

Padrão de afilhamento em arroz afetado pela presença dos íons amônio e nitrato

Naracelis Poletto ^(1*); Claudio Mario Mundstock ⁽²⁾; Daniel Santos Grohs ⁽³⁾; Michael Mazurana ⁽⁴⁾

⁽¹⁾Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Rua das Rosas s/n, Bairro Vila Nova, 88965-000 Santa Rosa do Sul (SC). E-mail: naracelis@ifc-sombrio.edu.br (*) Autora correspondente.

⁽²⁾Professor Aposentado da UFRGS. E-mail: claudiomm@terra.com.br

⁽³⁾Instituto Rio Grandense do Arroz, Cachoeirinha (RS). E-mail: dsgrohs@gmail.com

⁽⁴⁾Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre (RS).

Recebido: 8/dez./2009; Aceito: 20/mai./2010

Resumo

O padrão de afilhamento do arroz é afetado pela nutrição nitrogenada, no início do desenvolvimento das plantas, sendo determinado pelo número de afilhos emitidos e pelo sincronismo de desenvolvimento entre afilhos e colmo principal. O objetivo deste trabalho foi estudar a emissão e o sincronismo de desenvolvimento de afilhos com o colmo principal na cultivar de arroz IRGA 417, cultivada em solução nutritiva com concentrações de N (1, 5 e 10 mmol L⁻¹) e proporções (100:0, 75:25, 50:50 e 25:75) entre as formas N-NH₄⁺: N-NO₃⁻ em cada concentração. Na concentração de 1 mmol L⁻¹ a resposta foi similar entre as proporções N-NH₄⁺: N-NO₃⁻, para número de afilhos, sincronismo de desenvolvimento entre afilhos e colmo principal e para número de colmos potencialmente produtivos. Nesse caso, as plantas toleraram a presença do N-NH₄⁺ independentemente da presença do N-NO₃⁻. Em concentrações de N de 5 e 10 mmol L⁻¹, a presença do N-NH₄⁺ (100 e 75%) prejudicou essas características. A presença de N-NO₃⁻ (em pelo menos 50% do suprimento do N) inibiu o efeito prejudicial. Em concentrações mais elevadas de N, é necessária a presença do nitrato, em pelo menos 50% do total de N suprido para que não ocorra inibição na emissão e no sincronismo dos afilhos.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, emissão de afilho, nitrogênio.

Rice tillering pattern as affected by the presence of ammonium and nitrate ions

Abstract

Rice development is affected by nitrogen, specially its tillering pattern which is determined by number of tillers. Tillers synchronism with main stem is related to leaves emission rate and both traits affect the number of productive culms potential. Tiller emission and synchronism of leaf development between main stem and tillers were studied in rice plants (cv IRGA 417) cultivated in a hydroponic solution (Hoagland) under three N concentrations (1, 5 e 10 mmol L⁻¹), each with different proportion of N-NH₄⁺ and N-NO₃⁻ (100:0; 75:25; 50:50; 25:75). The different proportions under 1 mmol L⁻¹ were similar for tiller number, synchronism, and productive culms. All traits (tiller number, synchronism and productive culms) were negatively affected when higher levels of N-NH₄⁺ ion (5 and 10 mmol L⁻¹ - 100 and 75% of N ions) were supplied to plants. Nevertheless, when N-NO₃⁻ ion was present in at least 50% of the solution, the detrimental effects were not found. When N was at 1 mmol L⁻¹, rice plants tolerate N-NH₄⁺ ion presence, independently of the presence of N-NO₃⁻ ion. At higher N concentrations, it is necessary at least 50% of N-NO₃⁻ ion in order to avoid detrimental effects on tillering.

Key words: *Oryza sativa*, tiller emission, nitrogen.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do arroz no Rio Grande do Sul é realizado em áreas agrícolas alagadas e o N-NH₄⁺ é a forma predominante de nitrogênio no solo, principalmente devido à condição de anaerobiose. Embora os solos alagados sejam predominantemente anaeróbicos, as condições de aerobiose na rizosfera das plantas de arroz, frequentemente, ocasionam a oxidação do N-NH₄⁺ para N-NO₃⁻ e contribuem para que ocorram variações na proporção entre essas formas de N ao longo do ciclo de cultivo do arroz (LI et al., 2007).

A presença e a consequente absorção destas formas de N (amônio e nitrato) têm efeitos variáveis sobre o crescimento das plantas de arroz. No início do desenvolvimento das plantas elas estimulam a emissão, o desenvolvimento e a sobrevivência dos afilhos (WANG e BELOW, 1996; QIAN et al., 2004). A emissão precoce dos afilhos é importante para que estes mantenham o sincronismo de desenvolvimento foliar com o colmo principal (MUNDSTOCK e BREDEMEIER, 2001) e potencializem a produção de maior número de panículas (NEMOTO, 1995; AWAN et al., 2007). Segundo WU et

al. (1998), mais de 60% da produção total de panículas por m² observada em três cultivares de arroz foi decorrente dos primeiros cinco afilhos emitidos.

