

Możliwości zastosowania biomasy alg w rolnictwie

Katarzyna CHOJNACKA, Agnieszka SAEID, Izabela MICHALAK – Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2012, **66**, 11, 1235-1248

Wstęp

Wykorzystanie biomasy alg, która stanowi odnawialne źródło wielu cennych substancji aktywnych (mających szerokie spektrum zastosowania w rolnictwie m.in. zrównoważonym rolnictwie i przetwórstwie), spełnia obok celów ekonomicznych, również ekologiczne, rozumiane, jako ochrona przed skażeniami i zagrożeniami ze strony działalności rolniczej. Algi są organizmami fotosyntetyzującymi, więc do wzrostu wykorzystują światło słoneczne i ditlenek węgla i jednocześnie składniki pokarmowe takie jak np.: N i P, które są główną przyczyną zakwitów wód i niepożądanego eutrofizacji.

Wielkość produktywności biomasy mikroalg określa się obecnie na 5 tys. t/r. (sucha masa), co daje wartość rynkową 500 mln USD [1, 2]. Ze względu na te wartości odżywcze, a tym samym walory paszowe, mikroalgi mogą być włączone do żywienia różnorodnych zwierząt, poczynając od ryb poprzez zwierzęta domowe, a kończąc na zwierzętach hodowlanych [3 ÷ 5].

Wykorzystanie alg jako materiałów paszowych dla zwierząt jest bardziej popularne niż ich zastosowanie w diecie człowieka. Duża liczba ocen żywieniowych i toksykologicznych wykazała przydatność biomasy glonów jako cennego suplementu paszy, który z powodzeniem może zastąpić konwencjonalne źródła białka (soja, mączka rybna, otręby ryżowe, itp.) [6]. Wodorosty morskie są również źródłem w diecie składników mineralnych takich jak: sód, potas, jod oraz dodatkowo błonnika. Inny potencjalny obszar, w którym wykorzystanie wodorostów nabiera znaczenia jest ich dodawanie w celu poprawy tekstury produktów spożywczych.

Mikro- i makroalgi

Wśród alg można wyróżnić dwie grupy: mikroalgi i makroalgi (wodorosty). Różnią się m.in.: wartością odżywczą i metodami pozyskania. Na Rysunku 1 przedstawiono podział alg.

ALGI				
MIKROALGI		MAKROALGI (Eukariota)		
EUKARIOTA	PROKARIOTA	ZIELENICE	BRUNATNICE	KRASNOROSTY
METODY POZYSKANIA BIOMASY				
<ul style="list-style-type: none"> •Odfławianie z mórz •hodowla w naturalnych zbiornikach wodnych 		<ul style="list-style-type: none"> •Hodowla w: <ul style="list-style-type: none"> •forobioreaktorach •stawach 		
SKŁAD				
<ul style="list-style-type: none"> •polisacharydy •białko •wielonienasycone kwasy tłuszczowe •barwniki <ul style="list-style-type: none"> •chlorofil •karotenoidy •fikobilisomy •polifenole •minerały •stymulatory wzrostu roślin: <ul style="list-style-type: none"> •cytokininy 		<ul style="list-style-type: none"> •polisacharydy •białko •wielonienasycone kwasy tłuszczowe •barwniki <ul style="list-style-type: none"> •chlorofil •karotenoidy •fikobilisomy •polifenole •minerały •stymulatory wzrostu roślin: <ul style="list-style-type: none"> •cytokininy 		

Rys. 1. Podział alg na dwie grupy: mikroalgi i makroalgi [7, 8]

Algi w żywieniu zwierząt

W Europie wodorosty były wykorzystywane jako pasza dla zwierząt już w czasach rzymskich. W Islandii, Francji i Norwegii zwierzęta

domowe karmiono algami w celu zwiększenia wartości odżywczej paszy [9, 10]. W 2004 r. wykorzystanie alg jako paszy dla zwierząt stanowiło 1% globalnej wartości przemysłu bazującego na wodorostach morskich (10 mln USD w USA, głównie *Ascophyllum nodosum*) [11]. W przypadku mikroalg jako dodatków paszowych, wartość przemysłu w tym samym roku w USA wyniosła 300 mln USD [12]. Istnieje około dziesięć tysięcy zidentyfikowanych gatunków glonów i około 5% jest wykorzystywane jako pokarm dla ludzi lub zwierząt.

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi dopuszcza stosowanie glonów jako materiału paszowego [13]. W wykazie materiałów paszowych, które zostały dopuszczone do obrotu na podstawie przepisów Unii Europejskiej, glony zostały wymienione jako materiał paszowy [14].

W literaturze opisywano właściwości odżywcze alg, biorąc pod uwagę zastosowanie w żywieniu zwierząt morskich m.in. ostryg, ryb (m.in. *dorada* – gatunek ryby zaliczanej do rodziny prażmowatych) [3 ÷ 5, 15 ÷ 17]. W żywieniu zwierząt gospodarskich główną grupą docelową stanowi drób, przede wszystkim z powodu dawek glonów w diecie drobiu, która stanowi najbardziej obiecującą perspektywę dla ich handlowego zastosowania. Kolejnym rozwijającym się rynkiem jest wykorzystanie alg w żywieniu zwierząt wodnych. Szacuje się, że około 30% obecnej produkcji światowej glonów jest sprzedawana jako materiał paszowy. W Tablicy 1 przytoczono doświadczenia żywieniowe z wykorzystaniem mikro- i makroalg jako dodatków do pasz tradycyjnych.

Algi mogą pełnić wiele funkcji odżywczych. Dodatkowo wiadomo, że wybrane rodziny alg morskich produkują różnorodne metabolity wtórne, które tworzą bazę dla obrony przed licznymi roślinożercami. Hardt i wsp. (1996) przedstawił wyniki badań nad odstraszającymi właściwościami akutilolu produkowanego przez *Dictyota acutiloba* mającego na celu odstraszanie ryby stref tropikalnych i umiarkowanych [47].

W pracy Sheih i wsp. (2009) pokazano, że tani odpad białka z alg może być nową alternatywą do produkcji peptydów o właściwościach antyoksydacyjnych. Odpadowe białka z alg, które są zwykle stosowane jako pasza dla zwierząt, są produktem ubocznym przy produkcji ekstraktów z mikroalg *Chlorella vulgaris*. Odpadowe białka z alg mogą zostać poddane hydrolizie przy użyciu np. pepsyny. Odpady poekstrakcyjne zawierające powyżej 50% białka, mają niską wartość handlową, ale nadal mogą stanowić cenne źródło białka w żywieniu zwierząt. Przeprowadzone badania wskazują, że odpady z alg mogą stać się nowym źródłem antyoksydantów [48].

Wykazano, że dwa produkty bogate w wielonienasycone kwasy tłuszczowe ω-3 (typ Aquagrow-DHA i typ TV-20 *C. cohnii*) uzyskane z jadalnych alg, hamują produkcję metanu przez przeżuwacze. Od dawna wiadomo, że produkcja metanu (CH₄) przez przeżuwacze obniża efektywność energetyczną produkcji mleka i mięsa wołowego. Dodatkowo, w ostatnim czasie wzrosło zainteresowanie obniżeniem produkcji metanu przez przeżuwacze jako jedną ze strategii redukcji emisji gazów cieplarnianych [49].

