

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SINTOMAS DE DEFICIÊNCIAS DE MACRONUTRIENTES EM
PEPINEIRO**

Víctor Manuel Vergara Carmona

Engenheiro Agrônomo

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SINTOMAS DE DEFICIÊNCIAS DE MACRONUTRIENTES EM
PEPINEIRO**

Víctor Manuel Vergara Carmona

Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2015

Carmona, Víctor Manuel
C287s Sintomas de deficiências de macronutrientes em pepineiro / Víctor
Manuel Vergara Carmona. -- Jaboticabal, 2015
ix, 35 f. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho
Banca examinadora: Leilson Costa Grangeiro, Hilário Júnior de
Almeida.
Bibliografia

1. Carência nutricional. 2. *Cucumis sativus*. 3. Desordem
nutricional. 4. Nutrição de plantas. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:635.63

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SINTOMAS DE DEFICIÊNCIAS DE MACRONUTRIENTES EM PEPINEIRO

AUTOR: VÍCTOR MANUEL VERGARA CARMONA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. LEILSON COSTA GRANGEIRO

Universidade Federal Rural do Semi-Árido / Mossoró/RN

Prof. Dr. HILÁRIO JÚNIOR DE ALMEIDA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 23 de fevereiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VÍCTOR MANUEL VERGARA CARMONA – Natural de Talca – Chile – nascido no dia 23 de julho de 1987. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade de Talca – Faculdade de Ciências Agrárias – Câmpus de Talca, em 2012; Durante a graduação atuou na área de cultivos hidropônicos de morango branco e tomateiro e atualmente atua na área de nutrição de plantas e produção de hortaliças.

“La agricultura es la profesión del sabio, la más adecuada al sencillo y la ocupación más digna para todo hombre libre”

Cicerón

Aos meus amados pais, Víctor e Maria, pela constante luta por garantir a minha educação e a dos meus irmãos, por me ensinar, com amor, respeito e muito esforço, que a dedicação e a constância sempre são bem sucedidas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde, proteção e por essa incrível “pachamamma”, mãe terra que nós alimenta, acolhe e ensina diariamente coisas novas.

Aos meus pais, Víctor Manuel Vergara Letelier e Maria Teresa Carmona Campos, pelo constante amor, carinho e dedicação, pelos sábios conselhos e apoio incondicional na minha vida.

Aos meus irmãos, Juan Pablo Vergara Carmona e Marco Antonio Vergara Carmona, pela motivação, simpatia e carinho depositados em mim sempre.

Especialmente à minha namorada, Karen Jennifer Marabolí Radrigán, por todos esses anos de amor e compreensão, insaciável apoio e por estar presente nesse incrível momento.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) pela oportunidade da realização do curso de mestrado e a grande contribuição na minha formação profissional e acadêmica.

Ao Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pela orientação, ensinamentos, apoio, amizade e, sobretudo, pela confiança durante a realização deste trabalho.

À Prof.^a Dr.^a Gilda Carrasco Silva, pela excelente orientação durante a minha formação e por acreditar em mim para essa nova etapa.

Aos meus amigos e colegas da pós-graduação, pelo apoio, ajuda e grande amizade gerada durante esse período.

Aos meus “hermãos” da WoodHouse, Víctor Brunini Moreto, Daniela Pimenta Dantas, Fabrício Iglesias Valente e Christian Güdde Beutner pelo apoio, ensinamentos, conselhos e grandes momentos de felicidade.

A todos os funcionários da pós-graduação pela ajuda e dedicação durante o curso de mestrado.

À CAPES pela bolsa conferida durante o período de mestrado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	1
1 INTRODUÇÃO.....	i
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Aspectos gerais da cultura do pepineiro	3
2.2 Nutrição mineral do pepineiro	4
2.3 Avaliação do estado nutricional.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Área experimental.....	8
3.2 Cultivo do pepineiro, tratamentos e delineamento experimental	8
3.3 Avaliações.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1 Nitrogênio.....	13
4.2 Fósforo.....	17
4.3 Potássio.....	19
4.4 Cálcio.....	21
4.5 Magnésio.....	25
5 CONCLUSÕES	29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIAS DE MACRONUTRIENTES EM PEPINEIRO

RESUMO – Há necessidade de que os sistemas produtivos se tornem cada vez mais eficientes, e conseqüentemente menos impactantes ao ambiente. Entre muitos fatores produtivos tem-se a adequação da fertilização da cultura, o que está estreitamente relacionado com a nutrição mineral da planta e o reconhecimento de deficiências nutricionais. No presente trabalho foram descritos e fotografados os sintomas iniciais e a evolução de deficiências nutricionais em pepineiro, e determinou-se a concentração do macronutriente omitido na folha em que foi visualizado o sintoma de deficiência. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis tratamentos, que corresponderam à solução nutritiva completa e à omissão individual de N, P, K, Ca e Mg, com três repetições. Os tratamentos foram aplicados no início da frutificação. Desordens fisiológicas de N, P, K, Ca e Mg no pepineiro foram inicialmente observadas aos 3, 20, 2, 3 e 5 dias após a omissão do nutriente na solução nutritiva, respectivamente. Deficiências de N e P foram inicialmente caracterizadas por clorose uniforme e bronzeamento, respectivamente, enquanto a carência de K teve clorose inicialmente nas margens do limbo foliar com evolução para necrose. A deficiência de Mg foi caracterizada por clorose internerval que evoluiu para necrose dos tecidos. Para estes quatro nutrientes, os sintomas iniciaram-se em folhas intermediárias. Sintomas de deficiência de Ca foram observados em folhas muito próximas aos meristemas apicais, com encarquilhamento de folhas e necrose de tecidos marginais do limbo foliar. Quando visualizado o sintoma de deficiência, os teores de N, P, K, Ca e Mg nas folhas com a desordem foram 18,9; 1,5; 9,5; 1,5 e 1,2 g kg⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: Carência nutricional, *Cucumis sativus* L., desordem nutricional, nutrição de plantas.

SYMPTOMS OF MACRONUTRIENTS DEFICIENCIES ON CUCUMBER

ABSTRACT – There exists a necessity for production systems to become more efficient with less impact on the environment. Among many factors of productivity, there is the adequacy of crop fertilization, which is related to the mineral nutrition of the plant and the recognition of nutritional deficiencies. In the present study, the initial symptoms and the alterations caused by nutritional deficiencies in the cucumber were described and photographed, and the concentrations of the macronutrients omitted from the leaves that exhibited the deficiencies were analyzed. The experimental design was completely randomized into six treatments with three replicates per treatment. The treatments were the complete nutrient solution and the individual omissions of N, P, K, Ca and Mg from the nutrient solution. The treatments were applied at the initiation of fructification. Physiological disorders of N, P, K, Ca and Mg in the cucumbers were observed at 3, 20, 2, 3 and 5 days respectively, after the omission of the nutritive solution. N and P deficiencies were characterized by chlorosis and browning, respectively. The lack of K was shown as chlorosis in the margins of the leaf lamina, progressing to tissue necrosis. The deficiency of Mg was characterized by internerval chlorosis that also progressed to tissue necrosis. The symptoms of N, P, K, and Mg deficiencies began on the intermediate leaves. The symptoms of Ca deficiency were observed in the leaves next to the apical meristems, showing contortions of the leaves and necrosis on the marginal tissues of the leaf blade. When the symptoms of deficiency were visualized, the concentrations of N, P, K, Ca and Mg in the leaves with the disorder were 18.9; 1.5; 9.5; 1.5 and 1.2 g kg⁻¹, respectively.

Keywords: Nutritional lack, *Cucumis sativus* L., nutritional disorder, plant nutrition.

1 INTRODUÇÃO

Em vista das mudanças mundiais nos sistemas produtivos, visando reduzir os custos de produção, conservar recursos naturais e minimizar o impacto ambiental sem prejudicar a produtividade e qualidade das lavouras, o adequado planejamento da fertilização torna-se imprescindível, principalmente em hortaliças, uma vez que essa prática cultural significa quase 50% do custo de produção em pepineiro (EMATER-DF, 2014), além de ser fundamental no sucesso das explorações agrícolas. Para isto, os produtores de alimentos, necessariamente, precisam contar com informação referente às bases da nutrição de plantas, que lhes permitam reagir frente a situações específicas, como deficiências nutricionais.

