

## 국내 찰옥수수 계통의 농업형질 특성 및 연관 연구

하준영<sup>1</sup> · 고영삼<sup>2</sup> · 손재한<sup>2</sup> · 손범영<sup>3</sup> · 정태욱<sup>3</sup> · 배환희<sup>2,†</sup>

## Agricultural Characteristics of Inbred Korean Waxy Corn Lines and Relationships

Jun Young Ha<sup>1</sup>, Young Sam Go<sup>2</sup>, Jae Han Son<sup>2</sup>, Beom Young Son<sup>3</sup>, Tae Wook Jung<sup>3</sup>, and Hwan Hee Bae<sup>2,†</sup>

**ABSTRACT** Waxy corn (*Zea mays* L.), which contains homozygous mutant alleles for the *waxy1* (*wx1*) gene, is widely consumed as a snack food in Asia. This study evaluated sixteen agronomic characteristics of inbred Korean waxy corn lines to aid development of high-quality waxy corn cultivars. The plant materials studied were 177 inbred waxy corn lines developed by the National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Republic of Korea. For the tested lines, days to tasseling and silking averaged 77.69±2.22 days (with a range of 56-97 days), and 81.12±7.56 days (66-99 days), respectively. Plant length ranged from 88 to 237 cm (averaged 164.88±22.67 cm), ear length averaged 11.75±2.52 cm (5.0-18.5 cm), and ear width averaged 2.94±0.68 cm (1.4-4.5 cm). The number of rows on each ear of corn averaged 12.22±2.22 (7-32 rows) and the kernel number averaged 24.30±4.22 (9-37 kernels) per row. The crude protein content was 12.05±1.53% (8.90-21.80%) and total starch content was 69.27±5.74% (49.5-83.9%). Principal component analysis revealed that ear width, grain length, ear length, days to tasseling, days to silking, percentage of ear setting height, and total starch are features that allow distinction between the 177 waxy inbred corn lines. Hierarchical cluster analysis identified twelve waxy inbred lines that produce tall plants and have a short silking period. These lines may improve yield among quickly growing corn varieties.

**Keywords** : agronomic trait, hierarchical cluster analysis, multivariate analysis, principal component analysis, waxy maize

**찰옥수수**(*Zea mays* L., Waxy corn)는 *waxy1* (*wx1*) 유전자의 돌연변이 열성 동형 대립유전자를 가지고 있는 옥수수로 쫄깃함, 부드러움, 향미를 가지고 있기 때문에 동아시아와 동남아시아에서 간식으로 널리 소비되고 있다 (Gong & Chen, 2013; Simla *et al.*, 2010). 일반 옥수수에 *wx1* 유전자는 Granule-Bound Starch Synthase I (GBSS I)을 발현하여 amylose를 합성하는데, 단일 열성 유전자 *wx1*을 가지는 찰옥수수는 GBSS I 단백질이 불활성 되어 옥수수 종실 전분의 대부분이 amylopectin으로 구성된다 (Nelson & Pan, 1995; Yu & Moon, 2021). 지금까지 waxy 유전자 돌연변이는 50가지 이상 발견되었으며 이는 찰옥수

수에 유전적 다양성이 있음을 보여준다(Wu *et al.*, 2022).

우리나라에서 찰옥수수는 쌀이나 보리의 재배가 어려운 산간 지역에서 식량 대응으로 재래종이 재배되어 왔다. 1975년에 수집된 유전자원으로 옥수수 육종 연구가 시작되었으나 당시에는 종실용 옥수수가 주된 수요였기 때문에 연구가 집중적으로 이루어지지 않았다(Baek *et al.*, 2020). 본격적인 찰옥수수 품종 연구는 1989년에 국립식량과학원에서 ‘찰옥1호’를 개발하며 보급하면서 시작되었다(Park *et al.*, 1992). 그 후 ‘연농1호’, ‘찰옥2호’, ‘두메찰’, ‘찰옥4호’, ‘일미찰’, ‘미백2호’ 등 흰색 찰옥수수 품종이 개발되었고, 2000년대 이후 건강 및 기능성 식품에 대한 대중들의 관심

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 연구원 (Researcher, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 농업연구사 (Agriculture Researcher, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

†Corresponding author: Hwan Hee Bae; (Phone) +82-31-695-4042; (E-mail) [miami9@korea.kr](mailto:miami9@korea.kr)

<Received 19 October, 2022; Revised 7 November, 2022; Accepted 10 November, 2022>

이 높아져 안토시아닌이 함유된 유색 찰옥수수 ‘얼룩찰1호’, ‘흑진주찰’, ‘미흑찰’, ‘흑점2호’, ‘장수흑찰’, ‘청춘찰’ 등이 개발되었다(Baek *et al.*, 2020). 2010년대에는 수요자가 직접 육종에 참여하여 지역특화용으로 육성된 카로티노이드 함량이 높은 노랑찰옥수수 ‘황금맛찰’이 개발되었다(Lee *et al.*, 2020). 최근 대중들의 건강과 기능성 식품에 대한 관심의 증가로 고품질, 기능성 품종의 개발이 요구되고 있다.

고품질, 기능성 품종 개발에 있어 다양한 육종 소재의 수집과 농업 특성 조사, 유전적 다양성 평가는 작물의 유전자원 보전과 유지를 위해 중요하며 육종 프로그램에 유용하게 이용할 수 있다(Almeida *et al.*, 2022). 간식용 찰옥수수 품종은 일반적으로 출사기, 쓰러짐, 병해충 피해, 착수고율 등의 생육 특성과 이삭길이, 끝달림률, 상품이삭수 등의 이삭 특성과 같은 농업형질을 기준으로 선발이 이루어진다. 이러한 농업적 특성을 평가하는 방법 중 다변량 분석법(multivariate analysis)은 초기 육종 프로그램에서 작물의 다양한 농업적 형질을 평가하고 분석하는 데 유용한 방법이다(Barth *et al.*, 2022). 특히 주성분 분석(principal components analysis)이나 계층 군집 분석(hierarchical clusters analysis)은 서로 다른 농업적 특성 정보를 단일 값으로 또는 그래픽으로 표현하여 많은 농업적 형질을 비교하고 분류하는 데 이용된다(Barth *et al.*, 2020). 옥수수는 타식성 작물로 현재 등록된 품종 대부분이 단교잡종이다. 잡종강세를 이용하는 육종 프로그램에서 육종 효율을 높이기 위해서는 자식계통의 특성 평가가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 국립식량과학원에서 육성한 흰찰옥수수, 노랑찰옥수수, 검정찰옥수수 자식계통의 농업형질 특성을 평가하여 우수 계통 선발 및 고품질 품종 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

본 연구에 이용된 찰옥수수 자식계통은 흰찰옥수수 84계통, 노랑찰옥수수 47계통, 검정찰옥수수 46계통으로 국립식량과학원에서 찰옥수수 품종 개발을 위해 육성한 계통이다(Table 1).

