

Agnieszka A. BARSZCZ¹, Marcin SIDORUK², Ewa SIEMIANOWSKA¹
Krystyna A. SKIBNIEWSKA¹ i Józef SZAREK³

BIOAKUMULACJA SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W MIĘŚNIACH PSTRĄGA TĘCZOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW CHOWU

BIOACCUMULATION OF MINERALS IN MUSCLE TISSUE OF RAINBOW TROUT IN DEPENDENCE ON BREEDING CONDITIONS

Abstrakt: Chów pstrąga wymaga szczegółowej wiedzy dotyczącej warunków produkcji oraz czynników chemicznych i biologicznych obecnych w środowisku. Zarówno opłacalność produkcji, jak i wpływ systemu produkcyjnego na środowisko przyrodnicze powinny być uwzględnione przy wyborze optymalnej technologii gospodarowania wodą w chowie pstrąga. W krajach o ograniczonych zasobach wodnych, do których należy Polska, wskazana jest oszczędność wody, co prowadzi do doskonalenia metod produkcji rybactwej o zmniejszonym zużyciu wody. Celem pracy było określenie wpływu jakości wody oraz technologii chowu pstrąga na biokoncentrację wapnia, magnezu, sodu i potasu w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego. Badania przeprowadzono w latach 2010 i 2011. Do badań wytypowano 2 gospodarstwa pstrągowe (województwo pomorskie). W pierwszym gospodarstwie stosowano system z jednokrotnym przepływem wody, a w drugim obiekcie - system recyrkulacji wody. Stwierdzono, że wody zastosowane w obiektach hodowlanych spełniały wymagania dla wód śródlądowych odpowiednich do hodowli ryb łososiowatych. W badanych obiektach technologia chowu wpływała istotnie na biokoncentrację magnezu, sodu i potasu w wodzie, natomiast nie miała wpływu na bioakumulację metali w tkance mięśniowej pstrąga. Jakość wody wpływała na bioakumulację metali w mięśniach pstrąga.

Słowa kluczowe: technologia chowu pstrąga, właściwości fizyczne wód, właściwości chemiczne wód, bioakumulacja, wapń, magnez, sód, potas

Produkcja ryb, w tym chów pstrąga, wymaga szczegółowej wiedzy dotyczącej warunków produkcji oraz czynników chemicznych i biologicznych obecnych w środowisku. Zarówno opłacalność produkcji, jak i wpływ systemu produkcyjnego na środowisko przyrodnicze powinny być uwzględnione przy wyborze optymalnej technologii gospodarowania wodą w chowie pstrąga [1, 2]. W intensywnym chowie ryby przetrzymuje się w znacznym zagęszczeniu, co powoduje, że resztki nieskarmionej paszy oraz produkty przemiany materii ryb dostają się do wody. Duże zagęszczenie ryb powoduje wzrost stężenia tych zanieczyszczeń w wodzie i deficyty tlenowe [3]. W krajach o ograniczonych zasobach wodnych, do których należy Polska, wskazana jest oszczędność wody, co prowadzi do doskonalenia metod produkcji rybactwej o zmniejszonym zużyciu wody.

Celem pracy było określenie wpływu jakości wody oraz technologii chowu pstrąga na biokoncentrację wapnia, magnezu, sodu i potasu w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego.

¹ Katedra Podstaw Bezpieczeństwa, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Heweliusza 10, 10-719 Olsztyn, tel. 89 524 56 15, email: ewa.siemianowska@uwm.edu.pl

² Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 2, 10-756 Olsztyn, tel. 89 523 43 51, email: marcin.sidoruk@uwm.edu.pl

³ Katedra Patofizjologii, Weterynarii Sądowej i Administracji, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 14, 10-719 Olsztyn

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

Material i metody

Badania nad bioakumulacją wybranych składników mineralnych w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) przeprowadzono w latach 2010 i 2011 w sezonach wiosennym i jesiennym. Do badań wytypowano 2 gospodarstwa pstrągowe położone w województwie pomorskim, różniące się technologią gospodarowania wodą. W pierwszym gospodarstwie stosowano system z jednokrotnym przepływem wody (FTS), a w drugim obiekcie - system recyrkulacji wody (RAS). W każdym z sezonów próbki wody analizowano trzykrotnie, w tym: wodę dopływającą do gospodarstwa, odpływającą ze stawów, po wykorzystaniu jej w chowie pstrągów oraz odpływającą z gospodarstwa po przepłynięciu przez lagunę doczyszczającą. Analizie chemicznej poddano również próbki tkanki mięśniowej pstrąga tęczowego w postaci wycinka o szerokości ok. 5 cm, pobranego bez skóry i ości, wyciętego ze środkowej części filetu od strony dorsalnej (grzbietowej) do brzusznej. Zawartość wapnia, magnezu, sodu i potasu w 40 próbkach ryb pobranych z każdego gospodarstwa oraz w próbkach wody ozaczono metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej. Wyniki poddano analizie statystycznej (Statistica 10, StatSoft Kraków), zastosowano test Tukeya oraz analizę korelacji do określenia zależności bioakumulacji metali w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego od warunków chowu i jakości wody.

