

Article ID: 215554
DOI: 10.5586/wb/215554

Publication History

Received: 2025-09-04
Accepted: 2025-12-12
Published: 2026-02-27

Handling Editor

Katarzyna Szczepańska; Wrocław
University of Environmental and
Life Sciences, Wrocław, Poland;
<https://orcid.org/000-0002-77523024>

Authors' Contributions

MA: Research concept and design; MA: Collection and/or assembly of data; MA, AK, JP: Data analysis and interpretation; MA, AK, JP: Writing the article; MA, AK, JP: Critical revision of the article; MA: Final approval of the article

Funding

The project is co-financed from the state budget, allocated by the Minister of Education and Science as part of the "Science for Society II" program (grant no. NdS-II/SP/0234/2024/01).

Competing Interests

No competing interests have been declared.

Copyright Notice

© The Author(s) 2026. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits redistribution, commercial and noncommercial, provided that the article is properly cited.

REVIEW

Wykorzystanie glonów jako składników diety człowieka

Michał Adamski^{1*}, Ariel Kamiński², Jolanta Piątek¹

¹ Grupa Ekologii Funkcjonalnej i Ewolucyjnej, Instytut Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, Lubicz 46, 31-512 Kraków, Polska

² Pracownia Metabolomiki Wydziału Biochemii, Biofizyki i Biotechnologii, Uniwersytet Jagielloński, Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, Polska

*To whom correspondence should be addressed. Email: m.adamski@botany.pl

Streszczenie

Jednym z cywilizacyjnych wyzwań współczesnego świata jest zapewnienie bezpieczeństwa żywieniowego nieprzerwanie wzrastającej populacji ludzkiej. Obecnie główne źródło białka w diecie człowieka stanowią produkty mięsne, lecz z uwagi na negatywne konsekwencje dla środowiska naturalnego powodowane przez komercyjne hodowle zwierząt, stale poszukiwane są nowatorskie i bardziej ekologiczne sposoby wytwarzania pełnowartościowej żywności. W 1997 roku Parlament Europejski wprowadził regulacje dotyczące wprowadzania nowej żywności, która otrzymywana jest innowacyjnymi metodami i nie była wcześniej intensywnie wykorzystywana – tzw. novel food. W doktrynę tę bardzo dobrze wpisują się produkty żywieniowe wytwarzane z wykorzystaniem glonów. Choć spożywanie makroglonów, popularnie nazywanych „wodorostami”, ma wielowiekowe tradycje i sięga czasów starożytnych, współcześnie organizmy te zyskują coraz większe uznanie w miejscach, w których do tej pory nie były wykorzystywane w celach żywieniowych. Związane jest to z popularnością kuchni azjatyckiej, w której glony stanowią bardzo ważny element, a także naukowymi doniesieniami wskazującymi korzyści ze spożywania glonów, m.in. dużą zawartość w ich komórkach pełnowartościowego białka, antyoksydantów czy pożądaných lipidów. W ostatnich latach pojawia się coraz więcej publikacji, dotyczących potencjalnego eksploatowania w celach żywieniowych także mikroskopowych glonów. Niniejszy artykuł zawiera informacje opisujące aspekty historycznego i współczesnego wykorzystania zarówno makro, jak i mikroglonów w produktach żywieniowych.

Słowa kluczowe

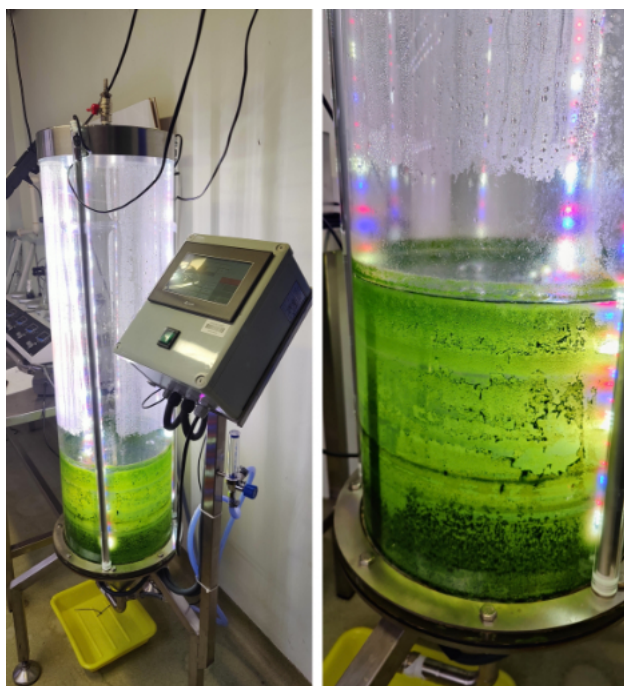
glony; makroglony; mikroglony; cyjanobakterie; dieta człowieka; novel food

1. Wstęp

Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (ang. Food and Agriculture Organization, FAO) uważa, że konieczny jest wzrost o 60% światowej produkcji żywności celem wyżywienia 9-miliardowej populacji ludzkiej w 2050 roku (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Obecnie główne źródło białka w diecie człowieka stanowią produkty zwierzęce, szczególnie wyraźnie trend ten zaznacza się w państwach europejskich. Kierując się potrzebą ochrony środowiska naturalnego silnie eksploatowanego w celach zapewnienia odpowiednich przestrzeni do prowadzenia hodowli, a także przekształcanego rolniczo w celu uzyskania paszy dla zwierząt oraz ogólnym dobrostanem zwierząt, wydaje się zasadne ograniczanie masowych hodowli i poszukiwanie alternatywnych źródeł białka w diecie.

Interesujące pod tym względem wydają się glony, które w odróżnieniu od naczyniowych roślin uprawnych posiadają zdecydowanie mniejsze wymagania kultywacyjne. Glony można przetrzymywać w reaktorach, w miejscach, w których klasyczna uprawa roślin odbywać się nie może (Rycina 1). W odróżnieniu od konwencjonalnych upraw, kultywacje glonów nie wymagają używania ciężkiego sprzętu rolniczego. Do rozwoju glonów w zamkniętych układach nie są konieczne specyficzne środki ochrony chemicznej, takie jak pestycydy czy insektycydy. W porównaniu do upraw roślin, kultywacje glonów wymagają także podaży znacznie mniejszej ilości wody (Kumar et al., 2024).

Wykazano wielokrotnie, że komórki glonów zawierają cenne związki takie jak pełnowartościowe białka, aminokwasy, lipidy oraz węglowodany. Syntetyzowane przez nie substancje znajdują zastosowanie w medycynie, farmacji, biotechnologii



Rycina 1 Bioreaktor służący do kultury glonów, fot. A. Kamiński.

czy kosmetologii. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele produktów posiadających w swoim składzie substancje pochodzenia glonowego lub całe komórki czy plechy glonów. Są to np. środki kosmetyczne takie jak kremy i szampony, żelujące dodatki do żywności oraz barwniki. Związki ekstrahowane z komórek glonów coraz częściej testowane są jako bakteriocydy, a także składniki środków przeciwwirusowych. Wyniki niektórych badań wskazują możliwość potencjalnego wykorzystania substancji produkowanych przez glony jako czynników zapobiegających nowotworzeniu lub przyczyniających się do cofania nowotworowych zmian. Wyniki innych, sugerują możliwość zastosowania metabolitów glonów w terapiach przeciwwirusowych (Minhas et al., 2024; Muñoz et al., 2024; Bouafir et al., 2025).

