

MAGDALENA KARWACKA, AGNIESZKA CIURZYŃSKA, MONIKA
JANOWICZ, SABINA GALUS

ALGI MORSKIE – NIEKONWENCJONALNY SKŁADNIK ŻYWNOŚCI

Streszczenie

Wprowadzenie. W ostatnich latach zauważalne jest wzrastające zainteresowanie substancjami pozytywnymi z alg morskich, takimi jak błonnik pokarmowy, hydrokoloidy i substancje bioaktywne. Wiąże się to z rosnącą świadomością wpływu odżywiania na zdrowie, co prowadzi do poszukiwań składników żywności mogących korzystnie wpływać na organizm.

Wyniki i wnioski. Algi morskie, występujące naturalnie w czterech grupach zróżnicowanych pod względem dominującego barwnika, są bogatym źródłem białek, witamin, minerałów i niezbędnych kwasów tłuszczowych, oferując wiele możliwości zastosowania jako nowe źródło żywności oraz dodatki funkcjonalne. Najczęściej algi są wykorzystywane jako surowiec do produkcji hydrokoloidów, w tym alginianu, agaru i karagenu oraz barwników, które stanowią alternatywę dla dodatków syntetycznych. Regulacje Unii Europejskiej dotyczące wprowadzania produktów spożywczych z algami morskimi są określone w trzech głównych dokumentach prawnych. Produkty zawierające algi morskie podlegają takim samym regulacjom prawnym co inne produkty spożywcze, a ich wprowadzenie na rynek wymaga przeprowadzenia procesu autoryzacji lub notyfikacji oraz udowodnienia bezpieczeństwa spożycia. Opublikowane dotychczas badania sugerują, że same algi bądź wyekstrahowane z nich składniki mogą być z powodzeniem stosowane jako dodatki kształtujące cechy fizykochemiczne i sensoryczne szerokiej gamy produktów mięsnych, mlecznych, piekarsko-ciastkarskich oraz owocowo-warzywnych. Wprowadzenie alg do codziennej diety może wspierać funkcjonowanie organizmu oraz leczenie różnych problemów zdrowotnych. Dzięki przedstawionym właściwościom, perspektywa wykorzystania alg w przemyśle spożywczym wydaje się obiecująca, wymagając jednocześnie dalszych badań i innowacji.

Słowa kluczowe: algi morskie, alginian, karagen, spirulina, żywność

Wprowadzenie

W ostatnich latach można zaobserwować rosnące zainteresowanie substancjami pozyskiwanymi z alg morskich, między innymi błonnikiem pokarmowym, hydrokoloi-

Mgr inż. M. Karwacka ORCID: 0000-0002-5511-3251; dr hab. inż. prof. SGGW A. Ciurzyńska ORCID: 0000-0001-7263-0851; dr hab. inż. prof. SGGW M. Janowicz ORCID: 0000-0002-3790-3479; dr hab. inż. prof. SGGW S. Galus ORCID: 0000-0002-2352-5307, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Instytut Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa. Kontakt: email: magdalena_karwacka@sggw.edu.pl

dami i substancjami bioaktywnymi. Rosnąca świadomość związku pomiędzy sposobem odżywiania a zdrowiem prowadzi do poszukiwania nowych źródeł składników żywności, które mogą mieć dodatkowy, poza odżywczym, pozytywny wpływ na zdrowie i organizm ludzki. Możliwość wpływu na zdrowie i jakość życia dzięki zastosowaniu niektórych substancji występujących naturalnie w algach morskich wywołuje duże zainteresowanie zarówno ze strony konsumentów, jak i naukowców [24].

Na chwilę obecną nie poznano tak dobrze właściwości odżywczych alg morskich jak roślin lądowych. Wiadomo już, że stanowią bogate źródło bardzo dobrej jakości białek, dużych ilości witamin i minerałów, a także niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych i błonnika pokarmowego. Algi morskie oferują wiele możliwości wykorzystania ich jako nowego źródła żywności oraz dodatku funkcjonalnego do istniejących już produktów spożywczych (Ryc. 1). Takie produkty będą lepiej odpowiadały na zmieniające się potrzeby i wymagania konsumentów [40].

Na przestrzeni ostatnich lat organizmy te i substancje z nich otrzymywane wykorzystywane są w przemyśle spożywczym na coraz szerszą skalę. Dotyczy to zwłaszcza hydrokoloidów i barwników. Na rynku pojawia się coraz więcej produktów zawierających algi morskie, przeznaczonych między innymi dla wegan i wegetarian.



Ryc. 1. Możliwości i kierunki wykorzystania alg jako składników nowych produktów spożywczych [opracowanie własne]

Fig. 1. Application possibilities and directions for algae as ingredients of new food products [own work]

Algi morskie są jedno- lub wielokomórkowymi autotroficznymi organizmami zamieszkującymi środowiska słono- i słodkowodne. Są organizmami plechowymi. Stanowią jeden z mniej poznanych i wykorzystywanych rezerwuarów żywności, a są bogate w składniki odżywcze. To doskonała baza surowcowa do produkcji żywności oraz otrzymywania wielu bioaktywnych substancji np. polifenoli.

Rodzaje alg morskich

Algi słonowodne należą do czterech gromad, wyróżnianych ze względu na dominujący barwnik: niebieskie (gromada *Cyanophyta*, około 1500 gatunków), czerwone (gromada *Rhodophyta*, około 6000 gatunków), brązowe (gromada *Ochrophyta*, klasa *Phaeophyceae*, około 1750 gatunków) oraz zielone (gromada *Chlorophyta*, klasy *Bryopsidophyceae*, *Chlorophyceae*, *Dasycladophyceae*, *Prasinophyceae* i *Ulvophyceae*, około 1200 gatunków). Pod względem rozmiaru algi morskie dzieli się na mikroalgi (*Cyanophyta*) oraz makroalgi (*Rhodophyta*, *Ochrophyta*, *Chlorophyta*) [27, 36].

Czerwone algi morskie są bogatym źródłem składników bioaktywnych, przez co wykorzystuje się je jako żywność oraz źródło dwóch hydrokoloidów – agaru oraz karagenu. Czerwony barwnik obecny w tych organizmach to w większości czerwona fikobylina, która dominuje nad zielonym pigmentem chlorofilem. Algi morskie *Gelidium* sp., *Gracilaria* sp., *Pterocladis* sp. są używane do produkcji agaru. *Euchema* sp. wykorzystywana jest do produkcji karagenu. Jednym z rodzajów alg stosowanych w największym stopniu jako żywność jest *Porphyra* sp., potocznie nazywana nori i wykorzystywana do produkcji sushi [18, 45].

