

PHẢN ỨNG QUANG HỢP CỦA LÁ ĐỒNG Ở GIAI ĐOẠN CHÍN CỦA DÒNG LÚA NGẮN NGÀY VỚI THỜI VỤ VÀ MỨC BÓN ĐẠM KHÁC NHAU

Đỗ Thị Hương^{1*}, Tăng Thị Hạnh³, Nguyễn Văn Hoan², Phạm Văn Cường³

¹*Nghiên cứu sinh khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

²*Dự án JICA-DCG; ³Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

Email: dthuong@vnua.edu.vn*

Ngày gửi bài: 15.08.2014

Ngày chấp nhận: 20.09.2014

TÓM TẮT

Thí nghiệm chậu vại được tiến hành tại nhà lưới của khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam trong vụ mùa 2012 và vụ xuân 2013 ở 3 mức bón đạm (mức thấp, mức trung bình và mức cao) nhằm đánh giá phản ứng quang hợp của lá đồng ở giai đoạn chín của dòng lúa ngắn ngày với mùa vụ và mức bón đạm khác nhau. Thí nghiệm được thiết kế theo kiểu khối ngẫu nhiên đầy đủ với 4 lần nhắc lại. Vật liệu thí nghiệm gồm dòng lúa ngắn ngày IL19-4-3-8 được chọn lọc từ thế hệ F₄ (lai giữa giống lúa IR24 và lúa dại *Rufipogon*) và giống lúa đối chứng là IR24. Ở các giai đoạn trổ, 7, 14 và 21 ngày sau trổ, mỗi công thức lấy ngẫu nhiên 1 cây để đo cường độ quang hợp ở các khoảng thời gian từ 8h00 đến 10h00, từ 10h00-12h00, từ 12h00-14h00 và từ 14h00-16h00. Kết quả nghiên cứu cho thấy, thời vụ trồng và mức bón đạm đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp ở các giai đoạn theo dõi. Cường độ quang hợp của dòng lúa ngắn ngày IL19-4-3-8 ở giai đoạn trổ và 7 ngày sau trổ có tương quan thuận ở mức ý nghĩa với tỷ lệ hạt chắc và khối lượng 1.000 hạt (M1000) ở vụ mùa; ở vụ xuân, cường độ quang hợp có quan hệ thuận chặt với tỷ lệ hạt chắc và khối lượng 1000 hạt chỉ ở giai đoạn trổ. Tỷ lệ hạt chắc và M1000 hạt của giống IR 24 có tương quan thuận ở mức ý nghĩa với cường độ quang hợp giai đoạn trổ, 7, 14 và 21 ngày sau trổ ở cả hai vụ.

Từ khóa: Môi trường, quang hợp ở lá đồng, thời gian sinh trưởng ngắn.

Response of The Flag Leaf Photosynthesis to Different Growing Seasons and Nitrogen Levels in Early Maturing Line of Rice at Ripening Stage

ABSTRACT

Pot experiments were carried out in the green house at the Faculty of Agronomy in 2012 summer and 2013 spring seasons under low nitrogen (N1), intermediate nitrogen (N2) and high nitrogen (N3) levels to investigate flag leaf photosynthesis of a newly developed line of rice with early maturity and the check cultivar IR 24. The experiments were arranged in randomized complete block (RCB) with 4 replications. At the heading stage, 7, 14 and 21 days after heading (DAH), a pot from each treatment was randomly selected to measure photosynthetic rate. Grain yield and yield components, were determined at harvesting stage. The results showed that season and nitrogen level affected photosynthetic rate at all stages. A significant and positive correlation between percentage of filled spikelets, 1000 grain weight of IL19-4-3-8 and photosynthetic rate at heading stage and 7DAH in summer growing season. Grain filling percentage of IL19-4-3-8 closely related with photosynthetic rate at heading stage and 1000 grain weight associated more closely with photosynthetic rate at heading stage and 7DAH than that at 14 and 21DAH in spring growing season. Photosynthetic rate at heading stage and after heading stages had great contribution to grain filling percentage and 1000 grain weight of IR 24 in both seasons.

Keywords: Early maturing rice line, flag leaf photosynthesis, growing season.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quang hợp là một quá trình sử dụng năng lượng ánh sáng để tổng hợp ra các hợp chất hydrat carbon thông qua các phản ứng đồng hóa CO_2 , đây là yếu tố quan trọng bậc nhất ảnh hưởng đến sinh trưởng của cây trồng, tích lũy chất khô và hình thành năng suất (Takai et al., 2009). Ở lúa, khoảng hơn 90% sinh khối của cây trồng được tạo thành từ sản phẩm quang hợp (Makino, 2011). Do đó, tầm quan trọng của quang hợp đối với tăng sinh khối của cây trồng không còn phải bàn luận. Điều này đã được chứng minh rằng quang hợp tán có mối tương quan chặt chẽ với năng suất sinh vật học và năng suất hạt. Cường độ quang hợp tán là một hàm số của diện tích lá, cấu trúc tán và cường độ quang hợp cá thể (Peng, 2000). Vì vậy, việc cải thiện bất cứ một thành phần nào trong phương trình này đều làm tăng tiềm năng năng suất sinh khối và năng suất hạt của cây trồng. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng, chỉ số diện tích lá của hầu hết các cây trồng đã đạt mức tối đa (Horton, 2000) và cấu trúc tán của các cây trồng năng suất cao như lúa, ngô và lúa mì đã ở mức tối ưu (Peng, 2000, Richards, 2000). Cho nên, quang hợp lá là yếu tố làm tăng năng suất cây trồng và đã được nhiều nhà khoa học chứng minh (Evans, 1993). Theo Ohno (1976), sự đóng góp của quang hợp lá đến sinh khối chiếm khoảng 30%. Xu (1994) đã công bố rằng cường độ quang hợp lá có tương quan với năng suất hạt. Bên cạnh việc tăng năng suất sinh vật học và năng suất hạt, các nhà khoa học còn dự báo, tăng cường độ quang hợp lá còn làm tăng hiệu suất sử dụng bức xạ (Hubbart et al., 2007). Do đó, các nhà nghiên cứu về khoa học cây trồng tin rằng, nâng cao khả năng quang hợp ở lá sẽ làm tăng tiềm năng năng suất cây ngũ cốc (Makino, 2011, Takai et al., 2006), trong đó lá đồng đóng vai trò quan trọng nhất đối với việc hình thành năng suất sinh vật học và năng suất hạt (dẫn theo Kumagai et al., 2007).

