

NOTA

LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DE PALHA DE AVEIA PRETA (*Avena strigosa*) COM DIFERENTES TEORES DE SILÍCIO⁽¹⁾

L. S. SILVA⁽²⁾ & H. BOHNEN⁽³⁾

RESUMO

O Si absorvido pelas plantas é, em sua maior parte, depositado na parte externa da parede celular de folhas como uma camada de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e poderia afetar a decomposição da palha no solo. Com o objetivo de avaliar o efeito da presença deste elemento no tecido vegetal sobre a decomposição da palha, foi desenvolvido um experimento. Nesse experimento, a parte aérea de plantas de aveia preta, cultivadas em solução nutritiva com e sem adição de Si, foi incubada em tubos de PVC com areia e solo. Aos 6, 14, 30, 66, 100 e 182 dias, foram realizadas percolações com água destilada e determinados os teores de Si, carbono orgânico solúvel, N mineral, Ca, Mg, Na e K. Os resultados dos teores dos elementos na água percolada em cada período foram convertidos em quantidade liberada por kg de substrato (solo ou areia) e acumulados no tempo para serem utilizados como índices da decomposição da palha. Em todos os parâmetros avaliados, não houve diferença significativa entre a palha c/Si e s/Si, exceto para o teor de Si e este somente quando a palha foi decomposta na areia. O silício absorvido pelas plantas de aveia preta, quando comparado com plantas cultivadas sem adição deste elemento, não alterou a liberação de carbono e nutrientes presentes na água de percolação durante o período de 182 dias da decomposição da palha.

Termos de indexação: sílica, aveia preta, percolação.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado como resumo no XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (11 a 16/07/1999) Brasília (DF). Recebido para publicação em setembro de 1999 e aprovado em dezembro de 2000.

⁽²⁾ Doutorando em Ciência do Solo, Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: lssilva@vortex.ufrgs.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, PhD. Colaborador convidado. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. E-mail: bohnen@conex.com.br

SUMMARY: *OAT STRAW (Avena strigosa) NUTRIENT MINERALIZATION WITH DIFFERENT SILICON COMPOSITION*

Most of the silicon absorbed by plants remains deposited on the external part of the cell walls as a layer of amorphous silica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), probably affecting straw mineralization in soils. An experiment was performed with the aerial part of oat plants, cultivated in nutrient solution with and without silicon addition, to evaluate this hypothesis. Dried aerial parts of oat plants tissue was mixed with soil or washed quartz sand and placed in PVC tubes. Distilled water was percolated through the mixture at 6, 14, 30, 66, 100 and 182 days after the beginning of the experiment. Silicon, soluble organic carbon, mineral nitrogen, calcium, magnesium, sodium and potassium were analysed in the leachates. Results were calculated as the amount of the element liberated from the tissue per kg of substrate (soil or sand) and interpreted as an indication of straw mineralization. No differences were found between the amounts percolated from the oat straw with and without silicon, except for silicon in the sand treatments. It was concluded that, during the period considered (182 days), a greater silicon amount in the oat straw did not affect its mineralization.

Index terms: silica, oat, percolation.

INTRODUÇÃO

O manejo adequado dos resíduos culturais é uma ferramenta importante na conservação dos solos e na recuperação da capacidade produtiva de áreas degradadas (Mielniczuk, 1988). Atualmente, com a utilização de sistemas mais conservacionistas de preparo do solo, especialmente o sistema plantio direto, altera-se a dinâmica da decomposição da matéria orgânica e ocorre acúmulo de resíduos culturais sobre a superfície. A palha que é adicionada ao solo sofre decomposição pelos microrganismos e ocorre a mineralização dos elementos que compõem o material orgânico, liberando-os para a solução do solo. Na solução, os elementos entram em equilíbrio com as outras fases do solo e a análise da água de percolação poderia servir como um índice para avaliar indiretamente a dinâmica que envolve a sua liberação e a interação com outros componentes do sistema.

