

INFLUÊNCIA DO ETIL-TRINEXAPAC NO ACÚMULO, NA DISTRIBUIÇÃO DE NITROGÊNIO (^{15}N) E NA MASSA DE GRÃOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS⁽¹⁾

Rita de Cássia Félix Alvarez⁽²⁾, Carlos Alexandre Costa Crusciol^(3,6),
Paulo Cesar Ocheuze Trivelin^(4,6), João Domingos Rodrigues^(5,6) &
Angela Cristina Camarim Alvarez⁽⁷⁾

RESUMO

Agarantia de alta produtividade de grãos de arroz no sistema de cultivo irrigado por aspersão tem estimulado a utilização de maiores doses de fertilizantes, principalmente os nitrogenados. Contudo, o manejo inadequado da adubação nitrogenada pode resultar em acamamento das plantas. A aplicação de reguladores vegetais pode carrear fotoassimilados para produção de grãos em detrimento do crescimento vegetativo excessivo. Este trabalho teve por objetivos: avaliar a influência do regulador de crescimento etil-trinexapac nas características de crescimento da planta e no acúmulo e distribuição de N (^{15}N) nas partes e na planta inteira de arroz; e verificar a contribuição do N absorvido em diferentes estádios de desenvolvimento na formação da panícula, nos componentes do rendimento e na massa de grãos de arroz. O experimento foi realizado em casa de vegetação, sob condições controladas. Os tratamentos foram constituídos de não-aplicação ou aplicação de regulador de crescimento vegetal (0 e 200 g ha⁻¹ i.a. de etil-trinexapac) em quatro estádios de desenvolvimento das plantas (1 - início ao final do perfilhamento, 2 - final do perfilhamento à diferenciação do primórdio da

⁽¹⁾ Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Campus de Botucatu. Projeto Financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em agosto de 2004 e aprovado em setembro de 2007.

⁽²⁾ Engenheira-Agrônoma, Dra. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS, Caixa Postal 112, CEP 79560-000 Chapadão do Sul (MS). E-mail: ritaalvarez@nin.ufms.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Dr., Depto de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Caixa Postal 234, CEP 18610-307 Botucatu (SP). E-mail: crusciol@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Dr., Laboratório de Isótopos Estáveis, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – USP. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: pcotrive@cena.usp.br;

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, Dr., Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Caixa Postal 510, CEP 18618-000 Botucatu (SP). E-mail: mingou@unesp.br

⁽⁶⁾ Bolsista do CNPq.

⁽⁷⁾ Engenheira-Agrônoma, MS, Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Caixa Postal 234, CEP 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: angela.alvarez@pop.com.br

panícula, 3 - diferenciação do primórdio da panícula ao florescimento e 4 - florescimento à maturação fisiológica). Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, dispostos em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. As plantas foram postas em um grupo de 48 vasos. Em um grupo de 24 vasos, com solução nutritiva e NH_4SO_4 enriquecido (^{15}N), no início de cada estágio preestabelecido de desenvolvimento da planta ao final de cada um deles, as plantas foram coletadas e separadas em suas partes constituintes. Em outro grupo de vasos (24 vasos), no final de cada estágio, em vez de serem coletadas, as plantas voltavam a se desenvolver em solução nutritiva com NH_4SO_4 natural, para então serem coletadas no final do ciclo. O regulador de crescimento vegetal reduziu a altura das plantas e o acúmulo de ^{15}N na panícula e promoveu a redistribuição do ^{15}N absorvido e o aumento do ^{15}N acumulado na raiz, colmo+bainha e folhas. A contribuição de ^{15}N absorvido, em cada estágio estudado, para formação da panícula aumentou com o desenvolvimento das plantas, em menor proporção na presença do regulador de crescimento utilizado. O etil-trinexapac influenciou negativamente os componentes do rendimento e a massa de grãos de arroz.

Termos de indexação: *Oryza sativa* L., regulador de crescimento vegetal, acúmulo de massa seca, altura de planta.

SUMMARY: INFLUENCE OF ETHYL-TRINEXAPAC ON ^{15}N ACCUMULATION AND DISTRIBUTION AND ON HIGHLAND RICE YIELD

The high rice grain yields ensured by sprinkler irrigation have encouraged the use of higher fertilizer doses, mainly the nitrogen fertilizers. However, an improper management of nitrogen fertilization may result in plant lodging. Application of plant regulators may redirect assimilates to grain production while limiting the vegetative growth. This study aimed to: evaluate the influence of the growth regulator Ethyl-trinexapac on plant growth parameters and on ^{15}N accumulation and distribution in the whole plant and plant components, and determine the contribution of nitrogen taken up in different developmental stages in panicle formation, yield components and rice yield. The experiment was carried out under controlled greenhouse conditions. The treatments consisted of application or not of a plant growth regulator (0 and 200 g active ingredient ha^{-1} of ethyl-trinexapac) at four plant development stages (1 - beginning to end of tillering; 2 - end of tillering and flower differentiation; 3 - flower differentiation to flowering; 4 - flowering until physiological maturation). The experimental design was arranged in random blocks, in a 2 x 4 factorial scheme, with three replications. The plants were placed in a group of 48 pots. In a group of 24 pots with nutrient solution containing $^{15}\text{NH}_4\text{SO}_4$, plants were collected and separated in parts in the beginning of each pre-established plant development stage and at the end of each stage. In a second group (24 pots), pre-labeled plants were left to grow in nutrient solution with $^{14}\text{NH}_4\text{SO}_4$ and harvested at the end of each cycle in order to access ^{15}N redistribution.. The growth regulator reduced plant height and ^{15}N accumulation in the panicle and promoted redistribution of the absorbed ^{15}N , and increased accumulated ^{15}N in root, stem+sheaths and leaves. The contribution of absorbed ^{15}N to panicle formation in each stage increased with the plant development, though in a lower proportion in the presence of the growth regulator. Ethyl-trinexapac influenced components and rice yield negatively.