Nitơ là yếu tố tham gia vào nhiều thành phần cấu tạo nên tế bào thực vật như các amino axit, các nucleotit và diệp lục, protein, một vài hormon sinh trưởng và giúp cho quá trình hình thành tế bào mới, do đó, quá trình sinh trưởng trồng

đòi hỏi phải được cung cấp nitơ thường xuyên (Guo et al., 2008, Kumagai et al., 2010, Sinclair et al., 2012). Cường độ quang hợp lá và hàm lượng nitơ trong lá có tương quan chặt chẽ với nhau ở tất cả các loại cây trồng (Sinclair et al., 1989). Trong sản xuất nông nghiệp, năng suất cây trồng tăng nhờ bón phân hóa học, đặc biệt là phân đạm (Tong et al., 2011). Mục đích của nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của thời vụ trồng và mức bón đạm đến đặc điểm quang hợp của lá đồng của dòng lúa ngắn ngày, cũng như mối tương quan giữa cường độ quang hợp với yếu tố cấu thành năng suất, từ đó cung cấp thông tin cho công tác chọn giống và biện pháp canh tác lúa ngắn ngày.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu thí nghiệm gồm dòng lúa IL 19-4-3-8 (ký hiệu G1), đây là dòng lúa mang một đoạn nhiễm sắc thể của lúa dại do lai xa giữa lúa dại *Rufipogon* và giống IR24 được Nhật Bản cung cấp. Thời gian sinh trưởng của dòng này khoảng 110 ngày (vụ xuân) và 95 ngày (vụ mùa). Giống IR24 (Ký hiệu là G2) được sử dụng là giống đối chứng có thời gian sinh trưởng khoảng 130 ngày (vụ xuân) và 120 ngày (vụ mùa).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thí nghiệm chậu vại được bố trí tại nhà lưới khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam trong vụ mùa 2012 và vụ xuân 2013 với 3 mức bón đạm, mức thấp (N1): 0,25g N/chậu; mức trung bình (N2): 0,5g N/chậu và mức cao (N3): 1g N/chậu. Số tổ hợp các nhân tố nghiên cứu là 6 (G1N1, G1N2, G1N3, G2N1, G2N2 và G2N3). Khi mạ được 2-3 lá, tiến hành cấy trong chậu có dung tích 0,03m³ chứa 5kg đất phù sa, mỗi chậu cấy một dảnh. Các chậu được sắp xếp theo kiểu khối ngẫu nhiên đầy đủ với 4 lần nhắc, tổng số chậu thí nghiệm là 240 chậu. Nền phân bón thí nghiệm là 0,5g P_2O_5 + 0,5g K_2O . Bón lót với lượng 100% P_2O_5 + 30% N + 30% K_2O , bón thúc lần 1 khi đẻ nhánh với lượng 50% N + 50% K_2O và lượng phân còn lại được bón khi cây bắt đầu phân hóa đồng.

2.3. Theo dõi các chỉ tiêu

Ở các giai đoạn trổ, 7, 14 và 21 ngày sau trổ, mỗi tổ hợp các nhân tố nghiên cứu lấy 4 chậu (tương ứng với 4 lần nhắc lại) để đo chỉ tiêu quang hợp dưới dạng cường độ trao đổi CO_2 bằng máy LICOR-6400 (Hoa Kỳ) ở điều kiện 30°C , nồng độ CO_2 là 360-370ppm, cường độ ánh sáng là $1.500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{giây}$ và độ ẩm 60%, quang hợp đo ở lá đồng (chỉ đo trên thân chính) ở trong khoảng thời gian từ 8h00 đến 10h00, từ 10h00-12h00, từ 12h00-14h00 và từ 14h00-16h00. Thời kỳ chín, lấy ngẫu nhiên mỗi tổ hợp nghiên cứu 4 cây để xác định khối lượng 1.000 hạt, tổng số hạt trên bông, tỷ lệ hạt chắc và năng suất cá thể (khối lượng hạt chắc ở độ ẩm 14%).

2.4. Xử lý số liệu

Số liệu được xử lý thống kê theo phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) bằng phần mềm Minitab 16 và SPSS 16.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Cường độ quang hợp từ 8h00-10h00

Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của thời vụ và mức bón đạm đến cường độ quang hợp của các dòng lúa thí nghiệm trong khoảng thời gian này cho thấy: mức đạm khác nhau đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp có ý nghĩa ở tất cả các giai đoạn theo dõi; trong đó, cường độ quang hợp trung bình của hai dòng giống lúa ở mức bón đạm $\text{N3} > \text{N2} > \text{N1}$. Điều này phù hợp với các công bố trước đây, nghĩa là, khi tăng mức bón đạm sẽ làm tăng cường độ quang hợp (Kumagai et al., 2009, Li et al., 2013). Thời vụ trồng chỉ ảnh hưởng đến cường độ quang hợp giai đoạn sau trổ. Trong đó, cường độ quang hợp giai đoạn trổ, 7 ngày sau trổ (NST); 14 ngày sau trổ ở vụ mùa cao hơn ở vụ xuân, cường độ quang hợp tại thời điểm 21 ngày sau trổ cho kết quả ngược lại (Bảng 1). So sánh cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 trong điều kiện bón đạm thấp, trung bình và cao ở từng thời vụ trồng cho thấy:

Giai đoạn lúa trổ, cường độ quang hợp dao động từ $18,58-25,27 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ lá}/\text{giây}$ trong

vụ mùa và từ $17,30-28,88 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ lá}/\text{giây}$ trong vụ xuân (Bảng 1). Trong cùng mức bón đạm, sự khác nhau ở mức ý nghĩa về cường độ quang hợp giữa IL 19-4-3-8 và IR 24 chỉ được phát hiện ở mức bón đạm cao (vụ mùa); vụ xuân IR 24 có cường độ quang hợp cao hơn IL 19-4-3-8 ở cả 3 mức bón đạm.

Giai đoạn 7 NST, cường độ quang hợp của IL 19-4-3-8 và IR 24 tăng lên ở mức ý nghĩa khi tăng từ mức bón đạm thấp lên mức trung bình, khi tăng lên mức cao cho kết quả khác nhau không ý nghĩa so với mức bón trung bình ở cả hai vụ theo dõi, kết quả nghiên cứu này tương tự như công bố của (Phạm Văn Cường, 2012) trên giống lúa Cườm (Bảng 1). Cường độ quang hợp của IL 19-4-3-8 và IR 24 ở giai đoạn này cho kết quả khác nhau không ý nghĩa trên cùng mức đạm trong vụ mùa; vụ xuân cho kết quả ngược lại.

Giai đoạn 14 NST (tương đương với thời kỳ lúa chín sấp), cường độ quang hợp của các dòng lúa dao động từ $8,21-14,31 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ lá}/\text{giây}$ ở vụ mùa và từ $7,94-11,16 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ lá}/\text{giây}$ ở vụ xuân (Bảng 1). So sánh cường độ quang hợp của hai giống trong cùng mức dinh dưỡng đạm cho thấy ở vụ mùa cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn ở mức ý nghĩa ở cả 3 mức bón đạm; vụ xuân, sự khác nhau có ý nghĩa chỉ được phát hiện trên mức bón thấp và trung bình.

