

Forma preferencial de absorção de nitrogênio ($^{15}\text{NH}_4^+$ ou $^{15}\text{NO}_3^-$) pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho

Reges Heinrichs¹, Glauber José Gava², Edegar Joaquim Corazza³, Robson Rui Cotrin Duete³, Felipe Carlos Alvarez Villanueva³, Takashi Muraoka³

¹Autor para correspondência. Unesp-Dracena. Rua Bahia, 332, CEP 17900-000, Dracena (SP), Brasil. reges@dracena.unesp.br

²Laboratório de Isótopos Estáveis, Cena/USP, Piracicaba (SP), Brasil.

³Laboratório de Fertilidade do Solo, Cena/USP, Piracicaba (SP), Brasil.

Resumo

Nos cultivos anuais, as práticas de adubação nitrogenada podem fornecer a quantidade suficiente de nitrogênio para as plantas alcançarem a máxima produção. No entanto, levando-se em consideração as conseqüências ambientais devidas ao uso mal planejado, é preciso ajustar as quantidades e as formas de N aplicadas de acordo com a exigência das culturas. Com o objetivo de avaliar a forma preferencial de absorção de nitrogênio pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho na fase inicial de desenvolvimento, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, num Latossolo Vermelho argiloso, usando nitrato de amônio (NH_4NO_3) marcado com 2% em excesso de ^{15}N . O uso deste fertilizante permite o fornecimento simultâneo de ambas as formas de N, evitando-se o uso de outras fontes de NH_4^+ e NO_3^- , as quais têm a inconveniência de apresentar distintos íons acompanhantes, que poderiam interferir a favor de uma forma de nitrogênio. Os tratamentos constaram da aplicação do fertilizante nitrogenado em solução, marcado no NH_4^+ ou NO_3^- , na semeadura e 10 dias depois, na dose de 100 mg de N por vaso, em superfície, antes da irrigação. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Dezesete dias após a emergência, as plantas foram colhidas, determinando-se o nitrogênio total e o ^{15}N . Na soja, o nitrogênio(N) aplicado na semeadura não apresentou forma preferencial de absorção; no entanto, na aplicação em cobertura, o N na planta proveniente do fertilizante foi maior na forma amoniacal. No feijão, a absorção de N amoniacal e nítrico não apresentou forma preferencial. No arroz, a maior recuperação do N do fertilizante ocorreu na forma amoniacal, independentemente da época de aplicação, enquanto, no milho, observou-se esse efeito apenas quando aplicado na semeadura.

Palavras-chave adicionais: íon amônio; íon nitrato; nitrogênio marcado; culturas anuais.

Abstract

HEINRICH, R.; GAVA, J. G.; CORAZZA, E. J.; DUETE, R. R. C.; ALVAREZ V., F. C.; MURAOKA, T. Preferential nitrogen form ($^{15}\text{NH}_4^+$ or $^{15}\text{NO}_3^-$) taken up by soybean, common bean, rice and corn crops. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.25 - 30, 2006.

In annual crops, the nitrogen fertilizer application practice can supply the nitrogen needed for maximum yield. However, taking in consideration the damaging effects on the environment of improperly planned fertilizer use, it is necessary to adjust the amount and the forms of N to be applied according to crop requirement. Viewing to determine the N form which is preferentially absorbed by the plants at their initial growth stage, an experiment was carried out under green house conditions in a Hapludox soil. Ammonium nitrate (AN) in which 2% of the N was labeled N (^{15}N) either as NH_4^+ or as NO_3^- was used. The AN solution was then applied onto the soil surface of each vase at the rate of 100 mg of N either at sowing or 10 days later. The results showed that the soybean plants, when fertilization was made at sowing, had no preferred form of N. But, if fertilization took place 10 days after sowing, the NH_4^+ form was the preferred one. Common bean plants showed no preferred form. Rice plants preferred the NH_4^+ form irrespective of fertilization time. Corn plants preferred the ammoniacal form when fertilization was made at sowing.

