

Dobrostan ryb w wylęgarnictwie i akwakulturze



Dobrostan ryb w wylęgarnictwie i akwakulturze

pod redakcją:
Zdzisława Zakęsia
Krystyny Demskiej-Zakęs

PAN
POLSKA AKADEMIA NAUK



Olsztyn 2022

Recenzenci: prof. dr hab. Krzysztof Formicki
dr hab. Małgorzata Woźniak

Redakcja techniczna: Henryk Chmielewski

Projekt okładki: Henryk Chmielewski

Skład, łamanie, grafika: Jarmila Grzegorzczak, Henryk Chmielewski

Patronat naukowy: Komitet Nauk Zootechnicznych i Akwakultury Polskiej Akademii Nauk

© Copyright by
Instytut Rybactwa Śródlądowego
Olsztyn 2022

ISBN 978-83-66805-06-4

Wydawnictwo Instytutu Rybactwa Śródlądowego
10-719 Olsztyn-Kortowo, ul. Oczapowskiego 10
tel. (089) 524 01 71, fax (089) 524 05 05
E-mail: wydawnictwo@infish.com.pl

Druk: Centrum Poligrafii Sp. z o. o., ul. Michała Spisaka 37, 02-495 Warszawa-Ursus

Wpływ środowiskowych czynników abiotycznych i biotycznych na efekty podchowu i dobrostan jesiotra syberyjskiego (*Acipenser baerii*)

Jan Mazurkiewicz^{1,2}, Marcin Wiśniewski³, Mateusz Rawski^{1,2}, Krzysztof Florczyk^{1,2},
Jan Banaszak¹, Natalia Homska^{1,2}, Joanna Kowalska^{1,2}

¹ Zakład Doświadczalny Technologii Produkcji Pasz i Akwakultury w Muchocinie,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

² Pracownia Rybactwa Śródlądowego i Akwakultury, Katedra Zoologii,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

³ Polski Związek Wędkarski Okręg w Poznaniu

Wstęp

Chów i hodowla ryb jesiotropowych w celu pozyskania mięsa i kawioru to sektor akwakultury, którego znaczenie stale rośnie (Wei i in. 2011, Bronzi i in. 2019). Globalnie w latach 2003-2013 odnotowano ponad czterokrotny wzrost produkcji ryb należących do rodziny jesiotropowych (Falahatkar 2018), a jej najwyższą wydajność osiągnięto w 2015 r. na poziomie 129608 ton. Należy również podkreślić, że od 2008 r. Polska jest jednym z najważniejszych producentów ryb jesiotropowych w Unii Europejskiej (EUMOFA 2018). Rosnące zainteresowanie chowem i hodowlą tej rodziny ryb ma związek z nadmierną eksploatacją dziko żyjących populacji jesiotrów. Doprowadziło to w 1997 r. do umieszczenia wszystkich komercyjnie wykorzystywanych gatunków z rodziny Acipenseridae w załączniku II do przepisów konwencji waszyngtońskiej CITES. Przedstawiona sytuacja wymusiła ustalenie na szczeblu międzynarodowym kwot handlowych w celu promowania ochrony tych wysoce zagrożonych gatunków (Bronzi i in. 2011). Ponowna ocena stanu zagrożenia ryb z rodziny jesiotropowych przeprowadzona w 2009 roku przez Międzynarodową Unię Ochrony Przyrody (IUCN 2013) wskazała, że warunki środowiskowe dla prawie wszystkich gatunków pogorszyły się. Jednocześnie ponad 40% z nich zostało

sklasyfikowane jako silniej zagrożone wyginięciem niż w ocenie poprzedniej. W tym momencie akwakultura ryb jesiotrowatych stała się jedynym źródłem ich mięsa i kawioru na rynku.

W związku z powyższymi faktami należy skupić się nie tylko na aspekcie produkcji ryb jesiotrowatych w celach konsumpcyjnych, lecz również na rozwoju metod ich chowu i hodowli, umożliwiających uzyskanie materiału zarybieniowego charakteryzującego się wysoką przeżywalnością w środowisku naturalnym. Tego typu działania określane są mianem akwakultury zachowawczej. Jej zoptymalizowany rozwój jest uzależniony od rozpoznania wymagań żywieniowych oraz behawioralnych utrzymywanych zwierząt (Bostock i in. 2010). W związku z niewystarczającą ilością danych dotyczących optymalizacji utrzymania ryb jesiotrowatych efektywne metody nie zostały dotychczas jednoznacznie określone. Na chwilę obecną wiadomo, że jesiotry syberyjskie (*Acipenser baerii*) cechują się wysoką odpornością na szereg niekorzystnych czynników środowiskowych (Eslamloo i Falahatkar 2014, Pourgholam i in. 2019, Aidos i in. 2020), jednakże udowodniono również, że chroniczny stres negatywnie wpływa na ich późniejszy rozwój płciowy (Bayunova i in. 2002), co znacząco obniża wartość ryb przeznaczonych do reintrodukcji.

