

## ZAWARTOŚĆ I POBRANIE SIARKI PRZEZ JĘCZMIEŃ W WARUNKACH STOSOWANIA ŚCIEKÓW MIEJSKICH I SOLI MINERALNYCH

*A. Kaczor*

Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza  
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin  
e-mail: adamk@agros.ar.lublin.pl

**Streszczenie.** W pracy przeprowadzono ocenę wpływu składników zawartych w oczyszczonych ściekach i nawozach mineralnych na zawartość i pobranie przez jęczmień jary siarki ogółem, siarczanowej i organicznej. Badania wykonano w oparciu o analizę materiału roślinnego otrzymanego z doświadczeń wazonowych. Zastosowany do doświadczeń materiał glebowy pobrano z warstwy ornej gleby torfowo-murszowej, wytworzonej z torfu niskiego oraz gleby bielcowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. Zastosowane w badaniach miejskie ścieki oczyszczone okazały się dobrym źródłem siarki dla testowanej rośliny. Świadczy o tym widoczny wzrost zawartości i pobrania wszystkich analizowanych form siarki w jęczmieniu z obiektów nawadnianych ściekami w stosunku do wartości odnotowanych w roślinach nawożonych tylko solami mineralnymi. Ogólnie można stwierdzić, że stosowanie ścieków pod uprawy rolnicze może wydatnie poprawić ich zaopatrzenie w siarkę.

**Słowa kluczowe:** jęczmień, ścieki, siarka, zawartość, pobranie.

### WSTĘP

Wzrastające potrzeby nawozowe i wodne w rolnictwie oraz aktywna działalność na rzecz ochrony wód przed zanieczyszczeniem to zasadnicze czynniki przemawiające za wykorzystaniem potencjału nawozowo-wilgot-nościowego do nawodnień roślin uprawnych [3,6]. Wzrost plonów roślin w efekcie stosowania ścieków komunalnych stwierdzany jest w licznych opracowaniach [za 2, 9]. Świadczy to o tym, że są one dobrym źródłem podstawowych składników pokarmowych dla wielu upraw rolniczych.

Ścieki komunalne - obok podstawowych składników pokarmowych - zawierają również w swoim składzie stosunkowo wysokie ilości siarki [2]. Należy zatem przypuszczać, że nawadnianie roślin ściekami może w znacznym stopniu poprawić jej bilans w glebach, który w ostatnich latach jest ujemny w znacznej części Europy, w tym również w wielu regionach Polski [5,7]. Stąd też celem pracy była ocena wpływu składników zawartych w ściekach oczyszczonych i nawozach mineralnych na zawartość i pobranie przez jęczmień jary siarki ogółem, siarczanowej i organicznej.

#### MATERIAŁY I METODY

Badania oparto na analizie chemicznej materiału roślinnego uzyskanego w ścisłych doświadczeniach wazonowych. Doświadczenia te przeprowadzono na materiale glebowym pobranym z warstwy akumulacyjnej gleby torfowo-murszowej oraz gleby bielicznej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba organiczna zawierała 33% materii organicznej, 1,62%  $N_{og}$  i 668  $mg \cdot kg^{-1}$  N-łatwo hydrolizującego. Gleba ta była bardzo zasobna w fosfor przyswajalny oraz bardzo uboga w potas i magnez. W glebie mineralnej zawartość  $N_{og}$  wynosiła 0,16% N, a łatwo hydrolizującego 84  $mg \cdot kg^{-1}$ . Zawartość fosforu przyswajalnego była w niej średnia, potasu niska, a magnezu bardzo niska. Do doświadczeń użyto wazonów o pojemności 5  $dm^3$ . Wazonny te napełniano 6 kg gleby mineralnej o wilgotności 7,7% i 4,5 kg gleby organicznej o wilgotności 53,6%.

