

ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DA ALFACE FONTES DE N E INIBIDOR DA NITRIFICAÇÃO¹

NEWTON N.C. PEREIRA², MANLIO S. FERNANDES³ e DEJAIR L. DE ALMEIDA⁴

RESUMO - Foram estudados, em condições de campo, os efeitos de diferentes fontes de N (uréia, nitrocálcio, sulfato de amônio, esterco de galinha e efluente de biodigestor), com (CNS) e sem (SNS) inibidor de nitrificação (nitrapirim), sobre a absorção de nitrogênio por alface (*Lactuca sativa* L.). O inibidor de nitrificação *per se* não mostrou efeito negativo sobre o crescimento das plantas. Entretanto, quando aplicado junto com a uréia, o inibidor reduziu significativamente o peso seco da alface; ocorreram também reduções significativas de peso quando o inibidor foi aplicado junto com esterco de galinha e nitrocálcio. O maior acúmulo de peso seco foi observado no tratamento esterco de galinha-SNS. O efluente de biodigestor mostrou ser uma fonte inadequada de N para as plantas. No tratamento esterco de galinha-SNS - foram observados acúmulos de N-NO₃ superiores ao tratamento Nitrocálcio-SNS, a níveis potencialmente tóxicos para nutrição humana. Consta-se que, no manejo atual, um excesso de N está sendo aplicado na cultura da alface no estado do Rio de Janeiro.

Termos para indexação: nitrato, nitrogênio.

NITROGEN NUTRITION FOR LETTUCE EFFECTS OF N-CARRIERS AND NITRIFICATION INHIBITION

ABSTRACT - A field experiment was carried out to study the effects of N-sources (urea, nitrocalcium, ammonium sulphate, chicken dung and biodigester effluent) with (CNS) and without (SNS) a nitrification inhibitor (Nitrapyrin) on the dry weight and N-uptake of lettuce (*Lactuca sativa*, L.). The nitrification inhibitor *per se* had no negative effect on growth of lettuce. However, nitrification inhibitor + urea resulted in a sharp decrease in plant growth rates. The application of nitrocalcium and chicken dung + NS also resulted in decreases of lettuce dry weight. The highest rate of dry weight accumulation was induced by chicken dung - SNS. On the other hand, biodigester effluent was shown to be a very poor source of N. The chicken dung treatment, resulted in NO₃- accumulation in lettuce at levels potentially hazardous to human health. It is proved that under the present cropping system, an excess of N is used by lettuce growers in Rio de Janeiro.

Index terms: nitrate, nitrogen.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da alface está adaptada para produzir durante todo o ano; entretanto, as variedades utilizadas produzem melhor quando semeadas de março a julho, no Centro-Sul do País (Filgueiras 1972).

Segundo dados da CEASA-RJ, a cultura da alface vem se expandindo rapidamente no estado do Rio de Janeiro por ser uma cultura de bom retorno de capital, desde que plantada em época própria.

O crescimento da alface é lento até os 40 dias após o plantio; a partir daí, a planta cresce rapidamente até os 65 dias. A absorção de nutrientes acompanha de perto o ritmo de crescimento da

planta, e ao fim de um período de cultura a alface retira do solo, por hectare, 23,2 kg de N, 4,4 kg de P, 50,9 kg de K, 13,3 kg de Ca, 3,2 kg de Mg e 3,0 kg de S (Zambon 1982). Segundo Lorentz & Bartz, citados por Malavolta et al. (1974), até os 40 dias de idade a alface absorve 1/3 do Ca, Mg e S de que necessita. No mesmo período, são absorvidos 50% do N e do K. A absorção do N se intensifica a partir dos 30 dias após a germinação. A alface pode acumular 224,6 mg de N por g de matéria seca.

O coeficiente de utilização do N do solo foi estimado por Muravin (1972), citado por Zambon (1982), em 37% a partir de uma aplicação de 60 kg N/ha. Alexander (1965) mostrou que a eficiência de utilização do N é sempre menor que 50%. Estes dados explicam o interesse no uso de fertilizantes de solubilização lenta, e do uso de inibidores de nitrificação na cultura da alface.

O N é o nutriente que promove maior aumento de produtividade, e resulta em maior aumento de peso médio da cabeça em alface (Couto & Branco 1963), seguido pelo P, cujos efeitos são menos acentuados existindo, entretanto, uma interação positiva entre N

¹ Aceito para publicação em 14 de setembro de 1988. Contribuição do Departamento de Solos da UFRRJ.

² Eng. - Agr. M.Sc., EMATER - RJ, Alameda São Boaventura, 998, Fonseca, CEP 24000, Niterói, RJ.