Konieczne jest poszukiwanie rozwiązań zapewniających rybom optymalne warunki do wzrostu i rozwoju. W przypadku ssaków prawidłowe postępowanie określa pojęcie dobrostanu, które zostało jednoznacznie zdefiniowane przez Światową Organizację Zdrowia Zwierząt (OIE 2014). Ze względu na skrajnie różniące się fizjologię, behavior oraz środowisko bytowania organizmów żyjących w wodzie niemożliwe jest bezpośrednio odniesienie się do ogólnie ustalonych zasad sformułowanych na podstawie wiedzy o zwierzętach żyjących na lądzie. Udowodnione zostało, że zmiany zachowania związane z agresją, sposobem przemieszczania się i pobieraniem pokarmu negatywnie wpływają na wzrost i rozwój ryb (Martins i in. 2012). W związku z tym, rozumienie dobrostanu w akwakulturze sprowadza się do analizowania wskaźników produkcyjnych oraz behavioru zarówno całych grup, jak i pojedynczych osobników. Poszukuje się rozwiązań zarządzania produkcją ryb w sposób jak najmniej ingerujący w swobodę ich ruchu oraz minimalizujący odczuwanie przez nie potencjalnie negatywnych bodźców. Działania te obejmują między innymi różnorodne metody obserwacji, znieczulenia, automatyczną selekcję czy bezkontaktową identyfikowalność poszczególnych zwierząt (Williot i in. 2018). Aby móc prawidłowo zinterpretować wpływ różnorodnych czynników na ryby, należy najpierw zapoznać się z anatomią, fizjologią oraz behaviorem konkretnego gatunku, ponieważ każdy z nich charakteryzuje się innym spektrum reakcji na te same bodźce. Obserwacja i jej analiza poparta znajomością biologii utrzymywanych ryb oprócz zapewnienia im możliwie najlepszych warunków bytowania przekłada się również na wzrost wydajności produkcji. Reasumując, zachowanie dobrostanu istot żywych

oznacza zapewnienie im środowiska umożliwiającego wyrażanie wrodzonych zachowań w zdrowiu, bezpieczeństwie, dobrym odżywieniu oraz bez bólu i stresu. Ponadto cel ten w przypadku produkcji materiału zarybieniowego należy realizować z jednoczesną dbałością o produkcję osobników charakteryzujących się cechami predysponującymi do życia na wolności.

Czynniki abiotyczne

Obecność substratu naturalnego

Na przebieg podchowu wylęgu ryb jesiotrowatych znacząco wpływa rodzaj dostępnego podłoża (fot. 1). W doświadczeniu mającym na celu analizę obecności żwiru w zbiornikach przeznaczonych do podchowu larw jesiota białego (*Acipenser transmontanus*) (Bates i in. 2014), autorzy udowodnili, że osobniki należące do grup doświadczalnych o wzbogaconym środowisku charakteryzowały się istotnie wyższym wzrostem masy ciała oraz niższym poziomem kortyzolu, będącego jednym ze wskaźników poziomu stresu. Wyniki te świadczą o pozytywnym wpływie obecności żwiru w zbiornikach na parametry produkcyjne oraz dobrostan wylęgu. Z kolei badania przeprowadzone na larwach jesiota atlantyckiego (*Acipenser oxyrinchus*) wykazały, że obecność podłoża przekłada się na zmniejszoną śmiertelność w pierwszej fazie życia ryb. Ponadto istotne znaczenie ma również jego rodzaj. W przypadku larw jesiota atlantyckiego korzystniejsze parametry produkcyjne uzyskano w grupie mającej dostęp do podłoża żwirowego



Fot. 1. Przykłady substratów naturalnych możliwych do wykorzystania jako wzbogacenie środowiska w podchowcie młodocianych stadiów ryb jesiotrowatych (od lewej, na górze: piasek kwarcowy, kamień łamany, żwir; na dole: piasek bazaltowy, substrat ceramiczny, kamienie) (fot. J. Kowalska).

aniżeli piasku (Gessner i in. 2009). Przedstawione dane wskazują na istotny wpływ strukturalnego wzbogacenia środowiska na wylęg ryb należących do rodziny jesiotrowatych. Udowodniono również, że młodociane osobniki jesiotra atlantyckiego przyzwyczajone do żerowania na substracie z piasku kwarcowego pobierają pokarm znacznie szybciej niż ryby, które były utrzymywane w sposób standardowy, w zbiornikach bez dodatku substratu (Camara-Ruiz i in. 2019). Doniesienie to sugeruje, że wydajność żerowania można poprawić poprzez krótkotrwały trening polegający na utrzymywaniu ryb w zbiornikach wzbogaconych substratem, a tym samym poprawić ich kondycję oraz szansę na przeżycie po wprowadzeniu do środowiska naturalnego.