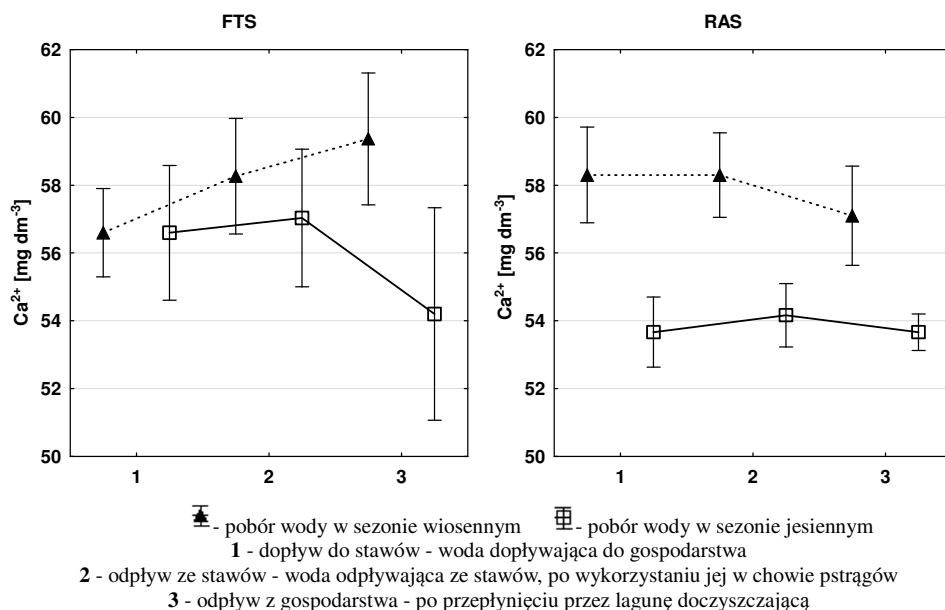
Wyniki i ich analiza

W wodach powierzchniowych wapń występuje pod postacią rozpuszczonego węgla wapnia, a jego zawartość jest uzależniona od obecności ditlenku węgla w wodzie [4]. Wapń jest składnikiem, który wraz z magnezem, wodorowęglanami i siarczanami decyduje o typie hydrochemicznym większości wód krążących w zlewniach strefy młodoglacjalnej, a jego duża zawartość w wodach powierzchniowych wynika przede wszystkim z intensywnego wypłukiwania go z gleb [5]. W klimacie umiarkowanym jest on intensywnie wypłukiwany z gleb, czemu sprzyja między innymi zakwaszenie opadów. Odpowiednio wysokie stężenie wapnia w wodzie jest ważne ze względu na jego znaczenie buforujące oraz istotne dla produkcji pierwotnej, zapewniając dostateczne stężenie CO₂ dla fotosyntezy.

Na podstawie analiz uzyskanych wyników badań stwierdzono, że koncentracja wapnia w wodach dopływających do obu gospodarstw rybackich była na zbliżonym poziomie i kształtowała się od 53,8 do 58,2 mg/dm³ (rys. 1). Wody wykorzystywane do zasilania stawów w całym okresie badawczym nie przekraczały norm I klasy jakości wód (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r., Dziennik Ustaw Nr 257).

W ośrodku stosującym system przepływowy (FTS) w wyniku wykorzystania wody na cele hodowlane w okresie wiosennym w wodzie odpływającej ze stawów obserwowano wzrost stężenia wapnia do poziomu 58,2 mg/dm³. Nie stwierdzono pozytywnego wpływu laguny, ponieważ w wodach odpadowych stężenie wapnia kształtowało się na poziomie 59,3 mg/dm³. Nieco odmienną sytuację obserwowano w sezonie jesiennym, gdzie w wodzie odpływającej ze stawów pstrągowych w porównaniu do ich zasilającej następował nieznaczny wzrost stężenia wapnia do poziomu 56,5 mg/dm³, natomiast po przepłynięciu przez lagunę stwierdzono redukcję stężenia Ca²⁺ do poziomu 54,2 mg/dm³. W przypadku gospodarstwa stosującego recyrkulację wód (RAS) w sezonie wiosennym

