

STRESZCZENIE

Odtwarzanie historii rozmieszczenia wybranych gatunków ryb piskorzowatych (Cobitidae: Osteichthyes) w Europie od plejstocenu do współczesności w oparciu o modelowanie nisz ekologicznych

Ryby z rodzaju *Cobitis* (*C. taenia*, *C. elongatoides* oraz *C. tanaitica*; pol. kozy), występujące na terenie Europy tworzą ze sobą kompleksy gatunków, w których dochodzi do powstawania hybryd, mających możliwość rozmnażania się jednopłciowego (gynogeneza).

Okres ostatniego zlodowacenia (vistulian), charakteryzujący się globalnym spadkiem temperatur i znaczącym powiększeniem się pokrywy lodowej w Europie Północnej i Środkowej aż do osiągnięcia maksimum zasięgu (Last Glacial Maximum, LGM; ok. 22 000 lat temu), odpowiedzialny jest za obecne rozmieszczenie wielu gatunków roślin i zwierząt, w tym badanych gatunków ryb. Konieczność zmniejszenia zasięgów występowania kóz w kierunku cieplejszego południa kontynentu do tzw. refugium glacialnych (miejsc o klimacie umożliwiających przetrwanie niekorzystnych warunków środowiskowych) w konsekwencji zdeterminowała kierunki rekolonizacji Europy po ustąpieniu lodowca, a co za tym idzie – zasięgi i strefy kontaktu badanych ryb.

Dotychczasowe scenariusze tłumaczące przebieg tego procesu były oparte wyłącznie o badania genetyczne (tzw. scenariusze filogeograficzne); celem tej pracy była weryfikacja w/w hipotez w oparciu o dane środowiskowe (klimatyczne) za pomocą narzędzi modelowania niszy ekologicznej (Ecological Niche Modelling, ENM). W analizach użyto (po przekształceniach) 30 punktów stwierdzeń dla *C. tanaitica*, 840 dla *C. taenia* i 200 dla *C. elongatoides* oraz 35 zmiennych klimatycznych pochodzących z baz WORDCLIM i ENVIREM dla 5 scenariuszy klimatycznych (współczesność, 3 różne scenariusze dla LGM oraz interglacjał eemski (ok. 120 000 lat temu)).

Badania potwierdziły istotne pogorszenie się warunków środowiskowych w trakcie LGM dla wszystkich trzech badanych gatunków *Cobitis* (a co za tym idzie – znaczne ograniczenie zasięgów) względem poprzedniej i następnej epoki. Analizy nie wykazały jednak, by refugia dla tych gatunków były wspólne, sugerując że proces powstania hybryd nie zaszedł w czasie zlodowacenia, ale – z dużym prawdopodobieństwem – dopiero po nim, podczas rekolonizacji Europy i tworzenia się wtórnych stref kontaktu. Modele ENM wskazały również na możliwość istnienia dodatkowego (ponad te wskazywane w analizach filogeograficznych) refugium położonego na terenie współczesnej Francji (tzw. atlantyckiego), które mogło służyć jako kolejne miejsce rozpoczęcia procesu postglacialnej rekolonizacji Europy przez *C. taenia*.

Dodatkowym wynikiem wykonanych modeli była wstępna analiza różnic i podobieństw w preferowanych warunkach klimatycznych pomiędzy badanymi gatunkami oraz opracowanie i przetestowanie całości procesu modelowania ENM dla tak specyficznej grupy ryb, a szerzej – dla organizmów zasiedlającego wody śródlądowe.

25.05.23

J. Stepien

SUMMARY

Reconstructing the ranges of selected true loaches species (Cobitidae: Osteichthyes) in Europe from the Pleistocene to the present, using ecological niche modeling

The fishes of the genus *Cobitis* (*C. taenia*, *C. elongatoides* and *C. tanaitica*; commonly named “spined loaches”), live in Europe and form complexes with each other, in which hybrids are formed; such hybrids have the possibility of asexual reproduction (gynogenesis).

The period of the last glaciation (Vistulian), characterized by a global drop in temperatures and a significant expansion of the ice sheet in northern and central Europe - until it reached its maximum extent (Last Glacial Maximum, LGM; about 22,000 years ago) - is responsible for the current distribution of many plant and animal species, including the aforementioned fishes. Spined loaches were forced to reduce their ranges towards the warmer south of the continent, to the so-called glacial refugia (places with climates capable of surviving adverse environmental conditions), which determined the directions of recolonization of Europe after the glacier receded, and consequently the ranges and contact zones of the studied fishes.

Previous scenarios explaining this process have been based solely on genetic studies (so-called phylogeographic scenarios); the purpose of this work was to verify the aforementioned hypotheses based on environmental (climatic) data using Ecological Niche Modelling (ENM) tools. The analysis used (after necessary transformations) 30 statement points for *C. tanaitica*, 840 for *C. taenia* and 200 for *C. elongatoides*, as well as 35 climate variables from WORDCLIM and ENVIREM databases for 5 climate scenarios (present day, 3 different scenarios for LGM and the Eemian interglacial (about 120,000 years ago)).

This study confirmed a significant deterioration of environmental conditions during the LGM for all three *Cobitis* species studied (and thus a significant reduction in ranges) relative to the previous and following eras. However, the analyses did not show that the refugia for these species were shared, suggesting that the process of hybrid formation did not occur during the glaciation, but - with high probability - after it, during the recolonization of Europe and the formation of secondary contact zones. The ENM models also indicated the possible existence of an additional (not mentioned in previous phylogeographic analyses) refugium located in the territory of modern France (so-called Atlantic refugium), which could have served as another site for the beginning of Europe postglacial recolonization by *C. taenia*.

An additional result of the performed models was a preliminary analysis of differences and similarities in preferred climatic conditions between the species studied, and the

development and testing of the entire ENM modeling workflow for such a specific group of fish, and more broadly for freshwater organisms.

25.05.23

J. Stelbrink