

TERESA NOGA¹, NATALIA KOCHMAN-KĘDZIORA²

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

**MIKROGLONY NAJCZĘŚCIEJ WYKORZYSTYWANE
W PRZEMYSŁE ROLNO-SPOŻYWCZYM**

Spirulina i chlorella należą do mikroglonów (mikroskopijnych organizmów fotosyntetyzujących) najczęściej uprawianych w akwakulturach i wykorzystywanych w przemyśle rolno-spożywczym. Obydwa glony charakteryzują się wysoką zawartością białka (do 60% chlorella i do 70% spirulina), ponadto zawierają w składzie także kwasy tłuszczowe, witaminy, minerały i barwniki. Z tego względu, a także w związku z panującą obecnie modą na zdrowe odżywianie, produkty zawierające w swym składzie spirulinę, chlorellę lub ich ekstrakty są w ostatnich latach coraz bardziej popularne. Te mikroglony są powszechnie wykorzystywane jako dodatki do pasz dla różnych gatunków zwierząt hodowlanych oraz w karmach dla ryb, natomiast ich ekstrakty są stosowane m.in. jako nawozy w rolnictwie ekologicznym i biostymulatory.

Słowa kluczowe: *Spirulina, Chlorella, algi w żywności i w rolnictwie*

I. WSTĘP

Postępujący wzrost liczby ludności na świecie (przewidywania do około 9,7 miliarda w 2050 roku według UNDESA, 2022), a tym samym wzrost zapotrzebowania na białko i związki bioaktywne (aminokwasy, kwasy tłuszczowe, witaminy, minerały) sprawiają, że glony w ostatnich latach stają się interesującą alternatywą na częściowe przynajmniej zaspokojenie tych potrzeb. W latach 2015–2019 na całym świecie wprowadzono 13 090 nowych produktów (79,0% żywności i 21,0% napojów) zawierających składniki pochodzące z glonów (surowa biomasa lub ekstrakty). Najczęściej reprezentowanymi kategoriami żywności był nabiał oraz desery i lody. Produkty te wprowadzono głównie w Europie (43,7%), a następnie w Azji (24,5%), Ameryce Północnej (15,1%), Ameryce Łacińskiej (13,5%) oraz krajach Bliskiego Wschodu i Afryki (3,1%) [Boukid i Castellari 2022].

Produkty glonowe zyskują swoją popularność m.in. wysokiej zawartości substancji odżywczych, takich jak: białka, witaminy i minerały. Stosowanie produktów glonowych (i wzbogaconych glonami) zyskuje coraz większe zainteresowanie, szczególnie podczas ostatniej dekady. Wykorzystywane są w przemyśle spożywczym ze względu na zawartość cennych składników odżywczych i związane z tym korzyści zdrowotne [Caporgno i Mathys 2018, Grosshagauer i in. 2020, Boukid i Castellari 2022], ale także ze względu na rosnącą popularność związaną z modą na zdrowe odżywianie [Zdrojewicz i in. 2018].

Według firmy badawczej Transparency Market Research [2021] wartość światowego rynku produktów pochodzących z glonów została w 2021 roku wyceniona na 20,16 mld dolarów

(USD). Szacuje się, że wartość ta będzie rosła i w kolejnej dekadzie przekroczy 50 mld dolarów. Podobną tendencję zaprezentowała w swoich analizach platforma Credence Research Market Analysis. Wyniki ich badań wskazują jednak na znacznie niższą wartość światowego rynku produktów z alg, oszacowaną w 2021 roku na 4,5 miliarda dolarów, z prognozą wzrostu do nawet 6,3 mld w 2028 roku [wg Credence Research Market Analysis 2023]. Dane te obejmują cały przekrój gałęzi światowego przemysłu, jednak rosnące trendy obserwowane są również dla przemysłu rolno-spożywczego.

Do najbardziej znanych glonów wykorzystywanych przez człowieka należą spirulina i chlorella, a większość produktów spożywczych i suplementów ma w składzie glony z tych dwóch rodzajów. Wynika to z faktu ich długiej historii wykorzystywania w celach konsumpcyjnych [Boukid i Castellari 2022]. Obecna wartość rynkowa spiruliny szacowana jest na 0,63 mld dolarów [Koyande i in. 2019]. O tym jak bardzo wniknęły do świadomości producentów i konsumentów świadczy również fakt, że obie nazwy stały się terminami komercyjnymi, a nie wyłącznie łacińską nazwą systematyczną dwóch rodzajów.

Glony wykorzystywane są także jako materiały paszowe dla zwierząt i to znacznie częściej, niż jako składniki w diecie człowieka. Biomasa glonów jest cennym suplementem pasz, która z powodzeniem może zastąpić konwencjonalne źródła białka w żywieniu zwierząt. Ekstrakty z glonów wykorzystywane są coraz częściej jako nawozy w rolnictwie ekologicznym, a żyzność gleb poprawiana jest przez nawożenie kompostem z dodatkiem glonów [Chojnacka i in. 2012].

Celem niniejszego opracowania było zaprezentowanie kluczowych zagadnień związanych z wykorzystaniem w sektorze rolno-spożywczym zielenicy z rodzaju *Chlorella* sp., oraz sinicy z rodzaju *Arthrospira* spp. (komercyjnie znanych pod nazwą spirulina). Omówiono także potencjalne zagrożenia wynikające z zanieczyszczenia produktów glonowych głównie metalami ciężkimi oraz ich wpływ na zdrowie człowieka.

II. METODA PRACY

Dokonano przeglądu dostępnej literatury, a następnie podsumowano informacje dotyczące morfologii, składu chemicznego, uprawy i wykorzystania w przemyśle spożywczym i rolnictwie dwóch najpopularniejszych komercyjnie grup glonów.

III. CHLORELLA

Gatunki z rodzaju *Chlorella* hodowane są masowo na świecie, jednak komercyjna uprawa ich biomasy rozpoczęła się kilka lat temu. Obecnie najczęściej uprawiane są dwa gatunki – *Chlorella vulgaris* (odkryta i opisana w 1890 roku) i *C. pyrenoidosa* (opisana w 1903 roku). Do tej pory opisano ponad 100 różnych szczepów *Chlorella* [Bito i in. 2020].

