Polish Journal for Sustainable Development

Tom 27 (1). 37-45. rok 2023

TERESA NOGA[1], NATALIA KOCHMAN-KĘDZIORA[2]

[1]Zakład Gleboznawstwa, Chemii Środowiska i Hydrologii, [2]Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Rzeszowski; e-mail: *tnoga@ur.edu.pl*

WYBRANE ASPEKTY ZWIĄZANE Z AKWAKULTURAMI MAKROGLONÓW NA PRZYKŁADZIE *NEOPYROPIA* (*PORPHYRA*)

Glony (algi), od tysiącleci wykorzystywane do celów spożywczych i rolniczych w krajach azjatyckich, stają się w ostatnich latach coraz bardziej popularne w akwakulturach. Produkty zawierające w swym składzie glony charakteryzują się wysoką zawartością białka, witamin oraz minerałów i są coraz częściej wybierane przez konsumentów, m.in. w związku z panującą modą na zdrowe odżywianie. Uprawiane komercyjnie gatunki z rodzaju Neopyropia (syn. Porphyra) stanowią cenne źródło składników odżywczych i mogą przyczynić się do zaspokojenia rosnących potrzeb żywieniowych na świecie. W artykule podsumowano najnowsze piśmiennictwo dotyczące wykorzystania szkarłatnic w przemyśle rolno-spożywczym. Zwrócono także uwagę na potencjalne zagrożenia wynikające z zanieczyszczenia produktów glonowych, głównie metalami ciężkimi.

Słowa kluczowe: *Neopyropia* (*Porphyra*), nori, wykorzystanie w żywności i rolnictwie

I. WSTĘP

Akwakultura jest pojęciem oznaczającym chów i hodowlę a także uprawę różnych wodnych organizmów (głównie zwierząt i roślin) oraz poprawę ich stanu. Tego typu działalność prowadzona jest w kontrolowanych środowiskach wodnych lub wybranych specjalnie do tych celów, zarówno w wodach słodkich, jak i słonych. Według Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) akwakultura oznacza „hodowlę organizmów wodnych, w tym ryb, mięczaków, skorupiaków i roślin wodnych, która pociąga za sobą pewien rodzaj interwencji w procesie hodowli w celu zwiększenia produkcji, tj. regularne zagęszczanie populacji, karmienie, ochronę przed drapieżnikami, itp. Hodowla implikuje także prywatną lub firmową własność hodowanych stad", natomiast organizmy wodne, własność i praktyki zarządzania stanowią jej główne filary [Gil 2009, Zalecenie w sprawie definicji akwakultury 2022]. Akwakultura w Polsce oparta jest wyłącznie na chowie lub hodowli ryb słodkowodnych, a przede wszystkim karpia (około 300 gospodarstw) i pstrąga (około 160 gospodarstw), przeznaczonych na zaopatrzenie rynku [Gil 2009].

Jednym z głównych problemów związanych z intensywną akwakulturą jest wpływ na środowisko ścieków bogatych w cząsteczkową materię organiczną i rozpuszczone składniki odżywcze z niestrawionej paszy i odchodów, które mogą napędzać proces eutrofizacji w wodach przyjmujących. Prowadzi to do zmian w składzie gatunkowym, niedotlenienia

DOI: 10.15584/pjsd.2023.27.1.4

i utraty różnorodności, a tym samym zakłóca funkcje ekosystemu. Z tego względu w akwakulturach stosuje się makro- i mikroglony do oczyszczania ścieków, a uzyskaną z nich biomasę wykorzystuje się do karmienia innych organizmów wodnych. Proces ten jest określany jako zintegrowana akwakultura multitroficzna (Integrated Multi-Trophic Aquaculture IMTA). Zintegrowana akwakultura ma na celu zminimalizowanie wpływu hodowli ryb na środowisko poprzez włączenie hodowli małży i/lub glonów do cyklu produkcyjnego ryb. Jednocześnie małże lub glony mogą być stosowane jako suplementy diety w celu zmniejszenia kosztów karmienia. Glony w systemie IMTA asymilują odpady produkowane przez ryby, które są bogate w rozpuszczony amoniak, fosforany i węgiel, tworząc nową biomasę i syntetyzując potrzebne naturalne materiały. W ten sposób glony są w stanie oczyścić i uzdatnić wodę, minimalizując negatywny wpływ na środowisko oraz poprawiając rentowność [Vatsos i in. 2015, Milhazes-Cunha i Otero 2017, Aszkenazy i in. 2022, Knoop i in. 2022].

