

PHÂN TÍCH KHẢ NĂNG KẾT HỢP VÀ TIỀM NĂNG PHÁT TRIỂN GIỐNG CỦA 10 DÒNG NGÔ NẾP TÍM THEO MÔ HÌNH GRIFFING IV

Phạm Quang Tuấn¹, Vũ Văn Liết², Triệu Thị Mùi³, Nguyễn Thị Nguyệt Anh¹, Nguyễn Trung Đức^{1*}

¹*Viện Nghiên cứu và Phát triển cây trồng, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

²*Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

³*Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao Khoa học Công nghệ,
Phân hiệu Đại học Thái Nguyên tại tỉnh Lào Cai*

*Tác giả liên hệ: ntduc@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 02.08.2023

Ngày chấp nhận đăng: 15.09.2024

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tiến hành phân tích khả năng kết hợp chung (GCA), khả năng kết hợp riêng (SCA) và tiềm năng phát triển giống của 10 dòng ngô nếp tím tự phối luân giao theo mô hình Griffing IV nhằm chọn lọc các cặp bố mẹ ưu tú và tổ hợp lai triển vọng phục vụ khảo nghiệm và công nhận lưu hành giống ngô nếp tím mới tại Việt Nam. Lai tạo các tổ hợp lai trong vụ xuân 2022, đánh giá đặc điểm nông sinh học của 45 tổ hợp lai và hai giống đối chứng trong vụ đông 2022 được bố trí theo khối ngẫu nhiên đầy đủ với 3 lần nhắc lại tại Hà Nội. Kết quả cho thấy 5 dòng gồm D2, D4, D5, D7, D9 có GCA dương cao về năng suất bắp tươi và 5 dòng gồm D1, D2, D7, D8, D10 có GCA dương cao về chỉ số độ ngọt. Tổng số 20 cặp lai có SCA dương cao có ý nghĩa thống kê về năng suất bắp tươi và 21 cặp lai có SCA dương cao có ý nghĩa thống kê về chỉ số độ ngọt. Dựa trên chỉ số MGIDI với áp lực chọn lọc 20%, 08 THL ngô nếp tím ưu tú có tiềm năng phát triển giống đã được chọn lọc (THL8, THL12, THL16, THL21, THL6, THL2, THL36 và THL1).

Từ khóa: Ngô nếp tím, khả năng kết hợp, hiệu ứng cộng, hiệu ứng trội, MGIDI.

Analysis the Combining Ability and Breeding Potential of 10 Purple Waxy Corn Inbred Lines

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the combining ability of 10 purple waxy corn inbred lines according to the Griffing IV model and to select elite parental lines and hybrids for national testing and commercialization of new purple waxy corn varieties in Vietnam. The cross combination were generated in 2022 spring cropping season and the resultant 45 crosses were evaluated for agronomic characteristics in comparison with two checks in 2022 winter crop season using a randomized complete block design with 3 replicates. The results showed that 5 lines viz., D2, D4, D5, D7, D9 had significantly high positive GCA on marketable yield, and 5 lines viz., D1, D2, D7, D8, D10 had significance high positive GCA on total soluble solids. A total of 20 crosses with high significantly positive SCA on marketable yield and 21 crosses had high significantly positive SCA value on sweetness index. Based on the MGIDI with 20% selection pressure, 08 elite purple waxy corn hybrids were identified having breeding potential were selected (THL8, THL12, THL16, THL21, THL6, THL2, THL36 and THL1).

Keywords: Purple waxy corn, combining ability, additive, dominance, MGIDI.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngô nếp tím được người tiêu dùng ưa chuộng do có nhiều ưu điểm như dẻo, ngọt, thơm và giàu anthocyanin. Vì vậy, nhiều nước đã tập

trung nghiên cứu, phát triển các giống ngô nếp tím mới như Trung Quốc, Hàn Quốc, Thái Lan và Việt Nam trong hai thập kỷ qua (Khampas & cs., 2015; Harakotr & cs., 2016; Li & cs., 2018; Phạm Quang Tuấn & cs., 2018). Tại Việt Nam,

chọn lọc và lai tạo giống ngô nếp tím hiện tại đạt được một số thành tựu với giống ngô VNUA141 đã được công nhận lưu hành tại các tỉnh phía Bắc (Phạm Quang Tuấn & cs., 2018). Tiếp tục kế thừa và phát triển các nguồn vật liệu mới thu thập, nhiều dòng ngô nếp tím mới và tổ hợp lai (THL) của chúng đã được lai tạo và phát triển tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam. Phát triển các giống ngô nếp tím mới với năng suất, chất lượng và khả năng thích ứng tốt hơn luôn là mục tiêu của các nhà chọn giống để đáp ứng nhu cầu thị trường. Sự thành công của chương trình chọn giống ngô nếp tím ưu thế lai phụ thuộc vào việc xác định cặp bố mẹ ưu tú và THL triển vọng.

Phân tích khả năng kết hợp là một trong những công cụ di truyền số lượng hiệu quả,

nhằm xác định các quy luật di truyền và hỗ trợ lựa chọn cặp bố mẹ ưu tú và con lai triển vọng (Hallauer & cs., 2010). Phương pháp luân giao theo mô hình Griffing được sử dụng rộng rãi đến ngày nay để ước tính khả năng kết hợp chung (GCA), khả năng kết hợp riêng (SCA), tính toán các hiệu ứng cộng và hiệu ứng trội. Mô hình phân tích khả năng kết hợp này đã được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu các tham số di truyền về đặc điểm sinh trưởng, năng suất, chất lượng của cây ngô bởi nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới (Yao & cs., 2013; Smith & Williams, 2021). Tại Việt Nam, phân tích khả năng kết hợp theo mô hình theo mô hình Griffing trên cây ngô thực phẩm đã được tiến hành ở Học viện Nông nghiệp Việt Nam bởi Phạm Quang Tuấn & cs. (2016).