Additional keywords: ammonium ion; nitrate ion; labeled ammonium nitrate; annual crops.

Introdução

O nitrogênio(N) é, freqüentemente, considerado o mais importante fator, após a deficiência de água, que limita a produção de biomassa em ecossistemas naturais. Nos cultivos anuais, as práticas de adubação nitrogenada podem fornecer a quantidade suficiente para as plantas alcançarem a máxima produção. Levando-se em consideração as conseqüências ambientais devidas ao uso de práticas agrícolas mal

planejadas, é preciso ajustar as quantidades e formas de N aplicadas, de acordo com a exigência das culturas, para a produção esperada (LEMAIRE & GASTAL, 1997).

O aumento da recuperação do N do fertilizante pelas culturas pode ser obtido por meio de aplicações parceladas ao longo do período de desenvolvimento das plantas (VILLAS BOAS, 1990), assim como se associando às formas de fornecimento do nutriente (BLAIR et al., 1970; SCHRADER et al., 1972). Segundo BROWN et al. (1983a, b) e BLACKMER (2000), de

modo geral, no início do desenvolvimento das plantas, há preferência da absorção da forma amoniacal e, à medida que vai avançando o ciclo vegetativo, aumenta a absorção na forma nítrica. No entanto, muitos autores não verificaram a existência de formas preferenciais em função de espécies ou cultivares (MURAOKA, 1973; CAUSIN et al., 1992; MAGALHÃES et al., 1995; YIN & RAVEN, 1998; DUETE, 2000).

Na planta, as formas nítrica e amoniacal possuem diferentes efeitos no crescimento, na qualidade vegetal, na produção de biomassa e na reprodução (LANE & BASSIRIRAD, 2002). De acordo com SCHENK (1996) e LANE & BASSIRIRAD (2002), a existência de formas preferenciais de nitrogênio na absorção pelas plantas está associada a fatores intrínsecos às espécies vegetais, dentre os quais, processos fotossintéticos, estágio de crescimento e repartição na formação da biomassa.

Com a hipótese de que as culturas diferem quanto à forma inorgânica de absorção de nitrogênio fornecida, o presente estudo teve como objetivo determinar a forma preferencial de absorção de nitrogênio pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho, na fase inicial de desenvolvimento, usando nitrato de amônio marcado com ^{15}N .

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba (SP), em casa de vegetação, durante o período compreendido entre agosto e setembro de 1999.

Para cada unidade experimental, foram pesados 250 g de solo classificado como Latossolo Vermelho textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999), previamente destorroado e peneirado (malha 2 mm) e, após a calagem, apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl_2 0,1 M) 5,1; M.O., 29 g dm^{-3} ; P(resina), 5 mg dm^{-3} ; S- SO_4 , 8 mg dm^{-3} ; K (resina), 0,7 mmol $_c$ dm^{-3} ; Ca (resina), 18 mmol $_c$ dm^{-3} ; Mg (resina), 9 mmol $_c$ dm^{-3} ; Al, 0 mmol $_c$ dm^{-3} ; H, 22 mmol $_c$ dm^{-3} ; S, 27,7 mmol $_c$ dm^{-3} ; T, 49,7 mmol $_c$ dm^{-3} ; V, 55,7%; B (água quente), 0,34 mg dm^{-3} ; Cu (DTPA), 1,0 mg dm^{-3} ; Fe (DTPA), 52 mg dm^{-3} ; Mn (DTPA), 5 mg dm^{-3} ; Zn (DTPA), 0,4 mg dm^{-3} . O solo foi adubado com 150 e 80 mg dm^{-3} de P e K, respectivamente, e colocado dentro de vasos de plástico. Foram utilizadas quatro espécies, mantendo-se duas plantas por vaso: soja cv. IAC 17; feijão cv. Carioca; arroz cv. IAC 165; e milho *Agrocere* cv. 405.