Obecność schronień

W literaturze naukowej na chwilę obecną brakuje danych na temat wzbogacenia środowiska za pomocą różnego rodzaju schronień odnoszących się bezpośrednio do ryb jesiotrowatych (fot. 2). Przeprowadzano jednak tego typu badania z wykorzystaniem innych gatunków ryb. Testy na młodocianych osobnikach dorady (*Sparus aurata*) sprawdzające efekty wprowadzenia do zbiorników pionowo osadzonych lin wykazały, że taka forma urozmaicenia środowiska ma pozytywne działanie objawiające się poprawą dobrostanu ryb, nie wpływając jednocześnie na parametry produkcyjne (Arechavala-Lopez i in. 2020). Oznacza to, że wdrożenie takiego rozwiązania może zostać praktycznie wykorzystane w podchowcie dorady przy zachowaniu dotychczasowego poziomu rentowności produkcji. Z kolei eksperyment przeprowadzony z łososiem atlantyckim (*Salmo salar*), polegający na porównaniu zachowań zwierząt bytujących w zbiornikach standardowych oraz w zbiornikach wyposażonych w przezroczyste półki, dostarczył danych wykazujących różnice w behawiorze ryb oraz tempie metabolizmu pomiędzy grupami doświadczalnymi (Millidine i in. 2006). Obecność schronienia w postaci dodatkowego elementu wpłynęła pozytywnie na metabolizm ryb, co może przełożyć się na polepszenie parametrów wzrostu, wykorzystania paszy oraz umiejętność przetrwania w środowi-



Fot. 2. Widok zbiornika ze środowiskiem standardowym (po lewej stronie) i środowiskiem wzbogaconym o schronienie w postaci pionowo osadzonego dysku z tworzywa sztucznego (po prawej stronie) (fot. J. Kowalska).

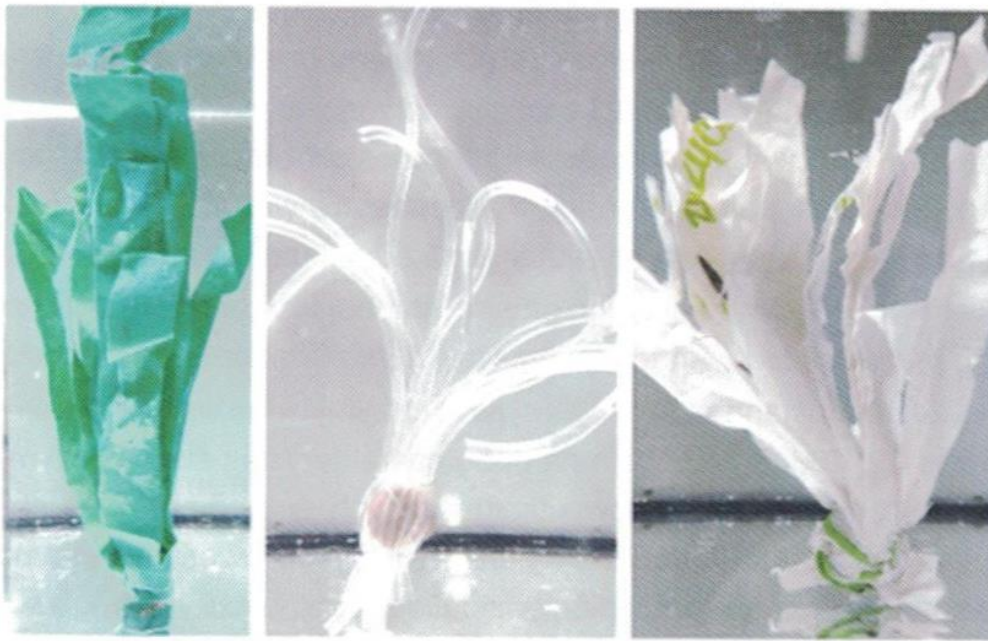
sku naturalnym. Ponadto Näslund i in. (2013) udowodnili, że łososie atlantyckie utrzymywane w zbiornikach wzbogaconych tubami bądź kratkami z tworzywa sztucznego charakteryzują się mniejszą erozją płetw niż osobniki utrzymywane w zbiornikach bez dodatkowych elementów. Tendencję do zredukowanego zniszczenia płetw u tego gatunku, utrzymwanego we wzbogaconym środowisku zaobserwowali również Rosengren i in. (2017). Ponadto kryjówki wpływały na redukcję poziomu kortyzolu we krwi.