Bảng 1. Các dòng ngô nếp tím tự phối được sử dụng trong nghiên cứu

Ký hiệu	Tên dòng	Phả hệ	Đời tự phối	Dạng hạt
D1	N005	23709	6	Nếp, tím
D2	N011	TL	6	Nếp, tím
D3	N014	FP3	6	Nếp, tím
D4	N017	Q2111	6	Nếp, tím
D5	N023	Q2161	6	Nếp, tím
D6	N024	Q2231	6	Nếp, tím
D7	N032	Q2271	6	Nếp, tím
D8	N069	NND3	6	Nếp, tím
D9	N094	NT68	6	Nếp, tím
D10	N095	NT75	6	Nếp, tím

Bảng 2. Mô hình luân giao Griffing IV giữa 10 dòng ngô nếp tím tự phối trong vụ xuân 2022 tại Gia Lâm, Hà Nội

Bố \ Mẹ	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
D1										
D2	THL1									
D3	THL2	THL10								
D4	THL3	THL11	THL18							
D5	THL4	THL12	THL19	THL25						
D6	THL5	THL13	THL20	THL26	THL31					
D7	THL6	THL14	THL21	THL27	THL32	THL36				
D8	THL7	THL15	THL22	THL28	THL33	THL37	THL40			
D9	THL8	THL16	THL23	THL29	THL34	THL38	THL41	THL43		
D10	THL9	THL17	THL24	THL30	THL35	THL39	THL42	THL44	THL45	

Với mục tiêu chọn lọc các dòng bố mẹ ưu tú và THL triển vọng phục vụ khảo nghiệm và công nhận lưu hành giống ngô nếp tím mới tại các tỉnh phía Bắc, nghiên cứu này tiến hành đánh giá khả năng kết hợp về sinh trưởng, năng suất, chất lượng của 10 dòng ngô nếp tím tự phối theo mô hình Griffing IV tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Vật liệu nghiên cứu bao gồm: (1) Mười dòng ngô nếp tím (ký hiệu từ D1 đến D10) do Viện Nghiên cứu và Phát triển cây trồng phát triển bằng phương pháp tự phối từ giống ngô thụ phấn tự do của Việt Nam và các giống ngô lai đơn nhập nội từ Thái Lan, Hàn Quốc, Trung Quốc (Bảng 1); (2) Bốn mươi tám THL được tạo ra do luân giao theo mô hình Griffing IV giữa mười dòng ngô bố mẹ (ký hiệu từ THL1 đến THL45) (Bảng 2). Thí nghiệm đánh giá các THL sử dụng hai giống đối chứng là giống ngô nếp tím Fancy111 (nguồn gốc Thái Lan) và HN88 (nguồn gốc Trung Quốc).

2.2. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm lai tạo THL tiến hành trong vụ xuân 2022, được trồng thành 2 trà, mỗi trà cách nhau 7 ngày. Trà đầu tiên gieo vào diện tích mỗi dòng 50m², với khoảng cách hàng cách hàng 70cm, cây cách cây 25cm để đảm bảo tất cả các dòng được bắt cặp đủ số lượng THL và lượng hạt giống đánh giá trong các vụ sau theo mô hình Griffing IV. Đánh giá THL được tiến hành trong vụ đông 2022 tại Gia Lâm, Hà Nội. Bố trí thí nghiệm theo kiểu khối ngẫu nhiên đầy đủ (RCBD) với 3 lần nhắc lại, diện tích ô thí nghiệm 14m², trồng mật độ 5,7 cây/m² (hàng cách hàng 70cm, cây cách cây 25cm). Chăm sóc, bón phân, phòng trừ sâu bệnh hại theo Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 13381-2:2021 Giống cây trồng nông nghiệp - Khảo nghiệm giá trị canh tác và giá trị sử dụng - Phần 2: Giống ngô (Bộ Khoa học và Công nghệ, 2021).

2.3. Chỉ tiêu theo dõi

Mười chỉ tiêu nông sinh học quan trọng được theo dõi gồm thời gian thu bắp tươi (TBT, ngày), chiều cao cây (CCC, cm), chiều dài bắp (ChDB, cm), đường kính bắp (ĐKB, cm), số hàng hạt/bắp (HHB), số hạt/hàng (HH), năng suất bắp tươi (NSBT, tấn/ha), chỉ số độ ngọt (TSS, °Brix), hàm lượng anthocyanin tổng số (AN, mg/100g hạt khô) và độ dày vỏ hạt trung bình (DVH, μm). Phân tích hàm lượng anthocyanin tổng số theo phương pháp pH vi sai đã được mô tả chi tiết tại công bố trước đó (Phạm Quang Tuân & cs., 2016).

2.4. Phân tích số liệu

Số liệu được tổng hợp bằng phần mềm Microsoft Excel, phân tích phương sai một nhân tố và phân tích hậu định có xếp hạng dựa trên giá trị LSD ở độ tin cậy 95% trên phần mềm Cropstat 7.2. Phân tích khả năng kết hợp theo mô hình Griffing IV sử dụng phần mềm AGD-R 5.0 (Rodríguez & cs., 2015). Chọn lọc các THL triển vọng dựa trên phương pháp chọn lọc đa tính trạng dựa trên chỉ số MGIDI với áp lực 20% bằng gói “metan” trên phần mềm R 4.1.3.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm nông sinh học của các THL ngô nếp tím

Kết quả đánh giá các đặc điểm nông sinh học của các THL ngô nếp tím trong vụ đông 2022 cho thấy thời gian thu bắp tươi của các THL dao động từ 78-88 ngày, hầu hết ngắn hơn đối chứng (88 ngày) (Bảng 3). Các THL có chiều cao cây biến động từ 161,2-216,2cm, chiều dài bắp của các THL biến động từ 14,0-18,8cm, đường kính bắp trong khoảng từ 3,9-5,1cm. Số hàng hạt trên bắp của các THL biến động từ 12,3-16,5. Số hạt trên hàng biến động từ 25,6-40,0. Năng suất bắp tươi của các THL ngô nếp tím biến động từ 8,2 tấn/ha (THL4) đến 13,3 tấn/ha (THL8). Các THL có năng suất bắp tươi vượt so với 2 giống đối chứng Fancy111 (11,4 tấn/ha), HN88 (12,5 tấn/ha) là THL2 (12,8 tấn/ha), THL6 (13,0 tấn/ha), THL8

(13,3 tấn/ha), THL11 (12,9 tấn/ha), THL15 (12,9 tấn/ha), THL21 (12,9 tấn/ha), THL25 (13,1 tấn/ha), THL29 (13,1 tấn/ha), THL34 (12,07 tấn/ha) và THL36 (13,2 tấn/ha) có năng suất bắp tươi cao hơn đối chứng có ý nghĩa ở mức $P \leq 0,05$ và các THL còn lại thấp hơn đối chứng. Chỉ số độ ngọt của các THL được đánh giá vào giai đoạn thu hoạch bắp tươi biến động trong khoảng 9,6-14,3°Brix, trong đó đối chứng Fancy111 là 11,8°Brix và HN88 là 12,4°Brix.