Koncepcja zintegrowanej akwakultury stanowi istotny element zarządzania strefą przybrzeżną, mający na celu ograniczenie negatywnego wpływu akwakultury w sposób korzystny ekonomicznie i społecznie. Jakość wody w zintegrowanej akwakulturze w otwartych wodach mórz jest najbardziej zbliżona do warunków naturalnych. Aby akwakultury mogły dobrze funkcjonować, hodowla makroglonów i/lub skorupiaków odbywa się w pobliżu „zagród" z sieciami rybackimi, w miarę możliwości w tych samych wodach. Brunatnice i krasnorosty skutecznie pochłaniają rozpuszczony azot nieorganiczny znajdujący się w ściekach z hodowli ryb, a produkcja i jakość makroglonów morskich są w związku z tym często wyższe na obszarach otaczających zagrody sieci rybackich, niż gdzie indziej. Wykazano również, że wzrost makroglonów na ściekach z hodowli morskich jest lepszy, niż na czystej wodzie morskiej wzbogaconej nawozami [Neori i in. 1991, 2004, Chopin i in. 1999, Chung i in. 2002].

Wydajna, oparta na glonach, zintegrowana farma hodowlana utrzymuje optymalne zapasy wszystkich hodowanych organizmów, biorąc pod uwagę odpowiednie wymagania każdego z nich dotyczące wody i składników odżywczych oraz odpowiednie tempo wydalania i wchłaniania ważnych substancji rozpuszczonych przez każdy z nich. Pozwala to na opłacalne wykorzystanie każdego z modułów hodowlanych przy minimalnych stratach. Oczywiście światło słoneczne jest niezbędnym warunkiem w systemach, w których rozwijają się glony. Przy ocenie opłacalności ekonomicznej zintegrowanego systemu akwakultury opartego na makroglonach należy wziąć pod uwagę następujące dodatkowe czynniki: koszt ziemi, energii i pracy; dostęp do czystej wody morskiej, zaopatrzenia, marketingu, żeglugi i innych usług; dostępność osób wykształconych i/lub zorientowanych technicznie; dostęp do dużych rynków; infrastrukturę polityczną, biznesową i finansową, która wesprze lub przynajmniej zrozumie zaawansowany technologicznie projekt rolniczy [Neori i in. 2004].

Przy wysokich stężeniach składników odżywczych zapewnianych przez system IMTA, wraz z wystarczającym promieniowaniem słonecznym i/lub zasoleniem, całkowita zawartość aminokwasów (MAA), barwników i związków fenolowych, może być w glonach znacząco stymulowana, nawet o kilkaset procent. Taką „ulepszoną biomasę" można wykorzystywać jako wysokiej jakości surowiec do produkcji zdrowej żywności, prozdrowotnych produktów farmaceutycznych i kosmetycznych oraz do dalszych procesów biorafineryjnych i ekstrakcyjnych [Aszkenazy i in. 2022].

Wartość rynku glonów morskich oszacowano na ponad 11,7 mld USD w 2016 roku, a przypuszcza się, że do 2024 roku będzie wart 22,13 mld USD. Ponadto przewiduje się, że spożycie i wykorzystanie glonów morskich wzrośnie do 2050 roku o 8,9% rocznie.

Dlatego akwakultura glonów uchodzi za najbardziej zrównoważony sposób produkcji organizmów wodnych, biorąc pod uwagę, że tylko w 2016 roku wyprodukowano 30 139 tysięcy ton makroglonów [Leandro i in. 2020].

Szkarłatnica, określana również jako nori, należy do najbardziej znanych makroglonów wykorzystywanych przez człowieka. Glony z tego rodzaju są powszechnie uprawiane w Azji Wschodniej od lat 50. XX wieku, a ich wartość rynkowa oceniana jest na 1,1 mld dolarów [Kerrison 2016].

Celem pracy było zebranie i przeanalizowanie najnowszego piśmiennictwa dotyczącego krasnorostów z rodzaju *Neopyropia* (syn. *Porphyra*), które stosowane są m.in. do produkcji nori do sushi. Omówiono także potencjalne zagrożenia wynikające z zanieczyszczenia plech szkarłatnic, głównie metalami ciężkimi, w szczególności arsenem.

