한국, 불가리아, 엘살바도르 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* L.) 유전자원의 농업 및 종자 형질 비교: 한국, 불가리아, 엘살바도르 강낭콩 유전자원의 농업 및 종자 형질 비교

이수경¹ · 현도윤² · 이경준³ · 이승범¹ · 유은애¹ · 조규택^{1*} · 고희종^{4*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, ²국립한국농수산대학 식량작물학과,

³국립호남권생물자원관 생물다양성연구부, ⁴서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부

Comparison of Agronomic and Seed Traits of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Germplasm from Korea, Bulgaria, and El Salvador

Sookyong Lee¹, Do Yoon Hyun², Kyung Jun Lee³, Seungbum Lee¹, Eunae Yoo¹, Gyu-Taek Cho^{1*}, and Hee-Jong Koh^{4*}

¹National Agrobiodiversity Center, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju, 54874, Republic of Korea

²Department of Food crops, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju, 54874, Republic of Korea

³Division of Genetic Diversity, Honam National Institute of Biological Resources, Mokpo, 58762, Republic of Korea

⁴Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Plant Genomics and Breeding Institute, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 08826, Republic of Korea

Abstract To compare agronomic and seed traits of 135 common bean landraces originating from Korea, Bulgaria, and El Salvador, we evaluated 20 morphological traits and performed principal component analysis (PCA). In the PCA, the first and second principal components accounted for 55.15% and 15.97% of the total variance, respectively. The first component showed a strong positive correlation with seed size and 100-seed weight, whereas the second component produced a strong negative correlation with days to flowering and days to maturity, indicating that these traits may explain the differences between landraces originating from different countries. Landraces from Korea showed higher variation in days to flowering and days to maturity; those from Bulgaria produced larger and heavier seeds; those from El Salvador produced smaller and lighter seeds and flowering and maturity occurred earlier. In addition, the landraces from El Salvador had relatively lower diversity compared to those from other countries, as they were grouped within a small cluster in the PCA. These evaluation results may provide important information for selecting breeding materials, and diversity analyses of landraces from different countries provide information for securing genetic resources.

Keywords common bean, germplasm, landrace, country of origin, agronomic trait

Received on November 4, 2021. Revised on November 28, 2021. Accepted on November 29, 2021.

* Corresponding Author: Gyu-Taek Cho (E-mail: gtcho@korea.kr, Tel: +82-63-238-4881, Fax: +82-63-238-4859)

* Co-corresponding Author: Hee-Jong Koh (E-mail: heejkoh@snu.ac.kr, Tel: +82-2-880-4541, Fax: +82-2-877-4550)

서 언

강낭콩(*Phaseolus vulgaris* L.)은 전세계적으로 널리 이용되는 두류작물이다(Chavez-Servia et al. 2016). 역사적으로, *Phaseolus* 속은 600만년 전에 발생했고, *Phaseolus* 속으로부터 *Phaseolus vulgaris*는 8천년 전에 메소아메리카(Mesoamerica)와 안데스(Andean) 지역에서 독립적으로 순화되어, 두 개의 주요한 유전자 풀(gene pool)을 생성하였다(Castro-Guerrero et al. 2016, Lioi & Piergiovanni 2013,). 독립적으로 순화된 두 개의 유전자풀은 아메리카 대륙에서 500년 전에 유럽으로 전파되었고, 400년 전에

아프리카와 아시아 대륙으로 전파되었다(Castro-Guerrero et al. 2016). 이와 같이 다양한 환경으로 전파되고 적응하였기 때문에 강낭콩의 형태적 다양성이 매우 높다(Bareke 2019, Singh et al. 1991). 특히, 재래종들은 각 지역 환경에 맞게 적응하고 오랜 기간 재배되었기 때문에 개발된 품종보다 형태적으로 다양성이 높은 것으로 알려져 있다(Negri et al. 2009).

강낭콩 종자는 단백질뿐만 아니라 탄수화물, 무기질, 비타민 등 다양한 성분들을 가지고 있어 영양학적 가치가 높다고 알려져 있으므로 강낭콩 육종에 있어 영양성분은 중요한 목표이다(Bareke 2019, Broughton et al. 2003). 강낭콩 육종에 있어 종자의 크기,

형태, 색깔 등 형태 특성 또한 이용측면에서 중요한 형질 중 하나이다. 가령, 한국에서는 강낭콩이 주로 밥밀콩으로 이용되고 있으며(Lee et al. 2001), 밥밀콩으로 쓰이는 강낭콩의 경우 종자의 크기가 크고, 색이 진한 품종이 선호되고 있다(Kim et al. 2021).

