

**Journal
of
Elementology**

Issued by the Polish Society for Magnesium Research

Volume 12

Number 1

March 2007

Redaktor Naczelny/Editor in-Chief

Teresa Wojnowska

Zastępca Redaktora Naczelnego/Deputy Editor in-Chief

Józef Koc

Komitet Naukowy/Scientific Board

Manfred Anke (Jena, Niemcy), Wiesław Bednarek (Lublin), Maria H. Borawska (Białystok),
Maria Brzezińska (Szczecin), Jerzy Czapla (Olsztyn), Jan W. Dobrowolski (Kraków),
Alfreda Graczyk (Warszawa), Witold Grzebisz (Poznań), Harsha Ratnaweera (Norwegia)
Sandor A. Kiss (Szeged, Węgry), Tadeusz Koziellec (Szczecin), Andrzej Lewenstam (Turku,
Finlandia – Kraków), Magdalena Maj-Żurawska (Warszawa), André Mazur DVN, PhD (St. Genés
Champanelle, Francja), Stanisław Mercik (Warszawa), Edward Niedźwiecki (Szczecin),
Kazimierz Pasternak (Lublin), Mikołaj Protasowicki (Szczecin), Franciszek Przala (Olsztyn),
Andrzej Rajewski (Poznań), Zbigniew Rudkowski (Wrocław), Mathias Seifert (Dortmund, Niemcy),
Maria Soral-Śmietana (Olsztyn), Lech Walasek (Bydgoszcz), Zofia Zachwieja (Kraków)

Redaktorzy/Co-Editors

Józef Szarek, Stanisław Sienkiewicz, Ireneusz M. Kowalski

Sekretarze Redakcji/Secretary

Jadwiga Wierzbowska, Katarzyna Glińska-Lewczuk

Adres Redakcji/Editorial Office

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ul. Michała Oczipki 8, 10-719 Olsztyn, tel. +48 089 5233231

<http://www.uwm.edu.pl/jelementol>

Autor strony internetowej: Sławomir Krzebietke

**Wydawnictwo dofinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego
oraz wspierane przez Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie**

SPIS TREŚCI

E. BRUCKA-JASTRZĘBSKA, M. LIDWIN-KAMIERKIEWICZ – <i>Zmiany w kumulacji kadmu i niklu w organizmach carpi Cyprinus carpio L.</i>	5
K. GONDEK – <i>Zawartość węgla i azotu oraz wybranych metali ciężkich w kompostach</i>	13
E. GULCZYŃSKA, L. ŹYLIŃSKA, M. KESIAK, A. GRODZICKA, A. ZJAWIONA, B. CYRANOWICZ, M. KREKORA, T. TALAR, J. GADZIŃSKI – <i>Umbilical cord serum magnesium level and neonatal outcome in group of neonates at 30-34 gestational age</i>	23
I. JACKOWSKA, M. BOJANOWSKA – <i>Jakość wody z zasobów wód podziemnych Lublina w zależności od miejsca jej poboru</i>	39
K. KOŹŁOWSKA, A. BADORA – <i>Wpływ wybranych sorbentów mineralnych na plonowanie oraz zawartość kadmu i ołówku w gorczyce białej uprawianej na osadzie pościekowym</i>	47
M. KREŁOWSKA-KUŁAS – <i>Preferencje konsumentów związane ze spożywaniem wód butelkowanych</i>	55
K. OBOLEWSKI, A. STRZELCZAK, A. KIEPAS-KOKOT – <i>Wstępna ocena wpływu składu chemicznego trzciny Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud. na wielkość zagęszczenia obrastającego ją perifitonu</i>	63
A. STOLARSKA, J. WRÓBEL, A. WOŃNIAK, B. MARSKA – <i>Wpływ zanieczyszczenia gleby cynkiem i miedzią na intensywność transpiracji oraz indeks szparkowy siewek pszenicy ozimej</i>	79

Contents

E. BRUCKA-JASTRZĘBSKA, M. LIDWIN-KAMIERKIEWICZ – <i>The dynamics of cadmium and nickel accumulation in common carp Cyprinus carpio L.</i>	5
K. GONDEK – <i>Content of carbon, nitrogen and selected heavy metals in composts</i>	13
E. GULCZYŃSKA, L. ŹYLIŃSKA, M. KESIAK, A. GRODZICKA, A. ZJAWIONA, B. CYRANOWICZ, M. KREKORA, T. TALAR, J. GADZIŃSKI – <i>Umbilical cord serum magnesium level and neonatal outcome in group of neonates at 30-34 gestational age</i>	23
I. JACKOWSKA, M. BOJANOWSKA – <i>Quality of underground water in Lublin in relation to a supply point</i>	39
K. KOŹŁOWSKA, A. BADORA – <i>Influence of some mineral sorbents on the yield of white charlock plants growing on sludge contaminated with heavy metals</i>	47
M. KREŁOWSKA-KUŁAS – <i>Consumer preferences of bottled water</i>	55
K. OBOLEWSKI, A. STRZELCZAK, A. KIEPAS-KOKOT – <i>Chemical composition of reed Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud. versus density and structure of periphyton in various aquatic ecosystems</i>	63
A. STOLARSKA, J. WRÓBEL, A. WOŃNIAK, B. MARSKA – <i>Effect of zinc and copper soil contamination on the transpiration intensity and stomal index of winter crop wheat seedlings</i>	79

THE DYNAMICS OF CADMIUM AND NICKEL ACCUMULATION IN COMMON CARP *CYPRINUS CARPIO* L.*

Ewa Brucka-Jastrzębska¹
Magdalena Lidwin-Kaźmierkiewicz²

¹Chair of Physiology, University of Szczecin

²Chair of Toxicology, Agricultural University of Szczecin

Abstract

The aim of the study was to assess the dynamics of cadmium and nickel accumulation in the carp, *Cyprinus carpio* L., during the rapid growth period between 3rd and 6th month of life, including seasonal changes.

Chemical assays were performed on samples of gills, anterior and mid-posterior part of the alimentary tract, liver, kidneys, skin and muscles. Prior to the assay, 1-g tissue samples were digested with 3 ml of concentrated HNO₃ in a CEM MDS 2000 microwave oven. The samples prepared this way were assayed for Cd and Ni. Cadmium level was determined with flameless graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS) in a ZL 4110 Perkin Elmer. Nickel was determined inductively coupling plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) in a JY-24 Jobin Yvon apparatus.

The results indicated that in the period of growth between 3rd and 6th month of life, cadmium and nickel concentrations in the examined carps fluctuated. Average cadmium content in examined organs ranged between 0.053 ± 0.004 µg g⁻¹ wet weight. Average nickel content in examined organs ranged between 0.326 ± 0.023 µg g⁻¹ wet weight. The observed fluctuations are supposed to be a result of intensive growth and accompanying accumulation of metals from water.

Key words: fish, *Cyprinus carpio* L., cadmium, nickel.

dr Ewa Brucka-Jastrzębska, Ph.D., Department of Physiology, University of Szczecin, ul. Piastów 40b, Szczecin

lek. wet. Magdalena Lidwin-Kaźmierkiewicz, DVM, Department of Toxicology, Agricultural University of Szczecin, ul. Papieża Pawła VI, Szczecin

*This study has been financially supported by the State Committee for Scientific Research (grant No. 3 PO4E 030 22).

**ZMIANY W KUMULACJI KADMU I NIKLU W ORGANIZMACH KARPI
CYPRINUS CARPIO L.**

Ewa Brucka-Jastrzębska, Magdalena Lidwin-Każmierkiewicz

¹Katedra Fizjologii, Uniwersytet Szczeciński

²Katedra Toksykologii, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Abstrakt

Oceniano dynamikę kumulacji kadmu i niklu w różnych narządach i tkankach karpi (*Cyprinus carpio* L.) w okresie intensywnego ich wzrostu, czyli między 3. a 6. miesiącem życia.

Badania przeprowadzono na 240 karpiach hodowanych w wodach pochłodniczych. Z każdej ryby do analiz chemicznych pobierano próbki: nerek, wątroby, przewodu pokarmowego, listków skrzewowych, mięśni grzbietowych i skóry. Próbki narządów o masie 1 g zmineralizowano na mokro, w obecności 3 cm³ HNO₃, w piecu mikrofalowym CEM MDS 2000. Kadm oznaczono metodą bezpłomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej GF-AAS, nikiel z użyciem emisyjnej spektrometrii atomowej w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-AES).

Stwierdzono, że u przebadanych karpi między 3. a 6. miesiącem życia wystąpiły wahania zawartości Cd i Ni. Średnie zawartości kadmu w badanych narządach wynosiły 0.053 ± 0.004 µg g⁻¹ mokrej masy, natomiast średnie zawartości niklu – 0.326 ± 0.023 µg g⁻¹ mokrej masy. Zaobserwowane niewielkie zmiany poziomu kadmu i niklu są wynikiem intensywnego wzrostu karpi i towarzyszącej temu kumulacji metali ze środowiska wodnego.

Słowa kluczowe: ryby, *Cyprinus carpio* L., kadm, nikiel.

INTRODUCTION

Harmful metals, such as cadmium, nickel, zinc, lead, cobalt and copper, are introduced to the environment as a result of various human activities. The elements cause ecosystems pollution, influencing the natural environment and inhabiting organisms. Heavy metal pollution of aquatic environment adversely affects ontogeny of both plants and animals (JEZIERSKA, WITESKA 2001). Many factors influence the concentrations of metals in fish bodies, like: species, age, body weight and length, sex, season or fishing ground (LIANG et al. 2000, 2004). All those factors simultaneously contribute to maintaining the fish's proper physiological condition. An increase of cadmium concentration above the permitted level and an excess or deficiency of nickel may cause serious disturbances of biochemical processes and internal homeostasis.

The aim of the study was to assess and compare the degree of cadmium and nickel accumulation in organs and tissues of common carp *Cyprinus carpio* L. during the period of intensive growth, including seasonal differences.

MATERIALS AND METHODS

The study involved a total of 240 carp *Cyprinus carpio* L. individuals. The carp were 4 and 5 month-old. The fish had been reared at the research station of the Agricultural University of Szczecin, situated in the vicinity of the Dolna Odra Power Plant at Nowe Czarnowo. The carp were reared in the power plant's cooling water discharge at temperatures $20 \div 24^\circ\text{C}$. When in culture, the fish were fed an Aller Aqua pelleted feed containing 37% protein and 12% fat. The fish individual weight and length ranged within 118.3 – 138.7 g and 18.2 – 20.2 cm, respectively. The carp were reared in the power plant's cooling water discharge canal. The daily feed ration was 3.4 ± 0.2 g/fish. Chemical assays were performed on samples of the liver, alimentary tract, kidneys, gill lamellae, skin, and dorsal muscles, collected from each individual. When dissecting the fish, anatomo-pathological observations of the organs and tissues were recorded. The samples were frozen and kept at -2°C until analysed.

Tissue samples, weighing 1 g each, were subjected to wet digestion with 3 ml concentrated HNO_3 in a CEM MDS 2000 microwave oven. The solution obtained was quantitatively transferred to polyethylene vials and brought to 30 g with deionised water. The samples obtained this way were analysed for content of cadmium, iron, nickel, zinc, copper, and magnesium.

Cadmium was assayed with flameless atomic absorption spectrometry (GF-AAS) in a ZL 4110 Perkin Elmer apparatus. A content of nickel was determined with inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry (ICP-AES) in a JY-24 Jobin Yvon apparatus. Content of individual elements are reported in $\mu\text{g g}^{-1}$ wet weight ($\mu\text{g g}^{-1}$ w.w.).

The data obtained were subjected to statistical treatment involving analysis of variance (ANOVA) at significance levels of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$; the analysis was conducted using the Statistica 6.0 software.

RESULTS AND DISCUSSION

Fish living in natural environment are constantly exposed to harmful chemicals including cadmium and nickel. Metals can penetrate into fish bodies through alimentary tract, skin and gills, being absorbed directly from water or from food (PROTASOWICKI 1991, SREEDEVI et al. 1992).

The average cadmium concentrations in the examined organs ranged from 0.004 to 0.053 $\mu\text{g g}^{-1}$ wet weight. The highest concentration of cadmium was observed in the liver, mid-posterior part of alimentary tract and gills, while the lowest concentration was found in the muscles (Table 1). Cadmium levels in examined carps in spring and autumn were very similar. statistically significant dif-

ferences between cadmium concentrations were found only in the liver and mid-posterior part of alimentary tract (Figure 1). Similar observations were made by PROTASOWICKI (1991), BRUCKA-JASTRZĘBSKA, PROTASOWICKI (2004a) and MARKIEWICZ et al. (1998) in their studies on cadmium accumulation.

The average nickel concentrations in the examined organs varied between 0.023 and 0.326 $\mu\text{g g}^{-1}$ wet weight. The highest nickel level was found in the kidney and liver, and the lowest in the anterior part of alimentary tract (Table 1). No statistically significant differences between spring and autumn in nickel concentrations in carp organs were observed. Nickel concentrations in examined carps were very similar in both seasons (Figure 2). This is in agreement with observations made in other studies on nickel accumulation by SOBECKA (1998) and BRUCKA-JASTRZĘBSKA, PROTASOWICKI (2004b).

Table 1
Tabela 1

Cadmium and nickel content in the organs of carps bred in cooling water
Zawartości kadmu i niklu w tkankach i narządach karpi z wód pochłodniczych

Examined organ Badany narząd	Cd and Ni content ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ w.w.) Zawartość Cd i Ni ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ m.m.)			
		$\bar{x}\pm\text{SD}$	min	max
Liver Wątroba	Cd Ni	0.053±0.007 0.243±0.042	0.041 0.165	0.067 0.363
Entire alimentary tract Cały przewód pokarmowy	Cd Ni	0.030±0.004 0.032±0.006	0.026 0.020	0.035 0.045
Anterior part of alimentary tract Przednia część przewodu pok.	Cd Ni	0.019±0.003 0.023±0.004	0.014 0.017	0.031 0.035
Mid-posterior part of alimentary tract Środkowokońcowa część przewodu pok.	Cd Ni	0.040±0.009 0.041±0.009	0.026 0.023	0.035 0.056
Kidney Nerki	Cd Ni	0.031±0.006 0.326±0.030	0.021 0.219	0.046 0.370
Gills Skrzela	Cd Ni	0.039±0.006 0.175±0.020	0.025 0.138	0.053 0.219
Skin Skóra	Cd Ni	0.022±0.003 0.042±0.007	0.018 0.029	0.028 0.068
Muscles Mięśnie	Cd Ni	0.004±0.001 0.031±0.008	0.002 0.003	0.006 0.054

* w.w. – wet weight, \bar{x} – mean, SD – standard deviation

* m.m. – mokra masa, \bar{x} – średnia, SD – odchylenie standardowe

Trace concentrations of cadmium and nickel, found in intensively growing carps, are supposed to be a result of cooling water pollution caused by precipitation, sewage and waste dump drainage waters. The observed fluctuations of cadmium and nickel levels in examined organs and tissues were caused by the intensive growth of carps, accumulation of metals from water and elimination of metals

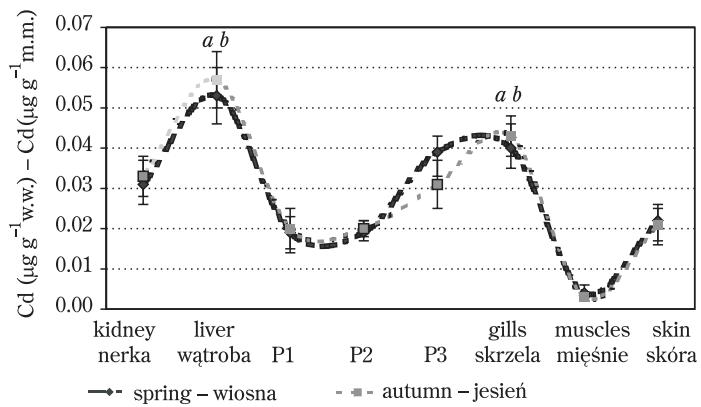


Fig. 1. Comparison between cadmium levels in organs of carp in spring and autumn: P1 – entire alimentary tract, P2 – anterior part of alimentary tract, P3 – mid-posterior part of alimentary tract, w.w. – wet weight, a – statistical significance of differences (spring – autumn) $p<0.05$, b – statistical significance of differences (spring – autumn) $p<0.01$

Rys. 1. Porównanie poziomu kadmu w narządach karpi z uwzględnieniem zmian sezonowych:
P1 – cały przewód pokarmowy, P2 – przednia część przewodu pokarmowego,
P3 – środkowokocońcowa część przewodu pokarmowego, m.m. – mokra masa,
a – różnice statystycznie istotne między badanymi próbami z uwzględnieniem zmian sezonowych
(wiosna – jesień) $p<0.05$, b – różnice statystycznie istotne z uwzględnieniem zmian sezonowych
(wiosna – jesień) $p<0.01$

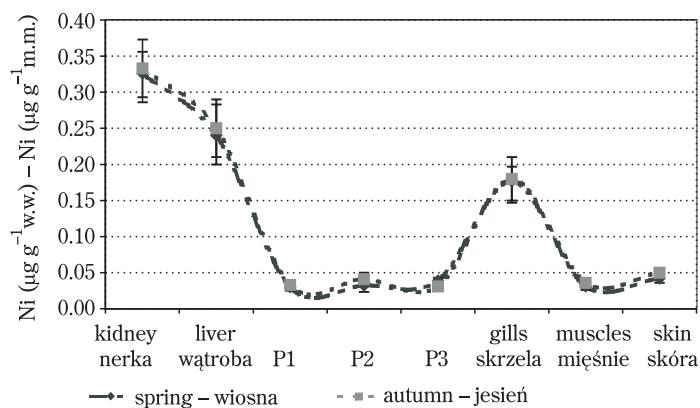


Fig. 2. Comparison between nickel levels in organs of carp in spring and autumn.
Explanations see Fig. 1

Rys. 2. Porównanie poziomu niklu w narządach karpi z uwzględnieniem zmian sezonowych.
Objaśnienia patrz rys. 1

from carp bodies to water. The elimination process enables maintaining the concentrations of harmful substances in fish bodies at the level safe for ontogeny and health.

Cooling waters, discharged from power plants, are often used for the cyprinids and the salmonids breeding, as they have nearly constant temperature all the year round. Such an activity have been conducted for many years in a channel collecting cooling waters from the Dolna Odra Power Plant in West Pomeranian Voivodeship. The cooling waters contain trace concentrations of toxic substances, including cadmium and nickel, although the concentrations are within limits (*Rozporządzenie...* 1991, *Raport WIOS* 2003, JEZIERSKA, WITESKA 2001, KNÓCHEŁ et al. 2002). In none of the rivers of West Pomeranian Voivodeship heavy metal concentrations exceed limits (PROTASOWICKI, CHODYNIECKI 1988, *Raport WIOS* 2003).

Data on concentrations of heavy metals and bio-elements in carps at various ontogeny stages are available in references (DOBROZAŃSKI et al. 1996, KOŁACZ et al. 1996, MOORE, RAMAMOORTHY 1984, VIRK, KAUR 1999). In contrast, analogous data referring to carps bred in cooling waters are still lacking.

CONCLUSIONS

1. Average cadmium concentrations in the examined organs ranged from 0.004 to 0.053 µg g⁻¹ wet weight. The highest cadmium concentration was observed in the liver, mid-posterior part of alimentary tract and gills, while the lowest concentration was found in the muscles.
2. Average nickel concentrations in the examined organs varied between 0.023 and 0.326 µg g⁻¹ wet weight. The highest nickel level was found in the kidney and liver, and the lowest in the anterior part of alimentary tract.
3. Cadmium and nickel concentrations in the examined carps were within limits.
4. Cadmium concentrations in the liver and mid-posterior part of alimentary tract statistically significantly differed between spring and autumn. Nickel concentrations in the examined carps were very similar in both seasons.

REFERENCES

- BRUCKA-JASTRZEBSKA E., PROTASOWICKI M. 2004a. *Elimination dynamics of cadmium, administered by a single intraperitoneal injection in common carp Cyprinus carpio L.* Acta Ichthyol. Piscat., 34: 167-180.
- BRUCKA-JASTRZEBSKA E., PROTASOWICKI M. 2004b. *Elimination dynamics of nickel, administered by a single intraperitoneal injection in common carp Cyprinus carpio L.* Acta Ichthyol. Piscat., 34: 181-192.

- CAIN D.J., LUOMA, S.N., WALLACE W.G. 2004. *Linking metal bioaccumulation of aquatic insects to their distribution patterns in a mining-impacted river.* Environ. Toxicol. Chem., 23(6): 1463-1473.
- DOBRAŃSKI Z., KOŁACZ R., BODAK E. 1996. *Metale ciężkie w środowisku zwierząt.* Med. Wet., 52 (9): 570-574.
- JEZIERSKA B., WITESKA M. 2001. *Metal toxicity to fish.* Wyd. Akademii Podlaskiej, Siedlce.
- KNÖCHEL A., HELIOS-RYBICKA E., MEYER A.K. 2002. *Zanieczyszczenia rzeki Odry. Wyniki Miedzynarodowego Projektu Odra (IOP).* Universität Hamburg Print und Mail, Hamburg.
- KOŁACZ R., DOBRAŃSKI Z., BODAK E. 1996. *Bioakumulacja Cd, Pb i Hg w tkankach zwierząt.* Med. Wet., 52 (11): 686-692.
- MOORE J., RAMAMOOOTHY S. 1984. *Heavy metals in natural water.* Springer-Verlag, Berlin.
- LIANG Y., WONG M.H. 2000. *Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioassays using Chlorella and Gambusia.* Arch. Environ. Con. Toxicol., 39(4): 506-514.
- MARKIEWICZ K., TUCHOLSKI S., MARKIEWICZ E. 1998. *Heavy metals in muscles of fish from a pond supplied with biologically purified rural sewage.* Proc. 2nd Int. Conf., Cieszyn, 109-112.
- PROTASOWICKI M. 1991. *Long-term studies on heavy metals in aquatic organisms from the river Odra mouth area.* Acta Ichthyol. Piscat., 21(Suppl.): 301-309.
- PROTASOWICKI M., CHODYNIECKI A. 1988. *Bioakumulacja Cd, Pb, Cu i Zn w karpiu – Cyprinus carpio L. w zależności od stężenia w wodzie i czasu ekspozycji.* Zesz. Nauk. AR Szczecin, 133: 69-84.
- Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2002-2003.* Woj. Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie. [Report on the state of the environment in the West Pomeranian Voivodeship in 2002-2003. 2003 PIEP, Szczecin] http://www.wios.szczecin.pl/bip/chapter_16002.asp
- Rozporządzenie Ministerstwa Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 5.11.1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub ziemi. [Directive of the Ministry of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry of 5 November 1991 on water classification and conditions to be met by sewage discharged to water or soil].* DzU 1991, 116, 503, 1579-1583.
- SREEDEVI P., SIVARAMAKRISHNA B., SURESH A., RADHAKRISHNAIAH K. 1992. *Effect of nickel on some aspects of protein metabolism in the gill and kidney of the freshwater fish, Cyprinus carpio L.* Environ. Poll., 77(1): 59-63.
- SOBECKA E. 1998. *Wpływ niklu na organizm sumy europejskiego Silurus glanis L.* AR, Szczecin (praca doktorska).
- VIRK S., KAUR K. 1999. *Impact of mixture of nickel and chromium on the protein content of flesh and liver of Cyprinus carpio during spawning, and post-spawning phases.* Bull. Environ. Contam. Toxicol., 63: 499-502.

CONTENT OF CARBON, NITROGEN AND SELECTED HEAVY METALS IN COMPOSTS

Krzysztof Gondek

**Department of Agricultural Chemistry
Agricultural University in Krakow**

Abstract

Chemical composition of composts depends on a number of factors, including a type of composted waste and composting technology. This study was conducted to determine concentrations of carbon, nitrogen and selected heavy metals in composts manufactured from various waste substances and using different technologies. Organic carbon content in the composts depended on a type of composted waste - the smallest quantities were found in the compost of municipal waste. Organic matter transformations occurring during composting probably led to a systematic decline of the soluble organic compound amounts. The share of soluble carbon in the total concentration did not exceed 35% of the analysed composts. The composts based on plant waste were more abundant in nitrogen and the share of nitrogen extracted with sodium pyrophosphate and sodium base did not exceed 40%. Analysis of fractional composition of humus compounds of the composts revealed higher content of humic acid carbon in relation to fulvic acid carbon. The proportion of non-hydrolysing carbon in these materials was on average over 70%. The content of the most mobile heavy metal forms in the composts was low and implied that these elements occurred in a form less available to plants.

Key words: composts, organic carbon, nitrogen, heavy metals.

ZAWARTOŚĆ WĘGLA I AZOTU ORAZ WYBRANYCH METALI CIĘŻKICH W KOMPOSTACH

Krzysztof Gondek

**Katedra Chemii Rolnej
Akademia Rolnicza w Krakowie**

Abstrakt

Skład chemiczny kompostów zależy m.in. od rodzaju kompostowanych odpadów, ale może być także uwarunkowany technologią kompostowania. Dlatego celem podjętych badań było określenie zawartości węgla, azotu oraz wybranych metali ciężkich w kompostach produkowanych z różnych substancji odpadowych i według różnych technologii. Zawartość węgla organicznego w kompostach zależała od rodzaju kompostowanego odpadu – najmniej tego składnika stwierdzono w kompoście z odpadów komunalnych. Przemiany materii organicznej zachodzące podczas kompostowania prowadziły do systematycznego zmniejszania się ilości rozpuszczalnych związków organicznych. W badanych kompostach udział węgla rozpuszczalnego w zawartości ogólnej nie przekraczał 35%. Zasobniesze w azot były komposty z odpadów roślinnych, a udział azotu wyekstrahowanego pirofosforanem sodu i zasadą sodową nie przekraczał 40%. Analiza składu frakcyjnego związków próchniczych badanych kompostów wykazała, w każdym przypadku, większą zawartość węgla kwasów huminowych w stosunku do zawartości węgla kwasów fulwowych. Udział węgla niehydrozylizującego w tych materiałach wynosił średnio ponad 70%. Zawartość najbardziej mobilnych form metali ciężkich w kompostach była niewielka, co wskazuje na występowanie tych pierwiastków w postaci związków trudniej dostępnych dla roślin.