Giai đoạn 21 NST, cường độ quang hợp của IL 19-4-3-8 giảm mạnh chỉ đạt 1,95; 3,10 và $3,49 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ lá}/\text{giây}$, tương ứng với điều kiện dinh dưỡng đạm ở mức thấp, mức trung bình và mức cao; cường độ quang hợp của IR 24 đạt 4,67; 7,40 và $8,60 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ lá}/\text{giây}$ tương ứng với mức đạm N1, N2 và N3 trong vụ mùa (Bảng 1). Giai đoạn này, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn có ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL 19-4-3-8 trong cùng mức đạm (vụ mùa); vụ xuân cho kết quả ngược lại, nghĩa là ở cùng mức đạm, cường độ quang hợp của IL 14-9-3-8 khác không ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IR 24 (Bảng 1).

3.2. Cường độ quang hợp từ 10h00-12h00

Nghiên cứu ảnh hưởng của mùa vụ và mức bón đạm đến cường độ quang hợp của dòng lúa

ngắn ngày (IL19-4-3-8) và giống lúa dài ngày IR 24 cho thấy dinh dưỡng đạm đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp giai đoạn trổ, 7 NST, 14 NST; trong đó, cường độ quang hợp trung bình của hai dòng giống ở hai mùa vụ được sắp xếp theo thứ tự như sau: cường độ quang hợp ở mức N3>N2>N1 (số liệu không thể hiện trên bảng). Thời vụ trổ đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp ở tất cả các giai đoạn theo dõi và cường độ quang hợp trung bình của cả hai dòng trên các môi trường đạm khác nhau ở vụ mùa cao hơn vụ xuân (Bảng 2). So sánh cường độ quang hợp giữa hai dòng giống có thời gian sinh trưởng khác nhau trên mức bón đạm thấp, trung bình và cao ở từng vụ trổ cho thấy:

Giai đoạn trổ, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở mức đạm thấp đạt thấp nhất và cường độ quang hợp của IR 24 ở mức bón đạm cao đạt cao nhất (vụ mùa). Với dòng IL19-4-3-8, khi tăng mức bón đạm từ mức thấp lên mức trung bình đã làm tăng cường độ quang hợp ở mức ý nghĩa, nhưng khi tăng mức bón đạm lên ở mức cao, cường độ quang hợp tăng lên không ý nghĩa. Với giống lúa IR 24 cho kết quả ngược lại, nghĩa là sự khác nhau về cường độ quang hợp ở mức có ý nghĩa chỉ được tìm thấy giữa mức bón

trung bình và mức bón cao (vụ mùa). Vụ xuân, mức bón đạm không ảnh hưởng đến cường độ quang hợp của dòng IL19-4-3-8 và IR 24, chỉ khác nhau có ý nghĩa giữa mức bón thấp (đạt 23,68 μ mol CO₂/m² lá/giây) và mức bón cao (29,91 μ mol CO₂/m² lá/giây). So sánh trên cùng mức bón đạm cho thấy, ở cả hai vụ đều cho cùng kết luận nghĩa là ở cùng mức bón đạm N1 hoặc N2 hoặc N3, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn có nghĩa so với cường độ quang hợp của dòng IL19-4-3-8 (Bảng 2).

Giai đoạn 7 NST, nhìn chung cường độ quang hợp của các dòng tăng tuyến tính với việc tăng mức bón đạm ở cả vụ xuân và vụ mùa (Bảng 2). Trên cùng mức bón đạm, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn có ý nghĩa so với cường độ quang hợp của dòng IL19-4-3-8 trong cả hai vụ.

Giai đoạn 14 NST, sự khác nhau về cường độ quang hợp ở cùng mức đạm cho kết quả tương tự như ở giai đoạn 7 NST, nghĩa là cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn ở mức ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và ở mức bón đạm cao cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 chỉ tương đương với cường độ quang hợp

Bảng 1. Cường độ quang hợp (μ mol CO₂/m² lá/giây) trong khoảng thời gian từ 8h00-10h00 ở điều kiện bón đạm khác nhau

Dòng/giống	Mức đạm	Giai đoạn trổ		7 NST		14NST		21NST	
		Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân
IL19-4-3-8	N1	18,58 ^d	17,30 ^e	14,63 ^c	12,37 ^c	8,21 ^c	7,94 ^c	1,95 ^d	6,03 ^c
	N2	21,37 ^{bc}	19,67 ^d	19,76 ^b	14,18 ^b	9,26 ^c	8,69 ^{bc}	3,10 ^{cd}	6,65 ^c
	N3	22,92 ^b	20,78 ^{cd}	21,09 ^{ab}	15,14 ^b	12,20 ^b	10,28 ^{ab}	3,49 ^{bc}	8,25 ^{ab}
IR 24	N1	19,56 ^{cd}	21,92 ^c	15,51 ^c	15,62 ^b	12,64 ^b	9,63 ^{ab}	4,67 ^b	6,00 ^c
	N2	23,43 ^{ab}	24,56 ^b	21,32 ^{ab}	17,78 ^a	13,04 ^{ab}	11,16 ^a	7,40 ^a	6,95 ^{bc}
	N3	25,27 ^a	26,88 ^a	22,68 ^a	18,08 ^a	14,31 ^a	10,99 ^a	8,60 ^a	8,69 ^a
Phân tích phương sai									
Vụ		0,00 ^{ns}		116,99 [*]		50,68 [*]		220,54 [*]	
Giống		198,31 [*]		76,17 [*]		186,74 [*]		246,9 [*]	
Đạm		179,55 [*]		202,35 [*]		40,82 [*]		46,71 [*]	

Ghi chú: Trong cùng một cột số liệu, các giá trị mang cùng chữ cái thể hiện sự khác nhau không ý nghĩa, các giá trị mang các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa theo tiêu chuẩn Tukey ở mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$; * khác nhau có ý nghĩa, ^{ns} khác nhau không ý nghĩa theo tiêu chuẩn F; NST: ngày sau trổ.

Bảng 2. Cường độ quang hợp ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) trong thời gian từ 10h00-12h00 ở điều kiện bón đạm khác nhau

Dòng/giống	Mức đạm	Giai đoạn trổ		7NST		14NST		21NST	
		Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân
IL19-4-3-8	N1	19,72 ^d	19,35 ^d	17,72 ^a	13,43 ^e	11,10 ^d	9,41 ^c	5,82 ^d	6,08 ^d
	N2	23,28 ^c	20,35 ^{cd}	20,10 ^d	16,99 ^d	12,03 ^{cd}	10,94 ^b	6,28 ^{cd}	7,16 ^{cd}
	N3	24,87 ^{bc}	22,62 ^{bcd}	22,76 ^{bc}	18,16 ^c	13,12 ^c	11,81 ^b	6,81 ^{bcd}	8,57 ^{bc}
IR 24	N1	25,85 ^b	23,68 ^{bc}	20,91 ^{cd}	18,08 ^c	12,92 ^{cd}	11,15 ^b	7,74 ^{bc}	7,26 ^{cd}
	N2	27,18 ^b	25,58 ^b	24,36 ^{ab}	19,24 ^b	15,78 ^b	15,25 ^a	8,19 ^b	9,13 ^b
	N3	30,61 ^a	29,91 ^a	24,90 ^a	20,50 ^a	19,62 ^a	15,77 ^a	10,56 ^a	11,14 ^a
Phân tích phương sai									
Vụ		37,65 [*]		211,96 [*]		63,64 [*]		9,64 ^{ns}	
Giống		231,11 [*]		231,05 [*]		239,76 [*]		106,19 [*]	
Đạm		47,67 [*]		161,60 [*]		208,06 [*]		53,07 [*]	

