

Ewa Drąg-Kozak\*, Ewa Łuszczek-Trojnar\*, Włodzimierz Popek\*

**KONCENTRACJA METALI CIĘŻKICH W TKANKACH I ORGANACH  
PSTRĄGA TĘCZOWEGO (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) W ZALEŻNOŚCI  
OD WIEKU I SEZONU**

**HEAVY METALS IN SOME TISSUES AND ORGANS OF RAINBOW  
TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) FISH SPECIES IN RELATION  
TO AGE AND SEASON**

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, pstrąg tęczowy, sezon.

**Key words:** heavy metals, rainbow trout, season.

*The aim of the study was to compare the concentration of zinc, copper, cadmium and lead in different tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), depending on season (autumn and spring) and fish age (one and two years). Fish were taken from fish farm which is supplied with water coming from Rudawa the left tributary of the Vistula River. The concentration of heavy metals was determined by atomic absorption (AAS) in some tissues and organs of rainbow trout. There was a clear difference between the concentrations of heavy metals within tissues and organs of fish. The results showed that higher Cd and Pb concentration was in the spleen, Zn in the intestine and Cu in the liver. Muscle, generally, accumulated the lowest levels of metals in the tissues. The concentration of heavy metals follow the tend: zinc>copper>lead>cadmium. The increase of zinc and cadmium concentration, depending on age was observed in majority tissues as the decrease was noticed in case of lead and copper. Seasonal differences was demonstrated in the tissues in case of zinc, copper and cadmium. In this study was not observed any relationship between accumulation of lead in tissues and season. The metal accumulation in different fish organs depends on age and season. General conclusion is that higher concentration of tested metals were found in the spring compared with those during the autumn season.*

---

\* Dr Ewa Drąg-Kozak, dr Ewa Łuszczek-Trojnar, prof. dr hab. inż. Włodzimierz Popek  
– Katedra Ichtiobiologii i Rybactwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie,  
30-199 Kraków-Mydlniki, ul. Spiczakowa 6; tel.: 12 637 51 76; e-mail: edrag-kozak@ar.krakow.pl

## 1. WPROWADZENIE

Jednym z ważniejszych problemów związanych z rozwojem cywilizacji jest degradacja środowiska naturalnego. Ciągły rozwój przemysłu powoduje gigantyczną emisję zanieczyszczeń. Problemy skażenia środowiska są nierozdzielnie związane z metalami ciężkimi, które w nieograniczony sposób przenikają do wszystkich elementów biosfery.

Metale ciężkie nie podlegają biodegradacji i procesom rozkładu. Do głównych ośrodków, w których rozprzestrzeniają się substancje chemiczne zawierające metale ciężkie należą powietrze, woda i gleba. Szczególnie narażone na zanieczyszczenia jest środowisko wodne, ponieważ zbiorniki wodne są często bezpośrednim miejscem zrzutu ścieków przemysłowych, komunalnych i zanieczyszczeń będących wynikiem działalności rolniczej. Do wody substancje szkodliwe dostają się również z powietrza, w wyniku opadów atmosferycznych, jak również z gleb – w wyniku spływów obszarowych [Alloway i Ayres 1999]. Toksyczność metali w wodzie jest warunkowana głównie ich rozpuszczalnością, pH wody oraz jej temperaturą, twardością itp.

Organizmy wodne są szczególnie narażone na bezpośrednie działanie szkodliwych substancji. Metale w organizmach żywych prawie zawsze występują w postaci utlenionej lub chemicznie związanej. Metale w postaci nieorganicznych kationów wykazują w większości przypadków skłonność do silnego wiązania się z białkami i tkankami biologicznymi [Manahan 2010]. Takie wiązanie zwiększa bioakumulację i hamuje ich wydalanie z organizmu.

Ryby jako najważniejsze, z punktu widzenia człowieka, organizmy wodne stanowią cenne źródło wysokowartościowego białka, niezbędnych aminokwasów oraz tłuszczów, dostarczają również wielu makro- i mikroelementów [Łuczyńska i in. 2000b, Polak-Juszczak i Adamczyk 2009], jednak zajmując jedno z ostatnich ogniw w łańcuchu troficznym ekosystemu wodnego mogą akumulować znaczne ilości metali ciężkich. Zawartość metali w organizmach zależy od: dawki, drogi wchłaniania, szybkości wydalania, a także od sposobu odżywiania.

