



Absorção de ^{15}N -fertilizante e ^{34}S -fertilizante aplicados na semeadura e em cobertura pela cultura de milho no estágio de 11 a 14 folhas ⁽¹⁾

Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas ⁽²⁾; José Albertino Bendassolli ⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

⁽²⁾ Pesquisador Científico nível VI; Agência Paulista da Tecnologia dos Agronegócios, Polo Regional Sudoeste Paulista, Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itapetininga, Itapetininga (SP); E-mail: waldolar@apta.sp.gov.br.

⁽³⁾ Professor pesquisador Livre Docente; Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Divisão de Desenvolvimento de Métodos e Técnicas Analíticas e Nucleares, CENA/USP, Piracicaba (SP); E-mail: jab@cena.usp.br.

RESUMO: A sinergia nitrogênio (N) e enxofre (S) nas plantas favorece a produção de massa de matéria seca (MMS), o teor foliar de N, o teor de clorofila e a produtividade de grãos. Foram avaliadas características de desenvolvimento na cultura de milho sob o efeito da aplicação conjunta de fontes N e S em relação à aplicação diferida de S na adubação de semeadura e cobertura, até o estágio de 11 a 14 folhas. Tratamentos de adubação nitrogenada e sulfatada foram instalados em triplicata em delineamento de blocos ao acaso na semeadura (04) e cobertura (05): sem S na base e cobertura (B0C0); com S na base e sem S em cobertura (BSC0); sem S na base e com S em cobertura (B0CS); com S na base e em cobertura (BSCS) e sem N nem S na base e em cobertura (N0S0). Em todos os tratamentos foram usadas doses de ^{15}N -ureia na base de 40 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1} em cobertura de ^{15}N -ureia e ^{15}N - ^{34}S -sulfato de amônio, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 na base (como supertríplo ou ^{34}S -supersimples) e 50 kg ha^{-1} de K_2O na base e cobertura. Foram avaliados: teor foliar de macronutrientes; índice de clorofila foliar (ICF) e de suficiência (IS) aos 23, 38, 77 e 134 dias após a semeadura; MMS; N-total e S-total absorvido pela planta; N- e S-provenientes dos fertilizantes marcados e a respectiva eficiência de N e S. Considerando-se os resultados obtidos até o estágio de 14 folhas na cultura de milho, a aplicação de S na base junto a N (ureia + superfosfato simples) e a aplicação única de N em cobertura (ureia), é a forma mais vantajosa para o maior aproveitamento de N pela planta.

Termo de indexação: eficiência de ^{15}N - e ^{34}S -fertilizante, estágio fenológico, índice de clorofila foliar (ICF).

INTRODUÇÃO

A sinergia entre N e S já foi observada em mostarda, trigo, milho, cana-de-açúcar e feijoeiro. A relação ideal nos tecidos vegetais é de 12-15:1. A adição de N em condições de deficiência de S pode resultar no acúmulo de formas não proteicas de N,

implicando na baixa produção de MMS e acúmulo de N proteico. A sinergia seria o resultado da estimulação da absorção aniônica (SO_4^{2-}) em resposta ao incremento da absorção catiônica de NH_4^+ (Bolonha-Campbell, 2007; Fiorini, 2011).

Segundo Sartori (2010) a carência de N na planta prejudica a síntese de clorofila e proteínas, sendo o enxofre contribuinte à transformação de N mineral em proteína vegetal. O S desempenha funções metabólicas como componente de aminoácidos (cistina, cisteína, metionina e taurina), proteínas, coenzimas (tiamina e biotina) e ésteres com polissacarídeos. Participa da síntese de clorofila entre outras aumentando nas plantas que recebem adubação sulfatada.

Fiorini (2011) colhendo folhas de milho em diferentes estádios fenológicos verificou na fase de florescimento pleno, valores de relação N:S de 15,0; 12,3 e 12,0 para as fontes sem S, com S-sulfato e S-elementar, respectivamente, mostrando que a relação se estreita com a maior absorção de S pela planta, com aumentos na produtividade de grãos (Gott et al., 2014).