II. METODA PRACY

Dokonano przeglądu dostępnej literatury, a następnie podsumowano informacje dotyczące morfologii, składu chemicznego, uprawy i wykorzystania w przemyśle rolno-spożywczym krasnorostów z rodzaju szkarłatnica (*Neopyropia*).

III. CHARAKTERYSTYKA RODZAJU SZKARŁATNICA

Makroglony morskie odpowiadają za około 10% produkcji pierwotnej w oceanach, z tego względu odgrywają ważną rolę w obiegu węgla i w utrzymaniu ekosystemów akwakultury morskiej [Xu i in. 2020]. Rodzaj szkarłatnica (*Porphyra*) obejmuje około 280 gatunków morskich krasnorostów na całym świecie zaliczanych do rzędu Bangiales. Do tego rzędu morfologicznie prosto zbudowanych krasnorostów, należą także przedstawiciele najbardziej cenionych w uprawach akwakultury glonów na świecie, z których trzy – *Porphyra yezoensis*, *P. tenera* i *P. haitanensis* – są najczęściej uprawiane, zwłaszcza w Chinach. Wszystkie trzy szkarłatnice charakteryzują się fioletowymi, fioletowo-purpurowymi lub ciemno-zielonkawymi plechami liściastego kształtu (wąskie, lancetowate lub szeroko jajowate) – Tab. 1. Krasnorosty należące do rzędu Bangiales występują powszechnie w wodach borealnych i umiarkowanych zimnych, obficie spotykane są w Oceanie Atlantyckim, zwłaszcza w Północnym Atlantyku. Większość gatunków porasta skały, muszle lub inne glony, ale niektóre występują wyłącznie w siedliskach subpływowych, a inne są bezwzględnymi epifitami [Kapraun i Lemus 1987, Sutherland i in. 2011, Cao i in. 2016]. Obecnie, na podstawie analiz molekularnych prowadzonych wśród krasnorostów z rzędu Bangiales, wykonywane są rewizje taksonomiczne, w wyniku których opisywane są nowe rodzaje, a znane nauce gatunku są na nowo klasyfikowane. Początkowo gatunki *Porphyra yezoensis*, *P. tenera* i *P. haitanensis* umieszczono w przywróconym ponownie rodzaju *Pyropia* [Sutherland i in. 2011], a obecnie w wyniku kolejnych molekularnych badań filogenetycznych na nowo zdefiniowano rodzaj *Pyropia*, a wyżej wymienione gatunki zaliczono do nowo utworzonego rodzaju *Neopyropia* [Yang i in. 2020]. Pomimo przeprowadzonych rewizji taksonomicznych, w literaturze przedmiotu często wszystkie nazwy łacińskie (*Porphyra, Pyropia i Neopyropia*) stosowane są zamiennie.

Pierwsze uprawy szkarłatnicy miały miejsce w Chinach i Japonii w obszarach przybrzeżnych. W miejscu uprawy oczyszczano naturalną powierzchnię, a podłoże częściowo zastępowano sztucznym, m.in. poprzez umieszczenie bambusowych palików w miękkim osadzie lub kamieni oczyszczonych wapnem. Plechy szkarłatnic stosowano od kilku tysięcy lat w medycynie chińskiej jako środek leczniczy, skuteczny w usuwaniu flegmy, zmiękczaniu twardych mas czy obniżaniu gorączki. Oprócz rozwoju akwakultury makroglonów morskich w Chinach, Japonii, Korei, Indonezji czy na Filipinach, istnieją również pilotażowe projekty hodowli wybranych gatunków brunatnic i krasnorostów

w Europie, Ameryce Łacińskiej, Chile, Brazylii, USA, a nawet w Afryce [Callaway i in. 2012, Cao i in. 2016, Garcia-Poza i in. 2020].