Brązowe algi morskie są wykorzystywane jako żywność oraz surowiec do otrzymywania hydrokoloidów, w tym alginianu. Wodorosty brązowe stosowane jako źródło alginianu występują w wielu częściach świata. Ze względu na znacznie odmienną budowę roślin, alginiany wyekstrahowane z tych wodorostów różnią się właściwościami żelującymi, głównie ze względu na zróżnicowanie składu chemicznego alginianu, który pod względem chemicznym jest kopolimerem kwasu guluronowego i kwasu mannuronowego [42, 44]. Alginiany mające zdolność do tworzenia żeli o dużej wytrzymałości, charakteryzują się wysoką zawartością kwasu guluronowego, podczas gdy niska wytrzymałość żelu wynika z dużej zawartości kwasu mannuronowego [42]. Spożywanymi gatunkami brązowych alg morskich są: *Laminaria* sp. „kombu”, *Undaria* sp. „wakame” oraz *Hizikia* sp. „hiziki”, *Saragassum* sp. Do lat 50. XX wieku możliwe było tylko zbieranie tych dziko rosnących gatunków, jednak obecnie prowadzona jest ich sztuczna hodowla, która aktualnie dominuje. Algi są spożywane na surowo, ugotowane lub suszone z dodatkiem zielonej fasolki, a także jako zupy, sałatki, desery – galaretki lub z dodatkiem kruszonego lodu. Algi brązowe zawierają siarczanowane polisacharydy (alginiany, fukoidany i laminaryny), białka, minerały, witaminy, błonnik pokarmowy, kwasy tłuszczowe, pigmenty i związki bioaktywne, które mogą pozytyw-

nie przyczynić się do projektowania wysoko odżywczych produktów spożywczych, a także produktów użytkowych w nowej formule poprzez reformulację składników z wykorzystaniem morskich wodorostów jako komponentów pozwalających na tworzenie produktów o zaprojektowanych, powtarzalnych właściwościach prozdrowotnych [27, 39, 42, 52].

Zielone algi morskie zawdzięczają swoją nazwę barwnikowi – chlorofilowi. Ze względu na zdolność do fotosyntezy wymagają dostępu do światła, a więc rosną na relatywnie małych głębokościach. Spożywane gatunki to: *Ulva* sp., *Enteromorpha* sp., *Monostroma* sp., *Caulerpa* sp., *Codium* sp. Algi te spożywane są w formie surowej, suszonej lub gotowanej [27].

Chlorella vulgaris, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina* oraz *Arthrospira* sp. są najczęściej stosowanymi mikroalgami w przemyśle spożywczym oraz farmaceutycznym. Używane są do produkcji suplementów diety oraz produktów spożywczych. Na Dalekim Wschodzie *Chlorella vulgaris* była stosowana od wieków jako lek oraz tradycyjne źródło żywności i posiada status GRAS (ang. *Generally Recognized as Safe*). Obecnie jest szeroko stosowana w suplementach diety na całym świecie. *Chlorella* jest uznawana za źródło wielu składników odżywczych, np. karotenoidów, witamin oraz minerałów. Jedną z najważniejszych substancji, którą zawiera *Chlorella*, jest β -1,3-glukan, uznawany za „zmiatacz” wolnych rodników. Spirulina (*Arthrospira* sp.) jest mikroalgą stosowaną w suplementach diety, między innymi ze względu na wysoką zawartość białka oraz duże ilości kwasu γ -linolenowego. Jest również naturalnym źródłem fikocyjaniny, niebieskiego barwnika stosowanego jako naturalny barwnik żywności oraz kosmetyków. Potencjalne korzyści zdrowotne spiruliny wynikają głównie z jej składu chemicznego, który obejmuje białka, węglowodany, niezbędne aminokwasy, składniki mineralne (zwłaszcza żelazo), niezbędne kwasy tłuszczowe, witaminy i pigmenty. Pod tym względem trzy główne bioaktywne składniki spiruliny: białko fikocyjanina, siarczanowane polisacharydy i kwas γ -linolenowy, wydają się odgrywać znaczącą rolę w poprawie funkcji organizmu ludzkiego, jednocześnie badania naukowe [43] potwierdzają jej immunomodulacyjne i przeciwwirusowe działanie w suplementacji [16, 54, 60, 63]. W związku z powyższym spirulina jest powszechnie sprzedawana w postaci proszku lub tabletek i często reklamowana jako „super żywność”, co również wiąże się z kilkoma potencjalnymi korzyściami zdrowotnymi, w tym poprawą funkcji odpornościowych i łagodzeniem stanów zapalnych organizmu ludzkiego [4, 15].

W badaniach nad możliwością zastosowania wodorostów coraz więcej uwagi poświęca się dwóm gatunkom mikroalg – *Isochrysis galbana* i *Diacronema vlkianum* z powodu ich zdolności do wytwarzania długich wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (LC-PUFA), głównie kwasu eikozapentaenowego (EPA) oraz dokozaheksaenowego (DHA). Te dwa gatunki mogą w przyszłości stać się cennym źródłem kwasów LC-PUFA, jako alternatywa dla olejów rybich [8, 37-38].

Prawo a algi morskie jako składniki żywności

Algi morskie oraz substancje z nich otrzymywane podlegają regulacjom prawnym ustanowionym przez Unię Europejską. Trzy główne dokumenty prawne dotyczące wprowadzenia i obrotu produktami spożywczymi z dodatkiem lub bez dodatku alg morskich to: Rozporządzenie (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące Europejski Urząd ds. bezpieczeństwa żywności oraz ustanawiające procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności, Rozporządzenie (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 1997 r. dotyczące nowej żywności i nowych składników żywności, Rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności [46, 47, 48].

Rozporządzenie 178/2002 określa definicje, prawa oraz obowiązki, które obowiązują na każdym etapie produkcji i dystrybucji żywności i pasz. Na mocy tego Rozporządzenia powołany został Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (ang. EFSA – *European Food Safety Authority*). Jeśli dany produkt lub składnik żywności był obecny w znaczącym stopniu na rynku krajów członkowskich przed dniem 15 maja 1997 r., to podlega tylko temu Rozporządzeniu. Jeśli ten warunek nie został spełniony, produkt kwalifikowany jest jako nowa żywność lub nowy składnik żywności i dotyczy go także Rozporządzenie nr 258/97. Produkty spożywcze zawierające algi morskie będące na rynku krajów członkowskich przed dniem 15 maja 1997 r. podlegają takim samym regulacjom prawnym jak reszta produktów spożywczych [16, 46, 47, 48].

Za nową żywność lub nowy składnik żywności uznaje się produkty zawierające w swoim składzie „żywność i składniki żywności składające się z lub wyekstrahowane z drobnoustrojów, grzybów lub alg morskich”. Aby możliwe było wprowadzenie takich produktów spożywczych na rynek należy przeprowadzić proces autoryzacji, notyfikacji lub udowodnić długotrwałe stosowanie takiego produktu. Celem tych procedur jest ocena i wydanie opinii dotyczącej bezpieczeństwa spożycia tego składnika lub produktu spożywczego. Jeśli produkt spożywczy spełni warunki wymienione w Rozporządzeniu (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 1997 r. dotyczące nowej żywności i nowych składników żywności, może zostać dopuszczony do obrotu na rynku [16, 46, 47, 48].

