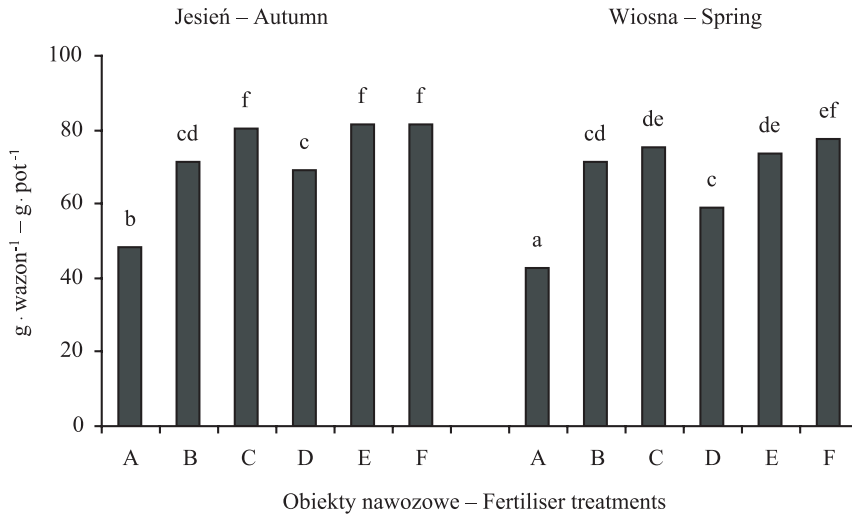
rym zastosowano nawożenie solami mineralnymi, oraz w obiektach, w których należało wyrównać dawki fosforu lub potasu, stosowano roztwory czystych chemicznie soli: NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$, KCl .

W pierwszym roku doświadczenia rośliną testową była kukurydza odmiany „Koka”, a w drugim gorczyca biała odmiany „Barka”. Podczas eksperymentu rośliny podlewano wodą destylowaną do osiągnięcia przez glebę 60% jej maksymalnej pojemności wodnej. Po zbiorze rośliny suszono w suszarce z przepływem gorącego powietrza (temp. 70°C), a następnie ważono i rozdrabniano w młynku laboratoryjnym. Tak przygotowany materiał mineralizowano na mokro w stężonym kwasie siarkowym w celu oznaczenia azotu ogólnego metodą Kjeldahla. Do oznaczenia fosforu i potasu materiał mineralizowano w piecu muflowym (temp. 450°C, przez 5 h), a następnie popiół roztworzano w rozcieńczonym (1 : 2) kwasie azotowym. Zawartość fosforu oznaczono kolorymetrycznie przy długości fali 436 nm, a zawartość potasu oznaczono metodą fotometrii płomieniowej (FES) [Ostrowska i in. 1991].

Otrzymane wyniki opracowano statystycznie, wykonując dwuczynnikową analizę wariancji i szacując różnice za pomocą testu Duncana przy poziomie istotności < 0,05 [Stanisz 1998].

WYNIKI I DYSKUSJA

Sumaryczny plon części nadziemnych i korzeni roślin z obu lat doświadczenia dla obiektów nawożonych w serii jesiennej zawierał się w przedziale 69,16–81,20 g, a dla serii wiosennej 58,82–77,79 g suchej masy na wazon. Istotne zróżnicowanie w zależności od terminu nawożenia stwierdzono jedynie w przypadku obiektów nawożonych obornikiem i komunalnym osadem ściekowym z Krzeszowic (III; patrz rysunek). Istotnie zróżnicowane były również plony w obiektach nienawożonych, przy czym większy plon zebrano z obiektu kontrolnego serii jesiennej. Mogło to być spowodowane m.in. większą ilością dostępnych form składników pokarmowych uwolnionych w wyniku procesu mineralizacji zachodzącego w okresie jesieni i zimy. Glebę w tym czasie utrzymywano w stanie wilgotnym. W obrębie serii nawożonej w terminie jesienim istotnie większe sumaryczne plony biomasy niż w obiekcie nawożonym mineralnie odnotowano w obiektach, w których zastosowano obornik i osady komunalne (II i III; rys.). W przypadku serii wiosennej istotna wyżka sumarycznych plonów w stosunku do obiektu nawożonego mineralnie dotyczyła jedynie roślin z obiektu nawożonego osadem z Krzeszowic (III). Zagadnieniem nawozowego wykorzystania osadów ściekowych zajmowali się także Lekan i Winiarska [1991], którzy stwierdzili, że zastosowanie osadów pochodzenia komunalnego powoduje istotne zwiększenie plonu roślin, przemysłowego natomiast silnie hamuje przyrost ich biomasy. Zdaniem cytowanych autorów, dodatkowe nawożenie mineralne może wspomagać działanie nawozowe osadu ściekowego. Wyniki przeprowadzonych badań nie potwierdzają spostrzeżeń Gambusia [1999], według którego nawozowe działanie na plon roślin osadu z Niepołomic było podobne do działania nawożenia mineralnego, natomiast osadu z Krzeszowic do obornika.