A fonte de nitrogênio aplicada foi o NH_4NO_3 . Numa amostra, foi marcado o amônio ($^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$) e na outra, o nitrato ($\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$), com 2 % de ^{15}N em excesso. Isso permitiu o fornecimento simultâneo das formas amoniacal e nítrica de N marcadas, evitando-

se o uso de outras fontes de NH_4^+ e NO_3^- ; as quais têm a inconveniência de apresentarem distintos íons acompanhantes, os quais poderiam interferir na forma de absorção.

A dose de N utilizada para todas as unidades experimentais foi de 100 mg kg^{-1} de solo, aplicada em duas parcelas iguais, na semeadura, e dez dias depois, em cobertura. A metade do número total de vasos recebeu fertilizante marcado na semeadura, sendo destes, 50% com $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ marcado e os outros 50% com $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ marcado. Aos dez dias, realizou-se a adubação de cobertura, aplicando-se $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ ou $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ marcados, nos tratamentos que não receberam o fertilizante marcado na semeadura, ou seja, a metade dos vasos com amônio marcado e a outra metade com nitrato marcado. Assim, cada espécie vegetal recebeu quatro tratamentos, sendo: 1) $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ na semeadura; 2) $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ na semeadura; 3) $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ em cobertura aos 10 dias; 4) $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ em cobertura aos 10 dias. No momento em que os tratamentos não receberam o elemento marcado, eles foram adubados com fertilizante convencional (NH_4NO_3); assim, aplicou-se a mesma quantidade de N em todos os tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições.

Os vasos foram irrigados diariamente, mantendo a umidade do solo em torno de 60% da capacidade de campo. Dezesete dias após a emergência, as plantas foram colhidas, secas em estufa a 70 °C, pesadas e moídas. O N total foi determinado pelo método de micro Kjeldahl e o ^{15}N , por espectrometria de massa (BARRIE & PROSSER, 1996).

A partir das determinações, foram obtidos os resultados mediante as seguintes fórmulas:

$$\% \text{Nppf} = [(\text{átomos \% excesso de } ^{15}\text{N na planta} - 0,366) / (\text{átomos \% excesso de } ^{15}\text{N no fertilizante} - 0,366)] \times 100$$
, sendo %Nppf a porcentagem do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%) e 0,366, a abundância natural;
$$\text{QNppf (mg/vaso)} = (\% \text{Nppf} / 100) \times \text{Qnt}$$
, sendo QNppf a quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (mg/vaso) e Qnt, a quantidade de nitrogênio total na planta (mg/vaso);
$$\text{R (\%)} = (\text{QNppf} / \text{QNA}) \times 100$$
, sendo R a porcentagem de N amoniacal ou nítrico recuperado pela planta proveniente do fertilizante, e QNA, a quantidade de N aplicado por vaso (25 mg).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (PIMENTEL GOMES, 2000).

Resultados e discussão

A produção de matéria seca (MS), o teor de N total e a quantidade de N acumulada nas plantas

de soja, feijão (Tabela 1), arroz e milho (Tabela 2) não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Estes resultados foram coerentes, pois a adubação nitrogenada, quanto à forma e à quantidade aplicada, foi igual em todos os tratamentos.

A %Nppf (porcentagem de N na planta proveniente do fertilizante) e o N recuperado do fertilizante na soja, quando aplicado na sementeira, não variaram em função da forma (amônio ou nitrato), resultados que também foram obtidos com a cultura do trigo por MURAOKA (1973) e CAUSIN et al. (1992) e com a cultura do milho por MAGALHÃES et al. (1995) e DUETE (2000). A adubação em cobertura com NH_4NO_3 na soja proporcionou maior absorção do nitrogênio aplicado na forma de NH_4^+ (Tabela 1), corroborando o descrito por BROWN et al. (1983a). Segundo BELOW

(2002), o desenvolvimento das plantas e as condições edáficas influenciam as proporções de absorção de NO_3^- e NH_4^+ .

Os resultados do teor de N na cultura do feijão (Tabela 1) demonstraram que a forma do nutriente aplicado não influenciou a absorção do nutriente, tanto na sementeira quanto 10 dias depois.

