

Porównanie koncentracji kadmu, cynku, manganu i niklu w filetach wybranych gatunków ryb konsumpcyjnych*

Ewa Łuszczek-Trojnar, Piotr Błoniarz, Bartłomiej Winiarski,
Ewa Drąg-Kozak, Włodzimierz Popek

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ichtiologii i Rybactwa,
ul. Spiczakowa 6, 30-199 Kraków-Mydlniki

Celem pracy było porównanie koncentracji kadmu, cynku, manganu i niklu w filetach popularnych gatunków ryb konsumpcyjnych dostępnych na rynku polskim: sprowadzanych z hodowli prowadzonych w Azji – tilapii nilowej i pangii, jednego z gatunków ryb morskich – dziko żyjącego mintaja, oraz pochodzącego z rodzimej hodowli pstrąga tęczowego. Uzyskane wyniki wskazują, że najwyższe poziomy kadmu występują w mięśniach pangii i tilapii nilowej. Najwyższe poziomy cynku, manganu i niklu obserwowano w tkance mięśniowej mintaja, co potwierdza pogląd, że ryby morskie są cennym źródłem mikroelementów w diecie człowieka. Jednak najkorzystniejsze proporcje koncentracji badanych metali odnotowano u pstrąga, gdzie wykazano najniższe poziomy kadmu i niklu – metali należących do szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, a jednocześnie istotnie wyższe niż u pangii i tilapii poziomy cynku i manganu. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że spośród badanych gatunków pstrąg potokowy jest najbezpieczniejszym dla konsumenta źródłem mikroelementów.

SŁOWA KLUCZOWE: kadm / cynk / mangan / nikiel / ryby

Cennym źródłem białka w żywieniu człowieka są ryby. W niektórych krajach stanowią one podstawowe źródło tego składnika pokarmowego w diecie ludzi. Obserwuje się wzrost spożycia ryb w krajach wysoko rozwiniętych, gdzie statystyczny mieszkaniec zjada nawet 70 kg ryb rocznie. W Unii Europejskiej roczne spożycie ryb na mieszkańca wynosi ok. 23 kg, a w Polsce ok. 11 kg, z czego znaczna część jest sprowadzana na nasz rynek z innych kontynentów, zwłaszcza z Azji [26]. Poprawa relacji cenowych ryb w 2013 roku spowodowała wzrost popytu o 7,7% (w ciągu ostatnich 4 lat), a w strukturze spożycia dominują mintaje, śledzie, makrele i łososie [27].

Mintaj (*Gadus chalcogramma*), należący do rodziny ryb dorszowatych, jest poławiany w zimnych wodach Pacyfiku, od Alaski po japońskie, koreańskie i rosyjskie wybrzeże mórz Beringa i Ochockiego. Wśród poławianych ryb dominują grupy wiekowe 4-6-let-

*Badania wykonano w ramach działalności statutowej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie z tematu DS 3202

ków. Rzadziej występują osobniki starsze, nawet do 16. roku życia. Na rynku polskim dostępny jest niemal wyłącznie w postaci filetów mrożonych. Konkuruje głównie z filetemi z morszczuka, ale także z pangą i tilapią [17, 39].

Tilapia nilowa (*Oreochromis niloticus*) należy do afrykańskiej rodziny ryb pielęgnicowatych. Jest rybą dość łatwo przystosowującą się do trudnych warunków środowiskowych. Dzięki akwakulturze obecna jest teraz w wodach tropikalnych na całym świecie [18].

Sum rekini, zwany popularnie pangą (*Pangasianodon hypophthalmus*), jest gatunkiem słodkowodnym z rzędu sumokształtnych, pochodzącym z Mekongu, popularnie hodowanym głównie w Wietnamie. Na rynku jest dostępny w postaci filetów mrożonych. W wielkości sprzedaży konkuruje głównie z filetemi z ryb „białych” morskich: mintajem, morszczukiem oraz słodkowodną tilapią [39].

Jednym z głównych gatunków hodowanych w naszym kraju, obok karpia, jest pstrąg tęczowy (*Oncorhynchus mykiss*), pochodzący z wybrzeża pacyficznego Ameryki Północnej. Do Europy został sprowadzony pod koniec XIX wieku, a obecnie jego chów prowadzi się prawie we wszystkich europejskich krajach. Na rynkach naszego kontynentu pstrąg tęczowy jest dostępny przez cały rok. W sprzedaży dostępne są osobniki w drugim roku życia, o masie ciała od 0,2 do około 0,5 kg.

