

érie
Produtor Rural

nº71

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas

Paulo Roberto de Camargo e Castro
Gabriela Romêro Campos
Marcia Eugenia Amaral Carvalho

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Divisão de Biblioteca

ISSN 1414-4530

Paulo Roberto de Camargo e Castro¹
Gabriela Romêro Campos²
Marcia Eugenia Amaral Carvalho³

¹ Professor Titular - Departamento de Ciências Biológicas -
ESALQ/USP - prcastro@usp.br

² Graduanda em Engenharia Agrônômica - ESALQ/USP -
campos.gab@usp.br

³ Bióloga, Mestre e Doutora pela ESALQ/USP -
marcia198807@hotmail.com

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas

DOI: 10.11606/9786562061079

Série Produtor Rural - nº 71

Piracicaba

2019

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor - Prof. Dr. Vahan Agopyan

Vice-reitora - Prof. Dr. Antonio Carlos Hernandez

**Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”** Diretor - Prof. Dr. Durval Dourado Neto
Vice-diretor - Prof. Dr. João Roberto Spotti Lopes

Revisão e Edição

Fotos

Legenda Foto da Capa

Editoração Eletrônica

Impressão e Acabamento

Eliana Maria Garcia

Gabriela Romêro Campos

“A direita Micro-Tom Gus e a
esquerda mutante Cristo para
antocianina”

Maria Clarete Sarkis Hyppolito

Serviço de Produções Gráficas
- ESALQ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Castro, Paulo Roberto de Camargo e

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas [recurso eletrônico] / Paulo Roberto de
Camargo e Castro, Gabriela Romêro Campos e Marcia Eugenia Amaral Carvalho. - -
Piracicaba : ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2019.

74 p : il. (Série Produtor Rural, nº 71)

ISSN: 1414-4530

ISBN: 978-65-6206-107-9

DOI: 10.11606/9786562061079

1. Estimulantes de crescimento vegetal 2. Plantas cultivadas 3. Reguladores de
crescimento vegetal I. Campos, G. R. II. Carvalho, M. E. A. III. Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”. Divisão de Biblioteca IV. Título V. Série

CDD 631.54

Índice para o catálogo sistemático:

1. Plantas cultivadas : Crescimento vegetal : Bioestimulantes: Biorreguladores CDD 631.54

Maria Angela de Toledo Leme - CRB-

8/3359



Esta obra é de acesso aberto.

É permitida a reprodução

parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a
autoria e respeitando a Licença Creative Commons

1.8 Etileno

1.9 Novos hormônios 1.9.1

Brassinosteroides 1.9.2 Ácido

salicílico 1.9.3 Jasmonatos

1.9.4 Poliaminas

Referências

2. BIOESTIMULANTES 2.1

Biologia molecular 2.2 Extratos
de algas

SUMÁRIO

1. BIORREGULADORES 1.1

Biologia molecular 1.2

Receptores hormonais 1.3

Auxinas

1.4 Giberelinas

1.5 Citocininas

1.6 Retardadores

1.7 Inibidores

5	2.2.2 Produtividade
8	2.2.3 Qualidade de frutos e hortaliças Referências
9	2.3. Ácidos húmicos e fúlvicos
9	29 29 29 31 33 35 39 41 43
12	2.3.1 Substâncias húmicas como condicionadores de solo 2.3.2
14	Benefícios das substâncias húmicas
15	2.3.2.1 Aliviação de estresses
16	2.3.2.2 Desenvolvimento do sistema radicular 2.3.2.3 Síntese de enzimas
17	2.3.2.4 Germinação de sementes
18	Referências
18	2.4 Aminoácidos
19	2.4.1 Aminoácidos nas plantas
20	2.4.2 Aminoácidos no florescimento
21	2.4.3. Produtividade
22	Referências
25	45 47 50 51 56 56 57 59 59
25	66 69
26	73
2.2.1 Extratos de algas em plantas cultivadas 2.2.1.1	
Desenvolvimento vegetal	
2.2.1.2 Germinação	
2.2.1.3 Plântulas	
2.2.1.4 Propagação assexuada	

1 BIORREGULADORES

Biorregulador é um composto orgânico, não nutriente, aplicado na planta, que a baixas concentrações, promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Pertence ao grupo das auxinas, giberelinas, citocininas, retardadores, inibidores e etileno. Além desses grupos clássicos, têm-se aventado os grupos dos brassinosteroides, jasmonatos, salicilatos e poliaminas, com efeitos similares aos dos biorreguladores.

No que se refere às aplicações agrícolas dos biorreguladores, deve-se considerar que algumas plantas cultivadas já atingiram no Brasil estágios de evolução que exigem elevado nível técnico para

alcançar melhor produtividade. Essas culturas já não se apresentam condicionadas por limitações de ordem nutricional e hídrica, além de serem protegidas adequadamente com defensivos. Nessas condições, a economicidade da utilização de tecnologia avançada tem levado ao emprego dos biorreguladores, que podem frequentemente mostrar-se altamente compensadores.

As auxinas atuam na síntese de RNA mensageiro, induzindo a formação de enzimas que causariam a ruptura das ligações entre as microfibrilas de celulose. As novas enzimas formadas agem sobre polissacarídeos ou glicopeptídeos constituintes das ligações entre as microfibrilas de celulose da parede celular. O rompimento das ligações entre as microfibrilas promoveria o aumento da plasticidade e uma deformação irreversível da parede celular. Ocorreria ainda uma diminuição no potencial osmótico no interior do vacúolo que promoveria um influxo de água e o aumento das dimensões celulares. Considera-se que, para o biorregulador agir, ele deve primeiramente se ligar a um receptor na membrana plasmática da célula. A interação entre o biorregulador e o

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 5

receptor promove a ativação de um transdutor (proteína G), assim denominado por requerer GTP (trifosfato de guanosina) que se transforma em GDP (difosfato de guanosina). Este sistema leva à ativação de fosfolipase C, uma enzima que cataliza a hidrólise de 4,5-bifosfato de fosfatidilinositol a 1,4,5-trifosfato de inositol e diacilglicerol, mensageiros secundários. O trifosfato de inositol liberado da membrana se transloca para o retículo endoplasmático, onde estimula a liberação de cálcio (Ca^{2+}) armazenado. O aumento na concentração de Ca^{2+} no citoplasma, participa da ativação da proteína quinase C e também ativa proteínas-alvo diretamente, ou por meio da mediação da calmodulina. Diacilglicerol e trifosfato de inositol podem ser utilizados para sintetizar novamente bifosfato de fosfatidilinositol. O metabolismo do trifosfato de inositol, durante esse processo, pode ser inibido por lítio. Fatores que participam da

regulação dos níveis de Ca^{2+} no citoplasma incluem: (a) o influxo de Ca^{2+} , pela membrana plasmática, através de canal de Ca^{2+} carregado com certa voltagem; (b) o transporte de Ca^{2+} , para o interior do retículo endoplasmático, verifica-se por uma Ca^{2+} -ATPase; (c) a secreção de Ca^{2+} da célula, através da membrana plasmática, por meio de outra Ca^{2+} -ATPase e (d) acumulação de Ca^{2+} , no vacúolo, através de um carregador antiporte, sendo que a liberação de Ca^{2+} do vacúolo, pode também contribuir para o aumento de cálcio livre no citoplasma. Estas alterações em cargas podem gerar uma assimetria através da membrana, originando um gradiente eletroquímico capaz de produzir uma força prótonmotiva. Essa levaria à secreção de prótons H^+ através da membrana, promovendo acidificação em compartimentos da parede celular. Essa acidificação promoveria ativação ou síntese de enzimas (endo-transglicosilase ou β glucam sintetase) capazes de romper e refazer ligações entre microfibrilas da parede ou provocar a quebra de polissacarídeos da parede, liberando oligossacarinas que podem estar relacionadas com um sistema regulador gênico que leva à transcrição de um novo RNAm, responsável pela síntese de novas enzimas que podem atuar na morfogênese (Figura 1).

As giberelinas agem no DNA nuclear promovendo a formação de RNA mensageiro. Logo depois ocorre a síntese de proteínas e de enzimas como a alfa-amilase, proteases, hidrolases e lipases. Sob a ação da alfa-amilase,

6 Série Produtor Rural nº 71

poderíamos ter a formação de glicose na célula a partir do amido, o que promoveria uma diminuição no potencial osmótico celular, causando um influxo de água e o consequente aumento na dimensão celular. A ação das proteases resultaria na síntese de triptofano a partir do qual ocorreria a formação do ácido indolilacético (IAA). O IAA aumentaria a plasticidade da parede celular causando um aumento na dimensão celular. Alguns pesquisadores consideram que o ácido giberélico (GA) inibe a IAA oxidase, impedindo a inativação da auxina, o que promove maior plasticidade, influxo hídrico e o consequente aumento nas dimensões celulares.

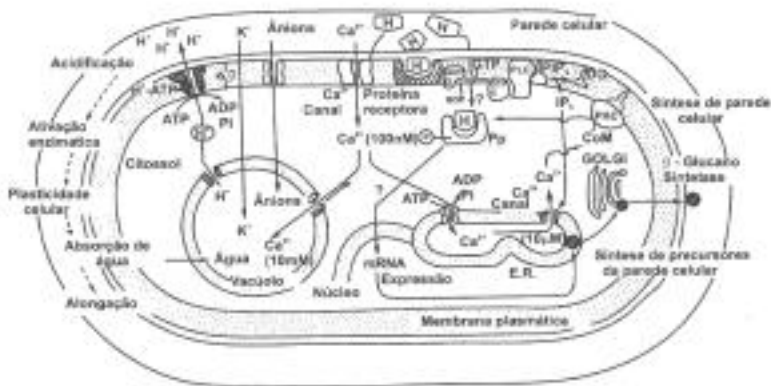


Figura 1 - Esquema dos mecanismos de ação da auxina na expansão celular, mostrando o crescimento ácido, a transdução de sinais e a atividade gênica

A citocinina isopenteniladenosina (IPA) promove a ligação do RNA transportador ao complexo ribossomo-mensageiro e influi na formação e função de diversos RNAs transportadores e na síntese de proteínas. Embora se considere que o controle do tipo de proteína produzida esteja localizado no RNA mensageiro, há evidências de que o RNA transportador exerce um controle adicional sobre o sistema. As citocininas parecem manter em alto nível a síntese de proteínas e enzimas, retardar a degradação de proteínas e de clorofila, diminuir a taxa respiratória e preservar o vigor celular.

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas ⁷

Os inibidores como o ácido abscísico, impedem o crescimento de plantas, induzem a senescência e a abscisão. Aparentemente, o ácido abscísico inibe as enzimas hidrolíticas, essenciais para o metabolismo. A hidrazida maleica é um inibidor sintético. Os retardadores de crescimento retardam a alongação de ramos, diminuindo a divisão celular no meristema sub-apical. O chlormequat (CCC) e a daminozide (SADH) podem bloquear a síntese de promotores de crescimento.

O etileno parece induzir a produção de proteínas específicas em diversos tecidos. No processo de maturação sabe-se que a S-adenosil metionina (derivado da metionina) é transformada em ácido 1-carboxílico-1-amino ciclopropano, capaz de produzir etileno.

1.1 Biologia molecular

O biorregulador tiametoxam (TMX) foi analisado sob o aspecto da biologia molecular, no sentido de se esclarecer as alterações gênicas na planta-teste *Arabidopsis thaliana* comparativamente a um controle dessa espécie vegetal. Estudo genético do TMX aplicado na *A. thaliana*, realizado na Universidade Livre de Berlim por Schmülling & Krupkova, mostrou que a molécula tem capacidade de reprimir e expressar genes de maneira a ativar genes que foram verificados primeiramente com macroarranjos comparados com a planta-teste controle. Foram representadas as classes gênicas reguladoras positivas na transcrição, diferenciação, desenvolvimento e outros parâmetros. Também se verificou categorização funcional para os processos biológicos e por anotação para a função molecular e para o componente molecular. Foi procedida a categorização estatística dos genes regulados pelo TMX. Em função dos resultados, observou-se a ação gênica para os diferentes processos do metabolismo vegetal, quando se verificou a regulação de genes relacionados com tolerância aos estresses. Finalmente, observou-se que 3 horas após a aplicação de TMX teve-se uma síntese de ácido abscísico (ABA), hormônio que em equilíbrio positivo com auxina (IAA) pode incrementar o crescimento radicular sob condições de déficit hídrico, sendo que após 30 minutos até 3 horas ocorreu significativa

8 Série Produtor Rural nº 71

produção de metil-jasmonato, capaz de induzir síntese proteica e promover regulação da expressão gênica.

1.2 Receptores hormonais

O efeito mais eficiente dos biorreguladores sobre os bioestimulantes pode ser devido ao melhor reconhecimento das células, tecidos e órgãos vegetais aos biorreguladores (similares aos hormônios endógenos) e a presença de pontos de ligação através de receptores, menos evidentes ainda aos bioestimulantes. Na célula vegetal, esses receptores hormonais se encontram evidenciados na membrana celular (plasmática) e em membranas de organelas, além da presença no citoplasma das células. Também ocorre o reconhecimento de órgãos pelas concentrações específicas dos hormônios, como no caso do geotropismo. Nesse processo, ao se colocar uma plântula na horizontal verifica-se um

acúmulo de auxina (IAA) no caule e na raiz. No caule, essa concentração auxínica da ordem de 10^{-5}M promove maior crescimento das células basais com relação às de cima, causando um movimento do caule para cima (geotropismo negativo). Na raiz, essa concentração (10^{-5}M) é excessiva, porque ela requer concentrações da ordem de 10^{-10}M , sendo que essa concentração excessiva de auxina provoca a síntese de etileno nessas células basais, e esse etileno atua retardando o crescimento dessas células com relação às células de cima, causando uma movimentação da raiz para baixo (geotropismo positivo) segundo Cholodny Went, precursores de estudos com auxinas endógenas (Figura 2).

1.3 Auxinas

O ácido indolbutírico (IBA) tem sido amplamente utilizado no enraizamento de estacas para a propagação vegetativa de espécies vegetais. Verificou-se a eficiência de Exubérone (IBA) no enraizamento de estacas de videira muscadinia 'Dixon'.

Observaram que o tratamento lento (24h) de estacas medianas com 10 mL L^{-1} de Exubérone e de estacas basais com 20 mL L^{-1} do produto, mostraram-se eficientes (Figura 3). Notou-se que

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 9

Exubérone 10 mL L^{-1} revelou-se efetivo no enraizamento de estacas de *Rhododendron Simsii* e *Bougainvillea spectabilis*, sendo que a concentração de 20 mL L^{-1} mostrou-se mais eficiente para *Cupressus sempervirens* e *Thuya occidentalis*.

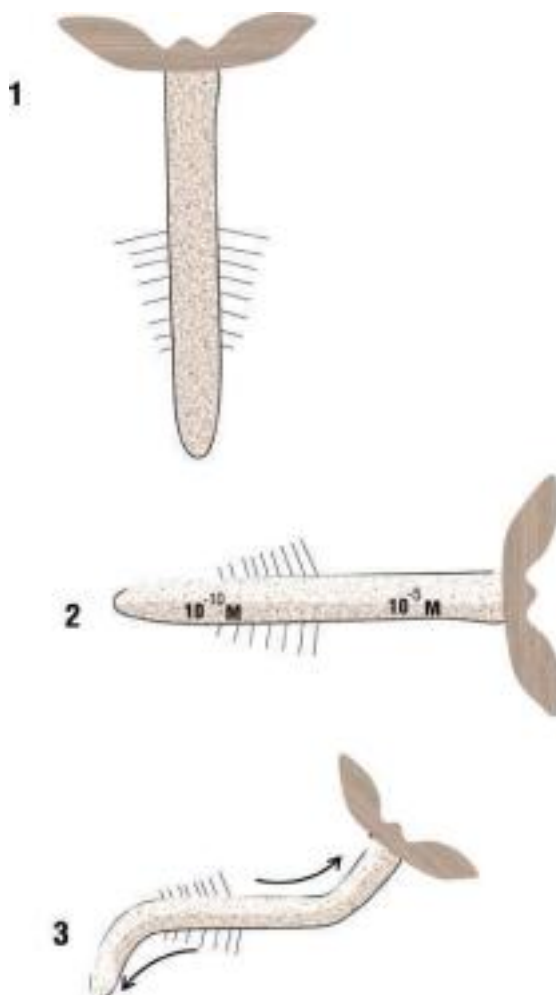


Figura 2 - Diferentes sensibilidades de raiz e caule à concentração de IAA



Figura 3 - Produção de mudas de videira muscadínia 'Dixon' a partir de tacas tratadas com auxina

Aplicação de ácido indolilacético (IAA) 10 mg L^{-1} em morangueiro 'Monte Alegre' na antese floral e repetindo-se duas vezes com intervalos de 7 dias, levou à maiores produções de morango.

