

CRESCIMENTO E ACUMULAÇÃO DE NITROGÊNIO DE PLANTAS DE FEIJOEIRO ORIGINADAS DE SEMENTES COM ALTO TEOR DE MOLIBDÊNIO⁽¹⁾

Flavio Yuudi Kubota⁽²⁾, Antonio Custódio de Andrade Neto⁽³⁾,
Adelson Paulo Araújo⁽⁴⁾ & Marcelo Grandi Teixeira⁽⁵⁾

RESUMO

Sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) com alto teor de molibdênio podem garantir o suprimento adequado desse nutriente para a cultura. Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar o efeito de sementes enriquecidas com Mo, obtidas em plantas que receberam adubação foliar, no crescimento e acumulação de N do feijoeiro. O substrato foi horizonte A de Argissolo em vasos de 3,5 kg, que receberam calagem e nutrientes, exceto Mo. O primeiro experimento teve arranjo fatorial 3 x 2 x 2 com cinco repetições: três cultivares de feijoeiro, duas concentrações de Mo na semente e duas épocas de coleta. Plantas originadas de sementes com alto teor de Mo, dos três cultivares, apresentaram maior acumulação de biomassa e N na parte aérea, nas duas épocas de coleta. Sementes com alto teor de Mo aumentaram a massa de nódulos dos cultivares Manteigão e Rio Tibagi aos 30 dias pós-emergência (DAE), mas reduziram a massa e o número de nódulos dos cultivares Carioca e Manteigão aos 45 DAE. O maior teor de Mo nas sementes aumentou a atividade da nitrogenase aos 30 DAE e a atividade específica da nitrogenase aos 45 DAE. O segundo experimento teve arranjo fatorial 2 x 2 x 4 com cinco repetições: dois cultivares, dois níveis de Mo na semente e quatro épocas de coleta. Plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo apresentaram maior massa de parte aérea aos 47 e 59 DAE, e maior acumulação de N na parte aérea aos 59 DAE. O maior teor de Mo nas sementes não afetou a nodulação até os 45 DAE, mas reduziu o número de nódulos aos 59 DAE. A redução na nodulação no estágio de enchimento de vagens observada nos dois experimentos, nas plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo, pode ser atribuída ao maior

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Recebido para publicação em outubro de 2007 e aprovado em maio de 2008.

⁽²⁾ Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. Campo Grande (MS). E-mail: flavio.kubota@cba.incra.gov.br

⁽³⁾ Estudante de Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: andradenet1@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, UFRRJ. Bolsista do CNPq. E-mail: aparaujo@ufrj.br

⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa Agrobiologia. CEP 23890-000. Seropédica (RJ). E-mail: grandi@cpnpab.embrapa.br

crescimento dessas plantas, que teria antecipado a translocação de assimilados para as vagens. Pode-se concluir que sementes enriquecidas com Mo, colhidas em plantas que receberam adubação foliar, podem estimular a atividade da nitrogenase e aumentar a acumulação de biomassa e N do feijoeiro.

Termos de indexação: adubação foliar, genótipo, nodulação, *Phaseolus vulgaris*, semente.

SUMMARY: GROWTH AND NITROGEN ACCUMULATION BY COMMON BEAN PLANTS ORIGINATING FROM SEEDS WITH HIGH MOLYBDENUM CONCENTRATION

