

## Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças

Daniel B Zandonadi<sup>1</sup>; Mirella P Santos<sup>2</sup>; Leonardo O Medici<sup>3</sup>; Juscimar Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70351-970 Brasília-DF; daniel.zandonadi@embrapa.br; juscimar.silva@embrapa.br; <sup>2</sup>Embrapa Cenargen, C. Postal 02372, 70770-917 Brasília-DF; mirellapupo@yahoo.com.br; <sup>3</sup>UFRRJ, Depto. Ciências Fisiológicas, Rod. BR 465 km 7, Seropédica-RJ. lmedici@gmail.com

### RESUMO

Os adubos orgânicos fornecem nutrientes, melhoram as condições do solo e também apresentam bioatividade, ou seja, efeitos estimulantes nas plantas. Efeitos como indução de crescimento e melhora na qualidade nutricional vêm justificando a crescente comercialização de bioestimulantes e fertilizantes de base orgânica. Neste trabalho, a bioatividade é discutida com base na fisiologia vegetal. A literatura disponível comprova ações fisiológicas destas substâncias, principalmente no crescimento de raízes e aumento na absorção de nutrientes. Contudo, as abordagens das pesquisas têm focado nos aspectos básicos relacionados às frações extraídas em laboratório, que não representam necessariamente a realidade da matéria orgânica em seu estado natural no solo e sua bioatividade. Por outro lado, conhece-se muito pouco do mecanismo de ação dos produtos comerciais utilizados a campo. Assim, é importante que as pesquisas passem a incluir também aspectos como: (1) indicação de fontes mais promissoras para extração de matéria orgânica; (2) métodos simplificados tanto de extração das frações e da matéria orgânica como para avaliações da sua bioatividade e; (3) experimentos de campo com avaliação da produtividade das culturas associada aos possíveis mecanismos de ação. A utilização criteriosa de novas tecnologias para o aumento da eficiência da adubação dos solos em áreas de cultivo de hortaliças é importante tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

**Palavras-chave:** auximone, regulador do crescimento, humus, nutrientes, fitormônios.

### ABSTRACT

#### Action of organic matter and its fractions on vegetables physiology

Organic manure supplies nutrients, improves soil conditions and also exhibits bioactivity, ie stimulating effects in plants. Effects such as growth enhancement and plant nutrient status improvement comes justifying the increasing commercialization of organic-based biostimulants and fertilizers. In this work, bioactivity is discussed focusing on the physiology of vegetables. The available literature confirms such physiological actions, particularly in the growth of roots and nutrient uptake increase. However, research approaches have been more focused on the basic aspects of fractions isolated in laboratory, which does not necessarily represent the reality of the natural organic matter in soil and its bioactivity. On the other hand, little is known on the mechanism of action of commercial products, which have been used in the field. Therefore, it is important that research initiatives also include aspects such as: (1) indicating the most promising sources for the extraction of organic matter, (2) both simplified methods of extraction of organic matter fractions as for the evaluation of their bioactivity and (3) field experiments evaluating crops productivity associated to the possible mechanism of action. The judicious use of new technologies to increase the efficiency of fertilization of soils in growing vegetables areas is important both from an economic as environmental sense.

**Keywords:** auximone, growth regulator, humus, nutrients, phytohormones.

(Recebido para publicação em 6 de novembro de 2013; aceito em 27 de janeiro de 2014)

(Received on November 6, 2013; accepted on January 27, 2014)

Por que será que em pleno século 21 ainda utilizamos esterco animal na agricultura, e não apenas os fertilizantes minerais? Será somente pelo custo relativamente menor? Ou será resultado dos efeitos benéficos sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo? Pode ser por ambos os motivos, e acrescidos a esses, ainda existem os efeitos benéficos encontrados na fisiologia das plantas, que também ajudam a explicar a permanência dos adubos orgânicos de origem animal ou vegetal. Vários efeitos fisiológicos são relatados há séculos, muito embora não sejam completamente elucidados.

A matéria orgânica do solo é constituída por compostos de carbono em

diferentes graus de associação com as fases minerais do solo originados a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. Além de ser fonte de nutrientes, a matéria orgânica apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e, devido a sua alta reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, em especial os micronutrientes, bem como a atividade de elementos potencialmente fitotóxicos como  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$ , em solos ácidos, e metais pesados. Nos ambientes tropicais, a matéria orgânica do solo tem importância elevada. É amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos à física e química dos solos devido a

melhor agregação e retenção de água, maior CTC e disponibilidade de nutrientes. Além destes existem os aspectos biológicos que estão relacionados com microrganismos benéficos encontrados na matéria orgânica. No cultivo de hortaliças em geral e, mais especificamente para produção de tomate e demais hortaliças mais exigentes em nutrientes, a matéria orgânica e suas frações possuem papel fundamental.