농업형질 중 성숙일수는 강낭콩 재배시 조생종 및 만생종을 결정짓는 요소이다. 강낭콩의 경우 생육일수가 90에서 130일로 정도로 다른 작물에 비해 짧아 강낭콩 재배 후 가을채소 등을 재배할 수 있어(Choi et al. 2015, Shin et al. 2008) 강낭콩 조생종 품종 육성은 농가소득 향상을 위한 중요한 육종목표가 된다. 이러한 품종 육성을 위해서는 다양한 유전자원에 대해 육종목표에 맞는 형질들에 대한 면밀한 특성평가가 선행되어야 할 것이다.

본 연구는 농업유전자원센터 보유 한국, 불가리아, 엘살바도르 원산의 강낭콩 재래종 자원들에 대해 형태적 특성평가를 수행하고, 특성평가 결과를 원산지별로 비교하여 지역별 특성 및 형태적 다양성을 분석하고자 한다. 다양한 원산지 자원들에 대한 형태적 특성평가 결과는 강낭콩 품종 육성시 육종소재를 선발하는데 중요한 기초정보로서 활용될 수 있을 것이다. 또한, 원산지별 형태적 다양성 분석은 농업유전자원센터 보유 자원에 대한 다양성 평가 및 다양성 확보 계획수립에 중요한 자료로 활용될 것이다.

재료 및 방법

공시재료

농촌진흥청 농업유전자원센터(<http://genebank.rda.go.kr>)에서 보유하고 있는 강낭콩 중에서 대륙별로 가장 높은 비율을 차지하는 나라인 한국(아시아), 불가리아(유럽), 엘살바도르(북아메리카)에서 수집된 재래종을 실험재료로 선정하였으며, 남아메리카, 아프리카, 오세아니아 자원들은 5자원 미만으로 제외하였다. 이 연구에서 사용한 강낭콩 자원은 135자원이며, 한국 40자원, 불가리아 50자원, 엘살바도르 45자원이다(Table 1).

형태적 특성 조사

강낭콩 유전자원은 2020년 4월 9일에 20립씩 육묘상자에 파종하여 3주동안 키운 후 농업유전자원센터 시험 포장에 자원별 10개체씩 정식하였다. 강낭콩 형태적 특성 조사는 농업유전자원센터 특성평가 기준 표준안에 따라 수행하였다(Table 2). 형태적 조사 항목은 식물체, 꽃, 꼬투리, 종자에 대해 이루어졌는데, 특히 주로 종자로 이용되는 강낭콩에 대한 유용한 정보를 제공하고자 종자형질에 대해 중점적으로 특성평가를 수행하였다. 종자형질 중 종자면적(Seed area, SA), 종자둘레(Seed perimeter, SP), 종자길이(Seed length, SL), 종자너비(Seed width, SW), 장폭비(Length/width ratio, L/W)는 ImageJ (Abramoff et al. 2004) 프로그램을 이용하여 자원당 20반복으로 측정하였다(Supplementary Fig. 1).

Table 1. List of common beans used in this study

Accession No.	Country of origin	Accession No.	Country of origin	Accession No.	Country of origin
101029	Korea	301837	Korea	K156165	Bulgaria
103070	Korea	301838	Korea	K156199	Bulgaria
103601	Korea	305226	Korea	K156235	Bulgaria
104302	Korea	229451	Bulgaria	K156454	Bulgaria
104587	Korea	229452	Bulgaria	K156552	Bulgaria
105200	Korea	230269	Bulgaria	K156577	Bulgaria
105463	Korea	230561	Bulgaria	K156592	Bulgaria
105800	Korea	230564	Bulgaria	230575	Bulgaria
105875	Korea	230570	Bulgaria	230859	Bulgaria
108897	Korea	230577	Bulgaria	250143	Bulgaria
108950	Korea	230853	Bulgaria	260952	Bulgaria
109179	Korea	230856	Bulgaria	276437	Bulgaria
168098	Korea	230860	Bulgaria	305400	Bulgaria
168117	Korea	230863	Bulgaria	305401	Bulgaria
175918	Korea	230868	Bulgaria	305403	Bulgaria
180488	Korea	230869	Bulgaria	305532	Bulgaria