Quando o fornecimento de nutrientes é insuficiente para o normal crescimento e desenvolvimento das plantas, ocorrem desordens metabólicas que dão origem a sintomas de deficiência (TAIZ; ZEIGER, 2013), que, por conseguinte, causam queda na produtividade e qualidade do produto a ser colhido (AGHILI et al., 2009), provocando prejuízos tanto para os olericultores como para o meio ambiente. Portanto, a avaliação do estado nutricional das plantas, torna-se uma valiosa ferramenta que serve para tentar prever o crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade destas, através da identificação do elemento limitante (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Para a avaliação do estado nutricional, existem diferentes técnicas, sendo a diagnose visual uma das mais atrativas aos olericultores, pois, apresenta vantagens, como ser aplicável diretamente no campo e facilmente utilizada. Porém, também apresenta algumas limitações, como o fato dos sintomas visíveis nas plantas, por consequência de desequilíbrios nutricionais, poderem ser confundidos com desordens causadas por outros agentes estressores, bióticos ou abióticos (HOCHMUTH et al., 2012). Também, podem se apresentar diferentemente, com peculiaridades conforme a espécie, à intensidade da carência do nutriente ou ao estado fenológico das culturas (WHITE, 2012), o que pode dificultar a diagnose pelos agricultores. Desse modo, a análise química foliar é necessária como complemento e confirmação da diagnose visual.

Nesse contexto, a identificação, descrição detalhada e fotografias dos sintomas de deficiências de nutrientes, acompanhado do teor foliar, irão fornecer informações valiosas que poderão auxiliar aos olericultores na diagnose nutricional dos cultivos e na toma de decisões para a planificação do programa de fertilização.

Objetivou-se, com este trabalho, descrever e retratar os sintomas iniciais e a evolução de deficiências de macronutrientes em pepineiro, além de verificar o teor do macronutriente omitido na folha em que foi visualizado o sintoma de deficiência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do pepineiro

O pepineiro é uma espécie da família Cucurbitaceae, da qual, entre outras hortaliças, fazem parte a abóbora (*Cucurbita* spp.), melão (*Cucumis melo* L.), melancia (*Citrullus lanatus* Schrad), maxixe (*Cucumis anguria* L.) e o chuchu (*Sechium edule* S.W.). Constitui-se, assim, em uma das mais importantes famílias de plantas cultivadas, quanto à produção de alimentos e fibras, apresentando vasta diversidade de espécies cultivadas no mundo inteiro em condições ambientais diferentes (BISOGNIN, 2002).

O centro de origem do pepineiro está localizado na região central da Índia, especificamente na área das montanhas do Himalaia (KRÍSTKOVÁ et al., 2003). Restos arqueológicos encontrados indicam que a planta é utilizada pelo homem há mais de três mil anos (BISOGNIN, 2002).

No Brasil, o pepino é uma hortaliça muito apreciada e consumida, pois, o fruto pode ser consumido em forma crua, sopas ou em conserva, além de ser utilizado na confecção de cosméticos e na medicina, devido às suas propriedades nutracêuticas (PATIL; KANDHARE; BHISE, 2011).

A cultura apresenta importante contribuição para o agronegócio nacional e bem estar social, devido à geração de empregos, pois demanda muita mão de obra na sua exploração (EMATER-DF, 2014). O pepineiro está entre as principais hortaliças cultivadas em ambiente protegido, ocupando a segunda posição em volume de produção, sendo superada apenas pelo tomateiro (SILVA JÚNIOR et al., 1995).

No Brasil, o cultivo do pepineiro se dá em pequenas áreas, sendo a produção destinada, principalmente, ao abastecimento do mercado local. No ano 2012, foram produzidas acima de 75 mil t só no Estado de São Paulo, em pouco mais de 1200 hectares, com produtividade de 62 t ha⁻¹, aproximadamente (IEA, 2014).

O pepineiro é uma planta anual de hábito indeterminado, cujo caule compõe-se de ramos primários e secundários, vigorosos e longos. Cada nó pode originar folhas, gavinhas, flores ou hastes. A espécie é monoica e de polinização entomófila,

as flores são pequenas (em comparação com outras cucurbitáceas) e de coloração amarela. Nesta cultura, ao contrário da maioria das culturas anuais, o crescimento vegetativo e frutificação ocorrem simultaneamente, após o início do florescimento (BLANCO, 2006).

Ressalta-se o ritmo acelerado de crescimento e desenvolvimento do pepineiro (BLANCO, 1999) em comparação a outras hortaliças, pois, tanto em ambiente protegido como em campo aberto, a primeira colheita, pode acontecer, respectivamente, em torno de 33 a 40 dias após o transplante ou de 40 a 70 dias após a sementeira, podendo variar de acordo com o material genético empregado e as condições do local de cultivo (BLANCO, 2006).

O clima desempenha um papel importante para o desenvolvimento e produção satisfatórios da cultura. Medany, Wadid e Abou-hadid (1999) observaram que a temperatura noturna, o sombreamento e o período de cultivo afetaram significativamente a produção de frutos. Temperaturas que oscilam entre 20 a 30°C são consideradas ótimas para a cultura, sendo concentrada sua produção entre os períodos de primavera-verão, contudo, o plantio em outono-inverno é fatível quando existe a possibilidade de cultivar em condições controladas e sem geadas (CARVALHO et al., 2013).

Dentre os tipos de pepino no mercado brasileiro, tem-se o japonês, que se caracteriza por apresentar frutos alongados, de coloração verde escura, possui agradável sabor, sendo bem aceitos pela população. Em algumas cultivares geneticamente melhoradas, o fruto se desenvolve por partenocarpia, o que propicia o cultivo deste tipo de pepino em casas de vegetação, sem a necessidade de realizar a polinização, além de proporcionar melhores condições ambientais para a cultura (CARVALHO et al., 2013). A colheita dos frutos é realizada de acordo ao seu tamanho e não por seu grau de maturidade. Desse modo, ao atingirem 20-25 cm de comprimento deverão ser colhidos (NOMURA; CARDOSO, 2000; GALVANI, 2001; CARDOSO; SILVA, 2003), podendo ser obtidas produtividades superiores a 100 t ha⁻¹.

2.2 Nutrição mineral do pepineiro

Devido ao pepino ser uma hortaliça de consumo *in natura* e muito perecível, a qualidade nutricional merece grande importância ao momento da sua exploração.

Desse modo, a relevância dos trabalhos relacionados ao estado nutricional da cultura aumenta, pois, desequilíbrios nutricionais podem afetar de forma direta a produtividade e qualidade do produto (ADAMS; GRAVES; WINSOR, 1992; WHITE; BROADLEY, 2003; AGHILI et al., 2009).

Solis (1982), trabalhando com a cultivar Aodai de pepineiro, cultivado a campo aberto, estabeleceu faixas adequadas de nutrientes para a cultura de 29 a 42; 2 a 4; 16 a 27; 6 a 16; 9 a 12 e 4 a 4,2 g kg⁻¹ de massa seca foliar, para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Moltay et al. (1999) propuseram como teores adequados de macronutrientes na cultura, 41; 5,2; 45; 31 e 5 g kg⁻¹ de massa seca foliar para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Já, Maynard e Hochmuth (2007) estabeleceram como faixas adequadas de macronutrientes para pepineiro cultivado em casa de vegetação as concentrações, em g kg⁻¹, de 25 a 50; 5 a 10; 30 a 60; 8 a 60; 4 a 8 e 4 a 8, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S.

Ferreira et al. (2011) observaram sintomas específicos ante a deficiência de um ou mais nutrientes em plantas de pepino, concluindo que tais sintomas estão intimamente relacionados à desorganização dos tecidos constituintes. Assim, verificaram diminuição do ritmo de crescimento das plantas submetidas à deficiência de nitrogênio, magnésio e ferro. No primeiro, observaram perda gradual da cor verde das folhas mais velhas a partir da região basal. Os autores verificaram, também, que em plantas cultivadas em solução nutritiva com omissão de Mg houve clorose e manchas marrons entre as nervuras secundárias de folhas basais. Já, na ausência de Fe, as plantas apresentaram prejuízos nas estruturas mais novas.

Incrementos na absorção de N, P e K foram verificados em pepineiro com o aumento da concentração dos nutrientes em solução nutritiva (ADAMS, 1994). Ainda, o autor observou que a taxa de absorção de K e de N permaneceu constante durante o ciclo da cultura, e, por consequência, a relação N:K manteve-se constante também (1:1,3) a diferença do observado para tomateiro, onde as relações oscilaram.

Por outro lado, Fernandes et al. (2002) afirmaram que mudando a relação N:K entre a fase vegetativa (1:1,4) e reprodutiva (1:2,0) em pepineiro cultivado em hidroponia, houve bom desempenho, obtendo produtividade média de 123 t ha⁻¹,

com teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S de 43; 8; 41; 62; 14 e 16 g kg⁻¹, respectivamente.