³ Prof. - Adjunto, Ph.D., Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Km 47 da antiga Rod. Rio/São Paulo, CEP 23851, Seropédica, RJ.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA, Rio de Janeiro, RJ.

e P. No custo de produção em culturas de alface, os fertilizantes minerais e orgânicos são responsáveis por 20% do total. Segundo Döbereiner & Baldani (1982), o N representa, em média, 75% dos custos com fertilizantes na agricultura.

O interesse em reduzir as perdas de N nas culturas, seja por desnitrificação, seja por lixiviação, tem levado ao uso de inibidores de nitrificação. Entre os inibidores de nitrificação atualmente em uso, o N-Serve (nitrapirim) tem sido um dos mais intensamente testados (Huber et al. 1978).

Goring (1962) sugere que as concentrações mínimas de N-Serve para manter a eficiência do inibidor até seis semanas, estariam em torno de 0,05 a 20 ppm. Welch et al. (1979) observaram aumento de produção e de qualidade da alface com o uso de 0,5 kg/ha do inibidor.

A eficiência do nitrapirim na inibição da nitrificação em solos, é afetada pela fonte de N (a alcalinização produzida por NH_3 e uréia acelera a nitrificação em solos ácidos, em contraste com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, por exemplo). O teor de matéria orgânica e a força iônica da solução do solo aumentam a persistência do inibidor, enquanto que o excesso de umidade acelera sua degradação. Por outro lado, a matéria orgânica pode reduzir a bioatividade do nitrapirim, pelo aumento da capacidade de adsorção do solo (Keeney 1980). Assim, a fonte do N-reduzido (orgânico ou mineral, alcalinizante ou acidificante) é um fator importante na persistência da atividade do inibidor. Estes fatores, somados à temperatura, lixiviação e volatilização, podem reduzir o período de eficiência do inibidor no solo.

Não há concordância quanto à melhor fonte de N para a cultura da alface. Couto & Branco (1963) ressaltam que as melhores fontes de N são, em ordem de importância: salitre do Chile, uréia e sulfato de amônio, aplicados ao nível de 100 kg/ha.

Adams (1979), comparando nitrocálcio (20 a 30 g/m²) com uréia (23 a 35 g/m²), obteve melhores resultados com a uréia. Barros (1979) observou que a melhor fonte de N para a alface seria o salitre do Chile, quando aplicado quinzenalmente, em cobertura, ao nível de 20 g/m². Araújo et al. (1972) acharam os melhores resultados com a aplicação de uréia em solução a 1% de cinco em cinco dias. Com doses mais elevadas de uréia (1,5 a 2,0%), houve queima dos bordos das folhas.

Gardner & Pew (1979), comparando a eficiência do nitrato de amônio, nitrato de cálcio e uréia, para cultivares de inverno, não encontraram diferenças na produção, qualidade, tamanho de cabeças e acumula-

ção de nitrato nas folhas para qualquer das fontes usadas.

O acúmulo de NO_3^- em alface, com o uso de fertilizantes nitrogenados, tem sido observado por Giyer (1975) e Splitstoesser (1974), e negado por Hansen (1977).

A deficiência de N em alface provoca um retardamento no crescimento, ausência ou má formação de cabeças, e folhas de cor verde-palha (as mais velhas totalmente cloróticas) (Malavolta 1974).

No estado do Rio de Janeiro, a cultura da alface recebe, em média 20 t/ha de esterco de galinha, e 50 g/m² da fórmula 4-18-4, no plantio. São feitas duas adubações em cobertura com 25 g/m² da fórmula 12-6-12.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no campo da Estação Experimental da PESAGRO-Rio em Itaguaí, RJ, km 47 da antiga Rio-São Paulo, no período de junho a agosto de 1983.

Foram usados os seguintes tratamentos: testemunha (T), uréia (U), nitrocálcio (N), sulfato de amônio (S), esterco de galinha (EG) e efluente de biodigestor (EG), sem (SNS) e com (CNS) N-Serve. O delineamento foi em blocos ao acaso com 4 repetições e 12 tratamentos, medindo cada parcela 1 x 3 x 0,20 m.

As plantas de alface foram cultivadas em um Planossolo da série Ecologia, de textura leve, com as seguintes características químicas, reveladas pela análise de terra fina secada ao ar (TFSA), coletada após aração, gradagem e encanteiramento: pH = 6,3; C = 0,33%; $\text{Al}^{+++} = 0,0$ meq/100 g; $\text{Ca}^{++} = 3,6$ meq/100 g; $\text{Mg}^{++} = 0,6$ meq/100 g; $\text{Na}^+ = 0,04$ meq/100 g; $\text{K}^+ = 0,24$ meq/100 g; P. assimilável = 154 ppm.

