

Uso do inibidor de urease tiofosfato de N-n-butiltriamida em cultivo de arroz irrigado





Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1981-5980

Outubro, 2008

versão

ON LINE

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 72

Uso do inibidor de
urease tiofosfato de N-n-
butiltriamida em cultivo de
arroz irrigado

Walkyria Bueno Scivittaro
Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves
Juliana Aguilar Fuhrmann Braun
Marcos Lima Campos do Vale

Pelotas, RS
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado
Endereço: BR 392 Km 78
Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8199
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro
Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia
Membros: Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Verneti Azambuja, Luís Antônio Suita de Castro
Suplentes: Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisor de texto: Sadi Macedo Sapper
Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos
Editoração eletrônica: Oscar Castro
Arte da capa: Oscar Castro

1a edição
1a impressão (2008): 50 exemplares

Todos os direitos reservados
A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Uso do inibidor de urease tiosfato de N-n- butiltriamida em cultivo de arroz /
Walkyria Bueno Scivittaro ... [et al.]. -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado,
2008.

23 p. -- (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e
desenvolvimento, 72).

ISSN 1678-2518

Arroz irrigado - Fertilizante nitrogenado - Uréia - Amônia - Volatilização -
NBTPT. I. *Scivittaro, Walkyria Bueno*. II. Série.

CDD 633.18

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusões	18
Agradecimentos	18
Referências	18

Uso do inibidor de urease tiofosfato de N-n-butiltriamida em cultivo de arroz irrigado

Walkyria Bueno Scivittaro¹
Daiana Ribeiro Nunes Gonçalves²
Juliana Aguilar Fuhrmann Braun³
Marcos Lima Campos do Vale⁴

Resumo

A uréia é a principal fonte de nitrogênio (N) para o arroz irrigado, porém é bastante suscetível a perdas por volatilização de amônia. O uso do inibidor de urease tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBTPT) pode minimizar esse problema, inibindo temporariamente a degradação enzimática da uréia. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em duas condições de umidade do solo, o potencial do inibidor NBTPT em reduzir as perdas de amônia da uréia e seu efeito sobre a produtividade de grãos e utilização de nitrogênio pelo arroz irrigado (*Oryza sativa*). O experimento foi realizado no ano agrícola 2004/05, sobre um Planossolo Háplico, em Capão do Leão, RS. Avaliaram-se

¹Eng. Agrôn., Dra, Embrapa Clima Temperado, Cx. Postal 403 CEP 96001-970 Pelotas, RS. (wbscivit@cpact.embrapa.br)

²Eng. Agrôn., mestranda do curso de Solos da FAEM-UFPel, Campus Universitário Cx. Postal 354 CEP 90010-900 Pelotas, RS. Bolsista da Fapeg.

³Química, MSc., pesquisadora do convênio Petrobras/Embrapa/Fapeg, Cx. Postal 403, CEP 96001-970-Pelotas, RS.

⁴Acadêmico do curso de Agronomia da FAEM-UFPel, Cx. Postal 354, CEP 96010-900-Pelotas, RS. BIC da FAPERGS.

as combinações de duas condições de umidade do solo por ocasião da cobertura com N no início do perfilhamento (solo úmido e saturado), duas fontes de nitrogênio [uréia e uréia tratada com NBTPT] e três intervalos de tempo entre a primeira cobertura nitrogenada e o início da irrigação (1; 5 e 10 dias). A dose utilizada de N foi de 120 kg ha⁻¹, parcelados 90 kg ha⁻¹ no início do perfilhamento, de acordo com os tratamentos, e 30 kg ha⁻¹, como uréia, na diferenciação da panícula. Os tratamentos foram dispostos em delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições. O uso do inibidor de urease NBTPT reduz em 15% e 22% as perdas de amônia da uréia, para aplicações em solo saturado e úmido, respectivamente. A associação da uréia a esse inibidor possibilita que sua aplicação anteceda em até dez dias o início da irrigação, sem prejuízos para a produtividade de grãos e a utilização de nitrogênio pelo arroz.