A disponibilidade de N nas formas N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, em proporções variáveis no início do desenvolvimento das plantas, pode afetar a emissão e o desenvolvimento de afilhos interferindo sobre o potencial produtivo de culturas como trigo e arroz. Em trigo, o suprimento somente do N-NH₄⁺ reduziu a emissão e o desenvolvimento de afilhos (WANG e BELOW, 1996). Em arroz, estudos recentes apontam redução entre 15% e 60% no crescimento e desenvolvimento foliar (LIN et al., 2005; LI et al., 2007) e no rendimento final de grãos (QIAN et al., 2004) em plantas cultivadas somente com a forma N-NH₄⁺, quando comparadas com plantas supridas com as formas N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻.

O potencial produtivo do arroz é influenciado pelo número de panículas por m² (MILLER et al., 1991 e FAGERIA, 2007) o qual, por sua vez, é dependente da emissão e do desenvolvimento de afilhos durante o estágio vegetativo nessa cultura. Os afilhos primários são emitidos durante o início do crescimento vegetativo (COUNCE et al., 2000) e estes, depois de emitidos, podem ou não se tornar produtivos durante o ciclo de desenvolvimento do arroz (NEMOTO, 1995).

A sobrevivência dos afilhos emitidos está relacionada com sua taxa de desenvolvimento (filocrono) em relação ao colmo principal (NEMOTO, 1995), sendo os afilhos potencialmente produtivos, aqueles que mantêm, ao longo do ciclo de cultivo, sua taxa de desenvolvimento foliar similar à taxa de desenvolvimento do colmo principal (sincronismo de desenvolvimento) (MASLE, 1985). Nesse enfoque e considerando que o suprimento de N afeta de forma significativa a emissão e o desenvolvimento dos afilhos durante o crescimento vegetativo do arroz, foi realizado o presente trabalho. Estudaram-se a emissão de afilhos e o sincronismo de desenvolvimento de afilhos com o colmo principal durante o estágio vegetativo da cultivar de arroz IRGA 417, cultivada com diferentes concentrações e proporções das formas N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ em solução nutritiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação, em 2005, utilizando-se a cultivar de arroz IRGA 417. As plantas foram cultivadas em sistema hidropônico até a emissão da sétima folha do colmo principal (CP) por 25 dias (23/11/2005 a 18/12/2005). As sementes de arroz foram desinfetadas (hipoclorito 0,5%) e levadas ao germinador por um período de 72 horas com temperatura ao redor de 25 °C (±2 °C). As plântulas foram selecionadas de acordo com a uniformidade de comprimento do coleóptilo (±1,0cm) e transplantadas para um sistema hidropônico,

constituído por bandejas de plástico (2,5L) com capacidade para o cultivo de nove plantas cada uma. As plantas, em cada bandeja, foram mantidas suspensas por meio de uma chapa de isopor. Essas bandejas foram dispostas, aleatoriamente, em um delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 3 x 4, com 12 tratamentos e três repetições. Os fatores constituíram-se respectivamente, de três concentrações de N e quatro proporções entre as formas de N (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻). As concentrações de N foram: 1, 5 e 10 mmol L⁻¹ e as proporções entre as formas N-NH₄⁺: N-NO₃⁻ em cada concentração foram: a) 100:0, b) 75:25, c) 50:50 e d) 25:75.

A solução nutritiva, em todos os tratamentos, foi composta por macro e micronutrientes (HOAGLAND e ARNON, 1938). Para as distintas concentrações e proporções entre as formas N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ utilizaram-se os produtos descritos na tabela 1. A concentração de micronutrientes foi a mesma para todos os tratamentos e composta pelos seguintes produtos: MnSO₄ · H₂O (0,0047 mmol L⁻¹), CuSO₄ · 5H₂O (0,0047 mmol L⁻¹), ZnSO₄ · 7H₂O (0,0015 mmol L⁻¹), H₃BO₃ (0,023 mmol L⁻¹), NaMoO₄ · 2H₂O (0,00011 mmol L⁻¹) e Fe (Geo Fe-6, 0,60 mmol L⁻¹).

O pH da solução nutritiva foi medido diariamente e reajustado com a utilização de KOH (0,10 mol L⁻¹) ou H₂SO₄ (0,05 mol L⁻¹), quando o pH estava abaixo de 5,5 ou acima de 6,5 respectivamente.