Słowa kluczowe: komposty, węgiel organiczny, azot, metale ciężkie.

INTRODUCTION

Composting is a natural process, which constantly occurs in the environment. It completes the organic substance cycle in nature. The growth of industry and progressing urbanisation in the world contribute to a rapid development of techniques and technologies of composting. As composting has become profitable, today even large manufacturers are interested in it. Modern technologies make it possible to produce composts from various kinds of waste, whose utilisation may be universal.

Macro- and microelements and organic matter contained in composts may contribute to improvement of physical, chemical and biological properties of soil, thus increasing its fertility, which undoubtedly determines the quality of the biomass obtained (SZULC et al. 2004, GAJ, GÓRSKI 2005). Considerable variability of waste chemical composition, frequently burdened with toxic substances, affects compost quality, which is crucial for its final destination. Determination of chemical composition of composts, including heavy metal concentrations, allows for assessment of these substances and their usefulness for agriculture. However, chemical composition determination dose not encompass bioavailability of heavy metals after compost has been added to the soil. According to KABATA-PENDIAS et al. (1987), determining the rate of heavy metal mobilisation from waste substances is most important for agricultural practice as it allows to assess the speed at which these elements pass into soil solution and, consequently, their uptake by plants. As reported by CZEKAŁA et al. (1999) and DROZD et al. (1999), bioavailability of trace elements in wastes may be diminished by composting because certain amounts of trace elements become embedded in transforming organic material,

which causes their periodical immobilisation. Chemical composition of composts depends, among other factors, on a type of composted wastes but may be also conditioned by a composting technology. Therefore, this research has been conducted to determine the content of carbon, nitrogen and selected heavy metals in composts manufactured from various waste substances and using different technologies.

MATERIAL AND METHODS

Compost samples originated from three composting plants different in types of composted waste and technologies of composting. Compost (A) came from a composting plant where Mut Kyberferm system was applied; compost (B) originated from a plant where waste was composted using Horstmann technology, while compost (C) was produced by Dano technology. Compost (A) was manufactured from green waste and other biodegradable waste; compost (B) was obtained solely from plant waste, while compost (C) was based on municipal wastes. Farmyard manure and peat were treated as reference material for the analysed features.

The following assessments were made in the organic materials with natural water content: pH in water suspension by a potentiometer, electrolytic conductivity by a conductometer, and dry matter content after sample drying at 105° for 12 h (BARAN, TURSKI 1996). In the dried and ground material, organic carbon concentration was assayed by Tiurin method. The content of soluble carbon and humus compound fractions were determined after extraction of organic material with a mixture of $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaOH. In the extracts total carbon was determined (by Tiurin method) and humic acid carbon was analysed after precipitation with concentrated H_2SO_4 ($d = 1.84$). The concentration of fulvic acid carbon was computed from the difference between the total organic carbon content in the extract and its quantity in humic acids. The concentrations of total nitrogen and nitrogen in alkaline extract ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaOH) were determined by Kjeldahl method in a II Plus Kjeltec apparatus (Tecator) after reduction of N-NO_3^- . Redistilled water and $0.05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ CaCl_2 solution were used for isolating mobile fractions of heavy metals by McLaren and Crawford method modified by BOGACZ (1996). Heavy metal concentrations were assessed in the extracts by ICP-AES method in JY 238 Utrace apparatus (Jobin Yvon). The final results are means from two simultaneous replications. Standard deviation was computed for the obtained values.

RESULTS AND DISCUSSION

Dry matter content in the analysed composts was varied and depended on a type of composted material and composting technology (Table 1). Although the amount of dry matter in compost (A) was the lowest among all the composts, it was higher than in peat and farmyard manure.

Reaction is one of the most important physicochemical features of waste substances. No major differences were found in the reaction of the analysed composts, but pH values were higher in the composts than in peat or farmyard manure (Table 1).

The excess of soluble salts in waste used in the environment may cause total fallout of plants or development of numerous diseases. Electrolytic conductivity of waste is a good measure of salinity (BARAN, TURSKI 1996). The value of electrolytic conductivity in the analysed composts and peat did not exceed $2.9 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Table 1). Much higher values of this parameter were registered in farmyard manure.

The biggest quantities of organic carbon were determined in peat ($419 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m) and farmyard manure ($330 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.) – Table 2. Lower contents of organic carbon were found in composts and the smallest ones in compost (C) from municipal waste ($112 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.). As results from the studies by DROZD et al (1996a), transformations occurring while composting organic matter diminish amounts of soluble organic compounds. These authors found that after 30 days of transformation the quantity of soluble carbon in compost from municipal waste constituted only 20% of the content assessed in the initial material. In the opinion of CHANYASAK, KUBOT (1981) the direction and rate of humus

Table 1
Tabela 1

Some properties of the analysed organic materials
Wybrane właściwości badanych materiałów organicznych

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
Dry matter Sucha masa $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m. /s.m.	408	189	442	643	567	155
pH H_2O	7.99	8.40	9.52	10.68	9.90	0.98
Electrolitical conductivity Przewodność elektrolityczna $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 25°C	0.36	6.46	0.43	2.83	1.88	2.24

* A – compost from plant and other biodegradable waste – kompost z odpadów roślinnych i innych biodegradowalnych,

B – compost from plant waste – kompost z odpadów roślinnych

C – compost from municipal waste – kompost z odpadów komunalnych

** SD – standard deviation – odchylenie standardowe

Table 2
Tabela 2

Carbon and nitrogen content in the analysed organic materials ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)
Zawartość węgla i azotu w badanych materiałach organicznych ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
Org. C – C org.	419	330	251	201	112	118
Total N – N og.	33.3	29.2	37.5	17.4	8.7	11.9
C:N	12.6	11.3	6.7	11.6	12.9	2.5
C extracted C wyekstrahowany	75.2	95.0	80.0	48.1	19.2	30.0
%***	18	29	32	24	17	-
N extracted N wyekstrahowany	7.17	13.0	14.9	6.5	2.01	5.2
%***	22	45	40	37	24	-

* , ** notes see Table 1 – objaśnienia w tabeli 1

*** % C extracted in organic C content – % C wyekstrahowanego w ogólnej zawartości C organicznego

compound transformations while composting is connected with intensive mineralization of organic compounds characterised by a simpler structure. Therefore, soluble carbon concentrations in compost are a good indicator of its stability. In the present research, the content of soluble carbon extracted with the mixture of sodium pyrophosphate and sodium base proved the largest in farmyard manure (Table 2). Compost (A) from plant wastes and other biodegradable wastes contained almost twice more soluble carbon than compost (B) made only of plant wastes. The smallest quantities of soluble carbon were registered in compost (C) produced from municipal wastes. Percentage of soluble carbon in total organic C was varied but did not exceed 35% of the total tested organic materials. In the present investigations, soluble carbon was extracted with a mixture of sodium pyrophosphate and sodium base, whereas according to WU and MA (2002) water and $0.1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ are better extractants for assessment of compost stability.

Compost (A) produced with Mut Kyberferm technology contained the greatest amounts of total nitrogen, over twice as much as compost (B) manufactured using Horstmann technology and even 4-fold more than compost (C) produced from municipal waste using Dano technology. Nitrogen content in alkaline extracts from the analysed organic materials ranged between 2.0 g and $14.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m. The share of nitrogen extracted by sodium pyrophosphate and sodium base was varied, with the highest share found in farmyard manure and compost (A) produced from plant waste and other biodegradable components, (respectively, 45% and 40%). Transformations of nitrogen compounds are an inevitable element of the composting process and reveal a similar direction of changes as carbon compounds.

One consequence of diversified contents of carbon and nitrogen in the tested organic materials was the value of C:N ratio. The value approximating 15 is commonly regarded as an indicator of compost stability and may evidence that this material has reached maturity (IGLESIAS-JIMENEZ, PEREZ-GARCIA 1991). The value of C:N in the analysed composts turned out to be similar to that in composts of plant waste (B) and municipal waste (C) (11.6 and 12.9 respectively) and comparable with the values of this parameter computed for peat and farmyard manure. A significantly lower value was registered for this parameter in compost (A) obtained from plant materials and other biodegradable waste.

The three composts differed in respect of their humus fraction content. The largest content of humic acid carbon (CKh) was found in compost (A) ($67.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.), which was comparable to the amount assessed in peat ($52.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.). Farmyard manure and compost (B) were characterised by a smaller content of humic acid carbon, whereas the smallest amounts of CKh were found in compost (C) from municipal waste.

Fulvic acid carbon content (CKf) was in each case lower than humic acid carbon content (Table 3). Comparable contents of fulvic acid carbon were found in composts (B) and (C). The highest quantities of fulvic acid carbon were assessed in farmyard manure and peat.

The value of CKh:CKf fell within a relatively wide range (for composts), i.e. between 2.29 and 8.26 (Table 3). Higher values of this parameter were characteristic for composts (A) and (B) produced from plant wastes than compost (C) manufactured from municipal wastes. The value of this parameter determined in farmyard manure (1.08) was significantly lower than assessed in composts.

Table 3
Tabela 3

Fractional composition of organic matter in the analysed organic materials ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)
Skład frakcyjny materii organicznej w badanych materiałach organicznych ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
CKh	52.9	49.4	67.4	43.0	13.3	20.0
%***	13	15	27	21	12	-
CKf	22.3	45.6	12.6	5.2	5.8	16.7
%***	5	14	5	3	5	-
CKh:CKf	2.37	1.08	5.35	8.26	2.29	2.92
C nonhydrolyzing C niehydrolizujący	344	234	171	154	93	95
%***	82	71	68	77	83	-

* , ** notes see Table 1 – objaśnienia w tabeli 1

*** % C extracted in organic C content – % C wyekstrahowanego w ogólnej zawartości C organicznego

The highest amounts of non-hydrolysing carbon were recorded in peat and farmyard manure, respectively 82% and 71% in relation to total content of organic carbon (Table 3). A comparable content of non-hydrolysing carbon was found in composts from plant waste (A) and (B), where it was on average 43% lower than the amount assessed in compost from municipal waste (C).

Total concentration of lead in the composts was higher than in farmyard manure and peat (Table 4). Most lead was found in compost from municipal wastes (C) ($293.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.) and this content prevented agronomic use of this material (*Decree of the Minister...* 2001). Lead mobility in the analysed composts was low, irrespective of the extractant used, and generally did not exceed 8% (total for two fractions) of this element's total content. ROSIK-DULEWSKA (2001) also found small amounts of lead in exchangeable and carbonate fraction separated from composts produced from municipal waste. She found out that lead was mainly bound to iron and manganese oxides and to organic fraction. Relatively low mobility of lead in compost has been confirmed by the results obtained by DROZD et al (1996b), who found that during compost maturation the content of water soluble lead compounds changed the least.

Table 4
Tabela 4

Content of lead in the analysed organic materials ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)
Zawartość ołówku w badanych materiałach organicznych ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
Total Pb – Pb og.	8.9	4.9	12.8	14.2	293.8	127
Pb – H ₂ O	0.06	0.10	0.60	0.95	0.11	0.40
%***	0.7	2.0	4.7	6.7	<0.1	-
Pb – CaCl ₂	0.00	0.07	0.07	0.05	0.03	0.03
%***	-	1.4	0.5	0.4	<0.1	-

* , ** notes see Table 1 – objaśnienia w tabeli 1

*** % C extracted in organic C content – % C wyekstrahowanego w ogólnej zawartości C organicznego

Total zinc concentrations in the composts were markedly different (Table 5). Compost (A) contained almost 7-fold less zinc, while compost (B) nearly 4-fold less of this element in comparison to the zinc content assessed in the compost from municipal waste (C). Total zinc concentrations assessed in the composts from plant waste (A) and (B) were lower than determined in farmyard manure. The quantities of zinc extracted by individual solutions were diversified, but more zinc (beside peat and compost B) was extracted with water. The amount of zinc extracted with the solutions applied (total for two fractions) and in comparison with total content was the highest for peat and compost (A). The results obtained by DROZD et al (1996b) concerning the dynamics of mobile zinc form concentrations during

municipal waste composting indicated a rapid decrease in concentrations of zinc form passing into water solution. These authors suggested that a decrease in large molecular humus compounds forming during transformation of composted biomass might have contributed to it. ROSIK-DULEWSKA (2001), who analysed composts produced from municipal waste, found that the main part of zinc is bound to Mn and Fe oxides. For comparison, in their studies on sewage sludge PIOTROWSKA, DUDKA (1987) found only 3% share of zinc in the exchangeable fraction, but due to its high total content, the absolute content of Zn in this fraction was significant. In sewage sludge zinc was also bound to iron and manganese oxides.

Table 5
Tabela 5

Content of zinc in the analysed organic materials ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)
Zawartość cynku w badanych materiałach organicznych ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
Total Zn – Zn og.	17	629	177	322	1186	461
Zn – H ₂ O	0.85	20.75	13.21	9.50	4.67	7.71
%**	5.0	3.2	7.5	3.0	0.4	-
Zn – CaCl ₂	1.10	3.11	0.62	0.82	8.10	3.15
%***	6.5	0.5	0.4	0.3	0.7	-

* , ** notes see Table 1 – objaśnienia w tabeli 1

*** % C extracted in organic C content – % C wyekstrahowanego w ogólnej zawartości C organicznego

Total concentration of copper was the highest in farmyard manure ($368.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.) – Table 6. Between 1.5- and over 11-fold less copper was assessed in the composts. Such a high concentration of this metal in farmyard manure resulted from its origin and most probably from the kind of fodder fed to pigs. On the farm from which the farmyard manure originated the animals were fed intensively by concentrate feed mixtures amended with mineral and vitamin supplements in order to meet the animal nutritional needs. The analysis of copper extracted with water revealed the largest amounts of this metal in the extract from farmyard manure ($48.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.), even though the share of this copper form in the total content did not exceed 13% and was comparable with the quantities determined in the compost manufactured from green waste (A). The amount of copper extracted with CaCl₂ solution was considerably smaller and less diversified among the tested organic materials. The ratio of copper mobile forms (total of two fractions) to the total content was the highest in peat. In farmyard manure and the composts the value did not exceed 15%. Such a small content of copper in the extracts may suggest that at the final stage of composting large molecular humus compounds were formed, which affected solu-

Table 6
Tabela 6

Content of copper in the analysed organic materials ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)
Zawartość miedzi w badanych materiałach organicznych ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
Total Cu – Cu og.	3.0	368.2	32.1	62.7	240.8	157
Cu – H_2O	0.92	48.81	4.44	3.80	1.58	20.7
%***	30.7	13.3	13.8	6.1	0.7	-
Cu – CaCl_2	0.38	3.93	0.27	0.42	0.41	1.59
%***	12.7	1.1	0.8	0.7	0.2	-

* , ** notes see Table 1 – objaśnienia w tabeli 1

*** % C extracted in organic C content – % C wyekstrahowanego w ogólnej zawartości C organicznego

bility of copper compounds. DROZD et al (1996b) pointed at similar dependencies when they observed a rapid increase in the copper concentration in an extract during the initial period of composting and its subsequent decrease after 6 months.

Total concentrations of cadmium were the lowest in peat – $0.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m. (Table 7). The largest quantities were found in compost (C) from municipal waste ($5.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.), which made it impossible to use this material as a fertilizer (*Decree of the Minister* 2001). The cadmium content extracted with water was the highest in farmyard manure and the compost produced from green waste (A). The percentage of this cadmium form in the total content constituted, respectively, over 7% and over 8%. The content of the exchangeable cadmium fraction (extracted with $0.05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$) was generally small and the

Table 7
Tabela 7

Content of cadmium in the analysed organic materials ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)
Zawartość kadmu w badanych materiałach organicznych ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

Determination Oznaczenie	Peat Torf	FYM Obornik	Compost – Kompost			SD**
			A*	B*	C*	
Total Cd – Cd og.	0.33	1.61	1.41	0.84	5.88	2.21
Cd – H_2O	0.06	0.12	0.12	0.07	0.02	0.04
%***	18.2	7.5	8.5	8.3	0.3	-
Cd – CaCl_2	0.02	0.02	0.01	0.00	0.08	0.03
%***	6.1	1.2	0.7	-	1.4	-

* , ** notes see Table 1 – objaśnienia w tabeli 1

*** % C extracted in organic C content – % C wyekstrahowanego w ogólnej zawartości C organicznego

greatest amounts of this cadmium fraction were assessed in the composts from municipal waste (C). Much larger amounts of cadmium were determined in exchangeable and carbonate fractions in the studies on composts manufactured from municipal waste conducted by BARAN et al. (1999) and ROSIK-DULEWSKA (2001). However, it should be emphasised that those authors determined a much definitely higher total content of this element in the organic materials they analysed. On the other hand DROZD et al. (1996b) did not find cadmium concentrations in water extract, which they explain by the immobilisation of this metal in the form of carbonates at higher pH values.

CONCLUSIONS

1. Organic carbon content in composts depended on a type of composted waste – the smallest amounts of this component were assessed in the compost from municipal waste.
2. Organic matter transformations occurring during the composting process led to a systematic decrease in the amount of soluble organic compounds. The share of soluble carbon in the total content did not exceed 35% for all the tested composts.
3. The composts from plant waste were more nitrogen abundant than the compost from municipal waste, while the share of nitrogen extracted from the composts with sodium pyrophosphate and sodium base did not exceed 40%.
4. Analysis of fractional composition of humus compounds in all the composts revealed higher content of humic acid carbon in relation to fulvic acid carbon. The share of non-hydrolysing carbon in these materials was on average 70%.
5. The content of the most mobile heavy metal forms in the composts were low, which implied that these elements occurred in a form less available to plants.

REFERENCES

- BARAN S., MARTYN W., WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA A. 1999. *Zawartość różnych form kadmu w kompostach wytworzonych z odpadów komunalnych*. Zesz. Probl. Nauk Rol., 467: 499-504.
- BARAN S., TURSKI R. 1996. *Ćwiczenia specjalistyczne z utylizacji odpadów i ścieków*. Wyd. AR w Lublinie, ss. 136.
- BOGACZ W. 1996. *Badania nad formami mikroelementów w glebach Belgii*. Cz. I i II. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 434: 1011-1023.
- CHANYASAK V., KUBOTA H. 1981. *Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation*. J. Ferment. Technol., 59(3): 215-219.
- CZEKAŁA J., JAKUBAS M., MOCEK A., OWCZARZAK W. 1999. *Możliwości wykorzystania osadów ściekowych i odpadu tytoniowego do produkcji kompostu*. Fol. Univ. Agric. Stetin., Agricult., 200(77): 45-50.

-
- DROZD J., JAMROZ E., LICZNAR M., LICZNAR S., WEBER J. 1999. *Zmiany wybranych form makro- i mikroskładników w czasie kompostowania pomiotu kurzego i produkowanego z niego nawozu organiczno-mineralnego.* Fol. Univ. Agric. Stetin., Agricult., 200(77): 69-74.
- DROZD J., LICZNAR M., PATORCZYK-PYTLIK B., RABIKOWSKA B., JAMROZ E. 1996a. *Zmiany zawartości węgla i azotu w procesie dojrzewania kompostów z odpadów miejskich.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 437: 123-130.
- DROZD J., LICZNAR M., PATORCZYK-PYTLIK B., RABIKOWSKA B. 1996b. *Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadków miejskich w czasie kompostowania.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 437: 131-138.
- GAJ R., GÓRSKI D. 2005. *Wpływ kompostu z odpadów miejskich i nawożenia azotem na pobieranie kadmu oraz jakość technologiczną buraka cukrowego.* J. Elementol., 10(2): 259-266.
- IGLESIAS-JIMENEZ E., PEREZ-GARCIA V. 1991. *Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation exchange capacity.* Res. Conserv. Recycl., 6: 45-60.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., LEKAN Sz., WINIARSKA Z., GAŁCZYŃSKA B., DUDKA S., KACPEREK K. 1987. *Rolnicza przydatność odpadów przemysłowych i komunalnych.* Wyd. IUNG Puławy, S(58): 182.
- PIOTROWSKA M., DUDKA S. 1987. *Frakcje metali śladowych w osadach ściekowych jako kryterium ich przydatności w rolnictwie.* Arch. Ochr. Środ., 1/2: 67-72.
- ROSIK-DULEWSKA Cz. 2001. *Zawartość składników nawozowych oraz metali ciężkich i ich frakcji w kompostach z odpadów komunalnych.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 477: 467-477.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 1 czerwca 2001 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. DzU Nr 60, poz. 615.
- SZULC W., RUTKOWSKA B., ŁABĘTOWICZ J. 2004. *Skład kationowy roślin uprawianych w warunkach stosowania kompostu „Dano” ze śmieci miejskich.* J. Elementol., 9(3): 491-498.
- WU L., MA L. Q. 2002. *Relationship between compost stability and extractable organic carbon.* J. Environ. Qual., 31: 1323-1328.

UMBILICAL CORD SERUM MAGNESIUM LEVEL AND NEONATAL OUTCOME IN GROUP OF NEONATES AT 30-34 GESTATIONAL AGE*

¹Ewa Gulczyńska, ³Ludmiła Żylińska, ¹Marcin Kęsiak,

¹Alicja Grodzicka, ¹Agnieszka Zjawiona,

¹Bogusława Cyranowicz, ²Michał Krekora, ¹Tomasz Talar,

¹Janusz Gadzinowski

¹Department of Neonatology,

²Department of Maternal-Fetal Medicine,

Polish Mother's Memorial Hospital-Research Institute

³Department of Molecular Neurochemistry, Medical University of Łódź

Abstract

Background

Magnesium, as a well-known calcium antagonist, is widely used in perinatology (as a magnesium sulphate) for imminent eclampsia as well as tocolytic agent. Some authors indicate that antenatal magnesium treatment could result in neuroprotection in VLBW neonates (1500 g). It was also revealed that maternal magnesium treatment produces beneficial effect on a newborn's condition after birth, assessed according to SNAP.

Aim of study

To find correlation between the umbilical serum cord magnesium concentration in a group of newborns without antenatal exposition to magnesium sulphate and the neonatal outcome as well as to compare the neonatal outcome of babies with maternal magnesium sulphate treatment

Results

In a group of 82 newborns (31-34 GA; birth body weight <1500 g) the umbilical cord serum magnesium concentrations was assayed. Three subgroups of neonates were set apart: first group (N) with a normal magnesium level ($n=28$), the second group ($n=19$) with magnesium concentration <0.75 mmol/dl (D), and the third group (Mg) consisting of 35 newborn antenatally exposed to magnesium sulphate. These groups were similar (no statistical significances) in terms of birth body weight, gestational age, Apgar score and umbilical blood pH. Gradual decrease in

Ewa Gulczyńska MD, PhD, Klinika Neonatologii, Instytut Centrum Zdrowia Matki Polki, 93-338 Łódź, ul. Rzgowska 281/289, e-mail:ewagulcz@wp.pl

*Supported by grants No. 5P05E 09224 from the State Committee for Scientific Research, Poland and No. 503-686-2 from the Medical University of Łódź.

magnesium concentration in relation to increase of gestational age was observed. In groups: D, N, Mg, gradual reduction of hospitalization time ($p<0.05$), risk of death, time of respiratory support, time of oxygen therapy, rate of bronchopulmonary dysplasia, periventricular leucomalation ($p<0.05$) were observed respectively. Likewise, a rate of serious neurological complication (IVH/PVL) in group D was higher in comparison to groups N and Mg (although without statistical significances).

Conclusion

Our results confirm that umbilical cord magnesium concentration in VLBW neonates have an influence on neonatal outcome. Although it is premature to recommend ordering maternal magnesium sulphate treatment to improve neonatal outcome, in our opinion the data presented here should at least induce magnesium concentration monitoring in pregnant women and magnesium deficiency correction.

Key words: magnesium, preterm newborn, magnesium sulphate.

INTRODUCTION

Magnesium, which belongs to light metals, has been known for nearly 200 years. Many scientists, emphasizing its role played in a living organism and special function in many vital processes, call it "the element of life". Together with the development of civilization, food industry and agriculture, problems of magnesium deficiency and, as a consequence, its prophylactic and curative use, have become significant.

Magnesium has been widely used for many years as calcium antagonist in perinatology (as magnesium sulphate) for eclampsia and preeclampsia treatment and, with some limitations, as a tocolytic agent, too. Recently, some authors have emphasized a possible neuroprotective role of prenatal magnesium administration in very low birth weight preemies (VLBW) (CROWTHER et al. 2003). Previously published studies also suggested that magnesium administered to pregnant women crosses the placenta barrier easily and very quickly, achieving high concentration in fetal blood as well as fetal brain. As a known antagonist of NMDA receptors (N-methyl D-asparagic acid) localized in the central nervous system, magnesium can prevent necrosis of neurons (MASON et al. 1996). It has also been revealed that maternal magnesium treatment produces beneficial effect on newborn condition after birth, assessed according to SNAP – Score for Neonatal Acute Physiology (DEERING et al 2005). The results of our last research on newborn delivered with symptoms of perinatal asphyxia indicate possible effect of magnesium on other membrane effectors (ZYLINSKA et al. 2002, GULCZYŃSKA et al. 2006).

The aim of the study is to find the correlation between umbilical serum cord magnesium concentration (normal or low) in a group of newborns without prenatal exposure to magnesium sulphate and their outcomes, as well as to compare their outcomes with antenatally MSO_4 exposed babies.

MATERIAL AND METHODS

The prospective study was conducted over two years period, between 2003 and 2005. The analysis involved 82 neonates delivered at the Research Institute of the Polish Mother's Memorial, who were admitted to the neonatal intensive care. The study group included neonates at the gestational age of 31 to 34 weeks and birth body weight <1500 g. Babies born with severe congenital malformation which could considerably influence neonatal outcome were excluded from this study.

The umbilical serum magnesium concentration was assayed in the neonates immediately after birth. Next, the neonates were divided in three groups based on whether or not they had been antenatally exposed to MgSO₄ as well as on the results of the umbilical serum magnesium concentration. The newborn babies without maternal magnesium sulphate treatment (control group) were divided to two groups: the first group a with normal magnesium level and the second group with the magnesium concentration below the normal range. Thus, three subgroups of neonates were set apart: first group (N) with normal magnesium level ($n=28$), the second group ($n=19$) with magnesium concentration <0,75 mmol/dl (D), and the third group (Mg) consisting of 35 newborn antenatally exposed to magnesium sulphate. The threshold values of a normal range of serum magnesium concentration were chosen according to referral values reported in neonatal literature (GOMELLA 1992).

