

Dynamika zmian poziomu cynku w organizmie karpia po dootrzewnowej intoksykacji kadmem^{*)}

EWA BRUCKA-JASTRZĘBSKA, MIKOŁAJ PROTASOWICKI*

Katedra Fizjologii Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Szczecińskiego, al. Piastów 40 B, 71-065 Szczecin

*Katedra Toksykologii Wydziału Nauk o Żywności i Rybactwa AR, ul. Papieża Pawła VI 3, 71-424 Szczecin

Brucka-Jastrzębska E., Protasowicki M.

Influence of cadmium poisoning on zinc level concentration in carp tissues during growth

Summary

The aim of the study was to determine the influence of cadmium sub-lethal intoxication doses ($10 \mu\text{g Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$ body weight) on zinc levels in freshwater fish tissues, using the common carp as the experimental example.

The 60-day experiment was divided into 8 stages during which organs and tissues were collected (liver, kidneys, skin, gills, alimentary tract and muscles). Zinc levels were determined in the collected samples at designated time periods. Statistically important changes in zinc concentrations were obtained. The performed experiment facilitated obtaining images of zinc level changes in cadmium poisoned carps during the detoxification process.

Keywords: carp, zinc, poisoning

Metale ciężkie, w tym kadm są pierwiastkami naturalnymi, które są obecne w przyrodzie i uczestniczą w obiegu materii (6, 9). W wyniku negatywnej działalności człowieka dochodzi do zwiększonego udziału metali ciężkich w tym obiegu i zaburzenia naturalnych procesów zachodzących w środowisku (9). Metale obecne w wodzie wnikają do organizmu ryb bezpośrednio przez skórę i skrzela lub z pożywieniem przez przewód pokarmowy (1, 7, 12, 14-16, 21, 24). Negatywny wpływ cynku, kadmu, rtęci, miedzi, cyny i ołowiu na ryby i inne organizmy wodne opisują liczne dane literaturowe (6, 8, 13, 25). Zawartość metali ciężkich, w tym również kadmu, w narządach i tkankach ryb zależy od drogi podania lub wnikania do organizmu. Dane piśmiennictwa dotyczą głównie wpływu metali ciężkich rozpuszczonych w wodzie lub podawanych z pożywieniem, w mniejszym stopniu dotyczą innych form intoksykacji, na organizmy żyjące w środowisku wodnym (3, 8, 13, 21). W dostępnej literaturze stosowano do celów porównawczych różne drogi wnikania ksenobiotyków, np. iniekcję dootrzewnową (3, 4) i domięśniową (19). Badania przeprowadzone na zwierzętach wskazują, że istnieje wzajemny antagonizm między poziomem kadmu a cynku w organizmie zwierząt (8, 15, 21). Zatrucie kadmem powoduje zaburzenie funkcji rozrodczych (niepłodność) i zmiany nowotworowe oraz zaburzenia metabolizmu cynku. Stwierdzono także antagonistyczne współdzia-

łanie między kadmem, żelazem oraz miedzią (8, 15, 21).

Celem badań było określenie wpływu subletalnej dawki kadmu, wprowadzonej do organizmu ryb drogą dootrzewnową na poziom zawartości cynku w tkankach i narządach karpia w trakcie procesu detoksykacji w ciągu pierwszych 60 dni po zatruciu.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono na 80 karpkach. Masa pojedynczych ryb wynosiła 88,3-138,7 g, a długość 17,5-20,2 cm. W chwili rozpoczęcia badań karpie miały 3 miesiące, a po zakończeniu eksperymentu osiągnęły wiek 5,5 miesiąca. Ryby, po przywiezieniu do laboratorium, zostały umieszczone po 20 sztuk w 4 napowietrzanych akwariach o pojemności 120 dm³, napełnionych wodą wodociągową. Akwaria napełniono wodą wodociągową 10 dni przed rozpoczęciem eksperymentu w celu ogrzania i odstania wody. Ryby przed rozpoczęciem eksperymentu poddano aklimacji przez okres 14 dni. Karpie w czasie okresu aklimacji były w dobrej kondycji. Ryby żywiono granulatem paszowym Aller Aqua o zawartości 37% białka i 12% tłuszczu, takim samym, jaki otrzymywały w warunkach hodowli w stacji doświadczalnej. Dawka dzienna podanego granulatu wynosiła $3,4 \pm 0,2$ g/rybę. W czasie trwania eksperymentu temperatura wody w akwariach wynosiła $21 \pm 2^\circ\text{C}$, zawartość tlenu utrzymywała się w granicach 8,0-9,0 mg O₂·dm⁻³, pH 7,0-7,5, a twardość wody wynosiła 10,71 mval·dm⁻³.