stwierdzono brak wpływu prowadzonej hodowli na zawartość wapnia w wodach stawów oraz obserwowano jego redukcję (o około 2%) w wyniku przepłynięcia wody odpadowej przez lagunę. W sezonie jesiennym w wodzie odpływającej ze stawów hodowlanych stwierdzono nieznaczny przyrost stężenia Ca^{2+} do poziomu $54,1 \text{ mg/dm}^3$ oraz jego redukcję w wyniku przepłynięcia wody przez lagunę doczyszczającą (rys. 1). W wodach odpadowych z obu gospodarstw w całym okresie badawczym nie stwierdzono przekroczenia norm I klasy jakości wód.



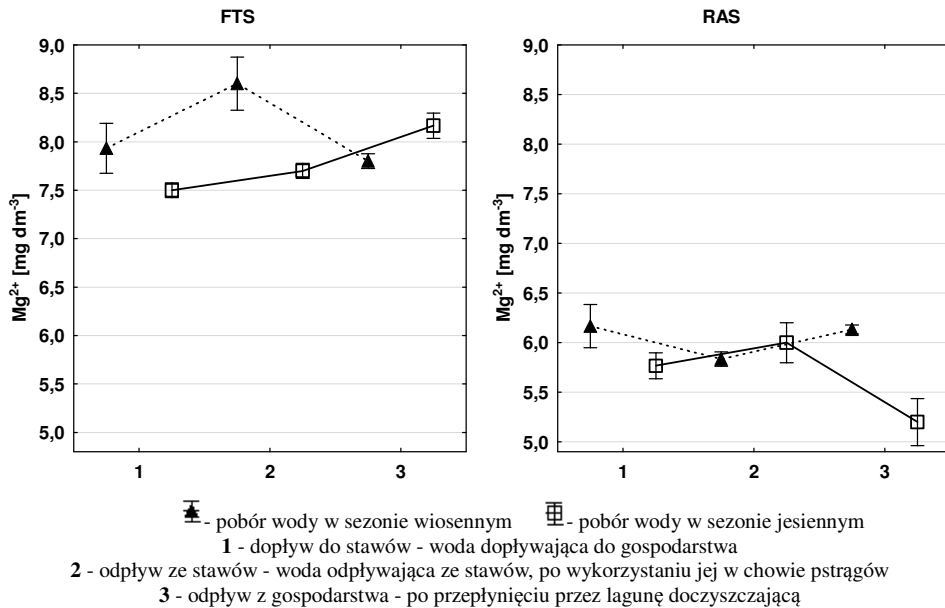
Rys. 1. Biokoncentracja wapnia w zbiornikach wodnych w gospodarstwach stosujących system z jednokrotnym przepływem wody (FTS) i system recyrkulacji wody (RAS) (średnia \pm SEM)

Fig. 1. Bioconcentration of calcium in the water reservoirs on farms using a system with flow-through system (FTS) and water recirculation system (RAS) (mean \pm SEM)

Związki magnezu w wodach pochodzą przede wszystkim z procesów rozpuszczania minerałów, takich jak dolomity czy magnezyty. Zmiana stężeń magnezu w wodach powierzchniowych jest związana m.in. z obecnością w wodzie substancji humusowych. Substancje te mogą występować w formie rozpuszczonej lub koloidalnej, tworząc kompleksy magnezowo-humusowe. Zdolność wiązania kationów magnezu przez substancje humusowe zależy w dużej mierze od odczynu (pH), a co za tym idzie również od stopnia dysocjacji grup funkcyjnych [6].

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań stwierdzono, że średnia koncentracja magnezu w wodach zasilających gospodarstwa pstrągowe kształtowała się na poziomie $7,5\text{-}7,9 \text{ mg/dm}^3$ w ośrodku FTS oraz od $5,7$ do $6,2 \text{ mg/dm}^3$ w gospodarstwie RAS (rys. 2). Na wyższe stężenia Mg^{2+} w wodach zasilających ośrodek FTS wpływ mogły wywierać odmienne warunki geologiczne i glebowe występujące w zlewni ciek