### 농업형질 특성 조사

본 연구는 국립식량과학원 중부작물부 시험연구포장(경기도 수원시, N126°58'E37°15')에서 수행되었다. 2021년 4월 29일에 파종하여 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분

석 기준(RDA, 2012)에 따라 재배 관리를 하였다. 재식 거리는 60×25 cm로 하였고, 비료는 15-3-6-2,000 kg/10a (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-퇴비)을 사용하였다. 16개 농업형질에 대한 정보는 Table 2에 나타내었으며, 농업형질 특성 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석 기준에 따라 생육 시기별로 3개체씩 조사하였다(RDA, 2012).

### 찰옥수수 종실의 조단백질과 총 전분 함량 분석

수확 후 건조한 찰옥수수 종실을 분쇄기로 갈아 분석시료로 사용하였으며 모든 실험은 3 반복으로 수행하였다. 조단백질 함량은 TruMac N Analyzers (Leco, Michigan, USA)를 이용하여 시료 0.5 g을 칭량하여 듀마스법(combustion method)로 정량하였다(Etheridge *et al.*, 1998). 총 전분 함량은 시료 100 mg을 칭량하여 total starch assay kit (Megazyme, Wicklow, Ireland)로 전처리 후 UV/Vis spectrometer (U-3900, Hitach, Japan)로 510 nm에서 측정하여 정량하였다.

### 통계분석

모든 조사 값은 평균±표준편차로 나타내었으며, 조사된 각 계통의 농업적 형질 특성은 R 기반 통계 패키지인 JAMOV v1.2.27 (jamovi.org)로 기초 통계량, 분산분석(ANOVA), 상관관계분석을 수행하였다. 주성분 분석은 Varimax 방법을 적용하여 분석하였다. 계층 군집분석, Scores plot, loadings plot은 웹 데이터 베이스 기반 통계분석 프로그램인 MetaboAnalyst5.0 (<http://www.metaboanalyst.ca>)을 이용하여 나타내었다(Pang *et al.*, 2022).

## 결과 및 고찰

### 찰옥수수 자식계통의 농업형질 특성

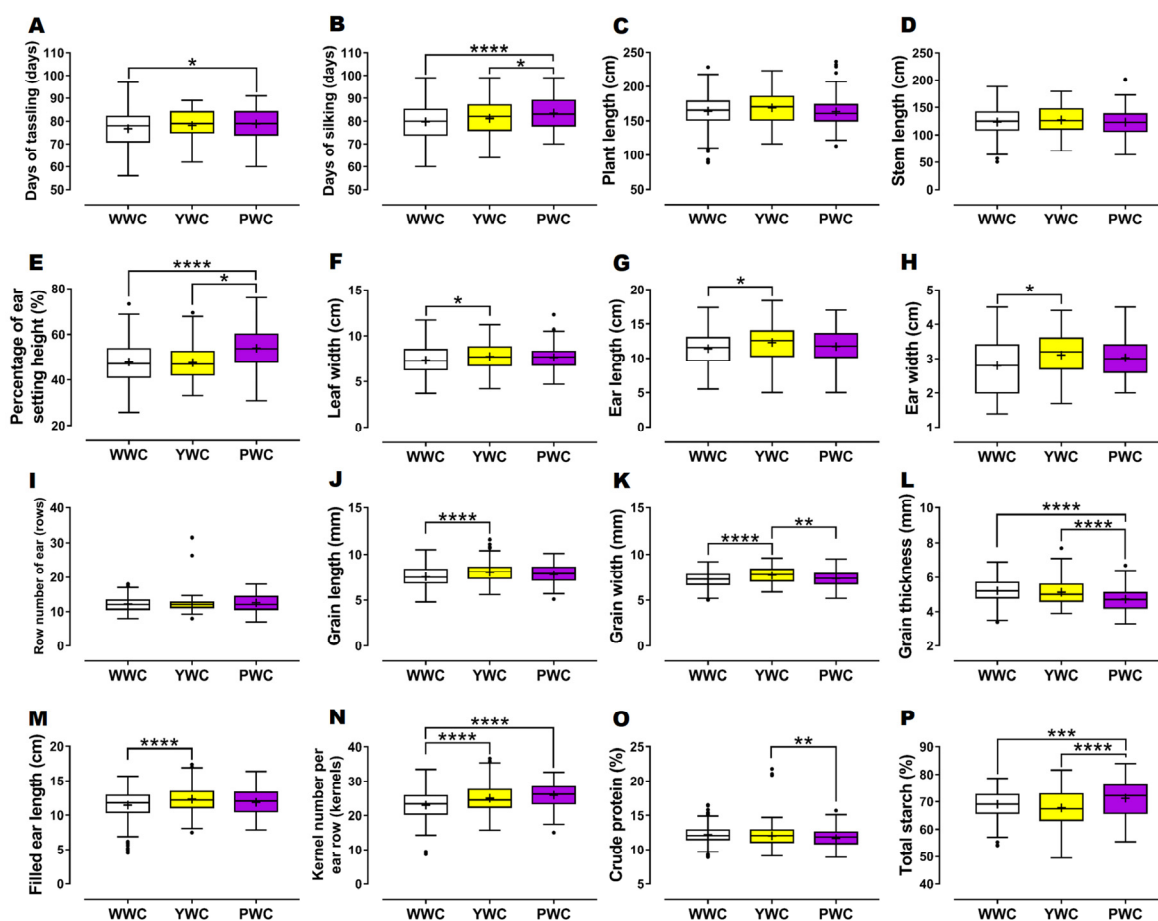
조사한 177개 찰옥수수 자식계통의 16개 농업형질별 조사결과는 Fig. 1에 나타내었다. 흰찰옥수수 집단의 출용일수는 56~97일에 걸쳐 있었으며 평균 77±7일로 노랑찰옥수수 집단과 검정찰옥수수 집단보다 1~2일 정도 출용일수가 빨랐다(Fig. 1A). 출사일수는 흰찰옥수수 집단에서 60~99일에 걸쳐 있었으며 평균 80±8일로 출용일수와 마찬가지로 노랑찰옥수수와 검정찰옥수수 집단 보다 1~3일 빠르게 나타났다(Fig. 1B). 평균 초장은 흰찰, 노랑찰, 검정찰옥수수 집단에서 163.8±23.1 cm, 168.6±22.6 cm, 163.1±21.7 cm로 세 집단에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 1C). 평균 간장은 흰찰옥수수 집단 123.8±25.2 cm, 노랑찰옥수수 집단 127.4±23.9 cm, 검정찰옥수수 집단 123.3±24.3 cm로 초장과 마찬가지로 집단 간에 통계적으로 유의미한 차

