

POTENCIALIDADES DAS MACROALGAS MARINHAS NA AGRICULTURA: REVISÃO

Taiomara Butzke Dapper*
Suélen Pujarra**
Andressa Jacqueline de Oliveira**
Fernando Garrido de Oliveira**
Roberta Paulert***

RESUMO: Os organismos marinhos têm recebido atenção durante os últimos anos por serem fonte de compostos naturais, se configurando em uma nova e promissora área de estudos. As macroalgas marinhas são uma vasta fonte de matérias-primas e de moléculas biologicamente ativas utilizadas na indústria farmacêutica, cosmética, alimentícia e agrícola. Devido à sua importância, o presente trabalho teve como objetivo revisar os recentes avanços da pesquisa na agricultura sobre a bioatividade de algas marinhas e seus compostos derivados. Em particular, é dado enfoque a três atividades biológicas das macroalgas: indução de resistência em plantas a doenças, estimulação do crescimento de plantas e atividade antimicrobiana direta. Realizou-se uma revisão bibliográfica de artigos científicos sobre as aplicações das macroalgas marinhas na agricultura. O interesse pelas macroalgas marinhas surge devido às suas vantagens como o rápido crescimento, produção de grande volume de biomassa e também pelas características exclusivas de seus polissacarídeos/compostos derivados como as propriedades físico-químicas, reológicas, biológicas, além da composição química formada por raros açúcares. Apesar de limitada, a exploração comercial de macroalgas verdes, marrons ou vermelhas presentes na extensa costa brasileira pode fornecer subsídios para uma agricultura orgânica, auxiliando a agricultura na produção de áreas cultiváveis livres da contaminação com pesticidas, valorizando a utilização da biomassa marinha.

PALAVRAS-CHAVE: Algas Marinhas; Atividade Antimicrobiana; Proteção de Plantas.

REVIEW OF THE POTENTIALITIES OF SEA MACROALGAE IN AGRICULTURE

* Técnico de Laboratório, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Setor Palotina.

** Discentes da Universidade Federal do Paraná - UFPR, Setor Palotina

*** Docente do Curso Superior de Tecnologia em Biotecnologia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina;
E-mail: roberta@ufpr.br

ABSTRACT: Sea organisms have been lately in the limelight since they are a source of natural compounds and have become a new and promising study issue. Sea macroalgae are a vast source of biologically active prime matter and molecules used in the pharmaceutical, cosmetic, food and agricultural industry. Current analysis reviews recent progress in agricultural research on the bioactivity of sea algae and derived compounds. Three biological activities of macroalgae are underscored, namely, resistance induction to diseases in plants, plants' growth stimuli and direct anti-microbial activity. A bibliographical review of scientific articles on the application of sea macroalgae in agriculture was undertaken. Interest in marine macroalgae is due to such advantages as quick growth, production of great volumes of biomass and the exclusive characteristics of their polysaccharides/derived compounds, such as physical, chemical, rheological, biological properties, coupled to the chemical composition formed by rare sugars. The commercial exploitation of green, brown and red macroalgae, albeit limited, along the Brazilian coast, may help in organic agriculture and in the production of pesticide contamination-free areas with a valorization of marine biomass usage.

KEY WORDS: Sea Algae; Antimicrobial Activity; Plant Protection.

INTRODUÇÃO

Organismos marinhos são importantes fontes de metabólitos bioativos e aproximadamente 70% da biosfera são ocupados por biomas marinhos, os quais detêm uma diversidade taxonômica e bioquímica (HOLDT; KRAAN, 2011). Dentro deste grupo destaca-se o extenso grupo das macroalgas que inclui algas verdes (divisão Chlorophyta), marrons ou pardas (Phaeophyta) e algas vermelhas (Rhodophyta), de acordo com os pigmentos que possuem (KHAN et al., 2009).

Cerca de quatro milhões de toneladas de macroalgas são colhidas anualmente em todo o mundo, sendo os principais produtores a China e o Japão, seguidos pelos Estados Unidos e Noruega (ZEMKE-WHITE; OHNO, 1999). A partir das algas são obtidos produtos imprescindíveis para a vida do homem moderno, com valores que ultrapassam alguns bilhões de dólares anuais (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004).

Muitas espécies de macroalgas marinhas são utilizadas na agricultura há muitos anos como bioestimulantes e fertilizantes naturais (KHAN et al., 2009). Diversos compostos extraídos de macroalgas que apresentam atividades protetoras

de plantas pertencem à classe dos polissacarídeos, importantes por apresentar uma enorme variação estrutural podendo conter raros carboidratos e grupamentos sulfatos (LAHAYE; ROBIC, 2007; VERA et al., 2011).

Os polissacarídeos extraídos de algas marinhas são substâncias naturalmente ativas e possuem importantes aplicações. Ágar, carragenanas e fucoidanas são bem conhecidos por terem vasta aplicação na indústria alimentícia, farmacêutica e biotecnológica. Entretanto, o interesse pelo potencial biotecnológico dos polissacarídeos de algas marinhas é recente (PENGZHAN et al., 2003) e nas últimas décadas, a descoberta de metabólitos com atividade biológica a partir de macroalgas cresceu substancialmente (HOLDT; KRAAN, 2011).

