

Fisiologia e produtividade do algodoeiro em solo encharcado na fase de plântula⁽¹⁾

José Gomes de Souza⁽²⁾, Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão⁽²⁾
e José Wellington dos Santos⁽²⁾

Resumo – O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.) é uma planta considerada sensível à deficiência de oxigênio do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a fisiologia e produtividade do algodoeiro cultivar CNPA 7H, em casa de vegetação, submetido à anoxia, por encharcamento do solo, na fase de plântula. Foram conduzidos dois experimentos em blocos ao acaso, com sete períodos de encharcamento e seis repetições. No encharcamento de quatro dias ocorreu uma redução na atividade da invertase de 76,69%, da β -amilase de 77,37% e da redutase do nitrato de 51,10%. A fotossíntese foi afetada a partir do primeiro dia e alcançou decréscimo de 58,63% no décimo quarto dia de encharcamento; os carboidratos foram acumulando-se nas folhas, caule e raízes. O rendimento de algodão em caroço foi reduzido em 35,76% no décimo dia do estresse anoxítico.

Termos para indexação: *Gossypium hirsutum*, metabolismo, anoxia, relação planta-água.

Physiology and yield of cotton in flooded soil at the seedling stage

Abstract – Annual cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.) is known as a sensitive plant to oxygen deficient soil. The purpose of this work was to investigate the physiology and yield of cotton CNPA 7H cultivar, grown under greenhouse conditions and exposed to oxygen shortage, by soil flooding, at seedling stage. Two experiments were carried out and the experimental design was a randomized complete block with seven flooding periods and six replications. At the fourth day of flooding regime a decrease of 76.69% invertase activity, 77.37% of β -amilase, and 51.10% of nitrate reductase was observed. The photosynthesis activity was affected from the first day, being reduced to 58.63% in the fourteenth day of flooding; the carbohydrates were accumulated on leaves, stem and roots. Cotton yield was reduced to 35.76% at the tenth day of flooding stress.

Index terms: *Gossypium hirsutum*, metabolism, anoxia, plant water relations.

Introdução

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.) é uma planta que apresenta modificações no seu comportamento fisiológico quando cultivada em solo com deficiência de oxigênio.

Evidências de profundas modificações no metabolismo da planta, afetando o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade têm sido registrados como efeitos do estresse anoxítico. Beltrão et al. (1997) observaram redução no rendimento e na pre-

cocidade da cultivar CNPA Acala 1. Na cultivar CNPA 7H, a deficiência de oxigênio causou efeitos nas atividades enzimática, fotossintética, respiratória e no rendimento, além de afetar o acúmulo dos teores de proteína e carboidratos na planta; outras cultivares de algodoeiro, como CNPA 3H e CNPA Precoce 1, também sofreram efeitos, reduzindo a área foliar e a produção (Souza et al., 1997).

Outras modificações de natureza fisiológica e bioquímica também foram detectadas, destacando-se a redução da atividade da redutase do nitrato e o aumento no teor de prolina (Bharambe & Varade, 1983), decréscimo da transpiração e da turgescência (Reicosky et al., 1985) e do potencial hídrico da folha (Souza et al., 1997).

Plântulas de algodoeiro sob estresse anoxítico apresentaram produção de peptídeos (Millar & Dennis, 1990, citados por Stewart, 1991), diminuição do cres-

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 21 de junho de 2000.

⁽²⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Caixa Postal 174, CEP 58107-720 Campina Grande, PB. E-mail: gomes@cnpa.embrapa.br, jwsantos@cnpa.embrapa.br, nbeltrao@cnpa.embrapa.br

cimento radicular (Tackett & Pearson, 1964; Huck, 1970) e reduções nos teores de N, Ca, K e Cu nas folhas (Meek et al., 1980).

O algodoeiro herbáceo poderá ser uma das opções agrícolas para as áreas irrigadas do Nordeste, que dispõe de cerca de 4,7 milhões de hectares de terras I, II e III na classificação de capacidade de uso passíveis de serem irrigadas (Silva et al., 1988). Quando cultivado em solos compactados, é uma planta sensível ao encharcamento, e nessas condições são escassos os resultados de pesquisa, principalmente com relação à fisiologia e bioquímica.

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento fisiológico e a produtividade do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 7H, cultivado em casa de vegetação e submetido a estresse anoxítico, por encharcamento do solo, na fase de plântula.