Index terms: dry matter accumulation, Oryza sativa L., plant growth regulator, plant height.

INTRODUÇÃO

A cultura do arroz no Brasil ocupa posição de destaque do ponto de vista econômico e social, estando presente na dieta da maioria dos brasileiros. A área cultivada na safra 2004/05 foi de 3,9 milhões de

hectares, com produção próxima de 13,2 milhões de toneladas e consumo estimado de 12,9 milhões de toneladas (CONAB, 2006). O Brasil ocupa o décimo lugar em produção mundial, com consumo *per capita* de 45 kg/habitante/ano do produto beneficiado, sendo considerado um dos maiores consumidores mundiais.

O sistema de cultivo irrigado por aspersão é uma das alternativas para solucionar o problema de veranicos, pois confere estabilidade à produção, podendo também aumentar a produtividade e melhorar a qualidade de grãos (Sant'ana, 1989; Arf, 1997, 2001). Contudo, a falta de variedades específicas e o manejo inadequado da água de irrigação e da adubação nitrogenada têm promovido o acamamento das cultivares nesse sistema de cultivo, resultando em produtividades insatisfatórias.

A produção final da cultura do arroz é definida em função da cultivar utilizada, da quantidade de insumos e das técnicas de manejo empregadas. Entre os vários nutrientes, o nitrogênio tem a maior influência sobre o crescimento e a produção do arroz (Mae, 1986). Esse nutriente aumenta o número de perfilhos e, com isso, o número de panículas, além de promover maior número de espiguetas granadas e maior teor de proteínas nos grãos (Barbosa Filho, 1987).

Apesar da importância do nitrogênio, o emprego de altas doses induz à formação de grande número de perfilhos e folhas novas, provocando sombreamento, acamamento e criando condições favoráveis à ocorrência de doenças, refletindo em menor produtividade de grãos (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983; Barbosa Filho, 1991). Dessa forma, a influência da adubação nitrogenada na produtividade de grãos é variável, podendo apresentar incremento com doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de N (Stone et al., 1999; Michelon et al., 2002; Kunz et al., 2002) e, em determinadas situações, não afetar o rendimento (Arf, 1993).

Uma forma de evitar o problema de acamamento é o uso de cultivares resistentes, o que já vem ocorrendo, e de reguladores vegetais. Retardantes vegetais são compostos sintéticos utilizados para reduzir o crescimento longitudinal indesejável da parte aérea das plantas, sem diminuição da produtividade de grãos (Rademacher, 2000). A maioria dos retardantes vegetais age por inibição da biossíntese de giberelinas, hormônios que, entre outras ações, promovem alongamento celular (Davies, 1995).

O etil-trinexapac é um regulador desenvolvido para uso como agente antiacamamento em cereais e gramíneas (Rademacher, 2000) e como retardante vegetal em gramados. No Brasil, esse produto é utilizado como maturador em cana-de-açúcar e promove aumento de rendimento de açúcar sem impacto negativo na qualidade do caldo, no conteúdo de fibras ou no peso da cana (Resende, 2001). Na China, o efeito do paclobutrazol constatado foi o aumento na concentração de P, Ca e Cu na planta inteira de arroz; no entanto, a quantidade acumulada de todos os elementos determinados na planta inteira diminuiu. Esses resultados podem estar associados à inibição do crescimento da planta promovida pelo paclobutrazol (Pan et al., 1991). Os efeitos dos reguladores vegetais têm sido inconsistentes: em algumas situações, verifica-se aumento de produtividade; em outras, redução.

O trabalho teve por objetivos: (a) avaliar a influência do regulador de crescimento etil-trinexapac nas variáveis de crescimento da planta e no acúmulo e distribuição de nitrogênio (¹⁵N) nas partes e na planta inteira de arroz; e (b) verificar a contribuição do N absorvido em diferentes estádios de desenvolvimento na formação da panícula, nos componentes do rendimento e na massa de grãos de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas, do campus de Botucatu, UNESP, localizada no município de Botucatu, SP, situado a 48° 26' WGR W₁ de longitude oeste e 25° 51' de latitude sul, com altitude de 815 m.

Os tratamentos foram constituídos de não-aplicação ou aplicação de regulador de crescimento vegetal (0 e 200 g ha⁻¹ i.a. de etil-trinexapac) em quatro estádios de desenvolvimento das plantas (1 - início ao final do perfilhamento, 2 - final do perfilhamento à diferenciação do primórdio da panícula, 3 - diferenciação do primórdio da panícula ao florescimento e 4 - florescimento à maturação fisiológica). Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, dispostos em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições.