Neste contexto, as macroalgas demonstram alto potencial nas novas tecnologias, na obtenção de produtos para uso agrícola e, portanto, este artigo tem como objetivo revisar as três principais aplicações das algas marinhas na agricultura: a) controle direto de fitopatógenos pela atividade antimicrobiana dos extratos; b) indução de mecanismos de defesa vegetal; e c) promoção do crescimento da planta. Com base nestes objetivos foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos científicos publicados *online* e as bases de dados consultadas foram PubMed, Scielo, Elsevier, ScienceDirect, GoogleScholar e Scirus.

Dentre os 47 artigos científicos analisados, observou-se que as algas marrons são as mais utilizadas na agricultura (44,7%, principalmente a espécie *Ascophyllum nodosum*), seguidas pelas algas verdes (36,2%, principalmente espécies de *Ulva* sp.) e pelas algas vermelhas (29,8%), conforme ilustrado na Figura 1.

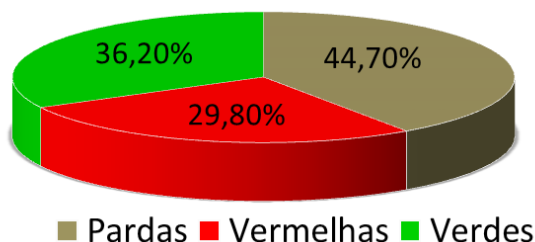


Figura 1. Distribuição das macroalgas marinhas com aplicações na agricultura de acordo com a pigmentação (algas pardas, verdes e vermelhas).

A maioria dos artigos (40,4%) descreveu a indução de resistência a doenças em plantas (redução da severidade de sintomas de doenças principalmente fúngicas) e 34% desta atividade foi devido à aplicação foliar de polissacarídeos bioativos como a ulvana, carragenana ou laminarina. Por outro lado, 36,2% dos artigos analisados descreveram o efeito bioestimulante de extratos das algas marinhas (aumento foliar, das raízes, sementes/grãos, favorecimento da germinação) e apenas 12,8% dos artigos relataram a atividade antimicrobiana (antiviral, antifúngica ou antibacteriana) de extratos ou polissacarídeos marinhos.

2 AÇÃO ANTIMICROBIANA DE EXTRATOS DE MACROALGAS MARINHAS

Insetos, nematóides, fungos, bactérias e vírus podem atacar as plantas e causar severos danos teciduais e, conseqüentemente, ocorre uma severa redução na quantidade e qualidade das culturas agrícolas (TROUVELOT et al., 2008). O atual interesse pela preservação do meio ambiente tem intensificado o desenvolvimento de métodos alternativos de controle de doença que podem ser considerados para inibir o crescimento dos fitopatógenos (KHAN et al., 2009; PAULERT et al., 2010).

A maioria dos compostos de macroalgas marinhas que apresentam atividades biológicas pertence à classe de lectinas, terpenos, compostos fenólicos e polissacarídeos sulfatados (BHAGAVATHY et al., 2011; MAYER; HAMANN, 2005; SMIT, 2004).

Embora as macroalgas sejam uma abundante fonte de metabólitos bioativos, ainda são pouco utilizadas para o controle de doenças de plantas (COURTOIS, 2009; PAULERT et al., 2009, 2010) e poucos trabalhos se referem à atividade antifúngica (ABOURRICHE et al., 1999; EDRADA et al., 2002; PAULERT et al., 2007).

Com o objetivo de avaliar a eficácia do extrato concentrado da alga parda *Ecklonia maxima* no controle do fungo *Verticillium dahliae* como uma estratégia alternativa ao controle químico deste patógeno da cultura de plantas de pimenta, Rekanović et al. (2010) demonstraram que a atividade do concentrado apresentou eficácia de 41,96%.

Bhosale et al. (1999), observaram que o extrato metanólico das algas *Amphiroa* sp. e *Poryphyra* sp. possui propriedades inibitórias frente a fungos fitopatogênicos *Aspergillus japonicus* e *A. niger*, respectivamente. Da mesma forma, os extratos da alga verde *Chlorococcum humicola* apresentaram potente efeito sobre o crescimento de *A. niger* e *A. flavus* (BHAGAVATHY et al., 2011). O extrato bruto metanólico da macroalga verde *Ulva fasciata*, também conhecida como alface do mar, inibiu o crescimento micelial de *Colletotrichum lindemuthianum*, agente causador da antracnose em feijão (PAULERT et al., 2009).

Frações do extrato da alga marrom *Cystoseira tamariscifolia* apresentaram atividade inibitória frente aos fungos fitopatogênicos *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* e *Verticillium albo-atrum* (ABOURRICHE et al., 1999). A alga vermelha *Gracilaria chilensis* apresentou uma redução no crescimento do fungo *Phytophthora cinnamomi* (JIMÉNEZ et al., 2011).

Ainda em relação à atividade antimicrobiana, por outro lado, as algas marinhas são fonte importante de antibióticos com ampla e eficiente atividade antibacteriana, principalmente de espécies clínicas (CHRISTOBEL et al., 2011), porém observa-se que ainda existem poucos estudos sobre bactérias fitopatogênicas como *Xanthomonas campestris* e *Erwinia carotovora* (PAULERT et al., 2007).

