

EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE A FOTOSSÍNTSE EM DOIS CULTIVARES DE SORGO^{1/}

José Cambraia^{2/}

José Pires de Lemos Filho^{2/}

Marco Antonio Oliva^{3/}

Marcio de Moura Estevão^{2/}

1. INTRODUÇÃO

Alumínio é um dos mais importantes fatores que limitam o crescimento e o desenvolvimento das plantas nas extensas áreas de solos ácidos do cerrado brasileiro (18).

Embora não se conheça o mecanismo exato da ação tóxica do alumínio, sabe-se que a fotossíntese pode ser um dos primeiros processos a ser influenciado (4). Trabalhos relativos ao assunto são pouco numerosos, contudo deixam transparecer que o alumínio pode ter efeitos diretos e indiretos sobre a fotossíntese. Ele poderia agir diretamente modificando a estrutura do envelope cloroplastídico ou do sistema lamelar (12), o mecanismo de abertura estomática (21) e, provavelmente, inibindo a atividade de certas enzimas envolvidas no metabolismo cloroplastídico. Indiretamente, sua ação se faria sobretudo pela indução de deficiência de elementos minerais essenciais (3, 6, 7, 17, 19).

Considerando a importância da fotossíntese na produtividade primária das plantas e na tentativa de elucidar alguns aspectos da tolerância das plantas ao alumínio, resolveu-se estudar o efeito desse elemento sobre alguns componentes ligados à assimilação do CO₂ em dois cultivares de sorgo.

^{1/} Parte da tese apresentada à U.F.V., pelo segundo autor, como parte das exigências do curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal.

Recebido para publicação em 10-11-1982.

^{2/} Departamento de Biologia Geral da U.F.V., 36 570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Biologia Vegetal da U.F.V., 36 570 Viçosa, MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados nos experimentos dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) obtidos do Centro Nacional de Pesquisas de Milho e de Sorgo, Sete Lagoas, MG, sendo um tolerante (CMSxS-106) e um sensível (CMSxS-903) ao alumínio.

Plântulas de 19 dias de idade foram submetidas em solução nutritiva de Clark pH 3,8 (9), a 0,2,4,6, e 8 ppm de alumínio na forma de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, durante 6 dias, de acordo com metodologia já descrita (7).

Decorrido esse tempo, uma das plântulas foi removida para determinação da produção de matéria fresca e seca e da atividade das enzimas catalase, peroxidase e polifenoloxidases. Para a determinação da atividade dessas enzimas, preparou-se um extrato enzimático pela homogeneização de 500 mg de tecido foliar fresco, obtido da sexta e/ou sétima folhas, em 10 ml de tampão fosfato 0,1 M, pH 6,8. O homogeneizado foi filtrado através de quatro camadas de gaze e submetido à centrifugação, a 17.000 xg, durante 15 minutos, em centrífuga sob refrigeração. O sobrenadante foi utilizado para a avaliação das atividades da catalase, da peroxidase e das polifenoloxidases, segundo descrição de KAR e MISHA (14).

A outra plântula, depois de permanecer um dia numa sala com condições, parcialmente controladas (temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar em torno de 70% e densidade de fluxo luminoso de $1,5 \text{ mw.cm}^{-2}$, aproximadamente), foi utilizada para a determinação da taxa de fotossíntese pelo método potenciométrico, conforme descrito por CASTRO (8). Utilizaram-se a sexta e/ou sétima folhas, que foram expostas a uma densidade de fluxo luminoso de 87 mw.cm^{-2} , à temperatura de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50 \pm 5\%$. Os teores de clorofila foram determinados em discos foliares pelo método de ARNON (2).

3. RESULTADOS

A taxa de fotossíntese decresceu com o aumento dos níveis de alumínio na solução nutritiva, tendo sido o cultivar sensível mais influenciado que o tolerante (Figura 1).

As taxas de fotossíntese foram relativamente baixas neste experimento, provavelmente por terem sido incluídas na câmara de medição folhas ainda muito jovens, que apresentavam baixos valores de fotossíntese líquida. Apesar disso, as taxas foram suficientemente altas para que se detectassem os efeitos do alumínio.

Os teores de clorofila, também, sofreram uma redução, com o aumento dos níveis de alumínio na solução nutritiva, e o cultivar sensível foi mais influenciado que o tolerante (Figura 2). A razão clorofila a/clorofila b contudo não se modificou, indicando que as sínteses destas moléculas foram igualmente influenciadas.