Przykładami produktów i substancji, które obejmuje Rozporządzenie (WE) nr 258/97, są kwasy EPA i DHA pozyskiwane z alg morskich. Kwasy te zostały dopiero niedawno dopuszczone do wprowadzenia na rynek, pomimo że były w znaczącym stopniu spożywane przed dniem 15 maja 1997 r. Problematyczne w tym przypadku było pochodzenie kwasów tłuszczowych. Podobnym przykładem są barwniki otrzymywane ze spiruliny. Spirulina była stosunkowo często spożywana przed rokiem 1997,

jednakże niebieski barwnik z tej algi morskiej nie spełnia tego wymogu i dlatego podlega regulacjom określonym w Rozporządzeniu 258/97 [16, 46, 47, 48].

Oświadczenia żywieniowe i zdrowotne regulowane są przez Rozporządzenie nr 1924/2006. Deklarowany pozytywny wpływ na stan zdrowia i organizmu musi być udowodniony naukowo. W przypadku alg morskich oświadczenia żywieniowe i zdrowotne mogą dotyczyć np. wysokiej zawartości błonnika pokarmowego w produkcie [16, 23, 61].

W Unii Europejskiej stosowane są trzy przepisy dotyczące obrotu algami morskimi: w zakresie bezpieczeństwa żywności, nowej żywności i nowych składników żywności oraz w sprawie oświadczeń zdrowotnych i żywieniowych dotyczących żywności. Dopuszczenie do zastosowania jest pierwszym i jednocześnie najważniejszym krokiem komercjalizacji nowych produktów i składników żywnościowych zawierających algi morskie [16, 23, 61].

Algi morskie oraz produkty z nich wytwarzane muszą spełniać określone kryteria dotyczące bezpieczeństwa żywności ustanowione przez Unię Europejską. Dodatkowo każdy kraj członkowski może wprowadzić własne regulacje dotyczące dopuszczenia do spożycia i wymagań obowiązujących te organizmy. Przykładem jest Francja, która stosuje dodatkowe regulacje dotyczące dopuszczonych do konsumpcji gatunków oraz kryteriów ich jakości [23, 35].

Obecnie nie ma ustanowionego dziennego rekomendowanego spożycia (RDI) dla alg morskich. Największe spożycie tych produktów wciąż obserwowane jest w krajach azjatyckich, gdzie średnia dzienna porcja tego typu produktów waha się od pięciu do ośmiu gramów suchej masy, a w przeliczeniu na masę „moką” jest to od 30 do 50 gramów. Taka dawka może zostać uznana za bezpieczną i rekomendowaną ilość [34, 35, 62]. Warto jednak również nadmienić, że popularność i ciekawość związania ze spożywaniem alg morskich i produktów z ich dodatkiem jest coraz częściej obserwowana także w krajach Europy, Ameryki Północnej oraz Australii [31, 33, 65].

W Unii Europejskiej, EFSA jest odpowiedzialna za ocenę bezpieczeństwa nowych produktów spożywczych oraz pasz, zanim zostaną one zatwierdzone do produkcji i sprzedaży. Panele naukowe opracowują listę substancji biologicznych, które spełniają założenia kwalifikowanego domniemania bezpieczeństwa (ang. QPS – *Qualified Presumption of Safety*). Pomimo tego, że lista substancji spełniających założenia kwalifikowanego domniemania bezpieczeństwa na rok 2012 nie zawierała alg morskich, β -karoten otrzymywany z *Dunaliella* sp. oraz kwas DHA z *Cryptocodinium cohnii* zostały dopuszczone jako składniki żywności. Chlorella oraz spirulina są powszechnie dostępne w sprzedaży jako suplementy diety, składniki produktów spożywczych oraz samodzielne produkty zarówno w UE jak i w USA [16].

Powierzchnia alg morskich tworzy bardzo dobre środowisko do rozwoju różnych mikroorganizmów, w tym niepożądanych. Większość badań odnoszących się do aspek-

tu bezpieczeństwa mikrobiologicznego skupia się na zagadnieniach ekologicznych, takich jak liczba, różnorodność oraz rola mikroorganizmów na powierzchni alg morskich. Istnieje niewiele badań, dotyczących próby oszacowania ryzyka przetrwania patogenów na algach nieprzetworzonych. Wydaje się, że pytanie o ten aspekt bezpieczeństwa tych organizmów nadal pozostaje bez odpowiedzi [3, 16, 23, 35, 56, 59].

Zastosowanie alg morskich w produktach spożywczych

Wraz ze zmieniającymi się potrzebami konsumentów opracowywane są kolejne zastosowania alg morskich w produktach spożywczych. Ich dodatek do tradycyjnych produktów może pomóc dostosować je do zmieniających się wymagań i potrzeb konsumentów. Jadalne algi morskie są niskoenergetycznymi surowcami bogatymi w białko, duże ilości witamin i minerałów. Stanowią również bogate źródło jodu, polifenoli, karotenoidów, tokoferoli i błonnika pokarmowego. Produkty spożywcze zawierające algi morskie są obecne na rynku spożywczym od lat. Algi morskie są stosowane jako dodatek funkcjonalny do żywności lub składnik żywności. Do produktów spożywczych dodawane są zarówno w formie substancji otrzymanych z alg morskich (dodatki funkcjonalne), jak również w postaci suszonej i rozdrobnionej [17, 51, 59].

Algi morskie stanowią źródło wielu różnych hydrokoloidów wykorzystywanych w przemyśle spożywczym. Zawartość i jakość hydrokoloidów w algach morskich uwarunkowana jest czynnikami biologicznymi, fizycznymi oraz środowiskowymi. Większość hydrokoloidów zlokalizowana jest w ścianie komórkowej alg morskich. Najważniejszymi polisacharydami z alg morskich są: agar, alginiany oraz karagen, które zostały dopuszczone jako dodatki do żywności i zarejestrowane pod numerami E 400 ÷ 407 w kategorii emulgatorów, środków zagęszczających i żelujących [50]. Najczęściej wykorzystywanymi właściwościami hydrokoloidów są zdolności do stabilizowania, emulgowania, zmiany lepkości, żelowania, tworzenia pian oraz wpływ na proces krystalizacji [3, 14, 46].