Termos para indexação: adubo nitrogenado, uréia, eficiência de recuperação do fertilizante, volatilização de amônia, NBTPT.

Use of N-(n-butyl) thiophosphoric triamide inhibitor in flooded rice cultural system

Abstract

*Urea is the primary nitrogen source used in the flooded rice cultural system. But it is prone to ammonia volatilization losses. The use of N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) urease inhibitor, as urea additive, can reduce this inconvenient, inhibiting urea enzymatic degradation, temporarily. The objective of this work was to evaluate the NBPT inhibitor potential for reducing ammonia losses of urea and its effect on grain yield and nitrogen use by the flooded rice (*Oryza sativa*), in two soil moisture conditions. An experiment was carried out on a Planossolo Háplico (Albaquarf), from November 2004 to April 2005, in Capão do Leão, RS, Brazil. Combinations of two soil moisture conditions (moist and muddy), two nitrogen sources (urea and NBPT treated urea) and three time intervals between the first nitrogen top dressing application and beginning of flood (1; 5 and 10 days) were evaluated. The treatments were arranged in a randomized block design, with four replications. Nitrogen fertilizer rate was 120 kg N ha⁻¹, which was divided between the 4- to 5- leaf stage of rice (90 kg N ha⁻¹) and the panicle differentiation (30 kg N ha⁻¹). The NBPT urease inhibitor applied to moist and muddy soil reduced 12% and 20% of ammonia losses, respectively. The association of urea to the NBPT urease inhibitor makes possible that its*

application advances up to ten days the beginning of rice flood, with no damage to grain yield and nitrogen use by the rice crop.

Index terms: nitrogen fertilizer, urea, fertilizer efficiency, ammonia volatilization, NBPT.

Introdução

As fontes nitrogenadas amoniacais e amídica são teoricamente mais adequadas e, portanto, recomendadas para o arroz irrigado por alagamento do solo (VAHL, 1999; SOSBAI, 2007). Dentre essas, a uréia destaca-se pelo elevado conteúdo de nitrogênio (N) e menor custo por unidade do nutriente aplicado. Apesar de tais aspectos favoráveis, esse fertilizante apresenta como característica indesejável reação inicial alcalina no solo, tornando-o suscetível a perdas por volatilização de amônia (RODRIGUES e KIEHL, 1986; NORMAN et al., 2002).

Além da atividade da urease, que controla a taxa de hidrólise da uréia (LARA CABEZAS et al., 1997; PALMA et al., 1998), a intensidade de perdas de amônia da uréia é influenciada pelas condições ambientais, cobertura e tipo de solo, práticas culturais e pelo manejo do fertilizante (dose e forma de aplicação) (ANJOS e TEDESCO, 1976; HARGROVE, 1988; XU et al., 1993). A interação desses fatores determina variabilidade na eficiência de utilização de N da uréia pelas culturas. Em arroz irrigado, as perdas de amônia oscilam de menos de 20% a mais de 80% da quantidade aplicada do fertilizante (VENTURA e YOSHIDA, 1977; VLEK e CRASWELL, 1979; FRENEY et al., 1981; FILLERY et al., 1984; DE DATTA et al., 1989; ZHU, 1992).

A atual recomendação de adubação nitrogenada para o Sul do Brasil (COMISSÃO, 2004; SOSBAI, 2007) prevê, para o arroz cultivado no sistema de semeadura em solo seco, que a cobertura com N no início do perfilhamento preferencialmente anteceda a entrada de água na lavoura, de forma que a água de irrigação promova sua incorporação ao solo, minimizando as perdas de amônia da uréia. Entretanto, variações no manejo

da cultura e na operacionalidade da lavoura condicionam intervalos de tempo variáveis entre a aplicação do fertilizante e o início da irrigação, em alguns casos superiores a cinco dias. Nesse período, a uréia depositada na superfície do solo fica exposta a perdas, que podem se refletir em redução na produtividade da cultura. Ademais, em solos de várzea não é incomum a condição de solo saturado por ocasião da aplicação da primeira cobertura com N, impedindo a incorporação efetiva da uréia pela água de irrigação, também favorecendo as perdas de amônia.