W pierwszym roku badań rośliną testową była kupkówka pospolita odmiany Areda, zbierana trzykrotnie w okresie wegetacji, a po niej w roku następnym posiano jęczmień jary odmiany Rambo „K”, który sprzątano w okresie pełnej dojrzałości. Po wzejściu, przerwaniu i pozostawieniu odpowiedniej ilości testowanych roślin w wazonie (kupkówka pospolita – 12, jęczmień jary – 10) podlewano je oczyszczonymi ściekami miejskimi zgodnie z załączonym schematem:

1.  $A_0$  – obiekt kontrolny bez nawożenia;
2.  $S_1$  – nawożenie roślin ściekami w ilości 100  $cm^3$ /wazon/dzień;
3.  $S_2$  – nawożenie roślin ściekami w ilości 200  $cm^3$ /wazon/dzień;
4.  $S_1(A)$  – nawożenie mineralne (NPKMg) w ilości  $S_1$ ;
5.  $S_2(A)$  – nawożenie mineralne (NPKMg) w ilości  $S_2$ ;
6.  $A_1$  – nawożenie mineralne (NPKMg) w dawce optymalnej;
7.  $A_1(S_1 + A)$  – ścieki w dawce  $S_1$  + nawożenie mineralne do poziomu  $A_1$ ;
8.  $A_1'(S_2 + A)$  – ścieki w dawce  $S_2$  + nawożenie mineralne do poziomu  $A_1$ .

Wilgotność gleby we wszystkich obiektach utrzymywano na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej przez podlewanie roślin do stałej wagi wodą destylowaną. W badaniach stosowano miejskie ścieki oczyszczone biologicznie, pobierane z komunalnej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni Hajdów w Lublinie. Ścieki te w 1 dm<sup>3</sup> zawierały średnio następujące ilości podstawowych składników: N rozp. – 30 mg N; P-PO<sub>4</sub> rozp. – 4 mg P K całk. – 30 mg K ;Mg całk. – 10 mg Mg; S-SO<sub>4</sub> – 80 mg S. Przy niższej dawce ścieków (S<sub>1</sub>) w trakcie jednego okresu wegetacji wprowadzono z nimi w g/wazon: 0,36 N; 0,084 P; 0,36 K; 0,12 Mg i 0,96 S. Przy wyższej dawce ścieków (S<sub>2</sub>) ilości wnoszonych składników były dwukrotnie wyższe. Nawożenie mineralne azotem, fosforem, potasem i magnezem podano w formie rozpuszczalnych soli (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, KCl, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O). Łączna dawka składników w g/wazon, zastosowana w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego w obiekcie A<sub>1</sub> wynosiła: N–2,4; P–0,52; K–1,41; Mg–0,24. Ilości siarki wniesione z nawożeniem mineralnym w formie MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O wynosiły 0,158 g S/wazon w obiekcie S<sub>1</sub>A i dwukrotnie więcej w obiektach S<sub>2</sub>A i A<sub>1</sub>. Ilości te były sześciokrotnie niższe od ilości wprowadzanych ze ściekami.

Wyniki zawarte w niniejszej pracy stanowią wycinek przeprowadzonych doświadczeń i obejmują zagadnienia dotyczące zawartości i pobrania różnych form siarki przez jęczmień jary w warunkach stosowania ścieków i nawożenia mineralnego.

W materiale roślinnym w średnich próbach obiektowych oznaczono:

- siarkę ogółem metodą Butters-Chenery [1], po uprzednim spaleniu materiału roślinnego w piecu muflowym;
- siarkę siarczanową nefelometrycznie, po ekstrakcji 2% CH<sub>3</sub>COOH;
- siarkę organiczną obliczono z różnicy pomiędzy S<sub>og.</sub> i S-SO<sub>4</sub>.

Pobranie analizowanych form siarki przez jęczmień jary obliczono, wykorzystując procentowe zawartości i plony roślin [4].

## WYNIKI I DYSKUSJA

Całkowita zawartość siarki w ziarnie jęczmienia jarego – w zależności od obiektu doświadczalnego – zawierała się w przedziale od 0,16 do 0,35% S, a w słomie od 0,15 do 0,64% S. Analogiczne zakresy zawartości dla siarki siarczanowej wynosiły od 0,03 do 0,14% S (ziarno) i od 0,08 do 0,30% S (słoma), a dla siarki organicznej od 0,13 do 0,27% S (ziarno) i od 0,09 do 0,34% S (słoma) (Tab. 1). Zacytowane dane wskazują, że czynniki doświadczalne (rodzaj gleby, sposób nawożenia) wywarły większy wpływ na zróżnicowanie koncentracji analizowanych form siarki w słomie niż w ziarnie jęczmienia. Potwierdza to

znany fakt [10], że organy generatywne roślin w porównaniu z ich częściami wegetatywnymi odznaczają się większą stabilnością składu chemicznego. Otrzymane wyniki wskazują także, że zawartości  $S_{og.}$ ,  $S-SO_4$  i  $S_{org.}$  – zarówno w ziarnie, jak i w słomie – były wyższe w jęczmieniu uprawianym na glebie organicznej w stosunku do wartości uzyskanych w serii na glebie mineralnej. Wynika to zapewne z tego, że zawartość siarki ogółem w glebach organicznych jest kilkakrotnie wyższa od ilości tego składnika stwierdzanych w typowych glebach mineralnych [7, 8].