Ghi chú: Trong cùng một cột số liệu, các giá trị mang cùng chữ cái thể hiện sự khác nhau không ý nghĩa, các giá trị mang các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa theo tiêu chuẩn Tukey ở mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$; * khác nhau có ý nghĩa, ^{ns} khác nhau không ý nghĩa theo tiêu chuẩn F; NST: ngày sau trổ.

của IR 24 ở mức bón đạm thấp ở cả hai vụ. Xem xét trên cùng giống ở các mức bón đạm khác nhau cho thấy, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở mức bón đạm thấp đạt $11,10\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây, khi tăng lên mức bón trung bình cường độ quang hợp tăng lên ($12,03\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây), tăng lên mức bón đạm cao, cường độ quang hợp tăng lên không ý nghĩa ($13,12\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây); với giống IR 24, cường độ quang hợp tăng lên ở mức ý khi tăng từ mức bón đạm thấp (đạt $12,92\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) lên mức trung bình (đạt $15,78\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) và mức bón cao (đạt $15,77\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) (vụ mùa). Vụ xuân, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 tăng lên có ý nghĩa khi tăng từ mức bón đạm thấp (N1) lên mức bón đạm trung bình, khi tăng mức bón đạm lên mức cao, cường độ quang hợp tăng lên không ý nghĩa.

Giai đoạn 21 NST, cường độ quang hợp của các dòng dao động từ $5,82-10,56\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ mùa) và từ $6,08-11,14\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ xuân). Cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở cùng mức bón đạm (vụ mùa); vụ xuân, sự khác nhau ở mức ý nghĩa về cường độ quang hợp giữa hai dòng lúa chỉ được phát hiện ở mức bón đạm trung bình và mức bón cao (Bảng 2).

3.3. Cường độ quang hợp từ 12h00-14h00

Mức bón đạm đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp ở tất cả các giai đoạn theo dõi, trong đó cường độ quang hợp trung bình của hai dòng giống ở hai vụ trên mức đạm $N3 > N2 > N1$ (số liệu không thể hiện trên bảng), điều này có nghĩa là cường độ quang hợp giảm khi mức bón đạm giảm. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với nghiên cứu của (Kumagai et al., 2007). Thời vụ trồng ảnh hưởng đến cường độ quang hợp giai đoạn trổ, 7 ngày và 21 ngày sau trổ; trong đó cường độ quang hợp vụ mùa cao hơn vụ xuân ở thời kỳ trổ và 7 NST; cường độ quang hợp 21 NST ở vụ xuân cao hơn vụ mùa (Bảng 3). Đánh giá cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 trong điều kiện bón đạm thấp, trung bình và cao ở từng thời vụ trồng cho thấy: Giai đoạn trổ, cường độ quang hợp dao động từ $21,20-23,40\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ mùa) và từ $14,96-24,77\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ xuân). Nghiên cứu cường độ quang hợp của từng dòng giống ở điều kiện bón đạm khác nhau cho thấy: đối với dòng IL19-4-3-8, cường độ quang hợp ở vụ mùa không bị ảnh hưởng bởi mức bón đạm, cường độ quang hợp ở vụ xuân tăng tuyến tính với mức tăng của lượng bón đạm; đối với giống IR 24,

Phản ứng quang hợp của lá đồng ở giai đoạn chín của dòng lúa ngắn ngày với thời vụ và mức bón đạm khác nhau

Bảng 3. Cường độ quang hợp ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) trong thời gian từ 12h00-14h00 ở điều kiện bón đạm khác nhau

Dòng/giống	Mức đạm	Giai đoạn trỗ		7NST		14NST		21NST	
		Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân
IL19-4-3-8	N1	21,20 ^b	14,96 ^e	12,67 ^c	11,71 ^d	6,13 ^d	8,58 ^c	3,54 ^d	4,55 ^c
IL19-4-3-8	N2	20,30 ^b	17,90 ^d	17,70 ^b	12,63 ^{cd}	8,98 ^c	9,37 ^{bc}	4,91 ^{cd}	5,89 ^b
IL19-4-3-8	N3	20,91 ^b	20,67 ^c	19,14 ^b	16,71 ^{ab}	8,80 ^c	9,27 ^{bc}	5,78 ^{bc}	6,78 ^b
IR 24	N1	20,79 ^b	21,88 ^{bc}	18,21 ^b	14,48 ^{bc}	11,75 ^b	10,13 ^b	4,83 ^{cd}	6,75 ^b
IR 24	N2	21,80 ^{ab}	22,77 ^b	22,57 ^a	16,24 ^{ab}	12,82 ^b	11,47 ^a	6,37 ^b	6,73 ^b
IR 24	N3	23,40 ^a	24,77 ^a	23,77 ^a	17,29 ^a	16,50 ^a	12,08 ^a	9,78 ^a	8,74 ^a
Phân tích phương sai									
Vụ		12,70 [*]		626,53 [*]		7,74 ^{ns}		152,98 [*]	
Giống		188,83 [*]		177,30 [*]		469,41 [*]		132,53 [*]	
Đạm		138,37 [*]		166,51 [*]		53,94 [*]		111,52 [*]	

Ghi chú: Trong cùng một cột số liệu, các giá trị mang cùng chữ cái thể hiện sự khác nhau không ý nghĩa, các giá trị mang các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa theo tiêu chuẩn Tukey ở mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$; * khác nhau có ý nghĩa, ^{ns} khác nhau không ý nghĩa theo tiêu chuẩn F; NST: ngày sau trỗ

cường độ quang hợp ở mức đạm trung bình khác không ý nghĩa so với mức bón thấp và mức bón cao (vụ mùa), ở vụ xuân, sự khác nhau ở mức ý nghĩa về cường độ quang hợp được tìm thấy ở mức bón cao (đạt $24,77\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) so với mức bón trung bình (đạt $22,77\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) và mức bón thấp (đạt $21,88\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây). So sánh cường độ quang hợp của hai giống trong cùng môi trường dinh dưỡng đạm cho thấy ở vụ mùa, mức bón đạm thấp và trung bình không ảnh hưởng đến cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24; trong khi đó cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở mức bón đạm cao thấp hơn ở mức ý nghĩa so với IR 24; ở vụ xuân, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn ở mức ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 (Bảng 3).

