

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.019

PHÂN TÍCH MỐI TƯƠNG QUAN TRÊN TOÀN BỘ HỆ GENE ĐỐI VỚI TÍNH TRẠNG MÀU SẮC HẠT GẠO LÚC VÀ ĐỘ TRỞ HỒ CÁC GIỐNG LÚA MÙA Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Nguyễn Thành Tâm^{1*}, Nguyễn Thanh Liêm¹, Huỳnh Kỳ², Trần Minh Truyên³, Võ Thị Bích Nhiên³, Nguyễn Gia Hân³ và Nguyễn Văn Mỹ⁴

¹Viện Nghiên cứu Phát triển Đồng bằng sông Cửu Long, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

³Sinh viên ngành Nông học, Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

⁴Ủy ban nhân dân huyện Châu Thành, tỉnh Sóc Trăng

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Thành Tâm (email: ngttam@ctu.edu.vn)

ABSTRACT

The study was carried out to determine the correlation between morphological and qualitative traits and genotypic characters (single nucleotide polymorphisms - SNP) to identify candidate SNPs for brown rice color as well as the degree of alkali digestion. Brown rice color was observed by sensory assessment. The alkali digestion of 65 traditional rice varieties was evaluated by biochemical method. Solution 1.7% KOH (w/v) was applied for testing these rice cultivars at room temperature in 23 hours. The database of two traits was combined with the 24,946 SNPs database to analyze genome-wide association study (GWAS) through the general linear model approach (GLM). As the results, 18 candidate SNPs were identified for brown rice color on chromosomes 6, 8 and 12. Five candidate SNPs were detected for brown rice color trait, which were located in five distinct genes. Thereby, the allele type of GCTGCATAAGATTTT in 16 candidate SNPs was associated with the brown rice color trait. In terms of alkali digestion trait, only 2 candidate SNPs were found. In which, the candidate SNP of S08_10088669 was associated with the low gelatinization temperature (G allele).

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm tìm hiểu mối tương quan giữa tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và cấp độ trở hồ, đồng thời xác định mối tương quan giữa tính trạng hình thái và phẩm chất đối với các đặc điểm di truyền (các đa hình nucleotide đơn - SNP) để xác định được các SNP ứng viên cho việc đánh giá màu sắc hạt gạo lúc cũng như cấp độ trở hồ. Màu sắc hạt gạo lúc được mô tả cảm quan. Cấp độ trở hồ của 65 giống lúa mùa được đánh giá bằng phương pháp sinh hóa. Dung dịch KOH 1,7% (w/v) được sử dụng để đánh giá độ trở hồ của các giống lúa ở nhiệt độ phòng trong 23 giờ. Các số liệu của hai tính trạng này được kết hợp với số liệu 24.946 SNP để phân tích mối tương quan trên toàn bộ hệ gene (GWAS) thông qua mô hình tuyến tính tổng quát (GLM). Kết quả 18 SNP được xác định là ứng viên cho tính trạng màu sắc hạt gạo lúc ở nhiễm sắc thể 6, 8 và 12; trong đó, có 5 SNP ứng viên định vị trên 5 gene khác nhau liên quan đến tính trạng này. Qua đó, kiểu allele GCTGCATAAGATTTT được xác định ở 16 SNP ứng viên có liên quan đến tính trạng màu trắng đục của hạt gạo lúc. Đối với tính trạng độ trở hồ, chỉ có 2 SNP ứng viên được tìm thấy. Trong đó, SNP ứng viên S08_10088669 có liên quan đến nhiệt độ hồ thấp với allele G.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 20/07/2021

Ngày nhận bài sửa: 08/10/2021

Ngày duyệt đăng: 26/02/2022

Title:

Genome-wide association study for brown rice color and alkali digestion of traditional rice in the Mekong Delta

Từ khóa:

Độ trở hồ, giống lúa mùa, GWAS, màu gạo lúc

Keywords:

Alkali digestion, brown rice color, GWAS, traditional rice

1. GIỚI THIỆU

Gạo chất lượng cao là một trong những tiêu chí rất quan trọng trong công tác lai tạo, chọn giống lúa hiện nay. Chính vì chất lượng gạo ảnh hưởng rất lớn đến sản xuất và kinh doanh mặt hàng lúa gạo trên thị trường thế giới nói chung, Việt Nam nói riêng, trong đó có Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nên việc nghiên cứu về chất lượng gạo là rất cần thiết. Trong nhiều tính trạng chất lượng gạo được các nhà khoa học, nhà chọn giống lúa nghiên cứu như hàm lượng amylose, hàm lượng protein, độ trở hồ, độ bền thể gel,... tính trạng độ trở hồ là một trong những tính trạng rất được quan tâm (Chemutai et al., 2016b) vì độ trở hồ giúp xác định thời gian cần thiết để nấu gạo thành cơm (Đệ, 2008). Trong công tác chọn tạo giống, các giống lúa có độ trở hồ trung bình (cấp 4-5) thường được ưu tiên lựa chọn hơn vì chúng giúp cho chất lượng gạo tốt hơn (Bửu & Lang, 2000). Bên cạnh đó, nhằm thu hút sự chú ý của người tiêu dùng, hiện nay các mặt hàng gạo màu cũng trở nên quan trọng trong việc đa dạng hóa sản phẩm và hướng đến thực phẩm chức năng (Brotman et al., 2021). Chính vì vậy, việc xác định được các gene kiểm soát hai tính trạng này là một trong những yêu cầu cấp thiết giúp cho công tác lai tạo, chọn giống lúa nhanh, chính xác và tiết kiệm được chi phí nghiên cứu hơn. Trong thời gian qua, có rất nhiều nghiên cứu về việc xác định tính trạng độ trở hồ hạt gạo thông qua phản ứng sinh hóa (Đệ, 2008; Tâm & Nhân, 2014; Thành, 2011) để tìm ra những giống/dòng lúa có chất lượng cao và dễ-kết hợp với các dấu chỉ thị phân tử (Gao et al., 2011; Chemutai et al., 2016a) cũng như các nghiên cứu về di truyền tính trạng số lượng (QTL) cho tính trạng độ trở hồ (Tan et al., 2001; Jin et al., 2009; Lee et al., 2015; Kim & Kim, 2016). Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều nghiên cứu về việc phân tích mối tương quan trên toàn bộ hệ gene (GWAS) với tính trạng này.