Common bean (Phaseolus vulgaris) seeds with high molybdenum concentration can adequately supply the crop demand of this nutrient. Two experiments were conducted in a greenhouse to evaluate the effect of Mo-enriched seeds, obtained from plants treated with foliar fertilization, on growth and N accumulation by common bean plants. The soil substrate was the A horizon of a Haplustult (3.5 kg pots), which were limed and fully fertilized with exception of Mo. The first experiment had a 3 x 2 x 2 factorial design with five replications: three bean cultivars, two seed Mo concentrations, and two harvest dates. In plants of the three cultivars originating from seeds with high Mo concentration, the shoot biomass and N accumulation were higher at both harvests. Seeds with high Mo concentration increased the nodule mass of cultivars Manteigão and Rio Tibagi 30 days after emergence (DAE) but reduced biomass and number of nodules in the cultivars Carioca and Manteigão 45 DAE. High seed Mo concentration increased the nitrogenase activity 30 DAE and the specific nitrogenase activity 45 DAE. The second experiment had a 2 x 2 x 4 factorial design with five replications: two bean cultivars, two seed Mo concentrations, and four harvest dates. The shoot mass in plants originating from seeds with high Mo concentration was higher 47 and 59 DAE, and shoot N accumulation was higher 59 DAT. High seed Mo concentration did not affect nodulation until 45 DAE, but reduced nodule number 59 DAE. The reduced nodulation at the pod filling stage observed in both experiments, in plants grown from seeds with high Mo concentration, can be due to the improved growth of these plants, which may have anticipated the translocation of assimilates to pods. It can be concluded that Mo-enriched seeds, harvested from plants treated with foliar fertilizer, can stimulate nitrogenase activity and increase biomass and N accumulation in common bean plants.

Index terms: foliar fertilization, genotype, nodulation, Phaseolus vulgaris, seed.

INTRODUÇÃO

O metal de transição Mo ocorre em quatro enzimas catalisadoras de diversas reações redox em plantas, entre as quais a nitrato redutase, além de constituir a enzima nitrogenase em microrganismos diazotróficos (Mendel & Hänsch, 2002). Por causa de sua baixa concentração nos solos e utilização sem a devida reposição, tem-se tornado comum a deficiência de Mo em cultivos agrícolas, principalmente em solos bastante intemperizados de regiões tropicais (Brodrick et al., 1992; Sfredo et al., 1997). Como as quantidades de Mo requeridas pelos cultivos são relativamente pequenas, torna-se possível sua aplicação através de “pellet” nas sementes (Berger et al., 1995; Sfredo et al., 1997). Entretanto, o “pellet” pode dificultar as trocas gasosas da semente, prejudicando sua

germinação (Albino & Campo, 2001). Além disso, a aplicação de produtos à base de Mo com inoculante nas sementes pode reduzir a sobrevivência do rizóbio e a nodulação de plantas de soja (Albino & Campo, 2001).

Sementes com elevadas concentrações de Mo podem fornecer quantidades do nutriente suficientes para garantir um adequado crescimento às plantas, sem adição suplementar de Mo ao solo (Jacob-Neto & Rossetto, 1998). Plantas de feijoeiro oriundas de sementes com alto conteúdo de Mo acumularam quantidade de Mo pouco diferente da quantidade original da semente, sugerindo que muito pouco Mo foi absorvido do solo (Brodrick et al., 1992). O plantio de sementes com elevado conteúdo de Mo em solos pobres da África preveniu o aparecimento de deficiência de Mo até o quarto cultivo consecutivo no mesmo local

(Brodrick et al., 1995). Entretanto, altos teores de Mo em um genótipo de feijoeiro de sementes grandes foram suficientes para evitar a deficiência de Mo em substrato sem Mo, mas não em um genótipo de sementes pequenas (Brodrick et al., 1992).