IV. SKŁAD CHEMICZNY

Glony z rodzaju szkarłatnica są nie tylko bogate w białko, węglowodany, aminokwasy i witaminy, ale zawierają również wiele składników mineralnych. Wśród makroglonów uprawianych na dużą skalę, szkarłatnica ma najwyższą wartość odżywczą. Jej plechy odznaczają się zawartością białka sięgającą do 48% w suchej masie i niezbędnych aminokwasów, porównywalną z jajami, nasionami soi, a nawet mączką rybną (tab. 1). Ze względu na korzystną frakcję białka wzrasta zainteresowanie tymi glonami w związku z możliwością wykorzystania ich do produkcji żywności i pasz. Zawartość białka w poszczególnych gatunkach zależy od intensywności i czasu ekspozycji na światło [Leandro i in. 2020, van Groenigen i in. 2022]. Plechy szkarłatnicy zawierają także znaczne ilości prowitaminy A oraz witamin z grupy B, szczególnie witaminy B12, dlatego zalecane są w diecie wegetariańskiej [Cho i Rhee 2020], a ponadto mogą zawierać więcej witaminy C niż pomarańcza lub kiwi [Leandro i in. 2020]. Biorąc pod uwagę mikroelementy szkarłatnica zawiera 32 razy więcej potasu niż ser cheddar, 36 razy więcej magnezu niż pełne mleko i 21 razy więcej wapnia niż banany [Paiva i in. 2014]. Zawartość sodu osiąga stężenie 100 g/kg w/s, a jodu od 50 do 5000 ppm w przeliczeniu na suchą masę [Costa i in. 2021]. Krasnorosty te zawierają także liczne barwniki (m.in. fikocyjaniny i fikoerytryny), które wykorzystuje się w różnych produktach: gumie do żucia, napojach bezalkoholowych, produktach mlecznych i jajach, a także w produktach kosmetycznych (głównie szminkach i cieniach do powiek) [Garcia-Poza i in. 2020].

Glony morskie zawierają różne polisacharydy, które są głównymi składnikami ich ścian komórkowych. Krasnorosty wyróżniają się zawartością specyficznych polisacharydów wykorzystywanych w przemyśle spożywczym, tj. agaru, karagenu i porfyranu. Ostatnio prowadzone są liczne badania nad porfyranem, który wykazuje szeroką gamę właściwości biologicznych, tj. przeciwnowotworowych, przeciwutleniających, przeciwstarzeniowych, ochronnych dla wątroby, przeciwzakrzepowych, a także odgrywa rolę w regulacji poziomu lipidów, wpływając na poprawę ich metabolizmu. Porfyran jest też środkiem żelującym (np. w pastach do zębów) i jest stosowany jako środek zagęszczający i wiążący. Dodatkowo stosowany jest jako sztuczny płyn łzowy – stabilizuje film łzowy na powierzchni gałki ocznej przez dłuższy czas [Cho i Rhee 2020, Garcia-Poza i in. 2020, Leandro i in. 2020, Yang i in. 2020].

V. WYKORZYSTANIE SZKARŁATNIC W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM

Glony morskie są znakiem rozpoznawczym kultury i kuchni azjatyckiej od tysiącleci. Chiny i Japonia nadal są krajami o najwyższym spożyciu alg, chociaż w mniejszym stopniu glony spożywa się również w innych częściach globu, szczególnie w populacjach zamieszkujących obszary przybrzeżne. Jadalne produkty z makroglonów są dostępne w różnych postaciach – świeże, suszone, sproszkowane lub płatkowane [Leandro i in. 2020]. Wiele gatunków szkarłatnic wykorzystuje się do produkcji żywności i napojów na bazie glonów, takich jak: wino, zupy instant, makaron, dżem, galaretka, herbata, owsianka, miękki ser, kiełbaski, m.in. w celu zwiększenia ich wartości odżywczej. Powszechnie spożywane pieczywo, makarony i produkty zbożowe mogą być wykorzystywane jako nośniki związków bioaktywnych. W Walii szkarłatnice są używane do przygotowania tradycyjnej potrawy kuchni regionalnej znanej jako *laverbread* [Kumar i in. 2021, Thiviya i in. 2022]. Dodatek 3% szkarłatnicy do makaronu w niektórych przypadkach modyfikował

właściwości fizykochemiczne i technologiczne, wpływając znacznie na wzrost zawartości białka. Optymalny czas gotowania makaronu wzbogaconego glonami był nieco krótszy w porównaniu do makaronu kontrolnego, zmodyfikowaniu uległa tekstura, zmniejszając twardość, gumowatość, żucie, kruchość i sprężystość w porównaniu z kontrolą oraz nastąpiła zmiana koloru na czarny [Ainsa i in. 2022].