Pulverização de árvores de macieira 'Rome Beauty' com ácido naftalenacético (NAA) 20 mg L^{-1} antes da queda dos frutos, evita a abscisão precoce das maçãs.

Observou-se que Tomatotone (ácido para-clorofenoxiacético) 20 mL L^{-1} , aplicado na antese floral dos três primeiros cachos, aumentou o número, o comprimento, a massa e a classificação do tomate 'Miguel Pereira'. Aplicação de Trylone (ácido 2-hidroximetil 4-clorofenoxiacético) 150 mg L^{-1} na antese floral do primeiro cacho, promoveu a produção de frutos extra A

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas **11**
e extra até a quinta colheita, antecipando significativamente a produção de frutos de melhor qualidade e permitindo o cultivo do tomateiro em menor período de tempo.

Aplicação de 3,5,6-TPA (Maxim) 15 mg L^{-1} e Fenotiol 20 mg L^{-1} ,

após a queda fisiológica dos frutos (21/11), aumentou o diâmetro dos frutos do tanger 'Murcott', assim como a massa média e o número de frutos de maior classe comercial. Pulverização de lima ácida 'Tahiti' com Fengib 1 mL L^{-1} , na antese floral, aumentou a fixação dos frutos. Sabe-se que aplicação de 2,4-D 8 mg L^{-1} também aumenta a fixação dos frutos de citros.

1.4 Giberelinas

Verificou-se que a imersão de sementes de algodoeiro 'IAC-17' em giberelina (GA) 100 mg L^{-1} por 22 horas, acelerou o processo germinativo originando plântulas mais desenvolvidas. Tratamento similar com GA 100 mg L^{-1} aumentou a germinação de sementes de braquiária, siratro, soja perene e panicum verde; sendo que esse tratamento também incrementou o crescimento das plântulas de crotalária, lablab e estilosantes.

Imersão de tubérculos-semente de batata cultivar Bintje por 10 minutos em GA 10 mg L^{-1} (Figura 4) promoveu precocidade e melhorou o estande na emergência das brotações.

Observou-se que a pulverização de porta-enxertos de macadâmia aos 120 dias após a semeadura com GA 500 mg L^{-1} , promoveu maior aumento no diâmetro do caule da planta, possibilitando enxertia precoce e produção mais rápida de mudas enxertadas.

Notou-se que plantas de algodoeiro 'IAC-RM3' tratadas com giberelina 100 mg L^{-1} foram menos atacadas pelo pulgão *Aphis gossypii*. Consideraram que o biorregulador promove redução no potencial osmótico da seiva do floema, desfavorecendo o estabelecimento dos afídios.

Pulverização da cana-de-açúcar 'CB 51-22' com GA 60 mg L^{-1} em 20/05 (início das condições inverniais) promoveu aumento no crescimento da região apical e incremento na fitomassa de colmo, sem alterar os valores de pol % cana.



Figura 4 - Plantio mecanizado de batatas-sementes 'Bintje' previamente tratadas com giberelina para melhorar o estande

Aplicação de GA 500 mg L⁻¹ em pós-florescimento na videira 'Niagara Rosada' aumentou a alongação das bagas com relação ao diâmetro. Sabe-se que a giberelina tem também incrementado o tamanho dos cachos e reduzido a compactação das bagas em uvas sem sementes (Figura 5).

Notou-se que o tratamento invernal de lima ácida 'Tahiti', com giberelina, após 50 a 60 dias sem irrigação, reduziu o número de flores formadas em 81% e aumentou a produção de frutos temporões em 60%.

Imersão por cinco minutos de frutos de tomate 'Santa Cruz' em GA 10 e 50 mg L⁻¹ atrasou a maturação dos mesmos. Imersão de frutos de lima ácida 'Tahiti' em GA 20 mg L⁻¹ manteve a coloração da casca em nível aceitável para transporte e comercialização em até 40 dias de armazenamento refrigerado.



Figura 5 - Cultura de videira sem sementes com cachos tratados com giberelina evitam do a compactação das bagas

1.5 Citocininas

Benziladenina (BA) mostrou ser eficiente na quebra da dormência de sementes de pessegueiro.

Tratamento de estacas de cacaueiro com BA 10 mg L⁻¹ retardou a clorose e necrose foliares, quando as mesmas foram acondicionadas para transporte e conservadas à temperatura ambiente.

A combinação de citocinina com auxina tem possibilitado a proliferação celular na morfogênese e organogênese de numerosas espécies vegetais em cultura de tecidos visando a micropropagação.

Pulverizações com BA 5 a 10 mg L⁻¹ em pré-colheita auxiliaram na manutenção da alface fresca e verde por três a cinco dias extras, após a embalagem do produto.

Imersão de hastes recentemente colhidas de aipo verde e dourado, em solução de BA 10 mg L⁻¹, ampliou a duração do material fresco, manteve a coloração foliar e aumentou a aceitabilidade de mercado para ambos os cultivares.

1.6 Retardadores

Visando a obtenção de mudas mais compactas e resistentes de tomateiro para transplante mecanizado, verificou-se a eficiência da

aplicação de chlormequat (CCC) 1000 mg L⁻¹.

Observou-se a eficácia da pulverização em V4 com o ácido 2,3,5- triiodobenzóico (TIBA) 30 mg L⁻¹ em manter as plantas de soja compactas, evitando perdas por acamamento.

Verificou-se em algodoeiro 'IAC-17' que CCC 450 mg L⁻¹ reduziu a altura e o número de entrenós das plantas. Esse retardador de crescimento supriu a necessidade de manter as plantas de algodoeiro compactas para viabilizar a mecanização da cultura.

Sabe-se que a utilização de retardadores de crescimento em plantas ornamentais envasadas, principalmente a daminozide (SADH) e CCC, possibilita a obtenção de plantas mais compactas, provoca redução na velocidade de crescimento e produção de flores de melhor qualidade.

Observou-se que a pulverização da região apical da seringueira com SADH 2000 mg L⁻¹ promoveu incremento de 25% no perímetro relativo do tronco do cultivar RRIM 600 e melhorou a arquitetura da copa, tornando-a menos suscetível aos danos causados pelo vento.

Aplicação de CCC 1500 mg L⁻¹ em laranja 'Pera' reduziu os sintomas de clorose variegada do citros (CVC) em condições de campo, sendo que considerou-se a possibilidade de redução na infestação de cigarrinhas transmissoras, devido a alteração da coloração verde das folhas, causada pelo retardador de crescimento.

Verificou-se que Curavial (sulfometuron metil) aplicado no início de abril em cana-de-açúcar 'SP 70-1143' reduziu o comprimento do entrenó formado na época de aplicação, diminuiu a isoporização do colmo, aumentando em 1,12 o pol % cana e induzindo a maturação precoce da cana-de-açúcar.

Analisaram-se numerosas características tecnológicas dos frutos de tomate tratados com biorreguladores. Observaram que os tomateiros tratados com CCC 2000 mg L⁻¹ 38 DAS apresentaram as melhores características tecnológicas dos frutos colhidos.

1.7 Inibidores

Inibidores de crescimento têm sido utilizados extensivamente no controle do desenvolvimento de gramados, cercas vivas e árvores; sendo que também têm sido aplicados para a manutenção de tubérculos e bulbos dormentes, no armazenamento.

Verificou-se que aplicação de hidrazida maleica 1250 mg L⁻¹, 30 dias depois da poda da cerca viva de *Murraya paniculata* (Falsa

Murta), manteve a mesma sem necessidade de uma nova poda por maior período de tempo com relação ao controle somente podado.

Observou-se que aplicação de Diquat 2 L ha⁻¹ em março, na cana-de-açúcar 'RB 78-5148' inibiu totalmente o florescimento; sendo que hidrazida maleica 2 L ha⁻¹ reduziu o florescimento em 50% (Figura 6). Pulverização da cana-de-açúcar 'SP 70-1143' com glifosate 0,3 L ha⁻¹ ou hidrazida maleica 2 L ha⁻¹ antecipou significativamente a maturação. Foi verificado que aplicação de Fusilade 0,4 L ha⁻¹ em cana-de-açúcar 'SP 70-1143' promoveu sua maturação precocemente.



Figura 6 - Efeito da aplicação de Diquat (D) em cana-de-açúcar inibindo o florescimento e induzindo a maturação

16 Série Produtor Rural nº 71

1.8 Etileno

O ethephon, com capacidade de liberar etileno, é o biorregulador mais utilizado na agricultura.

Observou-se que plantas de pepino 'Aodai', com 4 folhas definitivas, pulverizadas com ethephon 400 mg L⁻¹ anteciparam a antese da primeira flor feminina, possibilitando colheita precoce. Ethephon 200 a 400 mg L⁻¹ aumentou o número de frutos produzidos e melhorou a qualidade dos mesmos.

Aplicação de ethephon 300 mg L⁻¹ em tangor 'Murcott', no florescimento (Figura 7), promoveu abscisão floral e aumentou significativamente a massa dos frutos remanescentes, evitando a produção do excesso de frutos de pequenas dimensões e a

possibilidade da quebra de galhos da árvore de citros. Ethephon 200 mg L⁻¹ provocou queda de frutos em tangerina 'Ponkan', quando pulverizado em 25/11; sendo que esse desbaste químico revelou-se eficiente e econômico.

Foi verificada a importância do uso de ethephon na região de corte da sangria, de três a oito aplicações por ano dependendo do cultivar, na produção de látex da seringueira.



Figura 7 - Distribuição adequada dos frutos de citros obtida pelo desbaste prévio com ethephon

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 17

Verificou-se que aplicação de ethephon 1000 mg L⁻¹ antecipou a colheita do tomateiro 'São Sebastião'. Consideraram que o biorregulador é também eficiente para concentrar a colheita de tomate para indústria.

Pulverização de ethephon 0,25 mL L⁻¹ em 16/04 dobrou a quantidade de frutos cereja de cafeeiro na colheita do cultivar 'Catuaí Vermelho'. Efetuou-se aplicação aérea de ethephon 2 L ha⁻¹ em 18/02 na cana-de açúcar 'SP 70-1143'. Observaram que o biorregulador antecipou a maturação e incrementou o teor de sacarose nos colmos; sendo que diminuiu significativamente a isoporização.

Promoveu-se a imersão de frutos verdes de 'Kunquat' em soluções de ethephon de 250 a 1000 mg L⁻¹. Verificaram que a taxa de desverdecimento dos frutos aumentou proporcionalmente ao incremento na concentração de ethephon aplicado.

1.9 Novos hormônios

1.9.1 Brassinosteroides

Os brassinosteróides (BR) são encontrados em dicotiledôneas, monocotiledôneas, gimnospermas e algas. Geralmente têm sido detectados em muitas partes de plantas, como grãos de pólen, flores, frutos, sementes, hastes, brotações, mas não foram encontrados em raízes, até o momento. Os BR incrementam a biossíntese de etileno em segmentos de hipocótilos estiolados do feijoeiro 'Mungo'. Os efeitos dos BR são semelhantes à promoção da produção de etileno em partes de plantas ou sistemas de plantas inteiras, e diferentes da auxina, a qual é tipicamente mais eficiente na resposta em partes de plantas destacadas.

Os BR têm sido utilizados para promover a alongação de tecidos vegetativos em uma grande variedade de plantas, em muito baixas concentrações. Também foi demonstrado seu efeito no afrouxamento da parede celular em segmento do epicótilo de soja. A promoção dos efeitos de BR na alongação tem sido revelada sob luz branca, verde e vermelha fraca.

18 Série Produtor Rural nº 71

Todavia, pouco ou nenhum efeito tem sido encontrado em condições de escuridão completa, sugerindo uma relação entre a ação do BR e a presença de luz.

Os BR são inibidores poderosos do crescimento e desenvolvimento radicular. Os efeitos dos BR e auxinas são geralmente similares e sinérgicos. Todavia, na iniciação radicular agem de modo completamente diferente. As auxinas estimulam e os BR têm efeito inibitório. Possivelmente, as diferenças ocorrem devido à ação independente dos BR nas raízes ou devido à ação antagonica sobre as auxinas. Também foram observadas as ações inibitórias dos BR sobre o crescimento de raízes e o efeito estimulante na produção de etileno. Todavia, novas pesquisas são necessárias antes de se afirmarem definitivamente estes efeitos e interações.

1.9.2 Ácido salicílico

O ácido salicílico (AS) foi encontrado em mais de 34 espécies vegetais, tendo sido identificado em folhas e estruturas masculinas

das plantas. Os níveis mais elevados de AS foram encontrados nas inflorescências de plantas termogênicas e plantas atacadas por patógenos. Há evidências de que o AS promove a formação de gemas florais em associação com cinetina e IAA. Como a floração é resultado da ação conjunta de fatores e substâncias, ainda não há comprovação do efeito promotor do AS, inclusive existindo resultados contraditórios. A produção de calor em plantas foi descoberta pela primeira vez por Lamarck em 1778, no gênero *Arum*. Atualmente, a termogenicidade ocorre em estruturas reprodutivas masculinas de cicadáceas e em inflorescências de algumas angiospermas. Foi observado incremento na temperatura de até 14°C acima da temperatura ambiente em ápice de *Arum lillies*. O AS produz calor, ativando a respiração resistente ao cianeto, resultando na volatilização de aminas e indóis de odor fermentado, os quais são atrativos para alguns insetos polinizadores.

Algumas plantas resistentes à doenças restringem o espalhamento da infecção do patógeno para uma pequena área ao redor do ponto de penetração inicial onde aparece a lesão necrótica. Esta proteção é feita por

células suicidas e é denominada reação sensitiva, que conduz a um sistema de resistência adquirida. A resistência para patógenos leva à produção de algumas proteínas de patogenicidade relativa em plantas, podendo ser induzida por AS ou ácido acetil salicílico, na ausência de organismos patogênicos. O AS pode ser imobilizado como ácido α -O-D-glicosil-salicílico e os ácidos salicílicos livres entram no floema e são posteriormente detectados nas folhas superiores. Os incrementos de AS são baixos para induzir um sistema de proteínas de patogenicidade relativa e subsequentemente, resistência à infecção.

1.9.3 Jasmonatos

São compostos pertencentes a uma classe específica de deciclopentamona, com atividades similares ao ácido jasmônico (JA), e/ou metil-ester, formados biossinteticamente do ácido linolênico. Jasmonatos foram detectados em 206 espécies de plantas, representando 150 famílias, incluindo samambaias, musgos e fungos. Evidências indicam que sua biossíntese ocorre

em sistemas de ápices, folhas jovens, frutos imaturos e extremidades de raízes, onde se encontra em níveis mais altos.

Seus efeitos podem ser de promoção e inibição de processos morfológicos e fisiológicos de plantas, alguns deles similares aos do ABA e do etileno. Aplicações exógenas de JA inibem o crescimento longitudinal de plantas, comprimento e duração do crescimento de raízes, crescimento de micorrizas, formação de gemas florais, movimento pulvinar, biossíntese de carotenoides, formação de clorofila, biossíntese da rubisco e atividade fotossintética. Pode também promover ou inibir alongação em mudas de cana-de-açúcar, diferenciação em culturas de tecidos, efeitos adversos na formação de raízes, quebra de dormência, germinação do palem, germinação de sementes, amadurecimento de frutos, senescência de pericarpo e folhas, abscisão foliar, formação de tubérculos, degradação de clorofila, respiração, biossíntese de etileno e síntese proteica.

Quando aplicado exogenamente, o JA promove senescência de folhas, com a degradação de clorofila, e muitos outros efeitos associados com o

20 Série Produtor Rural nº 71

processo de senescência. O JA parece ativar o ACC sintase ou oxidase, o que incrementa a biossíntese de etileno, mas este efeito depende da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta.