Makroalgi są źródłem związków polifenolowych, które mają dobrze udokumentowane właściwości przeciwutleniające i antibakteryjne. Dzięki tym cechom znajdują zastosowanie jako dodatki do żywności mające na celu przeciwdziałanie niepożądanemu psuciu się produktów mięsnych.

Zastosowanie alg w żywieniu zwierząt (M – Mikroalga, Makroalgi; Z – Zielenica, B – Brunatnica, K – Krasnorost)

Alga	Substancja aktywna	Grupa zwierząt	Dawka	Efekt	Literatura
<i>Schizochytrium</i> sp. (M)	Kwas dokozaheksaenowy (DHA)	Trzoda chlewna	0,25%–0,5%	Istotny wzrost zawartości DHA.	[18]
<i>Hematococcus pluvalis</i> (M)	Astaksantyna	Brojlery	0, 350, 1 800 i 8 950 mg/kg	Antybakteryjne działanie astaksantyny wobec <i>Capylobacter</i> i <i>Clostridium perfringens</i> .	[19]
<i>Chlorella</i> sp. (M)	Białka	Pisklęta i brojlery	6% i 15%	Dodatek alg nie miał niekorzystnego wpływu na przyrost biomasy.	[20]
<i>Nannochloropsis oculata</i> (M)	Kwasy tłuszczowe i karotenoidy	Kury nioski	20%	Dodatek mikroalg zwiększył zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych i karotenoidów w żółtkach jaj.	[21]
<i>Cryptocodium cohnii</i> (M)	Biomasa	Kaczki (<i>Cairina moschata domestica</i> L.)	0,5%	Dodatek mikroalg nie wpłynął na przyrost masy ciała i skład odchodów oraz na skład chemiczny, barwę, pH, okres przydatności do spożycia, właściwości zapachowe mięśni piersiowych.	[20]
<i>Spirulina platensis</i> (M)	Biomasa	Brojlery	14 i 17%	Dodatek mikroalgi nie wpłynął niekorzystnie na masę, skład i histopatologię organów. Jakość mięsa nie uległa zmianie. Odnotowano bardziej intensywny kolor.	[22]
<i>Chlorella</i> sp. (M)	Biomasa	Kury nioski	12%	Dodatek 120 g mikroalg/kg paszy nie wpłynął na jakość skorup jaj, wykorzystanie paszy. Duże stężenie alg w paszy spowodowało intensywniejszy żółty kolor żółtek.	[23]
<i>Schizochytrium</i> sp. (M)	Kwasy tłuszczowe	Kury nioski	2%	Algi, jako źródło n-3 PUFA podawane przez 8 tygodni nie miały niekorzystnego wpływu na właściwości organoleptyczne.	[24]
<i>Laminaria digitata</i> (B), <i>Laminaria hyperborea</i> (B), <i>Enteromorpha intestinalis</i> (Z)	Biomasa	Owce	3–5 kg masy mokrej (m.m.) dziennie	Owce dobrze się rozwijały, w związku z tym makroalgi mogą stanowić alternatywne źródło pożywienia.	[25]
<i>Ulva lactuca</i> (Z)	Biomasa	Kozy	BD (Brak Danych)	W badaniach żywieniowych oszacowano wartość odżywczą makroalgi poprzez badania strawności masy organicznej metodą <i>in vitro</i> oraz rozkładu żwaczowego masy organicznej i białka ogólnego metodą <i>in sacco</i> z wykorzystaniem kóz. Na rozkład żwaczowy było podatne 85% materii organicznej makroalgi. Zawartość energii u makroalgi (10,2 MJ/kg s.m.) jest porównywalna do energetycznej wartości u siana o średniej jakości.	[26]
Makroalgi (nie wskazano gatunków)	Biomasa	Jagnięta	1% suchej masy (s.m.)	Zwierzęta karmione paszą z dodatkiem makroalg, spożywały więcej paszy/kg masy ciała jednak przyrost masy był mniejszy niż w grupie kontrolnej. Dodatek makroalg wpłynął na wzrost masy tuszy cieplej.	[27]
<i>Ulva lactuca</i> (Z)	Biomasa	Barany	20% s.m.	<i>Ulva</i> jako nisko-energetyczna i bogata w azot makroalga może stanowić składnik paszy, składającej się ze zbóż, które są wysokoenergetyczne i o niskiej zawartości azotu.	[28]
<i>Laminaria digitata</i> (B)	Biomasa	Prosięta	0,12 i 0,19% s.m.	Porównano przyswajalność jodu z makroalgi oraz z KI (podanych w takich samych ilościach). Obserwowano znaczny wzrost zawartości jodu w organach (mięśnie, wątroba, nerki, serce) w przypadku zastosowania makroalgi. Forma organiczna okazała się być lepiej przyswajalna dla świń niż forma nieorganiczna.	[29]
<i>Pithophora</i> sp. (Z)	Biomasa	Kury nioski	7,5%	Mieszanka <i>Hydrilla verticillata</i> Rich i makroalgi <i>Pithophora</i> sp. wpłynęła pozytywnie na wzrost zabarwienia żółtek jaj, jednakże nie obserwowano różnic w produkcji jaj, w przemianie paszy, wzroście masy śledziony, w porównaniu z paszą kukurydzoowo-sojową, która była stosowana jako odnośnik.	[30]
<i>Fucus serratus</i> (B), <i>Fucus esiculosus</i> (B)	Fukoksantyna	Kury nioski	15% s.m.	Dodatek makroalg do paszy spowodował wzrost stężenia metabolitów fukoksantyny o 15–20% w żółtkach jaj.	[31]
<i>Enteromorpha</i> sp. (Z)	Kwasy tłuszczowe omega-3	Kury nioski	10% s.m.	Dodatek alg nie wpłynął na nieśność, pobranie paszy, masę jaja i grubość skorup jaj. Zawartość cholesterolu w jajach w grupie doświadczalnej była o 5% niższa niż w grupie kontrolnej.	[32]
<i>Ulva rigida</i> (Z)	Biomasa	Drób	10, 20, 30% s.m.	Wraz ze wzrostem zawartości makroalg w paszy, pobranie paszy oraz szybkość wzrostu malały.	[33]
<i>Enteromorpha intestinalis</i> (Z), <i>Ulva lactuca</i> (Z), <i>Ulva taeniata</i> (Z), <i>Caulerpa taxifolia</i> (Z), <i>Codium flabellatum</i> (Z), <i>Codium iyengarii</i> (Z), <i>Halimeda tuna</i> (Z), <i>Bryopsis pennata</i> (Z), <i>Caulerpa scalpeliformis</i> (Z)	Biomasa	Kurczęta brojlery	10, 20 i 30% m.m.	Najlepsze wyniki zanotowano w grupie z 10% dodatkiem alg, w której obserwowano największy przyrost masy ciała, spadek zawartości tłuszczu, wzrost zawartości białka we krwi i wątrobie w porównaniu z grupą kontrolną.	[34]