2.3 Avaliação do estado nutricional

A avaliação do estado nutricional serve como importante ferramenta para a adequada fertilização das culturas, e consiste, basicamente, em comparar uma amostra a um padrão de normalidade, que se traduz, em termos nutricionais, em uma planta adequadamente balanceada com potencial genético ao máximo (PRADO, 2008; HOCHMUTH et al., 2012). Assim, objetiva-se, principalmente, identificar o elemento limitante no crescimento e desenvolvimento das culturas (EPSTEIN; BLOOM, 2006), para poder realizar os ajustes necessários na fertilização.

Para o planejamento em que se busca dar adequada nutrição à planta, é preciso considerar uma gama de fatores, entre eles: o solo, a própria planta, o clima, a presença de pragas e doenças, entre outras. Não há possibilidade alguma que um fator por se só explique ou dê garantia do que acontece em um ecossistema, sendo preciso fazer distintas análises, visando dar respostas mais exatas frente determinadas situações. Portanto, para a avaliação do estado nutricional das plantas deve-se realizar tanto a análise química como a análise visual da própria planta, nas quais, geralmente, o órgão utilizado como amostra é a folha, pois, nesta ocorre a maioria dos processos metabólicos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Dentre as técnicas para avaliação do estado nutricional, a diagnose visual destaca-se por sua facilidade e rapidez, pois, pode ser utilizada diretamente no campo. Segundo Hochmuth et al. (2012), a visualização de uma deficiência nutricional é o efeito causado por uma seqüência de eventos que conduzem à manifestação final daquele déficit de nutriente, portanto, um baixo fornecimento de elementos essenciais pode diminuir o crescimento e a produção de uma planta sem apresentar sintomas visíveis. Entretanto, quando a deficiência é aguda, é possível observar claramente os sintomas e, provavelmente, o desenvolvimento e a produção da cultura já foram comprometidas (RÖMHELD, 2012).

Contudo, embora os sintomas de deficiência tenham um padrão de expressão entre as distintas culturas, produto da sua mobilidade e participação em determinados processos fisiológicos nas plantas (MALAVOLTA, 2006), podem se

apresentar de diferentes formas (WHITE, 2012). Portanto, contar com material ilustrativo e descritivo dos diferentes sintomas causados pela deficiência de nutrientes nas culturas constitui-se em valiosíssima ferramenta para os produtores da hortaliça.

Para avaliação nutricional das plantas, segundo o método de diagnose foliar por meio da análise química dos teores de nutrientes no tecido vegetal, precisa-se a adoção de cuidadosos procedimentos padrões, tanto para a colheita das amostras como para o preparo e análise das mesmas, pois, a concentração de um elemento, em determinada espécie ou órgão, é muito variável. Segundo Prado (2008), embora o método tenha poucas limitações, ainda os agricultores brasileiros não o adotam como prática habitual, visando melhor entendimento do que ocorre nas plantas.

Diante disso, a avaliação do estado nutricional torna-se extremamente importante para quem deseja usufruir da exploração comercial de hortaliças, pois, a fertilização irá agir significativamente sobre os custos de produção (TRANI; RAIJ, 1997). Assim, o fornecimento adequado de nutrientes nos estádios de desenvolvimento das plantas é fundamental para a obtenção de lucratividade e qualidade nas lavouras (FAQUIN, 2005), portanto, deve-se ter muito cuidado nas quantidades utilizadas para a fertilização, considerando os requerimentos das plantas, pois, variam de acordo com o genótipo, as técnicas de manejo e com as condições de solo e clima em que as culturas são exploradas (BARTA; TIBBITTS, 2000; PALENCIA et al., 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em sistema hidropônico *nutrient film technique* (NFT), no Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, pertencente ao Departamento de Produção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, situada a 21°15'22" Sul e 48°18'58" Oeste, e altitude de 575 metros, no período de 6 de março a 9 de maio de 2014.

3.2 Cultivo do pepineiro, tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: T₁ - solução nutritiva completa (SC); T₂ - omissão de nitrogênio (-N); T₃ - omissão de fosforo (-P); T₄ - omissão de potássio (-K); T₅ - omissão de cálcio (-Ca) e T₆ - omissão de magnésio (-Mg). Cada unidade experimental foi constituída por um canal de cultivo com quatro plantas.

Em 6 de março de 2014, foi realizada a semeadura do pepino 'Nikkey', do grupo japonês, em espuma fenólica de 54 células com dimensões de 5 x 5 x 3 cm, permanecendo em casa de vegetação para germinação, emergência e crescimento inicial das mudas até expansão das folhas cotiledonares (Figura 1).



Figura 1. Crescimento inicial de plântulas de pepineiro 'Nikkey' em espuma fenólica, na casa de vegetação.

Em 16 de março, dez dias após a semeadura, as plântulas foram transferidas para canais de cultivo hidropônico NFT de 5 cm de diâmetro, e foram transplantadas para os canais hidropônicos definitivos em 1 de abril, quando apresentavam duas

folhas (Figura 2). Foram mantidas com solução nutritiva completa até o dia 13 de abril, quando começaram os tratamentos de omissão de nutrientes.

Os canais de cultivo definitivo corresponderam a tubos de PVC de 0,2 m de diâmetro e 2 m de comprimento, cortados longitudinalmente no maior diâmetro do tubo e cobertos com Tetrapak[®] para evitar a incidência da radiação solar na solução nutritiva. O espaçamento entre plantas foi de 1,1 m entre canais de cultivo e 0,5 m entre plantas no canal.



Figura 2. Unidade experimental, composta por quatro mudas de pepino ‘Nikkey’, um reservatório plástico e um canal de PVC coberto com papel Tetrapak[®].

Até a aplicação dos tratamentos, as plantas receberam solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950) modificada, cujas concentrações dos nutrientes, em mg L^{-1} , foram 14; 196; 31; 234; 200; 46; 64; 5,2; 0,57; 0,51; 0,02; 0,11; 0,01 de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn, B, Cu, Zn e Mo, respectivamente. Foram utilizados os fertilizantes nitrato de potássio, nitrato de cálcio, monoamônio fosfato, fosfato monobásico de potássio, sulfato de magnésio, sulfato de potássio, como indicado na Tabela 1, com as quantidades de cada fertilizante em cada tratamento. Para os micronutrientes, em todos os tratamentos, foram aplicados, em mg L^{-1} , 0,08 de sulfato de cobre, 2,2 de sulfato de manganês, 0,5 de sulfato de zinco, 3,0 de ácido bórico, 80 de ferro quelatizado EDDHMA e 0,02 de molibdato de amônio.

Tabela 1. Quantidade de fertilizantes utilizados no preparo da solução nutritiva completa e as soluções com omissão de macronutriente (g 1000L⁻¹).

Solução	SMg	SK	CaCl	KCl	NA	NK	NCa	NMg	MAP	MKP	AS*	AN*	AK	ACa
Completa	460	23,5	-	-	-	570	842	-	51	56	-	-	-	-
- N	920	97	580	484	-	-	-	-	-	355	-	-	177	161
- P	-	377	-	74	34	113	842	767	-	-	-	-	-	-
- K	200	-	-	-	-	-	1516	1074	279	-	60	-	-	-
- Ca	-	377	-	-	323	220	-	1129	-	270	-	100	-	-
- Mg	-	533	-	-	90	564	1684	-	102	154	-	100	-	-

SMg – Sulfato de magnésio; SK – Sulfato de potássio; CaCl – Cloreto de cálcio; KCl – Cloreto de potássio; NA – Nitrato de amônio; NK – Nitrato de potássio; NCa – Nitrato de cálcio; NMg – Nitrato de magnésio; MAP – Monoamônio fosfato; MKP – Fosfato monobásico de potássio; AS – Ácido sulfúrico; AN – Ácido nítrico; AK – Acetato de potássio; ACa – Acetato de cálcio. (*): mL L⁻¹.

Em 13 de abril, quando as plantas estavam em início da frutificação, com 38 dias após a semeadura, os tratamentos foram aplicados, com a substituição da solução nutritiva completa por soluções com omissão de um dos macronutrientes. Exceção foi feita ao K, que por ser o nutriente mais acumulado pelo pepineiro e em quantidade elevada (SOLIS, 1982), inicialmente, a concentração do nutriente na solução nutritiva foi reduzida para 10% do total presente na solução nutritiva completa, sem ser observado sintoma de deficiência, portanto, em 24 de abril procedeu-se à omissão do nutriente na solução nutritiva. Além disso, e devido à água de abastecimento da hidroponia conter 19 mg L^{-1} de cálcio, foi utilizada água deionizada no tratamento com omissão desse nutriente.

