

CHỌN TẠO GIỐNG NGÔ TÍM NGỌT - THỰC PHẨM GIÀU DINH DƯỠNG CHO TƯƠNG LAI

Phạm Quang Tuấn^{1*}, Nguyễn Trung Đức¹, Nguyễn Thị Nguyệt Anh¹, Vũ Thị Xuân Bình², Vũ Văn Liết³

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

² Ban Khoa học và Công nghệ - Học viện Nông nghiệp Việt Nam

³ Khoa Nông học - Học viện Nông nghiệp Việt Nam

* Tác giả liên hệ: pqtuan@vnu.edu.vn;

TÓM TẮT

Kết hợp giữa ngô siêu ngọt và sắc tố tím anthocyanin để phát triển các dòng ngô tím ngọt là chiến lược đúng đắn trong công tác chọn tạo giống ngô tím ngọt giàu dinh dưỡng cho tương lai. Phát triển dòng thuần bố mẹ đồng hợp tử về alleles *Ala1sh2sh2wx1wx1* hoặc *Ala1bt1bt1wx1wx1* là yếu tố then chốt quyết định thành công của chương trình chọn tạo giống ngô lai tím ngọt. Nghiên cứu này tiến hành phát triển các dòng ngô tím ngọt từ phép lai trở lại giữa các dòng ngô nếp tím và ngô ngọt trắng từ vụ Xuân 2015 tại Gia Lâm, Hà Nội. Thế hệ BC2F1 chọn lọc bằng chỉ thị hình thái (hạt màu tím đậm, nhăn nheo) được 20 dòng để đánh giá trong vụ Xuân 2016. Tiếp tục phát triển tự phối liên tục năm đời thu được 80 dòng trong vụ Thu Đông 2019. Hai mươi dòng ngô tím ngọt triển vọng đã được chọn lọc và tiến hành lai với hai cây thử trong vụ Xuân 2020 để đánh giá khả năng kết hợp. Kết quả đánh giá ở vụ Thu Đông 2020 cho thấy sáu tổ hợp lai gồm THL08, THL17, THL18, THL27, THL31 và THL35 có năng suất bắp tươi cao từ 13,4-14,4 tấn/ha, tương đương giống SW1011 cho thấy tiềm năng phát triển thành các giống ngô tím ngọt thương mại. Chín dòng bao gồm UV03, UV07, UV08, UV10, UV12, UV16, UV18, UV42, UV71 có chỉ số độ ngọt Brix >16, vỏ hạt mỏng < 60µm, hàm lượng anthocyanin > 100mg/100g có thể xếp vào nhóm dòng ngô tím siêu ngọt. Đánh giá khả năng kết hợp theo mô hình lai đỉnh đã phát hiện được năm dòng UV10, UV24, UV40, UV46, UV71 có khả năng kết hợp chung cao về năng suất bắp tươi, hai dòng UV12, UV16 có khả năng kết hợp chung cao về chỉ số °Brix và năm dòng UV36, UV73, UV35, UV38, UV46 có khả năng kết hợp chung cao về hàm lượng anthocyanin. Như vậy, hai dòng UV10 và UV12 là các dòng ngô tím siêu ngọt, có khả năng kết hợp cao về năng suất và chất lượng. Các nguồn vật liệu này đóng vai trò quan trọng trong chương trình chọn tạo giống ngô trái cây giàu chất kháng oxy hóa anthocyanin. Theo hiểu biết của chúng tôi, đây là nghiên cứu phát triển và chọn lọc dòng ngô tím siêu ngọt đầu tiên của Việt Nam.

Từ khóa: ngô tím ngọt, dòng thuần, chỉ số Smith-Hazel, GCA, Line × Tester

BREEDING SWEET PURPLE CORN - NUTRITIOUS FOOD FOR THE FUTURE

ABSTRACT

The combination of super sweet corn phenotype and anthocyanin pigment to develop sweet purple corn inbred lines is a novel strategy for future nutritious hybrid sweet purple corn breeding. Development of a parental lines homozygous in *Ala1sh2sh2wx1wx1* or *Ala1bt1bt1wx1wx1* alleles is a key factor in the success of the sweet purple corn breeding program. This study developed sweet purple corn inbred lines from backcross between purple waxy corn and white sweet corn in Spring 2015 crop at Gialam, Hanoi. Total 20 lines in the BC2F1 generation were developed and by morphological markers selection (kernel have dark purple color and shrunken type), these lines were evaluated in Spring season 2016. Repeated selfing with selection over five generations obtained 80 inbred lines in Autumn-Winter season 2019. Twenty elite inbred lines were selected for crossing with two testers in Spring season 2020 to assess the combining ability. The result in Autumn-Winter season 2020 showed that six hybrids including TH08, TH17, TH18, TH27, TH31, and TH35 had high marketable yields, ranging between 13.4-14.4 tons/ha. No significant difference at $P < 0.05$ in the marketable yields was found between these hybrids and check variety SW1011, suggested the commercial potential sweet purple corn varieties. Nine lines including UV03, UV07, UV08, UV10, UV12, UV16, UV18, UV42, UV71 with oBrix > 16, thin pericarp < 60 µm, anthocyanin content > 100mg/100g could be classified as super sweet purple sweet corn lines. General combining ability (GCA) analysis by Line × Tester model has observed

five lines including UV10, UV24, UV40, UV46, UV71 have high GCA regarding marketable yield, two lines UV12, UV16 have high GCA on Brix sweetness index, and five lines UV35, UV36, UV38, UV46, UV73 have a high GCA on anthocyanin content. Taken together, the UV10 and UV12 lines are super sweet purple sweet corn lines, have high GCA for marketable yield and quality. These sweet purple corn inbred lines play a vital role in hybrid nutrient-rich fruit corn breeding programs. To our knowledge, this is the first report on the development and selection of purple sweet corn inbred lines in Vietnam.

Keywords: purple sweet corn, inbred line, Smith-Hazel index, GCA, Line \times Tester

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các giống ngô siêu ngọt hiện đại có màu vàng, hạt nhẵn nheo, hàm lượng đường cao là dựa trên gen đột biến lặn *shrunken2* (*sh2*) hoặc *brittle1* (*bt1*) điều khiển quá trình sinh tổng hợp đường, tinh bột ở hạt (Brewbaker & Martin, 2015) và không có sắc tố trên thị trường ở dạng có sắc tố tím anthocyanin. Ngô tím là một nguồn giàu anthocyanin, với tổng hàm lượng anthocyanin thay đổi từ 21 mg/100g đến 618 mg/100g chất khô (Chatham & cs., 2018). Anthocyanin đã được chứng minh là có thể mang lại nhiều lợi ích về sức khỏe như chống viêm, chống oxy hóa, chống tiêu đường, chống ung thư, bảo vệ tim mạch, chống tăng huyết áp, cũng như hoạt động ngăn ngừa suy giảm nhận thức và mất trí nhớ do tuổi tác (Cassidy & cs., 2016; Yousuf & cs., 2016). Như vậy, kết hợp giữa ngô ngọt và sắc tố tím sẽ là chiến lược đúng đắn để chọn tạo giống ngô trái cây ưu thế lai, giàu dinh dưỡng.

Phát triển các dòng thuần ngô tím ngọt là bước quan trọng trong công tác chọn tạo giống ngô trái cây ưu thế lai. Đột biến tự nhiên làm cho ngô siêu ngọt mang gen *sh2* có vị trí cực kỳ gần với đột biến ức chế quá trình sinh tổng hợp sắc tố tím anthocyanin. Khoảng 140 kb (*a1-sh2*) của bộ gen ngô trên nhiễm sắc thể số 3 chứa ít nhất 4 gen là *a1*, *yz1*, *x1* và *sh2* (Yao & cs., 2002). Có một mối liên hệ di truyền cực kỳ chặt chẽ giữa đột biến *sh2* và gen sinh tổng hợp anthocyanin, *anthocyaninless-1* (*a1*). Vì khoảng cách giữa hai gen này chỉ là 0,1 cM, nên để phát triển các dòng ngô siêu ngọt màu tím phụ thuộc vào việc phá vỡ liên kết di truyền chặt chẽ này. Đồng hợp tử *A1a1sh2sh2* xảy ra với tần suất rất thấp là 1 trong 1000 (99,9%) trong quá trình giảm phân. Nhóm nghiên cứu của Anirban & O'hare (2020) đã phá vỡ được liên kết chặt chẽ này bằng cách lai một dòng ngô siêu ngọt màu trắng (*a1a1sh2sh2*) với dòng ngô tím (*A1A1Sh2Sh2*), sau đó chọn lọc cá thể và tự phối dựa trên kiểu hình đặc trưng nhẵn nheo của hạt ngô ngọt với sắc tố tím. Đây là những gợi ý quan trọng để phát triển thành công các dòng ngô tím siêu ngọt tại Việt Nam.