Agar (E 406) otrzymywany jest głównie z czerwonych alg morskich z rodzaju *Gelidium* oraz *Gracilaria*. Agar posiada status GRAS nadany przez FDA. Zawdzięcza swoje szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym zdolności do tworzenia żeli i wysokiej temperaturze topnienia. Żele agarowe, w przeciwieństwie do żeli z dodatkiem żelatyny zachowują swoją strukturę podczas żucia. Agar nie posiada charakterystycznego smaku, stąd nie ma wpływu na właściwości sensoryczne produktów [39, 46]. Żele agarowe odgrywają ważną rolę w przetworach spożywczych i charakteryzują się dużą zawartością rozpuszczalnego błonnika, ponieważ agar jest dodatkiem do żywności o najwyższej zawartości tego błonnika, przekraczającej 94% [5]. W żelkach i galaretkach może stanowić alternatywę dla żelatyny, a w lukrze pozwala na zastosowanie mniejszej ilości wody, powodując tworzenie na pokrytej powierzchni mniej lepiącej powłoki. Agar jest również stosowany w przetwórstwie ryb jako doda-

tek do glazury, którą pokrywane są mrożone produkty. W połączeniu z innymi gumami, agar może być używany jako stabilizator w polewach i posypkach w proszku. Agar ma też zastosowanie w klarowaniu wina, w przypadkach, kiedy tradycyjne metody nie są wystarczająco wydajne. W produktach o konsystencji kremu może pełnić funkcję substancji zastępującej tłuszcz. Może być również stosowany jako krioprotektant, który minimalizuje uszkodzenia podczas mrożenia lub chłodzenia. Agar ma też zastosowanie jako substancja do tworzenia jadalnych biofilmów [39, 26, 28, 46].

Karagen (E 407) należy do grupy siarkowych polisacharydów, które otrzymywane są z czerwonych alg morskich, głównie z: *Kappaphycus alvarezii*, *Eucheuma denticulatum* i *Chondrus crispus*. Karagen występuje w 3 frakcjach: kappa, iota oraz lambda, które wykazują różne właściwości teksturo- i strukturotwórcze. Hydrokoloid ten posiada zdolności do żelowania, emulgowania, zagęszczania oraz stabilizowania produktów spożywczych. Karagen jest często używanym dodatkiem w produktach mlecznych takich jak: lody, jogurty, ser oraz w innych produktach na bazie mleka. Karagen jest również wykorzystywany w innych produktach spożywczych np. w chlebie i w biofilmach. Żele oparte na karagenie mogą być mrożone i rozmrażane bez niszczenia swojej struktury. Dodatek tego hydrokoloidu pozwala na równe rozmieszczenie ziół lub przypraw w sosach i wytworzenie takiego samego wrażenia przy spożyciu jak odpowiednik o standardowej zawartości tłuszczu – w tym przypadku karagen pełni funkcję stabilizatora. Hydrokoloid ten stosuje się jako zamiennik tłuszczu w produktach mięsnych o obniżonej zawartości tłuszczu [7, 46].

Alginiany (E 400-405) są substancjami ekstrahowanymi z brązowych alg morskich – *Ascophyllum* sp., *Durvillaea* sp., *Ecklonia* sp., *Laminaria* sp., *Lessonia* sp., *Macrocystis* sp. i *Sargassum* sp. Posiadają trzy najważniejsze właściwości, które stanowią o ich przydatności w produktach spożywczych: zagęszczanie substancji, formowanie usieciowionych żeli przy obecności soli wapniowych bez podgrzewania oraz formowanie włókien. Zagęszczające właściwości alginianu są szczególnie przydatne w produkcji sosów, syropów, polew oraz posypek. Dodatek alginianów zapobiega zjawisku rozwarstwiania się dressingów i innych sosów. Z powodu tworzenia usieciowionych żeli są wykorzystywane w wielu produktach o zmienionej strukturze, np. w wysoce przetworzonych produktach mięsnych, warzywnych oraz w wyrobach piekarniczych. Alginiany mają zastosowanie również jako stabilizatory w produkcji lodów, ponieważ ich dodatek zapobiega powstawaniu dużych kryształów po częściowym rozmrożeniu i ponownym zamrożeniu produktu, np. po przerwaniu łańcucha chłodniczego. Są również wykorzystywane do procesu klarowania wina i usuwania niepożądanych barwników, strukturyzowania filmów i powłok jadalnych tworzenia i projektowania innowacyjnych przekąsek formowanych [12, 13, 15, 20, 25, 39, 42, 46].

Algi morskie mogą być stosowane w produktach mięsnych ze względu na właściwości żelujące, zagęszczające, strukturo- oraz teksturotwórcze. W większości przy-

padków te organizmy lub substancje z nich otrzymywane są dodatkami funkcjonalnymi. Dzięki wysokiej zawartości pełnowartościowego białka dodatek alg morskich do produktów zawierających niższe klasy mięsa może stanowić odpowiedź na problem ich zagospodarowania [14].

Ze względu na obecność karagenu w produktach mięsnych o obniżonej zawartości tłuszczu algi morskie pełnią rolę stabilizatorów i emulgatorów. Ich dodatek powoduje wytworzenie twardszej i bardziej ciągnącej się struktury mięsa o lepszych właściwościach wiążących wodę i tłuszcz. Dzięki zwiększeniu stopnia wiązania wody poprzez dodatek karagenu możliwe jest obniżenie strat podczas obróbki termicznej i podwyższenie soczystości produktów mięsnych. Dodatek *Porphyra umbilicalis* do przetworzonych produktów mięsnych podwyższa w nich zawartość białka oraz niektórych aminokwasów takich jak: seryna, alanina, walina, tyrozyna, fenyloalanina oraz arginina. Podobnie jak w przypadku *H. elongata*, dodatek nori może podnieść zawartość polifenoli w produkcie [9, 10, 14, 19].

Produkty mleczne są bogate w wiele składników odżywczych takich jak: minerały (wapń, potas, fosfor, magnez i cynk), białko i witaminy (A, D, B₂, B₁₂ i ryboflawina). Wśród produktów mlecznych najpowszechniejszymi produktami, do których dodawane są algi morskie, są sery i jogurty. Do jogurtów dodawane są najczęściej różne frakcje karagenów. Odpowiadają one za utrzymanie właściwej struktury produktu. Do niektórych jogurtów dodawane są ekstrakty ze spiruliny lub innych mikroalg w celu nadania im zielonej barwy. W badaniach opisanych przez Shul'gina i wsp. [52] opracowano probiotyczny jogurt wzbogacony o jod, pochodzący z *Laminaria* spp. W tym produkcie oznaczono średnio 570 µg jodu/100 g oraz zwiększoną zawartość Ca, K, Na, Mg i Fe w stosunku do próby kontrolnej niezawierającej alg morskich. Dodatek mikroalgi *Chlorella* sp. do serka śmietankowego spowodował zmiany w barwie i teksturze produktu, które zostały pozytywnie ocenione przez panel sensoryczny. Ponadto zaobserwowano znaczne podwyższenie wartości odżywczej wytworzonych produktów ze względu na zwiększoną zawartość białka i składników mineralnych [32, 52].