Program świetlny

Wykazano, że młodociane jesiotry syberyjskie utrzymywane w zbiornikach oświetlonych przez okres 12, 16 lub 24 godzin na dobę charakteryzują się szybszym tempem wzrostu w porównaniu do osobników utrzymywanych w ciemności (Ruchin 2007). Ponadto ryby mające dostęp do światła wykazywały wysoką częstość oddechów oraz korzystniejsze parametry wykorzystania paszy. Co więcej, w optymalnych warunkach fotoperiodu wskaźniki hematologiczne mieściły się w normalnym zakresie, natomiast przy braku światła obserwowano wyraźną neutrofilię i leukopenię. Z kolei narybek jesiotra kaspjskiego (*Acipenser persicus*) charakteryzował się szybszym tempem wzrostu, gdy był utrzymywany w fotoperiodzie wynoszącym 18 godzin światła w porównaniu do osobników, których zbiorniki były doświetlane przez 12 godzin (Zolfaghari i in. 2011). Inne badania przeprowadzone na tym samym gatunku wykazały, że manipulacja programem świetlnym może zmienić niektóre metabolity związane ze stresem oraz zwiększyć tempo wzrostu ryb wystawionych na ciągłą ciemność (Falahatkar i in. 2012). Testy behawioralne oraz wzrostowe przeprowadzone na młodocianych osobnikach szypa (*Acipenser nudiiventris*) wykazały istotne różnice pomiędzy osobnikami utrzymywanymi w ciemności oraz w zbiornikach doświetlanych sztucznym światłem (Parandavar i in. 2008). Tempo wzrostu młodych osobników szypa wynosiło odpowiednio 4,7 i 5,5% w warunkach doświetlania i ciemności. Wyniki badań wykazały, że utrzymanie i karmienie jesiotrów w warunkach całkowitej ciemności we wczesnym okresie odchowu może zwiększyć tempo ich wzrostu.

Elementy przestrzenne symulujące roślinność naturalną

Dotychczas badano wpływ dodatku sztucznej roślinności do środowiska hodowlanego na zachowanie, wybór siedliska i wzrost wylęgu ryb szczupakowatych (fot. 3). Osobniki wychowane w zbiornikach z roślinnością rozpraszały się i spędzały więcej czasu z dala od krawędzi niż osobniki przebywające w zbiornikach otwartych. Szczupaki (*Esox masquinongy*) w zbiornikach porośniętych sztuczną roślinnością również rzadziej płoszyły się niż ryby w zbiornikach otwartych, podczas gdy roślinność nie zmniejszała płochliwości szczupaków amerykańskich. Obecność sztucznej roślinności w zbiornikach spowodowała zmiany w zachowaniu obu analizowanych taksonów, ale szczupak



Fot. 3. Przykłady elementów przestrzennych symulujących roślinność naturalną (fot. J. Kowalska).

tygrysi (*Esox lucius* × *Esox masquinongy*) był bardziej elastyczny w modyfikowaniu swojego zachowania. Reakcje behawioralne wynikające z ekspozycji na sztuczną roślinność mogą zwiększyć przeżywalność ryb po ich przeniesieniu do środowiska naturalnego (Einfalt i in. 2013). Prowadzono również prace nad wpływem środowiska hodowlanego na zachowanie ławicowe dorsza (*Gadus morhua*). Porównywano standardowe środowisko składające się ze zbiorników z laminatu włókna szklanego bez dodatkowych elementów oraz środowisko zawierające elementy przestrzenne (kamienie oraz model brunatnic wykonany z tworzywa sztucznego) określone jako środowisko wzbogacone. Stwierdzono, że tendencja do tworzenia ławic przez dorsze pochodzące ze wzbogaconych zbiorników różniła się w zależności od środowiska, w którym je umieszczono, natomiast ryby hodowane w zwykłym środowisku reagowały w ten sam sposób we wszystkich warunkach testowych. Wskazuje to na wpływ środowiska bytowania ryb we wczesnej fazie ich rozwoju na dalszy rozwój odpowiednich reakcji behawioralnych i znaczenie tego faktu dla gatunków hodowanych w niewoli, które są wypuszczane na wolność (Salvanes i in. 2007). Podobne badania prowadzono na dorosłych samcach danio pręgowanego (*Danio reiro*) utrzymywanych w izolacji stadnej w różnych środowiskach. Połowę akwariów wypełniono kamieniami wielkości 4-9 mm, do wysokości 3 cm nad dnem, oraz dwiema plastikowymi imitacjami rośliny *Acorus* sp. U ryb trzymany w akwariach wzbogaconych sztuczną roślinnością i żwirem zaobserwowano wyższą liczbę jąder PCNA dodatnich (ang. *Proliferating Cell Nuclear Antygen*; antygen proliferacji komórkowej) oraz istotnie większą zmienność międzyosobniczą (von Krogh i in. 2010).