Các giống ngô nếp thông thường có chỉ số độ ngọt khoảng 12°Brix trong khi các giống ngô nếp thế hệ mới được phát triển hiện nay tại Trung Quốc có chỉ số độ ngọt đạt 14°Brix (Xu & cs., 2023). Trong nghiên cứu này, hai THL gồm THL17 và THL32 có chất lượng vượt trội hơn với chỉ số độ ngọt ≥ 14 °Brix. Hàm lượng anthocyanin tổng số trong hạt của các THL được xác định bằng phương pháp pH vi sai, kết quả phân tích biến động từ 74,9-146,5 mg/100g, trong đó hầu hết các THL có hàm lượng anthocyanin ≥ 100 mg/100g, trừ 8 THL: THL3, THL9, THL19, THL23, THL32, THL37, THL40, THL44.

Độ dày vỏ hạt của các THL ngô nếp biến động từ 42,2-93,5 μ m, 16 THL có độ dày vỏ hạt ≤ 60 μ m, được xếp vào nhóm vỏ mỏng theo công bố của Choe (2010) là THL8 (45,0 μ m), THL11 (51,5 μ m), THL13 (59,2 μ m), THL17 (58,7 μ m), THL19 (46,4 μ m), THL20 (42,2 μ m), THL23 (45,9 μ m), THL25 (53,6 μ m), THL26 (49,4 μ m), THL29 (43,1 μ m), THL33 (53,5 μ m), THL34 (51,8 μ m), THL35 (50,3 μ m), THL36 (55,1 μ m), THL42 (59,5 μ m), THL44 (45,7 μ m). Khi so sánh với đối chứng Fancy111 (88,5 μ m) và HN88 (76,2 μ m), 3 THL có vỏ hạt dày hơn đối chứng là THL1, THL15, THL18, các THL còn lại có vỏ hạt mỏng hơn so với đối chứng.

3.2. Các tham số di truyền số lượng của các dòng ngô nếp tím

Phân tích các tham số di truyền khả năng kết hợp trên 10 tính trạng bao gồm: thu bắp tươi, chiều cao cây, chiều dài bắp, đường kính bắp, số hàng hạt/bắp, số hạt/hàng, năng suất bắp tươi, chỉ số độ ngọt, hàm lượng anthocyanin

và độ dày vỏ hạt của 10 dòng ngô nếp tím được thực hiện để kiểm tra tầm quan trọng của sự khác biệt về kiểu gen (Bảng 4). Kết quả phân tích phương sai tổng hợp cho thấy bình phương trung bình của THL, khả năng kết hợp chung (GCA), khả năng kết hợp riêng (SCA) có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,001$ đối với tất cả các tính trạng nghiên cứu.

Phương sai hiệu ứng cộng (σ^2A) của các tính trạng thời gian thu bắp tươi, chiều dài bắp, số hàng hạt /bắp, năng suất bắp tươi và độ dày vỏ hạt bằng 0, tính trạng đường kính bắp ($\sigma^2A = 0,01$), số hạt/hàng ($\sigma^2A = 0,54$) và chỉ số độ ngọt ($\sigma^2A = 0,08$) có σ^2A rất thấp cho thấy các tính trạng này chịu ảnh hưởng và quy định phần lớn bởi kiểu gen. Hiệu ứng cộng và hiệu ứng trội cao đã được phát hiện trên tính trạng chiều cao cây ($\sigma^2A = 33,39$; $\sigma^2D = 210,30$) và hàm lượng anthocyanin tổng số ($\sigma^2A = 18,69$, $\sigma^2D = 276,77$). Hiệu ứng trội chiếm ưu thế ở hầu hết các tính trạng sinh trưởng, năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất. Hiệu ứng cộng và hiệu ứng trội cao ở tính trạng hàm lượng anthocyanin tổng số cho thấy cần cả bố và mẹ hàm lượng anthocyanin tổng số cao để con lai đạt hàm lượng anthocyanin cao nhất. Tỷ lệ GCA/SCA và tỷ lệ Baker $< 0,5$ ở hầu hết các tính trạng cho thấy hoạt động của các gen không cộng tính ý nghĩa hơn hoạt động của các gen cộng tính đối với di truyền các tính trạng này. Kết quả nghiên cứu phù hợp với các công bố trước đó bởi Mahan & cs. (2013).

3.3. Khả năng kết hợp chung của các dòng ngô nếp tím

Trong tất cả các chương trình chọn giống ưu thế lai, giá trị khả năng kết hợp chung (GCA) và khả năng kết hợp riêng (SCA) được sử dụng phổ biến làm tham số chọn lọc dòng bố mẹ ưu tú và cặp lai triển vọng, tương ứng. Các dòng bố mẹ được chọn phải có GCA cao, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với mức 0 dựa vào sai số chuẩn và giá trị trung bình phải cao để dự đoán thế hệ sau tốt nhất dựa trên GCA (Wasuwatthanakool & cs., 2022; Tabu & cs., 2023). GCA đại diện cho các hiệu ứng gen cộng tính, trong khi SCA đề

cập đến độ lệch của hiệu suất lai từ bố mẹ được sử dụng và liên quan đến các hiệu ứng gen không cộng tính. Kết quả phân tích GCA của 10 dòng bố mẹ ngô nếp tím cho thấy dòng D4, D5, D7, D8 có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê; D1, D2, D3, D9, D10 có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê ở tính trạng thời gian thu bắp tươi. Phân tích GCA trên tính trạng chiều cao cây cho thấy 5 dòng D4, D5, D7, D8, D10 có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê và 4 dòng D1, D2, D3, D6, D9 có GCA âm có ý nghĩa thống kê. Ở tính trạng đường kính bắp, D4 và D9 có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê và dòng D10 có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê. Ở tính trạng số hàng hạt/bắp, 3 dòng D2, D4, D9 có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê, 3 dòng D3, D5, D10 có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê. Ở tính trạng số hạt/hàng cho thấy 4 dòng D2, D4, D5, D9 có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê, 3 dòng D6, D7, D8 có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê. Phân tích GCA trên tính trạng năng suất bắp tươi cho thấy 5 dòng có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê bao gồm D2, D4, D5, D7, D9 và 4 dòng có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê bao gồm D3, D6, D8, D10. Phân tích GCA trên tính trạng chỉ số độ ngọt 5 dòng có GCA dương cao bao gồm D1, D2, D7, D8, D10 và 4 dòng có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê gồm D3, D4, D5, D9. Phân tích GCA trên tính trạng hàm lượng anthocyanin tổng số cho thấy 4 dòng có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê bao gồm D2, D4, D6, D9 và 5 dòng có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê gồm D1, D3, D5, D7, D8. Phân tích GCA trên tính trạng độ dày vỏ hạt cho thấy 4 dòng có GCA dương cao có ý nghĩa thống kê gồm D1, D2, D7, D8 và 5 dòng gồm D4, D5, D6, D9, D10 có GCA âm cao có ý nghĩa thống kê.

