

ATIVIDADES ENZIMÁTICAS, PARTIÇÃO DE CARBOIDRATOS E CRESCIMENTO EM PROGÊNIES DE ALGODOEIRO SELECIONADAS PARA ALTO E BAIXO TEOR DE AMIDO NAS RAÍZES¹

JOSÉ GOMES DE SOUZA² e JORGE VIEIRA DA SILVA³

RESUMO - Duas seleções para alto e baixo teor em amido nas raízes do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), assim como a população original, foram estudadas num experimento em casa de vegetação. Na população alto amido na raiz, a atividade amilolítica nas folhas aumentou, e diminuiu na seleção para baixo amido, facilitando, assim, na primeira, a exportação de assimilados, e reduzindo-a na última. No tronco, a atividade de β -amilase aumentou na população baixo amido, e nas raízes foi a atividade da invertase que aumentou na mesma população, o que representa a baixa disponibilidade de assimilados nessa seleção. Estas manipulações resultaram em mudanças no crescimento nas duas seleções, menor na de alto amido, e maior na de baixo amido, enquanto que a precocidade da frutificação aumentou e a área foliar diminuiu na seleção para alto amido. Discute-se a consequência destas modificações para a resistência à seca.

Termos para indexação: translocação, reservas, amilase, invertase, algodoeiro.

ENZYMATIC ACTIVITIES, CARBOHYDRATE PARTITION AND GROWTH IN COTTON PROGENIES SELECTED FOR HIGH AND LOW STARCH CONTENT IN THE ROOTS

ABSTRACT - Two selections for high and low starch content in the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) roots and the original population were studied in a greenhouse experiment. In the high root starch population amylolytic activities in the leaves were increased, and decreased in the low starch population facilitating the export of assimilates in the former and reducing it in the later. In the stem β -amylase increased in the low starch population, and in roots it was the invertase activity that increased in the low starch population. These activities in stems and roots are linked with a decrease of starch content and represent the low availability of assimilates in the low starch selection. These genetic manipulations resulted in changes in the growth of both selected populations, being reduced in the high starch and increased in the low starch selections, whereas earliness of fruiting and reduction in the leaf area occurred in the high starch and the opposite result in the low starch population. The importance of these changes for drought resistance is discussed.

Index terms: translocation, reserves, amylases, invertase, cotton.

INTRODUÇÃO

Embora a distribuição dos carboidratos no algodoeiro tenha sido estudada por muito tempo (Masson & Maskell 1928), ainda são poucos

os resultados que mostram a sua importância, influenciando as características agronômicas das plantas. No algodoeiro, os níveis e distribuição dos carboidratos são muito variáveis, além de apresentar pequenas reservas (McArthur et al. 1975). Por outro lado, Mauney et al. (1976) afirmaram que o acúmulo de amido na folha do algodoeiro implica na inibição da fotossíntese.

Estudos mais recentes mostraram a importância da distribuição da matéria seca na planta do algodoeiro e a importância no rendimento (Meredith Junior & Wells 1989). Alguns

¹ Aceito para publicação em 24 de fevereiro de 1992.

² Eng.-Agr. EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNP), Caixa Postal 174, CEP 58100, Campina Grande, PB.

³ Eng.-Agr., Prof., Universidade Paris VII, 2, Place Jussieu, 70005, Paris - França. Consultor do Programa IICA/EMBRAPA.

resultados confirmaram também a relação existente entre as enzimas amilolíticas e o transporte dos carboidratos (Souza & Silva 1987), Morby 1981) e que a β -amilase e invertase são enzimas citoplasmáticas (Silva & Poisson 1969). Souza & Silva (1987), trabalhando com duas variedades de algodoeiro, relataram que a variedade anual mais produtiva apresentava maior atividade de β -amilase e invertase em relação à arbórea de menor rendimento.

No algodoeiro, após a fixação do gás carbônico, em menos de duas horas, 75% dos açúcares são transportados das folhas, e 40% a 50% desse carbono assimilado se encontra na forma de amido. Os produtos assimilados são armazenados temporariamente por cerca de seis horas nas folhas e liberados progressivamente durante a noite. Vinte e quatro horas após a assimilação, só restam 10% dos assimilados originais (Parry 1982). Cerca de 90% dos compostos assimilados ficam nos ramos frutíferos, onde são formados (Ashley 1972). As maçãs são alimentadas preferencialmente a partir de folha situada no mesmo nó (Brown 1973), mas também recebem assimilados de brácteas, das folhas vizinhas e das do caule, situadas em cada ramo frutífero. Na ausência da folha correspondente à maçã, as situadas mais distantes podem parcialmente contribuir na alimentação. Por outro lado, as raízes recebem produtos da fotossíntese, principalmente das folhas mais inferiores da planta (Parry 1982).

