



Hybrydyzacja wśród ryb – przyczyny i jej znaczenie

Lucyna Kirczuk, Józef Domagała
Uniwersytet Szczeciński

1. Wstęp

Hybrydyzacja jest krzyżowaniem się osobników dwu populacji, które różnią się jedną lub więcej podstawowymi cechami dziedzicznymi. Proces ten związany jest z introgresją, która jest trwałym włączeniem genów z jednego zespołu różniących się populacji do drugiego zespołu [22]. Koniecznym, ale nie wystarczającym punktem wyjścia do powstania hybrydowego gatunku, jest rosnący zasięg zróżnicowanej genetycznie populacji, wchodzącej w kontakt pozbawiony barier rozrodczych lub, kiedy izolacja reprodukcyjna załamała się np. w wyniku zaburzeń w środowisku [12]. Hybrydowy takson jest niezależnie ewoluującą, historycznie stabilną populacją lub grupą populacji posiadającą unikatowe kombinację cech dziedzicznych, wywodzących się z krzyżowania przedstawicieli z dwu lub więcej oderwanych zespołów np. ras, podgatunków czy gatunków. Stabilność i ewolucyjna niezależność, jest podstawą dla wyróżnienia taksonu pochodzenia hybrydowego, z przypadkowej hybrydyzacji międzygatunkowej [22].

Wśród hybrydów pierwszego lub następnych pokoleń, pochodzącymi z krzyżowania między różnymi populacjami różniącymi się genomem [83], występuje tzw. „outbreeding depression” tj. obniżenie średniego przeżycia, kondycji i płodności, która jest tym silniejsza im więk-

sza jest różnica między krzyżującymi się osobnikami rodzicielskimi np. w izolowanych populacjach [70]. Zdaniem Gharetta i innych [35], efekt ten obrazuje oddziaływanie genów na przystosowanie się do lokalnych warunków środowiskowych. Możliwość wystąpienia „outbreeding depression” powinna więc być brana pod uwagę przy wprowadzaniu nowych gatunków i ich wpływu na naturalne populacje, w postaci obniżonego przeżycia czy występowania anomalii rozwojowych [34]. Zdaniem Allendorfa i innych [1], wzrost poziomu hybrydyzacji i związana z tym introgresja, przyczynia się do zagłady wielu gatunków, a kluczowym zadaniem jest rozstrzygnięcie, czy hybrydyzacja jest procesem naturalnym, czy też wynika z działalności człowieka, co ma decydujące znaczenie w ochronie gatunków.

2. Przyczyny hybrydyzacji

W przyrodzie funkcjonują mechanizmy izolacji reprodukcyjnej, blokujące międzygatunkową hybrydyzację zwierząt. U ryb, częściej niż u innych kręgowców, obserwuje się występowanie krzyżówek. Ma to związek z zapłodnieniem zewnętrznym i specyfiką środowiska życia. W warunkach hodowlanych hybrydyzacja ryb, w tym łososiowatych, jest łatwa w realizacji natomiast w warunkach naturalnych międzygatunkowe krzyżówki np. łososia i troci pojawiają się stosunkowo rzadko, dzięki obecności mechanizmów izolacyjnych, związanych głównie z rozdzielaniem miejsc tarłowych. Jednym z głównych czynników powodujących hybrydyzację jest, na skutek działań antropogenicznych, zakłócenie prawidłowych stosunków wodnych powodujących wahania poziomu wody w rzekach i zmniejszenie powierzchni tarliskowych np. w Hiszpanii [30], w basenie Morza Białego [53] czy w północnym Labradorze [37]. Także w przypadku sympatrycznych gatunków, zachodzenie na siebie ich geograficznych terytoriów podwyższa poziom hybrydyzacji np. między *Salmo salar* i *S. trutta* [19, 20, 25, 37, 40, 62, 71, 81, 82], *Salmo gairdneri* i *S. clarki* [6] czy *Anguilla anguilla* x *A. japonica* [60]. Do czynników podwyższających poziom hybrydyzacji pomiędzy łososiem a trocią należy także nieprawidłowo prowadzona restytucja łososia [30], zarybianie rzek starszymi osobnikami [44], czy nadmierny połów ryb [53].

Hybrydy łososia i troci częściej występują też w rzekach, gdzie w populacjach łososia wysoki jest udział karłowatych samców, których

liczba wzrasta przy zmniejszającej się liczebności populacji [25, 30, 43]. Nie tylko obecność, ale także agresywne zachowanie się przedwcześnie dojrzewa [jących samców łososia, które podczas tarła „zakradają się” i zapładniają ikrę samic pstrąga sprzyjają międzygatunkowej hybrydyzacji i załamaniu się międzygatunkowych barier [5, 33]. Takie zachowanie samców leży u podstawy złamania bariery rozrodczej również pomiędzy formami *Oncorhynchus nerka* [88] i jest przyczyną hybrydyzacji wśród gatunków Salmonidae w rzekach południowej Europy [32].