Ryby podzielono losowo na dwie grupy po 40 osobników. Pierwszą grupę stanowiły karpie, które nie zostały

^{*)} Badania realizowano w ramach promotorskiego grantu KBN nr 3 PO4E 030 22.

poddane żadnym zabiegom, była to grupa kontrolna (fizjologiczna) ($G_{Fiz.}$). Drugą grupę stanowiły karpie, które jednorazowo drogą iniekcji dootrzewnowej otrzymały wodny roztwór kadmu (Cd^{2+}) w postaci soli azotanu (V) kadmu (II) w dawce $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ masy ciała (G_{Cd}). Wybrana droga podania ksenobiotyku oraz dobór użytej do iniekcji dawki miał charakter czysto eksperymentalny, a nie praktyczny. Wcześniej przeprowadzone przez Morsy'a i Protasowickiego (14) badania dowiodły, że kadm obecny w wodzie w stężeniu $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, nie wywołuje zmian toksycznych w organizmie karpia. Wybranie dootrzewnowej intoksykacji jako metody wprowadzenia kadmu do organizmu ryb miało na celu porównanie wpływu subletalnej dawki kadmu podanego bezpośrednio do jamy otrzewnowej z subletalną dawką kadmu rozpuszczonego w wodzie, w której przebywały karpie we wcześniej przeprowadzonym eksperymencie. Należy zauważyć, że o połowę niższe stężenie, tj. $5 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, stanowi dopuszczalne stężenie kadmu w wodach pitnych większości krajów (18), natomiast dopuszczalna zawartość kadmu w ściekach odprowadzanych do wód wynosi $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (17, 18). Użyta w doświadczeniu dawka stanowi zatem dwukrotność dopuszczalnego stężenia tego metalu w niezanieczyszczonym środowisku wodnym.

Po wykonaniu iniekcji doświadczenie trwało 60 dni. Materiał do badań był pobierany każdorazowo od 5 ryb z każdej grupy, w sposób losowy, według następującego schematu: przed wykonaniem iniekcji (godzina 0), a następnie po 6 godzinach oraz po 1, 3, 7, 14, 30 i 60 dobach. Z każdej ryby do analiz chemicznych pobrano próbki: wątroby, przedniej i środkowo-końcowej części przewodu pokarmowego, nerek, blaszek skrzelowych, skóry i mięśni grzbietowych. Podziału przewodu pokarmowego na dwie części dokonano ze względu na jego funkcje. U ryb karpioatych pobrany pokarm nie ulega rozdrobnieniu i połączeniu ze śliną w jamie gębowej, ponieważ śluzówka jamy gębowej jej nie wytwarza. Bezmięśniowy język ryb nie nadaje się do przesuwania pokarmu przez odcinek skrzelowy do przełyku, który przechodzi w żołądek, będący rozszerzeniem rury jelitowej u ryb karpioatych, które nie posiadają żołądka. Następnie nadtrawiony pokarm już jako papka przemieszcza się do prostej rury jelita środkowego i końcowego. Odbywa się tutaj dalsze trawienie pokarmu i chłonięcie przez ściany przyswajalnych składników. Pobrany materiał zamrażano i do rozpoczęcia analiz chemicznych przechowywano w temperaturze -20°C .

Próbki narządów o masie 1 g mineralizowano na mokro w 3 cm^3 stężonego kwasu HNO_3 w piecu mikrofalowym CEM MDS 2000. Uzyskany roztwór przeniesiono ilościowo do polietylenowych buteleczek i dopełniono wagowo wodą dejonizowaną do masy 30 g. Tak przygotowane próbki poddano analizie na zawartość cynku, przy użyciu emisyjnej spektrometrii atomowej w plazmie indukcyjnie sprzężonej

(ICP-AES) w aparacie Jobin Yvon. Zawartość cynku została podana w $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ mokrej masy ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ m.m.).

W czasie trwania eksperymentu, w podanych odstępach czasu, od ryb pobierano do badań hematologicznych krew z osierdzia metodą punkcji igłowej przy pomocy igły pokrytej heparyną. Pobraną krew przeniesiono do probówek pokrytych 500 jednostkami litowej heparyny o pojemności $1,5 \text{ cm}^3$. W pobranej krwi oznaczono parametry hematologiczne: liczbę erytrocytów (RBC) i leukocytów (WBC) w $1 \mu\text{l}$ krwi oraz stężenie hemoglobiny. Erytrocyty (23) i leukocyty (2) zostały policzone w komorze Bürkera przy 200-krotnym rozcieńczeniu krwi. Stężenie hemoglobiny (Hb) oznaczono fotokolorymetrycznie metodą cyjanmetemoglobinową, przy użyciu odczynnika Drabkina (2). Rozmazy krwi wybarwiono metodą Pappenheima i oglądano pod powiększeniem 1000 przy użyciu mikroskopu Nikon-Eclipse E 600 w programie Multiscan v6.08. Wszystkie powyższe badania przeprowadzono przy użyciu standardowych odczynników firmy ANALAB.