Łącznie do Polski sprowadzanych jest rocznie około 260 tys. ton mrożonych ryb i produktów rybnych, co stawia nas w czołówce europejskich importerów [17]. Kilka lat wystarczyło, by panga została trzecim pod względem częstotliwości spożywania gatunkiem ryby w Polsce. Był okres, kiedy wypierała już nawet karpia z wigilijnych stołów. Dla eksportujących ten gatunek Wietnamczyków nasz kraj był jednym z głównych rynków zbytu na świecie [22]. Obecnie sprzedaż pangi spadła z niemal 2,0 do 0,7 kg na osobę rocznie, do czego przyczynił się wzrost cen oraz niekorzystna opinia na temat warunków hodowli tego gatunku, rozpowszechniana w mediach [27].

Przyczyną różnic w składzie chemicznym mięsa wspomnianych gatunków ryb jest na pewno ich różnorodne pochodzenie. Warunki chowu są diametralnie różne, w zależności od wrażliwości gatunku na parametry wody. Pstrągi należą do ryb wymagających czystych, zimnych, dobrze natlenionych wód, znajdujących się w stanie ciągłego przepływu, natomiast pangę lub tilapię, pochodzące z klimatu tropikalnego, są bardziej odporne na wyższe temperatury, deficyty tlenu i idące z nimi często w parze zanieczyszczenia wód. Dlatego chów pangę czy tilapię może się odbywać w znacznie wyższych obsadach niż pstrągów. Wyższe obsady skutkują większą kumulacją zanieczyszczeń. Dodatkowo zasilanie stawów zanieczyszczonymi wodami Mekongu (przy chowie pangę) również może sprzyjać wzrostowi koncentracji metali ciężkich w mięsie ryb. Z kolei stosunkowo krótki okres chowu, zamykający się w ciągu 6-9 miesięcy, nie sprzyja długotrwałej bioakumulacji szkodliwych substancji, jak np. metale ciężkie, których ostateczne stężenie w mięsie zależy między innymi od długości trwania ekspozycji. Spożywanie ryb pochodzących z zanieczyszczonych środowisk, w tym skażonych metalami ciężkimi, może prowadzić do poważnych konsekwencji dla zdrowia ludzi [19, 30]. Z pewnością produkty spożywcze podlegają regularnej kontroli, zanim trafią do sklepów, jednak różnice gatunkowe, pochodzenie, środowisko hodowli poszczególnych gatunków może mieć wpływ na ostateczny skład mięsa. Dlatego celem niniejszej pracy było porównanie koncentracji wybranych metali ciężkich w filetach popularnych gatunków ryb konsumpcyjnych dostępnych na rynku

polskim: sprowadzanych z hodowli prowadzonych w Azji – tilapii nilowej i pangi, jednego z popularnych gatunków ryb morskich dziko żyjącego mintaja oraz pochodzącego z rodzimej hodowli pstrąga tęczowego. Wśród badanych metali wybrano kadm, jako jeden ze szczególnie toksycznych metali ciężkich, nie pełniący w organizmach żywych żadnej funkcji fizjologicznej, którego każda ilość jest zbędna, oraz cynk, mangan i nikiel, które też należą do metali ciężkich, lecz jako mikroelementy są cennym i pożądanym składnikiem mięsa ryb.

Material i metody

Badania przeprowadzono w Katedrze Ichtibiologii i Rybactwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Materiał do badań stanowiło po 10 filetów mrożonej pangi i tilapii oraz 10 filetów z mintaja, zakupionych w popularnej sieci polskich sklepów w postaci mrożonej, oraz 10 filetów pstrąga tęczowego w postaci świeżej, pochodzących z podkarpackiego gospodarstwa rybnego. Przed pobraniem próbek z filetów mrożonych rozmrożono je, przetrzymując w temperaturze 4°C przez okres około 20 godzin, a następnie osuszono na papierowym ręczniku. Z każdego filetu, z okolicy przedniej grzbietowej części tuszki, pobrano próbki o masie 5 g i umieszczono indywidualnie w szklanych tubusach mineralizatora Velp 20/26, celem mineralizacji w obecności 10 ml mieszaniny kwasów azotowego (HNO₃) i nadchlorowego (HClO₃) (w stosunku 3:1). Po 20 godzinach mineralizacji w temperaturze pokojowej i 5 godzinach w temperaturze 180°C próbki przybrały postać bezbarwnej, klarownej cieczy, którą następnie przeniesiono do kolbek miarowych, rozcieńczając do 25 ml wodą dejonizowaną. Każdą kolbkę szczelnie zamknięto, opisano i przechowywano w temperaturze 4°C, aż do momentu wykonania analizy.

