

Znaczenie glonów brunatnych (*Phaeophyceae*) i ich wpływ na organizmy roślinne i zwierzęce

Dominika Rudawska, Joanna Wiśniewska, Paweł Drygaś, Agnieszka Szyszowska, Barbara Drygaś

DOI: 10.24131/3247.180201

Streszczenie:

Celem pracy było ukazanie znaczenia glonów należących do klasy brunatnic (*Phaeophyceae*) w różnych gałęziach gospodarki. W artykule przedstawiono krótką charakterystykę tych organizmów oraz wskazano najważniejsze substancje produkowane przez tę grupę. Omówiono możliwości zastosowania brunatnic w rolnictwie ze szczególnym uwzględnieniem produkcji roślinnej. Zwrócono również uwagę na możliwości wykorzystania brunatnic w medycynie, farmacji i kosmetologii oraz scharakteryzowano ich wpływ na organizm człowieka.

Słowa kluczowe: brunatnice (brown algae), glony (algae), wodorosty (seaweed)

otrzymano: 13.07.2018; przyjęto: 20.08.2018; opublikowano: 31.08.2018

Dominika Rudawska: Wydział Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego

Joanna Wiśniewska: Wydział Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego

Paweł Drygaś: Wydział Biologiczno-Rolniczy Uniwersytetu Rzeszowskiego



Agnieszka Szyszowska: Zakład Chemii Organicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Barbara Drygaś: Katedra Bioenergetyki i Analizy Żywności Uniwersytetu Rzeszowskiego

Wprowadzenie

Brunatnice (*Phaeophyceae*) to klasa makroglonów, do której zaliczają się największe glony na Ziemi (*Macrocystis pyrifera*). Są to organizmy w przeważającej części morskie, o plechach w postaci nici rozgałęzionych jedno- i wielorzędowych, często o charakterze pseudoparenchymatycznym. Występują one naturalnie w strefach litoralu i górnego sublitoralu na podłożu skalistym. Barwniki asymilacyjne stanowią chlorofile *a* i *c* oraz karotenoidy, natomiast materiał zapasowy stanowią poliglikany o długich łańcuchach z wiązaniami 1-3 oraz wiązaniami bocznymi 1-6 glikozydowymi. Poliglikany mogą niekiedy zawierać reszty mannozy lub mannitolu (chryzolaminaryna) oraz tłuszcze. Macierz zbudowana jest natomiast z kwasów alginowych. Żywe plechy często mają zielone zabarwienie, martwe brunatną barwę uzyskują na skutek utleniania się fenoli polihydroksyloowych (Wayda, 2018).

Wodorosty, głównie z klasy brunatnic, są szeroko wykorzystywane przez człowieka na skalę przemysłową. Artykuł zawiera przykłady takich zastosowań (rolnictwo i żywienie, medycyna i farmacja, kosmetologia) ze szczególnym uwzględnieniem wpływu na rośliny i zwierzęta, w tym na zdrowie człowieka oraz przegląd substancji odpowiedzialnych za ich działanie.

Metody przeglądu

W niniejszej pracy dokonany został przegląd piśmiennictwa w języku polskim i angielskim do lipca 2018 r. dotyczący charakterystyki oraz wykorzystania glonów *Phaeophyceae*. Literaturę wyszukiwano w bazach: Elsevier, PubMed, Springer z wykorzystaniem następujących słów kluczowych: brunatnice (*brown algae*), glony (*algae*), wodorosty (*seaweed*), zastosowanie (*application*), fukoidan (*fucoïdan*), medycyna (*medicine*).

Produkcja roślinna

Większość gatunków glonów wykorzystywanych rolniczo należy do klasy brunatnic (*Phaeophyceae*) i są to m.in. rodzaje *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria* (du Jardin, 2015). Glony brunatne wykorzystywane były w rolnictwie od czasów starożytnych, głównie w rejonach przybrzeżnych, bezpośrednio lub w postaci przekompostowanej. Ich nawozowe wykorzystanie ograniczone było głównie wysokim zasoleniem, zawartością piasku i powolnym czasem rozkładu, a przede wszystkim nieoptymalnym i utrudnionym transportem na większe odległości. Po opracowaniu metod ich obróbki zaczęto stosować je na większą skalę (Craigie, 2011, Rayorath i wsp., 2008). Po opracowaniu technologii upłynnienia, wykorzystanie alg wzrosło kilkudziesięciokrotnie, do czego przyczyniło się również rosnące zainteresowanie nawożeniem dolistnym (Craigie, 2011).

Do początku lat 70. ubiegłego stulecia, stan wiedzy na temat działania tych surowców opierał się głównie na obserwacji doświadczeń polowych i szklarniowych. W latach późniejszych, w związku z rozwojem m.in. technik chromatograficznych, pojawiły się możliwości identyfikacji związków występujących w tych surowcach. Obecnie udoskonala się metody analityczne chromatografii, spektrometrii MS tandemowej,

ilościowej spektroskopii NMR, co w połączeniu rozwojem metabolomiki pozwala na badanie zarówno samych ekstraktów, jak i traktowanych nimi roślin. Preparaty komercyjne stosowane w produkcji roślinnej produkowane są głównie z brunatnic *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima*, *Laminaria* spp., *Sargassum* spp., *Durvillaea* spp. czy *Fucus serratus* (Craigie, 2011).