A concentração de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ na solução nutritiva foi monitorada por meio da destilação das soluções durante a realização do experimento. A destilação da solução seguiu a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995) para análise de água. A reposição da solução nutritiva foi realizada a cada 72 horas nas duas primeiras semanas da instalação do experimento e a cada 48 horas nas demais semanas, quando as variações nas concentrações de N, pré-determinadas na tabela 1, ultrapassaram ±30%. A temperatura da casa de vegetação foi monitorada diariamente, e os valores da temperatura máxima e da mínima oscilaram entre 27 e 43 °C e entre 14 e 25 °C respectivamente.

A dinâmica do afilhamento foi avaliada em 27 plantas de cada tratamento (9 plantas distribuídas em três repetições) aos 17 e 25 dias de cultivo. Em cada unidade experimental, determinou-se o número de afilhos primários (1.º afilho (A₁), 2.º afilho (A₂), 3.º afilho (A₃) e 4.º afilho (A₄)) originados na base das quatro primeiras folhas do CP. A partir do número de afilhos primários emitidos, calculou-se a frequência de emissão de cada afilho (A₁, A₂, A₃ e A₄) pela fórmula: Frequência de emissão de cada afilho = (número total de cada afilho emitido/número de plantas) x 100. O desenvolvimento foliar do CP e dos afilhos foi feito utilizando-se a escala proposta por HAUN (1973) e ampliada por KLEPPER et al. (1982) para descrição dos afilhos. Nessa escala, as folhas são numeradas em ordem acrópeta e o número de folhas totalmente expandidas,

mais as unidades decimais da última folha que está em expansão, fornecem o valor do estágio fenológico. Assim, uma planta no estágio Haun 6.1 tem a sexta folha completamente expandida e a sétima folha com um décimo do comprimento da sexta. Os valores numéricos, para melhor compreensão, foram denominados “unidades Haun”.

O sincronismo de desenvolvimento foliar entre afilhos e CP foi calculado pela diferença entre o número de folhas (unidades Haun) emitidas pelo CP e o número de folhas emitidas pelos afilhos (MASLE, 1985). Os afilhos considerados sincronizados eram aqueles com diferença de até três (A_1), quatro (A_2), cinco (A_3) e seis (A_4) unidades Haun com o CP. Assim, os afilhos A_1 , A_2 , A_3 e A_4 eram considerados sincronizados com o desenvolvimento foliar do CP de uma planta com 6.1 unidades Haun quando estes apresentavam no mínimo 3.1, 2.1, 1.1 e 0.1 unidades Haun. O número de colmos potencialmente produtivos foi obtido por meio da soma do CP e dos afilhos sincronizados.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância pelo F-teste. Os dados expressos em porcentagem (frequência e sincronismo de afilhos emitidos) foram, inicialmente, transformados pelo método da raiz quadrada e, em seguida, submetidos à análise de variância pelo F-teste. Foi utilizado o teste de Tukey ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), quando se observou diferença significativa entre tratamentos. Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando-se o programa computacional SAS® System for Windows 8.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O padrão de emissão dos afilhos primários A_1 , A_2 , A_3 e A_4 (originados na base da primeira, da segunda, da terceira e da quarta folha do CP respectivamente) foi modulado pela proporção entre as formas $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ em cada concentração de N suprido.

O afilhamento, com o fornecimento de 1 mmol L⁻¹ de N, mostrou uma frequência de emissão do A_1 , A_2 e A_3 entre 67 e 100%, não diferindo significativamente entre as proporções de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ aos 17 e 25 dias de cultivo, exceto para o A_2 na primeira avaliação (Tabela 2). Ainda nessa concentração (1 mmol L⁻¹ de N), considerada baixa para a expressão do máximo potencial produtivo pela maioria das culturas (WIESLER, 1997), o efeito das proporções entre as formas $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ foi similar para a frequência de emissão do A_4 (entre 0 e 11%) e para o número de afilhos desenvolvidos no fim do período experimental (média de três por planta) (Tabela 2 e Figura 1).