Argenta et al. (2001) argumentam que o uso do clorofilômetro para determinar-se o ICF é um indicativo do teor de N-foliar, que pode auxiliar na predição da disponibilidade de N para as plantas, como método rápido e não destrutivo. Esses autores, constataram ausência de correlação entre N-foliar e ICF (estádio de seis a sete folhas), havendo correlação positiva nos estádios de 11 a 12 folhas e pendoamento, indicando que em estágio inicial o N absorvido é utilizado na produção de outras estruturas diferentes da produção de clorofila. Furlani et al. (2009) determinaram ajuste linear inverso entre N-requerido pela planta e o ICF na época de cobertura nitrogenada. Argenta (2001) determinou que, para diagnóstico do nível de N na planta de milho, as leituras no clorofilômetro acima de 45,4; 52,1; 55,3 e 58,0, respectivamente, para os estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas, 10 a 11 folhas e de espigamento, representam nível adequado de N.

A produção de fertilizantes enriquecidos com isótopos estáveis (^{15}N e ^{34}S) como ureia (Sant'Ana



Filho et al., 2012), sulfato de amônio duplamente marcado com ^{15}N e ^{34}S (Maximo et al., 2005) e ^{34}S -superfosfato simples (Rossete et al., 2008) são ferramentas, embora onerosas, que permitem aprofundar o conhecimento atual do sinergismo N:S para o aumento de produtividade e de qualidade de grãos.

Foram avaliadas características nutricionais, fisiológicas e de eficiência de fertilizantes nitrogenados e sulfatados na cultura de milho sob o efeito da aplicação conjunta de fontes N e S em relação à aplicação diferida de S na adubação de semeadura e cobertura, até o estádio de 11 a 14 folhas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho está sendo desenvolvido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Itapetininga (UPD Itapetininga-SP), vinculada ao Polo Regional Sudoeste Paulista da APTA-SAA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios), em Latossolo Vermelho Escuro orto (LE), muito argiloso (674 g kg^{-1} de argila), contendo na camada de 0 a 20 cm $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de S-sulfato. Quatro tratamentos de adubação nitrogenada e sulfatada foram instalados na semeadura e cinco em cobertura: sem S na base e cobertura (B0C0); com S na base e sem S em cobertura (BSC0); sem S na base e com S em cobertura (B0CS); com S na base e em cobertura (BSCS) e sem N nem S na base e em cobertura (N0S0). Foram utilizadas fontes nitrogenadas marcadas com ^{15}N e ^{34}S : uréia e superfosfato simples, respectivamente, na base, e uréia + sulfato de amônio duplamente marcado com ^{15}N e ^{34}S em cobertura e fontes comerciais de superfosfato triplo, KCl e micronutrientes FTE BR12. Na base foram aplicados 40 kg ha^{-1} de N; 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de $\text{K}_2\text{O-KCl} + 3,0 \%$ (w/w) de FTE BR12. Em cobertura, foi efetuada uma única aplicação, no estádio de 6 a 7 folhas, na entrelinha das fileiras de plantas em superfície de 120 kg ha^{-1} de N e 50 kg ha^{-1} de $\text{K}_2\text{O-KCl}$. O S foi aplicado em dose de $53,4 \text{ kg ha}^{-1}$ em dose única ou parcelada de acordo ao tratamento.

Os tratamentos foram instalados em triplicata, em blocos casualizados usando-se o híbrido DKB 177PRO com espaçamento de 0,75 m e população programada de $66.666 \text{ plantas ha}^{-1}$. Foi efetuada amostragem da folha oposta inferior à espiga (Malavolta et al., 1997), no estádio de florescimento para a determinação de macronutrientes; índice de clorofila foliar usando-se clorofilômetro Falker (2007) aos 23; 38; 77 e 134 dias após semeadura,