Chlorella jest jednokomórkową zielenicą słodkowodną, która może występować także w wodach słonawych (tab. 1). Komórki tego glonu zawierają różnorodne składniki odżywcze i związki bioaktywne, które mogą wpływać pozytywnie na zdrowie człowieka i zapobiegać niektórym chorobom. Ściany komórkowe są zbudowane z celulozy, dlatego w przewodzie pokarmowym człowieka nie są trawione. Z tego względu ściany komórkowe są mechanicznie rozkładane w większości suplementów diety i wtedy ponad 80% białka ulega strawieniu. Zawartość związków naturalnych w komórkach chlorelli różni się znacznie w zależności od gatunku oraz warunków hodowli. Preparaty z chlorelli zawierają bardzo dużo białka, w tym wszystkie niezbędne dla ludzi aminokwasy (izoleucyna, leucyna, lizyna, metionina, fenyloalanina, treonina, tryptofan, walina i histydyna), obecne w znacznych stężeniach (tab. 2). Ponadto w składzie chemicznym znajdują się węglowodany (skrobia, celuloza oraz inne cukry redukujące), tłuszcze (głównie glikolipidy, woski, węglowodory, fosfolipidy i kwasy tłuszczowe, które syntetyzowane są w chloroplastach – jeśli chlorella rozwija się

w niesprzyjających warunkach, wtedy wzrasta produkcja lipidów, nawet do 58% całkowitego składu chemicznego komórkach) oraz barwniki (głównie β -karoteny, astaksantyna, kantaksantyna, luteina, chlorofil a i b, feofityna a i b oraz wioloksantyna). Zawartość chlorofilu w suchej masie wynosi 1–2% [Bito i in. 2020, Coronado-Reyes i in. 2022].

Dostępne w sprzedaży suplementy z chlorellą zawierają wszystkie witaminy potrzebne człowiekowi (tab. 2), zwłaszcza znaczne ilości witamin D2 oraz B12 (obydwie nieobecne w roślinach). Chlorella zawiera więcej witaminy B9 (tj. kwasu foliowego) niż szpinak (około 2,5 mg/100 g suchej masy). Ponadto zawiera różnorodne minerały (tab. 2), w tym znaczne ilości żelaza (104 mg/100 g s.m.) i potasu (986 mg/100 g s.m.), które pomagają zapobiegać anemii i nadciśnieniu. Warto wspomnieć także o selenie, który chlorella potrafi gromadzić w dużych ilościach i dlatego może być wykorzystywana do suplementacji tym pierwiastkiem [Bito i in. 2020]. Sani i współautorzy [2021] prowadzili badania nad poprawą jakości koziego mleka, jako napoju zdrowotnego w czasie pandemii Covid-19, dodając do koziej paszy preparat z *Chlorella vulgaris*. Suplementacja chlorellą (10 g/kozę/dzień) zwiększyła produkcję mleka o 28,36%, zawartość cynku wzrosła o 24,67%, natomiast selenu o 5,5%.

Chlorella jest komercyjnie uprawiana w warunkach fotoautotroficznych, głównie w otwartych stawach lub heterotroficznie w fermentatorach. Największym systemem zamkniętym, wykorzystywanym do produkcji autotroficznej na skalę komercyjną, jest fotobioreaktor rurowy obsługiwany przez firmę Roquette Klötze GmbH & Co. KG (Klötze, Niemcy), który produkuje rocznie około 100 ton wysokiej jakości biomasy chlorelli na rynek zdrowej żywności [Guccione i in. 2014]. Biomasa glonów lub ekstrakty z nich mogą być stosowane jako składniki żywności, zaspokajając potrzeby konsumentów w zakresie pożywej, zrównoważonej i zdrowej żywności. Chlorella została wymieniona w unijnym katalogu nowej żywności do zastosowań spożywczych przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności i zatwierdzona przez United States Food Drug Administration (FDA) jako ogólnie uznana za bezpieczną (GRAS) (GRN 000986) [Enzing i in. 2014, Matos i in. 2022, EFSA, https://webgate.ec.europa.eu/fip/novel_food_catalogue/]. Obecnie konsumenci chętniej zaopatrują się w produkty pochodzenia naturalnego, z tego względu na rynek wchodzi coraz częściej także suplementy diety na bazie substancji roślinnych oraz wyizolowanych z nich związków bioaktywnych. Badania naukowe, przeprowadzane na zwierzętach i na ludziach, dostarczają coraz więcej dowodów naukowych dotyczących korzyści zdrowotnych wynikających z regularnego spożywania chlorelli. Chlorella ma właściwości przeciwutleniające, przeciwzapalne i immunomodulujące, wpływa korzystnie na wiele schorzeń: hiperlipidemię, hiperglikemię, otyłość, depresję, lęki i raka, a także wspomaga detoksykację, dlatego uważana jest za wielofunkcyjny suplement diety. Zmniejsza sztywność tętnic zarówno u osób młodszych, jak i starszych, poprawia poziom cholesterolu całkowitego, skurczowe i rozkurczowe ciśnienie krwi oraz poziom glukozy we krwi. Przyjmowanie preparatów z chlorellą może korzystnie wpływać na zmniejszenie masy ciała i poziomu glukozy w surowicy oraz poprawę biomarkerów stanu zapalnego, a także funkcji wątroby u pacjentów z NAFLD. Wykazano także, że przyczynia się do utrzymania prawidłowej funkcji erytrocytów oraz ma korzystny wpływ na ołepienie związane z chorobą Alzheimera u ludzi [Bito i in. 2020, Yarmohammadi i in. 2021]. Komórki chlorelli wytwarzają luteinę, która zapobiega i leczy zwyrodnienie plamki żółtej oraz działa przeciw zaćmie [Rani i in. 2018].