Hạn chế của nghiên cứu này là cần phải có trình tự gene của các giống lúa mà việc giải trình tự gene đòi hỏi phải đầu tư chi phí cao nên các nhà nghiên cứu ưu tiên vào ứng dụng các dấu chỉ thị phân tử. Nhận thấy nguồn dữ liệu về trình tự di truyền của các giống lúa mùa vùng ĐBSCL được Tam et al. (2019) nghiên cứu là rất hữu ích vì nhóm tác giả đã giải được trình tự gene của 99 giống lúa vùng ĐBSCL bằng enzyme cắt giới hạn (ddRAP-seq), trong đó có 18 giống lúa cao sản và 81 giống lúa mùa. Tuy nhiên, nhóm tác giả chỉ phân tích về mặt di truyền mà chưa nghiên cứu về sự tương quan giữa kiểu hình và kiểu gene. Chính vì thế, việc tiếp tục các nghiên cứu về mặt kiểu hình để tìm ra các đa hình nucleotide đơn (SNP) và các gene ứng viên cho bộ giống lúa này là rất cần thiết. Trong nghiên cứu này, hai tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và độ trở hồ của 65 giống lúa mùa được triển khai quan sát, đánh giá và phân loại nhằm mục tiêu tìm ra các SNP và các gene ứng viên liên quan đến hai tính trạng này; qua đó giúp cho việc ứng dụng dấu chỉ thị SNP trong việc tìm ra các giống lúa có phẩm chất tốt đạt được hiệu quả cao và chính xác hơn trong thời gian tới.

2. PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Nguồn vật liệu được sử dụng cho nghiên cứu này là 65 giống lúa mùa đã được sưu tầm từ các tỉnh ĐBSCL và được tồn trữ tại Ngân hàng gene Trường Đại học Cần Thơ (Bảng 1). Các nguồn vật liệu này được lựa chọn do đã được giải trình tự gene từ nghiên cứu của Tam et al. (2019). Thông qua nguồn cơ sở dữ liệu di truyền (trình tự các nucleotide) sẽ giúp cho việc xác định các đa hình nucleotide đơn nhanh và không tốn thêm các chi phí cho việc giải trình tự.

Bảng 1. Danh sách các giống lúa mùa được sử dụng trong nghiên cứu

STT	Giống	Tên giống	Nguồn gốc	STT	Giống	Tên giống	Nguồn gốc
1	MDI-1	Bờ Liếp 2	Cà Mau	34	MDI-72	Châu Hạng Vô	Kiên Giang
2	MDI-2	Ba Bông Mẩn	Cà Mau	35	MDI-77	Chuối	Tiền Giang
3	MDI-3	Lùn Phèn	Cà Mau	36	MDI-83	Nàng Dứt 1	Cà Mau
4	MDI-4	Lùn Đỏ	Cà Mau	37	MDI-85	Nàng Hương 1	Long An
5	MDI-5	Lùn Phèn Hạt Nhỏ	Cà Mau	38	MDI-86	Nàng Hương Tròn	Vĩnh Long
6	MDI-6	Lùn Mẩn	Cà Mau	39	MDI-87	Nàng Ke	An Giang
7	MDI-7	Lùn Vàng	Cà Mau	40	MDI-88	Nàng Keo Ba Tụ	Trà Vinh
8	MDI-8	Lùn Phệt	Cà Mau	41	MDI-89	Nàng Keo Xiêm 2	Trà Vinh
9	MDI-9	Lùn Hên	Cà Mau	42	MDI-90	Nàng Nuool 3	An Giang
10	MDI-11	Lùn Cấn Đỏ	Cà Mau	43	MDI-91	Nàng Phét 3	Cà Mau
11	MDI-12	Lùn Cấn Trắng	Cà Mau	44	MDI-93	Nàng Quớt 2	Cà Mau
12	MDI-13	Trắng Phều	Cà Mau	45	MDI-95	Nếp Đài Loan 2	Cà Mau

STT	Giống	Tên giống	Nguồn gốc	STT	Giống	Tên giống	Nguồn gốc
13	MDI-14	Một Bụi Lùn	Cà Mau	46	MDI-96	Nếp Mờ 3	Cà Mau
14	MDI-15	Một Bụi Lùn Cà Mau	Cà Mau	47	MDI-97	Nếp Ruồi Sớm 1	Bến Tre
15	MDI-16	Một Bụi Trắng	Cà Mau	48	MDI-99	Nếp Than Hồng 1	Cà Mau
16	MDI-17	Nàng Quớt Biên	Cà Mau	49	MDI-100	Nếp Trắng 1	Cà Mau
17	MDI-18	Nếp Sữa	Cà Mau	50	MDI-101	Sài Gòn	Hậu Giang
18	MDI-21	Độc Phụng	Bến Tre	51	MDI-102	Sỏi Đỏ	Trà Vinh
19	MDI-22	Trà Long 2	Cà Mau	52	MDI-104	Trắng Chì Suôi	Cà Mau
20	MDI-23	Ba Bụi 2	Cà Mau	53	MDI-105	Trắng Chùm Lụa	Trà Vinh
21	MDI-24	Nàng Quớt Biên 1	Cà Mau	54	MDI-106	Trắng Lùn 3	Trà Vinh
22	MDI-25	Một Bụi Lùn 2	Cà Mau	55	MDI-108	Trâu Tròn	Hậu Giang
23	MDI-26	Móng Chim Đen	Cà Mau	56	MDI-109	Trung Kiên	Kiên Giang
24	MDI-27	Nấm Tài	Cà Mau	57	MDI-111	Voi	Bến Tre
25	MDI-28	Móng Chim Rơi	Cà Mau	58	MDI-112	Hai Hoàn	Trà Vinh
26	MDI-29	Ba Bụi Lùn	Cà Mau	59	MDI-120	Bông Gừng	Kiên Giang
27	MDI-30	Một bụi 5	Cà Mau	60	MDI-121	Nàng Lon Luc	Kiên Giang
28	MDI-31	Một Bụi Đỏ Cao Cà Mau	Cà Mau	61	MDI-123	Nếp Áo Già	Kiên Giang
29	MDI-41	Thơm Mùa 1	Cà Mau	62	MDI-125	Nhỏ Hương	Bến Tre
30	MDI-67	Ba Bụi 1	Bến Tre	63	MDI-126	Nàng Thơm Chợ Đào	Long An
31	MDI-68	Bà Mười Mùa	Vĩnh Long	64	MDI-127	Tài Nguyên	Long An
32	MDI-69	Ba Túc 1	Cà Mau	65	MDI-133	Chò Biển	Kiên Giang
33	MDI-70	Bảy Tấn	Cà Mau				

2.2. Nghiên cứu về màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ 65 giống lúa mùa

Màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ của 65 giống lúa mùa (Bảng 1) được thực hiện bằng cách

chọn 10 hạt lúa đại diện cho giống và tách vỏ trấu bằng máy Automatic Rice Husker (TR-250) Nhật Bản. Màu sắc hạt gạo lức được quan sát bằng mắt thường và phân thành các nhóm màu sau: màu nâu, màu đỏ và màu trắng đục (Hình 1).



Hình 1. Màu sắc hạt gạo lức được quan sát sau khi tách vỏ trấu

Sau khi quan sát và đánh giá màu sắc hạt gạo lức, các hạt gạo này tiếp tục được chà trắng bằng máy Kett-Grain Polsher PEARLEST (Nhật Bản) trong thời gian 2 phút và chọn mỗi giống 6 hạt gạo trắng còn nguyên vẹn cho vào đĩa petri và cho 10 ml dung

dịch KOH 1,7% (w/v) để đánh giá cấp độ trở hồ của 65 giống lúa này. Cấp độ trở hồ của các giống lúa được đánh giá ở nhiệt độ phòng sau 23 giờ khi cho phản ứng với dung dịch KOH 1,7%. Cấp độ trở hồ của các giống lúa mùa và nhiệt hóa hồ được đánh giá theo tiêu chuẩn của IRRI (2013) (Bảng 2).