Todos os tratamentos receberam 50 g/m² de superfosfato simples (100 kg P_2O_5 /ha) e 12 g/m² de cloreto de potássio, (60 kg K_2O /ha) aos onze dias antes do plantio. No mesmo período, foi feita a adubação orgânica.

Nos tratamentos-testemunha, uréia, sulfato de amônio e nitrocálcio, foram aplicados 0,5 kg/m², de matéria seca de esterco de galinha (17,5 g N/m²). No tratamento esterco de galinha foi aplicado 1,5 kg/m², de matéria seca de esterco de galinha (52,5 g N/m²), e no tratamento efluente de biodigestor foi aplicado 1,5 kg/m² de matéria seca do efluente (15,0 g N/m²).

Nos tratamentos uréia, sulfato de amônio e nitrocálcio, além das adubações acima, foram feitas duas aplicações de nitrogênio mineral de 2,5 g N/m² (50 kg N/ha) cada; uma aos onze dias antes do plantio, e outra, em cobertura, aos vinte e dois dias após o plantio.

Os adubos orgânicos apresentaram as seguintes características na matéria seca; esterco de galinha continha 3,5% de N, e relação C/N = 8,8, enquanto que o efluente de biodigestor apresentou 1% de N e relação C/N = 30.

Foi usada cobertura morta com grama-batatais em todos os canteiros, dez dias antes do plantio das mudas, visando diminuir perda de água e de tratamentos culturais.

Foram semeadas 5 g de sementes, em maio de 1983; as mudas foram transplantadas com 29 dias de idade, no espaçamento 0,25 x 0,25 m, totalizando 16 mudas/m².

O inibidor de nitrificação N-Serve (2-cloro-6 (tricloro-metil) piridina), com 22% de nitrapirim, foi aplicado ao nível de 10 ppm em todos os tratamentos, onze dias antes do transplante. Nos tratamentos uréia, sulfato de amônio e nitrocálcio foi feita mais uma aplicação ao nível de 10 ppm de N-Serve, aos 22 dias após o transplante, coincidindo com a adubação mineral nitrogenada em cobertura.

A cultivar utilizada foi a Aurélia.

Foram colhidas três plantas/parcela aos 43, 65 e 74 dias de idade, colocadas em sacos de plástico etiquetados, e transportadas para o laboratório. A última colheita foi feita no dia 18.8.83. As coletas deveriam ser feitas de 15 em 15 dias, mas, devido às precipitações pluviais, estas datas foram alteradas. No mesmo dia, as alfaves eram pesadas sem as raízes, para obtenção do peso fresco, e homogeneizadas, retirando-se três amostras de 1 g/parcela de material fresco para extração com etanol (Fernandes 1976). No extrato do material fresco foi determinado o amino-N, método da ninidrina (Yemm & Cocking 1955), amônia (método de arraste por vapor com MgO) e nitrato (método de arraste por vapor após redução com liga de Devarda (Bremner & Keeney 1965).

Após a retirada das amostras, as plantas foram secadas em estufa de circulação de ar por 48 horas e moídas em moinho tipo Willey 40 mesh). O N-total foi determinado pelo método de arraste de vapor (Bremner & Keeney 1965).

Uma amostra de terra da camada superficial (0 - 20 cm) dos canteiros foi retirada, secada à sombra, e peneirada em peneira de 2 mm. O pH foi determinado em água (1:25) e em KCl. Nitrato e amônio foram determinados segundo Bremner & Keeney (1965).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O inibidor de nitrificação (N-Serve) não teve efeito significativo sobre o peso fresco das plantas que receberam efluente de biodigestor (EB) como fonte de N (Tabela 1). Na testemunha (T), observava-se um aumento no peso fresco final da alfaca, com o uso do inibidor. Por outro lado, observou-se uma significativa queda do peso fresco final das plantas, quando o inibidor de nitrificação foi aplicado aos tratamentos que tiveram uréia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, e esterco de galinha, respectivamente como fontes de N.

O uso do esterco de galinha sem inibidor resultou no peso fresco mais elevado em termos absolutos, enquanto que os tratamentos com efluente de biodigestor apresentaram os pesos mais baixos, com ou sem o inibidor de nitrificação.

O efeito mais intenso do uso do inibidor de nitrificação foi sobre o peso fresco final das plantas do tratamento com uréia. Neste caso, o peso das plantas com inibidor caiu para 57% do peso das plantas sem inibidor. As reduções de peso fresco com o uso do inibidor, nos tratamentos com nitrocálcio (16%) e esterco de galinha (29%), foram também significativas.