The third group of neonates was allocated only because of antenatal exposure to magnesium, irrespective of the obtained serum magnesium level. This decision was made seeing that the assays performed just after birth could have reflected the maternal serum magnesium level occurred closely to the end of a drug infusion (C_{max}), the lowest magnesium concentration noticed before beginning of the next infusion (C_{min}) but also late drug elimination phase after completely finishing MgSO₄ therapy. In the group of 35 mother-infant pairs exposed to magnesium sulphate, the therapeutic indication to MgSO₄ was pregnancy induced hypertension ($n=9$), whereas for the others this drug was ordered as a tocolytic agent. The MgSO₄ in pregnant women was administered via continuous intravenous infusion in doses which depended on observed clinical effects: tocolysis or decrease of blood pressure (1–2 g /hour).

The mean dose of MgSO₄ given to pregnant women was 78.5 g (min. 2 g; max. 384 g). These infusions of MgSO₄ were continued for 1 to 17 days; (mean duration 4.6 days; median 2 days). The longest period between the end of a magnesium sulphate infusion to the time of childbirth was 18 hours.

The mean birth body weight of neonates in subgroup N was 1260 g (min. 550; max. 1500), mean gestational age was 30.93 weeks, and Apgar scores at 1st and 5th min. of life were 6.6 and 7.0 respectively. In subgroup D the same

variables were: BBW 1241g (min. 900; max. 1500), GA 31.21 weeks and mean Apgar score at 1st; 5th min of life were 6.84 and 7.05. Among neonates born by women treated prenatally with MgSO₄ the mean body weight was 1333 g (min. 820; max. 1500), mean gestational age 31.09 weeks, Apgar score at 1st and 5th min of life was 6.77 and 6.89 respectively (Figure 1).

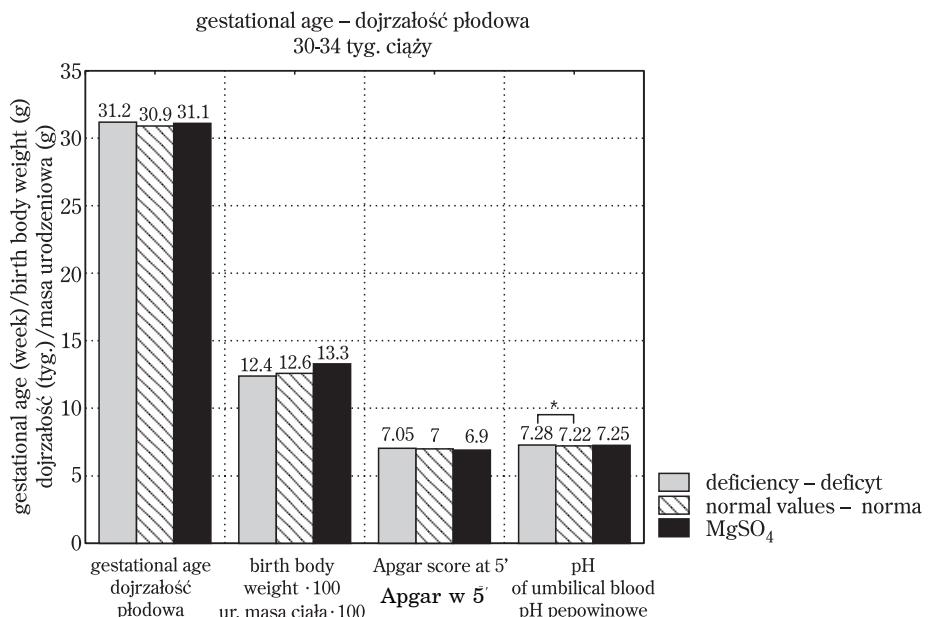


Fig. 1. The characteristic of studied groups of neonates
Rys. 1. Charakterystyka omawianych grup noworodków

The standard of VLBW neonate outcome involved: hospitalization time, risk of death, time of respiratory support, oxygen supplement time, rate of bronchopulmonary dysplasia diagnosed on 28th day of life as well as at 36 weeks of corrected age, rate of periventricular leucomalacia (PVL), severe intracranial hemorrhage (IVH III/IV grade) and its both combined index (PVL+IVH III/IV grade).

Determination of Mg in serum

The serum Mg level was determined colorimetrically (COBAS INTEGRA Roche Company) using chlorophosphonazo III.

RESULTS

Serum magnesium concentration was analyzed from cord blood immediately after delivery. In newborns with an antenatal maternal magnesium sulphate treat-

ment the mean magnesium concentrations were statistically significantly higher than in control subgroups N and D ($p<0.05$). It should be emphasized that the mean magnesium concentration was generally close to or slightly above the upper range of normal values (1.23 and 1.31 mmol/l), although in some of these newborns the serum magnesium concentration was still near the lower limit of a normal range (min; 0.71 mmol/l) – Table 1, Figure 2.

Table 1
Tabela 1

Magnesium concentrations assessed in umbilical cord serum
Stężenia magnezu stwierdzone w surowicy krwi pępowinowej

Mg serum concentration Stężenie Mg w surowicy krwi pępowinowej	30–34 tyg.c. (min–max)
Deficiency – Deficyt (D), <0.75 mmol/l $n=19$	0.66 0.5–0.74
Normal values – Norma (N) $n=28$	0.83 0.75–0.99
MgSO_4 (Mg) $n=35$	1.31 0.71–2.46

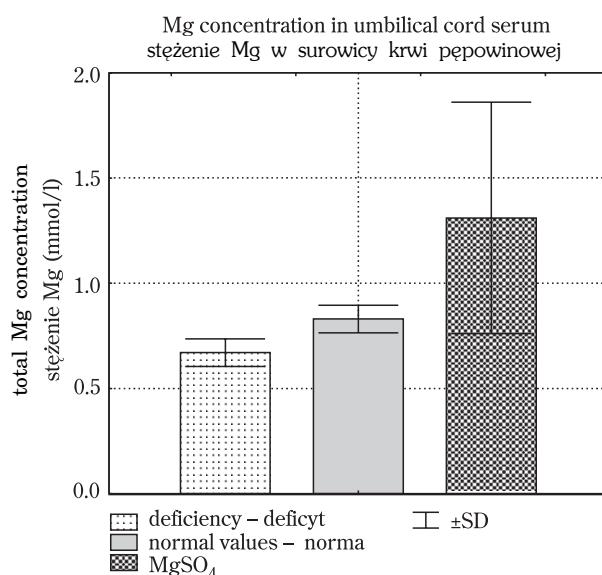


Fig. 2. Umbilical serum concentration in studied groups of neonates; mean values, SD
Rys. 2. Stężenie magnezu w surowicy krwi pępowinowej w badanych grupach noworodków;
wartości średnie oraz SD

In the control group of newborns without prenatal exposition to magnesium sulphate, analyses of serum magnesium concentrations were taken on a group of 47 newborns. The results oscillated between 0.5-0.99 mmol/l. As many as 19 newborns (40%) had a serum magnesium concentration below the lower limit of norm (<0.75 mmol/l), and in 8 of them (17%) the levels were ≤ 0.65 mol/l. Simultaneously with the progression in gestation weeks, a decline in the cord blood serum magnesium concentration was observed ($r=-0.25$) – Figure 3.

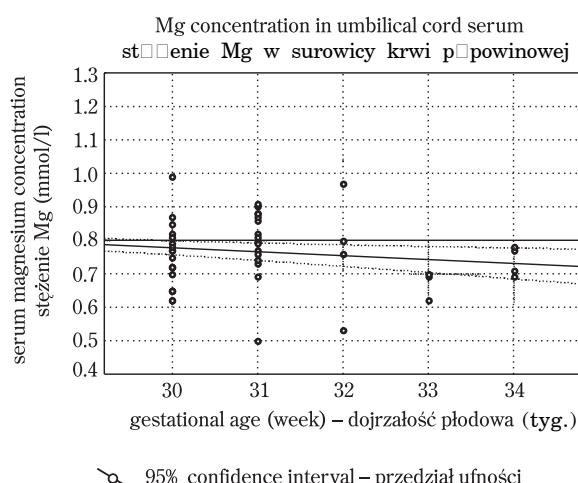


Fig. 3. Magnesium concentration variables in umbilical cord serum of control neonates according to increasing gestational age

Rys. 3. Zmiany stężenia magnezu w surowicy krwi pępowinowej noworodków z grupy kontrolnej wraz z narastaniem dojrzałości ciąży

Among the analyzed newborns, birth body weight as well as gestational age were comparable in particular subgroups (D; N; Mg). There were no statistically significant differences in subgroups. But the correlation between an increase in the magnesium concentration and an increase in body weight was observed. This correlation was visualized in each subgroup with a correlative chart of magnesium concentration and birth body weight (Figure 4). There were no gestational age differences in subgroups, which were similar in mean as well as median birth body weight (31 GA).

An analysis of outcomes shows a gradually shortening hospitalization time in consecutive subgroups (D; N; Mg). Statistically significant differences were observed between D, N, subgroups and Mg subgroup ($p<0.05$). There was one death in each group. Differences in percentage were dependent on the number of newborns in subgroups and were not statistically significant. Gradually shortening time of breathing support (in subgroups D – 5.73, N – 4.82, Mg – 4.29) and

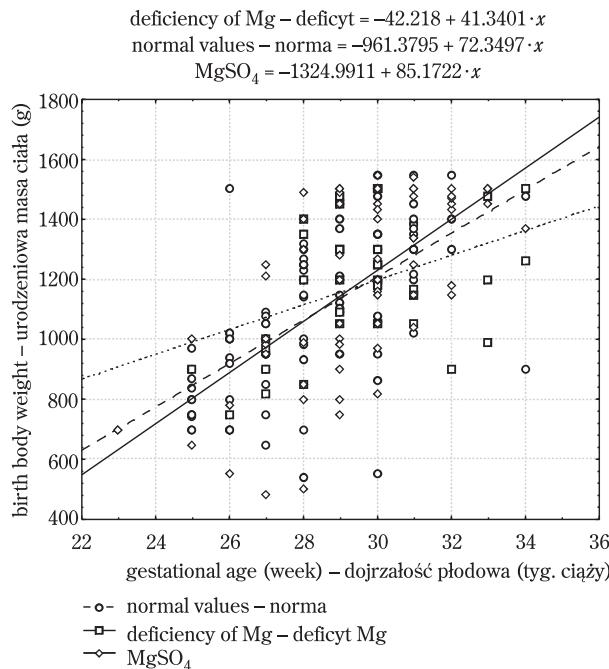


Fig. 4. The linear regression of birth body weight according to umbilical cord serum magnesium concentration

Rys. 4. Regresja liniowa urodzeniowej masy ciała w zależności od stężenia Mg w surowicy krwi pępowinowej

oxygen requirement (D – 10.74, N – 8.5, Mg – 7.66) without statistically significant differences was observed. There were variable results of frequency of bronchopulmonary dysplasia assessed on 28th day of life. This parameter was probably influenced by deaths in the first four weeks of life but a positive trend in subgroup Mg in contrast to subgroup D and N was observed. We did not recognize bronchopulmonary dysplasia in any subgroups in 36 week of postmenstrual age. Interestingly, increased frequency of periventricular leukomalacy among newborns with magnesium deficiency was observed. In this group PVL was recognized in 3 out of 19 newborns. In subgroup N no PVL was diagnosed, whereas in the subgroup treated with magnesium there were 2 recognized PVL out of 35 newborns (which gives D – 16%, N – 0%, Mg – 6%) – Figure 5.

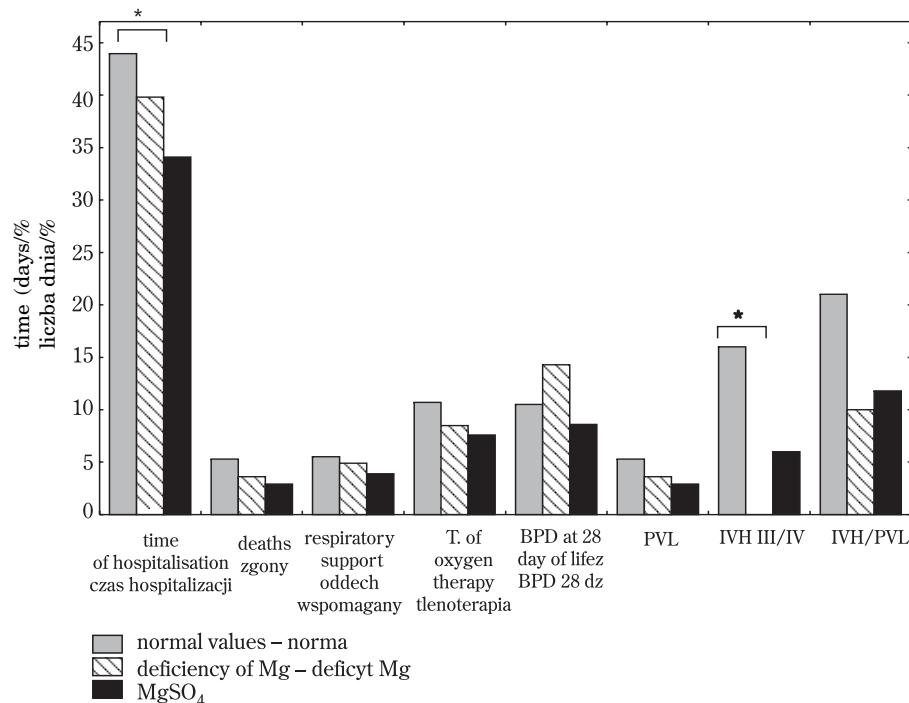


Fig. 5. Neonatal outcome in analyzed groups of preterm neonates
Rys. 5. Wyniki leczenia w okresie noworodkowym w analizowanych podgrupach noworodków

Explanation – Objasnienia

BPD	Broncho-Pulmonary Dysplasia – dysplazja oskrzelowo-płucna
CLD	Chronic Lung Disease – przewlekła choroba płucna
cPVL	cystic Periventricular Leucomalatia – torbielowa leukomalacja okołokomorowa
IVH	Intraventricular Hemorrhage – krwawienie dokomorowe
NEC	Necrotizing Enterocolitis – martwicze zapalenie jelit
PDA	Persistent Ductus Arteriosus – przetrwały przewód tętniczny
RDS	Respiratory Distress Syndrome – zespół zaburzeń oddychania
SIDS	Sudden Infant Death Syndrome – zespół naglej śmierci lózeczkowej
SNAP	Score for Neonatal Acute Physiology – ocena fizjologicznego stanu noworodka
VLBW	Very Low Birth Weight – bardzo mała urodzeniowa masa ciała

DISCUSSION

Magnesium is a bioelement which has an important influence on health condition of the pregnant woman and her growing fetus. During pregnancy relatively low concentrations of this element are observed. Formation of new fetal tissues

and tissues of placenta lead to increased demand for magnesium. It was revealed that daily fetal retention of the amount of magnesium equals 10–18 mg. The comparison presented below shows the intensity of fetal absorption of Mg, Ca, P. A 175-gram fetus increases its body mass twenty-fold by delivery, whereas the contents of minerals (Mg, Ca, P) in the same period increase thirty to forty-five-fold (DICKERSON et al. 1960, WIDDOWSON et al. 1962).

The results confirm a negative correlation between the gestational age and magnesium concentration. Although assessment of the total serum magnesium concentration is not an optimal diagnostic method for magnesium deficiency, the results show depletion of magnesium concentration in many newborns (40%) without prenatal magnesium exposure. In 19% of them significant deficiency was diagnosed.

Linear regression chart of birth body weight in relation to gestational age shows the fastest increase in body mass in the prenatally $MgSO_4$ exposed subgroup and a slower gain in weight in the control subgroup with a low serum magnesium concentration.

Recently other authors have shown that the total as well as ionized magnesium serum concentration in pregnant women decreases with progression of gestation (HURLEY et al. 1976, DURLACH 2004, MARCUS et al. 1998). The fluctuations observed can depend on hemodilution, which is caused by an increased amount of plasma during pregnancy, as well as increasing magnesium deficiency in pregnant women. It is also known that many women, especially those living under poor socioeconomic conditions, receive magnesium intake below daily recommended amount. Very young, adolescent women, multipara pregnant women and women in a consecutive pregnancy in a short time may be particularly prone to magnesium deficiency.

Despite analyzing variable subgroups of newborns and comparing magnesium exposed children with the control group (with normal and low magnesium concentration), the main objective of authors of this research was to assess dependency between the cord magnesium serum concentration and neonatal outcomes. It was speculated that the perinatal magnesium concentration could influence fetal/newborn reaction to a dynamic process of delivery, course of the adaptation period to extrauterine life and consequently late neonatal outcomes. Analysis of our results shows differences in frequency of such cerebral complications as: serious intracranial hemorrhages, periventricular leucomalacy and their combined rate. Despite the fact that this research did not reveal statistical differences in time of oxygen requirements, time of mechanical ventilation or frequency of bronchopulmonary dysplasia, the reduction of these parameters together with increased serum magnesium concentration was observed. The statistically significant differences in time of hospitalization were confirmed.

Deficiency of magnesium and other microelements during gestation can lead to a birth of a SGA child (ZIGLIARA et al. 1973, TAKAYA et al. 2005). Nonetheless,

there are few publications in the current medical literature which concern influence of magnesium deficiency on a newborn's health condition. Research of some Philadelphian authors revealed that gestational magnesium deficiency could affect adversely not only on the course of a newborn period (increased risk of bronchopulmonary dysplasia, respiratory distress syndrome, retinopathy of prematurity) (CADDELL 1993, 1995, CADELL et al. 1999) but can also be one of the elements of the multifactorial etiology of the sudden infant death syndrome (CADDELL 1996, CHIU et al. 2005).

The results of research on animals with experimentally induced magnesium deficiency show that it is an embriotoxic agent and influences fetal resorption, retardation of intrauterine growth, disturbances in skeletal development and skeletal malformations (GUNTHER 1981). Other animal models research revealed that magnesium deficiency, induced fourteen days before conception and lasting during pregnancy, led to reducing the number of offspring to 27% versus the control group. Because of death in the first eight hours of life, this percentage was reduced to 16%. The animals with induced magnesium deficiency had lower birth weight, a lot of superficial bleedings, intracranial bleedings and edemas of extremities. In a group with poor magnesium diet before conception but with adequate diet during gestation there was only a small reduction (to 86% in the number of offspring) and no other differences were observed. The results of this analysis seem to confirm the hypothesis that adequate supplementation of magnesium during pregnancy is necessary for fetal development and that post conceptional magnesium supplementation is beneficial for individuals living in magnesium poor environment.

There has been a long and heated discussion in perinatology about influence of prenatal $MgSO_4$ supplementation on results of preterms treatment. Both positive and negative effects were reported of tocolysis or treatment of pregnancy induced hypertension with magnesium sulphate. During $MgSO_4$ administration, an increased flow in uterine arteries along with the maintained normal flow in umbilical arteries of a fetus were observed (KEELEY et al. 1993). Simultaneously, a decreased diastolic flow in the middle cerebral artery of a fetal brain was noticed. Other authors using Doppler technique showed a two-fold increase in blood volume flowing through uterine arteries (from 5.09 ml/sek to 10.02 ml/sek) with a stable resistance index (SHAUF et al. 2004). This observation indicates that improvement in outcome of perinatal care could be related not only to anti-seizure properties of $MgSO_4$, but also to improved saturation of fetal blood, which can be especially beneficial in pregnancies with a diagnosed intrauterine growth retardation syndrome.

Nowadays, after a period of criticism concerning efficacy and safety of tocolysis with $MgSO_4$, prenatal administration of magnesium sulphate is an interesting topic in the United States and Europe, owing to a possible neuroprotective activity of magnesium in a fetus and VLBW neonates. From the first publication by

Nelson K. and Grether J., who pointed out decreased frequency of cerebral palsy as an effect of prenatal exposure to MgSO₄, other scientists have noticed beneficial influence of magnesium on neurological outcomes in very low birth weight newborns (NELSON et al. 1995). In the next years many centers of perinatology have conducted research into this subject, looking for correlation between magnesium supplementation and frequency of intracranial hemorrhage, PVL, deaths or cerebral palsy (HIRTZ et al. 1998, KUBAN et al. 1992).

In order to confirm neroprotective properties of magnesium sulphate administered to pregnant women with imminent preterm labor before the 30th week of gestation, Crowther and others organized a multicenter, randomized trial: Australasian Collaborative Trial of Magnesium Sulfate (ACTOMgSO₄) Collaborative Group (CROWTHER 2003). Research lasted from 1996 to 2000, and was conducted in 16 hospitals with the third referential level in Australia and New Zealand. In total, 1062 pregnant women whose delivery was planned in 24 hours, were included in the trial. Total mortality of infants, frequency of cerebral palsy and combined index: death and/or cerebral palsy were analyzed at the age of 2. These negative neurological outcomes (as shown below) were less frequent in children who were treated with MgSO₄: mortality in infancy (13.8% vs 17.1%), cerebral palsy (6.8% vs 8.2%), combined index (19.8% vs 24.0%) but the differences were not statistically significant. Frequency of significant motor dysfunction was lower and this result was statistically significant (3.4 vs 6.6, RR: 0.51; 95% CI: 0.29–0.91). The same dependence occurred for combined index: death or significant motor dysfunction: (17% vs 22.7%; RR 0.75; 95% CI: 0.59–0.96).

Other authors from Europe reported a reducing influence of prenatal tocolysis with magnesium sulphate combined with aminophyllin administration on risk of intracranial hemorrhage. (DI RENZO et al. 2005). There were four incidences of hemorrhage in the treated group (5.13%) vs 14 (20.6%) in the control. However, serious hemorrhage (IVH III and IV degree) was revealed in 1 (1.28%) vs 7 (10.3%) of newborns.

In the same year Japanese authors who analyzing perinatal risk factors of cystic form of periventricular leucomalacy (cPVL) emphasized the multifactorial etiology of this condition, suggesting that both maternal and fetal factors as well as administered drugs could play a role in development of PVL (MURATA 2005). With multifactorial analysis, scientists proved that preeclampsia with prenatal MgSO₄ administration significantly reduced the risk of PVL. Harrison and colleagues proved higher frequency of hypoxic ischemic encephalopathy in newborns with symptoms of perinatal asphyxia and a low cord serum magnesium concentration than in newborns with perinatal asphyxia and the magnesium concentration in a normal range (HARRISON et al. 1997). Many authors emphasize the fact that administration of MgSO₄ in doses lower than commonly used for tocolysis could have neuroprotective effect, without suggested risk of promoting lethal effect in extremely immature newborns.

Statistics concerning results of perinatal care show that about 50% of newborns with birth mass ≤ 1000 g who are alive on 28th day of their life develop symptoms of BPD. Simultaneously newborns with birth weight < 1500 g (VLBW) run the risk of magnesium deficiency, which is connected with the fact that 80% of the total body magnesium is accumulated by a fetus in the third trimester of gestation. In 1996 CADDELL and others indicated the coincidence of magnesium deficiency and development of BPD. According to these authors, development of bronchopulmonary dysplasia could be provoked or exacerbated by magnesium deficiency (CADELL 1996). It is known that in pathogenesis of BPD the following are engaged: free oxygen radicals, proinflammatory cytokines (IL-1, IL-6), tumor necrosis factor-TNF- α , tromboxan A2 (TXA2), serotonin with its vasoconstrictive activity, endothelin-1 (ET-1) and histamine, which is a bronchospastic factor. It is proved that magnesium deficiency increases cell and tissue sensitivity to peroxidation, exacerbates inflammatory reaction, reduces immunologic answer, increases catecholamine output during stress and decreases energy metabolism (BUSS et al. 2002, WELTY et al. 2001)

CONCLUSION

The results of our study confirm the positive effect of an appropriate (i.e. within the normal range) fetal and newborn serum magnesium concentration (subgroup N vs D) on outcomes of VLBW neonates. Some of the observed parameters had improved after prenatal magnesium sulphate administration. This observation suggests a need for monitoring magnesium concentrations in pregnant women, removal of magnesium deficiency and possible improvement in outcomes with prenatal supplementation of magnesium sulphate. On the basis of our trial, in such cases it is extremely important to monitor the serum magnesium concentration in VLBW neonates and adequately calculate pre- and postnatal administration of this element.

Analyzing results from epidemiological studies, we still lack an answer to the question concerning optimal doses and time of magnesium administration, or the best magnesium compounds which should be used for supplementation or treatment.

Therefore, further, well-designed research into the effects of prenatal magnesium exposure and consequences of its deficiency on outcomes of pregnant women and their children is essential.