Mikroglony lub ich biozwiązki wykorzystuje się do wytwarzania albo wzbogacania wielu produktów spożywczych, np. napoje izotoniczne, batoniki zbożowe, zupy instant, budynie, mieszanki do ciast w proszku i herbatniki [Andrade i in. 2018]. Przygotowano i opracowano spaghetti wzbogacone *Chlorella vulgaris*, która zwiększyła profil odżywczy makaronu [Yaakob i in. 2014]. Badania przeprowadzone przez Bazarnową i współautorów

[2021] udowodniły, że zastąpienie 5% mąki makaronowej chlorellą spowodowało wzrost zawartości białek i lipidów do odpowiednio 15,7% i 4,1%. Dodatek chlorelli do makaronu przyczynił się do zwiększenia zawartości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, chlorofilu i karotenoidów, które są niezbędne w profilaktyce chorób przenoszonych drogą pokarmową. Ostatnio chlorella stosowana jest w różnych produktach spożywczych, np. w rogalikach, jogurtach i ciastkach a jej dodatek powoduje zwiększenie zawartości funkcjonalnych składników odżywczych, zwłaszcza niezbędnych aminokwasów, przeciwutleniaczy, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych i witamin. Ponadto dodatek chlorelli może zwiększyć żywotność probiotyków w fermentowanych produktach mlecznych, np. w jogurtach [Widyaningrum i Prianto 2021]. Sproszkowaną chlorellę łączono także z bifidobakteriami i wykorzystywano do produkcji żywności funkcjonalnej i fermentowanych produktów mlecznych. Stwierdzono, że wpływa pozytywnie na żywotność bifidobakterii i ich właściwości, a tym samym na zdrowie ludzi lub zwierząt [Hyslova i in. 2021]. Chlorella dodawana jest także do jogurtów i serów, w tych ostatnich zwiększa jędrność produktu, przyczynia się do wzrostu zawartości białka i zmniejszenia stopnia separacji oleju [Hernandez i in. 2022].

Tabela 1 – Table 1

Charakterystyka spiruliny i chlorelli / *Characteristics of spirulina and chlorella*

	<i>CHLORELLA</i>	<i>SPIRULINA</i>	Literatura / <i>References</i>
pozycja systematyczna <i>systematic position</i>	dwa najczęstsze gatunki <i>two most common species:</i> <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>C. pyrenoidosa</i> gromada / <i>phylum:</i> Chlorophyta	<i>Arthrospira</i> spp. , najczęściej / <i>most often</i> <i>A. platensis</i> , <i>A. maxima</i> gromada / <i>phylum:</i> Cyanobacteria	Pliński i Hindak 2010, Komarek i in. 2014, Bito i in. 2020, Grosshagauer i in. 2020
budowa <i>morphology</i>	glon jednokomórkowy <i>unicellular algae</i> Ø 2–10 µm	forma wielokomórkowa, nitkowata, spiralnie skręcona; trychomy 50–500 µm długości <i>multicellular, filamentous form,</i> <i>spirally twisted; length of</i> <i>trichomes from 50 to 500 µm</i>	Ahsan i in. 2008, Soni i in. 2017
występowanie i ekologia <i>occurrence and ecology</i>	wody słodkie, rzadziej słonawe <i>fresh water, less often in</i> <i>brackish waters</i>	wody słodkie, słone i słonawe, najliczniejsze populacje tworzy w zbiornikach tropikalnych i subtropikalnych z zasadowym odczynem <i>salt, fresh and brackish waters,</i> <i>the biggest populations form in</i> <i>tropical and subtropical bodies</i> <i>with alkaline pH</i>	Pliński i Hindak 2010, Soni i in. 2017

Chlorella wykorzystywana jest także w produkcji alkoholu. Napój alkoholowy z dodatkiem *C. vulgaris* zawiera związki o działaniu przeciwutleniającym i zdaniem

naukowców, przy umiarkowanym spożyciu, zapewnia ochronę przed szkodliwym wpływem etanolu na mózg [Dantas i in. 2021].

Problemem żywności opartej na bazie mikroglonów jest często „trawiasty” smak, intensywnie zielony kolor i rybi zapach, który wielu konsumentów uważa za nieprzyjemny, dlatego poszukiwane są stale nowe rozwiązania, pozwalające zniwelować ten smak i zapach. Dobrym przykładem produktu z glonami, który smakuje lepiej, jest np. miodowożółty proszek z chlorelli wyprodukowany przez portugalską firmę (<https://www.allmicroalgae.com/en/>). Nowa wersja sproszkowanej chlorelli ma wyższą zawartość białka w suchej masie, a co najważniejsze z punktu widzenia konsumenta, nie nadaje produktom spożywczym rybiego posmaku [Matos i in. 2022].

Gatunki z rodzaju *Chlorella* spp. nie wytwarzają żadnych toksycznych związków i uchodzą za bezpieczne. Istnieją jednak doniesienia o podwyższonych stężeniach glinu, ołowiu i arsenu nieorganicznego, prawdopodobnie w wyniku nieodpowiedniej lokalizacji stawów hodowlanych i stosowania metod chemicznych do pozyskiwania biomasy [Papazi i in. 2010, Hedegaard i in. 2013, Rzymiski i in. 2015, 2018]. Badania przeprowadzone przez polskich naukowców dotyczyły zawartości metali ciężkich w wybranych suplementach i wykazały, że większość produktów odznaczała się zgodnością faktycznej zawartości składników mineralnych z deklarowaną na etykiecie, za wyjątkiem zawartości Cu w preparatach z chlorellą, które okazały się znacznie wyższe (>130%). Stwierdzono, że we wszystkich badanych suplementach poziomy Cd, Hg i Ni były znacznie niższe od bezpiecznych dawek chociaż wybrane do badań suplementy charakteryzowały się podwyższoną zawartością Al, Pb i nieorganicznego As [Rzymiski i in. 2018].

Konsumpcja chlorelli jako nutraceutyku zainicjowała badania w celu znalezienia możliwych skutków ubocznych, które może powodować. Objawy niepożądane jakie zgłaszane były po spożyciu niektórych marek tabletek chlorelli to m.in.: nudności, wymioty i problemy żołądkowe. Chlorella, jeśli nie jest skutecznie przetwarzana, jest słabo strawna i może prowadzić do problemów żołądkowo-jelitowych, a nawet powodować zapalenie nerek, które może ostatecznie prowadzić do niewydolności nerek. Została także oznaczona jako słaby alergen [Rani i in. 2018].

