

Andrzej Wysokiński*

**ZAWARTOŚĆ ŻELAZA I MANGANU W ROŚLINACH NAWOŻONYCH
OSADAMI ŚCIEKOWYMI KOMPOSTOWANYMI Z CaO I POPIOŁEM
Z WĘGLA BRUNATNEGO**

**THE CONTENT OF IRON AND MANGANESE IN PLANTS FERTILIZED
WITH SEWAGE SLUDGE COMPOSTED WITH CaO AND BROWN
COAL ASH**

Słowa kluczowe: osady ściekowe, tlenek wapnia, popiół z węgla brunatnego, kompostowanie, żelazo, mangan.

Key words: sewage sludge, calcium oxide, ash from brown coal, composting process, iron, manganese.

In three year pots experiment the influence of fertilization with composted sewage sludge, farmyard manure and their mixtures with calcium oxide and brown coal ash on iron and manganese contents in tested plants were investigated. Fresh sewage sludge from sewage treatment plant in Siedlce (after methane fermentation) and in Łuków (stabilized in oxygenic conditions) as well as the farmyard manure was mixed separately with CaO and brown coal ash at 2:1 ratio recalculated to dry matter and it was composted by three months. To every pot introduced 9 kg of soil and one kilogram of prepared composts. In first year of experiment was cultivated Italian ryegrass harvested twice, however in second and third year maize and sunflower. The contents of iron and manganese in tested plants fertilized with composted sewage sludge and farmyard manure with CaO addition were smaller than after use these organic materials without addition. The plants fertilized with the composts of sewage sludge and farmyard manure with ash addition contained most often less marked chemical elements than after used this organic materials without addition, but more in comparison at plants fertilized by mixtures with CaO. The content of manganese in Italian ryegrass and in maize cultiva-

* **Dr inż. Andrzej Wysokiński – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 12 88; e-mail: awysoki@uph.edu.pl**

tion in second year on objects fertilized with sewage sludge was higher than after use of farmyard manure. The content of manganese in remaining and iron in all tested plants most often was not unambiguously diversified after use of sewage sludge and farmyard manure fertilization.

1. WPROWADZENIE

Żelazo i mangan są pierwiastkami niezbędnymi dla wzrostu i rozwoju roślin, poprzez ich udział w procesach metabolicznych. Ponadto są ważnymi pierwiastkami dla prawidłowego rozwoju i funkcjonowania zwierząt i człowieka [Żechałko-Czajkowska 1992, Kabata-Pendias, Pendias 1999, Spiak 2000]. Bogatym źródłem żelaza i manganu dla roślin są różnego rodzaju odpady przemysłowe i komunalne wykorzystywane w nawożeniu, przy czym na szczególną uwagę zasługują osady ściekowe.

Skład frakcyjny żelaza zawartego w osadach ściekowych, charakteryzujący się niską zawartością frakcji rozpuszczalnej w wodzie, wymiennej i węglanowej, jest zbliżony do składu frakcyjnego tego metalu znajdującego się w glebie [Korentajer 1991, Haneklaus i in. 1996a, Kalembasa i in. 2001b, Kalembasa, Wysokiński 2004].

Obrobka osadów ściekowych mająca najczęściej na celu poprawę ich właściwości fizycznych oraz wyeliminowanie zagrożeń mikrobiologicznych prowadzi nie tylko do ilościowych zmian ich składu chemicznego – zawartości mikroelementów, ale również może mieć wpływ na pobieranie przez rośliny składników wprowadzonych do gleby.

Żelazo i mangan w roztworze glebowym występują w formie jonowej oraz w postaci różnorodnych kompleksowych połączeń mineralnych i organicznych. Ich dostępność dla roślin uzależniona jest m.in. od odczynu gleby, a objawy niedoboru obserwowane są najczęściej na glebach alkalicznych [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Niedobór tych pierwiastków dla roślin jest najczęściej wynikiem zachwiania chemicznej równowagi środowiska przez czynniki antropogeniczne, prowadzącej do ograniczenia ich rozpuszczalności, a nie efektem niskiej zawartości w glebie.

