

STRESZCZENIE

Rozsiewanie nasion jest podstawową usługą ekosystemową, którą w regionach o klimacie umiarkowanym i borealnym dostarczają głównie ptaki i ssaki. Zwierzęta owocożerne zwykle różnią się efektywnością, w wyniku ilościowego i jakościowego zróżnicowania ich udziału w rozprzestrzenianiu nasion. Zdarzenia rozsiewania nasion na duże odległości, realizowane głównie przez duże zwierzęta owocożerne, są kluczowe dla zagwarantowania przepływu genów pomiędzy populacjami roślin oraz kolonizacji siedlisk, szczególnie w przypadku roślin klonalnych, które rzadko wykazują rekrutację siewek. Niedźwiedź brunatny *Ursus arctos* jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych ssaków lądowych i jednym z nielicznych dużych gatunków owocożernych w regionach nietropikalnych. W niniejszym doktoracie oceniałem rolę niedźwiedzi brunatnych jako rozsiewaczy nasion, zwłaszcza borówki czarnej *Vaccinium myrtillus*, która jest wolno rosnącym klonalnym krzewem, pospolitym w eurazjatyckich regionach umiarkowanych i borealnych, a także ważnym źródłem pokarmu dla niedźwiedzi brunatnych i wielu innych gatunków zwierząt.

W artykule nr I zbadałem efektywność niedźwiedzi brunatnych jako rozsiewaczy nasion w skali globalnej. Przeanalizowałem ich znaczenie ilościowe, pozyskując informacje o gatunkach owoców mięsistych i ich znaczeniu w diecie niedźwiedzi brunatnych z opublikowanych danych z 96 obszarów badawczych. Niedźwiedzie konsumowały ponad sto gatunków roślin o mięsistych owocach i owoce te stanowiły jedną czwartą ich rocznej diety. Borówka była drugim najczęściej spożywanym owocem, ustępując jedynie bażynie *Empetrum nigrum*, i była spożywana w większości obszarów badawczych położonych w eurazjatyckich regionach umiarkowanych i borealnych. Przeprowadzono doświadczenia kiełkowania *ex situ* z 11 gatunkami mięsistych owoców, powszechnie spożywanymi przez niedźwiedzie brunatne (włączając w to borówkę czarną), aby sprawdzić jakość usługi rozsiewania nasion dostarczanej przez gatunek. Spożycie przez niedźwiedzia rzadko uszkadzało nasiona (99% nasion borówki zachowało żywotność), które zwykle kiełkowały lepiej niż gdy były osadzone w miększym owocu. Badanie to pokazuje, że będąc jednym z nielicznych gatunków megafauny zamieszkujących obszary nietropikalne, niedźwiedzie brunatne są kluczowymi rozsiewaczami nasion w całym zasięgu gatunku.

W artykule nr II przeanalizowałem znaczenie owoców mięsistych, a szczególnie borówki czarnej, w ekologii żerowania niedźwiedzi brunatnych na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego. Stosując metody metabarkodingu DNA, określiłem skład diety na próbie 246 odchodów zebranych w latach 2017-2019. Owoce mięsiste występowały w 56% analizowanych prób i przez cały okres aktywności niedźwiedzi. Najczęściej obecna była borówka czarna (42% prób), a następnie malina *Rubus idaeus* (20% prób). Borówka czarna okazała się też szczególnie ważna podczas hiperfagii (od lipca do października) i była wykrywana nawet w 73% prób zebranych w sierpniu. Powszechne występowanie mięsistych owoców w diecie niedźwiedzi brunatnych sugeruje, że nawet

na obszarach tak silnie zhumanizowanych jak Tatrzański Park Narodowy, niedźwiedzie mogą nadal dostarczać podstawowe usługi ekosystemowe, takie jak rozsiewanie nasion.

