

XÁC ĐỊNH SỰ CÓ MẶT CỦA GEN *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* VÀ *Rc* TRONG NGUỒN VẬT LIỆU LÚA MÀU PHỤC VỤ CÔNG TÁC CHỌN TẠO GIỐNG

Lê Thu Thảo, Phạm Văn Tuấn, Trịnh Thị Ly, Đỗ Thanh Lan, Ngô Thị Hồng Tươi*

Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

**Tác giả liên hệ: ntthtuoai@vnua.edu.vn*

Ngày nhận bài: 20.02.2025

Ngày chấp nhận đăng: 11.07.2025

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm xác định các gen quy định màu sắc vỏ hạt gạo (*Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc*) và đánh giá đặc điểm nông sinh học để phục vụ công tác phát triển giống lúa màu có thời gian sinh trưởng ngắn, năng suất cao và chất lượng tốt. Thí nghiệm đánh giá đặc điểm nông sinh học, năng suất của nguồn vật liệu lúa màu được bố trí theo phương pháp khảo sát tập đoàn, tuần tự không nhắc lại, phương pháp đánh giá các chỉ tiêu theo thang điểm của IRRI (2013). Xác định sự có mặt của 4 gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* được thực hiện bằng phản ứng PCR với 4 marker SSR theo phương pháp của Gu & cs. (2011) và McCouch & cs. (2002). Thời gian sinh trưởng của các mẫu giống nghiên cứu dao động từ 109-120 ngày (vụ Mùa 2023) và 112-125 ngày (vụ Xuân 2024). Các mẫu giống trồng trong vụ Mùa 2023 có đặc điểm sinh trưởng và năng suất vượt trội hơn so với vụ Xuân 2024. Ngoài ra, nghiên cứu còn xác định sự có mặt của các gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* trong màu sắc vỏ gạo. Các mẫu gạo có vỏ màu đen đậm mang đủ bốn gen, các mẫu màu nâu đen thiếu một hoặc hai gen, trong khi mẫu gạo trắng (đối chứng BT7) chỉ mang gen *Rc* mà không chứa 3 gen *Kala1*, *Kala3* và *Kala4*. Đáng chú ý, các mẫu giống triển vọng như LM11, LM15, LM7 và LM5 không chỉ có đặc điểm nông sinh học vượt trội và năng suất cao mà còn mang đầy đủ cả bốn gen quy định sắc tố vỏ gạo. Kết quả nghiên cứu này mở ra hướng nghiên cứu mới về cơ chế di truyền quy định màu sắc vỏ hạt gạo, phục vụ công tác chọn tạo giống lúa màu có hàm lượng anthocyanin cao.

Từ khóa: Anthocyanin, gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4*, *Rc*, lúa màu, sắc tố.

Determining the Presence of the *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* and *Rc* Genes in Colored Rice Materials to Support Breeding Efforts

ABSTRACT

This study aimed to identify the genes responsible for rice grain pericarp color (*Kala1*, *Kala3*, *Kala4*, and *Rc*) and evaluate agronomic characteristics to support the development of colored rice varieties with short growth duration, high yield, and good quality. The experiment to evaluate the agrobiological characteristics, yield of the colored rice materials was arranged according to the group survey method, sequentially without repetition, the method of evaluating the indicators according to the IRRI (2013). Determination of the presence of four genes *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* and *Rc* was performed by PCR reaction with four SSR markers according to the method of Gu *et al.* (2011) and McCouch *et al.* (2002). The growth duration of the studied rice varieties ranged from 109-120 days (2023 Summer season) and 112-125 days (2024 Spring season). Varieties grown during 2023 Autumn season exhibited superior growth and yield compared to those in the 2024 Spring season. Additionally, the study identified the presence of the *Kala1*, *Kala3*, *Kala4*, and *Rc* genes in pericarp color. Rice samples with dark black pericarps carried all four genes, while samples with dark brown pericarps lacked one or two genes. In contrast, white rice samples (BT7 control) carried only the *Rc* gene and lacked *Kala1*, *Kala3* and *Kala4*. Notably, promising varieties such as LM11, LM15, LM7 and LM5 demonstrated superior agronomic traits, high yields, and the presence of all four genes associated with pericarp pigmentation. The findings of this study pave the way for further research into the genetic mechanisms governing rice pericarp color, supporting the breeding of colored rice varieties with high anthocyanin content.

Keywords: Anthocyanin, colored rice, gene *Kala1*, *Kala3*, *Kala4*, *Rc*, pigment.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gạo màu là loại thực phẩm lành mạnh đang dần được người tiêu dùng ưa chuộng bởi chúng chứa nhiều chất chống oxy hóa và các thành phần dinh dưỡng khác như protein, vitamin, khoáng chất, phenolic và chỉ số glycemic (Sani & cs., 2018). Thuật ngữ “gạo màu” được dùng để chỉ ba loại gạo: Gạo tím, gạo đen, gạo đỏ. Trong đó, các giống gạo có vỏ hạt đen và tím là kết quả của sự tích lũy anthocyanin, trong khi vỏ hạt đỏ là do proanthocyanidins (Gunaratne & cs., 2013; Samyor & cs., 2017). Anthocyanin và proanthocyanidin thuộc nhóm flavonoid thực vật, được biết đến với những tác dụng có lợi đối với sức khỏe: tính chống oxy hóa, chống viêm, chống đột biến và chống ung thư, cùng với khả năng điều chỉnh chức năng của các enzyme tế bào quan trọng (Panche & cs., 2016). Việc chọn lọc các giống lúa có hàm lượng anthocyanin cao và đặc điểm nông học tốt có thể thúc đẩy việc lai tạo và sản xuất thương mại lúa màu (Sarif & cs., 2020). Do đó, hiểu biết về sự đa dạng di truyền trong nguồn gen lúa màu là rất quan trọng để cải tiến giống cây trồng.

Các nghiên cứu hiện tại kết luận rằng các gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4*, *Rc* và *Rd* đều liên quan đến vỏ hạt có sắc tố của hạt lúa (McCouch & cs., 2002; Furukawa & cs., 2007; Gu & cs., 2011; Rahman & cs., 2013; Maeda & cs., 2014). Các gen *Kala1*, *Kala3* và *Kala4* đã được xác định là yếu tố chính quyết định màu sắc đen và đỏ của vỏ hạt lúa. *Kala1*, *Kala3* và *Kala4* được định vị lần lượt trên nhiễm sắc thể 1, nhiễm sắc thể 3 và nhiễm sắc thể 4 (Maeda & cs., 2014). Trong khi đó, các gen *Rc* và *Rd* liên quan đến sự tổng hợp proanthocyanidin trong vỏ hạt lúa (Furukawa & cs., 2007). Sự tương tác giữa *Rc* (trên nhiễm sắc thể 7), mã hóa một yếu tố phiên mã helix-loop-helix (bHLH) và *Rd* (trên nhiễm sắc thể 1), mã hóa một dạng dihydroflavonol 4-reductase, một enzyme giúp tăng cường sự tích lũy proanthocyanidin (Mbanjo & cs., 2020). Màu tím của vỏ hạt lúa được kiểm soát bởi hai gen đồng trội theo tương tác bổ sung, *Pb* và *Pp* (Rahman & cs., 2013). Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều nghiên cứu xác định sự có mặt của các

gen này trong các nguồn vật liệu lúa màu của Việt Nam.