Na Tabela 1, pode-se também observar que a variação de peso entre os 43 e 65 dias de idade é bem maior nas plantas sem o inibidor, exceto para o tratamento EB, que mostra a menor variação de peso neste intervalo. Nos tratamentos com inibidor, a variação de peso no intervalo 43 - 65 dias é menor, não havendo diferença entre o tratamento EB e os demais.

De modo geral, os tratamentos que resultaram em maior peso fresco ao final da cultura apresentaram teores de N-Total acima de 2,20%. Na Fig. 1, observa-se que o máximo aparente, de peso fresco em relação aos teores de N-total, ocorre em torno de 2,80%, prevendo-se queda do peso fresco em concentrações mais elevadas de N-total.

O peso seco das plantas é apresentado na Tabela 2, sendo de notar a persistência do efeito negativo aparente do N-Serve sobre o peso das plantas, e o maior acúmulo absoluto de matéria seca pelas plantas do tratamento com esterco de galinha (SNS).

Nos tratamentos SNS, observa-se uma queda significativa nos teores de N-total (como % do peso seco) entre os 43 e 65 dias após o plantio (Tabela 3). Entretanto, nesta mesma época, nos tratamentos CNS essa diferença não é significativa para uréia,

TABELA 1. Peso fresco da parte aérea, durante o crescimento da alfaca, em g/planta, em resposta à adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Testemunha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitrocálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Testemunha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitrocálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
						SNS						
43	4,21	3,18	2,64	2,97	1,74	2,23	1,82	1,32	2,11	2,48	1,27	1,83
65	123,24	142,32	109,74	130,43	108,35	61,73	72,53	54,22	49,78	76,51	50,72	55,39
74	253,69	314,13	258,63	328,96	381,13	142,31	264,74	179,61	225,35	274,69	267,74	148,41
						CNS						
						131,75						
						96,85						

DMS trat = 34,12

DMS N-Serve = 8,04

nitrocálcio, esterco de galinha e EB, sendo que para os dois primeiros, observa-se uma queda significativa no teor de N dos tratamentos CNS em relação aos tratamentos SNS (Tabela 3).

Entre 65 e 74 dias de idade, os teores de N-total caem, ou não apresentam diferença significativa com os níveis anteriores, exceto nos tratamentos SNS para o nitrocálcio, que mostram aumento nos teores de N, e para o esterco de galinha nos tratamentos CNS, onde também ocorre um aumento nos teores de N-total entre 65 e 74 dias após o plantio. É inte-

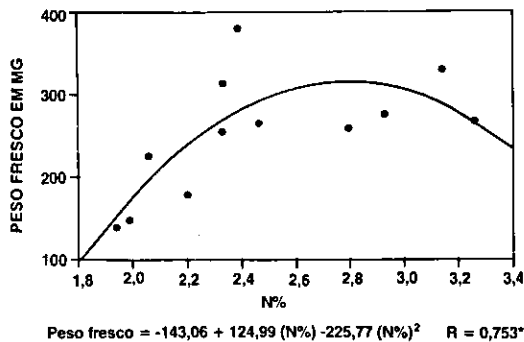


FIG. 1. Efeitos da concentração de N (%) nas folhas, sobre o peso fresco da alface (*Lactuca sativa* L.).

TABELA 2. Peso seco da parte aérea, durante o crescimento da alface, em g/planta, em resposta à adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Teste- munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro- cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Teste- munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro- cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
SNS						CNS						
43	0,16	0,15	0,11	0,12	0,05	0,09	0,07	0,02	0,02	0,08	0,05	0,06
65	5,85	5,87	5,57	5,33	4,45	3,83	3,72	3,60	3,10	4,55	2,88	3,51
74	11,21	13,28	10,44	10,59	18,52	9,36	10,82	9,12	11,24	11,39	12,74	9,18
				5,83						4,79		

DMS trat = 3,9

DMS N-Serve = 0,92

TABELA 3. Percentagem de nitrogênio total no peso seco da planta, durante o crescimento da alface, em função das várias fontes de nitrogênio, usados na adubação sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Teste- munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro- cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Teste- munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro- cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
SNS						CNS						
43	3,89	3,63	3,70	3,65	3,65	3,79	3,45	2,92	3,40	3,33	3,09	2,87
65	2,47	2,59	2,71	2,68	2,81	2,31	2,58	2,88	2,68	2,89	3,08	2,85
74	2,33	2,34	2,80	3,14	2,93	1,93	2,47	2,20	2,06	2,93	3,26	1,99
				2,96						2,82		

DMS trat = 0,59

DMS N-Serve = 0,14

ressante observar que nos tratamentos SNS, o aumento no teor de N-total corresponde a um grande aumento do peso fresco, tanto em relação à colheita anterior (65 dias) como em relação à testemunha (Tabela 1). Por outro lado, o aumento do N% no tratamento esterco de galinha (CNS) não resulta em aumento de peso fresco em relação à testemunha (Tabelas 1 e 3).