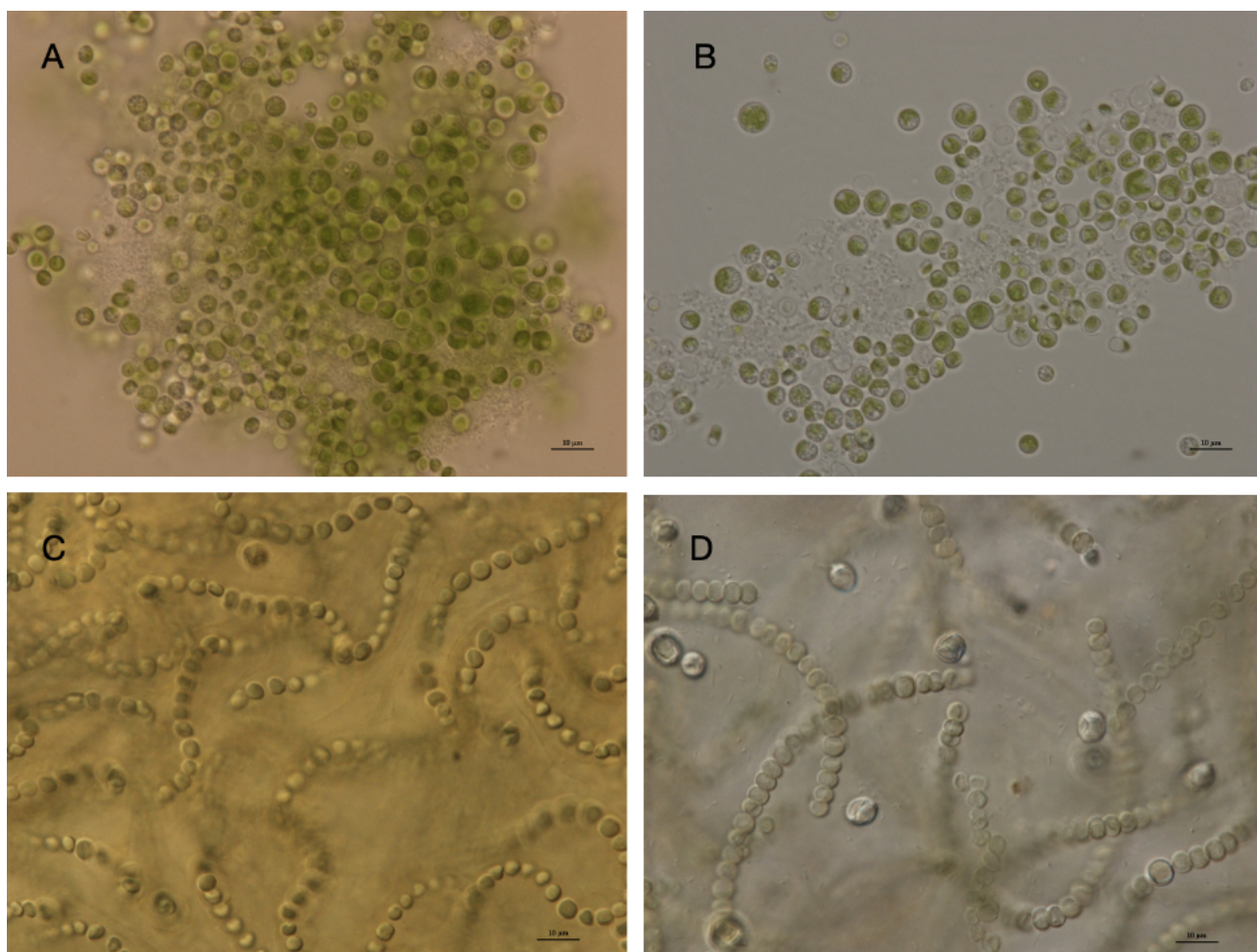
Szacowana wartość globalnego rynku glonów i produktów pochodzenia glonowego wynosiła w 2018 roku 594 miliony euro, a prognozowana jego wartość w 2027 roku oscyluje wokół 1 mld euro (Boukid & Castellari, 2021). Największy udział w globalnym rynku glonów posiadają produkty żywieniowe. Wiele z nich może wpisywać się w definicję tzw. nowej żywności (ang. novel food), definiowanej w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego jako zbiór przepisów i procedur regulacyjnych, które określają zasady wprowadzania do obrotu nowych rodzajów żywności i składników żywności, które powstały przy wykorzystaniu innowacyjnych technologii lub nieszablonych pod tym kątem organizmów i nie były spożywane w znaczącej ilości w Europie przed 15 maja 1997 roku (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE), 2015). Niniejszy artykuł zbiera najważniejsze informacje dotyczące wykorzystania glonów w celach konsumpcyjnych. Zawiera opis historycznych aspektów dotyczących spożywania glonów, a także

przedstawia współczesny pogląd na glony jako element diety człowieka.

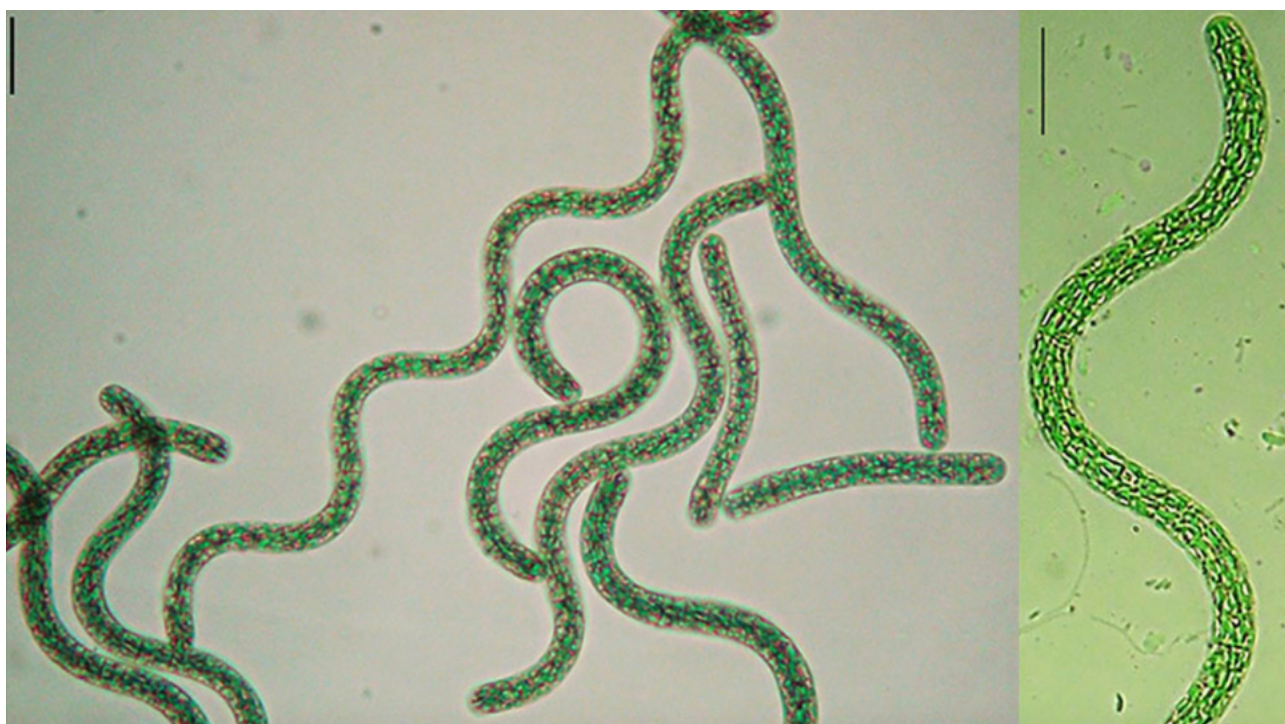
2. Glony jako składnik diety człowieka – wielowiekowe doświadczenie