Các giống lúa với đặc điểm di truyền khác nhau là nguồn vật liệu hữu ích để thực hiện việc lai tạo các giống lúa màu trong tương lai và chọn lọc các giống lúa màu mới. Việc đánh giá sự đa dạng di truyền có thể dựa trên kiểu hình (đặc điểm hình thái nông sinh học) hoặc kiểu gen (sử dụng các marker phân tử). Tuy nhiên, việc mô tả đặc điểm hình thái nông học là phương pháp dễ thực hiện nhất và là tiêu chuẩn để đo lường sự đa dạng di truyền cây trồng (Watson & Eyzaguirre, 2002). Ở Việt Nam, Hoang Thi Hue & cs. (2018) đã phân tích đa dạng di truyền của 90 mẫu giống lúa màu địa phương bằng 40 chỉ thị SSR, đây là một kết quả hữu ích cho việc xác định các giống bản địa và bảo tồn nguồn gen địa phương.

Chính vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là xác định sự có mặt của các gen quy định sắc tố kết hợp với đánh giá đặc điểm nông sinh học nhằm tuyển chọn các dòng lúa màu có tiềm năng phục vụ chọn tạo giống lúa màu có thời gian sinh trưởng ngắn, năng suất cao và chất lượng tốt.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Thí nghiệm gồm có 30 mẫu giống lúa màu do Viện Nghiên cứu và Phát triển cây trồng cung cấp được ký hiệu từ LM1 đến LM30, đối chứng cho phân tích gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* là giống Bắc Thơm 7 (BT7) - gạo có vỏ hạt màu trắng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

1. Đánh giá đặc điểm nông sinh học, năng suất, chất lượng của nguồn vật liệu lúa màu

Địa điểm: Viện Nghiên cứu và Phát triển cây trồng, Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

Thời gian nghiên cứu: vụ Mùa 2023 và vụ Xuân 2024.

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm bố trí theo phương pháp khảo sát tập đoàn, tuần tự không nhắc lại, mỗi mẫu giống 5m².

Bảng 1. Danh sách 30 mẫu giống lúa màu tham gia thí nghiệm

Ký hiệu	Tên địa phương	Nguồn gốc	Ký hiệu	Tên địa phương	Nguồn gốc
LM1	Lúa lốc nếp cẩm	Nho Quan - Ninh Bình	LM16	Nếp cẩm có râu	Na Hang - Tuyên Quang
LM2	Lúa nếp cẩm	Yên Bình - Yên Bái	LM17	Nếp cẩm	Đà Bắc - Hòa Bình
LM3	Nếp cẩm dạng 1	Lục Yên - Yên Bái	LM18	Nếp cẩm dạng 1	Ngọc Lặc - Thanh Hóa
LM4	Nếp cẩm	Vị Xuyên - Hà Giang	LM19	Nếp cẩm đen	Bá Thước - Thanh Hóa
LM5	Nếp cẩm	Bắc Quang - Hà Giang	LM20	Nếp cẩm	Mai Châu - Hòa Bình
LM6	Nếp cẩm dạng 2	Lục Yên - Yên Bái	LM21	Nếp cẩm	Chiêm Hóa - Tuyên Quang
LM7	Nếp cẩm	Lục Ngạn - Bắc Giang	LM22	Nếp cẩm	Trung tâm TNDTTV
LM8	Nếp cẩm	Bắc Hà - Lào Cai	LM23	Nếp cẩm	Lục Nam - Bắc Giang
LM9	Nếp cẩm nương	Than Uyên - Lào Cai	LM24	Nếp cẩm	Như Xuân - Thanh Hóa
LM10	Nếp cẩm đen	Bảo Thắng - Lào Cai	LM25	Nếp cẩm	Trung tâm TNDTTV
LM11	Nếp cẩm	Vị Xuyên - Hà Giang	LM26	Lúa cẩm	HVNNVN
LM12	Nếp cẩm	Thạch Thành - Thanh Hóa	LM27	Lúa cẩm	HVNNVN
LM13	Nếp cẩm	Cẩm Thủy - Thanh Hóa	LM28	Lúa cẩm	HVNNVN
LM14	Nếp cẩm nương	Cẩm Thủy - Thanh Hóa	LM29	Lúa cẩm	HVNNVN
LM15	Nếp cẩm	Bá Thước - Thanh Hóa	LM30	Lúa cẩm	HVNNVN

Bảng 2. Thành phần dung dịch đệm

Thành phần	Nồng độ	Thể tích	
1M Tris-HCl (pH 8,0)	100mM	50ml	10ml
0,5 EDTA (pH 8,0)	50mM	50ml	10ml
2,5N NaCl	500mM	100ml	20ml
10% SDS	1%	50ml	10ml
Nước cất			
Tổng thể tích		500ml	100ml

Khoảng cách cây hàng × hàng = 20cm, cây × cây = 15cm, cấy 1 dảnh/khóm, bón phân và phòng trừ sâu bệnh áp dụng theo sản xuất đại trà.

Lấy mẫu đo đếm theo phương pháp đường chéo 5 điểm, mỗi ô đo đếm 10 cá thể cố định.

Các chỉ tiêu theo dõi và phương pháp đánh giá theo thang điểm của IRRI (2013).

2. Xác định bốn gen: *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* trong nguồn vật liệu lúa màu

Địa điểm: phòng Lab Di truyền và Chọn giống cây trồng, Trung tâm xuất sắc và Đổi mới sáng tạo, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

Thời gian nghiên cứu: vụ Mùa 2023

*** Tách chiết ADN:**

Quá trình tách chiết ADN được thực hiện theo quy trình đã được chỉnh sửa dựa trên phương pháp của Doyle & cs. (1990)

- Lá được cắt thành đoạn dài khoảng 0,5-1cm, cho vào ống eppendorf 1,5ml để nghiền.

- Các mẫu được nghiền thành bột bằng máy lắc trong 60 giây và lặp lại hai lần.

- Cho 600μl dung dịch đệm, ủ ở 65°C trong 30 phút, sau đó ly tâm 3.000 vòng/phút trong 15 phút, ở 4°C.

- Dung dịch được giữ trong tủ lạnh trong 30 phút, sau đó ly tâm 3.000 vòng/phút trong 15 phút, ở 4°C.

- Chuyển 120μl dung dịch nổi phía trên vào ống eppendorf mới; thêm 120μl 2-propanol và ly tâm 3.000 vòng/phút trong 30 phút, ở 4°C; loại bỏ phần nổi phía trên.

- Nhỏ nhẹ nhàng 500μl ethanol 70%, sau đó ly tâm 3.000 vòng/phút trong 5 phút, ở 4°C; loại bỏ ethanol ở nhiệt độ phòng.

Bảng 3. Bốn chỉ thị SSR mới cho 4 gen kiểm soát sắc tố vỏ lúa

Gen	Marker	Mũi xuôi	Mũi ngược	Kích thước (bp)
Kala1	RM7405	TTGGCTCGCCCATATATAGG	CAGTCAGTCATCACTGGTAGTCG	109
Kala3	RM3400	TCTCTCTCCTCTCTCGCTCG	TAAAACCGAAGTGCTCTCGC	184
Kala4	RM7210	CGTGGTGCCCTTTCAAAG	AAACAGGCGTAGCAGCAAAG	158
Rc	qPC7	GTGGACCTACAGCCTCCT	CTGCATCACCGTCGACTT	431

Bảng 4. Thành phần master mix PCR

Thành phần	Thể tích (μl)	Nồng độ
GoTaq® Green Master Mix (2X)	5	1X
Forward Primer (10μm)	0,5	1μm
Reverse Primer (10μm)	0,5	1μm
DNA sample	1	5ng
Nuclease Free Water	3	
Tổng thể tích	10	

- Thêm 50μl đệm TE 0,1X.

*** Phản ứng PCR**

Các mẫu được thực hiện với 4 marker SSR (Gu & cs., 2011; McCouch & cs., 2002).

Mỗi mẫu được pha theo tỉ lệ như bảng 4.