Uma alternativa para as situações em que não é possível entrar com a água rapidamente na lavoura após a adubação nitrogenada e/ou quando a umidade do solo é elevada nessa ocasião, possibilitando a rápida hidrólise e liberação de amônia pela uréia, consiste no tratamento prévio desse fertilizante com um inibidor de urease, que atua sobre a molécula de uréia por um período pré-determinado, minimizando a volatilização de amônia. Nesse sentido, recentemente foi colocada no mercado nacional uma uréia tratada com o inibidor de urease tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBTP). Este aditivo inibe a degradação enzimática da uréia por um período de até 14 dias, reduzindo as perdas de amônia (AGROTAIN, 2001), podendo representar mais uma opção de manejo do nitrogênio para o arroz irrigado.

Realizou-se um experimento para avaliar, sob duas condições de umidade do solo, o potencial do inibidor de urease NBTP em reduzir as perdas de amônia da uréia e seu efeito sobre o desempenho produtivo e a utilização de nitrogênio pelo arroz irrigado.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido no ano agrícola 2004/05, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. Por ocasião da instalação do experimento, o solo da área experimental, classificado como

Planossolo Háptico (SISTEMA, 2006), apresentava as seguintes características químicas, na profundidade de 0-20 cm: pH_(água): 5,6; 14 g dm⁻³ de MO; 8,7 mg dm⁻³ de P; 38 mg dm⁻³ de K; 0,1 cmol_c dm⁻³ de Al; 2,8 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,4 cmol_c dm⁻³ de Mg e saturação por bases de 58%. Os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio são interpretados, respectivamente, como baixo, alto e baixo conforme a Comissão (2004).

Os tratamentos compreenderam a combinação de duas condições de umidade do solo por ocasião da adubação nitrogenada em cobertura no início do perfilhamento do arroz [solo úmido (umidade gravimétrica \cong 16%) e solo saturado (umidade gravimétrica \cong 24%)], duas fontes de nitrogênio (uréia e uréia tratada com o inibidor de urease NBTPT na taxa de incorporação de 0,05%), e três intervalos de tempo entre essa cobertura com N e o início da irrigação por inundação (1; 5 e 10 dias). Esses foram dispostos em delineamento blocos ao acaso, em esquema fatorial, com quatro repetições. O início da irrigação ocorreu simultaneamente para todos os tratamentos, aos 33 dias após a emergência das plântulas, correspondendo ao estágio V5 segundo a escala de COUNCE et al. (2000). As diferenças nos períodos entre a aplicação do N e o início da irrigação foram obtidas por meio de variações nas épocas de aplicação das fontes de nitrogênio. A condição de solo saturado foi obtida mediante a irrigação das parcelas, por inundação intermitente, com antecedência de um dia das aplicações de N. Por ocasião das adubações nitrogenadas no início do perfilhamento, determinou-se a umidade gravimétrica do solo, coletando-se quatro subamostras, na profundidade de 0-10cm, das parcelas relativas aos tratamentos com solo úmido e saturado.

A dose de N utilizada foi de 120 kg ha⁻¹, estabelecida de acordo com os resultados da análise de solo e as recomendações para a cultura, para uma expectativa de produtividade superior a 9 t ha⁻¹ (COMISSÃO, 2004). Esta foi parcelada entre o início do perfilhamento e a diferenciação da panícula [estádio R1 conforme COUNCE et al. (2000)]. Na primeira época, aplicaram-

se 90 kg ha⁻¹ de N em solo seco, de acordo com os tratamentos, e na segunda, 30 kg ha⁻¹ de N, exclusivamente como uréia, sobre uma lâmina de água não circulante.