Zaburzone zachowanie rozrodcze hodowlanych łososi, w przypadku ich ucieczki, może także podwyższać poziom hybrydyzacji, gdyż dochodzi do ich krzyżowania z dzikimi osobnikami [25, 84]. Potwierdzają to badania Youngsona i innych [91], z których wynika, że samice łososia z hodowli częściej krzyżują się z trocią niż osobniki dzikie. Rozwój ferm łososiowych powoduje zwiększenie przypadków ucieczek ryb [49], które stanowią zagrożenie dla dzikich populacji łososi i troci [25], a niezamierzona hybrydyzacja hodowlanych i dzikich osobników jest też poważnym problemem dla przemysłu rybnego [14]. Do sukcesu hybrydyzacji przyczynia się także zmiana jakości ikry na skutek oddziaływania czynników środowiskowych [11], a także przesunięcia terminu tarła troci w stosunku do tarła łososia [39].

Przy nie zaburzonych warunkach środowiska, duży wpływ na poziom hybrydyzacji mają lokalne czynniki jak, przesunięty stosunek płci [40, 44], a także obecność na jednym tarlisku gatunków o różnym pochodzeniu (Elo i in. 1995). Również większe rozmiary samców łososi dojrzewających w stadium parr i ich jednoczesne tarło z pstrągiem, spowodowało wysoki poziom hybrydyzacji w rzekach Nowej Fundlandii [54], a duże rozmiary pstrąga, który podczas tarła był błędnie wybierany, jako partner, przez łososia, przyczyniły się do zwiększenia hybrydyzacji w Wielkiej Brytanii [45].

Introdukcja nowych gatunków do rzek, gdzie wcześniej one nie występowały, może spowodować hybrydyzację [6, 22, 46], jak to miało miejsce w przypadku sprowadzenia pstrąga potokowego, pstrąga tęczowego i pstrąga źródlanego, które skrzyżowały się z miejscową trocią *Oncorhynchus clarki levisi* w rzekach Ameryki Północnej [37, 40, 42]. Również w przypadku sprowadzonych do hodowli w Europie Zachodniej azjatyckich gatunków Cyprinidae, nastąpiło ich skrzyżowanie z rodzimym *Cyprinus carpio* [52, 72], czy też sprowadzenie *Micropterus punc-*

tulatus do dopływów rzeki Missouri, przyczyniło się do hybrydyzacji z rodzimym *Micropterus dolomieu* [63] a także introdukcja *Esox lucius* doprowadziła do hybrydyzacji z *Esox niger* [58]. W Polsce sprowadzenie w 1966 roku z terenów byłego Związku Radzieckiego pelugi (*Coregonus peled*) do polskich jezior stało się przyczyną hybrydyzacji z innymi gatunkami *Coregoninae*, z sieją (*C. lavaretus*) i sielawą (*C. albula*) [26]. Zdaniem Wirtza [85] hybrydyzacja zachodzi częściej między samicami rzadkiego gatunku a samcami pospolitego gatunku. Jak zauważa McGowan i Davidson [54], introdukcja sprzyja hybrydyzacji, gdyż mechanizmy izolacji przedreprodukcyjnej, pomiędzy nowo wsiedlonym gatunkiem a autochtonicznym nie są dostatecznie rozwinięte, jak u gatunków sympatrycznych. W przypadku europejskiego łososia i troci [8] podkreślają ich genetyczną integralność, która zapobiega powstawaniu licznych hybrydów między tymi sympatrycznymi gatunkami.

3. Znaczenie hybrydyzacji

Hybrydyzacja jest procesem, który odgrywa znaczącą rolę w procesie ewolucji i powstawaniu nowych gatunków [22]. Zdaniem Stebbinsa [73] rzadkie kombinacje genów ustalają się nagle, dlatego rola hybrydyzacji w ewolucji zwierząt może być znacznie większa niż uznawana do tej pory. Hybrydyzacja następująca poprzez krzyżowanie może wzmagać tempo mutacji, głównie prowadząc do pojawiania się cech odróżniających od form rodzicielskich, szczególnie, gdy rekombinacje dotyczą izolowanych geograficznie populacji [80]. Według m.in. Blanca i Chevassusa [9, 10], Scheerera i Thorgaarda [67] hybrydyzacja wśród Salmonidae jest interesująca ze względu na możliwość stworzenia korzystnej kombinacji z genotypów dwu gatunków oraz częstą sterylność hybrydów. Jednakże niskie przeżycie, zaburzenia podczas rozwoju, słabe tempo wzrostu ograniczają wykorzystanie diploidalnych hybrydów w akwakulturze [9, 65, 91]. Wyjątkiem jest krzyżówka *Salmo trutta* x *Salvelinus fontinalis*, która ma przeżycie i wzrost zbliżone do gatunków rodzicielskich a samice, z nierozwiniętymi w pełni gonadami, ze względu na lepszy wzrost mogą mieć istotne znaczenie w hodowli [10]. Natomiast duża zmienność wzrostu w pierwszym roku życia, diploidalnych i triploidalnych hybrydów *Salmo salar* x *S. trutta* pomimo zbliżonego przeżycia w stosunku do diploidalnych i triploidalnych łososi, obniża możliwość wykorzystania ich w akwakulturze [28].