zasilającego gospodarstwo rybackie. W wyniku wykorzystania wody na cele hodowlane w gospodarstwie stosującym system przepływowy przyrost stężenia magnezu w wodzie odpływającej ze stawów w sezonie wiosennym był na poziomie około 9%, natomiast jesienią wynosił około 2%. Stwierdzono skuteczne działanie laguny w sezonie wiosennym (redukcja stężenia wynosiła o około 11%), natomiast jesienią następował przyrost zawartości magnezu (około 8%) w wodzie odpływającej z laguny. Odmienna sytuacja wystąpiła w ośrodku RAS, tj. wiosną w wodzie wykorzystanej na cele hodowlane (odpływającej ze stawów) stwierdzono redukcję stężenia Mg^{2+} o około 5%, a następnie po przepłynięciu przez staw doczyszczający ponowny wzrost jego stężenia do poziomu $6,1 \text{ mg/dm}^3$. W jesiennym sezonie hodowlanym obserwowano nieznaczny przyrost stężenia magnezu w wodach stawów do poziomu $6,0 \text{ mg/dm}^3$ oraz jego redukcję o około 14% w wyniku przepłynięcia przez lagunę.

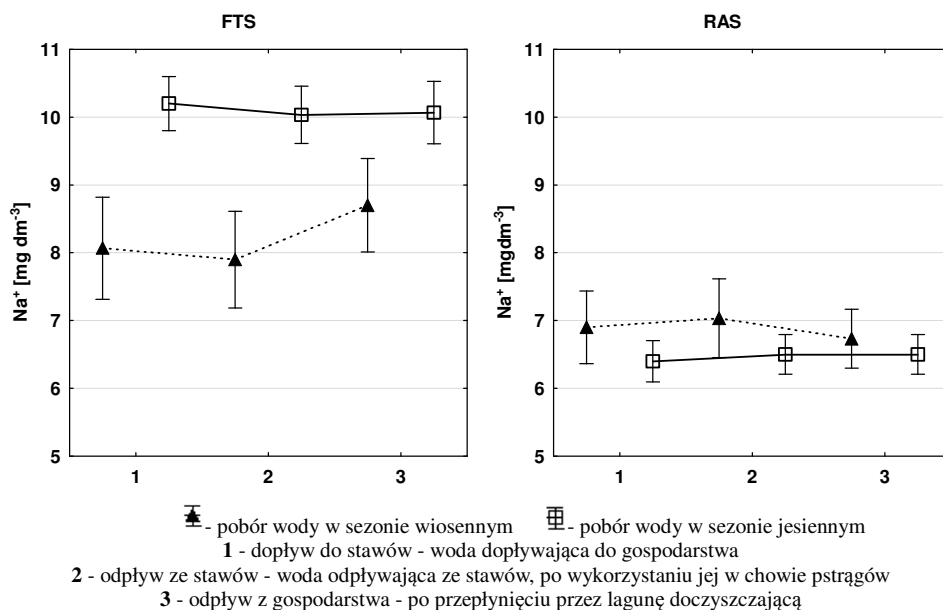


Rys. 2. Biokoncentracja magnezu w zbiornikach wodnych w gospodarstwach stosujących system z jednokrotnym przepływem wody (FTS) i system recyrkulacji wody (RAS) (średnia \pm SEM)

Fig. 2. Bioconcentration of magnesium in the water reservoirs on farms using a system with flow-through system (FTS) and water recirculation system (RAS) (mean \pm SEM)

Sód i potas występują w litosferze w zbliżonych ilościach i są one pierwiastkami zbliżonymi do siebie pod względem chemicznym, jednak ze względu na uczestnictwo w procesach wymiany jonowej i sorpcji biologicznej drogi ich migracji są znacznie zróżnicowane [7]. Potas, podobnie jak związki magnezu, znajduje się w podłożu w formach słabo rozpuszczalnych jako składnik np. ortoklazu czy biotyty. Natomiast w środowisku podziemnym migracja potasu jest znacznie utrudniona ze względu na sorpcje przez minerały ilaste. Kationy sodu występują w wodach powierzchniowych tak jak związki

wapnia bardzo powszechnie. Sód pochodzić może z rozpuszczonych ewaporatów oraz zanieczyszczeń antropogenicznych, jednakże powszechnym jego źródłem są minerały sodowe. Jony sodowe, podobnie jak kationy potasu, ulegają sorpcji przez minerały ilaste [8].