Chọn tạo giống ngô ăn tươi hàm lượng đường cao, mỏng vỏ, giàu anthocyanin đã được các nhà chọn giống tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam tập trung nghiên cứu. Phạm Quang Tuấn & cs. (2018) khi tiến hành lai trở lại để cải tiến chất lượng ngô nếp tím đã sử dụng một dòng ngô ngọt trắng D1 lai với 4 dòng ngô tím đến đời BC2F1 cho thấy có sự phân ly hạt nếp và hạt đường có thể dễ dàng nhận biết bằng chỉ thị hình thái (dạng hạt nhẵn nheo và sắc tố tím ở vỏ hạt). Các dòng này là nguồn vật liệu quan trọng để tiếp tục phát triển các dòng ngô nếp tím siêu ngọt.

Mục tiêu của nghiên cứu này tiến hành nhằm phát triển các dòng thuần ngô nếp tím siêu ngọt sinh trưởng và phát triển tốt, thích ứng với điều kiện Việt Nam, có khả năng kết hợp cao về năng suất và chất lượng phục vụ cho chương trình chọn tạo giống ngô trái cây ưu thế lai.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu bao gồm tám mươi dòng ngô nếp tím ngọt UV tự phối đến đời thứ 5 từ các dòng ngô nếp tím ngọt phân ly BC2F1 từ phép lai giữa bốn dòng ngô tím NT12, NT19, NT35, NT41 với dòng ngô ngọt trắng D1. Bốn mươi tổ hợp lai từ mô hình lai đỉnh giữa 20 dòng ngô nếp tím ngọt triển vọng với 2 cây thử T1 (dòng thuần ngô ngọt vàng SW1) và T2 (dòng thuần ngô ngọt trắng D181) với đối chứng là giống ngô nếp tím Fancy111 (Công ty Advanta) và giống ngô ngọt vàng SW1011 (Công ty Việt Thái). Sơ đồ phát triển dòng được trình bày tại hình 1.

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Các dòng thuần được phát triển bằng phương pháp tự phối theo Shull (1909). Chỉ các hạt màu tím đậm và nhẵn nheo được tách ra, giữ lại để tiếp tục tự phối ở các thế hệ tiếp theo. Thí nghiệm đánh giá 80 dòng trên đồng ruộng với hai dòng đối chứng D1 (dòng D1 thuần ngô ngọt

trắng), NT41 (dòng có hàm lượng anthocyanin cao nhất trong 4 dòng ngô tím NT12, NT19, NT35, NT41) được bố trí theo khối ngẫu nhiên đầy đủ với hai lần nhắc lại, diện tích ô thí nghiệm 6m² với khoảng cách 60cm × 25cm trong vụ Thu Đông 2019 (tương ứng với mật độ 67.000 cây/ha). Thí nghiệm lai thử khả năng kết hợp chung theo mô hình lai đỉnh Line × Tester được tiến hành trong vụ Xuân 2020. Thí nghiệm đánh giá tổ hợp lai được bố trí theo khối ngẫu nhiên đầy đủ với ba lần nhắc lại, diện tích ô thí nghiệm 14m², khoảng cách 70cm × 25cm trong vụ Thu Đông 2020. Chăm sóc, bón phân, phòng trừ sâu bệnh hai theo Quy chuẩn Việt Nam QCVN01-56:2011/BNNPTNT (Bộ Nông Nghiệp Và Phát Triển Nông Thôn, 2011). Các tính trạng theo dõi và áp dụng để chọn lọc dòng ưu tú bao gồm thời gian sinh trưởng (TGST), chiều cao cây (CCC), chiều cao đóng bắp (CDB), năng suất lý thuyết (NSLT), năng suất thực thu (NSTT), chiều dài bắp (ChDB), đường kính bắp (DKB), số hàng hạt/bắp (HHB), số hạt/hàng (HH), khối lượng 1000 hạt (P1000), chỉ số đại diện độ ngọt °Brix (BRIX), độ dày vỏ hạt trung bình (DVH) và hàm lượng anthocyanin (AN). Chỉ số đại diện độ ngọt °Brix được đo theo phương pháp của Kleinhenz & Bumgarner (2012) bằng khúc xạ kế đo độ ngọt điện tử ATAGO PAL-1 (Atago co.,Ltd, Nhật Bản). Độ dày vỏ hạt được đo bằng vi trắc kế theo phương pháp của Choe (2010). Hàm lượng anthocyanin được phân tích bằng phương pháp pH vi sai theo Giusti & Wrolstad (2001). Các bước tiến hành phân tích anthocyanin được mô tả tại nghiên cứu trước đó của nhóm tác giả (Pham Quang Tuan & cs., 2016).

2.3. Phương pháp phân tích thống kê

Số liệu được tổng hợp bằng phần mềm Microsoft Excel. Phân tích phương sai ANOVA và phân tích hậu định theo phương pháp Fisher's LSD sử dụng phần mềm Statistix ver 10. Chọn lọc dòng ưu tú bằng chỉ số chọn lọc Smith-Hazel (Smith, 1936; Hazel, 1943) trên phần mềm PBTools 1.4 (IRRI). Chỉ số Smith-Hazel, $I_{SH} = \sum b_n x_n$, trong đó b_n là trọng lượng của tính trạng n và x_n là giá trị kiểu hình của tính trạng n . Trọng lượng b_n được tính là $b = P^{-1}Ga$, trong đó a là vectơ của các giá trị b_n ; P^{-1} là một ma trận $n \times n$ các hiệp phương sai kiểu hình giữa các tính trạng; G là một ma trận $n \times n$ các hiệp phương sai kiểu gen giữa các tính trạng; và a là một véc tơ trọng số kinh tế $n \times 1$ cho các tính trạng. Các tính trạng có trọng số kinh tế là 1 (mục tiêu cao) bao gồm ChDB, DKB, HHB, HH, P1000, NSLT, NSTT, BRIX, AN; -1 (mục tiêu thấp) đối với TGST, CCC, CDB, DVH. Phân tích khả năng kết hợp chung theo mô hình lai đỉnh Line × Tester bằng phần mềm AGD-R (Rodríguez & cs., 2015) theo mô hình toán học sau:

$$y_{ijk} = \mu + REP_k + g_{ij} + e_{ij} = \mu + REP_k + l_i + t_j + l_i * t_j + e_{ijk}$$

trong đó y_{ijk} là giá trị quan sát; μ là giá trị trung bình của kiểu hình; REP_k là hiệu ứng nhắc lại ($k = 1; 2; \dots; r$); l_i là hiệu ứng dòng ($i = 1; 2; \dots; m$); t_j là hiệu ứng cây thử ($j = 1; 2; \dots; f$) và e_{ijk} là số dư. Đồ thị được vẽ bằng gói "ggplot2" và "radar" trên phần mềm R 4.1.0 (R Core Team, 2021).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phát triển và chọn lọc các dòng ngô ngọt triển vọng trong vụ Thu Đông 2019 tại Gia Lâm, Hà Nội

