

Características da Fluorescência da Clorofila em Cultivares de Arroz Com Ciclo Precoce, Médio e Tardio

Antelmo Ralph Falqueto¹, Daniela Cassol², Ariano Martins de Magalhães Júnior³, Antônio Costa de Oliveira⁴ e Marcos Antonio Bacarin⁵

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos principais cereais consumidos pela população mundial, representando, atualmente, cerca de 30% da produção total de grãos [1]. A produção global de arroz tem sido aumentada graças à geração de cultivares com alta produtividade, à expansão das áreas de cultivo, às técnicas de irrigação, fertilização e ao uso de defensivos [2]. Em todo o mundo cerca de 150 milhões de hectares de arroz são cultivados anualmente, produzindo cerca de 590 milhões de toneladas do grão.

A fotossíntese constitui a base da produção de uma cultura. Estima-se que 90% da matéria seca total de um vegetal resultem diretamente do processo fotossintético [3]. A absorção e uso da energia luminosa pelos vegetais podem ser estimados através da análise da fluorescência da clorofila. De acordo com Baker & Rosenqvist [4], mudanças na emissão da fluorescência da clorofila são indicativos de alterações na atividade fotossintética.

Demonstrações de que a fluorescência da clorofila pode ser usada para estimar, rapidamente e de forma não-invasiva, a eficiência do transporte de elétrons através do fotossistema II (FSII) e que a eficiência de operação deste FSII está correlacionada à assimilação de CO₂ tem levado à utilização de parâmetros da fluorescência da clorofila para examinar o desempenho fotossintético de plantas sob condições de laboratório, em condições controladas e em campo [4].

Dentro desse contexto, este estudo avaliou parâmetros da fluorescência da clorofila obtidos de folhas bandeira de três cultivares de arroz que apresentam ciclo médio de vida diferente, visando a obtenção de relações entre o ciclo da cultura e os parâmetros de fluorescência. Para isto, utilizaram-se as cultivares BRS Atalanta, BRS 6 Chui e BRS 7 Taim para representar as plantas de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Material e métodos

No presente experimento foram utilizadas plantas de

arroz cv. BRS Atalanta, BRS 6 Chui e BRS 7 Taim, com ciclos precoce, médio e tardio, respectivamente. Sementes dessas cultivares foram fornecidas pela Embrapa Clima Temperado (Pelotas/RS) e semeadas em vasos plásticos (12 litros) contendo solo obtido do campo experimental da Embrapa (Planossolo Solódico), com níveis de nutrientes suficientes para a manutenção do seu crescimento e desenvolvimento. Após a germinação, as plantas foram desbastadas, permanecendo cinco plantas/vaso. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação. As avaliações foram realizadas 15 e 30 dias após o florescimento das plantas, período correspondente ao início e final do enchimento dos grãos, respectivamente.

Os parâmetros da fluorescência foram medidos usando um fluorômetro modulado (FMS-2, Hansatech, King's Lyonn, UK). Para a determinação da fluorescência rápida, amostras foliares foram adaptadas ao escuro durante 20 minutos, quando receberam um fluxo de radiação igual a 0,12 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para a obtenção de F_0 (fluorescência inicial). A fluorescência máxima (F_M) foi determinada durante um pulso de fótons saturante de 4.000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Estes parâmetros básicos da fluorescência da clorofila foram usados para o cálculo da fluorescência variável (F_V) e a eficiência fotoquímica do FSII (F_V/F_M).

Determinados os parâmetros da fluorescência da clorofila do estado adaptado ao escuro, a mesma folha foi submetida à luz actínica associada à luz vermelha distante por um período de 3 minutos, permitindo a obtenção de F_S (fluorescência quando os processos de transporte de elétrons e as reações bioquímicas de redução do carbono acopladas estão equilibradas), F_M' (fluorescência máxima em estado adaptado à luz) e F_O' (fluorescência mínima em estado adaptado à luz). A partir desses parâmetros foram calculadas os coeficientes de extinção fotoquímico (q^P), a eficiência fotoquímica efetiva (F_V'/F_M') e a taxa de transporte de elétrons (ETR).

Os resultados foram avaliados de acordo com um

1. Laboratório de Metabolismo Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Estudante de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 96010-900. E-mail: antelmofalqueto@yahoo.com.br

2. Laboratório de Metabolismo Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Estudante de Ciências Biológicas, Bolsista IC CNPq, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 96010-900.