Makarony są produktami charakteryzującymi się niskim stężeniem białka i aminokwasów. Dodatek substancji wysokobiałkowych, takich jak: płatki oraz izolaty sojowe lub algi morskie może wpłynąć na zwiększenie zawartości brakujących substancji. Dodatek 0 ÷ 30 % *Undaria pinnatifida* do makaronów miał wpływ na właściwości sensoryczne, odżywcze oraz zachowanie się produktu podczas obróbki termicznej. Próby zawierające maksymalnie 20 % dodatku tej algi morskiej były oceniane jako akceptowalne w ocenie sensorycznej. Dodatek *Undaria pinnatifida* spowodował wzrost zawartości aminokwasów, kwasów tłuszczowych i ogólnej aktywności antyoksydacyjnej [14, 41]. Z uwagi na duże spożycie chleba prowadzone są badania nad wprowadzeniem alg morskich do jego składu. Dodatek 2,5 % mieszanki różnych ga-

tunków alg morskich z rodzaju *Laminaria* do chleba został określony jako najbardziej akceptowalny w ocenie sensorycznej spośród prób z dodatkiem od 2,5 ÷ 7,5% alg morskich. Większa zawartość tej mieszanki spowodowała zwiększoną twardość produktu, która nie była akceptowana podczas oceny sensorycznej [29].

Dodatek alg morskich i substancji z nich uzyskiwanych do napojów może stanowić źródło łatwo przyswajalnych substancji odżywczych. Potencjalnym problemem wydają się być cechy organoleptyczne alg morskich. Rozwiązaniem może być zastosowanie jedynie wybranych substancji uzyskiwanych z tych organizmów. Napoje z dodatkiem alg takich jak: *Ulva* sp., *Hizikia* sp., *Ecklonia* sp., wykazywały wysoką aktywność antyoksydacyjną. Problemem w tych produktach był ich zapach, barwa oraz klarowność, które zależały od gatunku, z którego zostały przygotowane [14].

Na przestrzeni ostatnich lat coraz większą popularnością cieszy się stosowanie naturalnych barwników w produktach spożywczych. Presja konsumentów na zwiększenie zastosowania naturalnych barwników towarzyszy chęci spożywania produktów o atrakcyjnej barwie. Aby sprostać wysokim wymaganiom konsumentów, producenci żywności coraz częściej decydują się na wykorzystanie barwników naturalnego pochodzenia. Jednym z chętnie stosowanych zielonych i niebieskich barwników z alg morskich jest fikocyjanina, zawarta między innymi w spirulinie. Dzięki swojej barwie, spirulina jest stosowana w różnorodnych zarówno słodkich, jak i słonych produktach spożywczych. Dodawana jest do cukierków, gum do żucia, lodów, lukrów, polew, jogurtów, budyniów oraz przetworzonych produktów na bazie sera [30].

Niektóre z gatunków alg morskich mogą zawierać substancje ograniczające rozwój mikroorganizmów. Te właściwości przypisywane są terpenoidom, sterolom i fenolom. W przemyśle spożywczym te cechy wykorzystywane są do przedłużenia trwałości produktów spożywczych. Dzięki zastosowaniu tych substancji możliwe jest ograniczenie ilości stosowanych syntetycznych konserwantów. Ponadto, czerwone gatunki alg morskich zawierają również wiele różnych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. Fosfolipidy mogą być spotykane w niektórych rodzajach alg morskich, a ich odporność na proces utleniania jest wyższa niż w oleju rybim. Zawartość wyżej wymienionych substancji czyni te organizmy potencjalnie użytecznymi w przemyśle spożywczym. Właściwości antyoksydacyjne mogą być wykorzystywane w dwojaki sposób: w profilaktyce niektórych chorób oraz jako dodatek do żywności zapobiegający procesom oksydacji [22].

Alginiany mają również zastosowanie jako składniki powłokotwórcze. Mogą okrywać najróżniejsze produkty spożywcze i przyczyniać się do poprawy ich właściwości przechowalniczych, ułatwiać dalszą obróbkę, opóźniać procesy psucia oraz poprawiać właściwości sensoryczne. Alginiany mogą mieć również pozytywny wpływ na wydłużenie okresu trwałości owoców i warzyw. W przeprowadzonych badaniach okresu przechowywania jabłek i melonów powłoki na bazie alginianów zachowywały się

jak bariera dla mikroorganizmów, co spowodowało wydłużenie okresu przechowywania tego produktu. Alginiany są również stosowane jako nośnik substancji przeciwdziałających brązowieniu np. kwasu askorbinowego lub cytrynowego [53, 55].

Algi morskie są jednak przede wszystkim stosowane do przetworzonej żywności jako dodatki funkcjonalne. Odpowiadają za utrzymanie właściwej struktury i tekstury w produktach spożywczych [22].

Jednym z kierunków wykorzystywania alg i ich produktów jest żywność i suplementy o charakterze probiotycznym. Badania nad wykorzystaniem tych składników pokazują, że algi mają potencjał zastosowania ich w roli prebiotyków. Dzięki temu połączenie ich bakteriami probiotycznymi, w tym może wpływać korzystnie na funkcjonowanie układu pokarmowego. Dzięki dużej zawartości poli- i oligosacharydów, algi stymulują rozwój i wzrost mikroflory bakteryjnej regulującej [21]. Dodatek mikroalg *Chlorella vulgaris* istotnie zwiększył przeżywalność bakterii *Lactobacillus brevis* oraz *Lactobacillus* sp. w trudnych warunkach środowiskowych spowodowanych dużym stężeniem soli żółciowych oraz niskim pH, które miały imitować warunki panujące podczas trawienia w żołądku. Otrzymane wyniki wskazują, że algi mogą być wykorzystywane także jako dodatek wart rozważenia podczas projektowania nowych produktów fermentowanych [57]. W innych badaniach wykazano pozytywny wpływ dodatku *Chlorella vulgaris* na przeżywalność bakterii mlekowych oraz ich zdolność do syntezy kwasu mlekowego oraz skrócenie czasu wzrostu i szybsze osiągnięcie fazy stacjonarnej, co jest ważne z technologicznego punktu widzenia [58].

Na rynkach światowych można znaleźć produkty takie jak: batony zbożowe, batony typu granola, płatki śniadaniowe, krakersy, chipsy, wafle ryżowe i pieczywo zawierające algi morskie. Świeże, suszone, mrożone, marynowane oraz puszkowane algi morskie są coraz łatwiej dostępne. Obecnie rynek produktów spożywczych zawierających algi morskie szacuje się na około 10 miliardów dolarów. Ponadto, ze względu na magazynowanie dwutlenku węgla przez algi, ich hodowle wpisują się w idee zrównoważonego rozwoju, podobnie jak ekonomicznie uzasadniona możliwość produkcji biodiesla na dużą skalę z wykorzystaniem mikroalg, w tym uprawy biomasy, zbioru komórek mikroalg i ekstrakcji lipidów [64]. Jednocześnie nie można pominąć faktu, że nutraceutyki na bazie alg cieszą się coraz większą popularnością ze względu na ich potencjalną skuteczność, bezpieczeństwo i przyjazność dla środowiska [1].