Giai đoạn 7NST, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở cùng mức đạm (vụ mùa), vụ xuân, sự khác nhau về cường độ quang hợp giữa hai dòng giống chỉ được tìm thấy khi được bón mức đạm cao và cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn có ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 (Bảng 3). Trên các mức bón đạm khác nhau, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 tăng khi mức đạm tăng từ thấp đến trung bình,

khi tăng đạm lên mức bón cao, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 tăng lên không ý nghĩa (vụ mùa); vụ xuân, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 khác nhau không ý nghĩa giữa mức bón thấp và trung bình, khi tăng mức bón đạm lên cường độ quang hợp tăng; cường độ quang hợp của IR 24 chỉ khác nhau có ý nghĩa giữa mức bón thấp và cao.

Giai đoạn 14NST, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 khi đánh giá trên cùng mức đạm (Bảng 3) ở cả hai vụ theo dõi.

Giai đoạn 21NST, cường độ quang hợp của IR 24 ở mức bón đạm N3 cho kết quả cao nhất ở cả hai vụ; cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở mức bón đạm N1 đạt $3,54\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây và khác không ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở mức bón đạm N2 và cường độ quang hợp của IR 24 ở mức bón đạm N2 (vụ mùa); vụ xuân, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 với mức bón N1 đạt giá trị thấp nhất ($4,55\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây). Cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn ở mức ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 trên cùng mức đạm trung bình hoặc mức bón cao trong vụ mùa, trong vụ xuân, cùng mức bón N2, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 khác không ý nghĩa

so với cường độ quang hợp của IR 24, ở hai mức còn lại cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn (Bảng 3).

3.4. Cường độ quang hợp từ 14h00-16h00

Thời vụ trồng đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp ở giai đoạn trổ, 14 NST và 21 NST; trong đó cường độ quang hợp vụ mùa cao hơn vụ xuân. Mức bón đạm đã ảnh hưởng đến cường độ quang hợp ở tất cả các giai đoạn theo dõi và cường độ quang hợp trung bình của hai giống ở hai thời vụ trồng đạt cao nhất khi được bón mức bón N3 sau đó đến N2 và thấp nhất là N1 (Bảng 4). So sánh cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 trong điều kiện bón đạm thấp, trung bình và cao ở từng thời vụ trồng được kết quả như sau:

Giai đoạn trổ, so sánh cường độ quang hợp của IR 24 và IL19-4-3-8 ở cùng mức bón đạm cho thấy, trong cả hai thời vụ cường độ quang hợp của IR 24 đều cao hơn cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 (Bảng 4). Xem xét ảnh hưởng của mức bón đạm đến từng dòng giống cho thấy, với dòng IL19-4-3-8, cường độ quang hợp tăng lên ở mức ý nghĩa khi tăng từ mức bón N1 lên mức bón N2 (vụ xuân) và từ mức bón N2 lên N3

(vụ mùa); với giống IR 24, mức bón đạm khác nhau cho cường độ quang hợp khác nhau ở mức ý nghĩa (vụ mùa); ở vụ xuân, khi tăng mức bón từ N1 lên N2, cường độ quang hợp tăng lên có ý nghĩa, khi tăng lên mức bón N3, cường độ quang hợp tăng lên không ý nghĩa.

Giai đoạn 7 NST, trong cùng mức đạm, cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn ở mức ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 (vụ mùa), cường độ quang hợp của IR 24 cao hơn ở mức ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở mức đạm thấp và mức đạm trung bình, ở mức đạm cao, cường độ quang hợp của IR 24 khác không ý nghĩa so với cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 (vụ xuân) (Bảng 4).

Giai đoạn 14 NST, mức bón đạm không ảnh hưởng đến cường độ quang hợp IL19-4-3-8 trong cả vụ xuân và vụ mùa; cường độ quang hợp của IR 24 tăng có ý nghĩa khi tăng mức bón đạm từ mức trung bình (đạt $13,88\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) lên mức cao (đạt $17,8\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) trong vụ mùa; vụ xuân sự khác nhau có ý nghĩa về cường độ quang hợp của IR 24 chỉ thể hiện ở môi trường bón đạm thấp (đạt $10,95\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) và cao (đạt $14,23\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây).

Bảng 4. Cường độ quang hợp ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây) trong thời gian từ 14h00-16h00 ở điều kiện bón đạm khác nhau

Dòng/giống	Mức đạm	Giai đoạn trổ		7NST		14NST		21NST	
		Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân	Vụ mùa	Vụ xuân
IL19-4-3-8	N1	20,64 ^d	18,53 ^c	14,28 ^c	12,38 ^c	10,10 ^d	9,00 ^d	4,24 ^c	5,51 ^c
IL19-4-3-8	N2	22,44 ^c	19,82 ^c	14,70 ^c	15,43 ^b	10,56 ^d	9,68 ^{cd}	4,44 ^c	6,16 ^c
IL19-4-3-8	N3	23,28 ^c	21,85 ^b	15,33 ^c	17,41 ^{ab}	11,22 ^{cd}	10,62 ^{cd}	4,83 ^c	8,11 ^b
IR 24	N1	23,48 ^c	22,29 ^b	18,62 ^b	15,59 ^b	12,73 ^{bc}	10,95 ^{bc}	6,33 ^b	6,80 ^{bc}
IR 24	N2	25,61 ^b	24,47 ^a	19,21 ^b	18,60 ^a	13,88 ^b	12,73 ^{ab}	6,36 ^b	7,76 ^b
IR 24	N3	27,69 ^a	25,31 ^a	21,12 ^a	19,41 ^a	17,10 ^a	14,23 ^a	8,24 ^a	10,10 ^a
Phân tích phương sai									
Vụ		48,69 [*]		5,99 ^{ns}		48,41 [*]		139,51 [*]	
Giống		349,57 [*]		247,69 [*]		205,36 [*]		128,92 [*]	
Đạm		93,09 [*]		57,58 [*]		67,80 [*]		28,28 [*]	

Ghi chú: Trong cùng một cột số liệu các giá trị mang cùng chữ thể hiện sự khác nhau không ý nghĩa, các giá trị mang khác chữ cái thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa theo tiêu chuẩn Tukey ở mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$; * khác nhau có ý nghĩa, ^{ns} khác nhau không ý nghĩa theo tiêu chuẩn F; NST: ngày sau trổ.

Giai đoạn 21NST, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 giảm mạnh đặc biệt trên các mức bón đạm thấp. IR 24 có cường độ quang hợp cao nhất đạt $8,24 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ mùa) và $10,10 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ xuân) ở mức bón đạm cao và khác có ý nghĩa so với mức bón đạm thấp và mức trung bình (Bảng 4). IL19-4-3-8 có cường độ quang hợp dao động từ $4,24-4,83 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ mùa) và từ $5,51-8,11 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ lá/giây (vụ xuân). Trong cùng điều kiện bón đạm IR 24 có cường độ quang hợp cao hơn IL19-4-3-8 trong cả hai, cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 và IR 24 khác nhau không ý nghĩa ở mức đạm thấp.