Material e Métodos

Foram conduzidos dois experimentos em condições de casa de vegetação, na Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPA), em Campina Grande, PB, em 1998. Foi usada a cultivar CNPA 7H de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.). A unidade experimental foi constituída de um vaso de plástico com um dreno no fundo e capacidade para 10 kg de material de solo, ficando apenas uma planta após o desbaste, que foi realizado aos 15 dias após a semeadura; o vaso foi preenchido com material de solo, deixando-se 3 cm livres, no qual foram aplicadas as lâminas de água. Os experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso, com sete períodos (1, 2, 3, 4, 7, 8, e 10 dias) de encharcamento e uma testemunha, em seis repetições. Foram analisadas as seguintes variáveis: atividade da β -amilase, da invertase e da redutase do nitrato, potencial hídrico, fotossíntese e respiração das folhas, açúcares solúveis e amido, proteína solúvel, aminoácidos e peptídeos, altura da planta, número de capulhos por planta, produção, e abertura da primeira flor. A aplicação dos tratamentos e a determinação das variáveis foram iniciadas aos 28 dias após a semeadura, na formação dos primeiros botões florais.

Após a conclusão de cada período de estresse anoxítico foi retirado o excesso de água do vaso, permanecendo o solo próximo à capacidade de campo.

A proteína solúvel foi medida no sobrenadante do extrato foliar após a precipitação com o ácido tricloroacético a 10%, e no precipitado foram medidos os aminoácidos e

peptídeos, usando-se o método de Lowry et al. (1951); a redução dos açúcares solúveis resultantes da atividade da β -amilase e da invertase a pH 5 foi medida pelo método de Bernfeld (1955), e o potencial da água da folha foi avaliado pela câmara de pressão (PMS Instrument Company – Corvallis, Oregon USA). A fotossíntese foi medida em discos foliares, por meio da liberação de O_2 em uma atmosfera em equilíbrio com $NaHCO_3$ 1M a pH 9, e a respiração no escuro, pela absorção de O_2 . As medidas foram feitas utilizando-se um analisador de O_2 (Hansatech Ltd Kings Lynn England), modelo C.B.1 (Walker, 1987), enquanto os açúcares solúveis, amido e atividade da redutase do nitrato, foram analisados pelo método de McCready et al. (1950), Ashwel (1957) e Bilal & Rains (1973), respectivamente.

Os dados obtidos foram analisados por regressão polinomial (Pimentel-Gomes, 1985); considerou-se até o último componente significativo. Como teste de média, utilizou-se o de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

A atividade das enzimas β -amilase e invertase, no quarto dia, foi reduzida significativamente em 77,37% e 76,69%, respectivamente, em relação à testemunha (Tabela 1). Souza et al. (1997) observaram que a atividade da β -amilase foi pouco influenciada

Tabela 1. Teor médio de β -amilase, de invertase e de redutase do nitrato em algodoeiro cultivar CNPA 7H, a partir dos 28 dias após a semeadura, em solo com vários períodos de encharcamento⁽¹⁾.

Período de encharcamento (dias)	β -Amilase ⁽²⁾	Invertase ⁽²⁾	Redutase do nitrato ⁽³⁾
	($\mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$ de glucose)		($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)
0	232,41a	12,44a	0,96a
1	199,02a	9,10ab	0,85a
2	189,02a	12,12a	0,85a
3	173,27a	5,92bc	0,75ab
4	52,60b	2,90cd	0,47bc
7	-	0,81d	0,46bc
8	-	-	0,37c
10	-	-	0,36c
Média	169,27	7,21	0,63
C.V. (%)	22,14	32,05	27,40

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Avaliações feitas na superfície da segunda folha a partir do ápice. ⁽³⁾Avaliação feita na superfície da terceira folha a partir do ápice.

quando o algodoeiro foi encharcado em fase adulta, mas a invertase foi drasticamente reduzida. A atividade da redutase do nitrato também foi influenciada a partir do primeiro dia de estresse anoxítico e atingiu no quarto e décimo dia, em relação à testemunha, reduções significativas de 51,0% e 62,5%, respectivamente. O decréscimo na atividade da redutase do nitrato possivelmente promoveu o acúmulo de aminoácidos e peptídeos, reserva temporária de N, relacionado com a redução do crescimento verificado na fase de formação dos botões florais. Bharambe & Varade (1983) verificaram redução de 67,8% da atividade da redutase do nitrato quando o algodoeiro foi submetido ao estresse anoxítico.