Międzygatunkową hybrydyzacją wśród Salmonidae jest niekorzystna ze względu na introgresję [30, 81], która może wystąpić po wprowadzeniu nowych gatunków do rzek [9, 16, 40, 47]. Zdaniem Behnke [6, 7], Nymana [59] introgresja może prowadzić do eliminowania niektórych gatunków. Wpływ jej jest jednak ograniczony ze względu na sterylność i krótkie przeżycie hybrydów [29, 90]. Do niekorzystnych cech, które niesie ze sobą hybrydyzacja należy też bardziej agresywne zachowanie hybrydów dzikiego i hodowlanego łososia w stosunku do czystych łososi, co może mieć negatywny wpływ na rozród czystego gatunku, przez wzrost konkurencji ze strony hybrydów [24]. Zdaniem Garci-Vazquez i innych [31], obecność płodnych samic hybrydów łosoś x troć w małych populacjach, może prowadzić do ich krzyżowania się z czystymi gatunkami i w konsekwencji do utraty miejsc tarliskowych.

Hybrydyzacja wśród ryb w warunkach naturalnych jest zatem niekorzystnym zjawiskiem natomiast często wykorzystywana jest w biotechnologii, w celu uzyskania osobników o korzystnych, z punktu widzenia akwakultury, cechach. Tak jest w przypadku uzyskania sterylnych hybrydów pomiędzy gatunkami Salmonidae, co ma znaczenie z naukowego, a także handlowego punktu widzenia. W przypadku czystych gatunków wzrastających w warunkach naturalnych, podczas dojrzewania zwiększa się masa gonad kosztem masy mięśni co wiąże się ze spadkiem ich wartości handlowej [13]. W związku z tym ekonomicznie korzystny dla akwakultury jest wzrost sterylnych hybrydów [28, 75, 76], gdyż są one dobrym materiałem w planowaniu hodowli i kontroli populacji [15, 50]. Międzyrodzajowe sterylne hybrydy *Salvelinus* i *Oncorhynchus* [75] a także hybrydy *Gnathopogon elongatus* x *Pseudogobio esocinus* [76], *Ictalurus punctatus* x *I. furcatus* [23] mają większą masę mięśni w stosunku do masy mięśni u płodnych gatunków rodzicielskich. Uzyskanie sterylnych, triploidalnych hybrydów i ich wykorzystanie w akwakulturze jest również korzystne ze względu na ochronę dzikich populacji i wykluczenie introgresji [69, 92]. Również Gorshkov i inni [36] podkreślają, że uzyskanie sterylnych diploidalnych i triploidalnych hybrydów *Sparus aurata* x *Pagrus major* jest korzystne ze względu na ograniczenie wpływu uciekinierów z hodowli na dzikie osobniki.

Korzystną cechą hybrydów *Salmo salar* x *S. trutta* jest większa odporność na choroby m.in. zakażenie *Gyrodactylus salaris* i *Gyrodactylus derjavini*, w stosunku do czystych gatunków [4, 55]. Hybrydy *Salmo*

gairdneri x *Oncorhynchus kisutch* są częściowo odporne [61], a hybrydy *Oncorhynchus mykiss* x *Salvelinus alpinus* całkowicie na zakażenie wirusową krwotoczną posocznicą hybrydów [21]. Duże znaczenie w procesie hybrydyzacji ma występowanie heterozji, która jest wynikiem uzupełnienia korzystnych genów pochodzących od gatunków rodzicielskich [18]. Według Svårdsona [79], przykładem heterozji jest szybki wzrost hybrydów *Salmo trutta* x *Salvelinus alpinus*, czy lepsze przeżycie i wzrost dwu form hybrydów *Salmo gairdneri* [2].