Ocena stopnia skażenia ekosystemów wodnych metalami ciężkimi nie może ograniczyć się tylko do określania ich stężeń w wodzie, ale również w organizmach żywych w nich bytujących, dlatego też celem niniejszej pracy jest zbadanie koncentracji Pb, Cd, Cu i Zn w różnych tkankach i organach pstrąga tęczowego ze stawów hodowlanych, zasilanych wodą pochodzącą z rzeki Rudawa (lewobrzeżny dopływ Wisły) w zależności od wieku ryb i sezonu (jesień, wiosna).

## 2. MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na terenie Rybackiej Stacji Doświadczalnej Katedry Ichtiologii i Rybactwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Stawy hodowlane są zasilane

wodą z rzeki Rudawa, lewobrzeżnego dopływu Wisły. Rzeką Rudawa jest odbiornikiem ścieków komunalnych, głównie z miasta Krzeszowice (przez Krzeszówkę) oraz gminy Zabierzów. Do zlewni Rudawy odprowadza się około 1,5 mln m<sup>3</sup> ścieków komunalnych oraz 0,8 mln m<sup>3</sup> ścieków przemysłowych. Ponadto Rudawa jest jednym ze źródeł wody pitnej dla Krakowa (ujęcie w Mydlnikach) oraz gminy Zabierzów. Jakość wody w Rudawie w latach 2006 i 2007, w których pobrano próby, zakwalifikowano jako zadowalającą, odpowiadającą III klasie czystości w pięciostopniowej skali czystości wód [WIOŚ... 2007, 2008]. Z pomiarów wykonanych przez MPWiK ZUW Rudawa wynika, że stężenia ołowiu i miedzi w wodzie Rudawy były mniejsze niż 0,005 mg·l<sup>-1</sup>, cynku – mniejsze niż 0,08 mg·l<sup>-1</sup>, a kadmu mniejsze niż 0,001 mg·l<sup>-1</sup>.

Pstrągi tęczowe przebywały w stawach betonowych (tuczowe) o powierzchni 70 m<sup>2</sup>, głębokości 0,5–1,5 m i obsadzie ok. 150 kg. Ryby były karmione zbilansowaną paszą firmy *Aller Aqua* w dziennej dawce 2% masy ciała.

W listopadzie 2006 oraz w maju 2007 roku losowo odłowiono po 10 sztuk jednorocznych (w wieku 9 i 15 miesięcy) oraz dwuletних (w wieku 21 i 27 miesięcy) pstrągów tęczowych. Średnia masa ciała pstrągów jednorocznych złowionych jesienią wynosiła 93,1 g, a wiosną – 146,57 g, natomiast dwuletних jesienią – 352,68 g, a wiosną – 529,40 g. Po dekapitacji pobrano fragmenty tkanek i organów ryb (1–5 g): mięśni, wątroby, śledziony, nerek, skrzeli, serca, wyrostków pylorycznych, żołądka i jelit. Pobrane próbki poddano mineralizacji w mieszaninie kwasu azotowego (HNO<sub>3</sub>) i nadchlorowego (HClO<sub>4</sub>), a następnie oznaczono stężenie Pb, Cd, Cu i Zn w spektrometrze absorpcji atomowej ATI UNICOM 929.

Uzyskane wyniki (w mg·kg<sup>-1</sup> mokrej masy) poddano jednoczynnikowej analizie wariancji oraz za pomocą testu t–Studenta wykazano istotność różnic między badanymi metalami, tkankami i organami. Za pomocą pakietu Statistica obliczono również współczynnik korelacji Spearmana, określając zależność stężenia metali w tkankach od wieku ryb i sezonu.