Em decorrência destes efeitos sobre o processo fotossintético, a produção de matéria seca, no sistema radicular e na parte aérea, também decresceu, com o aumento do nível de alumínio na solução nutritiva, nos dois cultivares (Figura 3). Em ambas as partes da planta, o cultivar sensível apresentou maior redução na produção de matéria seca.

Resultados semelhantes foram obtidos por SILVA (22), que observou redução na quantidade de $^{14}\text{CO}_2$ incorporada e na fração de fotoassimilados translocados para as raízes de plantas de *Stylosanthes guianensis*, submetidas a níveis tóxicos de alumínio.

O teor de alumínio nas folhas atingiu valores de até 4,4 ppm na matéria fresca. Nesta concentração o alumínio pode influenciar no movimento estomático, resultando disso aumento na resistência à difusão do CO_2 e, consequentemente, uma redução na taxa de fotossíntese (21). Um efeito mais direto sobre a fotossíntese

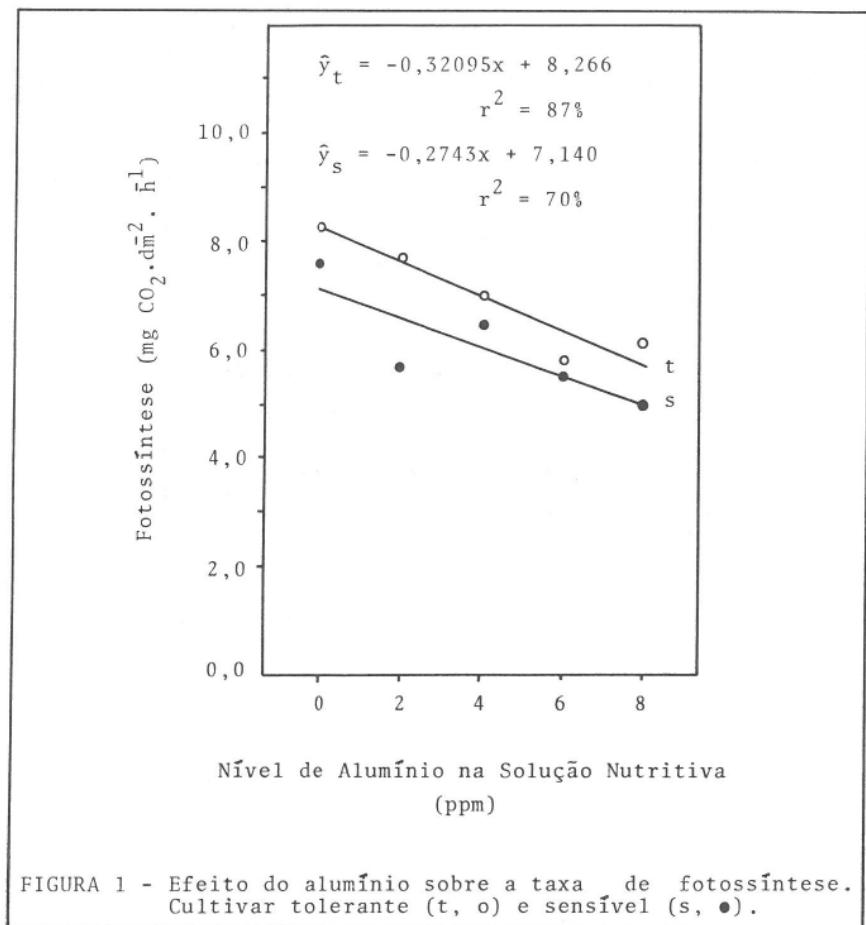


FIGURA 1 - Efeito do alumínio sobre a taxa de fotossíntese. Cultivar tolerante (t, o) e sensível (s, ●).

foi demonstrado por HAMPP e SCHNABL (12), ao verificarem, em cloroplastos isolados de espinafre, que o nível de 2,7 ppm de alumínio causaram uma redução de 60% na fixação de CO₂. A inibição não foi acompanhada por um decréscimo proporcional nas atividades das enzimas carboxilase da ribulose-1,5-bifosfato e cinase da ribulose-5-fosfato, sendo, por isso, atribuída a uma desintegração do envelope cloroplastídico.

Por outro lado, sabe-se que deficiências minerais causam, quase que invariavelmente, diminuição da taxa de fotossíntese (3, 17, 19). Como os teores de Fe, de Mg, de Cu, de Mn, elementos minerais ligados ao processo fotossintético, diminufram na parte aérea dos dois cultivares, quando tratados com alumínio (7); acredita-se que estes sejam também componentes importantes relacionados com a diminuição da taxa de fotossíntese.