Existem visões diferentes acerca das características moleculares da matéria orgânica. O debate existe devido às características dos métodos utilizados para extrair a matéria orgânica do solo. A utilização de extratores alcalinos fortes é utilizada pelos grupos tradicionais que

entendem as características moleculares da matéria orgânica como principal fator relacionado à sua estabilidade nos solos, dando ênfase às substâncias húmicas, as quais constituiriam a maior parte da matéria orgânica (Stevenson, 1994). Por outro lado, uma visão da década de 1930 retomada e revisitada mais recentemente, dá ênfase à caracterização da matéria orgânica *in situ*, sem interferência dos extratores químicos (Schmidt *et al.*, 2011). Nesta visão, a existência de substâncias húmicas nos solos como componentes da matéria orgânica natural é questionada. Como resultado da interpretação de observações *in situ*, a matéria orgânica seria constituída de moléculas mais simples, cujos fatores mais importantes para sua estabilidades estariam no ambiente e não na sua estrutura molecular. De fato as substâncias húmicas não possuem características bioquímicas claras, mas têm sido definidas como associações supramoleculares de moléculas orgânicas relativamente pequenas arranjadas basicamente por interações hidrofóbicas e pontes de hidrogênio, as quais podem ser rompidas por ácidos orgânicos exudados por raízes de plantas (Orlov *et al.*, 1975; Albuzio *et al.*, 1989; Piccolo, 2002).

Apesar da controvérsia da existência ou não das substâncias húmicas nos solos, estas podem ser extraídas de diferentes fontes e separadas basicamente em três principais frações: (1) ácidos fúlvicos (AFs), solúveis em meio alcalino ou ácido; (2) ácidos húmicos (AHs), insolúveis em meio ácido e; (3) huminas, fração insolúvel em meio alcalino ou ácido. Esse procedimento laboratorial não representa a realidade da matéria orgânica acessível pelas plantas nos solos uma vez que no ambiente, essa separação não ocorre. Entretanto, do ponto de vista da indústria e da produção comercial de substâncias húmicas, tais frações possuem potencial de aplicação na agricultura devido a sua suposta bioatividade.

A bioatividade das substâncias húmicas ou da matéria orgânica natural isolada dos solos pode ser definida como a capacidade de interagir positiva ou negativamente com plantas e/ou microrganismos, resultando em estímulo

ou inibição de desenvolvimento vegetal. Dentre os principais efeitos observados pela utilização de substâncias húmicas purificadas de leonardita (material com características semelhantes ao carvão, proveniente de depósitos orgânicos, muito rico em AHs), solos, resíduos orgânicos, compostos orgânicos ou húmus de minhoca estão: desenvolvimento radicular, desenvolvimento foliar, aumento na absorção de nutrientes e regulação de enzimas importantes para o metabolismo vegetal, como por exemplo a H<sup>+</sup>-ATPase e nitrato redutase (Pinton *et al.*, 1992; Façanha *et al.*, 2002; Nardi *et al.*, 2005; Zandonadi & Busato, 2012; Zandonadi *et al.*, 2013). É importante destacar quatro fatores principais que podem influenciar decisivamente na bioatividade das substâncias húmicas: (1) a espécie, o órgão e a idade da planta; (2) a dose recomendada para cada espécie ou cultivar; (3) a fonte de material orgânico, de onde foi extraída e; (4) as características físico-químicas específicas das substâncias húmicas a serem utilizadas. Devido a esses e outros fatores, a utilização de substâncias húmicas (comerciais ou não comerciais) precisa ser feita com bastante cuidado a fim de evitar efeitos indesejáveis. Além disso, apesar dos resultados positivos em ensaios com plantas em laboratório, praticamente inexistem resultados científicos robustos relativos à aplicação comercial a campo associados a possíveis mecanismos de ação.

As primeiras observações de que extratos orgânicos poderiam atuar positivamente sobre o crescimento de plantas foram descritas há 100 anos (Bottomley, 1914, 1917). No final da década de 1960 já havia trabalhos sugerindo a aplicação comercial dessas substâncias na agricultura (Fialová, 1969). De fato, a partir da década de 1980 as primeiras indústrias de produção de AHs começaram a ser instaladas em maior número nos EUA e na Europa (Malcolm & Maccarthy, 1986). Mais recentemente, outros países, inclusive o Brasil, começaram a investir na produção de substâncias húmicas para utilização comercial (Benites *et al.*, 2006). A principal fonte utilizada para extração de substâncias húmicas nos EUA e Europa é a leonardita, enquanto no Brasil o mais comum

é a extração de turfas.

Em geral as olerícolas exportam grandes quantidades de nutrientes do solo em suas partes comestíveis o que explica sua exigência nutricional elevada. Para atingir altas produtividades de tomate para processamento industrial (90-100 t/ha), por exemplo, tem sido utilizado na região do cerrado brasileiro em torno de 1300 kg/ha da formulação 4-30-16 na adubação de plantio (Silva *et al.*, 2012). Em termos de extração de nutrientes, em 8000 kg/ha de matéria seca o híbrido de tomate H9494 acumulou quantidades expressivas de N, P e K, sendo 170,4, 34,03, 310,45 kg/ha respectivamente (Fontes, 2000). Para as cultivares de batata Mondial e Asterix, a média de extração de nutrientes do solo (em kg/ha) foi de 116 de N, 18 de P, 243 de K e 50 de Ca (Fernandes *et al.*, 2001).

Existem relatos da literatura onde a utilização de AHs purificados poderiam quase duplicar quantidade de N, P, K, Ca, Mg, e S absorvidos por *Brassica napus* (Jannin *et al.*, 2012). Além disso, efeitos de regulação de crescimento promovidos por substâncias húmicas semelhantes aos dos hormônios vegetais, como a auxina, podem aumentar significativamente a produção de raízes laterais e pêlos absorventes (Façanha *et al.*, 2002; Zandonadi *et al.*, 2007a, 2013).