Oznaczenie koncentracji kadmu, cynku, manganu i niklu w badanych próbkach wykonano metodą absorpcji atomowej, przy użyciu spektrometru UNICAM 929 [1]. Standardy potrzebne do wykonania krzywej standardowej wykonano na bazie wzorców absorpcji atomowej wyprodukowanych w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie. Wyniki zaprezentowano w miligramach metalu na kilogram mokrej masy fileta.

Otrzymane rezultaty poddano analizie wariancji ANOVA i przy użyciu testu t (Graph-Pad Prosm 5) określono istotność różnic pomiędzy wartościami koncentracji badanych metali w filetach pstrąga tęczowego, mintaja, tilapii i pangi. Określono także wartości współczynników korelacji liniowej Pearson'a koncentracji pomiędzy poszczególnymi metalami.

Wyniki i dyskusja

Analiza koncentracji kadmu w filetach badanych ryb wykazała, że najniższy poziom tego metalu, wynoszący $0,007 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, występuje u pstrąga i jest on statystycznie istotnie niższy ($p < 0,05$) niż u wszystkich pozostałych badanych gatunków: pangi – $0,065 \pm 0,004 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mintaja – $0,043 \pm 0,007 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz tilapii – $0,058 \pm 0,004 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 1).

Poziom Cd odnotowany w mięśniach pstrągów jest porównywalny z koncentracją wykazaną w innych badaniach, np. Drag-Kozak i wsp. [8] czy Tkaczewskiej i Migdała [35],

którzy wykazali koncentracje kadmu od 0 do 0,014 mg·kg⁻¹ w mięśniach pstrągów tęczy-
wych pochodzących z różnych gospodarstw małopolskich i śląskich. Podobnie u pstrągów
potokowych hodowanych w rzece Loučka na terenie Czech, obserwowano kadm w kon-
centracji od 0,003 do 0,026 mg·kg⁻¹ [37]. W efekcie można stwierdzić, że badane pstrągi,
pochodzące z hodowli, nie stanowią ryzyka skażenia kadmem dla konsumentów. Podobnie
jak użyte w badaniach filety mintaja, w których poziom kadmu był niski (0,043 ±0,007
mg·kg⁻¹; tab. 1) i zbieżny z wynikami innych autorów [13, 15], co może świadczyć o braku
skażenia tym metalem ryb morskich północnego Pacyfiku.

Poziom Cd w mięśniach tilapii i pangii (0,058 i 0,065 mg·kg⁻¹) nieznacznie przekra-
czał maksymalne dopuszczalne stężenie tego pierwiastka w środkach spożywczych, które
wynosi 0,05 mg·kg⁻¹ [31]. Większość danych z literatury donosi, że koncentracja Cd w
mięśniach tilapii jest niska i nie przekracza obowiązujących norm [3, 21, 28, 33, 34],
lecz spotyka się także rezultaty dowodzące występowania znacznie wyższych poziomów
Cd niż w niniejszej pracy, nawet 10,36 mg·kg⁻¹ s.m. [32]. Dzielne pobranie kadmu z po-
karmem przez osoby dorosłe w różnych krajach kształtuje się na poziomie 25-200 µg. W
Polsce wynosi ono 11-30 µg. Tolerowane tygodniowe pobranie kadmu, które uwzględnia
warunki bezpieczeństwa i stopień zanieczyszczenia środowiska kadmem jest ustalone na
poziomie 7 µg/kg masy ciała/tydzień. Według zaleceń FAO/WHO, tolerowane spożycie
kadmu przez dorosłego człowieka wynosi około 0,4-0,5 mg/tydzień, a dopuszczalna dawka
60-70 µg na dobę [6]. Niewielkie jest prawdopodobieństwo wystąpienia objawów ska-
żenia kadmem bezpośrednio po spożyciu mięsa ryb, nawet przy koncentracji tego metalu
ponad obowiązujące normy, gdyż jego przyswajalność wynosi ok. 10%. Jednak kadm,
jako metal ciężki, wykazuje zdolność do bioakumulacji, m.in. w nerkach czy wątrobie.
Na skutek wielokrotnego i długotrwałego przyjmowania niskich dawek może dojść do
zmagazynowania w nerkach ludzi, po latach chronicznej ekspozycji toksycznych pozio-
mów kadmu, zwłaszcza że okres biologicznego półtrwania dla tego metalu jest oceniany u
ludzi na 16-38 lat. Wśród efektów skażenia kadmem wymienia się zaburzenia poprawnego
funkcjonowania całego organizmu, jak choroba itai-itai, zmiękczenie kości, osteoporoza
czy zmiany nowotworowe [30]. W literaturze można spotkać doniesienia także o pod-
wyższonym poziomie tego metalu w mięśniach pangii. Na przykład Amin [4] odnotowała
koncentrację kadmu w mrożonych filetach pangii na poziomie 0,11 mg·kg⁻¹, co dwukrotnie
przekracza obowiązującą normę europejską i niejako potwierdza, że ryby hodowane w wa-
runkach większego zagęszczenia, jako mniej wrażliwe na zanieczyszczenia środowiska,
mogą prezentować podwyższone poziomy metali toksycznych. Jednak dotychczasowe
badania wykonane na terenie Polski nie wykazywały zagrożenia skażenia mięsa tych ryb
kadmem czy innymi metalami toksycznymi [28, 33].