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej przy pomocy programu Statistica 6.0. Wykonano analizę wariancji (Anova) na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

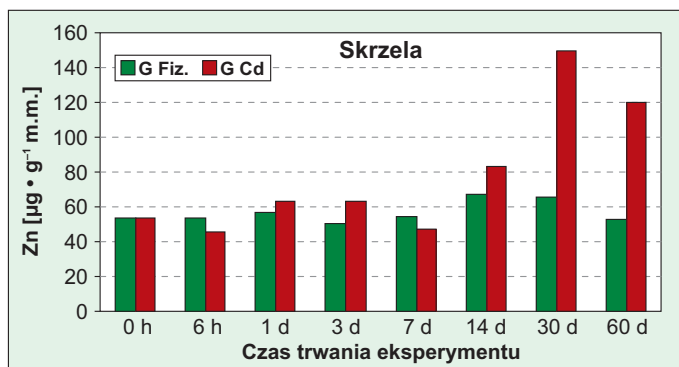
Wyniki i omówienie

W badanych tkankach i narządach karpia z grupy kontrolnej średni poziom cynku z 60 dni kształtował się w przedziale $4,89 \div 159,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ m.m. w zależności od badanej próby (tab. 1). Uzyskane wartości dla gru-

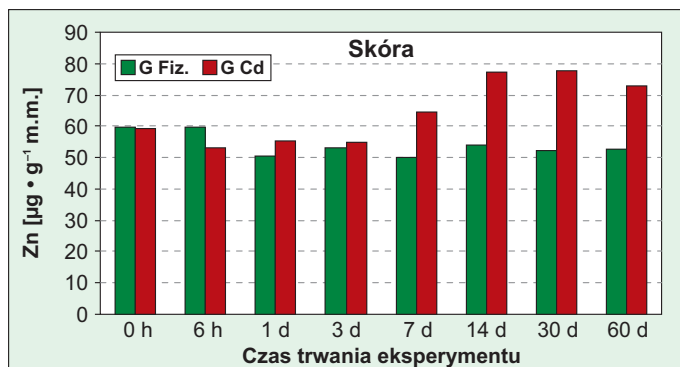
Tab. 1. Zawartość cynku w narządach karpia po dootrzewnowej intoksykacji kadmem oraz w narządach ryb z grupy kontrolnej w trakcie 60 dni badań (n = 40)

Badany narząd	Grupa ryb	Zawartość Zn ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ m.m.)					Współczynniki korelacji (r^2)	Istotność zmian w czasie wewnątrz grup
		\bar{x}	średni przedział wartości	$\pm Sx$	min.	max.		
Skrzela	$G_{Fiz.}$	56,9	50,6÷67,3	11,5	38,9	86,9	0,732	-
	G_{Cd}	78,2*	45,9÷149,5	38,7	32,1	176,4		+
Skóra	$G_{Fiz.}$	54,0	49,8÷59,8	6,1	42,0	66,3	0,651	-
	G_{Cd}	64,4*	53,1÷77,6	12,4	42,0	92,2		+
Wątroba	$G_{Fiz.}$	47,3	43,6÷54,8	9,0	35,2	70,2	0,784	-
	G_{Cd}	55,7*	12,8÷91,9	23,9	10,3	110,4		+
Nerka	$G_{Fiz.}$	159,3	141,2÷177,1	17,0	127,6	197,4	-	-
	G_{Cd}	204,2*	72,4÷365,1	86,9	64,9	378,6		+
Mięśnie	$G_{Fiz.}$	4,89	4,3÷5,4	0,55	4,01	6,70	-	-
	G_{Cd}	5,85*	4,4÷7,5	1,34	4,05	8,49		+
P1	$G_{Fiz.}$	139,2	132,7÷160,9	13,0	116,9	186,0	-	-
	G_{Cd}	235,9*	133,6÷316,8	54,9	128,5	382,4		+
P2	$G_{Fiz.}$	56,6	44,3÷66,9	10,9	21,5	77,7	-	-
	G_{Cd}	104,7*	44,4÷260,4	50,6	39,6	240,9		+

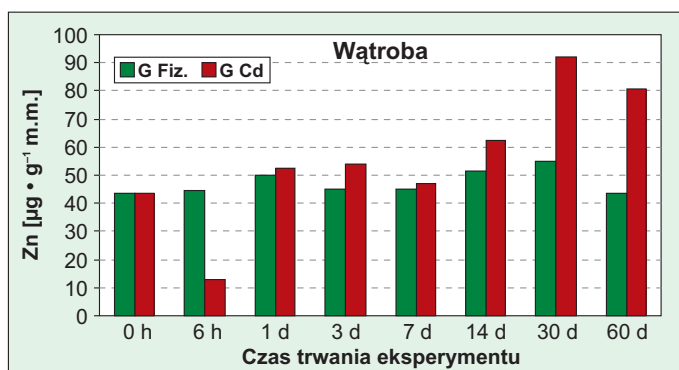
Objaśnienia: G_{Cd} – ryby intoksykowane kadmem; $G_{Fiz.}$ – ryby z grupy kontrolnej; \bar{x} – średnia; Sx – odchylenie standardowe; n – liczebność; P1 – przednia część przewodu pokarmowego; P2 – środkowo-końcowa część przewodu pokarmowego; * różnice istotne między grupami $p \leq 0,05$; - zmiany statystycznie nieistotne w czasie; + zmiany istotne w czasie ($p \leq 0,05$)