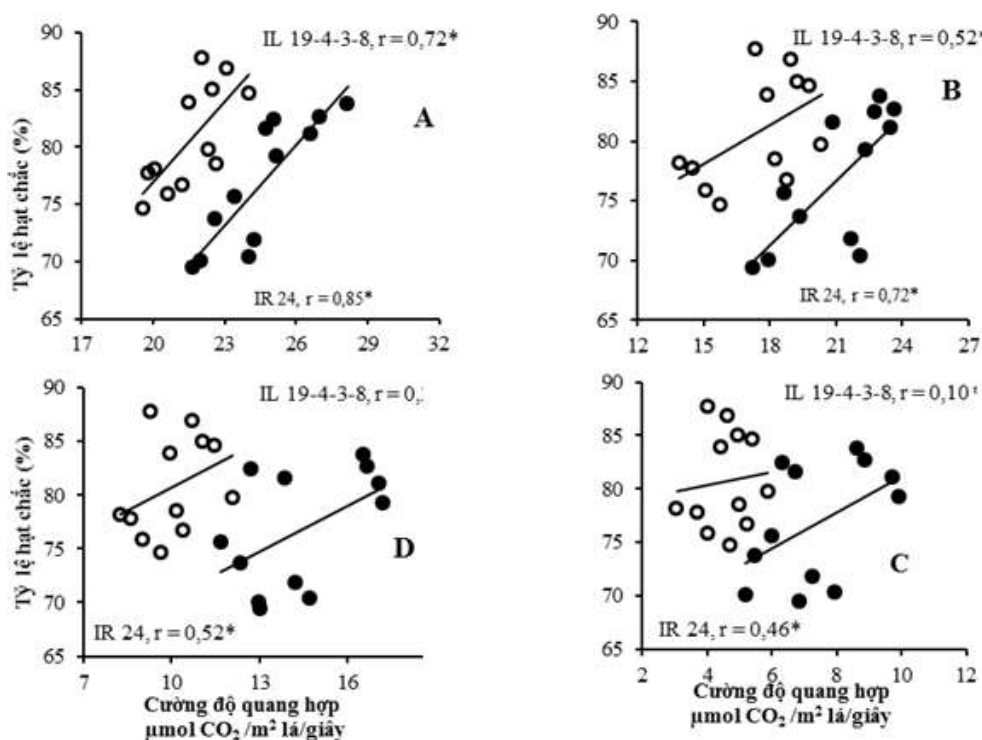
3.5. Mối tương quan giữa cường độ quang hợp và tỷ lệ hạt chắc

Cường độ quang hợp có tương quan thuận với tỷ lệ hạt chắc ở tất cả các giai đoạn theo dõi trên cả IL19-4-3-8 và IR 24 ở cả vụ xuân và vụ mùa và hệ số tương quan giảm dần từ khi lúa

trở đến 21NST, mức độ quan hệ phụ thuộc vào dòng giống và thời kỳ theo dõi khác nhau (Hình 1 và 2).

Đối với giống IR 24, cường độ quang hợp ở giai đoạn trổ, 7 NST, 14 NST và 21 ngày sau trổ có tương quan thuận ở mức ý nghĩa với tỷ lệ hạt chắc ở cả vụ xuân và vụ mùa với hệ số tương quan tương ứng là 0,85; 0,72; 0,52 và 0,46 (vụ mùa) và 0,86; 0,72; 0,67 và 0,51 (vụ xuân).

Đối với dòng IL19-4-3-8, cường độ quang hợp giai đoạn trổ và 7 NST có ảnh hưởng rất lớn đến tỷ lệ hạt chắc với hệ số tương quan tương ứng là $r = 0,72$ và $0,52$ (vụ mùa) (Hình 1); vụ xuân, tỷ lệ hạt chắc chỉ có tương quan thuận ở mức ý nghĩa với cường độ quang hợp giai đoạn trổ, còn ở giai đoạn 7 NST có tương quan thuận nhưng ở mức không ý nghĩa ($r = 0,34$) (Hình 2). Ở giai đoạn 14NST và 21NST, cường độ quang hợp có tương quan thuận nhưng ở mức không ý nghĩa với tỷ lệ hạt chắc ở cả hai vụ nghiên cứu (Hình 1 và 2).



Hình 1. Mối quan hệ giữa cường độ quang hợp và tỷ lệ hạt chắc ở vụ mùa

Ghi chú: A, B, C, D tương ứng với giai đoạn trổ, 7 ngày, 14 ngày và 21 ngày sau trổ;

* có ý nghĩa; ns không có ý nghĩa ở mức $\alpha = 0,05$; IL 19-4-3-8 ($\circ$); IR 24 ($\bullet$)

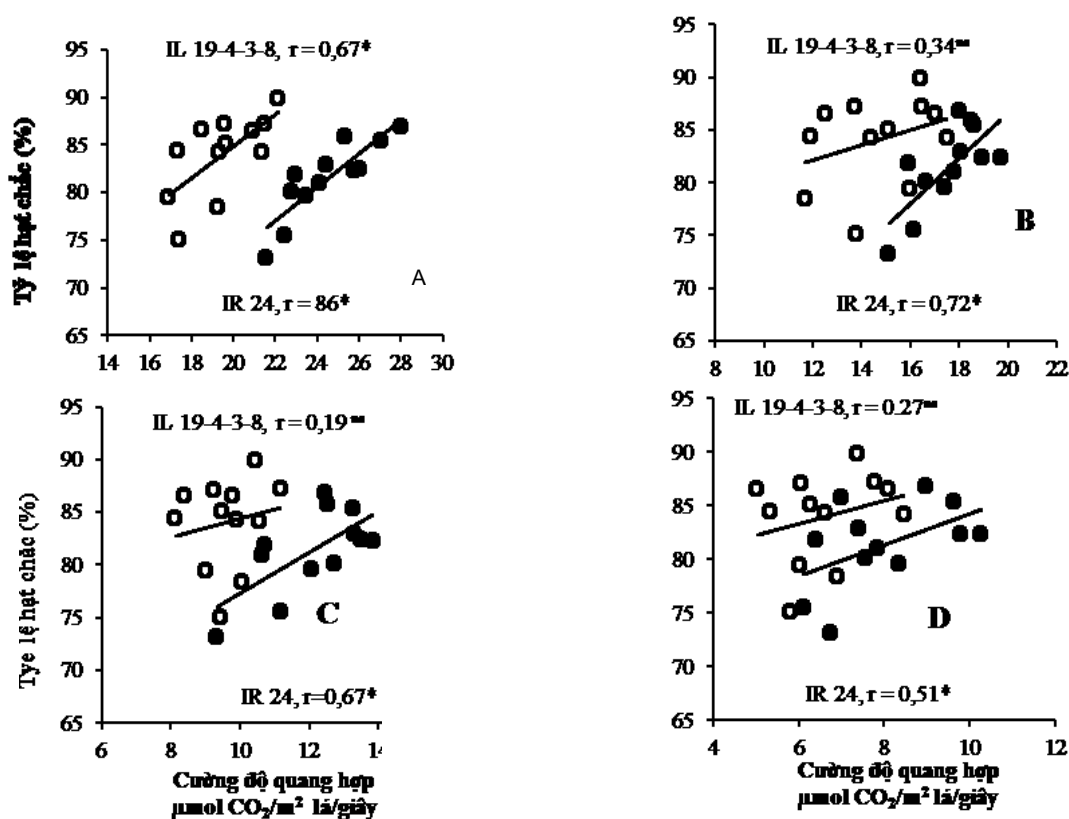
3.6. Mối quan hệ giữa cường độ quang hợp và M1000 hạt