Nesse contexto, a qualidade química do material orgânico é um dos fatores que podem influir na taxa de decomposição da palha e na consequente liberação dos nutrientes mineralizados. O teor de sílica (SiO_2) já tem sido avaliado na caracterização da qualidade de resíduos vegetais de diferentes espécies submetidas à decomposição no solo (Tian et al., 1992). Entretanto, os autores não conseguiram concluir a respeito do efeito isolado do Si sobre a decomposição da palha. Isto se deve principalmente ao fato de as espécies com diferentes teores de Si também apresentarem diferentes teores de outros componentes importantes os quais influem sobremaneira na decomposição, como celulose e lignina e a relação C/N, daí a dificuldade em estudar o papel do Si neste processo.

O Si constitui aproximadamente 28% da composição da crosta terrestre e é o elemento mais abundante após o oxigênio (Heinen & Oehler, 1979). Não é considerado um elemento essencial às plantas superiores, mas tem sido citado como benéfico para o crescimento e, em algumas condições e para algumas espécies, pode ser considerado como essencial (Marschner, 1995). Este elemento é absorvido pelas raízes das plantas na forma de ácido monossilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$, podendo apresentar concentrações muito altas na parte aérea, em comparação com a maioria dos nutrientes essenciais. A concentração nas plantas é extremamente variável, podendo atingir até 10% da matéria seca em espécies como o arroz e menor que 0,5% em algumas leguminosas (Marschner, 1995). Essas diferenças ocorrem porque, em espécies que acumulam Si (arroz, trigo e cevada), o elemento é absorvido ativamente, enquanto, em outras espécies, como aveia, este elemento é absorvido passivamente via fluxo de massa (Mayland et al., 1991).

A maior parte do Si absorvido pelas plantas (90 a 95%) é depositada na parte externa da parede celular das células como uma fina camada de sílica amorfa (opala biogênica, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), após a perda da água pela transpiração, principalmente na epiderme das folhas (Lewin & Reimann, 1969). Esta camada que recobre a parede celular das células da epiderme em ambas as superfícies das folhas, juntamente com a camada de cutícula, funciona como uma barreira efetiva contra a perda de água pela transpiração e como proteção contra infecções por fungos (Lewin & Reimann, 1969; Marschner, 1995).

O efeito de altos teores de SiO_2 no tecido vegetal é conhecido na alimentação de ruminantes, pela redução da digestibilidade e palatabilidade de

forragens, principalmente em palha de arroz (van Soest, 1981). Assim, o Si absorvido pelas plantas e depositado na parede celular poderia funcionar como uma espécie de barreira, reduzindo a perda e, ou, o acesso ao material celular durante a decomposição da palha no solo.

O objetivo deste trabalho foi estudar se concentrações diferentes de Si no tecido vegetal de plantas de aveia alteram a liberação de carbono e nutrientes durante a decomposição da palha em areia e solo, medida por meio da análise da água de percolação.

MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de aveia preta (*Avena strigosa*), cultivar Comum (RS), foram cultivadas por 75 dias em vasos de sete litros que continham solução nutritiva completa (com as seguintes concentrações de N-NO₃, N-NH₄, P, K, Ca, Mg, S, Cl, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn de 3,0; 1,5; 0,5; 2,0; 1,5; 1,0; 1,0; 3,0; 0,023; 0,0047; 0,18; 0,0047; 0,00011; 0,0015 mmol L⁻¹, respectivamente) com e sem adição de Si (chamadas, neste trabalho, de c/Si e s/Si, respectivamente) na forma de sílica amorfa finamente moída (< 0,1 mm), equivalente a 1 g vaso⁻¹, mantendo uma concentração de equilíbrio na solução de 4 mg L⁻¹ de Si.

A parte aérea das plantas foi coletada, seca em estufa e moída. Da palha moída, foi selecionada a fração entre 0,1 e 0,5 mm para ser misturada, na quantidade equivalente a 5 g kg⁻¹, com areia (quartzítica lavada com água destilada até condutividade elétrica constante) e solo (seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm e pertencente à classe Argissolo Vermelho distrófico típico) que apresentavam pH em água (1:1) de 7,3 e 4,5 e teor de carbono de 0,2 e 9,4 g kg⁻¹, respectivamente.