REFERENCES

- ALMONTE R., HEATH D., WHITEHALL J., RUSSELL M., PATOLE S., VINK R. 1999. *Gestational magnesium deficiency is deleterious to fetal outcome.* Biol. Neonate., 76(1): 26-32.
- BUSS I.H., DARLOW B.A., WINTERBOURN C.C. 2000. *Elevated protein carbonyls and lipid peroxidation products correlating with myeloperoxidase in tracheal aspirates from premature infants.* Pediatr. Res., 47(5): 640-645.
- CADDELL J., GRAZIANI L., WISWELL T., HSIEH H., MANSMANN H. 1999. *The possible role of magnesium in protection of premature infants from neurological syndromes and visual impairments and a review of survival of magnesium-exposed premature infants.* Magnes. Res., 12(3): 201-216.
- CADDELL J. 1996. *Evidence for magnesium deficiency in the pathogenesis of bronchopulmonary dysplasia (BPD).* Magnes. Res., 9(3): 205-216.
- CADDELL J. 1993. *Hypothesis: possible links between the respiratory distress syndrome of the premature neonate, the sudden infant death syndrome, and magnesium deficiency shock.* Magnes. Res., 6(1):25-32.
- CADDELL J. 1995. *Hypothesis: the possible role of magnesium and copper deficiency in retinopathy of prematurity.* Magnes. Res., 8(3): 261-270.
- CHIU H., CHEN C., TSAI S., WU T., YANG C. 2005. *Relationship between magnesium levels in drinking water and sudden infant death syndrome.* Magnes. Res., 18(1): 12-18.
- CROWTER C.A., HILLER J.E., DOYLE L.W., HASLAM R.R. 2003. *Australasian Collaborative Trial of Magnesium Sulphate (ACTOMg SO₄) Collaborative Group. Effect of magnesium sulfate given for neuroprotection before preterm birth: a randomized controlled trial.* J.A.M.A., 290(20): 2669-2676.
- CROWTHER C., DOYLE L. 2003. *Magnesium sulphate prior to preterm birth for neuroprotection of the fetus.* Cochrane Database Syst Rev.,(4).
- DEERING S., STAGG A., SPONG C., ABUBAKAR K., PEZZULLO J., GHIDINI A. 2005. *Antenatal magnesium treatment and neonatal illness severity as measured by the Score for Neonatal Acute Physiology (SNAP).* J. Matern. Fetal. Neonatal Med., 17(2): 151-155.
- DICKERSON J., WIDDOWSON E. 1960. *Some effects of accelerating growth. II. Skeletal development.* Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci., 17(152): 207-217.
- DI RENZO G.C., MIGNOSA M., GERLI S., BURNELLI L., LUZI G., CLERICI G., TADDEI F., MARINELLI D., BRAGETTI P., MEZZETTI D., DELLA TORRE B., FANRAUZZI A., LUNGAROTTI M.S. 2005. *The combined maternal administration of magnesium sulfate and aminophylline reduces intraventricular hemorrhage in very preterm neonates.* Am. J. Obstet. Gynecol., 192(2): 433-438.
- DURLACH J. 2004. *New data on the importance of gestational Mg deficiency.* J. Am. Coll. Nutr., 23(6): 694S-700S.
- GOMELLA T.L. 1992 . *Neonatology. Management, procedures, on-call problems, diseases, drugs.* 2nd ed. California. Appleton & Lange
- GULCZYNSKA E., GADZINOWSKI J., WILCZYNKI J., ZYLINSKA L. 2006. *Prenatal MgSO₄ treatment modifies the erythrocyte band 3 in preterm neonates.* Pharmacol. Res., 53(4):347-352.
- GUNTHER T., ISING H., MOHR-NAWROTH F., CHAHOUD I., MERKER H. 1981. *Embryotoxic effects of magnesium deficiency and stress on rats and mice.* Teratology, 24(2): 225-233.
- HARRISON V., PEAT G. 1997. *Red blood cell magnesium and hypoxic-ischaemic encephalopathy.* Early Hum. Dev., 47(3): 287-296.
- HIRTZ D.G., NELSON K. 1998. *Magnesium sulfate and cerebral palsy in premature infants.* Curr. Opin. Pediatr., 10 (2): 131-137.
- KEELEY M.M., WADE R.V., LAURENT S.L., HAMANN V.D. 1993. *Alterations in maternal-fetal Doppler flow velocity waveforms in preterm labor patients undergoing magnesium sulfate tocolysis.* Obstet. Gynecol., 81(2): 191-194.

-
- KUBAN K.C., LEVITON A., PAGANO M., FENTON T., STYRASSFELD R., WOLFF M. 1992. *Maternal toxemia is associated with reduced incidence of germinal matrix hemorrhage in premature babies.* J. Child. Neurol., 7(1): 70-76.
- MARCUS J.C., VALENCIA G.B., ALTURA B.T., CRACCO RQ, JEAN-BAPTISTE D., SINHA K., ALTURA B.M. 1998. *Serum ionized magnesium in premature and term infants.* Pediatr Neurol., 18(4):311-314.
- MASON B.A., STANDLEY C.A., WHITTY J.E., COTTON D.B. 1996. *Fetal ionized magnesium levels parallel maternal levels during magnesium sulfate therapy for preeclampsia.* Am. J. Obstet Gynecol., 175(1): 213-217.
- MURATA Y., ITAKURA A., MATSUZAWA K., OKUMURA A., WAKAI K., MIZUTANI S. 2005. *Possible antenatal and perinatal related factors in development of cystic periventricular leukomalacia.* Brain Dev., 27(1):17-21.
- NELSON K., GRETHER J. 1995. *Can magnesium sulfate reduce the risk of cerebral palsy in very low birthweight infants?* Pediatrics, 95 (2): 263-269.
- SCHAUF B., MANNSCHECK B., BECKER S., DIETZ K., WALLWIENER D., AYDENIZ B. 2004. *Evaluation of red blood cell deformability and uterine blood flow in pregnant women with preeclampsia or iugr and reduced uterine blood flow following the intravenous application of magnesium.* Hypertens. Pregnancy., 23(3): 331-343.
- TAKAYA J., KANEKO K. 2005. *Fetus and magnesium.* Clin. Calcium., 15(11): 105-110.
- WELTY S.E. 2001. *Is there a role for antioxidant therapy in bronchopulmonary dysplasia?* J. Nutr., 131(3): 947S-950S.
- WHITE D., WIDDOWSON E., WOODARD H., DICKERSON J. 1991. *The composition of body tissues (II). Fetus to young adult.* Br. J. Radiol., 64(758): 149-159.
- WIDDOWSON E., DICKERSON J. 1962. *Chemical composition of the body in mineral metabolism.* Academic Press, New York, pp. 1-247.
- ZIGLIARA J., CHAMPETIER M., BONAFOS M., LECANNELIER R., LECLEACH G., LALIAM B. 1971/1973. *L'hypomagnesémie et les avortements spontanés.* Int'l Symp. on Magnesium, 281-283.
- ZYLINSKA L., SOBOLEWSKA B., GULCZYNSKA E., OCHEDALSKI T., SOSZYNSKI M. 2002. *Protein kinases activities in erythrocyte membranes of asphyxiated newborns.* Clin. Biochem., 35(2): 93-98.

QUALITY OF UNDERGROUND WATER IN LUBLIN IN RELATION TO A SUPPLY POINT

Izabella Jackowska, Monika Bojanowska

**Department of Chemistry
Agricultural University of Lublin**

Abstract

The study was conducted on water supplied to inhabitants of Lublin. Samples of water were taken from 8 water supply points every three months of 2005. The content of Fe, Mn, Cr, Zn, Cd, Cu, Pb, Na, Mg, Ca ions and SO_4^{2-} , Cl^- , Cl_2 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- i F^- was determined. It was found out that tap water in Lublin is of very good nutritive quality. Owing to its high concentration of calcium and magnesium ions it can be classified as mineral water.

Key words: water, Lublin, metal ions, anions.

JAKOŚĆ WODY Z ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH LUBLINA W ZALEŻNOŚCI OD MIEJSCA POBORU

Izabella Jackowska, Monika Bojanowska

**Katedra Chemii
Akademia Rolnicza w Lublinie**

Abstrakt

Przeprowadzono badania wody, w którą zaopatrywani są mieszkańcy Lublina. W 2005 r. próbki pobierano co kwartał z 8 miejsc złoża podziemnego. Oznaczono w wodzie zawartość jonów: Fe, Mn, Cr, Zn, Cd, Cu, Pb, Na, Mg, Ca oraz SO_4^{2-} , Cl^- , Cl_2 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- i F^- . Stwierdzono, że badana woda charakteryzuje się bardzo dobrą jakością do celów spożywczych. Duża zawartość jonów wapnia i magnezu umożliwia zakwalifikowanie jej do wód mineralnych.

Słowa kluczowe: woda, Lublin, jony metali, aniony.

INTRODUCTION

Water is not only an essential ingredient of the living matter, but it is also a stimulus of certain processes that condition organic life. When flowing through the ground, water dissolves, oxidates and hydrolyzes chemical compounds transforming them into forms more easily absorbable by living organisms. Water, therefore, is an environment for migration of the majority of chemical elements in nature. Elements migrate in water in the form of ions, molecules, chelate compounds and colloidal particles (PASIUK-BRONIKOWSKA 1999, ZABIEGAŁA et al. 1999, ŚWIDERSKA-BROŻ 2001).

Both drinking water and water for household purposes must maintain quality standards in compliance with norms established by corresponding regulations (WHO Regulations 1998, ZERBE 1999, KUŁAKOWSKI 2003, RYBICKI 2003). Water must not contain any toxic or health-harmful substances; neither can it contain any substances that influence its taste and appearance. Water should be translucent, colourless, odourless and it should have a refreshing taste. It should also contain the proper amount of the elements vital to the normal functioning of an organism (e.g. F, Ca, Mg).

The inhabitants of Lublin (c. 360.000 people) use groundwater supplies solely, of the chalk layer mainly. The age of this water, which is about 30 years, guarantees its high mineral content, stable composition and purification of surface and rainwater substances (WILGAT 1998, 1999). The quality of drinking water must comply with the norms stipulated by the Decree by the Minister of Health (JoL. ,Nr 203, pos. 1718). That is why water analysis is necessary, both in supply points and at customers' households (Fe_{total} 0.2, Mg^{2+} 125, F^- 1.5, Mn^{2+} 0.05, Cr^{3+} 0.05, Pb^{2+} 0.05, Zn^{2+} 5, Cd^{2+} 0.003, Cu^{2+} 2, Na^+ 200, SO_4^{2-} 250, Cl^- 1.5, F^- 1.5, Cl_2 0.3 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) This work contains the results of research on groundwater carried out in 8 points of supply and conducted every quarter of the year 2005.

MATERIAL AND METHODS

Water-samples for the analyses were collected in February, June, September and December 2005 in 8 points of water supply: 1 – Centralna pump station, 2 – Felin, 3 – Felin dormitories, 4 – Zemborzycka, 5 – Bursaki, 6 – Dziesiąta, 7 – Sławinek, 8 – Wrotków. The ion content of water was determined using the nuclear absorption spectrometry method; the following ions were found: Fe, Mn, Cr, Zn, Cd, Cu, Pb, Na, Mg, Ca. The remaining ingredients were determined using the following methods: SO_4^{2-} potentiometric method, Cl^- – measurement method, AgNO_3 , Cl_2 – iodometric method, N-NH_4 – colorimetric indofenol meth-

od, N-NO₂ – fotometric method based on the reaction with hydrogensulphanilamide and N-1 – keroseneethylenediamine, N-NO₃ – colorimetric with sodium salicylate, F⁻ – photometric based on the reaction with alizarinzirconium lacque. Potentiometric method was employed for testing water pH.

RESULTS AND THEIR ANALYSIS

In all the points of supply, water had more or less the same acidity, with pH around 7.1–7.4. Among the tested ions of metals no Cr, Cd and Pb ions were detected in the water. Mn ions were detected in one point of supply (Centralna) amounting to 0.021–0.025 mg·dm⁻³. Cu ions were detected randomly in 3 points of supply (Centralna, Felin dormitories, Sławinkowska) amounting to 0.05, 0.015 and 0.025 mg·dm⁻³. Na ion content was different in corresponding points of supply – from 8.55 to 21.48 mg·dm⁻³. Yet, in all the points the Na content was on a similar level (Figure 1a).

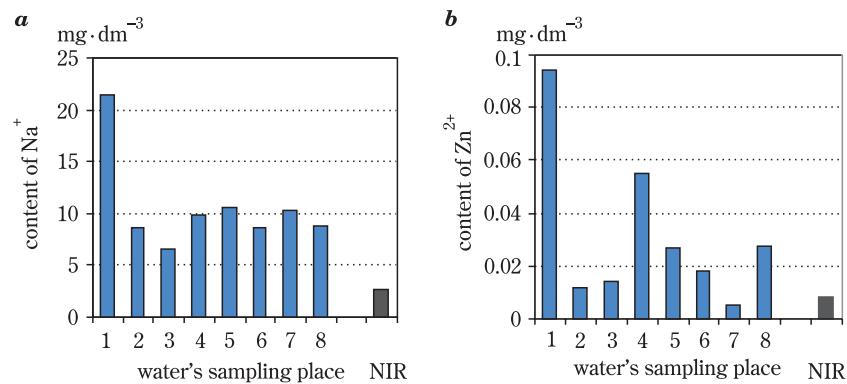


Fig. 1. Average amounts of Na⁺ (a) and Zn²⁺ (b) ions in water from different places of Lublin:
1– Central pump station, 2 – Felin, 3 – Felin dormitories , 4 – Zemborzycka, 5 – Bursaki,
6 – Dziesiąta, 7 – Sławinek, 8 – Wrotków

The Zn ion content was extremely varied in water from different points of supply, ranging from 0.005 to 0.098 mg·dm⁻³. In the samples from the Bursaki supply point the difference in the Zn ion content was double. Water from the remaining points of supply contained comparable Zn ion content in diverse periods of sampling (Figure 1b).

Only in 3 points of supply (Zemborzycka, Bursaki, Sławinek) was the Fe ion content below 0.02 mg·dm⁻³; in all the remaining points of supply it ranged from 0.048 to 0.094 mg·dm⁻³ (Figure 2a).

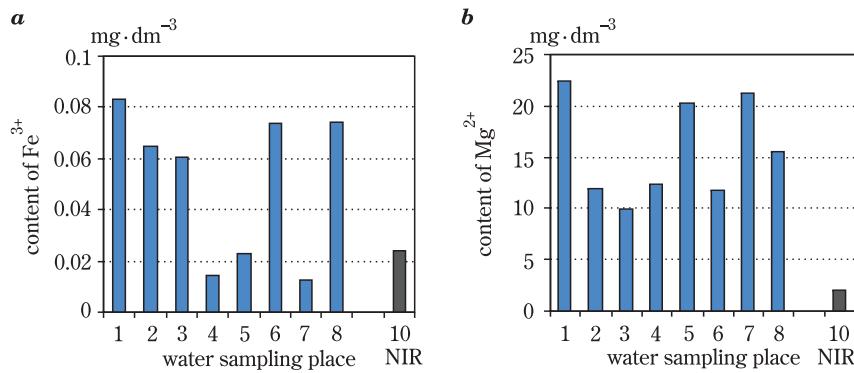


Fig. 2. Average amounts of Fe³⁺ (a) and Mg²⁺ (b) ions in water from different places of Lublin:
1– Central pump station, 2 – Felin, 3 – Felin dormitories , 4 – Zemborzycka, 5 – Bursaki,
6 – Dziesiąta, 7 – Sławinek, 8 – Wrotków

Water from various supply points contained from 9.7 to 22.6 mg·dm⁻³ of Mg ions. Nonetheless, all the points of supply were characterized by the Mg ion content on a comparable level (Figure 2b).

Among the water ingredients, attention is drawn to calcium and magnesium ions. In all the points of supply the total content of Ca ions was stable and equalled from 300 to 406 mg·dm⁻³ (Figure 3a).

Nitrogen was detected in the tested samples only in the form of N-NH₄ and N-NO₂ in the Centralna supply point in the amounts of 0.10–0.18 and 0.003–0.007 mg·dm⁻³, respectively. On the other hand, the N-NO₃ content was much more diversified – from 1.14 to 26.4 mg·dm⁻³. In the water from the Bursaki supply point it amounted from 21.8 to 26.4 mg·dm⁻³, which was several-fold higher than the N-NO₃ content in the water from the remaining points of

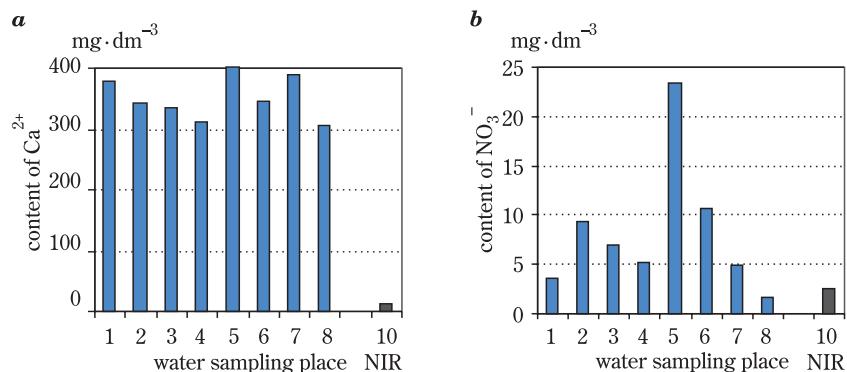


Fig. 3. Average amounts of Ca²⁺ (a) and NO₃⁻ (b) ions in water from different places of Lublin:
1– Central pump station, 2 – Felin, 3 – Felin dormitories , 4 – Zemborzycka, 5 – Bursaki,
6 – Dziesiąta, 7 – Sławinek, 8 – Wrotków

supply. The water from the Wrotków supply point is characterised by its very low N-NO₃ content – below 1.94 mg·dm⁻³ (Figure 3b).

The SO₄²⁻ ion content in the samples varied from 22 to 48 mg·dm⁻³ and was the lowest in the Wrotków supply point – from 22 to 26 mg·dm⁻³ (Figure 4a).

The amount of F⁻ ions was comparable in the water from all the supply points in corresponding periods of time. The average F⁻ ion content varied from 0.26 to 0.42 mg·dm⁻³ (Figure 4b).

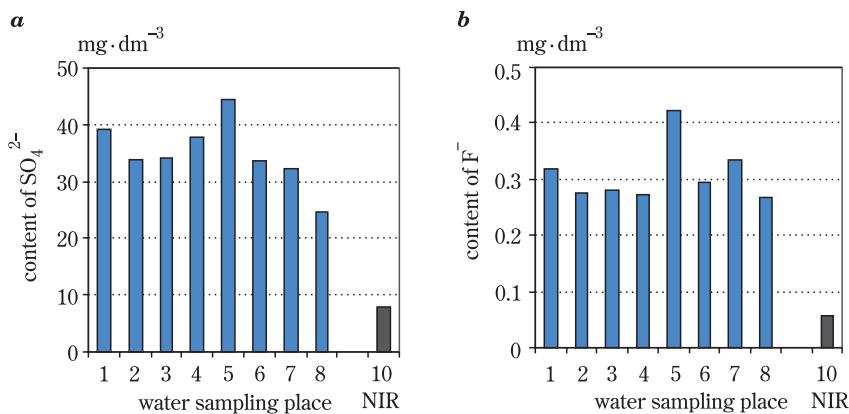


Fig. 4. Average amounts of SO₄²⁻ (a) and F⁻ (b) ions in water from different places of Lublin:
1– Central pump station, 2 – Felin, 3 – Felin dormitories , 4 – Zemborzycka, 5 – Bursaki,
6 – Dziesiąta, 7 – Sławinek, 8 – Wrotków

Chlorine in the form of Cl⁻ was found in water from only 3 supply points (Sławinek, Zemborzycka, Felin dormitories) and its amount ranged from 20 to 37.1 mg·dm⁻³ (Figure 5a).

In 6 supply points chlorine Cl₂ was detected below 0.10 mg·dm⁻³ and only in 2 supply points (Centralna and Felin) it reached 0.10-0.30 mg·dm⁻³ (Figure 5b).

Because the water-pipe network in Lublin covers a large area, water supplied to the network is disinfected with chlorine and chlorate(I) and in the Dziesiąta station it is treated with UV rays. Different disinfection methods find their reflection in the free chlorine content.

Being one of the basic components of the environment, water is most prone to pollution and threatened by contamination (JACKOWSKA, PIOTROWSKI 1996, SZPAKOWSKA, KARLIK 1996, HOFFMAN, PIECZYŃSKI 1998). However, the recently observed improvement of the quality of groundwater proves the efficiency of wide-scale environment protection enterprises. Limiting both the number of sources of pollution and the amount of pollutants emitted decreases both the potential and real danger of the degradation of groundwater supplies (PAWEŁEK 2000, ZABIEGAŁA et al., *Report on the condition of the environment of the Lublin region in the year 2002*).

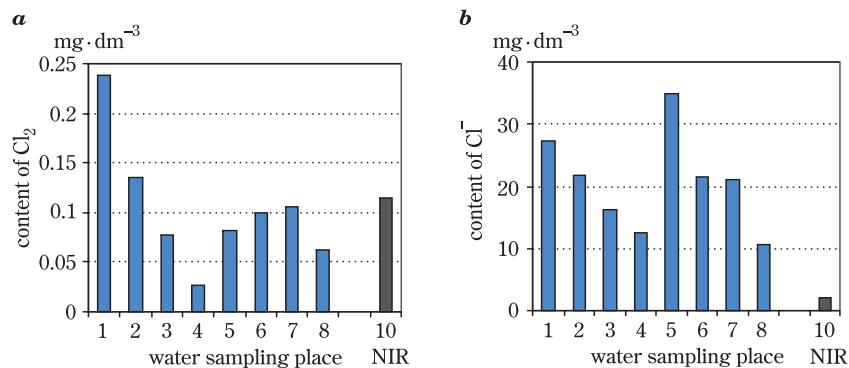


Fig. 5. Average amounts of Cl_2 (a) and Cl^- (b) ions in water from different places of Lublin:
1 – Central pump station, 2 – Felin, 3 – Felin dormitories, 4 – Zemborzycka, 5 – Bursaki,
6 – Dziesiąta, 7 – Sławinek, 8 – Wrotków

In general, groundwater is of good quality; better than surface water. Rational use of groundwater supplies guarantees their preservation for future generations (CHEŁMICKI 2001, PAWEŁEK 2000). Especially so, when taking into account the fact that the consumption of groundwater by industry is steadily falling. In 2001 the consumption for these purposes was 35% lower than in 1996 (*Report on the condition of the environment of the Lublin region in the year 2002*).

The research carried out in Lublin proved that the utility water layers of the region have maintained almost intact natural purity. The research also brought evidence that natural waters, being both the source of drinking water and water for domestic purposes, are solutions of mineral salts and dissolved gases, proportions of which depend on the water's origin.

CONCLUSIONS

1. Water in Lublin is characterised by very good quality due to the sources it is obtained from.
2. The composition of water is stable in every point of supply.
3. The content of the tested ingredients does not exceed the amounts allowed for drinking water.
4. High calcium and magnesium content makes it possible to classify water in Lublin among mineral waters.

REFERENCES

- CHEŁMICKI W. 2001. *Woda: zasoby, degradacja, ochrona*. PWN, Warszawa, ss. 42-63.
- HOFFMAN E., PIECZYŃSKI L. 1998. *Woda – problemy jej ochrony i gospodarowania zasobami*. Ekopartner, 718, 26-27.
- JACKOWSKA I., PIOTROWSKI J. 1996, *Degradacja wód przez wprowadzanie metali ciężkich*. V Pol. Symp. „Biopierwiastki i metale toksyczne w środowisku człowieka”. Wyd. PTMag., Warszawa, ss. 135.
- KUŁAKOWSKI P. 2003. *Nowe polskie prawodawstwo związane z monitoringiem jakości wody, ścieków i osadów ściekowych*. Czas. Tech., 4: 3-8.
- PASIUK-BRONIKOWSKA W. 1999. *Chemical transformations in atmospheric waters*. Arch. Ochr. Środ., 1: 9-20.
- PAWEŁEK J. 2000. *Ochrona jakości i zasobów wód*. II Międz. Konf. Nauk.-Tech. Zakopane – Kościelisko, 25-26 maja 2000 r. Wyd. PZITB, Kraków, ss. 184-192.
- Raport o stanie środowiska województwa lubelskiego w 2002 roku. 2003. Bibl. Monitoringu Środowiska, Lublin, ss. 94-102.
- RYBICKI S. 2003. *Wybrane uwarunkowania technologiczne dostosowania polskich przepisów dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia do dyrektyw UE*. Czas. Tech., 4: 77-94, 2003.
- SZPAKOWSKA B., KARLIK B. 1996, *Chemical forms of heavy metals in agricultural landscape water*. Pol. J. Environ., 6, 67-73.
- ŚWIDERSKA-BROŻ M. 2001. *Niepożądane zmiany jakości wody podczas jej oczyszczania i dystrybucji*. Inż. Ochr. Środ., I3/4: 283-300.
- WILGAT T. 1999. *Niektóre elementy gospodarki wodnej województwa lubelskiego w świetle danych statystycznych*. Ann. UMCS, B, 54: 235-277.
- WILGAT T. 1998. *Wody Lubelszczyzny*. Wyd. LTN, ss. 56-64.
- Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia. Zalecenie. 1998. Wyd. II, 1., ss. 166-170.
- ZABIEGAŁA B., KOT A., NAMIEŚNIK J. 2000. *Long-term monitoring of organic pollutants in water – application of passive dosimetry*. Chem. Anal., 5: 645-657.
- ZERBE J. 1999. *Kontrola jakości wody do picia i na potrzeby gospodarcze w małych miastach i gminach*. Prz. Komun., 7/8: 102-104.

**WPŁYW WYBRANYCH SORBENTÓW
MINERALNYCH NA PLONOWANIE
ORAZ ZAWARTOŚĆ KADMU I OŁOWIU
W GORCZYCY BIAŁEJ UPRAWIANEJ
NA OSADZIE POŚCIEKOWYM**

Katarzyna Kozłowska, Aleksandra Badura

**Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej
Akademia Rolnicza w Lublinie**

Abstrakt

Badano wpływ obecności zeolitów i selenianów na zmiany składu osadu pościekowego pochodzącego z oczyszczalni ścieków „Hajdów” oraz wpływ tych sorbentów na wzrost, rozwój i plonowanie gorczyicy białej odmiany “Borowska” oraz zmiany w składzie pierwiastkowym w badanych roślinach.

Stwierdzono, że dodatek zeolitów do podłoża wpływał na zmniejszenie zawartości Cd w osadzie, a także na znaczny wzrost biomasy badanych roślin gorczyicy. Zastosowane środki immobilizacyjne wpływały na zmniejszenie koncentracji kadmu i ołówku w roślinach.

Słowa kluczowe: sorbenty mineralne, kadm, ólów, osad pościekowy, gorczyca biała.

**INFLUENCE OF SOME MINERAL SORBENTS ON THE YIELD
OF WHITE CHARLOCK PLANTS GROWING ON SLUDGE CONTAMINED
WITH HEAVY METALS**

Katarzyna Kozłowska, Aleksandra Badura

**Chair of Agriculture and Environmental Chemistry
Agricultural University of Lublin**

Abstract

In the present study the influence of different binding agents (zeolites and selenites) on changes in the composition of sludge from the Hajdów wastewater and sewage treatment plant as well

prof. dr hab. Aleksandra Badura, Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20 – 950 Lublin, e-mail: aleksandra.badura@ar.lublin.pl.

as the effect of these binding agents on growth, development, yield and modification of the chemical composition of cv. Borowska white charlock were investigated.