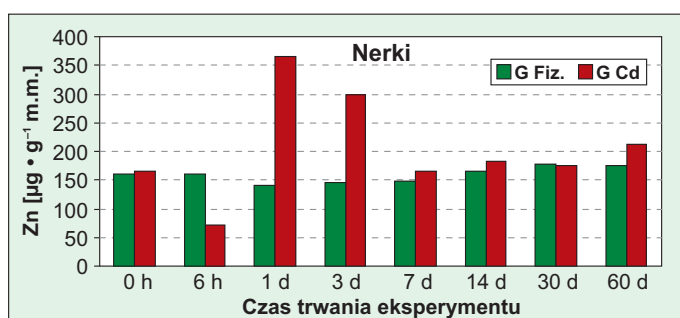
Ryc. 1. Zmiany w poziomie cynku w skrzelach po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji
Objaśnienia: h – godziny, d – doba



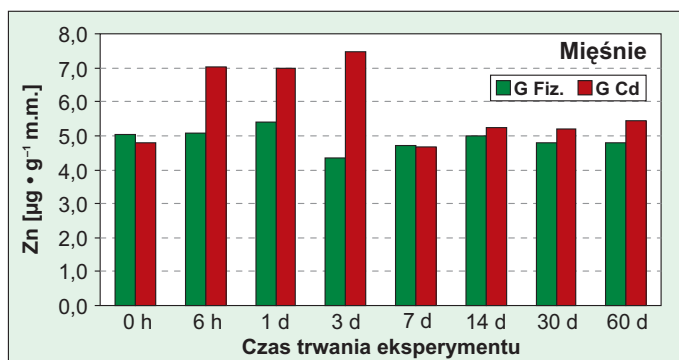
Ryc. 2. Zmiany w poziomie cynku w skórze po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji



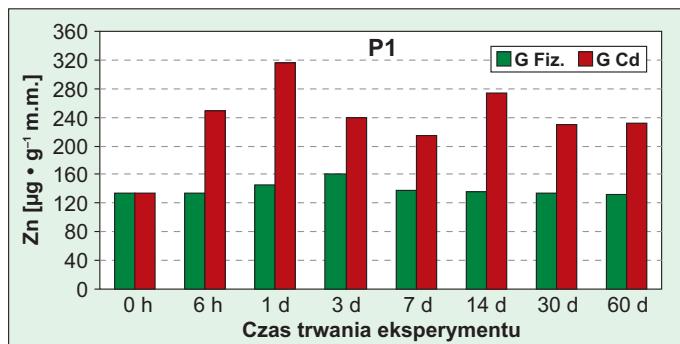
Ryc. 3. Zmiany w poziomie cynku w wątrobie po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji



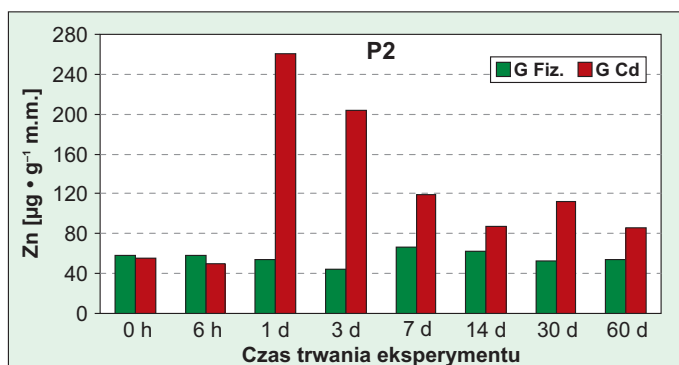
Ryc. 4. Zmiany w poziomie cynku w nerkach po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji



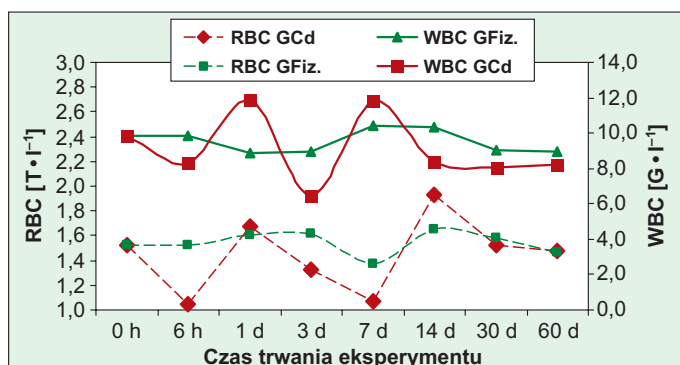
Ryc. 5. Zmiany w poziomie cynku w mięśniach po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji



Ryc. 6. Zmiany w poziomie cynku w przedniej części przewodu pokarmowego (P1) po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji



Ryc. 7. Zmiany w poziomie cynku w środkowo-końcowej części przewodu pokarmowego (P2) po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji



Ryc. 8. Dynamika zmian erytrocytów (RBC) i leukocytów (WBC) po intoksykacji dootrzewnowej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji

py kontrolnej mieściły się w granicach poziomu fizjologicznego dla ryb karpio-watych, co potwierdzają badania innych autorów (1, 8, 12, 15, 25).