Dane archeologiczne dotyczące konsumpcji glonów przez człowieka wskazują na wykorzystywanie tych organizmów co najmniej od 14000 lat. Analiza materiałów zebranych z okolic Monte Verde (Chile) wykazała używanie przez tamtejszą ludność makroglonów (glonów widocznych gołym okiem, często popularnie nazywanych „wodorostami”) w celach dietetycznych oraz jako składników leków (Dillehay et al., 2008). To stanowisko archeologiczne znajduje się blisko wybrzeża, co nie może dziwić, gdyż dostępność makroalg w takich miejscach jest po prostu największa. W obrębie wybrzeża morskiego lub oceanicznego, istnieje możliwość bezpośredniego pobierania wodorostów z akwenu, a także zbieranie tych, które zostały wyniesione na brzeg w trakcie sztormów. Ogólny trend wykorzystywania glonów przede wszystkim w okolicach wybrzeży, zaznacza się także w innych lokalizacjach geograficznych. Wynika to z tego, że ludność zasiedlająca tereny położone u wybrzeży, często miała ograniczone możliwości prowadzenia tradycyjnych upraw roślin naczyniowych. Chińskie zapiski datowane na 500 rok p.n.e. zawierają opisy wykorzystania makroalg jako składnika pożywienia ludności nadmorskiej i mogą być traktowane jako jedno z pierwszych tego typu doniesień naukowych (Pereira, 2016). Receptury leków z czasów Hipokratesa zawierały wytyczne dotyczące używania spopielonych makroalg jako składników produktów leczniczych (Pereira, 2015; Pérez-Lloréns et al., 2020). Wikingowie, a także mieszkańcy Islandii, spożywali makroalgi w stanie surowym lub pod postacią wysuszonych w starych beczkach płatów (Hallsson, 1961; Patarra, 2018; Pérez-Lloréns et al., 2020). Źródła historyczne donoszą także, że morskie gatunki glonów używane były w celach konsumpcyjnych również przez ludność zamieszkującą wybrzeża Anglii, Francji, Hiszpanii oraz Portugalii. W krajach tych pokarmy przygotowywane z makroalg przyczyniły się do przetrwania okresów głodu. Wodorosty często stanowiły także surowiec uzdatniający glebę lub składnik pasz dla zwierząt (Baldwin, 2000; Patarra, 2018; Mouritsen et al., 2021).

Zdecydowanie mniej informacji dostępnych jest na temat historycznego wykorzystywania mikroalg – gatunków, które z racji rozmiarów mogą być obserwowane jedynie pod mikroskopem. W tym przypadku bardzo często współczesne źródła literaturowe kwalifikują w poczet mikroalg także cyjanobakterie (sinice). Wprowadza to liczne niejasności, ponieważ cyjanobakterie i glony to, choć podobne pod niektórymi względami organizmy, tak naprawdę różniące się znacznie cechami morfologicznymi oraz fizjologią i biologią komórki (Rycina 2; Rycina 3). Przede wszystkim cyjanobakterie to organizmy prokariotyczne, zatem bez jądra komórkowego, a wszystkie gatunki glonów reprezentują królestwo Eukariota. Obydwie grupy należą do fotoautotrofów, czyli organizmów przeprowadzających fotosyntezę (niektóre gatunki glonów są miksotrofami –



Rycina 2 Przykłady mikroskopowych glonów oraz cyjanobakterii: A i B – *Chlorella vulgaris* (zielenice), C i D – *Nostoc sphaericum* (cyjanobakterie), fot. J. Piątek.



Rycina 3 Obraz mikroskopowy trychomów cyjanobakterii *Arthrospira platensis*. Na podstawie: Santos et al., 2023, zmodyfikowane.

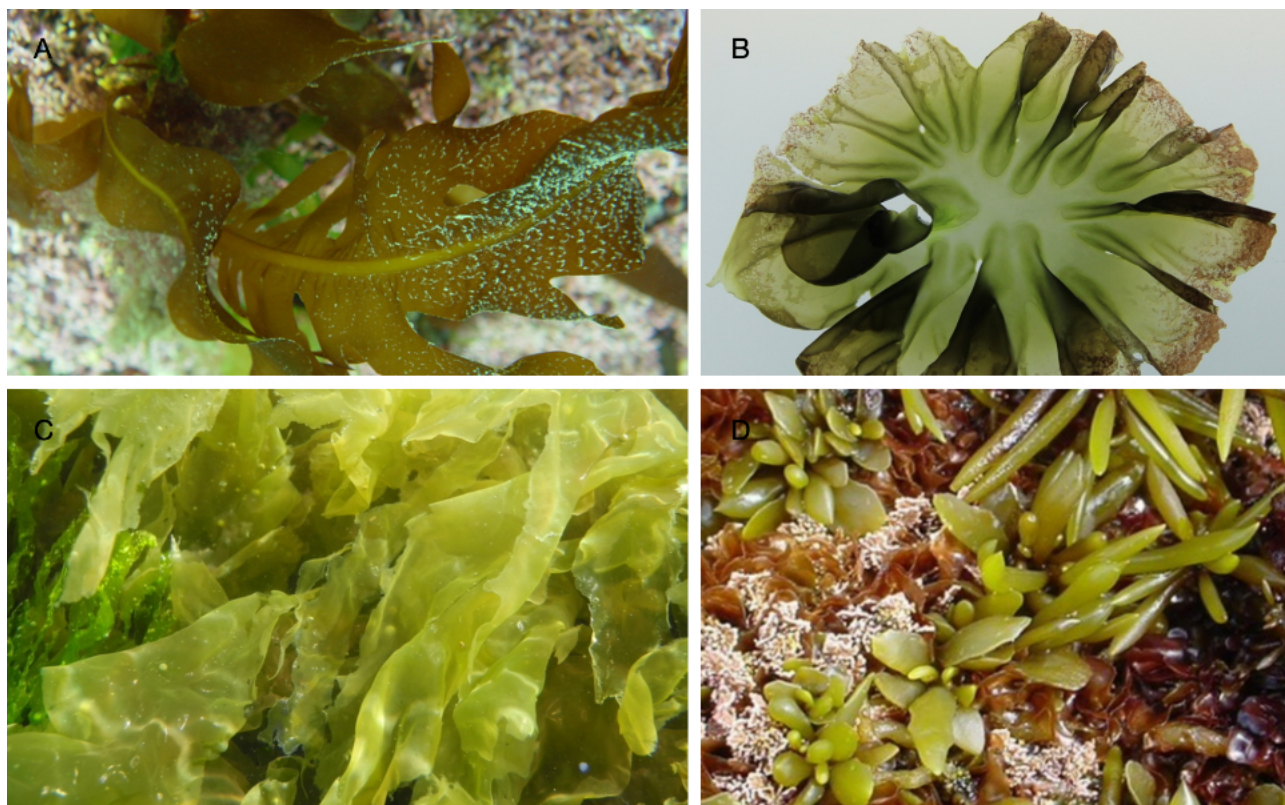
w ciemności mogą odżywiać się heterotroficznie), lecz w samym przebiegu i lokalizacji fotosyntezy w komórce występują także pomiędzy sinicami i glonami znaczne różnice.