Cường độ quang hợp có tương quan thuận với khối lượng 1.000 hạt (M1000 hạt) ở tất cả các giai đoạn theo dõi trên cả hai dòng giống là IL 19-4-3-8 và IR 24, tuy nhiên mức độ quan hệ của từng dòng giống với cường độ quang hợp phụ thuộc vào mùa vụ, giai đoạn theo dõi. Ở cùng thời kỳ theo dõi, sự phụ thuộc của M1000 hạt vào cường độ quang hợp của IR 24 lớn hơn của IL19-4-3-8 (Hình 3 và 4).

Đối với dòng IL19-4-3-8, cường độ quang hợp ở giai đoạn trổ và 7 NST vai trò rất lớn đối với M1000 hạt hệ số tương quan tương ứng là $r = 0,69$ và $0,50$; ở giai đoạn 14 và 21 NST, cường độ quang hợp có tương quan thuận nhưng ở mức không ý nghĩa với M1000 hạt (r tương ứng là $0,37$ và $0,11$ (Hình 3); ở vụ xuân, M1000 hạt có tương quan thuận với cường độ quang hợp ở tất cả các

giai đoạn theo dõi với hệ số tương quan tương ứng $r=0,79$; $r = 0,5$; $0,48$ và $0,47$ (Hình 4); tuy nhiên ở giai đoạn 14 NST, 21 NST, mối quan hệ này có ý nghĩa nhưng chưa chặt (Nguyễn Thị Lan, 2006). Đối với giống IR 24, cường độ quang hợp giai đoạn trổ, 7 NST, 14 NST và 21 ngày sau trổ có tương quan thuận ở mức ý nghĩa với tỷ lệ hạt chắc ở cả vụ xuân và vụ mùa với hệ số tương quan tương ứng là $0,83$; $0,76$; $0,52$ và $0,51$ (vụ mùa) và $0,83$; $0,82$; $0,71$ và $0,64$ (vụ xuân).

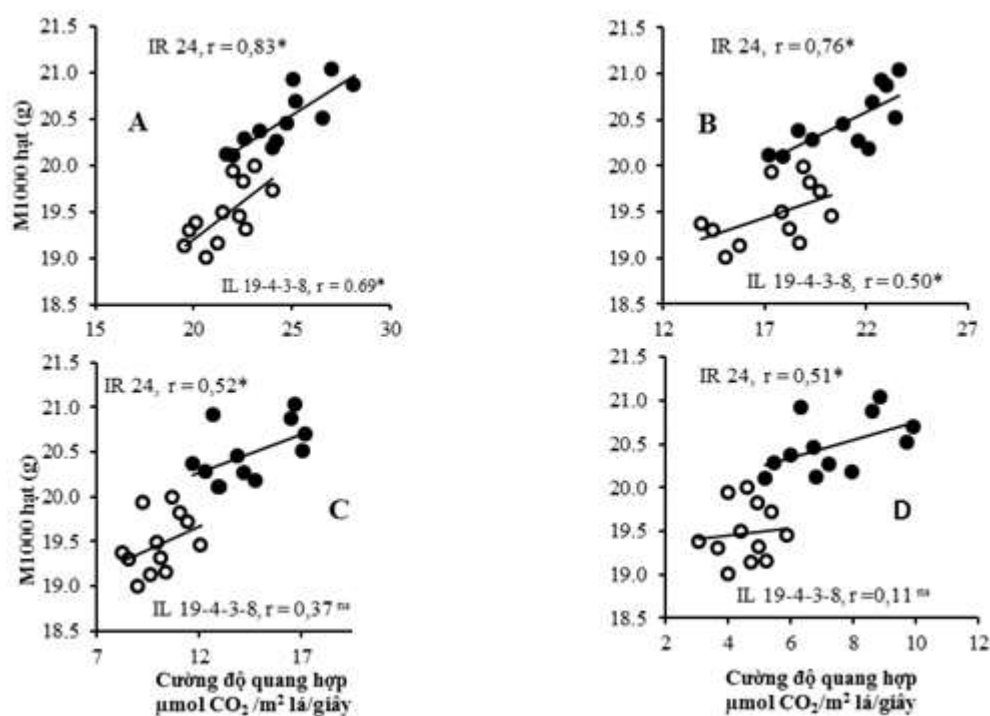
Từ những kết quả này chúng tôi phát hiện ra rằng, cường độ quang hợp sau trổ của dòng lúa ngắn ngày không cao hơn giống dài ngày, đồng thời khả năng duy trì quang hợp trong ngày cũng không cao hơn. Điều này chứng tỏ, năng suất hạt của dòng ngắn ngày phụ thuộc vào quang hợp giai đoạn trước trổ và giai đoạn trổ. Kết quả này phù hợp với các công bố trước (Đỗ Thị Hương và cs., 2013, Katsura et al., 2013).