Para se atingir os objetivos citados no item b, um grupo de 24 vasos foi submetido à solução nutritiva com NH₄SO₄ enriquecido (¹⁵N) no início de cada estádio de desenvolvimento da planta preestabelecido, e no final de cada estádio as plantas foram coletadas e separadas em suas partes constituintes. Em outro grupo de vasos (24 vasos), no final de cada estádio, em vez de serem coletadas, as plantas voltavam a se desenvolver em solução nutritiva com NH₄SO₄ natural, para então serem coletadas no final do ciclo. O experimento totalizou 48 vasos.

Foi utilizada a cultivar Primavera, proveniente do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão – Embrapa. Esse cultivar apresenta, como características, porte médio (100–120 cm), ciclo curto (112 dias total, com 80 dias da emergência ao florescimento) e grãos tipo longo fino (agulhinha), sendo moderadamente suscetível à brusone (*Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc.) e ao acamamento (Bresighello et al., 1998).

Na instalação do experimento, sementes de arroz foram tratadas com carboxin + thiram na dose de 3 mL kg⁻¹ de sementes e distribuídas em papel-filtro enrolado e umedecido com água de torneira. Esse material foi acomodado em germinador à temperatura de 25 °C. Após 48 h, quando foi observado o início da emergência da radícula, as sementes foram transferidas para bancadas dentro da casa de vegetação de vidro, com temperatura e umidade controladas.

Após a emergência (sete dias), grupos de seis plântulas foram transferidos para vasos plásticos pretos com 4,0 L de solução nutritiva descrita por Furlani & Furlani (1988), com meia força iônica. Aos 12 dias após emergência (DAE) a solução foi trocada por uma de força iônica total, ajustada a pH entre 5,0 e 5,5. Aos 40 DAE foi realizado desbaste, deixando-se duas plantas por vaso, que aos 50 DAE foram transferidas para vasos plásticos com 15 L.

Para sustentação das plântulas nos vasos com solução nutritiva, foram confeccionadas tampas perfuradas, utilizando placas de isopor. Em cada perfuração, acomodou-se uma plântula presa por um pedaço de espuma, onde as raízes permaneceram em contato com a solução.

Durante todo o período foi monitorado o pH da solução, mantendo-o em torno de $5,5 \pm 0,3$, utilizando-se para sua correção NaOH a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A solução foi permanentemente aerada e renovada semanalmente ou quando o pH se afastava da faixa preestabelecida. O volume de água deionizada, necessário para repor perdas por evapotranspiração, foi adicionado diariamente.

Cada parcela foi representada por um vaso com duas plantas. Foi utilizado como fonte de nitrogênio (^{15}N) o sulfato de amônio, com abundância de $3,00 \pm 0,02 \%$ em átomos.

O etil-trinexapac foi aplicado no estádio de diferenciação do primórdio da panícula, na forma de jato dirigido, com pulverizador manual tipo costal com pressão constante de CO_2 , utilizando-se bico cônico tipo TX-VS2, com volume de calda aproximado de 100 L ha^{-1} . A solução do regulador foi preparada com surfatante não-iônico ($0,05 \%$ - $0,5 \text{ mL L}^{-1}$) + uréia ($1,0 \%$), para melhor adesão e absorção.

Desde a montagem do experimento, um grupo de seis vasos, representando os tratamentos combinados sem e com aplicação de regulador de crescimento vegetal, foi submetido à solução com ^{15}N enriquecido e nos outros 18 vasos continham solução nutritiva com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em abundância natural. No final do primeiro estádio (44 DAE), as plantas contidas nos seis vasos com solução enriquecida com ^{15}N e as de um vaso com solução N natural (para efeito de comparação) foram coletadas para determinar os teores de N-total e o acúmulo de ^{15}N no material vegetal (raiz, colmo + bainha, limbo foliar e panículas).

No início do segundo estádio, plantas contidas em outros seis vasos, que até então estavam se desenvolvendo em solução nutritiva com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em abundância natural, foram transferidas para vasos com solução nutritiva enriquecida com ^{15}N na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ com abundância de $3,00 \pm 0,02 \%$ em átomos. Igualmente ao primeiro estádio, no final do segundo (63 DAE) estes seis vasos com solução enriquecida com ^{15}N e um vaso com solução N natural (para efeito de comparação) foram coletados para determinar os teores de N-total e o acúmulo de ^{15}N no

material vegetal (raiz, colmo + bainha, limbo foliar e panículas). Nos estádios posteriores (terceiro e quarto) procedeu-se da mesma forma descrita nos estádios anteriores.

Concomitantemente, de um outro grupo de vasos (24 vasos), seis vasos, representando os tratamentos combinados sem ou com aplicação de regulador de crescimento, foram submetidos à solução com ^{15}N enriquecido, e os outros 18 vasos continham solução nutritiva com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em abundância natural. As plantas de cada grupo de seis vasos (sem ou com aplicação de regulador de crescimento vegetal e com ^{15}N enriquecido), no final de cada estádio preestabelecido anteriormente, retornavam para solução com N natural, permanecendo nesta até o final do ciclo (125 DAE). Ao completar o ciclo, as plantas desses vasos (24 vasos) foram coletadas com intuito de verificar o deslocamento do ^{15}N para formação dos grãos, absorvido em diferentes estádios, ao longo do ciclo da cultura.

