

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 165-169, 1998.

Recebido para publicação em 25/11/97. Aprovado em 06/06/98.

ISSN 0104-1347

CRESCIMENTO E CAPTURA DE LUZ EM SOJA SOB ESTRESSE HÍDRICO

GROWTH AND RADIATION CAPTURED BY SOYBEAN UNDER WATER STRESS

Adriana Elisabet Confalone¹, Luiz Cláudio Costa² e Carlos Rodrigues Pereira³

RESUMO

Foram estudados, em condições de campo, os efeitos do estresse hídrico no crescimento e na quantidade de radiação capturada pela cultura da soja (*Glycine max* L.). Os resultados mostraram que o estresse hídrico afeta diferencialmente, tanto o crescimento quanto a radiação interceptada pela cultura, nos diferentes subperíodos. Os métodos clássico e da radiação foram capazes de detectar o efeito do estresse hídrico no comportamento da cultura, mas apresentaram resultados divergentes para o subperíodo vegetativo. No geral, o estresse hídrico afetou a quantidade de radiação capturada pela cultura devido às variações na taxa de expansão folhar e nos valores de duração de área foliar (DAF).

Palavras-chave: estresse hídrico, radiação, soja.

SUMMARY

The effects of the water stress on growth and radiation captured by crops were studied in field grown soybean (*Glycine max* L.). The quantitative effect was different for the different phenological phases. A comparison of the classical and radiation approaches to analyze the effects of the water stress on crop growth showed that both the classical and the radiation methods were able to detect these effects. However, the results were contradictory for the vegetative phase. The water stress can affect the amount

¹ Engenheira Agrônoma, Msc., Faculdade de Agronomia, Departamento de Ecologia, CEP 7300, Azul, Argentina.

² Agrometeorologista, PhD., Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 36571-000 Viçosa, MG, Brasil.

³ Engenheiro Agrônomo, Msc. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 36571-000 Viçosa, MG, Brasil.

of radiation captured by a crop by changing its rate of leaf expansion and in the values of leaf area duration (LAD).

Key words: water stress, radiation, soybean.

INTRODUÇÃO

As relações existentes entre expansão da área foliar, interceptação de luz e a produtividade das culturas vem sendo estudada a longo tempo (WATSON, 1947; MONTEITH, 1977), não obstante muitas questões ainda permanecem sem respostas. As variações na habilidade das culturas em interceptar e utilizar a radiação durante o seu ciclo, em diferentes condições ambientais, vem merecendo, nos últimos tempos, grande atenção da comunidade científica (MONTEITH et al., 1994). Tais estudos objetivam o entendimento dos efeitos dos diferentes elementos meteorológicos sobre os componentes morfológicos e fisiológicos que determinam o crescimento e a produtividade das culturas (COSTA et al., 1997).

Os estudos quantitativos do crescimento de plantas têm se baseado nas relações entre os elementos meteorológicos e a produção de massa de matéria seca. A primeira dessas relações foi derivada por BLACKMAN (1919), e deu origem à chamada Análise de Crescimento Tradicional ou Método Clássico. Tais relações vêm sendo utilizadas ao longo dos anos para analisar variações ontogenéticas no crescimento das plantas. Embora não existam dúvidas de que o uso de tal metodologia prestou uma grande contribuição para o entendimento dos fatores que afetam o crescimento das culturas, algumas limitações devem ser consideradas: 1. À medida que a cultura cresce, e em conseqüência sua área foliar aumenta, as relações vão perdendo a capacidade de representar de forma adequada a interação clima x cultura (COSTA et al., 1997); 2. Tais relações não oferecem nenhuma informação sobre quais fatores ambientais estariam induzindo a cultura a ter um determinado tipo de resposta (RUSSEL et al., 1989; GOUDRIAN & MONTEITH, 1990).

A introdução de um nova metodologia, chamada de método da radiação, pelo qual o crescimento da planta é determinado em função da quantidade de radiação interceptada, permite um melhor entendimento da interação elementos meteorológicos x cultura. Por esse método, a massa seca pode ser expressa como produto de três termos: 1. A radiação solar disponível; 2. A percentagem de radiação capturada pela cultura e 3. A taxa de produção de massa seca por unidade de radiação capturada ou eficiência de utilização da radiação (MONTEITH, 1977; MONTEITH et al., 1994).