**Tabela 1.** Zawartość różnych form siarki w jęczmieniu jarym w warunkach stosowania miejskich ścieków oczyszczonych i soli mineralnych (% S)

**Table 1.** The content of different sulphur forms in the spring barley under the conditions application of purified municipal sewage and mineral salts (% S)

Obiekt*	$S_{og.}$	$S-SO_4$	$S_{org.}$	$S_{og.}$	$S-SO_4$	$S_{org.}$
	Gleba mineralna			Gleba organiczna		
	Ziarno					
$A_0$	0,29	0,09	0,20	0,32	0,14	0,18
$S_1$	0,25	0,05	0,20	0,29	0,07	0,22
$S_2$	0,28	0,06	0,22	0,33	0,09	0,24
$S_1(A)$	0,18	0,04	0,14	0,22	0,05	0,17
$S_2(A)$	0,18	0,04	0,14	0,23	0,04	0,19
$A_1$	0,16	0,03	0,13	0,22	0,04	0,18
$A_1(S_1+A)$	0,25	0,06	0,19	0,31	0,07	0,24
$A_1'(S_2+A)$	0,29	0,07	0,22	0,35	0,08	0,27
	Słoma					
$A_0$	0,45	0,21	0,24	0,64	0,30	0,34
$S_1$	0,38	0,17	0,21	0,45	0,20	0,25
$S_2$	0,48	0,23	0,25	0,51	0,25	0,26
$S_1(A)$	0,17	0,08	0,09	0,25	0,10	0,15
$S_2(A)$	0,16	0,07	0,09	0,28	0,12	0,16
$A_1$	0,15	0,06	0,09	0,24	0,11	0,13
$A_1(S_1+A)$	0,24	0,11	0,13	0,31	0,14	0,17
$A_1'(S_2+A)$	0,31	0,16	0,15	0,36	0,17	0,19

\* Oznaczenia jak w metodyce badań.

W przeprowadzonym doświadczeniu aplikacja składników pokarmowych tylko w formie oczyszczonych ścieków miejskich ( $S_1$ ,  $S_2$ ) widocznie wpłynęła na wzrost zawartości analizowanych form siarki w stosunku do wartości stwierdzonych w ziarnie i w słomie roślin z obiektów nawożonych wyłącznie solami mineralnymi ( $S_1A$ ,  $S_2A$ ). Wzrost ten w ziarnie - w zależności od rodzaju gleby i poziomu nawożenia - wynosił w przypadku siarki ogółem od 31,8 do 55,5%, a w słomie był on aż 1,8-3-krotny. Wyższymi zawartościami rozpatrywanych form siarki charakteryzował się również jęczmień nawożony ściekami i solami mineralnymi ( $A_1/S_1+A$ ,  $A_1'/S_2+A$ ) w stosunku do roślin, pod które wnoszono wyłącznie nawożenie mineralne na poziomie przyjętym za optymalny ( $A_1$ ). W tym przypadku - w zależności od rodzaju gleby i proporcji pomiędzy ilością składników wniesionych w postaci ścieków i soli mineralnych - zwiększenia siarki ogółem kształtowały się w zakresie 41 - 81% w ziarnie i 29 - 106% w słomie. Uzyskane dane pozwalają na stwierdzenie, że użyte w badaniach ścieki są bardzo dobrym źródłem siarki dla roślin. Nawadnianie nimi - zwłaszcza gatunków o wysokich wymaganiach w stosunku do siarki [2,7,8] - obok poprawy bilansu wodnego i podstawowych składników pokarmowych (N, P, K) może także wyraźnie wpłynąć na lepsze zaopatrzenie ich w ten pierwiastek.