Các điều kiện PCR như sau: biến tính ở 95°C trong 5 phút, sau đó 35 chu kỳ ở 95°C trong 30 giây, ở 55°C trong 1 phút, ở 72°C trong 1 phút và kết thúc kéo dài ở 72°C trong 7 phút. Sản phẩm PCR được phân tách bằng điện di trên gel agarose 2%. Gel được nhuộm bằng Ethidium Bromide và chụp ảnh dưới ánh sáng tia cực tím.

2.3. Xử lý số liệu

Số liệu thí nghiệm được tính toán và xử lý thống kê mô tả bằng chương trình Excel 2021.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả đánh giá đặc điểm nông sinh học các mẫu giống lúa màu vụ Mùa 2023 và vụ Xuân 2024

Thời gian sinh trưởng của các mẫu giống nghiên cứu dao động từ 109-120 ngày (vụ Mùa 2023) và 112-128 ngày (vụ Xuân 2024). Vào vụ

Xuân 2024, chọn 10 mẫu giống có các đặc điểm nông sinh học triển vọng để tiếp tục đánh giá.

Trong số các mẫu giống lúa được khảo sát ở vụ Mùa, đối với tính trạng chiều cao cây, các mẫu giống thuộc nhóm cao cây gồm có các mẫu giống LM30 ($130,78 \pm 5,23\text{cm}$), LM2 ($129,16 \pm 6,03\text{cm}$), LM14 ($126,94 \pm 3,30\text{cm}$) và LM26 ($127,35 \pm 7,01\text{cm}$). Trong khi đó, các mẫu giống còn lại thuộc nhóm có chiều cao cây trung bình, dao động từ 102,95cm đến 122,92cm. Ở vụ Xuân, các mẫu giống thuộc nhóm có chiều cao cây trung bình, dao động từ 108,6cm đến 120,0cm. Về chỉ tiêu chiều dài bông, các mẫu giống biến động từ 21,59cm đến 26,14cm với mẫu giống LM23 có bông dài nhất (26,14cm) trong vụ Mùa, còn ở vụ Xuân, các mẫu giống biến động từ 21,19cm đến 25,14cm. Với chiều dài lá đòng, các giống lúa có chiều dài lá đòng dao động từ 26,05cm đến 51,41cm, trong đó mẫu giống có lá đòng dài nhất thuộc về mẫu giống LM30, đạt 51,41cm. Chiều rộng lá đòng của các mẫu giống ở vụ Mùa dao động từ 1,88cm đến 3,30cm. Ngoài ra, kết quả đánh giá ở bảng 5 và bảng 6 cho thấy chiều dài cổ bông của các mẫu giống khảo sát biến động từ -1,06cm đến 9,11cm ở vụ Mùa và từ 1,14cm đến 5,34cm ở vụ Xuân, trong đó mẫu giống LM5, LM30 ở vụ Mùa trở không thoát.

3.2. Yếu tố cấu thành năng suất và năng suất của các mẫu giống lúa màu trong vụ Mùa 2023 và vụ Xuân 2024

Năng suất trung bình vụ Mùa dao động từ 4,62 tấn đến 7,43 tấn/ha, trong đó các mẫu giống có năng suất cao nhất là LM1, LM5, LM7, LM12, LM14 và LM15 đều đạt trên 7 tấn/ha. Sau vụ Mùa 2023, tiến hành chọn lọc 10 mẫu giống có năng suất cao để tiếp tục đánh giá và nghiên cứu tại vụ Xuân 2024. Ở vụ Xuân, năng

suất đạt 4,71 tấn/ha (LM23) đến 6,84 tấn/ha (LM5). Sự chênh lệch về năng suất thực thu giữa hai vụ do điều kiện thời tiết vụ Xuân 2024 tại thời điểm lúa trổ. Thời tiết âm u, thiếu ánh sáng, cùng với lượng mưa lớn trong đã làm giảm cường độ quang hợp, ảnh hưởng đến quá trình tích lũy chất khô trong hạt. Bên cạnh đó, năng suất còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác, như số bông/khóm. Trong vụ Mùa, số bông/khóm cao hơn so với vụ Xuân, điều này góp phần lý giải sự chênh lệch về năng suất giữa hai vụ.

Bảng 5. Một số đặc điểm nông sinh học của các mẫu giống lúa màu trong vụ Mùa 2023 (Mean $\pm$ SD)