O encharcamento causou maior acúmulo de açúcares solúveis no caule e na raiz do que na folha; o amido acumulou-se mais na folha e no caule do que na raiz (Tabela 2). O acúmulo dos carboidratos nos órgãos de reserva pode ter ocorrido em razão da redução significativa das enzimas β -amilase e invertase responsáveis pela hidrólise e transporte dos carboidratos. Souza et al. (1997) obtiveram resultados semelhantes no algodoeiro em fase adulta.

O teor de proteína solúvel não foi muito afetado quando o estresse anoxítico foi aplicado em fase de plântula; os aminoácidos e peptídeos foram influenciados já a partir do quarto dia, e alcançaram, no

décimo dia, aumento significativo de 118,51% em relação à testemunha (Tabela 3). A produção de peptídeos também foi relatada por Millar & Dennis (1990), citados por Stewart (1991), quando o estresse anoxítico foi aplicado em fase de plântula.

O potencial da água na folha aumentou a partir de oito dias de tratamento, mas na respiração não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4). Entretanto, Reicosky et al. (1985) e Souza et al. (1997) verificaram redução do potencial hídrico das folhas de planta encharcada na fase adulta e concluíram que a redução da transpiração e do murchamento foliar foi decorrente do decréscimo do potencial hídrico.

A atividade fotossintética foi influenciada nos tratamentos aos sete, oito e dez dias de encharcamento e atingiu neste último um decréscimo significativo de 58,63%, comparando-se com a testemunha (Tabela 4).

Souza et al. (1997) também verificaram que a atividade fotossintética sofreu rápido decréscimo quando as plantas permaneceram em solo encharcado, e foi maior quando o estresse anoxítico ocorreu em fase adulta; a redução da fotossíntese como consequência do estresse anoxítico talvez seja decorrente, em parte, do acúmulo do amido na folha do algodoeiro, como foi observado na Tabela 2 e relatado por Mauney et al. (1979). Em condições normais de

Tabela 2. Valores médios de açúcares solúveis e amido nas folhas, no caule e na raiz do algodoeiro cultivar CNPA 7H, a partir dos 28 dias após a semeadura, em solo com vários períodos de encharcamento⁽¹⁾.

Período de encharcamento (dias)	Açúcares solúveis			Amido		
	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz
	----- (µg g ⁻¹) -----					
0	66,40abc	102,58c	135,24d	133,06c	57,86c	41,45ab
1	33,15c	120,59bc	134,34d	171,11b	73,81de	37,38b
2	46,13abc	148,61abc	154,04bc	198,44b	90,94cd	30,66b
3	58,55aba	150,61a	148,48c	206,42a	105,10c	33,36b
4	39,24bc	140,73ab	160,66b	205,98a	107,76c	30,16b
7	46,00abc	137,47ab	168,99a	206,97a	144,41b	39,98ab
8	42,00bc	134,50ab	171,78a	214,11a	182,62a	46,77ab
10	61,91abc	148,95a	171,58a	196,87ab	163,82ab	61,39a
Média	49,20	135,51	155,64	191,62	115,79	40,14
C.V. (%)	26,40	8,85	2,86	8,48	13,00	36,76

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

crescimento o algodoeiro é considerado uma espécie acumuladora de amido (Marur et al., 1996).

O estresse anoxítico só teve efeito na altura da planta, aos 40 e 80 dias com 8 e 10 dias de encharcamento, mas aos 90 dias a planta se recuperou (Tabela 5). Souza et al. (1997) obtiveram resultados semelhantes, ou seja, o encharcamento aplicado na fase de início de floração não afetou o crescimento das

plantas. Almeida et al. (1992) relataram que cinco dias de encharcamento na fase do botão floral não causaram efeito na altura, embora tenham reduzido a área foliar em 30%.

O número de capulhos planta⁻¹ e rendimento de algodão em caroço (grama planta⁻¹) decresceram de 28,0% e 35,8% em relação à testemunha, respectivamente, em virtude do efeito da saturação hídrica do meio edáfico aos dez dias de encharcamento (Tabela 6). Esses resultados estão de acordo com os de

Tabela 3. Teor médio de proteína solúvel e aminoácidos e peptídeos no algodoeiro cultivar CNPA 7H, a partir dos 28 dias após a semeadura, em solo com vários períodos de encharcamento⁽¹⁾.