Bảng 2. Thang đánh giá độ trở hồ theo IRRI (2013)

Cấp	Độ trải rộng	Nhiệt hóa hồ
1	Hạt gạo còn nguyên	Cao
2	Hạt gạo phồng lên	Cao
3	Hạt phồng lên, viền còn nguyên, nở ít	Cao
4	Hạt phồng lên, viền còn nguyên, nở rộng	Trung bình
5	Hạt rã ra, viền hoàn toàn nở rộng	Trung bình
6	Hạt tan ra hoàn toàn với viền	Thấp
7	Hạt tan ra hoàn toàn và trong	Thấp

2.3. Thanh lọc các đa hình nucleotide đơn (SNP)

Các đa hình nucleotide đơn (37.643 SNP) được trích lọc từ nguồn dữ liệu trình tự 99 giống lúa của Tam et al. (2019) bằng phần mềm TASSEL V5.2.73 với các tiêu chí: tỷ lệ allele thiếu 0%, tỷ lệ allele thứ yếu tối đa 20%, tỷ lệ allele dị hợp tử tối đa 10%. Kết quả đã xác định được 24.946 SNP cho phân tích mối tương quan giữa các SNP và hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ đối với 65 giống lúa mùa.

2.4. Phân tích mối tương quan trên toàn bộ hệ gene với tính trạng màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ

Mối tương quan giữa các SNP và hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức với cấp độ trở hồ được thực hiện bằng phần mềm TASSEL V5.2.73. Các SNP được thực hiện phân tích thành 5 thành phần chính theo phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) trong TASSEL, sau đó liên kết các thành phần chính, kiểu gene và kiểu hình lại để phân tích mô hình tương quan tuyến tính chung (GLM). Các SNP ứng viên có ngưỡng $-\log_{10}(P\text{-value})$ từ 4,0 trở lên được chọn để tìm các gene ứng viên và xác định các kiểu gene liên quan đến hai tính trạng này. Các gene ứng viên được chọn thông qua các SNP ứng viên được thực hiện bằng việc trích lọc các gene ứng viên tại vị trí SNP ứng viên này trên website <https://snp-seek.irri.org/> (Mansueto et al., 2016).

2.5. Xử lý số liệu

Các số liệu được nhập và xử lý bằng phần mềm Excel. Sử dụng phần mềm SPSS 20.0 để mô tả tần số và tỷ lệ của các tính trạng màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ, cũng như phân tích mối tương quan giữa hai tính trạng này. Phần mềm thống kê R được

sử dụng để phân nhóm 65 giống lúa mùa dựa vào hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ thông qua phương pháp phân tích Dendrogram.

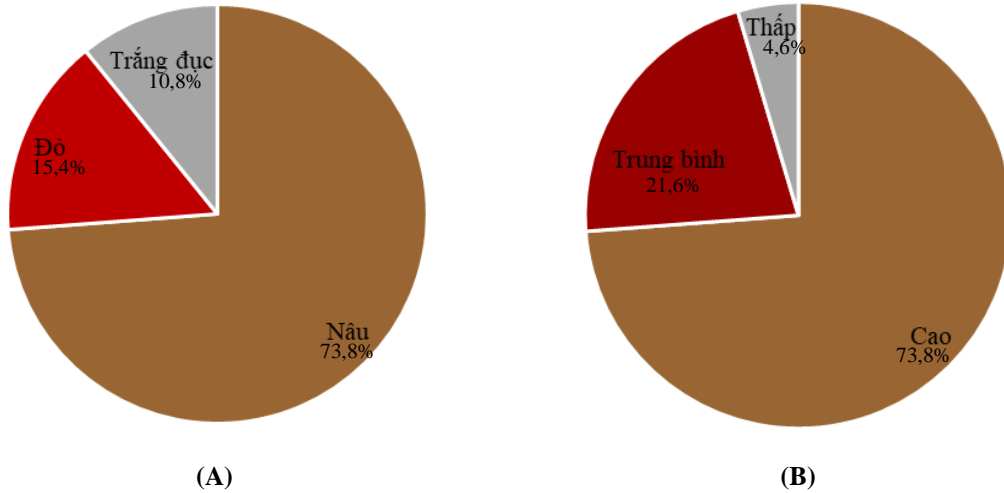
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả đánh giá màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ của 65 giống lúa mùa vùng ĐBSCL

Màu sắc hạt gạo lức của 65 giống lúa mùa vùng ĐBSCL được phân thành 03 nhóm: màu nâu, màu đỏ và màu trắng đục. Trong đó, màu gạo lức hay màu vỏ lụa có màu nâu chiếm tỷ lệ cao nhất trong 65 giống lúa khảo sát (chiếm 73,8% với 48 giống), tiếp đến là vỏ lụa có màu đỏ chiếm 15,4% (10 giống) và thấp nhất là các giống lúa có màu trắng đục (các giống lúa nếp) chiếm 15,4% với 7 giống (Hình 2A).

Khảo sát sự phân bố về cấp độ của nhiệt hóa hồ ở 65 giống lúa mùa, Hình 2B cho thấy có 73,8% các giống lúa có nhiệt hóa hồ cao (48 giống), các giống lúa này cần lượng nước nhiều và thời gian nấu cơm lâu hơn so với các giống lúa có nhiệt hóa hồ thấp và trung bình (Đệ, 2008). Nghiên cứu này chỉ có 4,6% các giống lúa có nhiệt hóa hồ thấp (3 giống), 21,6% các giống lúa có nhiệt hóa hồ trung bình (14 giống). Theo Đệ (2008), nhiệt hóa hồ là nhiệt độ cần thiết để hạt tinh bột hóa thành hồ và không còn khả năng trở về trạng thái ban đầu. Nhiệt hóa hồ càng cao thì cấp độ trở hồ càng thấp và ngược lại (Bảng 2).

Nhìn chung, kết quả phân tích màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ của 65 giống lúa mùa cho thấy chúng tương đối đa dạng và tập trung nhiều nhất ở nhóm giống lúa có hạt gạo lức màu nâu và có nhiệt hóa hồ cao. Chỉ có một phần nhỏ các giống lúa có nhiệt hóa hồ thấp và có màu trắng đục dạng của các giống lúa nếp.



Hình 2. Tần suất xuất hiện màu sắc hạt gạo lức (A) và nhiệt hóa hồ (B) của 65 giống lúa mùa khảo sát

Phân tích mối tương quan giữa màu sắc hạt gạo lức với cấp độ trở hồ trong 65 giống lúa mùa khảo sát (Bảng 3) cho thấy hai tính trạng này có mối

tương quan chặt với nhau ở hệ số tương quan $r = 0,539$, với độ ý nghĩa hai đuôi là $p = 0,000 < 0,01$. Kết quả này cũng tương đối phù hợp với kết quả phân tích ở Hình 2.