Para composição das soluções nutritivas, utilizaram-se as seguintes fontes de nutrientes: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; CaCl_2 ; K_2SO_4 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; KH_2PO_4 ; Fe EDDHA (Ferrilene); $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; H_3BO_3 ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, segundo Furlani & Furlani (1988), obtendo-se a concentração final de nutrientes na solução nutritiva: 48 mg L^{-1} de N- NO_3 ; 12 mg L^{-1} de N- NH_4 ; 200 mg L^{-1} de Ca e K; 40 mg L^{-1} de Mg; 8 mg L^{-1} de P; 151 mg L^{-1} de S; 234 mg L^{-1} de Cl; 5 mg L^{-1} de Fe; $0,67 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn; $0,36 \text{ mg L}^{-1}$ de B; $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ de Zn; $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de Cu; e $0,11 \text{ mg L}^{-1}$ de Mo.

As avaliações realizadas foram: (a) altura da planta (distância média compreendida entre o colo da planta até a extremidade superior da panícula mais alta, no momento da colheita, sendo representada pela média das duas plantas do vaso); (b) número de colmos por planta (determinado toda vez que se colhia a parcela, sendo em cada amostragem a média representada por duas plantas); (c) fertilidade de colmos (determinada para cada vaso/parcela, por meio da relação: número de panículas por vaso pelo número de colmos por vaso, multiplicado por cem); (d) número de panículas por planta (representado pela média das duas plantas por vaso); (e) número de espiguetas por panícula: total, granada e chocha (contagem em seis panículas, coletadas ao acaso no momento da avaliação do número de panículas por planta); (f) fertilidade das espiguetas (determinada para cada unidade experimental a partir da relação: número de espiguetas granadas por panícula pelo número total de espiguetas por panícula, multiplicado por cem); (g) massa de mil grãos (pesagem de duas amostras coletadas ao acaso de mil grãos de cada parcela); (h) produção de grãos (pesagem dos grãos em casca, provenientes de cada parcela, corrigindo-se o teor de água a 13% e convertendo em g planta^{-1}); e (i) determinações de teor de N e ^{15}N .

No momento das amostragens (44 DAE - final do perfilhamento, 63 DAE - diferenciação do primórdio da panícula, 91 DAE - florescimento e 125 DAE - maturação fisiológica), as plantas foram separadas em: raízes, colmos+bainha, limbo foliar e panículas. As partes das plantas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar (65 °C até atingir peso constante) e, posteriormente, pesadas e moídas.

As determinações do teor de N e da abundância de ¹⁵N (% em átomos) foram realizadas por espectrometria de massa no CENA/USP, Piracicaba, em aparelho ANCA SL, modelo 20/20, da Europa Scientific Ltda., Crewe, UK (Barrie & Prosser, 1996).

A quantidade de N-total na raiz, colmo + bainha, limbo foliar e panícula foi obtida pelo produto da massa seca pelo teor de N-total em cada parte correspondente. A quantidade de N-total na planta inteira foi tomada somando-se as quantidades de cada parte (raiz, colmo + bainha, folha e panícula). Para determinação do teor total médio de N na planta inteira, após secagem, uma planta inteira, de cada tratamento, foi moída com todas as partes e determinado o teor do nutriente.

A quantidade de ¹⁵N na raiz, colmo + bainha, limbo foliar e panícula foi obtida utilizando-se as equações:

$$\%NPPSN = (a - b)/(c - b) \cdot 10^2 \quad (1)$$

em que %NPPSN = percentagem de nitrogênio na planta proveniente da solução nutritiva; a = percentagem de ¹⁵N na planta (% de átomos de ¹⁵N em excesso); b = percentagem de ¹⁵N na planta controle (0,366 = variação natural de ¹⁵N na atmosfera); e c = percentagem de ¹⁵N na solução nutritiva enriquecida (3,00 % ¹⁵N).

$$QNPPS^{15}N = (\% NPPSN/100) \cdot N\text{-total} \quad (2)$$

em que QNPPS¹⁵N = quantidade de nitrogênio (¹⁵N) na raiz, colmo + bainha, folha e panícula, proveniente da solução nutritiva enriquecida (¹⁵N); N-total = massa seca (raiz, colmo+bainha, folha, panícula) * (%N-total/100); e % N-total = 100 % NPPSN.

Os resultados foram analisados estatisticamente com auxílio do software SISVAR® (Ferreira, 1999). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos com ou sem aplicação de regulador de crescimento vegetal foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acúmulo de massa seca

Não foi constatada influência (P > 0,05) da aplicação do regulador na DPP no acúmulo de massa seca na raiz, colmo + bainha e folhas (Quadro 1). O regulador causou redução no acúmulo de massa seca da panícula e, conseqüentemente, na massa seca da planta inteira, o que é explicado pela fase de sua aplicação.

Quadro 1. Acúmulo de massa seca em plantas de arroz, cultivado em solução nutritiva, sem ou com aplicação de etil-trinexapac no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, em condições controladas

Redutor de crescimento	Época de coleta ⁽¹⁾			
	FPE	DPP	FLO	MAF
g/planta				
Raiz				
Com	0,8 a ^{(2)*}	10,3 a	16,3 a	22,3 a
Sem	0,9 a	11,0 a	15,0 a	22,2 a
CV (%)	13,1			
DMS	3,16			
Colmo + bainha				
Com	1,1 a	18,6 a	38,0 a	57,9 a
Sem	1,2 a	17,9 a	39,9 a	63,0 a
CV (%)	14,6			
DMS	8,51			
Folha				
Com	1,4 a	14,7 a	20,7 a	25,3 a
Sem	1,5 a	14,1 a	20,9 a	24,5 a
CV (%)	11,1			
DMS	3,34			
Panícula				
Com			4,4 a	27,9 b
Sem			7,9 a	43,9 a
CV (%)	30,2			
DMS	9,25			
Planta inteira				
Com	3,3 a	43,6 a	80,2 a	139,7 b
Sem	3,5 a	43,2 a	84,2 a	160,8 a
CV (%)	15,8			
DMS	21,52			

⁽¹⁾ FPE: final do perfilhamento; DPP: diferenciação do primórdio da panícula; FLO: florescimento; MAF: maturação fisiológica. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. *Médias de seis plantas por tratamento.