A semeadura do arroz, cultivar BRS 7 Taim, foi realizada em 27/10/04, em sistema convencional de preparo de solo, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 17,5 cm e 130 kg ha⁻¹ de sementes, visando a obtenção de uma população de 200 a 300 plantas por m² (SOSBAI, 2003). Na semeadura, aplicaram-se a lanço e incorporaram-se 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Para complementar a dose prevista de potássio, aplicaram-se, no estágio R1, 20 kg ha⁻¹ de K₂O, como cloreto de potássio (COMISSÃO, 2004). Os demais tratos culturais seguiram as indicações da pesquisa para o arroz irrigado (SOSBAI, 2003).

A avaliação das perdas de nitrogênio por volatilização de amônia da uréia tratada ou não com NBTPT foi realizada utilizando-se câmaras de volatilização instaladas nas parcelas em que a primeira cobertura com N antecedeu em 10 dias a submersão do solo. As câmaras foram construídas seguindo modelo de NÖMMIK (1973) modificado. As determinações de amônia volatilizada foram feitas aos 2; 5; 10; 15 e 20 dias após a aplicação dos fertilizantes, sendo as duas últimas realizadas após o alagamento do solo. A produtividade de grãos de arroz foi determinada na maturação de colheita (estádio R9), pela coleta manual da área útil das parcelas (nove linhas de 4 m de comprimento). O material colhido foi trilhado, secado e amostrado para determinação da umidade, convertendo-se os valores de produtividade para 130 g kg⁻¹ de umidade. Realizou-se, ainda, a amostragem de plantas (três linhas de 0,5 m de comprimento) para a determinação da utilização de nitrogênio pelo arroz.

Resultados e Discussão

As perdas de N por volatilização de amônia (expressas como porcentagem da uréia aplicada) são apresentadas na Figura 1. Ao longo do período de avaliação, as perdas variaram de 15,0% a 21,9%, em função da condição de umidade do solo. Maiores perdas de amônia foram determinadas quando da aplicação em solo úmido, exceção feita para a primeira época de avaliação (dois dias da aplicação do fertilizante), em que a condição de solo saturado condicionou maior volatilização de amônia. Provavelmente, as maiores perdas de amônia em solo úmido, relativamente ao saturado, sejam devidas à maior atividade da urease naquela condição (CAI et al., 1989), acelerando a hidrólise enzimática da uréia, com a liberação de amônia e dióxido de carbono para a atmosfera. Segundo Zantua & Bremner (1977), os solos diferem entre si quanto ao nível de atividade da urease, que é determinado por sua habilidade em preservá-la da degradação microbiana e de outros processos inativadores. Vários fatores influenciam a atividade da urease em solos, particularmente a temperatura (PETTIT et al., 1976), pH (DELAUNE e PATRICK, 1970), conteúdo de água (SANKHAYAN e SHUKLA, 1976) e a concentração de uréia (AYANABA e KANG, 1976).