Czynniki biotyczne

Zagęszczenie obsady

Zagęszczenie ryb w zbiornikach hodowlanych jest czynnikiem wpływającym na tempo wzrostu, który dodatkowo może negatywnie przekładać się na dobrostan (Jodun i in. 2002, Khorramshahr 2009). Im niższe zagęszczenie obsady, tym szybszym tempem wzrostu charakteryzują się utrzymywane zwierzęta. Jednakże rentowność akwakultury warunkuje między innymi optymalne wykorzystanie dostępnej przestrzeni produkcyjnej. Dlatego ekonomicznie uzasadnione jest prowadzenie badań, których wyniki pozwolą na ustalanie możliwie najwyższych obsad ryb, które jednocześnie nie będą wywierać negatywnego wpływu na parametry produkcyjne oraz dobrostan. Ni i in. (2016) wykazali, że jesiotry amurskie (*Acipenser schrenckii*) o średniej masie jednostkowej 42 g osiągają znacząco wyższą końcową masę ciała (FBW), jeżeli są utrzymywane w początkowym zagęszczeniu obsady wynoszącym $3,7 \text{ kg m}^{-3}$ (FBW156 g) w porównaniu do osobników bytujących w zagęszczeniach $6,9 \text{ kg m}^{-3}$ (FBW131 g) oraz $9,3 \text{ kg m}^{-3}$ (FBW123 g). Z kolei u białugi (*Huso huso*) o początkowej masie ciała 93 g zaobserwowano, że zwiększenie poziomu początkowego zagęszczenia obsady ma znaczący, negatywny wpływ na wzrost oraz wykorzystanie paszy. Analizowano zagęszczenia mieszczące się w przedziale od $0,3$ do $2,4 \text{ kg m}^{-3}$. Różnice obserwowano w każdej z pięciu grup doświadczalnych (Rafatnezhad i in. 2008). Badania przeprowadzone na jesiotrach atlantyckich utrzymywanych w zagęszczeniach od $14,67$ do $36,64 \text{ kg m}^{-3}$ wykazały, że tempo wzrostu było odwrotnie proporcjonalne do poziomu gęstości obsady (Jodun i in. 2002). Ponadto potwierdzono, że utrzymywanie jesiotrów chińskich (*Acipenser sinensis*) o masie jednostkowej 761 g w początkowym zagęszczeniu obsady ryb wynoszącym $8,8 \text{ kg m}^{-3}$ pozwala na uzyskanie porównywalnego tempa wzrostu do osobników utrzymywanych w zagęszczeniu początkowym $4,7 \text{ kg m}^{-3}$. Jednocześnie udowodniono, że wysokie zagęszczenie ($11,9 \text{ kg m}^{-3}$) jest czynnikiem negatywnie wpływającym na wzrost oraz wykorzystanie paszy (Long i in. 2019). Ryby należące do rodziny jesiotrowatych na wzrost zagęszczenia obsady reagują pogorszeniem parametrów produkcyjnych. Należy podkreślić, że każdy gatunek reaguje na tego typu zmiany środowiskowe w specyficzny sposób. Niektóre z nich są w stanie tolerować wzrost zagęszczenia do pewnego poziomu bez negatywnych efektów produkcyjnych oraz behawioralnych. W celu optymalizacji akwakultury ryb jesiotrowatych niezbędne jest kontynuowanie prac określających optymalne poziomy tego parametru dla każdego gatunku na konkretnym etapie rozwoju, ponieważ obydwa te czynniki wpływają na poziom tolerancji zagęszczenia.