Existem similaridades, bem como diferenças, na estrutura, propriedades físicas e atividades do ABA e do JA. Ambos promovem o fechamento estomático e induzem efeitos inibitórios sobre as proteases e no armazenamento de proteínas em sementes de Brassica. Entretanto, somente o JA pode induzir o acúmulo de proteína em soja no estágio vegetativo. O JA também induz enzimas e regula a expressão gênica em todas as espécies de plantas avaliadas, como na soja em cultura de tecido, folhas de alfafa, tomateiro, batata, cevada e cotilédones de algodoeiro.

1.9.4 Poliaminas

Existe controvérsia sobre se estes compostos vegetais podem ser classificados como uma nova classe de substâncias reguladoras, o mesmo acontecendo para BR, AS e JA. As poliaminas podem ser classificadas como hormônios, em função das seguintes características: (a) São encontradas em todas as

células, podendo exercer controle regulatório sobre o crescimento e desenvolvimento, quando em concentrações micromolares. (b) Quando seu conteúdo é alterado em plantas, o desenvolvimento é afetado, como, por exemplo, na cultura de tecidos de cenoura e Vigna. Ocorre crescimento de calo quando o nível de poliaminas é baixo e formação de embriões quando o nível é alto. Em plantas de tabaco, quando ocorre superprodução de espermidina, anteras são produzidas no lugar de ovários. (c) As poliaminas têm apresentado grande variedade de efeitos nas plantas, e parecem ser essenciais para o crescimento, estando envolvidas na divisão celular e morfogênese.

REFERÊNCIAS

CASTRO, P.R.C. Biorreguladores em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 22, n. 2, p. 367-381, 2001.

_____. Biorreguladores e bioestimulantes na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba, ESALQ, 2003. p. 99-115.

CASTRO, P.R.C.; CATO, S.C.; VIEIRA, E.L. Biorreguladores e bioestimulantes em feijoeiro. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Feijão irrigado: tecnologia & produção**. Piracicaba: ESALQ, 2005. p. 54-62.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; MEDINA, C.L.; CORRENTE, J.E. Management of Citrus Variegated Chlorosis (CVC) with bioregulators. **Proceedings of the Interamerican Society of Tropical Horticulture**, Lima, v. 47, p. 161-163, 2003.

MORZELLE, M.C.; PETERS, L.R.; ANGELINI, B.G.; CASTRO, P.R.C.; MENDES, A.C.C.M. **Agroquímicos, estimulantes, extratos vegetais e metabolitos microbianos na agricultura**.

Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2017. 94 p. (Série Produtor Rural, 63).

NICKELL, L. G. **Plant growth regulators**: agricultural uses. Berlin: Springer Verlag, 1982. 173 p.

SERCILOTO, C.M.; CASTRO, P.R.C.; RIBEIRO, R.V.; TAVARES, S.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Biorreguladores na fixação dos frutos da lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 2, p. 383-395, 2003.

22 Série Produtor Rural nº 71

VIEIRA, E.L. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

VIEIRA, E.L.; CASTRO, P.R.C. **Ação de bioestimulante na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Cosmópolis: Stoller, 2004. 73 p.

WEAVER, R.J. **Plant growth substances in agriculture**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 594 p.

2 BIOESTIMULANTES

2.1 Biologia molecular

Substâncias naturais ou microrganismos que melhoram a eficiência nutricional, as respostas aos estresses abióticos, a produtividade e qualidade dos cultivos, sem levar em conta seu conteúdo de nutrientes; ou produto que contém componentes ativos ou agentes biológicos, que atuam sobre as plantas melhorando seu desempenho, isento de biorreguladores e defensivos agrícolas. Como por exemplo extratos de algas, ácidos húmicos e fúlvicos e aminoácidos.

O bioestimulante obtido do extrato de alga *Ascophylum nodosum* foi aplicado na irrigação de *Arabidopsis thaliana* sob condições de salinidade. Prithiviraj, na Truro University, observou que a fertirrigação de *A. thaliana* com extrato de *A. nodosum* melhorou o desempenho da planta-teste sob condições de estresse salino. Utilizando a técnica de micro-arranjo, o autor notou que no primeiro dia 16% dos genes expressos eram fatores de transcrição e 2,2% eram reguladores de estresse biótico. Os extratos de algas estão relacionados com a repressão e expressão de genes que podem promover mudanças na síntese de proteínas e enzimas necessárias ao vigor e tolerância das plantas contra estresses. Mostrou-se que componentes lipofílicos (LPC) da alga marrom *A. nodosum* aumentaram a tolerância ao frio em *A. thaliana*, deste modo investigou-se se LPC induziu mudanças no transcriptoma e metabolômica da *Arabidopsis* sob estresse de frio. Estudos da expressão gênica mostraram que o acúmulo de prolina foi mediado por um aumento na expressão de genes da síntese de prolina e de uma redução marginal na expressão do gene da enzima prolina

desidrogenase. Aplicação de LPC aumentou significativamente a concentração de açúcares solúveis no citosol em resposta ao estresse de resfriamento. A pesquisa evidenciou que LPC promoveu tolerância a injúrias de frio através da combinação de uma indução na planta ao acúmulo de osmoprotetores e de uma alteração na composição celular de ácidos graxos.

2.2 Extratos de algas

O desempenho das culturas pode ser melhorado com o uso de extratos de algas marinhas, que constituem uma potencial alternativa ao uso de biorreguladores. A utilização de extratos de algas na agricultura vem aumentando significativamente nas últimas décadas, sendo observado que consideráveis parcelas dos 15 milhões de toneladas métricas de algas marinhas colhidas anualmente, são empregadas como bioestimulantes.

Podemos considerar os extratos de algas também como agentes antiestressantes, uma vez que afetam o sistema oxidativo (enzimático e não-enzimático) das plantas, aumentando a tolerância do vegetal frente a condições ambientais adversas e melhorando a capacidade de recuperação após o estresse, o que pode potencialmente incrementar ou, ao menos, manter a produção das plantas, mesmo sob condições não ideais de cultivo.

Os produtos derivados de extratos de algas são produzidos principalmente a partir de espécies que habitam águas salgadas. *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis destaca-se dentre as espécies de algas marinhas comumente utilizadas, e tem sido muito estudada por suas propriedades que incluem desde a promoção de crescimento vegetal ao uso na alimentação humana e animal. É uma alga marrom encontrada nos mares árticos e nas costas rochosas do oceano Atlântico no Canadá e no norte da Europa, onde a temperatura da água não excede 27°C.

Diversos estudos têm apontado o potencial de uso dos extratos de algas para incrementar o desenvolvimento vegetal, algumas vezes com consequentes aumentos na produção; sendo também relatado aumento da tolerância vegetal à estresses bióticos e abióticos. Estas pesquisas mostram que, mesmo em baixas concentrações, os produtos à base de extratos de

algas afetam o desenvolvimento vegetal, sugerindo que os derivados dos extratos de algas possuem compostos bioativos. Assim sendo, surge a seguinte questão: De que são constituídos estes agroquímicos?

De modo geral, a matriz orgânica dos extratos é caracteristicamente complexa, sendo composta de nutrientes (macro e micro), aminoácidos, oligossacarídeos e hormônios vegetais. Especificamente, os extratos de *Ascophyllum nodosum* são constituídos por citocininas, auxinas, ácido abscísico, giberelinas, betaínas e alginatos; existindo ainda compostos não identificados que possuem atividade similar a de alguns hormônios vegetais e que também podem estimular sua produção nas plantas.

Entretanto, a composição (quantidade e tipos de compostos) destes produtos pode ser alterada em função da espécie de alga utilizada para a confecção do extrato, bem como sua época de coleta; método de extração e adição de outros compostos (principalmente macro e micronutrientes). Abaixo são especificados os compostos orgânicos e inorgânicos de um produto comercial à base de *Ascophyllum nodosum* (Tabela 1).

Mesmo com a presença de alguns compostos bioativos, as respostas das plantas podem variar, pois dependem tanto do método (tratamento de sementes, pulverização foliar e/ou irrigação), quanto das dosagens e frequências de aplicação, variando também com a espécie de planta e cultivar selecionada, estação do ano e localização geográfica do cultivo, dentre outros fatores.

O fato é que múltiplos processos fisiológicos, bioquímicos e genéticos estão envolvidos nas respostas vegetais e os efeitos observados a partir das aplicações podem ser diretos ou indiretos. Entretanto, os mecanismos de ação do extrato de *Ascophyllum nodosum* ainda são pouco conhecidos e a sua elucidação é de extrema importância para a elaboração de estratégias que favoreçam o aumento da produtividade vegetal.

Análises discriminatórias

Matéria orgânica	0,30 - 0,60%
Nitrogênio total (N)	< 0,1%
Fosfato disponível (P ₂ O ₅)	5,00 - 7,00%
Potássio solúvel (K ₂ O)	0,30 - 0,60%
Enxofre (S)	0,05 - 0,10%
Magnésio (Mg)	0,10 - 0,20%
Cálcio (Ca)	1,00 - 1,50%
Sódio (Na)	30 - 80 ppm
Ferro (Fe)	01 - 05 ppm
Cobre (Cu)	05 - 15 ppm
Zinco (Zn)	01 - 05 ppm
Manganês (Mn)	20 - 50 ppm
Boro (B)	Ácido algínico, manitol, laminarina
Carboidratos:	

Aminoácidos (1,01%) Alanina

Ácido aspártico	0,08%
Ácido glutâmico	0,14%
Glicina	0,20%
Isoleucina	0,06%
Leucina	0,07%
Lisina	0,09%
Metionina	0,05%
Fenilalanina	0,03%
Prolina	0,07%
Tirosina	0,07%
Valina	0,06%
Triptofano	0,07%
13,00 - 16,00%	0,02%

2.2.1 Extratos de algas em plantas cultivadas

2.2.1.1 Desenvolvimento vegetal

Neste tópico serão abordados os efeitos de produtos à base de extrato de algas sobre a germinação e crescimento de plântulas, bem como sobre o desenvolvimento de mudas propagadas por estacas. Sabe-se que, devido aos compostos encontrados nos extratos de algas, estes agroquímicos podem afetar positivamente

várias etapas do desenvolvimento das plantas, sendo a principal delas o desenvolvimento inicial (germinação e plântulas), pois é uma etapa crucial que reflete no estabelecimento em campo e na produtividade vegetal.

Embora não se enquadre dentro de desenvolvimento inicial, torna-se importante o estudo de metodologias que favoreçam a fase de pegamento de mudas oriundas de estacas, já que nem sempre este método de propagação é bem-sucedido, sem contar que, para algumas espécies, é muito oneroso.

2.2.1.2 Germinação

Vários autores relataram que a aplicação do extrato comercial de *Ascophyllum nodosum* foi determinante para aumentar a germinação e o vigor de plântulas de uma gama de espécies. Demonstrou-se que os componentes orgânicos do extrato de *Ascophyllum nodosum* favoreceram a germinação de sementes de cevada, por induzir a atividade da amilase independente de giberelina que, possivelmente, age em conjunto com a produção de amilase dependente deste hormônio.

Atualmente, sabe-se que a giberelina é um hormônio que induz a germinação, principalmente de sementes de monocotiledôneas, através da promoção da síntese de enzimas, como a amilase, enzima responsável pela transformação de amido em açúcares, com utilização da energia antes armazenada no endosperma amilífero, auxiliando na germinação e no desenvolvimento do eixo embrionário, aumentando deste modo, o potencial germinativo.

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 29

A porcentagem de germinação de sementes de *Vigna radiata* (uma leguminosa utilizada pelo seu valor nutricional e medicinal) também aumentou após o tratamento com produtos à base de extratos das algas *Sargassum plagiophyllum*, *Turbinaria conoides*, *Padina tetrastomatica*, *Dictyota dichotoma* e *Caulerpa scalpelliformis*. De modo geral, as doses que foram mais eficientes variaram de 0,3-0,5%, sendo que sementes tratadas com este agroquímico apresentaram 80 a 100% de germinação, enquanto apenas 70% das sementes não tratadas germinaram.

Os extratos de *Ulva lactuca*, *Padina tetrastomatica* e *Gracilaria corticata*, também foram testados sobre a germinação de *Cyamopsis tetragonoloba*, uma leguminosa utilizada para o

consumo humano e animal. Para cada espécie de alga, foram feitas soluções que continham de 0,5 a 10% de extrato; sendo que o extrato de *Ulva lactuca* apresentou melhor resultado quando utilizado de 0,5 a 5% na solução, alcançando 100% de germinação (o controle teve 70% de sementes germinadas). Quando a espécie *Padina tetrastrum* foi utilizada, as melhores proporções do extrato de alga na solução também variaram entre 0,5 a 5%; onde sementes tratadas apresentaram 70% de germinação, enquanto que o controle mostrou 60%; doses superiores a estas influenciaram negativamente a germinação. Por outro lado, sementes tratadas com qualquer dose do extrato de *Gracilaria corticata* não afetaram a germinação de *Cyamopsis tetragonoloba*.

Também foi avaliada a germinação de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Rio Grande), pimentão (*Capsicum annum* cv. Demre) e berinjela (*Solanum melongena* cv. Pala) após uso de extratos de algas. Neste estudo, foram testados os efeitos de suspensões oriundas do extrato de *Codium tomentosum*, *Gracilaria gracilis* e *Cystoseria barbata* sobre sementes que foram colocadas para germinar sob temperaturas ótimas (25°C) e sub-ótimas (15°C). Em condições ótimas, sementes de pimentão tratadas com a alga *Codium tomentosum* apresentaram 18,67% a mais de sementes germinadas do que o controle; enquanto que para as sementes de berinjela, este aumento foi de 10,41% quando tratada com solução desta mesma alga. Dentre todos os extratos testados, a porcentagem de

30 Série Produtor Rural nº 71

germinação de sementes de tomate pouco diferiu do controle sob temperatura ideal.

Em condições sub-ótimas de temperatura (considerada estresse por frio), o extrato desta mesma alga promoveu acréscimos de 10,63-48,57% e 7,05-16,66% na porcentagem de sementes germinadas de pimentão e berinjela, respectivamente, quando comparados às sementes não tratadas ou apenas imersas em água. As suspensões preparadas a partir das outras algas citadas tiveram pouco efeito sobre a germinação destas culturas, tanto em temperatura ideal quanto sub-ótima.

2.2.1.3 Plântulas

Estandes adequados podem ser obtidos com a utilização de

extrato de algas em sementes, propiciando melhor estabelecimento em campo e potencialmente diminuindo as perdas na produção. Por isso, são importantes estudos relacionados à estratégias que aumentem a porcentagem de germinação, tornem-na mais uniforme e que gerem plântulas mais vigorosas.

O desenvolvimento de plântulas de *Vigna radiata* foi incrementado pela aplicação de extratos das algas *Sargassum plagiophyllum*, *Turbinaria conoides*, *Padina tetrastrumatica*, *Dictyota dichotoma* e *Caulerpa scalpelliformis* nas sementes, sendo observados acréscimos no comprimento da raiz principal e da parte aérea, assim como no número de raízes laterais e massa fresca e seca das plântulas em até 105%, 106%, 123%, 93% e 85%, respectivamente.

O crescimento das plântulas de *Cyamopsis tetragonoloba* também foi promovido, após o tratamento de sementes com extratos de algas de várias espécies (*Ulva lactuca*, *Padina tetrastrumatica* e *Gracilaria corticata*) e com diferentes doses (0,5 a 10%). Estas plântulas apresentaram raízes e parte aérea mais longas, assim como estas porções alcançaram massa fresca e seca superiores, quando comparadas às plântulas oriundas de sementes não tratadas. Sementes de feijão 'Alvorada' imersas em solução contendo extrato de *Ascophyllum nodosum* na concentração de 0,8 mL L⁻¹ por 5, 10, 15 e 20 minutos, foram avaliadas. Para efeito de comparação, algumas

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 31

sementes também foram imersas em água por 5, 10, 15 e 20 minutos, sendo ainda analisadas sementes que não receberam nenhum tratamento (controle). Foi observado que sementes imersas em extrato de *Ascophyllum nodosum* apresentaram porcentagem de plântulas emergentes, na avaliação inicial, superior ao controle (acrécimo de até 28,45%), independentemente do tempo. Contudo, apenas sementes imersas por 15 minutos em extrato de alga exibiram índice de velocidade de emergência superior. Deste modo, os autores concluíram que o vigor de sementes do feijão 'Alvorada' é aumentado após a imersão em solução contendo extrato de *Ascophyllum nodosum* por 15 minutos, devido ao incremento do número de plântulas com melhor potencial de estabelecimento em campo e à redução do tempo de emergência, o que pode promover formação homogênea do estande, como apresentado na Figura 8.