Embora a maior parte da matéria orgânica do solo possa estar relacionada às substâncias húmicas, apenas uma pequena parte dessas substâncias estaria de fato disponível prontamente para interagir com plantas e microrganismos do solo na forma extraída pelos métodos tradicionais da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas. Isto significa que a produção e o desenvolvimento vegetal não serão maiores necessariamente devido ao fato de um solo ter mais AHs do que outro, por exemplo. Primeiro porque os AHs não estão nos solos numa forma isolada e purificada, e, portanto, não refletem a realidade da matéria orgânica em seu estado natural no solo (Schmidt *et al.*, 2011). Segundo, mesmo que estivessem solúveis, suas características físico-químicas específicas não são necessariamente sempre benéficas para o crescimento vegetal e absorção de nutrientes (De Krijg &

Başar, 1995; Asli & Neumann, 2010).

Na busca por maior eficiência na utilização de recursos naturais é preciso dar atenção também à fração da matéria orgânica dos solos não humificada ou com características bioquímicas bem definidas, como as proteínas e aminoácidos, ácidos orgânicos, ácidos graxos, hormônios vegetais e outras moléculas orgânicas (Sarwar *et al.*, 1992; Baziramakenga *et al.*, 1995; Jones *et*

*al.*, 2002). De maneira geral, apesar desses grupos de moléculas serem menos estáveis teoricamente quando comparadas às substâncias húmicas, a maior parte delas possui efeitos sobre as plantas e microrganismos em doses bem mais baixas do que as substâncias húmicas, e existem naturalmente na forma em que podem ser isoladas. Do ponto de vista de marcadores de qualidade biológica do solo, as moléculas orgânicas com

características bioquímicas definidas poderiam ser mais interessantes do que as substâncias húmicas. Estas últimas são mais promissoras como produtos comerciais quando extraídas de fontes apropriadas.

Nesta revisão serão abordados os efeitos das frações da matéria orgânica isoladas de fontes ricas em carbono (como turfa e leonardita) sobre o desenvolvimento e produção de hortaliças

**Tabela 1.** Resumo de trabalhos realizados em hortaliças com aplicação de substâncias húmicas de produtos comerciais ou extraídas em laboratórios de pesquisa (summary of researches carried out in vegetables with application of humic substances from humic substances of commercial products following laboratory extraction). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2013.

Produto			Aplicação	Cultivo	Hortaliça	Efeito	Referência
Tipo	Fonte	Dose					
humato comercial	leonardita	224 kg/ha	sólido no substrato	campo	batata	não houve diferença	Kunkel & Holstad, 1968; Rowberry & Collin, 1977
humato comercial	leonardita	20 L/ha	líquida foliar	campo	tomate industrial	Aumento no florescimento e produtividade	Brownell <i>et al.</i> , 1987
AH comercial	Leonardita	640 - 2560 mg/L	líquida em hidroponia	protegido	tomate	Aumento no teor de P, Ca, K, Mg, Mn e Fe na parte aérea; Aumento no teor de N, Ca, Fe, Zn e Cu nas raízes	David <i>et al.</i> , 1994
humato não comercial	carvão	9,1 mg/L	líquida em hidroponia	protegido	orégano, manjericão e tomilho	Redução de biomassa e menor teor de Fe, Mn, Zn e Cu foliar	De Kreij & Başarb, 1995
AH não comercial	composto orgânico	250-8000 mg/kg de substrato	sólida no substrato	protegido	chicória	Incremento de biomassa	Valdrighi <i>et al.</i> , 1996
AH comercial	carvão ou leonardita	20-50 mg/L	líquida em hidroponia	protegido	tomate	Crescimento radicular e maior teor de N, P, Fe e Cu nas folhas	Adani <i>et al.</i> , 1998
AH ou humato não comercial	vermicomposto	50-4000 mg/kg	sólida no substrato	protegido	tomate e abóbora	Incremento de biomassa	Atiyeh <i>et al.</i> , 2002
AH comercial	nd	250 cm <sup>3</sup> /L	líquida foliar	protegido	aspargo	Maior teor de N, P, Fe, Mn, Zn, Cu e B; Incremento de biomassa e teores de clorofila, carotenoides e carboidratos; Maior produtividade	Tejada & Gonzalez, 2003
humato não comercial	vermicomposto	20-4000 mg/kg	sólida no substrato	protegido	pimentão, tomate e morango	Aumento da biomassa radicular	Arancon <i>et al.</i> , 2003
AH comercial	leonardita	100-400 kg/ha ou 2,5 a 10 L/ha	sólida ou líquida no solo	protegido	morango	Redução no teor de Zn nas folhas	Pilanal & Kaplan, 2003
humato comercial	leonardita	20 - 80 L/ha	líquida no substrato	protegido	tomate	Aumento no teor de Fe, Cu e Zn nas folhas; Redução de Mn e B	De Lima <i>et al.</i> , 2011

nd: não determinado (not determined).

com enfoque em aspectos da fisiologia vegetal.

**Efeitos sobre a fisiologia de hortaliças** - A absorção de nutrientes pelas plantas depende de diversos fatores como a espécie vegetal, as características do solo, o clima, entre outros. Do ponto de vista bioquímico, a maior parte das proteínas transportadoras de nutrientes na membrana das células vegetais precisa ser energizada pelos gradientes eletroquímicos de prótons, os quais são resultado da ação da  $H^+$ -ATPase de membrana plasmática (Palmgren, 2001). Recentemente, a próton pirofosfatase ( $H^+$ -PPase) vacuolar também tem sido bastante relacionada a absorção e transporte de nutrientes, bem como a regulação do desenvolvimento (Gaxiola *et al.*, 2012). Portanto, as bombas de prótons são fundamentais no processo de absorção de nutrientes pelas plantas.