<i>Ulva</i> sp. (Z), <i>Hypnea charoides</i> (K), <i>Colpomenia sinuosa</i> (B), <i>Sargassum hemiphyllum</i> (B)	Biomasa	Szczury	5% s.m.	Makroalgi nie miały negatywnego wpływu na wzrost szczurów – masa ciała i organów, z wyjątkiem <i>C. sinuosa</i> , która wpłynęła znacznie na wzrost masy nerek. Ponadto u szczurów karmionych algami obserwowano wzrost poziomu lipoprotein o dużej gęstości (HDL) i triglicerydów. <i>Ulva</i> sp. i <i>H. charoides</i> zredukowały poziom cholesterolu całkowitego.	[35]
<i>Porphyra tenera</i> (K), <i>Undaria pinnatifida</i> (B)	Biomasa	Szczury	15% s.m.	<i>Undaria</i> wpłynęła znacznie na wzrost masy ciała szczura. Makroalgi mogą również stanowić bogate źródło błonnika pokarmowego i składników mineralnych.	[36]
<i>Porphyra tenera</i> (K), <i>Laminaria digitata</i> (B)	Biomasa	Szczury	7% s.m.	U szczurów karmionych dodatkiem algowym obserwowano lepsze wchłanianie składników mineralnych niż w grupie kontrolnej. Nie obserwowano wpływu alg na masę organów.	[37]
<i>Laminaria angustata</i> (B)	Biomasa	Szczury	20% s.m.	Nie obserwowano różnic w pobraniu paszy przez szczury z grupy kontrolnej i grupy karmionej algami. Jednakże masa mokra odchodów szczura z drugiej grupy była znacznie większa niż w przypadku grupy kontrolnej, co jest związane z większym poborem błonnika pokarmowego zawartego w algach. Obserwowano również wzrost masy jelita ślepego, cienkiego i grubego u szczurów karmionych algami.	[38]
<i>Ulva reticulata</i> (Z)	Kwasy tłuszczowe	Myszy	5 i 10% s.m.	Dodatek makroalgi spowodował wzrost zawartości kwasów tłuszczowych w surowicy i wątrobie. Wraz ze wzrostem zawartości alg w paszy (od 0,5 do 10% s.m) obserwowano znaczny spadek stężenia triglicerydu w wątrobie i surowicy.	[39]
<i>Ulva rigida</i> (Z), <i>Gracilaria bursa-pastoris</i> (K), <i>Gracilaria cornea</i> (K)	Białko	Ryby – labraks (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	10% s.m.	Dodatek każdej z makroalg nie miał negatywnego wpływu na szybkość wzrostu oraz wykorzystanie składników odżywczych. Obserwowano wzrost zawartości białka, lipidów oraz popiołu w narządach wewnętrznych.	[40]
<i>Cladophora glomerata</i> (Z)	Białko	Ryby – tilapia (<i>Sarotherodon niloticus</i>)	5, 10, 15, 20, 25% s.m.	Makroalga stanowiła bogate źródło białka w paszy dla ryb. Wraz ze wzrostem zawartości alg w paszy, wzrastał współczynnik pokarmowy, jednakże malał przyrost masy jednostkowej. Obserwowano wzrost zawartości białka ogólnego w mięsie ryb.	[41]
<i>Ascophyllum</i> (B)	Biomasa	Ryby – leszcz (<i>Pagrus major</i>)	2,5 i 5% s.m.	Obserwowano wzrost zawartości białka ogólnego u ryb karmionych dodatkiem alg.	[42]
<i>Ulva pertusa</i> (Z)		Ryby – leszcz (<i>Pagrus major</i>)	5% s.m.	Dodatek makroalgi, który nie wpłynął na szybkość wzrostu i efektywność wykorzystania paszy. W surowicy krwi zaobserwowano spadek poziomu niezestryfikowanych kwasów tłuszczowych, lipidów oraz cukrów.	[43]
<i>Undaria pinnatifida</i> (B), <i>Ascophyllum nodosum</i> (B)	Kwasy tłuszczowe	Ryby – leszcz (<i>Chrysophrys major</i>)	5 i 10% s.m.	Największą szybkość wzrostu i wydajność paszy obserwowano w przypadku dodania 5% <i>U. pinnatifida</i> , 5% <i>A. nodosum</i> , 10% <i>U. pinnatifida</i> i na końcu 10% <i>A. nodosum</i> . W przypadku trzech pierwszych dodatków obserwowano wzrost zawartości lipidów w mięśniach.	[44]
<i>Enteromorpha</i> sp. (Z)	Biomasa	Ryby morskie okoniokształtne (<i>Siganus canaliculatus mykiss</i>)	10, 20, 30% s.m.	Świeża biomasa makroalgi wpłynęła pozytywnie na przeżycie, wzrost masy ciała, zużycie paszy, wzrost zawartości białka surowego i tłuszczów u ryby.	[45]
<i>Cladophora glomerata</i> (Z)	Karotenoidy	Ryby – pstrąg tęczowy (<i>Oncorhynchus</i>)	0,00045 i 0,0009% s.m.	Analiza chemiczna mięsa wykazała znaczny wzrost zawartości karotenoidów (luteiny i zeaksantyny).	[46]

Algi jako nawozy

W ostatnich latach rośnie zastosowanie ekstraktów z alg jako nawozów w rolnictwie ekologicznym. Ekstrakty glonowe zawierają bogaty zestaw fitohormonów, aminokwasów, kwasów tłuszczowych i mikroelementów, odpowiedzialnych za sterowanie wzrostem i rozwojem roślin oraz zwiększających odporność na patogeny [50]. W literaturze dostępne są dane potwierdzające pozytywny wpływ glonów i ekstraktów glonowych na wzrost warzyw, owoców i innych upraw. Ekstrakty glonowe stosowane są zarówno do kondycjonowania nasion, jak i dogłębowo lub dolistnie w okresie wegetacji i kwitnienia. Stymulują kiełkowanie nasion, wzrost oraz plony różnych upraw [51 ÷ 53]. Liczba zabiegów uzależniona jest od indywidualnej podatności rośliny uprawnej – zabiegi można wykonywać kilkakrotnie w czasie sezonu wegetacyjnego. Czas pomiędzy kolejnymi zabiegami nie powinien być jednak dłuższy niż 14 dni [53].

