

## KUMULACJA CYNKU PRZEZ ROŚLINY UPRAWIANE NA POLACH ZALEWANYCH ŚCIEKAMI MIEJSKIMI PO II STOPNIU OCZYSZCZANIA

Z. Stępniewska<sup>1,2</sup>, J. Żuchowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instytut Agrofizyki PAN, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

<sup>2</sup>Katolicki Uniwersytet Lubelski, Al. Kraśnicka 102, 20-718 Lublin

**Streszczenie:** Celem pracy było ustalenie, które z badanych roślin (topola, wierzba wiciowa, rzepak, konopie i mieszanka traw) kumulują największe ilości cynku oraz jak zróżnicowany stopień nawadniania gleby wpływa na pobranie tego pierwiastka.

Eksperyment przeprowadzono na polach doświadczalnych (gleba torfowo-murszowa) irygowanych ściekami miejskimi o II stopniu oczyszczenia. Pola doświadczalne były podzielone na trzy kwatery: kontrolną (A), zalewaną pojedynczą dawką ścieków miejskich po II stopniu oczyszczenia (B) oraz zalewaną dawką podwójną (C). Ilość ścieków wprowadzanych na pola wynosiła odpowiednio 600 i 1200 mm w ciągu roku. Oznaczenia stężeń cynku w materiale roślinnym wykonywano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS). Stężenia cynku mieściły się w zakresie 11–290 mg kg<sup>-1</sup>. Najwyższą zawartość cynku stwierdzono w liściach topoli, 32–290 mg kg<sup>-1</sup>. Pozostałe rośliny można uszeregować następująco: wierzba, konopie, rzepak, mieszanka traw.

Słowa kluczowe: cynk, kumulacja, ścieki, rośliny

### WSTĘP

Koncentracja cynku w większości gleb jest niewielka – przeciętnie 5–300 mg kg<sup>-1</sup>, jest więc zaliczany do pierwiastków śladowych [3]. Wzrost jego stężenia w glebach jest zazwyczaj związany z działalnością człowieka i może stanowić poważne zagrożenie ekologiczne. Jednak wysoka zawartość cynku w glebie nie zawsze musi wiązać się ze wzrostem jego przenikania do wód gruntowych i zwiększonym poborem tego metalu przez rośliny. Zależy to od zróżnicowania form, w jakich cynk występuje w danym typie gleby, które różnią się mobilnością, a przez to dostępnością dla roślin. Jedynie niewielka ilość cynku występuje

w postaci rozpuszczalnej—jako wolne jony, bądź w postaci kompleksów ze związkami organicznymi lub mineralnymi. Stężenie Zn w roztworze glebowym wynosi, w glebach niezanieczyszczonych, od  $\sim 3 \times 10^{-8}$  do  $\sim 5 \times 10^{-7}$  M [2, 4].

Dostępność cynku dla roślin jest uzależniona od wielu czynników fizykochemicznych, wpływających na stężenia jonów metali w roztworze glebowym. Wśród nich duże znaczenie ma stan natlenienia gleby. W warunkach ograniczonego dostępu tlenu w glebach zachodzą procesy redukcyjne, którym towarzyszy spadek potencjału oksydoredukcyjnego.

Cynk, podobnie jak wiele innych metali ciężkich (Cd, Pb, Ni, Cu), nie uczestniczy bezpośrednio w glebowych szlakach redoks, zależnych od zmagazynowanych tlenowych połączeń N, Mn, Fe czy S, które mogą być wykorzystywane jako alternatywne źródło tlenu przez mikroorganizmy przy niedostatku tlenu cząsteczkowego. Związki Zn ulegają jednak uruchamianiu bądź wytrącaniu, w zależności od stanu zredukowania środowiska, gdyż są okładowane lub współstrącane z tlenkami Fe i Mn oraz minerałami ilastymi. Czynnikiem decydującym o adsorpcji i desorpcji cynku na tlenkach żelaza i manganu są Eh i pH gleby oraz koncentracja Zn i innych metali, będących konkurentami cynku [1, 7]. Jak stwierdzono, niedotlenienie zachodzące w glebie pod wpływem nadmiernego uwilgotnienia powoduje często ograniczenie dostępności cynku dla uprawianych roślin [1, 6, 8].