Zastosowanie alg brunatnych w produkcji roślinnej polega głównie na stosowaniu ich jako regulatorów wzrostu i rozwoju roślin, osmoprotektantów, środków poprawiających właściwości gleby, rzadziej – źródła substancji odżywczych (Arioli i wsp., 2015).

Działanie ochronne przed stresem solnym brunatnic wykorzystuje się również w rekultywacji zasolonych gleb (przez sporządzanie z nich odpowiednich roztworów) (Arioli i wsp., 2015, Nabti i wsp., 2017), a właściwości te uzyskuje się dzięki zawartym w nich m.in. betainom i prolinom (Calvo i wsp., 2014). Wykazano również korzystny wpływ ekstraktów z *Fucus spiralis* na *Phaseolus vulgaris* w warunkach niedoboru wody.

Inne przykłady wykorzystania ekstraktów z brunatnic to m.in. zastosowanie *Ascophyllum nodosum* do *Amaranthus tricolor* poprawiające kwitnienie w warunkach wysokiej wilgotności, stymulowanie kiełkowania i wzrostu sadzonek pomidora *Lycopersicon* spp. w warunkach stresu solnego czy zastosowanie *Durvillaea plantarum* do poprawy wzrostu i plonowania roślin fasoli przy niedoborze wody (Craigie, 2011, Nabti i wsp., 2017). *Fucus spiralis* spowodował u *Phaseolus vulgaris* uprawianym w warunkach hydroponicznych wzrost części wegetatywnych i poprawę parametrów biochemicznych (Latiq i wsp., 2013). Znane są pozytywne efekty działania makroglonów z klasy brunatnic na mikroflorę glebową przez promowanie namnażania bakterii pobudzających wzrost roślin i antagonistów patogenów. Mogą również przyspieszać wychodzenie

nasion ze stanu spoczynku oraz zawiązywanie owoców (Craigie, 2011). W algach morskich stwierdzono obecność cytokinin oraz auksyn i substancji auksynopodobnych. Przykładowo, ekstrakt z *Ascophyllum nodosum* zawierał 50 mg kwasu indoliloctowego na 1 gram suchej masy. Zastosowanie niskiego stężenia ekstraktu z brunatnicy *Ascophyllum nodosum* do gleby lub liści pomidorów zwiększało zawartość chlorofilu w liściach w porównaniu do kontroli, co sugeruje, że wzrost zawartości chlorofilu może być efektem działania betain opóźniających jego rozkład (Khan i wsp., 2009, Khan i wsp., 2011). Znany jest również stymulujący wpływ tej brunatnicy na wzrost i rozwój korzeni i ich symbiotycznych bakterii (Alam i wsp., 2013, Ali i wsp., 2016, Khan i wsp., 2009, Khan i wsp., 2012), lepsze przyswajanie składników odżywczych (Rogowska, 2011), zwiększenie syntezy niektórych fitohormonów (Loureiro i wsp., 2012), przeciwdziałanie stresom abiotycznym (Gupta i Abu-Ghannam, 2011, Khan i wsp., 2009, Nair i wsp., 2012).

Algi morskie, zwłaszcza z klasy brunatnic, stanowią cenne źródło substancji bioaktywnych stymulujących procesy życiowe roślin, wykazują korzystne oddziaływanie na glebę i glebowe mikroorganizmy. Ich stymulujące działanie zostało wielokrotnie udowodnione naukowo, jednak część substancji aktywnych i mechanizmów działania pozostaje wciąż niewyjaśniona, co stawia przed naukowcami szereg wyzwań.

Medycyna

Brunatnice, takie jak listowica japońska (*Laminaria japonica*) czy undaria pierzastodzielna (*Undaria pinnatifida*) przez długi okres czasu były stosowane w kuchni nie tyle azjatyckiej, co w krajach nadmorskich, gdzie zyskały status roślin leczniczych. Obecnie suplementy z morskich alg zyskują coraz większe znaczenie w ob-

szarach medycyny i farmacji, głównie ze względu na produkcję takich substancji jak polifenole, fukoidan, fukoksantyna czy fluorotaniny, które charakteryzują się między innymi działaniami przeciwnowotworowymi, antywirusowymi, antyoksydacyjnymi czy przeciwcukrzycowymi.

