

Revista UNIMAR 19(3):721-740, 1997.

## CULTIVO HIDROPÔNICO DO TOMATEIRO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Hermínia Emilia Prieto Martinez<sup>\*</sup>, Maria do Carmo Lana Braccini<sup>\*</sup>  
e Alessandro de Lucca e Braccini<sup>+</sup>

**RESUMO.** O trabalho apresenta uma revisão sobre o cultivo hidropônico comercial do tomateiro, abordando aspectos referentes à formulação da solução nutritiva, absorção dos nutrientes pelo tomateiro, importância das razões  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e N/K da solução nutritiva no desenvolvimento e na produção da cultura, nutrição cálcica e ocorrência de podridão estilar, suprimento de Fe e os efeitos da pressão osmótica e da oxigenação da solução sobre a cultura.

**Palavras-chave:** tomate, hidroponia, solução nutritiva.

## COMMON TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HYDROPONICS

**ABSTRACT.** This work deals with commercial hydroponics of common tomato plants. It takes into consideration aspects which refer to the formulation of nutrient solution, mineral nutrient absorption by tomato plants, the importance of  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  and N/K ratio of nutrient solution to the plant development and production. Ca-nutrition, blossom rot occurrence, Fe supply, osmotic pressure and oxygenation effects on the culture are also considered.

**Key words:** common tomato, hydroponics, nutrient solution.

## INTRODUÇÃO

O cultivo hidropônico ou cultivo em água é bastante antigo, tendo sido usado cientificamente pela primeira vez em 1600 por Van Helmont (Schnitzler e Michalsky, 1993). Desde então, vem sendo constantemente

---

<sup>\*</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brasil.

<sup>+</sup> Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá - Paraná, Brasil.

Correspondência para Alessandro de L. e Braccini.

Data de recebimento: 30/06/97.

Data de aceite: 29/08/97.

aprimorado, constituindo-se numa ferramenta valiosa para as pesquisas em nutrição mineral de plantas.

O uso da hidroponia como técnica comercial é recente, tendo seu advento com os trabalhos de Cooper (1975). Em vinte anos, essa técnica teve grande desenvolvimento e difusão, aliada ao desenvolvimento do cultivo protegido, ao crescimento dos grandes centros urbanos e à necessidade de abastecimento contínuo das grandes cidades com produtos hortícolas. Apesar do rápido progresso, a hidroponia comercial não deixa de ser uma técnica recente, com muitos pontos a serem melhorados e resolvidos, sendo capaz de prover uma produção intensiva de alimentos em áreas com sérias limitações.

O aumento na produtividade do tomateiro produzido por meio de cultivo hidropônico tem sido de 20%-25% sobre o obtido pelo cultivo em solo, em virtude de diversos fatores, em alguns casos devido ao solo extremamente pobre ou devido à presença de insetos e doenças. As maiores desvantagens do cultivo hidropônico são: o elevado custo de implantação, a presença de algumas enfermidades, como *Fusarium* e *Verticillium*, que podem se espalhar rapidamente através do sistema, e o surgimento de problemas nutricionais complexos. Essas desvantagens podem ser contornadas com o uso de soluções nutritivas balanceadas para as diversas fases de crescimento do vegetal e com o uso de variedades resistentes.

As maiores vantagens do cultivo hidropônico frente ao cultivo tradicional são: maior eficiência na regulação da nutrição, possibilidade de emprego em diversas regiões do mundo com carência de terras cultiváveis, utilização mais eficiente da água e dos fertilizantes e maior densidade de plantio, resultando num incremento na produtividade.

#### **CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A FORMULAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA IDEAL**

Um dos pontos mais importantes do cultivo hidropônico é a formulação da solução nutritiva. Até para o tomateiro, que é uma das hortaliças mais cultivadas em hidroponia, não se tem uma formulação ideal, usando-se, muitas vezes, formulações desenvolvidas para plantas em geral, como a de Hoagland e Arnon (1938).

A formulação de uma solução que garanta um desenvolvimento máximo com custo mínimo é difícil, pois sua composição depende de inúmeros fatores que influenciam a absorção. Dentre eles, destacam-se:

espécie, variedade ou cultivar, estágio de desenvolvimento, parte da planta a ser colhida, fotoperíodo, temperatura e intensidade luminosa a que a planta está submetida (Schnitzler e Michalsky, 1993).

Segundo Resh (1987), as diferentes espécies e variedades de plantas têm diferentes necessidades de nutrientes, particularmente nitrogênio, fósforo e potássio. A alface e outros vegetais, em que a parte comerciável são as folhas, geralmente necessitam de maior quantidade de nitrogênio que aqueles em que se comercializam os frutos. Estes últimos, normalmente exigem maiores quantidades de fósforo, de potássio e de cálcio. Durany (1982), citado por Resh (1987), afirmou que o nível de N deveria ser mais baixo (80-90 mg/L) para as espécies que produzem frutos do que para as que produzem folhas (140 mg/L). Para as espécies em que o interesse se volta para as raízes, o K deveria ser mais alto (300 mg/L).

A absorção de íons do meio nutritivo é um processo dinâmico e seletivo, destacando-se a proporção relativa entre os nutrientes na solução, o pH e a pressão osmótica, entre outros fatores, os quais podem interferir na absorção ou provocar a precipitação de compostos insolúveis. A concentração de um determinado nutriente nos tecidos afeta a sua absorção, de tal forma que a solução nutritiva deve apresentar as mesmas proporções entre  $\text{Ca}^{2+}:\text{K}^+:\text{Mg}^{2+}$  e entre  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$  encontradas nos tecidos vegetais, em suas diversas fases de crescimento.

Verificou-se que o crescimento da alface e do tomateiro em solução nutritiva não é afetado por variações de pressão osmótica entre 0,5 e 1,6 atm e 0,1 e 1,1 atm (Steiner, 1980). Steiner (1984) salientou que a pressão osmótica e o pH ótimos não são universais, assim, novas formulações podem ser calculadas em cada condição particular.

Conhecendo-se a pressão osmótica desejada, a quantidade de íons a ser utilizada, em moles/L, pode ser obtida por meio da equação universal dos gases perfeitos, ou seja:  $PV = nRT$ , em que P = pressão (atm), V = volume (L), R = 0,082 atm.L/mol<sup>o</sup>K, T = temperatura (°K) e n = número de moles. Essa quantidade é, então, subdividida de acordo com as relações  $\text{Ca}^{2+}:\text{K}^+:\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NO}_3^-:\text{H}_2\text{PO}_4^-:\text{SO}_4^{2-}$  que se deseja manter. Na Tabela 1, encontram-se algumas soluções nutritivas utilizadas no cultivo hidropônico de tomate.

