

STRESZCZENIE

Zmiany klimatu i ich wpływ na organizmy to jeden z najlepiej zbadanych procesów w naukach przyrodniczych. Przewiduje się, że zmiany środowiskowe w Europie, które nastąpią wraz z obecnym wzrostem średnich rocznych temperatur, obejmą przesunięcie stref klimatycznych na północ kontynentu. Konsekwencją tego będą zmiany w różnorodności biologicznej europejskich regionów biogeograficznych. W przypadku zbiorników wodnych w Europie Środkowej i Wschodniej największymi zagrożeniami są: ocieplenie zim, zwiększenie intensywności opadów i odwadnianie zlewni, a w konsekwencji wzrost trofii wody i spadek bioróżnorodności hydrobiontów. Dane literaturowe wskazują, że roślinność zanurzona będzie wypierana ze zbiorników przez wzrost biomasy fitoplanktonu. Jednocześnie, najnowsze doniesienia wskazują na możliwość innej reakcji roślinności wodnej.

Ostatnio w Europie Środkowej i Wschodniej zaobserwowano proces rekolonizacji i zasiedlania jezior przez globalnie zagrożony gatunek ramienicy (Charophyta, Characeae) *Lychnothamnus barbatus*. Przykładem rekolonizacji jest Jezioro Kuźnickie (zachodnia Polska), gdzie gatunek ten dominuje w fitolitoralu. Istotnym elementem wpływającym na powyższy proces wydaje się być ocieplenie klimatu, wyrażające się wpływem łagodnych zim na zbiorowiska *L. barbatus*, wykazującego zdolność do zimowania w sprzyjających warunkach pogodowych. W związku z tym, w niniejszej rozprawie doktorskiej zweryfikowano poprawność następującej hipotezy badawczej:

Ocieplenie klimatu, poprzez skrócenie czasu zalegania pokrywy lodowej i śnieżnej, daje przewagę konkurencyjną zagrożonemu gatunkowi *L. barbatus*, sprzyjając jego rozprzestrzenianiu się i ekspansji w zmieniającym się środowisku wodnym.

Integralną częścią procesu falsyfikacji powyższej hipotezy była realizacja następujących celów badawczych:

- Określenie zmienności produktywności i wysiłku reprodukcyjnego *L. barbatus* na tle warunków pogodowych i zmienności chemizmu wody w modelowym jeziorze zdominowanym przez badany gatunek ramienicy;
- Analiza rozmieszczenia *L. barbatus* w gradiencie głębokości na tle struktury roślinności zanurzonej badanego jeziora w aspekcie dostępności promieniowania fotosyntetycznie czynnego (PAR);

- Opis historii *L. barbatus* w Jeziorze Kuźnickim na podstawie analizy makroszczątków w wydатовanych izotopowo rdzeniach osadów jeziornych w kontekście zmian w użytkowaniu zlewni i istniejących danych o jakości wody oraz zapisów meteorologicznych;
- Modelowanie przeszłych (ok. 130 ka), obecnych i przyszłych (do 2100 r.) siedlisk klimatycznych *L. barbatus* przy użyciu różnych modeli dystrybucji przestrzennej (SDMs), zróżnicowanych globalnych scenariuszy klimatycznych (GCMs) oraz odmiennych wariantów wspólnych ścieżek społeczno-ekonomicznych (SSPs): SSP 1–2.6 – założono niskie wymuszenie radiacyjne i redukcję emisji CO₂ – najbardziej optymistyczny scenariusz; SSP 2–4.5 - średnie wymuszenie radiacyjne i powolny wzrost emisji CO₂ do 2040 roku, a następnie spadek; SSP 5–8.5 - wysoka emisja CO₂ i ciągły wzrost do 2080 roku).

Realizacja moich badań została sfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu "Diamentowy Grant" nr DI2015 017045 pt.: "Odbudowa populacji zagrożonego gatunku ramienicy *Lychnothamnus barbatus* w świetle zmian klimatycznych".