U ryb doświadczalnych, poddanych intoksykacji kadmem obserwowano zmiany stężenia cynku we wszystkich badanych narządach i tkankach. Analiza statystyczna potwierdziła, że otrzymane różnice w zawartości cynku były statystycznie istotne względem poziomu cynku w grupie kontrolnej (tab. 1). Wykazano również statystycznie istotną zależność wewnątrz badanych grup między poziomem cynku u ryb a czasem trwania obserwacji po intoksykacji kadmem (tab. 1). W zależności od materiału badanego w grupie ryb intoksykowanych kadmem średni poziom cynku z 60 dni badań mieścił się w granicach $5,85 \div 235,9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ m.m., najniższy był w mięśniach, a najwyższy w przedniej części przewodu pokarmowego i nerkach (tab. 1).

Zmiany zawartości cynku w narządach i tkankach ryb z grupy kontrolnej i intoksykowanej kadmem podczas 60-dniowej obserwacji zostały przedstawione na ryc. 1-7.

Największy wzrost zawartości cynku obserwowano po 24 godzinach od intoksykacji w nerce (ryc. 4), mięśniach (ryc. 5) oraz przedniej (ryc. 6) i środkowo-końcowej (ryc. 7) części przewodu pokarmowego. W następnych dniach badań stwierdzono stopniowy spadek poziomu cynku w badanych próbach, który jednak po upływie 60 dni nie powrócił do normy. Na tej podstawie można wnioskować, że eliminacja kadmu i towarzyszące temu zmiany w poziomie cynku w nerce, mięśniach i przewodzie pokarmowym, jest procesem powolnym. W skrzelach (ryc. 1) początkowo (do 6 godz.) stwierdzono spadek poziomu cynku, a następnie, od 1. do 30. dnia trwania eksperymentu, obserwowano wzrost jego zawartości, który utrzymywał się do końca doświadczenia. Podobne zmiany miały również miejsce w wątrobie (ryc. 3). Prawdopodobnie było to wynikiem wystąpienia procesu redystrybucji kadmu w trakcie procesu eliminacji przez nerki i ponownego włączenia tego związku do dystrybucji w organizmie ryb.

Morsy i Protasowicki (14) oraz inni autorzy (1, 14, 15, 24, 25) wykazali, że kadmem powoduje zaburzenia w poziomie cynku, miedzi, żelaza i magnezu w tkankach i narządach ryb. Uzyskane zmiany w poziomie cynku w przeprowadzonym eksperymencie potwierdzają powyższe dane. Wzrost zawartości cynku w nerkach jest prawdopodobnie związany z wzrastającym rozpadem erytrocytów, w których cynk jest zmagazynowany jako składnik anhidryzy węglanowej (8). Średnia liczba erytrocytów w grupie intoksykowanej kadmem wahała się w przedziale $1,48 \pm 0,89 \text{ T} \cdot \text{l}^{-1}$, a w grupie kontrolnej $1,54 \pm 0,20 \text{ T} \cdot \text{l}^{-1}$ (tab. 2). Na skutek

Tab. 2. Dynamika zmian parametrów hematologicznych we krwi karpia po dootrzewnowej intoksykacji kadmem i we krwi ryb z grupy kontrolnej w trakcie 60 dni badań (n = 40)

Badany parametr	Grupa ryb	Poziom parametrów hematologicznych					Istotność zmian w czasie wewnątrz grup
		\bar{x}	średni przedział wartości	$\pm Sx$	min.	max.	
RBC ($\text{T} \cdot \text{l}^{-1}$)	G _{Fiz.}	1,54	1,21÷1,61	0,20	1,22	1,67	-
	G _{Cd}	1,48	0,66÷2,31	0,29	0,74	2,07	+
WBC ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	G _{Fiz.}	7,86	6,21÷8,78	1,50	6,54	8,30	-
	G _{Cd}	9,96	4,01÷13,03	3,06	4,02	12,99	+
Hb ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	G _{Fiz.}	63,28	45,7÷69,6	9,28	47,31	68,52	-
	G _{Cd}	63,25	42,7÷90,4	10,06	44,42	84,23	+

Objaśnienia: jak w tab. 1

działania substancji toksycznej, którą był podany dootrzewnowo kadmem, doszło do zaburzenia osmozy erytrocytów. W następstwie tego procesu erytrocyty pęczniały i ulegały hemolizie, co zostało zaobserwowane w wykonanych rozmazach hematologicznych krwi ryb (ryc. 9a, b, c, d). Rozpad erytrocytów powoduje wzrost stężenia cynku w silniej ukrwionych narządach.