A presença do alumínio na solução nutritiva não influenciou a atividade da peroxidase, mas reduziu significativamente as atividades da catalase e das polifenoloxidases, embora os cultivares não tenham diferido entre si (Quadro 1).

Sob certas circunstâncias, o O₂ pode competir com o NADP, como receptor dos elétrons da ferredoxina, resultando na formação e no acúmulo de H₂O₂ nos

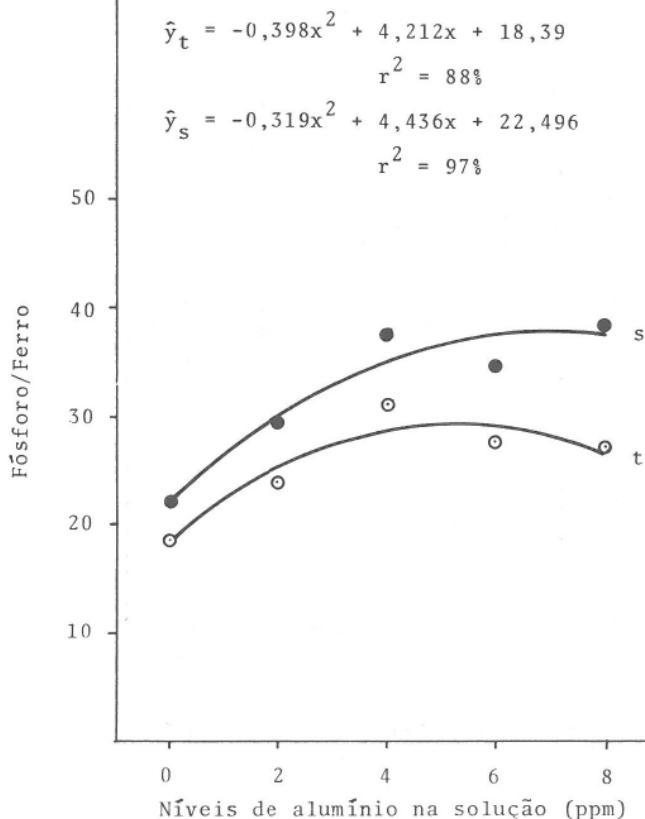


FIGURA 2 - Efeito do alumínio sobre a razão fósforo/ferro na parte aérea: cultivar tolerante (t, ○) e sensível (s, ●).

tecidos (16). Este acúmulo pode, dentre outros efeitos, inibir a fotossíntese pela inibição das enzimas desidrogenase do gliceraldeído-3-fosfato, fosfatase da frutose 6-P e bifosfatase da sedoheptulose (20).

Normalmente, os peróxidos são mantidos abaixo de níveis inibitórios pela atividade das enzimas catalase e/ou peroxidase (1).

As polifenoloxidases, por outro lado, formam um grupo de enzimas capazes de catalisarem a oxidação de vários tipos de fenóis. Podem ser encontradas livres ou presas a membranas, principalmente nos cloroplastos e, embora suas funções não estejam bem esclarecidas (15), acredita-se que possam estar envolvidas na formação de quinonas, receptores naturais dos elétrons para a oxidação do glicolato (10).

A catalase e a peroxidase, que contêm o ferro e as polifenoloxidases o cobre como grupos prostéticos, têm suas atividades dependentes desses e de outros elementos minerais (2, 6, 11). Assim, sem descartar a possibilidade de um efeito direto do alumínio sobre essas enzimas, pelo menos indiretamente, pode-se aceitar