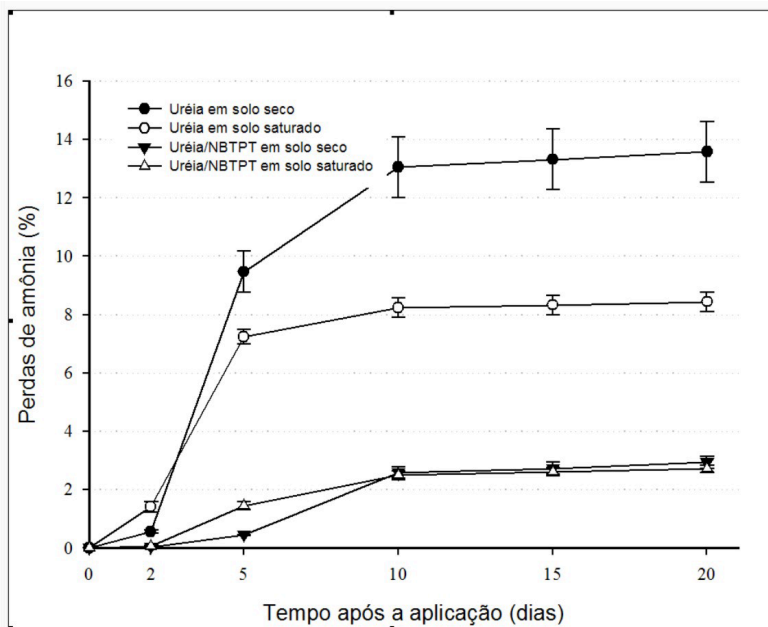


Figura 1. Perdas acumuladas de amônia decorrentes do uso de uréia associada ou não ao inibidor NBTPT, sob condições de solo úmido e saturado, em função do período de tempo posterior à aplicação. As barras verticais representam o desvio padrão das medidas realizadas.

De forma geral, as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia decorrem de adubações que promovem elevadas concentrações de N amoniacal na camada superficial do solo, particularmente em razão da ausência ou incorporação ineficiente do fertilizante (PHONGPAN et al., 1995), sendo mais intensas quando doses elevadas do nutriente são fornecidas à cultura nos estádios iniciais de desenvolvimento (VLEK et al., 1990), condição que está se intensificando nos cultivos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

A associação ao inibidor de urease NBTPT reduziu significativamente as perdas de amônia da uréia que, em solo úmido, passaram de 21,9% para 2,6% e, em solo saturado,

de 15,0% para 2,5% (Figura 1). Estes resultados mostram que a ação do NBTPT não sofreu influência da umidade do solo; indicam, ainda, que, mesmo quando saturado (umidade @ 24%), o tiofosfato de N-n-butiltriamida foi convertido a sua forma oxigênio análoga (fosfato de N-n-butil triamida) (NBPTO), a qual é efetivamente ativa, retardando a hidrólise da uréia (CREASON et al., 1990; QUI-XIANG et al., 1994). A eficiência do NBPT em solos drenados foi determinada para diferentes culturas (BREMNER e CHAI, 1986; CARMONA et al., 1990; WATSON et al., 1994; ANTISARI et al., 1996), podendo a partir dos resultados obtidos neste estudo ser estendida para o arroz irrigado estabelecido no sistema de semeadura em solo seco, que predomina nas áreas cultivadas com arroz no Rio Grande do Sul. Porém, sua aplicação em solos inundados, diretamente sobre a lâmina de água, ainda requer avaliação criteriosa, uma vez que o efeito do produto varia com a concentração utilizada, atividade da urease no solo e sua capacidade em convertê-lo à forma oxigênio análoga (QUI-XIANG et al., 1994), atributos de solo (WATSON et al., 1994), temperatura (BREMNER e CHAI, 1986), práticas de manejo e o crescimento de algas fotossintetizantes (CAI et al., 1989).

O padrão temporal de perdas por volatilização de amônia da uréia foi semelhante ao determinado em estudos anteriores (ZHU et al., 1989; FREENEY et al., 1995). As perdas foram pequenas até o segundo dia, aumentando de forma marcante até o quinto dia, decrescendo até praticamente cessarem no décimo dia após a aplicação, coincidindo com o momento de submersão do solo. Em ambas as condições de umidade do solo, a adição do inibidor de urease NBTPT reduziu significativamente ($p < 0,05$) as perdas de amônia até o décimo dia da aplicação. A partir de então, quantidades pouco maiores de amônia foram perdidas dos tratamentos com uso de NBTPT, relativamente àqueles sem o produto (Figura 1). Quanto a este aspecto, destaca-se que a ação do inibidor de urease, postergando a hidrólise da uréia, é requerida, apenas, até sua incorporação ao solo, minimizando sua suscetibilidade a perdas (QUI-XIANG et al., 1994), o que em situações semelhantes às

do presente estudo ocorre, em última instância, por ocasião da submersão do solo.