**Table 1.** List of the Korean waxy corn inbred lines evaluated for agronomic characteristics.

No.	Inbred line	Origin	No.	Inbred line	Origin	No.	Inbred line	Origin	No.	Inbred line	Origin			
<b>White waxy corn</b>														
			45	KW73	97_B100/KW7(1)	89	KY10	BN65(99008)	133	KBW2	Landrace in Yanggu, Korea			
1	KW1	Landrace in Pyeongchang, Korea	46	KW74	97_B100/KW7(1)	90	KY11	JNZ-Y(99007,JNZ(HDH))	134	KBW8	Landrace in Jechen, Korea			
2	KW2	Unknown	47	KW75	97_CBW/KW2A//KW7	91	KY12	SW14(99009)	135	KBW16	Landrace in Jumunjin, Korea			
3	KW2nb	Landrace in Hongcheon, Korea	48	KW76	97_CBW/KW2A//KW7	92	KY13	SW20(99004)	136	KBW17	Unknown			
4	KW3	Landrace in Goseong, Korea	49	KW77	97_CBW/KW2A//KW7	93	KY14	Unknown	137	KBW20	95GTBW(Thai local black waxy)			
5	KW6L	Landrace in Pyeongchang, Korea	50	KW78	97_B84/CBW//KW7	94	KY17	Yanbian University, China	138	KBW21	95GTBW(Thai local black waxy)			
6	KW7	Landrace in Pyeongchang, Korea	51	KW79	Landrace in Yangyang, Korea	95	KY18	Unknown	139	KBW22	95GTBW(Thai local black waxy)			
7	KW23	Landrace in Anseong, Korea	52	KW80	Landrace in Yeongwol, Korea	96	KY21	Eunjeomchal male	140	KBW23	95GTBW(Thai local black waxy)			
8	KW29	Landrace in Pyeongchang, Korea	53	KW83	Landrace in Hongcheon, Korea	97	KY23	Landrace in Pyeongchang, Korea	141	KBW24	Landrace in Cheongwon, Korea			
9	KW33	95KS1, China	54	KW84	96_CNUW/KW7	98	KY25	KS75/KW2A	142	KBW27	B84/CBW//KW7			
10	KW34	90CNUWL	55	KW85	96_KW2A/B76	99	KY26	Landrace in Pyeongchang, Korea	143	KBW28	Landrace in Jechen/Cheongwon, Korea			
11	KW35	90CNUWE	56	KW87	95_Chalok 1/KW3	100	KY27	Landrace in Pyeongchang, Korea	144	KBW29	Landrace in Cheorwon/Cheongwon, Korea			
12	KW36	97_KS83/KW7	57	KW88	95_Chalok 1/KW8	101	KY29	B84/KW7(1)	145	KBW30	Landrace in Jechen/Cheongwon, Korea			
13	KW37	Unknown	58	KW89	95_Daehakchal/KW14	102	KY30	KW7(1)/KS83-1	146	KBW31	Landrace in Jechen/Cheongwon, Korea			
14	KW38	oh43wx/w9043	59	KW90	95_Daehakchal /KW14	103	KY31	CNUW(1)/B97-1	147	KBW32	Unknown			
15	KW39A	Unknown	60	KW91	99_CH1042	104	KY32	KW7/B84//B84/CNUW	148	KBW33	Landrace in Jumunjin/Danyang, Korea			
16	KW39B	Unknown	61	KW92	99_CH1042	105	KY33	Unknown	149	KBW34	Unknown			
17	KW40	84-9060/A632wx	62	KW93	W98-4072/Y8112	106	KY34	KW2A/B76	150	KBW35	Unknown			
18	KW43	(KW7/KW3)/KW3	63	KW94	W98-4072/Y8112	107	KY35A	Unknown	151	KBW36	KW7/SBW2			
19	KW44	94KC8804-1	64	KW95	W98-4072/Y8112	108	KY35B	Unknown	152	KBW38	KW7/SBW2			
20	KW45	94KC88045	65	KW96	W98-4072/Y8112	109	KY36	KY303G/Y93019	153	KBW39	98-8006-4/CBW2			
21	KW47	93Badaoguc(china)	66	KW97	W98-3032/KW25	110	KY37	KY303G/Y93019	154	KBW40	KY303G/CBW2			
22	KW48	Chalok 1/S7094	67	KW98	W98-3032/KW25	111	KY38	SBW1/Y17	155	KBW41	KY303G/CBW2			
23	KW50	Landrace in Hwacheon, Korea	68	KW99	W98-3032/KW25	112	KY39	SBW1/Y17	156	KBW42	Landrace in Eumseong, Korea			
24	KW51	93Y93019(L96429)	69	KW100	99_Y17/KW11	113	KY40	98YWS2071/98YWS9004	157	KBW43	Landrace in Eumseong, Korea			
25	KW52	84-8027/A632wx	70	KW101	W98-4072/Y17	114	KY41	98S4072/Y8112	158	KBW44	KW23/CBW1			
26	KW53	Unknown	71	KW102	99_Y17/Y36-3	115	KY43	98S4072/Y8112	159	KBW45	Y17/SBW1			
27	KW54	97_IT185830	72	KW103	99_Y17/KW33E	116	KY44	98YWS3026/98YWS3013	160	KBW46	Y17/SBW1			
28	KW55	97_IT185834	73	KW104	Landrace in Wonju, Korea	117	KY45	KW3/KP2	161	KBW47	SBW2/Y17			
29	KW56	97_IT185849	74	KW105	Landrace in Zhejiang, China	118	KY47	Landrace in Yanbian, China	162	KBW48	SBW2/Y17			
30	KW57	Unknown	75	KW106	Landrace in Dongyang, China	119	KY48	Unknown	163	KBW49	KW23/SBW1			
31	KW58	97_KS7rg/KW7(1)-2	76	KW107	Landrace in Dongyang, China	120	KY49	Unknown	164	KBW50	KW23/SBW1			
32	KW59	97_KS81/KW2A(1)	77	KW109	96G_KW7/KW5_F2⊗	121	KY50	YWS3130/KY303	165	KBW51	KW23/SBW1			
33	KW60	Unknown	78	KW110	98Yuluoyihao(China)	122	KY51	YWS3130/KY303	166	KBW52	Landrace in Chilgok, Korea			
34	KW61	97_B100/KW7(1)-1	79	KW111	KW23 / KW33	123	KY52	YWS3130/KY303	167	KBW53	Suwon 30 F2/Goyang purple waxy 5			
35	KW62	KW7/B84//B84/CNUW	80	KW112	KW33/Y17	124	KY53	YWS3130/KY303	168	KBW54	Landrace in Yeongwol, Korea			
36	KW64	97_B79/KW7(1)	81	KW113	KW33/Y93019	125	KY54	YWS4065/ Y971340	169	KBW55	Unknown			
37	KW65	97_B100/CNUW(1)-1	82	KW114	KW33/Y93019	126	KY55	YWS4022/Y17	170	KBW56	Landrace in Pyeongchang, Korea			
38	KW66	Landrace in Jilin, China	83	KW115	Chalok 1/Landrace in Dongyang	127	KY56	YWS4022/Y17	171	KBW57	Unknown			
39	KW67	Landrace in Tonghua, China	84	KW116	Jeolgang9821/Jeolgang9703	128	KY57	YWS4022/Y17	172	KBW58	Y17/SBW1			
40	KW68	Landrace in Tonghua, China	<b>Yellow waxy corn</b>											
41	KW69	Landrace in Tonghua, China	85	KY2	KY303.L96519(9701)	130	KY59	KY303G/KW25	174	KBW60	BW5083/SBW2			
42	KW70	Landrace in Tonghua, China	86	KY3	Y1952(98058)	131	KY60	KY303G/KW25	175	KBW61	BW5083/SBW2			
43	KW71	97_B100/KW7(1)	87	KY8	BN62(99006)	<b>Purple waxy corn</b>								
44	KW72	97_B100/KW7(1)	88	KY9	BN64(99005)	132	KBW1	Landrace in Yanggu, Korea	176	KBW62	BW5083/SBW2			
						133	KBW63		177	KBW63	KY303/CBW2			