Mục tiêu chọn giống là ngắn ngày, thấp cây, năng suất cao, chất lượng tốt (độ ngọt cao, mỏng vỏ). Do đó, các dòng có GCA âm cao về tính trạng thời gian thu bắp tươi, chiều cao cây, độ dày vỏ hạt và có GCA dương cao về các tính trạng năng suất, cấu thành năng suất và chỉ số

độ ngọt sẽ cho con lai đáp ứng mục tiêu. Tuy nhiên, trên thực tế rất khó để chọn lọc được các dòng ngô tự phối hoàn hảo đáp ứng tất cả các tiêu chí này. Như vậy, kết quả phân tích GCA đã xác định được 5 dòng gồm D2, D4, D5, D7, D9 có GCA dương cao về năng suất bắp tươi và 5 dòng gồm D1, D2, D7, D8, D10 có GCA dương cao về chỉ số độ ngọt. Trong nhóm này, hai dòng ngô nếp tím D2 và D7 có GCA dương cao về cả năng suất và chất lượng.

3.4. Khả năng kết hợp riêng của các dòng ngô nếp tím

Đánh giá khả năng kết hợp riêng của các dòng ngô nếp tím về 10 tính trạng sinh trưởng, năng suất, chất lượng được kết quả như bảng 5. Phân tích SCA ở tính trạng thời gian thu bắp tươi cho thấy 22 cặp lai có SCA dương cao có ý nghĩa thống kê ở mức $\geq SE$, 18 cặp lai có SCA âm cao có ý nghĩa thống kê ở mức $\geq SE$. SCA âm ở tính trạng này giúp tạo giống ngắn ngày sẽ phù hợp với nhiều vùng canh tác tại các tỉnh miền Bắc. Các cặp lai có SCA âm cao và giá trị trung bình thấp nhất ở tính trạng thời gian thu bắp tươi gồm D9 \times D10 (SCA = -4,764; 78 ngày), D3 \times D10 (SCA = -4,389; 78 ngày), D5 \times D8 (SCA = -3,931; 81 ngày), D5 \times D6 (SCA = -3,431; 81 ngày), D4 \times D7 (SCA = -2,556; 83 ngày), D1 \times D3 (SCA = -2,389; 82 ngày). Phân tích SCA ở tính trạng năng suất bắp tươi cho thấy 20 cặp lai có SCA dương cao có ý nghĩa thống kê ở mức $\geq SE$. Trong đó, các cặp lai có SCA dương và giá trị trung bình cao nhất ở tính trạng năng suất bắp tươi cao gồm D6 \times D7 (SCA = 3,316; 13,2 tấn/ha), D1 \times D3 (SCA = 2,299; 12,8 tấn/ha), D1 \times D9 (SCA = 2,287; 13,3 tấn/ha), D5 \times D10 (SCA = 2,157; 12,4 tấn/ha) và D4 \times D6 (SCA = 2,116; 12,6 tấn/ha). Phân tích SCA ở tính trạng chỉ số độ ngọt cho thấy 21 cặp lai có SCA dương cao có ý nghĩa thống kê ở mức $\geq SE$. Trong đó, nhóm THL có giá trị SCA và giá trị trung bình cao ở tính trạng này bao gồm: D5 \times D7 (SCA = 2,370; 14,3°Brix), D5 \times D6 (SCA = 1,812; 13,2°Brix), D4 \times D9 (SCA = 1,516; 12,5°Brix), D1 \times D3 (SCA = 1,470; 13,1°Brix), D2 \times D10 (SCA = 1,462; 14,2°Brix), D3 \times D8 (SCA = 1,458; 13,4°Brix), D5 \times D10 (SCA = 1,404; 13,4°Brix), D2 \times D9 (SCA = 1,395; 13,1°Brix).

Phân tích khả năng kết hợp và tiềm năng phát triển giống của 10 dòng ngô nếp tím theo mô hình Griffing IV

Bảng 3. Đặc điểm nông sinh học của các tổ hợp lai ngô nếp tím vụ Đông 2022 tại Gia Lâm, Hà Nội

THL/Giống	TBT (ngày)	CCC (cm)	ChDB (cm)	ĐKB (cm)	HHB	HH	NSBT (tấn/ha)	TSS (°Brix)	AN (mg/100g)	DVH (µm)
THL1	83	185,6	16,5	4,6	15,0	32,7	10,6	13,0	114,5	89,0
THL2	82	161,2	17,5	4,9	16,5	37,8	12,8	13,1	125,0	78,3
THL3	83	185,8	15,5	4,6	15,0	31,7	9,7	11,7	96,5	83,1
THL4	83	172,4	15,0	4,6	14,8	36,0	8,2	10,4	110,0	83,6
THL5	84	167,0	14,0	4,6	14,8	27,0	8,5	11,2	123,0	64,5
THL6	86	188,4	17,5	4,8	16,0	34,0	13,0	12,1	127,8	76,1
THL7	86	185,0	14,8	4,4	13,5	32,1	10,2	13,3	117,0	71,7
THL8	85	209,8	16,8	5,1	16,0	35,5	13,3	12,5	127,0	45,0
THL9	85	189,8	16,5	3,9	16,5	32,1	10,1	12,4	78,3	75,6
THL10	86	173,6	15,5	4,5	14,0	31,4	9,9	10,3	124,0	69,0
THL11	84	170,4	17,5	4,8	16,0	38,3	12,9	10,6	126,4	51,5
THL12	84	199,6	17,5	5,0	16,5	37,8	12,5	11,1	133,2	76,3
THL13	83	208,4	17,5	4,4	14,5	34,5	10,2	12,6	120,0	59,2
THL14	85	172,6	17,0	4,5	13,8	28,5	10,4	11,9	125,0	75,2
THL15	85	192,2	16,7	4,7	16,0	35,0	12,9	13,0	125,0	91,9
THL16	82	176,4	17,5	4,6	14,5	39,0	12,4	13,1	136,5	86,2
THL17	85	200,8	14,9	4,2	14,4	35,3	8,9	14,2	133,9	58,7
THL18	82	201,0	15,2	5,0	16,5	32,6	9,3	11,8	127,5	93,5
THL19	84	187,6	16,8	4,2	12,8	31,3	10,1	9,6	74,9	46,4
THL20	85	182,2	15,5	4,3	12,7	29,8	8,5	11,3	134,5	42,2
THL21	87	203,6	18,7	4,8	16,0	36,7	12,9	12,2	109,9	79,1
THL22	85	200,2	17,1	4,5	13,8	36,0	12,3	13,4	128,5	73,4
THL23	84	187,8	16,2	4,6	14,5	28,4	10,3	10,0	89,9	45,9
THL24	78	205,0	14,3	4,1	12,8	32,5	9,7	11,6	122,5	70,7
THL25	87	188,8	18,6	4,8	16,0	36,8	13,1	10,4	108,9	53,6
THL26	86	185,6	18,4	4,6	14,2	36,1	12,6	10,6	135,5	49,4