no terço médio, da primeira folha inferior à folha bandeira e índice de suficiência (IS) considerando o valor do tratamento BSCS como valor referência e amostragem da planta inteira no estádio de 11 a 14 folhas, com trituração, homogeneização e subamostragem para determinação de MMS (seca a estufa $65 \text{ }^\circ\text{C}$ com ar forçado), determinação da concentração de N e S e N-total e análises isotópicas de ^{15}N e ^{34}S no CENA/USP, Piracicaba, SP, para a determinação de N e S-total absorvido dos fertilizantes marcados e a correspondente eficiência.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. A comparação entre médias foi realizada pelo teste de t (Student), ao nível de 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As maiores concentrações foliares em comum de N e S foram dos tratamentos BSC0, B0CS e BSCS, com relações N:S de 13,7; 12,7 e 12,1; respectivamente (**Tabela 1**), como verificado por Fiorini (2011), quando a maior absorção de S estreita a relação N:S em presença de fontes de S.

O maior ICF e IS foi observado entre os 38 até 77 dias após a semeadura (das), para todos os tratamentos. Nesse estádio não foi observada diferença entre os tratamentos que receberam somente N (B0C0) e os que receberam N e S (BSC0; B0CS e BSCS), em relação a N0S0: valor de 46,1 e IS de 0,80 (**Tabela 2**). Todos os valores de ICF mostraram queda aos 134 das, evidenciando a fase de senescência da cultura com perda do teor de clorofila.

Na **tabela 3** se mostra a absorção marcada de ^{15}N e ^{34}S aplicadas na semeadura (uréia e supersimples), determinada no estádio de 11 a 12 folhas na planta inteira (parte aérea) e a absorção marcada de ^{15}N e ^{34}S (uréia e ureia+sulfato de amônio) aplicadas em cobertura e determinada no estádio de 13 a 14 folhas. O tratamento BSC0 atingiu (com N e S na base) a maior EN_f (41,14 % do N-aplicado), alcançando até 64,54 % com a aplicação exclusiva de N-uréia em cobertura. A aplicação exclusiva de N-uréia na base e em cobertura (B0C0) alcançou valores inferiores de 18,85 % e 41,35 % de EN_f , respectivamente. A aplicação de S em cobertura unicamente (B0CS), atingiu EN_f de 58,11 % do N-aplicado, valor também aumentado pela aplicação do S. A aplicação parcelada de S (BSCS) apresentou a menor eficiência (53,42 %) após a aplicação em



cobertura, embora não diferentes das outras formas de aplicação, provavelmente porque o S esteve submetido a lixiviação. Somando-se as quantidades de N_f absorvido pela planta pela adubação de base + cobertura houve EN_f -total de 36,07; 59,22; 51,12 e 45,55 % para os tratamentos B0C0; BSC0; B0CS e BSCS, respectivamente. Para S a soma dos tratamentos BSC0 e B0CS mostrou ES_f de 10,70 % e para BSCS de 6,65 %. Valores determinados no ponto de maturação fisiológica com ocasião da colheita de grãos estão em fase de preparo para análises e não foram incluídas neste resumo.

CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos até o estágio de 14 folhas na cultura de milho, de forma preliminar, a aplicação de S na base junto a N (ureia + superfosfato simples) e a aplicação única de N em cobertura (ureia), é a forma mais vantajosa para o maior aproveitamento de N pela planta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPESP-SP e ao pessoal de apoio nas atividades de instalação experimental e amostragens de campo da UPD-Itapetininga-SP.

REFERÊNCIAS

ARGENTA, G. Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho. [tese] Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2001.

ARGENTA, G.; DA SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L. & STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. R. Bras. Fisiol. Veg., 13:158-167, 2001.

BOLONHA-CAMPBELL, I. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta. [tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2007.

FALKER. Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila – Clorofilog CFL 1030, Manual de instruções, 32p., 2007

FIORINI, I.V.A. Resposta da cultura de milho a diferentes fontes de enxofre e formas de aplicação de micronutrientes. [dissertação]. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2011.

FURLANI, E. Jr.; ARF, O. & FURLANI, R.C.M. Nitrogen Fertilization in maize using the Portable Chlorophyll Meter. In: International Plant Nutrition Colloquium, 16., California,

USA, 2009. Proceedings. Department of Plant Sciences, UC Davis: 2009.