A maioria das hortaliças cultivadas comercialmente é pouco eficiente na utilização de nutrientes. Como resultado, observam-se efeitos adversos nos solos relacionados ao excesso de adubação, o que além de ser caro, ainda resulta em danos ambientais (Novotny, 2011). Além do melhoramento genético visando espécies mais eficientes na utilização de nutrientes, existem alternativas como a utilização de manejos que levam ao acúmulo da matéria orgânica no solo, tais como o plantio direto, a incorporação de restos vegetais, a cobertura vegetal (viva ou morta), adubação verde, entre outros. Nesse aspecto, a agricultura orgânica pode trazer vantagens à produção de hortaliças, já que nesse sistema a necessidade de entrada de nutrientes e energia é reduzida, enquanto a biodiversidade é aumentada (Mader *et al.*, 2002). Tais fatores positivos somados às novas iniciativas de pesquisa podem auxiliar no aumento da produtividade do cultivo de hortaliças em sistema orgânico, já que neste sistema a produtividade ainda é menor, de maneira geral, quando comparada ao sistema convencional (Seufert *et al.*, 2012).

As ações de substâncias húmicas e outras frações orgânicas sobre a nutrição vegetal têm sido amplamente relatadas (Albuzio *et al.*, 1989; Adani *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2004; Paradikovic *et al.*, 2011; Jannin *et al.*, 2012; Giannattasio

*et al.*, 2013). Entretanto, o número de trabalhos a campo com resultados científicos consistentes é relativamente pequeno. Um compilado de trabalhos realizados especificamente em relação à produção de hortaliças encontra-se na tabela 1. Nos trabalhos selecionados foram utilizados produtos comerciais ou extraídos em laboratórios de pesquisa. É importante ressaltar que são tratamentos que não estão relacionados com a presença ou qualidade da matéria orgânica do solo e sua possível função promotora de crescimento (para uma revisão de efeitos da matéria orgânica do solo sobre a fisiologia vegetal ver Zandonadi *et al.*, 2013). Dentre os primeiros trabalhos realizados em condições de campo com hortaliças e produtos à base de substâncias húmicas estão os de Kunkel & Holstad (1968) e Rowberry & Collin (1977), que aplicaram humatos (extratos de substâncias húmicas totais) provenientes de leonardita no cultivo de batata. Não houve diferenças significativas na produtividade desta hortaliça na presença dos humatos utilizados nos dois trabalhos. Mais tarde, Brownell *et al.* (1987) relataram os efeitos de extratos comerciais de leonardita na produtividade de tomate industrial e outras culturas a campo por meio de aplicação no solo e foliar. Foi observado um aumento de 10,5% na produtividade do tomateiro e efeitos do tipo hormonal, como a indução do florescimento. A aplicação de AHs não comerciais em chicória também gerou aumento de biomassa, resultados que dependeram da dose e tempo de exposição ao tratamento (Valdrighi *et al.*, 1996).

O conteúdo de nutrientes nas folhas de algumas hortaliças cultivadas na presença de substâncias húmicas pode aumentar ou diminuir dependendo de fatores como o tipo da fonte de extração de substâncias húmicas, as doses, o modo e período de aplicação, entre outros. Em cultivo hidropônico de tomateiro, por exemplo, foi demonstrado o incremento de raízes e parte aérea e aumento na absorção de nutrientes como N, P e Fe (Adani *et al.*, 1998). No entanto, esses efeitos benéficos variaram de acordo com a fonte de AHs e a dose aplicada. Também em tomateiro, foi relatado por outros autores o aumento no teor de P,

Ca, K, Mg, Mn e Fe na parte aérea de plantas tratadas com AHs (David *et al.*, 1994). Estes autores observaram ainda um aumento no teor de N, Ca, Fe, Zn e Cu nas raízes das plantas analisadas. A utilização de humato comercial proveniente de leonardita também parece aumentar o teor de Fe, Cu e Zn nas folhas de tomateiro, embora tenha reduzido Mn e B (De Lima *et al.*, 2011). Por outro lado, a aplicação de humatos na forma líquida em hidroponia no cultivo de orégano, manjerição e tomilho podem reduzir a biomassa e o teor de Fe, Mn, Zn e Cu foliar dessas plantas (De Kreij & Başarib, 1995). Ácidos húmicos comerciais provenientes de leonardita também podem reduzir o teor de Zn nas folhas de morango (Pilanal & Kaplan, 2003). Tais efeitos indesejados podem ocorrer devido à complexação desses elementos pelas substâncias húmicas dependendo de sua concentração e outros fatores como pH da solução, por exemplo. O uso de humatos e similares na agricultura não é trivial, sendo necessários critérios rigorosos para obtenção de resultados positivos.