Tabela 1 – *Table 1*

Charakterystyka oraz zawartość składników odżywczych glonów z rodzaju *Neopyropia* wykorzystywanych w celach komercyjnych / *Characteristics and the nutrient content of algae of the genus Neopyropia used for commercial purposes*

***NEOPYROPIA* (*PORPHYRA*)**		Literatura / *References*
nazwa i pozycja systematyczna *systematic name and position*	trzy najczęstsze gatunki z rodzaju *Neopyropia* (syn. *Porphyra*) / *three most common species from the genus Neopyropia* (syn. *Porphyra*): *N. tenera*, *N. yezoensis*, *N. haitanensis* gromada /*phylum:* Rhodophyta	Yang i in. 2020
budowa / *morphology*	plechy liściokształtne, o długości 20-30 cm *leaf-shaped thallus, 20-30 cm long*	Sutherland i in. 2011, Cao i in. 2016
występowanie i ekologia */ occurrence and ecology*	wody słone (od arktycznych i antarktycznych po ciepłe, umiarkowane, a nawet tropikalne) *salty waters (from Arctic and Antarctic Regions to warm, temperate and even tropical climate)*	Kapraun i Lemus 1987, Sutherland I in. 2011
skład chemiczny / *chemical composition* [% suchej masy / *% dry weight*]		
białko / *protein*	25-48	Paiva i in. 2014, Cao i in. 2016, Leandro i in. 2020, van Groenigen i in. 2022
tłuszcze / *lipids*	1,7-8,9	
węglowodany *carbohydrates*	25,0-49,3	
minerały / *minerals*	Na, K, Mg, Ca, Cs, Fe, Zn, P, Cu, Cd, Cr	
witaminy / *vitamins*	A, B12, D2, D3, K	

Neopyropia yezoensis, *N. tenera* oraz *N. haitanensis* są przetwarzane na suchą żywność typu arkuszowego, tzw. nori, która zawiera główny błonnik pokarmowy, stanowiący około 40% masy i jest znana w Azji Wschodniej i Południowo-Wschodniej, a także na całym świecie, zwłaszcza jako składnik sushi [Garcia-Poza i in. 2020].

Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na glony morskie i składniki żywności na bazie glonów, pojawiło się ważne wezwanie do ustanowienia konkretnych wytycznych i przepisów w celu zapewnienia zrównoważonego rozwoju. Bezpieczeństwo żywnościowe jest osiągane, gdy wszyscy ludzie przez cały czas mają fizyczny, społeczny i ekonomiczny dostęp do wystarczającej ilości bezpiecznej i pożywnej żywności, która może zaspokoić indywidualne potrzeby i preferencje żywieniowe prowadzące do zapewnienia zdrowego i aktywnego życia. Dostęp do pożywnej żywności wysokiej jakości ma pozytywny wpływ na świat poprzez np. znaczną poprawę zdrowia i opieki zdrowotnej populacji ludzkiej, ale także wzrost gospodarczy, tworzenie miejsc pracy, ograniczanie ubóstwa i wzrost

możliwości handlu, poprawiając globalne bezpieczeństwo i stabilność. Makroglony mogą odgrywać ważną rolę w globalnym bezpieczeństwie żywnościowym, będąc pożywną alternatywną żywnością, jednak wyłącznie jeśli będą produkowane i spożywane zgodnie z normami bezpieczeństwa [Leandro i in. 2020].

W przypadku przetworzonych produktów spożywczych z plech szkarłatnic, niezwykle ważna jest skuteczna kontrola chemicznych i mikrobiologicznych czynników ryzyka, która jest warunkiem dopuszczenia ich do spożycia przez ludzi. Zagrożenia chemiczne można zdefiniować jako spożywanie nadmiernych ilości substancji, które prowadzą do pojawienia się skutków ubocznych i/lub narażenia na czynniki toksyczne (np. metale ciężkie) w produktach z makroglonów. Jod ma korzystny wpływ na funkcjonowanie tarczycy, ale należy unikać jego nadmiernego spożycia, aby zapobiec potencjalnym skutkom niepożądanym, takim jak autoimmunologiczne zapalenie tarczycy lub niedoczynność tarczycy. Wiele badań informuje o zawartości metali ciężkich (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, itp.) w produktach glonowych, zarówno w surowych, jak i w przetworzonych wyrobach. Obserwowano, iż zawartość metali ciężkich w plechach szkarłatnic nie była stała i zależała od szeregu czynników, w tym odmiany, gatunku, pory roku i warunków hodowli i przetwarzania. W większości prowadzonych badań stwierdzono akceptowalne poziomy zanieczyszczeń zgodnie ze współczynnikiem zagrożenia (HQ) metali ciężkich w produktach ze szkarłatnicy ustalonym przez Organizację ds. Wyżywienia i Rolnictwa/Światową Organizację Zdrowia (FAO/WHO). Niejednokrotnie wykrywany jest wysoki poziom glinu (388,6–623,4 mg/kg suchej masy), który został zgłoszony jako wskaźnik zanieczyszczenia żywności, natomiast stwierdzenie w produktach arsenu wskazuje na zanieczyszczenie metalami ciężkimi. Arsen jest znanym czynnikiem rakotwórczym, a powszechnie spożywane glony morskie zawierają duże jego ilości, głównie w formach organicznych. Podstawową strategią zarządzania ryzykiem jest więc ustalenie zalecanych limitów spożycia, aby zapobiec nadmiernemu spożyciu tych składników, które stwarzają potencjalne zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Znane są także pojedyncze opracowania dotyczące technologii interwencyjnych w celu wyeliminowania zanieczyszczeń metalami ciężkimi. Kadm, chrom i ołów można usunąć zanurzając plechy w silnie kwasowym roztworze (kwasy: cytrynowy, chlorowodorowy lub azotowy) o pH 2,5–4,0 na 20 minut [Cho i Rhee 2020, Thiviya i in. 2022].