Produkcja chlorelli wynosi około 5000 ton rocznie. Przewidywano, że rynek składników chlorelli ma zarejestrować CAGR (skumulowany roczny wskaźnik wzrostu) na poziomie 25,4%, aby osiągnąć 700 mln USD do 2022 roku. Według innego raportu, światowy rynek produktów z alg miał osiągnąć do 2022 roku wartość 3 318,1 mln USD, przy CAGR na poziomie 6,7 % od 2017 do 2022 roku. Głównym czynnikiem napędzającym wzrost globalnego rynku chlorelli jest jej zdolność do pozbywania się z organizmu metali ciężkich, np. rtęci. Do innych czynników zaliczyć można rosnącą liczbę klientów dbających o zdrowie oraz stały wzrost liczby ludności. Ponieważ do optymalnego wzrostu chlorelli wymagane jest gazowanie wody i sztuczne światło, dlatego koszty produkcji są stosunkowo wysokie i wpływają na wzrost ceny produktu końcowego. Wysoka cena stanowi również główne wyzwanie dla rozwoju rynku chlorelli [Rani i in. 2018]. Badania prowadzone w Hiszpanii wykazały, że konsumenci w UE preferują substytuty mięsa na bazie mikroglonów, które są ekologiczne i lokalne. Oznacza to, że informowanie o korzyściach zdrowotnych płynących z mikroalg na etykiecie może potencjalnie zwiększyć wybór przez konsumentów. Ważną rolę odgrywa również cena, np. lokalna i ekologiczna żywność wymaga wyższych cen, jednak informowanie o przyjaznej dla środowiska produkcji glonów może jeszcze bardziej zwiększyć preferencje konsumentów. Niezwykle ważne dla sprzedawców, producentów i konsumentów, a także decydentów są więc wszystkie szczegóły wymienione na etykiecie [Boukid i Castellari 2022].

Chlorella jest powszechnie wykorzystywana także w rolnictwie. Grigorova i współautorzy [2006] wprowadzili ją do diety kur niosek i zaobserwowali, że po dodaniu 2% i 10% biomasy glonu, obniżył się poziom cholesterolu całkowitego w żółtku, natomiast znacznie wzrosła ilość kwasu linolowego i palmitynowego. Dodatek 10% *C. vulgaris* do pasz brojlerów poprawia

niektóre parametry jakościowe i skład kwasów tłuszczowych mięsa bez uszczerbku dla wydajności wzrostu [Boskovic Cabrol i in. 2022]. Chlorellę dodawano do paszy także królikom nowozelandzkim. Badania wykazały, że codzienna suplementacja (200–500 mg/kg masy ciała) przed okresem dojrzewania znacznie poprawiła wydajność w postaci wyższych przyrostów masy ciała i lepszego wykorzystania paszy; chroniła również przed uszkodzeniami spowodowanymi stresem oksydacyjnym [Sikiru i in. 2021]. Coelho wraz ze współautorami [2020] stwierdzili w swoich badaniach, że *C. vulgaris* może być stosowana w diecie tuczników w ilości do 5%, bez konieczności dodawania enzymów paszowych, w celu zwiększenia wartości odżywczej tłuszczu wieprzowego, bez pogorszenia wydajności świń. Chlorella dodawana jest także do rybich pasz (dodatek 0,8–1,2% daje lepszy wzrost karpia, wyższą zawartość lizozymu wpływającego na metabolizm białkowo-lipidowy i odporność). Ryby karmione chlorellą miały niższy cholesterol niż w grupie kontrolnej [Xu i in. 2014, Rani i in. 2018].

Mikroglony są coraz częściej wykorzystywane jako biostymulatory roślin w rolnictwie, zwiększając m.in. efektywność wykorzystania składników odżywczych przez rośliny i tolerancję na stres. Na polach uprawnych zwiększają natomiast żyzność gleby i przyczyniają się do lepszego rozwoju roślin, poprzez zmniejszenie zależności od chemicznych pestycydów i nawozów. *Chlorella vulgaris* może również zwiększyć plony i wzrost roślin poprzez poprawę napowietrzania i zdolności zatrzymywania wilgoci w glebie. Zastosowanie chlorelli jako biostymulatora w uprawie jarmużu nie miało wpływu na jego wzrost, jednak spowodowało znaczny wzrost aromatycznych glukozyzolanów i wszystkich antocyjanów [Park i in. 2022]. Dodatek chlorelli do pożywki hodowlanej lub gleby istotnie zwiększał świeżą i suchą masę sadzonek sałaty oraz zawartość barwników. Najlepiej sprawdzały się dodatki 2 i 3 g suchej chlorelli/1kg gleby [Faheed i Fattah 2008]. Zastosowanie chlorelli jako bionawozu i biostymulatora w uprawach pomidorów nie tylko pozytywnie wpłynęło na parametry owoców i nasion, ale także poprawiło jakość nasion (skład chemiczny i skład pierwiastkowy). Ponadto nastąpiło wydłużenie okresu przydatności do spożycia owoców pomidora o prawie 2/3 w porównaniu z zabiegami kontrolnymi [Dineshkumar i in. 2021].

Tabela 2 – Table 2

Zawartość składników odżywczych / *Nutrient content*

Skład chemiczny / <i>Chemical composition</i> [% suchej masy / % <i>dry weight</i>]		
	<i>CHLORELLA</i>	<i>SPIRULINA</i>
białko / <i>protein</i>	42–60	23,8–70,0
tłuszcze / <i>lipids</i>	5–40	1,5–8,1
węglowodany / <i>carbohydrates</i>	11,8–17,0	3,6–15,8
minerały / <i>minerals</i>	Fe, K, Na, Se, Ca, Mg, Zn, Cu, P, Mn	Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na, Zn
witaminy / <i>vitamins</i>	B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, B12, C, D2, E, K	A, B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D, E, K
Literatura / <i>References</i> : Belay 1997, Ahsan i in. 2008, Brennan i Owende 2010, Carcea i in. 2015, Rani i in. 2018, Bito i in. 2020, Coronado-Reyes i in. 2022		

Biomasa z mikroglonów może być wykorzystana do produkcji lipidów (oleju) i węglowodanów jako źródła prekursorów chemicznych i biopaliw, np. ścieki z olejarni palmowej wykorzystywane są w uprawie m.in. chlorelli – nie tylko do oczyszczania ścieków poprzez redukcję ChZT, ale także do pozyskiwania biomasy, która jest dobrym surowcem jako

biopaliwo (biodiesel i bioetanol). Wiele badań wskazuje na bardzo wydajne sposoby pozyskiwania CO₂. Uprawa chlorelli może skutecznie usuwać 50% CO₂ ze spalin pochodzących z hut. Prowadzone są prace nad pozyskiwaniem biodiesla przez integrację mikroglonów z napowietrzaniem gazów spalinowych i ponownym wykorzystaniem ścieków. *Chlorella vulgaris*, bogata w węglowodany, stosowana jest w produkcji biobutanolu poprzez fermentację acetonowo-butanolo-etanolową. Biomasa mikroalg może być wykorzystywana także jako substrat do fermentacji beztlenowej w celu wytworzenia biogazu [Kuo i in. 2021].