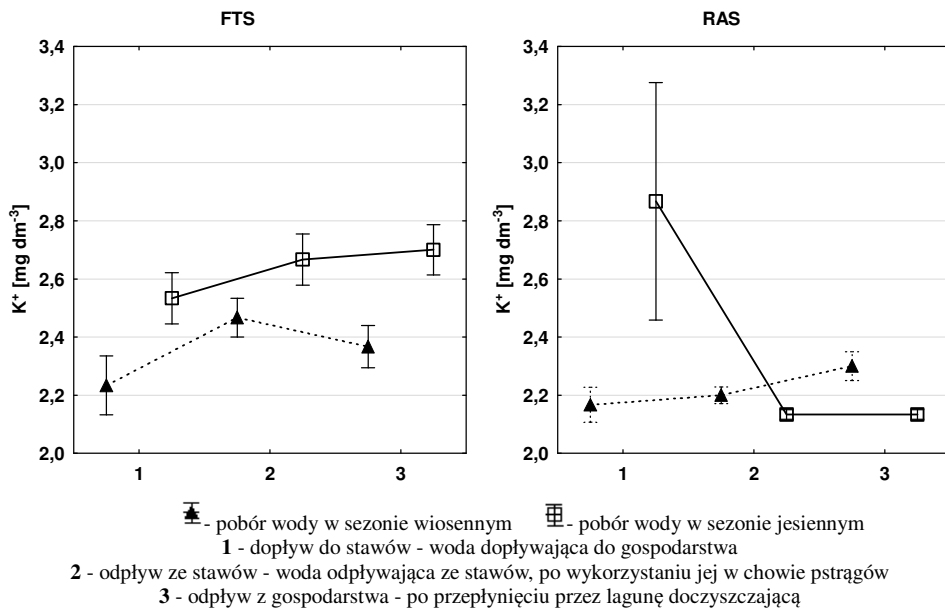
Rys. 3. Biokoncentracja sodu w zbiornikach wodnych w gospodarstwach stosujących system z jednokrotnym przepływem wody (FTS) i systemie recyrkulacji wody (RAS) (średnia \pm SEM)

Fig. 3. Bioconcentration of sodium in the water reservoirs on farms using a system with flow-through system (FTS) and water recirculation system (RAS) (mean \pm SEM)

W wodach dopływających do obiektów hodowlanych średnia koncentracja sodu i potasu kształtowała się na niskim poziomie, a jej zakres mieścił się w przedziale od 8,1 do 10,2 mg Na/dm³ i od 2,2 do 2,5 mg K/dm³ w gospodarstwie FTS oraz od 6,2 do 6,9 mg Na/dm³ i od 2,2 do 2,9 mg K/dm³ w ośrodku RAS (rys. 3, 4). W ośrodku pstrągowym stosującym przepływowy system gospodarowania wodą w jesiennym sezonie hodowlanym obserwowano wyższe stężenia Na⁺ niż w sezonie wiosennym. W całym okresie badawczym stwierdzano nieznaczny redukcję stężenia sodu w wodach odpływających ze stawów hodowlanych. W sezonie wiosennym w wodzie odpadowej po przepłynięciu przez lagunę obserwowano wzrost stężenia sodu o 0,7 mg/dm³, natomiast w sezonie jesiennym nie stwierdzono zmian koncentracji Na⁺ w wodzie przepływającej przez lagunę. W przypadku gospodarstwa RAS także nie stwierdzono wpływu prowadzonej działalności na zawartość sodu w wodzie odpływającej ze stawów pstrągowych. W sezonie wiosennym obserwowano pozytywne działanie stawu doczyszczającego (redukcja o około 3%), natomiast jesienią w wodzie odpływającej z laguny koncentracja sodu w wodzie była na takim samym poziomie jak w wodzie do niej dopływającej. Analizując wpływ stosowanej technologii gospodarowania wodą na zawartość potasu w wodach, można

stwierdzić, że w odpływie ze stawów pstrągowych w ośrodku FTS następował nieznaczny przyrost jego koncentracji zarówno w sezonie wiosennym, jak i jesiennym. Natomiast w gospodarstwie RAS wiosną stwierdzono nieznaczny wzrost jego stężenia, a jesienią redukcję na poziomie około 28%. Analizując skuteczność stawów doczyszczających, można stwierdzić, że w ośrodku stosującym system przepływowy w sezonie wiosennym w wodach odpływających z gospodarstwa obserwowano redukcję koncentracji potasu na poziomie 8%, natomiast jesienią nie zauważono żadnego wpływu. Odmienną sytuację obserwowano w ośrodku wykorzystującym recyrkulację wód - i tak w sezonie wiosennym następował wzrost stężenia K^+ o około 4%, natomiast wiosną sytuacja była taka sama jak w ośrodku FTS, tj. brak zmiany stężeń w wodzie odpływającej z laguny w stosunku do niej dopływającej.