VI. WYKORZYSTANIE SZKARŁATNIC W ROLNICTWIE

Morskie makroglony były wykorzystywane do karmienia zwierząt gospodarskich od tysięcy lat, m.in. w starożytnej Grecji. Na Islandii, gdzie powszechne są długie okresy niedoboru paszy, owce żywiły się glonami na plażach. Glony stosowano również do skarmiania zwierząt (owiec, koni i bydła) przez około 6–8 tygodni w roku. Makroglony suszono, przechowywano w stodołach, a nawet konserwowano jako kiszonkę [Makkar i in. 2015]. Właściwości odżywcze i aktywność biologiczna makroglonów oraz wysokie tempo wzrostu sprawiają, że ich biomasa jest potencjalnie użytecznym surowcem do produkcji pasz, które mogą być stosowane do żywienia ryb hodowlanych i skorupiaków, ale także zwierząt lądowych. Jednak karmienie zwierząt makroglonami wiąże się również z potencjalnymi ograniczeniami, tj. nadmierną bioakumulacją pierwiastków nieorganicznych z wody morskiej (np. jodu) oraz metali ciężkich [Costa i in. 2021].

Makroglony stosowano m.in. u przeżuwaczy w celu poprawy wydajności wzrostu. Dietetyczne włączenie *Neopyropia* sp. do paszy sprzyjało wzrostowi jagniąt. Glon ten doprowadził do zwiększonego spożycia paszy u 5-miesięcznych jagniąt w porównaniu z dietą kontrolną opartą na kiszonce z trawy i rozdrobnionym owsie [Lind i in. 2020].

Szkarłatnica jest stosowana także w produkcji karmy dla ryb. Stwierdzono, że dodatek mączki glonowej do diety ryb poprawia wzrost, metabolizm lipidów, aktywność fizjologiczną, reakcję na stres, odporność na choroby i jakość tuszy różnych gatunków ryb [Morais i in. 2020].

VI. PODSUMOWANIE

Rodzaj szkarłatnica (*Neopyropia,* syn. *Porphyra*) jest obecnie jednym z najczęściej wykorzystywanych przez człowieka morskich krasnorostów i znajduje szerokie zastosowanie zarówno w przemyśle spożywczym, jak i w rolnictwie. Celem niniejszej pracy było zebranie i zestawienie najnowszych danych literaturowych na temat akwakultury glonów, ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju szkarłatnica. Zwrócono także uwagę na najważniejsze potencjalne zagrożenia związane z akumulacją przez plechy szkarłatnic metali ciężkich. Arsen stwierdzany jest często w plechach szkarłatnic jako główne zanieczyszczenie metalami ciężkimi i jest znanym czynnikiem rakotwórczym.

Neopyropia (syn. *Porphyra*) zawiera w swoim składzie znaczne ilości białka (25-48%), minerałów i witamin (tab. 1), z tego względu jest często stosowana do wzbogacania produktów spożywczych, takich jak: wina, zupy instant, makarony, dżemy, galaretki, owsianka, miękkie sery, kiełbaski, a także pieczywo. Glony z rodzaju szkarłatnica są popularnym źródłem pożywienia w wielu krajach azjatyckich (głównie Japonii, Chinach, Korei i in.). Przetwarzane są masowo na suchą żywność, znaną m.in. pod nazwą nori, która wykorzystywana jest na całym świecie, zwłaszcza jako składnik do sushi.