**Tabela 1.** Concentrações de macro e micronutrientes utilizadas no cultivo hidropônico de tomateiro (*Lycopersicon esculentum*).

Solução Nutritiva	Macronutrientes						Micronutrientes					
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Zn <sup>2+</sup>
	Mmol/L						µmol/L					
1	14,8	2,7	8,5	4,2	2,0	2,0	30,0	1,0	100,0	40,0	0,07	--
2	12,0	1,0	7,0	4,5	2,0	3,5	46,0	0,3	45,0	36,0	0,50	1,5
3	15,0	1,0	6,0	5,0	2,0	2,0	46,0	0,2	--	1,8	0,10	0,8
4	14,7	2,0	9,9	3,4	2,0	1,5	50,0	0,1	68,0	23,7	0,10	0,8
5	12,0	1,0	7,0	9,0	4,0	7,0	46,2	0,3	35,8	12,7	0,40	1,4

1 - Cooper (1975) solução utilizada para os cultivos hidropônicos em geral.

2 - Steiner (1980) solução utilizada para os cultivos hidropônicos em geral.

3 - Hoagland e Arnon (1938) usada por diversos autores em experimentos com cultivo hidropônico de tomate.

4 - Lim e Wan (1984) para uso em cultivos comerciais de tomate na Malásia.

5 - Perez Melian *et al.* (1977) utilizada em experimentos com a variedade Marglobe.

Steiner (1984) afirmou que o produto das quantidade dos íons Ca<sup>2+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, em mg/L, não deve exceder o valor de 60, pois, nesse caso, haverá sua precipitação como CaSO<sub>4</sub>, independente do pH. Da mesma forma, o produto Ca<sup>2+</sup> por HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, em mg/L, não deverá exceder 2,2 para evitar a sua precipitação como CaHPO<sub>4</sub>.

Nielsen (1984) preconizou a formulação de uma solução inicial para os cultivos em geral, com uma razão entre os cátions parecida àquela que ocorre nos solos férteis, ou seja, na faixa de 5-10:60-70:15-25 para K<sup>+</sup>:Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup>. As razões entre ânions, segundo ele, não são tão importantes, já que estudos feitos por Steiner (1984), com tomate e alface, mostraram que as proporções entre NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>:SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, nos tecidos, não sofrem grandes variações, com as alterações dessas razões na solução nutritiva. Para os micronutrientes (em µM/L), o autor recomendou as seguintes concentrações: B (20), Fe (50), Mn (7,0) e para Zn, Cu e Mo (0,7).

Resumindo, tem-se uma solução inicial que precisa ser ajustada periodicamente para suprir as exigências da cultura. O ajuste na solução compreende a manutenção do nível de água, da concentração de nutrientes e do pH. Em um nível de água constante, a queda na concentração de nutrientes está altamente correlacionada com a redução na condutividade elétrica (CE), que pode ser usada para monitorar o nível de nutrientes. Assim, quando a CE da solução básica cai abaixo de um valor limite, adiciona-se certa quantidade de uma das soluções de manutenção, de modo a restabelecer-se o valor ótimo. Como as soluções de manutenção são concentradas, necessitam ser armazenadas em dois

reservatórios, um contendo sais de cálcio e outro contendo fosfatos e sulfatos, evitando-se, assim, a formação de precipitados.

Resh (1987) afirmou que o crescimento do tomateiro normalmente é dividido em três fases. A primeira, chamada de fase A, compreenderia o período entre 3 folhas perfeitamente desenvolvidas (10 a 14 dias) até 35 a 40 cm de altura; a segunda, chamada fase B, compreenderia de 35-40 cm até 60 cm, quando os frutos iniciais tem 0,6 a 1,2 cm de diâmetro e a terceira, ou fase C, compreenderia o restante do ciclo. Em cada uma dessas fases seria utilizada uma formulação diferente da solução, tendo a solução A 1/3 da concentração da solução C e a solução B, 2/3. As razões  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e K/N são de grande importância na formulação da solução nutritiva e serão discutidas posteriormente.

#### ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO TOMATEIRO

Como já foi mencionado, o conhecimento do processo de absorção de nutrientes de uma espécie ou variedade dá subsídios para um manejo adequado da solução nutritiva, mostrando picos de demanda por parte da planta, alterações nas taxas de absorção durante o ciclo da cultura e a proporção relativa entre os nutrientes no material seco.

Perez Melian *et al.* (1977) estudaram a absorção de água e nutrientes pela variedade de tomate Marglobe, conduzida em hidroponia. Os autores observaram um consumo crescente de água até a 16<sup>a</sup> semana de cultivo, estabilizando-se a partir desse ponto até o final do ciclo. A absorção de nitrato aumentou até a 8<sup>a</sup> semana, para então estabilizar-se. A absorção de potássio, por sua vez, comportou-se de forma similar a de nitrato, tendo aumentado até a 14<sup>a</sup> semana. A absorção de cálcio aumentou até, aproximadamente, a 14<sup>a</sup> ou 16<sup>a</sup> semanas e a de magnésio até a 12<sup>a</sup> semana, enquanto a absorção de fosfato manteve-se constante ao longo do ciclo de cultivo. As produções estiveram entre 5,5 e 6,3 kg de tomates/planta, representando um consumo médio de 23,7 mg de N; 12,4 mg de P; 33,4 mg de K; 31,4 mg de Ca e 6,0 mg de S por kg de frutos produzido.

O consumo de nutrientes por kg de frutos produzido é o parâmetro mais adequado para comparações entre resultados de trabalhos realizados em condições diferentes, já que fatores como densidade das plantas e época do ano afetam a absorção, além de dar uma idéia da eficiência de utilização dos nutrientes pelas diferentes variedades.

A obtenção de mudas em células pequenas, contendo substratos como vermiculita, lã de rocha, entre outros, requer uma atenção especial, por causa da redução no volume de raiz. Widders e Garton (1992) recomendaram o uso de solução nutritiva com níveis baixos de N, P e K, durante o primeiro estágio de crescimento do tomateiro e concentrações maiores, 3-5 dias antes do seu transplante.