Celem badań było ustalenie, która z badanych roślin – topola (*Populus nigra*), wierzba wiciowa (*Salix americana*), rzepak jary, konopie siewne i mieszanka traw (*Alopectus pratensis*, *Phalaris arundinacea*, *Festuca pratensis*) kumuluje największe ilości cynku w warunkach zróżnicowanego nawadniania gleby ściekami miejskimi po II stopniu oczyszczenia.

#### MATERIALY I METODY

Eksperyment przeprowadzony został w 1998 r. Testowane rośliny były uprawiane na polach doświadczalnych o powierzchni ok. 1 ha, zlokalizowanych w dolinie Bystrzycy, w okolicach lubelskiej oczyszczalni ścieków. Występuje tam gleba torfowo-murszową (Eutric Histosol) o naturalnym układzie poziomów genetycznych i strukturze glebowej (pH w KCL – 7,2; C org. – 326 g kg<sup>-1</sup>).

Pola doświadczalne obsadzone wyżej wymienioną roślinnością zalewane były ściekami miejskimi po II stopniu oczyszczenia, zawierającymi cynk w stężeniach 28–421 µg/dm<sup>3</sup> (analizy ścieków wykonano na Politechnice Lubelskiej).

Każde z pól było podzielone na 3 kwatery: kontrolną (A) – pozostającą pod działaniem wyłącznie opadów atmosferycznych; zalewaną pojedynczą dawką ścieków (B) oraz dawką podwójną (C). Nawadniania prowadzono 10 razy w czasie okresu wegetacji, a całkowita ilość ścieków wprowadzanych na pola wynosiła dla kombinacji B i C odpowiednio 600 i 1200 mm.

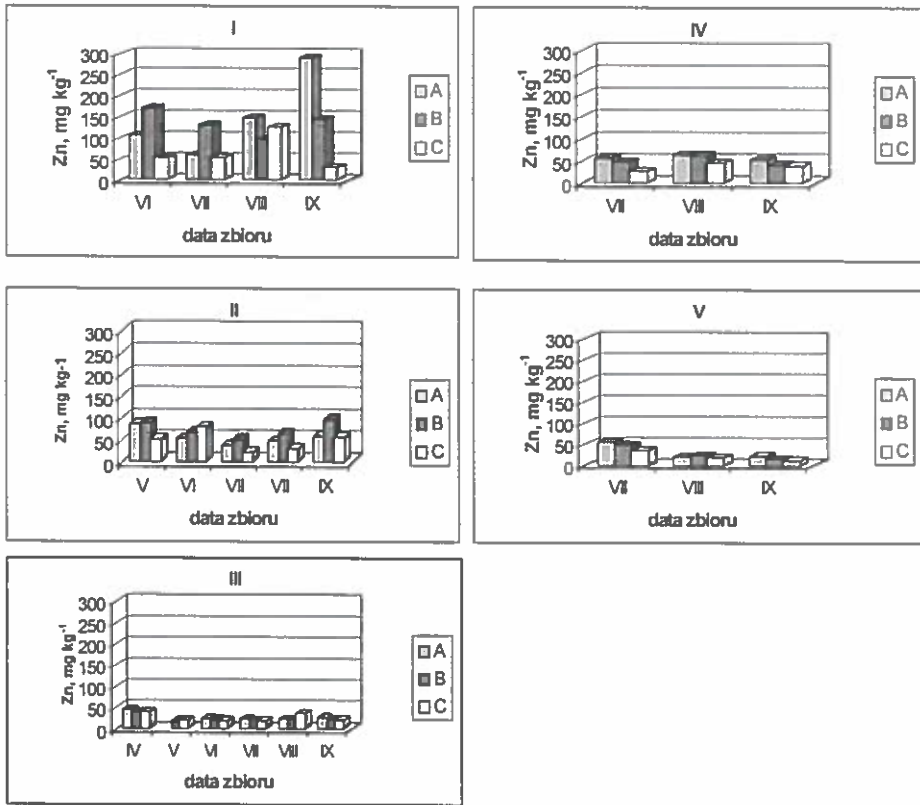
Części zielone roślin, pobrane w każdym z terminów nawodnień suszono w temperaturze 100°C i poddawano mineralizacji „na sucho”, wg metody opisanej przez Ostrowską i wsp [5]. Uzyskany popiół traktowano 10 ml 18% HCl. Tygłe przykrywano i pozostawiano na 24h. Następnie zawartość przenoszona była ilościowo do kolbek miarowych. W uzyskanych roztworach oznaczano zawartość cynku metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (Perkin Elmer 3300).