It was observed that zeolites present in the substratum caused a considerable decrease of the cadmium content in the sludge and a large increase of biomass of plants. The mineral sorbents also depressed cadmium and lead concentration in white charlock plants.

Key words: mineral sorbents, cadmium, lead, sludge, white charlock.

WSTĘP

Osady pościekowe z oczyszczalni ścieków zawierają często znaczne ilości składników pokarmowych niezbędnych dla roślin, ale również mogą występować w nich metale ciężkie toksyczne dla organizmów żywych, a także czynniki chorobotwórcze, ograniczające możliwości ich przyrodniczego zagospodarowania (FILIPEK 2004). Dlatego też składowanie osadów ściekowych może stwarzać zagrożenie dla środowiska. Niezbędne jest więc opracowanie metod utylizacji osadów, a jednocześnie wykorzystanie składników pokarmowych w nich zawartych i zapewnienie bezpieczeństwa dla środowiska (RUTKOWSKA i in. 2004).

Zeolity są to uwodnione glinokrzemiany, które charakteryzują się wieloma właściwościami fizykochemicznymi, takimi jak: duża pojemność sorpcyjna i jonowa mienna, selektywność jonowymienna, właściwości sita molekularnego, aktywność katalityczna oraz termostabilność strukturalna w temp. do 700–750°C (ANIELAK i in. 2000, WASIAK i in. 2001, BADORA i in. 2005). Dzięki tym właściwościom zeolity znalazły zastosowanie w różnych dziedzinach życia, m. in. w oczyszczaniu wody i ścieków, unieszkodliwianiu różnych odpadów, a także usuwaniu metali ciężkich (WASIAK i in. 2001, BADORA 2003, BADORA i in. 2005).

Selen może oddziaływać z metalami ciężkimi, tworząc związki kompleksowe i powodując zmniejszenie ich szkodliwości. Stwierdzono, że może on powodować większy lub mniejszy detoksykujący efekt w zależności od indywidualnych cech organizmu oraz rodzaju użytego metalu (PAZURKIEWICZ-KOCOT i in. 2002).

Celem pracy było określenie wpływu zastosowanych środków immobilizacyjnych, takich, jak zeolity i seleniany (VI), na ograniczenie toksyczności kadmu i ołówku w osadzie ściekowym, a także określenie plonów roślin i niektórych stosunków między pierwiastkami w roślinach gorgczyca białej.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzone w Katedrze Chemii Rolnej i Środowiskowej Akademii Rolniczej w Lublinie oparto na ścisłym doświadczeniu wazonowym. Schemat doświadczenia obejmował 4 warianty, każdy w 3 powtórzeniach. Podłoże stanowił

osad pościekowy pochodzący z oczyszczalni ścieków „Hajdów” w Lublinie, wymieszany z jałowym piaskiem w stosunku 1,5 kg osadu : 0,5 kg piasku. Jednostką eksperymentalną był wazon zawierający 2 kg powietrznie suchej masy podłoża. W osadzie wyjściowym stwierdzono wysoką zawartość substancji organicznej (60,5%) oraz pH 5,8 (oznaczone w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$) i 6,1 (oznaczono w 6,1 w 0,01 mol $\text{CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$). Zawartość kadmu w osadzie wynosiła 15,81 mg $\text{Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$, a ołowi 3,16 mg $\text{Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Jako środki immobilizacyjne zastosowano zeolity (klinoptylolit), w ilości 10 g zeolitu $\cdot \text{kg}^{-1}$ osadu i 20 g zeolitu $\cdot \text{kg}^{-1}$ osadu, oraz selen, w ilości 1 mg $\text{Se} \cdot \text{kg}^{-1}$ osadu, w postaci $\text{Na}_2\text{SeO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$.

Rośliną testową była gorczyca biała odmiany „Borowska”. Do każdego wazonu wprowadzono 12 nasion, a po wejściu roślin w fazę wschodów, zredukowano ich liczbę do 6. Roślinom zapewniono we wszystkich obiektach identyczne warunki wzrostu i rozwoju, aż do stadium kwitnienia.

Po zakończeniu doświadczenia rośliny ścięto i określono świeżą i suchą masę części nadziemnych oraz suchą masę korzeni. Wysuszony materiał roślinny zminalizowano „na mokro” w mieszaninie mocnych kwasów HNO_3 i HClO_4 . W uzyskanych mineralizatach dokonano pomiaru zawartości: K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe oraz Cd i Pb metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA), a także Se ogółem metodą generacji wodorków. Materiał osadowy wysuszono i oznaczono w nim pH w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz 0,01 mol $\text{CaCl}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, zawartość pierwiastków śladowych w 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz zawartość selenu ogółem, metodą generacji wodorków.

Analizę wariancji wyników przeprowadzono stosując półprzedziały ufności Tukeya ($p=0,05$)

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wartości pH osadu po doświadczeniu nieznacznie wzrosły, jednakże zastosowanie środków immobilizacyjnych nie spowodowało zróżnicowania wartości pH w poszczególnych wariantach doświadczenia (tab. 1). Zastosowanie zeolitów oraz seleńianów wpłynęło na zróżnicowanie zawartości aktywnych form kadmu i ołowi w osadzie. Dodatek środków wiążących wpływał na obniżenie zawartości kadmu w osadzie, nie było to jednak różnice istotne statystycznie. Świadczy to o dużym pobraniu jonów Cd^{2+} przez rośliny i stosunkowo niewielkim wpływie obu zastosowanych środków wiążących na immobilizację tego pierwiastka w podłożu. Na wzrost zawartości ołowi w osadzie miał wpływ dodatek zeolitów, przy czym ich wyższa dawka dała lepszy efekt immobilizacyjny. Wskazuje to na duże powinowactwo jonów Pb^{2+} i zeolitów. Najniższą zawartość ołowi w podłożu zanotowano w obiekcie 4 (0 + Se) – tabela 1.

Table 1
Tabela 1

Zawartość kadmu, ołowi, selenu oraz wartości pH w podłożu po zbiorze gorczyicy białej
The content of cadmium, lead, selenium and values of pH in sludge under white charlock

Lp.	Obiekty Objects	pH _{KCl}	pH _{CaCl₂}	Cd (mg·kg ⁻¹)	Pb (mg·kg ⁻¹)	Se (mg·kg ⁻¹)
1	0	6.0	6.0	6.7	1.3	0.0
2	0 + zeolit – 1	6.1	6.3	5.8	1.4	0.0
3	0 + zeolit – 2	6.2	6.2	6.3	1.7*	0.0
4	0 + Se	6.2	6.2	6.1	1.0*	1.3
NIR		-	-	2.977	0.535	0.025

Dodatek zeolitów w mniejszej dawce spowodował ponad 70-krotny wzrost świeżej masy roślin w stosunku do kontroli, a w większej dawce – 60-krotny wzrost oraz ok. 20-krotny wzrost suchej masy roślin, zarówno części nadziemnych, jak i korzeni (tab. 2). Podobne tendencje potwierdzają badania BADORY (1999, 2005), które wskazują, że zeolity są środkami nietoksycznymi dla roślin i mogą być wykorzystywane w immobilizacji jonów metali toksycznych. Dodatek selenianów nie przyczynił się do zróżnicowania biomasy roślin gorczyicy (tab. 2).

Table 2
Tabela 2

Wpływ środków immobilizacyjnych na wielkość biomasy roślin gorczyicy białej
The influence of binding agents on biomass of white charlock plants

Lp.	Obiekty – Objects	Części nadziemne Over – ground parts (g)		Sucha masa korzeni Dry mass of roots (g)
		świeża masa fresh mass	sucha masa dry mass	
1	0	1.46	0.38	0.08
2	0 + zeolit – 1	104.86	12.9	1.53
3	0 + zeolit – 2	93.12	10.92	1.27
4	0 + Se	2.00	0.38	0.07

Wprowadzenie zeolitów do podłoża osadowego wpłynęło na wzrost akumulacji kadmu w częściach nadziemnych gorczyicy, szczególnie w obiekcie 2 (tab. 3). Zastosowane sorbenty obniżyły koncentrację kadmu w korzeniach gorczyicy oraz ołowi zarówno w częściach nadziemnych, jak i w korzeniach.

Natomiast dodatek selenianów wpłynął na ponad 5-krotny wzrost koncentracji Pb w korzeniach roślin gorczyicy (tab. 3). We wszystkich wariantach zeolity spowodowały obniżenie zawartości jonów Cd²⁺ i Pb²⁺ w korzeniach oraz ponad 90%

Table 3
Tabela 3

Wpływ środków immobilizacyjnych na zawartość Cd, Pb i Se w roślinach gorczycy białej
The influence of binding agents on Cd, Pb and Se amounts in white charlock plants

Lp.	Obiekty – Objects	Części nadziemne – Over - ground parts (g·kg ⁻¹)		
		Cd	Pb	Se
1	0	3.04	17.07	-
2	0 + zeolit – 1	12.62	1.71	-
3	0 + zeolit – 2	11.73	1.71	-
4	0 + Se	5.11	5.66	2.75
Korzenie – Roots (g·kg ⁻¹)				
1	0	23.96	7.29	-
2	0 + zeolit – 1	21.86	4.14	-
3	0 + zeolit – 2	21.82	5.52	-
4	0 + Se	15.15	41.67	5.30

spadek kumulacji ołówku w częściach nadziemnych gorczycy. Efekt ten potwierdzają dane literaturowe, które wskazują na większe powinowactwo jonów ołówku z sorbentami mineralnymi oraz jonów kadmu z sorbentami organicznymi, np. z kwasami huminowymi (BADORA 1999, KABATA-PENDIAS i in. 1999, AMIET 2002). Dodatek selenianów spowodował znaczny spadek koncentracji ołówku w częściach nadziemnych i kadmu w korzeniach oraz znaczny wzrost kumulacji ołówku w korzeniach gorczycy. Wg KABATY-PENDIAS (1999), interakcja między selenem a poszczególnym metalem zależy od ilościowych proporcji i może ograniczać pobieranie pierwiastków śladowych, a także może dać efekt synergiczny (KABATA-PENDIAS i in. 1999).

Stosunek **K : (Ca + Mg)** w większości wariantów doświadczenia przyjmował wartości optymalne (<2,1). Jedynie w obiekcie 3. dla części nadziemnych uległ znacznemu zwiększeniu i wyniósł 0,05. Najwyższe wartości stosunku tych jonów zanotowano w obiektach z selenem zarówno dla części nadziemnych, jak i dla korzeni gorczycy. Analizując stosunek **Fe : Mn**, optymalne wartości zaobserwowano w obiektach 2 i 3 dla części nadziemnych, gdzie zastosowano dodatek zeolitu. Rozszerzenie wartości stosunku Fe : Mn było szczególnie widoczne w korzeniach roślin. Znaczne pobranie żelaza mogło być spowodowane wysoką zawartością substancji organicznej w podłożu. Przypuszczenia te mogą potwierdzać badania BADORY (1999), w których przedstawiono wzrost pobrania tego pierwiastka przez rośliny uprawne na glebach nawożonych organicznie i wapnowanych, w porównaniu z jego pobraniem przez te rośliny z gleby bez wspomnianych czynników nawozowych. Wartości stosunku **Cd : Pb** były zróżnicowane i znacznie rozszerzone w obiektach 2 (0 + zeolit – 1) i 3 (0 + zeolit – 2). Może to potwierdzać tezę, że ołów ma

większe powinowactwo z sorbentami mineralnymi, co mogło z kolei doprowadzić do większej akumulacji Cd w roślinach (BADORA 1999, KABATA-PENDIAS i in. 1999, AMIET 2002). Obecność selenu nie wpłynęła znacząco na pobranie toksycznych pierwiastków przez rośliny (tab.4).

Table 4
Tabela 4

Wpływ środków immobilizacyjnych na stosunki między pierwiastkami w roślinach gorgczyca białej
The influence of binding agents on some ratios in white charlock plants

Lp.	Obiekty – Objects	Części nadziemne – Aerial parts		
		K : (Ca + Mg)	Fe : Mn	Cd : Pb
1	0	0.3	4.3	0.3
2	0 + zeolit – 1	0.2	1.6	12.9
3	0 + zeolit – 2	0.05	1.2	18.5
4	0 + Se	0.5	4.9	1.7
Korzenie – Roots				
1	0	0.3	55.7	6.1
2	0 + zeolit - 1	0.1	33.9	9.7
3	0 + zeolit - 2	0.2	40.8	7.3
4	0 + Se	0.7	58.5	0.7

WNIOSKI

1. Zastosowanie wszystkich środków immobilizacyjnych wpłynęło na zmniejszenie zawartości kadmu i ołówku w podłożu.
2. Dodatek zeolitów w obu dawkach wpłynął na znaczny wzrost biomasy roślin oraz zmniejszenie zawartości ołówku w częściach nadziemnych i w korzeniach gorgczyca białej.
3. Szerokie wartości stosunku Fe : Mn odnotowano w korzeniach badanych roślin. Świadczy to o znacznym pobraniu Fe przez korzenie i niedoborach Mn.
4. Obecność zeolitów w podłożu przyczyniła się do rozszerzenia stosunku Cd : Pb w częściach nadziemnych i w korzeniach gorgczyca.

PIŚMIENNICTWO

AMIET R. 2002. *Immobilisierung der Schwermetalle Zink und Cadmium durch die Bindemittel Polynukleares Keggin-Aluminium, Al-Montmorillonit und Zeolith*. Diplomarbeit, ETH, Zürich, Switzerland.

-
- ANIELAK A. M., PIASKOWSKI K. 2000. *Zeolity naturalne i ich zastosowanie w oczyszczaniu wody oraz ścieków*. Ekologia i Technika, 8(2): 31 – 41.
- BADORA A. 1999. *Mobilne formy wybranych metali w glebach oraz niektóre aspekty ich immobilizacji*. Rozpr. Nauk. AR w Lublinie.
- BADORA A. 2003. *Wpływ krzemianów i zeolitów na ograniczanie toksyczności niektórych metali*. W: Obieg pierwiastków w przyrodzie. T II. Red. B. GWOREK, J. MISIAK, ss. 586-593.
- BADORA A., KOZŁOWSKA K., HUBICKI Z. 2005. *Wpływ klinoptylolitu na wielkość biomasy i niektóre stosunki między pierwiastkami w życie jarym*. J. Elementol., 10(3): 673-681.
- FILIPEK T. 2004. *Wpływ osadu ściekowego z mleczarni i wapna defekacyjnego na wybrane właściwości chemiczne gleby*. Roczn. Glebozn., 55 (3).
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- PAZURKIEWICZ-KOCOT K., GALAS W. 2000. *Oddziaływanie selenu na akumulację sodu i niektórych metali ciężkich w tkankach Zea mays L.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 473: 211-217
- RUTKOWSKA B., SZULC W., ŁĄBĘTOWICZ J. 2004. *Ocena zagrożeń dla środowiska glebowego w warunkach wnoszenia metali ciężkich w komunalnym osadzie ściekowym*. Roczn. Glebozn., 55 (3).
- WASIAK W., RÓŻALSKA S. 2001. *Ograniczenie wymywalności metali z odpadów pogalwanicznych przez dodatek klinoptylolitu*. Mat. VII Forum zeolitowego, Wysowa, ss. 79-84.

PREFERENCJE KONSUMENTÓW ZWIĄZANE ZE SPOŻYWANIEM WÓD BUTELKOWANYCH

Maria Krełowska-Kułas

**Katedra Towaroznawstwa Żywności
Akademia Ekonomiczna w Krakowie**

Abstrakt

Badano preferencje konsumentów związane ze spożywaniem wód butelkowanych.

Stwierdzono, że preferencje były związane z zakupem wód butelkowanych „Nałęczowianka” (33%), „Muszynianka” (26%), „Piwniczanka” (19%) i piciem zgodnie z wiekiem i wykształceniem konsumentów.

Słowa kluczowe: butelkowane wody, wody mineralne, preferencje konsumentów.

CONSUMER PREFERENCES OF BOTTLED WATER

Maria Krełowska-Kułas

**Chair of Commodity Science of Food
Academy Economics of Cracow**

Abstract

The aim of the study was to examine consumers' preferences related to consumption of bottled waters.

It was found that the preferences related to bottled waters purchase („Nałęczowianka” (33%), „Muszynianka” (26%), „Piwniczanka” (19%)) and drinking were diversified according to the age and education of consumers.

Key words: bottled waters, mineral drinking waters, preferences of consumers.

WSTĘP

W ciągu ostatnich lat nastąpił w Polsce znaczny rozwój produkcji butelkowanych wód mineralnych oraz wyraźny wzrost ich spożycia. Często też poszukuje się wód niegazowanych, które wykorzystuje się nie tylko do picia. Jest to spowodowane przede wszystkim zmianą nawyków żywieniowych i przyjmowaniem wzorów zachodnich, ale również rozpowszechnianiem w prasie informacji o złej jakości wody wodociągowej (*Codex Alimentarius* 1996, JÓZEFIAK-GOSIEWSKA 2005, KREŁOWSKA-KUŁAS 2001).

Często konsument ma trudności w wyborze wody, więc najczęściej kieruje się wyglądem opakowania, ciekawą nazwą wody, rysunkiem na etykiecie lub też informacjami producenta. Producenci natomiast prześcigają się w reklamowaniu swych produktów, i przypisują im nawet właściwości lecznicze. Często też określają swoje wody jako „naturalne mineralne” pomimo że nazwa ta przysługuje obecnie tylko ściśle określonymu rodzajowi wody (KUCHARSKI 1999, WOJTASZEK 2004, WOJTASZEK 2005).

Wody butelkowane dzielą się na trzy rodzaje: naturalne wody mineralne, naturalne wody źródłane i wody mineralizowane, zwane stołowymi. Poza tą klasyfikacją są jeszcze lecznicze wody mineralne, lecz one nie nadają się do powszechnego używania i powinny być traktowane jako środki farmakologiczne stosowane według zaleceń lekarskich.

Według Rozporządzenia Ministra Zdrowia (Dz.U. RP. 2004 r., Nr 276, poz. 2738), *naturalną wodą mineralną* jest woda podziemna wydobywana jednym lub kilkoma otworami naturalnymi lub wierconymi, pierwotnie czysta pod względem chemicznym i mikrobiologicznym, charakteryzująca się stabilnym składem mineralnym oraz właściwościami mającymi znaczenie fizjologiczne, powodującymi korzystne oddziaływanie na zdrowie ludzi, określonymi według wymagań i kryteriów.

Według tego Rozporządzenia (Dz.U. RP. 2004 r., Nr 276, poz. 2738) *Naturalną wodą źródlaną* jest woda podziemna wydobywana jednym lub kilkoma otworami naturalnymi lub wierconymi, pierwotnie czysta pod względem chemicznym i mikrobiologicznym, nieróżniąca się właściwościami i składem mineralnym od wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, określonymi w przepisach o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę.

Woda stołowa to woda otrzymywana po dodaniu do wody źródłanej naturalnej wody mineralnej lub soli mineralnych, zawierających jeden lub więcej składników mających znaczenie fizjologiczne, jak: sód, magnez, wapń, chlorki, siarczany, wodorowęglany (Dz.U. RP. 2004 r., Nr 120, poz. 1256).

W zależności od zawartości sumy rozpuszczonych składników mineralnych w 1 litrze wody (DOMINKIEWICZ 1951; Dz.U. RP. Nr 120, poz. 1256; PN-Z-11001-1:1999; PN-Z-11001-2:1999; SZMYTÓWNA 1970), wyróżnia się wody:

- niskozmineralizowane (do 500 mg dm^{-3});

-
- średniozmineralizowane (więcej niż 500 i mniej niż 1500 mg dm⁻³);
 - wysokozmineralizowane (powyżej 1500 mg dm⁻³).

Według stopnia nasycenia dwutlenkiem węgla rozróżnia się następujące wody:

- nienasycone dwutlenkiem węgla – niegazowane;
- niskonasycone dwutlenkiem węgla – do stężenia 1500 mg CO₂ dm⁻³;
- średnionasycone dwutlenkiem węgla – od 1500 do 4000 mg CO₂ dm⁻³;
- wysokonasycone dwutlenkiem węgla – powyżej 4000 mg CO₂ dm⁻³.

W produkcji i obrocie wód butelkowanych w Polsce stosowana jest obecnie Polska Norma (PN-Z-11001:1999 *Butelkowane naturalne wody mineralne i lecznicze*), która jest zharmonizowana z przepisami europejskimi, oraz obowiązuje Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 kwietnia 2004 r., w sprawie naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródlanych oraz wód stołowych, oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródlanych oraz wód stołowych.

Woda butelkowana uznana za środek spożywczy powinna być oznakowana zgodnie z ogólnymi zasadami znakowania tych środków (Rozp. M.R.iG.Ż. z dn. 15 VII 1994; Rozp. M.Z. z dn. 29 IV 2004).

W warunkach klimatu umiarkowanego człowiek wypija codziennie od 1,5 do 2,5 dm³ wody (BERGER 1992, ZIEMIAŃSKI 2000). Wraz z nią są dostarczane do organizmu składniki mineralne. Najlepszą dla człowieka wodą do picia jest woda pochodząca z podziemnych pokładów, naturalna woda mineralna zawierająca w odpowiednich ilościach składniki pozytywnie oddziałujące na zdrowie człowieka. Spожywana w znacznych ilościach może stanowić uzupełniające źródło magnezu, wapnia, sodu, fluoru, jodu, żelaza i siarczanów. Organizm może przez dłuższy czas, bez szkody dla jego funkcjonowania, znieść niedobór węglowodanów i tłuszczy, a nawet witamin, natomiast niedobór składników mineralnych może spowodować poważne zaburzenia w jego funkcjonowaniu. Wody podziemne mogą zawierać nawet do 70 różnych składników, w tym wiele niezbędnych dla człowieka. Do najważniejszych, z żywieniowego punktu widzenia, należą wapń i magnez (PRZEGALIŃSKA 2005). Ilość wapnia waha się do 30 mg dm⁻³ w wodach miękkich, do 200 w wodach twardych i do 500 w wodach mineralnych, zawartość magnezu – od kilku do 300 mg dm⁻³ w wodach mineralnych (LATOUR 1999, WOJTASZEK 1998, 2000).

Z danych piśmiennictwa (BARYŁKO-PIKIELNA 1995, JANKOWSKI 1971, KUCHARSKI 2002, WOJTASZEK 2004) wynika, że w żywieniu ludzi mamy często do czynienia ze znacznymi niedoborami niektórych składników mineralnych. Deficyt ten może być spowodowany niedostateczną podażą w pokarmach, a także błędami żywieniowymi i występowaniem w postaci trudno rozpuszczalnych związków kompleksowych wapniowo-magnezowo-fosforanowych. Gdy niedobory wapnia i magnezu w całodziennych racjach pokarmowych różnych grup ludności sięgają nawet 50% (ŚMIĘGIEL-PAPIŃSKA i in. 2001), woda mineralna może stanowić uzupełnienie podaży tych pierwiastków, ważnych dla funkcjonowania i rozwoju organizmu oraz w zapobieganiu chorób.

niu wielu schorzeniom jak miażdżyca, osteoporoza i nowotwory (WOJtaszek 1998, 2004).

W państwach mających tradycje gospodarki rynkowej przywiązuje się wiele uwagi do konsumenckiej oceny produktów żywnościowych. Oceny te są ponadto przedmiotem badań naukowych, a ich wyniki śledzą producenci i handlowcy. Badanie postępowania konsumenta na rynku obejmuje poznanie zachowań, opinii i postaw, preferencji i upodobań, motywów postępowania oraz planów zakupu. Najczęściej stosowaną metodą badania postępowania konsumenta na rynku jest metoda ankietowa.

Na wybór żywności przez konsumentów wpływa wiele czynników. Odnoszą się one do samej żywności, konsumenta oraz czynników zewnętrznych, tj.: ekonomicznych, kulturowych i socjologicznych. Wszystkie wpływają na wybór żywności i jej spożycie (BARYŁKO-PIKIELNA 1995). Prac z zakresu oceny i wyboru przez konsumentów wód butelkowanych jest niewiele. Dlatego też celem pracy były badania nad preferencjami konsumentów związanymi ze spożywaniem wody butelkowanej.

MATERIAŁ I METODY

W 2004 r. w Katedrze Towaroznawstwa Żywności badano preferencje konsumentkie związane ze spożywaniem wód mineralnych butelkowanych. Badania przeprowadzono metodą ankietową, z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza, wśród 430 losowo wybranych respondentów w okresie od stycznia do końca grudnia 2004 r., na terenie miasta Krakowa i jego okolic. Grupa konsumentów uczestniczących w badaniu charakteryzowała się następującymi cechami:

- 1) płeć i wiek: kobiety – 73%, mężczyźni 27%, poniżej 27 lat – 28%, 26–35 lat – 23%, 36–45 lat – 25%, powyżej 45 lat – 24%;
- 2) wykształcenie: podstawowe – 8%, zawodowe – 19%, średnie – 35%, wyższe – 38;
- 3) liczba osób w gospodarstwie domowym: 1-osobowe – 10%, 2-osobowe – 21%, 3-osobowe – 34%, 4-osobowe – 28%, 5-osobowe i większe – 7%;
- 4) dochód miesięczny na 1 osobę: do 200 zł – 3%, 200–400 zł – 31%, 400–600 zł – 49%, powyżej 600 zł – 17%.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że 52% konsumentów kupowało wodę butelkowaną niegazowaną, a 48% wodę butelkowaną gazowaną. Picie wody za-

równo gazowanej, jak i niegazowanej było sezonowe. W okresie zimowym, tzn. w styczniu, lutym, marcu i grudniu, obserwowało statystycznie istotne spożycie przez respondentów wód niegazowanych w porównaniu z wodami gazowanymi.

Konsumenci dokonywali zakupu wód butelkowanych, tj. naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródłanych i wód stołowych, w nowoczesnych kanałach dystrybucji, tj. w supermarketach (22%), hipermarketach (20%), i w handlu tradycyjnym, tj. w małych sklepach spożywczych (25%), średnich sklepach spożywczych (21%), dużych sklepach spożywczych (10%) i w sklepach winno-cukierniczych (2%).