Plântulas de tomateiro produzidas em células pequenas, utilizando vermiculita como substrato, apresentaram respostas altamente significativas à concentração de N na solução nutritiva (Basoccu e Nicola, 1993). Os autores constataram que o aumento no nível de N de 2 para 15 mmol/L implicou um aumento no peso de material seco das plantas, no número de folhas, na área foliar e em outros parâmetros morfo-fisiológicos. Desse modo, o crescimento pode ser controlado pela variação do nível de N na solução nutritiva, mas somente na primeira fase de crescimento (0-15 dias). Após esse período, não foi possível modificar o crescimento das plântulas pelo nível maior de N (15 mmol/L), caso o suprimento de N na primeira fase tenha sido muito pequeno (2 mmol/L).

Kafkafi *et al.* (1982) estudaram a absorção de nitrogênio em cultivo comercial de tomate, utilizando a variedade Ângela. A absorção máxima ocorreu quando a concentração de nitrogênio na solução foi de  $10 \pm 3$  mmol/L. Em valores mais baixos que 3,5 e mais altos que 17,0 mmol/L, houve redução na taxa de absorção de nitrato. Quando a radiação solar média chegou a  $50 \text{ J/m}^2 \cdot \text{dia}$ , a taxa de absorção foi duas vezes maior que com radiação de  $20 \text{ J/m}^2 \cdot \text{dia}$ , para a mesma concentração na solução. Radiação solar baixa associou-se ao menor consumo de N, provavelmente em função dos efeitos da temperatura baixa sobre a absorção. Por outro lado, a taxa de redução de  $\text{NO}_3^-$  na planta é dependente da fotossíntese e da atividade da redutase do nitrato, que são afetadas pela quantidade de luz. Aqueles autores relataram, também, que a absorção de  $\text{NO}_3^-$  sofreu redução na presença do íon  $\text{Cl}^-$  e sugerem a concentração de  $10 \pm 3$  mmol/L de  $\text{NO}_3^-$  como a mais adequada para a produção de tomates, quando a concentração de  $\text{Cl}^-$  está na faixa de 10 mmol/L.

Cerda *et al.* (1984) estudaram o efeito de doses de sulfato sobre a produção de tomateiros da variedade Hybrid 6C-204, cultivados em hidroponia. Os autores usaram doses de 0 a 105 meq/L de  $\text{SO}_4^{2-}$ , observando sinais de carência na dose mais baixa e de toxicidade nas mais altas. No caso de deficiência, houve abortamento de flores e no de toxidez, a redução no tamanho e no peso dos frutos. Nos tratamentos com

45, 75 e 105 meq/L de  $\text{SO}_4^{2-}$ , a incidência de podridão estilar foi elevada, possivelmente em função da alta pressão osmótica do meio, o que restringiu a absorção de água e de Ca, ou por aumento na absorção de íons, o que contribuiu para reduzir o transporte de Ca para os frutos.

A época mais adequada para se avaliar o estado nutricional quanto ao enxofre parece ser a fase de florescimento, ou o período que o precede. Após esse estágio, a necessidade de enxofre é menor e ele acumula-se na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Na fase de florescimento, os níveis críticos internos estiveram entre 0,48 a 1,2% de  $\text{SO}_4^{2-}$  e 0,25 a 0,35% de S-orgânico. O nível crítico externo esteve entre 2 e 22,5 meq/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  (Kafkafi *et al.*, 1982). As faixas críticas, tanto internas como externas, mostram exigência de enxofre relativamente alta pelo tomateiro e permitiram inferir a possibilidade do uso de água com elevadas quantidades do elemento (7 a 9 meq/L), já que a espécie é capaz de acumular grandes quantidades de  $\text{SO}_4^{2-}$  nas folhas e nos tecidos vasculares, sem sofrer decréscimo na produção. Esse fato constitui-se em vantagem nas regiões áridas e semi-áridas, onde a água é geralmente rica em enxofre.

White (1993) analisou a absorção de nutrientes em 17 cultivos hidropônicos comerciais de tomate no sistema NFT (“Nutrient Film Technique”), no ano de 1991. Coletou dados sobre a solução nutritiva, fez análise da água e verificou o suprimento de nutrientes para a cultura. Dentre os cátions, o K foi o que apresentou maior taxa de absorção, atingindo o pico (684 mg/m<sup>2</sup>/dia), aos 65 dias de idade, então declinou até os 97 dias e, a partir daí, a absorção aumentou gradativamente, atingindo novo pico (760 mg/m<sup>2</sup>/dia), aos 223 dias de idade. Com relação aos ânions, o N apresentou a maior taxa de absorção (400 mg/m<sup>2</sup>/dia) entre os 40 e 65 dias após o plantio, em seguida declinando para 320 mg/m<sup>2</sup>/dia aos 97 dias e, a partir daí, aumentou até o final do ciclo. Os micronutrientes, com exceção do Fe e Mn, apresentaram pequenas variações nas taxas de absorção com a idade da cultura. Voogt (1991) considerou que o pico de absorção de nutrientes totais ocorria na 15<sup>a</sup> semana, sendo que, a partir desse ponto, ocorria um declínio na taxa de absorção.

Vielemeyer e Weissert (1990), analisando a seiva xilemática dos pecíolos de tomateiro, constataram que os pecíolos das folhas jovens mostraram maior resposta do que os da parte mediana ou de folhas mais velhas, apresentando pequenas variações com o suprimento de nutrientes. Dessa forma, os autores recomendaram que seja amostrada a 5<sup>a</sup> folha para

monitorar o nível de N, P, K, Ca ou Mg em cultivos hidropônicos de tomateiro.

No trabalho de Perez Melian *et al.* (1977), o consumo de água em hidroponia foi similar ao que ocorria em cultivos convencionais, entretanto o consumo de nutrientes foi maior. Isso se deve ao fato de que em hidroponia não há competição das raízes entre si, nem das raízes com os colóides do solo pelos nutrientes. Tais fatores implicam uma maior absorção, porém, como no sistema hidropônico não há perdas por volatilização ou lixiviação, o uso dos nutrientes é mais eficiente do que nas técnicas convencionais de cultivo.