Mẫu giống	TGST (ngày)	Chiều cao cây cuối cùng (cm)	Chiều dài lá đồng (cm)	Chiều rộng lá đồng (cm)	Chiều dài cổ bông (cm)	Chiều dài hạt gạo (cm)	Chiều rộng hạt gạo (cm)	Chiều dài bông (cm)
LM1	118	109,5 $\pm$ 5,00	37,97 $\pm$ 4,60	1,89 $\pm$ 0,11	1,95 $\pm$ 0,60	0,70 $\pm$ 0,12	0,24 $\pm$ 0,03	22,91 $\pm$ 0,91
LM2	115	129,16 $\pm$ 6,03	27,75 $\pm$ 2,91	2,24 $\pm$ 0,10	3,84 $\pm$ 1,50	0,70 $\pm$ 0,11	0,31 $\pm$ 0,04	21,59 $\pm$ 0,85
LM3	115	105,04 $\pm$ 4,92	36,07 $\pm$ 3,89	2,07 $\pm$ 0,10	2,59 $\pm$ 1,70	0,71 $\pm$ 0,12	0,21 $\pm$ 0,02	23,84 $\pm$ 1,61
LM4	119	115,54 $\pm$ 7,69	33,40 $\pm$ 6,24	2,06 $\pm$ 0,14	4,16 $\pm$ 2,20	0,74 $\pm$ 0,23	0,30 $\pm$ 0,03	24,15 $\pm$ 0,78
LM5	120	104,9 $\pm$ 5,55	30,73 $\pm$ 6,12	2,11 $\pm$ 0,06	-1,06 $\pm$ 0,69	0,58 $\pm$ 0,21	0,30 $\pm$ 0,01	23,95 $\pm$ 2,11
LM6	120	114,31 $\pm$ 3,35	30,16 $\pm$ 2,10	1,95 $\pm$ 0,09	2,50 $\pm$ 1,67	0,62 $\pm$ 0,14	0,22 $\pm$ 0,03	24,00 $\pm$ 2,31
LM7	115	115,53 $\pm$ 2,51	35,91 $\pm$ 3,89	2,30 $\pm$ 0,21	3,93 $\pm$ 2,32	0,71 $\pm$ 0,15	0,30 $\pm$ 0,05	25,50 $\pm$ 1,94
LM8	113	105,84 $\pm$ 7,09	31,73 $\pm$ 1,87	2,06 $\pm$ 0,12	1,23 $\pm$ 0,86	0,71 $\pm$ 0,23	0,31 $\pm$ 0,04	24,70 $\pm$ 2,14
LM9	115	120,44 $\pm$ 3,67	39,26 $\pm$ 6,41	2,39 $\pm$ 0,12	3,95 $\pm$ 1,40	0,63 $\pm$ 0,17	0,28 $\pm$ 0,02	23,51 $\pm$ 2,13
LM10	118	111,24 $\pm$ 3,70	31,86 $\pm$ 3,66	2,30 $\pm$ 0,09	5,25 $\pm$ 2,10	0,74 $\pm$ 0,21	0,30 $\pm$ 0,02	23,15 $\pm$ 2,34
LM11	118	117,40 $\pm$ 4,21	34,28 $\pm$ 2,32	2,28 $\pm$ 0,09	3,12 $\pm$ 1,90	0,58 $\pm$ 0,18	0,22 $\pm$ 0,01	24,39 $\pm$ 1,67
LM12	120	110,32 $\pm$ 4,84	32,16 $\pm$ 2,91	2,41 $\pm$ 0,09	1,51 $\pm$ 1,10	0,70 $\pm$ 0,21	0,21 $\pm$ 0,02	24,60 $\pm$ 2,33
LM13	115	117,94 $\pm$ 4,60	26,05 $\pm$ 3,41	2,03 $\pm$ 0,16	2,54 $\pm$ 1,50	0,71 $\pm$ 0,22	0,31 $\pm$ 0,03	25,21 $\pm$ 1,72
LM14	115	126,94 $\pm$ 3,30	31,02 $\pm$ 5,00	1,88 $\pm$ 0,13	4,94 $\pm$ 1,91	0,60 $\pm$ 0,12	0,22 $\pm$ 0,03	25,90 $\pm$ 0,59
LM15	118	107,46 $\pm$ 2,71	40,59 $\pm$ 5,09	2,34 $\pm$ 0,30	6,19 $\pm$ 2,75	0,69 $\pm$ 0,12	0,19 $\pm$ 0,02	25,39 $\pm$ 2,25
LM16	109	108,15 $\pm$ 5,72	38,00 $\pm$ 5,49	1,93 $\pm$ 0,12	8,30 $\pm$ 1,64	0,69 $\pm$ 0,12	0,19 $\pm$ 0,04	23,31 $\pm$ 2,16
LM17	110	107,35 $\pm$ 4,58	39,74 $\pm$ 2,51	1,92 $\pm$ 0,23	9,11 $\pm$ 1,66	0,72 $\pm$ 0,14	0,22 $\pm$ 0,04	23,70 $\pm$ 2,34
LM18	110	102,95 $\pm$ 6,81	38,95 $\pm$ 3,80	2,01 $\pm$ 0,13	5,44 $\pm$ 1,38	0,71 $\pm$ 0,14	0,20 $\pm$ 0,03	22,80 $\pm$ 2,35
LM19	109	107,22 $\pm$ 5,25	40,62 $\pm$ 4,10	1,97 $\pm$ 0,21	5,41 $\pm$ 3,19	0,69 $\pm$ 0,21	0,23 $\pm$ 0,05	23,09 $\pm$ 1,78
LM20	109	105,24 $\pm$ 5,27	43,62 $\pm$ 5,06	2,02 $\pm$ 0,23	8,50 $\pm$ 1,70	0,69 $\pm$ 0,14	0,21 $\pm$ 0,03	25,32 $\pm$ 2,44
LM21	114	105,30 $\pm$ 3,41	34,47 $\pm$ 3,71	1,96 $\pm$ 0,14	5,46 $\pm$ 1,91	0,71 $\pm$ 0,15	0,19 $\pm$ 0,05	22,79 $\pm$ 2,11
LM22	111	104,10 $\pm$ 6,32	30,22 $\pm$ 3,70	1,93 $\pm$ 0,11	4,83 $\pm$ 0,84	0,71 $\pm$ 0,15	0,20 $\pm$ 0,03	25,60 $\pm$ 1,94
LM23	107	119,78 $\pm$ 3,61	34,59 $\pm$ 4,90	2,40 $\pm$ 0,68	4,39 $\pm$ 0,91	0,75 $\pm$ 0,21	0,17 $\pm$ 0,02	26,14 $\pm$ 2,08
LM24	118	104,69 $\pm$ 1,86	46,18 $\pm$ 6,01	1,97 $\pm$ 0,19	6,98 $\pm$ 2,30	0,73 $\pm$ 0,16	0,22 $\pm$ 0,02	25,64 $\pm$ 2,01
LM25	111	110,09 $\pm$ 4,91	45,65 $\pm$ 4,08	2,08 $\pm$ 0,11	7,84 $\pm$ 2,10	0,80 $\pm$ 0,12	0,19 $\pm$ 0,03	24,11 $\pm$ 2,21
LM26	109	127,35 $\pm$ 7,01	35,48 $\pm$ 3,76	2,36 $\pm$ 0,25	4,85 $\pm$ 2,03	0,81 $\pm$ 0,15	0,20 $\pm$ 0,03	24,29 $\pm$ 1,46
LM27	109	119,15 $\pm$ 2,00	33,42 $\pm$ 2,55	2,18 $\pm$ 0,1	4,06 $\pm$ 1,91	0,69 $\pm$ 0,14	0,20 $\pm$ 0,02	23,69 $\pm$ 2,17
LM28	113	122,92 $\pm$ 5,00	34,43 $\pm$ 3,82	2,21 $\pm$ 0,17	4,72 $\pm$ 2,78	0,69 $\pm$ 0,21	0,21 $\pm$ 0,03	23,91 $\pm$ 2,35
LM29	118	110,89 $\pm$ 3,21	42,64 $\pm$ 2,80	2,02 $\pm$ 0,2	7,62 $\pm$ 1,11	0,82 $\pm$ 0,17	0,23 $\pm$ 0,03	25,00 $\pm$ 2,01
LM30	115	130,78 $\pm$ 5,23	51,41 $\pm$ 8,00	3,30 $\pm$ 0,27	-0,18 $\pm$ 0,42	0,71 $\pm$ 0,20	0,25 $\pm$ 0,04	23,70 $\pm$ 2,47
CV (%)	3,36	8,47	18,09	18,15	15,25	6,78	11,23	4,35

Ghi chú: Chiều dài cổ bông có giá trị (-): trổ không thoát.

Năng suất cá thể trong vụ Mùa 2023 dao động từ 13,1g đến 21,2g, nhưng giảm xuống còn 14,0g đến 19,9g trong vụ Xuân 2024. Tuy vậy, tỷ lệ hạt chắc ở vụ Xuân lại khá cao, đạt từ 86,7% đến 95,1%, trong khi vụ Mùa dao động từ 47,8% đến 90,6%. Dữ liệu về năng suất cho thấy số bông hữu hiệu trên mỗi khóm biến động đáng kể giữa vụ Mùa 2023 và vụ Xuân 2024. Cụ thể, trung bình số bông hữu hiệu/ khóm ở vụ Mùa 2023 dao động từ 4,7 bông (LM23) đến 9,6 bông (LM11). Trong khi đó, ở vụ Xuân, số bông trung bình giảm xuống chỉ còn từ 4,7 bông đến 6,6 bông. Đặc biệt, mẫu giống LM11 trong vụ Mùa 2023 có số bông vượt trội, đạt 9,6 bông/khóm.

Mẫu giống LM23 tuy chỉ đạt năng suất 5,50 tấn trong vụ Mùa 2023, nhưng lại có số lượng hạt chắc trên bông cao nhất, lên tới 190 hạt. Do đó, mẫu giống này được chọn để tiếp tục thử nghiệm trong vụ tiếp theo. Tuy nhiên, năng suất của LM23 trong vụ sau lại giảm xuống mức thấp nhất. Qua hai vụ, có thể nhận thấy các mẫu giống LM5, LM11, LM7 và LM15 đều đạt năng suất khá cao trong cả hai vụ Mùa và Xuân. Đây là những mẫu giống đầy triển vọng để đưa vào sản xuất trong tương lai, nhờ năng suất cá thể và năng suất thực thu đều vượt trội. Điều này cho thấy các mẫu giống này có khả năng phát triển tốt ở cả hai vụ.

3.3. Kết quả xác định sự có mặt của 4 gen quy định sắc tố của vỏ hạt gạo *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc*

Gen *Kala1* được định vị tại marker RM7405 trên nhiễm sắc thể 1. Kích thước dự đoán của primer RM7405 là 109bp. Sau khi chạy gel, sản phẩm PCR tạo ra đoạn nằm trong khoảng 100bp, tương đồng với kích thước dự kiến. Các băng đều xuất hiện rõ ràng trên băng điện di, ngoại trừ các mẫu giống LM13, LM24, LM25 và BT7 (giống gạo trắng được sử dụng làm đối chứng) thì không xuất hiện băng vạch

Đối với gen *Kala3*, mỗi RM3400 tạo ra đoạn 184bp. Kết quả cho thấy tất cả các mẫu, ngoại trừ LM16, LM28 và BT7, đều xuất hiện băng kích thước xấp xỉ 184bp, phù hợp với kích thước dự kiến. Các mẫu giống này có khả năng mang gen *Kala3*, giúp xác định các mẫu giống có đặc tính liên quan đến màu sắc vỏ hạt.