Brunatnice syntezują polifenole, które według badań prowadzonych przez Hwang'a i współautorów zmniejszają skutki kancerogennego działania promieni UVB. Badania prowadzone były na bezwłosych myszach, które w jednym eksperymencie zostały podzielone na 9 grup. Jedną z tych grup była grupa kontrolna, która nie była poddawana działaniu polifenoli, natomiast pozostałe grupy były podzielone na te, które były karmione polifenolami brunatnic (w dawce 0,1% i 0,5%) i te, które miały podawany preparat z polifenolami miejscowo (3 i 6 mg/0,2 ml) w odpowiednich dawkach. Wszystkie 9 grup były poddane naświetlaniu promieniowaniem UVB przez okres 26 tygodni. W efekcie redukcja objętości czerniaka u myszy karmionych odpowiednio dawkami 0,1% i 0,5% wynosiła 54% i 65%, a intensywność podziałów zmalała o 45% i 56% w porównaniu z grupą kontrolną. Myszy, które miały podawany preparat miejscowy w dawkach 3 i 6 mg wykazały zmniejszenie objętości nowotworu odpowiednio o 66% i 57% i intensywności podziałów o 60% i 46%. Karmienie myszy polifenolami zmniejsza wystąpienie nowotworu o 6%, a podawanie miejscowe zmniejsza takowe zdarzenie aż o 21% według przeprowadzonych obserwacji (Hwang i wsp., 2006).

Inna substancja izolowana z brunatnic tj. fukoidan (siarczanowana fukoza) ma możliwość indukowania apoptozy ludzkich komórek raka okrężnicy HCT116 i HT-29 przez aktywację drogi zewnątrzkomórkowej (związanej z receptorami błony komórkowej) i wewnątrzkomórkowej programowanej śmierci komórki (związanej z udziałem mitochondriów). Badania wyka-

zały spektrum działań jakie ta substancja wywarła na komórki nowotworu, m.in. zwiększanie przepuszczalności błony mitochondrium, uwalnianie cytochromu *c* z mitochondriów, czy wzrost stężenia kaspaz-3, -7, -8 i -9 (w HT-29) (Kim i wsp., 2010).

Fukoidan uzyskiwany z Mekabu (sporofitu *Undaria pinnatifida*) zwiększa intensywność odpowiedzi przeciwnowotworowej. Badania prowadzone na myszach pokazały, że rozwój nowotworu w populacji myszy karmionych pożywieniem z Mekabu był znacznie, bo aż o 65,4%, wolniejszy od rozwoju nowotworu w grupie kontrolnej. Szczegółowe badania dowiodły, że w obecności fukoidanu zwiększa się aktywność limfocytów Th1 oraz NK, które to odpowiadają za redukcję wzrostu nowotworu. Fukoidan hamuje również ekspresję i aktywację układu przekaźników JAK/STAT, które odgrywają rolę w patogenezie raka prostaty oraz reumatoidalnego zapalenia stawów (Rui i wsp., 2017, Krywejkó i wsp., 2010).

Według innych badań, fukoidan pozyskany z tej samej brunatnicy ma właściwości antywirusowe, co zostało zbadane na myszach infekowanych dwoma podtypami wirusa grypy typu A tj. H5N3 i H7N2. Mechanizm tej właściwości polegał na inhibicji replikacji wirusa, jak również na wzmożeniu produkcji przeciwciał klasy IgA (Pereira, 2018).

Właściwości przeciwzakrzepowe fukoidanu zostały udowodnione w badaniach z udziałem brunatnicy z gatunku *Fucus evanescens*. Badania były przeprowadzone zarówno *in vitro*, jak i *in vivo*. W badaniu *in vitro* porównano działania przeciwzakrzepowe heparyny i fukoidanu, których działanie okazało się zbliżone. Mechanizm działania przeciwzakrzepowego polega na tym, iż fukoidan aktywuje antytrombinę III, która z kolei hamuje działanie trombiny. W badaniach *in vivo* myszom wstrzykiwano dootrzewonowo jedną dawkę fukoidanu. Po 15 minutach po wstrzyknięciu fukoida-

nu czas krzepnięcia wzrósł od 3,3 do 4,7 razy. Działanie antykoagulacyjne okazało się krótkotrwałe, bo już po 60 minutach czas krzepnięcia wracał do normalnych wartości (Kuznetsova i wsp., 2003).

Fukoidan pozyskiwany z brunatnicy z gatunku *Undaria pinnatifida* okazał się inhibitorem replikacji HSV-1, a także zwiększał on wydolność układu odpornościowego. Badania prowadzone były *in vitro* oraz *in vivo*. W czasie eksperymentu prowadzonego *in vitro* zaobserwowano wzrost aktywności limfocytów B i makrofagów, jednak nie zaobserwowano uwalniania NO₂ przez makrofagi. Obserwacje poczynione w eksperymencie przeprowadzonym *in vivo* na myszach z immunosupresją indukowaną 5-fluorouracylem wykazały zwiększenie aktywności komórek NK i CTL, a po 3 tygodniach podawania fukoidanu stwierdzono wzrost stężenia immunoglobulin neutralizujących (Hayashi, 2008).

Fukoidan, w zależności od dawki, ma również wpływ na intensywność lipolizy przez indukcję w preadipocytach 3T3-L1, co zapobiega akumulacji lipidów przez równoczesne hamowanie różnicowania adipocytów. Jak wynika z badań, przy zastosowaniu fukoidanu w stężeniu 100 µg/ml kumulacja lipidów zmniejszyła się o 16,5%, natomiast przy stężeniu fukoidanu 200 µg/ml kumulacja lipidów obniżyła się o 52,2%. Ten sulfonowany polisacharyd hamuje ekspresję genów kodujących białka PP2, ACC i PPAR γ , a wzmacnia ekspresję genów dla lipazy hormonozależnej (HSL). Przez zwiększenie stężenia białek HSL i p-HSL zmniejsza się znacznie wychwyt glukozy przez komórki 3T3-L1, co również wpływa na obniżenie akumulacji tłuszczów. W efekcie tych badań stwierdza się, że fukoidan może być wykorzystany jako składnik preparatów w stosowanych w leczeniu otyłości (Park i wsp., 2011).