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

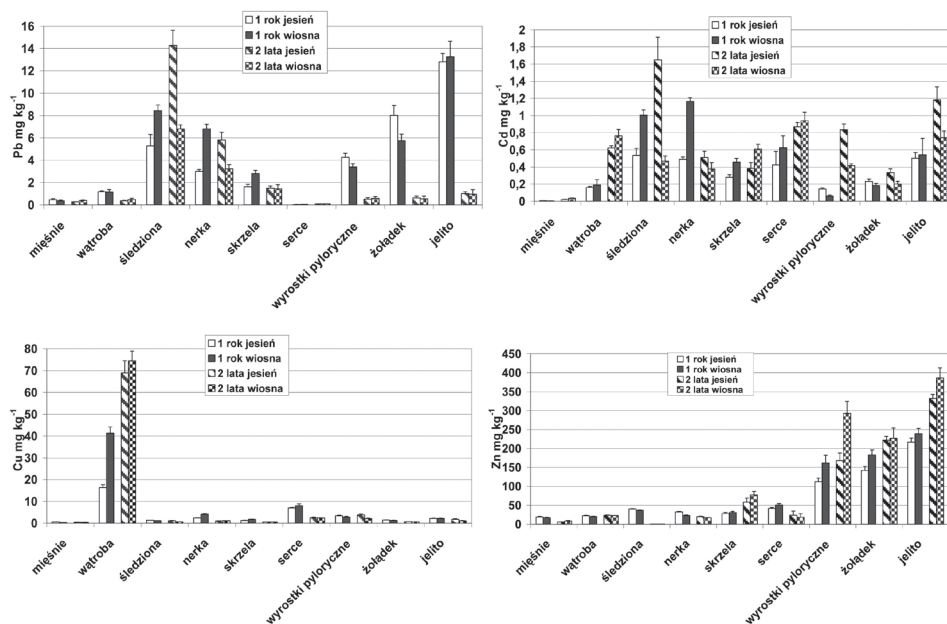
Zawartość metali ciężkich w tkankach ryb jest efektem ich pobierania w trakcie życia w dwojaki sposób: przez akumulację z otaczającego środowiska (wody), głównie przez skrzela, oraz drogą pokarmową wraz z pożywieniem [Tepe i in. 2008]. W naturalnych warunkach obie drogi akumulacji metali zachodzą równocześnie, a końcowym rezultatem jest stężenie pierwiastka w tkankach. Stężenie to można określić jako funkcję ilości przyjętego metalu, współczynnika jego wchłaniania przez daną tkankę oraz tempa eliminacji metalu z organizmu. Zjawisko to nazywamy bioakumulacją [Parlar i Angerhöfer 1991]. Różnorodne metale ciężkie występujące w środowisku wodnym działają niekorzystnie na znajdujące się tam organizmy. Większość badań dotyczących zawartości metali ciężkich

w tkankach ryb ogranicza się głównie do mięśni [Łuczyńska i in. 2000a, 2000b, Szczerbik i in. 2001, Aygun i in. 2004], tymczasem porównawcze dane z obszernej literatury, dotyczącej pobierania i rozmieszczania metali w ciele ryb dowodzą, że ich kumulacja w tkance mięśniowej jest stosunkowo niewielka. W największych ilościach metale odkładają się w tkankach i organach miękkich, takich jak wątroba, nerki, śledziona, przewód pokarmowy i skrzela [Jezierska, Witeska 2003, Tekin-Özan 2008]. Ponadto różne tkanki i organy ryb akumulują różne ilości poszczególnych metali ciężkich [Szulkowska-Wojacek i in. 1992, Malik i in. 2010].