Morskie makroglony wykorzystywano do karmienia zwierząt gospodarskich od tysięcy lat. Obecnie dodawane są do pasz wielu zwierząt hodowlanych: owce, konie, bydło i in. Są także powszechnie wykorzystywane do produkcji karmy dla ryb. Zrównoważona akwakultura i produkcja morskich glonów w celach żywnościowych może pomóc zaspokoić rosnące potrzeby żywieniowe ludności, wymaga jednak dbałości i kontroli podczas produkcji, ze względu na potencjalne zagrożenia wynikające z dużej zawartości jodu i metali ciężkich.

BIBLIOGRAFIA

1. Ainsa A., Honrado A., Marquina P., Beltrán J.A., Calanche J. 2022. Influence of seaweeds on the quality of pasta as a plant-based innovative food. Foods. 11. 2525. doi.org/10.3390/foods11162525.
2. Ashkenazi D.Y., Figueroa F.L., Korbee N., García-Sánchez M., Vega J., Ben-Valid S., Paz G., Salomon E., Israel Á., Abelson A. 2022. Enhancing bioproducts in seaweeds via sustainable aquaculture: antioxidant and sun-protection compounds. Mar. Drugs. 20. 767. https://doi.org/10.3390/md20120767.
3. Callaway R., Shinn A.P., Grenfell S.E., Bron J.E., Burnell G., Cook E.J., Crumlish M., Culloty S., Davidson K., Ellis R.P., et al. 2012. Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland. Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst. 22. 389-421.
4. Cao J., Wang J., Wang S., Xu X. 2016. *Porphyra* species: a mini-review of its pharmacological and nutritional properties. J. Med. Food. 19 (2). 111-119.
5. Cho T.J., Rhee M.S. 2020. Health functionality and quality control of laver (*Porphyra, Pyropia*): current issues and future perspectives as an edible seaweed. Mar. Drugs. 18 (14). doi:10.3390/md18010014.
6. Chopin T., Yarish C., Wilkes R., Belyea E., Lu S., Mathieson A. 1999. Developing *Porphyra*/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry. J. Appl. Phycol. 11. 463-472.

7. Chung I., Kang Y.H., Yarish C., Kraemer G.P., Lee J. 2002. Application of seaweed cultivation to the bioremediation of nutrient-rich effluent. Algae. 17 (3). 187-194.
8. Costa M., Cardoso C., Afonso C., Bandarra N.M., Prates J.A.M. 2021. Current knowledge and future perspectives of the use of seaweeds for livestock production and meat quality: a systematic review. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 105. 1075-1102.
9. García-Poza S., Leandro A., Cotas C., Cotas J., Marques J.C. Pereira L., Gonçalves A.M.M. 2020. The evolution road of seaweed aquaculture: cultivation technologies and the industry 4.0. Int. J. Environ. Res. Public Health. 17. 6528. doi:10.3390/ijerph17186528.
10. Gil F.M. 2009. Natura 2000 i akwakultura. Wyd. Ministerstwo Środowiska. Warszawa.
11. Kapraun D.F, Lemus A.J. 1987. Field and culture studies of *Porphyra spiralis* var. *amplifolia*. Olivieira Filho et Coll (Bangiales, Rhodophyta) from Isla de Margarita, Venezuela. Botanica. Marina. 30. 483-490.
12. Kerrison P.D. 2016. Algae as crops seaweed. Encyclopedia of Applied Plant Sciences. Elsevier Academic Press. New York. Volume 3. pp. 148-152.
13. Knoop J., Barrento S., Lewis R., Walter B., Griffin J.N. 2022. Incorporating concepts of biodiversity into modern aquaculture: macroalgal species richness enhances bioremediation efficiency in a lumpfish hatchery. Algae. 37 (3). 213-226.
14. Kumar Y., Tarafdar A., Badgujar P.C. 2021. Seaweed as a source of natural antioxidants: therapeutic activity and food applications. J. Food Qual. 2021. 5753391.
15. Leandro A., Pacheco D., Cotas J., Marques J.C., Pereira L., Gonçalves A.M.M. 2020. Seaweed's bioactive candidate compounds to food industry and global food security. Life. 10. 140. doi:10.3390/life10080140.
16. Lind V., Weisbjerg M.R., Jørgensen G.M., Fernandez-Yepes J.E., Arbesú L., Molina-Alcaide E. 2020. Ruminal fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra* sp. Animals. 10. 79. doi.org/10.3390/ani10 010079.
17. Makkar H.P.S., Tranb G., Heuzé V., Giger-Reverdin S., Lessire M., Lebas F., Ankers P. 2015. Seaweeds for livestock diets: a review. Animal Feed Science and Technology. (2015). doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018.
18. Milhazes-Cunha H., Otero A. 2017. Valorisation of aquaculture effluents with microalgae: The Integrated Multi-Trophic Aquaculture concept. Algal Research. 24. 416-424.
19. Morais T., Inácio A., Coutinho T., Ministro M., Cotas J., Pereira L., Bahcevandziev K. 2020. Seaweed potential in the animal feed: a review. J. Mar. Sci. Eng. 8. 559. doi:10.3390/jmse8080559.
20. Neori A., Cohen I., Gordin H. 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fish-pond effluents: II. Growth rate, yield and C:N ratio. Bot. Mar. 34. 483-489.
21. Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A.H., Kraemer G.P., Halling Ch., Shpigel M., Yarish Ch. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture. 231. 361-391.
22. Paiva L., Lima E., Patarra R.F., Neto A.I., Baptista J. 2014. Edible Azorean macroalgae as source of rich nutrients with impact on human health. Food Chemistry. 164. 128-135.
23. Sutherland J.E., Lindstrom S.C., Nelson W.A., Brodie J., Lynch M.D., Hwang M.S., Choi H.-G., Miyata M., Kikuchi N., Oliveira M.C., Farr T., Neefus C., Mols-Mortensen A., Milstein D., Müller K.M. 2011. A new look at an ancient order: generic revision of the Bangiales (Rhodophyta). Journal of Phycology. 47 (5). 1131-1151.
24. Thiviya P., Gamage A., Gama-Arachchige N.S., Merah O., Madhujith T. 2022. Seaweeds as a source of functional proteins. Phycology. 2. 216-243.