Cada parcela foi constituída por um sistema NFT independente, com um reservatório de 150 L, de onde as soluções nutritivas eram bombeadas por uma bomba submersa (marca Chosen, modelo Power Head CX-300 com vazão de 1000 L h^{-1}) até a cabeceira do canal, por mangueira de $\frac{3}{4}$ de polegada. O acionamento das bombas foi controlado por um temporizador, permitindo a circulação da solução nutritiva durante o dia, desde as 6h às 18h sem interrupção. As plantas foram conduzidas com crescimento livre nos canais de cultivo, ou seja, uma haste principal no sentido vertical, utilizando fita plástica, e sem desbrotas das ramificações laterais, visando a maior área foliar possível e aumentar a demanda por nutrientes e a possibilidade de ocorrerem os sintomas de deficiência nutricional.

O pH das soluções nutritivas foi medido a cada dois dias com a utilização de peagâmetro digital portátil (marca Hanna, modelo HI 98108) e mantido entre 6,0-6,5, utilizando-se ácido sulfúrico a 6 N e hidróxido de sódio a 8 N. Exceção foi feita para o tratamento com omissão de S, pois, foi utilizado ácido nítrico para abaixar o pH da solução. A condutividade elétrica (CE) foi mantida entre 1,8 e 2,2 dS m^{-1} utilizando-se um condutímetro digital portátil (marca Hanna, modelo HI 98312), a qual foi restabelecida ao seu valor inicial sempre que se constatou redução de 20% da CE inicial, utilizando-se solução nutritiva estoque da mesma concentração de nutrientes da solução inicial para cada tratamento, armazenadas em reservatórios de polietileno com capacidade de 1000 L. A cada três reposições da CE com solução nutritiva estoque, aproximadamente 15 dias, as soluções nutritivas foram renovadas completamente.

3.3 Avaliações

Os sintomas de deficiências dos macronutrientes foram descritos e registrados através de fotografias. Para avaliação do estado nutricional foi utilizada a folha completa recém madura, no período da floração (HOCHMUTH et al., 2012), em plantas cultivadas em solução nutritiva completa. Neste tratamento foram determinados os teores de todos os macronutrientes conforme métodos descritos por Bataglia et al. (1983), enquanto nos demais tratamentos, apenas determinou-se o teor do macronutriente omitido no surgimento dos sintomas nas folhas velhas (situadas entre o terceiro e o quinto nó a partir da base das plantas), intermediárias (situadas entre o quinto e oitavo nó a partir da ponta, excluindo o tufo apical) e novas ou próximas aos meristemas (situadas a partir do terceiro nó a partir da ponta, excluindo o tufo apical) e foram comparadas com as coletadas das plantas cultivadas em solução nutritiva completa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Nitrogênio

A visualização do início de sintomas de deficiência de N aconteceu três dias após a omissão do nutriente na solução nutritiva, caracterizado por leve perda na tonalidade verde dos limbos das folhas intermediárias da haste principal da planta (Figura 3). O crescimento acelerado e contínuo da cultura até a colheita (BLANCO, 1999), somado à quantidade demandada e a importância do nutriente no metabolismo vegetal, explicam a rapidez no surgimento de sintomas da deficiência. O N faz parte estrutural de muitos componentes da célula vegetal como aminoácidos, ácidos nucléicos, proteínas, coenzimas e clorofila, portanto, implicado em todos os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal (COLL et al., 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013).



Figura 3. Clorose em folha intermediária de pepineiro 'Nikkey' como efeito da omissão de nitrogênio na solução nutritiva.

Nesse momento, os teores das folhas novas, intermediárias e mais velhas eram de 33,4; 18,9 e 20,5 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2), caracterizando a redistribuição de N na planta. De acordo com Maynard e Hochmuth (2007) e Hochmuth et al. (2012), plantas de pepino deficientes em N apresentam teor foliar inferior a 25 g kg⁻¹, no início da frutificação, portanto, na visualização do sintoma inicial (42 dias de ciclo), só as folhas novas encontram-se com teor de N adequado.

Tabela 2. Teor (g kg^{-1}) foliar de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no pepino 'Nikkei' cultivado em solução nutritiva completa (SC) e com omissão de um dos macronutrientes, na época da visualização do sintoma inicial de deficiência.

Solução Nutritiva		Teor foliar (g kg^{-1})				
		N	P	K	Ca	Mg
SC	FN	61,3	6,9	21,5	6,3	3,3
	FI	57,8	5,3	28,5	11,7	2,9
	FV	53,8	6,3	23,2	34,7	5,2
Omissão do nutriente na coluna	FN	33,4	5,3	13,8	1,5	1,6
	FI	18,9	1,5	9,5	3,1	1,2
	FV	20,5	2,0	14,1	19,1	2,4

FN - Folha nova; FI - Folha intermediária; FV - Folha velha.

Tanto em plantas cultivadas com solução nutritiva completa quanto de plantas em omissão de N, nota-se que o teor do nutriente aumentou a favor da região meristemática, embora a diferença entre os teores de folhas velhas e novas tenha sido menor (12,2%) do que entre folhas de plantas deficientes (38,6%) (Tabela 2). No entanto, com o efeito da omissão do nutriente na solução nutritiva, a concentração do nutriente na folha intermediária foi inferior ao preconizado como adequado ($18,9 \text{ g kg}^{-1}$).

O teor de N na folha padrão de avaliação do estado nutricional, em plantas cultivadas em solução nutritiva completa foi de $57,8 \text{ g kg}^{-1}$, maior ao sugerido como adequado para a cultura. Folhas novas de plantas cultivadas com solução completa apresentaram quase o dobro do teor de N nas folhas novas de plantas crescidas sob carência de N (Tabela 2).

A redistribuição de N em plantas deficientes e a consequente clorose de folhas velhas origina-se após o processo de proteólise da Rubisco e outras proteínas dos cloroplastos, que resulta na decomposição de clorofila de folhas mais velhas, liberando o nutriente em forma de aminoácidos para atender à demanda de novos órgãos (FELLER; ANDERS; DEMIREVSKA, 2008). Com isto, explica-se também a menor diferença de teores entre folhas velhas e novas em plantas cultivadas em solução nutritiva completa do que em plantas submetidas à omissão do nutriente na solução. Assim, maiores teores de N em folhas novas são normais e se deve ao fato de ser uma região de alta atividade metabólica, demandando grande quantidade do nutriente para a síntese proteica, principalmente, da Rubisco (MAE, 2004; FELLER; ANDERS; MAE, 2008).

Com a permanência da omissão do nutriente na solução nutritiva, a clorose de folhas intermediárias acentuou-se e folhas mais velhas das plantas começaram a apresentar amarelecimento inicial, enquanto folhas próximas aos meristemas não manifestavam sintomas. A clorose de folhas velhas é o sintoma inicial típico da deficiência de N, pois, por ser um nutriente de fácil redistribuição na planta, via floema, e diante da escassez do nutriente no meio, a planta o redistribuiu das folhas mais velhas e intermediárias para os órgãos ou folhas mais novas (HAWKESFORD et al., 2012) objetivando garantir o crescimento e desenvolvimento.

Verificou-se clorose generalizada em folhas intermediárias e velhas das plantas, aos sete dias após a omissão do nutriente na solução nutritiva. Nesta época, notou-se que as plantas cultivadas em omissão de N apresentavam menor crescimento que as plantas cultivadas em solução nutritiva completa (Figura 4). Com 46 dias de ciclo, o tamanho das plantas deficientes era, em média, de 1 m, com 10 nós foliares, enquanto o tamanho médio das plantas cultivadas em solução nutritiva completa era de 1,6 m, com 14 nós.



Figura 4. Crescimento de pepineiro 'Nikkey' em solução nutritiva completa (SC) e com omissão de nitrogênio (-N).

O crescimento reduzido em plantas deficientes em N é outro sintoma típico, verificado por Ferreira et al. (2011) em plantas de pepino. Os autores observaram efeitos sobre altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule e na área foliar, aos 28 dias após o transplante (46 dias de ciclo), enquanto Avalhães et al. (2009) reportaram clorose uniforme das folhas mais velhas e crescimento reduzido de

repolho submetido à omissão de N, afirmando que foi o nutriente que mais limitou a produção de matéria seca das plantas.