Na decyzję zakupu wody mineralnej miał także wpływ rodzaj opakowania (68% osób odpowiedziało twierdząco). Najczęściej była kupowana woda mineralna w plastikowych butelkach o pojemności 1,5 dm³, następnie w małych butelkach szklanych o pojemności 0,33 dm³. Opakowania 1,5 dm³ PET były preferowane najbardziej przez osoby w wieku 20–30 lat i powyżej 50 roku życia, m.in. ze względu na swoją funkcjonalność i niską masę opakowania.

Największą popularnością wśród respondentów cieszyły się: „Nałęczowianka” (33%), woda mineralna z ujęcia Antopol w Nałęczowie (tab. 1). Drugie miejsce zajęła „Muszynianka” (26%), woda mineralna z ujęcia Antoni i Łukasz w Muszynie. Respondenci opisali ją jako smaczną, o lekko słonawym posmaku, w niewielkim stopniu naturalnie gazowaną. Na 3. miejscu wymieniono „Piwnicankę” (19%), wodę wysokozmineralizowaną z ujęcia Piwniczna Zdrój. Kolejne miejsca zajęły „Żywiec Zdrój” (7%), woda wydobywana z ujęcia w Cięcinie koło Żywca, „Kinga” (5%), woda mineralna z ujęcia św. Kingi w Krościenku nad Dunajcem, „Buskiwianka Zdrój” (3%), woda średniozmineralizowana z ujęcia Nowy Nurek w Busku Zdroju, „Galicyjanka” (3%), woda wysokozmineralizowana z ujęcia Muszyna na terenie Popradzkiego Parku Krajobrazowego, „Arctic” (2%), woda średniozmineralizowana z ujęcia Białowieski Zdrój w Bielsku Podlaskim. Na ostatnich dwóch miejscach uplasowały się: „Jodis” (1%), woda z ujęcia Maksymilian w Mieszawie, oraz woda mineralna „Bonaqua” (1%).

Główym czynnikiem decydującym o wyborze wody butelkowanej był jej smak i przyzwyczajenie konsumenta oraz estetyka opakowania. Pewne znaczenie, chociaż niewielkie, miały cena, zapach i zakres informacji zawartych na opakowaniu (62% respondentów odpowiedziało twierdząco, a 38% negatywnie). Większość ankietowanych (89%) uważała informacje podane na etykietach za zrozumiałe i konieczne, a dla 11% były zbędne. Do najczęściej wykorzystywanych informacji należały skład chemiczny oraz funkcje zdrowotne wód butelkowanych. Ze wzrostem wieku ankietowanych osób wzrastał popyt na naturalne wody mineralne. Najmniej istotnymi dla konsumentów czynnikami przy wyborze wód okazały się reklama (5%) i nowości na rynku wód butelkowanych (2%).

Nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu płci i sytuacji materialnej respondentów na częstotliwość zakupu wód butelkowanych.

Table 1
Tabela 1

Procentowy udział wód mineralnych najczęściej kupowanych przez respondentów
Percentage of mineral waters most often purchased by consumers

Nazwa wody Brand name	Udział procentowy Percentage
Nałęczowianka	33
Muszynianka	26
Piwniczanka	19
Żywiec Zdrój	7
Kinga	5
Buskowianka Zdrój	3
Galicjanka	3
Arctic	2
Jodis	1
Bonaqua	1

Duży wpływ na zakup rodzaju wód butelkowanych miało wykształcenie ankietowanych. Wraz ze wzrostem poziomu wykształcenia malała częstotliwość zakupu wód niskozmineralizowanych, natomiast wzrastała częstotliwość zakupu wód wysoko zmineralizowanych.

Analizując wpływ wysokości dochodu w rodzinie, stwierdza się, że konsumenci o wyższym dochodzie preferowali wody wysoko zmineralizowane.

Niewielkim zainteresowaniem wśród respondentów cieszyły się wody zagraniczne.

WNIOSKI

Otrzymane wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- konsumenci najczęściej kupowali naturalną wodę mineralną „Nałęczowiankę” (33%). Drugie miejsce zajęła „Muszynianka” (26%), trzecie – woda mineralna „Piwniczanka” (19%);
- na rynku krakowskim 52% konsumentów kupowało wodę butelkowaną niegazowaną, a 48% wodę butelkowaną gazowaną;
- konsumenci najczęściej kupowali wody butelkowane w małych sklepach spożywczych (25%);

- najczęściej kupowano wodę mineralną w butelkach plastikowych o pojemności 1,5 dm³, a następnie o pojemności 0,33 dm³;
- głównym czynnikiem decydującym o wyborze wody butelkowanej był smak i przyzwyczajenie konsumenta;
- najważniejszą informacją na etykiecie wody był dla respondenta skład chemiczny oraz funkcje zdrowotne;
- wraz ze wzrostem wieku ankietowanych osób wzrastał popyt na naturalne wody mineralne;
- ze wzrostem poziomu wykształcenia malała częstotliwość zakupu wód nisko-zmineralizowanych, a rosła wysokozmineralizowanych;
- konsumenci o wyższym dochodzie w rodzinie preferowali wody wysokozmineralizowane.

PIŚMIENNICTWO

- BARYŁKO-PIKIELNA N. 1995. *Konsument a jakość żywności. Żywn. Techn. Jakość*, 4: 5-10.
- BERGER S. 1992. *Dietary guidelines and human nutrition science*, Pol. J. Food Nutr. Sci., 1: 5-13.
- Butelkowane naturalne wody mineralne i lecznicze. Wymagania jakościowe i badania dotyczące butelkowanych naturalnych wód mineralnych.* PN-Z-11001-2:1999.
- Butelkowane naturalne wody mineralne i lecznicze. Terminologia i klasyfikacja.* PN-Z-11001-1:1999.
- Codex standard for natural mineral waters.* 1996. Codex Alimentarius, vol. 11.
- DOMINIĘKIEWICZ M. 1951. *Wody mineralne Polski.* PZWL, Warszawa.
- JANKOWSKI J. 1971. *Balneologia kliniczna,* PZWL, Warszawa.
- JÓZEFIAK K., GOSIEWSKA A. 2005. *Rynek zimnych napojów bezalkoholowych.* Przem. Ferm., 7: 29-30.
- KREŁOWSKA-KUŁAS M. 2001. *Właściwości butelkowanych naturalnych wód mineralnych.* Zesz. Nauk. WSPiM w Chrzanowie, 5: 261-267.
- KUCHARSKI M. 1999. *Aktualności rozlewnictwa butelkowanych wód w Polsce.* Przem. Ferm., 1: 49-50.
- KUCHARSKI M., RUSZCZEWSKI P. 2002. *Butelkowane uzdrowiskowe wody mineralne Polski i ich działania profilaktyczno-lecznicze.* •ródło, 1: 5-12.
- LATOUR T. 1999. *Wody butelkowane – aktualne wymagania jakościowe i sanitarne.* Przem. Ferm., 1: 44-46.
- PRZEGALIŃSKA M.J. 2005. *Duża dynamika rozwoju branży wód i napojów.* Przem. Ferm., 6: 6 i 8.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 15 lipca 1994 r. w sprawie znakowania środków spożywczych, używek i substancji dodatkowych dozwolonych przeznaczonych do obrotu* (Dz.U. Nr 86, poz. 402 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródlanych i wód stołowych* (Dz.U. RP. Nr 120, poz. 1256).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2004 r. zmieniające rozporządzenia w sprawie naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródlanych i wód stołowych* (Dz.U. Nr 276, poz. 2738).

-
- SZMYTÓWNA M. 1970. Chemia wód mineralnych i paleolitów paleolitów Polsce. PZWL, Warszawa.
- ŚMIGIEL-PAPIŃSKA D., WÓJCIAK R.W., KREJCIO Z. 2001. *Wody mineralne jako źródło przyswajalnego wapnia i magnezu*. Bromat. Chem. Toksykol., 2: 105-109.
- WOJTASZEK T. 1998. *Jakie mamy wody mineralne*. (Cz. I, Aura, 2: 22-23.
- WOJTASZEK T. 1998. *Wody mineralne – jako czynnik ekologicznej profilaktyki zdrowotnej*. Cz. II. Aura, 2: 24-25.
- WOJTASZEK T. 2000. *Woda mineralna jest doskonałym czynnikiem ekologicznej profilaktyki zdrowotnej – ale trzeba wiedzieć, co się pije*. Przem. Ferm., 9: 12 i 14.
- WOJTASZEK T. 2004. *Czy przepisy o wodach mineralnych muszą być tak skomplikowane*, Przem. Ferm., .5: 43-44.
- WOJTASZEK T. 2004: *Napoje funkcjonalne. Wody magnezowo-wapniowe*. Przem. Ferm., 5: 42-43.
- WOJTASZEK T. 2004. *Prawda o wodach mineralnych i innych wodach butelkowanych*. Aura, 9: 10-12.
- WOJTASZEK T. 2005. *Czym są wody mineralne w świetle polskich przepisów?* Przem. Ferm., 6: 30-31.
- ZIEMIAŃSKI Ś. 2000. *Znaczenie wody w organizmie człowieka. •ródło*, 1: 10-16.

**CHEMICAL COMPOSITION OF REED
PHRAGMITES AUSTRALIS (CAV.) TRIN.
EX STEUD. VERSUS DENSITY
AND STRUCTURE OF PERIPHYTON
IN VARIOUS AQUATIC ECOSTSEMS**

**Krystian Obolewski¹, Agnieszka Strzelczak²,
Anna Kiepas-Kokot³**

¹**Department of Ecology and Protection of the Sea,
Pomeranian Pedagogical University in Słupsk**

²**Institute of Chemistry and Environmental Protection,
Szczecin University of Technology**

³**Department of Environmental Protection and Management,
Szczecin University of Agriculture**

Abstract

Analyses of three macroelements and six microelements in reed stems, accompanied by investigation of periphyton density were carried out in two reservoirs: Żarnowieckie Lake and Puck Bay. To reveal the influence of chemical composition of biotic substrate on periphyton qualitative and quantitative characteristics, ordination methods were applied (PCA, CCA, DCA, RDA). The results indicated that Copepoda (Harpacticoida) and Chlorophyta preferred reed substrate with relatively high zinc, sulfur and chromium but low manganese and carbon content. In turn, Nematoda reached the highest density on a substrate rich in manganese. Mercury in reed limited density of Arachnidae-Hydrachnella and Chironomidae larvae, an effect which was not observed for Ciliata libera. Copepoda (Harpacticoida) preferred low chromium and lead content and high carbon/nitrogen ratio, which meant low nitrogen concentration in the reed substrate. Moreover, preferences of Nematoda and Bacillariophyta for freshwaters and Copepoda for brackish waters were indicated.

The results presented in this paper should be treated as a contribution to more detailed research on interactions between reed chemical composition and periphyton density.

Key words: reed, content of chemical elements, periphyton, ordination.

**WSTĘPNA OCENA WPŁYWU SKŁADU CHEMICZNEGO TRZCINY PHRAGMITES
AUSTRALIS (CAV.) TRIN. EX STEUD. NA WIELKOŚĆ ZAGĘSZCZENIA
OBRASTAJĄCEGO JĄ PERIFITONU**

Krystian Obolewski¹, Agnieszka Strzelczak², Anna Kiepas-Kokot³

¹**Zakład Ekologii i Ochrony Morza,
Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku**

²**Instytut Chemii i Ochrony Środowiska,
Politechnika Szczecińska**

³**Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska,
Akademia Rolnicza w Szczecinie**

Abstrakt

Dokonano analiz zawartości trzech makro- i sześciu mikroskładników w łodygach trzciny oraz zagęszczenia obrastającego ją perifitonu w dwóch akwenach: Jeziorze Żarnowieckim i Zatoce Puckiej. W celu uchwycenia wpływu składu chemicznego podłożu na skład jakościowy i ilościowy organizmów poroślowych zastosowano metody ordynacyjne (PCA, CCA, DCA, RDA). Stwierdzono, że Copepoda (Harpacticoida) oraz Chlorophyta preferują podłoże trzcinowe o relatywnie wysokiej zawartości cynku, siarki i chromu, natomiast niskiej manganu i węgla. Z kolei Nematoda w największym zagęszczeniu występuje na podłożu bogatym w mangan. Hg w trzcinie limituje zagęszczenie Arachnidae-Hydrachnella oraz Chironomidae larvae, czego nie obserwuje się w przypadku *Ciliata libera*. Copepoda (Harpacticoida) preferowały niskie stężenie chromu i ołówku, wysoki stosunek zawartości węgla do azotu, a tym samym niskie stężenie azotu w podłożu trzcinowym. Ponadto wykazano stokrowodne preferencje Nematoda i Bacillariophyta i słonowodne Copepoda (Harpacticoida)

Prezentowane w niniejszej pracy wyniki należy traktować jako przyczynę do głębszych badań nad powiązaniem składu chemicznego trzciny i zagęszczeniem perifitonu.

Słowa kluczowe: trzcinina, zawartość pierwiastków, perifiton, ordynacje.

INTRODUCTION

Occurrence of plant species in a reservoir is determined by its trophic state, oxygenation, thermal conditions and contamination. Biodiversity and chemical composition of plants may indicate the present condition and changes in a habitat (HOOTSMANS, VERMAAT 1992, KIRYLUK 2005, STANISZEWSKI et al. 2004). Common reed *Phragmites australis* is a widely-spread rush species in coastal lakes. This plant determines the trophic state as it influences concentration of biofilm elements, which it accumulates in tissues and subsequently releases to a habitat, thus accelerating eutrophication (PIĘCZYŃSKA 1988).

Due to its widespread occurrence as well as an ability to accumulate pollutants, reed is a preferred botanical treatment plant, referred to as "a reed treatment plant". Tissues of this macrophyte can accumulate both nutrients and heavy

metals (DE LAING et al. 2006, KIRYLUK 2005 et al. 1997). Additionally, reed is an easily accessible vertical substrate for a large group of aquatic organisms, called periphyton or epiphytic organisms (PIESIK, OBOLEWSKI 2000).

The first studies on periphyton concerned protection of hydrotechnical equipment against overgrowing by these organisms (RELINI, ORSI 1970). Factors potentially influencing epiphytic communities are light, temperature, motion of waves, type of substrate, water chemistry and feeding on periphyton (ALLAN 1998, MIHALJEVIĆ et al. 1998). Although the influence of the consecutive factors has been studied, scant information is available on chemical fight of reed against epiphytic organisms. Aquatic plants, including reed, release chemical substances containing heavy metals, which can reduce the density of more sensitive periphyton organisms (BURK et al. 2000, LAKATOS et al. 1999). This has also been proved by comparative studies of epiphytic communities on artificial and biotic substrate (PIESIK, OBOLEWSKI 2000, OBOLEWSKI 2006). Difficulties revealing the direct impact of a biotic substrate chemical composition on periphyton density are mainly caused by overlapping influences of the consecutive factors affecting the overgrowing processes. However, it has been observed that periphyton prefers some rocky substrates. In the streams of Montana, Chrysophyta (*Hydrurus* sp.) appeared mostly on limestone, Chlorophyta (*Monostroma* sp.) on rocks rich in iron, while Rhodophyta (*Batrachosperum* sp.) did not show any preferences of this kind (ALLAN 1998).

The objective of this study was to carry out a preliminary assessment of the relationships between chemical composition of reed, with special emphasis on heavy metals, and density of periphyton in reservoirs with different environmental conditions, namely in coastal Żarnowieckie Lake and Puck Bay.

MATERIALS AND METHODS

Sampling sites

The study was conducted in freshwater Żarnowieckie Lake (lying in a cryptodepression) and saline Puck Bay (Figure 1). The lake, located in the Wysoczyzna Żarnowiecka, covers an area of 1431 ha, is 7.6 km long and 2.6 km wide, and its maximum depth is 16 m. There is a river, the Piastnica River, which flows through the lake. It is only the western shore of the lake which is covered with rushes, mainly reed and common club-rush. The sampled area of Puck Bay was an internal bay between Puck and Jastarnia, which is under influence of freshwaters from a tributary called the Plutnica.

Reed samples were collected in Żarnowieckie Lake in June, 2005, at 6 sampling sites, evenly distributed along the western shore of the lake. Recently, fields of reed in Puck Bay have been considerably reduced due to some earth-

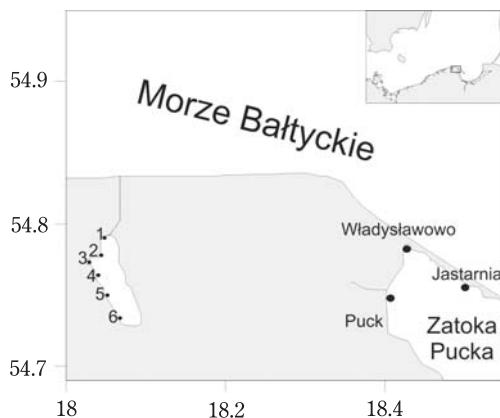


Fig. 1. Location of sampling sites

works conducted in that area. Moreover, reed avoids saline waters, limiting its occurrence to a narrow, coastal strip. As a result, only 3 sampling sites were chosen.

Fragments of reed were sampled from the outer zone of fields of reed (depth 0.5–1.0 m) by cutting out 3 shoots at each sampling site. Then, 3 segments, 10–12 cm long, were cut out from every shoot at three levels: surface (just below the water surface), middle and bottom (in total 9 sub-samples). Reed sampling was followed by analyses of the periphyton removed from the reeds according to the methodology given by OBOLEWSKI (2006).

The dry plant material was homogenized in a laboratory mill. Concentrations of N, C and S were directly analyzed using an elementary analyzer CNS. Concentrations of heavy metals (Zn, Mn, Cd, Pb except for Hg), were determined after wet mineralization of the plant material in a closed microwave system, using a mixture of concentrated nitric and perchlorate acids (4:1 V/V) with addition of 30% hydrogen dioxide solution. The material was analyzed for metal concentrations with flame atomic absorption spectrometry. Hg content in the samples was determined by direct combustion in oxygen in an automatic mercury analyzer. In order to assess measuring errors, the concentrations obtained were compared to results for two certified plant materials (mixture of herbs and tea leaves): INCT-MPH-2 and INCT-TL-1. The calculated measuring error did not exceed 5% of the certified value.

Prior to statistical analyses, the data set was transformed in order to obtain normal distribution of the consecutive variables and to eliminate influence of rare species. The transformation was $\log(x+1)$, which is applicable to data with null values and, owing to subsequent ordination analyses, enables researchers to avoid negative values.

Significance of differences in reed chemical composition and periphyton density between the sampled reservoirs was determined by ANOVA. Homogeneity of variance was assessed by Brown-Forsythe test.

Next, ordinations, a widely-used family of multidimensional exploration methods, were applied in order to reveal the relationships between ecological communities. Interactions and redundancy between the predictors (content of chemical elements) were explored by Principal Component Analysis (PCA), based only on chemical data, and additionally with the Variance Inflation Factor (VIF) in Canonical Correspondence Analysis (CCA), which involved both reed chemical composition as well as periphyton taxonomic composition. Using Detrended Correspondence Analysis (DCA), the gradient of DCA first axis was determined and then interactions between reed chemical composition and epiphytic community structure were determined with the help of Redundancy Analysis (RDA) (TER BRAAK 1995).

ANOVA and PCA analyses were performed using STATISTICA 6.1 software (StatSoft 2002), while CCA, DCA and RDA in R environment (the R Foundation for Statistical Computing) (TER BRAAK 1986, LEGENDRE, LEGENDRE 1998, HILL, GAUCH 1980, OKSANEN, MINCHIN 1997).

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical composition of reed

Reed from 6 sampling sites on Żarnowieckie Lake and 3 other sites on Puck Bay was analyzed. Content of the following chemical elements was determined: N, C, S, Hg, Zn, Cr, Mn, Cd and Pb (Table 1).

Plants absorbed considerable amounts of macroelements, with quantities of carbon reaching the highest concentration. This is typical due to widespread occurrence of carbon in the environment (BALDANTONI et al. 2004). Nitrogen mass fraction varied between 0.538 and 1.006% for Żarnowieckie Lake and between 0.723 and 0.906% for Puck Bay. The highest N contents were observed in reed next to a ditch supplying Żarnowieckie Lake with water and near Puck in the Plutnica estuary. Reed can accumulate nitrogen in tissues, especially in places with high N concentration in environment (BERNATOWICZ 1969).

Availability of nitrogen released during organic matter decomposition depends on its C:N ratio. The ratio of carbon to nitrogen observed at all the sampling sites was high (over 32:1), which hampered mineralization of organic substance and intensified nitrogen accumulation in plants (THOMPSON, TROEH 1978). This ratio also indicated high vegetation level of the analyzed reed.

As for heavy metals, zinc reached the highest concentration in reed tissues - on average 12.21 mg kg^{-1} d.m. in Żarnowieckie Lake and 23.73 mg kg^{-1} d.m.

Table 1
Tabela 1

Content of macroelements and heavy metals in reed in the two reservoirs

Sampling site	Macroelements (%)			C/N	Heavy metals (mg kg ⁻¹ d.m.)			
	N	C	S		Hg	Zn	Cr	Mn
<i>Żarnowieckie Lake</i>								
1	0.628	46.155	0.031	73.5	0.029	10.45	0.05	15.40
2	0.848	45.495	0.067	53.7	0.010	9.00	0.05	19.35
3	0.750	45.537	0.020	60.7	0.008	21.10	0.05	15.60
4	1.006	44.558	0.033	44.3	0.008	14.40	0.05	28.20
5	0.921	45.643	0.084	49.5	0.034	8.30	0.05	30.70
6	0.538	45.992	0.000	85.5	0.009	10.00	0.05	20.80
Mean	0.782	45.563	0.039	61.2	0.016	12.21	0.05	21.68
SD	0.178	0.558	0.031	15.6	0.012	4.85	0.00	6.43
<i>Puck Bay</i>								
Puck	0.906	42.733	0.146	47.2	0.016	28.65	8.60	12.85
Władysławowo	0.787	43.460	0.158	55.2	0.011	28.60	0.05	6.50
Jastarnia	0.723	44.105	0.153	61.0	0.018	13.95	0.05	23.40
Mean	0.805	43.433	0.152	54.5	0.015	23.73	2.90	14.25
SD	0.093	0.686	0.006	6.9	0.004	8.47	4.94	8.54

SD - standard deviation

in Puck Bay. These values are two-fold lower than a content typical of reed growing in melioration ditches but comparable with plants from meadow moors (KIRYLUK 2005, URBAN, WOJCIECHOWSKA-KAPUSTA 1999).

Mercury concentration in reed was at a relatively stable level (SD – 0.004-1.012). The vicinity of Żarnowieckie Lake and the examined area of Puck Bay are generally free of heavy industry, therefore the environment is not polluted by mercury. In reservoirs contaminated by raw municipal sewage, concentration of Hg built in reed stem tissues is considerably higher, at a level of 10.5 mg kg^{-1} (SZYMANOWSKA et al. 1999).

ENDLER and GRZYBOWSKI (1996) analyzed aquatic plants in Wadąg Lake near Olsztyn. The amount of cadmium contained in common reed (on average 0.035 mg kg^{-1}) was similar to concentrations found in reed from Żarnowieckie Lake. In turn, the content of cadmium in reed from Puck Bay was comparable to the results cited by GRZYBOWSKI et al. (2005) for reed growing near an edge of forest, in a lake and in a melioration ditch ($0.026\text{-}0.029 \text{ mg kg}^{-1}$). KABATA-PEDIAS and PEDIAS (1999) assayed the lead concentration in grass from areas free of direct contamination within the range $0.4\text{-}2.5 \text{ mg kg}^{-1}$ and this suits the results from our study.

The amount of chromium in reed stems from Żarnowieckie Lake was low, which indicated lack of industrial contamination in this reservoir. The Cr content was comparable to concentrations from South American palustrine fields of reed (BURKE et al. 2000), but 30-times lower than in lakes near Poznań, influenced by raw municipal sewage (SZYMANOWSKA et al. 1999).

Compared to the investigation of reed chemical composition conducted by PEVERLY et al. (1995), the accumulation of manganese in reed from Żarnowieckie Lake was two-fold lower; in the case of reed from Puck Bay, four-fold less manganese was accumulated.

Periphyton density

In Żarnowieckie Lake, Nematoda was the dominant taxon among microzooperiphyton inhabiting reed (97% of the total periphyton density). Nematoda includes species feeding on epiphytic algae, which in turn absorb nutrients dissolved in water (PIESIK 1992). The remaining taxa reached much lower densities and did not contribute considerably to the epiphytic microfauna density (Table 2). Other investigations carried out in lakes and in Pomeranian Bay (OBOLEWSKI 2006, PIESIK, OBOLEWSKI 2000, PIESIK, WAWRZYNIAK-WYDROWSKA 2003) indicated Protozoa or Rotatoria as dominant taxa.

Density of macrozooperiphyton was dominated by Trichoptera, which were particularly abundant at the sampling site located in the ditch supplying the lake. High density of these larvae on biotic substrate in spring can be explained by their life cycle (CZACHOROWSKI 1998).

Table 2
Tabela 2

Density of zooperiphyton (indiv. m⁻²) and phytoperiphyton (thou. cells m⁻²) on reed in Żarnowieckie Lake

Taxa	Sampling sites						Mean SE
	1	2	3	4	5	6	
Microzooperiphyton							
Protozoa	1140.8	554.1	432.3	258.2	433.5	206.5	504.2±137.5
Rotatoria	347.3	184.8	48.1	103.1	48.3	103.1	139.1±46.4
Nematoda	6746.1	13204.2	26849.3	8617.0	24662.7	40815.2	20149.1±5333.0
Copepoda	0	0	0	0	0	51.7	8.6±8.6
Arachnidae	0	0	0	103.1	0	0	17.2±17.2
Total	8234.2	13943.1	27329.7	9081.4	25144.5	41176.5	20818.2±5224.8
Macrozooperiphyton							
Chironomidae larv.	0	0	48.1	51.7	0	51.7	25.3±11.3
Megaloptera	0	0	0	51.7	96.2	0	24.7±16.6
Hirudinea	0	0	0	103.1	0	0	17.2±17.2
Trichoptera larv.	0	46.3	240.1	103.1	144.5	103.1	106.2±33.8
Total	0	46.3	288.2	309.6	240.7	154.8	173.3±56.4
Microphytoperiphyton							
Bacillariophyta	9106.5	10805.8	5967.2	4125.3	7082.1	14568.2	8609.2±1527.5
Chlorophyta	12.8	47.5	68.0	33.2	6.2	6.2	29.0±10.3
Total	9119.30	10853.30	6035.20	4158.50	7088.30	14574.40	8638.2±1523.4

SE - standard error

Fitoperiphyton was dominated by Bacillariophyta, which made up 99% of the total epiphytic algae. Diatoms strongly prevail in periphyton inhabiting reed in reservoirs with moderate loading of nutrients (PIESIK, OBOLEWSKI 2000).