Recentemente COSTA et al. (1997), analisando os efeitos dos elementos meteorológicos no crescimento e desenvolvimento de culturas, concluíram que os métodos clássico e da radiação podem levar a conclusões contraditórias sobre as respostas morfológicas e fisiológicas das culturas a variações ambientais. Tais contradições se originam da complexa interação entre a taxa de assimilação líquida e uso eficiente da radiação com o crescimento do índice de área foliar.

A utilização de métodos simples, como os descritos acima, para a quantificação dos efeitos dos elementos meteorológicos no crescimento e desenvolvimento das culturas é de extrema importância para o manejo das atividades agrícolas. No entanto, a utilização de tais metodologias exige uma análise da capacidade das mesmas em explicar o efeito do ambiente no crescimento e no desenvolvimento da cultura durante toda a estação de crescimento e em diferentes condições ambientais.

O objetivo deste trabalho é analisar, utilizando o método clássico e o da radiação, as modificações que ocorrem, em diferentes subperíodos, nos mecanismos de captura e de utilização da luz pela cultura da soja sob estresse hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campo Experimental Vila Chaves da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, (latitude: 20°45'S, longitude: 42°51'N, altitude: 650m) com a cultivar de soja Capinópolis, semeada no dia 8 de dezembro de 1995, em um solo classificado como Podzólico amarelo vermelho cambico (COSTA, 1973) de textura argilosa, sendo a densidade 21 plantas m⁻².

Os tratamentos utilizados foram não irrigado por todo o período (NIPT) e irrigado durante todo o período (IPTP) com duas repetições em um delineamento de parcelas subdivididas em blocos ao acaso, sendo o tratamento principal as condições de estresse e as subparcelas os períodos de amostragem. A semente foi tratada com fungicida e inoculada com cepa 2930 de *Brad rhyzobium japonicum*. Os tratamentos foram aplicados aos 29 dias após a semeadura (DAS).

O sistema de irrigação foi por microaspersão (Santeno Irrigações do Nordeste S/A). A lâmina de água aplicada foi calculada considerando-se a evapotranspiração potencial diária calculada por meio do tanque classe A, instalado próximo ao experimento e multiplicado pelo coeficiente da cultura (Kc), sendo utilizados os valores recomendados pela FAO (DOOREMBOOS & PRUIT, 1977). O tratamento irrigado foi mantido próximo à capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura, com reposição da evapotranspiração da cultura (ETc). Medições do potencial osmótico do suco celular (extraído de amostras de folhas da cultura) por meio de um refratômetro de mesa foram realizadas, em intervalos de

quatro dias, em quatro folhas totalmente expandida do topo da planta. As amostras eram retiradas ao final da tarde para posterior medição do potencial osmótico.

A radiação fotosinteticamente ativa (PAR), incidente e interceptada pelo dossel, foi medida em intervalos de dois dias, ao meio dia solar com um ceptômetro (Delta T Devices, LTD). A radiação solar global (R_g) diária foi determinada pelo modelo de ÅNGSTRÖM (1924).

Dados diários de temperatura, precipitação, vento e umidade relativa foram obtidos de uma estação instalada próximo ao Campo Experimental. Os dados de brilho solar foram obtidos da estação meteorológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada próximo da área experimental.

Semanalmente foram determinados a massa seca de 10 plantas (incluindo raízes) e também o índice de área foliar (IAF), com um medidor eletrônico (modelo LI-3100, LICOR, Inc.). Na determinação da área foliar foram consideradas todas as folhas, verdes e senescentes, do caule principal e das ramificações.

O valor da eficiência do uso da radiação (EUR: quantidade de massa seca produzida por unidade de radiação interceptada) foi determinado a partir de regressões lineares entre radiação solar interceptada e massa seca acumulada para os subperíodos, vegetativo, que teve uma duração de 54 dias, e reprodutivos, com o período de florescimento de 19 dias e o período de enchimento de grãos de 41 dias, respectivamente.

Os valores de duração da área foliar (DAF) em dias foram calculados para cada subperíodo, usando a seguinte relação entre índice de área foliar (IAF) e tempo (t), conforme proposto por BEADLE (1985):

$$DAF = \frac{(IAF_1 - IAF_2)(t_1 - t_2)}{2} \quad (1)$$

onde: IAF₁ e IAF₂, indicam o índice de área foliar, respectivamente, no início e no fim de cada subperíodo, e t₁ e t₂, a época, em dias, do início e do fim de cada subperíodo, respectivamente.