Kết quả phân tích phương sai các chỉ tiêu nông học của 80 dòng ngô thí nghiệm và hai dòng đối chứng NT41 (nếp tím), D1 (ngọt, trắng) trong vụ Thu Đông 2019 tại Hà Nội cho thấy tổng bình phương của dòng chiếm phần lớn so với sai số, và đều có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,01$ (Bảng 1). Điều này cho thấy kiểu gen có tác động đáng kể ($P < 0,01$) đối với tất cả các tính trạng nghiên cứu. Hệ số biến động của các tính trạng được đánh giá đều $< 20\%$ từ đó cho thấy độ chính xác cao của thiết kế thí nghiệm. Thời gian sinh trưởng của các dòng thí nghiệm biến động từ 77 ngày đến 110 ngày (trung bình 94,9 ngày). Các dòng có chiều cao cây biến động từ 60,1 cm đến 176,6 cm (trung bình 117,0 cm), chiều cao đóng bắp dao động từ 32,5 cm đến 68,1 cm (trung bình 48,5 cm). Độ dày vỏ hạt trung bình của các dòng nghiên cứu biến động trong khoảng từ 28,4 μm đến 87,5 μm (trung bình 45,9 μm). Các yếu tố cấu thành năng suất của dòng ngô thí nghiệm gồm chiều dài bắp trong khoảng từ 8,2-16,1 cm (trung bình 12,2 cm), đường kính bắp dao động trong khoảng 3,0-5,1 cm (trung bình 4,2 cm), số hàng hạt/bắp dao động trong khoảng 10,0-19,4 (trung bình 13,6), số hạt/hàng dao động trong khoảng 9,5-32,6 (trung bình 22,3) và khối lượng 1000 hạt từ 68,0-162,0 gram (trung bình 118,9 gram). Các dòng ngô thí nghiệm khi trồng ở mật độ 6,7 vạn cây/ha cho năng suất lý thuyết đạt từ 1,0-3,9 tấn/ha (trung bình 2,4 tấn/ha), năng suất

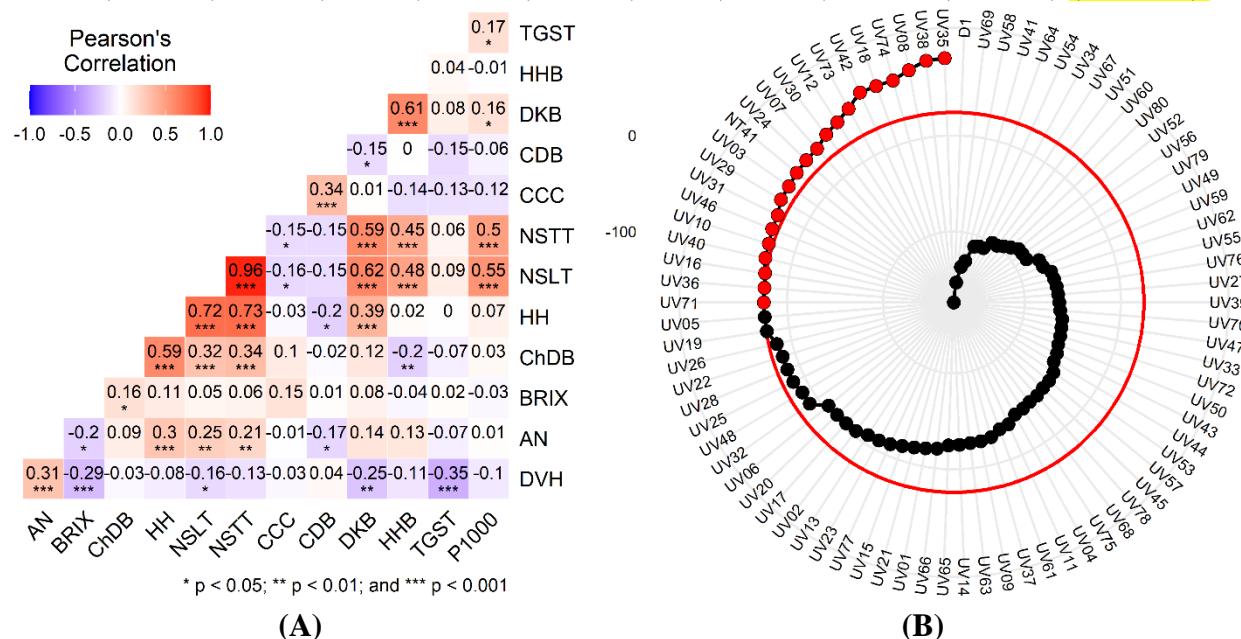
thực thu trong khoảng 0,5-3,1 tấn/ha (trung bình 1,8 tấn/ha). Các chỉ tiêu chất lượng của các dòng nghiên cứu bao gồm chỉ số đại diện độ ngọt Brix dao động từ 11,1-24,1 (trung bình 15,7) và hàm lượng anthocyanin có giá trị trong khoảng từ 4,0-241,1 mg/100g (trung bình 133,2 mg/100g). Trong đó, dòng đối chứng ngô nếp tím NT41 có chỉ số Brix thấp nhất (11,7) và dòng ngô đối chứng ngọt trắng D1 có hàm lượng anthocyanin thấp nhất (4,0 mg/100g).

Bảng 1. Thống kê mô tả các chỉ tiêu nông học của các dòng ngô thí nghiệm trong vụ Thu Đông 2019 tại Hà Nội

TT	Tính trạng	Đơn vị	Bình phương trung bình		Trung bình	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Hệ số biến động (%)	Mục tiêu chọn lọc
			Dòng (df = 81)	Sai số (df = 81)					
1	TGST	ngày	84,83**	0,12	94,9	77,5	109,5	6,9	thấp (-1)
2	CCC	cm	797,12**	11,44	115,5	84,5	182,5	17,4	thấp (-1)
3	CDB	cm	311,79**	130,5	62,8	39,5	102,0	15,9	thấp (-1)
4	DVH	µm	990,06**	0,23	58,9	27,1	152,4	17,7	thấp (-1)
5	ChDB	cm	6,20**	0,06	13,1	7,9	17,8	13,5	cao (1)
6	DKB	cm	0,32**	0,01	4,2	3,1	5,0	9,8	cao (1)
7	HHB	hàng hạt/bấp	6,36**	0,02	13,6	10,1	19,3	8,1	cao (1)
8	HH	hạt/hàng	30,34**	0,15	22,3	10,5	31,6	11,0	cao (1)
9	P1000	gram	499,86**	16,86	118,9	70,5	160,5	8,5	cao (1)
10	NSLT	tấn/ha	0,77**	0,01	2,4	1,1	3,7	12,4	cao (1)
11	NSTT	tấn/ha	0,52**	0,01	1,8	0,6	2,8	14,6	cao (1)
12	BRIX	%	13,84**	0,01	15,8	11,7	24,0	9,7	cao (1)
13	AN	mg/100g	3758,08**	0,46	133,2	4,0	241,1	12,5	cao (1)

Ghi chú: ** biểu thị sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,01$. TGST: thời gian sinh trưởng, CCC: chiều cao cây, CDB: chiều cao đồng bắp, DVH: độ dày vỏ hạt trung bình, ChDB: chiều dài bắp, DKB: đường kính bắp, HHB: số hàng hạt/bấp, HH: số hạt/hàng, P1000: khối lượng 1000 hạt, NSLT: năng suất lý thuyết, NSTT: năng suất thực thu, BRIX: chỉ số °Brix, AN: hàm lượng anthocyanin.

Năng suất thực thu (NSTT) là một tính trạng di truyền số lượng phức tạp, được kiểm soát và ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố cấu thành năng suất khác nhau, bao gồm chiều dài bắp (ChDB), đường kính bắp (DKB), số hàng hạt/bấp (HHB), số hạt trên hàng (HH) và trọng lượng hạt (P1000). Kết quả của nghiên cứu này phù hợp với những phát hiện trước đây của **Boćanski & cs. (2009)**, **Aman & cs. (2020)** vì NSTT có mối tương quan thuận có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,001$ với ChDB ($r = 0,34$), DKB ($r = 0,59$), HHB ($r = 0,45$), HH ($r = 0,73$), P1000 ($r = 0,50$) (**Hình 1A**).



Hình 1. (A) Biểu đồ nhiệt biểu thị tương quan giữa các tính trạng nông học theo dõi và (B) Biểu đồ biểu thị các dòng ưu tú được chọn lọc theo chỉ số Smith

Sự tương quan thuận, chặt và có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,001$ giữa các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất thực thu này là cơ sở để chọn lọc cải tiến năng suất đồng bằng phương pháp

chọn lọc đa tính trạng. Kết quả phân tích tương quan cũng cho thấy không có sự tương quan chặt giữa NSTT với các chỉ tiêu sinh trưởng (TGST, CCC, CDB) với chất lượng (BRIX, DVH). Hàm lượng anthocyanin có tương quan thuận với độ dày vỏ hạt ($r = 0,31$). Điều này có thể do phần lớn anthocyanin được tích lũy ở lớp vỏ hạt (Chatham & Juvik, 2021). Độ dày vỏ hạt có tương quan nghịch có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,001$ với oBrix ($r = -0,29$). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu trên các dòng ngô ngọt vàng của Nguyễn Trung Đức & cs. (2020).