Disponível em:

<<http://escholarship.org/uc/item/21p952j4>> Acesso em 30 abril 2015.

GOTT, R.M.; DE AQUINO, L.A.; DE CARVALHO, A.M.X.; DOS SANTOS, L.P.D.; NUNES, P.H.M.P. & COELHO, B.S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 18: 1110-1115, 2014.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Potafós, 319 p., 1997.

MAXIMO, E.; BENDASSOLLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O.; ROSSETE, A.L.R.M.; de OLIVEIRA, C.R. & PRESTES, C.V. Produção de sulfato de amônio duplamente marcado com os isótopos estáveis ^{15}N e ^{34}S . Quim. Nova, 28:211-216, 2005.

ROSSETE, A.L.R.M.; CARNEIRO, J.M.T.; BENDASSOLLI, J.A.; CLAUDINEIA RAQUEL OLIVEIRA TAVARES, C.R.O. & SANT'ANA FILHO, C.R. Production of single superphosphate labeled with ^{34}S . Sci. Agric., 65:91-94, 2008.

SANT'ANA FILHO, C.R.; ROSSETE, A.L.R.M.; C. R. O. TAVARES, C.R.O.; PRESTES, C.V. & BENDASSOLLI, J.A. Synthesis of ^{15}N -enriched urea ($CO(^{15}NH_2)_2$) from $^{15}NH_3$, CO and S in a discontinuous process. Braz. J. Chem. Eng., 29:795-806, 2012.

SARTORI, R.H. Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima) [tese]. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente; 2010.

Tabela 1 – Teor foliar de macronutrientes do milho cultivar DKB 177PRO no estádio de 11 a 12 folhas expandidas. Safra 2014/2015, Itapetininga (SP).^{1/}

Tratamento ^{2/}	Teor foliar de macronutrientes						Razão N/S
	N	P	K	Ca	Mg	S	
	-----g kg ⁻¹ -----						
N0S0	22,0 b	2,3 c	20,7 b	6,7 a	2,9 a	1,6 c	13,8
B0C0	33,8 a	3,0 b	21,5 ab	6,3 a	3,3 a	2,4 b	14,1
BSC0	34,3 a	3,4 ab	22,5 ab	7,0 a	3,8 a	2,5 ab	13,7
B0CS	34,2 a	3,6 a	24,8 a	6,4 a	3,6 a	2,7 ab	12,7
BSCS	33,9 a	3,1 b	25,0 a	6,9 a	3,7 a	2,8 a	12,1
CV (%)	4,3	8,9	8,4	17,4	13,4	9,2	-
DMS (g kg ⁻¹)	2,5	0,5	3,6	2,2	0,9	0,4	-

^{1/}Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de t (Student). ^{2/}N0S0 = sem nitrogênio (N) e enxofre (S) na base e em cobertura; B0C0 = com N e sem enxofre (S) na base e em cobertura; BSC0 = com N e S na base e sem S em cobertura; B0CS = com N e sem S na base e com S em cobertura; BSCS = com N e S na base e em cobertura.

Tabela 2 – Índice de clorofila foliar (ICF) e índice de suficiência (IS) do cultivar de milho DKB 177PRO aos 23, 38, 77 e 134 dias após a semeadura. Safra 2014/2015, Itapetininga (SP).^{1/}

Tratamento ^{2/}	Dias após semeadura							
	23	IS ^{3/}	38	IS	77	IS	134	IS
	<i>Leitura ICF e IS</i>							
N0S0	47,9 aA	0,92	41,8 bB	0,75	46,1 bAB	0,80	27,2 cC	0,70
B0C0	50,1 aB	0,96	55,3 aA	0,99	56,8 aA	0,99	35,0 bC	0,90
BSC0	50,0 aB	0,96	53,8 aAB	0,96	55,0 aA	0,96	34,8 bC	0,89
B0CS	48,3 aB	0,93	55,8 aA	1,00	57,5 aA	1,00	38,9 abC	1,00
BSCS	51,9 aB	1,00	56,0 aAB	1,00	54,6 aA	0,95	41,1 aC	1,06

^{1/}Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de t (Student). Médias seguidas de letras maiúsculas desiguais na linha, diferem estatisticamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de t (Student). DMS = 4,5; CV (%) = 5,5. Instrumento Falker Cloroflog. ^{2/}N0S0 = sem nitrogênio (N) e enxofre (S) na base e em cobertura; B0C0 = sem S na base e em cobertura; BSC0 = com S na base e sem S em cobertura; B0CS = sem S na base e com S em cobertura; BSCS = com S na base e em cobertura. ^{3/}IS = leitura ICF tratamento/leitura ICF referência.