A redução da percentagem de N com o tempo em quase todos os tratamentos, como se observa na Tabela 3, era esperada, dada a rápida variação do peso fresco entre 43 - 65 e 74 dias após a colheita. Também seria esperado que reduções menores, ou mesmo aumento do teor de N entre os intervalos estudados resultassem em maior peso fresco, como ocorre com os tratamentos esterco de galinha e nitrocálcio (SNS) em relação aos outros tratamentos. Ao contrário, a variação do peso fresco dos tratamentos esterco de galinha e nitrocálcio (CNS), em termos absolutos e em relação à testemunha, não reflete as variações dos teores de N desses tratamentos (Tabelas 1 e 3). O acúmulo de N-total nessas plantas, sem uma correspondente variação no peso fresco e no peso seco, podem indicar distúrbios no metabolismo de N (Fernandes 1978) ou efeitos tóxicos diretos do inibidor de nitrificação (Sahrawat & Keeney 1984). A segunda hipótese, entretanto, parece ser menos provável, considerando-se que a variação

nos pesos frescos e secos das plantas nos tratamentos T e EB aparentemente não foram afetados pela aplicação do inibidor de nitrificação (Tabelas 1 e 2). Assim, o efeito negativo aparente do N-serve sobre o crescimento das plantas só ocorre nos tratamentos que receberam N-mineral + esterco de galinha (uréia, sulfato de amônio e nitrocálcio) e nos tratamentos em que o esterco de galinha foi aplicado em doses mais elevadas. Nestas circunstâncias, a hipótese mais provável é a de que o efeito negativo observado nos tratamentos CNS seja devido à absorção, em excesso, de $N-NH_4^+$ (Fernandes 1984, Dibb & Welch 1976).

Análise da acumulação de $N-NH_4^+$ na parte aérea das plantas (Tabela 4) não oferece qualquer indicação de absorção e/ou acúmulo excessivo de $N-NH_4^+$ pelas plantas nos diversos tratamentos. Os dados da Tabela 4 indicam, entretanto, que a redução de peso nas plantas dos tratamentos com EB podem ser devidos à baixa disponibilidade de N nestes tratamentos, o que parece ser confirmado pelo teor de N do EB, e pela alta relação C/N deste material.

O teor de amino-N na parte aérea das plantas (Tabela 5) também mostra resultados não conclusivos em relação à possível absorção de excesso de NH_4^+ . É possível observar uma tendência ao aumento do teor de amino-N ao fim do período experimental (74 dias), simultaneamente com o decréscimo

da taxa de crescimento da cultura (dados não apresentados); entretanto, não foi possível quantificar essa tendência.

Os dados da Tabela 5 permitem sugerir $12,00 \pm 2$ μ moles/g de peso fresco como o teor médio normal de amino-N livre nesta cultivar de alfaca.

Na Tabela 6 são apresentados os teores de $N-NO_3^-$ nas plantas. Como tendência geral, observa-se uma queda nos teores de $N-NO_3^-$ com o tempo, o que seria previsível, em função da variação dos pesos fresco e seco. As exceções mais notáveis a essa tendência são, nos tratamentos CNS, o nitrocálcio e o esterco de galinha. No primeiro caso, o teor de $N-NO_3^-$ no final do período (74 dias) é maior que nas duas colheitas anteriores. No caso do esterco de galinha, aos 74 dias, o teor de $N-NO_3^-$ nas plantas é mais elevado que aos 65 dias, e não difere significativamente do nível de $N-NO_3^-$ na primeira colheita (43 dias).

Nos tratamentos sem N-Serve, a tendência geral de queda nos teores de $N-NO_3^-$ com o tempo é mantida (embora em alguns casos as diferenças não sejam significativas entre 65 e 74 dias), aparecendo, entretanto, um grande acúmulo de $N-NO_3^-$ no tratamento esterco de galinha aos 74 dias, em relação aos outros tratamentos. Assim, em todas as colheitas, os maiores acúmulos de $N-NO_3^-$ nas plantas ocorreram nos tratamentos esterco de galinha-SNS, e