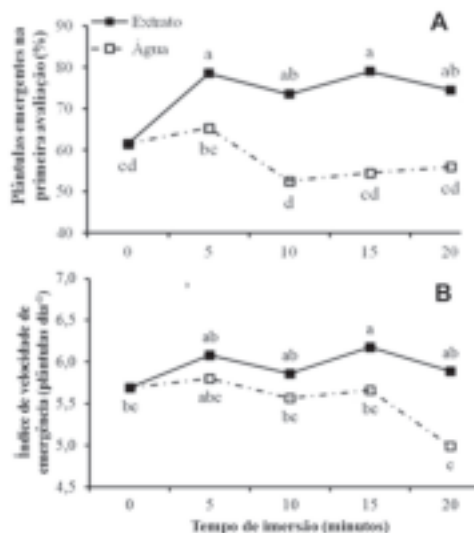


Figura 8 - Efeito do tempo de imersão em extrato de *Ascophyllum nodosum* ou em água, sobre a (A) porcentagem de plântulas emergentes na primeira avaliação e (B) sobre o índice de velocidade de emergência de plântulas de feijão 'Alvorada', avaliado do sexto ao décimo primeiro dia após a semeadura. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Duncan (5%) (Adaptado de CARVALHO et al., 2013)

2.2.1.4 Propagação assexuada

Também verificou-se que a aplicação de produtos à base de extratos de algas pode influenciar positivamente o desenvolvimento vegetal durante a propagação assexuada. Em São Paulo, foi conduzida pesquisa visando melhorar o número e qualidade de mudas oriundas de microestacas de três clones de eucalipto (clones Euca 103 e Euca 105 de *Eucalyptus urograndis* e clone I 114 de *Eucalyptus urophylla*).

Foram utilizadas diferentes doses do extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (variou de 0,5 a 16 mL L⁻¹) para cada um dos clones e dois tipos de substratos (a saber, substrato 1: 33,3% de fibra de côco, 33,3% de vermiculita, 33,3% de casca de arroz carbonizada, 135 g de fertilizante 2 B plus e 135 g de fertilizante yoorin máster e 100 g de calcário dolomítico e substrato 2: turfa de Sphagno, vermiculita, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante Pg Mix). As microestacas foram plantadas após a aplicação do extrato diretamente sobre o substrato. Além disso, durante o período de enraizamento, também houve de 3 a 5 aplicações adicionais sobre o substrato, dependendo do tratamento.

Para o clone EUCA 105, a utilização do extrato de algas (0,5;

1,0; 1,5 e 2,0 mL L⁻¹) afetou significativamente o desenvolvimento radicular, sendo observado aumento máximo do comprimento das raízes na dose estimada de 0,8 mL L⁻¹ do extrato, independentemente do substrato. Para a fitomassa seca radicular, houve um incremento de 82,75% quando utilizada a dose 2 mL L⁻¹ do extrato quando utilizado no substrato 2; enquanto que para o outro substrato, o extrato reduziu a massa seca alocada nas raízes (redução de 36,14% a 66,26% em relação ao controle).

Para o clone I 114, a utilização do extrato de *Ascophyllum nodosum* (1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 mL L⁻¹) ou não modificou ou reduziu significativamente o comprimento radicular (até 22,15%). Em relação à massa seca de raízes, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, independentemente da dose ou dos substratos utilizados. No clone Euca 103, a utilização de doses crescentes (0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 mL L⁻¹) do extrato, foi capaz de causar incrementos (31,85%, substrato 1), mas também reduções do comprimento radicular (2,45 a 12,88%, substrato 2). Deste

modo, os resultados apresentados neste trabalho indicam que as doses, frequências de aplicação, características do substrato, espécies e até mesmo os clones utilizados, influenciam significativamente a resposta final da planta.

Em outra pesquisa, realizada na Hungria, foi observado o desenvolvimento das estacas de *Crataegus pinnatifida* (cultivares Da Chang Kao e Liao Hong), *Prunus marianna* cv. GF 8-1 e *Prunus mahaleb* cv. Bogdány, três espécies de árvores frutíferas, após 3 pulverizações foliares de 2 produtos à base de extrato de algas a 0,02%. Para o cultivar Da Chang Kao houve reduções do número de brotações (27,27-50,00%) independentemente do produto utilizado. Contudo, para o outro cultivar foram observados incrementos de até 120% de brotações. Para *Prunus marianna* cv. GF 8-1, mais uma vez o número de brotações aumentou (225,0 - 587,5%), quando comparado ao controle. Em *Prunus mahaleb* cv. Bogdány, dependendo do produto utilizado, o número de brotações foi reduzido (19,23%) ou elevado (23,07%). Deste modo, nota-se que os efeitos dos extratos de alga são dependentes não só da espécie, mas também dos cultivares selecionados, como citado anteriormente.

Como observado em um trabalho realizado com mudas de pinheiro (*Pinus pinea*), o padrão de resposta vegetal é modificado

pelo método, dose e frequência de aplicação dos extratos de alga. De modo geral, enquanto a aplicação foliar promove o crescimento da parte aérea (aumento do comprimento e de massa alocada nesta porção vegetal); a irrigação do solo induz o crescimento radicular (número e massa de raízes), desta espécie de pinheiro. Na Figura 9, encontram-se os possíveis mecanismos de ação do extrato de *Ascophyllum nodosum* sobre a resposta vegetal, tal esquema foi construído em função dos conhecimentos de aspectos bioquímicos e metabólicos estabelecidos por estudos prévios.

34 Série Produtor Rural nº 71



Figura 9 - Mecanismos hipotéticos de ação do extrato de *Ascophyllum nodosum* levam do a resposta da planta (cedido pelo Prof. Paulo R. C. Castro)

2.2.2 Produtividade

O efeito dos extratos de diversas algas sobre a produtividade vegetal tem sido estudado há longo tempo. Em experimento

realizado em Mossoró com couve (*Brassica oleracea* cv. Couve-Manteiga da Georgia), observou-se que a aplicação do extrato de *Ascophyllum nodosum* na dose de $3,8 \text{ mL L}^{-1}$ teve efeito benéfico no desenvolvimento inicial e, posteriormente, na produtividade das plantas, que apresentaram um aumento do número de folhas e da massa seca da parte aérea.

Em outro estudo na região Nordeste do Brasil, foi demonstrado que a aplicação de um produto comercial do extrato de *Ascophyllum nodosum* (Natural WSP em 55 ou 75 g 100 L^{-1} do extrato de algas pulverizado sobre as folhas; 550 ou 750 g ha^{-1} sobre o solo), influenciou positivamente a

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 35

produtividade de alface (*Lactuca sativa* cv. Elba). A pulverização de 75 g 100 L^{-1} do extrato ou a aplicação no solo de 750 g ha^{-1} aumentou em 55,11 e 58,14%, respectivamente, a produtividade [$\text{Kg (massa fresca) parcela}^{-1}$] da alface 'Elba'.

Utilizando o cultivar de alface crespa Elba, outras doses do extrato de algas (0,5 e $1,0 \text{ g L}^{-1}$) em conjunto com diferentes métodos de aplicação (pulverização foliar e do solo), foram testados. Após 58 dias da semeadura e realização de três aplicações (7 mL por planta), houve aumentos na massa fresca (102,7%) e seca (111,3%) da parte aérea, bem como na produtividade (102,6%), quando o produto foi aplicado via foliar na dose de $1,0 \text{ g L}^{-1}$ ou via solo a $0,5 \text{ g L}^{-1}$.

Também houve acréscimos no número de folhas (16,6%) e massa fresca (24,3%) e seca (24,6%) da parte aérea de alface crespa 'Vera' tratada com extratos de algas marinhas do gênero *Sargassum* e *Laminaria*. Dois tratamentos destacaram-se dentre os testados: 1) imersão de raízes durante o transplante mais 2 aplicações na dosagem recomendada de 2 L ha^{-1} de extrato de algas via foliar aos 14 e 21 dias após o transplante e 2) 2 aplicações na dosagem recomendada de 2 L ha^{-1} de extrato de algas via foliar aos 14 e aos 21 dias do transplante.

A aplicação foliar semanal ou quinzenal do extrato de algas em cebola (*Allium cepa* L.) nas dosagens de 3 e 4 mL L^{-1} , aumentou a massa fresca e seca dos bulbos, assim como reduziu a perda de massa fresca durante o armazenamento dos mesmos. Plantas de batata 'Ágata' pulverizadas com 1 L ha^{-1} do extrato de algas aos 30, 40 e 50 dias após o plantio (DAP), apresentaram maior produtividade, quando avaliadas no início da emissão dos

tubérculos, aos 65 DAP. Houve acréscimos de 15,78; 12,31 e 36,13% no número, matéria fresca e diâmetro de tubérculos.

Em outros estudos com frutos cítricos, notou-se que a aplicação do extrato de alga, durante 3 anos, em tangerineiras jovens, promoveu aumento de 30% na produção de frutos; sendo também observado aumento do conteúdo de açúcar e redução da acidez do suco de laranja 'Navelina' e das tangerinas 'Satsuma' e 'Clementina', após a utilização do extrato da alga *Ascophyllum nodosum*.

36 Série Produtor Rural nº 71

A aplicação do extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) também incrementou o número de espigas de trigo (*Triticum aestivum*) 'IAC 370' e 'BRS Guamirim' (13 a 20%, respectivamente), mas não influenciou a massa de mil grãos. Após a pulverização de solução contendo extrato de *Kappaphycus alvarezii*, o número de espigas do trigo 'GW 322' também foi incrementado (37,39%), mas diferentemente do que o observado nos dois estádios anteriores, a massa de grãos foi aumentada (até 33,63%). A constituição química do extrato desta alga encontra-se abaixo (Tabela 2).

Em pesquisa conduzida na Indonésia, foram testados extratos de várias algas (*Turbinaria murayana*, *Turbinaria ornata*, *Sargassum* sp., *Sargassum polycistum*, *Ulva fasciata*, *Ulva ferticulata*, *Padina* sp., *Chaetomorpha* sp. e *Hydroclatrus* sp.) sobre a produção de arroz. Foi constatado aumento do número de perfilhos e panículas e do peso de 100 grãos, sendo que o extrato de *Hydroclatrus* sp. (15% da solução) foi que promoveu melhor desempenho.

Cafeeiros 'Catuaí 144' cultivados em condições de cerrado, apresentaram aumento da produtividade (incremento de 37 a 70% do número de sacas) na primeira e segunda safras, após a aplicação do extrato de *Ascophyllum nodosum* via irrigação por gotejamento e pulverização [5 aplicações e 4 tratamentos que variavam na dose utilizada (0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 L ha⁻¹)] iniciada na pré-floração.

Tabela 2 - Constituintes químicos do extrato de *Kappaphycus alvarezii* (adaptado de ZODAPE et al., 2009)

	0,007 -
Nitrogênio	0,01% 1,60 -
Fósforo	2,10% 1,05 -
Potássio	1,40% 0,45 -
Matéria orgânica	0,70% 0,04 -
Sódio	0,06% 0,06 -
Cálcio	0,07% 6 - 9 ppm
Magnésio	100 - 160
Manganês	ppm 7 - 11
Ferro	ppm
Cobre	19 - 25
Zinco	ppm 2 - 5
Cobalto	ppm
Molibdênio	2 ppm
Sulfato	1,06 -
Cloreto	1,20% 2,36
IAA	- 2,70%
Cinetina	25,14 ppm
Zeatina	8,5 ppm
Giberelina	20,10 ppm
	0,45 - 0,70% 27,11 ppm

Em estudos realizados na Índia, foi observado que a irrigação da leguminosa *Cyamopsis tetragonoloba* com solução contendo extrato de *Sargassum wightii* ou *Ulva lactuca* promoveu aumento do número (2 a 44%), peso (53 a 61%) e comprimento (38 a 40%) de vagens, assim como do número de grãos por vagem (até 27%), dependendo da dose e do extrato utilizados. Uma outra leguminosa, *Phaseolus radiata* 'K-851' também apresentou incrementos no número e peso de vagens (15 a 31% e 19 a 30%, respectivamente), assim como no rendimento (16 a 30%), após a

alvarezii. Foi mostrado que o modo de aplicação, assim como as doses do extrato de *Sargassum johnstonii*, afetaram significativamente o número, peso e qualidade de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Pusa Ruby). Ao todo, foram realizadas 15 aplicações entre os estádios vegetativo e reprodutivo do ciclo do tomateiro, sendo notado que a pulverização foi mais eficiente quando usada solução que continha 8 a 10% do extrato de alga. Por outro lado, a irrigação foi mais adequada quando aplicada solução que possuía entre 0,4 a 2% do extrato e, quando estes dois modos de aplicação foram utilizados juntos, a proporção do extrato de alga na solução estava entre 8 e 10%.

Em um estudo de campo realizado no Paraná, o tratamento de sementes de soja (*Glycine max*) 'BRS 232' com extrato de algas (2 mL Kg⁻¹ de sementes) aumentou o peso de mil grãos e, conseqüentemente, a produtividade (Kg ha⁻¹) em 9 e 10%, respectivamente. Foi ainda observado aumento do número de vagens das plantas de amendoim (*Arachis hypogaea*) tratadas com extratos de *Sargassum wightii* e *Ulva lactuca*. Extratos comerciais oriundos das algas *Ecklenia maxima* e *Ascophyllum nodosum* aumentaram a produção de frutos (17 a 42%) de morangueiros (*Fragaria x ananassa*) cv. Elkat; mas não tiveram nenhuma influência sobre a produtividade do cultivar Salut. Pesquisa conduzida no Paquistão verificou que produto composto por aminoácidos e extrato de algas aumentou o número de cachos (61%), o comprimento da raquis (16%), o número de bagas por cacho (9%), assim como o tamanho das bagas (6%) e o peso de 100 bagas (17%) de uva 'Perlette', quando comparado ao controle.

2.2.3 Qualidade de frutos e hortaliças

Além do aumento da produtividade, alguns pesquisadores também afirmam que a qualidade [nutricional, visual (tamanho, cor, etc.), medicinal, etc.] das porções vegetais comercializadas, pode ser afetada positivamente pela utilização de produtos à base de extratos de algas.

O conteúdo de compostos fenólicos e flavonoides, relacionados ao decréscimo do risco de câncer e problemas de coração, da inflorescência de couve-flor (*Brassica oleraceae* cv. Caraflex) foi

incrementado após a aplicação de 3,5 L ha⁻¹ de dois produtos diferentes, AlgaGreen e XT, que aumentaram, respectivamente, em 1,3 e 2 vezes a quantidade destes compostos. Contudo, a produtividade não foi afetada. O teor de vitamina C também foi incrementado nas folhas de alface 'Elba' em até 22,54% após três pulverizações com solução contendo 55 g 100 L⁻¹ do extrato de *Ascophyllum nodosum*, indicando mais uma vez, que estes agroquímicos podem beneficiar a qualidade nutricional de vários produtos de origem agrícola, agregando valor aos mesmos.

Sementes de trigo oriundas de plantas tratadas com extrato de *Kappaphycus alvarezii* apresentaram acréscimos no conteúdo de carboidratos (39,19%), proteínas (31,67%) e gorduras (21,73%); bem como no teor nutrientes (P, K, Ca, Fe, Zn, dentre outros), que foi superior ao encontrado em sementes de plantas não tratadas com extrato de algas.

Este mesmo pesquisador, relatou também que sementes da leguminosa *Phaseolus radiata* apresentaram incrementos nos teores de carboidrato (5,15%), nitrogênio total (7,06%) e proteínas (6,64%), após a aplicação de solução contendo 10% de extrato daquela mesma alga. Do mesmo modo, o teor de macro e micronutrientes foi aumentado, sendo observado, por exemplo, acréscimos de Na (33,33%), Mo (52,63%), Mg (11,85%), K (11,30%).

A aplicação de solução contendo extrato de *Ascophyllum nodosum*, fez com que as folhas da hortaliza *Amaranthus tricolor*, apresentassem incrementos nos teores de macronutrientes, sendo notados aumentos nos teores de N (9,52%), P (50%), K (5,68%).