Wpływ alg na glebę

W rolnictwie ekologicznym proponowane jest poprawianie żyzności gleby poprzez nawożenie kompostem z dodatkiem

glonów. Wodorosty morskie oraz ekstrakty glonowe wpływają również pozytywnie na stan gleby poprzez poprawę zdolność zatrzymywania wilgoci [54] oraz poprzez wspomaganie wzrostu pożytecznych mikroorganizmów glebowych [52]. Algi bardzo dobrze współdziałają z izolowanymi z gleby kwasami huminowymi, które najczęściej stosuje się w małych dawkach i z dużą częstotliwością (3–6 zabiegów) [55]. Lichner i wsp. (2012) zbadali wpływ biologicznej wierzchniej warstwy gleby składającej się z trzech gatunków alg: *Choricystis minor*, *Klebsormidium subtile* i *Tribonema minus* na hydrofizyczne parametry gleby piaszczystej. Wykazano większą hydrofobowość gleby w porównaniu do gleby kontrolnej, wodochłonność, przewodność hydrauliczną gleby, wzrost zawartości w glebie węgla organicznego oraz wzrost czasu penetracji kropli wody [56]. W badaniach przeprowadzonych przez Haslam i Hopkins (1996) pokazano, że zastosowanie alg *Laminaria digitata* (pociętej w drobne kawałki) powodowało wzrost objętości porów, stabilności agregacji, biomasy mikroorganizmów glebowych oraz biologicznej aktywności gleby piaszczystej (oddychanie i mineralizacja azotu) [57]. W pracy Caiozzi i wsp. (1968) badano wpływ

wodorostów na poziom fosforu i azotu w glebach wapiennych, w porównaniu do KNO_3 i KH_2PO_4 . Po 21 dniach obserwowano wzrost zawartości fosforu w glebie z dodatkiem wodorostów, w przeciwieństwie do gleby z dodatkiem KH_2PO_4 . Może to sugerować, że przyswajalny fosfor występujący w algach jest w innym stanie chemicznym niż w związkach nieorganicznych. Forma występowania może powodować, że jest ona słabiej pobierana przez rośliny, lub też mikroorganizmy glebowe immobilizują gorzej ten makroskładnik. Istnieje możliwość, że fosfor występujący w glonach tworzy związki trudno degradowane przez mikroorganizmy. Związki te tworzą rozpuszczalne kompleksy z głównymi pierwiastkami glebowymi (Ca, Fe, Al), utrudniając tym samym wiązanie P(V) przez glebę. Spadek zawartości azotu był prawdopodobnie spowodowany transformacją do formy organicznej przez mikroorganizmy. Zjawisko immobilizacji azotu jest wspomagane przez obecność w glebie materiału z niską zawartością azotu, jak np.: algi [58].

Wpływ alg na rośliny

Algi jako fizjoaktywatory

Wieloletnia współpraca firmy Goëmar z francuskimi instytutami naukowymi (np. INRA – Narodowy Instytut Badań Rolniczych, uniwersytety w Rennes, Bordeaux i Marsylii) potwierdziły pozytywny wpływ ekstraktów z *Ascophyllum nodosum* na wzrost i plonowanie roślin. Tę grupę produktów określono mianem fizjoaktywatorów opartych na technologii PAT (Physio Activator™ Technology), gdyż pobudzają one wzrost i rozwój roślin. Mechanizm działania fizjoaktywatorów wynika z ich równoległego wpływu na kilka procesów: aktywacji odżywiania mineralnego roślin poprzez stymulację aktywności enzymów odgrywających kluczową rolę w pobieraniu składników pokarmowych i enzymów (m.in.: reduktazy azotanowej i fosfataz); aktywacji fotosyntezy poprzez wzrost aktywności chlorofilu i jego zawartości w liściach; aktywacji przyrostu biomasy roślin (zarówno części nadziemnej, jak i systemu korzeniowego) i w efekcie ich lepszego odżywienia mineralnego (m.in.: w N, P, K, Mg, Mn i Fe) oraz zwiększenia wydajności fotosyntezy; aktywacji kwitnienia i wiązania owoców poprzez stymulację syntezy poliamin, związków odpowiedzialnych za obfite kwitnienie, efektywne zapylanie oraz zawiązywanie owoców. Wyższe stężenie poliamin stymuluje także intensywność podziałów komórkowych, co prowadzi do wzrostu ich liczby i w efekcie – masy owoców [59]. Składniki aktywne alg mogą stymulować reduktazę azotanową i inne enzymy roślinne odpowiedzialne za pobieranie składników mineralnych oraz ich przemiany w roślinie, a więc działają jako fizjoaktywatory. Bezpośrednim efektem ich działania mogą więc być zmiany składu chemicznego roślin [60].

Algi jako biostymulatory

Warunki wzrostu roślin, a tym samym ich plonowanie, można poprawić poprzez stosowanie różnych naturalnych dodatków, wzbogacających glebę, wytwarzanych na bazie naturalnych substancji znajdujących się w materiałach biologicznych, takich jak np. algi, które wykazują bardzo silne działanie biostymulujące [51]. Biostymulatory z alg stosuje się przede wszystkim po wykiełkowaniu roślin, w formie kilkakrotnego opryskiwania, chociaż nie wyklucza się, że ich stosowanie doglebowe też może dawać pozytywne wyniki [61]. Niektóre naturalne biostymulatory wzrostu są wymienione w „Wykazie nawozów i środków poprawiających właściwości gleby zakwalifikowanych do stosowania w rolnictwie ekologicznym”, zatwierdzonym przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach [62]. Znajdują się w nim **Algamino-Plant** (15% ekstraktu z alg morskich z rodzaju *Sargassum* i 10% α -aminokwasów).

Przykłady badań przeprowadzonych na roślinach z wykorzystaniem ekstraktów glonowych

W badaniach przeprowadzonych przez Dobrzańskiego i wsp. (2008) wykazano, że kondycjonowanie nasion marchwi i pietruszki w 0,5% roztworze biostymulatora **AlgaminoPlant** poprawiało zdolność kiełkowania. Odnotowano również tendencję do wzrostu plonu handlowego korzeni marchwi oraz zwiększenia udziału plonu handlowego w plonie ogólnym na skutek czterokrotnego zastosowania AlgaminoPlant po siewie i wcześniej po wschodach marchwi w odstępach co 7–14 dni (1 dm³/ha w każdym zabiegu). Zaznaczyła się również tendencja zmniejszenia zawartości azotanów i wzrosła zawartość karotenoidów [61]. Kumar i Sahoo (2011) badali wpływ ekstraktu glonowego przygotowanego z brunatnicy *Sargassum wightii* na wzrost i plon pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum*) używając różnych stężeń ekstraktów: 5, 10, 20, 30, 40, 50 i 100%. Najlepsze wyniki uzyskano dla stężenia 20%, zaś najgorsze dla 100%. Obserwowano korzystny wpływ ekstraktu glonowego na kiełkowanie, długość korzeni, długość pędów, liczbę rozgałęzień, długość ziarna, suchą masę nasion [63]. Wyniki badań przeprowadzonych przez Matysiaka i wsp. (2010) wskazują na stymulujący wpływ alg morskich (produkty: **Kelpak SL** – *Ecklonia maxima* i **Algamino-Plant** – *Sargassum* spp.) na kiełkowanie **rzepaku ozimego**, przy czym niższa dawka ekstraktów z alg wykazywała lepsze działanie na tę cechę, w porównaniu do dawki wyższej: dla produktu Kelpak optymalna dawka to 1,5 cm³/200 cm³ H₂O, dla produktu AlgaminoPlant – 0,5 cm³/200 cm³ H₂O [64]. Literatura donosi, iż ekstrakty glonowe (*Ulva* sp. (35%), *Codium* spp. (18%) i *Dictyota* sp. (17%)) wytworzone na drodze kompostowania zostały przetestowane w ocenie szybkości wzrostu **pomidorów**, uprawianych na różnych podłożach: piasek, gleba piaszczysto-gliniasta oraz gleba piaszczysto-gliniasta z nawozami nieorganicznymi, do których były dodawane różne dawki kompostów glonowych. Wyniki wykazały, że we wszystkich przypadkach dodanie kompostu zwiększało maksymalną pojemność wodną i wzrost roślin. Wzrost roślin pomidora (*Lycopersicon esculentum* var. *Platense*) był proporcjonalny do dawki kompostu [65]. Rathore i wsp. (2009) zbadali efekt dolistnego stosowania różnych stężeń ekstraktów glonowych (wytworzonych z *Kappaphycus alvarezii*) o stężeniach 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 i 15% v/v na pobieranie składników pokarmowych, wzrost i plonowanie **soi** (*Glycine max* (L.) Merr.) Uprawy były prowadzone bez stosowania nawozów. Najlepsze wyniki otrzymano w przypadku zastosowania 15% ekstraktu glonowego, dla którego plon soi był o 57% większy niż w przypadku grupy kontrolnej [66].