O melhoramento para assimilação dos produtos fotossintéticos só pode ser considerado por vias indiretas, buscando a área foliar mais útil e aumentando a taxa de fotossíntese líquida. A seleção pode incrementar o rendimento líquido do processo fotossintético, melhorar o transporte dos produtos assimilados das folhas para as maçãs, e uma maior penetração dos raios solares onde está a maior parte das maçãs, através da modificação da estrutura da planta.

Trabalhos de Guinn et al. (1976) verificaram que aumentando a fixação do carbono no algodoeiro implicava efetivamente no incremento do rendimento. Dobrando o teor de gás carbônico do ar, a fotossíntese teve aumento de 31% a 65% e o peso seco das cápsulas de 65%.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da seleção na partição dos carboidratos e algumas mudanças fenotípicas e fisiológicas no algodoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento em cvasa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, com três genótipos e cinco repetições. Após o desbaste, cada unidade experimental apresentou uma planta por vaso com capacidade para 7 kg de solo. Foram utilizados os genótipos de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch): SU-AA₄, resultante de quatro ciclos de seleção recorrente para aumentar as reservas amiláceas na raiz; SU,BA₄, selecionado com quatro ciclos para diminuir essas reservas e SU 0450/8909 (genótipo original), sem seleção. A seleção para alto e baixo amido na raiz foi realizada antes da floração das plantas. Retirou-se de cada planta, em uma população de 200 plantas, 10 cm da raiz principal. Em amostra seca de 0,1 g, foi determinado o teor de amido. Vinte por cento das plantas dessa população com maior ou menor teor de amido na raiz foram intercruzadas, obtendo-se o primeiro ciclo para alto ou baixo teor de amido nas raízes. Os demais ciclos seguiram a mesma metodologia. Aos 57 dias após o plantio, foram medidos: amilase, invertase, amido e açúcares solúveis na folha do caule do primeiro ramo frutífero e na casca do caule e raiz. Aos 110 dias mediram-se altura de planta, área foliar e número de nós para o aparecimento do primeiro ramo frutífero.

As atividades de β -amilase e invertase foram determinadas respectivamente a pH 4,5 e 5,0, seguindo a metodologia de Bernfeld (1955); a redução dos açúcares solúveis foi avaliada através do ácido dinitrossalicílico. Os açúcares solúveis foram extraídos com álcool etílico a 80%, e o resíduo contendo amido foi hidrolizado com ácido perclórico a 35%. Tanto os açúcares como o amido foram dosados colorimetricamente, com o uso da antrona, seguindo os métodos gerais de análise propostos por Ashwell (1957) e McCready et al. (1950).

A análise estatística do número de nós para o aparecimento do primeiro ramo frutífero foi efetuada com uma transformação da variável usando-se $\sqrt{x + 1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da seleção recorrente em direções opostas para aumento e diminuição do teor de amido na raiz do algodoeiro da população SU 0450/8909 (Souza et al. 1983) conduziu ao aumento do teor de amido de 143,6 mg/g m.s. para 210,1 mg/g m.s. e à diminuição na linha baixo amido para 105,1 mg/g m.s. (Tabela 1). Esta seleção diminuiu consideravelmente a atividade amilolítica da folha na seleção baixo amido na raiz, e aumenta-a na seleção alto amido (Tabela 2). Assim, os produtos da fotossíntese são

mais facilmente transportados para o órgão de reserva: a raiz. No caule, no entanto, as modificações da β -amilase vão no sentido oposto, mas a atividade geral é consideravelmente menor. Na raiz, apenas a atividade da invertase foi afetada, sendo maior na seleção baixo amido (Tabela 2), fazendo pensar que a falta de carboidratos vindos da folha na seleção baixo amido exarceba as enzimas responsáveis pela mobilização e transferência (Evans 1975).

Esta situação tem consequências morfogênicas importantes e de grande interesse biológico e agrônomico. A seleção baixo amido da raiz,

TABELA 1. Valores médios de açúcares solúveis e amido (mg . glucose . g⁻¹ . MS⁻¹) na folha do caule no primeiro ramo frutífero e na casca do caule e raiz, aos 57 dias. Campina Grande, PB, 1990.