Technologia chowu wpływała statystycznie istotnie na biokoncentrację większości badanych pierwiastków w analizowanych próbkach wody (tab. 1). Zawartość magnezu w wodzie wykazała z technologią chowu korelację bardzo wysoką ($-0,86, p < 0,05$), zawartość sodu i potasu korelację umiarkowaną ($-0,58, p < 0,05$; $-0,52, p < 0,05$). Technologia stosowana w gospodarstwach nie miała wpływu na koncentrację wapnia w wodzie, która zależała w istotny sposób tylko od roku poboru próbek ($-0,65, p < 0,05$). Rok poboru wpływał również istotnie ($-0,47, p < 0,05$) na biokoncentrację sodu. Sezon poboru i miejsce pobrania próbek nie decydowały o koncentracji badanych metali w wodzie.



Rys. 4. Biokoncentracja potasu w zbiornikach wodnych w gospodarstwach stosujących system z jednokrotnym przepływem wody (FTS) i system recyrkulacji wody (RAS) (średnia \pm SEM)

Fig. 4. Bioconcentration of potassium in the water reservoirs on farms using a system with flow-through system (FTS) and water recirculation system (RAS) (mean \pm SEM)

Współczynniki korelacji Spearmana zależności biokoncentracji metali
w zbiornikach wodnych od warunków chowu

Tabela 1

Spearman correlation coefficients depending on the bioconcentration of metals
in water tank of the breeding technology

Table 1

Pierwiastek	Technologia	Rok	Sezon	Miejsce
Ca ²⁺	-0,14	-0,65*	-0,13	0,05
Mg ²⁺	-0,86*	0,12	-0,01	0,03
Na ⁺	-0,58*	-0,47*	-0,13	0,02
K ⁺	-0,52*	0,19	-0,06	0,10

* Współczynniki korelacji Spearmana istotne przy $p < 0,05$ ($< 0,2$ - korelacja słaba, 0,2-0,4 - korelacja niska, 0,4-0,6 - korelacja umiarkowana, 0,6-0,8 - korelacja wysoka, 0,8-0,9 - korelacja bardzo wysoka, 0,9-1 - korelacja pełna). Technologia - technologia chowu (FTS, RAS). Rok - rok pobrania próbek (2010, 2011). Sezon - sezon odłowu (wiosna, jesień). Miejsce - miejsce pobrania próbek wody (dopływ ze stawów, odpływ ze stawów, odpływ z gospodarstwa)

* Spearman correlation coefficients significant at $p < 0.05$ (< 0.2 - weak correlation, 0,2-0,4 - correlation of low, 0,4-0,6 - moderate correlation, 0,6 to 0,8 - correlation of high, 0,8-0,9 - very high correlation, 0,9-1 - full correlation). Technology - Breeding technology (FTS, RAS). Year - the year of sampling (2010, 2011). Season - netting season (spring, autumn). Point - point of water sampling (inflow to ponds, outflow from ponds, and outflow from the farm)

Technologia gospodarowania wodą w obiektach rybackich oraz wpływ systemu produkcyjnego na środowisko przyrodnicze kształtuje jakość wody, a tym samym ryb w niej hodowanych [9-11]. O jakość ryb decyduje m.in. ilość zawartych w niej składników pokarmowych, w tym związków mineralnych. Zawartość metali w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) analizowanych próbek była zróżnicowana w zależności roku poboru i sezonu odłowu (tab. 2). Rok poboru wpływał istotnie na zawartość wapnia i sodu, a sezon odłowu tylko na zawartość sodu w pstrągu. W badanych obiektach nie stwierdzono wpływu stosowanej technologii na zawartości metali w mięśniach pstrąga.

Zawartość metali w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)

Tabela 2

The metal content in muscle tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)

Table 2

Parametr		Ca	Mg	Na	K
		średnia±SEM [mg kg ⁻¹]			
Średnia		335±28	312±5	427±17	4388±60
Technologia	FTS	395±52 ^a	307±12 ^a	487±34 ^a	4333±160 ^a
	RAS	300±32 ^a	316±3 ^a	464±18 ^a	4419±27 ^a
Rok poboru	2010	485±55 ^a	319±5 ^a	565±16 ^a	4492±54 ^a
	2011	275±28 ^b	310±6 ^a	435±20 ^b	4346±81 ^a
Sezon	wiosna	394±37 ^a	309±4 ^a	563±12 ^a	4409±36 ^a
	jesień	306±37 ^a	314±7 ^a	427±21 ^b	4377±89 ^a

Wartości średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi literami w grupach (Technologia, Rok, Sezon) nie różnią się istotnie statystycznie przy $p < 0,05$