A adubação foliar constituiria uma alternativa tecnológica para elevar os teores de Mo nas sementes, pois não acarretaria significativos aumentos no custo de produção, uma vez que pequenas quantidades de nutrientes são necessárias, e estas aplicações podem ser combinadas com o controle sanitário (Oliveira et al., 1998). O Mo, quando absorvido pelas folhas, pode ser transportado para outras partes da planta em curtos intervalos de tempo (Brodrick & Giller, 1991), e a aplicação foliar de 120 g ha⁻¹ de Mo, aos 25 dias pós-emergência, aumentou três vezes seu teor nos grãos de feijão (Pessoa et al., 2000). A adubação foliar vem sendo testada como forma de fornecer Mo a cultivos de feijoeiro, registrando-se estímulos à nodulação e aumento da atividade da nitrogenase e da nitrato redutase, com conseqüente aumento na acumulação de N e no rendimento de grãos (Berger et al., 1996; Oliveira et al., 1998; Vieira et al., 1998b; Pessoa et al., 2001). Os efeitos de sementes enriquecidas com Mo, obtidas em plantas que receberam adubação foliar, em cultivos subseqüentes são pouco conhecidos. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do aumento do teor de Mo em sementes de feijoeiro, obtidas de plantas que receberam adubação foliar com Mo, no crescimento vegetativo e na acumulação de N em cultivares de feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação na Embrapa Agrobiologia, Seropédica (RJ), onde foram testadas sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com baixo e alto teor de Mo. Essas sementes foram obtidas em campo, em 2000, na Embrapa Agrobiologia, quando foram efetuadas duas pulverizações foliares, aos 45 e 60 dias pós-emergência (DAE), de 120 g ha⁻¹ de Mo cada aplicação, na forma de (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, em três cultivares de feijoeiro.

O primeiro experimento, realizado entre junho e agosto de 2004, teve delineamento em blocos ao acaso com cinco repetições, em arranjo fatorial 3 x 2 x 2: três cultivares de feijoeiro (Manteigão, Carioca e Rio Tibagi), dois níveis de Mo na semente (baixo e alto teor de Mo) e duas épocas de coleta (aos 30 e 45 DAE). O segundo experimento, realizado entre outubro e dezembro de 2005, teve delineamento experimental em blocos ao acaso, com cinco repetições, em arranjo fatorial 2 x 2 x 4: dois cultivares de feijoeiro (Carioca e Manteigão), dois níveis de Mo na semente (baixo e alto teor) e quatro épocas de coleta (aos 17, 31, 45 e 59 DAE). Os teores de Mo nas sementes corresponderam (em µg g⁻¹) a 1,53 e 9,89 no cultivar Carioca, 1,75 e 7,66 no cultivar Manteigão, e 1,35 e 14,1 no cultivar

Rio Tibagi, respectivamente, que equivaleram a conteúdos de Mo (em µg de Mo por semente) de 0,36 e 2,25 no cultivar Carioca, 0,77 e 3,53 no cultivar Manteigão e 0,32 e 3,39 no cultivar Rio Tibagi.

Nos dois experimentos, o substrato foi solo de horizonte A de um Argissolo Vermelho-Amarelo, passado em peneira de malha de 6 mm e colocado em vasos de 3,5 kg de capacidade. Análises de solo, efetuadas de acordo com Embrapa (1997), indicaram: pH em água 5,0, 1,1 cmol_c dm⁻³ de Ca, 1,1 cmol_c dm⁻³ de Mg, 0,4 cmol_c dm⁻³ de Al, 39 mg dm⁻³ de K, 1 mg dm⁻³ de P disponível (Mehlich-1), textura franco argilo-arenosa. O solo de cada vaso recebeu 500 mg kg⁻¹ de CaCO₃ e, após 7 dias de incubação, foram aplicados os nutrientes diluídos em água e distribuídos lentamente sobre os vasos. As seguintes doses foram aplicadas (em mg kg⁻¹ de solo): 30 de P (como KH₂PO₄), 10 de Mg (como MgSO₄.7H₂O), 2 de Cu (como CuSO₄.5H₂O), 1 de Zn (como ZnSO₄.7H₂O), 0,05 de B (como H₃BO₃). Posteriormente, o material de cada vaso foi homogeneizado, e, 10 dias após efetuada a semeadura, quando as análises do solo (Embrapa, 1997) indicaram: pH em água 5,7; 2,0 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,1 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0 cmol_c dm⁻³ de Al; 90 mg dm⁻³ de K; 13 mg dm⁻³ de P disponível (Mehlich-1). Nas sementes, foi aplicado 1 mL de inoculante semi-sólido de uma mistura das estirpes CIAT899 (ou BR322) e PR-F81 (ou BR520) de *Rhizobium tropici* da coleção da Embrapa Agrobiologia. Após desbaste, foram cultivadas duas plantas por vaso.