Algi jako środki ochrony roślin

We współczesnym rolnictwie wykorzystuje się wiele różnorodnych chemicznych środków ochrony roślin w celu zwalczania chorób i szkodników. Zapobiega się w ten sposób często dużym stratom, a umożliwia uzyskanie wyższych, dobrej jakości plonów. Jednak w rolnictwie ekologicznym należy stosować środki oparte na naturalnych substancjach, np. wyciągi roślinne. Działanie ich nie jest tak natychmiastowe i plonotwórcze, ale stwarza mniejsze zagrożenie dla środowiska naturalnego. W walce z chorobami i szkodnikami stosowano dawniej wyciągi z roślin np. ze skrzypu polnego, pokrzywy, czosnku, mniszka lekarskiego, rumianku itp. [50]. Dziś, do wytwarzania preparatów stymulujących odporność na patogeny mogą być wykorzystywane wodorosty. Jednym z takich preparatów jest biostymulator **Vacciplant** dostępny w kilku krajach Unii Europejskiej oraz w Stanach Zjednoczonych, produkowany na bazie wyciągu z listownicy palczastej (*Laminaria digitata*). Stymuluje on mechanizmy odpornościowe roślin, działając na zasadzie „szczepionki” zabezpieczającej roślinę przed chorobami. Podczas ataku patogen wytwarza substancje uszkadzające ściany komórkowe rośliny (np. oligoglukany). Wszystkie szkodliwe substancje wytwa-

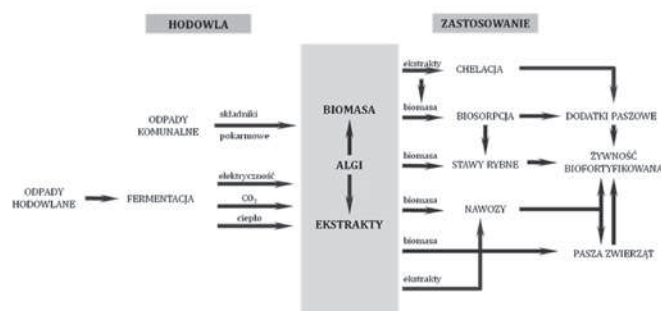
rzane podczas ataku przez grzyby noszą ogólną nazwę elicytorów, czyli czynników stresowych stymulujących odpowiedź obronną roślin. Odpowiedzią rośliny na atak patogena i działanie elicytorów jest wytwarzanie przez kolejne komórki sygnału do obrony, która objawia się m.in.: lignifikacją ścian komórkowych oraz produkcją związków toksycznych dla czynnika chorobotwórczego (np.: fitoaleksyn, związków fenolowych). Vacciplant działa więc jak elicytor, czyli udaje działanie substancji wytwarzanej podczas ataku patogena. W krajach, w których został zarejestrowany jest wykorzystywany, m.in., jako środek zapobiegawczy przed infekcjami mączniaka prawdziwego na plantacjach truskawek oraz przed zarazą ogniową w sadach z gatunkami ziarnkowymi owoców [59].

W pracy Horoszkiewicz-Janka i Jajor (2006) zbadano wpływ zaprawiania nasion na zdrowotność roślin jęczmienia, pszenicy i rzepaku w początkowych fazach rozwoju. Jednym ze stosowanych środków był **Kelpak**, będący wyciągiem z alg morskich *Ecklonia maxima* wydobywanych u wybrzeży Południowej Afryki. Środek stymuluje wzrost roślin i poprawia ilość oraz jakość plonu. Pozytywne działanie tego bioregulatora jest szeroko wykorzystywane w uprawie winorośli i owoców cytrusowych, uprawach rolniczych oraz roślin ozdobnych. Wykazano, że zaprawianie rzepaku jarego środkiem Kelpak spowodowało zmniejszenie procentu porażonych roślin o około 50% [67]. Podobnym biopreparatem jest **Bioalgeen S 90 Plus 2**, będący również wyciągiem z alg morskich. Jego aplikacja sprzyja rozbudowie systemu korzeniowego, większej odporności na stres oraz zwiększeniu odporności na atak patogenów. Lepiej rozbudowany system korzeniowy, wpływa na lepszą tolerancję stresów powodowanych przez chorobotwórcze patogeny i szkodniki oraz zwiększenie plonu i poprawę jego jakości [68]. W badaniach przeprowadzonych przez Horoszkiewicz-Janka i Michalskiego (2006) określono wpływ dolistnego stosowania biostymulatora: Bioalgeen S 90 Plus 2 na jakość oraz występowanie mikroflory na ziarnie jęczmienia, owsa oplewionego oraz owsa nagięgo. Wykazano, że stosowanie tego środka ochrony roślin ograniczyło występowanie grzybów patogennych na ziarnie badanych gatunków zbóż [68]. Sultana i wsp. (2005) wykazali, że zastosowanie alg: brunatnic: *Stokeyia indica*, *Padina pavonia* i krasnorostu: *Solieria robusta* jako preparatów poprawiających właściwości gleby wpłynęło pozytywnie na redukcję infekcji korzeni okry (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.) wywoływanej przez patogeny: *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* i *Fusarium solani* [69]. Również w pracy Ehteshamul-Haque i współpr. (1996) wykazano, że brunatnice: *Stochochlopermum marginatum* i *Sargassum tenerimum* stosowane jako środki poprawiające strukturę gleby w warunkach szklarniowych, znacząco zredukowały populację guzaka (*Meloidogyne javanica*) oraz grzybów wywołujących infekcje korzenia [70]. W literaturze wykazano również, że zastosowanie krasnorostu *Solieria robusta* działało lepiej przeciwko zgniliznie korzeni soi (*Glycine max* (L.) Merrill.) wywoływanej przez *Fusarium solani* niż fungicyd – Topsin-M [71].