Pierwsze wzmianki współcześnie zakwalifikowane jako opisujące wykorzystanie mikroalg w celach konsumpcyjnych, dotyczą tak naprawdę cyjanobakterii i pochodzą z I wieku z Chin (Spolaore et al., 2006; Gao et al., 2021). Historyczne dane wskazują na wykorzystywanie przede wszystkim cyjanobakterii z rodzaju *Nostoc* (Cyanobacteriophyta) oraz *Arthrospira* (Cyanobacteriophyta) (Rycina 2; Rycina 3). Co ciekawe rodzaje te znacznie różnią się od siebie zarówno pod względem cech morfologicznych, jak i przeprowadzanych procesów metabolicznych. Rodzaj *Nostoc* formuje charakterystyczne galaretowate skupienia nici, często obserwowane np. w ogrodach lub przy wilgotnych chodnikach. Sinice te tworzą związki symbiotyczne z grzybami, wchodząc w skład porostów (grzybów zlichenizowanych), a także zasiedlając struktury korzeniowe oraz podstawy liści roślin naczyniowych i mszaków. Rośliny odnoszą korzyści z obecności cyjanobakterii w postaci otrzymywania przyswajalnych form azotu, które tworzone są przy udziale kompleksu enzymatycznego (nitrogenazy), wiążącego azot atmosferyczny w wyspecjalizowanych komórkach – tzw. heterocytach. Gatunki z rodzaju *Arthrospira* nie wykazują zdolności wiązania azotu atmosferycznego, stąd nie wchodzą w symbiotyczne relacje z roślinami. Występują głównie w słodkich oraz zasolonych zbiornikach wodnych w postaci charakterystycznie skręconych nici (Rycina 3). Potrawy

przyrządzane z cyjanobakterii znane były przede wszystkim Aztekom, ludom dzisiejszej Mongolii oraz ludom afrykańskim (Farrar, 1966; Pereira, 2016).

3. Współczesne wykorzystanie makroalg czyli popularnych wodorostów

Makroalgi obecnie wykorzystywane są przede wszystkim w kuchni azjatyckiej, lecz zyskują popularność jako składnik diety także w innych rejonach geograficznych m.in. w Europie oraz USA. W Japonii, Korei czy Chinach używanie glonów w celach kulinarnych jest powszechne, stanowią one pożądaną składnik wielu różnorodnych przepisów (Rycina 4) (Murata & Nakazoe, 2001; Kim et al., 2017; Hwang & Park, 2020). Podstawowym składnikiem sushi są gatunki z rodzaju *Porphyra* (Rhodophyta), w Japonii znane pod nazwą „nori”. W procesie przypominającym tworzenie papieru, plechy nori są suszone, prasowane oraz podpiekane, a następnie wykorzystywane do zawijania rolek wypełnionych m.in. ryżem, mięsem ryb, owocami morza, warzywami i owocami. Do przyrządzania zup, sałatek czy past, wykorzystywane są glony należące do rodzaju *Undaria* (Heterokontophyta), nazywane w Japonii „wakame”. W skład japońskiego bulionu „dashi”, stanowiącego podstawę zupy „miso”, wchodzi gatunki z rodzaju *Laminaria* (Heterokontophyta), określane mianem „kombu” lub „konbu”. Glony te spożywane są także na surowo, bądź w postaci suszonej i wtórnie namaczanej, a także jako spoiwo rolek sushi.



Rycina 4 Morfologia plech wybranych makroglonów wykorzystywanych w celach kulinarnych: A – *Undaria pinnatifida* (fot. Ignacio Barbara, AlgaeBase), B – *Pyropia aedoides* (fot. D. Dyer, AlgaeBase), C – *Porphyra dioica* (fot. M.D. Guiry, AlgaeBase), D – *Sargassum fusiforme* (fot. H. Haga, AlgaeBase).

Nazwa innych cenionych kulinarnie w Azji glonów – „hijiki” („hiziki”), wywodzi się bezpośrednio od nazwy rodzajowej *Hiziki* (Heterokontophyta). Glony te po wysuszeniu oraz gotowaniu poddawane są pieczeniu, a następnie używane jako składnik sałatek, zup czy bulionów. Stanowią także dodatek do dań z ryżem i makaronem. Tradycyjnym akcentem kuchni japońskiej jest łączenie hiziki z marchewką (Murata & Nakazoe, 2001).

W Korei wykorzystywanie wodorostów w celach kulinarnych także ma ugruntowaną pozycję. Obecnie używa się tam około 30 gatunków należących do kilkunastu rodzajów. Wśród makroglonów wykorzystywanych w kuchni koreańskiej są brunatnice z rodzaju *Undaria* – *U. pinnatifida* oraz *U. peterseniana*. Przyszydzają się z nich zupy, a także gatunki reprezentujące gromadę Heterokontophyta i wykorzystywane w koreańskiej kuchni to *Scytosiphon lomentaria* (kor. „korimae”), *Ecklonia stolonifera* (kor. „kompi”), *Saccharina japonica* (kor. „dasima”) oraz *Pelvetia siliquosa* (kor. „thumbugi”). Spożywane są one jako składnik sałatek, w postaci ugotowanej na parze lub w oleju czy dodatek do zup. Wśród krasnorostów (Rhodophyta) wykorzystywanych kulinarnie w Korei, największy udział przypada gatunkom należącym do rodzaju *Gloiopeltis* – *G. furcata* (kor. „bultunggasari”), *G. tenar* (kor. „pulgasari”), *G. complanata* (kor. „aekipulgasari”), *Grateloupia* – *G. asiatica* (kor. „jinaejinuari”) oraz *G. subpectinata* (kor. „bitsaldobak”). Używane są jako składnik zup, sałatek lub jako przyprawy. W postaci tostów lub sushi spożywany jest gatunek *Pyropia complex*, występujący lokalnie pod nazwą „gim”. Cenionym składnikiem sałatek są produkty pochodzące z plech *Nemalion vermiculare* (kor. „khamguksunamul”). Głównie jako przyprawy używane są natomiast plechy *Gracilariopsis chorda* (kor. „gaekkosshiraegi”) oraz *Chondria crassicaulis* (kor. „gaeseoshil”). Z kolei źródłem spożywczego agaru są *Gelidium amansii* (kor. „umutkasari”) oraz *Pterocladiaella capillacea* (kor. „kaeumu”) (Hwang & Park, 2020).