## WYNIKI

Największą koncentrację cynku wśród badanych roślin stwierdzono w liściach topoli. Najwyższe stężenia występowały w roślinach rosnących na kwaterze kontrolnej (A) 59–290 mg kg<sup>-1</sup>. Na kwaterach zalewanych pojedynczą (B) i podwójną (C) dawką ścieków koncentracja cynku wynosiła odpowiednio 98–171 i 32–127 mg kg<sup>-1</sup> (Rys. 1). Analiza wariancji wykazała istnienie istotnych różnic zawartości tego pierwiastka pomiędzy poszczególnymi kwaterami. Stężenia cynku w próbkach topoli pobranych z pól A i B były również istotnie wyższe niż we wszystkich innych roślinach (Rys. 2).

Stężenia cynku w pozostałych roślinach nie przekraczały 100 mg kg<sup>-1</sup>. Liście wikliny pochodzącej z kwatery kontrolnej (A) zawierały 38–86 mg kg<sup>-1</sup> Zn. W kombinacji B obserwowano stężenia najwyższe, rzędu 50–96 mg kg<sup>-1</sup>, a na kwaterze C najniższe, wynoszące 22–80 mg kg<sup>-1</sup> (Rys. 1). Test istotności wykazał, że zawartość cynku w liściach wikliny z kwatery zalewanej pojedynczą dawką ścieków (B) była istotnie wyższa niż w próbkach z pól A oraz C (Rys. 2).

W mieszance traw obserwowane były znacznie niższe stężenia cynku, niż w przypadku topoli i wikliny. Na polu kontrolnym (A) wynosiły one 22–45 mg kg<sup>-1</sup>, na polu zalewanym pojedynczą dawką ścieków (B) 18–39 mg kg<sup>-1</sup> oraz 18–40 mg kg<sup>-1</sup> na kwaterze zalewanej dawką podwójną – C (Rys. 1). Koncentracja cynku w próbkach pochodzących z poszczególnych kwater tych roślin nie była w istotny sposób zróżnicowana (Rys. 2).



**Rys. 1.** Zawartość cynku w zielonych częściach roślin: I – topola, II – wierzba, III – mieszanka traw, IV – konopie, V – rzepak. A – pole kontrolne; B – pole zalewane pojedynczą dawką ścieków; C – pole zalewane dawką podwójną.

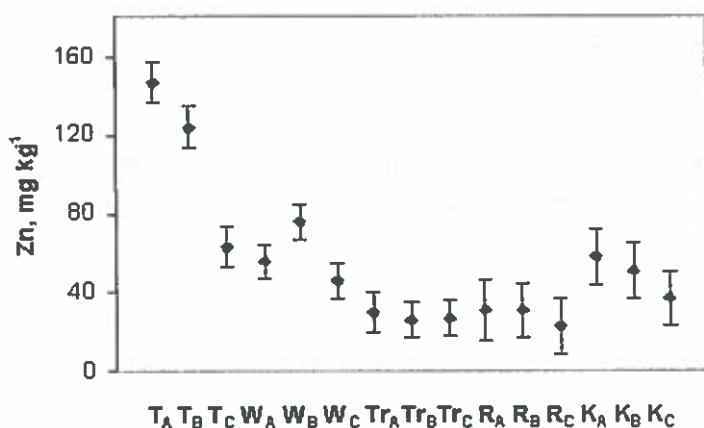
**Fig. 1.** Concentration of zinc in green parts of the plants: I – poplar, II – willow, III – mixture of grasses, IV – hemp, V – rape. A – control fields; B – fields flooded with single dose of waste waters; C – fields flooded with double dose.

Stężenia cynku w częściach nadziemnych rzepaku, określana w różnych fazach rozwoju rośliny wynosiła odpowiednio: 22–53 mg kg<sup>-1</sup> dla pola kontrolnego (A), 14–48 mg kg<sup>-1</sup> dla pola B, oraz 11–33 mg kg<sup>-1</sup> dla pola C (Rys. 1).

W częściach nadziemnych konopi cynk osiągał stężenia 53–64 mg kg<sup>-1</sup> na kwaterze kontrolnej (A), 41–62 mg kg<sup>-1</sup> na kwaterze zalewanej pojedynczą dawką ścieków (B) oraz 27–45 mg kg<sup>-1</sup> na kwaterze zalewanej dawką podwójną (Rys. 1). W przypadku rzepaku i konopi również nie wystąpiły istotne statystycznie

różnice pomiędzy poszczególnymi kombinacjami, wykazując jednocześnie podobną tendencję, jak w częściach zielonych topoli (Rys. 2).