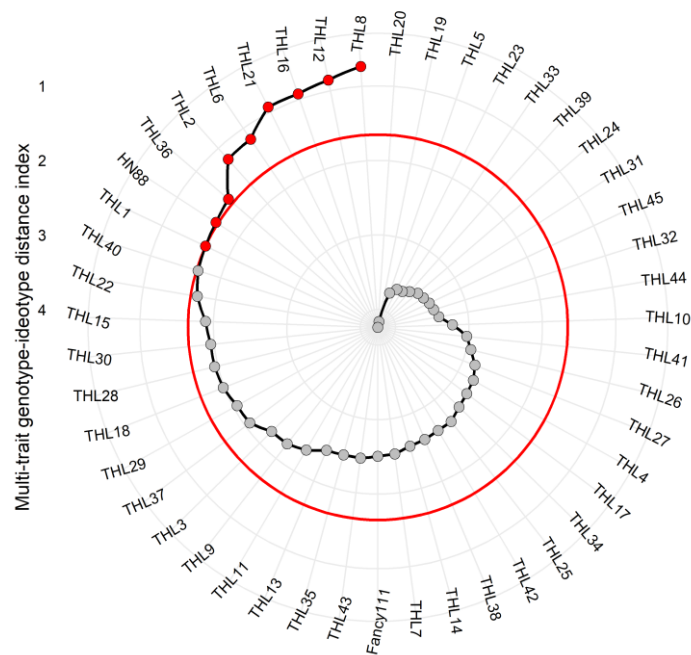
Phạm Quang Tuân, Vũ Văn Liết, Triệu Thị Mùi, Nguyễn Thị Nguyệt Anh, Nguyễn Trung Đức

THL/Giống	TBT (ngày)	CCC (cm)	ChDB (cm)	ĐKB (cm)	HHB	HH	NSBT (tấn/ha)	TSS (°Brix)	AN (mg/100g)	DVH (µm)
THL27	83	214,8	15,8	4,5	13,4	32,5	10,4	10,7	109,9	66,3
THL28	86	207,4	16,4	4,5	14,9	35,6	10,3	12,6	131,5	67,9
THL29	84	215,0	17,5	4,9	16,3	36,9	13,1	12,5	121,9	43,1
THL30	82	213,6	18,8	4,5	14,1	38,2	12,1	13,0	146,5	80,6
THL31	81	191,6	14,0	4,5	12,3	25,6	9,1	13,2	121,5	70,8
THL32	85	216,0	15,1	4,3	13,3	27,3	10,1	14,3	85,5	56,6
THL33	81	216,2	17,6	4,1	13,6	29,9	10,1	11,9	102,5	53,5
THL34	86	202,8	17,5	4,7	15,8	38,6	12,7	9,6	126,5	51,8
THL35	88	197,4	18,8	4,6	14,2	40,0	12,4	13,4	118,6	50,3
THL36	87	188,8	18,5	4,9	16,5	35,0	13,2	13,5	121,5	55,1
THL37	83	186,1	15,7	4,7	15,2	31,3	9,7	12,2	96,3	82,9
THL38	83	172,7	15,2	4,7	15,1	35,6	8,3	10,9	109,8	83,4
THL39	84	167,3	14,2	4,5	15,8	26,6	8,5	11,7	122,8	64,3
THL40	85	190,1	16,7	4,5	16,3	31,7	10,1	12,9	78,1	75,4
THL41	86	173,9	15,7	4,6	14,0	31,2	9,9	10,8	123,8	68,8
THL42	83	208,7	17,7	4,3	14,3	34,1	10,2	13,1	119,8	59,5
THL43	85	172,9	17,2	4,4	14,3	28,1	10,4	12,4	124,8	75,3
THL44	84	188,1	16,4	4,5	15,8	28,5	10,3	10,5	89,7	45,7
THL45	78	205,3	14,5	4,2	12,6	32,1	9,7	12,1	122,3	70,5
Fancy111	75	210,5	17,8	4,5	13,6	35,0	11,4	11,8	123,4	88,5
HN88	88	196,1	18,5	4,5	14,5	36,0	12,5	12,4	0,0	76,2
CV%	5,2	7,8	5,7	4,5	5,0	7,5	8,4	4,2	11,3	7,0
LSD _{0,05}	2,1	8,5	0,9	0,3	1,1	3,8	0,6	0,5	15,5	5,4

Ghi chú: TBT: thời gian thu bắp tươi, CCC: chiều cao cây, ChDB: chiều dài bắp, ĐKB: đường kính bắp, HH/B: số hàng hạt trên bắp, H/H: số hạt trên hàng, NSBT: năng suất bắp tươi, TSS: chỉ số độ ngọt, AN: hàm lượng anthocyanin tổng số, DVH: độ dày vỏ hạt.

Bảng 4. Các tham số di truyền số lượng của các tính trạng nông học quan trọng

	TBT	CCC	ChDB	DKB	HHB	HH	NSBT	TSS	AN	DVH
<i>Bình phương trung bình</i>										
Nhắc lại	271,67	1567,35	25,48	1,03	52,44	98,29	5,93	5,77	671,50	217,72
THL	14,37	713,04	5,90	0,20	4,75	42,98	7,90	4,58	876,45	642,49
GCA	12,37	1031,72	4,86	0,33	3,30	48,17	7,56	5,34	1054,89	641,66
SCA	14,89	631,09	6,17	0,17	5,12	41,65	7,99	4,38	830,56	642,70
Phần dư (Residual)	0,41	0,19	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,24	0,17
<i>Các thành phần phương sai</i>										
Phương sai GCA	0,00	16,69	0,00	0,01	0,00	0,27	0,00	0,04	9,35	0,00
Phương sai SCA	4,83	210,30	2,06	0,06	1,71	13,88	2,66	1,46	276,77	214,18
Sai số phương sai	0,41	0,19	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,24	0,17
Phương sai hiệu ứng cộng (σ^2A)	0,00	33,39	0,00	0,01	0,00	0,54	0,00	0,08	18,69	0,00
Phương sai hiệu ứng trội (σ^2D)	4,83	210,30	2,06	0,06	1,71	13,88	2,66	1,46	276,77	214,18
Tỉ lệ GCA/SCA	0,00	0,08	0,00	0,12	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,00
Tỉ lệ Baker	0,00	0,14	0,00	0,20	0,00	0,04	0,00	0,05	0,06	0,00
Phương sai kiểu hình	5,24	243,88	2,06	0,07	1,71	14,43	2,66	1,54	295,71	214,35