Polikultura z rybami spokojnego żeru

Przeprowadzono badania, których wyniki wskazują na możliwość utrzymywania siewrugi (*Acpienser stellatus*) w stawach, w polikulturze z rybami karpiołowymi (Patriche i in. 2002). Dzięki temu rozwiązaniu uzyskano całkowitą produkcję netto ryb mieszczącą się w przedziale 640-883 kg ha⁻¹. Polikultura dwóch lub więcej gatunków ryb jest powszechnym rozwiązaniem w produkcji stawowej, lecz w recyrkulacyjnych systemach akwakultury (RAS) jest stosowana raczej od niedawna. Jednym z przykładów jest polikultura sterleta (*Acipenser ruthenus*) z karpem (*Cyprinus carpio*) w systemie akwakultury recyrkulacyjnej i analiza jej wpływu na dynamikę wzrostu ryb oraz bioproduktywność zbiornika (Mihailov i in. 2020). Polikultura z karpem nie miała wpływu na dynamikę wzrostu sterletów. Co więcej, uzyskano znaczny wzrost biomasy karpi, prawdopodobnie w wyniku pobierania granulatu nieskonsumowanego przez sterlety. Wykazano również, że utrzymywanie młodocianych osobników sterletów z karpami w jednym zbiorniku prowadzi do zaostrenia konkurencji pokarmowej między rybami (Krymov i in. 2018). Dostępne są również dane literaturowe dotyczące polikultury ryb nie należących do rodziny jesiłowatych. Wiadomo, że możliwe jest zwiększenie wydajności produkcji ryb z jednego metra sześciennego wody utrzymując karpie z tilapią nilową (*Oreochromis niloticus*) lub torem himalajskim (*Tor putitora*) (Shrestha i in. 2018). Ponadto Kumar i in. (2018) udowodnili, że polikultura karpia z *Piaractus brachypomus* nie ma negatywnego wpływu na jego tempo wzrostu oraz przeżywalność.

Polikultura z rybami drapieżnymi

Oceniano reakcję jesiotra syberyjskiego i pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*) na mono- i polikulturę. Badanie mono- oraz polikultur każdego gatunku wykazało, że ani w przypadku jesiotra, ani pstrąga, nie stwierdzono istotnego wpływu systemu utrzymania na specyficzne tempo wzrostu i współczynnik kondycji. Ponadto nie odnotowano istotnych różnic w biomacie końcowej pomiędzy grupami doświadczalnymi (Ak i in. 2019). Dowiedziono również, że polikultura ryb jesiłowatych z sumem pospolitym (*Silurus glanis*) nie miała wpływu na przeżywalność jesiotrów (Ulikowski i in. 2003). Z kolei Szczepkowski i Szczepkowska (2006) sprawdzili możliwość wykorzystania jesiotra jako dodatkowego gatunku obsady podczas podchowu narybku szczupaka (*Esox lucius*). Obecność jesiotrów w zbiornikach przeznaczonych do podchowu szczupaków skutkowała poprawą ich przeżywalności. Autorzy uważają, że możliwość wspólnego chowu tych dwóch gatunków wynika z ich odmiennego zachowania i strategii żerowania. Dodatkową korzyścią było ograniczenie pracochłonnego usuwania pokarmu nieskonsumowanego przez narybek szczupaka, co oznaczało minimalną ingerencję w zbiornik podczas wychowu narybku. Wyniki innego badania skupiającego się na polikulturze sterleta i sandacza (*Sander luciperca*) wykazały, że włączenie sterleta do stada sanda-

cza pozwoliło na uzyskanie dodatkowej wartości biomasy sterleta przy wykorzystaniu tej samej ilości paszy. Dodatkowo włączenie sterleta zmniejszyło pracochłonność chowu sandacza, gdyż zbiorniki nie wymagały tak częstego czyszczenia (Kozłowski i in. 2014).

Roślinność

Dotychczas nie opublikowano danych literaturowych skupiających się na włączeniu roślinności do zbiorników dla ryb jesiotrowatych. Tego typu badania przeprowadzano jednak na innych gatunkach ryb. *Sebastes schlegelii* utrzymywano w zbiornikach o różnym poziomie wzbogacenia środowiskowego (Zhang i in. 2021), co wykazało, że optymalne dla redukcji poziomu stresu podstawowego u badanych ryb i rozwoju zdolności adaptacyjnych może być zapewnienie średniej ilości pokrycia dna (około 50% powierzchni) w postaci mieszanej roślinności wodnej. Z kolei Lee i in. (2019) udowodnili, że obecność roślin w zbiornikach przeznaczonych dla wylęgu danio przegowanego pozytywnie wpływa na przeżywalność w porównaniu z larwami hodowanymi w zbiornikach bez wzbogacenia środowiskowego. Ponadto samice ze zbiorników wzbogaconych miały wyższą kondycję ciała niż te utrzymywane w zbiornikach standardowych, ale nie dotyczyło to samców, gdzie jedyną różnicą była bardziej zmienna kondycja ciała u samców z grupy kontrolnej. Ryby ze wzbogaconych zbiorników wykazywały niższy poziom zachowań związanych z lękiem w porównaniu z rybami ze standardowych zbiorników, gdy były umieszczane w nowym środowisku.