IV. SPIRULINA

Spirulina to powszechnie używana, komercyjna nazwa zróżnicowanych gatunków sinic (głównie *Arthrospira maxima* lub *Arthrospira platensis*) należących pierwotnie do rodzaju *Spirulina*, a obecnie do rodzaju *Arthrospira* [Komárek i in. 2014, Grosshagauer i in. 2020]. Nazwa *Spirulina* nie jest wprawdzie aktualnie obowiązującą nazwą systematyczną, jednak pozostaje w użyciu z powodów historycznych oraz ze względu na powszechną rozpoznawalność. Pomimo nitkowatej, spiralnej budowy (tab. 1), przypominającej rośliny wyższe, spirulina jest organizmem prokariotycznym, zaliczanym do gromady sinic (*Cyanobacteria*), które są pomostem pomiędzy bakteriami a roślinami [Soni i in. 2017]. Spirulina występuje naturalnie w przyrodzie, często tworząc liczne populacje. Ma także długą historię związaną z wykorzystaniem w celach konsumpcyjnych – w XIV wieku była zbierana przez Azteków mieszkających w okolicach jeziora Texcoco [Farrar 1966]. Podobnie mieszkańcy Czadu już od IX wieku zbierali i suszyli spirulinę, którą następnie sprzedawali lub stosowali jako dodatki do żywności [Abdulqader i in. 2000]. Jednak światową rozpoznawalność i popularność zyskała dopiero w XX wieku i jest obecnie uprawiana powszechnie i często na wielką skalę w akwakulturze, z wykorzystaniem nowoczesnej infrastruktury. Szczegółowe informacje na ten temat można znaleźć w pracy Soni i in. [2017].

Najbardziej znanymi producentami spiruliny są Stany Zjednoczone (Earthrise Farms, Cyanotech Corporation), Chiny (Hainan DIC Microalgae Co.) oraz Indie (Marugappa Chettir Research Center) [Ali i Saleh 2012]. W 1967 roku spirulina została uznana przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Mikrobiologii Stosowanej za „cudowne przyszłe źródło pożywienia” [Sasson 1997]. Współcześnie promowana jest jako „superżywność” (ang. *superfood*), choć ten marketingowy termin nie posiada oficjalnej definicji, naukowego opisu ani prawnych regulacji odnoszących się do bezpieczeństwa żywności [Grosshagauer i in. 2020, Fernandez-Ríos i in. 2022]. Używany jest nieformalnie na określenie żywności bogatej w składniki odżywcze, odgrywającej ważną rolę w diecie [Fernandez-Ríos i in. 2022]. Przegląd makro- i mikroelementów, które zawiera spirulina, zamieszczono w tabeli 2. Według niektórych autorów spirulina uważana jest za najbardziej pożywną i pełnowartościowe źródło pożywienia, jakie dostępne jest w przyrodzie [Capelli i Cysewski 2010].

Spirulina, podobnie jak chlorella, jest powszechnie wykorzystywana zarówno w przemyśle spożywczym, jak i rolniczym. Znajduje zastosowanie jako suplement diety, barwnik spożywczy, jak również dodatek do produktów żywnościowych. Szerokie spektrum zastosowania spiruliny w sektorze spożywczym, związane z jej korzystnymi dla zdrowia właściwościami, zostało omówione w wielu badaniach [AlFadhly i in. 2022]. Najczęściej stosowana jest jako suplement diety lub dodatek do żywności [Gouveia i in. 2008, Fradique i in. 2010]. Jednak ze względu na znaczną zawartość niebieskiej fikocyjaniny używana jest jako naturalny barwnik spożywczy [Krępska i in. 2016]. Spirulina posiada też właściwości lecznicze,

w tym: przeciwwzapalne, przeciwwirusowe, przeciwbakteryjne oraz antyoksydacyjne, a informacje na ten temat podsumowali Jękot i in. [2014].

Wyniki badań nad wykorzystaniem ekstraktów glonowych w rolnictwie i ogrodnictwie wykazały duży potencjał ich zastosowania, co zgodne jest także z ideą zrównoważonego rolnictwa i pozwoliłoby na zaspokojenie potrzeb żywnościowych rosnącej populacji ludzi [Godlewska i in. 2019]. Spirulina w rolnictwie wykorzystywana jest głównie jako bionawóz [Ali Lila i Mostafa 2009, Hegazi i in. 2010, Aung 2011, Wuang i in. 2016, Godlewska i in. 2019 i odniesienia tam zawarte] i biostymulator [Arahou i in. 2022]. Znane są także badania, w których do zwiększenia produkcji rolniczej wykorzystywano spirulinę po pirolizie [Angol i in. 2021]. Równie korzystne efekty stosowania dodatku mikroalg *Arthrospira* spp. w diecie zwierząt gospodarskich (m.in. bydła, świń, kóz, drobiu) przedstawiono w wielu publikacjach [Holman i Malau-Aduli 2013, Otto i Malau-Aduli 2017, Madeira i in. 2017 i cytowane tam odniesienia]. Najnowsze badania potwierdzają te wyniki również dla owiec [Alghonaim i in. 2022] i kóz [Al-Yahyaey i in. 2023] oraz kurcząt brojlerów [Abd El-Hady i in. 2022]. Wuang i współautorzy [2016] przedstawili potencjalną skuteczność spiruliny także w oczyszczaniu ścieków i uzdatnianiu wody wykorzystywanej w hodowli ryb, gdzie przy odpowiednim oświetleniu glony usuwały z wody amoniak i azotany.

Regularne spożywanie spiruliny (podobnie jak innych produktów z alg) wymaga kontrolowania potencjalnie szkodliwych składników, w tym m.in. metali ciężkich [Grosshagauer i in. 2020]. Niektóre badania wskazują na zanieczyszczenia toksynami, metalami ciężkimi oraz wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi w produktach spiruliny. Zdolność do absorpcji (np. ołowiu) może być korzystna pod względem oczyszczania ścieków, jednak nie jest pożądana w spirulinie wykorzystywanej do celów konsumpcyjnych. W myśl rozporządzenia Komisji Europejskiej nr 1881/2006 [2006] ustalającego najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych, maksymalny limit dla ołowiu wynosi 3 mg/kg. Rzymski i in. [2015] przebadali 13 losowych suplementów diety ze spiruliną. Wszystkie badane produkty były zarejestrowane na rynku Europejskim, ale pochodziły zarówno z Europy, Ameryki Północnej jak i Azji. Przeprowadzone testy ujawniły zawartość ołowiu przekraczającą normę w 5 badanych produktach.