Rys. Sumaryczny plon (części nadziemnych i korzeni) kukurydzy i gorczycy białej w okresie badań; obiekty nawozowe A–F – patrz tabela 2; a, b, c, ... – grupy jednorodne według testu Duncana, $\alpha < 0,05$

Fig. Total yield (top parts and roots) of maize and white mustard in study period; fertiliser treatments A–F – see Table 2; a, b, c, ... – homogeneous groups by Duncan test, $\alpha < 0.05$

Niezależnie od terminu nawożenia i gatunku uprawianej rośliny, a nawet jej części, największą zawartość azotu stwierdzono w biomase roślin z obiektów nawożonych mineralnie (tab. 2–5). Najmniej azotu zawierała biomasa roślin z obiektów nienawożonych. Nawożenie obornikiem w różnych terminach nie różnicowało istotnie zawartości tego składnika w biomase roślin. Na ogół większe zróżnicowanie zawartości azotu wynikało z różnic gatunkowych (więcej tego składnika zawierała gorczyca biała). Nawożenie osadami ściekowymi utrzymywało zawartość azotu na poziomie zbliżonym do jego zawartości w roślinach uprawianych na oborniku.

Pobranie azotu przez rośliny było największe w obiektach nawożonych mineralnie, niezależnie od terminu nawożenia (tab. 6). Wiązało się to głównie z największą zawartością tego składnika w plonie, a także, chociaż w mniejszym stopniu, kumulacją tego składnika w stosunkowo niższym sumarycznym plonie biomasy niż w obiektach z obornikiem i osadami komunalnymi (II i III). Dysponując wynikami dotyczącymi dawek i pobrania azotu za okres dwóch lat, obliczono wykorzystanie tego składnika przez rośliny. Okazało się ono największe w obiektach, w których zastosowano nawożenie mineralne – dla serii jesiennej wynosiło 52,7%, a dla wiosennej 59,1% (tab. 6). Dla porównania, w obiektach, w których zastosowano obornik, azot był wykorzystywany odpowiednio w 32,3 i blisko 31%. Ilość azotu wykorzystana przez rośliny w obiektach nawożonych osadami ściekowymi (niezależnie od terminu nawożenia) zawierała się w przedziale 21,8–37,3%. Najwyższe wskaźniki wykorzysta-

nia azotu przez rośliny w obiekcie nawożonym mineralnie uzyskał również Gambuś [1999]. Mercik i inni [2003], badając efektywność różnych systemów nawożenia w wieloletnich doświadczeniach polowych, odnotowali wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych w granicach 55–90%, a z obornika 31–75%. Wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy mieszczą się w dolnych przedziałach wartości podawanych przez cytowanych autorów.

Zawartość fosforu była na ogół większa w biomase kukurydzy niż gorczycy, niezależnie od terminu nawożenia (tab. 2–5). W częściach nadziemnych roślin obu gatunków więcej tego składnika stwierdzono w obiektach nawożonych organicznie w serii wiosennej niż jesiennej. W przypadku systemu korzeniowego prawidłowość ta dotyczyła tylko kukurydzy. Nawożenie osadami ściekowymi nie spowodowało zwiększenia zawartości fosforu w roślinach w stosunku do obiektu nawożonego obornikiem.

Tabela 2. Zawartość azotu, fosforu i potasu w częściach nadziemnych kukurydzy ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)
Table 2. Nitrogen, phosphorus and potassium contents of top parts of maize ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

Obiekt – Treatment	N	P	K
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	8,22 a	1,18 a	7,63 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	21,50 d	4,40 d	18,95 bcd
C. Obornik – FYM	9,25 ab	3,45 c	24,60 gh
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	11,28 c	3,43 c	21,05 def
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	11,75 c	3,15 c	18,30 bc
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	9,63 ab	2,63 b	18,50 bc
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	8,75 ab	1,58 a	9,45 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	22,43 d	5,10 e	16,77 b
C. Obornik – FYM	8,65 ab	4,38 d	25,95 h
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	10,25 bc	4,90 e	23,03 fg
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	9,20 ab	4,00 d	21,80 ef
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	8,88 ab	3,05 bc	20,08 cde

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

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

Tabela 3. Zawartość azotu, fosforu i potasu w częściach nadziemnych gorczycy białej (g·kg⁻¹ s.m.)
 Table 3. Nitrogen, phosphorus and potassium contents of top parts of white mustard (g·kg⁻¹ d.m.)