Từ khi mô hình kiểu cây ngô lý tưởng được xuất bởi Mock & Pearce (1975) và Gong & cs. (2015), phương pháp chọn lọc dòng, giống ưu tú đa tính trạng đã được áp dụng và được cho là có hiệu quả để chọn các kiểu gen sao cho gần nhất với kiểu hình cây lý tưởng (Céron-Rojas & Crossa, 2018). Áp dụng phương pháp chọn lọc theo chỉ số Smith-Hazel trên 13 tính trạng (TGST, CCC, CDB, DVH, ChDB, DKB, HHB, HH, P1000, NSLT, NSTT, BRIX, AN) với áp lực chọn lọc 25% đã chọn được 20 dòng ngô tím ngọt triển vọng gồm UV35, UV38, UV08, UV42, UV18, UV74, UV73, UV12, UV30, UV07, UV24, UV03, UV29, UV31, UV46, UV10, UV40, UV16, UV36 và dòng UV71 (Hình 1B).

Các dòng ưu tú này trung bình có °Brix trong khoảng 13,0-23,3, độ dày vỏ hạt đạt từ 29,7-113,5 μm , hàm lượng anthocyanin trong khoảng 105,9-237,9 mg/100g hạt khô và năng suất thực thu đạt 1,3-2,8 tấn/ha (Bảng 2). Dòng nếp tím đối chứng NT41 xếp thứ 12 và dòng ngô ngọt trắng đối chứng D1 xếp cuối cùng. Hai cây thử T1 (SW1 - dòng ngô ngọt vàng) và T2 (D181 - dòng thuần ngô ngọt trắng) có chất lượng cao với chỉ số độ ngọt Brix từ 18,2-19,5 và thuộc nhóm mỏng vỏ với độ dày vỏ hạt $< 60 \mu\text{m}$ theo đề xuất phân loại của Choe (2010). Hai mươi dòng ngô tím ngọt ưu tú này được tiếp tục gieo trồng để tiến hành lai thử khả năng kết hợp với hai cây thử T1, T2 theo mô hình lai đỉnh Line \times Tester trong vụ Xuân 2020. Các dòng UV03, UV07, UV08, UV10, UV12, UV16, UV18, UV42, UV71 có °Brix > 16 , vỏ hạt mỏng $< 60 \mu\text{m}$, hàm lượng anthocyanin $> 100 \text{mg}/100 \text{g}$ có thể xếp vào nhóm dòng ngô tím siêu ngọt.

3.2. Kết quả đánh giá các THL trong vụ Thu Đông 2020 tại Gia Lâm, Hà Nội

Bốn mươi THL lai tạo ra từ 20 dòng ngô tím ngọt và 2 cây thử theo mô hình Line \times Tester trong vụ Xuân 2020 cùng hai giống đối chứng SW1011 (ngô ngọt, vàng) và Fancy 111 (ngô nếp, tím) được đánh giá trong vụ Thu Đông 2020. Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian từ gieo đến khi thu bắp tươi của các THL dao động từ 77,0 ngày (THL11) đến 86,0 ngày (giống đối chứng ngô nếp tím Fancy111), giống đối chứng ngô ngọt vàng SW1011 có thời gian thu bắp tươi trung bình 83,5 ngày (Bảng 3). Bảy THL có thời gian thu bắp tươi thấp hơn hẳn từ 7-10 ngày so với hai giống đối chứng SW1011 (83,5 ngày) và Fancy111 (86,0 ngày) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$ bao gồm THL39, THL03, THL13, THL19, THL30, THL06, THL11.

Chiều cao cây của các THL dao động từ 158,3 cm (THL02) đến 211,1 cm (THL04). Các THL có chiều cao cây tương đương đối chứng Fancy111 (184,1 cm) gồm THL23, THL30, THL13, THL11, THL32, THL20, THL33, THL36, THL10. Các THL có chiều cao cây tương đương đối chứng SW1011 (181,1 cm) bao gồm THL11, THL32, THL20, THL01, THL35, THL40, THL03. Các THL còn lại có chiều cao cây thấp hơn hai giống đối chứng ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Chiều cao đóng bắp của các THL biến động từ 62,6 cm (THL21) đến 89,4 cm (THL09). Nhìn chung, các THL đều đóng bắp thấp với tỉ lệ chiều cao đóng bắp/chiều cao cây từ 31,1% đến 51,8%. Độ che kín bắp của các THL02, THL03, THL07, THL21, THL25, THL32, THL33 và THL37 có lá bi bao kín đầu bắp (điểm 2). Các THL còn lại có lá bi che rất kín bắp và vượt khỏi bắp (điểm 1) tương đương hai giống đối chứng. Tất cả các THL đều có màu sắc hạt tím khi thu bắp tươi và dạng hạt nhẵn nheo khi để khô cho thấy tính trạng màu hạt tím trội hoàn toàn thừa hưởng từ các dòng bố UV và dạng hạt 100% nhẵn nheo là các dòng bố mẹ đều là ngô ngọt. Tuy nhiên, màu sắc nội nhũ có xu hướng di truyền theo dòng mẹ khi nội nhũ của các THL lai giữa các dòng UV với cây thử dòng ngô ngọt vàng T1 có màu vàng giống với đối chứng SW1011 và nội nhũ của các THL lai giữa các dòng UV với cây thử dòng ngô ngọt trắng T2 có màu trắng.

Bảng 2. Đặc điểm nông học của hai mươi dòng ngô tím siêu ngọt ưu tú được chọn lọc và hai cây thử

Dòng	Xếp hạng	Smith Hazel Index	TGST	CCC	CDB	DVH	ChDB	DKB	HHB	HH	P1000	NSLT	NSTT	BRIX	AN
UV35	1	79,82	90,5	122,5	63,0	59,3	12,0	4,2	13,3	25,2	130,5	2,9	2,0	14,3	230,7
UV38	2	78,82	92,5	95,0	42,0	113,5	13,6	4,3	15,7	25,0	127,5	3,4	2,7	14,1	232,1
UV08	3	71,66	107,5	85,5	52,0	43,9	12,2	4,2	14,9	24,6	119,0	2,9	1,8	16,3	186,9
UV18	5	64,71	90,0	113,5	59,0	55,3	12,6	4,3	14,0	25,5	132,5	3,2	2,2	18,2	191,4
UV42	4	62,72	91,5	103,5	59,0	63,5	11,6	4,3	14,9	27,0	127,5	3,4	2,8	16,0	191,4
UV74	6	62,31	85,5	92,0	45,0	71,5	17,5	3,9	12,8	29,2	108,0	2,7	2,0	14,3	187,9
UV73	7	55,07	84,5	162,5	55,0	71,6	15,8	4,9	12,6	31,6	127,7	3,4	2,5	14,8	233,9
UV12	8	48,86	90,5	105,5	58,5	31,4	15,8	4,4	13,4	28,0	143,5	3,6	2,7	23,3	121,3
UV30	9	44,97	77,5	94,0	59,0	81,8	12,3	4,4	15,7	21,8	79,5	1,8	1,3	14,7	222,9
UV07	10	39,73	108,5	101,5	50,0	35,2	14,3	4,1	12,8	25,0	136,5	2,9	2,1	17,4	139,9
UV24	11	39,17	109,5	97,0	46,0	35,4	13,7	4,2	12,1	20,6	138,0	2,3	1,7	13,6	139,4
UV03	13	35,47	99,0	87,5	59,0	49,1	13,9	4,6	15,6	26,5	127,0	3,5	2,5	16,5	141,7
UV29	14	35,04	104,5	103,0	60,5	67,1	12,1	4,5	15,1	20,3	126,5	2,6	1,8	14,0	192,1
UV31	15	30,24	80,5	90,5	62,0	29,7	11,1	4,6	16,8	19,7	125,5	2,8	2,0	14,3	116,6
UV46	16	29,71	96,5	122,5	77,0	67,2	12,8	3,7	13,3	20,4	116,5	2,1	1,6	15,3	223,5
UV10	17	27,63	98,5	102,0	49,0	42,5	12,2	4,2	13,1	25,0	141,5	3,1	2,3	17,3	120,9
UV40	18	27,09	88,5	112,0	58,0	76,3	13,4	4,6	15,4	22,0	160,5	3,6	2,8	15,8	143,7
UV16	19	24,30	86,0	97,5	58,0	44,5	11,8	4,3	14,1	23,7	113,5	2,5	1,9	21,0	136,3
UV36	20	23,54	86,5	137,0	62,0	81,6	13,5	4,1	12,5	23,4	98,5	1,9	1,4	13,0	237,9
UV71	21	23,26	91,5	97,5	39,5	47,7	15,7	4,6	13,0	28,4	124,5	3,1	2,4	21,1	105,9
Đối chứng															
NT41	12	37,43	92,0	140,5	57,0	77,2	12,0	4,1	13,7	18,8	156,5	2,7	1,6	11,7	206,0
D1	82	-174,54	85,0	153,0	57,0	53,5	11,8	4,3	14,0	20,0	118,0	2,2	1,5	16,5	4,0
Cây thử															
T1 (SW1 – ngọt, vàng)			88,0	120,0	50,0	54,1	12,0	3,9	12,0	25,0	125,0	2,5	1,7	5,8	18,2
T2 (D181 – ngọt, trắng)			85,0	135,5	55,5	45,8	10,0	4,4	14,0	18,0	138,0	2,3	1,6	5,1	19,5