As características químicas das palhas c/Si e s/Si encontram-se no quadro 1, analisadas após digestão com mistura de H₂SO₄ e H₂O₂ e determinação dos elementos, conforme descrição de Malavolta et al. (1989). O Si total foi analisado por espectrometria de absorção atômica após digestão do tecido com uma mistura de HF, HNO₃ e H₂O₂ (250 mg de amostra, 0,5 mL de H₂O, 5 mL de HNO₃, 0,5 mL de H₂O₂ e 2 mL de HF) em recipiente de teflon hermeticamente fechado e uso de microondas DET 100, com a seguinte programação de tempo (min): 5, 1, 4, 1, 3 nas respectivas potências (watts): 400, 790, 320, 790 e 000, conforme recomendação do fabricante (Provecto, s/d).

As amostras do solo ou da areia foram misturadas com cada tipo de palha e, em duas repetições, foram colocadas em tubo de PVC de 50 mm de diâmetro com 10 cm de altura até completar o volume dos tubos, tendo na parte inferior um tampão perfurado que continha uma tela de nylon (< 0,1 mm) e 1 cm

de areia. Também foram utilizados tubos somente com solo ou areia, sem palha. Em cada tubo com areia foram adicionados 2 mL de solução do solo, extraída por centrifugação, para fornecer microrganismos para decomposição do material. A areia e o solo nos tubos foram umedecidos com água destilada até atingir 14,5 e 12,0% de umidade gravimétrica, respectivamente, e mantidos em temperatura ambiente durante o período do experimento. A cada 10-15 dias, o teor de umidade foi mantido por meio de pesagens e adição de água destilada.

Aos 6, 14, 30, 66, 100 e 182 dias, foram realizadas percolações pela adição de 20 mL de água destilada e aplicada uma sucção (0,7 atm), utilizando uma bomba de vácuo conectada a um frasco kitassato que dispunha, na parte superior, de um funil revestido de silicone para encaixar o tubo de PVC, até recolher aproximadamente 20 mL de percolado.

Na água percolada, foram determinados o pH e a condutividade elétrica (CE), e retirada uma alíquota para análise de carbono orgânico solúvel e particulado menor que 0,1 mm por colorimetria (580 nm) após digestão da amostra por 4 h a 60°C com uma mistura sulfocrômica (relação amostra:mistura de 1:1) de K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ contendo 80 mL de H₂SO₄ concentrado com uso de um fator 1,35 em relação à curva de glicose, procedimento correlacionado (r = 0,997) com o método descrito em Moore (1985). O restante do percolado foi filtrado com filtro 0,2 µm versapor (Gelman Sciences Inc.) para análises dos teores de N mineral (destilação em micro-Kjeldahl), Ca, Mg e Si (espectrometria de absorção atômica), e Na e K (fotometria de chama).

Para corrigir a diferente quantidade de substrato nos tubos, as quantidades dos elementos liberados em cada período, considerando a concentração no percolado e a massa de substrato em cada tubo, foram convertidas em mg kg⁻¹ de substrato (solo ou areia) para ser utilizado como índices da sua liberação durante a decomposição da palha. Os valores das médias de cada percolação no solo e na areia foram acumulados no tempo. Os tratamentos

Quadro 1. Características químicas da palha de aveia preta (fração entre 0,1 e 0,5 mm) cultivada em solução nutritiva com e sem adição de Si

Palha	Si	C	N	P	K	Ca	Mg	Na
Sem Si	1,4	419	37	8,3	52	5,4	3,6	4,9
Com Si	5,7	408	33	8,0	49	4,5	3,5	5,2

foram arranjados em um fatorial cruzado fixo completamente casualizado, considerando como fatores o substrato (solo e areia) e a palha (sem palha, palha s/Si e palha c/Si). Após a análise de variância da interação substrato vs palha ($P < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pela Diferença Mínima Significativa (DMS) em cada período de avaliação, obtida pelo teste de Tukey a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da quantidade liberada de Si, acumulados ao longo do período de avaliação, encontram-se na figura 1. Na areia, a palha c/Si liberou maior quantidade de Si em relação a palha s/Si em todos os períodos de avaliação, resultado da diferente acumulação do elemento no tecido das plantas de aveia (Quadro 1). Korndörfer et al. (1999) encontraram relação significativa entre a disponibilidade de Si no solo, avaliada por diferentes métodos, e a acumulação de Si pela parte aérea de plantas de arroz. Apesar de a aveia absorver Si passivamente (Mayland et al., 1991), o cultivo das plantas com e sem a adição de Si na solução nutritiva refletiu no teor no tecido e na quantidade liberada durante a decomposição da palha. Entretanto, as quantidades percoladas na areia são parecidas e correspondem a 34 e 39% do Si adicionado pela palha s/Si e c/Si, respectivamente.