V. PODSUMOWANIE

Spirulina i chlorella są obecnie jednymi z najczęściej wykorzystywanych glonów przez człowieka, zarówno w przemyśle spożywczym, jak i w rolnictwie. W pracy zestawiono najnowsze dane literaturowe na temat akwakultury glonów. Zwrócono także uwagę na najistotniejsze potencjalne zagrożenia wynikające z akumulacji przez plechy glonów m.in. metali ciężkich, głównie glinu i arsenu, a w mniejszym stopniu także kadmu, chromu, miedzi, rtęci, niklu, ołowiu i cynku.

Zarówno chlorella, jak i spirulina zawierają w swoim składzie duże ilości białka (23,8–70%), minerałów i witamin (tab. 2), dlatego stosowane są bardzo często do wzbogacania wielu produktów spożywczych, np.: napojów, batonów zbożowych, zup instant, budyni, mieszanek do ciast, makaronów, produktów mlecznych (głównie jogurtów i serów), a nawet napojów alkoholowych. Spirulina i chlorella są powszechnie wykorzystywane jako suplementy diety i naturalne barwniki spożywcze. Odznaczają się także właściwościami leczniczymi, działają m.in. przeciwwzapalnie, przeciwwirusowo i przeciwbakteryjnie oraz antyoksydacyjnie.

Mikroglony dodawane są często do pasz dla różnych zwierząt hodowlanych: krów, kóz, owiec, świń, królików, drobiu, i in. Są także powszechnie stosowane w karmach dla ryb. Chlorella i spirulina są znane jako biostymulatory roślin w rolnictwie – zwiększają plony

i poprawiają wzrost roślin. Cały czas prowadzone są także prace nad wykorzystaniem glonów (m.in. chlorelli) do produkcji biopaliw i biogazu.

BIBLIOGRAFIA

1. Abd El-Hady A.M., Elghalid O.A., Elnaggar A.S., Abd El-khalek E. 2022. Growth performance and physiological status evaluation of *Spirulina platensis* algae supplementation in broiler chicken diet. *Livestock Science*. 263. 105009.
2. Abdulqader G., Barsanti L., Tredici M.R. 2000. Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *J. Appl. Phycol.* 12. 493-498.
3. Ahsan M., Habib B., Parvin M., Huntington T.C., Hasan M.R. 2008. A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*. 1034. 33 pp.
4. AlFadhly N.K.Z., Alhelfi N., Altemimi A.B., Verma D.K., Cacciola F., Narayanankutty A. 2022. Trends and technological advancements in the possible food applications of *Spirulina* and their health benefits: a review. *Molecules*. 27. 5584.
5. Al-Yahyaey F., Shaat I., Hall E., Bush R.D. 2023. Effect of *Spirulina platensis* supplementation on growth, performance and body conformation of two Omani goat breeds. *Animal Production Science*. 63. 133-141.
6. Alghonaim A.A., Alqahtani M.F., Al-Garadi M.A., Alghonaim A.A., Alqahtani M.A., Al-Garadi M.A., Suliman G.M., Al-Baadani H.H., AL-Badwi M.A., Abdelrahman M.M., Alowaimer A.N., Khan R.U., Alhidary I.A. 2022. Effects of different levels of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation on productive performance, nutrient digestibility, blood metabolites, and meat quality of growing Najdi lambs. *Trop. Anim. Health Prod.* 54. 124.
7. Ali Lila K.M., Mostafa S.M. 2009. Evaluation of potassium humate and *Spirulina platensis* as bio-organic fertilizer for sesame plants grown under salinity stress. *Egypt. J. Agric. Res.* 87 (1). 369-388.
8. Ali S.K., Saleh A.M. 2012. *Spirulina* – an overview. *International journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 4(3). 9-15.
9. Andrade L.M., Andrade C.J., Dias M., Nascimento C.A.O., Mendes M.A. 2018. *Chlorella* and *Spirulina* microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview. *MOJ Food Process Technol.* 6 (1). 45-58.
10. Agnol L.D., Neves R.M., Maraschin M., Moura S., Ornaghi Jr H.L., Dias F.T.G., Bianchi O. 2021. Green synthesis of *Spirulina* – based carbon dots for stimulating agricultural plant growth. *Sustainable Materials and Technologies*. 30. e00347.
11. Arahou F., Lijassi I., Wahby A., Rhazi L., Arahou M., Wahby I. 2022. *Spirulina*-Based Biostimulants for Sustainable Agriculture: Yield Improvement and Market Trends. *BioEnergy Research*. 1-16.
12. Aung K.L.N. 2011. Effect of *Spirulina* biofertilizer suspension on growth and yield of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Univ. Res. J.* 4 (1). 351-363.
13. Bazarnova J., Nilova L., Trukhina E., Bernavskaya M., Smyatskaya Y., Aktar T. 2021. Use of microalgae biomass for fortification of food products from grain. *Foods*. 10. 3018. doi: 10.3390/foods10123018.
14. Belay A. 1997. Mass culture of *Spirulina* outdoors – The Earthrise Farms experience. [In:] Vonshak A., (ed.) *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): physiology, cell-biology and biotechnology. Taylor and Francis. London. pp. 131-158.
15. Bito T., Okumura E., Fujishima M., Watanabe F. 2020. Potential of *Chlorella* as a dietary supplement to promote human health. *Nutrients*. 12. 2524. doi:10.3390/nu12092524.