#### AS RELAÇÕES $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ E N/K

O nitrogênio é absorvido pelas plantas em duas formas principais: amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). As raízes das plantas liberam  $\text{H}^+$ , se os cátions são absorvidos, e  $\text{HCO}_3^-$  ou  $\text{OH}^-$  com absorção de ânions. Dessa forma, se os cátions são absorvidos mais rapidamente do que os ânions, o meio se acidifica e, se os ânions são absorvidos mais rapidamente do que os cátions, ocorre a elevação do seu pH. Por essa razão, o estudo da razão  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  é muito importante para a hidroponia, pois o meio fluido constituído pela água praticamente não tem poder-tampão.

Carpena Artes *et al.* (1983) estudaram a relação  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  em tomates da variedade Marglobe sob cultivo hidropônico, usando solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada, com 14 meq de N. Os autores empregaram três tratamentos, sendo eles: controle; 100% do  $\text{NO}_3^-$ ; 40% do  $\text{NH}_4^+$  e 60%  $\text{NO}_3^-$  e; 70% de  $\text{NH}_4^+$  e 30% de  $\text{NO}_3^-$ . A proporção de 40% de N- $\text{NH}_4^+$  resultou em plantas com crescimento um pouco superior ao das plantas controle. Hall (1983) obteve bom controle de pH, fornecendo 13,3% do N- $\text{NH}_4^+$  em soluções nutritivas com 30, 60 ou 120 ppm de N total, sem depreciar o crescimento ou a qualidade dos frutos da variedade de tomate Curabel.

Carpena Artes *et al.* (1983) constataram que o aumento da razão  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  levou a reduções nas taxas de absorção de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$  por plantas de tomate, enquanto que Willunsen (1984) observou redução nas taxas de absorção de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Caselles *et al.* (1987) constataram que uma razão  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de 20/80 implicou uma menor absorção de N, P, K, Ca e Mg do que quando o N foi fornecido como  $\text{NO}_3^-$ .

Magalhães e Wilcox (1984) submeteram plantas de tomate do cultivar Campbell 1327, com 8 dias de idade, a 12 dias de cultivo



hidropônico em substratos ou em solução nutritiva aerada. Os substratos empregados foram areia de quartzo moída, vermiculita e turfa. As plantas recebiam diariamente solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com 112 mg/L de N, fornecidos totalmente na forma de  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$ .

Em solução nutritiva ou substrato de areia, o crescimento foi suprimido quando a fonte de N era o  $\text{NH}_4^+$ , porém, em turfa, o crescimento das plantas tratadas com  $\text{NH}_4^+$  foi um pouco melhor que o das plantas tratadas com  $\text{NO}_3^-$ .

Plantas cultivadas em turfa, recebendo  $\text{NH}_4^+$ , apresentaram teores de asparagina e glutamina 3,5 e 11,3 vezes maiores que os das plantas que recebiam somente  $\text{NO}_3^-$ . Isso indica que a desintoxicação de  $\text{NH}_4^+$  está ligada à sua incorporação nesses aminoácidos. Entretanto, o trabalho não discute qual o motivo pelo qual as plantas cultivadas em turfa teriam uma eficiência de desintoxicação aumentada.

O cultivo hidropônico de tomates sobre cubos de turfa, vasos perfurados contendo areia, cascalho ou outros substratos, imersos no filme de solução recirculante, é muito comum, daí a importância do trabalho de Magalhães e Wilcox, mostrando que a relação  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ótima depende não só da planta, mas também do meio de cultivo, podendo eventualmente ser mais ou menos elevada.

A razão N/K foi estudada por Adams e Massey (1984) em três experimentos, nos quais foram medidas as absorções de N, de K e de água por plantas de tomate do cultivar Sonato. Nas primeiras semanas após o plantio, as plantas removeram o K e o N numa taxa de 1,2:1,0. Com o aparecimento dos frutos, a taxa de absorção de K continuou a subir, aumentando essa relação para 2,5:1,0. Mais tarde, houve um decréscimo na absorção de K, ficando a relação em 2:1. Essas observações são essenciais para a formulação da solução nutritiva. Caso não sejam consideradas, haverá depleção de um desses nutrientes na zona radicular, enquanto o outro se acumulará.

### NUTRIÇÃO CÁLCICA E PODRIDÃO ESTILAR

De acordo com Castellane (1985), rachaduras e podridão estilar ou fundo preto são desordens fisiológicas ligadas à nutrição cálcica, com ocorrência universal em tomateiro. A causa primária desses distúrbios não é simplesmente o baixo teor de Ca no meio de crescimento. Fatores que afetam a absorção e a translocação de Ca pelas plantas e suas funções específicas no metabolismo também estão envolvidos.

Devido às suas funções como integrante de compostos estruturais nos vegetais, o Ca tem pouca ou nenhuma mobilidade no floema, sendo levado às diversas partes da planta via xilema, acompanhando o movimento ascendente da água, quer via corrente transpiratória durante o dia, quer via pressão radicular durante a noite. Por essa razão, as relações hídricas e os diversos fatores que as afetam estão altamente relacionados com a ocorrência de distúrbios fisiológicos ligados ao Ca.

Em cultivo hidropônico, os principais fatores relacionados com a ocorrência de podridão apical parecem ser o fornecimento inadequado de Ca, o potencial hídrico, a disponibilidade elevada de N, K, Mg ou Na, o uso de  $\text{N-NH}_4^+$  e a susceptibilidade do cultivar utilizado.

Ehret e Ho (1986a) estudaram a absorção e a distribuição de Ca em plantas de tomate do cultivar Marathon, em soluções recirculantes com condutividades elétricas de 2, 7, 12 e 17 mS. As absorções de água e  $^{45}\text{Ca}$  foram substancialmente reduzidas nos tratamentos com alta salinidade e em menor extensão pela alta umidade relativa (90% UR à 20°C). Essa redução ocorreu em função do alto potencial osmótico da solução e da competição entre K e Ca durante a absorção, já que a proporção K:Ca foi de cerca de 3:1. É interessante notar, que apenas cerca de 2% de  $^{45}\text{Ca}$  absorvido foi encontrado nos frutos. A pressão radicular, em condições normais, teria papel importante na redistribuição do Ca para o fruto durante a noite, porém, em alta salinidade, a pressão radicular reduziu-se, resultando em menor movimentação noturna de água no xilema e reduzindo o conteúdo de Ca no fruto.