Gen *Kala4* được định vị tại RM7210 trên nhiễm sắc thể 4 và dự kiến tạo ra đoạn 158bp. Trong hình 1, các băng đều xuất hiện tại vị trí xấp xỉ 158bp, phù hợp với kích thước dự kiến, ngoại trừ tại giếng của mẫu giống LM25, LM28 và BT7. Ngoài ra, các giếng của mẫu giống từ LM1 đến LM23, LM26, LM29, LM30 xuất hiện một số băng không đặc hiệu.

Bảng 6. Một số đặc điểm nông sinh học của các mẫu giống lúa màu trong vụ Xuân 2024 (Mean $\pm$ SD)

Mẫu giống	TGST (ngày)	Chiều cao cây cuối cùng (cm)	Chiều dài lá đồng (cm)	Chiều rộng lá đồng (cm)	Chiều dài cổ bông (cm)	Chiều dài hạt gạo (cm)	Chiều rộng hạt gạo (cm)	Chiều dài bông (cm)
LM2	125	115,7 $\pm$ 2,31	26,90 $\pm$ 2,30	1,8 $\pm$ 0,17	1,43 $\pm$ 1,21	0,73 $\pm$ 0,16	0,25 $\pm$ 0,04	23,84 $\pm$ 2,17
LM4	121	108,2 $\pm$ 2,72	35,71 $\pm$ 1,71	2,2 $\pm$ 0,09	3,88 $\pm$ 0,83	0,63 $\pm$ 0,21	0,30 $\pm$ 0,03	22,91 $\pm$ 2,21
LM5	126	108,6 $\pm$ 2,83	36,92 $\pm$ 1,71	1,9 $\pm$ 0,09	2,92 $\pm$ 1,81	0,59 $\pm$ 0,18	0,33 $\pm$ 0,04	23,74 $\pm$ 1,87
LM6	128	112,9 $\pm$ 3,42	36,13 $\pm$ 3,63	2,0 $\pm$ 0,18	2,17 $\pm$ 1,56	0,70 $\pm$ 0,26	0,18 $\pm$ 0,06	21,19 $\pm$ 1,91
LM7	125	114,4 $\pm$ 4,27	35,50 $\pm$ 1,42	2,4 $\pm$ 0,11	4,22 $\pm$ 2,15	0,70 $\pm$ 0,17	0,28 $\pm$ 0,08	24,28 $\pm$ 1,95
LM11	123	117,7 $\pm$ 3,61	45,12 $\pm$ 4,76	2,4 $\pm$ 0,13	5,34 $\pm$ 1,31	0,69 $\pm$ 0,20	0,34 $\pm$ 0,05	25,00 $\pm$ 2,15
LM14	118	120,0 $\pm$ 3,95	31,30 $\pm$ 2,38	2,1 $\pm$ 0,2	1,14 $\pm$ 1,05	0,72 $\pm$ 0,24	0,19 $\pm$ 0,07	25,14 $\pm$ 1,11
LM15	122	114,6 $\pm$ 2,78	36,12 $\pm$ 3,01	2,3 $\pm$ 0,23	5,01 $\pm$ 1,91	0,71 $\pm$ 0,19	0,20 $\pm$ 0,07	22,64 $\pm$ 2,09
LM21	118	109,1 $\pm$ 4,97	41,44 $\pm$ 3,46	2,3 $\pm$ 0,22	2,48 $\pm$ 2,25	0,80 $\pm$ 0,21	0,22 $\pm$ 0,04	23,88 $\pm$ 2,46
LM23	112	108,6 $\pm$ 3,01	32,33 $\pm$ 2,61	2,2 $\pm$ 0,15	2,61 $\pm$ 1,61	0,69 $\pm$ 0,23	0,21 $\pm$ 0,03	22,57 $\pm$ 1,93
CV (%)	3,90	3,73	14,19	9,56	16,17	8,08	3,63	5,14

**Bảng 7. Các yếu tố cấu thành năng suất
của các mẫu giống lúa màu vụ Mùa 2023 (Mean $\pm$ SD)**

Mẫu giống	Số bông hữu hiệu	Số hạt/ bông	Số hạt chắc/ bông	Tỷ lệ hạt chắc (%)	NSCT (g)	P1000 hạt (g)	NSLT (tấn/ha)	NSTT (tấn/ha)
LM1	7,2 $\pm$ 1,70	159,0 $\pm$ 41,71	140,0 $\pm$ 7,81	88,1	20,4 $\pm$ 3,4	28,7	10,41	7,11
LM2	6,3 $\pm$ 1,10	153,5 $\pm$ 36,91	125,9 $\pm$ 31,94	82,0	18,1 $\pm$ 2,1	27,7	7,92	6,32
LM3	9,1 $\pm$ 1,00	153,5 $\pm$ 31,44	125,9 $\pm$ 27,43	82,0	19,4 $\pm$ 1,9	27,3	11,31	6,80
LM4	7,6 $\pm$ 1,10	141,8 $\pm$ 8,52	97,1 $\pm$ 26,22	68,5	19,2 $\pm$ 3,7	28,5	7,60	6,60
LM5	8,3 $\pm$ 1,30	140,5 $\pm$ 33,31	110,0 $\pm$ 33,11	78,3	21,0 $\pm$ 4,7	28,3	9,30	7,41
LM6	7,4 $\pm$ 1,52	163,5 $\pm$ 43,12	144,7 $\pm$ 39,70	88,5	19,4 $\pm$ 4,1	27,9	10,81	6,82
LM7	7,5 $\pm$ 1,22	184,6 $\pm$ 36,60	150,1 $\pm$ 31,50	81,3	21,2 $\pm$ 3,9	27,7	11,20	7,41
LM8	8,3 $\pm$ 0,72	163,5 $\pm$ 43,31	132,5 $\pm$ 40,25	81,0	18,1 $\pm$ 2,3	25,1	9,91	6,31
LM9	7,3 $\pm$ 1,06	149,6 $\pm$ 38,00	129,0 $\pm$ 36,35	86,2	17,2 $\pm$ 2,3	27,6	9,40	6,02
LM10	7,2 $\pm$ 1,44	131,9 $\pm$ 41,51	117,1 $\pm$ 39,94	88,8	16,3 $\pm$ 2,3	26,5	8,01	5,73
LM11	9,6 $\pm$ 0,34	146,5 $\pm$ 33,91	123,8 $\pm$ 32,71	84,5	19,4 $\pm$ 3,7	26,6	11,41	6,82
LM12	7,4 $\pm$ 1,42	153,6 $\pm$ 43,82	131,6 $\pm$ 40,04	85,7	20,3 $\pm$ 2,6	25,0	8,80	7,11
LM13	7,6 $\pm$ 1,49	145,8 $\pm$ 30,03	120,0 $\pm$ 14,21	82,3	14,8 $\pm$ 2,1	26,0	8,59	5,20
LM14	7,6 $\pm$ 1,84	187,3 $\pm$ 31,11	158,7 $\pm$ 26,21	84,7	20,5 $\pm$ 2,8	24,8	10,80	7,20
LM15	7,4 $\pm$ 1,77	178,5 $\pm$ 36,93	155,6 $\pm$ 17,01	87,2	21,2 $\pm$ 3,5	22,9	9,51	7,43
LM16	6,3 $\pm$ 1,10	146,5 $\pm$ 37,51	126,9 $\pm$ 21,57	86,6	16,4 $\pm$ 4,0	28,6	8,30	5,72
LM17	6,6 $\pm$ 1,80	156,9 $\pm$ 39,21	134,0 $\pm$ 31,59	85,4	19,6 $\pm$ 3,2	27,8	8,91	6,89
LM18	6,3 $\pm$ 1,30	143,8 $\pm$ 33,69	118,8 $\pm$ 29,84	82,6	16,2 $\pm$ 2,9	28,3	7,62	5,69
LM19	6,9 $\pm$ 1,14	147,8 $\pm$ 34,91	121,5 $\pm$ 25,42	82,2	17,2 $\pm$ 4,2	26,8	8,11	6,01
LM20	7,4 $\pm$ 1,45	160,0 $\pm$ 38,92	134,5 $\pm$ 28,42	84,1	16,5 $\pm$ 3,4	26,3	9,43	5,82
LM21	6,8 $\pm$ 1,20	135,2 $\pm$ 34,45	120,1 $\pm$ 29,41	88,8	18,3 $\pm$ 3,2	27,6	8,11	6,41
LM22	7,7 $\pm$ 1,81	132,1 $\pm$ 28,82	115,3 $\pm$ 26,71	87,3	15,4 $\pm$ 3,0	27,3	8,70	5,42
LM23	4,7 $\pm$ 1,80	217,8 $\pm$ 43,21	190,5 $\pm$ 27,00	87,5	15,8 $\pm$ 2,9	23,0	7,40	5,50
LM24	6,2 $\pm$ 1,80	181,5 $\pm$ 27,55	164,4 $\pm$ 25,10	90,6	17,7 $\pm$ 3,6	25,2	9,17	6,20
LM25	7,5 $\pm$ 1,16	140,7 $\pm$ 35,91	110,5 $\pm$ 32,01	78,5	17,7 $\pm$ 4,4	26,6	8,00	6,21
LM26	6,0 $\pm$ 1,30	260,9 $\pm$ 55,11	124,7 $\pm$ 69,31	47,8	13,1 $\pm$ 2,0	24,5	6,60	4,62
LM27	6,2 $\pm$ 1,27	155,5 $\pm$ 38,32	120,7 $\pm$ 29,52	77,6	15,1 $\pm$ 4,1	26,8	7,20	5,30
LM28	7,6 $\pm$ 1,20	146,9 $\pm$ 41,52	124,6 $\pm$ 33,92	84,8	17,8 $\pm$ 4,2	27,3	9,30	6,21
LM29	7,4 $\pm$ 1,01	171,8 $\pm$ 36,44	134,4 $\pm$ 31,72	78,2	18,9 $\pm$ 4,6	28,2	10,10	6,62
LM30	6,5 $\pm$ 1,41	137,4 $\pm$ 36,21	119,0 $\pm$ 31,21	86,6	17,0 $\pm$ 2,7	27,6	7,71	6,03
CV (%)	14,12	16,07	9,11	-	-	-	-	10,57