Os valores da taxa de assimilação líquida (TAL) em g m⁻²(área foliar) d⁻¹ e da razão de área foliar (RAF) em m² (área foliar) g⁻¹(total da cultura) foram calculados como proposto por BEADLE (1985):

$$TAL = \frac{(W_2 - W_1)(\ln IAF_1 - \ln IAF_2)}{(IAF_2 - IAF_1)(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

$$RAF = \frac{(IAF_2 - IAF_1)(\ln W_2 - \ln W_1)}{(W_2 - W_1)(\ln IAF_2 - \ln IAF_1)} \quad (3)$$

onde: W_1 e W_2 são respectivamente os pesos secos nos tempos considerados e IAF_1 , IAF_2 , t_1 e t_2 são como definidos na da Equação 1.

A taxa de crescimento relativo (RGR) em $g\ g^{-1}\ d^{-1}$ foi determinada por meio do produto dos valores de TAL e RAF.

Também foram observadas as aparições das folhas do caule principal, a cada dois dias, e a taxa de expansão foliar, primeiro a cada dois dias e depois a cada sete dias. Para determinar a taxa de aparição e de expansão foliar foram considerados três grupos de folhas, grupo 1 (trifólio 1+ trifólio 2), grupo 2 (trifólio 3 ao trifólio 6) e grupo 3 (trifólio 7 ao 13) segundo seu comportamento quanto ao crescimento do dossel.

Tabela 1. Potencial osmótico médio das folhas para os tratamentos irrigado e não irrigado durante os diferentes sub-períodos de desen-volvimento.

| Sub-período | Potencial Osmótico (Mpa) | |
|---------------------|--------------------------|--------------|
| | Irrigado | Não Irrigado |
| Vegetativo | 0,8 | 1,0 |
| Florescimento | 1,0 | 1,1 |
| Enchimento de Grãos | 1,0 | 1,4 |

A produtividade foi determinada pelo produto da massa seca de 10 plantas coletadas de uma área de $1m^2$, previamente demarcada em cada tratamento, pela densidade média da cultura. O índice de colheita foi obtido através da divisão do peso seco dos grãos pelo peso seco total dessas plantas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do potencial osmótico para os tratamentos irrigado e não irrigado são apresentados na Tabela 1. Pelos resultados observa-se que em todos os subperíodos as folhas das plantas sob tratamentos não irrigados apresentaram maiores valores de potencial osmótico. No entanto, os

resultados só foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$) nos subperíodos vegetativo e de enchimento de grãos.

É importante salientar que, devido a forte dependência do potencial osmótico de outras variáveis ambientais e da cultura, os resultados acima devem ser vistos com cautela. No entanto, é importante destacar que os resultados aqui apresentados visam permitir uma comparação entre os tratamentos e não definir o nível exato do potencial osmótico das folhas. Assim sendo, observa-se uma clara tendência de maiores potenciais para o tratamento não irrigado, o que sugere a presença de estresse hídrico na soja sob tal condição.

Os efeitos do estresse hídrico tornam-se mais evidentes quando se observam as diferenças entre os componentes fisiológicos e morfológicos da cultura para os tratamentos irrigado e não irrigado. A falta de irrigação provocou, durante o subperíodo vegetativo, uma redução de 19% na duração da área foliar (DAF), enquanto que a TAL diminuiu em 28% e o RGR em 27%. Por outro lado, observou-se um

Tabela 2. Taxa de Assimilação Líquida (TAL) em g m^{-2} (área foliar) d^{-1} , Razão de Área Foliar (RAF) em m^{-2} (área foliar) g^{-1} (total da cultura), Taxa de Crescimento Relativo (RGR) $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ para os tratamentos nos diferentes subperíodos e Duração da Área Foliar (DAF) em dias.