Wpływ zagęszczenia obsady i wzbogacenia środowiska na wyniki podchowu narybku jesiotra syberyjskiego

Badania własne przeprowadzono z udziałem młodocianych jesiotrów syberyjskich, które w sposób losowy zostały podzielone na sześć grup doświadczalnych. W trzech z nich zastosowano standardową architekturę zbiornika – bez dodatkowych elementów strukturalnych. W pozostałych grupach każdy ze zbiorników wyposażono w dysk wykonany z tworzywa sztucznego, poziomo osadzony w połowie głębokości roboczej zbiornika. Czynniki te były analizowane z uwzględnieniem następujących poziomów zagęszczenia obsady początkowej ryb: 4, 8 lub 12 kg m⁻³. Każdy z wariantów doświadczenia wykonano w trzech powtórzeniach, test wzrostowo-behawioralny trwał 60 dni. Ryby żywiono paszą komercyjną z wykorzystaniem automatycznych karmników, dzienną dawkę paszy ustalano indywidualnie dla każdego powtórzenia na podstawie temperatury wody oraz aktualnej biomasy ryb. Określono parametry wzrostu, wskaźniki wykorzystania paszy oraz wartości wybranych indeksów somatycznych jesiotrów: jelitowo-somatyczny I (MSI (%)) = (masa jelita środkowego (g) × masa ciała⁻¹ (g)) × 100; jelitowo-somatyczny II (DSI (%)) = (masa jelita dystalnego (g) × masa ciała⁻¹ (g)) × 100; trzewno-somatyczny (VSI (%)) = (masa trzewi (g) × masa ciała⁻¹ (g)) × 100 oraz hepato-soma-

tyczny (HSI (%)) = (masa wątroby (g) × masa ciała⁻¹ (g)) × 100). Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, istotność różnic pomiędzy grupami została przetestowana jednoczynnikową analizą wariancji (ANOVA), natomiast test Duncana wykorzystano do wykonania wielokrotnych porównań pomiędzy grupami.

Zwiększenie początkowej obsady nie wpłynęło na rozwój somatyczny młodocianych jesiotrów syberyjskich w trakcie ich podchowu, jednakże spowodowało pogorszenie wykorzystania paszy oraz tempa wzrostu ryb. Zastosowanie początkowego zagęszczenia narybku na poziomie 8 kg m⁻³ skutkowało najkorzystniejszą wydajnością końcową wynoszącą 27 kg m⁻³ przy względnym przyroście masy jednostkowej ryb równym 336%. Wzbogacenie środowiska zbiorników wykorzystanych do podchowu młodocianych jesiotrów syberyjskich nie wpłynęło istotnie na żaden z analizowanych parametrów wzrostu i rozwoju ryb.

Badania zrealizowano w ramach operacji pt.: „Innowacyjna technologia wychowu młodocianych stadiów ryb jesiotrowatych o wysokim stopniu adaptacji do warunków naturalnych lub seminaturalnych”, umowa o dofinansowanie nr 00001-6521.1-OR1500001/20 zawarta w dniu 21 lipca 2021 roku w ramach działania 2.1 „Innowacje” o których mowa w art. 47 rozporządzenia nr 508/2014 w zakresie Priorytetu 2 – Wspieranie akwakultury zrównoważonej środowiskowo, zasobooszczędnej, innowacyjnej, konkurencyjnej i opartej na wiedzy, zawartego w Programie Operacyjnym „Rybnictwo i Morze”.

Literatura

- Aidos L., Cafiso A., Serra V., Vasconi M., Bertotto D., Bazzocchi C., Di Giancamillo A. 2020 – How different stocking densities affect growth and stress status of *Acipenser baerii* early stage larvae – *Animals* 10: 1289.
- Ak K., Kurtoğlu İ. Z., Serezli R., Kayış Ş., Yandı İ. 2019 – Introduce the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) to Turkish aquaculture industry: duoculture possibility with rainbow trout – *EgeJFAS* 36: 211–217.
- Arechavala-Lopez P., Caballero-Froilán J.C., Jiménez-García M., Capó X., Tejada S., Saraiva J.L., Moranta D. 2020 – Enriched environments enhance cognition, exploratory behaviour and brain physiological functions of *Sparus aurata* – *Sci. Rep.* 10: 1–10.
- Bates L.C., Boucher M.A., Shrimpton J.M. 2014 – Effect of temperature and substrate on whole body cortisol and size of larval white sturgeon (*Acipenser transmontanus* Richardson, 1836) – *J. Appl. Ichthyol.* 30: 1259–1263.
- Bayunova L., Barannikova I., Semenkova T. 2002 – Sturgeon stress reactions in aquaculture – *J. Appl. Ichthyol.* 18: 397–404.
- Bostock J., McAndrew B., Richards R., Jauncey K., Telfer T., Lorenzen K., Corner R. 2010 – Aquaculture: global status and trends – *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 365: 2897–2912.
- Bronzi P., Chebanov M., Michaels J. T., Wei Q., Rosenthal H., Gessner J. 2019 – Sturgeon meat and caviar production: global update 2017 – *J. Appl. Ichthyol.* 35: 257–266.
- Bronzi P., Rosenthal H., Gessner J. 2011 – Global sturgeon aquaculture production: an overview – *J. Appl. Ichthyol.* 27: 169–175.