Bảng 3. Mối tương quan giữa tính trạng màu sắc hạt gạo lức và cấp độ trở hồ của 65 giống lúa mùa vùng ĐBSCL

		Màu sắc hạt gạo lức	Độ trở hồ
Màu sắc hạt gạo lức	Pearson Correlation	1	
	Sig. (2-tailed)		
	N	65	
Độ trở hồ	Pearson Correlation	0,539**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	N	65	65

Do hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ của 65 giống lúa mùa tương đối đa dạng nên chúng được sử dụng để phân tích sự đa dạng di truyền thông qua phương pháp phân tích Dendrogram để tìm sự tương đồng của 65 mẫu giống lúa mùa. Kết quả Hình 3 cho thấy ở độ cao bằng 5 của biểu đồ Dendrogram, các giống lúa mùa phân thành 6 nhóm giống:

Nhóm 1 gồm 23 giống lúa mùa có đặc tính vỏ lụa màu nâu và có độ trở hồ từ cấp 2,8-4,0, chủ yếu là các giống lúa có độ trở hồ ở cấp 3,0;

Nhóm 2 gồm 4 giống lúa có vỏ lụa màu đỏ và độ trở hồ cấp 3, ngoại trừ một giống lúa có vỏ lụa màu trắng đục;

Nhóm 3 gồm 27 giống lúa, nhóm này bao gồm 03 nhóm phụ: Nhóm 3-1 có vỏ lụa màu đỏ (3 giống) nhưng có độ trở hồ biến động rất lớn với cấp độ trở hồ là 1,2, 2,0 và 5,2; Nhóm 3-2 có vỏ lụa màu nâu và có độ trở hồ cấp 1,0 (7 giống); Nhóm 3-3 gồm 17

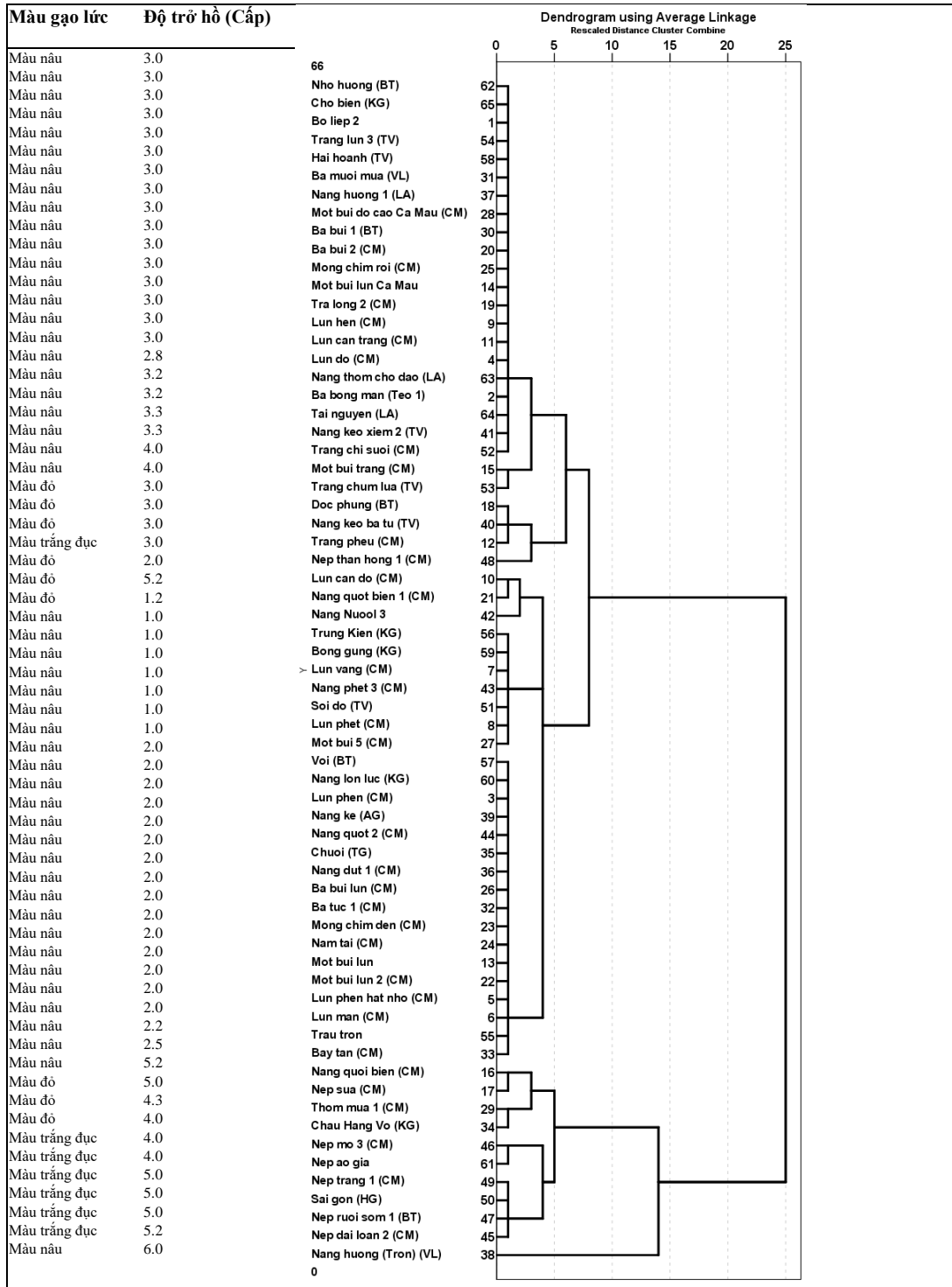
giống có vỏ lụa màu nâu và có độ trở hồ từ 2,0 đến 2,5;

Nhóm 4 gồm 4 giống lúa chủ yếu có vỏ lụa màu đỏ (3 giống) và có độ trở hồ từ cấp 4,0-5,2;

Nhóm 5 có 6 giống lúa bao gồm các giống lúa có vỏ lụa màu trắng đục (các giống lúa nếp), có độ trở hồ từ cấp 4,0-5,2;

Nhóm 6 chỉ có 1 giống lúa có màu nâu nhưng độ trở hồ ở cấp 6 – giống lúa này có nhiệt hóa hồ thấp vì thế cần lượng nước ít và thời gian nấu cơm chín nhanh hơn các giống lúa khác trong bộ giống lúa khảo sát.

Đặc biệt ở độ cao khoảng 8, các giống lúa này phân thành 03 nhóm chính: Nhóm 1 có 54 giống; Nhóm 2 có 10 giống là 06 giống lúa nếp kết hợp với 04 giống lúa mùa khác là Châu Hạng Võ, Thơm Mùa 1, Nàng Quýt Biển và Sài Gòn; Nhóm 03 chỉ có 01 giống lúa là Nàng Hương Tròn.