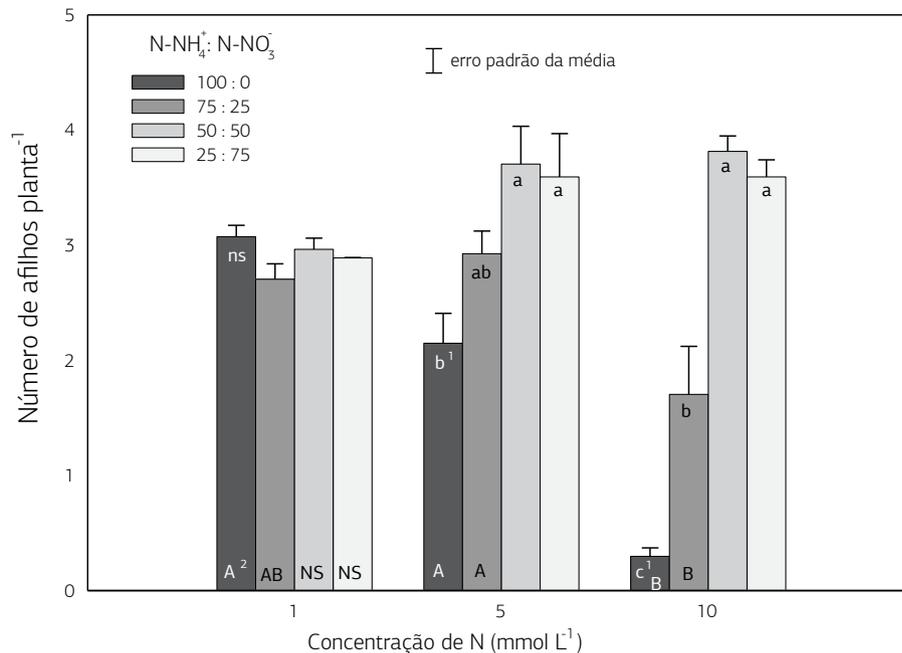
O mesmo padrão de resposta não foi observado nas mais altas concentrações de N, quando a forma amoniacal foi adicionada em maior quantidade. Nas concentrações de 5 e 10 mmol L⁻¹, quando foi aumentada a proporção de $N-NH_4^+$, houve baixa frequência de emissão do A_1 e A_2 aos 17 dias de cultivo (valores entre 0 e 44%) (Tabela 2). Também ocorreu baixa frequência de emissão do A_3 e A_4 (observada somente na avaliação aos 25 dias de cultivo) (entre 0 e 70%), quando comparado aos tratamentos em que o $N-NO_3^-$ foi suprido em proporção igual ou superior ao $N-NH_4^+$ (valores entre

Tabela 1. Concentração dos macronutrientes (mmol L⁻¹) em solução nutritiva com distintas concentrações de N (1, 5 e 10 mmol L⁻¹) e proporções entre as formas $N-NH_4^+$: $N-NO_3^-$ (100:0, 75:25, 50:50 e 25:75). Porto Alegre (RS), 2005.

Concentração de N na solução nutritiva (mmol L ⁻¹)	Concentração dos produtos utilizados em cada proporção entre as formas $N-NH_4^+$: $N-NO_3^-$ na solução nutritiva						
	mmol L ⁻¹						
	100:0						
	$NH_4H_2PO_4$	$(NH_4)_2SO_4$	KCl	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$		
1	1,00	-	2,00	1,50	1,00		
5	2,50	1,25	2,00	1,50	1,00		
10	5,00	2,50	2,00	1,50	1,00		
	75:25						
	$NH_4H_2PO_4$	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	KCl	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
1	0,75	-	-	0,13	2,00	1,50	0,90
5	2,75	-	1,00	0,13	2,00	1,50	0,90
10	3,50	1,00	2,00	0,25	2,00	1,50	0,75
	50:50						
	$NH_4H_2PO_4$	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	KCl	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	
1	0,50	-	0,25	2,00	1,50	0,75	
5	1,00	1,50	0,50	2,00	1,50	0,50	
10	1,00	4,00	0,50	2,00	1,50	0,50	
	25:75						
	$NH_4H_2PO_4$	NH_4NO_3	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	KCl	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	KH_2PO_4	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
1	0,25	-	0,38	2,00	1,50	0,25	0,62
5	0,25	1,00	1,37	2,00	1,50	0,25	-
10	0,50	2,00	2,75	2,00	1,50	-	-

Tabela 2. Frequência (%) de emissão dos afilhos A₁, A₂, A₃ e A₄ em plantas da cultivar de arroz IRGA 417 cultivadas com concentrações (1, 5 e 10 mmol L⁻¹) de N e proporções entre as formas N-NH₄⁺:N-NO₃⁻ (100:0, 75:25, 50:50 e 25:75) em solução nutritiva, aos 17 e 25 dias de cultivo. Porto Alegre (RS), 2005.

Proporções N-NH ₄ ⁺ :N-NO ₃ ⁻	A ₁					
	17 dias de cultivo			25 dias de cultivo		
	1	5	10	1	5	10
	%					
100 : 0	92 ^{ns} A	37 c B	15 b B	89 ^{ns} A	67 b B	15 c C
75 : 25	89 A	44 c B	30 b B	89 A	89 ab A	59 b B
50 : 50	89 NS	78 b	74 a	85 NS	89 ab	92 a
25 : 75	96 NS	92 a	92 a	96 NS	92 a	92 a
CV (%)	10,1			8,8		
Proporções N-NH ₄ ⁺ :N-NO ₃ ⁻	A ₂					
	17 dias de cultivo			25 dias de cultivo		
	1	5	10	1	5	10
	%					
100 : 0	85 a ¹ A	22 b B	0 c C	96 ^{ns} A	74 ^{ns} A	15 c B
75 : 25	85 a A	30 b B	7 c C	89 A	74 AB	63 b B
50 : 50	67 b NS	67 a	70 a	85 NS	92	96 a
25 : 75	70 b NS	78 a	74 a	100 NS	93	96 a
CV (%)	7,5			7,4		
Proporções N-NH ₄ ⁺ :N-NO ₃ ⁻	A ₃			A ₄		
	25 dias de cultivo					
	1	5	10	1	5	10
	%					
100 : 0	74 ^{ns} A	41 b B	0 c C	4 ^{ns} NS	15 b	0 b
75 : 25	78 A	70 a B	37 b C	11 NS	37 ab	4 b
50 : 50	81 NS	81 a	89 a	4 B ²	44 ab A	37 a AB
25 : 75	85 NS	85 a	89 a	0 B	52 a A	33 a AB
CV (%)	12,3			37,8		



⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra (minúscula), dentro de cada concentração, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula), dentro de cada proporção, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

^{ns} Médias comparando proporções de N, em cada concentração, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

^{NS} Médias comparando concentrações de N, em cada proporção, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

Figura 1. Número de afilhos emitidos em plantas da cultivar de arroz IRGA 417 submetidas à concentrações (1, 5 e 10 mmol L⁻¹) de N e proporções entre as formas N-NH₄⁺:N-NO₃⁻ (100:0, 75:25, 50:50 e 25:75) em solução nutritiva, aos 25 dias cultivo. Porto Alegre (RS), 2005.

33 e 89%) (Tabela 2). Nas plantas supridas com 5 mmol L⁻¹ de N, mesmo que a frequência de emissão de afilhos aos 25 dias de cultivo tenha aumentado quando o N-NH₄⁺ foi a fonte predominante de N (Tabela 2), ainda permaneceu inferior ao observado quando havia igual ou maior presença da forma N-NO₃⁻ na solução (Tabela 2). A mesma situação ocorreu com as plantas cultivadas com 10 mmol L⁻¹ de N.

Quando se analisam a frequência de emissão dos afilhos A₁, A₂ e A₃ (Tabela 2) e o número total de afilhos emitidos (Figura 1), observa-se que com o aumento nas concentrações de N suprido houve redução nessas duas variáveis somente quando o N-NH₄⁺ foi a principal forma de N suprida. Embora a maior frequência de emissão dos afilhos A₁, A₂ e A₃ tenha ocorrido na menor concentração de N suprido (1 mmol L⁻¹ de N) (Tabela 2), esse mesmo padrão não foi observado para o A₄, cuja maior frequência de emissão ocorreu quando a quantidade de N fornecida foi superior a 1 mmol L⁻¹ (Tabela 2). Para esse padrão de resposta, provavelmente contribuiu o fato de a emissão do A₄ coincidir com o início do período de maior necessidade de N em arroz, compreendido entre o máximo afilhamento e a formação da panícula (SHOJI et al., 1986).

A presença do nitrato, quando o suprimento foi feito em igual proporção entre N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ ou ainda em maior proporção pelo N-NO₃⁻ nas concentrações de 5 e 10 mmol L⁻¹ de N em solução, ao contrário do esperado para o arroz irrigado, potencializou a emissão de afilhos (Tabela 2) resultando em maior número de afilhos emitidos pelo CP (ao redor de quatro) (Figura 1). Estes resultados corroboram aqueles analisados por QIAN et al. (2004), LIN et al. (2005) e LI et al. (2007) em que o número de panículas (que está diretamente relacionado à emissão e ao desenvolvimento de afilhos) e o rendimento de biomassa foram maiores em plantas de arroz quando cultivadas em ambiente com N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ em comparação àquelas supridas somente com N-NH₄⁺. Ainda, em estudos desenvolvidos por WANG e BELOW (1996) em trigo nota-se que houve incremento no número de afilhos emitidos em plantas cultivadas com N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ em comparação àquelas supridas apenas com N-NH₄⁺. O efeito benéfico do N-NO₃⁻ sobre a emissão precoce de afilhos pode estar relacionado ao incremento na síntese e translocação de citocinina, pois o N-NO₃⁻ *per se* atua na translocação para a parte aérea da citocinina sintetizada nas raízes e também regula a síntese do ABA (inibidor da síntese de citocinina) (WALCH-LIU et al., 2000). A citocinina atua na regulação da divisão e alongação celular promovendo o crescimento de gemas axilares e a formação de afilhos em cereais (WANG e BELOW, 1996; TAI e ZEIGER, 2004). A associação entre o aumento da biossíntese e a translocação de citocinina e o incremento na emissão de afilhos em trigo suprido com N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, descrito por WANG e BELOW (1996), permite caracterizar a citocinina como o principal hormônio envolvido na emissão e desenvolvimento de folhas dos afilhos.