Do korzystnych cech należy także szybszy wzrost m.in. hybrydów *Ictalurus punctatus* x *I. furcatus*, a także większa tolerancja na niedobór tlenu [23], w stosunku do gatunków rodzicielskich. Również wyższą tolerancję i lepsze przeżycie, w warunkach niedoboru tlenu, mają hybrydy *Phoxinus eos* x *P. neogaeus* [68]. Dobry poziom przeżycia i szybszy wzrost, w stosunku do gatunków rodzicielskich, mają także sterylne hybrydy *Salvelinus alpinus* x *S. malma* (Refstie, Gjedrem 1975), a *Salvelinus fontinalis* x *S. namaycush* charakteryzują się szybszym wzrostem i wcześniejszym dojrzewaniem, tak jak *Salvelinus fontinalis* i dobrym przeżyciem w głębokiej, chłodnej wodzie jak *Salvelinus namaycush* [2]. Poprzez hybrydyzację można uzyskać także jednopłciowe, korzystne w akwakulturze populacje [17] jak np. *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, które w 98-100% są samcami charakteryzującymi się szybszym tempem wzrostu i większą masą ciała w stosunku do samic gatunku rodzicielskiego, co wykorzystuje się w hodowli w Izraelu oraz na Tajwanie [48, 56, 64, 86, 87]. Do korzystnych cech wynikających z hybrydyzacji, należy także lepsza tolerancja i zasolenia [74], u międzyrodzajowych hybrydów rodzaju *Salmo* w stosunku do czystych gatunków. Także część hybrydów *Oncorhynchus masou* x *O. gorbuscha* [51] i *Oncorhynchus keta* x *O. tshawytscha* [69] charakteryzuje się wcześniej występującą i większą tolerancją na zasolenie, w stosunku do gatunku samiczego i przed uzyskaniem srebrnego ubarwienia smolta. Natomiast Suzuki i Fukuda [77] otrzymali sterylne hybrydy Salmonidae, których mięśnie, podczas smoltyfikacji uzyskały czerwono-pomarańczowe ubarwienie utrzymujące się nawet do trzeciego roku życia, co jest korzystne, z handlowego punktu widzenia.

Hybrydyzacja stała się więc jedną z metod biotechnologicznych, dzięki którym uzyskano populacje o większej tolerancji na zimno, zasolenie [50], stężenie amoniaku [38] i o lepszym tempie wzrostu i większej

odporności na choroby [41, 89]. Należy jednak pamiętać, że wobec wzrostu poznanych hybrydowych taksonów [22], niezwykle istotne jest, prowadzenie wszechstronnych badań nad hybrydyzacją ryb, w celu zachowania i rozwoju naturalnych zasobów, a pełne zrozumienie fizycznych i ekologicznych zmian pozwoli na lepszą ochronę czystych gatunków [27, 57]. Konieczna jest zatem ochrona naturalnych populacji przed osobnikami hodowlanymi pochodzącymi z doświadczeń co nie zawsze jest realizowane.

Aby zachować naturalne populacje należy chronić ograniczoną powierzchnię występowania gatunków, co ma istotne znaczenie szczególnie przy prowadzonym zarybianiu a także odłowach ryb [42, 44, 90]. Niezwykle istotne jest zachowanie bądź też przywrócenie prawidłowego stanu środowiska naturalnego a także rozważenie każdej decyzji dotyczącej wsiedlania nowych gatunków ze względu na narażenie dzikich populacji na introgresję. Hybrydyzacja korzystna pod względem biotechnologicznym jest więc dużym zagrożeniem dla dzikich populacji, które poprzez właściwe działania powinny być szczególnie chronione.

Literatura

1. **Allendorf F.W., Leary R.F., Spruell P., Wenburg J.K.:** *The problems with hybrids: setting conservation guidelines.* Trends Ecol. Evol. 16, 11, 613-622, 2001.
2. **Ayles G.B.:** *Relative importance of additive genetic and maternal sources of variation in early survival of young splake hybrids (*Salvelinus fontinalis* x *S. namaycush*).* J. Fish. Res. Board Can. 31, 1499-1502, 1974.
3. **Ayles G., Baker R.:** *Genetic differences in growth and survival between strains and hybrids of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) stocked in aquaculture lakes in the Canadian prairies.* Aquacult., 33: 269-280, 1983.
4. **Bakke T.A., Soleng A., Harris P.D.:** *The susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) x brown trout (*Salmo trutta* L.) hybrids to *Gyrodactylus salaris* Malmberg and *Gyrodactylus derjavini* Mikailov.* Parasitology, 119, 467-481, 1999.
5. **Beall E., Moran P., Pendas A., Izquierdo J., Garcia-Vazquez E.:** *L'hybridation dans les populations naturelles de Salmonidés dans le sud-ouest de L'Europe ET en milieu experimental.* Bull. Fr. Pêche Piscic. 344/345, 271-285, 1997.
6. **Behnke R.J.:** *Rare and endangered species: the native trouts of western North America.* Proc. West. Assoc. Game Fish. Comm., 48, 530-533, 1968.