Por ocasião das coletas, a parte aérea das plantas foi cortada em nível do solo, e os sistemas radiculares foram recuperados com auxílio de uma peneira. No primeiro experimento, foi determinada a atividade da nitrogenase nas raízes e nos nódulos, através da técnica de redução de acetileno. Os sistemas radiculares das duas plantas de cada vaso, juntamente com o solo aderido à rizosfera e os nódulos que se desprenderam das raízes, foram colocados em recipientes fechados com 25 mL de acetileno. Após incubação por 15 min, foram coletadas amostras de 1 mL, utilizadas para leitura da concentração de etileno por cromatografia gasosa (Perkin-Elmer Auto System). Os valores de etileno produzido foram convertidos em µmol h⁻¹ planta⁻¹, considerados como a atividade da nitrogenase, sendo calculada a atividade específica da nitrogenase através da razão entre a atividade da nitrogenase e a massa de nódulos de cada vaso. Nos dois experimentos, as raízes foram lavadas e os nódulos separados e contados. A parte aérea, raízes e nódulos foram secos em estufa e pesados. A parte aérea foi moída, determinando-se o teor de N pelo método semimicro Kjeldahl; o conteúdo de N foi obtido pelo produto entre a biomassa e o teor de N.

Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância, avaliando-se os efeitos de cultivar, de teor de Mo na semente, e de suas interações, pelo teste F, a 5 %, em cada coleta isoladamente. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 %.

RESULTADOS

No primeiro experimento, a análise de variância identificou efeitos significativos do cultivar, teor de Mo na semente e sua interação na maioria dos caracteres avaliados. Desta forma, foi possível identificar o efeito do teor de Mo na semente em cada cultivar isoladamente. Por outro lado, no segundo experimento as interações entre cultivar e teor de Mo não foram significativas, e as comparações estatísticas entre teores de Mo na semente foram efetuadas para a média dos dois cultivares.

No primeiro experimento, as plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo apresentaram maior massa de parte aérea em todos os cultivares, nas duas épocas de coleta (Quadro 1). Este aumento foi mais intenso aos 45 DAE (de 78 %) do que aos 30 DAE (de 69 %). Sementes com alto teor de Mo originaram plantas com maior massa de raiz nas duas épocas de coleta, nos cultivares Carioca e Manteigão aos 30 DAE e no cultivar Manteigão aos 45 DAE (Quadro 1). Aos 30 DAE, o alto teor de Mo nas sementes aumentou a massa de nódulos nos cultivares Manteigão e Rio Tibagi, sem modificar o número de nódulos, e reduziu a massa e o número de nódulos no cultivar Carioca.

Aos 45 DAE, o maior teor de Mo nas sementes reduziu a massa e o número de nódulos nos cultivares Carioca e Manteigão (Quadro 1).

O maior teor de Mo nas sementes aumentou a atividade da nitrogenase nos cultivares Carioca e Manteigão aos 30 DAE; no cultivar Manteigão aos 45 DAE (Quadro 1); aumentou a atividade específica da nitrogenase nos cultivares Carioca aos 30 DAE, no Manteigão e na média dos cultivares aos 45 DAE (Quadro 1). Plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo apresentaram maior teor de N na parte aérea do cultivar Rio Tibagi aos 30 DAE e em todos os cultivares aos 45 DAE; e maior conteúdo de N na parte aérea de todos os cultivares nas duas épocas de coleta (Quadro 1).