Jiménez et al. (2011) testaram extratos etanólicos e aquosos de diferentes espécies de algas pardas, vermelhas e verdes coletadas na costa chilena. Em testes *in vitro*, a faeófito *Lessonia trabeculata* apresentou efeito inibitório contra as bactérias *Erwinia carotovora* e *Pseudomonas syringae*. Outra alga parda, *Macrocystis intergrifolia*, também apresentou atividade inibitória frente *P. syringae*.

Além das atividades antifúngica e antibacteriana descritas anteriormente, alguns extratos de macroalgas apresentam atividade antiviral. Diferentes extratos da alga parda *Durvillea antarctica* apresentaram capacidade de diminuir o dano causado pelo vírus do mosaico do tabaco (TMV) em folhas de tabaco (JIMÉNEZ et al., 2011). Da mesma forma, o extrato da rodófito *Tichocarpus crinitus* apresentou atividade contra o vírus TMV, reduzindo o número de lesões aparentes (NAGORSKAYA et al., 2008). Lapshina et al. (2006) observaram que o polissacarídeo fucoidana (extraído de *Fucus evanescens*) reduziu mais de 90% das lesões causadas pelo vírus TMV nas folhas de fumo.

2.1 INDUÇÃO DA RESISTÊNCIA A PATÓGENOS EM PLANTAS POR MOLÉCULAS DERIVADAS DE MACROALGAS MARINHAS

O manejo ecológico de doenças pode ser definido como produção econômica de culturas de alta qualidade, utilizando métodos de cultivo ecologicamente seguros e utilizando métodos de manejo que garantam a saúde dos seres vivos e a preservação do ambiente. Portanto, a adoção do manejo ecológico não é uma alternativa, mas uma necessidade para a conservação do meio ambiente e a própria sobrevivência da humanidade (STADNIK; PAULERT, 2008).

A indução de resistência é um fenômeno muito comum na natureza, onde alguns tipos de estresse ou uma pré-infecção com um patógeno tornam as plantas mais resistentes a infecções subsequentes por outros patógenos. É uma estratégia eficiente e alternativa para a proteção de plantas e mostra-se menos agressiva à saúde humana e ao equilíbrio de agroecossistemas (JONES; DANGL, 2006).

O reconhecimento de microrganismos invasores também pode resultar no aumento da resistência em partes não afetadas da planta, um processo conhecido por resistência sistêmica adquirida, conferindo longo período de resistência a diferentes patógenos, em locais não diretamente tratados (JONES; DANGL, 2006; STICHER; MAUCH-MANI; METRAUX, 1997). As plantas detectam o ataque de microrganismos ou de elementos estranhos através de componentes de superfície do invasor (KLARZYNSKI et al., 2003).

Inseridos a este contexto, o uso de indutores de resistência ou os chamados elicitores pode constituir uma alternativa viável de controle. Segundo Caetano (2011), os elicitores são substâncias que imitam o ataque de patógenos e, portanto, ferramentas muito úteis para o manejo de doenças em plantas, pois possuem baixa ou nenhuma toxicidade e também não deixam resíduos tóxicos nos produtos comercializados, além de serem de custo atrativo ao produtor (SILVA et al., 2011). Portanto, eliciadores são moléculas capazes de acionar as respostas de defesa de plantas contra patógenos e podem ser ferramentas alternativas no controle de doenças de plantas (JONES; DANGL, 2006).

Os elicitores podem ser microrganismos viáveis ou inativados (STADNIK; MARASCHIN, 2004; STANGARLIN et al., 1999) e também compreendem moléculas

como glicoproteínas, peptídeos, carboidratos e lipídeos (CLUZET et al., 2004). Algas marinhas representam uma abundante e natural fonte de potenciais eliciadores (CLUZET et al., 2004; KLARZYNSKI et al., 2000, 2003), além de apresentarem atividade direta contra fungos e bactérias, conforme descrito anteriormente. Diversas plantas tratadas com extratos de algas tornam-se resistentes a doenças (CLUZET et al., 2004; KLARZYNSKI et al., 2003; PAULERT et al., 2010).

Uma das maiores classes de elicitores em plantas consiste em oligossacarídeos como as b-glucanas que podem ser liberados de fungos durante a interação com a planta hospedeira. Estes compostos não são restritos a microrganismos, uma vez que também são produzidos por organismos marinhos proporcionando assim uma fonte barata de moléculas biologicamente ativas que podem ser potencialmente usadas como protetores de plantas (JAULNEAU et al., 2010).

Um polímero linear de b-1,3-glucana, chamado de laminarana, foi extraído e purificado da alga marrom *Laminaria digitata* (KLARZYNSKI et al., 2000). Em uma suspensão de cultura de células de tabaco, a concentração de 200 mg/mL de laminarana, em poucos minutos, alcalinizou o meio extracelular e aumentou a concentração de peróxido de hidrogênio. Em poucas horas, estimulou a atividade de enzimas, como a fenilalanina amônia liase, lipoxigenase e propiciou o acúmulo de ácido salicílico, sem causar danos às células da cultura. Por outro lado, quando esta concentração foi infiltrada em folhas de tabaco, após 48 horas a laminarana ativou a produção de quatro famílias de PR-proteínas e após cinco dias do tratamento reduziu a infecção por *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, quando comparada com folhas tratadas apenas com água (KLARZYNSKI et al., 2000).