7. **Behnke R.J.:** *Rare and endangered species report: new information on gila trout, *Salmo gila*.* Rep. Col. Coop. Fish. Unit, Colo. State Univ., Fort Collins, 12 pp, 1970.
8. **Beland K.F., Roberts F.L., Saunders R.L.:** *Evidence of *Salmo salar* x *Salmo trutta* hybridization in North American River.* Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38, 552-554, 1981.
9. **Blanc J.M., Chevassus B.:** *Interspecific hybridization of Salmonid fish. II. Survival and growth up to the 4th month after hatching in F₁ generation hybrids.* Aquacult., 29, 383-387, 1982.
10. **Blanc J.M., Chevassus B.:** *Survival, growth and sexual maturation of the tiger trout hybrid (*Salmo trutta* ♀ x *Salvelinus fontinalis* ♂).* Aquacult., 52, 59-69, 1986.
11. **Blanc J.M., Poisson H.:** *Parental sources of variation in hatching and early survival rates of *Salmo trutta* ♀ x *Salvelinus fontinalis* ♂ hybrid.* Aquaculture, 32, 115-122, 1983.
12. **Bullini L.:** *Origin and evolution of animal hybrid species.* Trends. Ecol. Evol. 9, 422-426, 1994.
13. **Bye V.J., Lincoln R.F.:** *Commercial methods for the control of sexual maturation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.).* Aquacult. 57, 299-310, 1986.
14. **Campton D.E.:** *Natural hybridization and introgression in fishes: Methods of detection and genetic interpretations.* In: Population genetics and fishery management (Ryman, N. and Utter F., eds.). Seattle: University of Washington Press, 161-191, 1987.
15. **Chevassus B.:** *Hybridization in Salmonids: results and perspectives.* Aquacult. 17, 113-128, 1979.
16. **Chevassus B.:** *Hybridization in fish.* Aquacult. 33, 245-262, 1983.
17. **Childers W.F.:** *Hybridization of four species of sunfishes (Centrarchidae). III.* Nat. Hist. Surv., Bull. 29 (3), 1967.
18. **Cowx I.G.:** *The biology of bream *Abramis brama* (L), and its natural hybrid with roach, *Rutilus rutilus* (L) in the River Exe.* J. Fish. Biol. 22, 631-646, 1983.
19. **Crozier W.W.:** *Electrophoretic identification and comparative examination of naturally occurring F₁ hybrids between brown trout (*Salmo trutta* L.) and Atlantic salmon (*S. salar* L.).* Comp. Biochem. Physiol. 78B: 785-790, 1984.
20. **Delling B., Crivelli A.J., Rubin J-F., Berrebi P.:** *Morphological variation in hybrids between *Salmo marmoratus* and alien *Salmo* species in the Volarja stream, Soca River basin, Slovenia.* J. Fish Biol. 57. 1199-1212, 2000.
21. **Dorson M.B., Chevassus B., Torhy C.:** *Comparative susceptibility of three species of char and of rainbow trout x char triploid hybrids to several pathogenic salmonid viruses.* Dis. Aquat. Org., 11, 217-224, 1991.

22. **Dowling T.E., Secor C.L.:** *The role of hybridization and introgression in the diversification of animals.* Annu. Rev. Ecol. Syst. 28, 593-619, 1997.
23. **Dunham R.A., Smitherman R.O., Goodmann R.K., Kemp P.:** *Comparison of strains, crossbreeds and hybrids of channel catfish for vulnerability to angling.* Aquacult. 57, 193-201, 1986.
24. **Einum S., Fleming I.A.:** *Genetic divergence and interactions in the wild among native, farmed and hybrid Atlantic salmon.* J. Fish Biol. 50, 634-651, 1997.
25. **Elo K., Erkinaro J., Vuorinen J., Niemela E.:** *Hybridization between Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in the Teno and Näätämö River Systems, northernmost Europe.* Nordic. J. Freshw. Res. 70, 56-61, 1995.
26. **Falkowski S., Luczynski M., Vuorinen J.:** *Embryonic and larval development of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) and peled (*C. peled* Gmelin) hybrids.* Finnish Fisheries Research 9: 71-79, 1988.
27. **Falkowski S., Slechtova V., Jankun M., Vuorinen J., Luczynski M.:** *Isosyme Analysis demonstrates a high proportion of hybrids in hatchery stock of peled (*Coregonus peled*) from Czech Republic.* Acta. Acad. Agricult. Tech. Olst., 20, 45-52, 1995.
28. **Galbreath P.F., Thorgaard G.H.:** *Viability and freshwater performance of Atlantic salmon x Brown trout triploid hybrids.* Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51 (Suppl. 1), 16-24, 1994.
29. **Galbreath P.F., Thorgaard G.H.:** *Sexual maturation and fertility of diploid and triploid Atlantic salmon x Brown trout hybrids.* Aquacult. 137, 299-311, 1995.
30. **Garcia de Léaniz C., Verspoor E.:** *Natural hybridization between Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*, in northern Spain.* J. Fish Biol. 34, 41-46, 1989.
31. **Garcia-Vazquez E., Ayllon F., Martinez J., Perez J., Beall E.:** *Reproduction of interspecific hybrids of Atlantic salmon and brown trout in a stream environment.* Fresh. Biol., 48, 1100-1104, 2003.
32. **Garcia-Vazquez E., Moran P., Martinez J. L., Perez J., Gaudemar B., Beall E.:** *Alternative Mating Strategies in Atlantic Salmon and Brown Trout.* J. Hered. 92, 146-149, 2000.
33. **Garcia-Vazquez E., Moran P., Perez J., Martinez J.L., Izquierdo J.L., Gaudemar B., Beall E.:** *Interspecific barriers between salmonids when hybridization is due to sneak mating.* Heredity, 89, 288-292, 2002.
34. **Gharret A.J., Smoker W.W.:** *Two Generations of Hybrids between Even- and Odd-Year Pink Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*): A Test for Outbreeding Depression?* Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 1744-1749, 1991.