No segundo experimento, as plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo apresentaram maior massa de parte aérea aos 45 e 59 DAE, estágio de enchimento das vagens (Quadro 2). O teor de Mo na semente não afetou a massa e o número de nódulos dos dois cultivares até os 45 DAE, mas aos 59 DAE houve redução no número de nódulos em plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo. Na verdade, ocorreu um decréscimo da nodulação após 45 DAE nas plantas oriundas de sementes com alto

Quadro 1. Massa de parte aérea, raiz e nódulos, número de nódulos, atividade da nitrogenase, atividade específica da nitrogenase, teor e conteúdo de nitrogênio na parte aérea, de três cultivares de feijoeiro originados de sementes com baixo e alto teores de molibdênio em duas épocas de coleta; médias de cinco repetições (primeiro experimento)

Cultivar	30 dias após - emergência		45 dias após - emergência		30 dias após - emergência		45 dias após - emergência	
	Baixo Mo	Alto Mo	Baixo Mo	Alto Mo	Baixo Mo	Alto Mo	Baixo Mo	Alto Mo
	Massa de parte aérea (g/planta)				Massa de raiz (g/planta)			
Carioca	1,02 b	1,98 a	2,04 b	3,69 a	0,36 b	0,50 a	0,39 a	0,52 a
Manteigão	1,16 b	1,72 a	1,89 b	3,17 a	0,38 b	0,48 a	0,47 b	0,80 a
Rio Tibagi	0,82 b	1,38 a	1,70 b	3,16 a	0,28 a	0,32 a	0,34 a	0,48 a
Média	1,00 b	1,69 a	1,88 b	3,34 a	0,34 b	0,43 a	0,40 b	0,60 a
	Massa de nódulos (mg/planta)				Número de nódulos/planta			
Carioca	180 a	150 b	252 a	132 b	265 a	198 b	414 a	244 b
Manteigão	116 b	144 a	281 a	209 b	157 a	202 a	336 a	198 b
Rio Tibagi	97 b	125 a	150 a	118 a	160 a	121 a	223 a	164 a
Média	131 a	140 a	227 a	153 b	194 a	174 a	324 a	202 b
	Atividade da nitrogenase ($\mu\text{mol h}^{-1}/\text{planta}$)				Atividade específica da nitrogenase ($\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$)			
Carioca	26 b	88 a	31 a	21 a	141 b	542 a	124 a	283 a
Manteigão	58 b	128 a	62 b	85 a	608 a	894 a	220 b	428 a
Rio Tibagi	38 a	42 a	33 a	30 a	368 a	339 a	228 a	270 a
Média	41 b	86 a	42 a	45 a	372 a	591 a	191 b	327 a
	Teor de N na parte aérea (mg g^{-1})				Conteúdo de N na parte aérea (mg/planta)			
Carioca	23,8 a	33,4 a	17,7 b	24,9 a	24,2 b	67,6 a	35,8 b	89,6 a
Manteigão	24,4 a	30,9 a	18,6 b	30,9 a	29,6 b	53,2 a	35,2 b	97,1 a
Rio Tibagi	27,3 b	39,9 a	19,6 b	27,1 a	22,2 b	53,8 a	32,9 b	85,2 a
Média	25,2 b	34,7 a	18,6 b	27,6 a	25,3 b	58,2 a	34,6 b	90,6 a

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha e na mesma época de coleta, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 2. Massa de parte aérea e de nódulos, número de nódulos, e conteúdo de nitrogênio na parte aérea, de dois cultivares de feijoeiro originados de sementes com baixo e alto teores de molibdênio em quatro épocas de amostragem; médias de cinco repetições (segundo experimento)

Cultivar	17 dias após - emergência		31 dias após - emergência		45 dias após - emergência		59 dias após - emergência	
	Baixo Mo	Alto Mo	Baixo Mo	Alto Mo	Baixo Mo	Alto Mo	Baixo Mo	Alto Mo
Massa de parte aérea (g/planta)								
Carioca	1,24	1,32	1,58	1,73	2,83	3,13	3,00	3,78
Manteigão	1,42	1,50	1,95	2,09	2,51	2,83	2,53	2,86
Média	1,33 a	1,41 a	1,77 a	1,91 a	2,67 b	2,98 a	2,77 b	3,32 a
Massa de nódulos (mg/planta)								
Carioca	24	18	50	60	116	105	79	80
Manteigão	18	25	20	20	25	53	58	55
Média	21 a	22 a	35 a	40 a	71 a	79 a	69 a	67 a
Número de nódulos/planta								
Carioca	71	52	93	96	245	272	193	172
Manteigão	51	50	36	38	44	79	91	61
Média	61 a	51 a	65 a	67 a	145 a	176 a	142 a	116 b
Conteúdo de N na parte aérea (mg/planta)								
Carioca	23,4	26,1	22,2	25,9	65,3	69,2	55,9	90,3
Manteigão	32,1	31,5	28,7	28,7	60,8	55,9	55,6	58,0
Média	27,8 a	28,8 a	25,5 a	27,3 a	63,0 a	62,6 a	55,8 b	74,2 a