Zastosowanie w nawożeniu ścieków wpłynęło również na wzrost pobrania siarki przez jęczmień jary (Tab. 2). Na obydwu glebach użytych w eksperymencie najwyższym pobraniem siarki ogółem charakteryzowały się rośliny z obiektów nawożonych składnikami pochodzącymi ze ścieków i soli mineralnych, zastosowanych na poziomie optymalnym ( $A_1/S_1+A$ ,  $A_1'/S_2+A$ ). Ilości pobranej S ogółem przez ziarno i słomę jęczmienia jarego, pochodzącego z tych obiektów były aż o 69 - 98% wyższe od ilości zakumulowanych przez rośliny nawożone tylko solami mineralnymi ( $A_1$ ). Na tak wysokie pobranie S ogółem przez jęczmień - obok zawartości składnika - wpłynął w dużej mierze fakt, że rośliny pochodzące z tej serii doświadczalnej wydały najwyższe plony [4]. Na uwagę zasługuje podkreślenie, że siarka pochodząca ze ścieków po pobraniu jej przez rośliny ulegała w dużej części metabolicznemu przekształceniu w związki organiczne. Wskazuje na to fakt, że jęczmień z obiektów nawożonych ściekami odznaczał się znacznie wyższym pobraniem siarki organicznej niż rośliny, pod które stosowano składniki w formie soli mineralnych.

Ogólnie można stwierdzić, że oczyszczone ścieki miejskie są dobrym źródłem siarki dla roślin. Świadczą o tym wysokie zawartości i pobrania tego składnika przez jęczmień. Można zatem założyć, że nawadnianie roślin ściekami wpłynie wydatnie na poprawę bilansu siarki w glebach.

**Tabela 2.** Pobranie różnych form siarki przez jęczmień jary w warunkach stosowania miejskich ścieków oczyszczonych i soli mineralnych (mg S wazon<sup>-1</sup>)

**Table 2.** The uptake of differentiated sulphur forms by the spring barley under the conditions of application of purified municipal sewage and mineral salts (mg S pot<sup>-1</sup>)

Obiekt*	S <sub>og.</sub>	S-SO <sub>4</sub>	S <sub>org.</sub>	S <sub>og.</sub>	S-SO <sub>4</sub>	S <sub>org.</sub>
	Gleba mineralna			Gleba organiczna		
	Ziarno					
A <sub>0</sub>	18,8	5,8	13,0	16,3	7,1	9,2
S <sub>1</sub>	29,5	5,9	23,6	40,6	9,8	30,8
S <sub>2</sub>	28,3	6,1	22,2	43,5	11,9	31,6
S <sub>1</sub> (A)	28,1	6,2	21,9	33,0	7,5	25,5
S <sub>2</sub> (A)	39,8	8,8	31,0	40,5	7,0	33,5
A <sub>1</sub>	43,8	8,2	35,6	43,8	8,0	35,8
A <sub>1</sub> (S <sub>1</sub> +A)	73,7	17,7	56,0	66,0	14,9	51,1
A <sub>1</sub> '(S <sub>2</sub> +A)	82,9	20,0	62,9	72,1	16,5	55,6
	Słoma					
A <sub>0</sub>	24,7	11,5	13,2	35,8	16,8	19,0
S <sub>1</sub>	37,6	16,8	20,8	65,2	29,0	36,2
S <sub>2</sub>	43,7	20,9	22,8	85,2	41,7	43,5
S <sub>1</sub> (A)	25,3	11,9	13,4	45,7	18,3	27,4
S <sub>2</sub> (A)	34,9	15,3	19,6	50,7	21,7	29,0
A <sub>1</sub>	37,9	15,2	22,7	51,6	23,6	28,0
A <sub>1</sub> (S <sub>1</sub> +A)	64,8	29,7	35,1	77,8	35,1	42,7
A <sub>1</sub> '(S <sub>2</sub> +A)	79,0	40,8	38,2	97,9	46,2	51,7
	Pobranie ogółem (ziarno + słoma)					
A <sub>0</sub>	43,5	17,3	26,2	52,1	23,9	28,2
S <sub>1</sub>	67,1	22,7	44,4	105,8	38,8	67,0
S <sub>2</sub>	72,0	27,0	45,0	128,7	53,6	75,1
S <sub>1</sub> (A)	53,4	18,1	35,3	78,7	25,8	52,9
S <sub>2</sub> (A)	74,7	24,1	50,6	91,2	28,7	62,5
A <sub>1</sub>	81,7	23,4	58,3	95,4	31,6	63,8
A <sub>1</sub> (S <sub>1</sub> +A)	138,5	47,4	91,1	143,8	50,0	93,8
A <sub>1</sub> '(S <sub>2</sub> +A)	161,9	60,8	101,1	170,0	62,7	107,3

