

INTERAÇÃO ENTRE FORMAS DE NITROGÊNIO E REGULADORES DE CRESCIMENTO

NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA PELO TOMATEIRO¹

JOSÉ R. MAGALHÃES² e GERALD E. WILCOX³

RESUMO - Plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) foram cultivadas em areia com solução nutritiva, contendo nitrogênio na forma de NH_4^+ ou NO_3^- em combinação com quatro reguladores de crescimento (citocinina (CK), tricotanol (TCOT), AAb (Ácido absísico) e cicocel (CCC)). De um modo geral, os reguladores utilizados não tiveram efeitos significativos no crescimento das plantas, com exceção do CCC que reduziu o peso seco das plantas supridas com NO_3^- . O N na forma amoniacal reduziu drasticamente o crescimento em todos os tratamentos, exceto com o CCC. O N na forma amoniacal reduziu o teor dos cátions K, Ca e Mg na planta. O regulador de crescimento tricotanol apresentou uma tendência em aumentar a absorção de Ca pelas plantas. O uso de CCC aumentou significativamente o nível de nitrato na parte aérea das plantas supridas com essa forma de N, não tendo efeito para a forma amoniacal. Todos os reguladores de crescimento utilizados aumentaram a concentração de amônio livre na parte aérea das plantas supridas com NH_4^+ .

Termos para indexação: tomate, *Lycopersicon esculentum*, NH_4 , NO_3 .

RELATION BETWEEN NITROGEN SOURCE AND PLANT GROWTH REGULATORS ON TOMATO GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE

ABSTRACT - Tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.) were grown in sand culture with NH_4^+ or NO_3^- sources of N and four plant growth regulators (Cytokinin (CK), Trycotanol (TCOT), ABA (Abscisic acid) and Cycocel (CCC)). In general, the plant growth regulators had no significant effect on tomato growth except CCC which reduced dry weight in plants supplied with NO_3^- . Ammonium reduced plant growth as compared to NO_3^- , for all treatments but CCC. The cations K, Ca and Mg content in tissue decreased with NH_4^+ treatment as compared to NO_3^- . However Trycotanol tended to reduce this effect by increasing Ca in plants. CCC enhanced nitrate content in plant shoot supplied with NO_3^- , but had no effect on plants supplied with NH_4^+ . Every plant growth regulator increased free NH_4^+ in plant shoots supplied with that N source.

Index terms: tomato, *Lycopersicon esculentum*, NH_4 , NO_3 .

INTRODUÇÃO

Já foi comprovado que todos os aspectos do crescimento de plantas envolvem controle hormonal, havendo evidências crescentes de que os fatores ambientais afetam o nível endógeno de hormônios. É também bastante provável que os níveis endógenos dessas substâncias de crescimento sejam afetados pela nutrição mineral (Salama & Wareing 1979), principalmente o nitrogênio, o nutriente absorvido em maior quantidade pela planta, em termos de equivalente, e que está presente nas bio-

moléculas mais importantes e em numerosas enzimas (Kafkafi et al. 1971, Mifflin & Lea 1976). O metabolismo do nitrogênio é bastante complexo, e sua assimilação, bem como a resposta da planta, depende da forma em que o nutriente é suprido (Magalhães & Wilcox 1983a, b, c, 1984a, b, Raven & Smith 1976).

Há evidências de que a assimilação do nitrato pode ocorrer na folha ou na raiz (Yoneyama & Kumazawa 1975) mas, em grande número de plantas, a parte aérea recebe principalmente o nitrogênio nítrico, com pequena redução do nitrato na raiz (Raven & Smith 1976). Por outro lado, grande parte do nitrogênio de forma amoniacal é assimilado na raiz (Raven & Smith 1976, Yoneyama & Kumazawa 1974), havendo evidências de que o primeiro passo da assimilação do amônio nesta parte vegetal está associado à citocinina originada na zona de crescimento do sistema radicular (Yoshida & Oritani 1979).

¹ Aceito para publicação em 20 de agosto de 1986. Parte do trabalho de tese para obtenção do Título de Ph.D., Purdue University.

² Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNPH), Caixa Postal 07.0218, CEP 70359 Brasília, DF.

³ Prof. - Tit., Department of Horticulture - Purdue University W. Lafayette IN 47907, USA.