Obiekt – Treatment	N	P	K
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	10,55 a	2,88 ab	19,60 b
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	26,65 bc	2,80 ab	43,40 i
C. Obornik – FYM	23,09 bc	2,42 a	38,17 h
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	24,40 bc	2,40 a	34,45 ef
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	22,81 bc	3,20 abc	36,13 g
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	24,28 bc	3,45 abc	35,47 fg
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	10,55 a	3,70 bc	13,85 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	29,52 c	2,45 a	30,38 c
C. Obornik – FYM	23,40 bc	2,35 a	34,73 efg
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	19,87 b	3,23 abc	32,68 d
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	25,48 bc	4,30 c	38,98 h
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	27,09 bc	3,90 bc	33,67 e

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

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

Tabela 4. Zawartość azotu, fosforu i potasu w korzeniach kukurydzy (g·kg⁻¹ s.m.)
 Table 4. Nitrogen, phosphorus and potassium contents of roots of maize (g·kg⁻¹ d.m.)

Obiekt – Treatment	N	P	K
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	6,47 a	0,30 a	18,25 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	16,77 b	4,33 d	30,15 b
C. Obornik – FYM	6,92 a	5,25 e	36,40 de
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	7,40 a	3,38 c	34,92 cd
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	7,83 a	2,72 b	32,20 bc
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	7,03 a	2,33 b	29,25 b
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	6,77 a	0,53 a	19,25 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	19,47 c	5,45 e	28,85 b
C. Obornik – FYM	6,80 a	7,00 f	39,30 ef
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	7,85 a	4,55 d	41,08 f
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	7,38 a	4,65 d	30,47 b
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	7,05 a	3,43 c	28,27 b

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

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

Tabela 5. Zawartość azotu, fosforu i potasu w korzeniach gorczycy białej ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)
 Table 5. Nitrogen, phosphorus and potassium content of roots of white mustard ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

Obiekt – Treatment	N	P	K
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	4,17 a	4,29 a	10,73 a
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	13,35 d	6,74 cd	12,40 a
C. Obornik – FYM	9,73 bc	7,05 d	18,07 bc
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	10,81 bc	5,58 bc	22,78 cde
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	11,08 c	5,95 bcd	23,88 de
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	9,35 bc	4,80 ab	22,98 cde
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	4,33 a	5,71 bc	13,53 ab
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	12,85 d	5,62 bc	21,65 cd
C. Obornik – FYM	9,34 bc	5,65 bc	21,38 cd
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	9,25 b	4,97 ab	22,18 cd
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	10,12 bc	4,73 ab	20,75 cd
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	9,90 bc	5,45 ab	27,98 e

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

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

Tabela 6. Wykorzystanie przez rośliny azotu z nawozów mineralnych i organicznych
 Table 6. Recovery by plants of nitrogen from mineral and organic fertilisers

Obiekt – Treatment	Pobranie przez rośliny Uptake by plants	Pobranie z nawozów Uptake from fertilisers	Wykorzystanie Recovery
	$\text{g} \cdot \text{wazon}^{-1} - \text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$		%
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	0,39	–	–
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	1,55	1,16	52,7
C. Obornik – FYM	1,10	0,71	32,3
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	1,08	0,69	31,4
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	1,21	0,82	37,3
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	1,15	0,76	34,5
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	0,37	–	–
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	1,67	1,30	59,1
C. Obornik – FYM	1,05	0,68	30,9
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	0,85	0,48	21,8
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	1,02	0,65	29,5
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	1,14	0,77	35,0