A maior absorção de nitrogênio proveniente do fertilizante (%Nppf), nas gramíneas, arroz e milho (Tabela 2), ocorreu sob a forma de NH_4^+ ($P < 0,01$), independentemente da época de aplicação do N. Os resultados confirmaram os relatos de WARMCKE & BABER (1973), que observaram, no estágio inicial de desenvolvimento do milho, que o N é absorvido, preferencialmente, na forma amoniacal. ANDERSON et al. (1991) relataram que as plantas de milho

Tabela 1 – Produção de matéria seca (MS) pelas culturas da soja e do feijão, teores e quantidades de nitrogênio na planta e recuperação do nitrato de amônio marcado, aplicado na sementeira e 10 dias depois, em cobertura.

Table 1 – Yield of dry matter (MS) of soybean and bean crops, levels and amounts of nitrogen in the plants, and recovery of marked ammonium nitrate applied either at sowing or 10 days later.

Nutriente marcado / Marked nutrient	MS (g)	N total / Total N (g kg ⁻¹)	N (mg/vaso) / (mg/pot)	¹⁵ N (atm%)	Nppf (%)	QNppf (mg/vaso) / (mg/pot)	N recuperado / Recovered N (%)
<i>Soja / Soybean</i>							
NH_4^+ sementeira / NH_4^+ at sowing	0,233	68,5	15,93	0,616	15,30	2,45	9,80
NO_3^- sementeira / NO_3^- at sowing	0,237	70,2	16,63	0,626	15,94	2,66	10,62
CV (%)	13	5	12	3	7	17	17
NH_4^+ 10 dias após sementeira / NH_4^+ 10 days after sowing	0,227	73,2	16,62	0,615a	15,24a	2,54	10,16
NO_3^- 10 dias após sementeira / NO_3^- 10 days after sowing	0,220	72,7	16,04	0,583b	13,24b	2,13	8,53
CV (%)	10	5	13	3*	7*	18	18
<i>Feijão / Bean</i>							
NH_4^+ sementeira / NH_4^+ at sowing	0,340	58,5	19,84	0,697	20,24	4,00	15,99
NO_3^- sementeira / NO_3^- at sowing	0,373	58,9	21,95	0,699	20,38	4,43	17,73
CV (%)	9	9	10	7	15	10	15
NH_4^+ 10 dias após sementeira / NH_4^+ 10 days after sowing	0,430	54,7	23,52	0,595	13,99	3,29	13,17
NO_3^- 10 dias após sementeira / NO_3^- 10 days after sowing	0,380	55,1	20,94	0,608	14,79	3,10	12,40
CV (%)	8	2	9	7	18	19	19

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey, a 10% de probabilidade.

¹⁵N (atm%): porcentagem de átomos de ¹⁵N encontrados na planta;

Nppf: nitrogênio na planta proveniente do fertilizante;

QNppf: quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante.

Means followed by the same letter within columns are not significantly different by the Tukey test at 10% of probability.

¹⁵N (atm%): percentage of ¹⁵N atoms found in the plant;

Nppf: nitrogen from the fertilizer in the plant;

QNppf: amount of nitrogen from the fertilizer in the plant.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

apresentaram maior produção de matéria seca quando submetidas ao fornecimento exclusivo de N na forma de amônio que sob a forma nítrica. No entanto, os resultados discordam dos dados obtidos por DUETE (2000), que observou aproveitamento similar das formas amoniacal e nítrica, na cultura do milho; possivelmente, possam ocorrer variações decorrentes dos fatores edáfico-climáticos reinantes, como tipo de solo, umidade e temperatura, entre outros. Por outro lado, os resultados concordam com os obtidos por BROWN et al. (1983a, b), que relatam evidências de que as plantas absorvem mais rapidamente o NH_4^+ que o NO_3^- no início do crescimento, e situação oposta ocorre à medida que as plantas crescem. Possivelmente, em plantas jovens, há sistemas funcionais incompletos para maior absorção de NO_3^- , ou trocas nas posições de carboidratos nas raízes durante o desenvolvimento, que podem alterar a forma preferencial de absorção de N (Spratt & Gasser, 1970, citados por BELOW, 2002), ou possam ocorrer ambas as hipóteses. Relatos na literatura descrevem alterações na posição de carboidratos das raízes, durante o desenvolvimento das plantas, que podem alterar a forma preferencial de absorção do nitrogênio (Michael et al., 1970 e Reisenauer, 1978, citados por BELOW, 2002).