Przeprowadzone badania wykazały, że *L. barbatus* charakteryzuje się inną sezonowością produkcji biomasy niż ta opisana dotychczas dla makrofitów wodnych - największe ilości biomasy produkowane są jesienią, a nie latem, jak u innych hydrofitów. Ponadto, *L. barbatus* charakteryzuje się zdolnością do zimowania w postaci zwartego zbiorowiska w warunkach łagodnych zim, a średnio, niezależnie od warunków termicznych, zimowało około 20% jego populacji. Wyniki badań wykazały, że *L. barbatus* charakteryzował się największą ilością biomasy i oospor na najgłębszych badanych stanowiskach. Stwierdzono również, że warunki meteorologiczne mają istotny wpływ na środowisko abiotyczne i biotyczne Jeziora Kuźnickiego, a łagodne zimy sprzyjały zimowaniu *L. barbatus* i innych makrofitów w zbiorowiskach tego gatunku. Ponadto przeprowadzone badania wykazały, iż zimujące makrofity mogą chronić jeziora o umiarkowanej trofii wód przed negatywnymi skutkami globalnego ocieplenia, takimi jak zwiększony ładunek składników pokarmowych po łagodnych zimach. Tym samym wykazano, iż masowe zimowanie roślinności zanurzonej stabilizuje jakość wody w Jeziorze Kuźnickim. Dzięki zdolności do zimowania *L. barbatus* uzyskuje przewagę konkurencyjną nad innymi gatunkami ramienic i roślin naczyniowych. Zjawisko to może tłumaczyć powrót badanego gatunku do jezior europejskich oraz dynamiczną kolonizację

jezior w Stanach Zjednoczonych. Ponadto badania dowiodły, że w ostatnich latach badana ramienica stała się jednym z dominantów w strukturze roślinności zanurzonej badanego jeziora i odbudowała swoją populację po jej zaniku w latach 80. ubiegłego wieku. Czynniki, które w istotny sposób wpłynęły na odbudowę dzisiejszej populacji *L. barbatus* była poprawa jakości wody oraz liczny bank oospor badanego gatunku, zdeponowany w osadach dennych. Jezioro Kuźnickie jest przykładem poprawy jakości wód, która odbywa się bez dodatkowych zabiegów rekultywacyjnych, poza ograniczeniem spływu biogenów do jeziora z jego bezpośredniej zlewni. Obecnie jezioro reprezentuje stan mezotroficzny. Przeprowadzone badania wykazały spadek żyzności jeziora w porównaniu z poprzednimi dekadami. Poprawa jakości wód przejawia się w znacznym obniżeniu stężenia fosforu ogólnego w badanym zbiorniku wodnym. Równocześnie jednak zmniejszyła się bioróżnorodność i bogactwo gatunkowe roślinności zanurzonej.

Przeprowadzona w ramach moich badań paleorekonstrukcja roślinności wodnej Jeziora Kuźnickiego wykazała, że rozwój populacji *L. barbatus* następował wraz z ociepleniem klimatu po zakończeniu Małej Epoki Lodowej w XIX wieku, co wskazuje na analogię między obserwowanym obecnie zjawiskiem ocieplenia klimatu a rekonstrukcją siedlisk badanego gatunku. Wyniki moich badań sugerują, że w grupie beneficjentów ocieplenia klimatu mogą występować skrajnie rzadkie gatunki hydrobiontów, co czyni uzyskany wynik zaskakującym, ale niezwykle ważnym dla skutecznej ochrony siedlisk ramienic i krytycznie rzadkich gatunków makrofitów wodnych. Ponadto moje badania wykazały, że *L. barbatus* preferuje najgłębsze stanowiska (5 – 7 m), unikając w ten sposób konkurencji ze strony innych gatunków hydromakrofitów. Na zastosowanie takiej strategii pozwala mu prowadzenie fotosyntezy w warunkach deficytu światła, co jest czynnikiem ograniczającym rozwój innych hydromakrofitów. Wyniki moich badań pozwoliły na zidentyfikowanie dwóch różnych fenotypów *L. barbatus* w tym samym jeziorze, z których jeden jest lepiej przystosowany do życia na głębokich stanowiskach (5 – 7 m), a drugi - do życia w płytkim fitolitoralu (0,5 – 4 m). Dzięki temu *L. barbatus* może optymalizować alokację zasobów w zależności od występujących warunków środowiskowych. Dlatego niezwykle ważna jest odpowiednia ochrona siedliskowa ramienic zapewniająca ochronę całej puli genowej badanego gatunku, w tym bardziej wrażliwej płytkowodnej populacji *L. barbatus*.