Potencjał alg

Rolnictwo zrównoważone to prowadzenie produkcji rolnej metodami przyjaznymi dla środowiska naturalnego. Poszukuje się również nowych, bardziej proekologicznych i wydajnych rozwiązań dla hodowli alg poprzez zamknięcie obiegów produkcyjnych, gdzie odchody zwierzęce stosowane są jako pożywka dla wzrostu mikroalg. W ten sposób składniki odżywcze niezwiązane przez organizm zwierzęcy mogą zostać wykorzystane do wzrostu biomasy mikroalg, która następnie może być dodawana do pasz dla zwierząt, jako naturalna biomasa lub jako biomasa wzbogacona w mikroelementy [72, 73]. Wprowadzając dodatkowe ogniwo do łańcucha produkcyjnego w rolnictwie, jakim są mikroalgi możliwe będzie uzyskanie obiegu zamkniętego, w którym odpady z jednego procesu stanowią

substraty dla kolejnego, tworząc gospodarstwo prawie samowystarczalne. Stawy hodowlane z mikroalgami zasilane odpadami zwierzęcymi pełnią funkcję stawów utleniających. Algi pełnią funkcję wiązania wolnych składników odżywczych do biomasy, a tym samym oczyszczają wodę, produkują tlen, który jest niezbędny do wzrostu bakterii aerobowych i innych organizmów wodnych. Jeżeli w stawach hodowlanych są ryby, algi stanowią pożywienie i tworzą optymalne środowisko dla hodowli ryb. Mikroalgi odpowiedzialne są za biologiczną transformację energii słonecznej i składników odżywczych także odpadowych w biomasę mikroalg, która poddana fermentacji beztlenowej daje metan (ok. 60%) a także, CO₂ (ok. 40%), który z kolei może być zawrócony do hodowli mikroalg jako źródło węgla. Literatura przedstawia również nowe możliwości zastosowania alg w żywieniu zwierząt. Porównując zawartość mikroelementów w konwencjonalnych paszach ze składem biomasy mikroalg okazuje się, że zawartość mikroelementów w biomase alg po wzbogaceniu jest wielokrotnie wyższa, niż w jęczmieniu, kukurydzy, owsie, pszenicy, życie, ziemiakach lub drożdżach paszowych [19, 74]. Miejsce alg w nowoczesnym rolnictwie przedstawiono na Rysunku 2.



Rys. 2. Miejsce alg w nowoczesnym rolnictwie

Literatura opisuje próby wzbogacenia biomasy *Spirulina platensis* w selen, jod [75, 76], które zakończyły się otrzymaniem środków farmaceutycznych, stosowanych jako suplementy diety człowieka. Takie preparaty dostarczają organizmowi składników, w które biomasa została wzbogacona, w lepiej przyswajalnej formie. Trend wzbogacania organizmów o dobrych właściwościach odżywczych na drodze biosorpcji i bioakumulacji staje się faktem, co potwierdzają doniesienia literaturowe o drożdżach wzbogaconych w miedź, które mają rozwiązać problem niedoboru mikroelementów w diecie ludzi i zwierząt [77].

Podsumowanie

W przedstawionej pracy opisano algi (mikro- i makroalgi) jako nowy surowiec dla rolnictwa, którego potencjał nie został jeszcze do końca wykorzystany. Algi stanowią wyzwanie dla zrównoważonego rolnictwa; znane z bogactwa składników odżywczych są stosowane jako suplementy diety. W nowoczesnym rolnictwie mogą zostać wykorzystane w żywieniu zwierząt jako nośniki mikroelementów, a także w nawożeniu gleb. Dodatkowo proponuje się zastosowanie procesu biosorpcji jako metody wiązania jonów metali z biomasą. Wprowadzenie dodatków mineralnych wyprodukowanych na bazie biomasy alg zmniejszy niekontrolowaną akumulację jonów mikroelementów w środowisku.

Istnieje także możliwość wykorzystania wydalonych składników mineralnych w odchodach zwierzęcych w zintegrowanych gospodarstwach, gdzie odpady hodowlane mogłyby zostać wykorzystane jako pożywka do hodowli mikroalg.

Podziękowania

Praca została sfinansowana z grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N R05 0014 10.