Kolejną substancją uznaną za istotną z punktu widzenia medycyny jest fukoksantyna uzyskiwana m.in. z listowicy japońskiej (*Saccharina japonica*). W wyniku

badan stwierdzono, że posiada ona właściwości antyoksydacyjne. W badaniu przygotowano komórki HepG2 i wystawiano je na działanie fukoksantyny i wyciągu z *L. japonica*. W efekcie badań udowodniono, że fukoksantyna może bronić komórki wątroby przed stresem oksydacyjnym przez aktywację szlaku AMPK biorącego udział w kontroli autofagii (Jang i wsp. 2018).

Oprócz tego fukoksantyna może być silnym blokerem mikrotubulinowych włókien w tym samym stopniu jak kolchicina dla komórek nowotworowych, co w ostateczności będzie skutkowało zatrzymaniem procesu podziałowego komórek nowotworowych na etapie mitozy (Januar i wsp., 2018).

Według innych badań, fukoksantyna uzyskiwana m.in. z *Eisenia bicyclis* czy *Undaria pinnatifida* ma duży potencjał przeciwcukrzycowy. Zostało to udowodnione poprzez badanie hamującego wpływu fukoksantyny na RLAR (reduktaza aldozowa szczura), HRAR (ludzka rekombinowana reduktaza aldozowa), zaawansowanego procesu tworzenia glikacji (AGE), PTP1B i α -glikozylazy (aktywność hamująca dla tego enzymu zaczyna się od dawki 200 µM fukoksantyny).

Inne substancje często występujące u wielu gatunków brunatnic pochodzą z grupy fluorotanin. Wykazują one działanie antyoksydacyjne oraz charakteryzują się dobrymi zdolnościami wychwytu wolnych rodników, w tym wewnątrzkomórkowych. Ponadto badania donoszą, że posiadają właściwości hepatoprotekcyjne. Fluorotanimy chronią komórki przed programowaną śmiercią w mechanizmie hamującym ekspresję tzw. „białek śmierci”, w którym uczestniczy receptor Fas. Oprócz tego hamują one uwalnianie cytochromu *c* z mitochondriów do cytozolu (Lee i wsp., 2012).

W ostatnim czasie trwają badania nad właściwościami sargachromanolu G. Wydobytą z *Sargassum siliquastrum* substancja może okazać się przydatna w leczeniu chorób neurodegeneracyjnych, w których

istotną rolę ma nadprodukcja cytokin przez mikroglej. Przeciwwzpalne działanie sargachromanolu G polega na hamowaniu następujących szlaków: IκB-α / NF-κB i ERK / JNK (Kim i wsp., 2014).

Żywienie człowieka

Spożycie alg morskich w ostatnich latach znacznie wzrasta przez możliwość zyskania mnogich korzyści zdrowotnych, od wyleczenia przeziębienia aż po hamowanie rozwoju nowotworów. W celu uniknięcia wystąpienia skutków niepożądanych wynikających ze stosowania diet opartych na spożywaniu alg, należy rozważyć kilka kwestii. Po pierwsze, należy dokładnie poznać dany gatunek alg, a także sezon, w którym cechuje go najlepszej jakości wartość odżywcza dla człowieka. Zawartość polisacharydów w okresach letnich jest wyższa niż w zimowych, odwrotnie niż w przypadku białek. Po drugie należy rozważyć, która część glonu jest biodostępna dla człowieka i jakie czynniki wpłyną na uwalnianie czynników odżywczych, czy to już na etapie przygotowywania pokarmu (co może podnieść, jak i obniżyć wartość odżywczą potraw), czy wchłaniania w jelicie. Trzecia kwestia dotyczy tego, jak dana żywność wpłynie na zachowania metabolizmu, a więc można tu dyskutować również o kwestiach bliskich medycynie lub z nią bezpośrednio związanych. Rozważenie tych kwestii pozwoli na dobranie odpowiednich metod w obróbce alg, aby jak najlepiej przysłużyły się ludzkiemu zdrowiu oraz aby dostarczyły jak największej ilości substancji odżywczych (Wells i wsp., 2018).