Podobne rodzaje makroalg spożywane są obecnie w Chinach, gdzie znajdują się także największe komercyjne kultywacje glonów. Największy udział w komercyjnych uprawach wodorostów, stanowią gatunki z rodzaju *Pyropia*, *Gracilaria*, *Sacharina*, *Undaria*, *Kappaphycus*, *Eucheuma* oraz *Sargassum*, które reprezentują gromadę Rhodophyta oraz Heterokontophyta. Ich komercyjne kultywacje spotykane są także m.in. w Japonii, Korei, Wietnamie, Malezji czy Indonezji, ale także w krajach afrykańskich np. Tanzanii (Kim et al., 2017). Tradycyjna uprawa makroalg polega na pobieraniu ich ze środowiska naturalnego oraz umieszczania na rozciągniętych w odpowiednim miejscu akwenach linach. Metoda ta niestety mocno dewastuje naturalne stanowiska makroalg, dlatego w ostatnim czasie stosuje się pobór materiału z przygotowanych wcześniej sztucznych siedlisk pożądanego gatunku, na których może zachodzić jego płciowe rozmnażanie (Pang et al., 2005). Używanie makroalg w celach kulinarnych w Chinach oraz innych krajach azjatyckich, nie odbiega znacząco od sposobów przygotowywania potraw w wyżej opisanych rejonach Azji. Wodorosty spożywane są w stanie surowym, gotowanym bądź smażonym. Przyszydzają z nich są zupy, stanowią także dodatek do innych dań, często po odpowiedniej

obróbce stanowią cenione przyprawy (FAO, 2018; Gallego et al., 2025).

W Europie makroalgi wykorzystywane są w celach kulinarnych znacznie rzadziej, niż ma to miejsce w krajach azjatyckich, choć w ostatnich dekadach dodawanie glonów do potraw cieszy się na Starym Kontynencie wzrastającą popularnością (Gallego et al., 2025). W Wielkiej Brytanii i Irlandii wodorosty należące do gatunku *Palmaria palmata* (Rhodophyta) spożywane były na surowo, smażone, podawane jako składnik owsianki lub wypiekane na chrupkie pasy. Ostatnio wykorzystanie tego gatunku jako dodatku do potraw ponownie wrasta. W Walii cenionym przysmakiem jest tzw. laverbread czyli potrawa przypominająca konsystencją wafle ryżowe, która jest przygotowywana po obróbce wodorostów z rodzaju *Porphyra*. Ten sam rodzaj wykorzystywany jest na Azorach (Portugalia) jako składnik omletów czy placków nazywanych „Tortas de Erva do Calhau”. W sycylijskich restauracjach można natomiast zamówić potrawy przygotowywane z gatunków *Ulva lactuca* (Chlorophyta) oraz *Chondracanthus teedei* (Rhodophyta). Są to najczęściej sałatki do dań rybnych, składniki twarogu, wypiekane placki oraz suszone bądź surowe przekąski (Mendes et al., 2022). Duże zasługi w popularyzacji konsumpcji glonów w Europie posiada japoński popularyzator tzw. makrobiotycznej diety – George Ohsawa. Podczas swojego pobytu w Europie w połowie XX wieku skutecznie przekonał on m.in. francuskie społeczeństwo do wykorzystywania w trakcie przygotowywania posiłków wodorostów, najczęściej z rodzajów *Porphyra*, *Undaria*, *Laminaria*, *Eisenia* (Heterokontophyta), oraz *Hizikia* (Horowitz & Tomita, 2002; Mendes et al., 2022). Do dziś gatunki te wykorzystywane są jako składniki dań, których popularność, zwłaszcza w ostatniej dekadzie, nieprzerwanie rośnie (Gallego et al., 2025). Podobny trend utrzymuje się także w innych regionach świata, m.in. w Stanach Zjednoczonych Ameryki (USA). Tam także w ostatnich dekadach nastąpił wzrost popularności posiłków, których skład wzbogacany jest o makroalgi. Spowodowane jest to podróżowaniem w rejonach gdzie wodorosty stanowią cenny kulinarny przysmak, ugruntowaną już pozycją dań japońskich m.in. sushi, a także wzrastającą świadomością żywieniową dyktującą stosowanie produktów klasyfikowanych jako zdrowe, w poczet których makroalgi niewątpliwie mogą się zaliczać. Gatunki wykorzystywane w celach kulinarnych w USA i innych regionach, a także potrawy przyszydzane z ich udziałem są podobne do tych, używanych w krajach azjatyckich. Szacuje się, że spożycie makroalg w kolejnych dekadach będzie sukcesywnie wzrastać, równoległe z ich wykorzystaniem jako źródła cennych substancji znajdujących zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym, medycznym czy kosmetycznym (FAO, 2018).

4. Współczesne wykorzystanie mikroalg – jeszcze niewykorzystany potencjał

W większości źródeł literaturowych wykorzystywane w celach kulinarnych cyjanobakterie klasyfikowane są jako „mikroalgi”. Dotyczy to głównie gatunków z rodzajów *Nostoc* oraz *Arthrospira* (Rycina 2; Rycina 3) (Saxena et al., 2022;

Santos et al., 2023; Chasquibol et al., 2025). Pod względem budowy komórkowej rodzaje te różnią się pomiędzy sobą znacznie. *Nostoc* sp. tworzą nici, które asocjują w większe struktury skupione w galaretowatej plesze. Makroskopowo plesze *Nostoc* sp. widoczne są jako bezkształtne lub sferyczne żelowate struktury, od których wywodzi się ich polska nazwa – „trzęsidło”. Rodzaj *Arthrospira* tworzy wolne nici, które często spiralnie się skręcają, co zostało wykorzystane w potocznym nazewnictwie gatunków należących do tego rodzaju – w terminie „spirulina”. Jest to także częsta nazwa handlowa produktów takich jak suplementy diety czy kosmetyki, które w swoim składzie posiadają elementy pochodzenia cyjanobakteryjnego (Spínola et al., 2024).