Prawidłowa zawartość mikroelementów w roślinach jest ważną cechą jakościową w kryteriach ich oceny pod względem konsumpcyjnym i paszowym. Obserwowane w ostatnich latach zmniejszenie ilości stosowanych nawozów organicznych, często ograniczone tylko do stosowania składników w postaci mineralnej, prowadzi do ujemnego bilansu mikroelementów w glebie, co może w efekcie rzutować na możliwości ich pobierania przez rośliny [Czuba 2000, Szulc i in. 2004].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu nawożenia kompostowanymi osadami ściekowymi z dodatkiem CaO i popiołu z węgla brunatnego na zawartość żelaza i manganu w roślinach testowych.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Osady ściekowe z oczyszczalni ścieków w Siedlcach (po fermentacji metanowej, 21% s.m.) i Łukowie (stabilizowane w warunkach tlenowych, 14,0% s.m.) oraz jako nawóz standardowy obornik (24,0% s.m.), mieszano z tlenkiem wapnia oraz popiołem z węgla brunatnego w proporcjach 2:1, w przeliczeniu na suchą masę. Ilość CaO i oddzielnie popiołu dodanego do 1 kg osadów z Siedlec i Łukowa wynosiła odpowiednio 105 i 70 g, natomiast do obornika 120 g. Tak sporządzone mieszaniny oraz osady i obornik bez dodatków kompostowano przez 3 miesiące, a następnie w ilości 1 kg wprowadzono do wazonów zawierających 9 kg utworu glebowego tak, aby udział nawozu stanowił 10% ogólnej masy podłoża.

W doświadczeniu uwzględniono objekty kontrolne – sama gleba oraz gleba z dodatkiem CaO i popiołu w ilości odpowiadającej średniej ich masie dodanej do osadów i obornika (98 g·wazon⁻¹).

Szczegółowy schemat doświadczenia wazonowego przeprowadzonego w szklarni przedstawiono w tabeli 1.

Materiały organiczne i organiczno-mineralne zastosowano jednorazowo tylko w I roku (na 10 dni przed siewem nasion), natomiast w II i III roku badano działanie następcze. Ze względu na niską zawartość potasu w osadach i ich mieszaninach oraz możliwość retrogradacji fosforu na obiektach z udziałem CaO do wszystkich obiektów stosowano w każdym roku przewidziane uzupełniające nawożenie fosforem i potasem w ilości 0,4 g P (superfosfat potrójny granulowany – 20% P) oraz 1,2 g K·wazon⁻¹ (sól potasowa – 49,8% K). Popiół z węgla brunatnego zawierał 11281 mg Fe i 242,2 mg Mn w 1 kg suchej masy.

Tabela 1. Schemat doświadczenia

Table 1. Scheme of experiment

Obiekty nawozowe	
Zastosowane nawożenie	Rodzaj dodatku do osadów
Bez nawożenia organicznego (obiekt kontrolny)	bez dodatku*
	z dodatkiem CaO**
	z dodatkiem popiołu **
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Kompostowany obornik	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu

Objaśnienia: * sama gleba, ** gleba z dodatkiem odpowiednio CaO lub popiołu.

Gleba wykorzystana w doświadczeniu, o składzie granulometrycznym w poziomie Ap – piasek gliniasty mocny pylasty, wykazywała kwaśny odczyn (pH w $1 \text{ mol KCl} \cdot \text{dm}^{-3} = 4,1$), a zawartość w niej węgla w związkach organicznych i azotu ogółem wynosiła odpowiednio $9,20$ i $0,63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Doświadczenie wazonowe prowadzono przez 3 lata, uprawiając w I roku rajgras włoski zbierany dwukrotnie odpowiednio po 40 dniach od siewu nasion (w III dekadzie lipca) oraz po 40 dniach od pierwszego zbioru. W II i III roku badań roślinami testowymi były kukurydza i słonecznik wysiewany po zbiorze kukurydzy w tych samych wazonach. Do każdego wazonu wysiano po 5 nasion odpowiednio kukurydzy oraz słonecznika, a po ich wschodach pozostawiano trzy rośliny w wazonie. Części nadziemne kukurydzy i słonecznika zbierano po 90 dniach wegetacji.