Jadalne wodorosty morskie wykorzystywane są w tradycyjnej kuchni azjatyckiej od czasów starożytnych. W krajach europejskich i Stanach Zjednoczonych wodorosty są spożywane głównie ze względu na ich wartość odżywczą (Buschmann i wsp., 2017, Rioux i wsp., 2017). Wiele glonów wykorzystywanych jest jako skład-

niki potraw. Do najpopularniejszych należy undaria piezastodzielna (*Undaria pinnatifida*), znana pod lokalną nazwą wakame. Jest to rodzaj brązowych wodorostów, który zyskał na popularności dzięki wysokiej zawartości błonnika i fukoksantyny oraz niskiej wartości energetycznej. Fukoksantyna znalazła zastosowanie w suplementach odchudzających jako tzw. spalacz tłuszczu. Badania dowodzą, że fukoksantyna obniża stężenie triglicerydów w osoczu oraz, że zwiększa stężenie lipidów w kale. Oprócz tego fukoksantyna wpływa na zwiększenie stężenia HDL (lipoproteina wysokiej gęstości) w osoczu. Badania dowodzą również, że fukoksantyna przeciwdziała hiperглиkemii. Fukoksantyna, zmniejsza agregację tłuszczów, wpływa ochronnie na układ krążenia. Wakame zawiera również duże ilości błonnika pokarmowego (40,95% z czego 28,4% to błonnik nierozpuszczalny, a 12,5% rozpuszczalny), prawie 12% stanowią białka, zawartość tłuszczu nie przekracza 1% (0,88%). Zawartość składników mineralnych wynosi aż 37 % (Niu i wsp., 2015, López-López i wsp., 2010, Balbas i wsp., 2015).

W kuchni azjatyckiej powszechnie wykorzystywana jest również *Saccharina japonica* znana pod tradycyjną nazwą kombu. Jest to popularna, jadalna alga hodowana głównie w Chinach i Japonii. Światowa produkcja kombu w 2015 roku wynosiła 8 mln ton, z czego 90% zostało wyprodukowane w Chinach (Yo i wsp., 2018). Kombu zawiera duże ilości błonnika pokarmowego (30-40 g/100 g suchej masy), a także fukoidan oraz alginian (Kato i wsp., 2016). Alginiany należące do grup hydrokoloidów, są polisacharydami pozyskiwanymi z różnych rodzajów alg. Przez zdolność tworzenia żeli są szeroko stosowane jako środki zagęszczające i stabilizujące w różnych produktach spożywczych, jak galaretki czy napoje. Okazuje się on przydatny także w środkach odchudzających. Alginian jest stosowany w farmacji w produkcji leku Gaviscon mającego zahamować refluks.

W brunatnicach został również zidentyfikowany kwas dokozaheksaenowy (DHA). Jest to kwas tłuszczowy omega-3, który wykazuje w badaniach przeprowadzanych u osób starszych działanie poprawiające funkcjonowanie pamięci i zdolności uczenia się (Yurko-Mauro i wsp., 2010). Działanie to jednak nie zostało wykazane u osób cierpiących na chorobę Alzheimera (Quinn i wsp., 2010). Z badań prowadzonych u osób w średnim wieku wynika, że DHA wpływa pozytywnie na rozwój rozumowania niewerbalnego, elastyczności umysłowej, pamięci roboczej i słownictwa (Muldoon i wsp., 2010). W badaniach przeprowadzonych u mężczyzn, którzy przyjmowali DHA, odnotowano zmniejszone stężenie markerów zapalenia. DHA pozyskiwane z alg jest stosowane w wytwarzaniu olei roślinnych, które pod względem zawartości kwasów tłuszczowych omega-3 konkurują z olejami pozyskiwanymi z ryb. DHA z uwagi na duże znaczenie zdrowotne stanowi często skład suplementów diety.

Algi brunatne jako składnik kosmetyków

Brunatnice są źródłem wielu związków, które znalazły zastosowanie w kosmetyce. Składniki pozyskiwane z alg pełnią jedną z trzech głównych funkcji: mogą być stosowane jako dodatki polepszające właściwości organoleptyczne, używa się ich do stabilizacji i konserwacji produktów oraz wykorzystuje jako związki bioaktywne (Bedoux i wsp., 2014).

Dzięki zawartości polisacharydów, takich jak na przykład: alginiany, karageny i agary, glony są stosowane jako stabilizatory, środki zagęszczające i emulgatory w różnych sztyftach, kremach, płynach, mydłach, szamponach, pastach do zębów, piankach i żelach (Bedoux i wsp., 2014). Wyciągi z wodorostów prezentują szereg różnych funkcji związanych z przeciwdziałaniem starzeniu się skóry, ochroną przed promieniowaniem UV,

nawilżaniem, redukcją tkanki tłuszczowej. Związki zawarte w brunatnicach biorą udział w przeciwdziałaniu procesowi starzenia się skóry, uzależnionym od współdziałania m. in. takich czynników jak wiek, ekspozycja na światło słoneczne, zanieczyszczenia, dieta, leki, używki, których działanie prowadzi do wytwarzania nadmiernej ilości wolnych rodników tlenowych a w konsekwencji - do stresu oksydacyjnego (Masaki, 2010, Wang i wsp., 2015). Algi stosowane są do produkcji kosmetyków antystarzeniowych z uwagi m.in. na wysoką zawartość przeciwutleniaczy. Przed uszkodzeniami związanymi ze stresem oksydacyjnym chroni również zawarta w brunatnicach fukoksantyna. Inną ważną grupą antyoksydantów są polifenole występujące w glonach - grupa związków o szerokiej gamie właściwości leczniczych (Wang i wsp., 2015). Istotną właściwością brunatnic w kontekście zastosowania ich w kosmetologii jest zdolność do fotoprotekcji. Nadmiar promieniowania UV, prócz oczywistych skutków, jak poparzenia, może prowadzić do wytwarzania tlenowych rodników, do proliferacji onkogenów i mutacji powodujących nowotwory. U brunatnic rozwinęły się mechanizmy, które przeciwdziałają szkodliwemu wpływowi UVA i UVB, wytwarzając pigmenty, takie jak karotenoidy i związki fenolowe pochłaniające promieniowanie, które mogą chronić także ludzkie komórki fibroblastów przed śmiercią komórkową indukowaną przez UV i tłumić starzenie wywołane promieniowaniem UV w skórze (Bedoux i wsp., 2014).