Podsumowując wyniki doświadczeń można stwierdzić, że średnie stężenia cynku w roślinach pochodzących z pól kontrolnych były w większości przypadków wyższe niż w rosnących na polach zalewanych. Często różnice te nie wykazały statystycznej istotności (Rys. 2). Pod względem zawartości cynku w częściach zielonych, rośliny można uszeregować w następującej kolejności: topola (liście) > wiklina(liście) > konopie (części nadziemne) > rzepak (części nadziemne)  $f \geq$  mieszanka traw (liście) (Rys. 3).

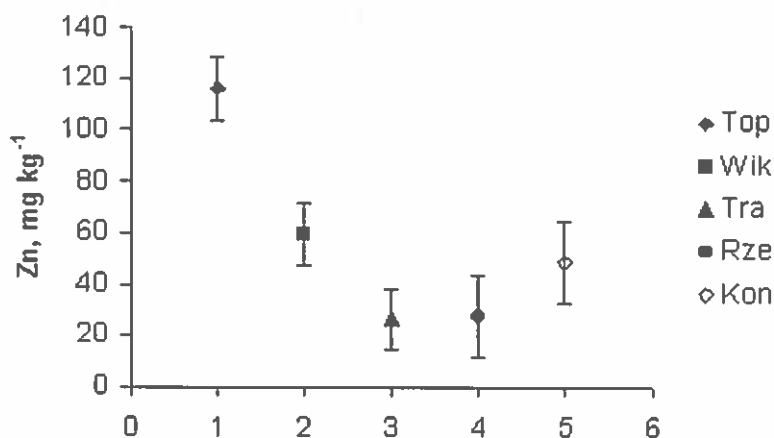


Rys. 2. Wartości średnie i odchylenia standardowe stężenia Zn w zielonych częściach testowanych roślin (T – topola, W – wierzba, Tr – mieszanka traw, R – rzepak, K – konopie). A – pole kontrolne; B – pole zalewane pojedynczą dawką ścieków; C – pole zalewane dawką podwójną.

Fig. 2. Mean values of zinc concentration in green parts of the plants (T – poplar, W – willow, Tr – mixture of grasses, R – rape, K – hemp). A – control fields; B – fields flooded with single dose of waste waters; C – fields flooded with double dose.

Na glebach dobrze natlenionych panuje wyższy potencjał redoks sprzyjający procesom rozkładu materii organicznej i uwalnianiu metali z kompleksów z kwasami huminowymi i innymi nierozpuszczalnymi składnikami próchnicy [1]. Zawartość cynku w roślinach rosnących w korzystnych warunkach aeracyjnych, jest często wyższa, niż na glebach nasyconych wodą. Przyczyny tego zjawiska nie są dokładnie poznane. Przy niskim potencjale redoks gleby, ulegają redukcji związki żelaza i manganu. Stają się lepiej rozpuszczalne i zwiększa się przez to ich stęże-

nie w roztworze glebowym; uwalniany jest także okludowany cynk i inne pierwiastki śladowe [7]. Jednak nie powoduje to zwiększenia pobierania cynku przez rośliny. Wzrost stężenia Fe i Mn w roztworze glebowym jest prawdopodobnie jednym z czynników ograniczających pochłanianie cynku przez rośliny, gdyż jest ono zależne od obecności jonów innych metali. Żelazo, mangan, miedź, a zwłaszcza jony wapniowców, silnie ograniczają pobieranie tego metalu. Prawdopodobnie współzawodniczą one z cynkiem o te same miejsca na nośnikach [2, 3, 4, 6]. Deficyt cynku może być również wywołany zwiększeniem zawartości wodorowęglanów wskutek zalanie gleby wodą. Wysokie stężenia  $\text{HCO}_3^-$  (15–40 mM) silnie hamują pobranie tego pierwiastka przez korzenie oraz jego transport do części nadziemnych [4]. Istnieje również hipoteza, że dostępność cynku zmniejsza się, gdyż wolne jony Zn ulegają wytrąceniu w postaci nierozpuszczalnego franklinitu –  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  [6]. W warunkach bardzo silnie redukcyjnych może też dochodzić do wytrącania się nierozpuszczalnego  $\text{ZnS}$  – sfalerytu [2, 6]. Część uzyskanych wyników dobrze ilustruje opisane zjawisko, w pozostałych przypadkach nie są one już jednoznaczne (brak statystycznie istotnych różnic między kombinacjami).