Hình 1. Kết quả chọn lọc các THL ưu tú theo chỉ số MGIDI

Phân tích SCA ở tính trạng độ dày vỏ hạt cho thấy 22 cặp lai có SCA dương cao có ý nghĩa thống kê ở mức $\geq SE$, 21 cặp lai có SCA âm cao có ý nghĩa thống kê ở mức $\geq SE$. SCA âm ở tính trạng này có ý nghĩa lớn, giúp tạo giống mỏng vỏ, dễ tiêu hóa. Các cặp lai có SCA âm cao và

giá trị trung bình thấp nhất ở tính trạng này gồm D1 × D9 (SCA = -26.408; 45,0 μ m), D8 × D10 (SCA = -22.742; 45,7 μ m), D2 × D4 (SCA = -20.963; 51,5 μ m), D3 × D6 (SCA = -20.783; 42,2 μ m), D4 × D9 (SCA = -18.438; 43,1 μ m) và D3 × D9 (SCA = -16.817, 45,9 μ m).

Bảng 5. Khả năng kết hợp chung của các dòng ngô nếp tím

Dòng	TBT	CCC	ChDB	DKB	HHB	HH	NSBT	TSS	AN	DVH
D1	-0,158*	-9,771**	-0,557*	0,059	0,651**	-0,081	-0,098	0,251*	-3,895**	8,226**
D2	-0,200**	-5,371**	0,264	0,038	0,222	1,644**	0,443**	0,259*	11,284**	6,968**
D3	-0,742**	-2,508**	-0,215	-0,012	-0,428*	-0,385	-0,173*	-0,558**	-1,653*	-0,466
D4	0,175**	7,692**	0,664**	0,151*	0,438*	2,432**	0,802**	-0,495**	6,980**	-1,678*
D5	0,425**	6,417**	0,310*	-0,024	-0,470*	0,482*	0,139*	-0,482**	-8,653**	-7,533**
D6	0,050	-9,175**	-0,690**	0,026	-0,241	-2,293**	-1,090**	-0,066	4,476**	-3,858**
D7	1,425**	4,450**	0,543*	0,026	0,080	-1,085**	0,385**	0,476**	-6,145**	1,263*
D8	0,550**	2,063**	0,022	-0,087	0,047	-1,439**	-0,111*	0,563**	-7,158**	4,505**
D9	-0,367**	-0,671*	-0,048	0,101*	0,017	0,744*	0,373**	-0,491**	4,168**	-4,091**
D10	-1,158**	6,875**	-0,294	-0,278**	-0,316*	-0,018	-0,669**	0,543**	0,597	-3,337**
SE	0,088	0,660	0,305	0,101	0,306	0,415	0,106	0,210	1,066	1,057

Ghi chú: SE: Sai số chuẩn của khả năng kết hợp chung. *: Biểu thị thị sự sai khác có ý nghĩa so với 0 tại $\geq SE$. **: Biểu thị thị sự sai khác có ý nghĩa so với 0 tại $\geq 2SE$.

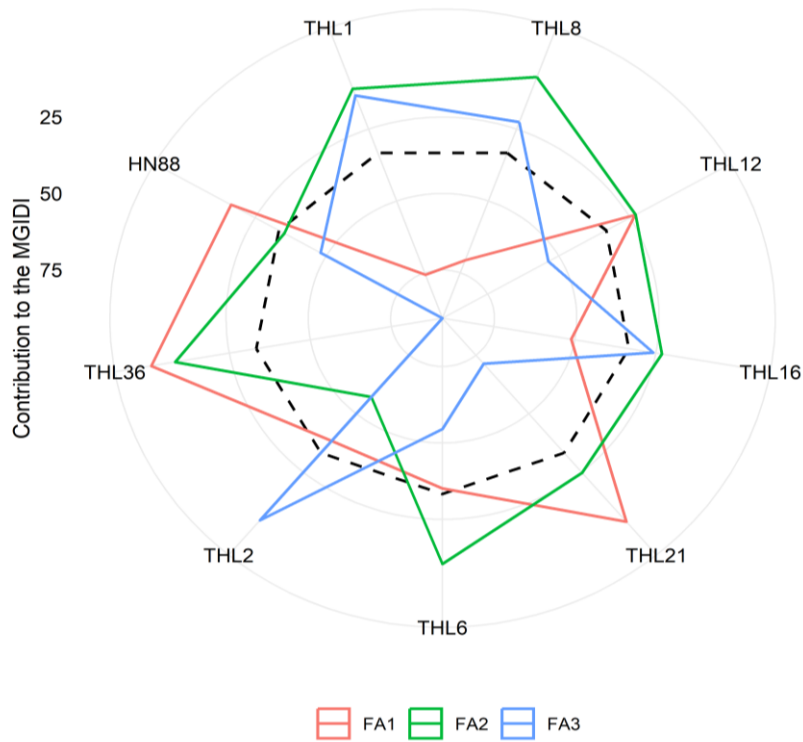
Phân tích khả năng kết hợp và tiềm năng phát triển giống của 10 dòng ngô nếp tím theo mô hình Griffing IV