Ghi chú: TGST: thời gian sinh trưởng, CCC: chiều cao cây, CDB: chiều cao đòng bắp, DVH: độ dày vỏ hạt trung bình, ChDB: chiều dài bắp, DKB: đường kính bắp, HHB: số hàng hạt/bắp, HH: số hạt/hàng, P1000: khối lượng 1000 hạt, NSLT: năng suất lý thuyết, NSTT: năng suất thực thu, BRIX: chỉ số °Brix, AN: hàm lượng anthocyanin.

Bảng 3. Đặc điểm nông học của các THL trong vụ Xuân 2019 tại Gia Lâm, Hà Nội

THL/Giống	Ký hiệu	Thu bấp tươi (ngày)	Chiều cao cây (cm)	Chiều cao đóng bấp (cm)	Chiều cao đóng bấp/Chiều cao cây (%)	Độ che kín bấp (điểm 1-5)	Dạng hạt khô	Màu sắc hạt	Màu sắc nội nhũ khi lược
T1×UV03	THL01	83,0	177,0	77,7	43,9	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV07	THL02	81,5	158,3	82,1	51,8	2	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV08	THL03	79,0	176,0	67,4	38,3	2	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV10	THL04	80,0	211,1	71,5	33,8	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV12	THL05	80,0	168,2	68,7	40,8	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV16	THL06	77,5	174,6	80,4	46,0	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV18	THL07	82,0	205,4	84,7	41,2	2	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV24	THL08	82,0	169,2	72,1	42,6	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV29	THL09	82,5	206,2	89,4	43,3	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV30	THL10	83,0	178,8	64,3	36,0	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV31	THL11	77,0	185,9	75,2	40,5	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV35	THL12	81,0	204,1	79,8	39,1	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV36	THL13	79,0	190,0	69,0	36,3	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV38	THL14	82,0	166,8	63,5	38,1	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV40	THL15	84,0	167,2	66,8	39,9	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV42	THL16	81,0	158,8	65,1	41,0	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV46	THL17	84,0	164,3	81,5	49,6	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV71	THL18	80,5	172,4	71,0	41,2	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV73	THL19	78,5	211,0	65,8	31,2	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T1×UV74	THL20	81,0	182,8	83,7	45,8	1	nhăn nheo	Tím	Vàng
T2×UV03	THL21	82,0	201,2	62,6	31,1	2	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV07	THL22	80,0	199,2	75,0	37,7	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV08	THL23	83,0	198,1	86,0	43,4	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV10	THL24	84,0	168,0	71,5	42,5	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV12	THL25	80,5	163,5	63,9	39,1	2	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV16	THL26	80,0	209,9	83,4	39,7	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV18	THL27	82,0	173,3	73,7	42,5	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV24	THL28	83,0	161,1	66,9	41,5	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV29	THL29	80,5	202,5	88,5	43,7	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV30	THL30	78,5	193,6	85,5	44,2	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV31	THL31	80,0	160,8	79,8	49,6	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV35	THL32	83,0	183,9	85,6	46,6	2	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV36	THL33	81,0	180,9	69,1	38,2	2	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV38	THL34	84,5	168,8	76,8	45,5	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV40	THL35	85,0	176,1	75,3	42,8	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV42	THL36	81,0	179,8	78,0	43,4	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV46	THL37	82,5	165,7	82,4	49,7	2	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV71	THL38	83,0	163,0	74,4	45,6	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV73	THL39	79,5	206,3	73,0	35,4	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
T2×UV74	THL40	80,5	176,1	80,2	45,5	1	nhăn nheo	Tím	Trắng
Fancy111	Fancy111	86,0	184,1	79,3	43,0	1	nếp, đá	Tím	Trắng
SW1011	SW1011	83,5	181,1	63,3	34,9	1	nhăn nheo	Vàng	Vàng
<i>LSD_{0,05}</i>		1,6	8,5	6,2		-	-	-	-
<i>CV%</i>		2,5	5,1	4,6		-	-	-	-

Năng suất bắp tươi của THL dao động từ 9,65 tấn/ha (THL16) đến 14,37 tấn/ha (THL08) trong đó có 6 THL bao gồm THL08, THL27, THL18, THL35, THL31, THL17 có năng suất bắp tươi cao, tương đương đối chứng ngô ngọt vàng SW1011 (13,96 tấn/ha) (Bảng 4). Mười bảy THL có năng suất bắp tươi từ 12,02-13,14 tấn/ha cao hơn giống Fancy111 (11,11 tấn/ha) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Có thể có nguồn gốc di truyền dòng ngô tím ngọt khác hẳn so với hai cây thử ngọt vàng và ngọt trắng đã tạo ra ưu thế lai cao về năng suất bắp tươi của hầu hết con lai. Hochholdinger & Baldauf (2018) và Labroo & cs. (2021) khi tóm lược về hiện tượng ưu thế lai cũng đã cho rằng bố mẹ có bản chất khác nhau sẽ có xác suất con lai có ưu thế lai cao. Chiều dài

bấp của các THL dao động từ 16,3 cm (THL13) đến 21,6 cm (THL30). Các THL có bắp dài hơn hẳn so với giống đối chứng SW1011 (20,3 cm) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$ gồm THL30, THL18, THL35, THL27 và THL05.

Bảng 4. Năng suất và chất lượng của các THL trong vụ Xuân 2019 tại Gia Lâm, Hà Nội