**Table 2.** Agronomic characteristics analyzed in this study.

Abbreviation	Traits	Unit	Measuring time
DT	Days to tasseling	days	At Flowering stage
DS	Days to silking	days	At Flowering stage
PL	Plant length	cm	At maturing stage
SL	Stem length	cm	At maturing stage
PE	Percentage of ear setting height	%	At maturing stage
LW	Leaf width	cm	At maturing stage
EL	Ear length	cm	After harvest
EW	Ear width	cm	After harvest
RE	Row number of ear	rows	After harvest
GL	Grain length	mm	After harvest
GW	Grain width	mm	After harvest
GT	Grain thickness	mm	After harvest
FE	Filled ear length	cm	After harvest
KE	Kernel number per ear row	kernels	After harvest
CP	Crude protein	%	After harvest
TS	Total starch	%	After harvest



**Fig. 1.** Boxplots for 16 quantitative traits in inbred Korean white waxy corn (WWC), yellow waxy corn (YWC), and purple waxy corn (PWC) lines. Significant differences are identified between samples as  $*p < 0.01$ ,  $**p < 0.005$ , and  $***p < 0.001$ . Plots show: (A) days to tasseling; (B) days to silking; (C) plant length; (D) stem length; (E) percentage of ear setting height; (F) leaf width; (G) ear length; (H) ear width; (I) number of rows per ear; (J) grain length; (K) grain width; (L) grain thickness; (M) filled ear length; (N) number of kernels per row; (O) crude protein; and (P) total starch.

**Table 3.** Correlation analysis among 16 agronomic traits of the Korean waxy corn inbred lines.

	DT	DS	PL	SL	PE	LW	EL	EW	RE	GL	GW	GT	FE	KE	CP	TS
DT	1.000															
DS	0.896***	1.000														
PL	0.163***	0.182***	1.000													
SL	0.547***	0.510***	0.740***	1.000												
PE	0.468***	0.539***	0.202***	0.348***	1.000											
LW	0.358***	0.401***	0.320***	0.319***	0.478***	1.000										
EL	0.158***	0.202***	0.379***	0.273***	0.275***	0.437***	1.000									
EW	0.093*	0.131*	0.226***	0.119**	0.272***	0.262***	0.474***	1.000								
RE	0.208***	0.238***	0.134**	0.226***	0.241***	0.125**	0.178***	0.458***	1.000							
GL	0.216***	0.261***	0.363***	0.286***	0.369***	0.447***	0.505***	0.545***	0.372***	1.000						
GW	0.183***	0.195***	0.268***	0.205***	0.183***	0.394***	0.380***	0.223***	-0.192***	0.479***	1.000					
GT	-0.078	-0.077	-0.016	-0.078	-0.136**	0.053	0.085*	-0.083	-0.161***	-0.043	0.263***	1.000				
FE	0.193***	0.174***	0.263***	0.238***	0.158***	0.245***	0.444***	0.116**	-0.041	0.151***	0.207***	0.018	1.000			
KE	0.182***	0.215***	0.237***	0.227***	0.237***	0.210***	0.416***	0.181***	0.156***	0.231***	0.067	-0.297***	0.675***	1.000		
CP	-0.023	-0.007	-0.026	0.019	-0.091	-0.176***	-0.095*	-0.117*	0.144**	-0.086	-0.078	0.157***	-0.194***	-0.143**	1.000	
TS	0.049	0.004	-0.127**	-0.065	-0.091*	-0.202***	-0.295***	-0.215***	-0.095*	-0.198***	-0.106*	-0.084	0.024	0.060	-0.194***	1.000