Atiyeh *et al.* (2002) demonstraram que AHs provenientes de húmus de minhoca a base de esterco de suínos ou de resíduos de alimentos podem estimular ou inibir o crescimento em tomateiro e abóbora. Estes autores observaram que a aplicação de AHs na dose de 500 mg/kg de substrato aumentou em 43,4% a massa da parte aérea seca, e em 79,3% a massa das raízes secas de tomateiro. Por outro lado, a aplicação de AHs de vermicomposto de esterco de suínos reduziram a massa da parte aérea seca de abóbora. A aplicação de extratos de substâncias húmicas totais (humatos) provenientes de vermicomposto em cultivo protegido de tomateiro, pimentão e morango pode aumentar a massa de raízes secas dessas hortaliças e ainda o número de frutos de morango (Arancon *et al.*, 2003). Tejada & Gonzalez (2003) relataram que a biomassa de aspargos e os teores de N, P, Fe, Mn, Zn, Cu e B podem aumentar sob tratamento com humatos aplicados via foliar. Os autores ainda observaram incremento no teor de clorofila, carotenoides e carboidratos.

Os efeitos de extratos de matéria orgânica sobre a fisiologia vegetal são es-

tudados desde o início do século passado (Bottomley, 1917; Mockeridge, 1917, 1920). Esses autores denominavam essas substâncias orgânicas promotoras de crescimento como “auximones”, antes mesmo de haver a descoberta do hormônio vegetal auxina. Interessante observar que já nesses trabalhos foram levados em consideração dois fatores importantes para os efeitos de promoção de crescimento vegetal: as moléculas orgânicas *per se* e a participação de microrganismos. Os extratos orgânicos produzidos na época talvez tenham sido os primeiros biofertilizantes descritos pelo método científico.

Efeitos semelhantes aos da auxina têm sido observados desde então em plantas tratadas com frações de diversos tamanho moleculares tais como AHs (fração sintética de tamanho molecular maior) e AFs (fração sintética de tamanho molecular menor) (Schnitzer & Poapst, 1967; O'Donell, 1973). Além do tamanho molecular, a caracterização de grupos funcionais orgânicos apontavam para a importância relativamente maior do conteúdo de compostos fenólicos em relação ao conteúdo de compostos carboxílicos. Mais tarde, efeitos semelhantes à citocinina e giberelina também foram relatados (Cacco & Dell'Agnola, 1984; Albuzio *et al.*, 1989), sugerindo que substâncias húmicas poderiam atuar diretamente como hormônios, mas também indiretamente ao induzir a produção de hormônios endógenos. Corroborando para a primeira hipótese existem trabalhos que atestam a detecção de auxinas, citocininas, giberelinas e poliaminas em substâncias húmicas (Albuzio *et al.*, 1989; Young & Chen, 1997; Canellas *et al.*, 2002; Mora *et al.*, 2010). Por outro lado, já foi relatado que substâncias húmicas poderiam estimular a produção de determinados hormônios e/ou sinais químicos endógenos, ou a via de sinalização hormonal (Trevisan *et al.*, 2010; Zandonadi *et al.*, 2010). Por meio da utilização de tomateiros mutantes micro tom com baixa sensibilidade a auxina foi possível verificar que parte do efeito de AHs purificados é dependente da via de sinalização desse hormônio (Zandonadi, 2006; Dobbss *et al.*, 2007). Além disso, a aplicação de auxina ou AHs pode induzir a produção de óxido

nítrico em raízes, um sinal químico fortemente relacionado à emissão de raízes laterais (Zandonadi *et al.*, 2010). Tanto o modo de ação semelhante ao hormônio em si, como o modo de ação que induz vias e sinais endógenos podem ocorrer simultaneamente. Dessa forma, outra aplicação importante das substâncias húmicas é a possível redução de estresses ambientais limitantes à produção vegetal, tal como a salinidade ou seca, por meio da regulação dos sistemas primários de transporte de prótons (Zandonadi *et al.*, 2007b). O tomateiro *sitiens*, mutante na produção de ácido abscísico, possui folhas murchas constantemente em situação de estresse hídrico ou salino, mas na presença de AHs de vermicomposto tal murchamento é revertido parcialmente (Zandonadi *et al.*, 2007b). Interessante observar que AHs também isolados de vermicomposto podem aliviar o estresse hídrico em arroz (Garcia *et al.*, 2014).

Confirmando a possível ação direta das substâncias húmicas sobre a fisiologia vegetal, alguns autores quantificaram a presença de fitormônios nessas substâncias. O trabalho pioneiro de Albuzio *et al.* (1989) relatou a presença de ácido 3-indol acético (AIA), ácido giberélico (GA) e citocinina (BAP) em frações de substâncias húmicas de menor tamanho molecular provenientes de solos. A quantificação foi realizada em subfrações tratadas com ácido oxálico, ácido orgânico presente na rizosfera naturalmente. Mais tarde, Muscolo *et al.* (1998) quantificaram a auxina AIA em substâncias húmicas isoladas de vermicomposto e encontraram uma concentração muito elevada, na faixa de 0,5-3,7% ( $2,85 \times 10^{-2}$  a  $2,11 \times 10^{-1}$  mol/L de AIA), dependendo do método de detecção utilizado. Por outro lado, em extratos aquosos de vermicomposto, também chamados de TEA (do inglês *Vermicompost Water Extracts* ou *Vermicompost Tea*, que significa extrato ou chá de húmus de minhoca), outros autores observaram concentrações mais baixas (e mais realistas) de AIA: 185 ng/L ou  $1,06 \times 10^{-6}$  mol/L de AIA (Arancon *et al.*, 2012). Quaggiotti *et al.* (2004) reportaram uma concentração de  $2,77 \times 10^{-10}$  mol/L de AIA em 1 mg de C de substâncias húmicas de baixo peso