Genótipos selecionados	Folha		Caule		Raiz	
	Açúcares	Amido	Açúcares	Amido	Açúcares	Amido
SU 0450/8909	77,65 a	119,37 a	297,52 a	108,40 b	328,55 ab	143,6 b
SU.BA ₄	85,83 a	135,66 a	267,90 a	110,38 ab	258,95 b	105,1 b
SU.AA ₄	73,96 a	134,72 a	302,43 a	120,90 a	378,45 a	210,1 a
C.V. (%)	16,47	23,39	18,78	8,29	18,84	22,29
M.G.	79,15	129,92	289,28	113,37	321,98	152,9

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a nível de 5%, pelo teste de Tukey.

TABELA 2. Valores médios das atividades de β -amilase e invertase (μ g . glucose . cm² . sup. foliar . h⁻¹) na folha do caule no primeiro ramo frutífero e na casca do caule e raiz (mg . glucose . g . MS⁻¹ . h⁻¹), aos 57 dias. Campina Grande, PB, 1990.

Genótipos selecionados	Folha		Caule		Raiz	
	β -amilase	Invertase	β -amilase	Invertase	β -amilase	Invertase
SU 450/8909	100,06 ab	338,52 a	2,65 b	3,91 a	2,45 a	5,39 ab
SU.BA ₄	64,06 b	353,26 a	4,40 a	5,63 a	2,82 a	6,31 a
SU.AA ₄	115,33 a	344,06 a	2,40 b	3,35 a	3,15 a	4,39 b
C.V. (%)	36,25	16,09	41,07	54,64	75,11	25,31
M.G.	93,15	345,28	3,15	4,30	2,81	5,36

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a nível de 5%, pelo teste de Tukey.

diminuindo a dominância desse órgão na atração para os carboidratos, conduziu a um algodoeiro de maior altura, frutificando ligeiramente mais alto na planta (Tabela 3). Ao contrário, a seleção para alto amido na raiz resultou em mais assimilados neste órgão, que constituiu uma reserva para os períodos de fotossíntese nula, e conduziu, assim, a uma altura consideravelmente inferior (Fig. 1) e a uma maior precocidade de formação de ramos frutíferos, acompanhada de uma redução na área foliar (Tabela 3).

TABELA 3. Valores médios de altura de planta (cm), número de nós para o aparecimento do primeiro ramo frutífero e área foliar (cm²), aos 110 dias. Campina Grande, PB, 1990.

Genótipos selecionados	Altura de planta	Nº de nós para o aparecimento do 1º ramo frutífero	Área foliar
SU 0450/8909	76,20 b	7,56 a	3.238,28 a
SU.BA ₄	101,80 a	8,18 a	2.744,20 a
SU.AA ₄	57,20 c	6,35 b	2.127,20 b
C.V. (%)	7,65	3,52	12,74
M.G.	78,40	7,36	2.703,22

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a nível de 5%, pelo teste de Tukey.

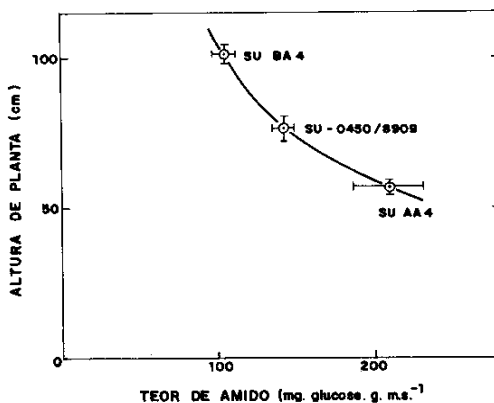


FIG. 1. Influência do teor em amido da raiz no crescimento em altura de duas seleções de algodoeiro herbáceo e da população original. As barras indicam o erro padrão da média.

Esta manipulação genética da morfologia do algodoeiro é extremamente importante para a sua adaptação ao semi-árido (Adjahoussou & Silva 1978), conduzindo a plantas com maiores reservas para enfrentar os períodos de seca, e com uma menor superfície foliar e, em consequência, menor potencial de transpiração.

É de notar que a flora do Nordeste do Brasil comporta um grande número de espécies com órgãos de reserva de grandes dimensões (Duque 1973), e que vai na mesma direção da seleção efetuada para maior teor de amido na raiz do algodoeiro.