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

이를 나타내지는 않았다(Fig. 1D). 평균 착수고율은 검정찰옥수수 집단이 54.0±9.3%로 흰찰 47.8±8.7%, 노랑찰 47.5±7.8% 보다 다소 높게 나타났다(Fig. 1E). 착수고율은 옥수수 도복에 관여하는 중요한 형질로 내도복성이 강한 계통들은 착수고율이 50% 내외인 것으로 알려져 있다(Ryu *et al.*, 2001). 평균 엽폭은 흰찰옥수수 7.3±1.5 cm, 노랑찰옥수수 7.7±1.4 cm, 검정찰옥수수 7.7±1.3 cm였으며 최소 3.7 cm에서 최대 12.3 cm로 넓은 분포 범위를 보였다(Fig. 1F). 엽폭은 식물체의 광합성과 연관되어 이삭 수량에 영향을 미칠 수 있으므로 옥수수 육종 프로그램에서 고려해야 할 주요 형질 중 하나이다(Baute *et al.*, 2015).

찰옥수수 계통 선발 시 이삭특성은 중요한 농업형질이다. 이삭길이는 5.0~18.4 cm로 분포하였고 평균 이삭길이는 흰찰옥수수 11.4±2.5 cm, 노랑찰옥수수 12.3±2.7 cm, 검정찰옥수수 11.7±2.3 cm였다(Fig. 1G). 이삭폭은 1.4~4.5 cm의 범위였고, 이삭 열수는 7~32열의 분포를 보였다(Fig. 1H, 1I). 종자의 평균 길이는 노랑찰옥수수가 8.1±1.1 cm로 흰찰옥수수 7.5±1.1 cm, 노랑찰옥수수 7.8±1.0 cm 보다 길이가 길게 나타났다(Fig. 1J). 종자의 평균 너비 역시 노랑찰옥수수가 7.7±0.8 cm로 흰찰옥수수 7.3±0.8 cm, 검정찰옥수수 7.4±0.9 cm 보다 길게 나타났다(Fig. 1K). 종자의 평균 두께는 흰찰옥수수 5.2±0.6 mm, 노랑찰옥수수 5.1±0.7 mm, 검정찰옥수수 4.7±0.7 mm였다(Fig. 1L). 이삭 평균 열당 종자수는 검정찰옥수수가 25.9±3.4개로 흰찰옥수수 23.0±4.2개, 노랑찰옥수수 25.0±4.2개로 검정찰옥수수의 평균 열당

종자수가 가장 많았다(Fig. 1N). 옥수수 종실의 조단백질 함량은 8.9~21.8%의 분포를 보였고, 평균 조단백질 함량은 흰찰옥수수 12.2±1.3%, 노랑찰옥수수 12.0±1.9%, 검정찰옥수수 11.7±1.4%였다(Fig. 1O). 총 전분 함량은 49.5~83.9%의 분포였고, 평균 총 전분 함량은 검정찰옥수수가 71.2±6.1%로 흰찰옥수수 69.0±4.8%, 노랑찰옥수수 67.8±6.4% 보다 다소 높은 경향을 나타내었다(Fig. 1P).

**찰옥수수 자식계통과 농업형질 특성 간의 상관관계와 주 성분 분석**

흰찰옥수수 84계통, 노랑찰옥수수 47계통, 검정찰옥수수 46계통과 16개의 양적형질간의 상관관계 분석을 수행하였다(Table 3). 출용일수와 출사일수 간의 상관관계가 0.896으로 가장 높게 나타났으며, 초장과 간장 간의 상관관계가 0.740으로 다음으로 높게 나타났다. 이삭착립장과 이삭 열당 종자수도 0.675로 상관관계가 비교적 높게 나타났다. 조단백질 함량과 총 전분은 종실의 중요한 특성 중 하나인데 조사된 16개 양적형질 대부분과 낮은 부의상관관계를 나타내었다. 이전 연구에서 옥수수 양적형질 중 수량과 높은 정의 상관관계를 나타내는 것은 간장, 착수고, 이삭, 종실 관련 형질로 알려져 있다(Alvi *et al.*, 2003; Bocanski *et al.*, 2009).

주성분 분석에서 고유값(Eigenvalue)이 1보다 큰 성분이면수 한 개 이상의 분산을 설명하기 때문에 일반적으로 고유값이 1보다 큰 성분을 추출하여 분석을 수행하게 된다

**Table 4.** The eigenvalue estimated from principal component analysis.

Component	Eigenvalue	Cumulative variance
1	4.488	28.047
2	2.008	40.597
3	1.682	51.109
4	1.475	60.328
5	1.305	68.481
6	1.008	74.780
7	0.850	80.090
8	0.662	84.231
9	0.609	88.040
10	0.468	90.966
11	0.393	93.422
12	0.341	95.556
13	0.265	97.211
14	0.221	98.593
15	0.144	99.494
16	0.081	100.00

(Lee & Park, 2003). 본 연구에서는 1~6성분이 1보다 큰 값을 가져 이 6개 성분을 추출하여 분석을 수행하였다. 주성분 기여율에서 1~6성분이 전체 변이의 74.78%를 나타내었다(Table 4). 제1성분은 16개의 양적형질 중 이삭폭, 종자길이, 이삭길이가 양의 방향으로 0.818, 0.787, 0.605로 작용한 것으로 보아 이삭크기와 관련된 성분이었고, 제2성분은 출용일수, 출사일수, 착수고율이 0.929, 0.918, 0.671로 양의 방향으로 크게 기여한 것으로 보아 개화일수와 관련된 성분이었다(Table 5). 반면 총 전분은 제1성분에서 -0.478로 음의 방향으로 크게 기여하는 것으로 나타났다. 분석에 이용한 16개의 농업형질 중에서 이삭폭, 종자길이, 이삭길이, 출용일수, 출사일수, 착수고율, 총 전분이 177개의 계통을 식별하는데 유용한 형질들인 것으로 보인다.