THL/Giống	Ký hiệu	Năng suất bắp tươi (tấn/ha)	Chiều dài bắp (cm)	Đường kính bắp (cm)	Số hàng hạt/bắp	Số hạt/hàng	°Brix	Hàm lượng anthocyanin (mg/100g)	Độ dày vỏ hạt (μ m)
T1×UV03	THL01	10,85	16,9	4,9	15,9	38,3	18,8	117,2	55,1
T1×UV07	THL02	10,83	17,3	4,6	13,9	36,8	18,4	110,6	52,8
T1×UV08	THL03	12,84	18,9	4,6	14,9	36,6	15,3	153,9	54,0
T1×UV10	THL04	12,83	18,9	4,7	14,3	38,4	17,3	104,0	53,8
T1×UV12	THL05	11,25	21,2	4,9	13,6	39,6	21,1	105,5	39,0
T1×UV16	THL06	12,47	20,4	5,2	15,8	38,6	20,2	108,0	46,5
T1×UV18	THL07	10,96	17,3	4,7	14,4	34,7	16,1	161,2	48,3
T1×UV24	THL08	14,37	21,0	5,2	15,5	38,3	18,6	115,1	39,6
T1×UV29	THL09	10,33	19,7	4,6	13,8	33,2	19,6	160,0	50,6
T1×UV30	THL10	11,10	17,7	4,8	16,4	32,0	17,0	178,1	47,5
T1×UV31	THL11	11,64	18,3	4,7	15,0	28,9	16,7	91,5	55,0
T1×UV35	THL12	12,06	19,8	4,9	15,9	39,5	16,1	203,5	53,0
T1×UV36	THL13	10,43	16,3	5,3	16,0	31,1	18,0	209,6	43,5
T1×UV38	THL14	11,35	19,4	4,7	13,0	38,9	17,3	201,3	41,2
T1×UV40	THL15	12,84	20,4	4,8	15,9	35,5	18,8	112,7	57,3
T1×UV42	THL16	9,65	16,9	4,5	15,3	36,5	18,3	164,1	52,0
T1×UV46	THL17	13,42	20,9	5,1	15,7	39,9	16,5	196,9	43,3
T1×UV71	THL18	14,16	21,6	5,1	16,7	40,4	20,1	82,7	50,9
T1×UV73	THL19	12,43	21,0	4,7	15,9	28,8	19,7	203,3	48,3
T1×UV74	THL20	12,28	19,4	4,7	13,8	37,0	16,4	155,7	57,1
T2×UV03	THL21	11,66	17,0	4,7	15,9	37,2	18,8	125,1	46,5
T2×UV07	THL22	10,83	19,9	4,7	16,1	33,2	19,7	119,0	52,8
T2×UV08	THL23	11,08	17,3	4,9	13,3	29,6	16,0	171,4	51,5
T2×UV10	THL24	12,93	20,8	4,8	16,5	31,8	19,1	102,7	50,5
T2×UV12	THL25	13,12	20,9	4,5	17,0	35,4	21,9	102,3	41,8
T2×UV16	THL26	11,32	20,2	4,5	14,0	33,0	20,8	119,1	47,5
T2×UV18	THL27	14,17	21,3	5,1	15,0	40,5	17,5	174,1	45,6
T2×UV24	THL28	11,43	20,0	4,7	13,5	37,5	18,1	123,0	53,4
T2×UV29	THL29	12,19	20,9	4,8	14,8	32,0	17,3	176,7	44,9
T2×UV30	THL30	13,14	21,6	4,8	15,3	36,2	20,0	203,2	53,1
T2×UV31	THL31	13,49	20,5	5,2	14,0	39,0	17,6	99,3	55,5
T2×UV35	THL32	12,02	17,1	4,7	13,6	28,0	19,3	209,1	51,2
T2×UV36	THL33	12,99	20,0	4,5	15,2	35,3	15,1	224,6	57,4
T2×UV38	THL34	10,72	18,2	4,3	14,2	36,8	15,1	211,0	55,9
T2×UV40	THL35	13,59	21,5	5,2	13,9	34,1	18,6	126,1	41,9
T2×UV42	THL36	12,82	18,8	4,8	15,1	29,8	17,2	169,9	45,7
T2×UV46	THL37	12,06	17,6	4,7	16,8	34,8	17,6	209,0	45,5
T2×UV71	THL38	11,59	18,0	4,8	15,6	36,1	18,7	90,7	55,9
T2×UV73	THL39	10,63	17,8	4,8	14,9	32,4	15,1	213,3	54,5
T2×UV74	THL40	12,16	20,4	4,6	13,5	36,1	15,3	168,3	41,0
Fancy111	Fancy111	11,12	18,0	4,8	13,0	36,9	11,8	130,7	75,3
SW1011	SW1011	13,96	20,3	5,2	15,0	37,0	16,3	5,0	71,5
<i>LSD_{0,05}</i>		0,71	0,7	0,2	1,1	3,2	1,5	7,2	4,2
<i>CV%</i>		5,50	4,9	4,1	3,5	4,8	4,5	2,4	5,1

Đường kính bắp của các THL dao động từ 4,3 cm (THL34) đến 5,3 cm (THL13). Tám THL gồm THL13, THL35, THL06, THL08, THL31, THL18, THL17 và THL27 có đường kính bắp tương đương giống SW1011 (5,2 cm) và cao hơn giống Fancy111 (4,8 cm) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Số hàng hạt/bắp trung bình của các THL dao động trong khoảng từ 13,0 (THL14) đến 17,0 (THL25). Năm THL bao gồm THL25, THL37, THL18, THL24 và THL10 có số hàng hạt/bắp cao hơn hẳn giống đối chứng SW1011 (15,0) và Fancy111 ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Số hạt/hàng của các THL dao động từ 28,0 (THL32) đến 40,5 (THL27) trong đó THL27,

THL18, THL17, THL05, và THL12 có số hạt/hàng cao hơn hẳn hai giống đối chứng SW1011 (37,0 hạt/hàng) và Fancy111 (36,9 hạt/hàng) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Các chỉ tiêu chất lượng bao gồm chỉ số đại diện độ ngọt °Brix của các THL dao động từ 15,1 (THL33, THL34, THL39) đến 21,9 (THL25). Có 21 THL có chỉ số Brix trong khoảng 18,0-21,9 và cao hơn hẳn giống đối chứng SW1011 (Brix = 16,3) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Tất cả các THL ngô tím ngọt đều có chỉ số Brix cao hơn hẳn so với giống Fancy111 (11,8) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Các THL có hàm lượng anthocyanin đạt từ 82,7 mg/100g (THL18) đến 224,6 mg/100g (THL33). Trong đó có 22 THL có hàm lượng anthocyanin trong khoảng 153,9-224,6 mg/100g, cao hơn hẳn đối chứng Fancy111 (130,65 mg/100g) ở mức có ý nghĩa thống kê $P < 0,05$. Tất cả các THL ngô tím ngọt đều có hàm lượng anthocyanin vượt trội so với giống đối chứng ngô ngọt vàng SW1011. Độ dày vỏ hạt trung bình của các THL dao động từ 39,0 μm (THL05) đến 57,4 μm (THL33). Như vậy, tất cả các THL đều thuộc nhóm mỏng vỏ $< 60,0 \mu\text{m}$ theo đề xuất phân loại của **Choe (2010)**.

3.3. Kết quả phân tích khả năng kết hợp theo mô hình Line \times Tester

Phân tích phương sai tổng hợp của 5 tính trạng năng suất và 3 tính trạng chất lượng cho thấy bình phương trung bình của dòng, cây thử và tương tác dòng \times cây thử có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,01$ đối với tất cả các tính trạng trừ ảnh hưởng của cây thử trên chỉ tiêu Brix và độ dày vỏ hạt (Bảng 5). Phương sai hiệu ứng cộng của các tính trạng năng suất, cấu thành năng suất và độ dày vỏ hạt bằng 0 cho thấy các tính trạng này chịu ảnh hưởng và quy định 100% bởi gen. Hiệu ứng cộng ($\sigma^2A = 3,16$) và hiệu ứng trội ($\sigma^2D = 6,43$) đã được phát hiện trên tính trạng chỉ số độ ngọt °Brix. Khi tiến hành lai giữa các dòng ngô nếp trắng (dòng bố) với các dòng ngô ngọt vàng (dòng mẹ) để đánh giá khả năng kết hợp, **Fuengtee & cs. (2020)** đã chỉ ra hiệu ứng cộng đóng vai trò quan trọng đối với hàm lượng đường tổng số ở hạt. Trong nghiên cứu này, khi lai giữa các dòng ngô tím với các dòng mẹ ngọt vàng và dòng ngọt trắng thì hiệu ứng cộng cũng được phát hiện nhưng có phần yếu hơn hiệu ứng trội. Khi lai giữa dòng bố tím ngọt với các dòng mẹ là cây thử ngọt vàng, ngọt trắng, hiệu ứng cộng ($\sigma^2A = 5071,29$) được quan sát rất rõ trên tính trạng hàm lượng anthocyanin, con lai tất cả đều có hạt màu tím.