Cynk jest pierwiastkiem kluczowym dla wszystkich żyjących organizmów. Jako mikro-
element tworzy z białkami metaloproteiny, wchodząc w skład wielu enzymów niezbęd-
nych do prawidłowego funkcjonowania organizmu kręgowców. W przypadku ekosystemu
wodnego rzadko dochodzi do deficytów cynku, lecz problemem może stać się jego nadmiar
[25], gdyż wtedy odkłada się w nerkach oraz wątrobie, powodując niedokrwistość, co wią-
że się z obniżeniem przyswajalności innych pierwiastków, takich jak żelazo, fosfor, miedź
i wapń. Podczas prezentowanych badań najwyższy poziom Zn odnotowano w mięśniach
mintaja, gdzie wynosił 31,88 ±5,03 mg·kg⁻¹ (tab. 1). Uzyskany wynik mieścił się w zakre-

się dopuszczalnych dziennych dawek cynku dla dorosłego człowieka (10-40 mg/dzień, wg WHO [38]) i spożywanie nawet kilograma filetów mintaja dziennie nie stanowi ryzyka dla potencjalnych konsumentów. Niemal dwukrotnie niższy poziom Zn, wynoszący $15,63 \pm 1,892 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, odnotowano w filetach pstrąga tęczowego (tab. 1). Jeszcze niższe stężenia cynku w mięśniach pstrągów tęczowych pochodzących z różnych gospodarstw hodowlanych w Polsce południowej odnotowali inni autorzy [8, 29]. Najniższe koncentracje cynku wykazano w mięśniach pangii i tilapii, odpowiednio $4,38 \pm 0,6$ i $6,28 \pm 0,395 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 1). Rezultaty badań innych autorów, dotyczące tych dwóch dalekowschodnich gatunków ryb, wskazują na występowanie zróżnicowanych koncentracji Zn, wynoszących od 1,9 do $212,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [3, 10, 19, 21, 23, 32, 33].

Analiza koncentracji manganu w filetach badanych ryb wykazała, że najwyższy poziom występuje u mintaja ($1,8 \pm 0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i u pstrąga tęczowego ($1,4 \pm 0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), gdzie jest on statystycznie istotnie wyższy ($p < 0,0001$) niż u tilapii ($0,4 \pm 0,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz pangii ($0,3 \pm 0,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Statystycznie istotne różnice wystąpiły również pomiędzy koncentracją Mn u tilapii i pangii, natomiast nie wykazano statystycznie istotnych różnic pomiędzy średnim stężeniem badanego metalu u mintaja i pstrąga tęczowego (tab. 1). Dzielne zapotrzebowanie człowieka na mangan, według norm WHO [38], waha się w granicach 2-9 mg. Mięso badanych gatunków ryb wydaje się cennym źródłem tego pierwiastka, choć w literaturze wiele prac dowodzi, że tilapie mogą prezentować o wiele wyższe koncentracje manganu w mięśniach, wynoszące $0,11-48,87 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [2, 7, 9, 11, 16, 19, 20, 21, 24], czyli nawet 12-30-krotnie wyższe niż w filetach tilapii badanych w niniejszej pracy.