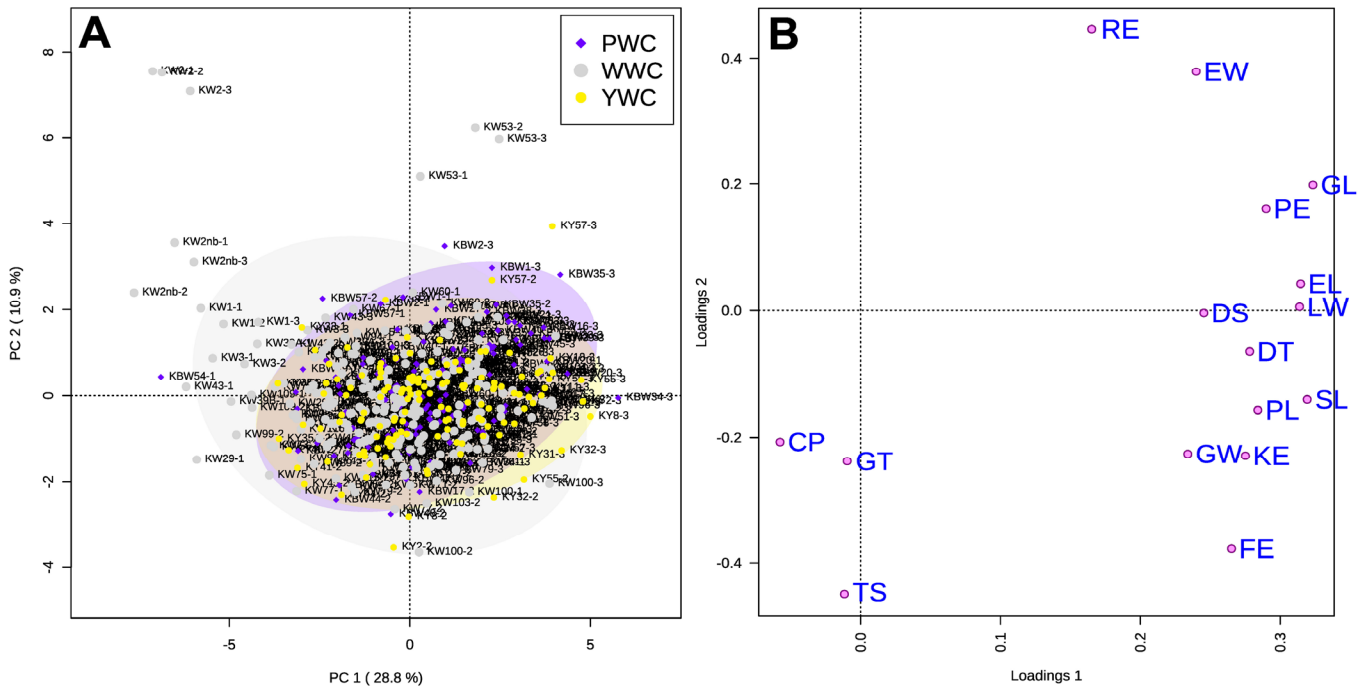
주성분 분석 결과를 바탕으로 score plot과 loading plot을 그렸고 이를 Fig. 2에 나타내었다. 16개의 농업형질 중에서 조단백질, 총 전분, 종자두께는 loading plot의 좌측 하단에 위치하였으며, 이삭열수, 이삭폭, 종자길이, 착수고율, 이삭길이는 우측 상단에 위치하였다. 우측 하단에는 이삭착립장, 종자너비, 열당 종자수, 초장, 간장이 위치하였다. 제2성분에서 양의 방향으로 크게 기여하였던 출용일수와 출사일수는 loading plot 우측 상하 경계에 위치하였다(Fig. 2B).