Zawartość żelaza i manganu w osadach ściekowych, oborniku oraz w ich mieszaninach z CaO i z popiołem, a także w zebranych materiale roślinnym oznaczono metodą ICP-AES w roztworze podstawowym uzyskanym po mineralizacji próbek na sucho w temperaturze 450°C . Uzyskany popiół po mineralizacji zalano $6 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ w celu rozłożenia węglanów i odparowano jego nadmiar. Następnie uzyskane chlorki przeniesiono do kolb miarowych w 10-procentowym roztworze HCl.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariancji w układzie całkowicie losowym (test F – Fischera Snedecora), a wartości $\text{NIR}_{0,05}$ do porównania średnich wyliczono z wykorzystaniem testu Tukeya.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Zawartości żelaza i manganu w suchej masie kompostowanych mieszanin osadów ściekowych z CaO były odpowiednio o 39,5% Fe i 29,1% Mn (średnio osadów z Siedlec i Łukowa) mniejsze niż w samych osadach (tab. 2). Kompostowane mieszaniny osadowo-popiołowe zawierały średnio o 21,0% więcej żelaza oraz o 7,2% mniej manganu w porównaniu z kompostowanymi osadami bez dodatku. Zawartość badanych pierwiastków w kompostowanych osadach ściekowych z Siedlec i Łukowa oraz ich mieszaninach z CaO i popiołem z węgla brunatnego była średnio o 60,8% dla Fe i o 49,6% dla Mn większa niż w kompostowanym oborniku oraz jego mieszaninach z CaO i popiołem.

Analiza składu chemicznego osadów z Siedlec i Łukowa na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wykazała [Kalembasa 1992, Kalembasa 2001, Kalembasa i in. 2001a], że zawartość żelaza w tych osadach wynosiła od 400 do $5076 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w s.m. Zawartość żelaza w badanych osadach ponad dwukrotnie przekracza podane wyżej wartości. Może to wskazywać na dużą zmienność zawartości tego pierwiastka w czasie z wyraźną tendencją do zwiększania się jego ilości. Zawartość żelaza oznaczona przez tych autorów w osadach ściekowych odpowiadała jednocześnie przeciętnej zawartości tego pierwiastka w oborniku [Maćkowiak, Żebrowski 2000], natomiast w badaniach własnych była większa niż w oborni-

ku. Ilość żelaza występująca w osadach ściekowych może być nawet kilkakrotnie większa niż w oborniku [Gondek, Filipek-Mazur 2004, Reszel, Głowacka 2004].

Wysoka zawartość żelaza, a także innych pierwiastków (w tym metali), jest cechą charakterystyczną osadów ściekowych otrzymywanych w dużych aglomeracjach miejskich, gdzie znaczny udział w oczyszczanych ściekach stanowią ścieki przemysłowe. Dane literaturowe [Haneklaus i in. 1996b] wskazują na wysoką zawartość żelaza w tego typu osadach. Może ona osiągnąć nawet 92 800 mg·kg⁻¹.

Badania nad zawartością metali śladowych przeprowadzone przez Siebielca i Stuczyńskiego [2008] w 43 oczyszczalniach ścieków wskazują na znaczne wartości współczynników zmienności dla żelaza i manganu wynoszące odpowiednio 60 i 68%.

Tabela 2. Zawartość żelaza i manganu w kompostowanych osadach ściekowych i oborniku oraz ich mieszaninach z CaO i popiołem z węgla brunatnego, mg·kg⁻¹ s.m.

Table 2. Iron and manganese content in composted sewage sludge, farmyard manure and their mixtures with CaO and brown coal ash, mg·kg⁻¹ D.M.