W badaniach prezentowanych w niniejszej pracy zaobserwowano podobne zależności. Największą koncentrację ołowiu odnotowano w śledzionie dwuletних pstrągów jesienią ( $14,28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), następnie w jelicie jednorocznych ryb pobranych wiosną ( $13,26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Najmniej ołowiu zanotowano w sercu jednorocznych pstrągów złowionych jesienią i wiosną – odpowiednio  $0,03$  oraz  $0,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , również w mięśniach koncentracja była mała i nie przekroczyła wartości  $0,46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  u pstrągów jednorocznych i  $0,39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  u dwuletних (rys. 1). Oznaczone wartości w niewielkim stopniu przekroczyły dopuszczalny poziom ołowiu w mięsie rybim, który wg rozporządzenia Komisji (WE) z 2006 roku wynosi  $0,3 \text{ mgPb} \cdot \text{kg}^{-1}$  świeżej tkanki [Rozporządzenie...2006]. Zaobserwowano, że koncentracja ołowiu w tkankach zmniejsza się z wiekiem – szczególnie wyraźnie widać to w przypadku żołądka, jelit, wyrostków pylorycznych, wątroby oraz skrzeli. Tłumaczy się to większą aktywnością i większym zapotrzebowaniem na tlen oraz energię młodszych ryb [Canpolat i Calta 2003]. Co więcej u starszych ryb lepiej funkcjonują mechanizmy obronne, w związku z czym eliminacja szkodliwych związków z organizmu jest szybsza. Podobne zależności zaobserwowali inni autorzy [Popławska i Korzeniowski 1991, De Wet i in. 1994, Łuczyńska i in. 2000a].

Odnotowano ujemny współczynnik korelacji między stężeniem ołowiu a wiekiem: w przypadku wątroby ( $r = -0,676$ ,  $p < 0,0001$ ), wyrostków pylorycznych ( $r = -0,828$ ,  $p < 0,0001$ ), żołądka ( $r = -0,859$ ,  $p < 0,0001$ ) i jelit ( $r = -0,78$ ,  $p < 0,0001$ ), natomiast w przypadku nerek i serca koncentracja ołowiu była dodatnio skorelowana z wiekiem (odpowiednio  $r = 0,65$ ,  $p < 0,001$  i  $r = 0,858$ ,  $p < 0,0001$ ). Nie zaobserwowano zależności koncentracji ołowiu w tkankach i organach od sezonu (rys. 1).

Podobnie jak w przypadku ołowiu, najwięcej kadmu zakumulowała śledziona dwuletних pstrągów jesienią ( $1,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), a następnie kolejno – jelito jesienią ( $1,18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) oraz nerki jednorocznych ryb wiosną ( $1,16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Najmniej Cd odnotowano w mięśniach jednorocznych ryb ( $0,003 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnego poziomu w mięsie ryb, który wynosi  $0,05 \text{ mgCd} \cdot \text{kg}^{-1}$  [Rozporządzenie...2006]. Fakt ten jest korzystny z punktu widzenia konsumenta, gdyż właśnie 2-letnie pstrągi tęczowe są przeznaczone do spożycia.



**Rys. 1.** Porównanie koncentracji Pb, Cd, Cu, Zn w tkankach i organach pstrąga tęczowego w zależności od wieku i sezonu (jesień, wiosna)

**Fig. 1.** Pb, Cd, Cu and Zn concentration in some tissues and organs of rainbow trout in relation to fish age and season (Autumn, Spring)

Koncentracja kadmu w większości tkanek i organów, w przeciwieństwie do ołowiu, zwiększa się z wiekiem ryb. Dodatnią korelację odnotowano w przypadku mięśni ( $r = 0,831$ ,  $p < 0,0001$ ), wątroby ( $r = 0,793$ ,  $p < 0,0001$ ), skrzeli ( $r = 0,511$ ,  $p < 0,01$ ), serca ( $r = 0,714$ ,  $p < 0,0001$ ), wyrostków pylorycznych ( $r = 0,591$ ,  $p < 0,0001$ ) i jelit ( $r = 0,418$ ,  $p < 0,05$ ). Podobną zależność zwiększania się koncentracji kadmu z wiekiem w mięśniach, wątrobie i nerkach ryb wykazali Dobicki i Polechoński [2003] oraz Farkas i in. [2002]. Badania zależności akumulacji kadmu od sezonu wykazały większą koncentrację kadmu wiosną w mięśniach, wątrobie, skrzelach i sercu, natomiast jesienią – w żołądku i wyrostkach pylorycznych (rys. 1).

Miedź i cynk są ważnymi mikroelementami, niezbędnymi do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Zarówno niedobór, jak i nadmiar tych metali może zakłócać równowagę biologiczną ekosystemów wodnych oraz wpływać na utrzymanie prawidłowego przebiegu funkcji życiowych organizmów żywych [Łuczyńska i in. 2000a].