16. Boskovic Cabrol M., Martins J.C., Malhão L.P., Alves S.P., Bessa R.J.B., Almeida A.M., Raymundo A., Lordelo M. 2022. Partial replacement of soybean meal with *Chlorella vulgaris* in broiler diets influences performance and improves breast meat quality and fatty acid composition. Poultry Science. 101. 101955. doi.org/10.1016/j.psj.2022.101955.
17. Boukid F., Castellari M. 2022. 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. doi.org/10.3390/foods10010173.
18. Brennan L., Owende P. 2010. Biofuels from microalgae – a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renew Sustain Energy Rev. 14. 557-77.
19. Capelli B., Cysewski G.R. 2010. Potential health benefits of spirulina microalgae. A review of the existing literature. Nutrafoods. 9 (2). 19-26.
20. Caporgno M.P., Mathys A. 2018. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. Frontiers in Nutrition. 5. 58.
21. Carcea M., Sorto M., Batello C., Narducci V., Aguzzi A., Azzini E., Fantauzzi P., Finotti E., Gabrielli, P., Galli V., Gambelli L., Maintha K. M., Namba F., Ruggeri S., Turfani V. 2015. Nutritional characterization of traditional and improved dihé, alimentary bluegreen algae from the lake Chad region in Africa. Food Sci. Technol. 62. 753-763.
22. Chojnacka K., Saeid A., Michalak I. 2012. Możliwości zastosowania biomasy alg w rolnictwie. Chemik. 66 (11). 1235-1248.
23. Coelho D., Pestana J., Almeida J.M., Alfaia C.M., Fontes C.M.G.A., Moreira O., Prates J.A.M. 2020. A high dietary incorporation level of *Chlorella vulgaris* improves the nutritional value of pork fat without impairing the performance of finishing pigs. Animals. 10. 2384. doi:10.3390/ani10122384.
24. Coronado-Reyes J.A., Salazar-Torres J.A., Juárez-Campos B., González-Hernández J.C. 2022. *Chlorella vulgaris*, a microalgae important to be used in biotechnology: a review. Food Science and Technology. 42. e37320. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.37320>.
25. Credence Research. Algae Products Market By Application (Nutraceuticals, Food & Feed Supplements, Pharmaceuticals, Paints & Coatings, Pollution Control, Others) – Growth, Future Prospects & Competitive Analysis, 2023. [dok. elektr.: <https://www.credenceresearch.com/report/algae-products-market> data wejścia 20.02.2023].
26. Dantas D.M.M., Cahu' T.B., Oliveira C.Y.B., Abadie-Guedes R., Roberto N.A., Santana W.M., i in. 2021. *Chlorella vulgaris* functional alcoholic beverage: effect on propagation of cortical spreading depression and functional properties. PLoS ONE. 16 (8). e0255996. doi.org/10.1371/journal.pone.0255996.
27. Dineshkumar R., Sharmila Devi, N., Priya Lakshmi V., Ahamed Rasheeq A. 2021. Biofertilizer and biostimulants properties of the green microalgae *Chlorella vulgaris* on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill L.). Eur. Exp. Bio. 11 (5). 3632. pp. 1-9.
28. EFSA, https://webgate.ec.europa.eu/fip/novel_food_catalogue/ [data wejścia: 29.01.2023].
29. Enzing C., Ploeg M., Barbosa M., Sijtsma L. 2014. Microalgae-based products for the food and feed sector: An outlook for Europe. JRC Sci. policy Rep. 19-37. doi:10.2791/3339.
30. European Commission. Key points of Directive 2000/13/ EC.2013. http://ec.europa.eu/food/food/labellingnutrition/foodlabelling/index_en.htm.
31. Faheed F.A., Fattah Z.A-E. 2008. Effect of *Chlorella vulgaris* as biofertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant. J. Agri. Soc. Sci. 4. 165-169.
32. Farrar W.V. 1966. Tecuitlatl; a glimpse of Aztec food technology. Nature. 211. 341-342.
33. Fernández-Ríos A., Laso J., Hoehn D., Amo-Setién F.J., Abajas-Bustillo R., Ortego C., Fullana-Palmer P., Bala A., Batlle-Bayer L., Balcells M., Puig R., Aldaco R., Margallo M.

2022. A critical review of superfoods from a holistic nutritional and environmental approach. *J. Clean Prod.* 379. 134491.
34. Fradique M., Batista A.P., Nunes M.C., Gouveia L., Bandarra N.M., Raymundo A. 2010. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. *J. Sci. Food Agric.* 90. 1656-1664.
35. Godlewska K., Michalak I., Pacyga P., Baśladyńska S., Chojnacka K. 2019. Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrates and homogenates in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 35. 80.
36. Gouveia L., Batista A.P., Raymundo A., Bandarra N.M. 2008. *Spirulina maxima* and *Diacronema vlkianum* microalgae in vegetable gelled desserts. *Nutr. Food Sci.* 38. 492-501.
37. Grigorova S, Surdjiiska S, Banskalieva V, Dimitrov G. 2006. The effect of biomass from green algae of *Chlorella* genus on the biochemical characteristics of table eggs. *J. Cent. Eur. Agric.* 7 (1). 111-116.
38. Grosshagauer S., Kraemer K., Somoza V. 2020. The true value of *Spirulina*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 68 (14). 4109-4115.
39. Guccione A., Biondi N., Sampietro G., Rodolfi L., Bassi N., Tredici M.R. 2014. *Chlorella* for protein and biofuels: from strain selection to outdoor cultivation in a Green Wall Panel photobioreactor. *Biotechnology for Biofuels.* 7 (84). 1-12.
40. Hedegaard R., Rokkjær I., Sloth J.J. 2013. Total and inorganic arsenic in dietary supplements based on herbs, other botanicals and algae – a possible contributor to inorganic arsenic exposure. *Anal. Bioanal. Chem.* 405. 4429-4435.
41. Hegazi A.Z., Mostafa S.S.M., Ahmed H.M.I. 2010. Influence of different cyanobacterial application methods on growth and seed production of common bean under various levels of mineral nitrogen fertilization. *Nat. Sci.* 8 (11). 183-194.
42. Hernandez H., Nunes M.C., Prista C., Raymundo A. 2022. Innovative and healthier dairy products through the addition of microalgae: a review. *Foods.* 11. 755. doi.org/10.3390/foods11050755
43. Holman B.W.B., Malau-Aduli A.E.O. 2013. *Spirulina* as a livestock supplement and animal feed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 97 (4). 615-623.
44. Hyslova I., Krausova G., Smolova J., Stankova B., Branyik T., Malinska H., Huttel M., Kana A., Doskocil I., Curda, L. 2021. Prebiotic and immunomodulatory properties of the microalga *Chlorella vulgaris* and its synergistic triglyceride-lowering effect with Bifidobacteria. *Fermentation.* 7. 125. doi.org/10.3390/fermentation7030125.
45. Jękot B., Muszyńska B., Mastalerz T., Piórecka B. 2014. *Spirulina (Arthrospira)* – badania nad działaniem leczniczym i jej właściwości prozdrowotne. *Farmacja Polska.* 70 (11). 607-614.
46. Komárek J., Kaštovský J., Mareš J., Johansen J.R. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera). *Taxonomic classification of Cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera), using a polyphasic approach.* *Preslia.* 86. 295-335.
47. Koyande A.K., Chew K.W., Rambabu K., Tao Y., Chu D.T., Show P.L. 2019. Microalgae: a potential alternative to health supplementation for humans. *Food Sci. Hum. Wellness.* 8 (1). 16-24.
48. Krępska M., Lason-Rydel M., Jagiełło J. 2016. Charakterystyka, właściwości, perspektywy i trudności stosowania niebieskich barwników naturalnych do barwienia produktów spożywczych. *Technologia i Jakość Wyróbów.* 61. 63-68.
49. Kuo C.-M., Sun Y.-L., Lin C.-H., Lin C.-H., Wu H.-T., Lin C.-S. 2021. Cultivation and biorefinery of microalgae (*Chlorella* sp.) for producing biofuels and other byproducts: a review. *Sustainability.* 13. 13480. doi.org/10.3390/su132313480.