O extrato de *L. digitata* é registrado e comercializado pela empresa Göemar com o nome de Iodus 40^o (40g de laminarana por litro) para induzir resistência contra doenças em trigo, tais como fusariose (*Fusarium* spp.), oídio (*Blumeria* spp.) e septoriose (*Septoria* spp.). Esse produto não é fitotóxico e os custos energéticos para a planta, devido à indução de resistência, são baixos ou inexistentes (STADNIK; TALAMINI, 2004).

Extratos da alga marrom *Ascophyllum nodosum* são eficientes para controlar oomycetes. Em videira, pulverizações foliares com extratos desta alga reduziram o número de folhas infectadas, área foliar lesionada e a taxa de esporulação

de *Plasmopora viticola*, em 28, 40 e 50%, respectivamente (AZIZ et al., 2003). Estudos bioquímicos com plantas de pimentão tratadas com extrato de *A. nodosum* revelaram aumento da atividade de peroxidase e síntese de fitoalexina capsidiol, conseqüentemente, aumentando a resistência das plantas a *Phytophthora capsici* (LIZZI et al., 1998).

Nos testes realizados *in vivo*, a alga *Lessonia trabeculata* reduziu tanto o número quanto o tamanho das lesões necróticas em folhas de tomate após infecção com *Botrytis cinerea*, agente causador da podridão cinzenta (JIMÉNEZ et al., 2011).

As macroalgas pertencentes ao gênero *Ulva* (Figura 2a) pertencem à divisão Chlorophyta e apresentam ampla distribuição em todo o mundo proliferando-se geralmente em águas costeiras eutrofizadas. Possuem um polissacarídeo solúvel em água denominado de ulvana (Figura 2b), podendo ser extraído da parede celular e representa de 8-29% do peso seco da alga (LAHAYE; ROBIC, 2007). Os principais componentes da ulvana são resíduos sulfatados de ramnose ligados a ácidos urônicos (LAHAYE; ROBIC, 2007).

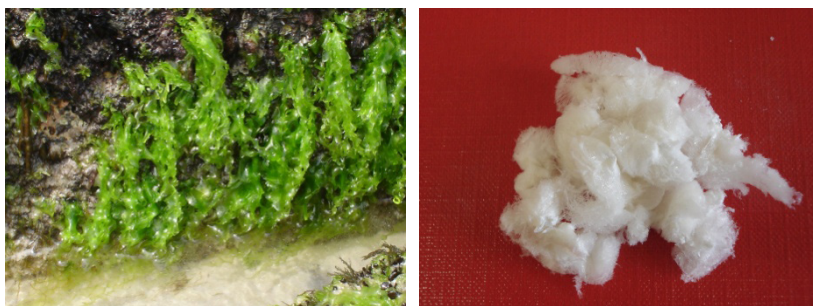


Figura 2. (a) Macroalga marinha *Ulva fasciata* e (b) polissacarídeo ulvana purificado.

De acordo com o trabalho pioneiro de Cluzet et al. (2004), a ulvana mostrou ativar mecanismos de defesa de alfafa (*Medicago truncatula*) e o prévio tratamento das plantas protegeu-as de infecção pelo fitopatógeno causador da antracnose, *Colletotrichum trifolii*.

Borsato, Di Piero e Stadnik (2010) avaliaram o potencial do polissacarídeo ulvana em induzir resistência à ferrugem causada pelo fungo *Uromyces appendiculatus* em três diferentes cultivares de feijão carioca, apresentando níveis

de resistência diversos. A pulverização do polissacarídeo ulvana não afetou o número de pústulas/cm² da ferrugem, mas promoveu uma redução média de 23,8% no diâmetro das mesmas em plantas de feijão.

Observou-se uma redução de 65% na severidade da doença conhecida como mancha foliar da gala, causada pelo fungo fitopatogênico *Coleotrichum gloeosporioides* em macieira, quando a planta foi tratada com extrato da alga *Ulva* sp. (ARAÚJO et al., 2008). Da mesma forma, Paulert et al. (2009) verificaram a redução dos sintomas da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*) em 38%. O polissacarídeo ulvana foi responsável pela indução de resistência também em plantas de trigo e cevada, reduzindo os sintomas do oídio (*Blumeria graminis*) em 45 e 80%, respectivamente.

Diversos trabalhos mostram a proteção de plantas através da indução de resistência quando tratadas preventivamente com o polissacarídeo ulvana extraído de diferentes espécies de *Ulva*. No entanto, os mecanismos pelos quais o polissacarídeo interfere com o sistema vegetal ainda não estão elucidados (LAHYAE; ROBIC, 2007).