| Estádio | IAF | ϵ | IPAR |
|---------------------|---------------------------|------------|------|
| IPTP | | | |
| Vegetativo | $0 < \text{IAF} < 2,3$ | 1,73 | 127 |
| Florescimento | $2,3 < \text{IAF} < 5,5$ | 1,86 | 203 |
| Enchimento de Grãos | $0,5 < \text{IAFI} < 5,5$ | 1,73 | 304 |
| NITP | | | |
| Vegetativo | $0 < \text{IAF} < 1,6$ | 2,87 | 73 |
| Florescimento | $1,6 < \text{IAF} < 3,6$ | 2,04 | 171 |
| Enchimento de Grãos | $0,2 < \text{IAF} < 3,6$ | 1,98 | 163 |

| Subperíodo | Parâmetro | Tratamento | |
|---------------------|-----------|------------|-------|
| | | IPTP | NITP |
| Vegetativo | TAL | 7,08 | 5,10 |
| | RAF | 0,012 | 0,012 |
| | RGR | 0,086 | 0,063 |
| | DAF | 21,60 | 17,50 |
| Florescimento | TAL | 2,04 | 3,07 |
| | RAF | 0,011 | 0,008 |
| | RGR | 0,023 | 0,025 |
| | DAF | 73,50 | 43,40 |
| Enchimento de Grãos | TAL | 1,68 | 8,88 |
| | RAF | 0,003 | 0,002 |
| | RGR | 0,002 | 0,016 |
| | DAF | 103,5 | 57,2 |

aumento de 1,5% na RAF. Em resumo, o estresse hídrico durante o subperíodo vegetativo provocou uma diminuição dos componentes fisiológicos (TAL) e praticamente não afetou os componentes morfológicos (RAF) (Tabela 2).

No subperíodo de florescimento, observou-se um aumento de 34% do TAL e uma diminuição de 28% da RAF e de 41% da DAF. No subperíodo de enchimento de grãos, o aumento do TAL foi ainda maior, 81%, enquanto que o RAF e a DAF diminuíram em 31% e 45%, respectivamente.

Tabela 3. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (IPAR) em MJ m^{-2} para cada tratamento em cada fase fenológica, índice da área foliar (IAF) e uso eficiente da radiação (ϵ) em g MJ^{-1} .

Não houve diferenças significativas ($p < 0,05$) nos valores de RGR entre os tratamentos, nos subperíodos de florescimento e enchimento de grãos, ou seja, a cultura sob tratamento não irrigado foi capaz de manter os mesmos níveis de crescimento da cultura irrigada através de um aumento na eficiência da utilização da radiação (TAL) (Tabela 2) que compensou a redução na capacidade de interceptação da radiação (RAF e DAF).

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que a cultura sob o tratamento não irrigado foi mais eficiente em converter radiação solar em massa de matéria seca que a cultura sob irrigação, em todos os subperíodos. O aumento da eficiência foi de 40%, 9% e 13% respectivamente, nos subperíodos vegetativo, florescimento e enchimento de grãos. No entanto, o resultado só foi estatisticamente significativo ($p < 0,05$) para o subperíodo vegetativo. Por outro lado, a radiação interceptada foi reduzida em 43%, 15% e 43% respectivamente nos subperíodos vegetativo, florescimento e de enchimento de grãos. Com resultados significativos ($p < 0,05$) para os subperíodos de florescimento e enchimento de grãos.

É interessante observar que os resultados apresentados acima indicam que durante o subperíodo vegetativo, a cultura da soja foi capaz de compensar a redução na quantidade de radiação interceptada devido ao estresse hídrico apresentando maiores valores de ϵ para o tratamento não irrigado ($p < 0,05$). No entanto, nos subperíodos de florescimento, e principalmente enchimento de grãos, o aumento da eficiência foi insuficiente para contrapor a queda de interceptação de radiação.

Os valores de UER apresentados neste trabalho estão dentro da ordem de valores encontrados por outros autores para a cultura da soja (NAKASEKO & GOTOH, 1983; MUCHOW et al., 1993).

Tais resultados são importantes no sentido de mostrar o efeito diferencial do estresse hídrico nos mecanismos de captura e utilização da radiação, bem como indicar os subperíodos em que a cultura apresenta maior plasticidade. No que se refere a captura de radiação, o período crítico para as culturas é quando o dossel ainda não está totalmente fechado, ou seja, $IAF < 3,0$. No entanto, os resultados apresentados mostram que, apesar da ocorrência de uma redução acentuada da radiação interceptada no tratamento não irrigado, a produção de massa seca não foi muito afetada devido a um aumento

proporcional da eficiência de utilização da radiação. Os resultados apresentados e discutidos acima são bem semelhantes aos encontrados em estudos similares em outras culturas (COSTA et al., 1997).