Zagrożenia związane ze spożyciem alg

Wykorzystanie alg jako składników żywności niesie za sobą wiele korzyści z technologicznego oraz żywieniowego punktu widzenia, natomiast nie są to surowce wolne od ryzyka. Największym zagrożeniem związanym z wprowadzaniem alg i ich pochodnych do składu produktów spożywczych jest stosunkowo wysoka zdolność bioakumulacji metali ciężkich. Badania pokazują, że w zależności od gatunku alg

zmienia się również ich powinowactwo do gromadzenia toksycznych pierwiastków. Jeżeli chodzi o algi czerwone, rodzaje *Hypnea* i *Jania* charakteryzują się większą zawartością niektórych metali, w tym manganu, niklu i ołowiu, a także chromu i kadmu, w porównaniu z innymi. Z uwagi na to sugerowane jest prowadzenie szczegółowych badań dotyczących zawartości toksycznych substancji w algach przed wprowadzaniem ich do konsumpcji oraz unikanie spożywania tych rodzajów, które mogą charakteryzować się podwyższoną zawartością niekorzystnych mikro- i makroelementów [2]. Innym pierwiastkiem mogącym występować w algach jest arsen i jego pochodne. Badania suplementów diety z dodatkiem alg wykazały, że największe stężenie tych związków wykryto w produktach, w składzie których były algi brązowe, głównie *Phaeophyta*. Nieliczne z badanych preparatów komercyjnych (kodowanych) zawierały arsen w ilościach alarmujących – takich, które w wyniku bioakumulacji wywołującej długotrwałym i regularnym przyjmowaniem suplementów, mogłyby wykazywać działanie toksyczne [11]. Ponadto w algach mogą występować inne zagrożenia, takie jak mikroplastik, pozostałości pestycydów i zanieczyszczeń fizyko-chemicznych, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia konsumentów. Dlatego też dokładna analiza przydatności do spożycia i bezpieczeństwa tych surowców jest niezbędna, aby wyeliminować ryzyko związane ze spożywaniem produktów z dodatkiem alg i ich przetworów [6].

Podsumowanie

Reasumując, substancje bioaktywne pochodzące z alg są stosowane w przemyśle spożywczym jako środki zagęszczające, emulgatory, stabilizatory i modyfikatory tekstury. Oprócz tego, że pomagają zaspokoić potrzeby żywieniowe człowieka, wykazują także działanie wspomagające w leczeniu problemów zdrowotnych, takich jak dysfunkcja układu odpornościowego, miażdżyca, udar, choroby układu krążenia i różnego rodzaju nowotwory. Glony są obecnie uważane za potencjalne posiłki funkcjonalne lub pożywienie ze względu na ich zróżnicowany skład biochemiczny. Skład biochemiczny alg jest bardzo zróżnicowany, a postęp technologiczny ułatwił włączanie alg do artykułów spożywczych i leków. Dzięki temu wynalazkowi towary konsumpcyjne, takie jak probiotyki, napoje bezalkoholowe i śniadaniowe płatki zbożowe, mają teraz dodatkowe korzyści odżywcze. Wraz ze wzrostem stóp inflacji w ostatnich latach przyszłość wydaje się obiecująca dla komercyjnego wykorzystania alg w przemyśle spożywczym, kosmetycznym, farmaceutycznym i energetycznym.

Godnym uwagi wyzwaniem jest jednak uczynienie wodorostów smaczniejszymi, aby sprostać rosnącym wymaganiom konsumentów. Co więcej, wysiłki powinny skupiać się na zwiększeniu produkcji, aby zaspokoić zapotrzebowanie na surowe wodorosty po konkurencyjnych cenach, przy czym niezbędne jest zbadanie wcześniej pomijanych źródeł glonów. Algi mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle spożywczym jako

źródło składników o wysokiej wartości odżywczej, które można jeść bezpośrednio lub wykorzystać jak półprodukty do komponowania innych produktów spożywczych, ponieważ składają się głównie z rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego błonnika pokarmowego. Algi są zatem najlepszym sposobem na uzupełnienie niedoborów żywieniowych obecnej żywności ze względu na szeroką gamę składników mineralnych (żelazo i wapń), białka (ze wszystkimi niezbędnymi aminokwasami), witamin i błonnika. Biorąc pod uwagę wysoką zawartość witamin i minerałów, spożycie wodorostów może być bardzo korzystne w leczeniu anemii i innych stanów niedoboru składników odżywczych. Dotychczas opublikowane materiały dotyczące alg w produkcji żywności poruszają tematy związane z ogólnymi aspektami żywności funkcjonalnej i nutraceutyków, w tym pojawiające się trendy badawcze, rozwój produktów, możliwości rynkowe i preferencje konsumentów. Dostępne badania są na początkowym etapie i obejmują główne zagadnienia związane z charakterystyką surowców, potwierdzaniem ich właściwości zdrowotnych oraz rozwojem produktów i technologii.

Literatura

- [1] Ahmed N., Sheikh M.A., Ubaid M., Chauhan P., Kumar K., Choudhary S.: Comprehensive exploration of marine algae diversity, bioactive compounds, health benefits, regulatory issues, and food and drug applications. *Measurement: Foods*, 2024, #100163.
- [2] Ali A.Y., Idris A.M., Eltayeb M.A., El-Zahhar A.A., Ashraf I.M.: Bioaccumulation and health risk assessment of toxic metals in red algae in Sudanese Red Sea coast. *Toxin Revi.*, 2021, 40(4), 1327-1337.
- [3] Alreshidi M., Badraoui R., Adnan M., Patel M., Alotaibi A., Saeed M., ... Snoussi M.: Phytochemical profiling, antibacterial, and antibiofilm activities of *Sargassum* sp.(brown algae) from the Red Sea: ADMET prediction and molecular docking analysis. *Algal Res.*, 2023, 69, #102912.
- [4] Amin M., ul Haq A., Shahid A., Boopathy R., Syafiuddin A.: *Spirulina as a Food of the Future. In Pharmaceutical and Nutraceutical Potential of Cyanobacteria.* Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 53-83.
- [5] Armisen R., Gaiatas F.: Agar. In *Handbook of hydrocolloids.* Woodhead Publishing, 2009, pp. 82-107.
- [6] Banach J.L., Hoek-van den Hil E.F., van der Fels-Klerx H.J.: Food safety hazards in the European seaweed chain. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety*, 2020, 19(2), 332-364.
- [7] Bixler H.J., Porse H.: A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J. Appl. Phycol.*, 2011, 23(3), 321-335.
- [8] Bonfanti C., Cardoso C., Afonso C., Matos J., Garcia T., Tanni S., Bandarra N.M.: Potential of microalga *Isochrysis galbana*: bioactivity and bioaccessibility. *Algal. Res.*, 2018, 29, 242-248.
- [9] Cao C., Feng Y., Kong B., Xia X., Liu M., Chen J., ... Liu Q.: Textural and gel properties of frankfurters as influenced by various κ -carrageenan incorporation methods. *Meat Sci.*, 2021, 176, #108483.
- [10] Cao C., Yuan D., Kong B., Chen Q., He J., Liu Q.: Effect of different κ -carrageenan incorporation forms on the gel properties and in vitro digestibility of frankfurters. *Food Hydrocollid.*, 2022, 129, #107637.