Miedź wchodzi w skład wielu enzymów i białek. Jest konieczna w procesie powstawania krwinek czerwonych, tworzenia kości oraz kolagenu, w metabolizmie kwasów tłuszczowych, syntezie RNA, wspomaga wchłanianie oraz transport żelaza, ma wpływ na sprawne funkcjonowanie układu nerwowego. Miedź wchłonięta i rozmieszczona w organizmie ryb,

w najwyższej koncentracji występuje w wątrobie [Brucka-Jastrzębska i in. 2009, Ronagh i in. 2009, Abel-Baki i in. 2011]. Wysoki poziom miedzi w wątrobie jest związany z aktywnością metaloenzymów. Ponadto jednym z zadań wątroby jest filtracja krwi i neutralizacja toksyn, w tym metali ciężkich [Seńczuk 2002].

Najwięcej miedzi odnotowano w wątrobie dwuletnich pstrągów wiosną, gdzie osiągnęła stężenie  $74,53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , natomiast najmniej – w mięśniach, gdzie jej poziom nie przekroczył  $0,54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Jedynie w przypadku wątroby zaobserwowano dodatnią korelację stężenia miedzi z wiekiem ( $r = 0,861$ ,  $p < 0,0001$ ). Podobne wyniki uzyskali Al-Kahtani [2009], Dobicki i Polechoński [2003] oraz Canpolat i Calta [2003]. Stężenie miedzi, podobnie jak ołowiu, w większości tkanek i organów było statystycznie istotnie ujemnie skorelowane z wiekiem: w śledzionie ( $r = -0,757$ ,  $p < 0,0001$ ), nerkach ( $r = -0,664$ ,  $p < 0,0001$ ), skrzelach ( $r = -0,659$ ,  $p < 0,0001$ ), sercu ( $r = -0,807$ ,  $p < 0,0001$ ), wyrostkach pylorycznych ( $r = -0,388$ ,  $p < 0,05$ ), żołądku ( $r = -0,887$ ,  $p < 0,0001$ ) i jelicie ( $r = -0,738$ ,  $p < 0,0001$ ). Badając zależność akumulacji od sezonu odnotowano zwiększenie stężenia miedzi jesienią w mięśniach, śledzionie, wyrostkach pylorycznych, żołądku i jelicie, natomiast wiosną – w wątrobie, nerkach i skrzelach (rys. 1).

Kolejnym badanym mikroelementem był cynk. Wiadomo, że jest on składową wielu metaloenzymów, ponadto znajduje się w cząsteczkach kwasów nukleinowych. Bierze udział w wielu reakcjach syntezy, np.: RNA, DNA, białek, insuliny. Aktywuje około 80 enzymów i jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania układu immunologicznego, dlatego też jest metalem akumulowanym w największych ilościach w organizmach żywych [Szulkowska-Wojacek i in. 1992, Farkas i in. 2002, Al-Kahtani 2009, Malik i in. 2010]. Również w tkankach i organach pstrąga tęczowego stężenie cynku osiągnęło poziom wyższy niż innych badanych metali. Najwięcej tego metalu zakumulowały jelita dwuletnich ryb w sezonie wiosennym ( $386,27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), a następnie kolejno – wyrostki pyloryczne ( $292,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) oraz żołądek ( $226,94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Najmniej cynku odnotowano w śledzionie dwuletnich pstrągów odłowionych wiosną ( $0,363 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) oraz w mięśniach dwuletnich ryb jesienią ( $5,94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Zwiększenie koncentracji cynku z wiekiem zaobserwowano w skrzelach ( $r = 0,703$ ,  $p < 0,0001$ ), wyrostkach pylorycznych ( $r = 0,699$ ,  $p < 0,0001$ ), żołądku ( $r = 0,537$ ,  $p < 0,001$ ) oraz jelicie ( $r = 0,753$ ,  $p < 0,0001$ ), natomiast ujemną korelację odnotowano w mięśniach ( $r = -0,724$ ,  $p < 0,0001$ ), śledzionie ( $r = -0,806$ ,  $p < 0,0001$ ), nerkach ( $r = -0,821$ ,  $p < 0,0001$ ) i sercu ( $r = -0,747$ ,  $p < 0,0001$ ). Podobne rezultaty otrzymali w badaniach na sandaczu i okoniu Dobicki i Polechoński [2003]. W mięśniach, wątrobie i nerkach pstrąga tęczowego najwięcej cynku wykazano jesienią, z kolei wiosną – w skrzelach, wyrostkach pylorycznych, żołądku i jelicie (rys. 1). Podobne wyniki uzyskał Al-Kahtani [2009] dla mięśni i wątroby tilapii nilowej.