\*Oznaczenia jak w metodyce badań

## WNIOSKI

1. Stosowanie miejskich ścieków oczyszczonych wpłynęło w dużym stopniu na wzrost zawartości i pobrania siarki przez jęczmień jary w porównaniu z wartościami stwierdzonymi w roślinach nawożonych składnikami w formie soli mineralnych.
2. Siarka zawarta w ściekach po pobraniu przez jęczmień uległa w znacznej części metabolicznemu przekształceniu w związki organiczne. Świadczy to o tym, że miejskie ścieki oczyszczone są dobrym źródłem tego składnika dla roślin.
3. Uzyskane wyniki wskazują, że nawadnianie roślin miejskimi ściekami może w znacznym stopniu wpłynąć na poprawę bilansu siarki w glebach i w konsekwencji na lepsze zaopatrzenie roślin w ten pierwiastek.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Butters B., Chenery E.M.:** A rapid method for the determination of total sulphur in soils and plants. *Analyst*, 84, 239-245, 1959.
2. **Filipek T. (red.):** III<sup>o</sup> oczyszczania ścieków miejskich w agrosystemach. Wyd. AR w Lublinie, Lublin, 1998.
3. **Chodak T., Sheaffer J.R., Nalberczyński A.:** Poprawa bilansu wodnego poprzez rolnicze wykorzystanie ścieków oczyszczonych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 418, 101-109, 1995.
4. **Kaczor A., Kozłowska J.:** Plonowanie i skład kationowy roślin nawożonych miejskimi ściekami Lublina. Cz. II. Jęczmień jary. W: „Biopierwiastki w naszym środowisku.” (Red. K. Pasternak). Poli ART Studio s.c., Lublin, 31-36, 1997.
5. **Kaczor A., Kozłowska J.:** Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie*, 204, *Agricultura*, (81), 55-68, 2000.
6. **Kostuch R., Nazaruk M.:** Osiągnięcia gospodarki łąkowo-pastwiskowej w kończącym się stuleciu. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, (384), 20-26, 2000.
7. **Mc Grath S.P., Zhao F. J., Withers P.J.A.:** Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. *The Fertiliser Society*, London, 3-47, 1996.
8. **Motowicka-Terelak T., Terelak H.:** Siarka w glebach Polski – stan i zagrożenie. Wyd. PIOŚ, Warszawa, 1998.
9. **Piekut K., Nazaruk M.:** Wpływ wieloletnich nawodnień stokowych ściekami miejskimi w dolinie rzeki Ner na produktywność łąk i właściwości gleb. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 3, (378), 124-129 (cz. I), 4, (379), 186-192 (cz. II), 1998.
10. **Zalewska M.:** Wpływ nawożenia potasem i magnezem na skład chemiczny roślin. *Zesz. Nauk. ART w Olsztynie, Agricultura* 61, 167-175, 1995.

THE CONTENT AND UPTAKE OF SULPHUR IN BARLEY UNDER  
THE CONDITIONS OF APPLICATION OF PURIFIED MUNICIPAL  
SEWAGE AND MINERAL SALTS

*A. Kaczor*

Department of Agricultural Chemistry, University of Agriculture  
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin  
e-mail: adamk@agros.ar.lublin.pl

**Summary.** The present paper comprises the estimation of the effect of the components which occur in purified sewage and mineral fertilizers on the content and uptake of total sulphate and organic sulphur by spring barley. The research was carried out on the base of analysis of plant material which was obtained from the pot experiment. The soil material applied in the experiment was taken from the muck-peat soil arable layer, formed on the low-bog peat and from the podzolic soil having granulometric of the light loamy sand. The purified municipal sewage used in the investigation turned out to be a good source of sulphur for the tested plant. It is confirmed by the considerable increase of content and uptake of all sulphur forms in barley from the objects irrigated with sewage in comparison with the values observed in the plants fertilized only with mineral salts. Generally it may be stated that the application of sewage in the agricultural cultivation may significantly improve their sulphur supply.

**Key words:** barley, sewage, sulphur, content, uptake.