- [11] Cheyns K., Demaegdt H., Waegeneers N., Ruttens A.: Intake of food supplements based on algae or cyanobacteria may pose a health risk due to elevated concentrations of arsenic species. *Food Additiv. Contam. Part A*, 2021, 38(4), 609-621.
- [12] Ciurzyńska A., Cieśluk P., Barwińska M., Marczak W., Ordyniak A., Lenart A., Janowicz M.: Eating habits and sustainable food production in the development of innovative “healthy” snacks. *Sustainability*, 2019, 11(10), #2800.
- [13] Ciurzyńska A., Marczak W., Lenart A., Janowicz M.: Production of innovative freeze-dried vegetable snack with hydrocolloids in terms of technological process and carbon footprint calculation. *Food Hydrocolloid.*, 2020, 108, #105993.
- [14] Cofrades S., López-López I., Jiménez-Colmenero F.: Applications of Seaweed in Meat-Based Functional Foods. *Handbook of marine macroalgae: Biotech. Appl. Phycol.*, 2011, 491-499.
- [15] Colonia B.S.O., de Melo Pereira G.V., de Carvalho J.C., Karp S.G., Rodrigues C., Soccol V.T., ... Soccol C.R.: Deodorization of algae biomass to overcome off-flavors and odor issues for developing new food products: innovations, trends, and applications. *Food Chem. Advan.*, 2023, #100270.
- [16] Enzing C., Ploeg M., Barbosa M., Sijtsma L.: Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. *Institute for Prospective Technological Studies* *Nutraceuticals*, 2014, 1017-1024.
- [17] Fleurence J.: Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends Food Sci. Technol.*, 1999, 10(1), 25-28.
- [18] Freitas M.V., Inácio L.G., Martins M., Afonso C., Pereira L., Mouga T.: Primary composition and pigments of 11 red seaweed species from the Center of Portugal. *J. Mar. Sci. Engineer.*, 2022, 10(9), #1168.
- [19] Garcimartín A., Benedí J., Bastida S., Sánchez-Muniz F.J.: Aqueous extracts and suspensions of restructured pork formulated with *Undaria pinnatifida*, *Himantalia elongata* and *Porphyra umbilicalis* distinctly affect the *in vitro* α -glucosidase activity and glucose diffusion. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2015, 64(2), 720-726.
- [20] Goraya R.K., Singla M., Bajwa U., Kaur A., Pathania S.: Impact of sodium alginate gelling and ingredient amalgamating order on ingredient interactions and structural stability of ice cream. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2021, 147, 111558.
- [21] Gupta S., Gupta C., Garg A.P., Prakash D.: Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. *J. Microbiol. Experiment.*, 2017, 4(4), 4-7.
- [22] Hafting J.T., Cornish M.L., Deveau A., Critchley A.T.: Marine algae: gathered resource to global food industry. *The Algae World*, 2015, 403-427.
- [23] Holdt S.L., Kraan S.: Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.*, 2011, 23, 543-597.
- [24] Irianto I., Naryaningsih A., Trisnawati N.W., Astuti A., Komariyah K., Qomariyah L., ... Putra N.R.: From Sea to Solution: A Review of Green Extraction Approaches for Unlocking the Potential of Brown Algae. *South Afr. J. Chem. Engineer.*, 2024, 48, 1-21.
- [25] Kadzińska J., Bryś J., Ostrowska-Ligęza E., Estéve M., Janowicz M.: Influence of vegetable oils addition on the selected physical properties of apple–sodium alginate edible films. *Polym. Bullet.*, 2020, 77, 883-900.
- [26] Kadzińska J., Janowicz M., Kalisz S., Bryś J., Lenart A.: An overview of fruit and vegetable edible packaging materials. *Pack. Technol. Sci.*, 2019, 32(10), 483-495.
- [27] Kılınç B., Çirik S., Turan G., Tekogul H., Koru E.: Seaweeds for food and industrial applications. *In Food industry. IntechOpen*, 2013.

- [28] Kowalski S., Łukasiewicz M., Juszczyk L., Sikora M.: Charakterystyka teksturalna i sensoryczna mas cukierniczych otrzymanych na bazie miodu naturalnego i wybranych hydrokoloidów polisacharydowych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2011, 18(3), 40-52.
- [29] Kwon E.A., Chang M.J., Kim S.H.: Quality characteristics of bread containing Laminaria powder. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 2003, 32(3).
- [30] Lafarga T., Fernández-Sevilla J.M., González-López C., Acién-Fernández F.G.: Spirulina for the food and functional food industries. *Food Res. Int.*, 2020, 137, #109356.
- [31] Losada-Lopez C., Dopico D.C., Faina-Medin J.A.: Neophobia and seaweed consumption: Effects on consumer attitude and willingness to consume seaweed. *Int. J. Gastronom. Food Sci.*, 2021, 24, #100338.
- [32] Lousada Falcão R., Pinheiro V., Ribeiro C., Sousa I., Raymundo A., Nunes M.C.: Nutritional improvement of fresh cheese with microalga *Chlorella vulgaris*: impact on composition, structure and sensory acceptance. *Food Technol. Biotechnol.*, 2023, 61(2), 259-270.
- [33] Lucas S., Gouin S., Lesueur M.: Seaweed consumption and label preferences in France. *Mar. Resour. Econom.*, 2019, 34(2), 143-162.
- [34] MacArtain P., Gill C.I., Brooks M., Campbell R., Rowland I.R.: Nutritional value of edible seaweeds. *Nutr. Rev.*, 2007, 65(12), 535-543.
- [35] Mahadevan K.: Seaweeds: a sustainable food source. In *Seaweed sustainability Academic Press*, 2015, pp. 347-364.
- [36] Manzoor M.F., Afraz M.T., Yilmaz B.B., Adil M., Arshad N., Goksen G., ... Zeng X.A.: Recent progress in natural seaweed pigments: Green extraction, health-promoting activities, techno-functional properties and role in intelligent food packaging. *J. Agri. Food Res.*, 2024, 15, #100991.
- [37] Matos J., Afonso C., Cardoso C., Serralheiro M.L., Bandarra N.M.: Yogurt enriched with Isochrysis galbana: An innovative functional food. *Foods*, 2021, 10(7), #1458.
- [38] Mayer C., Côme M., Ulmann L., Martin I., Zittelli G.C., Faraloni C., ... Mimouni V.: The potential of the marine microalga *Diacronema lutheri* in the prevention of obesity and metabolic syndrome in high-fat-fed Wistar rats. *Molecules*, 2022, 27(13), 4246.
- [39] McHugh D.J. A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries Technical Paper 441*, Rome, 2023.
- [40] Pereira A.G., Otero P., Echave J., Carreira-Casais A., Chamorro F., Collazo N., ... Prieto M.A.: Xanthophylls from the sea: algae as source of bioactive carotenoids. *Marine Drugs*, 2021, 19(4), #188.
- [41] Prabhasankar P., Ganesan P., Bhaskar N., Hirose A., Stephen N., Gowda L.R., ... Miyashita K.J.F.C.: Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chem.*, 2009, 115(2), 501-508.
- [42] Qin Y.: Production of seaweed-derived food hydrocolloids. In *Bioactive seaweeds for food applications. Academic Press*, 2018, pp. 53-69.
- [43] Rahman M., Al Mamun M.A., Rathore S.S., Nandi S.K., Kari Z.A., Wei L.S., ... Kabir M.A.: Effects of dietary supplementation of natural Spirulina on growth performance, hemato-biochemical indices, gut health, and disease resistance to *Aeromonas hydrophila* of Stinging catfish (*Heteropneustes fossilis*) fingerling. *Aquacult. Rep.*, 2023, 32, #101727.
- [44] Rashedy S.H., Abd El Hafez M.S., Dar M.A., Cotas J., Pereira L.: Evaluation and characterization of alginate extracted from brown seaweed collected in the Red Sea. *Appl. Sci.*, 2021, 11(14), #6290.
- [45] Rhein-Knudsen N., Ale M.T., Ajallouei F., Yu L., Meyer A.S.: Rheological properties of agar and carrageenan from Ghanaian red seaweeds. *Food Hydrocolloid.*, 2017, 63, 50-58.