Wzrost zawartości cynku w wątrobie i nerkach można tłumaczyć również tym, że cynk jest wiązany przez proteiny osocza, a następnie transportowany do wątroby i nerki, gdzie jest wiązany z tioneiną (ryc. 3 i 4). Zmniejszenie się ilości cynku w wątrobie po 6 godzinach od intoksykacji znajduje wytłumaczenie tym, że w tym czasie spada liczba erytrocytów we krwi (ryc. 8). Jest to prawdopodobnie związane z upośledzeniem zdolności produkcyjnej erytrocytów w związku z brakiem cynku w tym okresie.

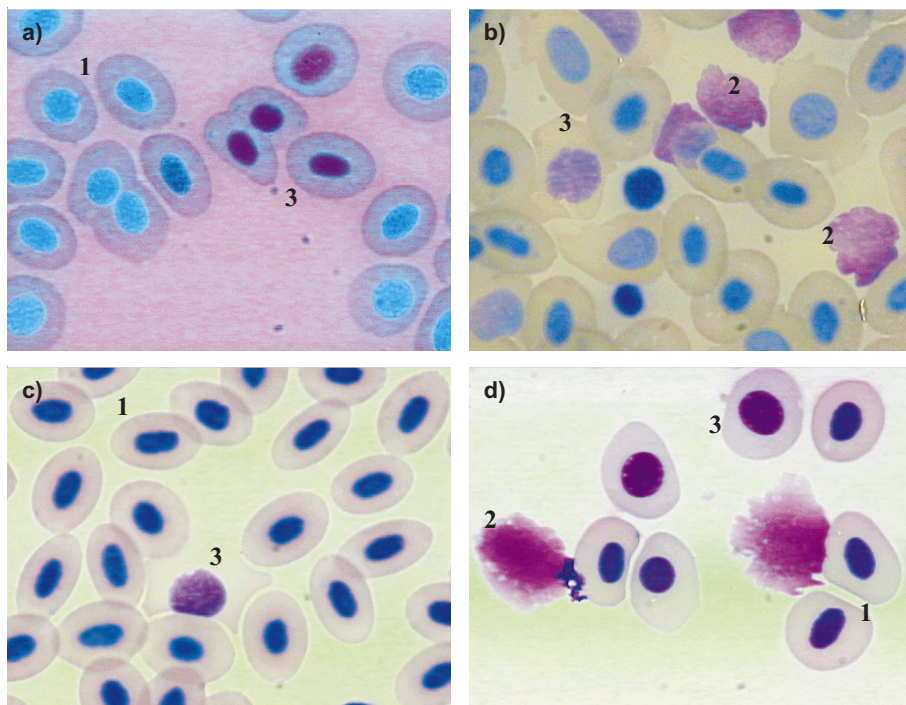
Po zatruciu kadmem obserwowano statystycznie istotne różnice w poziomie leukocytów w trakcie trwania eksperymentu w porównaniu do grupy kontrolnej (tab. 2). Średnia zawartość leukocytów w grupie intoksykowanej kadmem wahała się w przedziale $9,96 \pm 3,03 \text{ G} \cdot \text{l}^{-1}$, a w grupie kontrolnej $7,86 \pm 1,50 \text{ G} \cdot \text{l}^{-1}$ (tab. 2, ryc. 8). Świadczyć to może o reakcji na zatrucie kadmem i towarzyszący temu stres spowodowany zatruciem i codzienną wymianą wody, przy czym należy podkreślić, że codzienna wymiana wody nie miała odzwierciedlenia w statystycznej istotności wyników w grupie kontrolnej (tab. 2) (4).

Wzrost stężenia cynku w skórze i mięśniach po intoksykacji kadmem jest prawdopodobnie związany z wypieraniem tego mikroelementu z innych narządów przez wprowadzony kadmem. Stanowi to przykład działania antagonistycznego pomiędzy cynkiem a kadmem. Wzrost zawartości cynku w przedniej (ryc. 6) i środkowo-końcowej części przewodu pokarmowego (ryc. 7) świadczy o przechodzeniu cynku przez ten narząd. Jelito bierze udział we wchłanianiu cynku, a w sytuacji, kiedy jest jego nadmiar w organizmie, uczestniczy w jego wydalaniu. W przeprowadzonych badaniach wchłanianie nie może być brane pod uwagę, ze

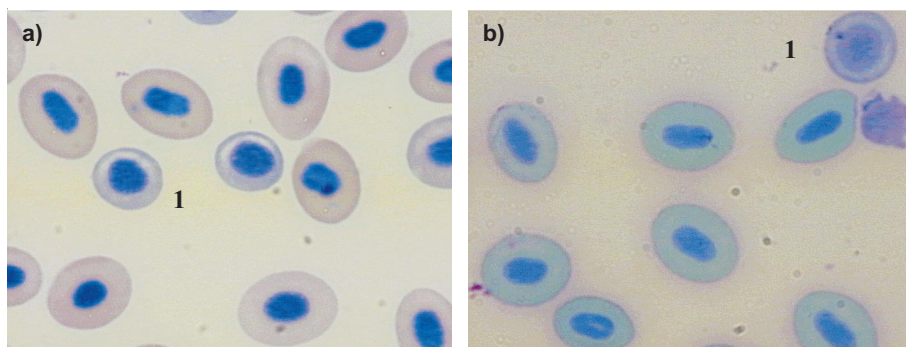
względu na spadek łaknienia u karpia po intoksykacji kadmem (3). Należy raczej przyjąć, że to dowód na wypieranie cynku z organizmu ryby przez wprowadzony drogą iniekcji kadm.