W badaniu oceniającym wykorzystanie wyciągu z *Dictyota coriacea* jako składnika balsamu do ust, potwierdzono jego zdolności wychwytywania wolnych rodników i aktywność przeciwdrobnoustojową oraz potwierdzono istotne zwiększenie zatrzymywania wilgoci w skórze warg (Choi i wsp., 2014). Florotanina izolowana m.in. z *Ecklonia cava* przyczynia się do ochrony ludzkich fibroblastów przed uszkodzeniami związany-

mi z pominiowaniem UV (Dudkowska i Kucharewicz 2014, Cheo i wsp., 2009). Ponadto kilka flortanin, które pozyskiwane są z brązowych wodorostów morskich, takich jak *E. cava*, *E. kurome*, *E. bicyclis* i *H. fusiformis*, jest odpowiedzialnych za silne działanie przeciwutleniające i wykazuje działanie ochronne przeciwko uszkodzeniu komórek wywołanym nadtleniem wodoru (Ermakova i wsp., 2011, Yong-Xin i wsp., 2011).

Coraz popularniejsze na świecie staje się rozjaśnianie (wybielanie) skóry. Hamowanie tyrozynazy jest najczęstszym sposobem stosowanym do uzyskania efektu rozjaśnienia skóry, ponieważ enzym ten katalizuje etap ograniczający szybkość pigmentacji. Związki bioaktywne pochodzące z alg morskich wykazują potencjał do stosowania jako środki wybielające skórę. Fukoksantyna izolowana z alg tłumi aktywność tyrozynazy w napromieniowanych świnkach morskich i melanogenezę u myszy napromieniowanych UVB (Noel-Vinay i Se-Kwon, 2013). Doustne przyjmowanie fukoksantyny znacząco tłumi ekspresję mRNA skóry związaną z melanogenezą, co sugeruje, że fukoksantyna negatywnie reguluje aktywność melanogenezy w fazie transkrypcji (Noel-Vinay i Se-Kwon, 2013).

Możliwe jest stosowanie polifenoli z brązowych alg, flortanin, jako potencjalnych środków chemioterapeutycznych przeciwko fotokarcynogenezie i innym niekorzystnym skutkom ekspozycji na UVB.

Innym zastosowaniem brunatnic jest produkcja preparatów antycellulitowych i wyszczuplających. Celulit są to zmiany biochemiczne obejmujące zwiększoną lipogenezę, zmniejszoną lipolizę i zwiększone przechowywanie lipidów w adipocytach (Bedoux i wsp., 2014). Glony najczęściej stosowane w preparatach antycellulitowych i wyszczuplających to wodorosty brunatne. Używa się ich w celu zwiększenia przepływu mikrokrążenia, zmniejszenia lipogenezy i pobudzenia lipolizy, które przywracają normalną strukturę skóry właści-

wej i tkanki podskórnej oraz zmiatają wolne rodniki lub zapobiegają ich tworzeniu (Bedoux i wsp., 2014).

Podsumowanie

Brunatnice (*Phaeophyceae*) znalazły szerokie zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki. Używane są m.in. w rolnictwie jako biostymulatory. Powszechnie stosowane są w różnego rodzaju preparatach kosmetycznych jako stabilizatory, konserwanty, środki zagęszczające, emulgatory i fotoprotektory. Spowalniają one proces starzenia, a także są wykorzystywane w preparatach zmniejszających ilość tkanki tłuszczowej. Niezwykle istotna jest rola wodorostów w medycynie. Wiele substancji produkowanych przez te glony jest biologicznie czynnych w różnych aspektach, co może być podstawą do produkcji nowych leków.