A recuperação na forma de amônio foi superior em relação ao nitrato para o arroz ($P < 0,01$), independentemente da época de aplicação. Para o milho, esse efeito foi observado somente com a aplicação do fertilizante 10 dias após a semeadura. ($P < 0,05$), sendo este resultado um reflexo da maior absorção da forma amoniacal (Tabela 2). De modo geral, os valores de N recuperado são baixos, possivelmente por se tratar de um curto período de avaliação (até 17 dias após a emergência).

Para o melhor aproveitamento do fertilizante pelas culturas, é importante conhecer a melhor época de aplicação. Na Tabela 3, estão apresentados os valores de %Nppf para o amônio e o nitrato nas culturas estudadas. Pode-se observar que apenas a soja não sofreu redução significativa na absorção de NH_4^+ em função do retardamento de aplicação do fertilizante, reforçando os relatos de FOY et al. (1969) de que a absorção de nutrientes é regulada por fatores ambientais e genéticos, tornando-se de suma importância pesquisas em escala regional (HEINRICH, 1996). O feijoeiro, mesmo sendo leguminosa, por suas características fisiológicas e por apresentar ciclo curto, necessita de uma alta taxa de absorção de nutrientes; assim, foi prejudicado pelo retardamento da adubação nitrogenada em 10 dias após a semeadura. As gramíneas (arroz e milho), de modo semelhante ao ocorrido com o feijoeiro, também apresentaram redução no aproveitamento do nitrogênio proveniente do fertilizante em função do retardamento da adubação.

Comparando as culturas, observou-se que as leguminosas apresentaram menor %Nppf que as gramíneas, provavelmente pela fonte adicional de N (fixação simbiótica), embora ainda reduzida, pela idade. VARGAS et al. (1993) descreveram que, do quarto ao sexto dia após a germinação, aparecem os nódulos na soja e, aos 12 dias, já pode ser detectada a atividade da enzima nitrogenase, responsável pela transformação do nitrogênio do ar em amônia. O arroz apresentou os menores valores de recuperação do N amoniacal, justificados pela menor produção de matéria seca (Tabela 2).

Quanto à forma nítrica, pode-se observar, na Tabela 3, que a %Nppf apresentou maior concentração, quando a aplicação foi feita na semeadura, nas culturas da soja, do feijão e do milho. Entretanto, o arroz não foi afetado pela época de aplicação. Na comparação entre as culturas, da mesma forma como ocorreu na forma amoniacal, o arroz apresentou a menor recuperação de nitrato, enquanto, nas demais culturas, não houve variação.

Conclusões

Na soja, não houve forma preferencial de absorção do nitrogênio (N) aplicado na semeadura; no entanto, na aplicação em cobertura, o N na planta proveniente do fertilizante foi maior na forma amoniacal.

No feijão, a absorção do N amoniacal e nítrico não apresentou forma preferencial.

No arroz, a maior recuperação do N do fertilizante foi na forma amoniacal, independentemente da época de aplicação, enquanto, no milho, observou-se este efeito apenas quando aplicado em cobertura, 10 dias após a semeadura.

Referências

- ANDERSON, D. S.; TEYKER, R. H.; RAYBURN, A. L. Nitrogen form effect on early corn root morphological and anatomical development. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.14, n.11, p.1255-1266, 1991.
- BARRIE, A.; PROSSER, J. S. Automated analysis of light element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, W. T.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-47.
- BELOW, F. E. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2002. p.385-407.
- BLACKMER, A. M. Soil fertility and plant nutrition: bioavailability of nitrogen. In: SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 2000. p.D3-D18.