TABELA 4. Teores de N-amoniaco ($N-NH_4^+$), em μ moles/g peso fresco da planta, durante o crescimento da alfaca, em resposta à adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Teste-munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro-cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Teste-munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro-cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
SNS						CNS						
43	8,50	11,36	8,18	5,81	8,06	8,25	7,50	8,43	8,50	7,62	5,37	6,37
65	7,02	7,19	6,83	8,50	8,46	5,02	5,07	6,35	8,59	8,29	6,84	4,74
74	1,56	3,33	3,75	2,70	3,41	0,35	3,05	1,44	1,38	2,81	3,37	1,92
6,02						5,42						

DMS trat = 0,75

DMS N-Serve = 0,18

TABELA 5. Teores de amino-N, em μ moles/g peso fresco da planta, durante o crescimento da alfaca, em função da adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Teste-munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro-cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Teste-munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro-cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
SNS						CNS						
43	14,10	13,14	9,48	10,89	9,30	12,60	12,96	11,97	11,01	13,23	9,57	9,99
65	9,72	10,44	12,06	12,60	12,65	12,33	11,70	11,22	11,88	15,09	13,20	13,20
74	8,85	17,85	10,62	15,72	12,78	14,10	13,11	15,81	11,79	15,00	11,43	16,35

nitrocálcio (CNS). Os tratamentos-testemunha e efluente de biodigestor, tanto CNS como SNS, são aqueles que apresentam os menores níveis de $N-NO_3^-$ ao longo do período experimental, confirmando as suposições de que os teores de N disponíveis neste material são baixos, em relação às necessidades da cultura. É interessante observar que o inibidor de nitrificação nos níveis aplicados foi muito eficiente na redução dos níveis de $N-NO_3^-$ nas plantas no início do experimento (até 43 dias após o plantio). A partir desta data, este fenômeno deixa de ser aparente. Cumpre alertar, entretanto, para o fato de que níveis elevados de $N-NO_3^-$ nas plantas tanto podem significar absorção excessiva, em termos absolutos, como interrupção do metabolismo de N, com o acúmulo de $N-NO_3^-$ no "pool substrato" (Ferrari et al. 1973, Fernandes 1978). Deve-se observar, também, que o consumo da alfaca nos níveis mais elevados de acúmulo de $N-NO_3^-$, mostrados na Tabela 6, pode resultar em ingestão de níveis tóxicos de $N-NO_3^-$, principalmente por crianças (Zambon 1982).

Na Tabela 7 estão os teores de $N-NH_4^+$ no solo

Os teores de NH_4^+ no período pré-plantio confirmam a baixa disponibilidade de N a partir do efluente de biodigestor. O inibidor de nitrificação teve um efeito positivo sobre a manutenção de níveis mais elevados de $N-NH_4^+$ no solo em relação aos tratamentos sem inibidor, ao longo do experimento. Por outro lado, a acumulação de $N-NO_3^-$ no solo da área experimental mostra um efeito inverso do inibidor de nitrificação, com tendência a redução dos níveis de $N-NO_3^-$ ao longo do tempo (Tabela 8). As exceções a esta tendência são os tratamentos nitrocálcio e esterco de galinha, que mostram níveis mais elevados de $N-NO_3^-$ no solo do que os outros tratamentos, com ou sem o inibidor de nitrificação. O acúmulo de $N-NO_3^-$ nesses tratamentos (exceto nitrocálcio-SNS) reflete-se nos teores de $N-NO_3^-$ nas plantas (Tabela 6).

Os resultados mostrados nas Tabelas 7 e 8, indicam que nos tratamentos SNS a absorção de N ao longo do ciclo da cultura pode ter ocorrido principalmente sob a forma de $N-NO_3^-$, enquanto que nos tratamentos CNS a absorção de $N-NH_4^+$ pelas

TABELA 6. Teores de N-nítrico (NO_3^-), em μ moles/g peso fresco da planta, durante o crescimento da alfaca, em resposta à adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Testemunha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitrocálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Testemunha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitrocálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
SNS						CNS						
43	27,18	28,36	23,06	30,31	33,56	27,75	14,43	15,12	11,56	20,93	17,62	17,43
65	7,97	16,21	10,18	13,84	25,17	5,60	8,31	9,08	10,05	11,94	10,53	7,23
74	4,91	12,06	10,33	7,75	21,66	4,62	3,58	7,00	1,76	24,57	16,08	4,81
17,25						11,84						