Dez dias após a omissão de N na solução nutritiva, as plantas apresentavam-se com menor altura e tamanho das folhas em comparação às cultivadas em solução completa. Nessa época, as folhas novas também se apresentaram levemente cloróticas, o que pode ser explicado pela alta demanda de N, pois, as plantas estavam com 49 dias de ciclo e frutificando (SOLIS, 1982). Portanto, nesse momento, com a ausência do nutriente no meio, os frutos tornam-se drenos muito fortes, em detrimento das estruturas vegetativas. Tanemura et al. (2008) observaram aumento na taxa de distribuição de N para os frutos de pepino, desde a primeira colheita (3,7%) até o final do ciclo (43%), em detrimento de folhas velhas e hastes, e concluíram que aproximadamente o 50% do N presente nos frutos foi absorvido ou redistribuído após o florescimento.

Leve murcha e clorose generalizada, incluído as hastes, foi observado em plantas com efeito da omissão de N, 15 dias após o início dos tratamentos (Figura 5). Além disso, verificou-se paralisação do crescimento dos frutos fixados pelas plantas.



Figura 5. Clorose generalizada em planta de pepino 'Nikkey' após quinze dias de omissão de N na solução nutritiva.

4.2 Fósforo

A primeira visualização da deficiência de P em plantas cultivadas com omissão do nutriente na solução nutritiva ocorreu aos 20 dias após o início dos tratamentos. Observou-se perda da cor verde nas folhas intermediárias, as quais apresentaram coloração bronzeada em comparação às cultivadas em solução completa (Figura 6). Com baixa disponibilidade de P no meio de crescimento, as plantas começam o processo da redistribuição do nutriente para órgãos mais novos, com o objetivo de manter a atividade metabólica e o desenvolvimento das plantas (COLOMB; KINIRY; DEBAEKE, 2000; MALAVOLTA, 2006), explicando-se a perda de cor verde das folhas intermediárias e o baixo teor foliar, em consequência da redistribuição do nutriente.

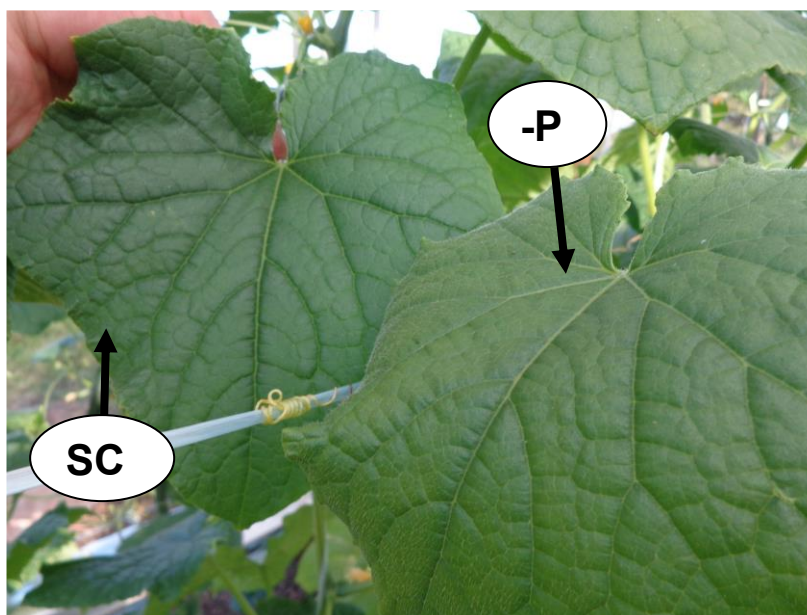


Figura 6. Clorose em folha intermediária de pepino 'Nikkey' como efeito da omissão de fósforo na solução nutritiva (-P) em comparação à de solução nutritiva completa (SC).

Na visualização do sintoma, os teores de P nas folhas novas, intermediária e velhas das plantas submetidas à omissão do nutriente eram menores aos observados nas respectivas folhas de plantas cultivadas em solução completa (Tabela 2). Maynard e Hochmuth (2007) propõem como faixa adequada entre 5 a 10 g kg⁻¹ de P foliar para a cultura de pepineiro.

O teor de P nas folhas velhas (2,0 g kg⁻¹) era inferior ao considerado adequado para pepineiro, contudo, a perda de coloração verde não foi visualizada nestas folhas. Observa-se que, mesmo ao verificado para plantas com efeito da

omissão de N, em ausência de P as plantas redistribuíram o nutriente desde as folhas intermediárias e velhas para as folhas próximas aos meristemas.

Quando da visualização do sintoma, as plantas apresentavam crescimento normal, com 23 nós foliares e 2 m de comprimento da haste principal, semelhante às plantas cultivadas em solução completa. Como a omissão do P foi realizada na mesma época da omissão de N, verificou-se que, diferentemente do observado para N, que rapidamente desacelerou o crescimento, a planta de pepino continuou o crescimento mesmo sem P disponível no meio.

Silva Júnior et al. (1995) observaram que com a ausência de P na solução nutritiva, as plantas de pepino não apresentaram paralisação severa do crescimento, o que pode ser devido à pequena demanda do nutriente, principalmente, em estágio vegetativo da cultura (SOLIS, 1982) e sua alta mobilidade na planta (HAWKESFORD et al., 2012), explicando-se também a demora na manifestação inicial de sintomas, no presente trabalho.

Com a evolução da deficiência de P na planta, foi verificado leve encarquilhamento dos limbos das folhas intermediárias (Figura 7A) e aparecimento de clorose nas folhas velhas. Diferentemente do amarelecimento uniforme no limbo foliar causado pela deficiência de N, a clorose motivada pela omissão de P causou amarelecimentos de áreas aleatoriamente distribuídas no limbo foliar, como um mosaico, caminhando da região de inserção do pecíolo no limbo para os bordos (Figura 7B).

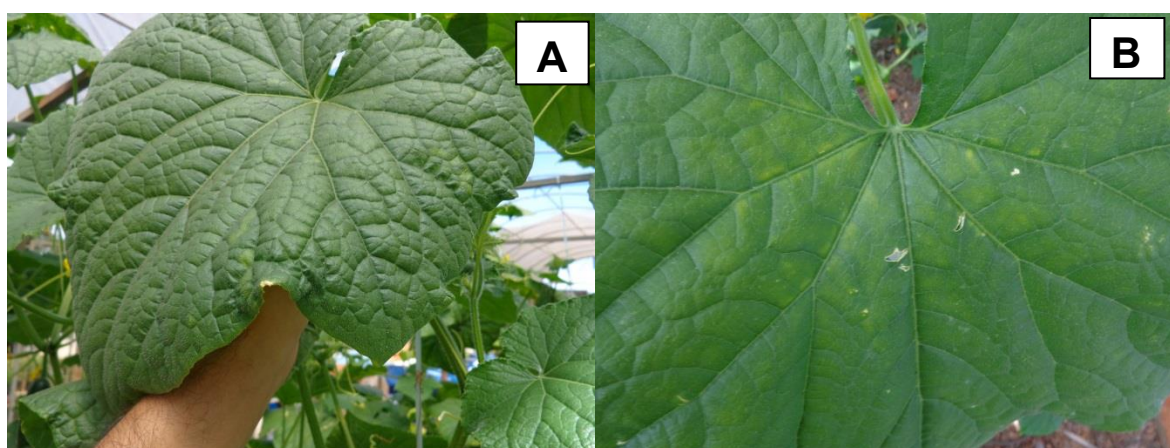


Figura 7. Encarquilhamento de folhas intermediárias (A) e clorose inicial de folhas basais (B) de pepineiro 'Nikkey' como efeito da omissão de fósforo na solução nutritiva.

O P compõe a principal molécula energética das plantas (ATP) e faz parte da estrutura de membranas celulares, pelo que, a sua ausência explica o encarquilhamento de tecidos e a deficiente expansão foliar em plantas submetidas à omissão de P, diminuindo a síntese e divisão celular, conforme verificado por Assuero, Mollier e Pellerin (2004) em folhas de milho deficientes em P.

Tecidos necróticos e queima dos bordos foram observados nos limbos de folhas intermediárias e velhas após 27 dias da omissão do nutriente na solução, justamente onde se tinha evidenciado sintomas de perda da cor verde, coerente com o observado por Shi et al. (2012), que reportaram necrose em folhas de mini-pepineiro, deficientes em P, ao final do experimento.

4.3 Potássio

Sintomas iniciais da deficiência de K foram verificados dois dias após a omissão do nutriente na solução nutritiva. Observou-se clorose na margem apical do limbo de folhas intermediárias das hastes principal e secundárias, progredindo para o centro da folha, em tecidos localizados entre as nervuras (Figura 8). Os sintomas concordam com os verificados por Silva Júnior et al. (1995) em pepineiro. Os autores relataram mosaico verde e amarelo no limbo foliar, com as nervuras centrais permanecendo verdes, assim como também observado por Avalhães et al. (2009), em repolho.