Tabela 2 – Produção de matéria seca (MS) pelas culturas do arroz e do milho, teores e quantidades de nitrogênio na planta e recuperação do nitrato de amônio marcado, aplicado na semeadura e 10 dias depois.

Table 2 – Yield of dry matter (MS) of rice and corn crops, levels and amounts of nitrogen in the plants and recovery of marked ammonium nitrate applied at sowing and 10 days after sowing.

Nutriente marcado / <i>Marked nutrient</i>	MS (g)	N total / <i>Total N</i> (g kg ⁻¹)	N (mg/vaso) / (mg/pot)	¹⁵ N (atm%)	Nppf (%)	QNppf (mg/vaso) / (mg/pot)	N recuperado / <i>Recovered N</i> (%)
<i>Arroz / Rice</i>							
NH ₄ ⁺ semeadura / <i>NH₄⁺ at sowing</i>	0,097	43,2	4,18	0,854a	29,85a	1,25a	5,00a
NO ₃ ⁻ semeadura / <i>NO₃⁻ at sowing</i>	0,083	45,6	3,77	0,623b	15,73b	0,59b	2,38b
CV (%)	10	6	7	3**	6**	10**	10**
NH ₄ ⁺ 10 dias após semeadura / <i>NH₄⁺ 10 days after sowing</i>	0,093	47,5	4,43	0,781a	25,38a	1,13a	4,51a
NO ₃ ⁻ 10 dias após semeadura / <i>NO₃⁻ 10 days after sowing</i>	0,083	47,0	3,92	0,617b	15,34b	0,60b	2,40b
CV (%)	7	3	8	4**	8**	12**	12**
<i>Milho / Corn</i>							
NH ₄ ⁺ semeadura / <i>NH₄⁺ at sowing</i>	0,273	45,2	12,39	0,80a	26,65a	3,31	13,22
NO ₃ ⁻ semeadura / <i>NO₃⁻ at sowing</i>	0,280	44,6	12,49	0,77b	24,14b	3,01	12,05
CV (%)	11	5	14	1**	2**	15	15
NH ₄ ⁺ 10 dias após semeadura / <i>NH₄⁺ 10 days after sowing</i>	0,277	47,5	13,21	0,77a	24,49a	3,23a	12,94a
NO ₃ ⁻ 10 dias após semeadura / <i>NO₃⁻ 10 days after sowing</i>	0,370	38,7	14,29	0,62b	15,35b	2,20b	8,79b
CV (%)	12	9	13	3**	6**	17*	17*

Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey; ** e *: significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; ¹⁵N (atm%): porcentagem de átomos de ¹⁵N encontrados na planta;

Nppf: nitrogênio na planta proveniente do fertilizante;

QNppf: quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante.

Means followed by the same letter within columns are not significantly different by the Tukey test; ** and *: significant at 1% and 5% of probability respectively; ¹⁵N (atm%): percentage of ¹⁵N atoms found in the plant; Nppf: nitrogen from the fertilizer in the plant; QNppf: amount of nitrogen from the fertilizer in the plant.

The numbers after the comma are decimals. Example 1,1: = one and one tenth.

Tabela 3 - Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (Nppf) e recuperação das formas amoniacal e nítrica pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho, na adubação de nitrato de amônio na semeadura e 10 dias depois, em cobertura.

Table 3 – Nitrogen from the fertilizant (Nppf) and recovery of the ammonium and nitric forms in soybean, bean, rice and corn plants after fertilization with ammonium nitrate at sowing and 10 days after sowing as top dressing.