W niniejszych badaniach zaobserwowano różny profil koncentracji metali w poszczególnych tkankach i organach pstrąga tęczowego: w przypadku mięśni –  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$ , wątroby –  $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd}$ , serca –  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Pb}$ , natomiast śledziony, nerek, skrzeli, wyrost-

ków pylorycznych, żołądka i jelit – Zn>Pb>Cu>Cd (rys. 1). Podobne rezultaty otrzymał Ashraf [2005], badając zawartość metali w sercu i nerkach *Epinephelus microdon* z rzędu okoniokształtnych.

Badając koncentracje metali ciężkich w tkankach i organach ryb możemy określić stopień zanieczyszczenia środowiska wodnego oraz ocenić zagrożenia dla zdrowia i kondycji ryb, jak również człowieka, stojącego na końcu łańcucha troficznego.

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zaobserwowano znaczne różnice w koncentracji metali ciężkich w badanych tkankach i organach pstrąga tęczowego. Najmniejsze ilości metali stwierdzono w mięśniach. Metalem dominującym we wszystkich badanych tkankach i organach był cynk, a następnie miedź. Koncentracja metali zarówno w tkankach, jak i organach była zróżnicowana w zależności od wieku i sezonu. W przypadku Pb i Cu zaobserwowano zmniejszenie koncentracji tych metali z wiekiem w przeważającej większości badanych tkanek i organów pstrąga tęczowego. Z kolei w przypadku Cd i Zn odnotowano sytuację odwrotną – zwiększenie koncentracji w większości tkanek i organów. Sezonowe różnice koncentracji w tkankach i organach wykazano w przypadku cynku, miedzi i kadmu. Większe stężenie Cd i Zn zaobserwowano wiosną, natomiast Cu – jesienią.

#### PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- ABEL-BAKI A.S., DKHIL M.A., AL-QURAI SHY S. 2011. Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia. *African Journal of Biotechnology* 10(13): 2541–2547.
- AL-KAHTANI M. 2009. Accumulation of heavy metals in tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from Al – Khadoud Spring, Al.-Hassa, Saudi Arabia. *American Journal of Applied Sciences* 6(12): 2024–2029.
- ALLOWAY B.J., AYRES D.C. 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- ASHRAF W. 2005. Accumulation of heavy metals in kidney and heart tissues of *Epinephelus microdon* fish from the Arabian Gulf. *Environ. Monitoring and Assessment* 101: 311–316.
- AYGUN O., YARSAN E., AKKAYA R. 2004. Lead and copper levels in muscle meat of crucian carp (*Carassius carassius* L. 1758) from Yarseli Dam Lake, Turkey. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 72: 135–140.
- BRUCKA-JASTRZĘBSKA E., KAWCZUGA D., RAJKOWSKA M., PROTASOWICKI M. 2009. Levels of microelements (Cu, Zn, Fe) and macroelements (Mg, Ca) in freshwater fish. *J. Elementol.* 14(3): 437–447.