Literatura

- alam MZ, Braun G, Norrie J, Hodges DM (2013). Effect of Ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Can J Plant Sci.* 93(1):23-36.
- Ali N, Farrell A, Ramsuhag A, Jayaraman A (2016). The effect of Ascophyllum nodosum extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. *J Appl Phycol.* 28(2):1353-1362.
- Bedeoux G., Hardouin K., Burlot A. S., Bourgougnon N. (2014) Bioactive Components from Seaweeds: Cosmetic Applications and Future Development. *Adv Bot Res.* 71: 345-378.
- Craigie J (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J Appl Phycol.* 23(3):371-393.
- Du Jardin P (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Sci Hortic.* 196:3-14.
- Gupta S, Abu-Ghannam, N (2011). Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. *Trends Food Sci Tech.* 22:315-326.
- Hayashi K, Nakano T, Hashimoto M, Kanekiyo K, Hayashi T (2008). Defensive effects of a fucoidan from brown alga *Undaria pinnatifida* against herpes simplex virus infection. *Int Immunopharmacol.* 8(1):109-16.
- Hwang H, Chen T, Nines RG, Gary HC, Stoner D (2006) Photoche-

- moprevention of UVB-induced skin carcinogenesis in SKH-1 mice by brown algae polyphenols. *Int J Cancer*. 119:2742–2749.
- Jang EJ, Kim SC, Lee JH, Lee JR, Kim IK, Baek SY, Kim YW (2018). Fucoxanthin, the constituent of *Laminaria japonica*, triggers AMPK-mediated cytoprotection and autophagy in hepatocytes under oxidative stress. *BMC Complement Altern Med*. 20:18(1):97.
- Januar HI, Dewi AS, Marraskuranto E, Wikanta T (2012). In silico study of fucoxanthin as a tumor cytotoxic agent. *J Pharm Bioalied Sci*. 4(1):56–59.
- Khan W, Rayirath UP, Subramanian S, Jithesh MN, Rayorath P, Hodges DM, Crithley AT, Craigie JS, Norrie J, Prithviraj B (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J Plant Growth Regul*. 28(4):386–399.
- Khan W, Zhai R, Souleimanov A, Crithley AT, Smith DL, Prithviraj B (2012). Commercial extract of *Ascophyllum nodosum* improves root clonization of alfalfa by its bacterial symbiont *Sinorhizobium meliloti*. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 43(18).
- Kim EJ, Park SY, Lee JY, Park JH (2010). Fucoidan present in brown algae induces apoptosis of human colon cancer cells. *BMC Gastroenterology*. 10:96.
- Kim S, Lee MS, Lee B, Gwon WG, Joung EJ, Yoon NY (2014). Kimcorresponding H.R., Anti-inflammatory effects of sargachromenol-rich ethanolic extract of *Myagropsis myagroides* on lipopolysaccharide-stimulated BV-2 cells. *BMC Complement Altern Med*. 14:231.
- Krywejko J, Pokorna-Kałwak D, Czarny A, Zaczyńska E, Szymrka-Kaczmarek M, Wiland P, Steciwko A (2010). Ekspresja kinazy Jak3 i aktywacja białka Stat3 u chorych na reumatoidalne zapalenie stawów i spondyloartropatie zapalne. *Reumatologia*. 48, 4: 237–246.
- Kuznetsova TA, Besednova NN, Mamaev AN, Momot AP, Shevchenko NM, Zvyagintseva TN (2003). Anticoagulant activity of fucoidan from brown algae *Fucus evanescens* of the Okhotsk Sea. *Bull Exp Biol Med*. 136(5):471–3.
- Latique S, Chernane H, Mansori M, El Kaoua M (2013). Seaweed liquid fertilizer effect on physiological and biochemical parameters of bean plant (*Phaseolus vulgaris* variety *paulista*) under hydroponic system. *ESJ*. 9(30):174–191.
- Lee MS, Shin T, Utsuki T, Choi JS, Byun DS, Kim HR (2012). Isolation and identification of phlorotannins from *Ecklonia stolonifera* with antioxidant and hepatoprotective properties in tacrine-treated HepG2 cells. *J Agric Food Chem*. 30:60(21):5340–9.
- Manaf HH (2016). Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. *Ann Agr Sci*. 61(1):41–48.
- Masaki H. (2010) Role of antioxidants in the skin: Anti-aging effects. *J Dermatol Sci*. 58(2): 85–90.
- Muldoon MF, Ryan CM, Sheu L, Yao JK, Conklin SM, Manuck SB (2010). Serum phospholipid docosahexaenoic acid is associated with cognitive functioning during middle adulthood. *J Nutr*. 140(4):848–53.
- Nabti E, Jha B, Hartmann A (2017). Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. *IJEST*. 14(5):1119–1134.
- Nair P, Kandasamy S, Zhang J, Ji X, Kirby C, Benkel B, Hodges MD, Crithley AT, Hitz D, Prithviraj B (2012). Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Genomics*. 13:(643).
- Park MK, Jung U, Roh C (2011). Fucoidan from Marine Brown Algae Inhibits Lipid Accumulation. *Marine Drugs*, 9(8):1359–1367.
- Pereira L, (2018) Therapeutic and Nutritional Uses of Algae. CRC Press, ss. 672.
- Quinn JF, Raman R, Thomas RG, Yurko-Mauro K, Nelson EB, Van Dyck C, Galvin JE, Emond J, Jack CR, Weiner M, Shinto L, Aisen PS (2010). Docosahexaenoic acid supplementation and cognitive decline in Alzheimer disease: a randomized trial. *JAMA*. 3:304(17):1903–11.