W Chinach galaretowate struktury *Nostoc* sp. spożywane są po wysuszeniu, ich struktura przypomina wówczas włosy, dlatego regionalna nazwa produktów pochodzenia sinicowego – „fa cai” może być tłumaczona jako „warzywo włosowe”. Po powtórным namoczeniu fa cai przypominają drobny makaron ryżowy. Podobne produkty uzyskiwane z plesch *Nostoc* sp. znane są w Mongolii oraz Ameryce Południowej (tutaj nazywane „cushuru”). W niektórych regionach Chin oraz w Mongolii (np. na pustyni Gobi) zbiór cyjanobakterii był tak intensywny, że przyczynił się do zniszczenia bioskorup na powierzchni gleby, co w konsekwencji doprowadzało do jej erozji. W Chinach podjęto nawet odpowiednie środki zaradcze, regulując ustawowo ilość zbieranych cyjanobakterii. Znany przypadkiem wykorzystania spiruliny są placki, tworzone z jej plesch w okolicach jeziora Kossorom (Czad, Afryka). Okoliczna ludność wykorzystuje materiał komórkowy, który rozmieszcza w specjalnych, przygotowanych do tego celu ziemnych zagłębieniach. Wyschnięte na słońcu cyjanobakterie, tworzą struktury nadające się do spożycia w postaci przypominającej wafle lub chipsy (Ferreira de Oliveira & Bragotto, 2022; Banerjee et al., 2024).

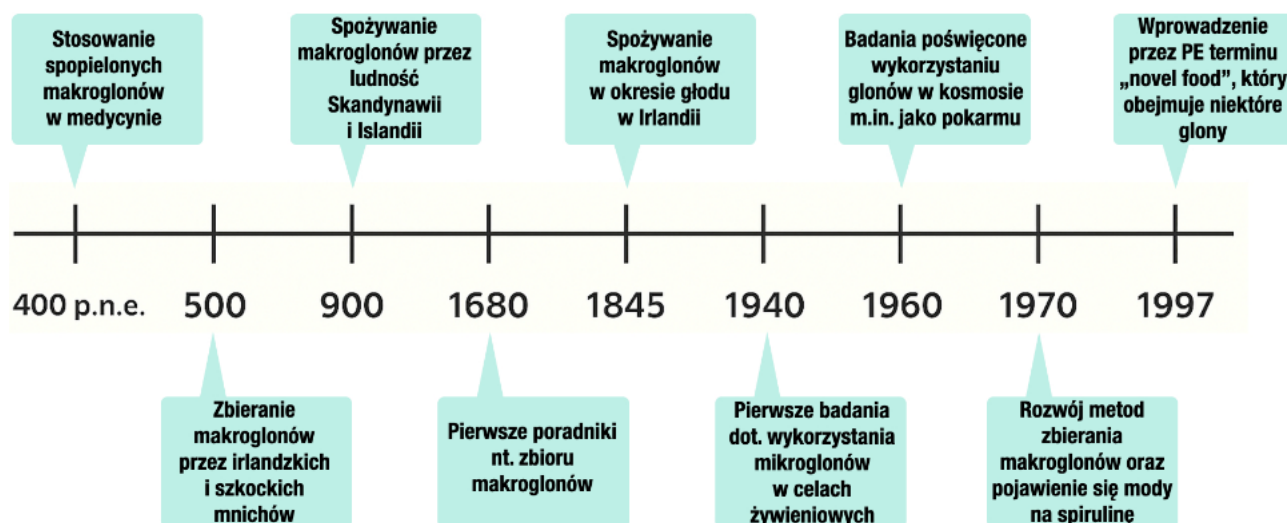
Zdecydowanie mniej eksploatowane kulinarnie w porównaniu do makroalg oraz cyjanobakterii są eukariotyczne mikroskopowe glony. Dane dotyczące ich wykorzystania dotyczą właściwie kilku gatunków zielenic. Najczęściej nie stanowią one głównego składnika potrawy, są raczej dodatkiem zapewniającym pożądane właściwości końcowych produktów. Ciastka tworzone technologią druku 3D z dodatkiem komórek *Chlorella vulgaris* cechowały się stabilniejszą i bardziej odporną na wysoką temperaturę strukturą. Dodawane do pieczywa haptofity (Haptophyta) i zielenice (Chlorophyta), takie jak *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis suecica*, *Scenedesmus almeriensis* i *Nannochloropsis gaditana*, przyczyniały się do nadawania skórcie pożądanych, żółtych oraz zielonkawych odcieni. Dodawane do czekoladowych batoników glony *Scenedesmus obliquus* zwiększały odporność tego produktu względem tlenowych wolnych rodników (Villarruel-López et al., 2017; Ferreira de Oliveira & Bragotto, 2022).

Niewątpliwie mikroglony będą coraz popularniejszym i silniej eksploatowanym źródłem, wykorzystywanym w przemyśle żywieniowym. W roku 2018 FAO zarejestrowała 87 mln ton kultury mikroalg rozlokowanych w 11 krajach. Głównym ich producentem, mającym większościowy udział w rynku (86,6 mln ton) były Chiny. Dane te nie zawierały

wówczas informacji z krajów, które obecnie także prowadzą intensywne kultywacje mikroglonów np. z USA, Indii czy Australii (FAO, 2021). W Europie obecnie komercyjne kultywacje mikroglonów prowadzi się w 23 krajach, w których wykorzystywanych jest około 450 gatunków, w tym cyjanobakterii. Największymi europejskimi producentami mikroalg są Niemcy, Hiszpania i Włochy (Araújo et al., 2021).

Pomimo wykazywanych wielokrotnie korzystnych zawartości pełnowartościowych białek, pożądanych węglowodanów oraz tłuszczów (np. kwasu DHA), a także specyficznych związków takich jak np. karotenoidy, należy pamiętać także o zagrożeniach wynikających z szerokiego metabolizmu mikroalg. Szereg gatunków cyjanobakterii, zasiedlających różne nisze ekologiczne, wykazuje zdolność syntezy toksycznych metabolitów wtórnych – tzw. cyjanotoksyn. Związki te stanowią jedną z najniebezpieczniejszych grup toksyn produkowanych w naturalnym środowisku. Stanowią poważne zagrożenie w ekosystemach wodnych, upośledzając relacje ekologiczne w zbiornikach. Nadmierny rozwój cyjanobakterii – tzw. zakwit, często skutkuje także wyłączeniem zbiornika wodnego z rekreacyjnego użytkowania, co ma miejsce właściwie w każdym sezonie wakacyjnym np. na polskim wybrzeżu. Podobnie, wiele gatunków eukariotycznych glonów produkuje toksyczne metabolity. Wśród szczególnie niebezpiecznych wyróżnić można paralizujące saksytoksyny, które produkowane są przez bruzdnice (Dinoflagellata), np. przedstawicieli rodzaju *Alexandrium*. Znane są także związki, które wywołują amnezję – produkowany przez okrzemki (Heterokontophyta) kwas domoikowy oraz inne, wykazujące działanie neurotoksyczne, cytotoksyczne, dermatotoksyczne lub hepatotoksyczne substancje, najczęściej syntetyzowane przez bruzdnice (Adamski et al., 2020; Białczyk et al., 2008; Adamski et al., 2024).