Embora na fase final de assimilação do nitrogênio (incorporação em aminoácidos) as plantas necessitem do elemento totalmente reduzido, o fornecimento do nutriente nessa forma (NH_4^+) apresenta efeito deletério a grande número de plantas (Magalhães & Wilcox 1984a, Mifflin & Lea 1976). Em muitas plantas superiores, o amônio, como única fonte de nitrogênio, leva a sérias desordens fisiológicas e morfológicas, resultando em clorose, crescimento restrito, baixa absorção de cátions e em alguns casos à morte das plantas (Kirkby & Mengel 1967, Puritch & Barker 1967).

A toxidez de NH_4^+ nas plantas foi demonstrada (Magalhães & Wilcox 1984a), embora a causa bioquímica, exata, da toxicidade, bem como as concentrações específicas que levam às desordens fisiológicas não sejam bem claras (Givan 1979). Estudos sobre fatores ambientais foram conduzidos para diminuir os efeitos deletérios à plantas (Magalhães & Wilcox 1984b). Yoshida & Oritani (1979) sugerem que a citocinina produzida na raiz pode ter um papel importante no efeito tóxico do amônio.

O nitrogênio na forma nítrica, quando transportado para a parte aérea da planta, necessita ser reduzido a amônio; assim, muito mais energia é requerida para a assimilação do nitrato (Yoneyama et al. 1975) do que para a de amônio. Um mecanismo eficiente de assimilação de NH_4^+ na raiz, sem acumulação deletéria do íon na parte aérea, deverá resultar em grande aumento na produtividade, por unidade de nitrogênio.

A literatura sobre a relação entre nutrição mineral e reguladores de crescimento de plantas é muito escassa, principalmente quanto aos efeitos na assimilação do nitrogênio. Apesar disso, os vários sítios de síntese de citocinina, pelo menos em algumas espécies, ocorrem predominantemente na raiz (Kende 1965) onde também acontece grande parte da assimilação do amônio.

Publicações recentes têm mostrado influência do nitrogênio no nível endógeno de fito-hormônios, particularmente na formação de citocinina na raiz (Darrall & Wareing 1981, Drew et al. 1979, Horgan & Wareing 1980, Sattelmacher & Marschner 1978), que é estimulada pela presença de NO_3^- (Darrall & Wareing 1981). É esperado que a citocinina tenha efeito na assimilação de NH_4^+ ; entretan-

to, essa relação não é conhecida, e não se sabe como seria o efeito de fito-hormônios exógenos na assimilação de nitrogênio, em plantas sensíveis ao NH_4^+ , sendo supridas com esse íon. Foi observado aumento de AAb em plantas com deficiência de nitrogênio (Daie et al. 1979), embora o efeito desse regulador de crescimento no metabolismo de nitrogênio também não tenha sido estudado.

A relação entre a forma de nitrogênio e reguladores de crescimento de plantas parece ser uma questão aberta à pesquisa, principalmente no que tange à tentativa de diminuir os efeitos deletérios do NH_4^+ , o que foi objetivo deste estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Universidade de Purdue, em condições de casa de vegetação, nos meses de março e abril, com uma radiação solar média de 320 e 420 langleys, respectivamente. Sementes de tomate cv. Campbell 1327 foram semeadas em caixas com vermiculita. Dez dias após a germinação, as plantas foram transplantadas para vasos de plástico com volume de 2,81, contendo areia de quartzo.

As plantas foram irrigadas com solução de Hoagland modificada, com 112 ppm de N na forma de nitrato, por dez dias antes do início dos tratamentos. O desenho experimental foi um fatorial 5 x 2, completamente casualizado, com quatro reguladores de crescimento (citocinina, tricotanól, AAb e cicocel) e um controle, combinados com duas formas de nitrogênio (nitrato e amônio) e quatro repetições por tratamento, com duas plantas por vaso. 112 ppm de nitrogênio foram aplicados na forma de nitrato de amônio.

A solução com NO_3^- foi a seguinte: KH_2PO_4 (1mM), K_2SO_4 (2mM), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4mM), MgSO_4 (2mM). Para a solução de amônio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ foi substituído por CaCl_2 (4mM) e o nível de nitrogênio foi mantido constante pela adição de equivalentes em $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Os micronutrientes foram aplicados em todos os tratamentos como segue: Fe como sulfato de amônio férrico (2,5 ppm), Fe como quelatosequestre 330 (2,5 ppm), H_3BO_3 (2,86 mg/l), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1,81 mg/l), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,22 mg/l), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,08 mg/l) e $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0,02 mg/l). O pH da solução nutritiva foi corrigido para 5,7 com KOH 0,1 N. Aplicaram-se 500 ml dessa solução por vaso, por dia.