Bảng 6. Khả năng kết hợp riêng của các dòng ngô nếp tím

THL	Dòng mẹ	Dòng bố	TBT	CCC	ChDB	DKB	HHB	HH	NSBT	TSS	AN	DVH
THL1	D1	D2	-1,931	9,319	0,301	-0,052	-0,650	-2,165	-0,551	0,520	-9,563	7,267
THL2	D1	D3	-2,389	-18,343	1,781	0,298	1,534	5,064	2,299	1,470	14,042	3,833
THL3	D1	D4	-0,972	-3,543	-1,132	-0,165	-0,866	-3,952	-1,809	-0,025	-23,558	9,913
THL4	D1	D5	-1,222	-15,868	-1,278	0,010	-0,158	2,364	-2,680	-1,371	5,808	16,267
THL5	D1	D6	0,153	-5,776	-1,278	-0,040	-0,387	-4,027	-1,151	-0,955	5,879	-6,808
THL6	D1	D7	0,778	2,365	1,022	0,160	0,525	1,898	1,941	-0,596	21,400	-0,129
THL7	D1	D8	1,653	1,286	-1,190	-0,127	-2,008	0,319	-0,397	0,550	11,413	-7,871
THL8	D1	D9	1,569	29,219	0,914	0,385	0,588	1,602	2,287	0,770	10,254	-26,408
THL9	D1	D10	2,361	1,340	0,860	-0,469	1,421	-1,102	0,062	-0,363	-35,675	3,938
THL10	D2	D3	1,319	-10,143	-1,074	-0,081	-0,570	-3,161	-1,176	-1,405	-2,138	-4,375
THL11	D2	D4	0,069	-23,576	0,081	0,056	0,596	1,023	0,882	-1,167	-8,338	-20,963
THL12	D2	D5	-0,181	7,365	0,435	0,431	2,005	2,473	1,145	-0,646	14,229	10,125
THL13	D2	D6	-0,806	31,924	1,435	-0,219	-0,258	1,881	0,041	0,437	-12,333	-10,950
THL14	D2	D7	-0,181	-18,101	-0,299	-0,119	-1,312	-5,427	-1,234	-0,805	3,354	0,196
THL15	D2	D8	0,694	4,186	-0,078	0,194	0,988	1,527	1,795	0,208	4,367	13,921
THL16	D2	D9	-1,389	-9,114	0,793	-0,094	-0,516	3,410	0,812	1,395	4,742	16,750
THL17	D2	D10	2,403	8,140	-1,594	-0,115	-0,283	0,439	-1,713	1,462	5,679	-11,971
THL18	D3	D4	-1,389	4,661	-1,774	0,306	1,746	-2,748	-2,134	0,883	5,733	29,171
THL19	D3	D5	0,361	-7,697	0,214	-0,319	-1,112	-2,098	-0,672	-1,363	-32,133	-12,842
THL20	D3	D6	1,736	2,394	-0,119	-0,269	-1,441	-0,856	-1,076	-0,046	15,338	-20,783
THL21	D3	D7	2,361	10,536	1,914	0,231	1,605	4,935	1,916	0,312	0,958	11,596
THL22	D3	D8	1,236	9,457	0,801	0,044	-0,629	4,589	1,812	1,458	20,871	2,554
THL23	D3	D9	1,153	-0,410	-0,028	-0,044	0,134	-5,327	-0,705	-0,955	-29,688	-16,817
THL24	D3	D10	-4,389	9,544	-1,715	-0,165	-1,266	-0,398	-0,263	-0,355	7,017	7,663
THL25	D4	D5	2,444	-16,664	1,168	0,119	1,288	0,652	1,387	-0,625	-6,200	-4,329
THL26	D4	D6	1,819	-4,339	1,968	-0,131	-0,775	2,727	2,116	-0,842	7,737	-12,271
THL27	D4	D7	-2,556	11,736	-1,899	-0,231	-1,929	-2,148	-1,593	-1,284	-7,675	-0,192

THL	Dòng mẹ	Dòng bố	TBT	CCC	ChDB	DKB	HHB	HH	NSBT	TSS	AN	DVH
THL28	D4	D8	1,319	6,590	-0,778	-0,119	-0,362	1,373	-1,197	0,562	15,304	-1,833
THL29	D4	D9	0,236	17,057	0,393	0,094	1,100	0,489	1,153	1,516	-5,788	-18,438
THL30	D4	D10	-0,972	8,078	1,972	0,073	-0,800	2,585	1,195	0,983	22,783	18,942
THL31	D5	D6	-3,431	3,036	-2,144	-0,056	-1,800	-5,990	-0,788	1,812	9,137	15,350
THL32	D5	D7	-0,806	14,211	-2,278	-0,256	-1,120	-5,465	-1,230	2,370	-16,842	-4,204
THL33	D5	D8	-3,931	16,799	0,810	-0,344	-0,787	-2,477	-0,734	-0,150	1,437	-10,613
THL34	D5	D9	1,986	5,932	0,747	0,069	1,475	4,173	1,416	-1,430	14,513	-3,750
THL35	D5	D10	4,778	-7,114	2,326	0,348	0,209	6,369	2,157	1,404	10,050	-6,004
THL36	D6	D7	1,569	2,169	2,189	0,294	1,917	5,110	3,166	1,154	6,629	-9,412
THL37	D6	D8	-1,556	1,790	-0,124	0,206	0,617	1,731	0,095	-0,267	-17,992	15,613
THL38	D6	D9	-0,639	-9,076	-0,586	0,019	0,546	3,914	-1,822	-0,546	-15,583	24,708
THL39	D6	D10	1,153	-22,122	-1,340	0,198	1,580	-4,490	-0,580	-0,746	1,188	4,554
THL40	D7	D8	-0,931	-7,768	-0,357	0,006	1,430	0,923	-0,980	-0,109	-25,871	2,858
THL41	D7	D9	0,986	-21,501	-1,286	-0,081	-0,875	-1,761	-1,663	-1,188	9,271	4,754
THL42	D7	D10	-1,222	6,353	0,993	-0,002	-0,241	1,935	-0,322	0,145	8,775	-5,467
THL43	D8	D9	0,861	-20,114	0,735	-0,169	-0,541	-4,573	-0,668	0,358	11,283	8,113
THL44	D8	D10	0,653	-12,226	0,181	0,310	1,292	-3,411	0,274	-2,609	-20,813	-22,742
THL45	D9	D10	-4,764	8,007	-1,682	-0,177	-1,912	-1,927	-0,809	0,079	0,996	11,088
		<i>SE</i>	<i>0,326</i>	<i>0,222</i>	<i>0,020</i>	<i>0,004</i>	<i>0,022</i>	<i>0,054</i>	<i>0,023</i>	<i>0,021</i>	<i>0,247</i>	<i>0,212</i>

Ghi chú: SE: Sai số chuẩn của khả năng kết hợp riêng. AN: Anthocyanin.



Hình 2. Ưu điểm và hạn chế của các THL theo nhóm tính trạng chọn lọc

3.5. Chọn lọc các tổ hợp lai ngô nếp tím triển vọng

Chọn lọc các THL ngô nếp tím ưu tú bằng phương pháp chọn lọc đa biến MGIDI trên 9 tính trạng nông học theo dõi được chia thành 3 nhóm. Nhóm mục tiêu mong muốn có giá trị thấp gồm 3 tính trạng: thời gian thu bắp tươi, chiều cao cây và độ dày vỏ hạt. Nhóm mục tiêu mong muốn có giá trị cao gồm 6 tính trạng: chiều dài bắp, đường kính bắp, số hàng hạt/bắp, số hạt/hàng, năng suất bắp tươi và chỉ số độ ngọt. Kết quả cho thấy với áp lực chọn lọc 20% trên tổng số 47 THL/giống đã chọn được 8 THL ưu tú theo thứ tự cao đến thấp bao gồm: THL8, THL12, THL16, THL21, THL6, THL2, THL36 và THL1. Ưu điểm và hạn chế của các THL theo nhóm tính trạng chọn lọc trình bày tại hình 2. Kết quả cho thấy phương trình chọn lọc MGIDI chia 9 tính trạng mục tiêu thành 3 nhóm FA trong đó nhóm FA1 gồm 3 tính trạng năng suất bắp tươi, chiều dài bắp, số hạt/hàng; nhóm FA2 gồm chiều cao cây, đường kính bắp, số hàng hạt/bắp và nhóm FA3 gồm 3 tính trạng thời