No estado da Flórida (EUA), avaliou-se o efeito de pulverizações com extrato de algas em laranjeiras e toranjeiras em período de 2 a 3 anos. Árvores pulverizadas com extrato de algas aumentaram a produção de frutos em 10 a 25% com relação ao controle, sendo que a combinação de pulverização no pré-florescimento, pós-florescimento e no verão, pareceu produzir a melhor resposta na produção. Neste mesmo estudo, observou-

se que a aplicação do extrato de algas reduziu a queda prematura de frutos e promoveu a mudança de coloração da casca mais cedo que no controle (árvores que não receberam a aplicação do extrato de algas), embora o tamanho dos frutos não tenha diferido entre os tratamentos. Em outros estudos com frutos cítricos, notou-se que a

aplicação do extrato de alga, durante 3 anos, em tangerinas jovens, promoveu aumento de 30% na produção de frutos; sendo também observado aumento do conteúdo de açúcar e redução da acidez do suco de laranja 'Navelina' e das tangerinas 'Satsuma' e 'Clementina' após a utilização do extrato da alga *Ascophyllum nodosum*.

Durante dois anos de análise e após a pulverização foliar sobre laranjeiras 'Valência' com extrato de algas (0,2%), verificou-se que os frutos apresentaram maior peso (20,00-21,45%), sólidos solúveis totais (13,04- 14,15%), açúcares totais (10,81-12,98%) açúcares redutores (32,25%) e vitamina C (11,56-11,61%). Além disso, a acidez foi diminuída em até 6,99- 5,67%, quando comparado aos frutos de plantas não tratadas.

REFERÊNCIAS

BOLLER, T.; FELIX, G. A renaissance of elicitors: perception of microbe associated molecular patterns and danger signals by pattern-recognition receptors. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 60, p. 379-406, 2009.

CARDINALE, F.; JONAK, C.; LIGTERINK, W.; NIEHAUS, K.; BOLLER, T.; HIRT, H. Differential activation of four specific MAPK pathways by distinct elicitors. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 275, p. 36734-36740, 2000.

CARVALHO, M.E.A.; CASTRO, P.R.C. **Extratos de algas e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2014. 58 p. (Série Produtor Rural, 56).

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 41

CRAIGIE, J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, Heidelberg, v. 23, n. 3, p. 371-393, June 2011.

DARVILL, A.G.; ALBERSHEIM, P. Phytoalexins and their elicitors - a defense against microbial infection in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 35, p. 243-275, 1984.

FORNES, F.; SÁNCHEZ-PERALES, M.; GUARDIOLA, J.L. Effect

of a seaweed extract on the productivity of 'de Nules' Clementine Mandarin and Navelina Orange. **Botanica Marina**, Halifax, v. 45, p. 486-489, 2002.

HUSSAIN, A.; BONEY, A.D. Isolation of kinin-like substances from *Laminaria digitata*. **Nature**, London, v. 223, p. 504-505, 1969.

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**, New York, v. 28, n. 4, p. 386-399, Dec. 2009.

NORRIE, J.; HILTZ, D.A. Seaweed extract research and applications in agriculture. **Agro Food Industry Hi-Technology**, Milano, v. 10, p. 15-18, 1999.

ZHANG, W.; YAMANE, H.; CHAPMAN, D.J. The phyto-hormone profile of the red alga *Porphyra perforata*. **Botanica Marina**, Halifax, v. 36, p. 257-266, 1993.

2.3. Ácidos húmicos e fúlvicos

Um desafio na agricultura atual é equacionar a crescente demanda por quantidade e qualidade dos alimentos com a exploração racional do meio ambiente. O sucesso de muitos cultivos tem sido associado à intensa aplicação de insumos, que apesar de todos os efeitos visíveis no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, por vezes, são dispendiosos e quando não manejados corretamente geram impactos negativos no agroecossistema de uma determinada região agrícola. Nesta perspectiva, dentre esses bioestimulantes, destacam-se ácidos húmicos e fúlvicos, que naturalmente resultam da decomposição da matéria orgânica e são capazes de estimular

alterações fisiológicas nas plantas, as quais podem contribuir para um melhor desenvolvimento, o que é essencial para que se obtenha ganhos em produtividade. Somado ao tradicional sistema de aplicação de insumos, deve-se considerar o potencial dos ácidos húmicos e fúlvicos para a resposta desejada nas culturas. Nos tópicos seguintes, será apresentada uma caracterização dessas substâncias associada a seus efeitos na fisiologia das plantas com os possíveis impactos para aplicação na agricultura.

O manejo da agricultura, independente da cultura conduzida, tem seguido cada vez mais critérios de redução no uso de defensivos agrícolas, com possibilidade de causar impactos ambientais significativos e de propiciar danos à saúde do consumidor e do trabalhador rural. Além disso, as mudanças climáticas e as diversidades dos territórios cultiváveis têm estimulado o produtor a buscar técnicas que controlem a produtividade da cultura em decorrência de algum tipo de estresse. Diante desta situação, diversas alternativas de cultivo podem ser utilizadas para possibilitar uma agricultura menos impactante ao meio ambiente e mais eficiente em produtividade.

As substâncias húmicas são compostos orgânicos oriundos da decomposição de resíduos vegetais e animais do ambiente, que podem ser utilizados como insumos alternativos para o manejo de diversas culturas. Suas propriedades químicas, microbiológicas e físicas podem garantir um incremento na produtividade em decorrência dos benefícios que

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 43

promove para a estrutura física e química do solo e para o metabolismo da planta.

Substâncias húmicas são constituintes da matéria orgânica dos solos e dos sedimentos que podem melhorar as propriedades do solo e o metabolismo vegetal (Figura 10). São mais importantes as frações húmicas com relação a reatividade e ocorrência nos ecossistemas os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos.

Considera-se que as substâncias húmicas aumentam o movimento e absorção de íons. Incrementam a respiração e a velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs. Promovem alta produção de ATP nas células radiculares, aumento nos níveis de clorofila e na síntese de ácidos nucleicos. Além de causarem aumento ou redução na atividade de diversas enzimas. Afetando ainda a dinâmica do NH_4^+ no solo.

Diminuem a perda de N para a atmosfera pela redução do N_2 . Consumo de OH^- pelo H^+ , dado pelo ácido orgânico, produz grupos orgânicos com cargas negativas com alta afinidade pelo NH_4^+ , reduzindo seu movimento no solo. Diminui a perda por lixiviação, aumentando a disponibilidade de NH_4^+ para o cultivo.

Existem estudos que demonstram diversos benefícios das substâncias húmicas para alguns cultivos e, ainda, evidências da sua interação bioquímica e fisiológica com o crescimento das plantas. Porém, há necessidade de maior conhecimento da real funcionalidade destes compostos para certas espécies de interesse econômico e do comportamento de cada tipo de substância húmica.

Com a finalidade de conhecer melhor os efeitos das substâncias húmicas na agricultura, este trabalho reúne diversos estudos com o uso de ácidos húmicos e fúlvicos no manejo de diferentes cultivos.

44 Série Produtor Rural nº 71

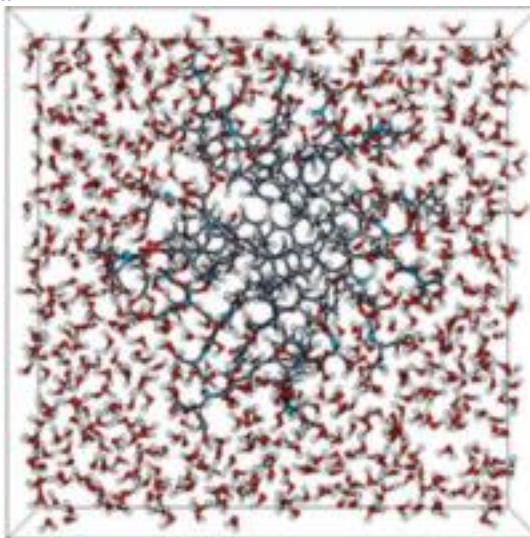


Figura 10 - Modelo computacional simulando a estrutura do ácido húmico dissolvido em água. A fase húmica consiste em grupos ácidos hidrofílicos junto com a água e anéis aromáticos hidrofóbicos agrupados no centro. Átomos de oxigênio em vermelho, hidrogênio em branco e carbono preto e nitrogênio em azul (adaptado de VAN DUINET al., 2000)

2.3.1 Substâncias húmicas como condicionadores

de solo Os condicionadores de solo são substâncias orgânicas com cadeias carbônicas iguais ou semelhantes às presentes na natureza. Estes compostos são oriundos da extração de turfas ou de minas e também podem ser sintetizados industrialmente. Aqueles extraídos da natureza apresentam composição variada, porém, de forma geral, são fontes de ácidos húmicos e fúlvicos. Dentre os condicionadores de solo, existem aqueles que ainda têm sua fórmula complementada com micronutrientes e/ou macronutrientes, para se enquadrarem como fertilizantes organominerais. Os ácidos húmicos e fúlvicos fazem parte da composição orgânica do solo (húmus) e os condicionadores do solo tendem a simular esta composição. O húmus é formado a partir da decomposição da biomassa do

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 45

solo em compostos orgânicos. As substâncias húmicas possuem alta capacidade de troca de cátions e estão presentes em solos, águas e sedimentos com matéria orgânica estável, sendo originadas da deposição e/ou da degradação de resíduos orgânicos vegetais e animais, do metabolismo biológico destes compostos, da ciclagem do C, H, N e O da matéria orgânica do solo, pela biomassa microbiana e, ainda, da polimerização microbiológica dos compostos orgânicos cíclicos, resultando em substâncias complexas com diferentes pesos moleculares. São caracterizadas como macromoléculas com interações intermoleculares hidrofóbicas que podem ser desestruturadas quando em contato com pequenas concentrações de soluções de ácidos mono, di e tri carboxílicos. A extração das substâncias húmicas pode ser realizada com compostos alcalinos, passando posteriormente por um processo de estabilização e, quando necessário, por adição de nutrientes.

As substâncias húmicas possuem 4 propriedades principais devido a sua estrutura:

- Polifuncionalidade: grande número de grupos funcionais proporcionando amplo espectro de reatividade;
- Carga macromolecular negativa: permite maior reatividade com outras moléculas;
- Hidrofilicidade: tendência de formar fortes pontes de hidrogênio com a água;
- Maleabilidade estrutural: capacidade de associação

intermolecular e mudança na conformação molecular em função da mudança de pH, dos valores de redox, da concentração eletrolítica e da ligação com grupos funcionais.

As substâncias húmicas são constituídas de ácido húmico, ácido fúlvico, huminas e ácidos himatomelânicos (Figura 10).

Os ácidos húmicos constituem a maior fração das substâncias húmicas, tratam-se de precipitados escuros, solúveis em ácidos minerais e solventes orgânicos. Tem elevado peso molecular, capacidade de troca de cátions

46 Série Produtor Rural nº 71

entre 350 e 500 meq 100 g⁻¹, com origem na lignina, possuem alto teor de ácidos carboxílicos e significativas quantias de nitrogênio. Os ácidos fúlvicos são solúveis em água, soluções ácidas e alcalinas. Apesar de possuírem similaridade estrutural aos ácidos húmicos, apresentam menor peso molecular, maior quantidade de compostos fenólicos e de grupos carboxílicos e uma menor quantidade de estruturas aromáticas. Estas características lhes conferem melhor solubilidade em água e maior capacidade de troca catiônica (700 a 1000 meq 100 g⁻¹). As huminas compõem um resíduo extraível e correspondem à fração menos humificada das substâncias húmicas. São materiais complexos, quimicamente heterogêneos, inativos, insolúveis em soluções ácidas e alcalinas.

Os ácidos himatomelânicos formam suspensões ou soluções coloidais quando em mistura com a água e possuem menor peso molecular que os ácidos húmicos, mas com composição elementar semelhante.

2.3.2 Benefícios das substâncias húmicas

As substâncias húmicas influenciam diretamente a estrutura física, química e microbiológica dos ambientes onde estão presentes, assim como afetam o metabolismo e o crescimento das plantas. São usadas como insumos com a finalidade de melhorar as condições do solo para o desenvolvimento, principalmente, do sistema radicular das culturas implantadas.

As influências na estrutura física ocorrem através da maior retenção de água, melhoria da aeração e, por consequência, maior

resistência à erosão devido às suas partículas coloidais, que são capazes de formar uma emulsão em contato com a água. As melhorias químicas ocorrem em função da atuação como agentes complexantes, o que desfavorece a manutenção de íons metálicos na solução do solo e, assim, promovem redução da toxidez destes elementos. Além disso, aumentam o poder tampão dos solos, reduzindo as variações de pH do meio.

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 47

O incremento de fósforo solúvel através da complexação de Fe^{+2} e Al^{+3} em solos ácidos e do Ca^{+2} em solos alcalinos, também são características das substâncias húmicas. Com isso, tem-se que as substâncias húmicas promovem melhoria na agregação do solo e, assim, redução da densidade, maior capacidade de retenção de água, estabilidade no pH, aumento da CTC e da matéria orgânica, menor perda de nutrientes potenciais e redução na perda de nitrato. O efeito mais evidente dos ácidos húmicos é sobre sua dinâmica no nitrogênio amoniacal, já que quando há adição de ácidos no solo, ocorre aumento da concentração de NH_4^+ e redução de NH_3 . Com isso ocorre uma diminuição significativa da forma mais volátil do N. E este processo ainda gera radicais orgânicos com carga negativa que tem grande afinidade com NH_4^+ , ajudando a retê-lo, diminuindo sua lixiviação no solo, deixando-o mais disponível às plantas. Testou-se o efeito do uso de um condicionador orgânico (20-0-0) em condição laboratorial. Neste experimento, confirmaram a excelente retenção do nitrogênio no solo com o uso do condicionador, diferente do solo contendo apenas aquamônia.

Em estudo com avaliação das propriedades redox de ácidos húmicos em solos cultivados com cana por longo tempo, foi demonstrado que estas substâncias, originadas da palhada e da vinhaça da cana, resultam em maiores teores de grupos fenóis, quinonas e semiquinonas, além de COx mais elevado do que em solos com cana queimada e sem vinhaça. Isso retrata o importante papel dos ácidos húmicos como condicionadores de solo devido a suas propriedades redox.

Estudos recentes identificaram a eficiência das substâncias húmicas em complexar certos metais pesados como mercúrio e níquel, em solos de cultivo. Verificou-se que com o uso de substâncias húmicas em solos contaminados com mercúrio, houve redução dos níveis deste metal em função da relação entre a quantidade de mercúrio e a fração húmica, independente do pH do solo. O efeito positivo destas substâncias em solos contaminados

com níquel também foi observado no cultivo de sorgo. Na fração de ácido fúlvico, houve melhor controle do metal para o cultivo do sorgo.

48 Série Produtor Rural nº 71

Esta capacidade dos ácidos húmicos e fúlvicos de complexar certos metais, também pode trazer benefícios para os solos cultiváveis, já que podem complexar Fe de forma que façam parte da sua configuração e, por consequência, atribuir maior fertilidade ao solo de cultivo. Foi demonstrado que existe uma forte interação do Fe na estrutura conformacional dos ácidos húmicos e que eles ficam mais fortemente ligados quando em condições de pH baixo.

Já em relação às interferências no metabolismo das plantas, devido à sua alta capacidade de troca catiônica, possuem a propriedade de complexar, e, com isso, disponibilizar, cátions às plantas, principalmente micronutrientes. Estas interferências não só estão relacionadas com os nutrientes que estas substâncias fornecem para as plantas, como também devido ao estímulo direto no desenvolvimento e no metabolismo destas plantas. Existem alguns estudos que demonstram os efeitos positivos na germinação de sementes, no crescimento inicial das raízes, na biomassa da planta e no auxílio na defesa da planta contra estresses.

O crescimento, o padrão de formação e a diferenciação dos órgãos vegetais, são etapas do desenvolvimento vegetal alterados, frequentemente, pelas substâncias húmicas. Esta ação estimulante é atribuída, em geral, a um efeito direto dos hormônios vegetais ou ainda no comportamento hormonal das plantas, em especial ao hormônio auxina, que pode ser estimulado na presença de ácidos húmicos, resultando em crescimento do sistema radicular das plantas.