A maior taxa de liberação pela palha c/Si nos primeiros 30 dias (57% do total percolado na areia) pode estar relacionada com formas de ácido silícico livre ou compostos de Si de baixo peso molecular,

constituindo material citoplasmático (Lewin & Reimann, 1969; Ma & Takahashi, 1989). Entre os 30 e 182 dias de decomposição, a liberação do elemento ocorreu em uma taxa constante, o que pode estar associado à mineralização dos constituintes do tecido vegetal, pois, de acordo com Lewin & Reimann (1969), parte da sílica na planta encontra-se fortemente ligada à celulose e só pode ser separada desta após a celulose ser mineralizada.

Quando decomposta no solo, a palha c/Si apresentou no percolado somente 36% da quantidade de Si liberada na areia após os 182 dias de decomposição e, neste período, não foi significativamente diferente da liberada pela palha s/Si ou mesmo no solo sem adição de palha. Esse comportamento pode ser atribuído à presença de óxidos e filossilicatos, comuns no sistema solo, que apresentam reações de adsorção do elemento na superfície desses minerais, exercendo papel determinante na solubilidade do Si (Elgawhary & Lindsay, 1972; Drees et al., 1989). Além disso, o produto de solubilidade da sílica é baixo (Drees et al., 1989) e, portanto, pode ser facilmente atingido na solução do solo.

Para o carbono orgânico e o nitrogênio mineral, as quantidades liberadas pela palha c/Si na areia e no solo não foram significativamente diferentes das quantidades liberadas pela palha s/Si, acumuladas ao final de 182 dias de decomposição (Quadro 2). No quadro 2, encontram-se as quantidades de Ca, Mg, K e Na liberadas pelas palhas s/Si e c/Si, acumuladas ao final de 182 dias de decomposição. Tanto na areia como no solo, as quantidades liberadas pela palha c/Si para os quatro elementos também não foram significativamente diferentes das quantidades liberadas pela palha s/Si.

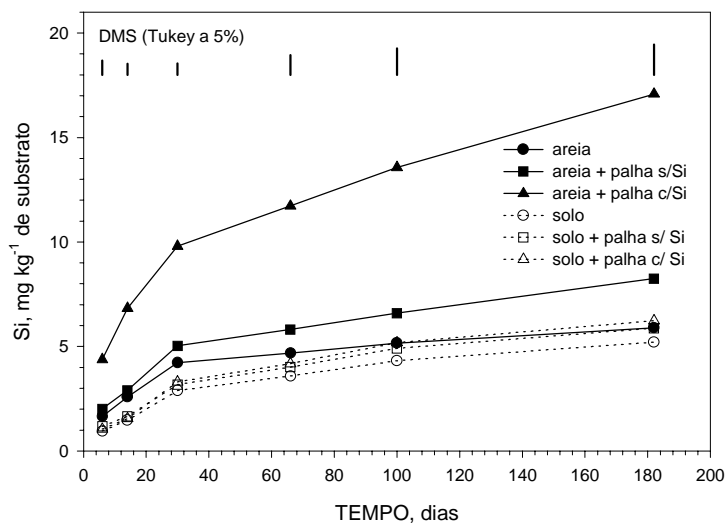


Figura 1. Quantidade de Si liberado com a água de percolação, acumulada de seis coletas durante 182 dias da decomposição de palha de aveia cultivada, com e sem adição de Si (c/Si e s/Si, respectivamente), em tubos que continham areia e solo.