A porcentagem dos afilhos sincronizados com o CP (sincronismo de desenvolvimento) também foi alterada em resposta ao suprimento de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Embora nem todos os afilhos emitidos tenham apresentado sincronismo de desenvolvimento foliar (calculado pela diferença no número de unidades Haun entre os afilhos e o CP) com o CP (Tabela 3), o percentual de A₁, A₂, A₃ e A₄ sincronizados incrementou em plantas supridas com igual ou maior proporção de N-NO₃⁻ na solução em comparação àquelas cultivadas apenas com N-NH₄⁺ em todas as concentrações de N, exceto na menor concentração (1 mmol L⁻¹), cujo efeito das proporções entre as formas N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ não diferiu entre si (Tabela 3).

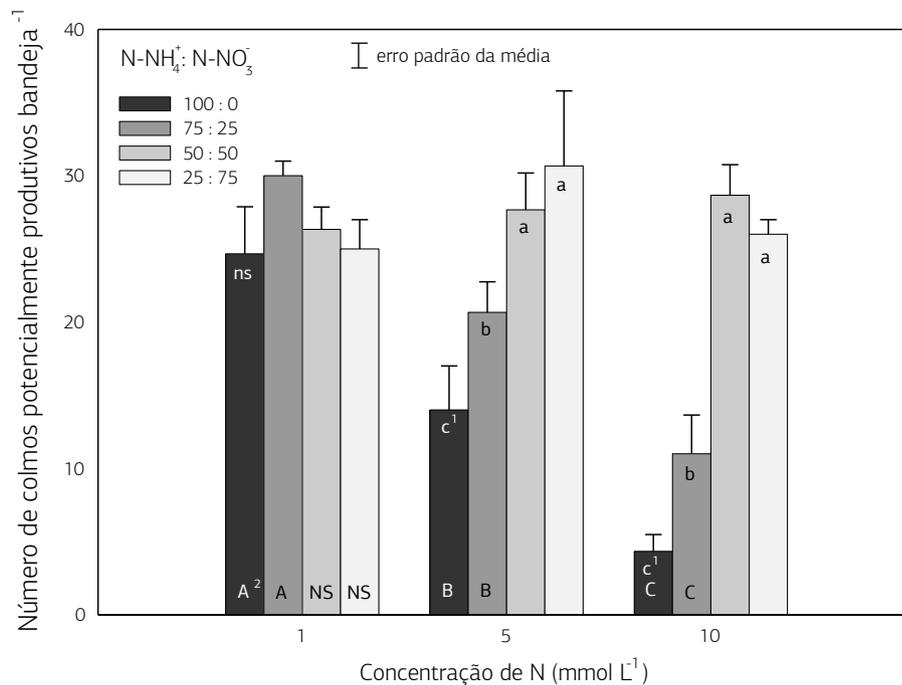
Quando se compara a porcentagem de afilhos A₁, A₂ e A₃ em sincronia de desenvolvimento com o CP (Tabela 3) e o número de colmos potencialmente produtivos (Figura 2), observa-se que com o aumento nas concentrações de N suprido, houve redução nessas duas variáveis quando o N-NH₄⁺ foi a principal fonte de N, similar ao padrão de resposta descrito para a emissão de afilhos. Os estudos de MASLE-MEYNARD e SEBILLOTTE (1981), KLEPPER et al. (1982) e MASLE (1985) indicam que condições nutricionais desfavoráveis, especialmente aquelas relacionadas com o suprimento de N nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas, alteram o processo de afilhamento causando omissão, atraso na emergência de afilhos, redução da taxa de desenvolvimento de afilhos em relação ao CP e a interrupção do afilhamento.

O atraso na emissão de afilhos (em plantas supridas com 5 e 10 mmol L⁻¹) quando a maior fonte de N foi o N-NH₄⁺ (mais da metade do A₁ e A₂ emergiu entre os dias 17 e 25) (Tabela 2) em comparação com aquelas supridas com maior presença de N-NO₃⁻ (mais da metade emergiu até 17 dias de cultivo), provavelmente contribuiu para a baixa taxa de desenvolvimento foliar dos afilhos em relação ao desenvolvimento foliar do CP. Esse processo, por sua vez, reduziu o percentual de afilhos em sincronia de desenvolvimento com o CP (valores inferiores a 50%) e o número de colmos potencialmente produtivos (valores inferiores a 15 colmos/bandeja) (Tabela 3 e Figura 2). De acordo com LONGNECKER et al. (1993) e MUNDSTOCK e BREDEMEIER (2001), o atraso na emergência de afilhos constitui um dos principais fatores relacionados com a falta de sincronismo de desenvolvimento entre o CP e afilhos e com a senescência destas estruturas durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, afetando, consideravelmente, o número de colmos produtivos e o rendimento final de grãos em cereais (AWAN et al., 2007).