Os reguladores de crescimento, citocinina, tricotanól e AAb, foram aplicados juntamente com a solução, na concentração de 0,1 ppm. O cicocel foi aplicado a 0,03% na solução nutritiva, somente nos primeiros cinco dias de tratamento. O tricotanól foi também aplicado em pulverização foliar a 5 ml/l, um e cinco dias após o transplante.

As plantas foram colhidas doze dias após o início dos tratamentos. Parte aérea e raiz foram colhidas separadamente, secas em estufa com circulação de ar a 70°C, pesadas e moídas em moinho 'Wiley' com peneira de 40 mesh. Amostras do tecido moído (100 mg) foram digeridas em 1,0 ml de H₂SO₄ concentrado, e oxidadas com H₂O₂, sendo diluídas, após a digestão, para 50 ml com água destilada.

As análises de N total, P, K, Ca e Mg foram feitas a partir desses extratos. O K, Ca e Mg foram determinados usando-se espectrofotômetro de absorção atômica, Unica SP-90; o N foi determinado pelo método de Nessler; e o P foi determinado pelo procedimento de redução com molibdato de amônio-ácido sulfônico, utilizando-se um Spectronic-20 da Bauch & Lomb.

Para a determinação de NO₃-N e de NH₄-N, amostras de 300 mg de tecido moído foram agitadas por 20 minutos em 50 ml de água destilada e filtradas em papel Whatman n.º 1. O NO₃ foi determinado com eletrodo seletivo Orion, modelo 92-07; e o NH₄ foi determinado com eletrodo seletivo Orion 95-10, utilizando-se um medidor de íons específico Orion-401.

RESULTADOS

Os resultados de crescimento da planta são apresentados na Tabela 1. A interação foi significativa para todos os parâmetros medidos. Os reguladores de crescimento CK e AAb não tiveram efeito significativo no peso seco da parte aérea, para ambas as formas de N aplicadas, enquanto que o TCOT e CCC afetaram significativamente o crescimento da parte aérea, quando se utilizou N-NO₃.

A aplicação de CCC na dose utilizada reduziu quase quatro vezes o peso seco das plantas supridas com NO₃, o que não ocorreu com NH₄. O N na forma amoniacal reduziu drasticamente o crescimento da parte aérea para todos os tratamentos exceto CCC, onde não houve diferença significativa.

O crescimento da raiz apresentou tendência de resposta aos tratamentos, similar à da parte aérea; todavia, a aplicação de CCC mais do que dobrou o peso seco de raízes que receberam NH₄, comparado com nitrato. A relação peso seco da parte aérea/peso seco de raiz foi maior para plantas supridas com NO₃ para todos os tratamentos, indicando que o N amoniacal tem maior efeito prejudicial na parte aérea da planta. Esse efeito prejudicial foi ainda mais acentuado nas plantas tratadas com CCC, uma vez que este reduziu muito mais o crescimento radicular, relativamente ao da parte aérea, na presença de N-NO₃.

A concentração de nutrientes na parte aérea da planta aparece na Tabela 2. O CCC aumentou o teor de N total em relação ao controle utilizado, em ambas as formas de N aplicados. A concentração de N foi maior em plantas supridas com NH₄, com menor diferença para plantas tratadas com CCC. O teor de P foi maior em plantas supridas com NH₄.

O N na forma amoniacal reduziu o teor dos cátions K, Ca e Mg na parte aérea da planta. Entretanto, essa diferença foi bastante diminuída pelo

TABELA 1. Efeito de formas de Nitrogênio e reguladores de crescimento na produção de matéria seca pelo tomateiro.

Parte da planta	Forma de N	Peso seco (g/planta)					LSD 0,05
		Controle	CK *	TCOT	AAb	CCC	
P. aérea	NO ₃	4,03	3,81	3,56	3,97	1,11	0,30
	NH ₄	1,19	0,99	1,08	1,05	0,94	
Raiz	NO ₃	0,85	0,96	0,90	0,76	0,19	0,08
	NH ₄	0,39	0,40	0,38	0,41	0,47	
Total	NO ₃	4,89	4,77	4,46	4,73	1,30	0,34
	NH ₄	1,58	1,39	1,46	1,46	1,41	
P. aérea raízes	NO ₃	4,73	3,92	3,96	5,22	5,89	0,45
	NH ₄	3,02	2,96	2,82	2,57	2,00	

* CK = Citocinina; TCOT = Tricotanol; AAb = Ácido absfísico; CCC = Cicocel.

tricotanol para K, Ca e Mg e para Ca pelo CCC. Esses reguladores de crescimento apresentaram tendência de aumentar significativamente a absorção de Ca em plantas supridas com NH_4^+ .