DMS trat = 3,4

DMS N-Serve = 0,32

TABELA 7. Teores no solo de N-amoniacoal, em ppm (mg/kg), durante o crescimento da alfaca, em resposta à adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	Testemunha	Uréia	SNS				CNS					
			Sulfato de amônio	Nitrocálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Testemunha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitrocálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
Antes do plantio	74,17	126,17	178,5	182,35	203,85	43,25	125,24	128,99	135,94	175,59	189,12	54,30
Após o plantio												
43	14,73	12,58	11,81	12,48	12,52	12,52	27,81	19,09	27,91	11,89	34,97	16,88
65	6,53	7,41	7,09	8,40	8,30	5,47	12,75	32,32	33,84	25,86	27,86	9,18
74	5,56	8,17	5,78	5,40	8,64	4,71	11,98	23,04	33,30	23,29	18,49	8,71
40,19						50,35						

DMS trat = 2,34

DMS N-Serve = 0,48

plantas deve ter sido muito mais intensa ao longo de todo o período experimental. A absorção do excesso de $N-NH_4^+$ do solo, que parece ter acontecido nos tratamentos com inibidor, pode resultar no acúmulo de N-solúvel sob a forma de amino-ácidos e de amidas (Fernandes 1984, Turley & Ching 1986). A formação de amidas é particularmente importante como um mecanismo de desintoxicação, em relação a níveis potencialmente tóxicos de $N-NH_4^+$.

Nestas circunstâncias, o acúmulo de N-total, e mesmo o acúmulo de N-proteico, não correspondem ao acúmulo de matéria seca ou verde pelas plantas.

Os resultados da Tabela 7 também apontam para a hipótese de que o menor peso seco fresco final observado nos tratamentos CNS devem ter resultado da disponibilidade de $N-NH_4^+$ no solo, em excesso das necessidades das plantas. Neste caso, o efeito negativo de N-Serve sobre o crescimento e peso final da alface seria indireto (acúmulo de $N-NH_4^+$ no solo) e não um efeito tóxico direto do inibidor. Esta hipótese pode ser reforçada pelo fato de que nos tratamentos-testemunha não parece ter havido efeito aparente do inibidor *per se*. Também reforçam esta

hipótese, as correlações negativas entre os teores de N-total, $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ e N-amino no solo e nas plantas, que são todas muito altas, com exceção da correlação NH_4^- -solo x NH_4 planta, CNS (Tabela 9). Os resultados da Tabela 9 indicam que em cada período de colheita o acúmulo das diversas formas de N nas plantas ocorre com redução simultânea de $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ e N-total do solo. O menor coeficiente de correlação no caso de NH_4 (CNS) aponta para um excesso de $N-NH_4^+$ no solo, em relação aos níveis de influxo pela planta, em comparação com os outros tratamentos.

Independentemente da fonte (mineral ou orgânica), observa-se que quantidades elevadas de N estão sendo usadas na cultura da alface no estado do Rio de Janeiro, o que sugere que uma reavaliação deve ser feita no sistema atual de manejo.

CONCLUSÕES

1. O uso do inibidor de nitrificação teve um efeito negativo aparente no peso fresco da alface, devido a um processo crônico de toxidez por NH_3 .

TABELA 8. Teores no solo de N-nítrico, em ppm (mg/kg), durante o crescimento da alface, em resposta à adubação nitrogenada sem (SNS), e com (CNS) e inibidor de nitrificação.

Dias	SNS						CNS					
	Teste-munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro-cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor	Teste-munha	Uréia	Sulfato de amônio	Nitro-cálcio	Esterco de galinha	Efluente de biodigestor
Antes do plantio	24,12	32,18	43,98	30,59	32,60	24,65	35,17	30,19	18,28	35,98	45,35	41,74
Após o plantio												
43	9,18	19,72	12,82	18,14	22,62	8,53	12,03	6,86	5,50	15,16	16,78	10,04
65	8,55	6,72	12,56	11,90	5,70	6,72	9,53	5,87	5,68	15,21	13,96	4,88
74	4,37	8,46	7,04	15,77	10,71	6,09	7,19	4,27	4,85	13,64	12,97	3,95
			15,99						15,63			

DMS trat = 2,60

DMS N-Serve = 0,53

TABELA 9. Coeficientes de correlação entre NO_3^- , NH_4^+ , e N-Total no solo, e NO_3^- , NH_4^+ , N-solúvel e N-Total na planta.

N em planta → N no solo ↓	NO_3^-		NH_4^+		N-solúvel		N-total	
	SNS	CNS	SNS	CNS	SNS	CNS	SNS	CNS
NO_3^-	-0,906	-0,916						
NH_4^+			-0,968	-0,742				
N-total					-0,937	-0,881	-0,843	-0,980

2. Não houve efeito do inibidor de nitrificação, na manutenção de NH_4^+ na solução do solo nos tratamentos testemunha e efluente de biodigestor (alta relação C/N).

3. Se excetuarmos os tratamentos com N-SERVE, o acúmulo de N-NO_3^- na planta independe da fonte de N usada (mineral ou orgânica) e sim das quantidades aplicadas e da relação C/N do adubo orgânico.