As substâncias húmicas podem influenciar em processos de formação das proteínas, com aumento de síntese das enzimas invertase e peroxidase, porém sem agir na síntese de fosfatase e na incorporação de aminoácidos em proteínas, atuando, portanto, na formação de um novo RNA.

Em *Arabidopsis thaliana* a aplicação de substâncias húmicas, promoveu modulação diferencial na expressão de 133 genes, a partir de 30 minutos de aplicação. Em 75 % dos genes a expressão foi aumentada e em 25 % foi reprimida. A maioria dos genes com expressão aumentada estão relacionados com processos metabólicos e celulares, perfazendo 34 % do total, seguido por

genes relacionados a resposta a estímulos e estresses (9 %). Dos genes

reprimidos, 41 % correspondem a atividades catalíticas de enzimas. Assim, as substâncias húmicas atuam em uma rede complexa na planta, acelerando o metabolismo, essencial para ativação de vários processos nas plantas, como síntese hormonal e crescimento.

2.3.2.1 Alívio de estresses

As substâncias húmicas também podem atuar na proteção de efeitos tóxicos para as plantas, promovidos pela ação de pesticidas, fertilizantes e esterco não-curtido. Esta proteção é decorrente da presença de uma rede de cargas negativas na sua estrutura, capaz de reagir com os compostos orgânicos que contém nitrogênio. Este tipo de interação é complexa, porém permite que herbicidas do grupo dos íons dipiridílicos desapareçam do ambiente do solo quando aplicados junto com as substâncias húmicas. No entanto, no caso dos herbicidas do grupo das dinitroanilinas, as substâncias húmicas complexam estes compostos, permitindo que os mesmos sejam absorvidos pelas plantas. Em *Vicia faba*, a aplicação de ácido húmico suprimiu os efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento das raízes laterais e principais e ao mesmo tempo permitiu uma maior absorção de nutrientes. Para o caso do alumínio isto possui importância, uma vez que o sintoma clássico é a inibição do crescimento radicular. Em solos ácidos o alumínio é solúvel e assume formas tóxicas, inibindo o crescimento radicular. Tendo em vista que quase 50 % dos solos aráveis são ácidos e localizados principalmente nos países em desenvolvimento, deve-se considerar a aplicação de ácidos húmicos associada a tradicional calagem. Há carência da realização de estudos mais detalhados para fins de entendimento dos efeitos e assim como sobre doses de aplicações para cultivos.

Outro fator limitante para agricultura são solos com altas concentrações de sais, onde o crescimento da planta é reduzido e a produtividade afetada. A aplicação de ácido húmico em um estresse salino moderado (8mM) em plântulas do cultivar Demre de pimenta, resultou em um maior crescimento radicular, avaliado pelo peso fresco e seco da raiz. Além disso, houve um incremento no

50 Série Produtor Rural nº 71

apical. O benefício da aplicação de substâncias húmicas em solos salinos ocorre pela presença de Ca, Mg e K em sua composição. Esses sais mantêm os sítios de troca catiônica ativos, agregando-se com outros elementos. De certa forma, o Na se torna mais diluído e pode ser perdido por lixiviação. O agregado formado entre as substâncias húmicas e os nutrientes torna-os mais disponíveis para as plantas (Figura 11).

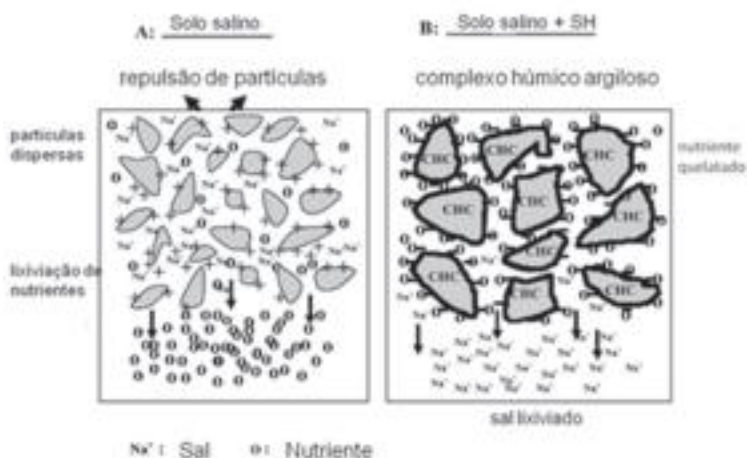


Figura 11 - Modelo proposto do efeito da aplicação de substâncias húmicas (SH) em solos salinos (adaptado de OUNI et al., 2014)

2.3.2.2 Desenvolvimento do sistema radicular

Um sistema radicular com bom desenvolvimento é sempre desejável para qualquer cultura. Raízes são importantes para a fixação da planta no solo, absorção de água e nutrientes e síntese hormonal. Procura-se cada vez mais aplicar substâncias ou melhorar cultivares para apresentarem um sistema radicular mais robusto, reduzindo a adubação e garantindo vantagem em solos mais pobres. Os efeitos mais notáveis

promovem efeito positivo no crescimento, seja pelo aumento das ramificações laterais, ou pelo incremento de sua biomassa. Estes efeitos estão relacionados aos mesmos efeitos da auxina. Isso ocorre, uma vez que a presença dos ácidos húmicos no solo estimula a síntese de auxina ou age de forma semelhante a ela, já que resulta em expansão e alongação das células, promovendo o crescimento das raízes. Uma vez sintetizada, a auxina sinaliza para as células do periciclo entrarem novamente em divisão celular e dar origem às raízes laterais (Figura 12). Em milho já foi demonstrada a indução de raízes laterais, tanto por ácidos húmicos como pela aplicação de auxina. A expansão celular se deve a síntese de H^+ ATPases, responsáveis pelo bombeamento de prótons, com síntese de ATP. Esta variação do potencial eletroquímico leva a uma redução do pH, permitindo maior atividade de enzimas da expansão celular. Os ácidos húmicos e fúlvicos podem estar envolvidos em algumas das vias de estimulação do bombeamento de prótons, e as ATPases podem ser consideradas marcadores metabólicos da bioatividade destes condicionadores de solo.

Existem evidências de que os ácidos húmicos dependem em especial do índice de hidrofobicidade do meio para que consigam interagir bioquimicamente com as células do tecido radicular. Para isso, há necessidade de que os domínios hidrofóbicos estejam aptos para serem liberados, situação que ocorre, possivelmente, a partir da ação de ácidos exsudados da raiz e por moléculas, como a auxina, que exercem um estímulo na membrana celular. Este processo foi evidenciado em culturas de milho, tomate e em plantas de *Arabidopsis*, quando cultivadas em substrato com mistura de compostos orgânicos e derivados húmicos. As estruturas das substâncias húmicas são estabilizadas por forças relativamente fracas (ligações do tipo van Der Waals), que na presença de ácidos orgânicos, são facilmente quebradas, resultando em subunidades bioativas com atividade auxínica, que sensibilizam receptores da membrana plasmática ou do citoplasma, desencadeando resposta típica da ação deste hormônio vegetal.

Uma das hipóteses sobre o mecanismo com que os ácidos húmicos e fúlvicos modificam a arquitetura da raiz envolve a síntese de auxina. O

Arabidopsis thaliana promoveu ativação dos promotores da síntese da auxina (DR5 GUS), com posterior transcrição do gene responsivo da auxina (IAA19). Em tomateiro, também foi observada a ativação da transcrição de promotores responsivos à síntese de auxina (DR5 GUS). A síntese de auxina é importante para o desenvolvimento da raiz e estimula a formação de raízes laterais, importantes para a absorção de água e nutrientes. Em milho, foi demonstrado que o estímulo para a modificação da arquitetura radicular, especialmente o surgimento de raízes laterais, envolve a produção de óxido nítrico, após a aplicação de ácidos húmicos. O óxido nítrico estimula a atividade de H⁺ATPase e a síntese de auxina. A auxina também estimula a síntese e atividade das H⁺ATPases. A atividade acidifica o apoplasto, contribuindo para o afrouxamento das paredes celulares, permitindo o crescimento da raiz (Figura 12).

Como as raízes laterais são mais finas, têm maior área de contato e absorvem maior quantidade de nutrientes e água do que as raízes principais, quando na presença de substâncias húmicas, aumentam em quantidade e tamanho, já que são estimuladas pelos ácidos húmicos e fúlvicos.



Figura 12 - Aplicação de substâncias húmicas e desenvolvimento de raízes laterais via sinalização por auxina e óxido nítrico. Compostos de natureza auxínica presentes nas substâncias húmicas e auxina sintetizada pela planta sinalizam na raiz para que as células do periciclo entrem novamente em divisão celular, originando raízes laterais. A atividade de H^+ ATPases é ativada, aumentando a extrusão de prótons e atividade de enzimas sobre a parede celular, favorecendo a divisão e expansão da célula via rearranjos de parede celular. O óxido nítrico induz a síntese de auxina e o desenvolvimento de raízes laterais. Raízes laterais aumentam o volume radicular, a superfície de contato e a massa seca do órgão, melhorando a capacidade de absorção, importante para a produtividade (adaptado de ZANDONADI et al., 2010).

Em aparente contradição, foi encontrado que a aplicação de ácidos húmicos purificados em pepino (*Cucumis sativus*) não possui correlação com as mudanças nos níveis de auxina, etileno e óxido nítrico, gerando a diferenciação na arquitetura radicular. A explicação é que para esta espécie, fatores ainda desconhecidos possuem ação coordenada e independente dos hormônios,

modificando a arquitetura radicular.

Substâncias húmicas aplicadas em *Arabidopsis thaliana* causam expressão diferencial de genes. Dentre os genes ativados encontram-se aqueles responsivos a estresses e estímulos. Em teoria, a ativação destes genes, pode tornar a planta menos sensível aos estresses pelo aumento da capacidade de resposta. Assim, a planta pode perceber rapidamente o estresse em questão, gerando em contrapartida uma resposta. Isto tem impacto positivo na agricultura, no sentido de se cultivar plantas mais tolerantes a estresses.

Outros estudos demonstraram que os ácidos húmicos e fúlvicos além de resultarem em crescimento do sistema radicular, incrementam também a biomassa da parte aérea. Isso devido a uma ativação das ATPases bombeadoras de prótons presentes na membrana celular, que levaram a uma maior troca de íons e, assim, maior absorção de nutrientes, como nitratos, os quais favorecem o crescimento vegetativo. Estas evidências também foram encontradas em estudos com milho e pepino.

Apesar dos efeitos benéficos dos ácidos húmicos e fúlvicos no desenvolvimento do sistema radicular, a dosagem em questão deve ser escolhida com base em ensaios. Quando aplicadas corretamente, baixas concentrações estimulam o desenvolvimento radicular e absorção de nutrientes, por outro lado, altas concentrações podem ter efeito de redução no desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. Como exemplo, em geranium, uma dosagem de 2500 mg L⁻¹ de ácido húmico aplicado no substrato, resultou em maior peso fresco de raízes e de plântulas, comparado a dosagem de 5000 mg L⁻¹. O incremento de ácido húmico não resultou em maior peso fresco. Além disto, as mesmas dosagens para abóbora e pepino não resultaram em diferenças no peso fresco em relação ao controle, com apenas água aplicada no substrato.

2.3.2.3 Síntese de enzimas

As substâncias húmicas também podem estimular maior síntese de proteínas, em especial de enzimas relacionadas à parede celular, através da síntese de novo RNA. O uso destas substâncias (10% de ácido húmico + 10,2% de ácido fúlvico) na cultura do tomateiro resultou em estímulo para síntese das enzimas pectinametilsterase e poligacturonase. Com isso, houve perda

de firmeza dos frutos. O aumento da síntese destas enzimas e também da perda de firmeza dos frutos, foi proporcional ao aumento das doses de substâncias húmicas adicionadas. Este tipo de comportamento está também relacionado às respostas da planta ao aumento da auxina, esse hormônio vegetal, com função de crescimento e alongação celular, promove um incremento na síntese das enzimas de degradação da parede celular, facilitando, assim, o processo de crescimento e expansão celular. Desta forma, a escolha do uso de substâncias húmicas para o manejo de diferentes culturas deve ser cuidadosa, a fim de se evitar prejuízos, em função de desequilíbrio hormonal e enzimático.

2.3.2.4 Germinação de sementes

As propriedades que os ácidos húmicos e fúlvicos possuem de estimularem a síntese de hormônios vegetais, como a auxina, e ainda de enzimas, promovem outros efeitos nas plantas, que favorecem a germinação, florescimento e crescimento da parte aérea. Estudos com *Petúnia* em cultivo protegido, demonstram que o uso de substâncias húmicas acelera o processo de germinação das sementes e incrementa o crescimento e florescimento. O aumento da germinação das sementes é proporcional à quantidade de substâncias húmicas aplicada. O crescimento vegetativo, assim como, do sistema radicular, tem um comportamento exponencial em relação ao aumento da dose dos compostos húmicos, já que abaixo e acima de 30 - 40% de vermicomposto e abaixo ou acima de 60 - 70% de MM360 (mistura de compostos orgânicos à base de fibra de coco, vermiculita, calcário dolomítico e turfa) tem-se menor quantidade de raiz e de massa seca. A presença destes compostos permite que ocorra estímulo na produção de

auxina, giberelina e citocinina em plantas, devido, provavelmente, a atividade de minhocas no composto orgânico, aumento na atividade de enzimas que estão relacionadas com os processos de germinação, florescimento e crescimento vegetativo, aumento de microrganismos próximos a superfície das raízes, que tem maior facilidade de penetração devido ao maior afrouxamento da parede celular em decorrência da presença de compostos com subunidades da auxina.

REFERÊNCIAS

BEAUCLAIR, E.G.F.; GULLO, M.J.M.; TOMAZ, H.V.Q.; SCARPARI, M.S.; OTAVIANO, J.A. Uso de condicionador de solo a base de ácido húmico na cultura da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, p. 42-45, 2010.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; MÉDICI, L.O.; PERES, L.E.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: Ed. do Autor, 2005. p. 224-243.

CASTRO, P.R.C.; CARVALHO, M.E.A.; MENDES, A.C.C.M.; ANGELINI, B.G. **Manual de estimulantes vegetais**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2017. 453 p.

CARON, V.A.; GRAÇAS, J.P.; CASTRO, P.R.C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba; ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2015. 46 p. (Série Produtor Rural, 58)

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 57

CHEN, Y.; De NOBILI M., AVIAD T. Effects os humic substances on plant growth. In: MACCARTHY, P.; CLAPP, C.E.; MALCOM, R.L.; BLOOM P.R. (Ed.). **Humic substances in soils and crop science: selected readings**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p. 161-186.

CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M.C. Interaction of humic substances and soil clays. In: PICCOLO, A. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. p. 595-625.

GONZÁLEZ, M.; GOMEZ, E.; COMESE, R.; QUESADA, M.;

CONTI, M. Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. **Bioresource Technology**, New York, v.101, p. 8897-8901, 2010.

OUNI, Y.; GHNAYA, T.; MONTEMURRO, F.; ABDELLY, C.; LAKHADAR, A. The role of humic substance in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. **International Journal of Plant Productivity**, Berlin, v. 8, n. 8, p. 353-374, 2014.

QUAGGIOTTI, S.; RUPERTI, B.; PIZZEGUELLO, D.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLLI, V.; MARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p.803-813, 2004.

SEQUI, P. Humic substances: general influences on soil fertility. In: BURNS, R.G.; DELLÁGNOLA, G.; MIELE, S.; NARDI, S.; SAVOINI, G.; SCHNITZER, M.; SEQUI, P.; VAUGHAN, D.; VISSER, S.A. **Humic substances**: effects on soil and plants. 1986.

2.4 Aminoácidos

A utilização de aminoácidos na agricultura tem sido praticada por várias décadas, no Brasil e no mundo, em diversas culturas. O número de empresas, ofertando no comércio uma ampla gama de produtos, à base de aminoácidos, vem aumentando consideravelmente. Muitos técnicos e produtores relatam benefícios na utilização destes bioestimulantes. Devem se desenvolver trabalhos científicos que demonstrem maior eficácia destes produtos. A ausência de fiscalização e a classificação como aditivos ou fertilizantes para a venda no comércio, dificulta a avaliação da eficiência destas substâncias nas plantas.