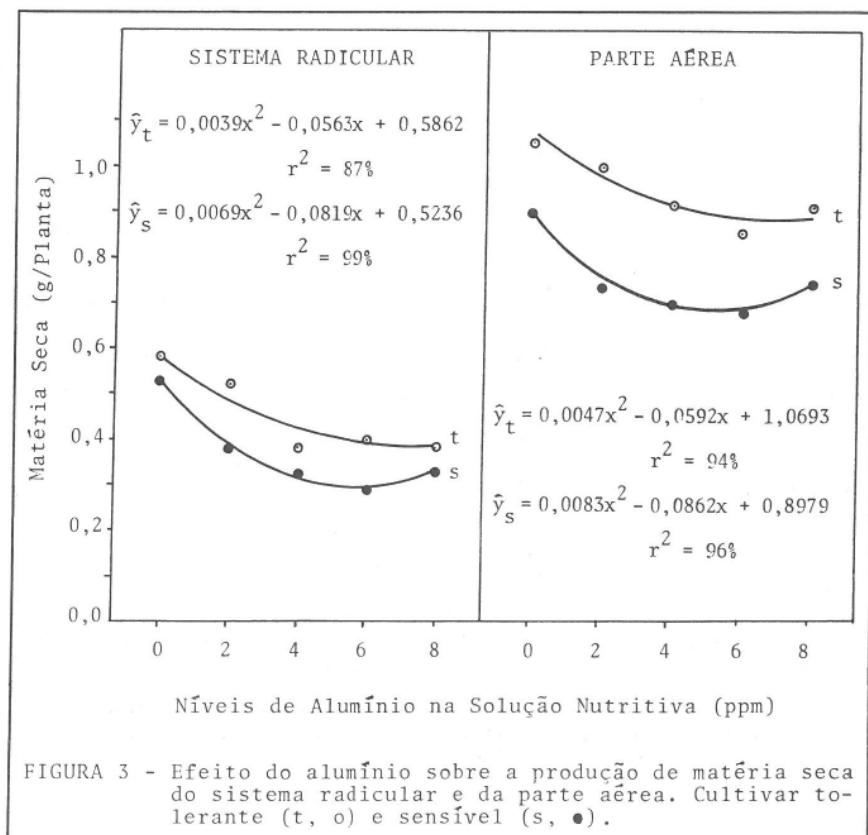


FIGURA 3 - Efeito do alumínio sobre a produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea. Cultivar tolerante (t, o) e sensível (s, ●).

um efeito deste elemento. Isto porque as deficiências minerais induzidas por ele reduzem a atividade das mencionadas enzimas, causando um acúmulo de H_2O_2 e/ou outros substratos com prováveis efeitos na fotossíntese (2, 20), na fotorespiração (13), na respiração (2) e nos processos de senescência (5).

4. RESUMO

Os efeitos do alumínio na produção de matéria seca, taxa de fotossíntese, teor de clorofila e atividade de certas oxidases, potencialmente relacionadas com a fotossíntese pela reação de MEHLER, foram estudados em dois cultivares de sorgo, que diferem na sensibilidade a esse elemento.

A taxa de fotossíntese e os teores de clorofila decresceram com o aumento do nível de alumínio, na solução nutritiva, tendo esses parâmetros sido mais reduzidos no cultivar sensível; entretanto a razão clorofila a/ clorofila b não foi alterada. A diminuição da taxa fotossintética causada pela toxidez de alumínio, por interferência direta no aparelho fotossintético ou pela indução de deficiências nutricionais, resultou numa menor produção de matéria seca, nos dois cultivares, nas duas partes da planta, notadamente no sistema radicular.

Observou-se, ainda, uma redução nas atividades da catalase e das polifenoloxidases nos dois cultivares; a atividade da peroxidase não foi alterada. Admitiu-

QUADRO 1 - Efeito do alumínio sobre as atividades da catalase, da peroxidase e das polifenoloxidases

| Enzimas | Nível de Alumínio (ppm) | Atividade Enzimática 1/ | |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------|
| | | Sensível | Tolerante |
| Catalase | 0 | 1,16 a A ^{2/} | 1,21 a A |
| | 6 | 0,99 b A | 1,08 b A |
| Peroxidase | 0 | 0,99 a A | 1,09 a A |
| | 6 | 0,79 a A | 0,93 a A |
| Polifenoloxidases | 0 | 0,98 a A | 0,90 a A |
| | 6 | 0,71 b A | 0,79 b A |

1/ Atividade da catalase em micromoles de H_2O_2 degradada/minuto e atividades da peroxidase e das polifenoloxidases em unidades de absorvância a 420 nm/minuto.

2/ As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de F a 5% de probabilidade.

se que, mesmo que esses efeitos sejam indiretos, em razão das deficiências minerais, a observada redução da atividade destas enzimas poderá causar acúmulo de H_2O_2 , com implicações na fotossíntese, na respiração e nos processos de senescência.

5. SUMMARY

The effects of aluminum (0, 2, 4, 6 and 8 ppm) on photosynthesis rate, chlorophyll content, dry weight and activity of some oxidases were studied in two cultivars of sorghum, one Al-tolerant (CMS X S — 106) and one Al — sensitive (CMS X S — 903).