4. A aplicação do inibidor de nitrificação efetivamente reduziu o acúmulo de NO_3^- na parte aérea das plantas.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, P.; GRAVES, C.L.; WINSOR, G.W. Effects of cooper deficiency and liming on the yields, quality and cooper status of tomatoes, lettuce, and cucumber grown in peat. *Sci. Hort.*, **9**(3):199-205, 1979.
- ALEXANDER, M. Nitrification. In: BARTHOLOMEN, W.V. & CLARK, F.E. eds. *Soil Nitrogen-Agronomy*. s.l., s.ed., 1965. v.10, p.309-35.
- ARAÚJO, L.C.P.; CONCEIÇÃO, A.J.; BORGES, I.O. **Emprego da Uréia na adubação foliar de alface (*Lactuca sativa* L.)**. Viçosa, UFV, 1972. 43p.
- BARROS, I.B.I. **Efeito da adubação nitrogenada foliar e no solo e da aplicação foliar de Mo em alface (*Lactuca sativa* L.)**. Viçosa, UFV, 1979. 43p. Tese Mestrado.
- BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta*, **23**:485-95, 1965.
- COUTO, F.A.A. & BRANCO, A.A. Efeito de fontes de azoto na fertilização de alface. *Olericultura*, **3**:5-11, 1963.
- DIBB, D.W. & WELCH, L.F. Corn growth affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. *Agron. J.*, **68**:89-94, 1976.
- DÖBEREINER, J. & BALDANI, J.I. Bases científicas para uma agricultura biológica. *Ci. e Cult.*, **34**(7):869-81, 1982.
- FERNANDES, M.S. Interação entre N-amoniacoal e energia ambiental, na nutrição nitrogenada do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO., 15, Campinas, SP, 1975. *Anais* . . . Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.229-33.
- FERNANDES, M.S. **Absorção e metabolismo de nitrogênio em plantas**. Rio de Janeiro. Inst. de Agronomia, UFRRJ, 1978. 50p. (Boletim Técnico, 1)
- FERNANDES, M.S. N-carriers, light and temperature influences on uptake and assimilation of nitrogen by rice seedlings. *Turrialba*, **34**(1):9-19, 1984.
- FERRARI, T.E.; YODER, O.C.; FILNER, P. Anaerobic nitrate production by plant cells and tissues: evidence for two nitrate pools. *Plant Physiol.*, **51**:423-31, 1973.
- FILGUEIRAS, F.A.R. **Manual de Olericultura**. São Paulo, Editora Agron. Ceres, 1972. 451p.
- GARDNER, B.R. & PEW, W.D. Comparison of various Nitrogen sources for the fertilization of winter grow head lettuce. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **104**(4):534-6, 1979.
- GORING, C.A.I. Control of nitrification by 2 cloro 6 (trichlorometil) piridina. *Soil Sci.*, **93**:211-8, 1962.
- HANSEN, H. The content of nitrate and protein in head lettuce (*Lactuca sativa*, var. Capitata, butterheas lettuce) grown under different conditions. *Fidss. Plant*, **80**(3):370-80, 1977.
- HUBER, D.M.; WARRWN, H.L.; NELSON, D.W. Nitrification inhibitors. *Dow Earth*, **34**:12-18, 1978.
- KEENEY, D.R. Factors affecting the persistence and bioactivity of nitrification inhibitors. In: NITRIFICATION inhibitors - Potentials and limitations. Madison, Wisconsin, ASA 1980. p.33-46. (ASA. Special Publication, 38)
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.
- SAHRAWAT, K.L. & KEENEY, D.R. Effects of nitrification inhibitors on chemical composition of plants: a review. *J. Plant Nutr.*, **7**(9):1251-88, 1984.
- TURLEY, R.H. & CHING, T.M. Physiological responses of barley leaves to foliar applied urea - ammonium - nitrate. *Crop Sci.*, **26**:987-93, 1986.
- WELCH, N.C.; TYLER, K.B.; RIRIE, D. nitrogen stabilization in the Paparo Valley in lettuce, celery and strawberries. *Calif. Agric.*, **33**(9):12-3, 1979.
- YEMM, E.W. & COCKING, E.C. The determination of aminoacids with ninhydrin. *Analyst*, **80**:209-13, 1955.
- ZAMBON, F.R.A. **Nutrição Mineral da alface (*Lactuca sativa* L.)** In: MULLER, J.J.V. & CASALI, V.M.D. ed., **Seminários de Olericultura**. 2. edição. Viçosa, MG.. s.ed., 1982. v. 1, p.77-106.