Mỗi qPC7, với kích thước 431bp, dùng để xác định gen *Rc* trên nhiễm sắc thể 7. Trong hình 1, ngoại trừ mẫu giống LM28 không xuất hiện băng nào, các giống đều xuất hiện các băng rõ ràng và sáng. Kích thước của các băng này đều nằm trong khoảng từ 420bp đến 500bp.

Để hiểu rõ hơn về các gen liên quan đến sự biểu hiện vỏ hạt có sắc tố, chúng tôi đã xây dựng

một bảng tổng hợp các mẫu giống vỏ hạt có sắc tố và 4 gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* của 30 mẫu giống.

Các gen kiểm soát sắc tố trong lớp vỏ cám: *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* đã được phát hiện trong các nghiên cứu trước đây (McCouch & cs., 2002; Furukawa & cs., 2007; Gu & cs., 2011; Rahman & cs., 2013; Maeda & cs., 2014;

Oikawa & cs., 2015). Trong đó, *Kala1*, *Kala3* và *Kala4* được báo cáo có liên quan đến lớp vỏ cám đen của dòng được lai tạo từ các giống lúa đen Hongxienuo và Koshihikari (Maeda & cs., 2014). Các gen *Kala1*, *Kala3* và *Kala4* được định vị lần lượt trên nhiễm sắc thể 1 (khoảng bản đồ RM7405 đến RM7419), nhiễm sắc thể 3 (khoảng marker RM15008 đến RM3400) và nhiễm sắc thể 4 (khoảng bản đồ RM1354 đến RM7210).

Các gen *Kala4* và *Rc* kích thích biểu hiện của các gen tham gia vào quá trình sản xuất flavonol, chẳng hạn như chalcone synthase và dihydroflavonol-4-reductase, cũng như các gen leucoanthocyanidin reductase và leucoanthocyanidin dioxygenase, chịu trách nhiệm tạo ra các sắc tố đặc trưng (Oikawa & cs., 2015).

Nghiên cứu của Maeda & cs. (2014) cho thấy giống lúa có mặt 3 gen *Kala1*, *Kala3* và *Kala4* gạo có màu đen; có 2 gen *Kala3* và *Kala4* gạo có màu đỏ; có 2 gen *Kala1* và *Kala4* gạo có màu nâu; chỉ có gen *Kala4* gạo có màu nâu nhạt; có một trong hai gen *Kala1/Kala3* hoặc cả 2 và thiếu *Kala4* gạo có màu trắng. Kết quả phân tích cho thấy, tất cả các mẫu giống có vỏ cám màu đen (nhóm A) đều mang đủ ba gen *Kala1*, *Kala3* và *Kala4*. Trong khi đó, các giống có vỏ màu nâu đen (nhóm B1 và B2), chẳng hạn như LM13, LM16, LM25 và LM28 thiếu một hoặc hai trong ba gen này. Đối với giống gạo trắng đối chứng BT7, chỉ có gen *Rc* và không