- CANPOLAT Ö., CALTA M. 2003. Heavy metals in some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbra* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons. *Fresenius Environ. Bulletin* 12(9): 961–966.
- DE WET L.M., SCHOONBE H., DE WET L.P., WIID A. 1994. Bioakumulation of metals by the southern mouthbrooder, *Pseudocrenilabrus philander* from a mine polluted impoundment. *Water SA*. 20: 119–126.
- DOBICKI W., POLECHOŃSKI R. 2003. Relationship between age and heavy metals bioaccumulation by tissues of four fish species inhabiting Wojnowski Lakes. *A. Scient. Pol. Piscaria* 2(1): 27–44.
- FARKAS A., SALÁNKI J., SPECZIÁR A. 2002. Relation between growth and the heavy metal concentration in organ of bream *Abramis brama* L. populating lake Balaton. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 43: 236–243.
- JEZIERSKA B., WITESKA M. 2003. Zawartość metali w mięśniach ryb – wskaźnik użyteczny dla celów konsumpcyjnych ale nie dla celów naukowych. *Materiały z XIX Zjazdu Hydrobiologów, 9-12 września 2003, Warszawa.*
- ŁUCZYŃSKA J., JAWORSKI J., MARKIEWICZ K. 2000a. Wybrane metale w tkance mięśniowej ryb z jeziora Łańskiego. *Komunikaty Rybackie* 3: 22–25.
- ŁUCZYŃSKA J., JAWORSKI J., MARKIEWICZ K. 2000b. Wybrane metale w tkance mięśniowej ryb z jezior mazurskich. *Komunikaty Rybackie* 4: 22–25.
- MALIK N., BISWAS A.K., QURESHI T.A., BORANA K., VIRHA R. 2010. Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. *Environ. Monit. Assess.* 160: 267–276.
- MANAHAN S.E. 2010. Toksykologia środowiskowa. Aspekty chemiczne i biochemiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- PARLAR H., ANGERHÖFER D. 1991. *Chemische Ökotoxikologie*. Springer, Berlin: 384 .
- POLAK-JUSZCZAK L., ADAMCZYK M. 2009. Jakość i skład aminokwasowy białka ryb z Zalewu Wiślanego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 3(64): 75–83.
- POLECHOŃSKI R., 2004. Ołów w ekosystemie jeziora Sława – przemieszczanie, kumulacja oraz próba bilansu w dziesięcioleciu 1993–2003. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rozprawy CCXXIII.*
- POPŁAWSKA M., KORZENIOWSKI K. 1991. Ciernik (*Gastostomus aculeatus* L.) jako bioindykator metali śladowych w przybrzeżnych wodach morskich. W: *Metale ciężkie w środowisku przyrodniczym*. TWWP Oddz. w Lublinie, Lublin: 35–38.
- RONAGH M.T., SAFARI A., PAPAHN F., HESNI M.A. 2009. Bioaccumulation of heavy metals in *Euryglossa orientalis* from the Hendijan Seaport (Coastal of Persian Gulf), Iran. *J. Biolog. Scien.* 9(3) 272–275.
- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.** *Dz. Urz. UE, L 364:5–20.*



- SEŃCZUK W. 2002. Toksykologia. PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa.
- SZCZERBIK P., MIKOŁAJCZYK T., SOCHA M., CHYB J., EPLER P. 2001. Akumulacja kadmu w mięśniach karasia *Carassius auratus* przy żywieniu paszą z różną koncentracją CdCl<sub>2</sub>. Rocz. Nauk. Zoot., Supl. 12: 253–259.
- SZULKOWSKA-WOJACZEK E., MAREK J., DOBICKI W., POLECHOŃSKI R. 1992. Metale ciężkie w środowisku stawowym. Zeszyty naukowe AR we Wrocławiu 218: 7–25
- TEKIN-ÖZAN S. 2008. Determination of heavy metals levels in water, sediment and tissues of techn. (*Tinca tinca* L., 1758) from Beysehir Lake (Turkey). Environ. Monit. Assess. 145: 295–302.
- TEPE Y., TÜRKMEN M., TÜRKMEN A. 2008. Assessment of heavy metals in two commercial fish species of four Turkish seas. Environ. Monit Assess. 146: 277–284.
- WIOŚ 2007. Ocena jakości wód powierzchniowych w województwie małopolskim w roku 2006. Raport. [http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/2007/wody\\_ocena\\_2006.pdf](http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/2007/wody_ocena_2006.pdf)
- WIOŚ 2008. Ocena jakości wód powierzchniowych w województwie małopolskim w roku 2007. Raport. [http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/2008/wody\\_ocena\\_2007.pdf](http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/2008/wody_ocena_2007.pdf)