**Table 5.** The eigenvector by the first to six principal components.

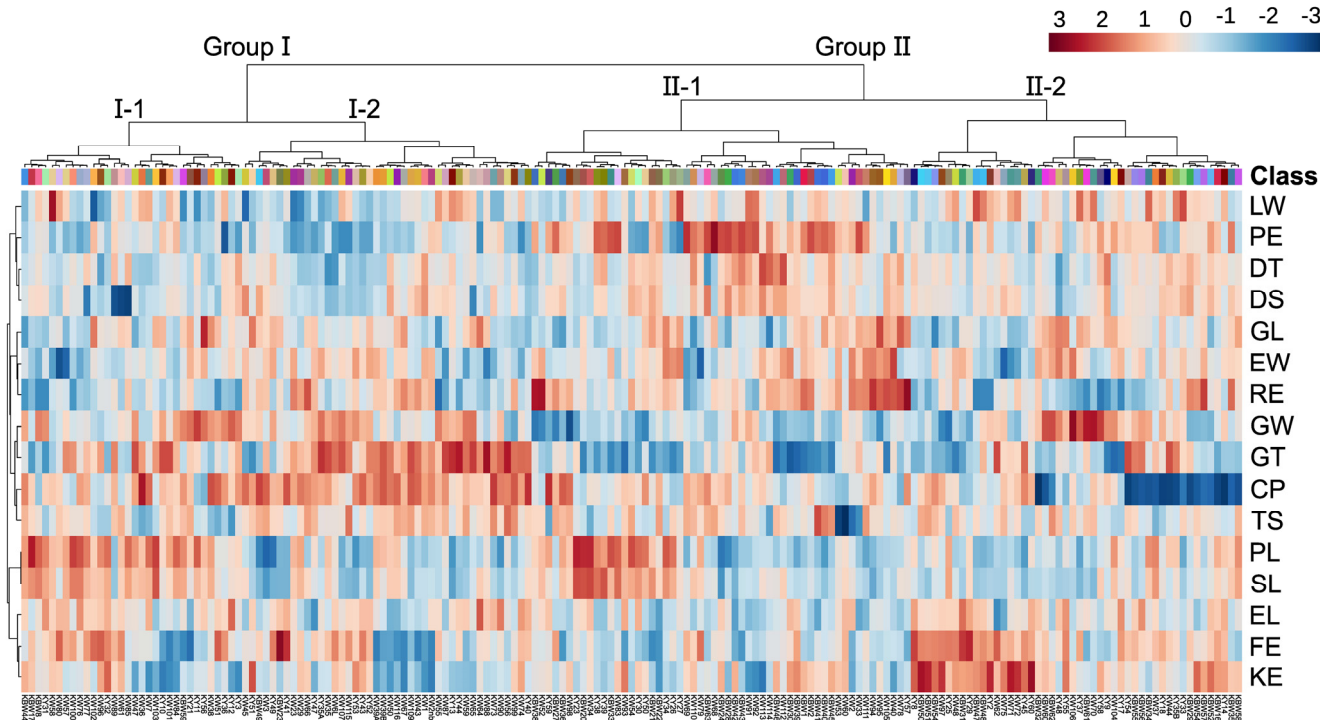
Traits	Component					
	1	2	3	4	5	6
EW	0.818	0.022	0.066	0.066	-0.118	-0.071
GL	0.787	0.197	0.078	0.169	0.107	-0.064
EL	0.605	0.064	0.531	0.149	0.236	0.067
RE	0.550	0.187	-0.034	0.078	-0.531	0.301
TS	-0.478	0.094	0.022	-0.028	-0.235	-0.447
LW	0.456	0.453	0.153	0.085	0.333	-0.164
DS	0.031	0.929	0.086	0.125	-0.032	0.054
DT	-0.044	0.918	0.081	0.152	-0.039	0.038
PE	0.350	0.671	0.064	0.022	0.000	-0.128
FE	0.019	0.087	0.894	0.119	0.112	-0.079
KE	0.124	0.126	0.883	0.084	-0.188	-0.085
PL	0.245	-0.004	0.144	0.919	0.061	-0.013
SL	0.044	0.411	0.119	0.857	-0.045	0.066
GT	-0.078	-0.125	-0.113	-0.060	0.709	0.298
GW	0.341	0.187	0.106	0.130	0.699	-0.144
CP	-0.093	0.012	-0.101	0.025	-0.014	0.881

16개 농업형질과 자식계통간의 계층 군집분석에서 시험계통들은 크게 두개 그룹으로 나누어 졌다(Fig. 3). KW100, KW103, KBW17, KY11 등을 포함하는 32개 자식계통은 초장, 간장과 연관성이 높았으며, KW56, KW88, KY44 등을 포함하는 42개 자식계통은 조단백 함량, 종실 두께와 연관성이 높게 나타났다. 출용일수, 출사일수와 연관이 높은 계통은 KW2, KW92, KBW28 등 55개 계통이었으며, group II에 포함된 자식계통들이 주성분 분석에서 계통을 식별하는데 유용한 양적형질인 이삭길이, 이삭폭, 출용일수, 출사일수 등과 연관성이 높게 나타났다. 일반적으로 수량성과정의 상관을 나타내는 초장이 크고 동시에 출사일수가 짧은 흰찰 자식계통 7개(KW34, KW37, KW83, KW84, KW85, KW100, KW103), 검정찰 자식계통 1개(KBW33), 노랑찰 자식계통 4개(KY11, KY23, KY26, KY34)는 조생종이면서 수량이 높은 품종을 개발하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

간식용 찰옥수수 품종 육성에서 가장 중요한 형질은 찰옥수수의 찰진 식감과 맛이지만 이는 개인의 기호가 많이 반영되는 영역이기 때문에 많은 집단을 대상으로 식미평가가 이루어져야 한다는 어려움이 있다. 맛이 우수하더라도 수량성이 떨어지고 생육특성이 나쁘면 좋은 품종을 생산할



**Fig. 2.** A score plot (A) and a loading plot (B) of principal component analysis for 16 quantitative traits of inbred lines of white waxy corn (WWC), yellow waxy corn (YWC), and purple waxy corn (PWC).



**Fig. 3.** Hierarchical cluster analysis heatmaps for 117 Korean inbred waxy corn lines based on 16 agricultural characteristics. Hierarchical clustering of mean values was visualized using Pearson's correlation distance and Ward clustering.



수 없다. 그러므로 본 연구가 우수계통육성과 신규교배조합 구성에 유용한 정보를 제공하여 고품질 찰옥수수 품종 개발을 위한 기초자료로 유용하게 사용될 수 있다.

## 적 요

본 연구는 국립식량과학원에서 고품질 내재해성 찰옥수수 품종 개발을 위해 육성한 177개의 흰찰옥수수, 노랑찰옥수수, 검정찰옥수수 자식계통을 이용하여 16개 농업형질에 대해 평가하여 우수 계통 선발 및 품종 개발을 위한 기초 자료로 이용하고자 수행하였다.