Mean values in columns marked with the same letters in groups (technology, year, season) do not vary significantly at $p < 0.05$

Warunki chowu ryb i jakość wody decydują o bioakumulacji metali w ich mięśniach [12, 13]. Stosowana w badanych obiektach technologia produkcji nie wpływała na bioakumulację wapnia, magnezu i sodu w tkance mięśniowej pstrąga, wykazała jedynie niską korelację z zawartością potasu ($-0,27$, $p < 0,05$) (tab. 3). Rok poboru próbek był w sposób umiarkowany skorelowany z bioakumulacją wapnia ($-0,44$, $p < 0,05$) i sodu ($-0,40$, $p < 0,05$). Sezon odłowu najczęściej decydował o bioakumulacji metali w pstrągu. Wykazał korelację niską z zawartością wapnia ($0,27$, $p < 0,05$) i magnezu ($-0,31$, $p < 0,05$) w mięśniach oraz umiarkowaną z zawartością sodu ($0,48$, $p < 0,05$). Stwierdzono korelację pomiędzy bioakumulacją wapnia w tkance mięśniowej pstrąga a koncentracją tego pierwiastka w analizowanych próbkach wody, a także wysoką korelację z koncentracją sodu w wodzie. Podobną zależność wykazała również biokoncentracja sodu w pstrągu. Jakość wody i ilość zawartych w niej metali wpływały w sposób istotny na biokoncentrację wapnia, sodu i potasu w tkance mięśniowej pstrąga.

Tabela 3

Współczynniki korelacji Spearmana zależności bioakumulacji metali w tkance mięśniowej pstrąga tęczowego od warunków chowu i jakości wody

Table 3

Spearman correlation coefficients depending on the bioaccumulation of metals in muscle tissue of rainbow trout from the breeding condition and water quality

Pierwiastek	Technologia	Rok	Sezon	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Ca	-0,19	-0,44*	0,27*	0,51*	0,04	0,71*	0,12
Mg	-0,19	-0,03	-0,31*	0,01	0,25	0,08	-0,03
Na	-0,12	-0,40*	0,48*	0,54*	0,02	0,50*	0,07
K	-0,27*	-0,09	-0,07	0,03	0,34*	0,22	0,20

* Współczynniki Spearmana istotne przy $p < 0,05$ ($< 0,2$ - korelacja słaba, $0,2-0,4$ - korelacja niska, $0,4-0,6$ - korelacja umiarkowana, $0,6-0,8$ - korelacja wysoka, $0,8-0,9$ - korelacja bardzo wysoka, $0,9-1$ - korelacja pełna). Technologia - technologia chowu (FTS, RAS). Rok - rok pobrania próbek (2010, 2011). Sezon - sezon odłowu (wiosna, jesień). Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ - koncentracja metali w zbiornikach wodnych

* Spearman coefficients significant at $p < 0,05$ ($< 0,2$ - weak correlation, $0,2-0,4$ - low correlation, $0,4-0,6$ - moderate correlation, $0,6$ to $0,8$ - high correlation, $0,8-0,9$ - very high correlation, $0,9-1$ - full correlation). Technology - Breeding technology (FTS, RAS). Year - the year of sampling (2010, 2011). Season - netting season (spring, autumn). Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ - concentration of metals in water reservoirs

Wnioski

1. Produkcja pstrąga nie wpływała znacząco na wskaźniki zasolenia wód zarówno w gospodarstwie z jednokrotnym, jak i wielokrotnym wykorzystaniem wody, a pogorszenie wskaźników jakości wód w wyniku wykorzystywania ich w chowie pstrągowym nie powodowało zmiany klasy ich jakości.
2. W wyniku wykorzystania wody na cele hodowlane w gospodarstwie FTS obserwowano nieznaczny wzrost koncentracji Ca²⁺, Mg²⁺ oraz K⁺ w odplywie ze stawów, natomiast w ośrodku RAS wzrost stężenia wystąpił jedynie w przypadku Mg²⁺.
3. W ośrodku FTS w wodzie odpływającej z laguny stwierdzono redukcję jedynie w przypadku Ca²⁺ (jesień) oraz Mg²⁺ (wiosna), natomiast w gospodarstwie RAS

- pozytywne działanie laguny obserwowano w odniesieniu do Ca^{2+} (cały okres badawczy), Mg^{2+} (jesień) oraz Na^+ (wiosna).
4. W badanych obiektach technologia chowu wpływała istotnie na biokoncentrację magnezu, sodu i potasu w wodzie, natomiast nie miała wpływu na bioakumulację metali w tkance mięśniowej pstrąga.
 5. Jakość wody wpływała na bioakumulację metali w mięśniach pstrąga.