A ação do etil-trinexapac está associada à inibição do metabolismo de síntese de giberelinas, e estas têm como um dos mecanismos de ação o aumento do número e comprimento de células, afetando o crescimento, principalmente, do caule (Benincasa & Leite, 2002). Assim, a sua aplicação na diferenciação do primórdio da panícula deve ter interferido nos processos iniciais de formação desta, que envolvem

constantes multiplicações celulares, como formação das ramificações das panículas, do número de espiguetas por ramificações e de órgãos florais.

Pode-se constatar (Quadro 2) que a participação da panícula na massa seca total da planta foi de 27 e 20 %, para os tratamentos sem ou com regulador, respectivamente, indicando que o etil-trinexapac

reduziu a quantidade e o tamanho das panículas. A diminuição do tamanho da panícula, com provável redução no número de espiguetas, resulta em um saldo maior de fotoassimilados na planta inteira, o que pode ter ativado as gemas basais, levando a planta a perfilhar tardiamente, aumentando, assim, o número de perfilhos e a formação de novas panículas.

Quadro 2. Teor de N-total em diferentes partes e na planta inteira de arroz, cultivado em solução nutritiva, sem e com aplicação de etil-trinexapac no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, em condições controladas

Redutor de crescimento	Época de coleta ⁽¹⁾			
	FPE	DPP	FLO	MAF
	g kg ⁻¹			
	Raiz			
Com	33 a ^{(2)*}	22 a	23 a	22 a
Sem	31 a	22 a	23 a	20 a
CV (%)	10,4			
DMS	2,99			
	Colmo + bainha			
Com	38 a	20 a	17 a	22 a
Sem	38 a	18 a	17 a	19 b
CV (%)	10,2			
DMS	2,85			
	Folha			
Com	66 a	46 a	41 a	32 a
Sem	63 a	44 a	41 a	32 a
CV (%)	2,3			
DMS	1,21			
	Panícula			
Com			19 a	26 a
Sem			19 a	24 b
CV (%)	6,6			
DMS	0,85			
	Planta inteira			
Com	50 a	29 a	25 a	25 a
Sem	47 a	27 a	24 a	24 a
CV (%)	5,8			
DMS	2,13			

⁽¹⁾ FPE: final do perfilhamento; DPP: diferenciação do primórdio da panícula; FLO: florescimento; MAF: maturação fisiológica.

⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. *Médias de seis plantas por tratamento.

Teor e acúmulo de N-total

Somente no colmo + bainha e na panícula os teores de N-total foram maiores ($P < 0,05$) no tratamento com aplicação do regulador vegetal, o que pode ser atribuído ao menor acúmulo de matéria seca nessas estruturas, aumentando as concentrações de N-total (Quadro 2).

No quadro 3 encontram-se os valores de acúmulo de N-total nas diferentes partes das plantas. Constatou-se diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos para raiz, panícula e planta inteira na última época de coleta (MAF), quando o tratamento com regulador promoveu maior acúmulo de N-total na raiz e menor na panícula e na planta inteira. O resultado constatado na raiz foi decorrente do maior valor do teor de N (23 g kg^{-1}) e do baixo coeficiente de variação (Quadro 3), que refletiram essa diferença, apesar de não ter ocorrido influência da aplicação do regulador sobre a matéria seca. O acúmulo de N-total foi menor na panícula com a aplicação do regulador de crescimento vegetal. Esses resultados são respaldados pelo acúmulo de massa seca e não pelos teores de N-total na panícula, uma vez que o regulador de crescimento promoveu aumento no teor de N da panícula (Quadro 2).

Teor e acúmulo de ¹⁵N

Constatou-se diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos para os teores de ¹⁵N apenas nas estruturas colmo + bainha e panícula (Quadro 4). Em ambas, a aplicação do regulador vegetal aumentou o teor de ¹⁵N, tal como verificado para o teor de N-total (Quadro 2).

Constatou-se diferença ($P < 0,05$) no acúmulo de ¹⁵N entre os tratamentos em duas épocas de coleta, florescimento (FLO) e maturação fisiológica (MAF), para raiz, e na última época de coleta (MAF), para colmo + bainha, folha e panícula (Quadro 5). O regulador promoveu aumento no acúmulo de ¹⁵N na raiz, colmo + bainha e folha e redução na panícula. Com a redução das panículas da planta (Quadro 1), houve distribuição do ¹⁵N-absorvido, aumentando a quantidade de ¹⁵N-acumulado nas demais partes da planta (raiz, colmo+bainha e folhas).