Analiza koncentracji niklu w filetach badanych ryb wykazała, że najniższy poziom $2,3 \pm 0,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ występuje u pstrąga tęczowego i jest on statystycznie istotnie niższy ($p < 0,05$) niż u wszystkich pozostałych badanych gatunków: mintaja – $8,5 \pm 1,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, tilapii – $5,8 \pm 1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz pangii – $5,2 \pm 1,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 1). Jeszcze niższe wartości koncentracji niklu, wynoszące $0,058-0,102 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, odnotowali Vitek i wsp. [37] u pstrąga potokowego podczas monitoringu ekosystemu rzecznoego Loučka w Republice Czeskiej w 2006 roku. WHO, ze względu na niedostateczną ilość danych, nie ustala dawki dziennego zapotrzebowania na nikiel dla dorosłego człowieka, ale przeliczając ją z wymagań pokarmowych zwierząt jednożłądkowych proponuje 0,2 mg, podczas gdy dopuszczalna dzienna maksymalna dawka spożycia nie powinna przekraczać 0,6 mg, ze względu na ryzyko wystąpienia uczuleń skórnych [38]. Wobec powyższych danych, koncentracje niklu w mięśniach wszystkich prezentowanych ryb wydają się wysokie. Rezultaty uzyskane w niniejszych badaniach są jednak zbieżne z danymi prezentowanymi przez innych autorów, którzy także obserwowali stężenie niklu u tilapii wynoszące od 2,6 do $15,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [16, 19]. Dużo niższe wartości koncentracji niklu, mieszczące się w granicach od 0,11 do $3,97 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ odnotowali Ekeanyanwu i wsp. [9] u tilapii nilowej z delty rzeki Okumeshi w Nigerii, Ntiforo i wsp. [24] oraz Mokhtar i wsp. [21] u tilapii z Malezji, a także Tawell i wsp. [34] u tilapii nilowej dostępnej na rynku w Malezji oraz Asgedom i wsp. [5] u tilapii nilowej w akwenach wodnych Etiopii, czy też u tilapii zilli z rzek w Nigerii [2].

Ryby morskie wymienia się często jako cenne źródło niklu w diecie człowieka. Potwierdzają to wyniki uzyskane w niniejszej pracy, gdzie najwyższą koncentrację tego metalu, wynoszącą $8,534 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, obserwowano u mintaja (tab. 1). Uzyskane wyniki są odmienne od obserwacji z roku 2008, kiedy przeprowadzono badania koncentracji metali ciężkich

Tabela 1 – Table 1

Porównanie koncentracji wybranych metali ciężkich (\pm SE) w filetach badanych gatunków ryb
 Comparison of concentrations of selected heavy metals (\pm SE) in the fish species studied

	Pstrąg tęczowy <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Mintaj <i>Gadus chalcogramma</i>	Tilapia nilowa <i>Oreochromis niloticus</i>	Panga <i>Pangasianodon hypophthalmus</i>
Cd	0,007 ^a \pm 0,001	0,042 ^b \pm 0,007	0,051 ^c \pm 0,004	0,065 ^c \pm 0,004
Zn	15,629 ^a \pm 1,892	31,883 ^b \pm 5,030	6,279 ^c \pm 0,395	4,376 ^d \pm 0,639
Mn	1,366 ^a \pm 0,118	1,856 ^a \pm 0,386	0,399 ^b \pm 0,024	0,298 ^c \pm 0,026
Ni	2,380 ^a \pm 0,276	8,534 ^b \pm 1,327	5,746 ^{bc} \pm 1,036	5,204 ^c \pm 1,254

Różnymi literami zaznaczono średnie różniące się statystycznie istotnie przy $p < 0,05$
 Different letters indicate statistically significant differences between means at $p < 0,05$

u mintaja oraz czterech innych gatunków ryb morskich (tuńczyka błękitnopłetwego, dorsza, łososia oraz makreli), a także w tuńczyku konserwowym dostępnym na rynku Gwan-gju w Korei. Koncentracje manganu i niklu u ryb morskich zawierały się wtedy w przedziale od 0,32 do 0,6 mg Mn kg⁻¹ oraz od 0,12 do 1,025 mg Ni kg⁻¹, natomiast u mintaja od 0,45 do 12,38 mg Mn kg⁻¹ oraz od 0,39 do 0,59 mg Ni kg⁻¹ [15]. Wydaje się, że poziomy niklu w filetach wszystkich badanych gatunków ryb są wysokie i znacznie przekraczają normy zapotrzebowania człowieka, jednak nigdy w historii nie obserwowano zatrucia nikiem drogą pokarmową i prawdopodobnie z tego powodu, jak dotąd, nie ustalono dla tego metalu maksymalnych dopuszczalnych koncentracji w mięsie.

Analizując uzyskane wyniki zaobserwowano wzajemne zależności koncentracji pomiędzy niektórymi metalami. U wszystkich badanych ryb poziom kadmu był skorelowany z poziomem cynku, jak również z poziomem niklu, z tą tylko różnicą, że u pangi była to korelacja ujemna, podczas gdy u pozostałych – dodatnia (tab. 2). Wiadomo, że kadm i cynk podczas bioakumulacji konkurują o te same przenośniki, dlatego zwykle wyższy udział w środowisku innych metali wpływa na ostateczne obniżenie koncentracji kadmu. U tilapii i pangi najsilniejszą zależność odnotowano między koncentracją cynku i niklu (odpowiednio: $r=0,81$ i $r=0,93$), czego nie zaobserwowano u pstrąga i mintaja (tab. 2).