Figura 8. Clorose inicial de folhas intermediárias de pepineiro 'Nikkey' como efeito da omissão de potássio na solução nutritiva.

Por ocasião da visualização da deficiência, o teor de K nas folhas intermediárias era de $9,5 \text{ g kg}^{-1}$, muito inferior à faixa de 30 a 60 g kg^{-1} , considerada adequada ao pepineiro (MAYNARD; HOCHMUTH, 2007) e inferior também à proposta por Hochmuth et al. (2012), 16 a 30 g kg^{-1} . Folhas novas e velhas das plantas, que não apresentaram sintomas de deficiência nesta época, estavam com 13,8 e $14,1 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 2).

Bordos amarelecidos nas folhas entre o sétimo ao décimo quarto nó, da haste principal, e entre a quarta e a quinta folha dos ramos secundários foram observados aos quatro dias da omissão de K na solução nutritiva. Para Cakmak (2005), isto acontece pela síntese excessiva de espécies reativas de oxigênio (ERO) em plantas deficientes em K, ocasionando degradação de clorofila e danos em membranas celulares, o que, em consequência, origina a visualização de clorose de tecidos foliares.

Com a evolução dos sintomas, ocorreu o aparecimento de necroses nos bordos de algumas folhas intermediárias e a clorose avançou para o centro dos limbos (Figura 9). Em folhas mais velhas não foram observados sintomas.



Figura 9. Necrose de bordos foliares em pepineiro 'Nikkey' como efeito da omissão de potássio na solução nutritiva.

Após nove dias da omissão de K na solução nutritiva, as plantas apresentavam altura, número de nós foliares e ramificações semelhantes às cultivadas em solução nutritiva completa, contudo, a necrose de folhas intermediárias se encaminhou para o interior dos limbos foliares. A necrose de

tecidos em plantas deficientes em K é atribuída ao acúmulo de putrescina (WATSON; MALMBERG, 1996), poliamina que em altas concentrações causam desequilíbrios celulares e necrose de tecidos vegetais (RUIZ; MOYANO; NAVIA, 2004; PATHAK; SILVA; WANI, 2014).

Com 59 dias de ciclo, observou-se que as folhas próximas aos meristemas começam a manifestar amarelecimento nos bordos apicais com avanço para o centro dos limbos foliares.

4.4 Cálcio

A visualização de sintoma de deficiência de Ca em plantas de pepino ocorreu três dias após a omissão do nutriente na solução nutritiva, quando as plantas estavam com 42 dias de ciclo. A rápida visualização de sintomas da deficiência de Ca atribui-se à participação do nutriente na estruturação e estabilização celular, pois, dentre os macronutrientes, o Ca encontra-se em maior proporção na lamela média da parede celular, na forma de pectato, contribuindo na elongação e expansão celular (WHITE; BROADLEY, 2003; WEHR; MENZIES; BLAMEY, 2004).

Diferindo do observado para N, P e K, os sintomas da deficiência de Ca foram notados, primeiramente, nas folhas novas das plantas. Foram percebidas pontuações cloróticas espalhadas, aleatoriamente, nas folhas próximas aos meristemas das hastes principal e secundárias (Figura 10).



Figura 10. Clorose inicial em folha nova de pepineiro 'Nikkey' como efeito da omissão de cálcio na solução nutritiva.

Quando visualizado o sintoma inicial de deficiência de Ca, os teores do nutriente nas folhas novas, intermediárias e velhas eram 1,5; 3,1 e 19,1 g kg⁻¹ (Tabela 2). Portanto, somente as folhas velhas possuíam Ca em concentração considerada adequada para a cultura. No entanto, se considerada a faixa de 8 a 60 g kg⁻¹ proposta como adequada para pepineiro (MAYNARD; HOCHMUTH, 2007), folhas novas de plantas cultivadas em solução nutritiva completa estariam, também, em condição de carência do nutriente. Contudo, vale ressaltar que, nesta época de avaliação dos teores foliares, somente foi observado sintoma de deficiência de Ca nas folhas novas da planta cultivada com omissão do nutriente.

De acordo com os teores foliares de Ca nas folhas das plantas cultivadas com omissão e presença de Ca, a concentração do nutriente aumenta a favor de partes mais velhas da planta (Tabela 2).

O baixo teor de Ca em folhas novas é atribuído à baixíssima mobilidade do nutriente na planta (DODD; KUDLA; SANDERS, 2010; HAWKESFORD et al., 2012), portanto, à baixíssima taxa de redistribuição de órgãos velhos para novos (HAWKESFORD et al., 2012), e à baixa taxa transpiratória desses órgãos novos (WHITE, 2012), o que diminui a força desses drenos na partição do Ca absorvido pela planta.

Sintomas de deficiência de Ca atingiram as folhas intermediárias cinco dias após a omissão do nutriente na solução nutritiva, as quais, assim como nos tecidos mais novos, começaram a apresentar clorose nos limbos acompanhada de pequenas pontuações necróticas, sendo, primeiramente, visualizadas nos bordos foliares (Figura 11) com avanço para todo o limbo. Isto é atribuído à desestruturação celular e ao subsequente colapso dos tecidos vegetais, como observado por Silva Júnior et al. (1995) e Pitchay (2002), em pepineiro e plantas ornamentais, respectivamente.

Seling et al. (2000) também observaram “tipburn” em folhas novas de batata, cultivada em deficiência de Ca, atribuindo os sintomas ao aumento na atividade da enzima polygalacturonase e ao aumento na concentração de ácido urônico na parede celular, elementos diretamente relacionados com a degradação de pectatos. Segundo Coll et al. (2001), as deficiências de Ca são mais frequentes em solos

ácidos, e podem vir acompanhadas de altos teores de metais pesados, como o alumínio e o manganês, contribuindo para a degradação dos tecidos vegetais.

O “tipburn” é a principal sintomatologia que caracteriza a deficiência de Ca nas plantas (WHITE, 2012), sendo, predominantemente, observada nos ápices da parte aérea, podendo ser acompanhada de lesões necróticas em frutos ou órgãos de reserva.



Figura 11. Clorose e tecidos necrosados na margem de folha intermediária de pepineiro ‘Nikkey’ como efeito da omissão de cálcio na solução nutritiva.

A evolução dos sintomas de deficiência de Ca nos tecidos das plantas agravou a necrose de tecidos localizados na margem de limbos e causou o encarquilhamento de folhas próximas aos meristemas (Figura 12). Também foi constatado intensificação da clorose nos limbos das folhas intermediárias. As folhas velhas das plantas não apresentaram sintoma de carência do nutriente.

As observações desse trabalho são coerentes com os resultados obtidos por Simon (1978) e Pitchay (2002), os quais, também verificaram enrolamento da margem das folhas mais novas, e logo após apresentaram-se necrosadas. Silva Júnior et al. (1995) descreveram a má formação foliar, em pepineiro deficiente em Ca, com margem das folhas voltadas para acima. Segundo White e Broadley (2003), os órgãos em crescimento demandam altas e contínuas quantidades de Ca para a estabilização da parede celular e a integridade da membrana plasmática, visando garantir a normal morfogênese vegetal.



Figura 12. “Tipburn”, encarquilhamento e necrose em folha nova de pepiniero ‘Nikkey’ como efeito da omissão de cálcio na solução nutritiva.

Quinze dias após a omissão - 54 dias de ciclo - as plantas estão severamente danificadas pela ausência de Ca na solução nutritiva, algumas folhas basais apresentaram pontuações necróticas nos limbos e perda da cor verde. As folhas intermediárias e próximas aos meristemas manifestam severo “tipburn” e encarquilhamento, e as plantas pararam seu crescimento. Verificou-se que tanto a emissão de flores como o desenvolvimento dos frutos diminuiu, consideravelmente, em comparação às plantas em solução completa, além disso, foi possível observar gavinhas necróticas e sintomas de podridão apical em alguns frutos (Figura 13).



Figura 13. Podridão apical em pepineiro ‘Nikkey’ como efeito da omissão de cálcio na solução nutritiva.

A podridão apical é uma desordem fisiológica comum em diversas hortaliças de fruto (HO; WHITE, 2005), e causada pela concentração inadequada de Ca nos tecidos afetados. Marcelis e Ho (1999) observaram correlação negativa entre a incidência da podridão apical em frutos de pimentão e o teor de Ca no pericarpo distal dos frutos. Contudo, atribuíram à ocorrência do distúrbio à taxa de crescimento dos frutos e ao aumento na demanda do nutriente em estágio reprodutivo da cultura.