2.4.1 Aminoácidos nas plantas

Os aminoácidos são moléculas de características estruturais em comum, formados por um carbono central, quase sempre assimétrico, ligado a um grupamento carboxila (COOH), um grupamento amino (NH₂) e um átomo de hidrogênio. Além destas três estruturas, os aminoácidos apresentam um radical chamado genericamente de “R”, que diferencia os mesmos.

Várias hipóteses são atribuídas aos aminoácidos. As principais funções dos aminoácidos seriam:

- Síntese de proteínas;
- Compostos intermediários dos hormônios vegetais endógenos;
- Efeito complexante em nutrientes e outros agroquímicos;
- Maior resistência ao estresse hídrico e de alta temperatura;
- Maior resistência ao ataque de doenças e pragas.

Entretanto tais afirmativas carecem de fundamentos científicos. O efeito dos aminoácidos nas plantas, tem sido investigado por alguns autores, entretanto ainda existem dúvidas básicas como:

- Absorção de aminoácidos pelas plantas;
- Utilização pela planta de aminoácidos exógenos;
- Locais de ação no metabolismo vegetal.

Não têm sido encontrados, porém, trabalhos que demonstrem efetivamente a ação positiva da aplicação direta de aminoácidos em plantas.

Existem controvérsias sobre a utilização de aminoácidos na agricultura, uma vez que a aplicação isolada dos mesmos raramente tem mostrado efeitos significativos na produtividade. A dificuldade de absorção dos aminoácidos, a necessidade das plantas por aminoácidos específicos e a posição intermediária dos mesmos no metabolismo secundário, são aspectos que interferem na correta interpretação de seus modos de ação. Diversos produtos comerciais que contém aminoácidos também possuem nutrientes minerais e outros compostos, dificultando a caracterização do efeito específico dos mesmos sobre as plantas. Considera-se a partir de algumas evidências, que alguns aminoácidos podem agir como protetores das plantas da ação de sais minerais e outros agroquímicos ou, ao contrário, incrementar a absorção e efeito desses produtos. Consideramos que os aminoácidos podem ser enquadrados no grupo de bioativadores, compostos capazes de

agir em processos morfofisiológicos do vegetal como precursores de um hormônio endógeno ou de enzimas e da disponibilização de compostos formadores de promotores de crescimento. O triptofano, por exemplo, é um conhecido precursor do ácido indolilacético, auxina promotora de crescimento vegetal. A arginina 20 ppm mostrou-se eficiente para incrementar a emergência da cana-de-açúcar. Este aminoácido adicionado na solução nutritiva, substituindo uma pequena fração do nitrogênio, apresentou forte efeito positivo no crescimento da cana. Presença de arginina estimulou o desenvolvimento das células de cana em meio de cultura. A metionina é também uma conhecida precursora do etileno, responsável pela maturação de frutos e senescência vegetal.

Considerou-se que compostos orgânicos nitrogenados poderiam ser usados como fonte de nutrição nitrogenada em plantas superiores assim como já era utilizada em meio de cultura para microrganismos, reconhecendo que as plantas, em adição a íons inorgânicos, podem também assimilar componentes orgânicos, tais como ácidos orgânicos, aminoácidos e ácidos nucleicos. Assim, a extensa variação na composição de substâncias básicas como os já citados produtos metabólicos, nos diferentes estádios do crescimento vegetal, implica em uma requisição e assimilação destes pelas plantas que diferem proporcionalmente nestes estádios.

60 Série Produtor Rural nº 71

Caso a afirmativa dos autores supracitados esteja correta, os vegetais podem ser desejavelmente suplementados com componentes primários de proteínas e ácidos nucleicos nas proporções requeridas em cada estágio da planta. Estes autores, utilizando-se de alguns aminoácidos marcados com ^{14}C (ácido aspártico, ácido glutâmico, treonina e prolina), além de bases nitrogenadas de ácidos nucleicos marcados com o mesmo radioisótopo (adenina, guanina, citosina e uracila), estudaram a aplicação destes em plantas de arroz nos estádios de plântula, estágio reprodutivo e estágio de espiga jovem. Determinou-se que no estágio de plântula, os aminoácidos foram incorporados na seguinte ordem, em quantidade: ácido aspártico > ácido glutâmico > prolina > treonina. Já por outro lado, no estágio reprodutivo do vegetal, a incorporação dos mesmos aminoácidos tomou a seguinte ordem: prolina > ácido glutâmico > treonina > ácido aspártico.

Similarmente, na espiga jovem, a ordem de velocidade de absorção dos mesmos aminoácidos foi: ácido glutâmico > prolina > treonina > ácido aspártico. Os dados sugerem que diferenças existem na proporção de vários aminoácidos a serem incorporados na fração insolúvel em água entre diferentes estádios e entre a planta integral e cada parte específica desta.

Sugeriu-se que no estádio de plântula, a síntese de proteína pode ter um grande requerimento para os aminoácidos ácido aspártico e ácido glutâmico. Por outro lado, no estádio reprodutivo ou na fase de espiga jovem a planta pode utilizar mais prolina do que outros aminoácidos. Assim, diferentes aminoácidos podem ser requeridos em quantidades diferentes em vários estádios do desenvolvimento da planta.

Os mecanismos de ação da tiamina e do ácido nicotínico sobre o crescimento das plantas ainda não foram desvendados completamente. A tiamina associada a duas moléculas de ácido fosfórico produz o pirofosfato de tiamina (co carboxilase) que em muitas enzimas exerce a função de coenzima.

Supõem-se que a tiamina age, de forma parecida com a dos hormônios vegetais, sobre a atividade de genes. Um dos fatores regulativos da atividade dos genes em organismos superiores são as proteínas dos cromossomos. Elas são subdivididas em dois grupos principais: as proteínas básicas ou histonas e as proteínas não-histônicas. Sobre o efeito de tiamina, a

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 61

quantidade de histonas de todas as frações individuais delas e das cromoproteínas não-histônicas aumentaram nas sementes de ervilha de 87 a 245% em comparação ao controle. No decorrer do crescimento, porém, a quantidade de histonas das plantas tratadas com tiamina diminuiu de 15 a 52% em comparação com as plantas controle.

A maior quantidade de proteínas não-histônicas foi encontrada em germens de plantas de 12 a 25 dias de idade, ou seja, 106 a 120mg g⁻¹ de cromatina seca. Sob efeito de tiamina, a quantidade de proteínas cromossômicas não-histônicas, em comparação com o controle, diminuiu em 52% até o terceiro dia após a germinação. Depois disso começou lentamente um estímulo, de modo que o controle finalmente foi superado em 37%.

É de se supor que a tiamina exógena, nas fases iniciais do crescimento, atua como inibidora da atividade dos genes,

reprimindo muitos genes; nas fases seguintes, no entanto, ela atua como ativadora de genes.

Analisou-se a inibição de um aminoácido em alta concentração atuando sobre outro. Estes estudos de competição entre aminoácidos permitem identificar grupos de aminoácidos que presumivelmente compartilham do mesmo sistema de transporte. O autor mostra que metionina e alanina apresentam-se virtualmente sempre como fortes inibidores relativos para outros aminoácidos. O estudo mostrou dois sistemas de transporte gerais: (a) metionina, alanina, fenilalanina, tirosina, leucina, cisteína, serina, glicina, triptofano, glutamina, treonina, valina, isoleucina, ácido glutâmico, prolina, histidina, lisina, asparagina, arginina e ácido aspártico; (b) asparagina, arginina e ácido aspártico. Este trabalho tem a importância de separar os aminoácidos, de forma que uma maior eficiência de absorção quando da aplicação via foliar seja obtida, impedindo que interações negativas dificultem a assimilação dos mesmos.

Observou que no caso específico do tomateiro, somente os aminoácidos: ácido glutâmico, lisina, histidina, fenilalanina, leucina, isoleucina, valina, serina e prolina mostraram efeitos positivos no crescimento. Outros aminoácidos pareceram não serem essenciais sob as condições testadas deste experimento.

62 Série Produtor Rural nº 71

O L-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA), aminoácido não proteico sintetizado via oxidação da tirosina, é precursor de diversos compostos orgânicos importantes para o metabolismo das plantas, constituindo-se ainda um poderoso aleloquímico. O aminoácido aumentou a atividade de peroxidases, lignina e fenóis, tendo reduzido o crescimento das raízes das plantas de soja. Os aminoácidos essenciais lisina, treonina, metionina e isoleucina são derivados do ácido aspártico. No entanto, os cereais apresentam deficiências de lisina e treonina, enquanto que as leguminosas apresentam deficiência do aminoácido metionina. Na década de 60, a constatação de que os mutantes de milho opaco e floury apresentavam aumentos nas concentrações de lisina abriu novas perspectivas para estudos bioquímicos e moleculares que têm levado a um melhor entendimento dos processos relacionados à biossíntese, degradação e ao acúmulo de lisina na forma solúvel ou incorporada às proteínas de reserva. Os resultados demonstraram que a adição de 1mM de lisina foi suficiente para causar uma forte

inibição na atividade da dihidropicolinato sintase (DHDPS) que variou entre 79% e 86% para os mutantes Oh43fl2 e Oh43fl1, respectivamente. A adição de 1mM e 5mM de treonina não causou efeitos inibitórios sobre a atividade da enzima. Um padrão semelhante foi observado com a adição de metionina e SAM (S-adenosil metionina). No entanto, a adição de 1mM de AEC (aminoetil cisteína) causou inibição na atividade enzimática que variou entre 40% e 75% para os genótipos Oh43o2 e Oh43fl1, respectivamente, enquanto que a adição de 5mM de AEC ao ensaio, provocou níveis de inibição semelhantes aos observados para 1mM de lisina, variando entre 67% e 86% para os genótipos Oh43fl2 e Oh43+, respectivamente. Os resultados confirmam, em todos os genótipos analisados, a presença de uma forma da enzima DHDPS, altamente sensível à inibição por lisina que pode ser capaz de controlar a síntese de lisina desviando o fluxo de carbono para o ramo da via metabólica que conduz à síntese de treonina, visto que a DHDPS compartilha com a HSDH o mesmo substrato, ASA. Além disso, o aminoácido lisina não se mostrou específico para a inibição da atividade enzimática, pois a presença de AEC também provocou reduções na atividade da DHDPS.

Verificou-se através de estudos histo-autoradiográficos, utilizando aminoácidos marcados, que células vivas dos tricomas de *Tillandsia paucifolia* (Bromeliaceae) podem ser capazes de absorver aminoácidos livres de soluções extrafoliares. Resultados similares foram obtidos com outras espécies de *Tillandsia*. Quando soluções contendo ^3H leucina são colocadas na superfície das folhas, os tecidos acumulam uma quantidade considerável de material marcado em 30 minutos, a maioria do qual é concentrado no interior das células da haste do tricoma. Experimentos de absorção demonstraram entrada líquida simultânea de aminoácidos. Após 2 a 3 horas de exposição, as concentrações de 17 aminoácidos foram reduzidas. Arginina e lisina foram absorvidas mais rapidamente, numa taxa média de $115,2 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de matéria seca. Todos os outros aminoácidos foram absorvidos numa menor magnitude. Aminoácidos neutros foram removidos da solução a uma taxa média de $27,9 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de matéria seca, enquanto aqueles acidílicos foram absorvidos a $9,6 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de matéria seca.

Asparagina foi o único aminoácido que mostrou efluxo líquido

para o meio. Entretanto, em todos os casos, observou-se que as perdas são muito menores do que a absorção combinada dos outros 17 aminoácidos. A taxa de absorção combinada por um período de duas horas foi de $650 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de matéria seca para os 17 aminoácidos; sendo que o correspondente efluxo líquido de asparagina foi de 79 nmol g^{-1} de matéria seca. Assim, o acúmulo líquido de aminoácidos do meio durante o período de duas horas foi da ordem de 571 nmol g^{-1} de matéria seca. Foi evidenciado que o sistema geral de transporte de aminoácidos nas plantas possui uma baixa afinidade para a asparagina.

O influxo de leucina e lisina marcadas foi igual à entrada líquida desses aminoácidos. A entrada líquida de arginina parece ocorrer mais rapidamente do que o influxo do material marcado. Isto sugere que a arginina é metabolizada durante a realização do experimento e que algum produto metabólico marcado é liberado no meio.

As concentrações de arginina, lisina e leucina nas folhas foram de $8,6 \text{ }\mu\text{M}$, $0,5 \text{ }\mu\text{M}$ e $17,2 \text{ }\mu\text{M}$, respectivamente. A concentração total interna de

64 Série Produtor Rural nº 71

aminoácidos foi de $8,2 \text{ mM}$, da qual asparagina participou com 70% ou $5,7 \text{ mM}$. No caso da lisina a entrada continua, mesmo com baixas concentrações externas (28 mM), contra um gradiente de concentração. A entrada líquida de leucina e arginina também ocorre contra significativos gradientes de concentração, sugerindo transporte ativo. Considera-se possível que sementes de orquídeas em germinação e plântulas em desenvolvimento possam absorver aminoácidos. Alguns autores sugerem que aminoácidos e amidas podem ser absorvidos diretamente do solo pelas raízes. Verificou-se que o fornecimento de diferentes aminoácidos para raízes aéreas formadoras de betalaína, em cultura, na beterraba amarela (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* cv. Golden Beet), mostrou que todos os aminoácidos produziram as betaxantinas correspondentes. O fornecimento de aminoácidos em hipocótilos de *B. vulgaris* L. subsp. *vulgaris* cv. Altamora levou a resultados similares. Não têm sido encontrados porém, trabalhos que demonstrem a ação positiva da aplicação direta de aminoácidos em plantas.

Verificou-se que a colocação de uma gota da solução de aminoácidos marcados, sobre uma folha de soja, possibilitou a absorção e translocação dos diversos aminoácidos para o interior

da planta, com velocidades e direções diferentes.

Mostrou-se que aminoácidos moveram-se de uma solução através das extremidades cortadas da haste de trigo, até as espiguetas. Demonstrou-se que, quando uma folha de *Rheum* sp. é coberta por uma câmara contendo $^{14}\text{CO}_2$, em um período de 3 a 4 minutos, encontram-se nas nervuras adjacentes não somente açúcares marcados, mas também ácidos orgânicos e aminoácidos marcados com ^{14}C . Observou-se que os aminoácidos são mais móveis do que os ácidos orgânicos. Em *Rheum* sp. os aminoácidos mais móveis foram a treonina, serina e alanina. Colocou-se uma gota de solução contendo aminoácidos marcados sobre um pecíolo cortado de uma folha primária de soja. Os diversos aminoácidos foram transportados no interior da planta em velocidades e direções diferentes. Em plantas com 17 dias, a serina que se acumula rapidamente em tecidos jovens, era muito móvel, enquanto que a asparagina e a glutamina

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 65

moveram-se lentamente. Em plantas com mais idade, essas relações se tornaram invertidas. As velocidades de transporte variaram entre o mínimo de 350 cm h^{-1} para asparagina até 1400 cm h^{-1} para o ácido aspártico.

Observou-se que as taxas de absorção de aminoácidos marcados através do pecíolo cortado da folha primária de soja variaram de 1,0 a 1,5 mL por minuto. Depois de 1 a 5 minutos foi determinada a distribuição de ^{14}C na planta. Os aminoácidos se translocaram íntegros, preferencialmente em direção às raízes, sendo que muito pouco se moveu para a região apical da planta. A quantidade de asparagina ou glutamina translocada para a folha primária, oposta a que teve o pecíolo cortado, aumentou com a idade da folha, enquanto que a quantidade dos outros compostos decresceu. Quando asparagina e serina foram administradas juntas, serina moveu-se para a folha primária enquanto asparagina foi excluída.

Verificou-se que os vasos fibrovasculares isolados das folhas de beterraba açucareira e de outras plantas, têm a capacidade de acumular glicina, além de grande volume de sacarose. Mostrou também, nesses vasos separados, que a sacarose marcada utilizada na respiração converte-se, nos tecidos condutores, em uma mistura de ácidos: pirúvico, hidroxipirúvico, beta-cetoglutarico, oxalacético e glioxílico. Esses cetoácidos conduzem por aminação

e por transaminação aos aminoácidos.

Observou-se que aminoácidos podem ser transportados através da membrana plasmática da célula por meio de transportadores tipo simporte, penetrando na célula paralelamente à entrada de H^+ .