W pracy nr III przeanalizowałem skuteczność niedźwiedzi brunatnych jako rozsiewaczy nasion borówki czarnej, w stosunku do innych owocożernych gatunków zwierząt występujących w Tatrzańskim Parku Narodowym. W tym celu, podczas badań wykonywanych w 2017 i 2018 roku na transektach wyznaczonych w lasach iglastych i na łąkach alpejskich, zbierałem odchody ssaków i ptaków zawierające nasiona borówki. Gatunki ssaków określiłem na podstawie wyglądu odchodów, a gatunki ptaków zostały oznaczone za pomocą metod metabarkodingu DNA. W każdej próbie kału policzyłem liczbę nasion i przeprowadziłem eksperymenty kiełkowania *ex situ*, aby zarówno ilościowo, jak i jakościowo określić usługi rozsiewania borówki czarnej świadczone przez każdy gatunek. Spośród trzech gatunków ssaków i 13 gatunków ptaków rozsiewających nasiona borówki na badanym terenie, niedźwiedzie brunatne rozsiały zdecydowaną większość (ponad 100 000 nasion na hektar miesięcznie). Przy łącznym potraktowaniu ilościowego i jakościowego wkładu w rozsiewanie, niedźwiedź brunatny okazał się również jednym z najskuteczniejszych rozsiewaczy nasion borówki czarnej na tym obszarze, ustępując jedynie dwóm gatunkom drozdów. Ponadto, niedźwiedzie brunatne uzupełniały usługi zapewniane przez ptasich rozsiewaczy poprzez wydalanie dużych ilości nasion borówki na łąkach alpejskich oraz pod koniec sezonu owocowania, czyli w obszarze i okresie, w którym rozsiewanie nasion przez ptaki jest mniej powszechne.

W artykule nr IV przeanalizowałem jaką rolę odgrywają niedźwiedzie brunatne i inne grupy rozsiewaczy nasion w rekrutacji siewek borówki czarnej w warunkach naturalnych. W 2018 i 2019 roku na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego oznaczyłem miejsca zdeponowania 33 odchodów niedźwiedzi brunatnych, 17 odchodów średnich drapieżników (lisów *Vulpes vulpes* i kun *Martes sp.*) oraz 12 odchodów ptaków wróblowych zawierających nasiona borówki. W 2019 i 2020 roku sprawdziłem oznaczone miejsca i policzyłem obecne siewki borówki. Kiełkowanie borówki zaobserwowałem na wszystkich odchodach niedźwiedzi, na 88% odchodów średnich drapieżników i na 50% ptasich odchodów. Najwięcej siewek borówki czarnej wykiełkowało z odchodów niedźwiedzia (154 siewki/m²), istotnie więcej niż w przypadku dwóch pozostałych grup rozsiewaczy nasion oraz na poletkach kontrolnych. Maksymalnie 16% siewek, które wykiełkowały z odchodów niedźwiedzi przetrwało co najmniej rok po wykiełkowaniu. Dodatkowo, zagęszczenie siewek było istotnie większe, gdy dotyczyło odchodów niedźwiedzi znajdującymi się w miejscach odpoczynku dziennego (barłogów), niż odchodów niedźwiedzi znajdujących się na ścieżkach przemieszczania się zwierząt. Tak więc, zachowanie niedźwiedzia brunatnego w miejscach dziennego odpoczynku, zwykle związane z powstawaniem niewielkich zaburzeń w glebie, wpływa korzystnie na kiełkowanie borówki czarnej. Badanie to pokazuje, że kiełkowanie nasion i przeżywalność siewek borówki czarnej w odchodach zwierząt owocożernych, w tym niedźwiedzi brunatnych, jest powszechnym zjawiskiem, co oznacza, że, wbrew wcześniejszym sugestiom, w przyrodzie może dochodzić do

powtarzających się rekrutacji siewek borówki czarnej. Endozoochoria, w tym w szczególności specyficzne zachowania zwierząt owocożernych stwarzające dogodne warunki do kiełkowania borówki, nie mogą być lekceważone podczas analizowania strategii reprodukcyjnych roślin, zwłaszcza gatunków klonalnych.

Wyniki tego doktoratu pokazują, jak ważną rolę odgrywają niedźwiedzie brunatne w rozsiewaniu nasion borówki czarnej i sugerują, że rola ta może dotyczyć wszystkich obszarów, na których współlistnieją oba gatunki. Niektóre aspekty biologii i ekologii gatunku, takie jak pokonywanie dużych odległości, dokonywanie przekształceń otoczenia w miejscach dziennego odpoczynku (barłogach), wraz z obecnością dużej ilości nasion w odchodach, które wydalane są podczas pojedynczego procesu defekacji oraz nakładanie się okresów występowania hiperfagii i sezonu owocowania borówki czarnej, stanowią klucz do zrozumienia wyjątkowości usług rozsiewania nasion zapewnianych przez niedźwiedzie, zwłaszcza biorąc pod uwagę, że na obszarach, na których występują, często brakuje innych dużych zwierząt owocożernych. Odpowiednie strategie zarządzania i ochrony mają kluczowe znaczenie dla zagwarantowania podstawowych usług ekosystemowych dostarczanych przez niedźwiedzie brunatne.