Materiał organiczny	Oznaczany pierwiastek	Rodzaj zastosowanego dodatku		
		bez dodatku	CaO	popiół z węgla brunatnego
Kompostowane osady z Siedlec	Fe	12436 (2537*)	7839 (2563*)	14052 (3864*)
	Mn	371,7 (75,8*)	271,8 (88,9*)	342,3 (94,1*)
Kompostowane osady z Łukowa	Fe	12327 (1578*)	7160 (1618*)	15884 (2970*)
	Mn	535,5 (68,5*)	368,5 (83,3*)	500,8 (93,6*)
Kompostowany obornik	Fe	2347 (537*)	1307 (476*)	10020 (3096*)
	Mn	239,0 (54,7*)	137,0 (49,9*)	226,8 (70,1*)

Objaśnienia: * ilości pierwiastków wprowadzone do gleby w mg.

Zawartość żelaza i manganu w roślinach najczęściej waha się od kilku do kilkuset, a nawet kilku tysięcy mg Fe·kg⁻¹ s.m. oraz od kilku do kilkudziesięciu mg Mn·kg⁻¹ [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Rośliny testowe uprawiane w kolejnych latach badań na obiektach nawożonych kompostowanymi osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO i popiołu z węgla brunatnego zawierały w suchej masie odpowiednio od 47,1 do 356,7 mg Fe·kg⁻¹ (tab. 3) oraz od 10,0 do 156,2 mg Mn·kg⁻¹ (tab. 4). Toksyczne dla większości roślin jest stężenie Mn wynoszące ok. 500 mg·kg⁻¹ s.m. [Kucharzewski, Dębowski 2001]. Uzyskane zawartości tego pierwiastka w badaniach własnych były dalekie od wymienionego stężenia.

Żelazo i mangan przechodzą do roztworu glebowego w postaci form dostępnych dla roślin przy niskich wartościach pH gleby, natomiast zmniejszenie ich form aktywnych postępuje wraz ze wzrostem wartości pH [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Badora 2002]. Obniżenie pH gleby prowadzi do zwiększenia ich zawartości w biomase roślin często do wartości ponadnormatywnych, a nawet (szczególnie manganu) toksycznych, natomiast wapnowanie zmniejsza ich pobieranie przez rośliny [Rogoż 1994, Sykut i in. 1998, Rogoż 2000, 2002].

Tabela 3. Zawartość żelaza w roślinach testowych, mg·kg⁻¹ s.m.**Table 3.** Iron content in tested plants, mg·kg⁻¹ D.M.

Obiekty nawozowe		Lata doświadczenia					
		I rok – rajgras		II rok		III rok	
		I pokos	II pokos	kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik
Bez nawożenia organicznego	sama gleba	213,5	167,6	204,2	183,7	114,7	169,6
	z dodatkiem CaO	223,7	162,2	194,4	177,4	110,9	140,9
	z dodatkiem popiołu	242,0	271,2	193,3	189,4	124,2	151,2
<i>Średnie</i>		<i>226,4</i>	<i>200,3</i>	<i>197,3</i>	<i>183,5</i>	<i>116,6</i>	<i>153,9</i>
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	214,4	200,4	222,7	193,9	87,9	158,8
	z dodatkiem CaO	208,5	180,5	221,2	125,9	65,8	121,7
	z dodatkiem popiołu	234,5	173,7	193,4	163,1	70,0	148,3
<i>Średnie</i>		<i>219,1</i>	<i>184,9</i>	<i>212,4</i>	<i>161,0</i>	<i>74,6</i>	<i>142,9</i>
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	356,7	282,3	212,4	133,2	88,0	153,1
	z dodatkiem CaO	266,2	185,1	159,9	122,9	47,1	118,5
	z dodatkiem popiołu	284,6	196,0	171,3	170,1	51,4	137,4
<i>Średnie</i>		<i>302,5</i>	<i>221,1</i>	<i>181,2</i>	<i>142,1</i>	<i>62,2</i>	<i>136,3</i>
Kompostowany obornik	bez dodatków	203,1	226,3	215,0	177,1	109,9	157,0
	z dodatkiem CaO	185,1	204,3	197,9	170,1	58,3	118,1
	z dodatkiem popiołu	194,8	190,0	215,7	204,6	63,1	137,4
<i>Średnie</i>		<i>194,3</i>	<i>206,9</i>	<i>209,5</i>	<i>183,9</i>	<i>77,1</i>	<i>137,5</i>
Wartości średnie dla obiektów bez dodatku oraz z dodatkiem CaO i popiołu							
Bez dodatków		246,9	219,2	213,6	172,0	100,1	159,6
Z dodatkiem CaO		220,9	183,0	193,4	149,1	70,5	124,8
Z dodatkiem popiołu		239,0	207,7	193,4	181,8	77,2	143,6
NIR _{0,05} dla:							
– rodzaju nawozu organicznego		13,6	17,8	11,3	13,9	8,7	11,0
– rodzaju dodatku		10,7	13,9	8,8	10,9	6,9	8,6