Além da macroalga verde *Ulva* sp., outros gêneros de algas são descritos por induzir importantes respostas de defesa contra patógenos. Trouvelot et al. (2008) testaram o extrato da alga parda *Laminaria digitata* sulfatado quimicamente, em relação à sua habilidade de indução de resistência frente ao fungo *Plasmopara viticola*, causador de míldio na uva (*Vitis vinifera* L.). O composto desencadeou uma resistência a este microrganismo associada à produção de H₂O₂, deposição de compostos fenólicos, morte celular localizada. Esta defesa induzida pelo composto sulfatado demonstrou-se similar à que ocorre em híbridos de uva naturalmente tolerantes à inoculação de *P. viticola*.

As algas vermelhas também são descritas por possuir compostos indutores de resistência em plantas e dentre as macroalgas, *Hypnea musciformis*, que é a fonte do polissacarídeo carragenana, é uma das espécies mais estudadas (MERCIER et al., 2001).

A l-carragenana, um polissacarídeo sulfatado encontrado na parede celular de algas marinhas vermelhas, é um composto elicitor que induz o acúmulo de ácido salicílico e de outros compostos em folhas tratadas de *Nicotiana tabacum*, aumentando a expressão de genes relacionados às defesas contra patógenos (MERCIER et al., 2001).

3 PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO VEGETAL

Nos últimos anos tem sido observado crescente interesse em substâncias bioestimulantes naturais com uso na agricultura. As algas constituem um grupo que tem mostrado efeitos favoráveis sobre culturas no campo (MATYSIAK; KACZMAREK; KRAWCZYK, 2011).

As algas constituem os organismos vivos essenciais utilizados em escala comercial e seus extratos são comumente comercializados como fertilizante líquido e bioestimulantes (KHAN et al., 2009). Têm sido verificados efeitos positivos destes fertilizantes sobre o crescimento, desenvolvimento e, conseqüentemente, observa-se aumento nos rendimentos das colheitas de campo. O vasto grupo de macroalgas representa uma fonte de muitas substâncias valiosas a partir do ponto de vista da fisiologia da planta, que particularmente auxiliam as plantas a se adaptarem às condições de estresse (MATYSIAK; KACZMAREK; KRAWCZYK, 2011).

O produto Phylum[®], registrado como bioestimulante natural, possui em sua formulação extrato de *Ascophyllum nodosum* e é comercializado no Chile para estimular processos fisiológicos de plantas (STADNIK; TALAMINI, 2004).

Muitos produtos comerciais à base de extratos de macroalgas marinhas podem ser encontrados disponíveis no mercado agrícola. O Quadro 1 descreve alguns desses produtos, que possuem aplicação como estimulante do crescimento, biofertilizante e bioestimulante vegetal.

Quadro 1. Existem diversos produtos comerciais à base de macroalgas de aplicação na agricultura como biofertilizantes e bioestimulantes.

(continua)

Nome do Produto	Macroalga	Empresa
Acadian	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Agritech
Agri-Gro Ultra	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Agri Gro Marketing Inc.
AgroKelp	<i>Macrocystis pyrifera</i>	Algas y Bioderivados Marinos, S.A. de C.V.
Alg-A-Mic	<i>Ascophyllum nodosum</i>	BioBizz Worldwide N.V.
Bio-Genesis™ High Tide™	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Green Air Products, Inc.

(conclusão)

Biovita	<i>Ascophyllum nodosum</i>	PI Industries Ltd
Espoma	<i>Ascophyllum nodosum</i>	The Espoma Company
Garantee®	<i>Ascophyllum nodosum</i>	MaineStream Organics
Kelp Meal	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Seaplants Ltd
Kelpak	<i>Ecklonia máxima</i>	BASF
Kelpro	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Tecniprosesos Biologicos, S.A. de C.V.
Kelprosoil	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Productos del Pacifico, S.A. de C.V.
Maxicrop	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Maxicrop USA, Inc.
Nitrozime	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Hydrodynamics International Inc.
Profert®	<i>Durvillea antártica</i>	BASF
Sea Winner	Não especificada	China Ocean University Product Development Co., Ltd
Seanure	Não especificada	Farmura Ltd.
Seasol®	<i>Durvillea potatprum</i>	Seasol International Pty Ltd
Soluble Seaweed Extract	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Technaflora Plant Products, LTD
Stimplex®	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Agritech
Synergy	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Green Air Products, Inc.
Tasco®	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Acadian Agritech

Fonte: Khan et al. (2009).

Dall Igna e Marchioro (2010) testaram o efeito do extrato da alga parda *Ascophyllum nodosum* sobre o número de espigas e rendimento de grãos na cultura de trigo. Sobre estes padrões, a aplicação *in vivo* do extrato sobre as sementes e folhas apresentou resultados significativamente superiores ao tratamento testemunha.

Os extratos de algas marinhas contêm diversos reguladores de crescimento, tais como citocininas, auxinas, giberelinas, betaínas (DURAND; BRIAND; MEYER, 2003), macronutrientes, tais como Ca, K, P, e micronutrientes tais como Fe, Cu, Zn, B, Mn, Co, Mo (KHAN et al., 2009), necessários para o desenvolvimento e crescimento de plantas.