Badanie poziomu związków toksycznych oraz biopierwiastków pozwala szybko zaobserwować zmiany powstające w organizmie ryb. Zaburzenia w poziomie bioelementów i obecność metali ciężkich pojawiają się najszybciej, nawet zanim pojawią się zmiany w zachowaniu się ryb oraz widoczne uszkodzenia. Kadm jest pierwiastkiem silnie toksycznym dla ryb, a także człowieka, ponieważ jest bardzo łatwo wchłaniany przez organizm.

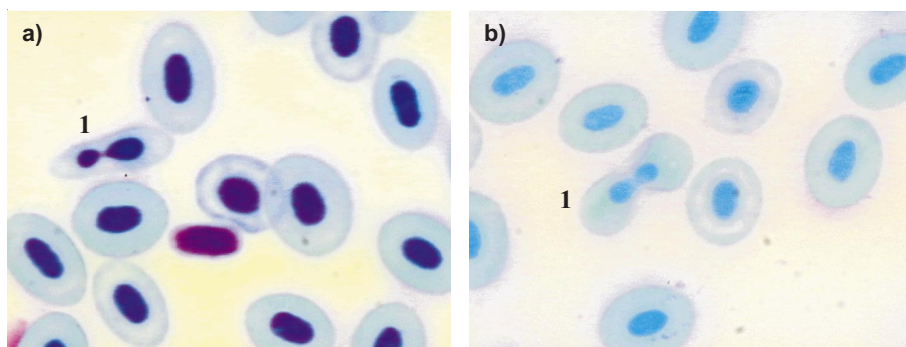
Dostępne informacje w piśmiennictwie sugerują, że objawem zatrucia metalami u ryb (4, 9), w tym również kadmem (7, 20, 24, 25), jest pojawienie się w krwiobiegu form młodocianych erytrocytów (ryc. 10 a, b). Młodociane formy erytrocytów charakteryzują się okrągłym kształtem i dużym, okrągłym, centralnie położonym jądrem o luźnej chromatynie (ryc. 10 a, b). Średnie stężenie hemoglobiny w grupie intoksykowanej kadmem wahało się w przedziale $63,25 \pm 10,6 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ($6,3 \pm 1,1 \text{ g}\%$) i było zbliżone do średniej wartości stężenia hemoglobiny otrzymanej dla grupy kontrolnej $63,28 \pm 9,28 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ($6,3 \pm 0,9 \text{ g}\%$) (tab. 2) (4). Świadczy to o niewielkim działaniu toksycznym subletalnej dawki kadmu podanego w formie iniekcji dootrzewnowej. Statystycznie istotne różnice w stężeniu hemoglobiny pojawiły się w grupie karpia intoksykowanego kadmem w trakcie procesu detoksykacji w 14. dobie od zatrucia. Większość autorów (11, 22) tłumaczy ten proces uruchomieniem w układzie krwiotwórczym mechanizmów kompensacyjnych, dzięki którym organizm stara się utrzymać prawidłowy poziom transportowanego tlenu, zaburzony w wyniku hemolizy erytrocytów (ryc. 9 a, b, c, d). Ponadto wzrost uwalniania form młodocianych erytrocytów do krwi krążącej (ryc. 10) może być spowodowany zwiększeniem zapotrzebowania na energię, która jest niezbędna do przebiegu procesu detoksykacji lub wzrostu aktywności lokomotorycznej będącej wynikiem działania stresu (25). Towarzyszy temu również pojawienie się we krwi



Ryc. 9. Erytrocyty karpia po zatruciu kadmem: a, b, c, d; 1 – erytrocyty prawidłowe, 2 – erytrocyty w stadium hemolizy – cienie po erytrocytach, 3 – erytrocyty, w których rozpoczyna się proces pęcznienia i rozluźniania chromatyny



Ryc. 10. Erytrocyty młodociane (1)



Ryc. 11. Różne stadia amitozy erytrocytów (1)

obwodowej nieprawidłowo dzielących się erytrocytów – podziały amitotyczne (ryc. 11).

Uzyskane wyniki dotyczące poziomu cynku w wybranych narządach i tkankach karpia na tle wyników uzyskanych przez innych autorów (8, 15, 24, 25) można traktować jako wartości prawidłowe dla ryb badanego gatunku. Zaburzenia w gospodarce cynkiem, powstałe na skutek dootrzewnowej intoksykacji kadmem, były

procesem odwracalnym i nie doprowadziły do zatrzymania funkcji życiowych u ryby. Poziom zawartości cynku, jako mikroelementu niezbędnego do prawidłowego funkcjonowania organizmu karpia, po 60 dniach, poza kilkoma wyjątkami (skrzela, wątroba i skóra), wrócił do poziomu fizjologicznego. Głównym czynnikiem wpływającym na zmianę poziomu cynku po zatruciu kadmem w tkankach i narządach karpia jest czas, który upłynął od iniekcji dootrzewnowej. W ciągu 60 dni zachodził w organizmach ryb proces detoksykacji po zatruciu, o czym świadczą zmiany w poziomie cynku w badanych narządach.