The dominant taxa of microzooperiphyton in Puck Bay were Nematoda (43%) and Protozoa (26%). Eelworms feed on algae, which were abundant at the investigated substrate (PIESIK 1992), while high density of Protozoa could have been connected to abundant and easily available bioseston. The remaining microzooperiphyton taxa had low densities and contributed slightly to the overall epiphytic microfauna density (Table 3). The situation observed in Puck Bay is typical and confirmed by other studies from northern Poland (PIESIK, OBOLEWSKI 2000, OBOLEWSKI 2006).

Density of macrozooperiphyton was mostly influenced by Crustacea *Gammarus* sp., which occurred only in the Płutnica's estuary. Fitoperiphyton was dominated by Bacillariophyta (88% of the total epiphytic algae density), which is a typical situation (PIESIK, OBOLEWSKI 2000).

Table 3
Tabela 3

Density of zooperiphyton (indiv. m⁻²) and phytopheriphyton (thou. cells m⁻²) on reed in Puck Bay

Taxa	Sampling sites			Mean SE
	Puck	Władysławowo	Jastarnia	
Microzooperiphyton				
Protozoa	1 045.8	364.7	2 019.70	1143.4±480.2
Rotatoria	653.6	112.1	378.80	381.5±156.3
Nematoda	196.0	617.2	4 924.20	1912.5±1510.8
Copepoda	261.4	140.2	505.3	302.3±107.4
Arachnidae	0	84.2	0	28.1±28.1
Total	2156.8	1 318.3	7 828.0	3767.7±2044.5
Macrozooperiphyton				
<i>Chironomidae</i> larvae	20.1	0	0	6.7±6.7
<i>Gammarus</i> sp.	65.4	0	0	21.8±21.8
Total	85.5	0	0	28.5±28.5
Microphytoperiphyton				
Bacillariophyta	2 633.7	1 690.6	2 243.2	2 189.2±273.6
Chlorophyta	488.0	7.2	357.6	284.3±143.6
Total	3 121.8	1 697.8	2 600.8	2 473.5±415.9

SE -standard error

ANOVA and ordinations

Statistical analyses were performed for the whole data set (Żarnowieckie Lake and Puck Bay jointly) and for the taxa occurring in both reservoirs: Protozoa, Ciliata libera, Peritrichia, Rotatoria, Nematoda, Copepoda-Harpacticoida, Arachnidae-Hydrachnella, Chironomidae larvae, Bacillariophyta and Chlorophyta.

Brown-Forsythe test revealed homogeneity of variance between variables for Żarnowieckie Lake and Puck Bay. Analysis of variance indicated significant ($p<0.05$) differences between the studied in concentrations of C, S and Zn in the biotic substrate and in density of Nematoda, Copepoda (Harpacticoida) and Bacillariophyta (Table 4).

Table 4
Tabela 4

ANOVA between Żarnowieckie Lake and Puck Bay

Variables	SS efect	df efect	MS efect	SS error	df error	MS error	F	p
C	0.0008	1	0.0008	0.0002	7	0.0000	25.553	0.0016
S	0.0041	1	0.0041	0.0008	7	0.0001	33.695	0.0007
Zn	0.1486	1	0.1486	0.1586	7	0.0227	6.556	0.0375
Nematoda	3.3514	1	3.3514	1.4769	7	0.2110	15.883	0.0053
Harpacticoida	8.8646	1	8.8646	2.6835	7	0.3834	23.124	0.0019
Total Bacillariophyta	0.6418	1	0.6418	0.2086	7	0.0298	21.531	0.0024
Colonial Bacillariophyta	0.8568	1	0.8568	0.3331	7	0.0476	18.004	0.0038
Unicellular Bacillariophyta	0.5969	1	0.5969	0.5306	7	0.0758	7.875	0.0263

SS – sum of squares; MS – mean square; df – degree of freedom; F – value of F – test;
 p – significance level

Żarnowieckie Lake had higher content of C and S in reed but lower Zn concentration than Puck Bay. Nematoda and Bacillariophyta were more abundant in freshwaters, in contrast to Copepoda. As for Nematoda and Copepoda, preferences for the consecutive ecosystems can be explained- using ordinations- by chemical composition of reed substrate, but in the case of Bacillariophyta some other factors probably play a role.

PCA analysis (Figure 2) revealed strong redundancy between concentration of S, Zn and C (Pearson's linear correlation coefficient 0.8-0.9 for $p<0.05$).

According to GREGER and KAUTSKI (1992), increase in salinity expressed as electrolytic conductivity induces higher solubility of metals. Correlation between the above mentioned non-metals and zinc may be connected to Zn ability for fixing carbon and sulfur, forming carbonates and sulfates, which can accumulate

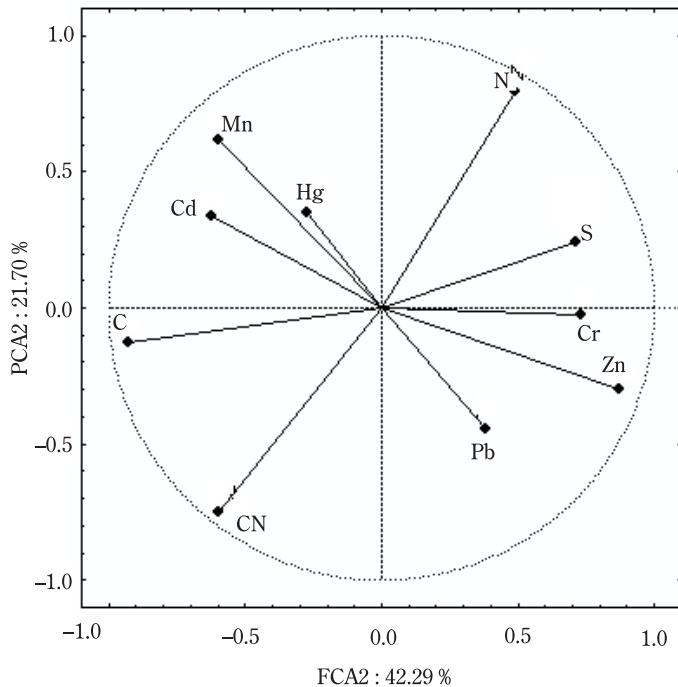


Fig. 2. PCA biplot for Żarnowieckie Lake and Puck Bay

in plant's tissues during excessive absorption of this chemical element by a plant. Among the analyzed metals, zinc has the highest geochemical concentration, which allows an accurate analysis and high Pearson's correlation coefficient at the level of $r=0.72$ (SKORBILOWICZ 2003). Sulfur and carbon are the main components of organic matter. Metals, having considerable chemical affinity to organic substances, fix with them forming metaloorganic complexes. Therefore, higher concentration of C and N may also increase zinc concentration in plant's tissue, due to intensive fixation of metallic ions.

In order to assure orthogonality of the predictors, concentrations of C, Zn and N were excluded from the next analyses. CCA analysis for the new data subset and VIF values lower than 10 (1.6–6.3) confirmed fulfilling the orthogonality requirement (GROSS 2003).

The next stage of the investigation was a DCA analysis, used for determining environmental gradients for the consecutive periphyton taxa. Values <2 indicated monotonic responses for chemical element contents in biotic substrate for most of the studied taxa (TER BRAAK 1995).

Finally, an RDA analysis was applied. Figure 3 shows RDA biplot of axis 1 and 2.

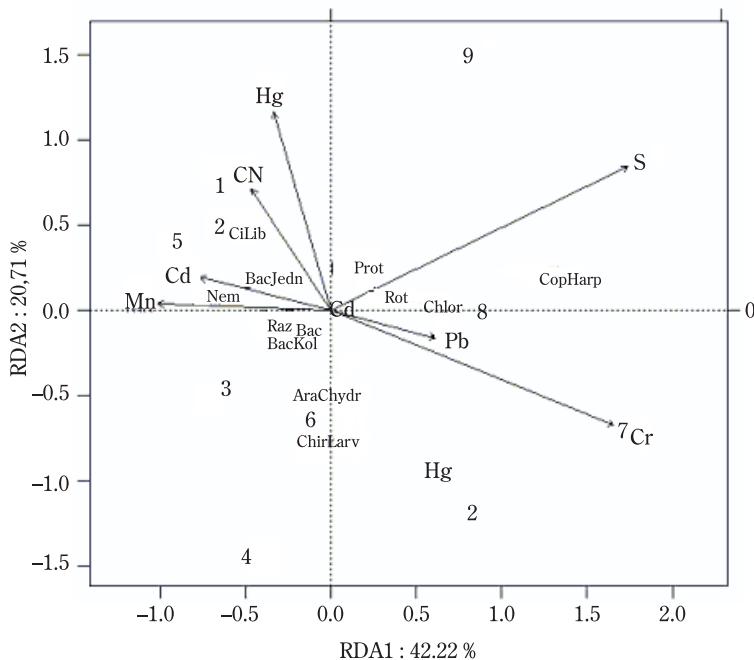


Fig. 3. RDA bibplot of axis 1 and 2 for Żarnowieckie Lake and Puck Bay

Axis 1, which explained 42.22% of the total variance, was connected to S, Cr and Mn concentration in the biotic substrate. As for the second axis (20.72% of the explained variance), the highest contribution was ascribed to Hg content (Table 5).

Table 5
Tabela 5

RDA biplot scores for constraining variables. Żarnowieckie Lake and Puck Bay

Chemical elements	RDA axis			
	RDA1	RDA2	RDA 3	RDA4
C/N	-0.2034	0.3122	0.1897	0.7335
S	0.7614	0.3668	-0.3250	-0.3002
Hg	-0.1470	0.5074	0.1051	-0.2432
Cr	0.7246	-0.2945	0.4635	-0.3015
Mn	-0.4434	0.0167	0.3890	0.0891
Cd	-0.3352	0.0847	-0.2123	0.3330
Pb	0.2673	-0.0708	0.4082	-0.4271

Biplot scores (Figure 3, Tables 5, 6) reveal that Harpacticoida and Chlorophyta preferred reed substrate with relatively high S and Cr but low Mn content. Taking into account correlations between the consecutive chemical element contents, we can conclude that the aforementioned taxa were typical of reed poor in elementary carbon (correlation C-S: $r=-0.82$, $p<0.05$) but rich in Zn (correlation Zn-Mn: $r=-0.73$, $p<0.05$). Zinc, as a microelement, performs an important biochemical role in plant, animal and human organisms. It takes part in oxidation-reduction processes and is an indispensable component or activator of many enzymes. In plants, it participates in transformation of organic acids, synthesis of chlorophyll, vitamins C, B, P and also influences growth and development of organisms. Axis 1 of RDA also suggested that Nematoda preferred reed substrate with high concentration of Mn but low Zn content (correlation Zn-Mn: $r=-0.73$, $p<0.05$). The results confirm that Nematoda tend to develop better in freshwaters, while Copepoda grow more abundantly in saline reservoirs.

Table 6
Tabela 6

RDA biplot scores for periphyton taxa. Żarnowieckie Lake and Puck Bay

Epiphytic organisms (Periphyton)	RDA axis			
	RDA1	RDA2	RDA 3	RDA4
Total Protozoa	0.1552	0.2475	0.1009	-0.1346
Ciliata - libera	-0.4847	0.5661	-0.3731	0.1161
Peritricha	0.0722	0.2582	0.0980	-0.0914
Rotatoria	0.2889	0.1126	0.1534	-0.0587
Nematoda	-0.7141	0.0724	0.1589	0.3178
Harpacticoida	1.1928	0.2408	-0.1140	0.4906
Arachnidae	0.0773	-0.4747	-0.7743	-0.0905
Chironomidae larvae	0.0479	-0.7602	0.2936	0.2185
Total Bacillariophyta	-0.2644	-0.0167	0.1885	0.1235
Colonial Bacillariophyta	-0.2878	-0.1029	0.2167	0.11158
Unicellatr Bacillariophyta	-0.3399	0.1677	0.0485	0.1291
Chlorophyta	0.4952	0.0915	0.3556	-0.3052

The second RDA axis indicated that Arachnidae and Chironomidae larvae were particularly sensitive to Hg concentration, while Ciliata libera occurred in both reservoirs also at a high content of this metal. Mercury is very toxic or lethal to most higher organisms. Ciliata libera are primitive organisms, hence their sensitivity to Hg is lower and additionally – owing to their movement on reeds' surface – they can avoid places where substances against their overgrowth are secreted.

The next two RDA axes explained respectively 16.84% and 8.74% of the variance. RDA3 was connected to Cr and Pb content. The highest contribution of C/N ratio was observed in RDA4 (Figure 4, Tables 5, 6).

Analysis of biplot scores showed that Arachnidae occurred at high density on reed substrate rich in Pb and Cr (RDA3), which can be explained by movement of these taxa. Moreover, Nematoda and Harpacticoida preferred wide range of C/N ratio (RDA4), that is low nitrogen content in the reed substrate. The opposite dependencies were observed for Chlorophyta. Nitrogen in reed tissues is an ideal source of this nutrient, which is indispensable for green algae growth. Presence of high C concentration does not directly stimulate growth of either Harpacticoida or Nematoda, since both taxa belong to herbivores, feeding mostly on diatoms (PIĘSIK 1992).

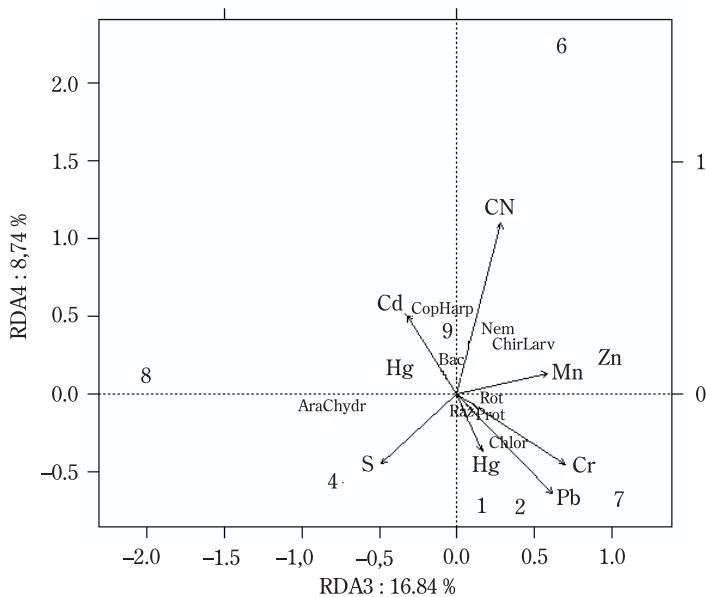


Fig. 4. RDA biplot – axis 3 and 4 – for Żarnowieckie Lake and Puck Bay

CONCLUSIONS

1. Harpacticoida and Chlorophyta preferred reed substrate with relatively high Zn, S and Cr concentrations but low Mn and C content;
2. Nematoda had the highest density on reed substrate rich in Mn;
3. Hg in reed limited density of Arachnidae-Hydrachnella and Chironomidae larvae, an effect which was not observed in the case of Ciliata libera;

4. Nematoda and Copepoda (Harpacticoida) preferred low Pb and Cr concentrations and high C/N ratio, which meant low N content in the biotic substrate;

5. Nematoda were more abundant in freshwater Żarnowickie Lake, mostly due to relatively low Zn concentration in reed;

6. Copepoda (Harpacticoida) preferred saline water of Puck Bay, which was associated with higher content of Zn and S but lower C concentration in reed substrate;

7. Bacillariophyta were particularly abundant in the lake ecosystem but due to factors other than chemical composition of reed substrate.

This study should be treated as a contribution to more thorough investigations on periphyton density-reed chemical composition. It would be advisable to confirm the obtained results by experiments excluding interference factors, like feeding on periphyton or wave motion.

REFERENCES

- ALLAN J.D. 1998. *Ekologia wód płynących*. PWN, Warszawa.
- ALLEN H., L. 1971. Primary productivity, chemo-organotrophy, and nutritional interactions of epiphytic algae and bacteria on macrophytes in the littoral of lake. *Ecol. Monogr.*, 41: 97-127.
- BALDANTONI D., ALFANI A., Di TOMMASI P., BARTOLI G., VIRZO DE SANTO A. 2004. Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants. *Environ. Pollution*, 130: 149-156.
- BERNATOWICZ S. 1969. *Macrophytes in the lake Warniak and their chemical composition*. *Ekol. Pol.*, A., 14: 607-616.
- BURKE D. J., WEIS J. S., WEIS P. 2000. Release of metals by the leaves of the salt marsh Grasses *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51: 153-159.
- ENDLER Z., GRZYBOWSKI M. 1996. The concentration of Cd in the aquatic plants in Wadąg Lake on Olsztynian Lakeland. *Biol. Bull. Poznań*, 22-23.
- CZACHOROWSKI S. 1998. *Chruściki (Trichoptera) jezior Polski – charakterystyka rozmieszczenia larw*. Wyd. WSP Olsztyn, pp. 156.
- DU LAING G. D., VAN RYCKEGEM TACK F. M. G., VERLOO M., G. 2006. Metal accumulation in intertidal litter through decomposing leaf blades, sheaths and stems of *Phragmites australis*. *Chemosphere*, 63: 1815-1823.
- GREGER M., KAUTSKY L. 1993. Use macrophytes for mapping bioavailable heavy metals in shallow coastal areas. Stockholm, Sweden, Applied Geochemistry, Suppl. Issue No. 2, „Environmental Geochemistry“, Pergamon Press, 37-48.
- GERRISH N., BRISTOW J., M. 1979. Microintervebrate association with aquatic macrophytes and artificial substrates. *J. Great Lakes Res. Internat. Assoc. Great Lake Res.*, 5 (1): 69-72.
- GROSS J. 2003. Variance inflation factors. *R News*, 3(1): 13-15.
- GRZYBOWSKI M., SKIBNIEWSKA K., GUZIUR J., SZAREK J., ENDLER Z., ZMYSŁOWSKA I. 2005. Zawartość Pb i Cd w wybranych gatunkach roślin wokół mogilnika pestycydowego. *J. Elementol.*, 10 (2): 289-293.

- HILL M.O., GAUCH H.G. 1980. *Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique*. *Vegetatio*, 42: 47-58.
- HOOTSMANS M.J.M., VERMAAT J.E. 1991. *Macrophytes a key to understanding changes caused by eutrophication in shallow freshwater ecosystems*. Int. Inst. For Hydr. Environ. Ing. Wageningen – Delft.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- KIRYLUK A. 2005. *Różnorodność gatunków i chemizm roślin w rowach melioracyjnych*. *J. Elementol.*, 10(2):333-340.
- LAKATOS G., KISS M., MČSZÁROS I. 1999. *Heavy metal content of common reed (*Phragmites australis*/Cav./Trin.ex Steudel) and its periphyton in Hungarian shallow standing waters*. *Hydrobiologia*, 415: 47-53
- LEGENDRE P., LEGENDRE L. 1998. *Numerical ecology*. 2nd English ed. Elsevier.
- MIHALJEVIĆ Z., KEROVEC M., TAVČAR V., BUKVIĆ I. 1998. *Microinvertebrate community on an artificial substrate in the Sava river: long-term changes in the community structure and water quality*. *Biologia*, 53/5: 611 – 620.
- MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H. 2000. *Siarka w glebach i roślinach Polski*. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, 204, Rol., 81: 7 – 16.
- OBOLEWSKI K. 2002. *Organizmy poroślowe (perifiton) zasiedlające trzcinę *Phragmites australis* i sztuczne podłożo w pomorskim Jeziorze Lubowidzkim – badania wstępne*. Słupskie Pr. Mat.-Przr., ser. Limnologia, 1: 71-82.
- OBOLEWSKI K. 2006. *Periphyton inhabiting reed, *Phragmites australis* and artificial substrate in the eutrophicated Lubowidzkie lake*. Arch. Ochrony Środowiska (in press).
- OKSANEN J., MINCHIN P.R. 1997. *Instability of ordination results under changes in input data order: explanations and remedies*. *J. Vegetation Sc.*, 8: 447-454.
- PEVERLY J.H., SURFACE J.M., WANG T. 1995. *Growth and trace metal absorption by *Phragmites australis* in wetlands constructed for landfill leachate treatment*. *Ecol. Engin.*, 5: 21-35
- PIECZYŃSKA E. 1988. *Rola makrofiów w kształtowaniu trofii jezior*. *Wiad. Ekol.*, 34 (4): 375-404.
- PIESIK Z. 1992. *Biologia i ekologiczna rola perifitonu zasiedlającego sztuczne podłożo w różnych typach wód*. Rozpr. Stud. Univ. Szczecin, (CXCVI) 122.
- PIESIK Z., OBOLEWSKI K. 2000. *Epiphytic organism (periphyton) inhabiting read. *Phragmites australis* and artificial substrates in Lake Kopań*. Balt. Costal Zone, 4: 73-86.
- PIESIK Z., WAWRZYNIAK-WYDROWSKA 2004. *Organizmy poroślowe (perifiton) zasiedlające trzcinę (*Phragmites australis*) w ujściowym odcinku rzek Odry i Gunicy*. W: *Człowiek i środowisko przyrodnicze Pomorza Zach.* Red. ROGALSKA S., DOMAGAŁA J. , ss. 161-172.
- RELINI, G. RELINI ORSI L. 1970. *Fouling di zone inquinate: Osservazioni nel Potro di Genova*: Cirripedi. Pubbl. Staz. Zool. Napoli, 38 (2): 125-144.
- SKORBILOWICZ E. 2003. *Heavy metal content in bottom deposits and water plants in the Elk River on urbanized area*. Chem. Inż. Ekol., 10: 937-945.
- Statistica – opis systemu. 2002. StatSoft Polska Sp. z o.o., Warszawa.
- SZYMANOWSKA A., SAMECKA-CYMERMAN A., KEMPERS A.J. 1999. *Heavy metals in three lakes in West Poland*. Ecotoxicol. Environ. Salety, 43: 21- 29.
- TER BRAAK C.J.F. 1995. *Ordination*. In: *Data analysis in community and landscape ecology*. JONGMAN, R.H.G., C.J.F. TER BRAAK & O.F.R. TONGEREN van (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, England, 91-173.
- TER BRAAK C.J.F. 1986. *Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis*. *Ecology*, 67: 1167-1179.
- YE Z. H., BAKER A. J. M., WONG M. H., WILLIS A. J. 1997. *Zinc, lead and cadmium tolerance uptake and accumulation by the common reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Stu-del*. Ann. Bot., 80: 363-370.

EFFECT OF ZINC AND COPPER SOIL CONTAMINATION ON THE TRANSPERSION INTENSITY AND STOMAL INDEX OF WINTER CROP WHEAT SEEDLINGS

**Anna Stolarska, Jacek Wróbel, Anna Woźniak,
Barbara Marska¹**

**Chair of Plant Physiology
Agricultural University in Szczecin**

Abstract

In the study, the physiological response of wheat plants to the effect of metal salts was examined by measuring gaseous exchange transpiration parameters, such as transpiration intensity, stomatal conductivity and stomata count per 1mm² of the leaf under- and upperside. The study was carried out using the gley soil [black earth] of granulometric composition of loam collected from the plough-humus horizon of 0-10 cm depth. The soil was contaminated with different pollutant doses, i.e. 0 (control), 0.05, 0.5, 5 and 50 mmol·kg⁻¹. Each combination was seeded with 10 wheat grains.

Two-factor analysis of variance was used, with the type of applied salt ($ZnSO_4$ and $CuSO_4$) being the first factor and its dose the second one. The significance of factors was examined with Tukey's test ($p<0.05$). A delayed germination of seeds was observed in relation to the control in soil samples contaminated with 5 mmol·kg⁻¹ (both salts). The seedlings examined showed large differentiation in their response to Zn and Cu; in the case of $CuSO_4$, transpiration was much lower than under the effect of $ZnSO_4$. The transpiration intensity was the lowest after application of copper salts in a concentration of 5 and 50 mmol·kg⁻¹, whereas the highest one was observed in zinc concentration of 5 mmol·kg⁻¹.

The soil contamination with a dose of 0.05 and 50 mmol·kg⁻¹ resulted in a significant decrease of stomatal conductivity in relation to the control. The examined heavy metals significantly affected the stomatal count only on the leaf underside, where it increased at the highest concentration of heavy metals, i.e. 50 mmol·kg⁻¹.

Key words: cooper, transpiration, stomatal conductivity, stomata count.

**WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA GLEBY CYNKIEM I MIEDZIĄ NA INTENSYWNOŚĆ
TRANSPIRACJI ORAZ INDEKS SZPARKOWY SIEWEK PSZENICY OZIMEJ**

Anna Stolarska, Jacek Wróbel, Anna Woźniak, Barbara Marska

**Katedra Fizjologii Roślin
Akademia Rolnicza w Szczecinie**

Abstrakt

Reakcję fizjologiczną roślin pszenicy na działanie soli metali badano mierząc parametry wymiany gazowej, takie jak: intensywność transpiracji, przewodność szparkowa oraz liczba aparatów szparkowych na 1 mm² dolnej i górnej epidermy blaszki liściowej. Badania przeprowadzono z użyciem czarnej gleby o składzie granulometrycznym gliny, pobranej z poziomu ormo-próchniczego z głębokości 0-10 cm. Glebę zanieczyszczono różnymi dawkami polutantów: 0 – kontrola; 0,05; 0,5; 5; 50 mmol·kg⁻¹. Do wszystkich wariantów wysiano po 10 nasion pszenicy. Zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji: pierwszym czynnikiem był rodzaj zastosowanej soli ($ZnSO_4$, $CuSO_4$), a drugim dawka. Istotność czynników testowano testem Tukeya na poziomie 0,05. Zaobserwowano opóźnione kielkowanie nasion w stosunku do kontroli w glebie zanieczyszczonej dwoma rodzajami soli w ilości 5 mmol·kg⁻¹. Stwierdzono, że badane rośliny różnie reagowały na zastosowany metal. W przypadku soli miedzi transpiracja roślin była znacznie mniejsza niż w przypadku soli cynku. Intensywność transpiracji była najmniejsza po zastosowaniu soli miedzi w stężeniu 5 i 50 mmol·kg⁻¹, natomiast największe natężenie transpiracji wykazano po zastosowaniu soli cynku w stężeniu 5 mmol·kg⁻¹.