Em pepineiro, Aghili et al. (2009) observaram correlação significativa entre a concentração de Ca e a firmeza dos frutos, variável que tem sido diretamente relacionada com a menor incidência da desordem, pois, frutos mais firmes apresentaram maior teor de Ca nos tecidos vegetais e, também, menor incidência de podridão apical (TAYLOR; LOCASCIO; ALLIGOOD, 2002; RAB; HAQ, 2012).

Salienta-se que o nutriente ao ser absorvido é rapidamente transportado, via fluxo xilemático, aos órgãos com maior taxa transpiratória, como folhas mais velhas, em detrimento das regiões de franco crescimento, os quais apresentam menor fluxo xilemático (WHITE, 2012). Essa característica do Ca pode fazer com que não seja percebida correlação entre o teor foliar de Ca e a ocorrência de podridão apical.

4.5 Magnésio

Semelhante ao acontecido com N, P e K, nutrientes reconhecidos como móveis nas plantas (MALAVOLTA, 2006), a visualização inicial de sintomas de deficiência de Mg começou em folhas intermediárias, cinco dias após a omissão.

A explicação para a diferença parcial na localização inicial de sintomas de deficiências nutricionais respeito da literatura (HAWKESFORD et al., 2012), pode ser devido a que o presente trabalho foi realizado com a omissão de nutrientes e não com a redução da concentração dos mesmos em solução nutritiva, e ao fato de ter sido aplicada em estágios de alta demanda nutricional. Portanto, ante a abrupta retirada dos nutrientes das soluções nutritivas no período em que as plantas começavam a frutificação, estes foram redistribuídos desde áreas mais próximas às regiões em franco crescimento, ou seja, desde folhas intermediárias às folhas novas. Para White (2012), a interrupção repentina de nutrientes (omissão) pode ocasionar respostas diferentes às ocorridas em condições de campo (deficiência), onde a disponibilidade de nutrientes é menos variável.

Devido à mobilidade do nutriente na planta, podendo ser redistribuído para órgãos carentes em Mg, os sintomas, em geral, iniciam-se primeiramente nas folhas velhas (COLL et al., 2001; MALAVOTA, 2006; HAWKESFORD et al., 2012). Contudo, o sintoma inicial foi observado em folhas intermediárias, caracterizado por leve clorose entre as nervuras secundárias das folhas (Figura 14), sintomatologia conhecida como “reticulado grosso” (VERBRUGGEN; HERMANS, 2013).



Figura 14. Clorose internerval em folha intermediária de pepineiro ‘Nikkey’ como efeito da omissão de magnésio na solução nutritiva.

Nessa época, as plantas submetidas à omissão do nutriente apresentavam 1,6; 1,2 e 2,4 g kg⁻¹, nas folhas novas, intermediárias e mais velhas, respectivamente (Tabela 2). Esses teores são inferiores aos considerados adequados por Maynard e Hochmuth (2007), 4 a 8 g kg⁻¹. Porém, considerando essa faixa de Mg para a cultura, tanto folhas novas como intermediárias das plantas cultivadas em solução nutritiva completa, também, estariam em deficiência.

A clorose motivada pela deficiência de Mg é explicada por Candan e Tarhan (2003), pelo acúmulo excessivo de espécies reativas de oxigênio (ERO), que causa severos danos oxidativos às tilacóides e, conseqüentemente, à desestruturação dos cloroplastos. Quanto à clorose internerval, Vitti, Lima e Cicarone (2006) explicam que a clorofila mais próxima às nervuras permanece inalterada por mais tempo do que as presentes entre as nervuras.

Após sete dias da omissão do Mg, o “reticulado grosso” foi observado tanto em folhas intermediárias como em velhas, das hastes principal e secundária das plantas, enquanto folhas mais novas não manifestaram o sintoma. Avalhães et al.

(2009) e Ferreira et al. (2011) verificaram sintomas semelhantes, aos observados no presente trabalho, em plantas de repolho e pepineiro, respectivamente, quando submetidas à omissão de Mg em solução nutritiva.

Com a permanência da omissão do nutriente na solução nutritiva, a evolução dos sintomas continuou, tanto em folhas intermediárias como em velhas. Com o agravamento do “reticulado grosso”, as áreas cloróticas internervais tornaram-se esbranquiçadas, e observou-se encarquilhamento dos bordos foliares (Figura 15). Em estádios avançados da deficiência de Mg, as lesões cloróticas entre as nervuras, dão continuidade à desintegração do mesófilo e, portanto, permanecendo somente a cutícula externa inalterada, provocando a aparência esbranquiçada das folhas (SILVA JÚNIOR et al., 1995).

Sintomas severos de deficiência foram observados 16 dias após a omissão do Mg em folhas mais velhas, enquanto nas próximas aos meristemas não foram percebidos. Neste período, as plantas apresentavam frutos em desenvolvimento, mas com sintomas de colapso de tecidos apicais, semelhante ao acontecido na deficiência de Ca.



Figura 15. Clorose internerval e esbranquiçamento em folha intermediária de pepineiro ‘Nikkei’ como efeito da omissão de magnésio na solução nutritiva.

Adams (1994) observou que ao aumentar a relação entre Ca:Mg, diminuindo a concentração de Mg na solução nutritiva, houve perda de massa, produtividade e qualidade de frutos, em plantas de pepino cultivadas em sistema NFT. Assim, num

experimento anterior, Adams, Graves e Winsor (1992) verificaram que a deficiência de Mg intensificou a perda de produtividade com as maiores concentrações de N. Ainda os autores, relataram que a severidade aumentou com o transcorrer do tempo. Portanto, em pepineiro a deficiência do nutriente irá afetar a produção da cultura e ocasionar perda na qualidade da colheita.

5 CONCLUSÕES

Com a omissão de nutrientes em plantas em início da frutificação, os sintomas de deficiências de N, P, K e Mg foram observados, inicialmente, em folhas intermediárias, e de Ca em folhas novas.

A deficiência de N, inicialmente, causa clorose uniforme no limbo foliar de folhas intermediárias da planta, sintoma que avança para todas as folhas e causa forte restrição ao crescimento da planta de pepineiro.

Com a omissão de P, os sintomas começam com perda da coloração verde característica das plantas de pepineiro no limbo de folhas intermediárias, evoluindo em áreas cloróticas distribuídas aleatoriamente, tanto em folhas intermediárias como velhas e finaliza em necrose de tecidos.

A omissão de K causa sintomas de clorose em folhas intermediárias das plantas, começando desde a margem apical, progredindo para todo o limbo e finaliza em necrose.

A omissão de Ca, inicialmente, provoca pontuações cloróticas espalhadas aleatoriamente nos limbos de folhas novas, as quais avançam para as folhas intermediárias e com necrose de tecidos, finalmente acaba em podridão apical nos frutos.

Com a omissão de Mg, os sintomas iniciam com clorose internerval de folhas intermediárias, evoluindo em tecidos esbranquiçados e necróticos.

Os teores de N, P, K, Ca e Mg na folha e por ocasião da visualização do sintoma de deficiência são 18,9; 1,5; 9,5; 1,5 e 1,2 g kg⁻¹, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, Littlehampton, v. 361, p. 245-257. 1994.

ADAMS, P.; GRAVES, C. J.; WINSOR, G. W. Some responses of cucumber, grown in beds of peat, to N, K and Mg. **Journal of Horticultural Science**, Littlehampton, v. 67, p. 877-884. 1992.

AGHILI, F.; KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; AFYUNI, M.; MOBILI, M. Relationships between fruit mineral nutrients concentrations and some fruit quality attributes in greenhouse cucumber. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, p. 1994-2007. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904160903308119>>.

ASSUERO, S. G.; MOLLIER, A.; PELLERIN, S. The decrease in growth of phosphorus-deficient maize leaves is related to a lower cell production. **Plant, Cell and Environment**, v. 27, p. 887-895. 2004.

AVALHÃES, C. C.; PRADO, R. M de.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E.; CORREIA, M. A. R. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de plantas de repolho cultivado em solução nutritiva. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, p. 21-28. 2009.

BARTA, D. J.; TIBBITTS, T. W. Calcium localization and tipburn development in lettuce leaves during early enlargement. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 125, p. 294-298. 2000.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BISOGNIN, D. A. Origin and evolution of cultivated cucurbits. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 715-723. 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>>.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 104f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BLANCO, F. F. Fertirrigação na cultura do pepino. In: BOARETTO, A. E.; VILLAS BÔAS, R. L.; SOUSA, V. F.; PARRA I. R. V. **Fertirrigação: teoria e prática**. Piracicaba: EMBRAPA Meio-Norte, 2006, p. 305-330.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, p. 521-530. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200420485>>.