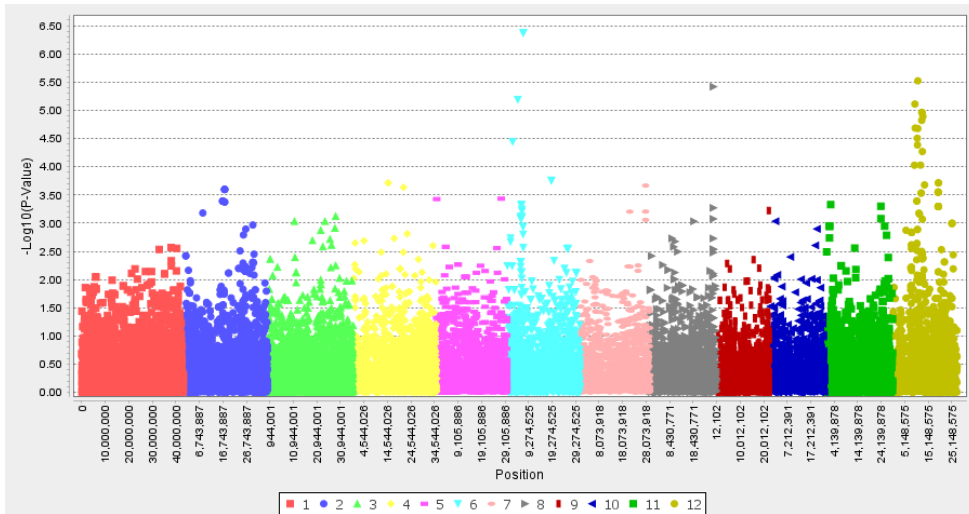
Hình 3. Biểu đồ tương quan Dendrogram của 65 giống lúa mùa thông qua hai tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và độ trở hồ

3.2. Phân tích mối tương quan trên toàn bộ hệ gene đối với tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ

3.2.1. Màu sắc hạt gạo lức

Kết quả phân tích biểu đồ Manhattan cho thấy có 03 nhiễm sắc thể (NST) có sự tương quan đến tính trạng màu sắc hạt gạo lức là NST06, NST08 và NST12. Dựa vào giá trị ngưỡng $-\text{Log}_{10}(\text{P-value})$ từ

4,0 trở lên (các SNP có độ ý nghĩa (giá trị P) nhỏ hơn 0,0001) có 18 SNP ứng viên được xác định. Trong đó, 04 SNP ứng viên trên NST06, 01 SNP ứng viên trên NST08 và 13 SNP ứng viên trên NST12 (Hình 4, Bảng 4). Kết quả Hình 4 cho thấy hai NST có ý nghĩa cao trong việc xác định tính trạng màu sắc hạt gạo lức là NST06 và NST12 vì chúng có nhiều SNP ứng viên và có vị trí gần nhau trong NST.



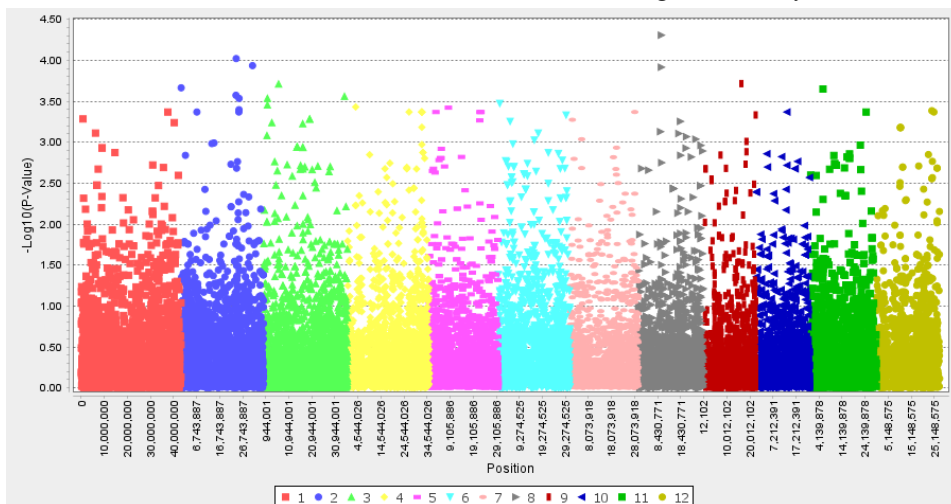
Hình 4. Biểu đồ Manhattan cho tính trạng màu sắc hạt gạo lức

Sử dụng 24.946 SNP từ 65 giống lúa mùa để phân tích mối tương quan giữa các SNP với tính trạng màu sắc hạt gạo lức trên 12 nhiễm sắc thể cây lúa.

3.2.2. Độ trở hồ

Xét về mối tương quan giữa tính trạng độ trở hồ và 24.946 SNP của 65 giống lúa mùa trong nghiên

cứu này ở ngưỡng $-\text{Log}_{10}(\text{P-value})$ từ 4,0 trở lên, chỉ có 02 SNP ứng viên ở 02 NST khác nhau được xác định. Một SNP ứng viên ở NST02 là S02_23949898 và một SNP ứng viên ở NST08 là S08_10088669 (Hình 5, Bảng 4). Nhìn chung, tính trạng độ trở hồ và các SNP của 65 giống lúa mùa này không có sự tương quan cao trong phân tích GWAS của nghiên cứu này.



Hình 5. Biểu đồ Manhattan cho tính trạng độ trở hồ

Sử dụng 24.946 SNP từ 65 giống lúa mùa để phân tích mối tương quan giữa các SNP với tính trạng độ trở hồ trên 12 nhiễm sắc thể cây lúa.

3.3. Xác định các gene ứng viên và kiểu gene cho hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ của 65 giống lúa mùa

3.3.1. Gene ứng viên

Kết quả phân tích GWAS đối với hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ cho thấy có tổng cộng 20 SNP ứng viên cho hai tính trạng này được xác định; trong đó chủ yếu cho tính trạng màu sắc hạt gạo lức (18 SNP), chỉ có 02 SNP ứng viên cho độ trở hồ (Bảng 4). Kết quả dò tìm gene và chức năng của gene trên hệ thống Rice SNP-Seek

database (Mansueto et al., 2016) đã tìm được 05 gene ứng viên cho tính trạng màu sắc hạt gạo lức. Trong đó, một gene ở NST08 là LOC_Os08g42840 với chức năng là protein lặp lại giàu leucin và 04 gene ở NST12 (OsNippo12g115300, LOC_Os12g18530, LOC_Os12g20350, LOC_Os12g21990) với chức năng chủ yếu là retrotransposon protein (Bảng 4). Tuy nhiên, đối với hai SNP ứng viên cho tính trạng độ trở hồ, kết quả dò tìm trên hệ thống Rice SNP-Seek database (Mansueto et al., 2016) đã không xác định được gene nào liên quan đến hai SNP ứng viên này. Đặc biệt qua kết quả dò tìm, không xác định được gene nào có liên quan đến 6 SNP ứng viên ở NST02 và NST06 đối với hai tính trạng nghiên cứu (Bảng 4).