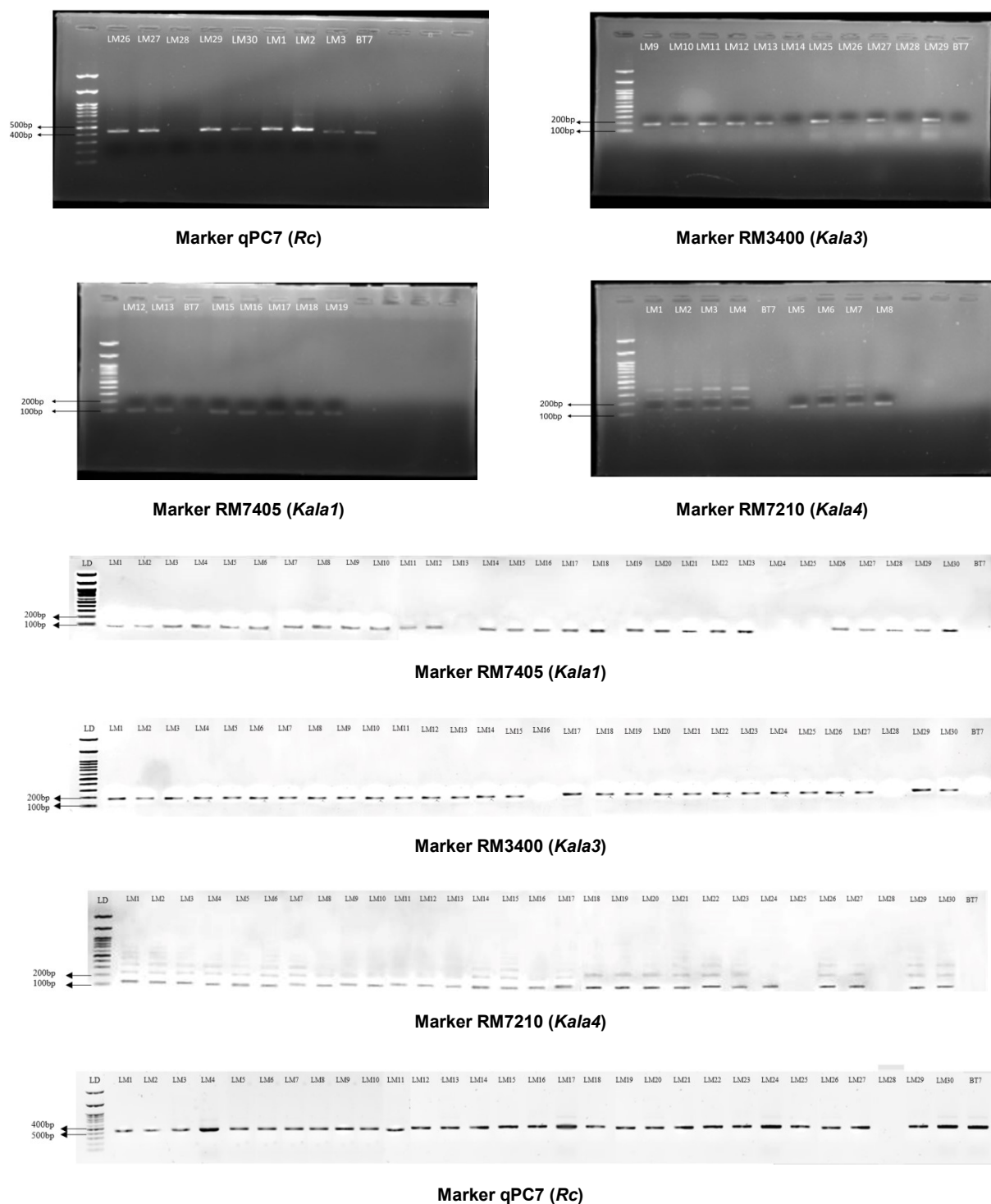
mang bất kỳ gen *Kala1*, *Kala3* hay *Kala4* phù hợp với kết luận từ các nghiên cứu trước đó, khẳng định vai trò của các gen *Kala* trong việc quy định màu sắc gạo.

Tuy nhiên, một số mẫu giống thuộc nhóm B1 hoặc B2 như LM14 và LM17, mặc dù mang đầy đủ cả bốn gen liên quan đến sắc tố trong nghiên cứu (*Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc*), vẫn biểu hiện kiểu hình màu sắc khác biệt như đen pha nâu hoặc thiên về màu nâu. Điều này cho thấy kiểu hình màu sắc không chỉ phụ thuộc vào số lượng gen hiện diện, mà còn chịu ảnh hưởng bởi loại gen cụ thể, mức độ biểu hiện của từng gen cũng như sự tương tác giữa chúng. Bên cạnh đó, quá trình tổng hợp anthocyanin còn liên quan đến nhiều gen khác nhau (Chen & cs., 2021), vượt ngoài phạm vi phân tích của nghiên cứu này. Mặc dù vậy, các mẫu gạo có màu đen rõ rệt đều mang đầy đủ ba gen chính là *Kala1*, *Kala3* và *Kala4* cho thấy sự hiện diện đồng thời của ba gen này có vai trò quyết định trong việc hình thành lớp vỏ cám màu đen đặc trưng.

Ngoài ra, các mẫu giống triển vọng như LM5, LM11 và LM15 không chỉ có đặc điểm nông sinh học tốt mà còn mang đầy đủ cả bốn gen liên quan đến sắc tố (*Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc*). Điều này cho thấy tiềm năng sử dụng các mẫu giống này trong việc phát triển các giống lúa màu có giá trị dinh dưỡng và thương mại cao.

Bảng 8. Yếu tố cấu thành năng suất của các mẫu giống lúa màu vụ Xuân 2024 (Mean $\pm$ SD)

Mẫu giống	Số bông hữu hiệu	Số hạt/bông	Số hạt chắc/bông	Tỷ lệ hạt chắc (%)	NSCT (g)	P1000 hạt (g)	NSLT (tấn/ha)	NSTT (tấn/ha)
LM2	5,9 $\pm$ 1,28	142,9 $\pm$ 38,51	128,5 $\pm$ 38,80	89,9	17,7 $\pm$ 2,6	27,4	7,00	4,91
LM4	6,6 $\pm$ 1,20	122,4 $\pm$ 36,81	112,2 $\pm$ 34,54	91,7	16,6 $\pm$ 2,8	25,9	6,71	5,53
LM5	6,5 $\pm$ 1,22	140,4 $\pm$ 37,42	131,1 $\pm$ 38,23	93,3	19,9 $\pm$ 2,7	27,7	8,22	6,84
LM6	6,3 $\pm$ 0,78	122,9 $\pm$ 32,94	112,3 $\pm$ 33,21	91,4	18,3 $\pm$ 2,2	26,0	8,23	4,82
LM7	6,0 $\pm$ 0,67	133,2 $\pm$ 40,90	122,8 $\pm$ 44,51	92,2	18,9 $\pm$ 2,4	26,1	10,64	5,61
LM11	6,1 $\pm$ 1,12	144,7 $\pm$ 36,61	135,8 $\pm$ 38,31	93,8	17,4 $\pm$ 2,3	28,0	8,84	6,20
LM14	5,7 $\pm$ 0,82	136,0 $\pm$ 31,94	120,9 $\pm$ 33,33	88,9	18,5 $\pm$ 2,3	22,8	7,51	4,71
LM15	6,0 $\pm$ 1,13	125,7 $\pm$ 34,11	109,0 $\pm$ 32,58	86,7	18,8 $\pm$ 2,7	25,4	9,92	6,30
LM21	6,0 $\pm$ 1,07	126,1 $\pm$ 25,41	118,4 $\pm$ 24,90	93,9	16,2 $\pm$ 2,2	24,8	7,61	5,50
LM23	4,7 $\pm$ 1,25	136,8 $\pm$ 28,20	130,0 $\pm$ 26,90	95,1	14,0 $\pm$ 2,5	20,1	7,30	4,70
CV (%)	8,80	6,28	7,49	-	-	-	-	13,53



Hình 1. Kết quả điện di của gen Kala1, Kala3, Kala4 và Rc của 30 mẫu giống lúa màu

Bảng 9. Bảng phân loại màu sắc vỏ gạo của 30 mẫu giống nghiên cứu

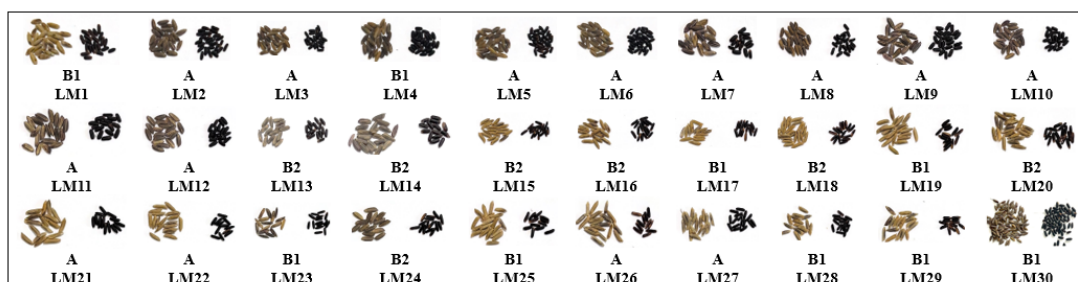
Màu sắc		Nhóm	Kí hiệu mẫu giống
Đen		A	LM2, LM3, LM4, LM6, LM7, LM8, LM9, LM10, LM11, LM12, LM21, LM22, LM27
Đen và nâu	Đen nhiều hơn nâu	B1	LM1, LM5, LM17, LM19, LM25, LM28 LM29, LM30
	Nâu nhiều hơn đen	B2	LM12, LM13, LM14, LM18, LM20, LM24