molecular (<3,5 kDa), exatamente a mesma concentração relatada pelo mesmo grupo de pesquisa para substâncias húmicas de peso molecular maior do que 3,5 kDa (Schiavon *et al.*, 2010). A variação encontrada na literatura deve-se a vários fatores, desde métodos de detecção até origem e tipo de fração analisada. Reforça-se a ideia de que cada material possui características muito peculiares e, dessa forma, seu modo de ação pode variar. Além disso, os grupos de pesquisa têm trabalhado com fontes de substâncias húmicas distintas, com métodos de extração diferentes e não realistas do ponto de vista da química da rizosfera (extratores em geral constituídos por soluções alcalinas fortes). Para o acesso da ação de produtos comerciais a utilização da extração de substâncias húmicas tradicional pode ser pertinente, pois alcança elevado rendimento. Por outro lado, para a compreensão da bioatividade da matéria orgânica do solo, os métodos de extração deveriam representar as condições mais próximas possíveis às naturais.

**Utilização no campo e produtos comerciais** - O fato de um determinado solo apresentar teor elevado de matéria orgânica e substâncias húmicas não deve levar à conclusão de que as plantas presentes nesse ambiente necessariamente terão benefícios diretos relacionados à promoção do crescimento. As substâncias húmicas podem participar do crescimento vegetal devido a uma série de fenômenos discutidos anteriormente. Mas os métodos tradicionais de extração não preservam as características da matéria orgânica natural do solo e, ainda assim, existem diferenças qualitativas importantes que precisam ser avaliadas em cada material, as quais podem levar a diferentes respostas fisiológicas. Tentar estimar por aspectos químicos e estruturais a bioatividade de uma determinada fração da matéria orgânica poderia ser interessante para a indústria de produção de biofertilizantes, mas dificilmente pode-se relacionar com as condições das substâncias orgânicas em seu estado natural.

Alguns produtos comerciais à base de substâncias húmicas, tanto na forma líquida como sólida (em pó ou granulada) estão disponíveis no mercado brasi-

leiro. Em geral esses produtos possuem concentrações de substâncias húmicas bastante elevadas em comparação com a maioria dos solos tropicais, visto que são extraídas de fontes em geral muito mais ricas nessas substâncias. A concentração final do produto, o tipo de solo ou substrato e a hortaliça cultivada são apenas alguns dos fatores que devem ser levados em conta antes da utilização desses produtos no campo. É importante ressaltar que são necessários mais testes laboratoriais e agrônômicos a campo, para estabelecer as doses de aplicação para diferentes estágios de desenvolvimento e diferentes hortaliças, por exemplo. Portanto, a utilização de substâncias húmicas comerciais precisa de recomendação específica de um profissional e cautela para evitar efeitos indesejáveis ao objetivo do agricultor, como a inibição do crescimento vegetal e da absorção de nutrientes.

**Conclusões e perspectivas** - A utilização de extratos orgânicos ou biofertilizantes provenientes de leonardita, húmus de minhoca, composto orgânico ou outros resíduos agroindustriais na dose e no momento adequados pode ser benéfica para o cultivo de hortaliças por três motivos principais: 1) Aumentam a eficiência do uso de nutrientes por ativar enzimas que estimulam a absorção e a quelação de alguns elementos; 2) Fornecem moléculas orgânicas promotoras do crescimento vegetal; 3) Modificam positivamente as características físico-químicas da maioria dos solos.

A extrapolação de resultados obtidos em testes com substâncias húmicas purificadas dos solos em concentrações fora da realidade do ambiente natural podem auxiliar a fundamentar a indústria de produção de substâncias húmicas comerciais, mas o entendimento da função dessas substâncias como estimulantes nas situações reais do solo precisa ser mais estudada. Nesse caso, moléculas orgânicas aparentemente mais lábeis ou aquelas solúveis em meios aquosos ou em meios com baixa concentração de ácidos orgânicos refletiriam melhor o potencial de frações bioativas. É necessário que outros métodos de extração sejam avaliados e os mais adequados (mais próximos à realidade da rizosfera, por exemplo) sejam utilizados na

tentativa de correlacionar a presença de frações da matéria orgânica dos solos com a promoção do crescimento vegetal.