gian thu bắp tươi, độ dày vỏ hạt và chỉ số độ ngọt. Trong đó, THL8, THL12, THL16, THL6, THL1 có ưu thế về nhóm tính trạng FA2. THL THL21, THL36 có ưu thế về nhóm tính trạng FA1. THL THL2 có ưu thế về nhóm FA3 với chất lượng cao nhất.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác định được 5 dòng gồm D2, D4, D5, D7, D9 có GCA dương cao về năng suất bắp tươi và 5 dòng gồm D1, D2, D7, D8, D10 có GCA cao về chỉ số độ ngọt. Phân tích SCA cho thấy có 20 cặp lai có SCA cao có ý nghĩa thống kê ở tính trạng năng suất bắp tươi, 21 cặp lai có SCA cao có ý nghĩa thống kê ở tính trạng chỉ số độ ngọt. Kết quả chọn lọc dựa trên chỉ số MGIDI xác định được 8 cặp lai ngô nếp ưu tú có năng suất bắp tươi đạt 10,6-13,3 tấn/ha, chỉ số độ ngọt đạt 11,1-13,5°Brix cho thấy tiềm năng phát triển giống gồm THL8 (D1 × D9), THL12 (D2 × D5), THL16 (D2 × D9), THL21 (D3 × D7), THL6 (D1 × D7), THL2 (D1 × D3), THL36 (D6 × D7) và THL1 (D1 × D2).

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này thuộc đề tài cấp Bộ Khoa học và Công nghệ: “Nghiên cứu, chọn tạo giống ngô nếp tím và ngô đường siêu ngọt cho các tỉnh phía Bắc”, mã số: ĐTĐL.CN-09/21.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bộ Khoa học và Công nghệ (2021). Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 13381-2:2021 - Giống cây trồng nông nghiệp - Khảo nghiệm giá trị canh tác và giá trị sử dụng - Phần 2: Giống ngô.
- Choe E. (2010). Marker assisted selection and breeding for desirable thinner pericarp thickness and ear traits in fresh market waxy corn germplasm. Doctoral dissertation, University of Illinois, Urbana, IL. pp. 1-135.
- Hallauer A.R., Carena M.J. & Filho J.B.M. (2010). Testers and Combining Ability. In: Quantitative Genetics in Maize Breeding. pp. 383-423.
- Harakotr B., Suriharn B., Lertrat K. & Scott M. (2016). Genetic analysis of anthocyanin content in purple waxy corn (*Zea mays* L. var. *ceratina Kulesh*) kernel and cob. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 48(2): 230.
- Khampas S., Lertrat K., Lomthaisong K., Simla S. & Suriharn B. (2015). Effect of location, genotype and their interactions for anthocyanins and antioxidant activities of purple waxy corn cobs. *Turkish Journal of Field Crops*. 20(1): 15-23.
- Li F., Song X., Wu L., Chen H., Liang Y. & Zhang Y. (2018). Heredities on fruit color and pigment content between green and purple fruits in tomato. *Scientia Horticulturae*. 235: 391-396.
- Mahan A.L., Murray S.C., Rooney L.W. & Crosby K.M. (2013). Combining ability for total phenols and secondary traits in a diverse set of colored (red, blue, and purple) maize. *Crop Science*. 53(4): 1248-1255.
- Phạm Quang Tuân, Nguyễn Thế Hùng, Nguyễn Việt Long, Nguyễn Thị Nguyệt Anh, Nguyễn Trung Đức & Vũ Văn Liết (2018). Kết quả chọn tạo và khảo nghiệm giống ngô nếp tím lai VNUA 141 tại vùng đồng bằng sông Hồng và Bắc Trung Bộ. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*. 11: 17-28.
- Phạm Quang Tuan, Nguyen the Hung, Nguyen Viet Long, Nguyen Thi Nguyet Anh & Vu Van Liet (2016). Evaluation of purple waxy corn lines for hybrid variety development. *Vietnam Journal of Agricultural Science*. 14(3): 328-337.
- Phạm Quang Tuân, Nguyễn Việt Long, Nguyễn Thị Nguyệt Anh & Vũ Văn Liết (2016). Đánh giá khả năng kết hợp một số tính trạng chất lượng của các dòng ngô nếp tự phối. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 14(9): 1341-1349.
- Rodríguez F., Alvarado G., Pacheco Á., Crossa J. & Burgueño J. (2015). AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 5.0. Retrieved from [https://www.semanticscholar.org/paper/AGD-R-\(Analysis-of-Genetic-Designs-with-R-for-5.0-Rodr%C3%ADguez-Alvarado/cd2e11f67683a56fc32c354a8de833a50d24336a](https://www.semanticscholar.org/paper/AGD-R-(Analysis-of-Genetic-Designs-with-R-for-5.0-Rodr%C3%ADguez-Alvarado/cd2e11f67683a56fc32c354a8de833a50d24336a) on Aug 1, 2024.
- Smith J.S. & Williams W.P. (2021). Aflatoxin accumulation in a maize diallel cross containing inbred lines with expired plant variety protection. *Agronomy*. 11(11).
- Tabu I., Lubobo K., Mbuya K. & Kimuni N. (2023). Heterosis and line-by-tester combining ability analysis for grain yield and provitamin A in maize. *Sabrao J. Breed. Genet*. 55(3): 697-707.
- Wasuwatthanakool W., Harakotr B., Jirakiattikul Y., Lomthaisong K. & Suriharn K. (2022). Combining ability and testcross performance for carotenoid content of S2 super sweet corn lines derived from temperate germplasm. *Agriculture*. 12(10).
- Xu Li, Shi Ya-Xing, Xi Sheng-Li, Yu Ai-Nian, Lu Bai-Shan & Zhao Jiu-Ran (2023). A new type of fresh corn - waxy corn with sweet taste and the representative variety Jingkenuo768. *Journal of Plant Genetic Resources*. 24(1): 317-324.
- Yao W.H., Zhang Y.D., Kang M.S., Chen H.M., Liu L., Yu L.J. & Fan X.M. (2013). Diallel analysis models: A comparison of certain genetic statistics. *Crop Science*. 53(4): 1481-1490.