Segundo Tachibana (1991), a absorção de Ca pelos frutos é favorecida à noite, entretanto também ocorre durante do dia, mas em menor taxa. O autor sugere que a redução no suprimento de  $\text{O}_2$  para as raízes, durante à noite, pode ser a causa da ocorrência de podridão estilar em frutos de tomate, inibindo a absorção e a translocação de Ca das raízes para a parte aérea.

Ehret e Ho (1986a) também estudaram a distribuição do  $^{45}\text{Ca}$  em pedúnculo, cálice e polpa de frutos destacados de tomate. O acúmulo de Ca no cálice foi sempre maior do que nos frutos. Frutos cujos cálices foram removidos, mostraram as mais baixas concentrações de Ca, especialmente quando a salinidade era alta, agravando-se a incidência de podridão estilar. Shear (1975) mostrou que os cátions que competem com o Ca na sua absorção afetam grandemente a qualidade dos frutos, estando a efetividade em reduzir o Ca foliar e aumentar a incidência de fundo preto na seguinte ordem:  $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ .

Penninx (1991), citado por Schnitzler e Michalsky (1993), explicou que a incidência de podridão estilar em certas condições, tal como a grande produção de açúcares nas folhas, resulta em um efeito de diluição do Ca, pela translocação de açúcares para os frutos. Os autores recomendaram a retirada de algumas folhas das plantas para reduzir a incidência de podridão estilar.

O conhecimento de que fertilizações pesadas com N aumentam a incidência de fundo preto é antigo. O N é o fator nutricional que mais afeta o crescimento vegetativo do tomateiro, de modo que o estímulo ao crescimento produzido por ele cria uma maior demanda por Ca, nem sempre suprida pelo solo ou pela solução (Shear, 1975).

Castellane (1985) estudou a absorção e a distribuição de Ca em cinco cultivares de tomateiro, empregando as razões  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  0/100, 25/75, 50/50, 75/25 e 100/0 e constatou que o maior fornecimento de  $\text{NH}_4^+$  para as plantas induziu reduções nas concentrações de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , culminando em valores menores no tratamento 100%  $\text{NH}_4^+/\text{0}\%$   $\text{NO}_3^-$ . As reduções em relação à solução 0%  $\text{NH}_4^+/\text{100}\%$   $\text{NO}_3^-$  foram da ordem de 72,8%, 38,8% e 56,8% em relação ao  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

Dessa forma, com base nos trabalhos realizados por Castellane (1985), pode-se dizer que a menor susceptibilidade à podridão apical está relacionada com o acúmulo mais lento de material seco nos frutos, impedindo um efeito drástico de diluição, uma maior eficiência na absorção e na translocação de Ca para os frutos em relação aos outros cátions, expressa por menores razões  $(\text{K} + \text{Mg} + \text{Na})/\text{Ca}$ , além da maior capacidade de se alocar Ca para os frutos durante o período noturno, período em que a planta não transpira e o suprimento de Ca depende da pressão radicular.

### O SUPRIMENTO DE FERRO

O suprimento de ferro em solução nutritiva apresenta vários problemas. Em meio aquoso, compostos de ferro, como o  $\text{FeSO}_4$ , estão sujeitos a uma rápida oxidação e precipitação, se o pH se elevar acima de 4,0 (Johnson e Oldfield, 1981). O  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , por sua vez, tem uma solubilidade extremamente baixa ( $K_{sp} = 1,1 \times 10^{-36}$ ), de modo que em pH 4,0 a concentração de equilíbrio é de apenas  $1,1 \times 10^{-6}\text{M}$ , ou seja, 0,06 ppm de  $\text{Fe}^{3+}$ , sendo muito menor em valores de pH mais elevados (Cull, 1981).

O quelato de ferro mais usado é o FeIII-EDTA, cujas limitações são: 1) é um produto excessivamente caro (Johnson e Oldfield, 1981); 2) pode haver antagonismo entre o EDTA e outros nutrientes, especialmente micronutrientes (Cull, 1981); 3) o EDTA ou outros quelantes podem agir negativamente sobre as plantas (Cull, 1981) e 4) grande disparidade entre os níveis de Fe recomendados, não havendo relação clara entre teor foliar e suficiência ou insuficiência de Fe (Cull, 1981; Sonneveld e Voogt, 1985).

Com respeito ao primeiro item, Johnson e Oldfield (1981) compararam o fornecimento de 2 mg de Fe/L na solução recirculante em diferentes formas. Concluíram que o FeCl<sub>3</sub>, com 10% e 15% do N-total na forma N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, substituiu apenas satisfatoriamente o Fe-EDTA, promovendo uma queda de 10% na produção em relação a este último.

Quanto ao antagonismo entre o EDTA e outros nutrientes, sabe-se que o quelato FeIII-EDTA tem alta estabilidade (Log K = 36,37), no entanto pode ocorrer a precipitação de Fe(OH)<sub>3</sub> e quelatação de outros cátions, na seguinte ordem de preferência: Cu, Zn e Mn (Cull, 1981).

De acordo com Cull (1981), Driel, em 1964, foi o primeiro pesquisador a sugerir que o EDTA pudesse por si só ser tóxico às culturas. A quelatação, como processo natural, é importante para as plantas e os quelantes sintéticos que nela penetram são capazes de alterar o funcionamento de sistemas enzimáticos, promovendo uma competição com os quelantes naturais, por íons metálicos (Cull, 1981).

Newton e Abdullah (1993) estudaram a possibilidade da utilização de compostos de Fe mais baratos como FeCl<sub>3</sub> e FeSO<sub>4</sub>, comparando-os com Fe-EDTA em pH 5,5 e 6,0. A redução na concentração de Fe foi mais rápida para FeSO<sub>4</sub> do que para FeCl<sub>3</sub> a pH 5,5. Portanto, se o FeSO<sub>4</sub> é usado como fonte de Fe, deve-se assegurar que o pH esteja acima de 5,5. A quantidade de precipitados derivados do Fe-EDTA foi cerca de 10 vezes menor do que aqueles formados pelos dois sais. O conteúdo de Fe nos tecidos, foi maior quando o Fe foi fornecido como Fe-EDTA do que FeCl<sub>3</sub> ou FeSO<sub>4</sub>. As raízes apresentaram maior conteúdo de ferro que a parte aérea, devido à presença de precipitados sobre a superfície radicular.