A partição dos assimilados depende da importância relativa dos diferentes reservatórios de acumulação, e a seleção para maior ou menor teor em amido na raiz conduziu para reservatórios com maior ou menor poder de atração.

O maior poder de atração da raiz, além de provocar um porte reduzido e uma maior eficiência da fotossíntese (Thorne & Evans 1964), também aumentou a decomposição do amido na folha, como se verifica pelo aumento de atividade amilolítica (Tabela 2). Ao mesmo tempo, os assimilados contribuíram em menor grau para o crescimento da parte aérea, o que permitiu uma melhor penetração luminosa.

CONCLUSÕES

1. É importante a β -amilase na mobilização das reservas amiláceas para o sistema radicular no algodoeiro herbáceo.
2. As progênies com maior atividade de β -amilase nas folhas apresentaram menor crescimento vegetativo.

REFERÊNCIAS

- ADJAHOUSSOU, F.; SILVA, J.V. da. Teneur en glucides solubles et en amidon et résistance à la sécheresse chez le Palmier à huile. *Oléagineux*, v.33, p.599-603, 1978.
- ASHLEY, P.A. ¹⁴C-label of photosynthate translocation and utilization in cotton plants. *Crop Science*, v.12, p.69-72, 1972.

- ASHWELL, G. Colorimetric analysis of sugars. In: COLOWICK, A.; KAPLAN, B. **Methods of enzymology**. New York: Academic Press, 1957. v.3, p.85-86.
- BERNFELD, P. Amylases α and β . In: COLOWICK, A.; KAPLAN, B. **Methods of enzymology**, New York: Academic Press, 1955. p.149-150.
- BROWN, K.J. Factors affecting translocation of carbohydrates to fruiting bodies of cotton. **Cotton Growing Review**, v.50, p.32-42, 1973.
- DUQUE, G.O. **Nordeste e as lavouras xerófilas**. Fortaleza: BNB, 1973. 238p.
- EVANS, L.T. The physiological basis of crop yield. In: EVANS, L.T. **Crop physiology**. London: Cambridge University Press, 1975. p.327-355.
- GUINN, G.; HESKETH, J.D.; FRY, K.E.; MAUNEY, J.R.; RADIN, J.W. Evidence that photosynthesis limits yield of cotton. In: BELTWISE COTTON PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE, 1976. Las Vegas, Nevada, **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1976. p.60-61.
- MCARTHUR, J.A.; HESKETH, J.D.; BAKER, D.M. Cotton. In: EVANS, L.T. (Ed.) **Crop physiology some case histories**. Cambridge: Cambridge University Press, 1975. p.297-325.
- MCCREADY, R.M.; GUGGOLZ, A.; SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination starch and amylase in vegetables applications to peas. **Analytical Chemistry**, v.22, p.1156-1158, 1950.
- MASSON, T.G.; MASKELL, E.J. Studies on the transport of carbohydrates in the cotton plant. I. A study of diurnal variation in the carbohydrates of leaf, bark and wood and the effects of ringing. **Annals of Botany**, v.42, p.189-253, 1928.
- MAUNEY, J.R.; GUINN, G.; HESKETH, J.D.; FRY, K.E.; RADIN, J.W. Inhibition of photosynthesis by leaf starch. In: BELTWISE COTTON PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE, 1976. Las Vegas, Nevada. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1976. p.60.
- MEREDITH JUNIOR, W.R.; WELLS, R. Potential for increasing cotton yields through enhanced partitioning to reproductive structures. **Crop Science**, v.29, p.636-639, 1989.
- MOORBY, J. **Transport system in plants**. London: Longman, 1981.
- PARRY, G. **Le cotonnier et ses produits**. Paris: Maisonneuve & Larousse, 1982. 502p.
- SILVA, J.B.V. da; POISSON, C.H. Solubilization d'enzymes chez *G. hirsutum*, *G. anomalum* et des dérivés de l'hybridation entre ces deux espèces. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, v.11, p.582-586, 1969.
- SOUZA, J.G. de; BARROS, A.C.Q.T.; SILVA, J.V. da. Reservas de hidratos de carbono e resistência do algodoeiro à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.18, n.3, p.269-273, 1983.
- SOUZA, J.G. de; SILVA, J.V. da. Partitioning of carbohydrates in annual and perennial cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.38, p.1211-1218, 1987.
- THORNE, G.N.; EVANS, A.F. Influence of tops and roots on net assimilation rate of sugar beet and spinach beet and grafts between them. **Annals of Botany**, v.28, p.499-508, 1964.