Photosynthesis rate and chlorophyll content decreased with Al level in nutrient solution, mainly in the Al — sensitive cultivar. The chlorophyll a/ chlorophyll b ratio did not change with Al treatment. Thus, the observed decrease in dry weight, especially in the root system of the Al — sensitive cultivar, may be the result of a direct or an indirect effect of Al on the photosynthetic apparatus.

Catalase and polyphenoloxidases activities were also reduced in the presence of toxic levels of Al while peroxidase activity was not altered. The cultivars did not differ significantly. Aluminum inhibition of these enzymes results in the accumulation of H_2O_2 and/or other compounds with effects not only on photosynthesis but also on respiration and senescence.

6. LITERATURA CITADA

1. ALLEN, J.F. Oxygen — a physiological electron acceptor in photosynthesis? *Cur. Adv. Plant Sci.*, 29:459-469, 1977.
2. ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24:1-15, 1949.
3. BAKER, A.V. Nutritional factors in photosynthesis of higher plants. *J. Plant Nutr.* 1:309-342, 1979.
4. BOYER, J.S. & YOUNIS, H.M. Measurement of photosynthesis as a way to assess phytoxicity. *J. Environ. Sci. Health*, B15:1099-1104, 1980.
5. BRENNAN, T. & FRENKEL, C. Involvement of hydrogen peroxide in regulation of senescence in pear. *Plant Physiol.*, 59:411-416, 1977.
6. BROWN, J.C. & STEINBERG, R.A. Iron and copper enzymes in leaf lamina of tobacco, when deficient in micronutrients or grown on calcareous and organic soils. *Plant Physiol.* 28:488-494, 1953.
7. CAMBRAIA, J., LEMOS FILHO, J.P., ESTEVÃO, M.M. & OLIVA, M.A. Efeito do alumínio sobre os teores de Mg, Fe, Mn e Cu em sorgo *Rev. Ceres*, 30 (167): 45-54. 1983.
8. CASTRO, T.A.P. *Efeito do deficit hídrico sobre a fotossíntese e a respiração em Phaseolus vulgaris L. e Phaseolus bractiolatus D.C.* Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1977 (Tese de Mestrado).
9. CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.* 23:458-460, 1975.
10. CODD, G.A. & SCHMID, G.H. On the acceptor specificity of glycolate oxidases of *Nicotiana tabacum*. *Planta*, 99:230-239, 1971.
11. DeKOCK, P.C., COMMISSIONG, K., FARMER, V.C. & INKSON, R.H.E. Interrelationships of catalase, peroxidase, hematin and chlorophyll. *Plant Physiol.*, 35:599-604, 1960.
12. HAMPP, R. & SCHNABL, H. Effect of aluminum ions on $^{14}\text{CO}_2$ fixation and membrane system of isolated spinach chloroplasts. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.*, 76:300-306, 1975.
13. HATCH, M.D. Photosynthesis: the path of carbon. In: Bonner, & Varner, J.E., ed. *Plant Biochemistry*, N. York, Academic Press, 1976. p. 797-844.
14. KAR, M. & MISHA, D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiol.*, 57:315-319, 1976.
15. MAYER, A.M. & HAREL, E. Polyphenoloxidases in plants. *Phytochem.*, 18: 193-215, 1979.

16. MEHLER, A.H. Studies on reaction of illuminated chloroplasts. I. Mechanism of the reduction of oxygen and other Hill reagents. *Arch. Bioch. Biophys.*, 33: 65-77, 1951.
17. NATR, L. Influence of mineral nutrients on photosynthesis of higher plants. *Photosynthetica*, 6:80-99, 1972.
18. OLmos, J.I.L. & CAMARGO, M.C. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, 28: 171-180, 1976.
19. PIRSON, A. Functional aspects in mineral nutrition in green plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 6: 71-114, 1955.
20. ROBINSON, J.M., SMITH, M.G. & GIBBS, M. Influence of hydrogen peroxide upon carbon dioxide photoassimilation in the spinach chloroplast. *Plant Physiol.*, 65: 755-759, 1980.
21. SCHNABL, H. & ZIEGLER, H. Der Einfluss des Aluminiums den Gasaustausch und das Welken von Schnittpfanzen. *Berl. Dtsch. Bot. Ges.*, 87: 13-19, 1974.
22. SILVA, M.A.P. *A translocação de assimilados e a fixação de dinitrogénio em plantas de Stylosanthes guianensis (Aubl.) Sw. submetidas a diferentes níveis de alumínio*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1981, 39 p. (Tese M.S.)