A produtividade de grãos do arroz foi influenciada pela fonte de N e pelo intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante nitrogenado no início do perfilhamento do arroz e a submersão do solo, bem como pela interação entre esses fatores. Não houve influência da umidade do solo e de suas interações com os demais fatores avaliados. Quando a aplicação de nitrogênio foi realizada dez dias antes da submersão do solo, a associação da uréia ao inibidor de urease NBTPT propiciou maior produtividade de grãos, relativamente à uréia comum. Esse efeito não se manifestou para os intervalos de um e cinco dias, onde o desempenho de ambas as fontes foi semelhante. Apenas a uréia sofreu a influência do intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante e o início da irrigação. Para esta fonte de N, determinou-se redução na produtividade de grãos em resposta ao aumento do período entre a aplicação do fertilizante e a submersão do solo de cinco para dez dias (Tabela 1).

Tabela1. Produtividade de grãos e nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas de arroz em função da fonte de nitrogênio e do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada no perfilhamento e a submersão do solo.

Fonte de N	Intervalo de tempo		
	10 dias	5 dias	1 dia
Produtividade de grãos (kg/ha); CV = 9,5%			
Uréia	7984b B	8752a A	9101a A
Uréia+NBTPT	8701a A	8868a A	9207a A
Nitrogênio acumulado na parte aérea (kg/ha); CV = 14,8%			
Uréia	132,0b B	149,2a AB	162,8a A
Uréia+NBTPT	153,7a A	158,6a A	165,1a A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados semelhantes aos descritos foram determinados por NORMAN et al. (2004), que determinaram, em duas safras consecutivas, redução na produtividade do arroz em resposta ao aumento do período entre a aplicação de uréia e a inundação do solo de cinco para dez dias, o que não ocorreu quando associada ao inibidor NBTPT. Entretanto, outros estudos reportam ineficiência do NBTPT em promover aumento na produtividade do arroz, particularmente quando aplicado em solo inundado, apesar da comprovada redução nas perdas de amônia (CAI et al., 1989; FRENEY et al., 1995; PHONGPAN e BYRNES, 1990; PHONGPAN et al., 1995), sugerindo que o nitrogênio retido no solo devido ao uso desse inibidor pode sofrer nitrificação, estando sujeito a perdas por desnitrificação (CAI et al., 1989; PHONGPAN e BYRNES, 1990).

Acompanhando o efeito observado para a variável produtividade de grãos, a acumulação de N na parte aérea das plantas de arroz foi influenciada pela interação entre a fonte de nitrogênio e o período de tempo entre a aplicação do fertilizante e o início da irrigação. Apenas quando a cobertura com N foi realizada dez dias antes do alagamento do solo, o uso de NBTPT resultou em maior utilização do nutriente pelo arroz. Para os intervalos de tempo menores, não houve distinção entre o uso ou não de NBTPT. O efeito do período de tempo entre a aplicação de N e a inundação do solo também se manifestou, apenas, para a uréia. Para esta fonte, maior acumulação de N pelo arroz foi determinada para o intervalo de um dia, seguido pelo intervalo de cinco dias, com desempenho intermediário, e de dez dias, que proporcionou menor acumulação de N (Tabela 1). Estes resultados refletem as perdas de amônia da uréia tratada ou não com o inibidor de urease NBTPT no sistema em estudo, confirmando dados obtidos na Tailândia (FRENEY et al., 1995).