Bảng 4. Các SNP ứng viên cho tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ

STT	Tính trạng	SNP ứng viên	NST	Vị trí	Giá trị P	marker R ²	Gene ứng viên
1	Độ trở hồ	S02_23949898	2	23949898	9,53E-05	0,18698	
2	Màu gạo lức	S06_2514543	6	2514543	3,60E-05	0,12836	
3	Màu gạo lức	S06_4700163	6	4700163	6,45E-06	0,14894	
4	Màu gạo lức	S06_7040971	6	7040971	4,22E-07	0,20119	
5	Màu gạo lức	S06_7040973	6	7040973	4,22E-07	0,20119	
6	Độ trở hồ	S08_10088669	8	10088669	4,93E-05	0,19811	
7	Màu gạo lức	S08_27087395	8	27087395	3,81E-06	0,17722	LOC_Os08g42840 [27086409-27089863] - leucine rich repeat protein, putative, expressed
8	Màu gạo lức	S12_9284361	12	9284361	9,39E-05	0,13883	
9	Màu gạo lức	S12_9473031	12	9473031	7,74E-06	0,1691	
10	Màu gạo lức	S12_9597281	12	9597281	2,06E-05	0,15753	
11	Màu gạo lức	S12_10478759	12	10478759	3,12E-05	0,1525	
12	Màu gạo lức	S12_10561767	12	10561767	4,11E-05	0,14914	
13	Màu gạo lức	S12_10704928	12	10704928	2,10E-05	0,1573	OsNippo12g115300 [10703639-10705631] - Conserved hypothetical protein.
14	Màu gạo lức	S12_10716854	12	10716854	3,00E-06	0,17993	LOC_Os12g18530 [10711880-10717818] - nucleotidyltransferase, putative, expressed
15	Màu gạo lức	S12_11885810	12	11885810	9,35E-05	0,13887	LOC_Os12g20350 [11879443-11886693] - retrotransposon protein, putative, unclassified, expressed
16	Màu gạo lức	S12_12372293	12	12372293	1,51E-05	0,16126	LOC_Os12g21990 [12369690-12372372] - retrotransposon protein, putative, Ty3-gypsy subclass
17	Màu gạo lức	S12_12466073	12	12466073	1,09E-05	0,16507	
18	Màu gạo lức	S12_12466128	12	12466128	1,09E-05	0,16507	
19	Màu gạo lức	S12_12646898	12	12646898	5,38E-05	0,12342	

Mã giống	Tên giống	S06_2514543	S06_4700163	S06_7040971	S06_7040973	S08_27087395	S12_9284361	S12_9473031	S12_9597281	S12_10478759	S12_10561767	S12_10716854	S12_11885810	S12_12372293	S12_12466073	S12_12466128	S12_12646898	S12_12863960	
MDI-1	Bò Liếp 2	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-2	Bà Bông Mần	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-3	Lùn Phèn	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-4	Lùn Đò	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-5	Lùn Phèn Hat Nhỏ	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-6	Lùn Mần	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-7	Lùn Vàng	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-8	Lùn Phết	C	T	Y	Y	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-9	Lùn Hén	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-11	Lùn Cấn Đỏ	C	T	T	C	T	A	S	R	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-12	Lùn Cấn Trắng	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-13	Trắng Phều	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-14	Một Bui Lùn	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-15	Một Bui Lùn Cà Mau	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-16	Một Bui Trắng	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-17	Nàng Quọt Biên	C	T	C	T	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-18	Nếp Sứa	C	T	C	T	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-21	Độc Phụng	G	T	T	C	C	A	G	G	C	G	G	A	G	T	T	T	T	
MDI-22	Trà Long 2	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-23	Bà Bui 2	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-24	Nàng Quọt Biên 1	C	T	C	T	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-25	Một Bui Lùn 2	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-26	Móng Chim Đen	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-27	Nấm Tái	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-28	Móng Chim Rơi	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-29	Bà Bui Lùn	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-30	Một Bui 5	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-31	Một Bui Đò Cao Cà Mau	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-41	Thơm Múa 1	C	T	C	T	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-67	Bà Bui 1	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-68	Bà Mười Múa	C	T	T	C	Y	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-69	Bà Túc 1	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-70	Bảy Tấn	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-72	Chấu Hang Vò	C	T	T	C	T	G	S	R	Y	R	R	R	R	T	Y	Y	T	K
MDI-77	Chuối	G	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-83	Nàng Dứt 1	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-85	Nàng Hương 1	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-86	Nàng Hương Tròn	G	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-87	Nàng Ke	C	T	T	C	C	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-88	Nàng Keo Ba Tú	C	T	T	C	C	A	S	A	Y	A	R	R	R	Y	Y	T	T	
MDI-89	Nàng Keo Xiêm 2	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-90	Nàng Nuool 3	C	K	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	R	C	C	T	G	
MDI-91	Nàng Phết 3	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-93	Nàng Quọt 2	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-95	Nếp Dài Loan 2	G	T	T	C	C	G	C	R	T	A	A	G	A	T	Y	T	T	
MDI-96	Nếp Mỡ 3	G	K	C	T	C	G	C	A	T	A	A	G	A	T	T	T	T	
MDI-97	Nếp Ruột Sớm 1	C	T	C	T	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-99	Nếp Than Hồng 1	G	K	C	T	C	G	C	A	Y	A	A	G	A	T	T	T	T	
MDI-100	Nếp Trắng 1	G	K	C	T	C	G	S	R	Y	R	R	R	R	Y	Y	T	K	
MDI-101	Sài Gòn	G	T	C	T	C	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-102	Sỏi Đò	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-104	Trắng Chi Suối	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-105	Trắng Chùm Lụa	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-106	Trắng Lùn 3	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	R	C	C	T	G	
MDI-108	Trầu Tròn	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-109	Trung Kiên	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-111	Voi	C	T	T	C	C	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-112	Hai Hoàn	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-120	Bông Cừm	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-121	Nàng Lon Lưc	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-123	Nếp Áo Giã	G	T	C	T	C	R	C	A	T	A	A	G	A	T	T	T	C	T
MDI-125	Nhỏ Hương	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	C	G	
MDI-126	Nàng Thơm Chợ Đào	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-127	Tài Nguyên	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	
MDI-133	Chó Biển	C	T	T	C	T	A	G	G	C	G	G	A	G	C	C	T	G	

Hình 6. Đa hình nucleotide đơn của các SNP ứng viên cho tính trạng màu sắc hạt gạo lức