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

Niezależnie od serii doświadczenia najwięcej fosforu pobierały rośliny uprawiane w obiekcie nawożonym mineralnie (tab. 7). Wykorzystanie fosforu kształtowało się na niskim poziomie i zawierało w przedziale 8,9–13,9%. Dane te nie w pełni znajdują potwierdzenie w wynikach badań Mercika i innych [2003]. Cytowani autorzy stwierdzili znacznie większe wykorzystanie fosforu z obornika niż z nawozów mineralnych, tłumacząc to mniejszymi dawkami fosforu wprowadzonymi w oborniku niż w nawozach mineralnych. Znacznie wyższe wskaźniki wykorzystania tego składnika zarówno z nawozów mineralnych, jak i organicznych uzyskał także Gambuś [1999]. Powszechnie wiadomo, że w środowisku glebowym fosfor ulega silnej sorpcji chemicznej. Tempo tego procesu zależy od odczynu gleby. Materiał glebowy wykorzystany w prezentowanych badaniach miał znacznie niższą wartość pH_{KCl} (o 0,63 jednostki) od gleby użytej w badaniach przez Gambusia [1999]. Mogło to ograniczyć dostępność przyswajalnych form fosforu dla roślin, co stwierdzono na podstawie wyników analizy chemicznej, która wykazała niską zawartość tego składnika w glebie [Gondek i Filipek-Mazur 2004].

Spśród trzech składników pokarmowych, w biomase roślin najwięcej było potasu (tab. 2–5). Ponieważ zastosowane osady ściekowe zawierały niewielką ilość potasu, należało uzupełnić jego dawkę w formie mineralnej, co ułatwiło pobieranie tego składnika przez rośliny. Jedynie w przypadku kukurydzy termin nawożenia miał istotny wpływ na zawartość potasu – więcej zawierały go rośliny uprawiane w obiektach serii wiosennej.

Tabela 7. Wykorzystanie przez rośliny fosforu z nawozów mineralnych i organicznych
Table 7. Recovery by plants of phosphorus from mineral and organic fertilisers

Obiekt – Treatment	Pobranie przez rośliny Uptake by plants	Pobranie z nawozów Uptake from fertilisers	Wykorzystanie Recovery
	g · wazon ⁻¹ – g · pot ⁻¹		%
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	0,06	–	–
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	0,29	0,23	12,8
C. Obornik – FYM	0,28	0,22	12,2
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	0,22	0,16	8,9
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	0,26	0,20	11,1
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	0,24	0,18	10,0
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	0,08	–	–
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	0,33	0,25	13,9
C. Obornik – FYM	0,30	0,22	12,2
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	0,24	0,16	8,9
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	0,31	0,23	12,8
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	0,27	0,19	10,6

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

Ilość potasu pobranego z plonem roślin była największa, niezależnie od terminu nawożenia, w obiekcie z obornikiem. Również w tym obiekcie stwierdzono największe wykorzystanie potasu (72,7% dla serii jesiennej i 68,1% dla wiosennej; tab. 8). Jeśli chodzi o zastosowane osady ściekowe, to w większym stopniu wykorzystywany był potas z osadów komunalnych niż przemysłowych. Wartości procentowe wykorzystania potasu z nawozów mineralnych i z obornika otrzymane w doświadczeniu są porównywalne z wartościami uzyskanymi przez Mercika i innych [2003], a wynoszącymi odpowiednio 61 i 59%. W badaniach prowadzonych przez Gambusia [1999] rośliny spośród trzech składników nawozowych wykorzystywały najwięcej potasu, co jest zgodne z wynikami prezentowanymi w niniejszej publikacji. Autor ten odnotował też, że ilość potasu pobrana przez rośliny nawożone mineralnie i osadem z Niepołomic przekraczała nawet jego dawkę wprowadzoną do gleby, tymczasem w prezentowanych badaniach wykorzystanie potasu przez rośliny nie przekraczało 73%. Tak znaczna różnica wyników była spowodowana wprowadzeniem przez wspomnianego autora do uprawy drugiej rośliny zarówno w pierwszym, jak i drugim roku eksperymentu, co znacząco wydłużyło okres wegetacji, a także spowodowało zwiększenie pobrania potasu.

Tabela 8. Wykorzystanie przez rośliny potasu z nawozów mineralnych i organicznych
Table 8. Recovery by plants of potassium from mineral and organic fertilisers

Obiekt – Treatment	Pobranie przez rośliny Uptake by plants	Pobranie z nawozów Uptake from fertilisers	Wykorzystanie Recovery
	g · wazon ⁻¹ – g · pot ⁻¹		%
Jesień – Autumn			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	0,54	–	–
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	1,79	1,25	48,1
C. Obornik – FYM	2,43	1,89	72,7
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	1,90	1,36	52,3
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	2,09	1,55	59,6
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	2,09	1,55	59,6
Wiosna – Spring			
A. Bez nawożenia – No fertilisation	0,51	–	–
B. Nawożenie mineralne – Mineral fertilisation	1,48	0,97	37,3
C. Obornik – FYM	2,28	1,77	68,1
D. Osad ściekowy I – Sewage sludge I	1,70	1,19	45,8
E. Osad ściekowy II – Sewage sludge II	2,07	1,56	60,0
F. Osad ściekowy III – Sewage sludge III	2,02	1,81	58,1

I, II, III – patrz tabela 1 – see Table 1

PODSUMOWANIE

Uzyskane plony roślin wskazują, że efektywność nawożenia osadami ściekowymi w terminie jesiennym była większa, niż gdy to nawożenie wprowadzono wiosną. Spośród zastosowanych osadów ściekowych lepsze działanie plonotwórcze miały osady pochodzenia komunalnego niż przemysłowego.