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha e na mesma época de coleta, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

teor de Mo, acarretando menor número de nódulos nestas plantas aos 59 DAE (Quadro 2). Plantas originadas de sementes com alto teor de Mo apresentaram maior conteúdo de N na parte aérea aos 59 DAE, sendo este efeito mais expressivo no cultivar Carioca (Quadro 2).

DISCUSSÃO

A importância das sementes no suprimento de Mo ao feijoeiro tem sido relatada na literatura científica (Brodrick et al., 1992, 1995; Jacob-Neto & Rossetto, 1998). Sementes de feijoeiro com alto teor de Mo proporcionam aumento na acumulação de biomassa na parte aérea e raiz e de N na parte aérea (Quadros 1 e 2; Brodrick et al., 1992) em casa de vegetação, assim como aumento na acumulação de N na parte aérea e no rendimento de grãos em campo (Brodrick et al., 1992). Entretanto, nos dois experimentos, observou-se uma redução na nodulação das plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo no estágio de enchimento das vagens, com menor massa e número de nódulos aos 45 DAE (Quadro 1) e menor número de nódulos aos 59 DAE (Quadro 2) nos cultivares Carioca e Manteigão. Brodrick et al. (1992) também observaram menor massa de nódulos em plantas de feijoeiro oriundas de sementes com alto teor de Mo, quando da ausência de Mo na solução nutritiva.

Vieira et al. (1998b) relataram que a aplicação foliar de Mo aos 25 DAE reduziu o número de nódulos no mesmo cultivo, porém sem afetar a massa de nódulos.

Uma hipótese sugerida para explicar a redução na nodulação observada nas plantas originadas de sementes com alto teor de Mo seria que essas plantas, com maior biomassa de parte aérea no estágio de enchimento de vagens (Quadros 1 e 2), teriam crescimento reprodutivo mais intenso que plantas originadas de sementes com baixo teor de Mo. Com o desenvolvimento das vagens, postula-se que a demanda por fotossintatos das sementes compete com a demanda por energia envolvida na redução do N₂, limitando o crescimento dos nódulos e a fixação de N em feijoeiro (Piha & Munns, 1987). Sendo assim, é provável que nas plantas originadas de sementes enriquecidas com Mo tenha sido induzida maior translocação de fotoassimilados para as vagens, causando uma interrupção na formação de novos nódulos e redução na nodulação em comparação às plantas originadas de sementes com baixo Mo. A redução no número de nódulos observada entre 45 e 59 DAE no segundo experimento, mais intensa nas plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo (Quadro 2), reforça esta hipótese. Há evidências de que a redução da fixação biológica de N no estágio de enchimento das vagens ocorre principalmente com estresse, afetando mais intensamente o crescimento nodular que a atividade da nitrogenase (Vikman & Vessey, 1992).

Apesar da menor massa de nódulos no estádio de enchimento das vagens, plantas oriundas de sementes enriquecidas com Mo apresentaram maior atividade da nitrogenase aos 30 DAE e maior atividade específica da nitrogenase aos 45 DAE (Quadro 1). Brodrick & Giller (1991) também observaram que plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de Mo mantiveram a atividade da nitrogenase em valores similares aos de plantas que receberam Mo da solução nutritiva até os 48 dias de crescimento. Como o Mo é um componente da nitrogenase, é plausível admitir que o Mo tenha um efeito mais relevante no estímulo da fixação de N do que na formação e crescimento de nódulos (Brodrick et al., 1992). Vieira et al. (1998a) relataram que a aplicação foliar de Mo aos 25 DAE no campo aumentou a atividade da nitrogenase, e propuseram que o efeito do Mo aplicado via foliar ocorresse principalmente através da manutenção de períodos mais extensos de fixação biológica de N. Sendo assim, a menor nodulação das plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo aos 49 DAE teria sido compensada por maior atividade da nitrogenase por unidade de massa nodular, resultando em maior acumulação de N (Quadro 1).