Tabela 3 – Produção de massa de matéria seca (MMS), nitrogênio total absorvido pela planta (N-total absorvido), concentração em abundância de átomos % de ¹⁵N e ³⁴S (Conc. ¹⁵N e ³⁴S), N na planta proveniente do fertilizante (Npp_f), eficiência de N-fertilizante (EN_f), enxofre total absorvido pela planta (S-total absorvido), S na planta proveniente do fertilizante (Spp_f) e a eficiência de S-fertilizante na planta (ES_f) de milho cultivar DKB 177PRO no estádio de 11 a 14 folhas expandidas. Safra 2014/2015, Itapetininga (SP).^{1/}

Tratamento ^{2/}	Estádio	MMS	N-total absorvido	Conc. ¹⁵ N ^{3/}	Npp _f	EN _f	S-total absorvido	Conc. ³⁴ S ^{3/}	Spp _f	ES _f
	Folhas	----- kg ha ⁻¹ -----		átomos % abundância	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	átomos % abundância	kg ha ⁻¹	%
<i>Com adubação de base marcada – estádio de 11 a 12 folhas</i>										
B0C0	11 – 12	4.871 c	92,85 b	0,460	7,30 b	18,85 b	-	-	-	-
BSC0	11 – 12	7.449 a	148,52 a	0,540	15,92 a	41,14 a	18,81 a	4,52	2,64 a	4,95 a
B0CS	11 - 12	5.892 b	103,93 b	0,500	10,91 ab	28,19 ab	-	-	-	-
BSCS	11 - 12	5.749 bc	109,41 b	0,490	8,13 b	21,01 b	14,72 a	4,54	2,12 a	7,96 a
CV (%)		8,21	14,97	-	29,29	29,29	9,69	-	57,40	52,28
DMS		984	34,04	-	6,19	15,99	5,70	-	4,80	11,85
<i>Com adubação de cobertura marcada – estádio de 13 a 14 folhas</i>										
N0S0	13 – 14	5.467 c	61,17 c	-	-	-	-	-	-	-
B0C0	13 – 14	7.984 b	105,46 b	1,037	48,50 a	41,35 a	-	-	-	-
BSC0	13 – 14	8.246 b	171,32 a	1,030	75,70 a	64,54 a	-	-	-	-
B0CS	13 – 14	9.290 a	151,69 a	1,027	68,17 a	58,11 a	9,73 a	4,68	3,05 a	5,98 a
BSCS	13 – 14	8.075 b	161,98 a	0,928	62,34 a	53,42 a	9,97 a	4,42	1,43 b	6,27 a
CV (%)		5,5	10,28	-	26,47	26,51	3,23	-	12,88	17,66
DMS		815	25,28	-	33,72	28,82	1,12	-	1,01	3,80

^{1/} Médias seguidas de letras desiguais na coluna, para cada tipo de adubação, diferem estatisticamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de t (Student). ^{2/} N0S0 = sem N e S na base e em cobertura; B0C0 = sem S na base e em cobertura; BSC0 = com S na base e sem S em cobertura; B0CS = sem S na base e com S em cobertura; BSCS = com S na base e em cobertura. ^{3/} ¹⁵N-ureia: 3,300 átomos % em abundância com 0,367 átomos % em abundância natural; ³⁴S-Superfosfato simples: 7,08 átomos % em abundância com 4,21 átomos % em abundância natural; ¹⁵N-³⁴S-sulfato de amônio com 3,280 e 7,150 átomos % em abundância, respectivamente.