Período de encharcamento (dias)	Proteína solúvel ⁽²⁾ (µg cm ⁻²)	Aminoácidos e peptídeos ⁽²⁾ (densidade ótica)
0	167,44ab	0,27c
1	154,05b	0,27c
2	171,47ab	0,27c
3	164,57ab	0,31c
4	170,58ab	0,45b
7	180,08a	0,50ab
8	170,06ab	0,51ab
10	167,68ab	0,59a
Média	168,24	0,39
C.V. (%)	6,67	15,18

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Avaliações na superfície da segunda folha a partir do ápice.

Tabela 4. Valores médios de potencial hídrico, fotossíntese e respiração em algodoeiro cultivar CNPA 7H, a partir dos 28 dias após a semeadura, em solo com vários períodos de encharcamento⁽¹⁾.

Período de encharcamento (dias)	Potencial hídrico ⁽²⁾ (Mpa)	Fotossíntese ⁽²⁾ (µmol m ⁻² s ⁻¹)	Respiração ⁽²⁾
0	-1,30c	19,29a	2,12b
1	-1,15bc	16,39ab	2,73b
2	-0,80a	16,92ab	2,60b
3	-1,00ab	18,15a	2,36b
4	-0,95ab	16,60ab	2,66b
7	-1,13bc	12,71bc	3,53a
8	-1,01b	9,05c	2,32b
10	-1,07b	7,98c	2,03b
Média	-1,05	14,64	2,54
C.V. (%)	0,98	18,24	14,97

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Avaliações na superfície da segunda folha, a partir do ápice.

Tabela 5. Valores médios de altura de planta (cm) aos 40, 60, 80 e 90 dias após a semeadura em algodoeiro cultivar CNPA 7H, em solo com vários períodos de encharcamento⁽¹⁾.

Período de encharcamento (dias)	Dias após semeadura			
	40	60	80	90
0	21,16a	49,16a	78,00a	95,66a
1	19,00ab	50,50a	80,83a	103,66a
2	17,41abc	52,66a	87,33a	111,00a
3	18,66abc	47,50a	78,16a	110,16a
4	16,00abc	47,33a	84,00a	109,83a
7	16,66abc	45,00a	79,83a	108,00a
8	12,66c	32,33a	62,66b	103,00a
10	13,50bc	31,66a	66,16b	105,00a
Média	16,88	44,52	77,12	105,91
C.V. (%)	19,14	25,98	7,74	10,23

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Número de capulhos por planta, produção de algodão em caroço e número de dias para abertura da primeira flor, na cultivar CNPA 7H, em solo com vários períodos de encharcamento⁽¹⁾.

Período de encharcamento (dias)	Capulhos/planta (n ^o)	Algodão em caroço (g planta ⁻¹)	Número de dias para abertura da 1 ^a flor
0	12,50a	47,98a	75,33b
1	10,33ab	47,34a	76,00b
2	10,83ab	44,92a	75,33b
3	11,50ab	44,67a	77,16ab
4	11,00ab	39,92ab	76,16b
7	11,50ab	43,59ab	77,33ab
8	10,00ab	37,83ab	80,33ab
10	9,00b	30,82b	82,00a
Média	10,83	42,13	77,45
C.V. (%)	16,04	16,71	3,88

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Hodgson (1982), Almeida et al. (1992), Beltrão et al. (1997) e Souza et al. (1997) que verificaram redução da produção quando o encharcamento foi aplicado na fase de botão floral.

A precocidade, medida pela abertura da primeira flor, também foi afetada significativamente no tratamento onde as plantas permaneceram dez dias encharcadas, em relação à testemunha. Beltrão et al. (1997) também observaram que o estresse anoxítico ampliou o período de floração do algodoeiro.

As modificações no metabolismo do algodoeiro descritas acima, acarretando a redução de atividades enzimáticas que são responsáveis pela mobilização das reservas, ocorridas durante o encharcamento das plantas, possivelmente influenciaram o acúmulo dos carboidratos, e, como conseqüência, o decréscimo significativo na assimilação fotossintética, como observado por Mauney et al. (1979). Glinski & Stepniewski (1985) também relataram que, dependendo do estágio do desenvolvimento, o estresse anoxítico causa profundas alterações bioquímicas e químicas nas plantas, que se refletem na produção biológica, na partição dos assimilados, e, conseqüentemente, na produção econômica.

