

Justyna Maria Świeżak

Wpływ potencjalnego wycieku CO₂ z podmorskiego składowiska w południowym Bałtyku na rogowca bałtyckiego *Limecola balthica* w warunkach zwiększonego ciśnienia hydrostatycznego

W dobie rosnącej emisji dwutlenku węgla do atmosfery technologia sekwestracji CO₂ (z ang. Carbon Capture and Storage, w skrócie CCS) w składowiskach geologicznych pod dnem morskim zyskuje coraz większe zainteresowanie jako skuteczna metoda ograniczenia emisji tego gazu. Jej wdrożenie w rejonie Bałtyku Południowego stało się w ostatnich latach obiektem naukowej i administracyjnej debaty również w krajach nadbałtyckich. Za potencjalne miejsce składowania CO₂ uznano pole ropy naftowej i gazu ziemnego B3, które obecnie jest objęte koncesją wydobywczą Grupy Lotos S.A. w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej. Duża pojemność (kilka milionów ton) oraz zwarta budowa geologiczna pokrywy dolnoosadowej przemawiają za wykorzystaniem tego złoża jako geologicznego podmorskiego składowiska dwutlenku węgla. Mimo, iż technologię CCS postrzega się jako bezpieczną, wciąż niesie ona ze sobą ryzyko zanieczyszczenia, a wyciek CO₂ jest obecnie uznawany za największe zagrożenie dla środowiska morskiego. Badania mające na celu ocenę ryzyka środowiskowego związanego z wyciekami CO₂ z podmorskiego składowiska prowadzone były w wielu akwenach na świecie, nieliczne jednak dotyczyły południowej części Morza Bałtyckiego, gdzie panują specyficzne warunki środowiskowe. W warunkach niskiego zasolenia, nasilonej eutrofizacji i okresowo pojawiających się deficytów tlenowych, zmiany wywołane obecnością dwutlenku węgla w wodzie naddennej i porowej mogą stanowić dodatkowy czynnik stresowy dla bałtyckiej fauny bentosowej. Ze względu na zwiększoną rozpuszczalność dwutlenku w podwyższonym ciśnieniu hydrostatycznym i niskim zasoleniu, obniżenie pH wody wywołane przez potencjalny wyciek CO₂ może zatem wpływać na organizmy bałtyckie w inny sposób niż w akwenach o zasoleniu pełnomorskim. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zakwaszenia wody dwutlenkiem węgla w warunkach zwiększonego ciśnienia hydrostatycznego na kluczowy gatunek bentosowy, rogowca bałtyckiego *Limecola balthica* (Linnaeus, 1758). Osady powierzchniowe i małże zostały zebrane w kwietniu 2016 roku, październiku 2016 roku i styczniu 2017 roku na stanowisku badawczym (MW) zlokalizowanym w strefie przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej, gdzie warunki środowiskowe przy dnie są zbliżone do tych, jakie panują w rejonie obszaru górniczego B3. Doświadczenia laboratoryjne przeprowadzono w zakresie

odczynu wody: pH 7.7 – układ odniesienia (kontrolny), 7.0 oraz 6.3, który odzwierciedla przewidywane zmiany kwasowości wody naddennej na skutek wycieku CO₂ z podmorskiego składowiska. Każdy z trzech niezależnych eksperymentów ekspozycyjnych trwających 50 dni został zrealizowany z wykorzystaniem unikalnego tytanowego systemu przepływowego – komory hiperbarycznej Karl Erik (Titank, NTNU, Trondheim), która umożliwiła zwiększenie ciśnienia hydrostatycznego do 900 kPa (80 m głębokości). Podczas każdego doświadczenia osady i małże były aklimatyzowane do warunków eksperymentalnych przez 10 dni, a następnie poddane ekspozycji na zadane pH wody w ciągu kolejnych 40 dni. W trakcie eksperymentów monitorowano podstawowe parametry wody (zasolenie, temperatura, wysycenie tlenem, potencjał redoks, pH i ciśnienie hydrostatyczne), a zwierzęta karmiono zawiesiną hodowlanych glonów jednokomórkowych. Wybrane markery biologicznej odpowiedzi na środowiskową hiperkapnię wykazały zróżnicowane reakcje. Dłuższa ekspozycja na zakwaszenie nie wywołała podwyższonej śmiertelności małży, we wszystkich eksperymentach ogólna przeżywalność przekraczała 90%. Odnotowano również nieznaczne zmiany w morfometrycznych wskaźnikach kondycji, niewielkie zużycie wysokoenergetycznych materiałów zapasowych (tłuszczów, węglowodanów, białek) oraz niewielkie zaburzenie wzrostu muszli, co sugeruje uruchomienie efektywnych mechanizmów kompensacyjnych. Zwiększone zapotrzebowanie energetyczne małży związane z zachowaniem równowagi kwasowo-zasadowej w tkankach zostało najprawdopodobniej pokryte z przyswajanego pokarmu. Postawiono hipotezę, iż nieograniczone zasoby pożywienia oraz zwiększone ciśnienie hydrostatyczne mają istotny wpływ na przyrost muszli małży w zakwaszonym środowisku. W przeciwieństwie do pH wody morskiej 7.7 i 6.3, w doświadczeniu o odczynie wody 7.0 zaobserwowano zwiększoną głębokość zagrzebania małży w osadzie, co może wskazywać na zachowanie obronne w odpowiedzi na podwyższoną i wydłużoną w czasie toksyczność związków w osadach powierzchniowych. Odnotowane zmiany aktywności enzymów biorących udział w szlaku oddechowym, tj. wysoka ogólna aktywność dehydrogenazy jabłczanowej (MDH) oraz wahania aktywności dehydrogenazy mleczanowej (LDH) i oktopinowej (ODH) sugerują wysoką plastyczność metaboliczną małży w niskim pH. Spośród przebadanych enzymów antyoksydacyjnych tj. katalazy (CAT), dysmutazy ponadtlenkowej (SOD), transferazy S-glutationowej (GST) i peroksydazy glutationowej (GPx), inhibicję aktywności zmierzono tylko w przypadku tego ostatniego w warunkach umiarkowanej hiperkapnii (pH 7.0). Obniżenie aktywności peroksydazy glutationowej zostało spowodowane stresem oksydacyjnym, który wywołał również peroksydację tłuszczów i białek w tkankach miękkich rogowca. Ponadto, wzrost aktywności acetylocholinoesterazy (AChE) u małży eksponowanych na pH 7.0 dowodzi

zwiększonej toksyczności otaczającego środowiska. Uzyskane wyniki wskazują na wysoką odporność rogowca bałtyckiego na obniżony odczyn wody, szczególnie na poziomie obniżającym się zniżającym się do pH 6.3. Rogowiec bałtycki *Limecola balthica* jest w stanie przetrwać warunki obniżonego pH wody dzięki plastyczności fizjologicznej i strategiom unikania. Niska wrażliwość rogowca bałtyckiego na obniżony odczyn wody wynika prawdopodobnie z aklimatyzacji do naturalnych zmian pH, które występują w osadach bogatych w materię organiczną w południowym Bałtyku. Niniejsze badania dostarczyły ważnych obserwacji w zakresie biologicznej odpowiedzi bałtyckiej infauny na zakwaszenie wody spowodowane wyciekami CO₂ z podmorskiego składowiska i mogą być wykorzystane do oceny ryzyka środowiskowego w kontekście wdrażania technologii CCS na południowym Bałtyku.