Piśmiennictwo

1. Ashby S. L., King I. J., Parker D. W.: The effect of cadmium administration on these biliary excretions of Cu and Zn and tissue distribution of these metals. *Environ. Res.* 1981, 26, 95-104.
2. Begeman H.: *Hematologia praktyczna*. PZWL, Warszawa 1985.
3. Brucka-Jastrzębska E., Protasowicki M.: Effects of cadmium and nickel exposure on haematological parameters of common carp *Cyprinus carpio* L. *Acta Ichthyolog. Piscat.* 35, 176-186.
4. Brucka-Jastrzębska E., Protasowicki M.: Elimination dynamics of cadmium, administered by a single intraperitoneal injection in common carp *Cyprinus carpio* L. *Acta Ichthyolog. Piscat.* 2004, 34, 167-180.
5. Dethloff G. M., Schlenk D., Khan S., Bailey H. C.: The effects of cooper on blood and biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1999, 36, 415-423.
6. Dobrzański Z., Kolacz R., Bodak E.: Metale ciężkie w środowisku zwierząt. *Medycyna Wet.* 1996, 52, 570-574.
7. Gill T. S., Eppl A.: Stress-related changes in hematological profile of the American eel (*Anguilla rostrata*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 1993, 25, 227-235.
8. Jezierska B., Witeska M.: *Metal toxicity to fish*. Wyd. Akademii Podlaskiej, Siedlce 2001.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
10. Kazlauskienė N., Vosyliene M. Z.: Peculiarities of the physiological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to cooper. *Acta Zool. Lituannica* 1999, 9, 56-70.
11. Keen J. E., Calarco Steele A. M., Houston A. H.: The circulating erythrocytes of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.* 1989, 94, 699-711.
12. Kolacz R., Dobrzański Z., Bodak E.: Bioakumulacja Cd, Pb i Hg w tkankach zwierząt. *Medycyna Wet.* 1996, 52, 686-692.
13. Moore J., Ramamoorthy S.: *Heavy metals in natural water*. Springer-Verlag, Berlin 1984.
14. Morsy G., Protasowicki M.: Cadmium bioaccumulation and its effects on some haematological and histological aspects in carp *Cyprinus carpio* L., at selected temperature. *Acta Ichthyolog. Piscat.* 1990, 20, 105-116.
15. Protasowicki M., Chodyniecki A.: Bioakumulacja Cd, Pb, Cu i Zn w karpia – *Cyprinus carpio* L. w zależności od stężenia w wodzie i czasu ekspozycji. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 1988, 133, 69-84.
16. Protasowicki M.: Bioakumulacja kadmu w wybranych narządach karpia – *Cyprinus carpio* L. – przy różnych sposobach intoksykacji. *Mat. Symp. Biochemia stosowana w naukach rolniczych, Szczecin* 1989, s. 80.
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. z 2002 r. Nr 212, poz. 1799), wydane na podstawie ustawy Prawo Wodne.
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 października 2002 roku w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych. *Dz. U.* 2002, 176.
19. Sangalang G. B., Freeman H. C.: Tissue uptake of cadmium in brook trout during chronic sublethal exposure. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1979, 8, 77-84.
20. Saravanan T. S., Hairkrishnan R.: Effects of sublethal concentrations of copper and endosulfan on haematological parameters of the freshwater fish, *Sarotherodon mossambicus* (Trewaves). *J. Ecobiol.* 1999, 11, 13-18.
21. Sobecka E., Protasowicki M.: Changes in contents of zinc and copper in organs and blood of nickel-exposed European catfish, *Silurus glanis* L. *Acta Ichthyolog. Piscat.* 2002, 32, 23-34.
22. Speckner W., Schindler J. F., Albers C.: Age-dependent changes in volume and haematological content of erythrocytes in the carp (*Cyprinus carpio* L.). *J. Exp. Biol.* 1989, 141, 133-149.
23. Svobodova Z., Pravda D., Palackova J.: *Jednotné metody hematologickeho vysetrovani ryb (Uniform methods of haematological studies on fish)*. Vyzkumny Ustav Rybarsky a Hydrobiologicky. Vodnany 1986.
24. Witeska M., Jezierska B.: The effect of cadmium and lead on selected blood parameters of common carp. *Arch. Pol. Fish.* 1994, 2, 123-132.
25. Witeska M.: Wpływ metali (Pb, Cu, Cd i Zn) na parametry hematologiczne i morfologię komórek krwi karpia. *Rozprawa naukowa nr 72*. Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, Siedlce 2003.

Adres autora: dr Ewa Brucka-Jastrzębska, al. Piastów 40b, 71-065 Szczecin; e-mail: ewabrucka@poczta.onet.pl