A técnica de redução de acetileno apresenta deficiências para a quantificação da fixação biológica de N, em particular em plantas perturbadas como no caso deste trabalho, mas pode ser útil na comparação de diferentes genótipos de feijoeiro sob distintos estados nutricionais (Vadez et al., 1997), permitindo a identificação do efeito estimulatório do Mo da semente na atividade da nitrogenase (Quadro 1). A maior atividade da nitrogenase em plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo (Quadro 1; Brodrick & Giller, 1991), assim como a maior atividade da nitrogenase em plantas que receberam adubação foliar com Mo (Vieira et al., 1998a), demonstra a importância do Mo para a fixação biológica de N. Entretanto, deve-se considerar a hipótese de que a maior acumulação de N em plantas oriundas de sementes enriquecidas com Mo pode também ser consequência de maior atividade da nitrato redutase, que poderia incrementar a assimilação do N absorvido do solo (Vieira et al., 1998a). Uma investigação mais detalhada da contribuição relativa do Mo da semente para a redução do N atmosférico ou do nitrato absorvido do solo poderia ser efetuada através de técnicas como a diluição isotópica de ^{15}N .

Apesar da reconhecida importância das sementes com altos teores de Mo no estímulo à aquisição de N pelo feijoeiro, as dificuldades tecnológicas envolvidas na obtenção de sementes enriquecidas com Mo através da adubação no solo são consideráveis. Os conteúdos de Mo em sementes de feijão variaram entre 0,6 e 6,4 $\mu\text{g}/\text{semente}$, em plantas crescidas em solo pobre e rico em Mo, respectivamente, indicando grandes variações na acumulação de Mo em sementes em função do tipo de solo (Brodrick et al., 1995). Com base nos dados de Fullin et al. (1999), verifica-se que a aplicação de 20 g ha^{-1} de Mo como “pellet” na semente

aumentou a concentração de Mo nos grãos de feijão de 0,5 para 1,6 $\mu\text{g g}^{-1}$, em comparação com os tratamentos sem adição de Mo, e a aplicação foliar desta mesma dose do nutriente aumentou a concentração de Mo nos grãos para 3,1 $\mu\text{g g}^{-1}$.

A adubação foliar com Mo em estádios tardios de crescimento surge como uma alternativa tecnológica promissora, propiciando a obtenção de sementes com teor seis vezes superior aos de plantas que não receberam adubação foliar, como as avaliadas neste estudo. As sementes enriquecidas com Mo usadas neste estudo, obtidas de plantas que receberam pulverizações foliares de 120 g ha^{-1} de Mo aos 45 e 60 DAE, apresentaram conteúdos de Mo entre 2,3 e 3,5 $\mu\text{g}/\text{semente}$, valores próximos ao conteúdo de 3,5 $\mu\text{g}/\text{semente}$ relatado por Jacob-Neto & Franco (1986) como suficiente para que o feijoeiro se desenvolva sem adubação suplementar com Mo. A adubação foliar também permitiu a obtenção de sementes de feijão enriquecidas com P, que originaram plantas com maior crescimento, nodulação e acumulação de N, particularmente sob baixas doses de P aplicadas ao solo (Araújo et al., 2002). Portanto, novos estudos podem avaliar a possibilidade de aplicação simultânea de nutrientes via foliar, assim como identificar doses e épocas mais adequadas de pulverização (Meireles et al., 2005) para obtenção de sementes enriquecidas com nutrientes.