Atualmente, a utilização de extratos de algas vem ganhando popularidade devido ao seu potencial uso em agricultura orgânica e sustentável (AZIZ et al., 2003)

como um meio para evitar a excessiva aplicação de fertilizantes e para melhorar a absorção de minerais. Ao contrário dos fertilizantes químicos, extratos derivados de algas são biodegradáveis, não-tóxicos, não-poluentes e não perigosos para os seres humanos e animais (RATHORE et al., 2009).

Algas e extratos de algas marinhas também melhoram a saúde do solo, melhorando a capacidade de retenção de umidade e através da promoção do crescimento de microrganismos benéficos do solo (KHAN et al., 2009; KUMAR; SAHOO, 2011).

Na cultura da soja, o efeito do extrato aquoso da alga vermelha *Kappaphycus alvarezii* foi testado sobre crescimento, rendimento e assimilação de nutrientes. As aplicações foliares (30 e 60 dias após a germinação) do extrato, em concentrações variando de 2,5 a 15%, melhoraram significativamente o rendimento da cultura. O maior rendimento de grãos foi observado com aplicações de extrato de algas marinhas a 15%, seguido por 12,5% de extrato, o que resultou em 57% e 46% de aumento respectivamente, em comparação com o controle (plantas tratadas somente com água) (RATHORE et al., 2009).

Sobre a cultura do trigo, a aplicação de extrato a 20% da alga *Sargassum wightii* melhorou o comprimento da raiz, o número de raízes laterais, o comprimento dos brotos e número de ramos (KUMAR; SAHOO, 2011).

Extratos de algas quando absorvidos pelas sementes, adicionados ao solo ou pulverizados nas culturas em estágios vegetativos e floração, podem estimular a germinação das sementes (HONG; HIEN; SON, 2007), o crescimento e o rendimento (KHAN et al., 2009) de várias culturas. Plantas tratadas com extratos de algas marinhas apresentaram um aumento na captação de nutrientes (MANCUSO et al., 2006) e um profundo desenvolvimento radicular, melhorando a formação de raízes laterais e aumento do volume total do sistema radicular (KUMAR; SAHOO, 2011).

Alguns trabalhos estudam o efeito de extratos de algas aliados a outras substâncias (aminoácidos, minerais) como aditivos, a fim de avaliar seu efeito sobre o crescimento de algumas culturas. Mórgor et al. (2008) aliaram extrato da alga *Ascophyllum nodosum* ao cálcio e ao ácido L-glutâmico, e observaram que as soluções contendo extrato de alga e ácido L-glutâmico promoveram o maior crescimento inicial das plantas de feijão. Além disso, a solução contendo extrato de

alga e cálcio, e a solução contendo ácido L-glutâmico associado ao extrato de alga e cálcio, apresentaram efeito bioestimulante e promoveram a maior produção de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

Matysiak, Kaczmarek e Krawczyk (2011) avaliando os extratos das algas pardas *Ecklonia maxima*, *Saragassum* sp. e ácidos húmico e fúlvico sobre a germinação e o crescimento da cultura do milho (*Zea mays* L.), quando as sementes foram embebidas na solução do extrato, descobriram que estas substâncias melhoraram a capacidade de germinação de sementes. As plantas pulverizadas duas vezes com as substâncias testadas apresentaram os maiores brotos e raízes. As plantas obtidas a partir de sementes embebidas em soluções de extratos das algas foram caracterizadas por um maior peso da parte aérea e raízes em comparação com os ácidos húmico e fúlvico.

O efeito benéfico da aplicação de extrato de algas marinhas é um resultado de muitos componentes que podem funcionar sinergicamente em concentrações diferentes, embora o modo de ação ainda permaneça desconhecido (PAULERT et al., 2010; RATHORE et al., 2009).

Quando testados extratos de acetona de *Ulva lactuca* L. em baixas concentrações (30 ppm) aplicados às sementes tiveram efeitos significativos, aumentando a germinação e crescimento tanto de tomate quanto de alface (HASSAN; GHAREIB, 2009).

A utilização de algas marinhas para adubação de solos é mais frequente nas áreas costeiras devido aos custos envolvidos na coleta, secagem e transporte (GESTINARI; HENRIQUES; YONESHIGUE-VALENTIN, 2002). Existem registros de utilização dos gêneros *Ulva* e *Enteromorpha* como adubo, por agricultores da região de Rio Grande (RS), sendo esta uma atividade de pequeno porte (OLIVEIRA FILHO, 1981). Gestinari, Henriques e Yoneshigue-Valentin (2002) compararam a eficiência da farinha seca de *Ulva* spp. e *Sargassum* spp. como adubo orgânico para hortaliças. Os melhores resultados foram obtidos com a utilização de *Ulva* spp. e, especialmente, no cultivo de *Petroselinum crispum* (salsa). No Peru, *Ulva* sp. vem sendo também empregada em processos de compostagem e os compostos produzidos, que possuem baixos teores de nitrogênio e altos teores dos micronutrientes ferro e manganês, são usados na agricultura (WOSNITZA; BARRANTES, 2005).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As macroalgas marinhas apresentam vantagens como o rápido crescimento e produção de grande volume de biomassa. Apesar de limitada, a exploração comercial de macroalgas verdes, marrons ou vermelhas presentes na extensa costa brasileira pode fornecer subsídios para uma agricultura orgânica, auxiliando na produção de áreas cultiváveis livres da contaminação com pesticidas, valorizando a utilização biotecnológica da biomassa marinha na geração de produtos alternativos para a agricultura.