A quantidade de nitrato nas plantas supridas com NH_4^+ foi em geral dez vezes menor em relação às plantas supridas com NO_3^- . O uso do CCC aumentou significativamente o nível de nitrato na parte aérea da planta suprida com essa forma de nitrogênio, não tendo efeito para a forma amoniacal.

Todos os reguladores de crescimento utilizados aumentaram a concentração de amônio livre na parte aérea das plantas supridas com essa forma de nitrogênio. O CCC foi o regulador de crescimento que teve mais efeito nesse parâmetro.

A Tabela 3 mostra os resultados de concentrações de nutrientes na raiz da planta. CK e AAb diminuíram significativamente o teor de N-total na raiz, para ambas as formas de N utilizadas; TCOT e CCC tiveram efeito similar, apenas na presença de N- NH_4 . CCC aumentou a percentagem de N-total, na presença de N- NO_3 .

CK, TCOT e CCC mostraram, para fósforo, a mesma tendência mostrada para N-total.

CK e TCOT aumentaram significativamente K quando N foi suprido com NH_4 , diminuindo a percentagem desse nutriente na presença de NO_3 . CCC também diminui a percentagem de K na presença de NO_3 . O uso de CK, AAb e CCC, na presença de NO_3 , aumentou a percentagem de Ca na raiz. O uso de TCOT só teve efeito significativo na presença de NH_4 . O teor de Mg só foi afetado pelo uso de TCOT, quando em presença de NH_4 .

A quantidade de NO_3 nas raízes das plantas supridas com NH_4 foi cerca de dez vezes menor, em relação às raízes de plantas supridas com NO_3 , comportamento idêntico ao ocorrido para a parte aérea.

O CCC induziu aumento do N total somente em plantas supridas com NO_3^- e não em plantas supridas com NH_4^+ . A tendência geral dos efeitos dos reguladores de crescimento, em aumentar o teor de amônio livre nas raízes das plantas supridas com essa forma de nitrogênio, não foi significativa.

TABELA 2. Efeito de formas de Nitrogênio e reguladores de crescimento na concentração de nutrientes da parte aérea do tomateiro.

Elemento	Forma de N	Teor de nutrientes na matéria seca					LSD 0,05
		Controle	CK *	TCOT	AAb	CCC	
----- % -----							
N	NO_3	4,32	4,27	4,14	4,27	4,92	0,32
	NH_4	5,60	5,21	5,21	4,60	5,68	
P	NO_3	0,70	6,67	0,66	0,76	0,80	0,80
	NH_4	1,32	1,06	1,30	1,17	1,24	
K	NO_3	6,48	6,73	6,21	6,29	6,77	0,52
	NH_4	4,44	3,02	4,87	4,70	4,82	
Ca	NO_3	3,07	3,04	3,36	3,16	2,54	0,26
	NH_4	0,91	0,86	1,49	1,13	1,77	
Mg	NO_3	0,74	0,70	0,70	0,75	0,77	0,05
	NH_4	0,41	0,35	0,45	0,38	0,41	
$\text{NO}_3\text{-N}$	NO_3	0,70	0,60	0,57	0,60	0,87	0,13
	NH_4	0,05	0,07	0,05	0,04	0,04	
----- μM -----							
$\text{NH}_4\text{-N}$	NO_3	18	18	19	19	27	29
	NH_4	220	273	267	257	340	

* CK = Citocinina; TCOT = Tricotanol; AAb = Ácido absfísico; CCC = Cicocel.

TABELA 3. Efeito de formas de Nitrogênio e reguladores de crescimento na concentração de nutrientes da raiz do tomateiro.