2.4.2 Aminoácidos no florescimento

Pesquisadores interessados nos análogos de bases purínicas e pirimidínicas: uracil e 5-nitrouracil, devido ao último possuir um átomo de nitrogênio (N) adicional do grupo nitro na posição 5 e do importante papel que estas bases possuem no metabolismo e diferenciação celular, verificaram que os tratamentos com uracil e 5-nitrouracil aumentaram significativamente a altura do vegetal e também a massa da matéria fresca e seca da brotação. Os maiores efeitos foram observados em concentrações

66 Série Produtor Rural nº 71

de 200mg L^{-1} para ambas as substâncias. Embora tenha havido significante promoção no crescimento de folhas e hastes, o crescimento de raízes e o número de nós não foram afetados.

Quanto ao florescimento, os autores apresentaram dados que indicam a promoção deste processo, tanto por uracil como por 5-nitrouracil. Significativamente mais flores foram formadas em plantas tratadas com baixas concentrações de uracil (50, 100, 200 e 300mg L^{-1}). A promoção do florescimento causado por tratamento com 5-nitrouracil não foi significativa.

Houve efeito sobre o metabolismo de proteínas, estimado pela quantidade de N total, pois determinou-se aumento em folhas e hastes. O conteúdo de N nas raízes foi mais baixo se comparado com o conteúdo de N presente nas folhas e hastes.

Reportou-se que o uso de uracil intensificou a síntese de ácido ribonucleico (RNA) e, conseqüentemente, de proteínas em várias espécies frutíferas. Sendo que resultados similares foram obtidos com xantina, adenina e guanina aplicadas no estágio de desenvolvimento da planta, promovendo síntese de ácido desoxirribonucleico (DNA). Em plantas de feijoeiro e batata a adição de bases nitrogenadas aumentou significativamente o número de flores produzidas por planta, conforme a Tabela 3.

Tratamento Feijoeiro Batata		
	4	11
Controle Adenina	5	16
Guanina Xantina	-	0*
Uracil	8	27* 50* 30*
Cafeína	9* 6	

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas 67

As características de alteração na época do florescimento e no número de flores podem ser devidas à modificação da indução fotoperiódica como argumentam diversos autores. É sabido que 5-fluoruracil inibe o crescimento de vários tipos de células devido à suspensão da formação de timidina, e que a aplicação desta última diminui os efeitos inibitórios de 5-fluoruracil. Nestes casos, este composto é um inibidor da síntese de DNA.

Trabalhando-se com plantas de *Cannabis sativa* demonstrou-se que a pirimidina 2-thiouracil é altamente efetiva na supressão ou retardamento de certos processos de desenvolvimento e diferenciação nesta espécie, caracterizada como sendo de dias curtos. O autor, visto que a planta é dióica, observou que a resposta ao florescimento de plantas masculinas foi severamente reduzida e quase abolida no caso de plantas femininas. Neste ensaio, plantas de ambos os sexos mostraram algum atraso no desenvolvimento geral, como resultado do tratamento durante a indução fotoperiódica. Embora, em parte a redução da resposta ao florescimento seja atribuída a isto, parece claro que o efeito é ainda mais específico, sugerindo um bloqueio parcial dos processos de desenvolvimento que atuam sobre o florescimento do vegetal, o que, acompanhado de aberrações histológicas, sugere um efeito na diferenciação celular.

Quando o autor promoveu a aplicação de 2-¹⁴C-2-thiouracil marcado e determinou em que proporção esta substância estava presente nos compostos celulares, observou que a maior concentração de radioatividade nas folhas devia-se à fração ribonucleica, implicando que este análogo funciona interferindo com o metabolismo de ácido nucleico.

Sugeriu-se que a inibição do florescimento em *Xanthium*, por 5-fluoruracil afeta a síntese ou a efetividade de produtos do período

de indução no escuro. Considerou-se que esta resposta é mais comumente devida à perda da capacidade de tecidos meristemáticos apicais de reagirem ao estímulo gerado pela folha. Desta maneira, um loci que se apresenta quiescente durante o crescimento vegetativo, e que é ativado durante a indução fotoperiódica, torna-se incapaz de produzir proteínas características na presença de fatores modificadores.

68 Série Produtor Rural nº 71

Verificou-se que IAA levava à formação de gemas vegetativas em hastes de tabaco em meio de cultura. Observou que o thiouracil (base análoga de RNA) levava à formação de gemas florais, sendo esse processo inibido pela base análoga correspondente, uracil. Os trabalhos pioneiros desse autor levaram aos estudos atuais do florescimento baseados na biologia molecular.

2.4.3. Produtividade

Alguns trabalhos apontam melhorias dos parâmetros de produção em várias espécies cultivadas tratadas com aminoácidos. Sob condições de campo, pesquisadores indianos avaliaram os efeitos de produtos à base de aminoácidos, em diferentes dosagens, na produtividade de camélia, espécie arbórea da qual são colhidas folhas para a produção de chás. A maior concentração, de 300 mL ha⁻¹ proporcionou os maiores incrementos na produtividade foliar, levando a aumentos de 19,7%, 33,9% e 37,7% quando utilizados os produtos Fosnutren20R, Kadostim20 e Humiforte20, respectivamente. Kadostim proporcionou acréscimos na quantidade de aminoácidos nas folhas, que ocorreu proporcionalmente ao aumento da dose testada. Além disso, muitas características organolépticas e outros atributos de qualidade (tais como coloração), também foram afetados positivamente, mas estas características variaram com a dose e produtos utilizados.

Em 2002, foram avaliados os efeitos da pulverização foliar com soluções contendo diferentes doses de 3 produtos à base de aminoácidos (0,5; 1,5 e 2,0 mL L⁻¹ de AminoPlus; 1,0, 1,5 e 2,0 mL L⁻¹ de Megafol e 2,5 mL L⁻¹ de Ajifol) sobre o desenvolvimento e produção de tomilho (*Thymus vulgaris*), uma planta medicinal. Foi observado que a aplicação de AminoPlus 1,0 mL L⁻¹ e Megafol 2,0 mL L⁻¹ incrementaram a massa fresca da parte aérea, porção da planta que é comercializada.

Em um abrangente estudo, pesquisadores egípcios observaram que pessegueiros (*Prunus persica* cv. Florida Prince) tratados com produto comercial contendo 85% de aminoácidos [16% na forma de L- aminoácidos

livres (Pepton85/16)], apresentaram melhorias nos parâmetros quantitativos e qualitativos relacionados à produção. O experimento foi conduzido durante dois anos e, dentre os tratamentos testados [1- controle; 2- irrigação a 0,25%; 3- pulverização foliar a 0,25%; 4- irrigação a 0,50%; 5- pulverização foliar a 0,50%; 6- irrigação a 0,25% + pulverização foliar 0,25% (T2+T3) e 7- irrigação a 0,50% + pulverização a 0,50% (T4+T5)], aqueles que utilizaram a aplicação foliar em conjunto com irrigação destacaram-se, pois apresentaram os melhores e mais regulares resultados. Foram observados incrementos significativos nas dimensões dos frutos [comprimento e largura (21,96 e 23,93%, respectivamente)] e, conseqüentemente, no volume (56,73%), peso (47,28%) e ainda na produtividade vegetal (47,68%). Alterações na firmeza (pêssegos tornaram-se mais macios), conteúdo de sólidos solúveis totais (acrêscimos de até 52,35%), acidez (redução de 37,5%) e no conteúdo total de antocianinas (incremento de 52,41%), também foram relatados.

No Nordeste do Brasil, pesquisas mostraram que a aplicação de produtos à base de aminoácidos aumentou o número de frutos por panícula nos estádios chumbinho e ovo (37 e 36%, respectivamente) de mangueira (*Mangifera indica* cv. Haden), após pulverizações foliares de solução contendo 0,1% do produto comercial.

Visando minimizar o uso excessivo de biorreguladores utilizados na cultura da mangueira 'Tommy Atkins', aplicaram-se diferentes concentrações de aminoácidos, em três épocas distintas: na floração (panículas com 5 cm), na fase "chumbinho" e em frutos com tamanho de ovo. O produto comercial utilizado como fonte de aminoácido possui 20% de aminoácidos, 11% de nitrogênio e 15% de K₂O. Foram avaliados quatro tratamentos: 0,06%, 0,04%, 0,02% do aminoácido, além do controle. Somente a dose de 0,06% apresentou aumento significativo no comprimento da panícula e, embora não tenha havido diferenças significativas entre os tratamentos para o número de frutos fixados, houve incrementos de até em 45,32% para este parâmetro, quando as plantas receberam pulverizações foliares na concentração de 0,06% de aminoácidos.

Considerou-se que os aminoácidos podem entrar na planta e compor uma reserva disponível para a produção de novas proteínas durante o crescimento da videira (*Vitis vinifera*). Notou-se que cinco pulverizações, nos estádios de brotação, pré-floração, floração, frutificação e maturação dos cachos, com uma solução que contém $4,15 \text{ g L}^{-1}$ de um conjunto de 20 aminoácidos, induz o aumento no tamanho das bagas. Também se verificou melhoria na qualidade para comercialização de cachos das uvas 'Benitaka' após duas (neste caso, durante a brotação e pré-floração) ou cinco pulverizações com aminoácidos $4,15 \text{ g L}^{-1}$, pois a uvas apresentaram coloração mais intensa (aumento da nota de 2,25 para 3,75, em média) e uniforme, assim como, diminuição na acidez (23 a 26% em relação ao controle), com uma relação de sólidos totais e acidez titulável mais equilibrada.

Em Goiás, experimento testando duas fontes de nitrogênio (ureia e aminoácidos) e frequência de aplicação (0, 1, 3, 5, 7, e 9 vezes), durante o ciclo da cultura de pimentão, mostrou que a utilização de aminoácidos (2% de N em 200 L de calda ha^{-1}) proporcionou incrementos no comprimento e diâmetro dos frutos.

Pesquisa conduzida no Paquistão verificou que produto composto por aminoácidos e extrato de algas ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$ aplicado durante o florescimento, na fixação de frutos e um mês após esta etapa) aumentou o número de cachos (61%), o comprimento da ráquis (16%), o número de bagas por cacho (9%), assim como o tamanho das bagas (6%) e o peso de 100 bagas (17%) de uva 'Perlette', quando comparado ao controle. Os aminoácidos e nutrientes foram aplicados 4 vezes: no início do crescimento, após a fixação dos frutos e mais duas vezes, em intervalos de 21 dias depois da segunda aplicação. Todos os tratamentos promoveram acréscimos significativos na produção (kg) por videira, peso da baga e do cacho e teor de açúcares totais, quando comparados ao controle. O teor de sólidos solúveis totais, assim como acidez, também foram influenciados positivamente pelos produtos aplicados.

Em estudo conduzido em Pilar do Sul (SP), pela ESALQ/USP, em 2012, videiras 'Rubi' foram tratadas com AminoPlus nas fases vegetativa e/ou

ha⁻¹ a cada 7 dias. A partir da fase de chumbinho foram efetuadas pulverizações foliares de 1 L ha⁻¹ durante 10 semanas. Ao todo, foram testados 4 tratamentos (controle, pulverizações na fase vegetativa, pulverizações na fase reprodutiva e pulverizações nas fases vegetativa e reprodutiva), cada um constituído por 10 plantas. Verificou-se que, quando o produto à base de aminoácidos foi aplicado tanto na fase vegetativa quanto reprodutiva, houve aumento no comprimento das panículas quando comparado aos demais tratamentos; contudo, a largura da panícula não foi alterada. A aplicação deste agroquímico na fase vegetativa isoladamente ou na vegetativa e reprodutiva, também incrementou significativamente a relação largura-comprimento do cacho, aumentando o “ombro” da panícula. A massa média das bagas na colheita mostrou-se superior e o teor de sólidos solúveis totais tendeu a aumentar em plantas tratadas na fase vegetativa. Porém, apenas a aplicação do produto na fase reprodutiva foi capaz de incrementar o número de bagas.

Os efeitos da pulverização de AminoPlus sobre plantas de café ‘Icatú’ também foram avaliados. Para tanto, foi conduzido experimento em Torrinha (SP), em 2012, com plantas adultas, que foram: 1 - irrigadas 3 vezes (30 L ha⁻¹), sendo a terceira acompanhada por uma pulverização (1 L ha⁻¹) na fase vegetativa, 2 - receberam 2 pulverizações (1 L ha⁻¹) na fase reprodutiva e 3 - foram tratadas tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva, como descrito nos dois itens anteriores. Aos 103 dias após o início da aplicação, foi verificado que o número médio de grãos foi superior em plantas tratadas na fase vegetativa; contudo, na colheita, apenas as plantas tratadas em ambas as fases do desenvolvimento apresentaram aumento da produção média de café em relação aos demais tratamentos. Podemos, portanto, considerar que os aminoácidos possuem alto potencial para aplicações na agricultura, uma vez que as pesquisas desenvolvam os métodos adequados de aplicação e se estabeleça a eficiência dos mesmos para os diferentes cultivos.

The absorptive capacities of bromeliad trichomes. **American Journal of Botany**, New York, v. 63, p. 1009-1014, 1976.

CASTRO, P.R.C.; CARVALHO, M.E.A. **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2014. 58 p. (Série Produtor Rural, 57).

GRAHAN, J.S.D.; MORTON, R.K.; RAISON, J.K. The in vivo uptake and incorporation of radioisotopes into proteins of wheat endosperm. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 17, p. 102-114, 1964.

HAQUE, M.Z.; KOBAYASHI, M.; FUJII, K.; TAKAHASHI, E. The incorporation of aminoacids and nucleic acid bases into the seedling, reproductive stage and young ear portion of rice plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 34, p. 17-24, 1971.

HSU, H.H.; ASHMEAD, H.D.; GRAFF, D.J. Absorption and distribution of foliar-applied iron by plants. In: ASHMEAD, H.D.; ASHMEAD, H.H.; MILLER, G.W.; HSU, H.H. (Ed.). **Foliar feeding of plants with amino acid chelates**. Park Ridge: Noyes Publ., 1986.

KURSANOV, A.L. The transport of organic substances in plants. **Endeavour**, London, v. 20, p.19-25, 1961.

NELSON, C.D.; GORHAM, P.R. Physiological control of the distribution of translocated amino acids and amides in young soybean plants. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 37, p. 439-447, 1959.

Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas **73**

RAMAIAH, P.K.; RAO, M.V.K.; CHOKKANNA, N.G. Zinc deficiency and aminoacids of coffee leaves. **Turrialba**, San Jose, v. 14, p. 136-139, 1964.

VIRTANEN, A.I.; LINKOLA, H. Organic compound as nitrogen

nutrition for higher plants. **Nature**, London, v. 158, p. 515-516, 1946.

WARDELL, W.L. Floral activity in solutions of dioxynucleic acid extracted from tobacco stems. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 57, p. 855-861, 1976.

74 Série Produtor Rural nº 71

INFORMAÇÕES AOS AUTORES

A Série Produtor Rural é editada desde 1997 pela Divisão de Biblioteca da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP e tem como objetivo publicar textos acessíveis aos produtores com temas diversificados e informações práticas, contribuindo para a Extensão Rural.

Pode publicar

- Pesquisadores e docentes da ESALQ e CENA;
- Alunos cujos textos serão revisados por orientadores ou quem o Presidente da Comissão de Cultura e Extensão designar;
- Demais pesquisadores, porém, com a chancela da Comissão de Cultura e Extensão que avaliará os textos previamente.

Requisitos para publicação

- Texto redigido em Word, com linguagem simples, acessível e didática a ser encaminhado para: referencia.esalq@usp.br
- Ilustrações e figuras em alta resolução, facilitando a compreensão do texto.

www.esalq.usp.br/biblioteca/publicacoes-a-venda/serie-produtor-rural

COMO ADQUIRIR

Para adquirir as publicações, depositar no Banco do Brasil, Agência 0056-6, C/C 306.344-5 o valor referente ao(s) exemplare(s), acrescido de R\$ 7,50 para o envio, posteriormente enviar via fax (19) 3429-4340, e-mail ou correspondência o comprovante de depósito, o(s) título(s) da(s) publicação(ões), nome e endereço completo para fazermos o envio, ou através de cheque nominal à Universidade de São Paulo - ESALQ.

Acesse nosso site

www.esalq.usp.br/biblioteca

Plantas medicinais: camomilas