3.3.2. Nghiên cứu kiểu gene cho hai tính trạng màu sắc hạt gạo lức và độ trở hồ của 65 giống lúa mùa

- Đối với tính trạng màu sắc hạt gạo lức

Màu sắc hạt gạo được tạo nên từ các hợp chất là flavonoid anthocyanin và proanthocyanidin, được biết là có giá trị dinh dưỡng, các hợp chất này được điều hòa từ các gene khác nhau trên bộ gene của lúa (Mbanjo et al., 2020). Kết quả nghiên cứu 65 giống lúa mùa của Việt Nam cũng giống như kết quả

nghiên cứu trước cho thấy trong 18 SNP ứng viên có 02 SNP ứng viên (S06_4700163 và S12_12646898) có kiểu allele khác so với các SNP ứng viên còn lại đối với tính trạng màu sắc hạt gạo lức nên chúng được loại ra trong việc xác định kiểu allele quy định tính trạng màu sắc hạt gạo lức. Trong nghiên cứu này, ở NST06, các SNP ứng viên S06_2514543, S06_7040971 và S06_7040973 có kiểu allele GCT dự đoán cho kiểu hình màu sắc hạt gạo lức có màu trắng đục (các giống lúa nếp). Kiểu allele này xác định được 5/7 giống lúa có màu sắc

hạt gạo lúc là màu trắng đục. SNP ứng viên S08_27087395 có 10 giống lúa mùa có kiểu allele thứ yếu ở dạng allele C, đại diện cho các giống lúa có vỏ lụa màu trắng đục và màu đỏ. Xét kiểu allele của các giống nếp trên NST12 cho thấy có 12 SNP có liên quan đến tính trạng hạt gạo lúc có màu trắng đục ngoại trừ SNP ứng viên S12_12646898. Kiểu allele của 12 SNP đại diện cho hạt gạo lúc có màu trắng đục là GCATAAGATTTT. Trong kiểu allele này, có 4/7 giống có lúa có kiểu allele và kiểu hình tương quan nhau. Ngoài ra, giống nếp trắng 1 cũng có kiểu allele tương tự với nhóm allele quy định màu trắng đục của vỏ lụa, nhưng đa phần các allele này ở dạng dị hợp tử ở các vị trí SNP ứng viên. Thông qua mỗi liên kết của 18 SNP ở 03 NTS (NST06, NST08 và NST12), một kiểu gene đã được chọn liên

quan đến màu trắng đục của hạt gạo lúc ở 16 SNP ứng viên (không bao gồm các SNP ứng viên S06_4700163, S12_12646898) là GCTCGCATAAGATTTT (Hình 6). Kết quả nghiên cứu này cũng cho thấy tính trạng màu sắc hạt gạo lúc có thể liên kết bởi nhiều gene trên nhiều nhiễm sắc thể khác nhau, cũng như nghiên cứu của Jin et al. (2009).

Các allele màu xanh đậm là các allele thứ yếu, các allele màu xanh nhạt là các allele dị hợp tử, các allele màu trắng là các allele chủ yếu của các SNP. Các allele dị hợp tử là trường hợp xuất hiện cả hai allele tại vị trí SNP của giống đó. Trong đó, R (A:G), Y (C:T), K (G:T), S (C:G)

– Đối với tính trạng độ trở hồ

Mã giống	Tên giống	S02_23949898	S08_10088669	Mã giống	Tên giống	S02_23949898	S08_10088669
MDI-1	Bờ Liếp 2	C	C	MDI-72	Châu Hạng Vò	C	C
MDI-2	Ba Bông Mẩn	C	C	MDI-77	Chuối	C	C
MDI-3	Lùn Phèn	C	C	MDI-83	Nàng Dứt 1	C	S
MDI-4	Lùn Đỏ	C	C	MDI-85	Nàng Hương 1	C	C
MDI-5	Lùn Phèn Hạt Nhỏ	C	C	MDI-86	Nàng Hương Tròn	M	G
MDI-6	Lùn Mẩn	C	C	MDI-87	Nàng Ke	C	C
MDI-7	Lùn Vàng	C	C	MDI-88	Nàng Keo Ba Tụ	C	C
MDI-8	Lùn Phệt	C	S	MDI-89	Nàng Keo Xiêm 2	C	C
MDI-9	Lùn Hên	C	C	MDI-90	Nàng Nuool 3	C	C
MDI-11	Lùn Cẩn Đỏ	C	C	MDI-91	Nàng Phết 3	C	S
MDI-12	Lùn Cẩn Trắng	C	G	MDI-93	Nàng Quớt 2	C	C
MDI-13	Trắng Phếu	C	C	MDI-95	Nếp Đài Loan 2	C	C
MDI-14	Một Bụi Lùn	C	S	MDI-96	Nếp Mỡ 3	C	C
MDI-15	Một Bụi Lùn Cà Mau	C	C	MDI-97	Nếp Ruồi Sớm 1	C	C
MDI-16	Một Bụi Trắng	C	C	MDI-99	Nếp Than Hồng 1	C	C
MDI-17	Nàng Quớt Biển	M	G	MDI-100	Nếp Trắng 1	C	C
MDI-18	Nếp Sữa	C	C	MDI-101	Sài Gòn	C	C
MDI-21	Đốc Phụng	C	C	MDI-102	Sỏi Đỏ	C	C
MDI-22	Trà Long 2	C	C	MDI-104	Trắng Chì Suôi	C	C
MDI-23	Ba Bụi 2	C	C	MDI-105	Trắng Chùm Lụa	C	C
MDI-24	Nàng Quớt Biển 1	C	C	MDI-106	Trắng Lùn 3	C	C
MDI-25	Một Bụi Lùn 2	C	C	MDI-108	Trâu Tròn	C	C
MDI-26	Móng Chim Đen	C	S	MDI-109	Trung Kiên	C	C
MDI-27	Năm Tài	C	C	MDI-111	Voi	C	C
MDI-28	Móng Chim Roi	C	C	MDI-112	Hai Hoàn	C	C
MDI-29	Ba Bụi Lùn	C	S	MDI-120	Bông Gừng	C	C
MDI-30	Một Bụi 5	C	C	MDI-121	Nàng Lon Luc	C	C
MDI-31	Một Bụi Đỏ Cao Cà Ma	C	C	MDI-123	Nếp Áo Già	C	C
MDI-41	Thơm Mùa 1	C	C	MDI-125	Nhỏ Hương	C	C
MDI-67	Ba Bụi 1	C	C	MDI-126	Nàng Thơm Chợ Đào	C	C
MDI-68	Bà Mười Mùa	C	C	MDI-127	Tài Nguyên	C	C
MDI-69	Ba Túc 1	C	C	MDI-133	Chô Biển	C	C
MDI-70	Bây Tấn	A	C				

Hình 7. Các đa hình nucleotide đơn của các SNP ứng viên cho tính trạng độ trở hồ

Sự đa hình của hai SNP ứng viên liên quan đến tính trạng độ trở hồ không cao, nhưng SNP ứng viên S08_10088669 được đánh giá là có liên quan cao đến tính trạng độ trở hồ hơn. Dựa vào sự đa hình của SNP ứng viên S08_10088669, 03 giống lúa mùa (Nàng Hương Tròn (MDI-86), Nàng Quýt Biển (MDI-17) và Lùn Cắn Trắng (MDI-12)) được xác định có kiểu allele G, có độ trở hồ lần lượt là cấp 6,0, cấp 5,2 và cấp 3,0, đại diện cho các giống lúa có nhiệt hóa hồ từ trung bình đến thấp (Hình 7). Qua đó cho thấy có thể ứng dụng SNP ứng viên ở vị trí này để xác định độ trở hồ của các giống lúa trong công tác nghiên cứu, lai tạo và chọn giống.