Verificou-se diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos quanto aos teores e acúmulo de ¹⁵N na panícula, do estágio de florescimento à maturação fisiológica (FLO - MAF) (Quadro 6). O regulador promoveu aumento no teor de ¹⁵N na panícula, o que pode ser atribuído ao menor desenvolvimento desta

Quadro 3. Acúmulo de N-total em diferentes partes e na planta inteira de arroz, cultivado em solução nutritiva, sem e com aplicação de etil-trinexapac no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, em condições controladas

Redutor de crescimento	Época de coleta ⁽¹⁾			
	FPE	DPP	FLO	MAF
mg/planta				
Raiz				
Com	24 a ^{(2)*}	225 a	367 a	504 a
Sem	27 a	240 a	336 a	452 b
CV (%)	15,7			
DMS	49,97			
Colmo + bainha				
Com	43 a	353 a	647 a	1.315 a
Sem	45 a	321 a	667 a	1.258 a
CV (%)	9,1			
DMS	62,14			
Folha				
Com	98 a	667 a	884 a	1.032 a
Sem	94 a	622 a	877 a	1.034 a
CV (%)	9,2			
DMS	71,15			
Panícula				
Com			86 a	703 b
Sem			150 a	1.067 a
CV (%)	43,2			
DMS	127,05			
Planta inteira				
Com	165 a	1.245 a	1.984 a	3.556 b
Sem	166 a	1.183 a	2.030 a	3.812 a
CV (%)	12,3			
DMS	255,66			

⁽¹⁾ FPE: final do perfilhamento; DPP: diferenciação do primórdio da panícula; FLO: florescimento; MAF: maturação fisiológica.
⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. *Médias de seis plantas por tratamento.

(Quadro 1). A redução no acúmulo de ¹⁵N na panícula foi decorrente da menor quantidade de massa seca na panícula, já que o teor de ¹⁵N foi maior com a aplicação de regulador. Contudo, há necessidade de mais estudos com a aplicação de reguladores e alocação de nitrogênio, pois é possível que, com a utilização desses compostos, ocorra aumento no teor de proteína nos grãos.

Quadro 4. Teor de ¹⁵N em diferentes partes e na planta inteira de arroz, cultivado em solução nutritiva, sem e com aplicação de etil-trinexapac no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, em condições controladas

Redutor de crescimento	Época de coleta ⁽¹⁾			
	FPE	DPP	FLO	MAF
g kg ⁻¹				
Raiz				
Com	0,44 a ⁽²⁾	0,15 a	0,14 a	0,19 a
Sem	0,39 a	0,14 a	0,14 a	0,16 a
CV (%)	10,6			
DMS	0,04			
Colmo + bainha				
Com	0,55 a	0,15 a	0,11 a	0,19 a
Sem	0,53 a	0,14 a	0,11 a	0,15 b
CV (%)	13,5			
DMS	0,02			
Folha				
Com	1,10 a	0,35 a	0,22 a	0,20 a
Sem	1,02 a	0,35 a	0,21 a	0,19 a
CV (%)	5,4			
DMS	0,03			
Panícula				
Com			0,12 a	0,22 a
Sem			0,13 a	0,18 b
CV (%)	26,4			
DMS	0,02			
Planta inteira				
Com	0,75 a	0,21 a	0,16 a	0,19 a
Sem	0,68 a	0,20 a	0,15 a	0,17 a
CV (%)	8,7			
DMS	0,03			

⁽¹⁾ FPE: final do perfilhamento; DPP: diferenciação do primórdio da panícula; FLO: florescimento; MAF: maturação fisiológica.
⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. *Médias de seis plantas por tratamento.

Da quantidade de N-total absorvida durante o período de enchimento de grãos, 52 e 61 % foram translocados para a panícula nos tratamentos com e sem regulador de crescimento vegetal, respectivamente. Malavolta (1978) e Fornasieri Filho & Fornasieri (1993) relataram que, depois do florescimento, grande parte do nitrogênio e de outros elementos (e carboidratos) é transportada para os grãos em

Quadro 5. Acúmulo de ^{15}N em diferentes partes e na planta inteira de arroz, cultivado em solução nutritiva, sem e com aplicação de etil-trinexapac no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, em condições controladas

Redutor de crescimento	Época de coleta ⁽¹⁾			
	FPE	DPP	FLO	MAF
mg/planta				
Raiz				
Com	9 a ^{(2)*}	24 a	36 a	86 a
Sem	9 a	24 a	28 b	72 b
CV (%)	17,3			
DMS	7,35			
Colmo + bainha				
Com	17 a	52 a	73 a	213 a
Sem	17 a	48 a	75 a	189 b
CV (%)	8,5			
DMS	8,54			
Folha				
Com	48 a	102 a	51 a	94 a
Sem	44 a	100 a	47 a	80 b
CV (%)	8,1			
DMS	6,77			
Panícula				
Com			12 a	111 b
Sem			19 a	145 a
CV (%)	49,9			
DMS	20,98			
Planta inteira				
Com	74 a	178 a	172 a	505 a
Sem	70 a	172 a	169 a	487 a
CV (%)	8,6			
DMS	23,08			

⁽¹⁾ FPE: final do perfilhamento; DPP: diferenciação do primórdio da panícula; FLO: florescimento; MAF: maturação fisiológica.

⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. *Médias de seis plantas por tratamento.

desenvolvimento, os quais, no fim do ciclo, contêm cerca de 60 % do nitrogênio total da parte aérea.