Hình 2. Mối quan hệ giữa cường độ quang hợp và tỷ lệ hạt chắc ở vụ xuân

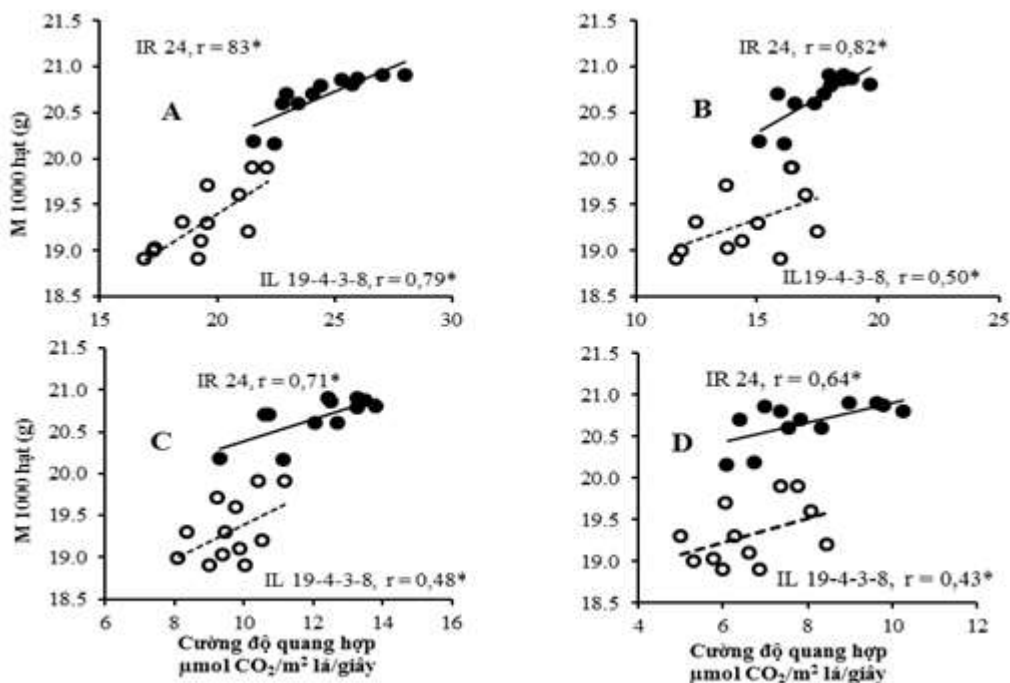
Ghi chú: A, B, C, D tương ứng ở giai đoạn trổ, 7 ngày, 14 ngày, 21 ngày sau trổ;
* có ý nghĩa, ^{ns} không ý nghĩa ở mức $\alpha = 0,05$; IL 19-4-3-8 (○); IR 24 (●)

Phản ứng quang hợp của lá đồng ở giai đoạn chín của dòng lúa ngắn ngày với thời vụ và mức bón đạm khác nhau



Hình 3. Mối quan hệ giữa cường độ quang hợp và M1000 hạt hạt ở vụ mùa

Ghi chú: A, B, C, D tương ứng ở giai đoạn trổ, 7 ngày, 14 ngày, 21 ngày sau trổ;
* có ý nghĩa, ^{ns} không ý nghĩa ở mức $\alpha = 0,05$; IL 19-4-3-8 (○); IR 24 (●), M1000: khối lượng 1000 hạt



Hình 4. Mối quan hệ giữa cường độ quang hợp và M1000 hạt hạt ở vụ xuân

Ghi chú: A, B, C, D tương ứng ở giai đoạn trổ, 7 ngày, 14 ngày, 21 ngày sau trổ;
* có ý nghĩa, ^{ns} không ý nghĩa ở mức $\alpha = 0,05$; IL 19-4-3-8 (○); IR 24 (●)

4. KẾT LUẬN

Thời vụ trồng và mức bón đạm có ảnh hưởng đến cường độ quang hợp giai đoạn trổ và sau trổ của IL19-4-3-8 và IR 24

IR 24 có cường độ quang hợp cao hơn cường độ quang hợp của IL19-4-3-8 ở cùng mức bón đạm.

Cường độ quang hợp của dòng lúa ngắn ngày ở giai đoạn trổ và 7 ngày sau trổ có tương quan thuận ở mức nghĩa với tỷ lệ hạt chắc và khối lượng 1.000 hạt; trong khi đó, cường độ quang hợp của giống IR 24 có quan hệ thuận ở mức ý nghĩa với tỷ lệ hạt chắc và khối lượng 1.000 hạt ở tất cả các giai đoạn theo dõi. Đây là đặc điểm khác biệt lớn nhất giữa IR 24 - thuộc nhóm có thời gian sinh trưởng dài và IL19-4-3-8- thuộc nhóm có thời gian sinh trưởng ngắn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi dự án JICA-JST-DCG.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Phạm Văn Cường, Phan Thị Hồng Nhung, Tăng Thị Hạnh (2012). Sự quang hợp của một số giống lúa chịu mặn với mức đạm bón khác nhau ở giai đoạn đẻ nhánh. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 18: 19-23.
- Đỗ Thị Hương, Đoàn Công Điền, Tăng Thị Hạnh, Nguyễn Văn Hoan, Phạm Văn Cường (2013). Đặc tính quang hợp và tích lũy chất khô của một số dòng lúa ngắn ngày mới chọn tạo. Tạp chí Khoa học và Phát triển, 11: 154-160.
- Nguyễn Thị Lan, Phạm Tiến Dũng (2006). Giáo trình phương pháp thí nghiệm. Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- Evans, L.T. (1993). Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press, New York.
- Horton Peter (2000). Prospects for crop improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture. Journal of Experimental Botany, 51: 475-485.
- Hubbart, S., S. Peng, P. Horton, Y. Chen and E. Murchie (2007). Trends in leaf photosynthesis in historical rice varieties developed in the Philippines since 1966. Journal of experimental botany, 58: 3429-3438.
- Katsura, K., Maeda, S., Horie, T., Shiraiwa, T (2007). Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu, a hybrid rice recently bred in China. Field Crops Research, 103: 170-177.
- Kumagai, E., T. Araki and F. Kubota (2007). Effects of nitrogen supply restriction on gas exchange and photosystem 2 function in flag leaves of a traditional low-yield cultivar and a recently improved high-yield cultivar of rice (*Oryza sativa* L.). Photosynthetica, 45: 489-495.
- Kumagai, E., T. Araki and F. Kubota (2009). Characteristics of gas exchange and chlorophyll fluorescence during senescence of flag leaf in different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under nitrogen-deficient condition. Plant production science, 12: 285-292.
- Li, Y., B. Ren, L. Ding, Q. Shen, S. Peng and S. Guo (2013). Does chloroplast size influence photosynthetic nitrogen use efficiency? PloS one, 8: 1-10.
- Makino, A. (2011). Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. Plant physiology, 155: 125-129.
- Ohno, Y (1976). Varietal differences of photosynthetic efficiency and dry matter production in Indica rice. Tropical Agriculture Research Center, Yatabe, Ibaraki (Japan). 53: 115-123.
- Peng, S(2000). Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. Studies in Plant Science, 7: 213-228.
- Richards, R (2000). Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. Journal of Experimental Botany, 51: 447-458.
- Takai, T., Y. Fukuta, A. Sugimoto, T. Shiraiwa and T. Horie(2006). Mapping of QTLs controlling carbon isotope discrimination in the photosynthetic system using recombinant inbred lines derived from a cross between two different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Plant production science, 9: 271-280.
- Takai, T., A. Ohsumi, Yumiko San-oh, Ma. Rebecca C. Laza, Motohiko Kondo, Toshio Yamamoto, Masahiro Yano(2009). Detection of a quantitative trait locus controlling carbon isotope discrimination and its contribution to stomatal conductance in japonica rice. Theoretical and applied genetics, 118: 1401-1410.
- Teng, S., Qian Qian, Dali Zeng, Yasufumi Kunihiro, Kan Fujimoto, Danian Huang and Lihuang Zhu (2004). QTL analysis of leaf photosynthetic rate and related physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.). Euphytica, 135: 1-7.
- Xu, D.Q, Sang Y.G (1994). Progress on Physiology of Crop High Production and High Efficiency. Science Publishing Company, 26: 5-10.