3. Laboratório de Fitomelhoramento, Universidade Federal de Pelotas, Estudante de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas, Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Pelotas-RS, CEP: 96010-900.

4. Professor Adjunto, Laboratório de Fitomelhoramento, Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, CEP: 96010-900.

5. Professor Adjunto, Laboratório de Metabolismo Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, Brasil, 96010-900;

Apoio financeiro: CAPES, CNPq e FAPERGS.

delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial (3 x 2), em cinco repetições, representando três cultivares (BRS Atalanta, BRS 6 Chuí e BRS 7 Taim) e dois períodos de análise (início e final do enchimento de grãos). Os dados foram submetidos a uma análise de variância e as médias comparações pelo teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

A fluorescência da clorofila, além de não-destrutiva, é altamente sensível e de fácil manuseio, permitindo a obtenção de informações qualitativas e quantitativas sobre a condição fisiológica do aparato fotossintético. Neste estudo, parâmetros da fluorescência da clorofila foram empregados na caracterização de cultivares de arroz de ciclos precoce, médio e tardio.

A relação F_V/F_M ou eficiência fotoquímica máxima do FSII apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) entre as cultivares no final do período de enchimento de grãos, quando as plantas encontravam-se no ponto ideal para a colheita (Tabela 1). Para a cultivar BRS 7 Taim (de ciclo tardio), o valor de F_V/F_M foi, em média, 0,820, seguido pelas cultivares de ciclo precoce e médio, os quais apresentaram valores de F_V/F_M correspondentes a 0,809 e 0,803, respectivamente. Da mesma forma, F_V'/F_M' , que expressa a eficiência fotoquímica efetiva do FS II, ou seja, a eficiência de transporte de elétrons pelo FSII em estado não-oxidado, variou significativamente entre os estádios para todas as cultivares avaliadas (Tabela 1). A queda em F_V/F_M era previsível, uma vez que as etapas finais de enchimento de grãos em arroz são caracterizadas pela senescência dos órgãos vegetais, causada pela queda nos teores de pigmentos fotossintéticos, reduções na razão FSII:FSI e degradação dos componentes protéicos dos fotossistemas [5]. Entretanto, em detrimento à queda observada na eficiência fotoquímica máxima durante a fase final do enchimento dos grãos, é importante ressaltar que os valores absolutos de F_V/F_M observados para as cultivares ainda encontram-se dentro dos padrões observados para a maioria das espécies vegetais em ausência de qualquer estresse abiótico e/ou biótico [6, 7].

Quando se comparou cada cultivar entre os respectivos períodos de análise, observou-se uma redução significativa na relação F_V/F_M para as três cultivares no período final de enchimento de grãos. Este resultado foi consistente com a redução observada em F_V'/F_M' (Tabela 1). Analogamente aos resultados supracitados, as cultivares comportaram-se de maneira similar em relação aos valores do *quenching* fotoquímico (q^P) na fase inicial de enchimento dos grãos (Tabela 1). Entretanto, ao final do enchimento de grãos, houve diferença significativa em q^P entre as cultivares testadas. Dessa forma, q^P pode ser um bom indicador de diferenças fisiológicas entre diferentes cultivares de arroz durante o período final de

enchimento de grãos. O *quenching* fotoquímico representa a proporção de energia dos fótons capturada pelos centros de reação do fotossistema II abertos e dissipada via efeito fotoquímico [8], refletindo o grau de oxidação e redução da plastoquinona A (Q_A). A comparação de q^P entre os períodos inicial e final de enchimento de grãos revelou uma redução significativa apenas em BRS 7 Taim (Tabela 1).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) reduziu-se significativamente durante o período final de enchimento dos grãos em BRS 6 Chuí (Tabela 1). Além disso, ETR foi significativamente diferente entre as cultivares avaliadas no final do enchimento de grãos (Tabela 1), refletindo as mudanças fisiológicas características desta fase senescente do ciclo de vida das plantas. Jiao *et al.* [3] estudaram características da fluorescência da clorofila em folhas bandeira de seis cultivares de arroz durante o desenvolvimento dos grãos e seus resultados foram consistentes com os obtidos no presente estudo: a eficiência fotoquímica máxima (F_V/F_M), F_V'/F_M' , q^P e ETR reduziram-se na mesma intensidade com que a clorofila foi degradada nas respectivas cultivares.