Sonneveld e Voogt (1985) realizaram estudos sobre o comportamento do Fe em cultivos hidropônicos em NFT (“Nutrient Film Technique”) e em lâ de rocha, no período de 1977 a 1983. Esses autores conduziram uma série de ensaios usando plantas de tomate, abobrinha e pimenta, estudando vários quelantes e várias concentrações de Fe. No sistema

drenado (lã de rocha), o acúmulo de quelante foi menor que no sistema NFT, sendo esse acúmulo proporcional à estabilidade do composto e à concentração usada. Fe-EDDHA e Fe-EDTA foram os mais estáveis, seguidos por Fe-DPTA e Fe-HEDTA.

Em concentrações de Fe de 0 a 40  $\mu\text{mol/L}$ , não foram observadas diferenças na produção do tomateiro em lã de rocha, somente uma leve clorose, no tratamento em que não se adicionou Fe, quando o pH se elevava temporariamente. Houve queda na produção e sintomas severos de deficiência, especialmente em plantas jovens, nos níveis baixos de Fe em NFT. Abaixo de 10  $\mu\text{mol/L}$  de Fe, a redução na produção foi significativa (Sonneveld e Voogt, 1985). As exigências diferentes de Fe, nos dois sistemas, foram atribuídas às diferenças no desenvolvimento dos sistemas radiculares. Lã de rocha propiciou a formação de um sistema radicular finamente ramificado e com mais pêlos radiculares que o sistema NFT. Tal sistema radicular pode absorver o Fe de modo mais eficiente, uma vez que a absorção desse elemento se dá principalmente pelas pontas das raízes (Sonneveld e Voogt, 1985).

### O EFEITO DA SALINIDADE

Em cultivos hidropônicos, podem ocorrer problemas de salinidade decorrentes da maior absorção de água do que de íons, especialmente em sistemas NFT, em que uma pequena película de solução circula continuamente (Jeanequin, 1981), ou devido à qualidade da água usada no preparo das soluções nutritivas. A sensibilidade das diversas espécies e variedades de plantas à salinidade é diferente. Em tomateiro, a porcentagem de material seco dos frutos parece aumentar quando a concentração salina está em torno de 10 mS, muito embora o número e o tamanho dos frutos possam reduzir. Dessa forma, muitos produtores têm lançado mão da salinidade alta ou do fluxo intermitente de solução, para melhorar a qualidade dos frutos de tomate.

O efeito da salinidade pode manifestar-se de várias maneiras: pelas pressões osmóticas altas a que submete as raízes, pelas interações entre os íons, levando a deficiências induzidas, e pelos efeitos adversos dos íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  ou  $\text{SO}_4^{2-}$  em altas concentrações (Adams, 1989).

As pressões osmóticas altas nas raízes limitam principalmente a absorção de água. Em tomateiros, Ehret e Ho (1986b) observaram que as concentrações de sais, correspondentes a condutividades de 12 e 17 mS/cm na solução, reduziram o peso de material fresco de frutos

maduros, aumentando drasticamente seus teores de material seco, açúcares e amido.

Ehret e Ho (1986a) constataram uma redução na absorção de água e de  $^{45}\text{Ca}$  por plantas de tomate cultivadas em soluções com 7 a 17 mS/cm de condutividade elétrica, mesmo na ausência de sais de Na e com concentrações de Ca tanto maiores quanto maior a salinidade do meio. Essa redução na absorção foi atribuída ao potencial osmótico alto da solução e à competição entre K e Ca.

Kafkafi *et al.* (1984) estudaram as respostas da variedade de tomate 6718 VF Petosed cultivada com níveis diferentes de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  em um experimento fatorial  $4 \times 3 \times 3$ , com o objetivo de verificar se os aumentos nas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  da solução reduziram a absorção de  $\text{Cl}^-$  e, conseqüentemente, aumentavam a resistência da planta à salinidade, ao mesmo tempo que observavam se o uso de água rica em  $\text{Cl}^-$  aumentava a necessidade de  $\text{NO}_3^-$ . Mantendo-se constante a concentração de  $\text{Cl}^-$  na solução, concentrações menores de  $\text{NO}_3^-$  permitiram uma maior absorção de  $\text{Cl}^-$ , sugerindo que, quando as concentrações de  $\text{Cl}^-$  aumentam, concentrações maiores de  $\text{NO}_3^-$  são necessárias, para impedir a entrada daquele íon nas plantas. As concentrações de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  nas soluções nutritivas não tiveram grande efeito sobre a concentração de  $\text{Cl}^-$  nas plantas. Portanto, a presença de  $\text{Cl}^-$  exige um maior fornecimento de  $\text{NO}_3^-$ , de modo a impedir as quedas na produção de material seco, que podem ocorrer nas faixas de concentração normalmente utilizadas, ou seja, entre 10 e 15 meq/L de  $\text{NO}_3^-$ . Concluíram, adicionalmente, que água com 10 meq/L de  $\text{Cl}^-$ , normalmente não recomendada para o cultivo hidropônico de tomates, pode ser usada, desde que se mantenham níveis de  $\text{NO}_3^-$  em solução mais altos.

Newton e Abdullah (1993) estudaram as interações entre a força iônica da solução, que variou de 2,0 a 17 mS/cm e a luminosidade na faixa de 30 a 544 J/cm<sup>2</sup>, sobre a eficiência de utilização de N, P, K e Ca em plantas de tomate do cv. Counter. A força maior da solução (17 mS/cm) reduziu o número de frutos produzidos e o peso por fruto. A redução no número de frutos foi devida ao menor número de flores por inflorescência, pois o número de inflorescências não foi reduzido. Quando a luminosidade foi relativamente boa e a força iônica da solução não muito elevada (5,0 mS/cm), a maior eficiência de utilização dos nutrientes esteve associada com a maior quantidade de frutos produzidos por planta.

As relações entre as concentração da solução e as rachaduras nos frutos de tomate cultivar Sun Cherry, foram estudadas por Ohta *et al.* (1994), utilizando 0,5, 1 e 2 vezes a força iônica da solução nutritiva. A solução nutritiva continha N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P, K, Ca e Mg nas concentrações de 16,0; 1,3; 4,0; 8,0; 8,0 e 4,0 meq/L, respectivamente. A frequência de frutos rachados aumentou quando a solução tornou-se mais concentrada. O peso dos frutos e os potenciais hídricos dos frutos e das folhas decresceram com o aumento da concentração, entretanto o conteúdo de sólidos totais aumentou.