Wykorzystywanie mikroglonów w celach kulinarnych powinno być zawsze poprzedzone wnikliwą oceną toksyczności związków syntetyzowanych przez używane gatunki. Ocena ta powinna obejmować analizy jakościowe i ilościowe bioaktywnych metabolitów pochodzenia glonowego lub cyjanobakteryjnego, a także weryfikację zawartości toksycznych pierwiastków (np. metali ciężkich) w ich komórkach, których obecność może wynikać z nieprawidłowości podczas prowadzonej kultywacji (Rzymiski et al., 2019). Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności w roku 2020 zakwalifikował jako nietoksyczne gatunki należące do rodzaju *Schizochytrium* sp. (Chlorophyta) i dopuścił spożywanie produktów tworzonych z ich udziałem. Amerykańska FDA (United States Food and Drug Administration) zaliczyła szereg gatunków mikroglonów, reprezentujących gromadę Cyanobacteriophyta, Chlorophyta oraz Heterokontophyta jako tzw. GRAS (ang. generally, recognize as safe). Są to m.in.: *Arthrospira maxima*, *Arthrospira platensis*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella protothecoides*, *Dunaliella bardawil*, *Haematococcus pluvialis*, *Prototheca moriformis*, *Schizochytrium* sp. oraz *Ulkenia* sp. Procedury podejmowane przez wspomniane wyżej agencje będą zapewne realizowane w przyszłości, podczas oceny toksyczności innych gatunków mikroglonów (Ferreira de Oliveira



Rycina 5 Istotne momenty związane z historią wykorzystywania glonów w celach żywieniowych (oprac. M. Adamski).

& Bragotto, 2022). Istotne momenty w historii kulinarnego wykorzystywania makro i mikroglonów przedstawiono na Rycinie 5.

5. Podsumowanie

Pierwsze zapiski opisujące wykorzystanie glonów w celach kulinarnych pochodzą już z czasów starożytnych. Należy jednak założyć, że makroglony popularnie nazywane „wodorostami”, były spożywane praktycznie od momentu, w którym ludzkość zaczęła zasiedlać tereny nadmorskie. Podobnie spożywanie cyjanobakterii miało miejsce najprawdopodobniej na długo przed sporządzeniem oficjalnych opisów ich wykorzystywania pod tym kątem. Obecnie glony są nieodzownym składnikiem kuchni azjatyckiej i zyskują coraz większą popularność w innych regionach takich jak Europa czy Ameryka Północna. Niektóre gatunki glonów oraz cyjanobakterii zawierają w swoich komórkach porównywalne bądź wyższe stężenie aminokwasów białkowych, witamin, minerałów czy cennych lipidów niż np. cenione kulinarnie rośliny. Dlatego też często kwalifikuje się je w poczet tzw. super food, a więc jedzenia, które zawiera cenne z perspektywy zdrowia człowieka składniki, przy jednoczesnym braku lub niewielkim stopniu przetworzenia. Biorąc pod uwagę korzyści jakie wynikają z kultury glonów, ich wykorzystanie m.in. w celach kulinarnych w kolejnych latach będzie najprawdopodobniej stale rosnać. Potwierdzają to dane publikowane przez organizacje zajmujące się żywieniem np. Organizację Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (ang. FAO). W kolejnych latach można spodziewać się intensyfikacji badań koncentrujących się na wykorzystywaniu mikroskopowych glonów, zarówno jako źródła cennych substancji o biologicznej aktywności, jak również bezpośredniego używania ich w celach kulinarnych.

Bibliografia

Adamski, M., Flakus, A., Kamiński, A., Piątek, J., Solarzka, M., & Żmudzki, P. (2024). The first report of the production

of anatoxin-a by Bolivian terrestrial cyanobacteria. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 93, 177923.

<https://doi.org/10.5586/asbp/177923>

Adamski, M., Zimolag, E., Kamiński, A., Drukała, J., & Białczyk, J. (2020). Effects of cylindrospermopsin, its decomposition products, and anatoxin-a on human keratinocytes. *Science of the Total Environment*, 765, 142670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142670>

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12(3). FAO: Rome, Italy.

Araújo, R., & Peteiro, C. (2021). Algae as food and food supplements in Europe. *Technical report by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service*. <https://doi.org/10.2760/049515>

Banerjee, S., Lahiri, S., Choudhury, A.K., Mondal, A., Kim, J.W., Ali, D.M., & Satpati, G.G. (2024). Unraveling the potential of cyanobacteria as food and investigating its production and nutritional properties. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 62, 103421. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103421>

Baldwin, J.R. (2000). The Province of Strathnave. Scottish Society for Northern Studies: Edinburgh.

Białczyk, J., Bober, B., & Lechowski, Z. (2008). Neurotoksyny syntetyzowane przez sinice. *Wiadomości Botaniczne*, 52, 43–53.

Bouafir, Y., Bouhenna, M.M., Nebbak, A., Belfarhi, L., Aouzal, B., Boufahja, F., Bendif, H., & Bruno, M. (2025). Algal bioactive compounds: A review on their characteristics and medicinal properties. *Fitoterapia*, 183, 106591. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2025.106591>

Boukid, F., & Castellari, M. (2021). Food and Beverages Containing Algae and Derived Ingredients Launched in the Market from 2015 to 2019: A Front-of-Pack Labeling Perspective with a Special Focus on Spain. *Foods*, 10, 173. <https://doi.org/10.3390/foods10010173>

Chasquibol, N., Sotelo, A., Tapia, M., Alarcon, R., Goycoolea, F.M., & Hernández-Álvarez, A.J. (2025). Evaluation of cushuro (*Nostoc sphaericum*) as an alternative source of minerals, functional protein and bioactive peptides. *LWT*, 217, 117426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117426>

Dillehay, T.D., Ramírez, C., Pino, M., Collins, M.B., Rossen, J., & Pino-Navarro, J.D. (2008). Monte Verde: Seaweed, Food,