1. 흰찰옥수수, 노랑찰옥수수, 검정찰옥수수 자식계통의 16개 농업형질을 조사한 결과 전체 계통의 평균 출용일수는  $77.69 \pm 2.22$ 일, 출사일수  $81.12 \pm 7.56$ 일, 초장  $164.88 \pm 22.67$  cm, 간장  $124.61 \pm 24.62$  cm, 착수고율  $49.34 \pm 9.08\%$ , 옆폭  $7.53 \pm 1.45$  cm, 이삭길이  $11.75 \pm 2.52$  cm, 이삭폭  $2.94 \pm 0.68$  cm, 이삭열수  $12.22 \pm 2.22$ 열, 종자길이  $7.75 \pm 1.08$  mm, 종자너비  $7.42 \pm 0.68$  mm, 종자두께  $5.06 \pm 0.68$  mm, 이삭착립장  $11.79 \pm 2.13$  cm, 열당 종자수  $24.30 \pm 4.22$ 립, 조단백질  $12.05 \pm 1.53\%$ , 총 전분  $69.27 \pm 5.74\%$ 로 조사되었다.
2. 16개 농업형질 간의 상관관계 분석결과 출용일수와 출사일수 간의 상관관계가 0.896으로 가장 높게 나타났다. 초장과 간장 간의 상관관계가 0.740로, 이삭착립장과 이삭 열당 종자수도 0.675로 상관관계가 다음으로 높았다.
3. 주성분 분석 결과 16개의 농업형질 중에서 이삭폭, 종자길이, 이삭길이, 출용일수, 출사일수, 착수고율, 총 전분이 177개 옥수수 자식계통을 식별하는데 유용한 형질들인 것으로 나타났다.
4. 계층 군집분석을 통해 초장이 크고 동시에 출사일수가 짧은 흰찰 자식계통 7개(KW34, KW37, KW83, KW84, KW100, KW103), 검정찰 자식계통 1개(KBW33), 노랑찰 자식계통 4개(KY11, KY23, KY26, KY34)를 선발하였다. 이 계통들은 수량성이 높은 조생종 찰옥수수 품종을 개발하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 찰옥수수 자식계통 육성 및 생산력검정시험, 세부과제번호: PJ01680603)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Almeida, B. M., L. L. Feitoza, Â. C. A. Lopes, R. L. F. Gomes, R. C. Almeida, L. V. Martins, and V. B. Silva. 2022. Morphological diversity among Brazilian Capsicum peppers. *Cienc Rural* 53 : e20210559
- Alvi, M. B., M. Rafique, M. S. Tariq, A. Hussain, T. Mahmood, and M. Sarwar. 2003. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Biol. Sci.* 6 : 126-138.
- Baek, S. B., B. Y. Son, J. T. Kim, H. H. Bae, Y. S. Go, and S. L. Kim. 2020. Changes and Prospects in the Development of Corn Varieties in Korea. *Korean J. Breed Sci.* 52 : 93-102.
- Barth, E., J. T. V. de Resende, K. H. Mariguel, M. D. V. de Resende, A. da Silva, and S. Ru. 2022. Multivariate analysis methods improve the selection of strawberry genotypes with low cold requirement. *Sci. Rep.* 12 : 11458.
- Barth, E., J. T. V. Resende, A. F. P. Moreira, K. H. Mariguel, A. R. Zeist, M. B. Silva, G. C. G. Stulzer, J. G. M. Mafra, L. S. A. Gonçalves, S. R. Roberto, and K. Youssef. 2020. Selection of Experimental Hybrids of Strawberry Using Multivariate Analysis. *Agronomy (Basel)* 10 : 598.
- Baute, J., D. Herman, F. Coppens, J. De Block, B. Slabbinck, M. Dell'Acqua, M. E. Pe, S. Maere, H. Nelissen, and D. Inze. 2015. Correlation analysis of the transcriptome of growing leaves with mature leaf parameters in a maize RIL population. *Genome Biol.* 16 : 168.
- Bocanski, J., Z. Sreckov, and A. Nastasic. 2009. Genetic and phenotypic relationship between grain yield and components of grain yield of maize (*Zea mays* L.). *Genetika* 41 : 145-154.
- Etheridge, R. D., G. M. Pesti, and E. H. Foster. 1998. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. *Anim. Feed Sci. Technol.* 73 : 21-28.
- Gong, K. and L. Chen. 2013. Characterization of Carbohydrates and Their Metabolizing Enzymes Related to the Eating Quality of Postharvest Fresh Waxy Corn. *J. Food Biochem.* 37 : 619-627.
- Lee, I. S. and J. O. Park. 2003. Assessment and Classification of Korean Indigenous Corn Lines by Application of Principal Component Analysis. *Kor. J. Life Sci.* 13 : 343-348.
- Lee, J. S., H. H. Bae, J. T. Kim, B. Y. Son, S. B. Baek, S. L. Kim, Y. S. Go, G. Yi, and S. H. Shin. 2020. 'Hwangeummitchal', a Single Cross Hybrid Waxy Corn with High Carotenoid Content and Good Eating Quality. *Korean J. Breed Sci.* 52 : 467-472.
- Nelson, O. and D. Pan. 1995. Starch synthesis in maize endosperms. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46 : 475-496.
- Pang, Z., G. Zhou, J. Ewald, L. Chang, O. Hacariz, N. Basu, and J. Xia. 2022. Using MetaboAnalyst 5.0 for LC-HRMS spectra



- processing, multi-omics integration and covariate adjustment of global metabolomics data. *Nat. Protoc.* 17 : 1735-1761.
- Park, S. U., K. Y. Park, S. W. Cha, Y. H. Son, R. K. Park, S. H. Song, J. K. Hong, and U. H. Kim. 1992. A new early maturing and high quality single cross waxy corn hybrid "Chalok 1". *Research Reports of the Rural Development Administration, Upland & Industrial Crops* 34 : 61-64.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. *Agricultural science technology standards for investigation of research.* pp. 366-385.
- Ryu, S. H., J. Y. Park, N. K. Huh, and H. K. Min. 2001. Relationship between genetic distance and hybrid performance of black waxy corn (*Zea mays* L.). *Korean J. Breed Sci.* 33 : 95-103.
- Simla, S., K. Lertrat, and B. Suriharn. 2010. Carbohydrate Characters of Six Vegetable Waxy Corn varieties as Affected by Harvest Time and Storage Duration. *Asian J. Plant Sci.* 9 : 463-470.
- Wu, X., W. Long, D. Chen, G. Zhou, J. Du, S. Wu, and Q. Cai. 2022. Waxy allele diversity in waxy maize landraces of Yunnan Province, China. *J. Integr. Ag.* 21 : 578-585.
- Yu, J. K. and Y. S. Moon. 2021. Corn Starch: Quality and Quantity Improvement for Industrial Uses. *Plants* 11 : 92.