- Cámara-Ruiz, M., Santo, C. E., Gessner, J., Wuertz, S. 2019 – How to improve foraging efficiency for restocking measures of juvenile Baltic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) – *Aquaculture* 502: 12-17.
- Einfalt L.M., Wojcieszak D.B., Wahl D.H. 2013 – Behavior, growth and habitat selection of hatchery esocids reared with artificial vegetation – *Trans. Am. Fish. Soc.* 142: 345–352.
- Eslamloo K., Falahatkar B. 2014 – Variations of some physiological and immunological parameters in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) subjected to an acute stressor – *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* 17: 29-42.
- EUMOFA 2018 – European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products. The EU fish market. <https://www.eumofa.eu/documents/20178/132648/EN.pdf>
- Falahatkar B. 2018 – Nutritional requirements of the Siberian sturgeon: an updated synthesis – W: *The Siberian Sturgeon (Acipenser baerii, Brandt, 1869)*. Volume 1 – Biology (Red.) P. Williot, G. Nonnotte, D. Vizziano-Cantonnet, M. Chebanov. Springer, Cham: 207-228.
- Falahatkar B., Poursaeid S., Efatpanah I., Meknatkhah B., Biswas A. 2012 – Effect of photoperiod manipulation on growth performance, physiological and hematological indices in juvenile Persian sturgeon, *Acipenser persicus* – *J. World. Aquac. Soc.* 43: 679-687.
- Gessner J., Kamerichs C. M., Kloas W., Wuertz S. 2009 – Behavioural and physiological responses in early life phases of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill 1815) towards different substrates – *J. Appl. Ichthyol.* 25: 83-90.
- IUCN 2013 – International Union for Conservation of Nature – IUCN red list of threatened species.
- Jodun W.A., Millard M.J., Mohler J. 2002 – The effect of rearing density on growth, survival, and feed conversion of juvenile Atlantic sturgeon – *N. Am. J. Aquac.* 64: 10-15.
- Khorramshahr I. 2009 – The effects of rearing density on growth performance and food conversion ratio of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) – *Asian Fish. Sci.* 22: 107-115.
- Kozłowski M., Szczepkowski M., Wunderlich K., Szczepkowska B., Piotrowska I. 2014 – Polyculture of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) and sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) in a recirculating system – *Arch. Pol. Fish.* 22: 237–242.
- Krymov V.G., Galicheva M.S., Semenenko M.P., Yurin D.A., Shumeiko D.V., Yurina N.A. 2018 – Possibilities of implementation of polyculture for optimization of industrial sturgeon aquaculture on the basis of closed water supply facilities – *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.* 9: 540-545.
- Kumar A., Pradhan P. K., Das P. C., Srivastava S. M., Lal K. K., Jena J. K. 2018 – Growth performance and compatibility of pacu, *Piaractus brachipomus* with Indian major carps in polyculture system – *Aquaculture* 490: 236-239.
- Lee C.J., Paull G.C., Tyler C.R. 2019 – Effects of environmental enrichment on survivorship, growth, sex ratio and behaviour in laboratory maintained zebrafish *Danio rerio* – *J. Fish Biol.* 94: 86–95.
- Long L., Zhang H., Ni Q., Liu H., Wu F., Wang X. 2019 – Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system – *Comp. Biochem. Physiol., Part C: Toxicol. Pharmacol.* 219: 25-34.
- Martins C.I., Galhardo L., Noble C., Damsgård B., Spedicato M.T., Zupa W., Kristiansen T. 2012 – Behavioural indicators of welfare in farmed fish – *Fish Physiol. Biochem.* 38: 17-41.
- Mihailov S., Mihoc N., Simiz E., Berzava L., Czyszter L., Grozea A. 2020 – The polyculture of sterlet (*Acipenser ruthenus*) and carp (*Cyprinus carpio*) in recirculating aquaculture systems. The effects on fish growth dynamic and production – *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 53: 11-14.
- Millidine K.J., Armstrong J.D., Metcalfe N.B. 2006 – Presence of shelter reduces maintenance metabolism of juvenile salmon – *Funct. Ecol.* 20: 839-845.