35. **Gharret A.J., Smoker W.W., Reisenbichler R.R., Taylor S.G.:** *Outbreeding depression in hybrids between odd- and even-broodyear pink salmon*. Aquacult. 173, 117-129, 1999.
36. **Gorshkov S., Gorshkova G., Hadani A., Gordin H., Knibb W.:** *Chromosome set manipulations and hybridization experiments in gilthead seabream (*Sparus aurata*). II. Assessment of diploid and triploid hybrids between gilthead seabream and red seabream (*Pagrus major*)*. J. Apply. Ichthyol. 18, 106-112, 2002.
37. **Hammar J., Dempson J.B., Verspoor E.:** *Natural Hybridization between Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) and Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*): Evidence from Northern Labrador*. Can. J. Fish Aquat. Sci. 48, 1437-1445, 1991.
38. **Hargreaves J.A., Kucuk S.:** *Effects of diel un-ionized ammonia fluctuation on juvenile hybrid striped bass, channel catfish, and blue tilapia*. Aquacult., 195, 163-181, 2001.
39. **Hegberger T.G., Haukebo T., Mork J., Stahl G.:** *Temporal and spatial segregation of spawning in sympatric populations of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *salmo trutta* L.* J. Fish Biol. V. 33. Nr 3. P. 347-356, 1988.
40. **Hubbs C.L.:** *Hybridization between Fish Species in Nature*. Syst. Zool. 1-20, 1955.
41. **Hulata G.:** *Israel aquaculture genetic improvement programs, 103-108*. In: M. V. Gupta and B. O. Acosta (eds.) *Fish genetics research in member countries and institutions of the International Network on Genetics in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 64, 179 p, 2001.
42. **Janowicz M.:** *Zjawisko hybrydyzacji w naturalnych populacjach Westslope Cutthroat (*O. clarki lewisi*) oraz pstrąga tęczowego (*O. mykiss*) w Górach Skalistych stanu Alberta (Kanada)*. Maszynopis, AR Szczecin, 2004.
43. **Jansson H., Holmgren I., Wedin K., Andersson T.:** *High frequency of natural hybrids between Atlantic salmon *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., in a Swedish river*. J. Fish Biol. (Suppl. A) 39, 343-348, 1991.
44. **Jansson H., Öst T.:** *Hybridization between Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a restored section of the River Dalälven, Sweden*. Can. J. Fish Aquat. Sci., 54, 2033-2039, 1997.
45. **Jordan W.C., Verspoor E.:** *Incidence of natural hybrids between Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *S. trutta* L., in Britain*. Aquacult. Fish. Manage. 24, 373-377, 1993.
46. **Kazakov R.V.:** *Taksonomicheskii status, morfologia i rasprostranienie atlanticheskogo lososia. Atlanticheskii losos*. Nauka. Sankt-Pieterburg, 13-31, 1998.