Rajgras uprawiany w I roku oraz kukurydza i słonecznik zbierane w II i III roku z obiektów nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO zawierały istotnie mniej żelaza i manganu niż rośliny nawożone tymi materiałami organicznymi bez dodatków. Rajgras nawożony osadami ściekowymi i obornikiem bez dodatków zawierał najczęściej zbliżone ilości żelaza i manganu w porównaniu z roślinami nawożonymi mieszaninami z udziałem popiołu z węgla brunatnego.

Kukurydza i słonecznik nawożone mieszaninami osadów ściekowych z popiołem zawierały najczęściej mniej badanych pierwiastków niż po zastosowaniu tych materiałów organicznych bez dodatków, ale więcej niż po wprowadzeniu mieszanin z udziałem CaO, jednak nie we wszystkich przypadkach istotności uzyskanych różnic pomiędzy wartościami średnimi potwierdzono statystycznie.

Zawartość żelaza w I pokosie rajgrasu włoskiego nawożonego osadami ściekowymi była o 25,5% większa, a w słoneczniku zbieranym w II roku o 21,3% mniejsza w porównaniu z roślinami uprawianymi na oborniku.

Tabela 4. Zawartość manganu w roślinach testowych, mg·kg⁻¹ s.m.

Table 4. Manganese content in tested plants, mg·kg⁻¹ D.M.

Objekty nawozowe		Lata doświadczenia					
		I rok – rajgras		II rok		III rok	
		I pokos	II pokos	kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik
Bez nawożenia organicznego	sama gleba	51,7	22,8	40,4	24,4	23,8	23,1
	z dodatkiem CaO	31,2	19,6	28,2	16,1	15,3	17,2
	z dodatkiem popiołu	48,3	80,5	32,1	19,5	19,4	24,7
<i>Średnie</i>		<i>43,7</i>	<i>41,0</i>	<i>33,6</i>	<i>20,0</i>	<i>19,5</i>	<i>21,7</i>
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	91,6	120,4	87,6	20,6	27,3	18,2
	z dodatkiem CaO	75,8	59,4	34,7	14,9	10,1	16,4
	z dodatkiem popiołu	88,3	88,7	49,6	14,5	13,7	15,9
<i>Średnie</i>		<i>85,2</i>	<i>89,5</i>	<i>57,3</i>	<i>16,7</i>	<i>17,0</i>	<i>16,8</i>
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	108,1	156,2	108,2	35,8	17,9	27,1
	z dodatkiem CaO	69,5	119,8	49,3	14,4	11,5	18,4
	z dodatkiem popiołu	93,9	142,9	72,3	19,3	10,4	21,7
<i>Średnie</i>		<i>90,5</i>	<i>139,6</i>	<i>76,6</i>	<i>23,2</i>	<i>13,3</i>	<i>22,4</i>
Kompostowany obornik	bez dodatków	68,8	72,2	42,4	19,2	17,4	20,9
	z dodatkiem CaO	58,7	54,8	29,9	17,8	13,7	18,3
	z dodatkiem popiołu	62,4	75,4	31,8	22,5	10,0	23,8
<i>Średnie</i>		<i>63,3</i>	<i>67,5</i>	<i>34,7</i>	<i>19,8</i>	<i>13,7</i>	<i>21,0</i>
Wartości średnie dla obiektów bez dodatku oraz z dodatkiem CaO i popiołu							
Bez dodatków		80,1	92,9	699,7	25,0	21,6	22,3
Z dodatkiem CaO		58,8	63,4	35,5	15,8	12,7	17,6
Z dodatkiem popiołu		73,2	96,9	46,5	19,0	13,4	21,5
NIR _{0,05} dla:							
– rodzaju nawozu organicznego		5,1	8,4	3,6	1,7	1,5	2,1
– rodzaju dodatku		4,0	6,6	2,8	1,3	1,2	1,6