Tabela 2 – Table 2

Porównanie wyników analizy korelacji koncentracji poszczególnych metali w filetach badanych gatunków ryb
 Comparison of correlation coefficients of heavy metal concentrations in the muscles of the fish species

	Pstrąg tęczowy <i>Oncorhynchus mykiss</i>			Mintaj <i>Gadus chalcogramma</i>			Tilapia nilowa <i>Oreochromis niloticus</i>			Panga <i>Pangasianodon hypophthalmus</i>		
	Cd	Zn	Mn	Cd	Zn	Mn	Cd	Zn	Mn	Cd	Zn	Mn
Zn	0,45*	–	–	0,78***	–	–	0,55*	–	–	–0,51*	–	–
Mn	ns	ns	–	ns	ns	–	0,63**	ns	–	ns	0,46*	–
Ni	ns	0,44*	0,58**	0,46*	ns	0,53*	0,55*	0,81***	ns	–0,45*	0,93***	0,54*

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – korelacje nieistotne statystycznie

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – no statistically significant correlation

Akwakultury, w których prowadzony jest chów pangii bądź tilapii cechują się bardzo dużym zagęszczeniem oraz miernymi warunkami sanitarnymi, ze względu na niedobór czystej wody [14], co może być przyczyną nadmiernej akumulacji metali ciężkich w tkankach tych ryb, np. kadmu, którego podwyższone koncentracje wykazane w niniejszych badaniach nieznacznie przekraczały dopuszczalne normy [31]. Odłowy mintaja prowadzone są w słonych wodach Pacyfiku [12]. Mintaj żyjący w naturalnym środowisku nie akumuluje w mięśniach kadmu w koncentracjach przekraczających dopuszczalne normy, jest natomiast cennym źródłem mikroelementów, takich jak cynk, mangan czy nikiel, których najwyższe poziomy koncentracji odnotowano właśnie u tego gatunku. Pstrąg do szybkiego wzrostu potrzebuje odpowiednich warunków, takich jak odpowiednio natleniona woda oraz określony przepływ. Jest to ryba wrażliwa na zmiany właściwości wody i sprostanie wysokim wymaganiom hodowli tego gatunku prawdopodobnie sprzyja niższym koncentracjom kadmu i niklu, obserwowanym u pstrąga w porównaniu do innych badanych gatunków. Pstrąg wykazuje także o wiele wyższy udział białka i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych [36], w porównaniu do wszystkich pozostałych badanych gatunków ryb, co razem z uzyskanymi wynikami analizy koncentracji metali ciężkich pozwala określić go najcenniejszym z badanych gatunków pod względem walorów odżywczych i zdrowotnych.

W efekcie uzyskanych wyników można stwierdzić, że różnorodność pochodzenia ryb konsumpcyjnych znacząco wpływa na ich skład, w tym zawartość metali ciężkich. Nawet gdy ich stężenia w mięśniach nie przekraczają ustalonych norm, znacząco różnią się pomiędzy badanymi gatunkami. Koncentracje kadmu u mintaja, tilapii i pangii odnotowano na poziomie od 5 do 8 razy wyższym niż u pstrąga, podczas gdy poziomy mikroelementów, takich jak Zn, Mn i Ni były najwyższe w filetach mintaja. Ze względu na najniższy udział kadmu – metalu uznanego za toksyczny i całkowicie zbędny dla organizmu, a jednocześnie stosunkowo wysokie poziomy cynku i manganu, najkorzystniejsze proporcje badanych metali wśród badanych ryb obserwuje się u pstrąga tęczowego. Ze względu na brak dostępności pozostałych gatunków badanych ryb w formie świeżej, nie można było stwierdzić, czy na ostateczny skład filetu miał wpływ proces przetwarzania, konserwacji i transportu, porównano jedynie ostateczną postać produktu, jaka jest oferowana konsumentom.

PIŚMIENNICTWO

1. AGEMIAN, H., STURTEVANT, D.P., AUSTEN, K.D., 1980 – Simultaneous acid extraction of six trace metals from fish tissue by hot-block digestion and determination by atomic-absorption spectrometry. *Analyst* 105 (1247), 125-130.
2. AKAN J.C., MOHMOUD S., YIKALA B.S., OGUGBUAJA V.O., 2012 – Bioaccumulation of some heavy metals in fish samples from River Benue in Vinikilang, Adamawa State, Nigeria. *American Journal of Analytical Chemistry* 3, 727-736.
3. AL-WEHER S.M., 2008 – Levels of heavy metals Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the Northern Jordan Valley, Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences* 1 (1), 41-46.
4. AMIN R.A., 2011 – Heavy metal residues in imported frozen fish and *Pangasius hypophthalmus* (Basa) fish fillets. *Benha Veterinary Medical Journal*, Special Issue (2), 14-22.