## REFERÊNCIAS

- ADANI F; GENEVINI P; ZACCHEO P; ZOCCHI G. 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition* 21: 561-575.
- ALBUZIO A; NARDI S; GULLI A. 1989. Plant growth regulator activity of small molecular size humic fractions. *Science of the Total Environment* 81: 671-674.
- ARANCON NQ; LEE S; EDWARDS CA; ATIYEH R. 2003. Effect of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposting on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia* 47: 741-744.
- ARANCON NQ; PANT A; RADOVICH T; HUE NV; POTTER JK; CONVERSE CE. 2012. Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (TEAS). *HortScience* 47: 1722-1728.
- ASLI S; NEUMANN PM. 2010. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. *Plant and Soil* 336: 313-322.
- ATIYEH RM; LEE S; EDWARDS CA; ARANCON NQ; METZGER JD. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7-14.
- BAZIRAMAKENGAR; SIMARD RR; LEROUX GD. 1995. Determination of organic acids in soil extracts by ion chromatography. *Soil Biology and Biochemistry* 27: 349-356.
- BENITES VDM; POLIDORO J; MENEZES C; BETTA M. 2006. Aplicação foliar de fertilizante organomineral e soluções de ácido húmico em soja sob plantio direto. Embrapa Solos. Circular Técnica, 35.
- BOTTOMLEY WB. 1914. The significance of certain food substances for plant growth. *Proceedings of the Royal Society of London* 88: 237-247.
- BOTTOMLEY WB. 1917. The isolation from peat of certain nucleic acid derivatives. *Proceedings of the Royal Society of London* 90: 39-44.
- BROWNELL JR; NORDSTROM G; MARIHART J; JORGENSEN G. 1987. Crop responses from two new leonardite extracts. *Science of the Total Environment* 62: 491-499.
- CACCO G; DELL'AGNOLA G. 1984. Plant growth regulator activity of soluble humic complex. *Canadian Journal of Soil Science* 62: 306-310.
- CANELLAS LP; OLIVARES FL; OKOROKOVA-FAÇANHA AL; FAÇANHA AR. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H<sup>+</sup>ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology* 130: 1951-1957.
- CHEN Y; CLAPP CE; MAGEN H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. *Soil Science and Plant Nutrition* 50: 1089-1095.
- DAVID PP; NELSON PV; SANDERS DC. 1994. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. *Journal of Plant Nutrition* 17: 173-184.
- DE LIMA AA; ALVARENGA MAR; RODRIGUES L; CARVALHO JG. 2011. Leaf nutrient content and yield of tomato grown in different substrates and doses of humic acids. *Horticultura Brasileira* 29: 63-69.
- DE KREIJ C; BAŞAR H. 1995. Effect of humic substances in nutrient film technique on nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition* 18: 793-802.
- DOBBSS LB; MEDICI LO; PERES LEP; PINO-NUNES LE; RUMJANEK VM; FAÇANHA AR; CANELLAS LP. 2007. Changes in root development of Arabidopsis promoted by organic matter from oxisols. *Annals of Applied Biology* 151: 199-211.
- FAÇANHA AR; FAÇANHA ALO; OLIVARES FL; GURIDI F; SANTOS GDA; VELLOSO ACX; RUMJANEK VM; BRASIL F; SCHRIPSEMA J; BRAZ-FILHO R; OLIVEIRA MA; CANELLAS LP. 2002. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 1301-1310.
- FERNANDES AM; SORATTO RP; SILVA BL. 2011. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 2039-2056.
- FIALOVÁ S. 1969. Metabolism of nucleic acids in wheat roots in dependence on nutritive conditions. *Biologia Plantarum* 11: 424-431.
- FONTES RR. Solo e nutrição da planta. In: SILVA JBC; GIORDANO LB (eds). Tomates para processamento industrial. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Embrapa Hortaliças, 2000. p.22-35.
- GARCÍA AC; SANTOS LA; IZQUIERDO FG; RUMJANEK VM; CASTRO RN; SANTOS FS; BERBARA RLL. 2014. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Journal of Geochemical Exploration* 136: 48-54.
- GAXIOLA RA; SANCHEZ CA; PAEZ-VALENCIA J; AYRE BG; ELSER JJ. 2012. Genetic manipulation of a vacuolar H<sup>+</sup>-PPase: from salt tolerance to yield enhancement under phosphorus-deficient soils. *Plant Physiology* 159: 3-11.
- GIANNATTASIO M; VENDRAMIN E; FORNASIER F; ALBERGHINI S; ZANARDO M; STELLIN F; GIUSEPPE CONCHERI G; STEVANATO P; ERTANI A; NARDI S; RIZZI V; PIFFANELLI P; SPACCINI, R; MAZZEI P; PICCOLO A; SQUARTINI A. 2013. Microbiological features and bioactivity of a fermented manure product (preparation 500) used in biodynamic agriculture. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 23: 644-651.
- JANNIN L; ARKOUN M; OURREY A; LAÎNÉ P; GOUX D; GARNICA M; FUENTES M; SAN