Rys. 3. Średnie stężenia Zn w częściach zielonych topoli (Top), wierzby (Wik), mieszanki traw (Tra), rzepaku (Rze) i konopi (Kon).

Fig. 3. Mean values of Zn concentration in green parts of poplar (Top), willow (Wik), mixture of grasses (Tra), rape (Rze) and hemp (Kon).

## WNIOSKI

W wyniku badań przeprowadzonych na topoli, wiklinie, mieszance traw, konopiach i rzepaku, uprawianych na glebie torfowo-murszowej irygowanej ściekami miejskimi wykazano że:

1. Stężenia cynku pobranego przez rośliny mieściły się w zakresie 11–290 mg kg<sup>-1</sup>. Najwyższą zawartość cynku stwierdzono w liściach topoli, 32–290 mg kg<sup>-1</sup>. Pozostałe rośliny można uszeregować następująco: wiklina, konopie, rzepak, mieszanka traw. Zawartość cynku w przypadku dwóch ostatnich gatunków roślin była bardzo zbliżona, na poziomie 20–30 mg kg<sup>-1</sup>.
2. Wartości średnie stężeń cynku (łączne dla wszystkich kombinacji nawodnień) w liściach topoli różniły się istotnie od wszystkich pozostałych roślin. Koncentracja Zn w liściach wikliny była istotnie wyższa niż w trawach i rzepaku. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w stężeniach cynku pomiędzy trawami, rzepakiem i konopiami.
3. Porównanie koncentracji cynku w roślinach z pól kontrolnych oraz zalewanych pojedynczą lub podwójną dawką ścieków wykazało, że była ona zazwyczaj najwyższa u roślin z pól kontrolnych, a najniższa w pochodzących z pól irygowanych podwójną dawką ścieków. Istotne różnice pomiędzy kombinacjami stwierdzono tylko w przypadku topoli.

## PIŚMIENNICTWO

1. Gambrell R.P.: Trace and toxic metals in wetlands – a review. *J. Environ. Qual.*, 23, 883–91, 1994.
2. Lindsay W.H.: Zinc in soils and plant nutrition. *Adv. in Agronomy*, 24, 147–86, 1972.
3. Lityński T., Jurkowska H.: Żyzność gleby i odżywianie roślin. Warszawa PWN, 1982.
4. Marschner H.: Zinc uptake from soils. w „Zinc in soils and plants” (ed. A.D Robson), 59–77, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1993.
5. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubialka Z.: Metody analizy i oceny właściwości roślin. Katalog Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 1991.
6. Sajwan K.S., Lindsay W.L.: Effects of redox on zinc deficiency in paddy rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol.50, No.5, 1264–69, 1986.
7. Stępniewska Z., Stępniewski W., Włodarczyk T.: Agrophysical factors determining nitrate and heavy metal transformations in soils. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 400, 23–32, 1993.
8. Stępniewski W., Przywara G.: The influence of oxygen availability on content and uptake of B, Cu, Fe and Zn by soybean. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis*, 30, 79–89, 1990.

ZINC CUMMULATION IN PLANTS CULTIVATED ON FIELDS  
IRRIGATED WITH MUNICIPAL WASTEWATERS AFTER SECOND STEP  
OF PURIFICATION

*Z. Stępniewska<sup>1,2</sup>, J. Żuchowski<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Agrophysics, PAS, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27, Poland

<sup>2</sup>Catholic University of Lublin, Al.Kraśnicka 102, 20-718 Lublin, Poland

**Summary:** The aim of the work was to establish, which of tested plants (poplar, willow, mixture of grasses, hemp, spring rape) cultivated on experimental fields (Eutric Histosol) irrigated with municipal wastewater's (after second [biological] step of purification) is the most efficient in accumulation of zinc.

Experimental fields with each plant were divided into three parts: control part (A); flooded with single (600 mm) dose of water (B); flooded with double dose (C). Zinc content analyses were done with atomic absorption spectrometer. The highest concentrations of zinc (32–290 mg kg<sup>-1</sup>) were observed in poplar leaves. The experiment demonstrated the following order of zinc content in green parts of the plants: poplar > willow > hemp > rape = mixture of grasses. The highest concentrations of zinc were the most often observed in plants grown on control fields.

**Keywords:** zinc, accumulation, wastewater, plants.