Ilości manganu oznaczone w I i II odroście rajgrasu oraz w kukurydzy zbieranej w II roku z obiektów nawożonych osadami ściekowymi były odpowiednio o 27,9, 41,1 i 48,2% większe niż w roślinach nawożonych obornikiem. Ilości tych mikroelementów uzyskane w pozostałych roślinach testowych zbieranych z obiektów nawożonych osadami ściekowymi w porównaniu z obiektami, do których wprowadzono obornik, nie była jednoznacznie zróżnicowana.

Zawartość żelaza w roślinach zbieranych w I i II roku z obiektów nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem (w kombinacji bez i z dodatkiem CaO i popiołu) była najczęściej zbliżona, w porównaniu z jego ilością w roślinach uprawianych na obiektach kontrolnych. Ilości manganu stwierdzone w rajgrasie i kukurydzy uprawianej w II roku na obiektach nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem były najczęściej większe niż w roślinach zbieranych z obiektów kontrolnych. W roślinach zbieranych w III roku z obiektów kontrolnych oznaczono więcej żelaza i manganu niż w roślinach nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem. Uzyskane wyniki należy wiązać zarówno z większą biomasa

roślin zbieranych z obiektów nawozowych (Kalembasa, Wysokiński 2004) w porównaniu z obiektami kontrolnymi oraz stopniowemu wyczerpywaniu się dostępnych form tych pierwiastków dla roślin.

4. WNIOSKI

Dodatek tlenku wapnia do osadów ściekowych spowodował zmniejszenie zawartości żelaza i manganu, co było efektem rozcieńczenia. Dlatego też kompostowane mieszaniny osadów ściekowych z CaO zawierały mniej tych pierwiastków niż osady bez dodatków. Zawartość żelaza w kompostowanych mieszaninach osadowo-popiołowych była większa, a manganu zbliżona w porównaniu z ich ilością w samych osadach.

Dodatek tlenku wapnia do osadów ściekowych oraz obornika zmniejszył zawartość żelaza i manganu w roślinach testowych.

Rośliny nawożone osadami i obornikiem z dodatkiem popiołu zawierały najczęściej mniej oznaczanych pierwiastków niż po zastosowaniu samych osadów i obornika, ale więcej w porównaniu z roślinami nawożonymi mieszaninami tych materiałów organicznych z CaO.