47. **Leary R.F., Allendorf F.W., Sage G.K.:** *Hybridization and introgression between introduced and native fish*. Am Fish. Soc. Symp. 15, 91-101, 1995.
48. **Liao I.-C., Chen T.P.:** *Status and prospects of tilapia culture in Taiwan*. Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 8-13 May, Nazareth, Israel, Tel Aviv University, Israel, 1983.
49. **Lund R., Okland F., Hansen L.P.:** *Farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in fisheries and Rivers in Norway*. Aquacult., 98, 143-150, 1991.
50. **Ma H., Yamazaki F.:** *Characteristics of the Hybrid F₁ between Female Masu Salmon, *Oncorhynchus masou* and Male Pink Salmon, *O. gorbuscha**. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 37 (1), 6-16, 1986.
51. **Ma H., Yamazaki F.:** *Fertility of Hybrids between Female Masu Salmon, *Oncorhynchus masou* and Male Pink Salmon, *O. gorbuscha**. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 37 (4), 295-302, 1986.
52. **Makeyeva A.P.:** *The phenomenon of hybrid gynogenesis in fishes*. J. Ichthyol., 15, 72-81, 1975.
53. **Makhrov A.A., Kuzishchin K.V., Novikov G.G.:** *Natural Hybrids of *Salmo salar* with *Salmo trutta* in the Rivers of the White Sea Basin*. Jour. Ichthyol. 38, 1, 61-66, 1998.
54. **McGowan C., Davidson W.S.:** *Unidirectional natural hybridization between brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*S. salar*) in Newfoundland*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49, 1953- 1858, 1992.
55. **McGowan C., Davidson W.S.:** *Artificial hybridization of Newfoundland brown trout and Atlantic salmon: hatchability, survival and growth to first feeding*. Aquaculture, 106, 117-125, 1992.
56. **Mires D.:** *Current techniques for the mass production of tilapia hybrids as practiced at Ein Hamifratz fish hatchery*. Bamidgen 35, 3-8, 1983.
57. **Mukherjee T.K.:** *Genetics for improvement of fish in Malaysia*, p. 65-70. Gupta and B. O. Acosta (eds.) Fish genetics research in member countries and institutions of the International Network on Genetics in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 64, 179 p, 2001.
58. **Nelson J.S.:** *Molecular confirmation of hybridization between northern pike (*Esox lucius*) and chain pickerel (*E. niger*)*. Copeia, 3, 846-850, 1990.
59. **Nyman L.:** *A new approach to the taxonomy of the “*Salvelinus alpinus* species complex”*. Rep. Inst. Of freshwater Res., Drottningholm, 52, 103-131, 1972.
60. **Okamura A., Zhang H., Utoh T., Akazawa A., Yamada Y., Horie N., Mikawa N., Tanaka S., Oka H.P.:** *Artificial hybrid between *Anguilla anguilla* and *Anguilla japonica**. J. Fish Biol., 64, 1450-1454, 2004.
61. **Ord W., M., Le Berre M., De Kinkelin P.:** *Viral Hemorrhagic septice-mia: comparative susceptibility of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and hybrids (*Salmo gairdneri* x *Oncorhynchus kisutch*) to experimental infection*. J. Fish. Res. Board Can., 33, 1205-1208, 1976.

62. **Payne R.H., Child A.R., Forrest A.:** *The existence of natural hybrids between the European trout and the Atlantic salmon.* J. Fish Biol. 4, 233-236, 1972.
63. **Pflieger W.L., Fajen O.:** *Natural hybrids, smallmouth bass x spotted bass.* Abstr. Fish. Res. Reports Mo. Dept. of Cons. Div. of Fish. 9, 37, 1970.
64. **Pruginin Y., Rothbard S., Wohlfarth G., Halevy A., Moav R., Hulata G.:** *All-male broods of Tilapia nilotica x T. Aurea hybrids.* Aquacult. 6, 11-21, 1975.
65. **Refstie T.:** *Hybrids between salmonid species. Growth rate and survival in seawater.* Aquacult., 33, 281-285, 1983.
66. **Refstie T., Gjedrem T.:** *Hybrids between Salmonidae species. Hatchability and growth rate in the freshwater period.* Aquacult. 6, 333-342, 1975.
67. **Scheerer P.D., Thorgaard G.H.:** *Increased Survival in Salmonid Hybrids by Induced Triploidy.* Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40, 2040-2044, 1983.
68. **Schlosser I.J., Doeringsfield M.R., Elder J.F., Arqayus L.F.:** *Niche relationships of clonal and sexual fish in a heterogeneous landscape.* Ecology, 79, 953-968, 1998.
69. **Seeb J.E., Thorgaard G.H., Tynan T.:** *Triploid hybrids between chum salmon female x chinook salmon male have early sea-water tolerance.* Aquacult. 117, 37-45, 1993.
70. **Shields W.M.:** *Philopatry, inbreeding, and the evolution of sex.* State University of New York Press, Albany, NY, p. 245, 1982.
71. **Solomon D.J., Child A.R.:** *Appearance and numerical characters of F₁ hybrids among salmonid fishes.* Bull. Freshwater Fish. Lab. Vol. 23. No. 1, 1978.
72. **Stanley J.G., Jones J.B.:** *Morphology of androgenetic and gynogenetic grass carp, Ctenopharyngodon idella (Valenciennes).* J. Fish Biol., 9, 523-528, 1976.
73. **Stebbins G.L.:** *Processes of Organic Evolution.* Inglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 191 pp., 1966.
74. **Sutterlin A.M., Mac Farlane L.R., Harmon P.:** *Growth and salinity tolerance in hybrids within Salmo sp. And Salvelinus sp.* Aquacult. 12, 41-52, 1977.
75. **Suzuki R., Fukuda Y.:** *Growth and survival of F₁ hybrids among salmonid fishes.* Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo, 21: 69-83, 1971.
76. **Suzuki R., Fukuda Y.:** *Growth and survival of F₁ hybrids among salmonid fishes.* Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo, 21: 117-138, 1971.
77. **Suzuki R., Fukuda Y.:** *Appearance and numerical characters of F₁ hybrids among salmonid fishes.* Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo, 23: 5-32, 1973.