REFERÊNCIAS

ABOURRICHE, A. et al. Antimicrobial activities and cytotoxicity of the brown alga *Cystoseira tamariscifolia*. **Fitoterapia**, v. 70, p. 611-614, 1999.

ARAÚJO, L. et al. Fosfito de potássio e ulvana no controle da mancha foliar da gala em macieira. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p.148-152, 2008.

AZIZ, A. et al. Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*. **Molecular Plant Microbe Interaction**, v. 16, n. 12, p. 1118-1128, 2003.

BHAGAVATHY, S.; SUMATHI, P.; JANCY SHERENE BELL, I. Green algae *Chlorococcum humicola* - a new source of bioactive compounds with antimicrobial activity. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 1, n. 7, 2011.

BHOSALE, S. H.; JAGTAP, T. G.; NAIK, C. G. Antifungal activity of some marine organisms from India, against food spoilage *Aspergillus* strains. **Mycopathologia**, v. 147, p. 133-138, 1999.

BORSATO, L. C.; DI PIERO, R. M.; STADNIK, M. J. Mecanismos de defesa eliciados por ulvana contra *Uromyces appendiculatus* em três cultivares de feijoeiro. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 5, p. 318-322, 2010.

CAETANO, M. L. Vacinas, Agora para as plantas. Campo e Negócios HF. **Agro Comunicação**, v. 74, n. 7, p. 46-52, 2011.

CHRISTOBEL, G. J. et al. Antibacterial activity of aqueous extract from selected macroalgae of southwest coast of India. **Seaweed Res. Util.**, v. 33, n. 1-2, p. 67-75, 2011.

CLUZET, S. et al. Gene expression profiling and protection of *Medicago truncatula* against a fungal infection in response to an elicitor from green algae *Ulva* spp. **Plant Cell and Environment**, v. 27, p. 917-928, 2004.

COURTOIS, J. Oligosaccharides from land plants and algae: production and applications in therapeutics and biotechnology. **Current Opinion in Microbiology**, v. 12, p. 261-273, 2009.

DALL IGNA, R.; MARCHIORO, V. S. Manejo de *Ascophyllum nodosum* na cultura do trigo. **Cultivando o Saber**, v. 3, n. 1, p. 64-71, 2010.

DURAND, N.; BRIAND, X.; MEYER, C. The effect of marine bioactive substances (NPRO) and exogenous cytokinins on nitrate reductase activity in *Arabidopsis thaliana*. **Physiologia Plantarum**, v. 119, p. 489-493, 2003.

EDRADA, R. A. et al. Swinhoeiamide A, a new highly active calyculin derivatives from the marine sponge *Theonella swinhoei*. **Journal of Natural Products**, v. 65, p. 1168-1172, 2002.

GESTINARI, L. M. S.; HENRIQUES, A. B.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y. Utilização da farinha seca de *Ulva* spp. e *Sargassum* spp. como bioestimulantes de crescimento na olericultura. **Leandra**, v. 17, p. 45-70, 2002.

HASSAN, S. M.; GHAREIB, H. R. Bioactivity of *Ulva lactuca* L. acetone extract on germination and growth of lettuce and tomato plants. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 16, p. 3832-3838, 2009.

HOLDT, S. L.; KRAAN, S. Bioactive compounds in seaweed functional food applications and legislation. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 543-597,

2011.

HONG, D. D.; HIEN, H. M.; SON, P. N. Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. **Journal of Applied Phycology**, v. 19; p. 817-826, 2007.

JAULNEAU, V. et al. Ulvan, a Sulfated Polysaccharide from Green Algae, Activates Plant Immunity through the Jasmonic Acid Signaling Pathway. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 131, n. 3, p. 393-401, 2010.

JIMÉNEZ, E. et al. Anti-phytopathogenic activities of macro-algae extracts. **Marine Drugs**, v. 9, p. 739-756, 2011.

JONES, J. D. G.; DANGL, J. The plant immune system. **Nature**, v. 444, p. 323-329, 2006.

KHAN, W. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Plant Growth Regulation**, v. 28, p. 386-399, 2009.

KLARZYNSKI, O. et al. Sulfated fucan oligosaccharides elicit defense responses in tobacco and local and systemic resistance against tobacco mosaic virus. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 16, n. 2, p. 115-122, 2003.

KLARZYNSKI, O. et al. Linear β -1,3 glucans are elicitors of defense responses in tobacco. **Plant Physiology**, v. 124, p. 1027-1037, 2000.

KUMAR, G.; SAHOO, D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 251-255, 2011.

LAHAYE, M.; ROBIC, A. Structure and function properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. **Biomacromolecules**, v. 8, n. 6, p. 1765-1774, 2007.