Bảng 5. Bình phương trung bình và Các thành phần phương sai của mô hình Line \times Tester

Nguồn biến động	Df	Năng suất bắp tươi	Chiều dài bắp	Đường kính bắp	Số hàng hạt/bắp	Số hạt/hàng	°Brix	Hàm lượng anthocyanin	Độ dày vỏ hạt
Bình phương trung bình									
Nhắc lại	2	0,032	0,450	0,002	0,003	0,200	0,435	2,521	4,512
Kiểu gen (G)	39	2,699**	5,197**	0,107**	2,405**	24,271**	6,220**	3810,166**	58,461**
Dòng (L)	19	1,972**	4,727**	0,074**	2,365**	19,721**	8,892**	7673,111**	47,418**
Cây thử (T)	1	1,705**	2,112**	0,144**	0,561**	57,800**	0,105	2062,481**	0,481
L:T	19	3,478**	5,831**	0,138**	2,543**	27,057**	3,870**	39,204**	72,555**
Residuals	39	0,120	0,129	0,011	0,189	0,962	0,654	13,141	2,842
Các thành phần phương sai									
σ^2G		52,63	101,35	2,09	46,91	473,29	121,29	74298,23	1139,98
σ^2L		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	1908,48	0,00
σ^2T		0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	50,58	0,00
$\sigma^2L \times T$		1,68	2,85	0,06	1,18	13,05	1,61	13,03	34,86
σ^2GCA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	1267,82	0,00
σ^2A		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	5071,29	0,00
σ^2D		6,72	11,40	0,25	4,71	52,19	6,43	52,12	139,43

Ghi chú: ** biểu thị có ý nghĩa thống kê ở mức $P < 0,01$. σ^2G : phương sai kiểu gen, σ^2L : phương sai dòng, σ^2T : phương sai cây thử, $\sigma^2L \times T$: phương sai tương tác giữa dòng và cây thử, σ^2GCA : phương sai khả năng kết hợp chung, σ^2A : phương sai hiệu ứng cộng, σ^2D : phương sai hiệu ứng trội.

Độ dày vỏ hạt được chi phối bởi hiệu ứng trội ($\sigma^2D = 139,43$) trong khi không quan sát thấy hiệu ứng cộng ($\sigma^2A = 0$). Điều này Mặc dù một số dòng ngô tím ngọt UV (UV38, UV30, UV36, UV40, UV73, UV74, UV46, UV29, UV42, UV35) vẫn có lớp vỏ tương đối dày nhưng dòng mẹ T1, T2 đều có lớp vỏ hạt mỏng và do vậy tất cả các con lai THL ngô tím ngọt đều mỏng vỏ xếp vào nhóm mỏng vỏ $< 60 \mu\text{m}$ theo đề xuất phân loại của **Choe (2010)**. Đây có thể do tính

trạng mỏng vỏ được di truyền theo bố mẹ (Trần Thị Thanh Hà & cs., 2017), chịu ảnh hưởng bởi cả hiệu ứng công, hiệu ứng trội và tương tác át chế với hệ số di truyền theo nghĩa hẹp cao (55-82%) (Wu & cs., 2020). Hiệu quả của giống lai phụ thuộc rất lớn việc lựa chọn kiểu hình của các cặp bố mẹ và khả năng kết hợp của chúng là chìa khóa để cải tiến chất lượng, năng suất của các giống ngô (Yu & cs., 2020). Ảnh hưởng của khả năng kết hợp chung (GCA) rất hữu ích cho việc xác định các cặp bố mẹ ưu việt để sử dụng trực tiếp trong các chương trình nhân giống (Mahan & cs., 2013). Các dòng thuần được chọn phải có GCA cao về các tính trạng năng suất, chất lượng, khác biệt đáng kể so với 0 ở mức có ý nghĩa lớn hơn hoặc bằng sai số chuẩn (SE) và giá trị trung bình của các tính trạng này phải cao ở con lai F1. Kết quả nghiên cứu cho thấy có 5 dòng theo thứ tự cao tới thấp bao gồm UV40, UV24, UV10, UV71, UV46 có GCA về năng suất bắp tươi cao, ba dòng UV12, UV40, UV24 có GCA cao về chiều dài bắp. Năm dòng theo thứ tự từ cao tới thấp bao gồm UV40, UV71, UV31, UV36, UV24 có khả năng kết hợp chung cao về đường kính bắp. Các dòng UV46, UV71, UV03 và UV30 có GCA cao ở tính trạng số hàng hạt/bắp. Đối với tính trạng số hạt/hàng, sáu dòng UV71, UV24, UV38, UV03, UV18 và UV12 có GCA cao. Dòng UV12, UV16 có GCA cao về chỉ số độ ngọt °Brix. Năm dòng UV36, UV73, UV35, UV38, và UV46 có GCA cao về hàm lượng anthocyanin. Hai dòng UV31 và UV71 có GCA cao về độ dày vỏ hạt. Như vậy, không có dòng ngô tím ngọt nào có đồng thời khả năng kết hợp chung cao về cả chỉ tiêu năng suất và chất lượng. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với báo cáo trước đó của Suzukawa & cs. (2018) khi nghiên cứu khả năng kết hợp về năng suất và chất lượng giữa các dòng ngô ngọt vàng nhiệt đới, ôn đới với các dòng ngô siêu ngọt vàng. Trong các chương trình chọn giống ngô ngọt và ngô siêu ngọt, việc xác định dòng có khả năng kết hợp về cả năng suất và chất lượng là điều bất cứ nhà chọn giống nào đều mong muốn. Tuy nhiên, trên thực tế rất khó có thể chọn lọc được dòng hoàn hảo có tính trạng này.

Bảng 6. Khả năng kết hợp chung về năng suất và chất lượng của các dòng bố mẹ

Dòng/ Cây thử	Năng suất bắp tươi	Chiều dài bắp	Đường kính bắp	Số hàng hạt/bắp	Số hạt/hàng	°Brix	Hàm lượng anthocyanin	Độ dày vỏ hạt
UV03	-0,796	-2,377	0,010	0,916*	2,475*	0,821	-30,642	1,252
UV07	-1,221	-0,752	-0,140	0,016	-0,300	1,096	-37,017	3,252
UV08	-0,088	-1,228	-0,065	-0,934	-2,200	-2,354	10,808	3,252
UV10	0,832*	0,523	-0,040	0,416	-0,175	0,246	-48,492	2,627
UV12	0,134	1,723*	-0,115	0,316	2,200*	3,496*	-47,942	-9,123
UV16	-0,156	0,973	0,060	-0,084	0,500	2,496*	-38,267	-2,523
UV18	0,517	-0,027	0,085	-0,284	2,325*	-1,179	15,858	-2,598
UV24	0,849*	1,198*	0,135*	-0,534	2,600*	0,371	-32,767	-2,998
UV29	-0,791	0,973	-0,090	-0,709	-2,725	0,471	16,533	-1,773
UV30	0,069	0,323	0,010	0,866*	-1,200	0,521	38,833	0,802
UV31	0,517	0,098	0,160*	-0,509	-1,350	-0,829	-56,442	5,727*
UV35	-0,011	-0,852	-0,015	-0,259	-1,525	-0,279	54,483*	2,577
UV36	-0,341	-1,202	0,135*	0,616	-2,125	-1,429	65,308*	0,927
UV38	-1,016	-0,552	-0,315	-1,384	2,550*	-1,779	54,308*	-0,998
UV40	1,162*	1,648*	0,235*	-0,109	-0,500	0,746	-32,417	0,052
UV42	-0,816	-1,502	-0,115	0,216	-2,150	-0,229	15,208	-0,673
UV46	0,689*	-0,102	0,085	1,266*	2,075	-0,904	51,133*	-5,098
UV71	0,822*	0,473	0,185*	1,166*	2,950*	1,421	-65,142	3,877*
UV73	-0,523	0,073	-0,065	0,366	-4,675	-0,579	56,458*	1,877
UV74	0,167	0,598	-0,140	-1,359	1,250	-2,129	10,208	-0,448
T1	-0,146	-0,163	0,043	0,084	0,850	0,036	-5,078	-0,078
T2	0,146	0,163	-0,043	-0,084	-0,850	-0,036	5,078	0,078
SE _{Dòng}	0,684	1,060	0,133	0,749	2,164	1,453	42,689	3,356
SE _{Cây thử}	0,146	0,163	0,043	0,084	0,850	0,036	5,078	0,078

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 $\geq SE$.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phát triển 80 dòng ngô tím ngọt, chọn lọc được 20 dòng ưu tú và đánh giá khả năng kết hợp của các dòng này với hai cây thử ngọt trắng và ngọt vàng thông qua phân tích theo mô hình lai đỉnh Line \times Tester trên các tính trạng năng suất, cấu thành năng suất và chất

lượng. Các dòng UV03, UV07, UV08, UV10, UV12, UV16, UV18, UV42, UV71 có °Brix đạt >16, vỏ hạt mỏng < 60µm, hàm lượng anthocyanin > 100mg/100g có thể xếp vào nhóm dòng ngô tím siêu ngọt.