O efeito do estresse hídrico na produtividade pode ser analisado considerando-se que a produtividade final é igual ao produto de três termos: radiação interceptada, eficiência de utilização da radiação e do índice de colheita. A Tabela 4 apresenta a comparação desses elementos para os tratamentos irrigados e não irrigados.

Os resultados indicam que o efeito do estresse hídrico nos componentes IPAR e H foram os responsáveis pela redução na produtividade da cultura. É ainda interessante observar que o aumento da eficiência do uso da radiação não foi suficiente para impedir a queda na produtividade (Tabela 4).

CONCLUSÕES

Ambos os métodos utilizados nesse estudo, ou seja, os métodos clássico e da radiação mostram que a cultura da soja responde ao estresse hídrico com uma redução da sua capacidade de captura da radiação solar. No entanto, o grau de tal redução depende do sub-período de desenvolvimento. A maior redução é observada durante o sub-período vegetativo, onde o estresse hídrico reduz o índice de área folhar (IAF) máximo, a taxa de expansão das folhas e a duração da área foliar (DAF).

Da mesma forma, os métodos clássicos e da radiação mostram que a cultura da soja é capaz de compensar a redução na capacidade de captura de radiação com um aumento na eficiência da utilização da radiação. No entanto, tal aumento não é proporcional à redução na captura. Além do mais, os resultados dos diferentes subperíodos mostram uma contradição entre os resultados obtidos pelos métodos clássicos e da radiação. Enquanto o método da radiação mostra um aumento da eficiência da cultura na utilização da radiação, o método clássico mostra uma redução. As análises indicam que o método da radiação apresenta maior coerência na explicação dos resultados.

Tabela 4. Efeito relativo do estresse hídrico no uso eficiente da radiação (ϵ) em $g J^{-1}$, Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (IPAR) em $MJ m^{-2}$, índice de colheita (H) e produtividade de grãos (y) em $t ha^{-1}$. Os valores do tratamento irrigado (IPTP) foram considerados como referência (100%).

| Tratamentos | ϵ | IPAR | H | y |
|-------------|------------|------|-----|-----|
| IPTP | 100 | 100 | 100 | 100 |
| NITP | 132 | 58 | 84 | 62 |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅNGSTRÖN, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. London, v. 50, p. 121-126, 1924.
- BEADLE, C.L. Plant growth Analysis. In: COOMBS, J, HALL, D.O., LONG, S.P. et al. (Editors). **Techniques in Bioproductivity and photosynthesis**. Oxford : Pergamon Press, 1985. p. 20-25.
- BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-360, 1919.
- COSTA, L.M. **Caracterização das propriedades físicas e químicas dos solos de terraços pluviais na região de Viçosa e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 1973. 55 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Curso de Pós-Graduação em Solos, Universidade Federal de Viçosa, 1973.
- COSTA, L.C., MORISSON, J., DENNETT, M.D. Effects of the weather on growth and radiation intercepted by faba bean. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 277-281, 1997.
- DOOREMBOS, J., PRUITT, W.O. **Las necesidades de águas de los cultivos**. Roma : FAO, 143 p. 1977. (Estudios FAO: Riego e Drainage).
- GOUDRIAN, J., MONTEITH, J.L. A mathematical function for crop growth based on lighth and leaf area expansion. **Annals of Botany**, London, v. 66, p. 695-701, 1990.
- MONTEITH, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B**, v. 281, p. 277-294, 1977.
- MONTEITH, J.L. Principles of resource capture by crop stands. In: MONTEITH, J.L, SCOTT, R.K., UNSWORTH, M.H. (Editors). **Resource capture by crops**. Nottingham : Nottingham University Press, 1994. p. 1-15.

- MUCHOW, R.C, ROBERTSON, M.J., PENGELLY, B.C. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. **Field Crops Research.**, Amsterdam, v. 32. p. 1-6, 1993.
- NAKASEKO, N., GOTOH, K. Comparative studies on dry matter production, plant type and productivity in soybean, azuki bean and kidney bean. **Japan Journal of Crop Science**, Tokio, v. 52, p. 49-58, 1983.
- RUSSEL, G., JARVIS, P.G., MONTEITH, J.L. Absorption by canopies and stand growth. In: RUSSEL, G., MARSCHALL, B., JARVIS, P.G. (Eds.) **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge : Cambridge University Press, 1989. p. 21-39.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. 1. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 41-76, 1947.