- FRANCISCO S; BAIORRRI R; CRUZ F; HOUDUSSE F; GUARCIA-MINA JM; YVIN JC; ETIENNE P. 2012. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus* growth: Involvement of N, C and S metabolisms. *Plant and soil* 359: 297-319.
- JONES DL; OWEN AG; FARRAR JF. 2002. Simple method to enable the high resolution determination of total free amino acids in soil solutions and soil extracts. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1893-1902.
- KUNKEL R; HOLSTAD N. 1968. Effects of adding humates to the fertilizer on the yield and quality of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal* 45: 449-457.
- MÄDER P; FLIESSBACH A; DUBOIS D; GUNST L; FRIED P; NIGGLI U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
- MALCOLM RL; MACCARTHY P. 1986. Limitations in the use of commercial humic acids in water and soil research. *Environmental Science & Technology* 20: 904-911.
- MOCKERIDGE FA. 1917. Some effects of organic growth-promoting substances: (auximones) on the soil organisms concerned in the nitrogen cycle. *Proceedings of the Royal Society of London* 89: 508-533.
- MOCKERIDGE FA. 1920. The occurrence and nature of the plant growth-promoting substances in various organic manurial composts. *Biochemical Journal* 14: 421-432.
- MORA V; BACAICOA E; ZAMARREÑO AM; AGUIRRE E; GARNICA M; FUENTES M; GARCÍA-MINA JM. 2010. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. *Journal of Plant Physiology* 167: 633-642.
- MUSCOLO A; CUTRUPI S; NARDI S. 1998. IAA detection in humic substances. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1199-1201.
- NARDI S; TOSONI M; PIZZEGHELLO D; PROVENZANO MR; CILENTI A; STURARO A; RELLA R; VIANELLO A. 2005. Chemical characteristics and biological activity of organic substances extracted from soils by root exudates. *Soil Science Society of America Journal* 69: 2012-2019.
- NOVOTNY V. 2011. The danger of hypertrophic status of water supply impoundments resulting from excessive nutrient loads from agricultural and other sources. *Journal of Water Sustainability* 1: 1-22.
- O'DONNELL RW. 1973. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Science* 116: 106-112.
- ORLOV DS; AMMOSSOVA YM; GLEBOVA GI. 1975. Molecular parameters of humic acids. *Geoderma* 13: 211-229.
- PALMGREN MG. 2001. Plant plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPases: power-houses for nutrient uptake. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 817-845.
- PARADIKOVIĆ N; VINKOVIĆ T; VINKOVIĆ VRČEK I; ŽUNTAR I; BOJIĆ M; MEDIĆŠARIĆ M. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annum* L.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 2146-2152.
- PICCOLO A. 2002. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy* 75: 57-133.
- PILANAL N; KAPLAN M. 2003. Investigation of effects on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. *Journal of Plant Nutrition* 26: 835-843.
- PINTON R; VARANINI Z; VIZZOTTO G; MAGGIONI A. 1992. Soil humic substances affect transport properties of tonoplast vesicles isolated from oat roots. *Plant and Soil* 142: 203-210.
- QUAGGIOTTI S; RUPERTI B; PIZZEGHELLO D; FRANCIOSO O; TUGNOLI V; NARDI S. 2004. 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* 55: 803-813.
- ROWBERRY RG; COLLIN GH. 1977. The effects of humic acid derivatives on the yield and quality of Kennebec and Sebago potatoes. *American Potato Journal* 54: 607-609.
- SARWAR M; ARSHAD M; MARTENS DA; FRANKENBERGER JRWT. 1992. Tryptophan-dependent biosynthesis of auxins in soil. *Plant and Soil* 147: 207-215.
- SCHIAVON M; PIZZEGHELLO D; MUSCOLO A; VACCARO S; FRANCIOSO O; NARDI S. 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Chemical Ecology* 36: 662-669.
- SCHMIDT MW; TORN MS; ABIVEN S; DITTMAR T; GUGGENBERGER G; JANSSENS IA; KLEBER M; KOGEL-KNABNER, I; LEHMANN J; MANNING DAC; NANNIPIERI; RASSE DP; WEINER S; TRUMBORE SE. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478: 49-56.
- SCHNITZER M; POAPST PA. 1967. Effects of a soil humic compound on root initiation. *Nature* 11: 598-599.
- SEUFERT V; RAMANKUTTY N; FOLEY JA. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485: 229-232.
- SILVA J; GUEDES IMR; LIMA CEP. 2012. Aducação e Nutrição. In: CLEMENTE FMVT; BOITEUX LS (eds). Produção de tomate para processamento industrial. Brasília. Embrapa, 2012. p.105-127.
- STEVENSON FJ. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley & Sons. 512p.
- TEJADAM; GONZALEZ JL. 2003. Influence of foliar fertilization with amino acids and humic acids on productivity and quality of asparagus. *Biological Agriculture & Horticulture* 21: 277-291.
- TREVISAN S; PIZZEGHELLO D; RUPERTI B; FRANCIOSO O; SASSI A; PALME K; QUAGGIOTTI S; NARDI S. 2010. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. *Plant Biology* 12: 604-614.
- VALDRIGHI MM; PERA A; AGNOLUCCI M; FRASSINETTI S; LUNARDI D; VALLINI G. 1996. Effects of compost-derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (*Cichorium intybus*) -soil system: a comparative study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 58: 133-144.
- YOUNG CC; CHEN LF. 1997. Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. *Plant Soil* 195: 143-149.
- ZANDONADI DB. 2006. *Bioatividade de substâncias húmicas: promoção do desenvolvimento radicular e atividade das bombas de H<sup>+</sup> Campos dos Goytacazes: UENF. 173p. (Dissertação mestrado).*
- ZANDONADI DB; BINZEL ML; CANELLAS LP; FAÇANHA AR. 2007b. Humic acid restores root growth in an ABA-deficient tomato (*sitiens*). In: 10<sup>th</sup> IUBMB & 36<sup>th</sup> ANNUAL MEETING OF SBBq. 36. Resumos... Salvador: SBBq (CD-ROM).
- ZANDONADI DB; BUSATO JG. 2012. Vermicompost humic substances: technology for converting pollution into plant growth regulators. *International Journal of Environmental Science and Engineering Research* 3: 73-84.
- ZANDONADI DB; CANELLAS LP; FAÇANHA AR. 2007a. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H<sup>+</sup> pumps activation. *Planta* 225: 1583-1595.
- ZANDONADI DB; SANTOS MP; BUSATO J; PERES L; FAÇANHA AR. 2013. Plant physiology as affected by humified organic matter. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 25: 12-25.
- ZANDONADI DB; SANTOS MP; DOBBS LB; OLIVARES FL; CANELLAS LP; BINZEL ML; OKOROKOVA-FAÇANHA AL; FAÇANHA AR. 2010. Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activation. *Planta* 231: 1025-1036.