- Rayorath P, Jithesh MN, Farid A, Khan W, Palanisamy R, Hankins SD, Crithley AT, Prithviraj B (2008). Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *J Appl Phycol*. 20(4):423–429.
- Rogowska A (2011). *Ascophyllum nodosum* – francuskie doświadczenia perspektywę dla polskiego rolnictwa. *Poradnik Gospodarski* 4.
- Rui X, Pan H, Shao S, Xu X (2017). Anti-tumor and anti-angiogenic effects of Fucoidan on prostate cancer: possible JAK-STAT3 pathway. *BMC Complement Altern Med*. 17:378.
- Sharma G, Naushad M, Al-Muhtaseb AH, Kumar A, Khan MR, Kalia S, Bala M, Sharma A (2017). Fabrication and characterization of chitosan-crosslinked-poly(alginate) nanohydrogel for adsorptive removal of Cr(VI) metal ion from aqueous medium. *Int J Biol Macromol*. 95:484–493.
- Wang H-M. D., Chen Ch-Ch., Huynh P., Chang J-S. (2010) Exploring the potential of using algae in cosmetics. *Bioresource Technol*. 184: 355–362.
- Wayda M., Glony. Dostęp online z dnia 01.05.2018 (tropheus.com.pl)
- Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, Smith AG, Camire ME, Brawley SH (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J Appl Phycol*. 29(2):949–982.
- Yurko-Mauro K, McCarthy D, Rom D, Nelson EB, Ryan AS, Blackwell A, Salem NJ, Stedman M, MIDAS Investigators (2010). Beneficial effects of docosahexaenoic acid on cognition in age-related cognitive decline. *Alzheimers Dement*. 6(6):456–64.
- Niu J, Chen X, Lu X, Jiang SG, Lin HZ, Liu YJ, Huang Z, Wang J, Wang Y, Tian LX (2015). Effects of different levels of dietary wakame (*Undaria pinnatifida*) on growth, immunity and intestinal structure of juvenile *Penaeus monodon*. *AQUACULTURE*. 435:78–85.
- López-López I, Cofrades S, Yakan A, Solas MT, Jiménez-Colmenero F (2010). Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat beef patties as affected by Wakame addition and replacing pork backfat with olive oil-in-water emulsion. *FOOD RES INT*. 43:1244–1254.
- Balbas J, Hamid N, Liu T, Kantono K, Robertson J, White WL, Ma Q, Lu J (2015). Comparison of physicochemical characteristics, sensory properties and volatile composition between commercial and New Zealand made wakame from *Undaria pinnatifida*. *FOOD CHEM*. Article in press.
- Buschmann AH, Camus C, Infante J, Neori A, Israel Á, Hernández-González MC, Pereda SV, Gomez-Pinchetti JL, Golberg A, Tadmor-Shalev N, Critchley AT (2017). Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *EUR J PHYCOL*. 52(4):391–406.
- Rioux LE, Beaulieu L, Turgeon SL (2017). Seaweeds: a traditional ingredients for new gastronomic sensation. *Food Hydrocolloids*, 68:255–265.
- Yu X, Xiong C, Jensen KB, Glabonjat RA, Stiboller M, Raber G, Francesconi KA (2018). Mono-acyl arsenosugar phospholipids in the edible brown alga Kombu (*Saccharina japonica*). *FOOD CHEM*. 240:817–821.
- Kato K, Hayashi M, Umene S, Masunaga H (2016). A novel method for producing softened edible seaweed kombu. *LWT-FOOD SCI TECHNOL*. 65:618–623.
- Choi M, Yoo D, Shin Y (2014) Preparation of lip balm utilizing functionalities of colorants extracted from marine algae. *KSDF* 26(2): 124–130.
- Heo SJ, Ko SC, Cha SH, Kang DH, Park HS, Choi YU, Kim D, Jung WK, Jeon YJ (2009) Effect of phlorotannins isolated from *Ecklonia cava* on melanogenesis and their protective effect against photo-oxidative stress induced by UV-B radiation. *Toxicol In Vitro* 23: 1123–1130.
- Dudkowska M, Kucharewicz K (2014) Związki pochodzenia naturalnego modulujące starzenie i śmierć komórek. *Postępy biochemii* 60(2): 207–220.
- Yong-Xin L, Isuru W, Yong L, Se-Kwon K, Phlorotannins as bioactive agents from brown algae. *Process Biochemistry* 46(12): 2219–2224.
- Emakova S, Sokolova R, Sang-Min K, Byung-Hun Um A, Isakov V, Zvyagintseva T (2011) *Appl. Biochem. Biotechnol*. 164(6): 841–850.

Significance of brown algae (*Phaeophyceae*) – their influence on plants and animals

Dominika Rudawska, Joanna Wiśniewska, Paweł Drygaś, Agnieszka Szyszkowska, Barbara Drygaś

The aim of the present study was to show the importance of algae belonging to the class of brown algae (*Phaeophyceae*) in various branches of the economy. The article presents a short description of these organisms and indicates the most important substances produced by this group. The possibilities of using brown seaweeds in agriculture with particular emphasis on plant production are discussed. Attention was also paid to the possibility of using brown algae in medicine, pharmacy and cosmetology as well as their impact on the human body was explained.

Key words: brown algae, algae, seaweed