Características de importância agrônômica

A aplicação de retardante vegetal reduziu ($P < 0,05$) a altura da planta em 34 cm (Quadro 7). Esse efeito pode ser explicado pelo modo de ação do etil-trinexapac, que atua no metabolismo de síntese de giberelinas, hormônio que, entre outras funções, promove o

Quadro 6. Teor e acúmulo de ^{15}N na panícula, em quatro estádios diferentes ao longo do ciclo do arroz, cultivado em solução nutritiva, sem e com aplicação de etil-trinexapac no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, em condições controladas

Redutor de crescimento	Estádios em presença de ^{15}N ⁽¹⁾			
	IPE-FPE	FPE-DPP	DPP-FLO	FLO-MAF
Teor de ^{15}N (g ka ⁻¹)				
Com	0,12 a ^{(2)*}	0,14 a	0,15 a	0,24 a
Sem	0,11 a	0,12 a	0,14 a	0,18 b
CV (%)	11,8			
DMS	0,02			
Acúmulo de ^{15}N (mg/planta)				
Com	16 a	54 a	95 a	198 b
Sem	20 a	57 a	97 a	249 a
CV (%)	13,9			
DMS	16,06			

⁽¹⁾ IPE-FPE: início ao final do perfilhamento; FPE-DPP: final do perfilhamento a diferenciação do primórdio da panícula; DPP-FLO: diferenciação do primórdio ao florescimento; FLO-MAF: florescimento a maturação fisiológica. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. *Médias de seis plantas por tratamento.

alongamento celular (Davies, 1995). Esse produto atua na síntese de giberelinas, a partir do GA₁₂-aldeído, inibindo, a partir deste, a síntese de giberelinas de alta eficiência biológica, como GA₉, GA₂₀, etc. Dessa forma, em função de sua ação, as plantas têm dificuldade de formação dessas giberelinas ativas e passam a sintetizar e acumular giberelinas biologicamente menos eficientes, como GA₈, GA₁₉, etc., o que leva, na prática, à drástica redução no alongamento celular (crescimento), sem causar deformação morfológica no caule (Naqvi, 1994; Taiz & Zeiger, 1998). Além disso, esse resultado expressivo é decorrente também da época de aplicação do produto, que foi no momento da diferenciação do primórdio, atuando diretamente no estágio de alongamento do colmo (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993).

O regulador de crescimento vegetal aumentou ($P < 0,05$) o número de colmos por planta (Quadro 7), provavelmente por ter reduzido o crescimento (altura), o que resultou em saldo maior de fotoassimilados na planta inteira, que pode ter ativado as gemas basais, levando a planta a perfilhar tardiamente, aumentando, assim, o número de perfilhos.

A fertilidade de colmos foi reduzida ($P < 0,05$) com a aplicação do regulador (Quadro 7), que provavelmente interferiu na diferenciação de algumas gemas vegetativas em reprodutivas e pode ter provocado degeneração do primórdio da panícula. Como a redução na fertilidade de colmos foi mais

expressiva que o aumento no número de colmos proporcionado pela aplicação do regulador, o número de panículas foi significativamente reduzido com o emprego do etil-trinexapac (Quadro 7). Machado (1994) relatou que condições externas adversas durante a diferenciação e o desenvolvimento da panícula podem provocar degenerações do primórdio ou da panícula jovem, respectivamente.

O número de espiguetas total por panícula foi reduzido (P < 0,05) com a aplicação do regulador (Quadro 8), e isso provavelmente interferiu nos processos de formação das ramificações das ráquis e espiguetas por ramificações, reduzindo o número dessas estruturas.

O número de espiguetas granadas foi reduzido (P < 0,05) com a aplicação do regulador (Quadro 8), o que provavelmente interferiu nos processos de formação de flores (estames e ovário) e na meiose (formação de gametas masculino e feminino), tendo como consequência menor fertilidade das espiguetas,

uma vez que não houve diferença para número de espiguetas chochas (Quadro 8).

Não foi constatada diferença (P > 0,05) entre os tratamentos quanto à massa de mil grãos (Quadro 8). A massa do grão é um caráter varietal estável, que depende do tamanho da casca determinado durante as duas semanas que antecedem a antese e do desenvolvimento da cariopse após o florescimento; portanto, depende da translocação de carboidratos, nos primeiros sete dias, para preencher a casca no sentido de seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura (Machado, 1994). Esse componente é pouco influenciado por fatores de ordem climática e nutricional.

Os resultados obtidos para os componentes do rendimento refletiram diretamente na produção de grãos por planta, ou seja, a aplicação do regulador proporcionou menor valor, pois esse tratamento causou diminuição no número de panículas por planta, no número de espiguetas total por panícula e na fertilidade das espiguetas.

Quadro 7. Altura da planta, número de colmos e panícula por planta e fertilidade de colmos, sem e com aplicação de regulador de crescimento vegetal no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, cultivar Primavera

Redutor de crescimento	Altura da planta	Colmo	Fertilidade de colmos	Panícula
	cm	nº/planta	%	nº/planta
Com	102 b ^{(1)*}	53 a	58 b	31 b
Sem	136 a	51 b	64 a	33 a
Valores de F	220,45 **	4,91 *	120,18 **	20,73 **
CV (%)	4,68	3,51	2,32	3,94
DMS	4,46	1,65	1,26	1,13

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. *Médias de seis plantas por tratamento. *, ** e ns: Significativos a 5, 1% e não-significativo, respectivamente.