Literatura

1. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A.: *Commercial applications of microalgae*. Journal of Bioscience and Bioengineering 2006, **101**, 87–96.
2. Muller-Feuga A.: *The role of microalgae in aquaculture: situation and trends*. Journal of Applied Phycology 2000, **12**, 527–534.
3. Brown M.R., Jeffrey S.W., Volkman J.K., Dunstan G.A.: *Nutritional properties of microalgae for mariculture*. Aquaculture 1997, **151**, 315–331.
4. Navarro N., Yúfera M., García-Gallego M.: *Use of freeze-dried microalgae for rearing gilthead seabream, Sparus aurata L., larvae. II. Biochemical composition*. Hydrobiologia 2001, **452**, 69–77.
5. Martínez-Fernández E., Acosta-Salmón H., Southgate P.C.: *The nutritional value of seven species of tropical microalgae for black-lip pearl oyster (Pinctada margaritifera, L.) larvae*. Aquaculture 2006, **257**, 491–503.
6. Becker E.W.: *Micro-algae as a source of protein*. Biotechnology Advances 2007, **25**, 207–210.
7. Zielińska A.: *Praca doktorska: Opracowanie metody produkcji mineralnych dodatków paszowych nowej generacji na bazie mikroalg*. Wrocław 2010
8. Michalak I.: *Praca doktorska: Nowa generacja biologicznych dodatków paszowych z mikroelementami na bazie makroalg*. Wrocław 2010
9. Cunningham S., Joshi L. In: Kole C, Ed. *Transgenic crop plants*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, pp. 343–357.
10. Swanson A.K., Druehl L.D.: *Induction, exudation and the UV protective role of kelp phlorotannins*. Aquatic Botany 2002, **73**, 241–253.
11. Chopin T., Sawhney M. In: Steele JH, Thorpe SA, Turekian KK., Eds, *Encyclopedia of ocean sciences*. Elsevier, Oxford 2009, pp. 4477–4487.
12. Pulz O., Gross W.: *Valuable products from biotechnology of microalgae*. Applied Microbiology and Biotechnology 2004, **65**, 635–648.
13. Dz.U. Nr 14, poz. 119 z dnia 13 stycznia 2005r.
14. Korol W.: *Mineralne dodatki paszowe-regulacje prawne: Polska – UE*. Pasze Przemysłowe 2002, **4**, 18.
15. Martínez-Fernández E., Southgate P.C.: *Use of tropical microalgae as food for larvae of the black-lip pearl oyster Pinctada margaritifera*. Aquaculture 2007, **263**, 220–226.
16. Abril R., Garrett J., Zeller S.G., Sander W.J., Mast R.W.: *Safety assessment of DHA-rich microalgae from Schizochytrium sp. Part V: target animal safety/toxicity study in growing swine*. Regulatory Toxicology and Pharmacology 2003, **37**, 73–82.
17. Ponis E.R.R., Parisi G.: *Nutritional value of fresh and concentrated algal diets for larval and juvenile Pacific oysters (Crassostrea gigas)*. Aquaculture 2003, **221**, 491–505.
18. Sardi L., Martelli G., Lambertini L., Parisini P., Mordenti A.: *Effects of a dietary supplement of DHA-rich marine algae on Italian heavy pig production parameters*. Livestock Science 2006, **1–2**, 95–103.
19. Waldenstedt L., Inbarr J., Hansson I., Elwinger K.: *Effect of astaxanthin – rich algal meal (Haematococcus pluvialis) on growth performance*. Animal Feed Science and Technology 2003, **108**, 119–132.
20. Lipstein B., Hurwitz S.: *The nutritional value of algae for poultry dried Chlorella in broiler diets*. British Poultry Science 1980, **21**, 9–21.
21. Fredriksson S., Elwinger K., Pickova J.: *Fatty acid and carotenoid composition of egg yolk as an effect of microalgae addition to feed formula for laying hens*. Food Chemistry 2006, **99**, 530–537.
22. Crist R.H.: *Nature of Bonding between Metal Ions and Algal Cell Walls*. Environmental Science and Technology 1981, **5**, 1212–1217.
23. Kadukowa J., Vircikova E.: *Comparison of differences between copper bioaccumulation and biosorption*. Environmental International 2005, **31**, 227–232.
24. Parpinello G.P., Meluzzi A., Sirri F., Tallarico N., Versari A.: *Sensory evolution of egg products and eggs laid from hens fed diets with different fatty acid composition and supplemented with antioxidants*. Food Research International 2006, **39**, 47–52.
25. Hansen H.R., Hector B.L., Feldmann J.: *A qualitative and quantitative evaluation of the seaweed diet of North Ronaldsay sheep*. Animal Feed Science and Technology 2003, **105**, 21–28.
26. Ventura M.R., Castañón J.I.R.: *The nutritive value of seaweed (Ulva lactuca) for goats*. Small Ruminant Research 1998, **29**, 325–327.
27. Al-Shorepy S.A., Alhadrami G.A., Jamali I.A.: *Effect of feeding diets containing seaweed on weight gain and carcass characteristics of indigenous lamb in the United Arab Emirates*. Small Ruminant Research 2001, **41**, 283–287.
28. Arieli A., Sklan D., Kissil G.: *A note on the nutritive value of Ulva lactuca for ruminants*. Animal Production 1993, **57**, 329–331.
29. He M.L., Hollwich W., Rambeck W.A.: *Supplementation of algae to the diet of pigs: a new possibility to improve the iodine content in the meat*. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 2002, **86**, 97–104.
30. McDowell L.R., Lizama L.C., Marion J.E., Wilcox C.J.: *Utilization of aquatic plants Elodea canadensis and Hydrilla verticillata in diets for laying hens*. Poultry Science 1990, **69**, 673–678.
31. Strand A., Herstad O., Liaaen-Jensen S.: *Fucoxanthin metabolites in egg yolks of laying hens*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A 1998, **119**, 963–974.
32. Carrillo S., López E., Casas, M.M. Avila E., Castillo R.M., Carranco M.E., Calvo C., Pérez-Gil F.: *Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n-3 fatty acid enriched eggs*. Journal of Applied Phycology 2008, **20**, 721–728.
33. Ventura M.R., Castañón J.I.R., McNab J.M.: *Nutritional value of seaweed (Ulva rigida) for poultry*. Animal Feed Science and Technology 1994, **49**, 87–92.
34. Zahid P.B., Aisha K., Ali A.: *Green seaweeds as component of poultry feed*. Bangladesh Journal of Botany 1995, **24**, 146–153.
35. Wong K.H., Sam S.W., Cheung P.C.K., Ang P.O.: *Changes in lipid profiles of rats fed with seaweed-based diets*. Nutrition Research 1999, **19**, 1519–1527.
36. Urbano M.G., Goñi I.: *Bioavailability of nutrients in rats fed on edible seaweeds, Nori (Porphyra tenera) and Wakame (Undaria pinnatifida), as a source of dietary fibre*. Food Chemistry 2002, **76**, 281–286.
37. Bocanegra A., Nieto A., Blas B., Sánchez-Muniz F.J.: *Diets containing a high percentage of Nori or Konbu algae are well-accepted and efficiently utilized by growing rats but induce different degrees of histological changes in the liver and bowel*. Food Chemistry and Toxicology 2003, **41**, 1473–1480.
38. Suzuki T., Nakai K., Yoshie Y., Shirai T., Hirano T.: *Digestibility of dietary fiber in brown alga, Kombu, by rats*. Nippon Suisan Gakkaishi 1993, **59**, 879–884.
39. Hong D.D., Hien H.M., Son P.N.: *Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer*. Journal of Applied Phycology 2007, **19**, 817–826.
40. Valente L.M.P., Gouveia A., Rema P., Matos J., Gomes E.F., Pinto I.S.: *Evaluation of three seaweeds Gracilaria bursa-pastoris, Ulva rigida and Gracilaria cornea as dietary ingredients in European sea bass (Dicentrarchus labrax) juveniles*. Aquaculture 2006, **252**, 85–91.
41. Appler H.N., Jauncey K.: *The utilization of a filamentous green alga (Cladophora glomerata (L) Kutzin) as a protein source in pelleted feeds for Sarotherodon (Tilapia) niloticus fingerlings*. Aquaculture 1983, **30**, 21–30.
42. Nakagawa H., Umino T., Tasaka Y.: *Usefulness of Ascophyllum meal as a feed additive for red sea bream, Pagrus major*. Aquaculture 1997, **151**, 275–281.
43. Nakagawa H., Kasahara S.: *Effect of Ulva meal supplement to diet on the lipid metabolism of Red Sea Bream*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 1986, **52**, 1887–1893.
44. Yone Y., Furuichi M., Urano K.: *Effect of dietary Wakame Undaria pinnatifida and Ascophyllum nodosum supplements on growth, feed efficiency and proximate compositions of liver and muscle of Red Sea Bream*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 1986, **52**, 1465–1468.
45. Yousif O.M., Osman M.F., Anwahi A.R., Zarouni M.A., Cherian T.: *Growth response and carcass composition of rabbitfish, Siganus canaliculatus (Park) fed diets supplemented with dehydrated seaweed, Enteromorpha sp.* Emirates Journal of Agricultural Sciences 2004, **16**, 18–26.
46. Welker C., De Negro P., Sarti M.: *Green algal carotenoids and yellow pigmentation of rainbow trout fish*. Aquaculture International 2001, **9**, 87–93.
47. Hardt I.H., Fenical W., Cronin G., Hay M.E.: *Acutilols, potent herbivore feeding deterrents from the tropical brown alga, Dictyota acutiloba*. Phytochemistry 1996, **43**, 71–73.
48. Sheih I.-Ch., Wu T.-K., Fang T.J.: *Antioxidant properties of a new antioxidative peptide from algae protein waste hydrolysate in different oxidation systems*. Bioresource Technology 2009, **100**, 3419–3425.
49. Fievez V., Boeckaert C., Vlaeminck B., Mestdagh J., Demeyer D.: *In vitro examination of DHA-edible micro-algae: 2. Effect on rumen methane production and apparent degradability of hay*. Animal Feed Science and Technology 2007, **136**, 80–95.