Apesar da aceleração da degradação enzimática da uréia em solo úmido, relativamente ao saturado, condicionando maiores perdas de amônia (Figura 1), não se verificou influência da umidade do solo, por ocasião da primeira cobertura

com nitrogênio, sobre a utilização do nutriente pelo arroz, reforçando suposição de que o N não volatilizado pode não ser integralmente aproveitado pelo arroz, em razão da perda por outras vias, como a desnitrificação.

Conclusão

O uso do inibidor de urease NBTPT reduz em 15% e 22% as perdas de amônia da uréia, para aplicações em solo saturado e úmido, respectivamente. A associação da uréia a esse inibidor possibilita que sua aplicação anteceda em até dez dias o início da irrigação sem prejuízos para a produtividade de grãos e a utilização de nitrogênio pelo arroz.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS), Processo N° 04/1388.6, e à Prada Representações Comerciais LTDA., pelo apoio financeiro.

Referências

AGROTAIN. Agrotain: product information guidebook. Saint Louis, 2001. 55 p.

ANJOS, J. T.; TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. *Científica, Jaboticabal*, v. 4, p. 49-55, 1976.

AYANABA, A.; KANG, B. T. Urea transformations in some tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry, Oxford*, v. 8, p. 313-316, 1976.

BREMNER, J. M.; CHAI, H. S. Evaluation of N-butyl phosphorothioic triamide for retardation of urea hydrolysis in

soil. Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, v. 17, n. 3, p. 337-351, 1986.

CAI, G. X.; FRENEY, J. R.; MUIRHEAD, W. A.; SIMPSON, J. R.; CHEN, D. L.; TREVITT, A. C. F. The evaluation of urease inhibitors to improve the efficiency of urea as N-source for flooded rice. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 21, n. 1, p. 137-145, 1989.

CARMONA, G.; CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nNBPT) on ammonia volatilization from urea. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 22, p. 933-937, 1990.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. Crop Science, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.

CREASON, G. L.; SCHIMITT, M. R.; DOUGLASS, E. A.; HENDRICKSON, L. L. Urease inhibitory associated with N-(n-butyl)thiophosphoric triamide is due to formation of its oxon analog. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 22, n. 2, p. 209-211, 1990.

DE DATTA, S. K.; TREVITT, A. C. F.; FRENEY, J. R.; OBCEMEA, W. N.; REAL, J. G.; SIMPSON, J. R. Measuring nitrogen losses from lowland rice using bulk aerodynamic and nitrogen-15 balance methods. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 46, p. 149-155, 1989.

DELAUNE, R. D.; PATRICK JR., W. H. Urea conversion to ammonia in waterlogged soils. Soil Science Society of América Proceedings, Madison, v. 34, p. 603-607, 1970.

FILLERY, I. R. P.; SIMPSON, J. R.; DE DATTA, S. K. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 48, p. 914-920, 1984.

FRENEY, J. R.; DENMEAD, O. T.; WATANABE, I.; CRASWELL, E. T. Ammonia and nitrous oxide losses following applications of ammonium sulphate to flooded rice. Australian Journal of Agricultural Research, Victoria, v. 32, p. 37-45, 1981.

FRENEY, J. R.; KEERTHISINGHE, D. G.; PHONGPAN, S.; CHAIWANAKUPT, P.; HARRINGTON, K. J. Effect of urease, nitrification and algal inhibitors on ammonia loss and grain yield of flooded rice in Thailand. Fertilizer Research, The Hague, v. 40, p. 225-233, 1995.

HARGROVE, W. L. Soil, environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E., eds. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Muscle Shoals, Alabama: National Fertilizer Development Center, 1988. p. 17-36.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 21, p. 481-487, 1997.

NOMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant and Soil, v. 39, p. 309-318, 1973.

NORMAN, R. J.; WILSON JR., C. E.; BOLLIICH, P. K.; SLATON, N. A.; BOOTHE, D. L. Fate of different N fertilizers applied pre-flood to drill-seeded, delayed flood rice. In: ANNUAL

NATIONAL CONSERVATION TILLAGE COTTON & RICE CONFERENCE, 7, Little Rock, 2004. Proceedings... Perryville: National Conservation Tillage Digest, 2004. p. 33.