PIŚMIENNICTWO

- BADORA A. 2002. Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482: 21–36.
- CZUBA R. 2000. Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 471: 161–169.
- GONDEK K., FILIPEK-MAZUR B. 2004. Zmiany zawartości rozpuszczalnych form żelaza i manganu oraz związków próchnicznych w osadzie ściekowym kompostowanym i wermikompostowanym. Acta Agroph. 4(3): 677–686.
- HANEKLAUS S., HARMS H., KLASA A., NOWAK G. A., SCHUNG E., WIERZBOWSKA J. 1996A. Zawartość kobaltu, molibdenu, tytanu, cyrkonu i wanadu w osadach pościekowych oraz glebach w warunkach rolniczej ich utylizacji. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 819–824.
- HANEKLAUS S., HARMS H., KLASA A., NOWAK G. A., SCHUNG E., WIERZBICKA J. 1996B. Zawartość niektórych makro- i mikroelementów w osadach z oczyszczalni ścieków północno-wschodniej Polski oraz dużych aglomeracji miejskich. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 437: 185–190.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa: 399 s.
- KALEMBASA S. 1992. Osady ściekowe z oczyszczalni ścieków w Siedlcach, Sokołowie Podlaskim i Łukowie – potencjalne źródło składników pokarmowych roślin. Zesz. Nauk. WSR-P w Siedlcach. Rolnictwo 31: 169–177.

- KALEMBASA D. 2001. Skład chemiczny wermikompostów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 475: 271–278.
- KALEMBASA S., KALEMBASA D., KANIA R. 2001a. Wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni ścieków regionu siedleckiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 475: 279–286.
- KALEMBASA D., PAKUŁA K., BECHER M. 2001b. Sekwencyjnie wydzielone frakcje żelaza i manganu z gleb wzbogaconych w żelazo. Roczn. Glebozn. 52:183–190.
- KALEMBASA S., WYSOKIŃSKI A. 2004. Zawartość całkowita i formy żelaza w świeżej i kompostowanej mieszaninie osadów ściekowych z CaO, popiołem z węgla brunatnego lub kamiennego. Księga konferencyjna Proceedings EC Opole '04: 247–252.
- KALEMBASA S., WYSOKIŃSKI A. 2004. Wpływ nawożenia kompostowaną mieszaniną osadów ściekowych z CaO lub z popiołem z węgla brunatnego na plon roślin i efektywność azotu. Annales UMCS, Sec. E, 59(4): 1899–1904.
- KORENTAJER L. 1991. A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards. Soil Irrig. Res. Inst. 17(3):189–196.
- KUCHARZEWSKI A., DĘBOWSKI M. 2001. Ocena stanu zanieczyszczenia płodów rolnych na obszarze województwa dolnośląskiego. Stacja Chemiczno-Rolnicza we Wrocławiu: 3–67.
- MAĆKOWIAK CZ., ŻEBROWSKI J. 2000. Skład chemiczny obornika w Polsce. Nawozy i Nawożenie 4(5): 119–130.
- RESZEL R., GŁOWACKA A. 2004. Wpływ wapnowanego osadu ściekowego oraz jego mieszanek z ziemią spławiakową i popiołem ze słomy na zawartość Fe i Mn w glebie lekkiej i kukurydzy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 502: 967–972.
- ROGOŹ A. 1994. The influence of liming on the content of some micronutrients in plants. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 413: 255–261.
- ROGOŹ A. 2000. Wpływ odczynu gleby na zawartość i pobranie manganu przez kukurydzę i tytoń. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 472: 587–596.
- ROGOŹ A. 2002. Zawartość i pobranie pierwiastków śladowych przez rośliny przy zmiennym odczynie gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482: 439–451.
- SIEBIELEC G., STUCZYŃSKI T. 2008. Metale śladowe w komunalnych osadach ściekowych wytwarzanych w Polsce. Proceedings of EC Opole 2(2): 479–484.
- SPIAK Z. 2000. Mikroelementy w rolnictwie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 471: 29–34.
- SZULC W., RUTKOWSKA B., ŁABĘTOWICZ J. 2004. Bilans mikroelementów w zmianowaniu w trwałym doświadczeniu nawozowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 502: 363–369.
- SYKUT S., RUSZKOWSKA M., WOJCIESKA U., KUSIO M. 1998. Zawartość manganu w roślinach jako wskaźnik stopnia zakwaszenia gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 233–236.
- ŻECHAŁKO-CZAJKOWSKA A. 1992. Mikroelementy w pożywieniu człowieka. VII Symp. Mikroelementy w rolnictwie 20–25.