O uso da concentração de sais no manejo da qualidade dos frutos de tomateiro foi estudado por Ehret e Ho (1986a). Os autores cultivaram plantas de tomate utilizando o sistema NFT e soluções com 2 a 17 mS/cm de condutividade elétrica. Quando a condutividade da solução foi de 10 mS/cm, o peso total do material seco foi 19% menor que o obtido com solução de 2 mS/cm, embora a alocação percentual de fotoassimilados não tenha sido alterada. A porcentagem de material seco alocado nos frutos sofreu uma pequena redução, quando a condutividade se elevou até 17 mS/cm. Como pode ser observado, a alta salinidade não reduziu o acúmulo de material seco nos frutos individuais, mesmo quando o material seco total dos frutos foi reduzido. Seu efeito foi sobre o número de frutos que se estabeleceram, sendo, portanto, a redução na produção de frutos proporcional à redução no crescimento da planta. Resultados semelhantes foram obtidos por Holder e Christensen (1989), quando a salinidade da solução foi aumentada de 10 para 15 mS/cm.

Ehret e Ho (1986a) concluíram que, se o suprimento de fotoassimilados não é limitante e se a proporção importada pelos frutos independe das relações hídricas, torna-se possível a obtenção de frutos menores, com material seco relativamente alto e com pequena redução no peso, com o uso de soluções levemente salinas, com condutividades elétricas da ordem de 6 mS.

### OXIGENAÇÃO DA SOLUÇÃO

Processos vitais que ocorrem no sistema radicular, tais como absorção da água e de nutrientes, envolvem gasto de energia, que é produzida a partir da respiração radicular, a qual depende do O<sub>2</sub> dissolvido nas soluções recirculantes. O teor de O<sub>2</sub> dissolvido na solução nutritiva depende, principalmente, da temperatura da solução, e esta, da temperatura do ar na casa de vegetação, que por sua vez depende da

radiação incidente (Nieuwenhuizen, 1983). Ben-Vaakov e Ben-Asher (1982), em trabalho realizado com tomate cv. Naama, verificaram que, durante a noite, estabelecia-se um equilíbrio entre o consumo e a injeção de O<sub>2</sub>, com cerca de 77% de saturação de O<sub>2</sub> na solução. No entanto, durante o dia, poderiam ocorrer períodos de deficiência, devido ao fato do consumo de O<sub>2</sub> pelas raízes mais ativas ser maior, com maior variação na temperatura da solução e, conseqüentemente, na solubilidade do O<sub>2</sub>. A solubilidade do oxigênio na água a 28°C é de 7,9 mg/L, enquanto que a 45°C é de apenas 6,1 mg/L. Quando as temperaturas do ar e da solução aumentam de 18°C para 45°C e de 23°C para 28°C, respectivamente, o oxigênio dissolvido reduz-se de 78% para 66%, ou seja, de 6,5 para 5,2 mg/L, mesmo com injeção constante de ar. Não obstante, Nieuwenhuizen (1983) sugere ser o aquecimento variável da solução e a conseqüente flutuação no O<sub>2</sub> dissolvido menos prejudiciais em termos de crescimento e de produção de tomateiros, do que o sombreamento da cultura, sob condições de intensa radiação solar.

Fujime *et al.* (1991) estudaram os efeitos do nível de solução nutritiva sobre o crescimento e o desenvolvimento em tomateiros. A profundidade da solução foi reduzida de 8,5 para 3,5 cm durante o crescimento e a frutificação. A concentração de O<sub>2</sub> dissolvido foi maior em 3,5 cm de profundidade do que em 8,5 cm, sugerindo que essa pode ter sido a causa do aumento no crescimento e no desenvolvimento dos frutos.

Buwalda (1991), citado por Schnitzler e Michalsky (1993), constatou, em casa de vegetação, que as raízes podem absorver somente 0,15 - 0,20% do O<sub>2</sub> dissolvido na água de irrigação. Os 99,8% restantes têm que vir diretamente do ar contido dentro do substrato. Em outras palavras, a relação água-ar no substrato é muito importante na escolha do sistema hidropônico a ser adotado.

De acordo com Jackson *et al.* (1984), em NFT, quando o movimento cessa, como ocorre quando se usa fluxo intermitente, a difusão gasosa é barrada e, nessas circunstâncias, acumulam-se gases gerados metabolicamente, como etileno, dióxido de carbono e óxido nitroso. Em completa ausência de O<sub>2</sub>, as raízes das plantas não adaptadas morrem em poucas horas ou mesmo minutos. Quando se utilizaram substratos para sustentar as plantas, observou-se que a aeração foi muito deficiente em compostos de turfa e areia. Nesses, as concentrações de O<sub>2</sub> foram de 24,5% e 50%, respectivamente. Em substratos minerais, como lã de rocha e perlita, tais concentrações foram de 92,8% e 97,1% em relação à



solução recirculante. Nieuwenhuizen (1983) citou que existem evidências de que as raízes de tomate mantidas sob anaerobiose (menos que 1% de O<sub>2</sub> na solução nutritiva) têm sua produção de etileno aumentada, apresentando sintomas tais como epinastia de pecíolos, curvamento da lâmina foliar, amarelecimento das folhas mais velhas, abscisão foliar, murcha ou senescência e taxas reduzidas de alongação da parte aérea e das raízes. Algumas recomendações de ordem prática, para minimizar os efeitos adversos de temperaturas altas nas soluções sobre o teor de oxigênio nelas dissolvido, são citadas por Jeanequin (1981) e Lim e Wan (1984). O primeiro recomenda que se cultivem espécies com hábito arbustivo, capazes de sombrear os canais de crescimento nos períodos mais quentes do ano ou, então, que seja aumentada a densidade de fluxo da solução ou a declividade dos canais, ao mesmo tempo que se reduz o seu comprimento. Os outros autores recomendam que seja acionado um sistema de resfriamento da solução sempre que sua temperatura ultrapassar 30°C.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, P. Some responses of tomatoes grown in NFT to sodium chloride. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 7, 1988, Flevohof. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1989. p. 59-71.
- ADAMS, P. & MASSEY, D.M. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6, 1984, Lunteren. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 71-79.
- BASOCCU, L. & NICOLA, S. Influence of nitrogen on tomato seedlings. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 8, 1992, Hunter's Rest. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1993. p. 51-59.
- BEN-VAAKOV, S. & BEN-ASHER, J. System design and analysis of a continuous monitoring of the environment in nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.*, 5:45-55, 1982.
- CARPENA ARTES, O., ZORNOZA, P. & CARPENA RUIZ, R.O. Influencia de la relacion NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la nutrición mineral de la planta de tomate. *Anal. Edafol. Agrobiol.*, 42:1711-1722, 1983.
- CASELLES, J., ZORNOZA, P. & CARPENA, O. Effect of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ratio on mineral composition of tomato and pepper plants grown under controlled conditions. *Anal. Edafol. Agrobiol.*, 46:941-950, 1987.
- CASTELLANE, P.D. *Constatação e interpretação fisiológica de diferenças de susceptibilidade de cultivares de tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill.) à podridão apical*. Viçosa, 1985. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