5. ASGEDOM A.G., DESTA M.B., GEBREMEDH Y.W., 2012 – Bioaccumulation of heavy metals in fishes of Hashenge Lake, Tigray, Northern Highlands of Ethiopia. *American Journal of Chemistry* 2 (6), 326-334.
6. CZECZOT H., MAJEWSKA M., 2010 – Kadm – zagrożenie i skutki zdrowotne. *Farm Pol* 66 (4), 243-250.
7. DAMODHARAN U., REDDY M.V., 2013 – Heavy metal bioaccumulation in edible fish species from an industrially polluted river and human health risk assessment. *Archives of Polish Fisheries* 21, 19-27.
8. DRAĞ-KOZAK E., ŁUSZCZEK-TROJNAR E., POPEK W., 2011 – Koncentracja metali ciężkich w tkankach i organach pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) w zależności od wieku i sezonu. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 48, 161-169.
9. EKEANYANWU C.R., OGBUINYI C.A., ETIENAJIRHEVWE O.F., 2010 – Trace metals distribution in fish tissues, bottom sediments and water from Okumeshi River in Delta State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* 3 (3), 12-17.
10. ELNABRIS K.J., MUZYED S.K., EL-ASHGAR N.M., 2013 – Heavy metal concentrations in some commercially important fishes and their contribution to heavy metals exposure in Palestinian people of Gaza Strip (Palestine). *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* 13, 44-51.
11. ELNIMIR T. 2011 – Evaluation of some heavy metals in *Pangasius hypophthalmus* and *Tilapia nilotica* and the role of acetic acid in lowering their levels. *International Journal of Fisheries and Aquaculture* 3 (8), 151-157.
12. FAO, 2012 – *Theragra Chalcogramma* <http://www.fao.org/fishery/species/3017/en>
13. FMP, 2011 – Fish Monitoring Program 2011. Alaska Department of Environmental Conservation. <http://www.dec.state.ak.us/eh/vet/fish.htm>
14. GUZIUR J., WIŚNIEWSKA A., 2009 – Panga (nareszcie) na cenzurowanym. *Magazyn Przemysłu Rybnego* 6 (72), 21-24.
15. ISLAM M.M., BANG S., KIM K.W., AHMED M.K., JANNAT M., 2010 – Heavy metals in frozen and canned marine fish of Korea. *Journal of Scientific Research* 2 (3), 547-557.
16. KEBEDE A., WONDIMU T., 2004 – Distribution of trace elements in muscle and organs of tilapia, *Oreochromis niloticus*, from lakes Awassa and Ziway, Ethiopia. *Bulletin of the Chemical Society of Etiopia* 18 (2), 119-130.
17. KULIKOWSKI T., 2012 – Krajowy rynek mintaja. *Magazyn Przemysłu Rybnego* 6 (90), 23-24.
18. KULIKOWSKI T. 2012 – Światowy rynek mrożonych filetów z tilapii. *Magazyn Przemysłu Rybnego* 6 (90), 24-25.
19. KUMAR B., MUKHERJEE D.P., KUMAR S., MISHRA M., PRAKASH D., SINGH S.K., SHARMA C.S., 2011 – Bioaccumulation of heavy metals in muscle tissue of fishes from selected aquaculture ponds in east Kolkata wetlands. *Annals of Biological Research* 2 (5), 125-134.
20. LAAR C., FIANKO J.R., AKITI T.T., OSAE S., BRIMAH K., 2011 – Determination of heavy metals in the Black-Chin Tilapia from the Sakumo Lagoon, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3 (1), 8-13.
21. MOKHTAR M.B., ARIS A.Z., MUNUSAMY V., PRAVEENA S M., 2009 – Assessment level of heavy metals in *Penaeus monodon* and *Oreochromis spp.* in selected aquaculture ponds of high densities development area. *European Journal of Scientific Research* 30 (3), 348-360.