Cultura / <i>Crop</i>	Nppf			N Recuperado / <i>Recovered N</i>		
	Semeadura / <i>Sowing</i>	10 dias depois / <i>10 days after sowing</i>	CV	Semeadura / <i>Sowing</i>	10 dias depois / <i>10 days after sowing</i>	CV
----- % -----						
<i>Amoniacal / Ammoniacal</i>						
Soja / <i>Soybean</i>	15,30c	15,24b	7	9,80bc	10,16a	17
Feijão / <i>Bean</i>	20,24bA	14,00bB	8**	15,99aA	13,17aB	4*
Arroz / <i>Rice</i>	29,85aA	25,38aB	6*	5,00c	4,51b	11
Milho / <i>Corn</i>	26,65aA	24,48aB	4*	13,22ab	12,94a	19
CV (%)	5**	7**		15**	15**	
<i>Nitrica / Nitric</i>						
Soja / <i>Soybean</i>	15,94bA	13,24B	7*	10,62b	8,53ab	17
Feijão / <i>Bean</i>	20,39abA	14,80B	21*	18,12aA	12,40aB	19*
Arroz / <i>Rice</i>	15,73b	15,34	9	2,38c	2,39b	11
Milho / <i>Corn</i>	24,14aA	15,35B	4**	12,05aA	8,79abB	8**
CV (%)	12**	13		14**	25**	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey; ** e *: significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; Nppf: nitrogênio na planta proveniente do fertilizante.

Means followed by the same small letter within columns and the same capital letter in the lines are not significantly different by the Tukey test; ** and *: significant at 1% and 5% of probability respectively;

Nppf: nitrogen from the fertilizer in the plant;

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

- BLAIR, G. J.; MILLER, M. H.; MITCHELL, W. A. Nitrate and ammonium as sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, p.530-532, 1970.
- BROWN, R. H.; BOUTON, J. H.; RIGSBY, L. L.; RIGLER, M. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. VII. Ultrastructural characteristic of panicum species in the laxa group. **Plant Physiology**, Rockville, v.71, n.2, p.425-431, 1983a.
- BROWN, R. H.; RIGSBY, L. L.; AKIN, D. E. Enclosure of mitochondria by chloroplasts. **Plant Physiology**, Rockville, v.71, n.2, p.437-439, 1983b.
- CAUSIN, H. F.; BARNEIX, A. J.; GUITMAN, M. R. Effect of long term NH_4^+ nutrition on growth and yield of wheat plants. **Turrialba**, Turrialba, v.42, p.451-458, 1992.
- DUETE, R. R. C. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ^{15}N** . 2000. 152f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.
- FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; ARMIGER, W. H. Differential tolerance of cotton varieties to excess manganese. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, n.2, p.690-694, 1969.
- HEINRICHS, R. Produzir sem degradar: uma alternativa ou um compromisso. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.6-10, 1996.
- LANE, D. R.; BASSIRIRAD, H. Differential responses of tallgrass prairie species to nitrogen loading and varying ratios of NO_3^- to NH_4^+ . **Functional Plant Biology**, Victoria, v.29, p.1227-1235, 2002.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. p.3-43.
- MAGALHÃES, J. R.; HUBER, D. M.; TSAI, C. Y. Influence of the form of nitrogen on ammonium, amino acids and N-assimilating enzyme activity in maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.1, p.747-763, 1995.
- MURAOKA, T. **Efeitos da forma, fonte e parcelamento do nitrogênio (^{15}N) na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 1973. 68f. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba, 2000. 477p.
- SCHENK, M. K. Regulation of nitrogen uptake on the whole plant level. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, p.131-137, 1996.
- SCHRADER, L. E.; DOMSKA, D.; JUNG, P. E.; PETERSON, L. A. Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.690-695, 1972.
- VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; SUHET, A. R.; PEERES, J. R. R. Fixação biológica do nitrogênio. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.159-182.
- VILLAS BOAS, R. L. **Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.)** 1990. 78f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- WARMCKE, D. D.; BARBER, S. A. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentration and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.950-953, 1973.
- YIN, Z. H.; RAVEN, J. A. Influence of different nitrogen sources and nitrogen and water use efficiency, and carbon isotope discrimination, em C_3 *Triticum aestivum* L. and C_4 *Zea mays* L. plants. **Planta**, Berlin, v.205, p.574-580, 1998.

Recebido em 4-2-2005.

Aceito para publicação em 29-7-2005.