25. van Groenigen J., Derksen G.C.H., Timmermans K.R. 2022. Review of presence, induction and isolation of major cellular constituents from *Porphyra sensu lato* (Rhodophyceae), including mycosporine-like amino acids (MAA's). J. Mar. Biol. Aquaculture Res. 4 (1). 30-46.
26. Vatsos I.N., Angelidis P., Theodoridis A., Batzios C. 2015. Integrated aquaculture – an old concept with new applications in Greece. Int. J. Data Analysis Techniques and Strategies. 7 (2). 129-140.
27. Xu N., Xu K., Wang W., Xu Y., Ji D., Chen C., Xie C. 2020. Nutrient enrichment improves growth and food quality of two strains of the economic seaweed *Pyropia haitanensis*. Front. Mar. Sci. 7. 544582. doi: 10.3389/fmars.2020.544582.
28. Yang L.-E., Deng Y.-Y., Xu G.-P., Russel S., Lu, Q.-Q., Brodie J. 2020. Redefining *Pyropia* (Bangiales, Rhodophyta): four new genera, resurrection of *Porphyrella* and description of *Calidia pseudolobata* sp. nov. from China. Journal of Phycology. 56 (4). 862-879.
29. Zalecenie w sprawie definicji akwakultury 2022. AAC 2022-18, lipiec 2022 r., Wyd. Komitet Doradczy ds. Akwakultury (AAC). Belgia. pp. 1-7. [dok. elektr.: *https://www.fao.org/3/x6941e/x6941e04.htm*, data wejścia: 29.01.2023].

SELECTED ASPECTS RELATED TO MACROALGAE AQUACULTURES ON THE EXAMPLE OF *NEOPYROPIA* (*PORPHYRA*)

Summary

For thousands of years algae have been used for food and agricultural purposes in Asian countries. In recent years they have become increasingly popular in aquaculture, especially in the integrated multitrophic aquaculture (IMTA), in which they process waste produced by fish, rich in, among others, into ammonia, phosphates and carbon, while producing new biomass. Products containing algae are characterized by a high content of protein, vitamins and minerals and are more often chosen by consumers, e.g. due to the trend towards healthy eating. Commercially grown species of the genus Neopyropia (syn. Porphyra, nori) are a valuable source of nutrients and can contribute to meeting the growing nutritional needs in the world. The article summarizes the latest literature on the use of Neopyropia macroalgae in aquaculture and food industry. Attention was also paid to the potential dangers resulting from contamination of algae products, mainly with heavy metals.

Keywords: *Neopyropia (Porphyra),* nori, food and agricultural use