CONCLUSÃO

Sementes de feijoeiro enriquecidas com Mo, obtidas de plantas que receberam adubação foliar com Mo, estimularam a atividade da nitrogenase e aumentaram a acumulação de biomassa e de N do feijoeiro.

LITERATURA CITADA

- ALBINO, U.B. & CAMPO, R.J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:527-534, 2001.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. & LIMA, E.R. Efeitos do aumento do teor de fósforo na semente, obtido via adubação foliar, no crescimento e na nodulação do feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:183-189, 2002.
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C. & ARAÚJO, G.A.A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:473-480, 1996.
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A.A. & CASSINI, S.T.A. Peletização de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com carbonato de cálcio, rizóbio e molibdênio. *R. Ceres*, 42:562-574, 1995.
- BRODRICK, S.J. & GILLER, K.E. Root nodules of *Phaseolus*: efficient scavengers of molybdenum for N_2 -fixation. *J. Exper. Bot.*, 42:679-686, 1991.

- BRODRICK, S.J.; AMIJEE, F.; KIPE-NOLT, J.A. & GILLER, K.E. Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. Trop. Agric., 72:277-284, 1995.
- BRODRICK, S.J.; SAKALA, M.K. & GILLER, K.E. Molybdenum reserves of seed, and growth and N₂ fixation by *Phaseolus vulgaris* L. Biol. Fert. Soils, 13:39-44, 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ACROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FULLIN, E.A.; ZANGRANDE, M.B.; LANI, J.A.; MENDONÇA, L.F. & DESSAUNE FILHO, N. Nitrogênio e molibdênio na adubação do feijoeiro irrigado. Pesq. Agropec. Bras., 34:1145-1149, 1999.
- JACOB-NETO, J. & FRANCO, A.A. Conteúdo de molibdênio nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). An. Acad. Bras. Ci., 58:508, 1986.
- JACOB-NETO, J. & ROSSETTO, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. Flor. Amb., 5:171-183, 1998.
- MEIRELES, R.C.; REIS, L.S.; ARAÚJO, E.F.; SOARES, A.S.; PIRES, A.A. & ARAÚJO, G.A.A. Efeito da época e do parcelamento de aplicação de molibdênio, via foliar, na qualidade fisiológica das sementes de feijão. R. Ceres, 50:699-707, 2005.
- MENDEL, R.R. & HÄNSCH, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. J. Exper. Bot., 53:1689-1698, 2002.
- OLIVEIRA, W.S.; MEINHARDT, L.W.; SESSITSCH, A. & TSAI, S.M. Analysis of *Phaseolus-Rhizobium* interactions in a subsistence farming system. Plant Soil, 204:107-115, 1998.
- PESSOA, A.C.S.; RIBEIRO, A.C.; CHAGAS, J.M. & CASSINI, S.T.A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. R. Bras. Ci. Solo, 25:217-224, 2001.
- PESSOA, A.C.S.; RIBEIRO, A.C.; CHAGAS, J.M. & CASSINI, S.T.A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. R. Bras. Ci. Solo, 24:75-84, 2000.
- PIHA, M.I. & MUNNS, D.N. Nitrogen fixation potential of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) compared with other grain legumes under controlled conditions. Plant Soil, 98:169-182, 1987.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L. & OLIVEIRA, M.C.N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. R. Bras. Ci. Solo, 21:41-45, 1997.
- VADEZ, V.; BECK, D.P.; LASSO, J.H. & DREVON, J.J. Utilization of the acetylene reduction assay to screen for tolerance of symbiotic N₂ fixation to limiting P nutrition in common bean. Physiol. Plant., 99:227-232, 1997.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C. & CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. J. Plant Nutr., 21:169-180, 1998a.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C. & CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common bean. III. Effect on nodulation. J. Plant Nutr., 21:2153-2161, 1998b.
- VIKMAN, P.A. & VESSEY, J.K. The decline in N₂ fixation rate in common bean with the onset of pod-filling: Fact or artifact. Plant Soil, 147:95-105, 1992.