Elemento	Forma de N	Teor de nutrientes na matéria seca					LSD 0,05
		Controle	CK *	TCOT	AAb	CCC	
———— % ————							
N	NO ₃	2,77	2,51	2,67	2,57	3,27	0,15
	NH ₄	5,02	4,14	4,60	4,60	4,50	
P	NO ₃	0,80	0,68	0,77	0,65	1,01	0,06
	NH ₄	1,11	1,03	1,03	1,06	0,94	
K	NO ₃	6,17	5,61	5,51	6,31	5,62	0,28
	NH ₄	3,19	3,55	4,05	3,27	3,46	
Ca	NO ₃	1,06	1,34	1,02	1,22	1,18	0,06
	NH ₄	0,31	0,35	0,39	0,37	0,35	
Mg	NO ₃	0,77	0,83	0,70	0,74	0,70	0,08
	NH ₄	0,20	0,21	0,30	0,24	0,28	
NO ₃ -N	NO ₃	0,60	0,60	0,43	0,50	0,77	0,02
	NH ₄	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	
———— μM ————							
NH ₄ -N	NO ₃	23	30	30	26	26	21
	NH ₄	160	160	160	180	150	

* CK = Citocinina; TCOT = Tricotanol; AAb = Ácido absísico; CCC = Cicocel.

DISCUSSÃO

O efeito do nitrogênio na forma de amônio observado na redução do crescimento, bem como a absorção de cátions, é bastante citado na literatura (Kirkby & Mengel 1967, Magalhães & Wilcox 1983a). O fornecimento de NH₄⁺ como única fonte de nitrogênio leva a altas concentrações de amônio livre nas folhas (Magalhães & Wilcox 1984a), o que desencadeia vários desarranjos no metabolismo da planta, como danos na estrutura dos cloroplastos, inibição da fotofosforilação e formação de ATP, afetando a atividade da enzima carboxilase, o que resulta na redução da fixação de CO₂ e, em última instância, no reduzido crescimento (Ikeda & Yamada 1981, Matsumoto et al. 1971).

Como o NO₃⁻ é reduzido a nível de NH₃ antes de sua assimilação pela planta, supõe-se que deveria haver pouca diferença entre plantas supridas com as duas formas de nitrogênio. A redução da

absorção de cátions, observada com o nitrogênio na forma de NH₄⁺, é explicada, principalmente, pelo balanço iônico, conforme discutido por Kirkby & Mengel (1967).

Em condições normais de crescimento, as plantas absorvem maior quantidade de nitrogênio do que outras espécies de nutrientes. Assim, no caso de plantas supridas com nitrogênio na forma de NO₃⁻, maior quantidade de ânion é absorvido, mas um equilíbrio eletroquímico deve ser mantido pela absorção de outros cátions ou pela excreção de OH⁻ ou HCO₃⁻. Quando a fonte de nitrogênio é NH₄⁺, ocorre o inverso, havendo redução na absorção de outros cátions e excreção de H⁺ pela raiz.

O suprimento exógeno dos reguladores de crescimento no presente estudo, em geral, não teve efeito significativo no crescimento da planta. Seria esperada uma redução do efeito tóxico do NH₄⁺ com a aplicação de citocinina, uma vez que plantas supridas com nitrogênio amoniacal apresentam ní-

veis endógenos marcadamente mais baixos desse fito-hormônio (Darrall & Wareing 1981, Salama & Wareing 1979), em plantas sensíveis a amônio, e que a citocinina endógena sintetizada na raiz estimula as primeiras etapas de incorporação do nitrogênio em aminoácidos (Yoshida & Oritani 1979). Os resultados sugerem que o suprimento exógeno da citocinina não tem o mesmo efeito, o que evitaria o acúmulo de amônio livre na planta.

Por outro lado, parece haver grande possibilidade de diminuir o efeito tóxico do amônio com o uso de CCC ou tricotanól. Segundo resultados de Pill et al. (1979), o CCC aplicado via foliar e no solo aumentou em 54% a concentração de Ca no fruto de tomate, diminuindo o efeito deletério do amônio. Vale ressaltar que a concentração de CCC utilizada em cultura com areia, no presente estudo, causou sintomas de toxidez às plantas, com grau mais elevado para aquelas supridas com nitrato. Portanto, pesquisas adicionais com esses últimos reguladores de crescimento, com estudo de níveis e métodos de aplicação para diferentes substratos, podem trazer melhores resultados.