Quadro 2. Quantidade de C, N, Ca, Mg, K e Na, liberados com a água de percolação, acumulada de seis coletas durante 182 dias da decomposição de palha de aveia cultivada, com e sem Si, em tubos que continham areia e solo

Tratamento	Carbono	Nitrogênio	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio
	mg kg ⁻¹ de substrato					
Areia	9,0 b	3,3 b	9,0 b	2,7 b	3,5 b	2,3 b
Areia + palha s/Si	143,4 a	90,6 a	24,2 a	18,8 a	267,6 a	25,8 a
Areia + palha c/Si	150,0 a	103,6 a	27,0 a	19,7 a	274,7 a	26,9 a
Solo	32,4 a	36,1 b	27,1 b	12,1 b	8,0 b	2,2 b
Solo + palha s/Si	27,4 a	123,6 a	83,8 a	39,2 a	109,3 a	19,9 a
Solo + palha c/Si	29,3 a	122,9 a	83,4 a	39,1 a	110,0 a	20,1 a

Médias seguidas de letras distintas, na mesma coluna e para o mesmo substrato, diferem-se significativamente entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Ao contrário do pressuposto e considerando os parâmetros avaliados, o Si presente no tecido de plantas de aveia preta cultivadas em solução nutritiva com adição deste elemento não alterou a quantidade de carbono, nitrogênio mineral, cálcio, magnésio, sódio e potássio liberados com a água de percolação durante o período de 182 dias da decomposição da palha, quando comparado com o tecido de plantas cultivadas sem adição deste elemento.

Esses resultados mostram que, apesar de ter sido o Si absorvido pelas plantas e possivelmente ter sido depositado na parede celular das células, poderia ainda não encontrar-se como um depósito rígido nas folhas mais jovens (Lewin & Reimann, 1969) e não causar o efeito esperado. Outra possibilidade estaria relacionada com a pequena quantidade de Si acumulado pelas plantas de aveia, considerada insuficiente para afetar a decomposição da palha. Dessa forma, o efeito do Si na redução da decomposição somente poderia ser observado em espécies acumuladoras desse elemento, com altos teores de SiO₂ no tecido vegetal (como o arroz).

Estudos futuros ainda devem considerar que parte do Si não foi liberada com a água de percolação no período de 182 dias (61% na areia + palha c/Si), que poderia estar tanto fazendo parte da fase mineral, contribuindo para controlar a disponibilidade de Si no sistema, como associado ao material orgânico mais recalcitrante que permanece nos substratos (principalmente compostos da parede celular).

CONCLUSÕES

1. As diferentes concentrações de silício presentes nos tecidos de aveia, cultivada durante 75 dias com e sem adição deste elemento, não alteraram a liberação de carbono e nutrientes presentes na água de percolação, durante o período de 182 dias da decomposição da palha.

LITERATURA CITADA

- DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & SENKAYI, A.L. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Mineral in soil environments. 2.ed. Wisconsin, Soil Science Society of American, 1989. p.913-974.
- ELGAWHARY, S.M. & LINDSAY, W.L. Solubility of silica in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:439-442, 1972.
- HEINEN, W. & OEHLER, J.H. Evolutionary aspects of biological involvement in the cycling of silica. In: TRUDINGER, P.A. & SWAINE, D.J., eds. Biogeochemical cycling of mineral-farming elements. Amsterdam, Elsevier, 1979. p.431-441.
- KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H. & MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23:101-106, 1999.
- LEWIN, J. & REIMANN, B.E.F. Silicon and plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol., 20:289-304, 1969.
- MA, J. & TAKAHASHI, E. Release of silicon from rice straw under flooded conditions. Soil Sci. Plant Nutr., 35:663-667, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1995. 889p.
- MAYLAND, H.F.; WRIGHT, J.L. & SOJKA, R.E. Silicon accumulation and water uptake by wheat. Plant Soil, 137:191-199, 1991.
- MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas a produtividade, conservação e recuperação de solos. In: MONIZ, A.C., coord. A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.109-116.

- MOORE, T.R. The spectrophotometric determination of dissolved organic carbon in peat waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1590-1592, 1985.
- PROVETTO. Métodos para digestão de amostras. Provetco Sistemas Analíticos, s.d. 220p.
- TIAN, G.; KANG, B.T. & BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1051-1060, 1992.
- van SOEST, P.J. Limiting factors in plant residues of low biodegradability. *Agric. Environ*, 6:135-143, 1981.