Kết quả đánh giá các THL đỉnh trong vụ Thu Đông 2020 cho thấy tính trạng màu tím ở vỏ hạt trội hoàn toàn khi lai giữa các dòng tím ngọt với các cây thử ngọt vàng và ngọt trắng. Nghiên cứu đã xác định được các cặp bố mẹ có tiềm năng tạo ra con lai triển vọng bao gồm THL08 (T1×UV24), THL17 (T1×UV46), THL18 (T1×UV71), THL27 (T2×UV18), THL31 (T2×UV31) và THL35 (T2×UV40) có năng suất tương đương đối chứng ngô ngọt vàng SW1011 với chất lượng rất cao. Các THL này có thể phát triển thành các giống ngô tím siêu ngọt thương mại.

Kết quả đánh giá khả năng kết hợp chung đã chọn được năm dòng UV10, UV24, UV40, UV46, UV71 có khả năng kết hợp chung cao về năng suất bắp tươi và hai dòng UV12, UV16 có khả năng kết hợp chung cao về chỉ số °Brix và năm dòng UV36, UV73, UV35, UV38, và UV46 có GCA cao về hàm lượng anthocyanin. Các dòng ngô tím ngọt này là chìa khóa cho sự phát triển các giống ngô trái cây tím ngọt ưu thế lai. Theo sự hiểu biết của chúng tôi, đây là nghiên cứu phát triển và chọn lọc các dòng ngô tím siêu ngọt đầu tiên của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aman J., Bantte K., Alamerew S. & Sbhatu D. B. (2020). Correlation and path coefficient analysis of yield and yield components of quality protein maize (*Zea mays* L.) hybrids at Jimma, Western Ethiopia. *International Journal of Agronomy*. 2020: 9651537.
- Anirban A. & O'hare T. (2020). Super-sweet purple sweetcorn: breaking the genetic link. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*. 36(1): 6134.
- Bộ Nông Nghiệp Và Phát Triển Nông Thôn (2011). QCVN01-56:2011/BNNPTNT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khảo nghiệm giá trị canh tác và giá trị sử dụng của giống ngô.
- Boćanski J., Srećkov Z. & Nastasić A. (2009). Genetic and phenotypic relationship between grain yield and components of grain yield of maize (*Zea mays* L.). *Genetika*. 41(2): 145-154.
- Brewbaker J. L. & Martin I. (2015). Breeding tropical vegetable corns. *Plant Breeding Reviews: Volume 39*. 10.1002/9781119107743.ch04: 125-198.
- Cassidy A., Bertoia M., Chiuve S., Flint A., Forman J. & Rimm E. B. (2016). Habitual intake of anthocyanins and flavanones and risk of cardiovascular disease in men. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 104(3): 587-594.
- Céron-Rojas J. J. & Crossa J. (2018). The linear phenotypic selection index theory. in: *Linear Selection Indices in Modern Plant Breeding*. Céron-Rojas J. J. & Crossa J. (eds.). Springer International Publishing Cham. 15-42.
- Chatham L. A. & Juvik J. A. (2021). Linking anthocyanin diversity, hue, and genetics in purple corn. *G3 (Bethesda)*. 11(2).
- Chatham L. A., West L., Berhow M. A., Vermillion K. E. & Juvik J. A. (2018). Unique Flavanol-Anthocyanin Condensed Forms in Apache Red Purple Corn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66(41): 10844-10854.
- 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. <http://hdl.handle.net/2142/15562>: 1-135.
- Fuengtee A., Demail A., Simla S., Lertrat K., Sanitchon J., Chankaew S. & Suriharn B. (2020). Combining ability for carbohydrate components associated with consumer preferences in tropical sweet and waxy corn derived from exotic germplasm. *Turkish Journal of Field Crops*. 25(2): 147-155.
- Giusti M. & Wrolstad R. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*. 1: 1-13.
- Gong F., Wu X., Zhang H., Chen Y. & Wang W. (2015). Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*. 6: 835.
- Hazel L. N. (1943). The Genetic Basis for Constructing Selection Indexes. *Genetics*. 28(6): 476-490.

- Hochholdinger F. & Baldauf J. A. (2018). Heterosis in plants. *Current Biology*. 28(18): R1089-R1092.
- Kleinhenz M. D. & Bumgarner R. N. (2012). Using °Brix as an indicator of vegetable quality instructions for measuring °brix in cucumber, leafy greens, sweet corn, tomato, and watermelon. Fact sheet HYG-1653-12, Agriculture and Natural Resources, The Ohio State University.
- Labroo M. R., Studer A. J. & Rutkoski J. E. (2021). Heterosis and Hybrid Crop Breeding: A Multidisciplinary Review. *Frontiers in Genetics*. 12(234).
- 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.
- Mock J. J. & Pearce R. B. (1975). An ideotype of maize. *Euphytica*. 24(3): 613-623.
- Nguyễn Trung Đức, Phạm Quang Tuấn, Nguyễn Thị Nguyệt Anh & Vũ Văn Liết (2020). Nghiên cứu tuyển chọn một số dòng ngô ngọt phục vụ chọn tạo giống ngô trái cây dựa trên kiểu hình và chỉ thị phân tử. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 18(12): 1102-1113.
- Phạm Quang Tuấn, 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 Sciences*. 14(3): 328-337.
- Phạm Quang Tuấn, Nguyễn Thế Hùng, Nguyễn Việt Long, Vũ Văn Liết, Nguyễn Trung Đức & Nguyễn Thị Nguyệt Anh (2018). Cải thiện độ ngọt của các dòng ngô nếp bằng phương pháp lai trở lại. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 16(3): 197-206.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. <https://www.R-project.org/>.
- Rodríguez F., Alvarado G., Pacheco Á., Crossa J. & Burgueño J. (2015). AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 5.0. Truy cập từ ngày
- Shull G. H. (1909). A Pure-Line Method in Corn Breeding. *Journal of Heredity*. 5(1): 51-58.
- Smith H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*. 7(3): 240-250.
- Suzukawa A. K., Garcia M. M., Contreras-Soto R. I., Zeffa D. M., Coan M. M. D. & Scapim C. A. (2018). Diallel analysis of tropical and temperate sweet and supersweet corn inbred lines. *Revista Ciência Agronômica*. 49(4).
- Trần Thị Thanh Hà, Vũ Văn Liết, Vũ Thị Bích Hạnh, Nguyễn Văn Hà, Dương Thị Loan, Hoàng Thị Thùy & Nguyễn Văn Việt (2017). Chọn lọc và đánh giá khả năng kết hợp của dòng tự phối ngô nếp chất lượng vỏ hạt mỏng dựa trên kiểu hình và chỉ thị phân tử. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 15(8): 989-1001.
- Wu X., Wang B., Xie F., Zhang L., Gong J., Zhu W., Li X., Feng F. & Huang J. (2020). QTL mapping and transcriptome analysis identify candidate genes regulating pericarp thickness in sweet corn. *BMC Plant Biology*. 20(1): 117.
- Yao H., Zhou Q., Li J., Smith H., Yandeu M., Nikolau B. J. & Schnable P. S. (2002). Molecular characterization of meiotic recombination across the 140-kb multigenic *al-sh2* interval of maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 99(9): 6157-6162.
- Yousuf B., Gul K., Wani A. A. & Singh P. (2016). Health Benefits of Anthocyanins and Their Encapsulation for Potential Use in Food Systems: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56(13): 2223-2230.
- Yu K., Wang H., Liu X., Xu C., Li Z., Xu X., Liu J., Wang Z. & Xu Y. (2020). Large-scale analysis of combining ability and heterosis for development of hybrid maize breeding strategies using diverse germplasm resources. *Frontiers in Plant Science*. 11(660).