22. MOLGA T., 2008 – Ryba zwana pangą. <http://www.wprost.pl/ar/147376/?pg=1>.
23. MUZYED S.K., 2011 – Heavy metal concentrations in commercially available fishes in Gaza strip markets. Manuskrypt: The Islamic University – Gaza Deanery of Higher Studies Faculty of Science Department of Chemistry <http://library.iugaza.edu.ps/thesis/95922.pdf>.
24. NTIFORO A., DOTSE S.Q., ANIM-GYAMPO M., 2012 – Preliminary studies on bioconcentration of heavy metals in Nile Tilapia from Tono Irrigation Facility. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology* 4 (23), 5040-5047.
25. O'DELL B.L., 1992 – Zinc plays both structural and catalytic roles in metalloproteins. *Nutrition Reviews* 50 (2), 48-50.
26. PIENKOWSKA B., HRYSZKO K., 2013 – Spożycie ryb. *Rynek ryb, stan i perspektywy* 19, 25-28.
27. PIENKOWSKA B., HRYSZKO K., 2014 – Spożycie ryb. *Rynek ryb, stan i perspektywy* 21, 28-33.
28. POLAK-JUSZCZAK L., 2007 – Chemical characteristics of fishes new to the Polish market. *Acta Scientorum Polonorum Piscaria* 6(2), 23-32.
29. POPEK W., SZCZEPANIEC B., ŁUSZCZEK-TROJNAR E., DRĄG-KOZAK E., EPLER P., 2004 – Accumulation of Zn, Cu, Pb, and Cd in muscles of rainbow trout raised in fish farm supplied with water from mountain stream (Łopuszna), in summer and winter season. *Scientific messenger of Lviv National Academy of Veterinary Medicine named after S.Z. Gzhyskyj* 6 (2), 104-109.
30. PUEL D., ZSURGER N., BREITTMAYER J.P., 1987 – Statistical assessment of a sampling pattern for evaluation of changes in Hg and Zn concentration in *Patella coerulea*. *The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 38, 700-706.
31. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI 2014 nr 488/2014 z dnia 12 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów kadmu w środkach spożywczych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*. L 138, 75-79.
32. SAEED S.M., SHAKER I.M., 2008 – Assessment of heavy metals pollution in water and their effect on *Oreochromis niloticus* in the Northern Delta Lakes. Egypt. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 475-489.
33. SZLINDER-RICHERT J., USYDUS Z., MALESA-CIEĆWIERZ, POLAK-JUSZCZAK L., RUCZYŃSKA W., 2011 – Marine and farmed fish on the Polish market: Comparison of the nutritive value and human exposure to PCDD/Fs and other contaminants. *Chemosphere* 85, 1725-1733.
34. TAWHEEL K.A., SHUHAIMI-OTHTMAN M., AHMAD A.K., 2012 – Analysis of heavy metal concentrations in Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from four selected markets in Selangor, Peninsular Malaysia. *Journal of Biological Sciences* 12 (3), 138-145.
35. TKACZEWSKA J., MIGDAŁ W., 2012 – Porównanie wydajności rzeźnej, zawartości podstawowych składników odżywczych oraz poziomu metali ciężki w mięśniach pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) pochodzącego z różnych rejonów Polski. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5 (84), 177-186.
36. USYDUS Z., SZLINDER-RICHERT J., 2014 – Substancje odżywcze w rybach morskich i hodowlanych. Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy (www.Rybynapolskim rynku.pl/2010/10/substancje-odzywcze-w-rybach-morskich-i-hodowlanych/)

37. VITEK T., SPURN P., MARE V., ZIKOVA A., 2007 – Heavy metal contamination of the Louãka River water ecosystem. *Journal Acta Veterinaria Brno* 76, 149-154.
38. WHO, 1996 – Trace elements in human nutrition and health. WHO, Geneva.
39. WOJTAŚ P., 2010 – Rynek detaliczny ryb mrożonych w Polsce. *Magazyn Przemysłu Rybnego* 6 (78), 23-27.

Ewa Łuszczek-Trojnar, Piotr Błoniarz, Bartłomiej Winiarski,
Ewa Drag-Kozak, Włodzimierz Poppek

Comparison of cadmium, zinc, manganese and nickel concentrations in fillets of selected species of food fish

S u m m a r y

The aim of the study was to compare the concentration of cadmium, zinc, manganese and nickel in fillets of four popular fish species available on the Polish market: Nile tilapia and pangasius imported from fish farms in Asia; pollock, a marine fish species living in the wild; and rainbow trout farmed domestically. The highest cadmium levels were found in the muscles of pangasius and Nile tilapia. The highest levels of zinc, manganese and nickel were observed in the muscle tissue of pollock, which supports the view that marine fish are a valuable source of micronutrients in the human diet. However, the best ratio of concentrations of the metals analysed was noted in trout, which had the lowest levels of cadmium and nickel, which are particularly harmful to the aquatic environment, and significantly higher levels of zinc and manganese than in pangasius and tilapia. The results obtained in the study indicate that trout is the safest source of micronutrients for the consumer.

KEY WORDS: cadmium / zinc / manganese / nickel / fish