A manutenção do sincronismo de desenvolvimento entre os afilhos e CP foi fundamental para o incremento do número de afilhos potencialmente produtivos em plantas supridas concomitantemente com N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ em comparação àquelas supridas apenas com N-NH₄⁺ (Tabela 3 e Figura 2). Normalmente, os afilhos produtivos mantêm seu desenvolvimento foliar em sincronia com o

Tabela 3. Percentagem de afilhos (A_1 e A_2 , A_3 e A_4) emitidos em sincronismo de desenvolvimento com o CP em plantas da cultivar de arroz IRGA 417 submetidas à concentrações (1, 5 e 10 mmol L⁻¹) de N e proporções entre as formas N-NH₄⁺:N-NO₃⁻ (100:0, 75:25, 50:50 e 25:75) em solução nutritiva, aos 17 e 25 dias de cultivo. Porto Alegre (RS), 2005.

Proporções N-NH ₄ ⁺ :N-NO ₃ ⁻	A ₁					
	17 dias de cultivo			25 dias de cultivo		
	1	5	10	1	5	10
	%					
100 : 0	85 ^{ns} A	33 b B	0 b C	59 ^{ns} A	33 b A	0 b B
75 : 25	78 A	33 b B	4 b C	74 A	22 b B	7 b B
50 : 50	7 NS	67 a	78 a	63 NS	56 a	56 a
25 : 75	85 A	81 a AB	63 a B	56 NS	63 a	48 a
CV (%)	10,3			13,9		
Proporções N-NH ₄ ⁺ :N-NO ₃ ⁻	A ₂					
	17 dias de cultivo			25 dias de cultivo		
	1	5	10	1	5	10
	%					
100 : 0	81 ^{ns} A	26 b B	0 b C	70 ^{ns}	41 c B	0 c C
75 : 25	85 A	30 b B	4 b C	85 A	56 b B	37 b B
50 : 50	63 NS	63 a	74 a	74 NS	81 ab	89 a
25 : 75	63 NS	78 a	67 ab	70 NS	85 a	74 a
CV (%)	10,7			12,4		
Proporções N-NH ₄ ⁺ :N-NO ₃ ⁻	A ₃			A ₄		
	25 dias de cultivo					
	1	5	10	1	5	10
	%					
100 : 0	41 ^{ns} A	30 b B	0 b B	4 ^{ns} NS	7 b	0 ^{ns}
75 : 25	70 A	41 ab AB	11 b B	7 NS	11 ab	0
50 : 50	52 NS	48 ab	70 a	4 B	26 a A	7 B
25 : 75	52 NS	70 a	56 a	0 B	26 a A	11 AB
CV (%)	19,4			56,7		



⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra (minúscula), dentro de cada concentração, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula), dentro de cada proporção, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

^{ns} Médias comparando proporções de N, em cada concentração, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

^{NS} Médias comparando concentrações de N, em cada proporção, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey, p<0,05).

Figura 2. Número de colmos potencialmente produtivos por bandeja em plantas da cultivar de arroz IRGA 417 submetidas à concentrações (1, 5 e 10 mmol L⁻¹) de N e proporções entre as formas N-NH₄⁺:N-NO₃⁻ (100:0, 75:25, 50:50 e 25:75) em solução nutritiva, aos 25 dias de cultivo. Porto Alegre (RS), 2005.

desenvolvimento foliar do CP ao longo do ciclo de cultivo das plantas (MASLE, 1985; NEMOTO, 1995).

O efeito sinérgico do suprimento de N-NH_4^+ e N-NO_3^- quando comparado ao suprimento apenas do N-NH_4^+ sobre o desenvolvimento foliar em plantas de arroz, também foi observado em outros estudos realizados em arroz (QIAN et al., 2004; DUAN et al., 2005; LI et al., 2007). O fato do N-NO_3^- absorvido via raiz induzir a atividade das enzimas responsáveis pela assimilação do N em culturas como trigo e soja (STITT, 1999) e atuar sobre a regulação da absorção do N-NH_4^+ (BRITTO E KRONZUCKER, 2002) sugere que mecanismos similares a estes também podem estar ocorrendo em plantas de arroz cultivadas com as formas nítrica e amoniacal.

A indução tanto da GS (sintetase da glutamina) quanto da NAR (redutase do nitrato) em presença dos íons N-NH_4^+ e N-NO_3^- observada por LI et al. (2007) em arroz, permite inferir que cultivares de arroz adaptados a solos alagados também são capazes de absorver e assimilar o N suprido na forma nítrica. Esse processo pode estar ocorrendo nas nossas condições, pois apesar do N-NH_4^+ ser a forma predominante de N em áreas alagadas, o transporte de O_2 da parte aérea para a superfície das raízes das plantas de arroz e a consequente oxigenação da rizosfera, estimula o processo de nitrificação do N-NH_4^+ e a formação de N-NO_3^- (DUAN et al., 2005; LI et al., 2007). A contínua ocorrência desse processo durante o ciclo de cultivo do arroz ao longo dos anos pode estar potencializando a utilização também do N-NO_3^- por essa cultura.