NORMAN, R. J.; WILSON JR., C. E.; STATON, N. A. Soil fertilization and mineral nutrition in U.S. mechanized rice culture. In: SMITH, C. W.; DILDAY, R. H. eds., Rice: origin, history, technology, and production. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2002, p. 331-411.

PALMA, R. M.; SAUBIDET, M. I.; RÍMOLO, M.; UTSUMI, J. Nitrogen losses by volatilization in a corn crop with two tillage systems in the Argentine pampa. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Philadelphia, v. 29, n.19-20, p. 2864-2879, 1998.

PETTIT, N. M.; SMITH, A. R. J.; FREEDMAN, R. B.; BURNS, R. G. Soil urease: activity stability and kinetic properties. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 8, p. 479-484, 1976.

PHONGPAN, S.; BYRNES, B. H. The effect of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on the efficiency of urea application in a flooded rice field trial in Thailand. Fertilizer Research, The Hague, v. 25, p. 145-151, 1990.

PHONGPAN, S.; FRENEY, J. R.; KEERTHISINGHE, D. G.; CHAIWANAKUPT, P. Use of phenylphosphorodiamidate and N-(n-butyl)thiophosphoric triamide to reduce ammonia loss and increase grain yield following application of urea to flooded rice. Fertilizer Research, The Hague, v. 41, p. 59-66, 1995.

QUI-XIANG, L.; FRENEY, J. R.; KEERTHISINGHE, D. G.; PEOPLES, M. B. Inhibition of urease activity in flooded soils by phenylphosphorodiamidate and N-(n-butyl) thiophosphoric triamide. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 26, n. 8, p. 1059-1065, 1994.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C.; Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 10, p. 37-43, 1986.

SANKHAYAN, S. D.; SHUKLA, V. C. Rates of urea hydrolysis in five soils of India. *Geoderma*, v. 16, p. 171-178, 1976.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2007. 154 p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí: SOSBAI, 2003. 126 p.

VAHL, L. C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. (Ed). Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 119-162.

VENTURA, W.; YOSHIDA, T. Ammonia volatilization from a flooded tropical soil. *Plant and Soil*, v. 46, p. 521-531, 1977.

VLEK, P. L. G.; CRASWELL, E. T. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fertilizer Research*, v. 1, p. 191-202, 1979.

VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M.; BYRNES, B. H. Urease activity and inhibition in flooded systems. *Fertilizer Research*, The Hague, v. 1, p. 191-202, 1980.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; MILLER, H.; ALLEN, M. B. D.; GARRETT, M. K.; CHRISTIANSON, C. B. Agronomic assessment and ¹⁵N recovery of urea amended with the urease inhibitor nBTPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide) for temperate grassland. *Plant and Soil*, The Hague, v. 161, p. 167-177, 1994.

XU, J. G.; HEERAMAN, D. A.; WANG, J. Fertilizer and temperature effects on urea hydrolysis in undisturbed soil. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 16, p. 63-65, 1993.

ZANTUA, M. I.; BREMENR, J. M. Stability of urease in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 9, p. 135-140, 1977.

ZHU, S. L. Efficient management of nitrogen fertilizers for flooded rice in relation to nitrogen transformations in flooded soils. *Pedosphere*, Nanjing, v. 2, p. 97-114, 1992.

ZHU, Z. L.; CAI, G. X.; SIMPSON, J. R.; ZHANG, S. L.; CHEN, D. L.; JACKSON, A. V.; FRENEY, J. R. Processes of nitrogen loss from fertilizers applied to flooded rice fields on a calcareous soil in north-central China. *Fertilizer Research*, The Hague, v. 18, p. 101-115, 1989.



Clima Temperado