Xác định sự có mặt của gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* trong nguồn vật liệu lúa màu phục vụ công tác chọn tạo giống

Bảng 10. Kết quả phân tích sự có mặt gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4*, *Rc* trong 30 mẫu giống lúa màu

Mẫu giống	<i>Kala1</i>	<i>Kala3</i>	<i>Kala4</i>	<i>Rc</i>	Màu sắc vỏ gạo
LM1	+	+	+	+	B1
LM2	+	+	+	+	A
LM3	+	+	+	+	A
LM4	+	+	+	+	A
LM5	+	+	+	+	B1
LM6	+	+	+	+	A
LM7	+	+	+	+	A
LM8	+	+	+	+	A
LM9	+	+	+	+	A
LM10	+	+	+	+	A
LM11	+	+	+	+	A
LM12	+	+	+	+	A
LM13	-	+	+	+	B2
LM14	+	+	+	+	B2
LM15	+	+	+	+	B2
LM16	+	-	+	+	B2
LM17	+	+	+	+	B1
LM18	+	+	+	+	B2
LM19	+	+	+	+	B1
LM20	+	+	+	+	B2
LM21	+	+	+	+	A
LM22	+	+	+	+	A
LM23	+	+	+	+	B1
LM24	-	+	+	+	B2
LM25	-	+	-	+	B1
LM26	+	+	+	+	A
LM27	+	+	+	+	A
LM28	+	-	-	-	B1
LM29	+	+	+	+	B1
LM30	+	+	+	+	B1
BT7 (ĐC)	-	-	-	+	

Ghi chú: “+”: nghĩa là có gen; “-”: nghĩa là không mang gen



Hình 2. Màu sắc vỏ hạt gạo của 30 giống nghiên cứu

4. KẾT LUẬN

Trong 30 mẫu giống nghiên cứu, thời gian sinh trưởng dao động từ 112-125 ngày (vụ Xuân 2024) và 109-120 ngày (vụ Mùa 2023). Chiều cao cây cuối cùng đạt 102-130cm (vụ Mùa 2023) và 106-117cm (vụ Xuân 2024). Năng suất thực thu trung bình dao động từ 4,62 tấn/ha (LM26) đến 7,43 tấn/ha (LM15) trong vụ Mùa 2023 và từ 4,70 tấn/ha (LM23) đến 6,84 tấn/ha (LM5) trong vụ Xuân 2024. Các dòng triển vọng bao gồm LM30, LM11, LM15, LM7 và LM5, trong đó LM5, LM11, LM15, LM7 nổi bật với năng suất thực thu cao ở cả hai mùa.

Kết quả về xác định các gen *Kala1*, *Kala3*, *Kala4* và *Rc* trong việc quy định màu sắc vỏ gạo: Các mẫu gạo đen đều mang đủ các gen này, trong khi các mẫu có màu nâu đen thường thiếu một hoặc hai gen *Kala1* và *Kala3* và gạo trắng đối chứng thiếu cả *Kala1*, *Kala3* và *Kala4*.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính từ Đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên năm 2024 với mã số SV2024-04-26, Ban Khoa học và Công nghệ, Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam và các cá nhân, tổ chức có đóng góp trực tiếp và gián tiếp trong thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Chen W., Gong L., Guo Z., Wang W., Zhang H., Liu X. & Luo J. (2021). A novel integrated method for large-scale detection, identification, and quantification of anthocyanins by UPLC-QTOF-MS. *Plant Communications*, 2(3): 100152.

Doyle J.J. & Doyle J.L. (1990). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. 19(1): 11-15.

Furukawa T., Maekawa M., Oki T., Suda I., Iida S., Shimada H., Takamura I. & Kadowaki K. (2007). The *rc* and *rd* genes are involved in proanthocyanidin synthesis in rice pericarp. *Plant Journal*. 49(1): 91-102.

Gu X.Y., Foley M.E., Horvath D.P., Anderson J.V., Feng J., Zhang J., Mowry C.R., Ye H., Suttle J.C., Kadowaki K. & Chen Z. (2011). Association between seed dormancy and pericarp color is controlled by a pleiotropic gene that regulates abscisic acid and flavonoid synthesis in weedy red rice. *Genetics*. 189(4): 1515-1524.

Gunaratne A., Wu K., Li D., Bentota A., Corke H. & Cai Y.Z. (2013). Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. *Food Chemistry*. 138(2-3): 1153-1161.

Hoang Thi Hue, La Tuan Nghia, Hoang Tuyet Minh, La Hoang Anh, Le Thi Thu Trang & Tran Dang Khanh (2018). Evaluation of genetic diversity of local-colored rice landraces using SSR markers. *International Letters of Natural Sciences*. 67: 24-34 ref. 16. <https://doi.org/10.56431/p-908313>

IRRI (2013). Standard evaluation system for rice (5th edition) . P.O. Box 933, 1099 Manila, Philippines.

Maeda H., Takuya Y., Motoyasu O., Takeshi T., Kenji F., Kazumasa M. & Takeshi E. (2014). Genetic dissection of black grain rice by the development of a near-isogenic line. *Breeding Science*. 64(2): 134-141.

Mbanjo E.G.N., Kretschmar T., Jones H., Ereful N., Blanchard C., Boyd L.A. & Sreenivasulu N. (2020). The Genetic Basis and Nutritional Benefits of Pigmented Rice Grain. *Frontiers in Genetics*. 11(229). doi: 10.3389/fgene.2020.00229.

McCouch S., Teytelman L. & Xu Y. (2002). Development and mapping of 2240 new SSR markers for rice (*Oryza sativa* L.) (Supplement). *DNA Research*. 9(5): 257-279.

Oikawa T., Maeda H., Oguchi T., Yamaguchi T., Tanabe N., Ebana K., Yano M., Ebitani T. & Izawa T. (2015). The birth of a Black Rice Gene and its local spread by Introgression. *Plant Cell*. 27(9): 2401-2414.

Panche A.N., Diwan A.D. & Chandra S.R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*. 5: e47. doi.org/10.1017/jns.2016.41.

Rahman M.M., Lee K.E., Matin E.S., Lee M.N., Yun D.S., Kim J.S. & Kang S.G. (2013). The genetic constitutions of complementary genes *pp* and *pb* determine the purple color variation in pericarps with cyanidin-3-O-glucoside depositions in black rice. *Journal of Plant Biology*. 56(1): 24-31.

Samyot D., Das A.B. & Deka S.C. (2017). Pigmented rice: A potential source of bioactive compounds: A review. *International Journal of Food Science & Technology*. 52(5): 1073-1081. doi.org/10.1111/ijfs.13411.

Sani N.A., Sawei J., Ratnam W. & Rahman Z. (2018). Physical, antioxidant and antibacterial properties of rice (*Oryza sativa* L.) and glutinous rice (*Oryza sativa* var. *Glutinosa*) from local cultivators and markets of Peninsular, Malaysia. *International Food Research Journal*. 25(6): 2328-2336.

Sarif H.M., Rafii M.Y.R., Oladosu Y., Musa H.M., Rahim H.A., Zuki Z.M. & Chukwu S.C. (2020). Genetic diversity and variability among pigmented rice germplasm using molecular marker and morphological traits. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 34(1): 747-762.

Watson J.W. & Eyzaguirre P.B. (2002). Home gardens and in situ conservation of plant genetic resources in farming systems. *Experimental Agriculture*. 39(1): 110-110. doi.org/10.1017/S0014479702000112.