50. Madeira M.S., Cardoso C., Lopes P.A., Coelho D., Afonso C., Bandarra N.M., Prates J.A.M. 2017. Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: a review. *Livestock Science*. 205. 111-121.
51. Matos Â.P., Novelli E., Tribuzi G. 2022. Use of algae as food ingredient: sensory acceptance and commercial products. *Front. Food Sci. Technol.* 2. 989801. doi: 10.3389/frfst.2022.989801.
52. Otto J.R., Malau-Aduli A.E.O. 2017. *Spirulina platensis* (*Arthrospira* spp.): a potential novel feed source for pasture-based dairy cows. *Journal of Fisheries & Livestock Production*. 5 (3). 252.
53. Papazi A., Makridis P., Divanach P. 2010. Harvesting *Chlorella minutissima* using cell coagulants. *J. Appl. Phycol.* 22. 349-355.
54. Park Y.J., Park J.-E., Truong T.Q., Koo S.Y., Choi J.-H., Kim S.M. 2022. Effect of *Chlorella vulgaris* on the growth and phytochemical contents of “Red Russian” kale (*Brassica napus* var. *pabularia*). *Agronomy*. 12. 2138. doi.org/10.3390/agronomy12092138.
55. Pliński M., Hindak F. 2010. Flora Zatoki Gdańskiej i wód przyległych cz. 7/1 (Bałtyk Południowy). Zielenice – Chlorophyta (Green Algae). Część pierwsza: Zielenice nitkowe (Prasinophyceae & Chlorophyceae). Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk. pp. 1-240.
56. Rani K., Sandal N., Sahoo P.K. 2018. A comprehensive review on chlorella- its composition, health benefits, market and regulatory scenario. *The Pharma Innovation Journal*. 7 (7). 584-589.
57. Rozporządzenie Komisji Europejskiej nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. [dok. elektr.: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006R1881-20100701&from=EN>, data wejścia 06.02.2023].
58. Rzymiski P., Niedzielski P., Kaczmarek N., Jurczak T., Klimaszuk P. 2015. The multidisciplinary approach to safety and toxicity assessment of microalgae-based food supplements following clinical cases of poisoning. *Harmful Algae*. 46. 34-42.
59. Rzymiski P., Budzulak J., Niedzielski P., Klimaszuk P., Proch J., Kozak L., Poniedziałek B. 2018. Essential and toxic elements in commercial microalgal food supplements. *Journal of Applied Phycology*. 31. 3567-3579.
60. Sani S., Warly L., Žudri F., Novia R., Fadri R.A. 2021. *Chlorella vulgaris* supplementation as mineral source of zinc and selenium to improve the quality of goat milk as health drink in COVID-19 pandemy. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 757. 012051. doi:10.1088/1755-1315/757/1/012051.
61. Sasson A. 1997. Microalgal biotechnologies: recent developments and prospects for developing countries. *BIOTEC Publication* 1 (2542). 11-31.
62. Sikiru A.B., Arangasamy A., Alemede I.C., Egena S.S.A., Bhatta R. 2021. Dietary supplementation effects of *Chlorella vulgaris* on performances, oxidative stress status and antioxidant enzymes activities of prepubertal New Zealand white rabbits. *Bulletin of the National Research Centre*. 43 (162). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0213-8>.
63. Soni R.A., Sudhakar K., Rana R.S. 2017. *Spirulina* – From growth to nutritional product: a review. *Trends in food science & Technology*. 69. 157-171.
64. Transparency Market Research 2021, Algae Market Size, Sales, Share and Forecasts by 2031. [dok. elektr.: <https://www.transparencymarketresearch.com/algae-market.html>. data wejścia 06.02.2023].
65. UNDESA 2022. World population prospects 2022: summary of results. New York. UNDESA.

66. Widyaningrum D., Prianto A.D. 2021. *Chlorella* as a source of functional food ingredients: short review. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 794. 012148. doi:10.1088/1755-1315/794/1/012148
67. Wuang S.C., Khin M.C., Chua P.Q.D., Luo Y.D. 2016. Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. Algal Res. 15. 59-64.
68. Xu W., Gao Z., Qi Z., Qiu M., Peng J.Q., Shao R. 2014. Effect of dietary *Chlorella* on the growth performance and physiological parameters of Gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 14. 53-57.
69. Yarmohammadi S., Hosseini-Ghatar R., Foshati S., Moradi M., Hemati N., Moradi S., Kermani M.A.H., Farzaei M.H., Khan H. 2021. Effect of *Chlorella vulgaris* on liver function biomarkers: a systematic review and meta-analysis. Clin. Nutr. Res. 10 (1). 83-94.
70. Yaakob Z., Ali E., Zainal A., Mohamad M., Takriff M.S. 2014. An overview: biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture. J. Biol. Res. 21 (1). 6-15.
71. Zdrojewicz Z., Bieżyński B., Krajewski P. 2018. Czy warto jeść algi? Borgis–Medycyna Rodzinna. pp. 72-79.

MICROALGAE MOST COMMONLY USED IN THE AGRICULTURAL AND FOOD INDUSTRY

Summary

Spirulina and chlorella are among the microalgae most commonly cultivated in aquaculture as well as used in the agriculture and food industry. Both algae are characterized by a high protein content (up to 60% chlorella and up to 70% spirulina), and also contain fatty acids, vitamins, minerals and dyes. For this reason, and in connection with the current trend for healthy eating, products containing spirulina, chlorella or their extracts have become increasingly popular in recent years. These microalgae are commonly used as feed additives for various species of farm animals and in fish feeds, while their extracts are used e.g. as fertilizers in organic farming and biostimulators.

Keywords: *Spirulina, Chlorella*, algae in food and agriculture