Các allele màu xanh đậm là các allele thứ yếu, các allele màu xanh nhạt là các allele dị hợp tử, các allele màu trắng là các allele chủ yếu của các SNP.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

4.1. Kết luận

Hai tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và cấp độ trở hồ có mối tương quan chặt với nhau ở hệ số tương quan 0,539. Kết quả nghiên cứu đã xác định được 20 SNP ứng viên cho hai tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và độ trở hồ ở 04 NST (NST02, NST06, NST08, NST12). Trong đó, có 18 SNP ứng viên được xác định cho tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và 02 SNP ứng viên được xác định cho tính trạng độ trở hồ. Đặc biệt, thông qua kết quả nghiên cứu, 05 gene được

xác định là ứng viên cho tính trạng màu sắc hạt gạo lúc ở hai NST (08 và 12) là LOC_Os08g42840, OsNippo12g115300, LOC_Os12g18530, LOC_Os12g20350 và LOC_Os12g21990. Điều đáng chú ý là kiểu gene cho tính trạng màu sắc hạt gạo lúc thông qua 16 SNP ứng viên ở 03 NST (NST06, NST08 và NST12) là GCTCGCATAAGATTTT được xác định có liên quan cao giữa kiểu gene và kiểu hình. Kiểu gene này đại diện cho các giống lúa nếp có màu sắc hạt gạo lúc trắng đục. Bên cạnh đó, thông qua nghiên cứu, kiểu gene của các giống có độ trở hồ thấp được xác định ở SNP ứng viên S08_10088669. Tại vị trí này, các giống lúa có độ trở hồ thấp sẽ có kiểu allele ở dạng thứ yếu là allele G.

4.2. Đề xuất

Các SNP ứng viên cho tính trạng màu sắc hạt gạo lúc và độ trở hồ được ứng dụng để đánh giá các giống lúa hiện đang sản xuất ở ĐBSCL.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Cần Thơ đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này thông qua đề tài nghiên cứu cấp cơ sở (Cấp Trường năm 2021). Đồng thời xin chân thành cảm ơn Dự án Nâng cấp Trường Đại học Cần Thơ đã tạo điều kiện cho chúng tôi có cơ hội tiếp cận cơ sở dữ liệu di truyền của các giống lúa mùa này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bừu, B. C., & Lang, N. T. (2000). *Một số vấn đề cần thiết về gạo xuất khẩu*. Viện lúa Đồng bằng Sông Cửu Long.
- Brotman, Y., Llorente-Wiegand, C., Oyong, G., Badoni, S., Misra, G., Anacleto, R., Parween, S., Pasion, E., Tiozon, R. N. J., Anonuevo, J. J., DeGuzman, S. A., Mbanjo, E. G. N., Boyd, L. A., Fernie, A. R., & Sreenivasulu, N. (2021). The genetics underlying metabolic signatures in a brown rice diversity panel and their vital role in human nutrition. *The Plant Journal*, 106(2), 507-525. <https://doi.org/10.1111/tpj.15182>
- Chemutai, L., Musyoki, M., Kioko, W., Mwenda, N., Muriira, K., & Piero, N. (2016a). Genetic diversity studies on selected rice (*Oryza sativa* L.) genotypes based on gel consistency and alkali digestion. *Rice Research: Open Access*, 1-6. <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000285>
- Chemutai, L., Musyoki, M., Kioko, W., Mwenda, N., Muriira, K., & Piero, N. (2016b). Physicochemical characterization of selected rice (*Oryza sativa* L.) genotypes based on gel consistency and alkali digestion. *Biochem Anal Biochem*, 5(3), 285. <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000285>
- Đệ, N. N. (2008). *Giáo trình cây lúa*. NXB. Đại học Quốc gia TP HCM.
- Gao, Z., Zeng, D., Cheng, F., Tian, Z., Guo, L., Su, Y., . . . & Huang, Y. (2011). ALK, the Key Gene for Gelatinization Temperature, is a Modifier Gene for Gel Consistency in Rice F. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(9), 756-765. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01065.x>
- IRRI (2013). *SES Standard evaluation system for Rice*. International Rice Research Institute. 52 pages.
- Jin, L., Xiao, P., Lu, Y., Shao, Y., Shen, Y., & Bao, J. (2009). Quantitative trait loci for brown rice color, phenolics, flavonoid contents, and antioxidant capacity in rice grain. *Cereal Chemistry*, 86(6), 609-615. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-6-0609>
- Kim, H. Y., & Kim, K.-M. (2016). Mapping of grain alkali digestion trait using a Cheongcheong/Nagdong doubled haploid population in rice. *Journal of Plant*

- Biotechnology*, 43(1), 76-81.
<https://doi.org/10.5010/JPB.2016.43.1.76>
- Lee, H. S., Lee, G. H., Cho, A. R., Yi, G., & Kim, K. M. (2015). QTLs for detecting DNA markers related to alkali digestion value in rice grain using doubled haploid population. 137-137.
- Mansueto, L., Fuentes, R. R., Borja, F. N., Detras, J., Abriol-Santos, J. M., Chebotarov, D., Sanciangco, M., Palis, K., Copetti, D., Poliakov, A., Dubchak, I., Solovyev, V., Wing, R. A., Hamilton, R. S., Mauleon, R., McNally, K. L., & Alexandrov, N. (2016). Rice SNP-seek database update: new SNPs, indels, and queries. *Nucleic Acids Research*, 45(D1), D1075-D1081.
<https://doi.org/10.1093/nar/gkw1135>
- 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.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00229>
- Tâm, N. T., & Nhân, Đ. K. (2014). Ảnh hưởng của phương pháp và mật độ gieo sạ đến năng suất, chất lượng và hiệu quả kinh tế sản xuất nếp tại Thủ Thừa, Long An. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 32(B), 53-57.
- Tam, N. T., Dwiyantri, M. S., Koide, Y., Nagano, A. J., Ky, H., Tin, H. Q., Hien, N. L., Dung, L. V., & Kishima, Y. (2019). Profiling SNP and Nucleotide Diversity to Characterize Mekong Delta Rice Landraces in Southeast Asian Populations. *The Plant Genome*, 12(3), 190042. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2019.06.0042>
- Tan, Y., Sun, M., Xing, Y., Hua, J., Sun, X., Zhang, Q., & Corke, H. (2001). Mapping quantitative trait loci for milling quality, protein content and color characteristics of rice using a recombinant inbred line population derived from an elite rice hybrid. *Theoretical and Applied Genetics*, 103(6-7), 1037-1045.
<https://doi.org/10.1007/s001220100665>
- Thành, V. C. (2011). Phục tráng giống nếp CK92 có chất lượng tốt. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 19(B), 130-135.