50. Pieleś A.: *Algi i alginy – leczenie, zdrowie i uroda*. Wydawnictwo internetowe e-bookowo. 2010.
51. Hong D.D., Hien H.M., Son P.N.: *Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and fertilizer*. Journal of Applied Phycology 2007, **19**, 817–826.
52. Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., Prithiviraj B.: *Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development*. Journal of Plant Growth Regulation 2009 **28**, 386–399.
53. Matysiak K., Adamczewski K.: *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin – kierunki badań w polsce i na świecie*. Progress in Plant Protection 2009, **49**, 1810–1816.
54. Moore K.K.: *Using seaweed compost to grow bedding plants*. BioCycle 2004, **45**, 43–44.
55. Zhang X., Ervin E.H.: *Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance*. Crop Science 2004, **44**, 1737–1745.
56. Lichner L., Hallett P.D., Drongová Z., Czachor H., Kovacik L., Mataix-Solera J., Homolák M.: *Algae influence the hydrophysical parameters of a sandy soil*. Catena 2012, doi:10.1016/j.catena.2012.02.016.
57. Haslam S.F.I., Hopkins D.W.: *Physical and biological effects of kelp (seaweed) added to soil*. Applied Soil Ecology 1996, **3**, 257–261.
58. Caiozzi M., Peirano P., Rauch E., Zunino H.: *Effect of seaweed on the levels of available phosphorus and nitrogen in calcareous soil*. Agronomy Journal, 1968, **60**, 324–326.
59. Górka W.: *Na bazie morskich alg*. 2011, **5**. www.sadinfo.pl, data wejścia: 15.06.2012
60. Joubert J.M., Lefranc G.: *Seaweed phytostimulants in agriculture: recent studies on mode of action two types of products from algae: growth and nutrition stimulants and stimulants of plant defence reactions*. Book of abstracts: Biostimulators in modern agriculture. Warsaw, 7–8 February, 2008, **16**.
61. Dobrzański A., Anyszka Z., Elkner K.: *Reakcja marchwi na ekstrakty pochodzenia naturalnego z alg z rodzaju Sargassum – Algaminoplant i z Leonardytu – HumiPlant*. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2008, **53**, 3, 53–58.
62. Wykaz nawozów i środków poprawiających właściwości gleby zakwalifikowanych do stosowania w rolnictwie ekologicznym. www.iung.pulawy.pl/odpady/wykaz.htm, data wejścia: 13.06.2012
63. Kumar G., Sahoo D.: *Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of Triticum aestivum var. Pusa Gold*. Journal of Applied Phycology 2011, **23**, 251–255.
64. Matysiak K., Kaczmarek S., Kierzek R., Kardasz P.: *Ocena działania ekstraktów z alg morskich oraz mieszaniny kwasów huminowych i fulwowych na kiełkowanie i początkowy wzrost rzepaku ozimego (Brassica napus L.)*. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2010, **55**, 4, 28–32.
65. Eyras M.C., Rostagno C.M., Defossé G.E.: *Biological evaluation of seaweed composting*. Compost Science & Utilization 1998, **6**, 4, 74–81.
66. Rathore S.S., Chaudhary D.R., Boricha G.N., Ghosh A., Bhatt B.P., Zodape S.T., Patolia J.S.: *Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions*. The South African Journal of Botany 2009, **75**, 351–355.
67. Horoszkiewicz-Janka J., Jajor E.: *Wpływ zaprawiania nasion na zdrowotność roślin jęczmienia, pszenicy i rzepaku w początkowych fazach rozwoju*. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2006, **51**, 2, 47–53.
68. Horoszkiewicz-Janka J., Michalski T.: *Wpływ zabiegów ochrony roślin na wykształcenie ziarna, zdolność kiełkowania oraz skład gatunkowy grzybów wyizolowanych z ziarna jęczmienia i owsa*. Progress in Plant Protection 2006, **46**, 1, 417–423.
69. Sultana V., Ehteshamul-Haque S., Ara J., Athar M.: *Comparative efficacy of brown, green and red seaweeds in the control of root infecting fungi and okra*. International Journal of Environmental Science and Technology 2005, **2**, 129–132.
70. Ehteshamul-Haque S., Abid M., Sultana V., Ara J., Ghaffar A.: *Use of organic amendments on the efficacy of biocontrol agents in the control of root rot and root knot disease complex of okra*. Nematologia Mediterranea 1996, **24**, 13–16.
71. Sultana V., Baloch G.N., Ambreen, Ara J., Rajput Tariq M., Ehteshamul-Haque S.: *Comparative efficacy of a red alga Solieria robusta, chemical fertilizers and pesticides in managing the root diseases and growth of soybean*. Pakistan Journal of Botany 2011, **43**, 1, 1–6.
72. Travieso L., Benítez F., Sánchez E., Borja R., Martín A., Colmenarejo M.F.: *Batch mixed culture of Chlorella vulgaris using settled and diluted piggy waste*. Ecological Engineering 2006, **28**, 158–165.
73. Mulbry W., Westhead E.K., Pizarro C., Sikora L.: *Recycling of manure nutrients: use of algal biomass from dairy manure treatment as a slow release fertilizer*. Bioresource Technology 2005, **96**, 451–458.
74. Lipstein B., Hurwitz S.: *The nutritional value of algae for poultry dried Chlorella in broiler diets*. British Poultry Science 1980, **21**, 9–21.
75. Mosulishvili L.M., Kirkesali E.I., Belokobylsky A.I., Khizanishvili A.I., Frontasyeva M.V.: *Experimental substantiation of the possibility of developing selenium - and iodine - containing pharmaceuticals based on blue-green algae Spirulina platensis*. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 2002, **30**, 87–97.
76. Li Z.Y., Guo S.Y., Li L.: *Bioeffects of selenite on growth of Spirulina platensis and its biotransformation*. Bioresource Technology (2003) **89**:171–176.
77. Mrvcic J., Stanzer D., Stehlik-Tomas V., Škevin D., Grba S.: *Optimization of bioprocess for production of copper-enriched biomass of industrially important microorganism Saccharomyces cerevisiae*. Journal of Bioscience and Bioengineering 2007, **103**, 331–337.

Prof. dr hab. inż. Katarzyna CHOJNACKA – w 1999 r. ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. W 2003 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej. W 2008 r. uzyskała stopień doktora habilitowanego na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Od 2009 r. jest zatrudniona na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Instytucie Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej. W 2012 r. uzyskała tytuł profesora nauk technicznych. Specjalność – technologie biologiczne.

e-mail: katarzyna.chojnacka@pwr.wroc.pl

Dr inż. Agnieszka SAEID – w 2006 r. ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej na kierunku biotechnologia. W 2010 r. uzyskała stopień doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna. Od 2010 r. jest asystentem naukowo-dydaktycznym w Instytucie Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej – Zakład Chemii dla Rolnictwa. Specjalność – procesy biotechnologiczne.

e-mail: agnieszka.saeid@pwr.wroc.pl

Dr inż. Izabela MICHALAK – 2005 r. ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej na kierunku biotechnologia. W 2010 r. uzyskała stopień doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna. Od 2010 r. jest asystentem naukowo-dydaktycznym w Instytucie Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej – Zakład Chemii dla Rolnictwa. Specjalność – procesy biotechnologiczne.

e-mail: izabela.michalak@pwr.wroc.pl