A partir dos resultados deste experimento pode-se propor que a razão F_V/F_M , F_V'/F_M' e q^P constituem parâmetros sensíveis para determinar diferenças fisiológicas relacionadas à duração do ciclo médio de vida entre cultivares durante o estágio final de enchimento de grãos.

Referências

- [1] MAE, T. 1997. Physiological nitrogen efficiency in rice: Nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential. *Plant and soil*, 196: 201-210.
- [2] MASUMOTO, C.; ISHII, T.; KATAOKA, S.; HATANAKA, T. & UCHIDA, N. 2004. Enhancement of Rice Leaf Photosynthesis by crossing between Cultivated Rice, *Oryza sativa* and Wild Rice Species, *Oryza rufipogon*. *Plant Production Science*, 7: 252-259.
- [3] JIAO, D.; JI, B. & LI, X. 2003. Characteristics of chlorophyll fluorescence and membrane-lipid peroxidation during senescence of flag leaf in different cultivars of rice. *Photosynthetica*, 41: 33-41.
- [4] BAKER, N., ROSENQVIST, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1607-1621.
- [5] YAMAZAKI, J-Y.; KAMIMURA, Y.; OKADA, M.; SUGIMURA, Y. 1999. Changes in photosynthetic characteristics and photosystem stoichiometries in the lower leaves in rice seedlings. *Plant Science*, 148: 155-163.
- [6] ROHACEK, K.; BARTAK, M. 1999. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concepts, useful parameters, and some applications. *Photosynthetica*, 37: 339-363.
- [7] HUNT, S. 2003. Measurements of photosynthesis and respiration in plants. *Physiologia Plantarum*, 117: 314-325.
- [8] JUNEAU, P.; GREEN, B.R.; HARRISON, P.J. 2005. Simulation of Pulse-Amplitude-Modulated (PAM) fluorescence: Limitations of some PAM-parameters in studying environmental stress effects. *Photosynthetica*, 43: 75-83.

Tabela 1. Eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (F_V/F_M), eficiência fotoquímica efetiva (F_V'/F_M'), coeficiente de extinção fotoquímica (q^P) e taxa de transporte de elétrons (ETR) obtidos nos estádios de início (1) e final (2) do enchimento de grãos em cultivares de arroz diferindo em relação ao ciclo médio de vida (UFPel, Pelotas- RS, 2006).

Cultivar	Ciclo (dias)	Estádio	F_V/F_M	F_V'/F_M'	q^P	ETR
BRS Atalanta	<i>Precoce</i> (100)	1	0,838 ± 0,01 aAB	0,723 ± 0,055 a	0,481 ± 0,131	58,97 ± 15,76 aA
		2	0,809 ± 0,013 b	0,458 ± 0,113 b	0,520 ± 0,284 A	60,03 ± 8,860 aA
BRS 6 Chuí	<i>Médio</i> (110)	1	0,829 ± 0,017 aB	0,687 ± 0,066 a	0,311 ± 0,084	84,90 ± 16,87 aA
		2	0,803 ± 0,022 b	0,468 ± 0,103 b	0,344 ± 0,214 AB	54,22 ± 11,16 bB
BRS 7 Taim	<i>Tardio</i> (130)	1	0,848 ± 0,013 aA	0,694 ± 0,057 a	0,402 ± 0,080 a	96,41 ± 33,81 aB
		2	0,820 ± 0,011 b	0,475 ± 0,059 b	0,154 ± 0,034 bB	89,03 ± 4,963 aB

1. Início do enchimento dos grãos; 2. Final do enchimento dos grãos.

Nas colunas, médias seguidas por letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as cultivares (BRS Atalanta vs BRS 6 Chui vs BRS 7 Taim) em cada estágio (Início do enchimento dos grãos e Final do enchimento dos grãos); médias seguidas por letras minúsculas indicam diferença significativa para cada cultivar entre os estádios (Início do enchimento dos grãos ou Final do enchimento dos grãos). Todas as comparações foram feitas pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$) com 5 repetições. Os números que seguem cada média representam os desvios padrões.