- [46] Roohinejad S., Koubaa M., Barba F.J., Saljoughian S., Amid M., Greiner R.: Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Res. Int.*, 2017, 99, 1066-1083.
- [47] Rozporządzenie (WE) NR 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 1997 r. dotyczące nowej żywności i nowych składników żywności (Dz. Urz. UE L 43)
- [48] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 178/2002 z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiającego procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności (Dz. Urz. UE L 31)
- [49] Rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności (Dz. Urz. UE L 404)
- [50] Rozporządzenie (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (Dz.U.U.E.L.2008.354.16)
- [51] Ryabushko V.I., Gureeva E.V., Kapranov S.V., Simokon M.V., Bobko N.I.: Rare earth elements in the red, brown, green algae and the seagrass from Kazachya Bay (Crimea, Black Sea). *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 2024, 69, #103318.
- [52] Shul'gin Y.P., Lazhentseva L.Y., Zagorodnaya G.I., Koval P.V., Koval P.V., Shulgin Y.P., ... Zagorodnaya G.I.: Probiotic drinks containing iodine. *Dairy Ind.*, 2005, (6), 38-39.
- [53] Song H., Jang A.R., Lee S., Lee S.Y.: Application of sodium alginate-based edible coating with citric acid to improve the safety and quality of fresh-cut melon (*Cucumis melo* L.) during cold storage. *Food Sci. Biotechnol.*, 2024, 33, 1741-1750.
- [54] Sousa I., Gouveia L., Batista A.P., Raymundo A., Bandarra N.M.: Microalgae in novel food products. *Food Chem. Res. Develop.*, 2008, 75-112.
- [55] Speranza B., Campaniello D., Bevilacqua A., Altieri C., Sinigaglia M., Corbo M. R.: Viability of *Lactobacillus plantarum* on fresh-cut chitosan and alginate-coated apple and melon pieces. *Front. Microbiol.*, 2018, 9, #2538.
- [56] Surendhiran D., Li C., Cui H., Lin L.: Marine algae as efficacious bioresources housing antimicrobial compounds for preserving foods-A review. *Int. J. Food Microbiol.*, 2021, 358, #109416
- [57] Sylwia Ś., Elżbieta K.: Algae *Chlorella vulgaris* as a factor conditioning the survival of *Lactobacillus* spp. in adverse environmental conditions. *LWT-Food Scie. Technol.*, 2020, 133, #109936.
- [58] Ścieszka S., Klewicka E.: Influence of the Microalga *Chlorella vulgaris* on the Growth and Metabolic Activity of *Lactobacillus* spp. *Bacteria. Foods*, 2020, 9(7), #959.
- [59] Tagliapietra B.L., Clerici M.T.P.S.: Brown algae and their multiple applications as functional ingredient in food production. *Food Res. Int.*, 2023, 167, #112655.
- [60] Van De Walle S., Gifuni I., Coleman B., Baune M.C., Rodrigues A., Cardoso H., ... Van Royen G.: Innovative vs classical methods for drying heterotrophic *Chlorella vulgaris*: Impact on protein quality and sensory properties. *Food Res. Int.*, 2024, #114142.
- [61] Van der Spiegel M., Noordam M.Y., Van der Fels-Klerx H.J.: Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety*, 2013, 12(6), 662-678.
- [62] Vieira E.F., Soares C., Machado S., Correia M., Ramalhosa M.J., Oliva-Teles M.T., ... Delerue-Matos C.: Seaweeds from the Portuguese coast as a source of proteinaceous material: Total and free amino acid composition profile. *Food Chem.*, 2018, 269, 264-275.
- [63] Wan D., Wu Q., Kuča K.: Spirulina. In *Nutraceuticals*. Academic Press, 2021, pp. 959-974.

- [64] Yadav D.K., Yadav M., Mittal R., Rani P., Yadav A., Bishnoi N.R., Singh A.: Impact of silica oxide and functionalized silica oxide nanoparticles on growth of *Chlorella vulgaris* and its physicochemical properties. *Sustain. Chem. Environ.*, 2023, 3, #100029.
- [65] Young M., Paul N., Birch D., Swanepoel L.: Factors influencing the consumption of seaweed amongst young adults. *Foods*, 2022, 11(19), #3052.

MARINE ALGAE – AN UNCONVENTIONAL FOOD INGREDIENT

S u m m a r y

Background. In recent years, there has been a growing interest in substances obtained from marine algae, such as dietary fiber, hydrocolloids and bioactive substances. It results from a growing awareness of the impact of nutrition on health, which leads to the search for food ingredients that may have a beneficial effect on the human body.

Results and conclusions. Marine algae, naturally occurring in four groups differentiated by their dominant pigment, are a rich source of proteins, vitamins, minerals and essential fatty acids, offering many possibilities for use as a new food source and functional additive. Most often, algae are used as a raw material for the production of hydrocolloids, including alginate, agar, carrageenan and dyes, which are an alternative to synthetic additives. European Union regulations regarding the introduction of food products with marine algae are set out in three main legal documents. Products containing sea algae are subject to the same legal regulations as other food products, and their introduction to the market requires an authorization or notification process and proof of safe consumption. Research published so far suggests that algae themselves, or ingredients extracted from them, can be successfully used as additives shaping the physicochemical and sensory properties of a wide range of meat, dairy, bakery and pastry, as well as fruit and vegetable products. Introducing algae into people's daily diet can support the functioning of their bodies and the treatment of various health problems. Due to the presented properties, the prospect of using algae in the food industry seems promising, requiring further research and innovation.

Keywords: marine algae, alginate, carrageenan, spirulina, food 