Conclusão

O algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 7H, é sensível à anoxia, mesmo temporária, e acarreta profundas modificações no seu metabolismo e na produtividade.

Referências

- ALMEIDA, O. A. de; BELTRÃO, N. E. de M.; GUERRA, H. O. C. Crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo em condições de anoxia do meio edáfico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1259-1272, set. 1992.
- ASHWEL, G. Colorimetric analysis of sugar. In: COLOWICK, A.; KAPLAN B. (Ed.). *Methods of enzymology*. New York : Academic, 1957. p. 85-86.
- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de; NÓBREGA, L. B. da; SANTOS, J. W. dos. Modificações no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo sob saturação hídrica do substrato em casa-de-vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 4, p. 391-397, abr. 1997.
- BERNFELD, P. Amylases α and β . In: COLOWICK, A.; KAPLAN, B. (Ed.). *Methods of enzymology*. New York : Academic, 1955. v. 1, p. 149-158.
- BHARAMBE, P. R.; VARADE, S. B. Effect of water submergence periods on yield and biochemical changes of cotton plant. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Delhi, v. 53, n. 3, p. 179-181, 1983.
- BILAL, I. M.; RAINS, D. W. *In vivo* characterization of nitrate reductase activity in cotton. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, n. 28, p. 237-243, 1973.
- GLINSKI, J.; STEPNIIEWSKI, W. *Soil aeration and its role for plants*. Boca Raton : CRC, 1985. p. 137-171.
- HODGSON, A. E. The effect of duration timing and chemical amelioration of short-term waterlogging during furrow irrigation of cotton in a cracking grey clay. *Australian Journal of Agricultural Research*, Collingwood, v. 33, n. 6, p. 1019-1028, 1982.
- HUCK, M. G. Variation in taproot elongation rate as influenced by composition of the soil air. *Agronomy Journal*, Madison, v. 62, n. 6, p. 818-828, 1970.
- LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, M. J.; FARR, A. L.; RAMDALL, R. J. Protein measurements with the folic-phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, Bethesda, v. 193, p. 265-275, 1951.
- MARUR, C. J.; MAZZAFERA, P.; MAGALHÃES, A. C. Carbon assimilation and export in leaves of cotton under water deficit. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, v. 8, p. 181-186, 1996.
- MAUNEY, J. R.; GUINN, G.; FRY, K. E.; HESKETH, J. D. Correlation of photosynthetic carbon dioxide uptake and carbohydrate accumulation in cotton, soybean, sunflower, and sorghum. *Photosynthetica*, Prague, v. 13, n. 3, p. 260-266, 1979.
- MCCREADY, R. M.; GUGGOLZ, A.; SILVEIRA, V.; OWENS, H. S. Determination of starch and amylase in vegetables; application to peas. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 22, p. 1156-1158, 1950.
- MEEK, B. D.; OWEN-BARTLETT, E. C.; STOLZY, L. H.; LABANAUSKAS, C. K. Cotton yield and nutrient uptake in relation to water Table depth. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 44, n. 2, p. 301-305, 1980.

- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 11. ed. Piracicaba : Nobel, 1985. 466 p.
- REICOSKY, D. C.; MEYER, W. S.; SHAEFER, N. L.; SIDES, R. D. Cotton response to short-term waterlogging imposed with a water-table gradient facility. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 10, p. 127-143, 1985.
- SILVA, M. J. da; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, E. O. dos. **Perspectivas da irrigação na cultura algodoeira no Nordeste brasileiro**. Campina Grande : Embrapa-CNPA, 1988. 28 p. (Embrapa-CNPA. Documentos, 35).
- SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 63-71, 1997.
- STEWART, J. M. D. **Biotechnology of cotton**. Washington : ICAC, 1991. 50 p. (ICAC. Review Articles on Cotton Production Research, 3).
- TACKETT, J. L.; PEARSON, R. W. Oxygen requirements of cotton seedlings roots for penetration of compacted soil cores. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 28, n. 5, p. 600-605, 1964.
- WALKER, D. **The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in simple measurements of photosynthesis**. Chichester : Oxygraphics, 1987. 145 p.