- Medicine, and the Peopling of South America. *Science*, 320, 784–786. <https://doi.org/10.1126/science.1156533>
- FAO. (2018). The global status of seaweed production, trade and utilization. *Globefish research programme*, 124, 120.
- FAO. (2021). Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. *Fisheries and Aquaculture Circular*, 1229. <https://doi.org/10.4060/cb5670en>
- Farrar, W.V. (1966). Tecuitlatl; A Glimpse of Aztec Food Technology. *Nature*, 211, 341–342. <https://doi.org/10.1038/211341a0>
- Ferreira de Oliveira, A.P., & Bragotto, A. (2022). Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100157>
- Gallego, I., Medic, N., Pedersen, J.S., Ramasamy, P.K., Robbens, J., Verecke, E., & Romeis, J. (2025). The microalgal sector in Europe: Towards a sustainable bioeconomy. *New Biotechnology*, 86, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2025.01.002>
- Gao, F.Z., Ge, B.S., Xiang, W.Z., & Qin, S. (2021). Development of microalgal industries in the past 60 years due to biotechnological research in China: A review. *Scientia Sinica Vitae*, 51, 26–39. <https://doi.org/10.1360/SSV-2020-0166>
- Hallsson, S. (1961). The uses of seaweeds in iceland. In Ad. Davy De Virville & J. Feldmann Oxford (Ed.), *Proceedings of the Fourth International Seaweed Symposium* (pp. 18–24). Pergamon Press. <https://doi.org/10.1017/S0025315400027934>
- Hwang, E.K., & Park, C.S. (2020). Seaweed cultivation and utilization of Korea. *Algae*, 35(2), 107–121. <https://doi.org/10.4490/algae.2020.35.5.15>
- Horowitz, J., & Tomita, M. (2002). The Macrobiotic Diet as Treatment for Cancer: Review of the Evidence. *The Permanent Journal*, 6(4), 34–37.
- Kim, J.K., Yarish, C., Hwang, E.K., Park, M., & Kim, Y. (2017). Seaweed aquaculture: cultivation technologies, challenges and its ecosystem services. *Algae*, 32(1), 1–13. <https://doi.org/10.4490/algae.2017.32.3.3>
- Kumar, C., Sharma, M., Kaur, M., Arya, S.K., & Khatri, M. (2024). Cultivation of Algae: Techniques and Challenges. In S.K., Arya, M., Khatri, & G., Singh (Eds.), *Value Added Products From Bioalgae Based Biorefineries: Opportunities and Challenges*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1662-3_3
- Mendes, M.C., Navalho, S., Ferreira, A., Paulino, C., Figueiredo, D., Silva, D., Gao, F., Gama, F., Bombo, G., Jacinto, R., Aveiro, S.S., Schulze, P.S.C., Gonçalves, A.T., Pereira, H., Gouveia, L., Patarra, R.F., Abreu, M.H., Silva, J.L., Navalho, J., Varela, J.S.C., & Speranza, L.G. (2022). Algae as Food in Europe: An Overview of Species Diversity and Their Application. *Foods*, 11, 1871. <https://doi.org/10.3390/foods11131871>
- Minhas, L.A., Kaleem, M., Farooqi, H.M.U., Kausar, F., Waqar, R., Bhatti, T., Aziz, S., Jung, D.W., & Mumtaz, A.S. (2024). Algae-derived bioactive compounds as potential pharmaceuticals for cancer therapy: A comprehensive review. *Algal Research*, 78, 103396. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103396>
- Mouritsen, O.G., Rhatigan, P., Cornish, M.L., Critchley, A.T., & Pérez-Lloréns, J.L. (2021). Saved by seaweeds: Phyconomic contributions in times of crises. *Journal of Applied Phycology*, 33, 443–458. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02256-4>
- Muñoz, A.C.H., Martínez, I.A.R., Serafini, M.R., & Aragón, D.M. (2024). Innovative applications of marine-derived algae in cosmetics: A patent review (2010–2023). *Algal Research*, 84, 103806. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103806>
- Murata, M., & Nakazoe, J. (2001). Production and Use of Marine Algae in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 35(4), 281–290. <https://doi.org/10.6090/jarq.35.281>
- Pang, J.S., Chen, L.T., Zhuang, D.G., Fei, X.G., & Sun, J.Z. (2005). Cultivation of the brown alga *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura: enhanced seedling production in tumbled culture. *Aquaculture*, 245, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.011>
- Patarra, A.R.F. (2018). *Culture Studies of Economically Important Seaweeds*. University of Azores. <http://hdl.handle.net/10400.3/5097>
- Pereira, L. (2015). Seaweed Flora of the European North Atlantic and Mediterranean. In K. Se-Kwon (Ed.), *Springer Handbook of Marine Biotechnology* (pp. 65–178). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-53971-8>
- Pereira, L. (2016). *Edible Seaweeds of the World*. CRC Press: Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/b19970>
- Pérez-Lloréns, J.L., Mouritsen, O.G., Rhatigan, P., Cornish, M.L., & Critchley, A.T. (2020). Seaweeds in mythology, folklore, poetry, and life. *Journal of Applied Phycology*, 32, 3157–3182. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02133-0>
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r.
- Rzyski, P., Budzulak, J., Niedzielski, P., Klimaszyk, P., Proch, J., Kozak, L., & Poniedziałek, B. (2019). Essential and toxic elements in commercial microalgal food supplements. *Journal of Applied Phycology*, 31, 3567–3579. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1681-1>
- Santos, K.R.S., Hentschke, G.S., Ferrari, G., Andreote, A.P.D., Fiore, M.F., Vasconcelos, V., & Sant'Anna, C.L. (2023). Molecular, morphological and ecological studies of *Limnospira platensis* (Cyanobacteria), from saline and alkaline lakes, Pantanal Biome, Brazil. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1204787. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1204787>
- Saxena, R., Rodríguez-Jasso, R.M., Chávez-Gonzalez, M.N., Aguilar, C.N., Quijano, G., & Ruiz, H.A. (2022). Strategy Development for Microalgae *Spirulina platensis* Biomass Cultivation in a Bubble Photobioreactor to Promote High Carbohydrate Content. *Fermentation*, 8, 374. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080374>
- Spínola, M.P., Mendes, A.R., & Prates, J.A.M. (2024). Chemical Composition, Bioactivities, and Applications of *Spirulina* (*Limnospira platensis*) in Food, Feed, and Medicine. *Foods*, 13, 3656. <https://doi.org/10.3390/foods13223656>
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87–96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- Villarruel-López, A., Ascencio, F., & Nuño, K. (2017). Microalgae, a Potential Natural Functional Food Source – a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(4), 251–263. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2017-001>

The use of algae as dietary components in human nutrition

Abstract: One of the major civilizational challenges of the modern world is ensuring food security for the continuously growing human population. At present, the primary source of protein in the human diet is meat products; however, due to the negative environmental consequences of commercial animal farming, there is an ongoing search for new and more sustainable methods of producing high-quality food. In 1997, the European Parliament introduced regulations concerning the introduction of foods obtained through innovative methods that had not been previously used on a large scale – so-called novel foods. Algae-based food products fit well within this concept. Although the consumption of macroalgae, commonly referred to as “seaweeds,” has a long tradition dating back to ancient times, these organisms are increasingly gaining popularity in regions where they had not previously been used for nutritional purposes. This trend is associated both with the global spread of Asian cuisine, in which algae play a central role, and with scientific evidence highlighting the benefits of algal consumption, including their high content of valuable proteins, antioxidants, and beneficial lipids. In recent years, a growing number of studies have also focused on the potential use of microalgae in human nutrition. The present article provides an overview of the historical and contemporary applications of both macroalgae and microalgae in food products.

Keywords: algae; macroalgae; microalgae; cyanobacteria; human diet; novel food