Badania modelowe wykazały, że najważniejszymi zmiennymi bioklimatycznymi wpływającymi na rozmieszczenie *L. barbatus* są: średnia temperatura w najbardziej wilgotnym kwartale, średnia temperatura w najbardziej suchym kwartale i średnia temperatura w

najcieplejszym kwartale. Ponadto udokumentowaliśmy, że support vector machines (SVM) w skuteczniejszy sposób wykorzystuje większą ilość zmiennych bioklimatycznych niż MaxEnt do budowy modelu rozmieszczenia. Obecny potencjalny zasięg występowania *L. barbatus* przesunął się znacząco na północny wschód Europy, podczas gdy w Europie Zachodniej został zmniejszony w porównaniu z późnym holocenem (4.2 – 0.3 ka). Okazuje się zatem, że obecny główny środkowo-wschodnioeuropejski zasięg występowania badanego gatunku jest stosunkowo młody. Niniejsze opracowanie wskazuje, że w przypadku dwóch globalnych modeli klimatycznych, CanESM5 i MIROC 6, przyszły zasięg występowania *L. barbatus* będzie się rozszerzał wraz z globalnym ociepleniem, a jego wielkość będzie proporcjonalna do intensyfikacji tego procesu. Według trzeciego globalnego modelu klimatycznego, CNRM–CM6-1, zasięg występowania badanego gatunku będzie się zmieniał wraz z intensyfikacją procesu globalnego ocieplenia. W przypadku scenariusza potencjalnego zasięgu geograficznego *L. barbatus* w modelu CNRM–CM6-1 zaobserwowano wyraźną analogię w jego rozmieszczeniu do potencjalnego rozmieszczenia modelowanego dla ostatniego interglacjału, w szczególności dla wysokich emisji CO₂ i ciągłego ich wzrostu do roku 2080. Zgodnie z tym scenariuszem zasięg gatunku rozszerzy się na obszary zachodniej i południowej Europy, a ponadto w Skandynawii pojawią się nowe obszary występowania gatunku. Mimo tego, obecny główny zasięg występowania *L. barbatus* może jednak zaniknąć. Biorąc pod uwagę trzy modele, uzyskane wyniki wskazują, że potencjalne rozmieszczenie badanego gatunku w przyszłości będzie się zwiększać poprzez rozprzestrzenianie się jego potencjalnych siedlisk na nowe obszary.

Realizacja celów badawczych projektu pozwoliła na pozytywną weryfikację postawionej hipotezy badawczej. Podsumowując, przeprowadzone przeze mnie badania wykazały, że dzięki szeregowi adaptacji wykształconych na drodze ewolucji, *L. barbatus* jest hydrobiontem, który łatwo adaptuje się do ocieplenia klimatu, stając się jednym z beneficjentów tego zjawiska. Kluczowy aspekt aplikacyjny moich badań jest związany z ochroną i zarządzaniem cennymi siedliskami przyrodniczymi europejskiej sieci Natura 2000, takimi jak mezotroficzne i eutroficzne zbiorniki wodne z charakterystyczną dla nich roślinnością ramienicową i naczyniową. Wyniki moich badań stanowią kompletny materiał porównawczy dla monitoringu jakości wód oraz zarządzania i ochrony zasobów wodnych, w tym wód słodkich z rzadkimi i zagrożonymi gatunkami roślinności zanurzonej.