- CERDA, A., MARTINEZ, V., CARO, M. & FERNÁNDEZ, F.G. Effect of sulfur deficiency and excess on yield and sulfur accumulation in tomato plants. *J. Plant Nutr.*, 7:1529-1543, 1984.
- COOPER, A.J. Crop production in recirculating nutrient solution. *Sci. Horticult.*, 3:251-258, 1975.
- CULL, D.C. Nutrient film technique: Iron nutrition of sweet pepper in relation to root temperature. *Acta Horticult.*, 126:397-407, 1981.
- EHRET, D.L. & HO, L.C. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.*, 58:679-688, 1986a.
- EHRET, D.L. & HO, L.C. The effects of salinity on dry-matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Horticult. Sci.*, 61:361-367, 1986b.
- FUJIME, Y., OKUDA, N., KAKIBUCHI, K. & MORI, K. Effects of solution level on plant growth and development of cherry tomato. *Techn. Bull. Fac. Agricult.*, 43:111-118, 1991.
- HALL, D.A. The influence of nitrogen concentration and salinity of recirculating solutions on the early-season vigour and productivity of glasshouse tomatoes. *J. Horticult. Sci.*, 58:411-415, 1983.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley: *Circ. Calif. Agric. Exp. Stat.* 1938. 247 p.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley: *Circ. Calif. Agric. Exp. Stat.* 1950. 347 p.
- HOLDER, R. & CHRISTENSEN, M.H. The effect of electrical conductivity on the growth, yield and composition of cherry tomatoes grown on rockwool. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 7, 1988, Flevohof. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1989. p. 213-228.
- JACKSON, M.B., BLACKWELL, P.S., CHRIMES, J.R. & SIMS, T.V. Poor aeration in NFT and a means for its improvement. *J. Horticult. Sci.*, 59:439-448, 1984.
- JEANEQUIN, B. Problems related to the "Nutrient Film Technique" cultivation in south of France. *Acta Horticult.*, 126:371-375, 1981.
- JOHNSON, E.W. & OLDFIELD, D. Alternative sources of iron for use in recirculating nutrient solutions for tomatoes. *Acta Horticult.*, 126:395-396, 1981.
- KAFKAFI, U., VALORAS, N. & LETEY, J. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Plant Nutr.*, 51:1369-1385, 1982.
- KAFKAFI, U., DAYAN, E. & AKIRI, B. Nitrate and phosphate uptake by tomato from nutrient solution in a commercial operation. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6, 1984, Lunteren. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 291-298.
- LIM, E.W. & WAN, C.K. Vegetable production in the tropics using a two phase substrate system of soilless culture. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS

- CULTURE, 6, 1984, Lunteren. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 317-328.
- MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Growth, free aminoacids and mineral composition of tomato plants in relation to nitrogen form and growing media. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 109:406-411, 1984.
- NEWTON, P. & ABDULLAH, R. The efficiency of Fe for tomato and cucumber in nutrient film culture. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 8, 1992, Hunter's Rest, *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1993. p. 283-300.
- NIELSEN, P.E. Crop production in recirculating nutrient solution according to the principle of regeneration. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6, 1984, Lunteren. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 421-446.
- NIEUWENHUIZEN, W.N. The effect of solar radiation and nutrient solution temperature on the uptake of oxygen by submerged roots of mature tomato plants. *Plant and Soil*, 70:353-366, 1983.
- OHTA, K., ITO, N., HOSOKI, T., INABA, K. & BESSHO, T. The influence of the concentration of the hydroponic nutrient culture solutions on the cracking of cherry tomato with special emphasis on water relationship. *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.*, 62:811-816, 1994.
- PEREZ MELIAN, G., SANTANA, O., LUQUE ESCALONA, A. & CARPENA ARTES, O. Absorción de água y iones por plantas de tomates. *Anal. Edafol. Agrobiol.*, 36:739-754, 1977.
- RESH, H.M. *Cultivos Hidropônicos*. 2.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1987. 318p.
- SCHNITZLER, W.H. & MICHALSKY, F. Experience and problems of growing tomatoes in expanded clay aggregate. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 8, 1992, Hunter's Rest, *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1993. p. 361-373.
- SHEAR, C.B. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience*, 10:361-365, 1975.
- SONNEVELD, C. & VOOGT, W. Studies on the application of iron to some glasshouse vegetables grown in soilless culture. *Plant and Soil*, 85:55-64, 1985.
- STEINER, A.A. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment for the nutrient solution. *Acta Hortic.*, 98:87-97, 1980.
- STEINER, A.A. The universal nutrient solution. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6, 1984, Lunteren. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 633-649.
- TACHIBANA, S. Import of calcium by tomato fruit in relation to the day-night periodicity. *Sci. Hortic.*, 45:235-243, 1991.
- VIELEMEYER, H.P. & WEISSERT, P. Analysis of press sap in the diagnosis of nutrient status of greeshouse tomatoes and cucumbers. *Gartenbauwissenschaft*, 55:168-172, 1990.

- VOOGT, W. Nutrient uptake of tomato. *Glasshouse Crops Res. Stat.*,1:13-14, 1991.
- WHITE, J.R.A. Nutrient uptake by tomatoes grown in NFT. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 8, 1992, Hunter's Rest, *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1993. p. 483-496.
- WIDDERS, I.E. & GARTON, R.W. Effects of pretransplant nutrient conditioning on elemental accumulation on tomato seedlings. *Sci. Horticult.*, 52:9-17, 1992.
- WILLUNSEN, J. Nutritional requirements of lettuce in water culture. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6, 1984, Lunteren. *Proceedings...* Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 777-791.