Podziękowania

Badania sfinansowane przez UE oraz Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w ramach Programu Operacyjnego „Zrównoważony rozwój sektora rybołówstwa i nadbrzeżnych obszarów rybackich, „PO Ryby 2007-2013”, umowa nr 00001-61724-OR1400002/10.

Literatura

- [1] Tucholski S, Sidoruk M. The effect of feeding fish ponds with biologically treated wastewater on pond water quality. *Ecol Chem Eng A*. 2013;20(3):391-399. DOI: 10.2428/ecea.2013.20(03)038.
- [2] Prądzynska D. Próba oceny oddziaływania stawów hodowlanych na środowisko przyrodnicze (na przykładzie gminy Malechowo). *Studia Ekologiczno-Krajobrazowe w Prognozowaniu Rozwoju Zrównoważonego, Problemy Ekologii Krajobrazu*. 2004;XIII:221-226.
- [3] Roque d'orbcastel E, Blancheton JP, Belaud A. Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: Comparison with a flow through system. *Aquacultural Engineering*. 2009;40:135-143.
- [4] Degefu F, Mengistu S, Schagerl M. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture*. 2011;316:129-135. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.03.010.
- [5] Koc J, Szymczyk S. Wpływ intensyfikacji rolnictwa na odpływ fosforu do wód powierzchniowych. *Zesz Probl Post Nauk Roln*. 2003;494:191-197.
- [6] Kolanek A, Kowalski T. Wpływ procesów biochemicznych i substancji humusowych na stężenie związków wapnia i magnezu w wodach. *Ochrona Środowiska*. 2002;1(84):9-12.
- [7] Jawecki B. Dobowe ekstrema tlenowe w stawie rybnym. *Zesz Probl Post Nauk Roln*. 2008;528:373-379.
- [8] Skonieczek P, Koc J. Role of retention reservoir in sodium migration from agricultural and afforested catchment areas. *Ecol Chem Eng A*. 2011;18(3):435-443.
- [9] Teodorowicz M. Surface water quality and intensive fish culture. *Archives of Polish Fisheries*. 2013;21:65-111.
- [10] Wedekind H. Qualität von Fischen aus der Aquakultur. *Fleischwirtschaft*. 2009;89(5):113-118.
- [11] Tkaczewska J, Międał W. Porównanie wydajności rzeźnej, zawartości podstawowych składników odżywczych oraz poziomu metali ciężkich w mięśniach pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) pochodzącego z różnych rejonów Polski. *Żywność - Nauka Technologia Jakość*. 2012;5(84):177-186.
- [12] Brucka-Jastrzębska E, Kawczuga D, Protasowicki M, Rajkowska M. Effect of culture conditions on magnesium and zinc concentrations in muscles of freshwater fish. *J Elementol*. 2010;15(2):239-250.
- [13] Fallah AA, Siavash S, Dehkordi S, Nematollahi A. Comparative assessment of proximate composition, physicochemical parameters, fatty acid profile and mineral content in farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Int J Food Sci Technol*. 2011;46(4):767-773.

BIOACCUMULATION OF MINERALS IN MUSCLE TISSUE OF RAINBOW TROUT IN DEPENDENCE ON BREEDING CONDIONS

¹ Chair of Foundations of Safety, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

² Chair of Land Reclamation and Landscape Management, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

³ Chair of Pathophysiology, Forensic Veterinary Medicine and Administration
University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

Abstract: Breeding of rainbow trout needs detailed knowledge on production conditions and chemical and biological parameters of the environment. Both profitability of production and influence of production system on nature should be considered during selection the optimal water management in trout breeding technology. In countries of limited water resources, including Poland, water saving is suggested what leads to improving the methods of fishing production of decreased water consumption. The aim of the water was to assess the influence of water quality and type of breeding technology on bioaccumulation of calcium, magnesium, sodium and potassium in meat muscle of rainbow trout. Research was performed in 2010 and 2011. Two trout farms were selected for the experiment (in pomorskie voivodeship). In one farm system of through-flow of water was applied and in the other - water recirculation. It has been found that water used in both farms for fish breeding fulfilled Polish legal demands for inland waters suitable for salmonids breeding. Type of breeding technology significantly influenced concentration of magnesium, sodium and potassium in water, and had no influence on bioaccumulation of the metals in muscle tissue. Content of the metals in muscle tissue significantly depended on water quality.

Keywords: breeding technology, physical and chemical properties of water, bioaccumulation, calcium, magnesium, sodium, potassium