Quadro 8. Número de espiguetas (total, granada e chocha), fertilidade de espiguetas, massa de mil grãos e produção de grãos por planta, sem e com aplicação de regulador de crescimento vegetal no estágio de diferenciação do primórdio da panícula, cultivar Primavera

Redutor de crescimento	Espiguetas por panícula			Fertilidade das espiguetas	Massa de 1.000 grãos	Produção de grãos
	Total	Granada	Chocha			
	nº.			%	g	g/planta
Com	203 b ^{(1)*}	76 b	127 a	37 b	23,9 a	32 b
Sem	238 a	98 a	133 a	42 a	23,9 a	43 a
Valores de F	637,09 **	225,61 **	1,73 ns	22,12 **	0,0005 ns	23,70 **
CV (%) ²	1,56	4,07	8,61	4,77	4,80	15,70
DMS	3,08	3,17	10,03	1,68	1,00	5,28

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. *Médias de seis plantas por tratamento. *, ** e ns: Significativos a 5, 1% e não-significativo, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. O regulador de crescimento vegetal reduziu a altura das plantas e influenciou negativamente os componentes do rendimento e a massa de grãos de arroz.

2. A aplicação de regulador de crescimento vegetal reduziu o acúmulo de ^{15}N na panícula e promoveu a redistribuição do ^{15}N absorvido e o aumento do ^{15}N acumulado na raiz, colmo + bainha e folhas.

3. A contribuição do nitrogênio (^{15}N) absorvido em cada estágio estudado, para formação da panícula, aumentou com o desenvolvimento das plantas, em menor proporção na presença do regulador de crescimento utilizado.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Pedro Roberto Furlani, pesquisador científico do Instituto Agronômico de Campinas, pela indicação da solução nutritiva. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio financeiro.

LITERATURA CITADA

- ARF, O. Efeitos de densidades populacionais e adubação nitrogenada sobre o comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1993. 63p. (Tese de Livre Docência)
- ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E. & CRUSCIOL, C.A.C. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao preparo do solo e à irrigação por aspersão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:871-879, 2001.
- BARBOSA FILHO, M.P. Adubação do arroz de sequeiro. *Inf. Agropec.*, 14:32-38, 1991.
- BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado). Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9)
- BARRIE, A. & PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope by ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W. & YAMASAKI, S., eds. *Mass spectrometry of soils*. New York, Marcel Dekker, 1996. p.1-46.
- BENINCASA, M.M.P. & LEITE, I.C. *Fisiologia vegetal*. Jaboticabal, FUNEP, 2002. 168p.
- BRESEGHELLO, F. Semeadura do arroz. In: BRESEGHELLO, F. & STONE, L.F., eds. *Tecnologia para arroz de terras altas*. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p.55-58.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Segundo levantamento de intenção de plantio safra 2005/2006. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php>. Acesso em: 14 de set. de 2006.
- DAVIES, P.J. *Plant hormones physiology biochemistry and molecular biology*. 2.ed. Netherlands, Klumer Academic Publishes, 1995. 823p.
- FERREIRA, D.F. *SISVAR: Sistema de análise de variância*. Versão 4.2. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999.
- FORNASIERI FILHO, D. & FORNASIERI, J.L. *Manual da cultura do arroz*. Jaboticabal, FUNEP, 1993. 221p.
- FURLANI, A.M.C. & FURLANI, P.R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas, Instituto Agronômico, 1988. 34p. (Boletim Técnico, 121)
- KUNZ, J.H.; CARLESSO, R.; DA ROSA, G.M.; GARCIA, C.G.; PETRY, M.T. & MELO, G.L. Adubação nitrogenada do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. Anais. Rio de Janeiro, CPGA-CS/UFRJ, 2002. CD-ROM.
- MACHADO, J.R. Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação em função de épocas de cultivo. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 1994. 237p. (Tese de Livre Docência)
- MAE, T. Partitioning and utilization of nitrogen in rice plants. *JARQ*, 20:115-120, 1986.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro. São Paulo, Ultrafertil, 1978. 36p.
- MALAVOLTA, E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T. & MALAVOLTA, E., eds. *Cultura do arroz de sequeiro: Fatores afetando a produtividade*. Piracicaba, Instituto da Potassa e do Fosfato, 1983. p.95-140.
- MICHELON, J.C.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; FIORIN, T.T.; DE BONA, F.D.; MELO, G.L. & KUNZ, J.H. Influência da adubação nitrogenada no rendimento e componentes do rendimento do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002, Rio de Janeiro, 2002. Anais. Rio de Janeiro, CPGA-CS/UFRJ, 2002. CD-ROM.
- NAQVI, S.S.M. Plant growth hormones: Growth promoters and inhibitors. In: PESSARAKLI, M. *Handbook of plant and crop physiology*. New York, Marcel Dekker, 1994. p.527-556.
- PAN, R.C.; ZHENG, S.C. & MO, S.G. Influence of paclobutrazol on mineral element content of rice seedlings. *J. Plant Nutr.*, 14:1-6, 1991.
- RADEMACHER, W. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 51:501-531, 2000.
- RESENDE, P.A.P.; SOARES, J.E. & HUDETZ, M. Moddus, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brasil. *Inter. Sugar. J.*, 103:2-6, 2001.
- SANTANA, E.P. Cultivo de arroz irrigado por aspersão. *Inf. Agropec.*, 14:71-75, 1989.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A. & YOKOYAMA, L.P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:27-932, 1999.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Plant physiology*. 2.ed. Sunderland, Sinauer Associates, 1998. 792p.