Niezależnie od terminu nawożenia i gatunku uprawianej rośliny największą zawartość azotu stwierdzono w biomase roślin z obiektów nawożonych mineralnie, gdzie największe było również wykorzystanie tego składnika przez rośliny. Stopień wykorzystania azotu przez rośliny w obiektach nawożonych osadami ściekowymi (niezależnie od terminu nawożenia) nie przekraczał 38%.

Nawożenie osadami ściekowymi nie spowodowało zwiększenia zawartości fosforu w roślinach w stosunku do obiektu nawożonego obornikiem. Wykorzystanie fosforu kształtowało się na niskim poziomie i mieściło się w przedziale od 8,9 do 13,9%.

Biomasa roślin najczęściej zawierała potasu. Wykorzystanie potasu było największe w obiektach nawożonych obornikiem.

PIŚMIENNICTWO

- Fotyma E., Fotyma M., 2004a. Podstawy zrównoważonego nawożenia azotem. [W:] Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym. Wyd. Akademii Podlaskiej w Siedlcach, 39–48.
- Fotyma M., Fotyma E., 2004b. Podstawy zrównoważonego nawożenia fosforem i potasem. [W:] Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym. Wyd. Akademii Podlaskiej w Siedlcach, 49–58.
- Gambuś F., 1999. Skład chemiczny i wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni regionu krakowskiego. Mat. konf. nauk. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych, 9–11.06.1999 r., Świnoujście, 67–78.
- Gondek K., Filipek-Mazur B., 2004. Oddziaływanie nawożenia obornikiem i osadami ściekowymi na niektóre właściwości chemiczne gleby. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus 3 (2), 89–99.
- Kabata-Pendias A., Motowiecka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T., 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Wyd. IUNG Puławy.
- Korboulewsky N., Dupouyet S., Bonin G., 2002. Environmental risk of applying sewage sludge compost to vineyards. Environ. Qual. J. 31, 1522–1527.
- Lekan S., Winiarska Z., 1991. 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. IUNG Puławy, 5–28.
- Mercik S., Mazur T., Łabętowicz J., Urbanowski S., Lenart S., Stępień W., Sądej W., 2003. Ocena trzech systemów nawożenia stosowanego w 5 wieloletnich doświadczeniach polowych na podstawie plonowania zbóż i wykorzystania składników pokarmowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 494, 295–303.
- Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny gleby i roślin. IOŚ Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1.08.2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz.U. 2002 nr 134, poz. 1140.
- Stanisz A., 1998. Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska.
- Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 26.07.2000 r. Dz.U. 2000 nr 89, poz. 991.

EFFECTIVENESS OF SEWAGE SLUDGE FERTILISATION AS ASSESSED ON BASIS OF PLANT YIELDING AND NUTRIENT UTILISATION

Abstract. The research aimed at comparing the yield-forming value of various sewage sludges and at determining the extent to which plants utilised nutrients (N, P, K) from the fertilisers applied. Sewage sludge was used at two dates – in autumn and in spring. As suggested by the plant yields obtained, such fertilisation was more effective when sewage sludge was applied in autumn than in spring. The yield-forming effect was stronger for municipal sludge than for industrial sludge. Irrespective of the date of fertilisation and the species or even the part of the cultivated plant, the nitrogen content of plant biomass was highest in mineral fertiliser treatments. In the same treatments plants utilised this component to the greatest extent. The amount of nitrogen utilised by plants in sewage sludge treatments (irrespective of the fertilisation date) ranged between 21.8 and 37.3%. In such treatments the nitrogen content of plants was not higher than in those fertilised with farmyard manure. The phosphorus utilisation was low and regardless of the experimental series and kind of fertiliser ranged from 8.9 to 13.9%. A larger amount of potassium was found in the biomass of plants cultivated in the spring series. Potassium was utilised to the greatest extent in farmyard manure treatments.

Key words: fertilisation, sewage sludge, yield, nitrogen, phosphorus, potassium

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.03.2006