CANDAN, N.; TARHAN, L. Relationship among chlorophyll-carotenoid content, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels by Mg²⁺ deficiency in the *Mentha pulegium* leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 41, p. 35-40. 2003.

CARDOSO, A. I. I.; SILVA, N. Avaliação de híbridos de pepino tipo japonês sob ambiente protegido em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 170-175. 2003.

CARVALHO, A. D. F.; AMARO, G. B.; LOPES, J. F.; VILELA, N. J.; MICHEREFF FILHO, M.; ANDRADE, R. **A cultura do pepino**. Brasília: Embrapa, 2013. 18p. (Circular Técnica, 113).

COLL, J. B.; RODRIGO, G. N.; GARCÍA, B. S.; TAMÉS, R. S. **Fisiología Vegetal**. Ediciones Pirámide, 2001. 568p.

COLOMB, B.; KINIRY, J. R.; DEBAEKE, P. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 428-435. 2000.

DODD, A. N.; KUDLA, J.; SANDERS, D. The language of calcium signaling. **Annual Reviews of Plant Biology**, v. 61, p. 593-620. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-070109-104628>>.

EMATER-DF, 2014. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Custos de produção**. Disponível em: <http://www.emater.df.gov.br/index.php?option=com_contentview=article&id=75&Itemid=87>. Acesso em: 14 de mar. 2014.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas princípios e perspectivas**. Maria Edna Tenório Nunes (Trad.): Londrina. 2006. 403p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186p.

FELLER, U.; ANDERS, I.; MAE, T. Rubiscolytics: fate of Rubisco after its enzymatic function in a cell is terminated. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, p. 1615-1624. 2008.

FELLER, U.; ANDERS, I.; DEMIREVSKA, K. Degradation of rubisco and other chloroplast proteins under abiotic stress. **General and Applied Plant Physiology**, v. 34, p. 5-18. 2008.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; OLIVEIRA, L. R. de. Produtividade, qualidade dos frutos e estado nutricional de plantas de pepino, cultivadas em hidroponia, em função das fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 571-575. 2002.

FERREIRA, S. G; FONTES, P. C. R.; LIMA, L. P. F de; ARAÚJO, T. L.; SILVA, L. F de. Aspectos morfoanatômicos de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) sob omissão de nutrientes. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, p. 13-20. 2011.

GALVANI, E. **Avaliação agrometeorológica do cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) em ambiente protegido e a campo, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão**. 2001. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, J. S.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. In: MARSCHNER, P (Ed.) **Marschner’s Mineral Nutrition of Higher plants**. London: Academic Press, 2012, p. 135-189.

HO, L. C.; WHITE, P. J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of Botany**, v. 95, p. 571-581. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mci065>>.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. The water culture methods for growing plants without soil. Berkeley: University of California, 1950. 32p. (Circular 347).

HOCHMUTH, G.; MAYNARD, D.; VAVRINA, C.; HANLON, E.; SIMONNE, E. **Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crops in Florida**. Florida: University of Florida: IFAS Extension, 2012. 48p.

IEA, 2014. Instituto de Economia Agrícola-SP. **Estadística da Produção Paulista**. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>>. Acesso em: 22 de abril. 2014.

KRÍSTKOVÁ, E.; LEBEDA, A.; VINTER, V.; BLAHOUSEK, O. Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description. **Hort Science**, Prague, v. 30, p. 14-42. 2003.

MAE, T. Leaf senescence and nitrogen metabolism. In: NODEEN, L. D (Ed.) **Plant cell death processes**. San Diego: Academic Press, 2004, p. 157-168.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Ceres: São Paulo. 2006. 638p.

MARCELIS, L. F. M.; HO, L. C. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 357-363. 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/jxb/50.332.357>>.

MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott’s Handbook for Vegetable Growers**. John Wiley & Sons, Inc: New Jersey. 2007.

MEDANY, M. A.; WADID, M. M.; ABOU-HADID, A. F. Cucumber fruit growth rate in relation to climate. **Acta Horticulturae**, v. 486, p. 107-111. 1999.

MOLTAY, I.; SOYERGIN, S.; SURMELI, N.; GENÇ, Ç.; YUREKTURK, M. Determination of the nutrient status of greenhouse-grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) in the east Marmara region. **Acta Horticulturae**, v. 492, p. 237-243. 1999.

NOMURA, E. S.; CARDOSO, A. I. I. Redução da área foliar e o rendimento do pepino japonês. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 257-261. 2000.

PALENCIA, P.; MARTINEZ, F.; RIBEIRO, E.; PESTANA, M.; GAMA, F.; SAAVEDRA, T.; VARENNES, A de.; CORREIA, P. J. Relationship between tipburn and leaf mineral composition in strawberry. **Scientia Horticulturae**, v. 126, p. 242-246. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.024>>.

PATHAK, M. R.; SILVA, J. A. T da.; WANI, S. H. Polyamines in response to abiotic stress tolerance through transgenic approaches. **GM Crops & Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain**, v. 5, p. 87-96. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4161/gmcr.28774>>.

PATIL, M. V. K.; KANDHARE, A. D.; BHISE, S. D. Pharmacological evaluation of ameliorative effect of aqueous extract of *Cucumis sativus* L. fruit formulation on wound healing in Wistar rats. **Chronicles of Young Scientists**, v. 2, p. 207-213. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4103/2229-5186.93026>>.

PITCHAY, D. S. **Standards of 13 ornamental taxa with emphasis on Ca and B control of root apical meristem development**. 2002. 321f. Tese (Doctor of Philosophy) – Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2002.

PRADO, R. M de. **Nutrição de plantas**. UNESP-Univ Estadual Paulista: São Paulo. 2008. 407 p.

RAB, A.; HAQ, I. Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 36, p. 695-701. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3906/tar-1112-7>>.

RÖMHELD, V. Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients. In: MARSCHNER, P (Ed.) **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 2012, p. 299-312.

RUIZ, R.; MOYANO, S.; NAVIA, T. Acumulación de compuestos nitrogenados en relación al problema de baya blanda en uva de mesa. **Agricultura Técnica**, v. 64, p. 426-430. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000400012>>.

SELING, S.; WISSEMEIER, A. H.; CAMBIER, P.; VAN CUTSEM, P. Calcium deficiency in potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) leaves and its effects on the pectic composition of the apoplastic fluid. **Physiologia Plantarum**, v. 109, p. 44-50. 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.100107.x>>.

SHI, J.; ZOU, X.; ZHAO, J.; MAO, H.; WANG, K.; CHEN, Z.; HUANG, X.; HOLMES, M. Pre-visual diagnostics of phosphorus deficiency in mini-cucumber plants using near-infrared reflectance spectroscopy. **Applied spectroscopy**, v. 66, p. 1426-1432. 2012.

SILVA JÚNIOR, A. A.; SOPRANO, E.; VIZZOTTO, V. J.; MACEDO, S. G. **Caracterização de deficiências nutricionais em pepineiro**. Florianópolis: EPAGRI, 1995. 36p (Boletim Técnico, 70).

SIMON, E. W. The symptoms of calcium deficiency in plants. **New Phytologist**, v. 80, p. 1-15. 1978.

SOLIS, F. A. M. **Concentração e extração de nutrientes e distúrbios nutricionais na cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) var. Aodai**. 1982. 139f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Artmed: Porto Alegre. 2013. 918 p.

TANEMURA, R.; KURASHIMA, H.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; OHYAMA, T. Absorption and translocation of nitrogen in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants using ¹⁵N tracer technique. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 54, p. 108-117. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00213.x>>.

TAYLOR, M. D.; LOCASCIO, S. J.; ALLIGOOD, M. R. Incidence of blossom-end rot and fruit firmness of tomato affected by irrigation quantity and calcium source. **Proceeding of the Florida State Horticultural Society**, v. 115, p. 211-214. 2002.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Fundação IAC: Campinas, p. 157-185. (Boletim Técnico 100). 1997.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. **Plant Soil**, v. 368, p. 87-99. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-1589-0>>.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 299-325.

WATSON, M. B.; MALMBERG, R. L. Regulation of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh arginine decarboxylase by potassium deficiency stress. **Plant Physiology**, v. 111, p. 1077-1083. 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1104/pp.111.4.1077>>.

WEHR, J. B.; MENZIES, N. W.; BLAMEY, F. P. C. Inhibition of cell-wall autolysis and pectin degradation by cations. **Plants Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 485-492. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.05.006>>.

WHITE, P. Long-distance transport in the xylem and phloem. In: MARSCHNER, P (Ed.) **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 2012, p. 49-70.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, p. 487-511. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg164>>.