Zanieczyszczenie gleby dawką 0,05 i 50 mmol·kg⁻¹ spowodowało znaczone zmniejszenie przewodności szparkowej w stosunku do kontroli. Badane metale ciężkie wpłynęły istotnie na liczbę aparatów szparkowych jedynie na dolnej epidermie blaszki liściowej, gdzie ich liczba zwiększyła się po zastosowaniu dawki 50 mmol·kg⁻¹ metali ciężkich.

Słowa kluczowe: miedz, cynk, transpiracja, przewodność szparkowa, indeks szparkowy.

INTRODUCTION

Industry and intensive agriculture cause increased environmental pollution with heavy metals. High level of contamination occurs most frequently in the vicinity of emitters (GORLACH 1991, FABER, WARTA 1981). According to the State Inspectorate for Environmental Protection (1997), soil contamination with copper and zinc results first of all from the impact of metallurgical, electrochemical and chemical industries, whereas zinc pollution is additionally caused by coal, waste and refuse combustion as well as heavy road traffic.

Heavy metals available to plants can affect their growth and physiology in different way. While in threshold quantities, they frequently stimulate physiological processes, they will become toxic after exceeding permissible amounts, first of all disturbing the stability of cytoplasmatic membranes and cell structures (GORLACH 1991, HARBORNE 1997, STROIŃSKI 2002).

The study aimed at determining the effect of different zinc and copper concentrations in soil on the transpiration intensity, stomatal conductivity and stomatal index of wheat seedlings.

MATERIAL AND METHODS

In 2004-2005, an experiment was carried out under laboratory conditions with cv. Tonacja winter crop wheat involving 10-hour-long invariable light intensity PAR at $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ and mean air temperature of 17–19°C. Soil mass per one pot was 0.5 kg. The substrate consisted of typical black earth, loamy in granulometric composition, collected from the plough-humus horizon of 0–10 cm depth in the Experimental Station of Agricultural University in Szczecin in Dotuje. Soil reaction (pH_{KCl}) was 6.4 and the hydrolytic acidity was $1.2 \text{ me} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. The content of soil zinc equalled $28.70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, whereas that of copper to $9.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

The soil was contaminated with heavy metals in the form of CuSO_4 and ZnSO_4 salts in the amounts of 0.05, 0.5, 5 and $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ of soil. The control was soil free of addition of zinc and copper salts. Each combination was seeded with 10 wheat grains of cv. Tonacja. The experiment was carried out in four replications. After germination, measurements were made of the intensity of transpiration process ($\text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and of the stomatal conductivity ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) using a gas analyser LCA-4. Stomata were counted with an optical microscope Olympus CX-41 on the upper and the lower leaf epidermis, converting them into an area of 1 mm^2 .

The results underwent statistical elaboration by means of two-factor analysis of variance, with a type of the applied salt type (ZnSO_4 and CuSO_4) being the first factor and Zn and Cu dose the second one. The significance was examined with Tukey's test at a significance level of 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

The soil contamination with copper and zinc salts clearly modified the values of physiological parameters examined, i.e. of transpiration intensity, stomatal conductivity and stomatal index. Heavy metals added to a substrate in larger doses resulted in a clear osmotic stress, thus impeding the water intake from substrate by germinating seeds and causing a weaker sprouting of seedlings. According to STOLARSKA et al. (2006), soil contamination with copper and zinc salts results in delaying of wheat grain germination, which is brought about by the suppression of water access from a substrate to germinating seeds and then to seedlings. The

accepted limit value of copper content in soils under agricultural use is $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, whereas that of zinc is $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (*Ordinance of the Minister of Environmental Protection of 9 September 2002*). In contaminated soils, these doses can be several-fold exceeded (TRZASKOŚ, DZIDA 1995). In the own research, a delayed germination of wheat grains was observed with the soil contamination with zinc and copper salts in the amounts of 5 and $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ in relation to the control. This is confirmed by studies of PRZYBULEWSKA and STOLARSKA (2004), who state that among the symptoms of excessive zinc concentrations in plants are suppression of seed germination and slower seedling growth.

This experiment demonstrated that reduction of transpiration intensity in wheat leaves was nearly proportional to the soil contamination with copper salts (Fig. 1).

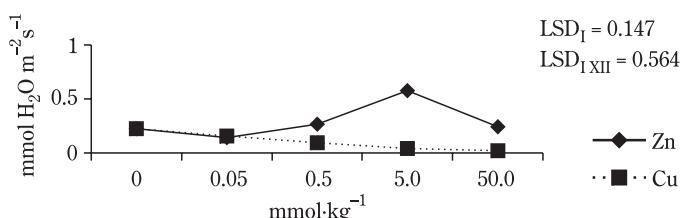


Fig. 1. Influence of varied zinc and copper rates in substrate on transpiration at winter crops wheat seedling seedling

Rys. 1. Wpływ różnych stężeń cynku i miedzi na intensywność transpiracji siewek pszenicy ozimej

According to PRZYBULEWSKA and STOLARSKA (2004), cereal plants are unusually susceptible to increased concentration of that chemical element in soil. The effect of ZnSO_4 in a dose of $0.05 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ was not significant. The rise of zinc sulphate dose resulted in a considerable increase of the intensity of transpiration process, not until a large concentration of that zinc salt was used ($50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$), which clearly inhibited this process (Figure 1). Similar results were obtained by BRUNE et al. (1994). According to PRZYBULEWSKA and STOLARSKA (2004), cereals are one of the plants that are most susceptible to the concentration of that metal in soil. PANDEY and SHARAMA (2002) report that a large content of heavy metals in soil considerably decreases the intensity of transpiration process in plants.

The wheat seedlings clearly showed greater differentiation of transpiration intensity depending on a metal type than on its doses, since it was demonstrated that after application of 5 and $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ copper salt the transpiration intensity was significantly lower than after applying zinc salt in the amount of $5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Figure 1).

The stomatal conductivity of wheat seedlings resulting from the soil contamination with copper and zinc salts was shaped alike (Figure 2). However, the ex-

Table 1
Tabela 1

Influence of zinc and copper salts ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ of soil)
on transpiration of winter crops wheat seedling
Wpływ soli cynku i miedzi ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) na
intensywność transpiracji siewek pszenicy ozimej

Dose – Dawka	Average – Średnia
50	0.121 a
0.05	0.150 a
0.5	0.181 a
0	0.226 a
5	0.288 a

Metal	Average – Średnia
Cu	0.096 a
Zn	0.291 b

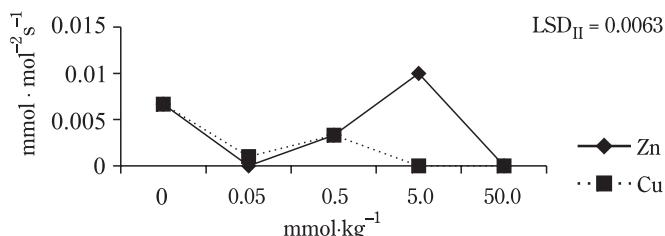


Fig. 2. Influence of varied zinc adn cooper rates in substrate stomatal conductance at winter crops wheat seedling

Rys. 2. Wpływ różnych stężeń cynku i miedzi na przewodność szparkową siewek pszenicy ozimej

amined plants clearly responded to a dose of heavy metal rather than to its type. A decrease in stomatal conductivity was found after application of 0.05 and 50 $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ doses in relation to the control (Table 2). Similar results were obtained by BURZYŃSKI and KŁOBUS (2004), who found that at a dose of copper salt of 0.02 $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ the stomatal conductivity was similar to that in control plants, whereas a rise of metal dose to 0.05 $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ considerably reduced this index. According to MONNET et al. (2001), a very low concentration of copper salts resulted in strong reduction of stomatal conductivity versus the control. Slight elevation of salt concentration increases the stomatal conductivity, while a very strong concentration of that chemical element in soil suppresses it (MONNET et al. 2001).

Table 2
Tabela 2

Influence of zinc and copper salts ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ of soil)
on stomatal conductance of winter crops wheat seedling
Wpływ soli cynku i miedzi ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby)
na przewodność szparkową siewek pszenicy ozimej

Dose – Dawka	Average – Średnia
0.05	0.000 a
50	0.000 a
0.5	0.003 ab
5	0.005 ab
0	0.006 b

Metal	Average – Średnia
Cu	0.002 a
Zn	0.004 a

Table 3
Tabela 3

Influence of zinc and copper salts ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ of soil) on stomatal apparatus in leaf
underside and leaf upperside of winter crops wheat seedling
Wpływ soli cynku i miedzi ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) na liczbę aparatów szparkowych dolnej
i górnej strony liścia siewek pszenicy ozimej

Leaf upperside – Strona górska		Leaf underside – Strona dolna	
Dose – Dawka	average – średnia	dose – dawka	average – średnia
0	396 a	0.5	249 a
50	417 a	5	270 a
0.05	434 a	0.05	271 a
5	469 a	0	412 ab
0.5	497 a	50	453 b

Leaf upperside – Strona górska		Leaf underside – Strona dolna	
Metal	average – średnia	metal	average – średnia
Cu	442 a	Cu	319 a
Zn	443 a	Zn	343 a

The size of a heavy metal dose had a significant effect on the stomata count only on the leaf underside. After application of heavy metals in a dose of $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, the number of stomata was significantly larger than when exposing plants to lower doses of that metal, i.e. 0.05, 0.5 and 5 $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Table 3). However, no significant differences were found in relation to the control. It is difficult to explain such a response of wheat seedlings to the increased concentration of zinc and copper salts, as available reference data are short of findings that refer to their effect on the number of stomata.

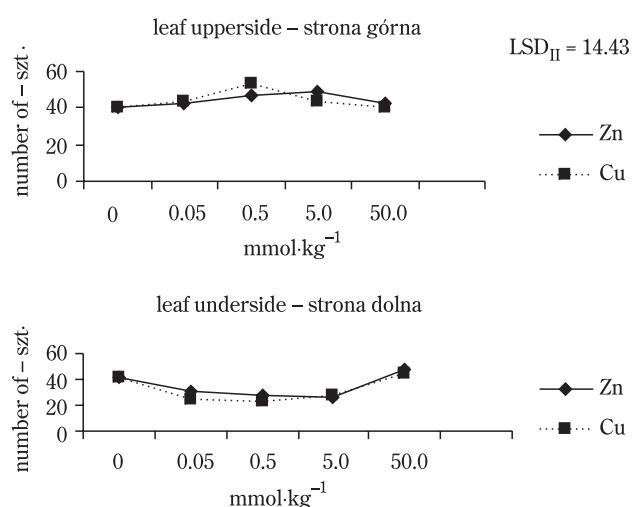


Fig. 3. Influence of varied zinc and copper rates in substrate on stomatal apparatus in leaf underside and leaf upperside of wheat seedling winter crops wheat seedling

Rys. 3. Wpływ różnych stężeń cynku i miedzi na liczbę aparatów szparkowych dolnej i górnej strony liścia siewek pszenicy ozimej

CONCLUSIONS

1. The intensity of transpiration was more evidently slowed down after application of copper salts in the amounts of 5 and $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ than after application of zinc salts in a dose of $5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Most probably, the wheat seedlings considerably suppressed transpiration after application of copper salts in order to use water in the photosynthesis process rationally.
2. The soil contamination with zinc and copper salts in the amounts of 0.05 and $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ resulted in a significant decrease of stomatal conductivity in relation to the control object.

3. After soil contamination with heavy metals in a dose of $50 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, the mean stomata count on the leaf underside was over twice as high as that in control plants.

REFEERNCES

- BURZYŃSKI M., KŁOBUS G. 2004. *Changes of photosynthetic parameters cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress*. Photosynthetica, 42 (4): 505-510.
- BRUNE A., URBACH W., DIETZ K.-J. 1994. *Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanismus involved in zinc tolerance*. Plant, Cell Environment, 17: 153-162.
- FABER A., WARTA Z. 1981. *Wpływ zanieczyszczeń przemysłowych zawierających cynk, ołów, kadm na przyrodnicze warunki rolnictwa*. Post. Nauk Rol., 3:117-134,
- GORLACH E. 1991. *Metale ciężkie w glebie i roślinach*. Aura, 11: 9-13.
- HARBORNE J.B. 1997. *Dictionary of plant toxins*. John Wiley & Sons, pp. 523.
- MONNET F., VAILLANT N., HITMI A., COUDRET A., SALLANON H. 2001. *Endophytic Neotyphodium lolii induced tolerance to Zn stress in Lolium perenne*. Physiol., Plant., 113: 557-563.
- Ocena skażenia środowiska Polski metalami ciężkimi przy użyciu mchów jako biowskaźników. 1997. PIOŚ. Warszawa.
- PANDEY N., SHARMA CH. 2002. *Effect of heavy metals Co²⁺, Ni²⁺ and Cd²⁺ on growth and metabolism of cabbage*. Plant Sc., 163: 753-758.
- PRZYBULEWSKA K., STOLARKA A. 2004. *Wpływ stężenia metali ciężkich (Hg, Pd, Cu) w glebie na wzrost i rozwój siewek jeczmienia*. J. Elementol., 9 (3): 469-475.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. Nr 165 poz. 1359.
- STOLARKA A., WRÓBEL J., WOŚNIAK A., MARSKA B. 2006. *Influence of copper and zinc in soil on Physiological Reaction of Wheat seedling*. Ecol. Chem. Eng. (in press).
- STROIŃSKI A. 2002. *Odporność roślin na stres wywierany przez metale ciężkie*. Biotechnology, 3 (58): 124-135.
- TRZASKOŚ M., DZIDA M. 1995. *Metale ciężkie w glebie na łąkowo-pastwiskowych terenach przyległych do autostrady*. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 421a: 361-365.

Recenzenci:

**Teresa Bowszys, Józef Koc, Janusz Gołaszewski, Jacek Kozłowski,
Kazimierz Pasternak, Wiera Sądej, Krystyna Skibniewska,
Mirosław Wyszkowski**

Regulamin ogłaszenia prac w „Journal of Elementology”

1. Journal of Elementology (kwartalnik) zamieszcza na swych łamach prace oryginalne, doświadczalne, kliniczne i przeglądowe z zakresu przemian biopierwiastków i dziedzin pokrewnych.
2. W JE mogą być zamieszczone artykuły sponsorowane, przygotowane zgodnie z wymaganiami stanowiącymi pracom naukowym.
3. W JE zamieszczamy materiały reklamowe.
4. Materiały do wydawnictwa należy przesyłać w 2 egzemplarzach. Objętość pracy oryginalnej nie powinna przekraczać 10 stron znormalizowanego maszynopisu (18 000 znaków), a przeglądowej 15 stron (27 000 znaków).
5. Układ pracy: ***imię i nazwisko autora (-ów), TYTUŁ PRACY, nazwa jednostki, z której pochodzi praca, WSTĘP, MATERIAŁ I METODY, WYNIKI I CH OMÓWIENIE, WNIOSKI, PIŚMIENNICTWO***, streszczenie w języku polskim i angielskim – minimum 250 słów. Streszczenie powinno zawierać: wstęp (krótko), cel badań, omówienie wyników, wnioski. Przed streszczeniem w języku polskim: ***imię i nazwisko Autora (-ów), TYTUŁ PRACY***, Słowa kluczowe (maks 10 słów), Abstrakt, ***TYTUŁ ANGIELSKI***, Key words, Abstract. U dołu pierwszej strony należy podać tytuł naukowy lub zawodowy, imię i nazwisko autora oraz dokładny adres przeznaczony do korespondencji w języku polskim i angielskim.
6. Praca powinna być przygotowana wg zasad pisowni polskiej. Jednostki miar należy podawać wg układu SI np.: mmol(+) kg⁻¹; kg·ha⁻¹; mol·dm⁻³; g·kg⁻¹; mg·kg⁻¹ (obowiązują formy pierwiastkowe).
7. W przypadku stosowania skrótu po raz pierwszy, należy podać go w nawiasie po pełnej nazwie.
8. Tabele i rysunki należy załączyć w oddzielnych plikach. U góry, po prawej stronie tabeli, należy napisać Tabela i numer cyfra arabska, również w języku angielskim, następnie tytuł tabeli w języku polskim i angielskim wyrównany do środka akapitu. Ewentualne objaśnienia pod tabelą oraz opisy tabel winny być podane w języku polskim i angielskim. Wartości liczbowe powinny być podane jako zapis złożony z 5 znaków pisarskich (np. 346,5; 46,53; 6,534; 0,653).
9. U dołu rysunku, po lewej stronie, należy napisać Rys. i numer cyfrą arabską oraz umieścić podpisy i ewentualne objaśnienia w języku polskim i angielskim.
10. Piśmiennictwo należy uszeregować alfabetycznie, bez numerowania, w układzie: Nazwisko Inicjał Imienia (kapitaliki) rok wydania. Tytuł pracy (kursywa). Obowiązujący skrót czasopisma, tom (zeszyt): strony od-do. np. KOWALSKA A., KOWALSKI J. 2002. *Zwartość magnezu w ziemniakach*. Przem. Spoż., 7(3): 23-27.
11. W JE można także cytować prace zamieszczone w czasopismach elektronicznych, wg schematu: Nazwisko Inicjał Imienia (kapitaliki), rok wydania. Tytuł pracy (kursywa). Obowiązujący skrót czasopisma internetowego oraz pełny adres strony internetowej. np. ANTONKIEWICZ J., JASIEWICZ C. 2002. *The use of plants accumulating heavy metals for detoxication of chemically polluted soils*. Electr. J. Pol. Agric. Univ., 5(1): 1-13. hyperlink „<http://www.ejpau.media.pl/> series/volume5/issue1/environment/art-01.html”
12. Cytując piśmiennictwo w tekście, podajemy w nawiasie nazwisko autora i rok wydania pracy (KOWALSKI 1992). W przypadku cytowania dwóch autorów, piszemy ich nazwiska rozdzielone przecinkiem i rok (KOWALSKI, KOWALSKA 1993). Jeżeli występuje większa liczba nazwisk, podajemy pierwszego autora z dodatkiem i in., np.: (KOWALSKI i in. 1994). Cytując jednocześnie kilka pozycji, należy je uszeregować od najstarszej do najnowszej, np.: (NOWAK 1978, NOWAK i in. 1990, NOWAK, KOWALSKA 2001).
13. Do artykułu należy dołączyć pismo przewodnie kierownika Zakładu z jego zgodą na druk oraz oświadczenie Autora (-ów), że praca nie została i nie zostanie opublikowana w innym czasopiśmie bez zgody Redakcji JE.
14. Dwie kopie wydruku komputerowego pracy (Times New Roman 12 pkt, z odstępem akapitu 1,5, bez dyskietki) należy przesyłać na adres Sekretarzy Redakcji:

Dr Katarzyna Glińska-Lewczuk
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
pl. Łódzki 2, 10-759 Olsztyn
kaga@uwm.edu.pl

Dr Jadwiga Wierzbowska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Michała Oczapowskiego 8, 10-719 Olsztyn
jawierz@uwm.edu.pl

15. Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania poprawek i skrótów. Wszelkie zasadnicze zmiany tekstu będą uzgadniane z Autorami.
16. Po recenzji Autor zobowiązany jest przesyłać w 2 egzemplarzach poprawiony artykuł wraz z dyskietką, przygotowany w dowolnym edytorze tekstu pracującym w środowisku Windows.

Redakcja Journal of Elementology uprzejmie informuje, iż w 2006 r. wprowadza opłatę za druk prac.

Koszt wydrukowania maszynopisu (wraz z rysunkami, fotografiami i tabelami) o objętości nie przekraczającej 6 stron formatu A4, sporzązonego wg następujących zasad:

- czcionka: Times New Roman, 12 pkt, odstęp 1,5;
 - 34 wiersze na 1 stronie;
 - ok. 2400 znaków (bez spacji) na 1 stronie;
 - rysunki i fotografie czarno-białe
- wynosi 250 PLN + VAT.

Koszt druku każdej dodatkowej strony (wraz z rysunkami, fotografiami i tabelami) wynosi 35 PLN + VAT

Koszt druku 1 rysunku lub fotografii w kolorze wynosi 150 PLN + VAT

Uwaga:

Z opłaty za druk pracy będą zwolnieni lekarze niezatrudnieni w instytutach naukowych, wyższych uczelniach i innych placówkach badawczych.

Komitet Redakcyjny

Warunki prenumeraty czasopisma:

dla indywidualnych członków PTMag - 40.00 PLN + 0% VAT

dla osób fizycznych - 50.00 + 0% VAT

dla bibliotek i instytucji - 150.00 PLN + 0% VAT + 10.00 PLN za przesyłkę

Wpłaty prosimy kierować na konto UWM w Olsztynie: PKO SA I O/Olsztyn
32124015901111000014525618, z dopiskiem 504-2202-1201

Guidelines for Authors „Journal of Elementology”

1. Journal of Elementology (a quarterly) publishes original scientific or clinical research as well as reviews concerning bioelements and related issues.
2. Journal of Elementology can publish sponsored articles, compliant with the criteria binding scientific papers.
3. Journal of Elementology publishes advertisements.
4. Each article should be submitted in duplicate. An original paper should not exceed 10 standard pages (18 000 signs). A review paper should not exceed 15 pages (27 000 signs).
5. The paper should be laid out as follows: **name and surname of the author(s), TITLE OF THE ARTICLE, the name of the scientific entity, from which the paper originates, INTRODUCTION, MATERIAL AND METHODS, RESULTS AND DISCUSSION, CONCLUSIONS, REFERENCES**, abstract in the English and Polish languages, min. 250 words. Summary should contain: introduction (shortly), aim, results and conclusions. Prior to the abstract in the English language the following should be given: **name and surname of the author(s), TITLE**, Key words (max 10 words), Abstract, **TITLE**, Key words and Abstract in Polish. At the bottom of page one the following should be given: scientific or professional title of the author, name and surname of the author, detailed address for correspondence in the English and Polish languages.
6. The paper should be prepared according to the linguistic norms of the Polish and English language. Units of measurements should be given in the SI units, for example mmol(+) kg⁻¹; kg·ha⁻¹; mol·dm⁻³; g·kg⁻¹; mg·kg⁻¹ (elemental forms should be used).
7. In the event of using an abbreviation, it should first be given in brackets after the full name.
8. Tables and figures should be attached as separate files. At the top, to the right of a table the following should be written: Table and table number in Arabic figures (in English and Polish), in the next lines the title of the table in English and Polish adjusted to the centre of the paragraph. Any possible explanation of the designations placed under the table as well as a description of the table should be given in English and Polish. Numerical values should consist of five signs (e.g. 346.5, 46.53, 6.534, 0.653).
9. Under a figure, on the left-hand side, the following should be written: Fig. and number in Arabic figures, description and possible explanation in Polish and English.
10. References should be ordered alphabetically but not numbered. They should be formatted as follows: Surname First Name Initial (capital letter), year of publication, Title of the paper (italics). The official abbreviated title of the journal, volume (issue): pages from - to. e.g. KOWALSKA A., KOWALSKI J. 2002. *Zawartość magnezu w ziemniakach*. Przem. Spoż., 7(3): 23-27.
11. It is allowed to cite papers published in electronic journals formatted as follows: Surname First Name Initial (capital letters), year of publication. Title of the paper (italics). The official abbreviated title of the electronic journal and full address of the website. e.g. ANTONKIEWICZ J., JASIEWICZ C. 2002. *The use of plants accumulating heavy metals for detoxication of chemically polluted soils*. Electr. J. Pol. Agric. Univ., 5(1): 1-13. hyperlink „<http://www.ejpau.pl/> series/volume5/issue1/environment/art-01.html” <http://www.ejpau.pl/series/volume5/issue1/environment/art-01.html>
12. In the text of the paper a reference should be quoted as follows: the author's name and year of publication in brackets, e.g. (KOWALSKI 1992). When citing two authors, their surnames should be separated with a comma, e.g. (KOWALSKI, KOWALSKA 1993). If there are more than two authors, the first author's name should be given followed by et al., e.g. (KOWALSKI et al. 1994). When citing several papers, these should be ordered chronologically from the oldest to the most recent one, e.g. (NOWAK 1978, NOWAK et al. 1990, NOWAK, KOWALSKA 2001).
13. A paper submitted for publication should be accompanied by a cover letter from the head of the respective institute who agrees for the publication of the paper and a statement by the author(s) confirming that the paper has not been and will not be published elsewhere without consent of the Editors of the Journal of Elementology.

14. Two computer printed copies of the manuscript (Times New Roman 12 fonts, 1.5-spaced, without a diskette) should be submitted to the Editor's Secretary:

Dr Katarzyna Glińska-Lewczuk
University of Warmia and Mazury in Olsztyn
Pl. Łódzki 2, 10-759 Olsztyn, Poland
kaga@uwm.edu.pl

Dr Jadwiga Wierzbowska
University of Warmia and Mazury in Olsztyn
ul. Michała Oczapowskiego 8, 10-719 Olsztyn
jawierz@uwm.edu.pl

15. The Editors reserve the right to correct and shorten the paper. Any major changes in the text will be discussed with the Author(s).
16. After the paper has been reviewed and accepted for publication, the Author is obliged to sent the corrected version of the article together with the diskette. The electronic version can be prepared in any word editor which is compatible with Windows software.

Czasopismo abstraktowane przez / abstracted by CAB Abstracts, Copernicus
International Global Health, AGRO-LIBREX, CBR
i Polską Bibliografię Lekarską