REFERÊNCIAS

- DAIE, J.; SEELEY, S.D.; CAMPBELL, W.F. Nitrogen deficiency influences on abscisic acid in tomato. *Hortic. Sci.*, 14(3):261-2, 1979.
- DARRALL, M.M. & WAREING, P.F. The effect of nitrogen nutrition on cytokinin activity and free amino acids in *Betula pendula* R. and *Acer pseudoplatanus* L. *J. Exp. Bot.*, 32(127):369-79, 1981.
- DREW, M.C.; SISWORO, E.J.; SAKER, L.R. Alleviation of waterlogging damage to young barley plants by application of nitrate and synthetic cytokinin, and comparison between the effects of waterlogging, nitrogen deficiency and root excision. *New Phytol.*, 82:315-29, 1979.
- GIVAN, C.V. Metabolic detoxification of ammonia in tissues of higher plants. *Phytochemistry*, 18:375-82, 1979.
- HORGAN, J.M. & WAREING, P.F. Cytokinins and the growth responses of seedlings of *Betula pendula* R. and *Acer pseudoplatanus* L. to nitrogen and phosphorus deficiency. *J. Exp. Bot.*, 31(121):525-32, 1980.
- IKEDA, M. & YAMADA, Y. Dark CO₂ fixation in leaves of tomato plants grown with ammonium and nitrate as nitrogen sources. *Plant Soil*, 60:213-22, 1981.
- KAFKAFI, U.; WALERSTEIN, I.; FEIGENBAUM, S. Effect of potassium nitrate and ammonium nitrate on the growth, cation uptake and water requirement of tomato grown in sand culture. *Isr. J. Agric. Res.*, 21(1):13-20, 1971.
- KENDE, H. Kinetin like factors in the root exudate of sunflower. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.*, 53:1302-7, 1965.
- KIRKBY, E.A. & MENGEL, K. Ionic balance in different tissue of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.*, 42:6-14, 1967.
- MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Ammonium toxicity development in tomato plants relative to nitrogen form and light intensity. *J. Plant Nutr.*, 7(10):1477-96, 1984a.
- MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Growth, free amino acids and mineral composition of tomato plants in relation to nitrogen form and growing media. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 109(3):406-11, 1984b.
- MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Tomato growth and mineral composition as influenced by nitrogen form and light intensity. *J. Plant Nutr.*, 6(10):847-62, 1983a.
- MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Tomato growth and nutrient uptake patterns as influenced by nitrogen form and light intensity. *J. Plant Nutr.*, 6(11):941-56, 1983b.
- MAGALHÃES, J.R. & WILCOX, G.E. Tomato growth, nitrogen fractions and mineral composition in response to nitrate and ammonium foliar sprays. *J. Plant Nutr.*, 6(11):911-39, 1983c.
- MATSUMOTO, H.; WARIUCHI, N.; TAKAHASHI, E. Changes of some mitochondrial enzyme activities of cucumber leaves during ammonium toxicity. *Physiol. Plant.*, 25:353-7, 1971.
- MIFLIN, B.J. & LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. *Phytochemistry*, 15:873-85, 1976.
- PILL, W.G.; LAMBETH, V.N.; HINCKLEY, T.M. Effects of cycocel and nitrogen form on tomato water relation and yield. *Can. J. Plant Sci.*, 59:391-7, 1979.
- PURITCH, G.S. & BARKER, A.V. Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. *Plant Physiol.*, 42:1229-38, 1967.
- RAVEN, J.A. & SMITH, F.A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytol.*, 76:415-31, 1976.
- SALAMA, A.M.S. & WAREING, P.F. Effects of mineral nutrition on endogenous cytokinins in plants of sunflower. *J. Exp. Bot.*, 39(118):971-81, 1979.
- SATTELMACHER, B. & MARSCHNER, H. Relation between nitrogen nutrition, cytokinin activity and tuberization in *Solanum tuberosum*. *Physiol. Plant.*, 44:65-8, 1978.

- YONEYAMA, T. & KUMAZAWA, K. A kinetic study of the assimilation of ^{15}N -labelled ammonium in rice seedlings. *Plant Cell Physiol.*, **15**:655-61, 1974.
- YONEYAMA, T. & KUMAZAWA, K. A kinetic study of the assimilation of ^{15}N -labelled nitrate in rice seedling. *Plant Cell Physiol.*, **16**:21-31, 1975.
- YONEYAMA, T.; KOMAMURA, K.; KUMAZAWA, K. Nitrogen transport in intact corn roots. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **21**(4):371-7, 1975.
- YOSHIDA, R. & ORITANI, T. Studies on nitrogen metabolism in crop plants. XVII. Effects of cytokinin and removal of root tip on the assimilation of ^{15}N -labelled ammonium nitrogen by excised rice roots. *Jap. J. Crop Sci.*, **48**(4):457-62, 1979.