4. CONCLUSÕES

1. Em condição de baixa disponibilidade de N, o desbalanço entre as proporções de N-NH_4^+ e N-NO_3^- supridas às plantas não afeta a emissão de aflhos e o sincronismo de desenvolvimento foliar entre aflhos e colmo principal na cultivar de arroz IRGA 417.
2. O suprimento crescente de N somente na forma N-NH_4^+ retarda a emissão de aflhos e prejudica o sincronismo de desenvolvimento foliar entre aflhos e colmo principal.
3. O suprimento do N-NO_3^- juntamente com o N-NH_4^+ ameniza os efeitos prejudiciais do suprimento apenas na forma de N-NH_4^+ sobre o processo de afilhamento e estimula a emissão de aflhos e o sincronismo de desenvolvimento foliar entre aflhos e colmo principal na cultivar de arroz IRGA 417.

REFERÊNCIAS

AWAN, T.H.; ALI, M.A.I.; ANWAR, M.; MAZOOB, Z. Contribution of tillers within a rice plant to yield and yield components. *Journal of Agricultural Research*, v.45, p.237-243. 2007.

BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, v.159, p.567-584, 2002.

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

DUAN, Y.H.; ZHANG, Y.L.; SHEN, Q.R.; SHEN, H.Y.; ZHANG, Y. Effect of partial replacement of NH_4^+ by NO_3^- on nitrogen uptake and utilization by different genotypes of rice at the seedling stage. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, v.11, p.160-165, 2005.

FAGERIA, N.K. Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition*, v.30, p.843-879, 2007.

HAUN, J.R. Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal*, v.65, p.116-119, 1973.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water culture method of growing plants without soil. Berkeley: University of California-Agricultural Experiment Station, 1938. 39p. (Circular 347)

KLEPPER, B.; RICKMAN, R.W.; PETERSON, C.M. Quantitative characterization of vegetative development in small grain cereals. *Agronomy Journal*, v.74, p.789-792, 1982.

LI, Y.L.; ZHANG, Y.L.; HU, J.; SHEN, Q.R. Contribution of nitrification happened in rhizospheric soil growing with different rice cultivars to N nutrition. *Biology and Fertility of Soils*, v.43, p.417-425, 2007.

LIN, S.; LI, J.; SATTELMACHER, B.; BRÜCK, H. Response of lowland and aerobic rice to ammonium and nitrate supply during early growth stages. *Journal of Plant Nutrition*, v.28, p.1495-1510, 2005.

LONGNECKER, N.; KIRBY, E.J.M.; ROBSON, A. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Science*, v.33, p.154-160, 1993.

MASLE, J. Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of the crop. In: DAY, W.; ATKIN, R.K. *Wheat growth and modeling*. New York: Plenum, 1985. p.33-54.

MASLE-MEYNARD J.; SEBILLOTTE, M. Etude de l'heterogeneite d' un peuplement de ble d'hiver.I. Origine des differentes categories d' individus du peuplement; elements de description de sa structure. *Agronomie*, v.1, p.217-224, 1981.

MILLER, B.C.; HILL, J.E.; ROBERTS, S.R. Plant population effects on growth and yield in water-seeded rice. *Agronomy Journal*, v.83, p.291-297, 1991.

MUNDSTOCK, C.M; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. *Ciência Rural*, v.31, p.205-211, 2001.

NEMOTO, K.; MORITA, S.; BABA, T. Shoot and root development in rice related to the phyllochron. *Crop Science*, v.35, p.24-29, 1995.

- QIAN, X.; SHEN, Q.; XU, G.; WANG, J.; ZHOU, M. Nitrogen form effects on yield and nitrogen uptake of rice crop grown in aerobic soil. *Journal of Plant Nutrition*, v.27, p. 1071-1076, 2004.
- SHOJI, S., ANDO, H., WADA, G. Fate of nitrogen in paddy fields and nitrogen absorption by rice plants. *Japan Agricultural Research Quarterly*, v.20, p.127-134, 1986.
- STITT, M. Nitrate regulation of metabolism and growth. *Current Opinion in Plant Biology*, v.2, p.178-186, 1999.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; WOLKEIS, S.I. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- WALCH-LIU, P.; NEUMANN, G.; BANGERTH, F. et al. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. *Journal of Experimental Botany*, v.51, p.227-237, 2000.
- WANG, X.T.; BELOW, F.E. Cytokinins in enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source. *Crop Science*, v.36, p.121-126, 1996.
- WIESLER, F. Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, v.160, p.227-238, 1997.
- WU, G.; WILSON, L.T.; McCLUNG, A.M. Contribution of rice tillers to dry matter accumulation and yield. *Agronomy Journal*, v.90, p. 317-323, 1998.