78. **Suzuki R., Fukuda Y.:** *Sexual maturity of F_1 hybrids among salmonid fishes.* Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo, 23, 57-74, 1973.
79. **Svärdson G.:** *Competition between trout and char (*Salmo trutta* and *Salmo alpinus*).* Rept. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 29, 108-111, 1949.
80. **Templeton A.R.:** *Mechanism of speciation – a population genetic approach.* Annu. Rev. Ecol. Syst. 12: 23-48, 1981.
81. **Verspoor E.:** *Widespread hybridization between native Atlantic salmon, *Salmo salar*, and introduced brown trout, *S. trutta*, in eastern Newfoundland.* J. Fish Biol. 32, 327-334, 1988.
82. **Vuorinen J., Piironen J.:** *Electrophoretic identification of Atlantic salmon, *S. salar*, brown trout, *Salmo trutta*, and their hybrids.* Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41, 1834-1837, 1984.
83. **Wallace B.:** *Basic Population Genetics.* Columbia Univ. Press, New York, 1981.
84. **Weeb J.H., Cunningham P.D., Hay D.W., Youngson A.F.:** *The spawning behavior of spawning farmed salmon and wild salmon (*Salmo salar* L.) in a northern Scottish River.* Aquacult., 98, 97-110, 1991.
85. **Wirtz P.:** *Mother species- father species: unidirectional hybridization in animals with female choice.* Anim. Behav., 58, 1-12, 1999.
86. **Wohlfarth G.W.:** *The unexploited potential of tilapia hybrids in aquaculture.* Aquacult. Fish. Manage. 25, 781-788, 1994.
87. **Wohlfarth G.W., Hulata G., Halevy A.:** *Survival, sex ratio and growth of some tilapia species and their interspecific hybrids.* Eur. Aquacult. Soc. Spec. Publ. 11, 87-101, 1990.
88. **Wood C.C., Foote C.J.:** *Genetic Differences in the Early Development and Growth of Sympatric Sockeye Salmon and Kokanee (*Oncorhynchus nerka*), and their Hybrids.* Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47, 2250-2260, 1990.
89. **Wu G.M.:** *Comparison on the growth of *Tilapia mossambica* x *T. nilotica* hybrid with its female parental species.* Freshwater Fisheries 2, 20-30, 1980.
90. **Young W.P., Ostberg C.O., Keim P., Thorgard G.H.:** *Genetic characterization of hybridization and introgression between anadromous rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss irideus*) and coastal cutthroat trout (*O. clarki clarki*).* Molecular Ecology, 10, 921-930, 2001.
91. **Youngson A.F., Webb J.H., Thompson C.E., Knox D.:** *Spawning for Escaped Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Hybridization of Females with Brown Trout (*Salmo trutta*).* Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50, 1986-1990, 1993.
92. **Zhang Q., Tiersch T.R.:** *Chromosomal inheritance patterns of intergeneric hybrids of ictalurid catfishes: odd diploid numbers with equal parental contributions.* J. Fish. Biol. 51, 1073-1084, 1997.

Hybridization of Fish – Causes and its Significance

Abstract

Hybridization is the crossing of individuals of two populations that differ in one or more of the basic hereditariness features. In the nature there are reproduction isolation mechanisms that are blocking interspecies hybridization of animals. In fish, more often than in other vertebrates, interbreeding occurs. This is due to external fertilization and the specificity of the living environment. Under breeding conditions hybridization of fish, including salmonids, is easy to implement and under natural conditions interspecific hybrids such as salmon and trout appear to be relatively rare, due to the presence of insulating mechanisms, mostly related to the separation of spawning sites.

One of the main factors causing hybridization is, as a result of anthropogenic activities, disruption of the normal water conditions causing fluctuation of water level in rivers and reduction of spawning sites. Hybridization is a process that has a significant role in the process of evolution and the creation of new species.

Hybridization is often used in biotechnology, in order to obtain specimens of advantageous, in terms of aquaculture, features. Thanks to hybridization populations are obtained with higher tolerance to cold, salinity, ammonia and better growth rates and greater resistance to disease. Note however that, given the growth of known hybrid taxa, it is essential to conduct comprehensive research on the hybridization of fish, in order to preserve and develop natural resources, and full understanding of physical and ecological changes will allow to protect better clean species. It is therefore necessary to protect natural populations against breeding individuals from experiments, which is not always realized.

To preserve the natural populations it is crucial to protect limited areas species occurrence, which is important especially when conducting restock and catches of fish. It is very important to preserve or restore the correct state of the natural environment and to consider each decision relating to implementation of new species due to exposure of wild populations to introgression.

Hybridization advantageous in terms of biotechnology is therefore a major threat to wild populations, which, through appropriate measures, should be especially protected.