LAPSHINA, L. A. et al. Inhibitory effect of fucoidan from brown alga *Fucus evanescens* on the spread of infection induced by tobacco mosaic virus in tobacco leaves of two cultivars. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 53, n. 2, p. 246-251, 2006.

LIZZI, Y. et al. L'algue face au Mildiou quel avenir? **Phytoma**, v. 508, p. 29-30, 1998.

MANCUSO, S. et al. Actin turnover-mediated gravity response in maize root apices: gravitropism of decapped roots implicates gravisensing outside of the root cap. **Plant Signaling and Behavior**, v. 1, p. 52-58, 2006.

MATYSIAK, K.; KACZMAREK, S.; KRAWCZYK, R. Influence of seaweed extracts and mixture of humic and fulvic acids on germination and growth of *Zea mays* L. **Acta Scientiarum Polonorum**, v. 10, n. 1, p. 33-45, 2011.

MAYER, A. M. S.; HAMANN, M. T. Marine pharmacology in 2001-2002. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part C, v. 140, p. 265-286, 2005.

MERCIER, L. et al. The algal polysaccharide carrageenans can act as an elicitor of plant defense. **New Phytologist**, v. 149, p. 43-51, 2001.

MÓRGOR, A. F. et al. Foliar spraying of kelp extract, L-glutamic acid and calcium on common beans. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 431-437, 2008.

NAGORSKAYA, V. P. et al. Influence of κ/β -carrageenan from red alga *Tichocarpus crinitus* on development of local infection induced by tobacco mosaic virus in Xanthi-nc tobacco leaves. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 54, n. 1, p. 111-114, 2008.

OLIVEIRA FILHO, E. C. A Exploração de algas marinhas no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. **Phycologia Latino Americana**, v. 1, p.5-18, 1981.

PAULERT, R. et al. Priming of the oxidative burst in rice and wheat cell cultures by ulvan, a polysaccharide from green macroalgae, and enhanced resistance against powdery mildew in wheat and barley plants. **Plant Pathology**, v. 59, p. 634-642, 2010.

PAULERT, R. et al. Effects of sulfated polysaccharide and alcoholic extracts from green seaweed *Ulva fasciata* on anthracnose severity and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 116, n. 6, p. 263-270, 2009.

PAULERT, R. et al. Antimicrobial properties of extracts from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile against pathogenic bacteria and fungi. **Algological Studies**, v. 123, p. 123-130, 2007.

PENGZHAN, Y. et al. Polysaccharides from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and preliminary studies on their antihyperlipidemia activity. **Journal of Applied Phycology**, v. 15, p. 21-27, 2003.

RATHORE, S. S. et al. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, p. 351-355, 2009.

REKANOVIĆ, E. et al. Efficacy of Seaweed Concentrate from *Ecklonia maxima* (Osbeck) and Conventional Fungicides in the Control of *Verticillium* Wilt of Pepper. **Pestic. Phytomed**, v. 25, n. 4, p. 319-324, 2010.

SILVA, J. C. O. et al. Indução de resistência a fitopatógenos em plantas cultivadas: o uso de eliciadores na agricultura. In: IV Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG - Campus Bambuí. IV Jornada Científica. 2011.

SMIT, A. J. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: a review. **Journal of Applied Phycology**, v. 16, p. 245-262, 2004.

STADNIK, M. J.; PAULERT, R. Uso de macroalgas marinhas na agricultura. **Museu Nacional do Rio de Janeiro**, v. 30, p. 267-279, 2008.

STADNIK, M. J.; MARASCHIN, M. Indução de resistência de plantas a fitopatógenos. In: Stadnik, M. J.; Talamini, V. (Ed.). **Manejo ecológico de doenças de plantas**. Florianópolis, p. 221-244, 2004.

STADNIK, M. J.; TALAMINI, V. Extratos vegetais e de algas no controle de doenças de plantas. In: Stadnik, M. J.; Talamini, V. (Ed.). **Manejo ecológico de doenças de plantas**. Florianópolis, p. 55-57, 2004.

STANGARLIN, J. R. et al. Plantas medicinais e controle alternativo de fitopatógenos. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 11, p. 16-21, 1999.

STICHER, L.; MAUCH-MANI, B.; METRAUX, J. P. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 35, p. 235–70, 1997.

TROUVELOT, S. et al. A β -1,3 Glucan Sulfate Induces Resistance in Grapevine against *Plasmopara viticola* Through Priming of Defense Responses, Including HR-like Cell Death. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 21, n. 2, p. 232-243, 2008.

VERA, J. et al. Seaweed polysaccharides and derived oligosaccharides stimulate defense responses and protection against pathogens in plants. **Marine Drugs**, v. 9, n. 12, p. 2514-2525, 2011.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica. **Química Nova**, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2004.

ZEMKE-WHITE, W. L.; OHNO, M. World seaweed utilization: An end-of-century summary. **Journal of Applied Phycology**, v. 11, p. 369–376, 1999.

WOSNITZA, T. M. A.; BARRANTES, J. G. Utilization of seaweed *Ulva* sp. **Journal of Applied Phycology**, v. 18, p. 27-31, 2003.

Recebido em: 05 de maio de 2013
Aceito em: 04 de dezembro de 2013