Table 1. Continued

Accession No.	Country of origin	Accession No.	Country of origin	Accession No.	Country of origin
180579	Korea	230870	Bulgaria	328910	El Salvador
180807	Korea	230872	Bulgaria	K223238	El Salvador
180812	Korea	230873	Bulgaria	K223245	El Salvador
191171	Korea	230874	Bulgaria	K223249	El Salvador
209143	Korea	230876	Bulgaria	300985	El Salvador
209144	Korea	230879	Bulgaria	300986	El Salvador
212057	Korea	230880	Bulgaria	300987	El Salvador
231363	Korea	230882	Bulgaria	300990	El Salvador
900080	Korea	230884	Bulgaria	300993	El Salvador
910869	Korea	237420	Bulgaria	300994	El Salvador
K041614	Korea	250141	Bulgaria	300997	El Salvador
100888	Korea	250152	Bulgaria	300999	El Salvador
103779	Korea	289266	Bulgaria	301001	El Salvador
108701	Korea	K136865	Bulgaria	301002	El Salvador
112802	Korea	K136875	Bulgaria	301003	El Salvador
180810	Korea	K136937	Bulgaria	301004	El Salvador
185484	Korea	K139667	Bulgaria	301006	El Salvador
189599	Korea	K146625	Bulgaria	301007	El Salvador
208907	Korea	K146639	Bulgaria	301011	El Salvador
290025	Korea	K146879	Bulgaria	301012	El Salvador
301610	Korea	K156153	Bulgaria	301013	El Salvador
301014	El Salvador	328884	El Salvador	328895	El Salvador
301015	El Salvador	328885	El Salvador	328896	El Salvador
301016	El Salvador	328886	El Salvador	328897	El Salvador
301017	El Salvador	328887	El Salvador	328898	El Salvador
301018	El Salvador	328889	El Salvador	328903	El Salvador
301019	El Salvador	328890	El Salvador	328905	El Salvador
301021	El Salvador	328891	El Salvador	328907	El Salvador
328883	El Salvador	328892	El Salvador	328908	El Salvador

Table 2. Descriptor of 20 agronomic and seed traits used in this study

Trait	Abbreviation	Organ	Description
Growth habit	GH	-	1: determinate bush; 2: indeterminate bush; 3: indeterminate upright
Banner color	Cb	Flower	1: white; 2: green; 3: purple; 4: white with purple dots or red stripes; 5: dark purple with purple stripes; 6: orange; 7: red purple
Wing color	Cw	Flower	1: white; 2: green; 3: purple; 4: orange; 5: white with purple dots or red stripes; 6: red; 7: dark purple with purple stripes; 8: red purple
Pod color at maturity	PCm	Pod	0: light yellow; 1: dark red purple; 2: orange; 3: green with red purple stripes; 4: green with red stripes; 5: dark red; 6: green; 7: grey green; 8: yellow
Pod color at harvest	PCh	Pod	1: yellow; 2: brown; 3: dark green; 4: dark brown; 5: others
Pod curvature	PC	Pod	1: straight; 5: slightly curved; 7: curved; 9: recurving
Days to flowering	DTF	Flower	Days from sowing to flowering in 2-3 plants
Days to maturity	DTM	Pod	Days from sowing to pod maturity in 2-3 plants

Table 2. Continued

Trait	Abbreviation	Organ	Description
Pod length	PL	Pod	Average pod length (cm) of 10 immature pods
Pod width	PW	Pod	Average pod width (mm) of 10 immature pods
Seed brilliance	SB	Seed	0: matt; 3: weak; 5: medium; 7: shiny
Seed color	SC	Seed	1: white; 2: yellow; 3: green; 4: red; 5: red purple; 6: navy; 7: brown; 8: black; 9: pink; 10: bicolor
Seed shape	SS	Seed	1: round; 2: oval; 3: cuboid; 4: kidney shaped; 5: truncate fastigiate
Seed number per pod	SNPP	Seed	Average number of seeds in 10 mature pods
Seed area	SA	Seed	Average area (mm ²) of 20 seeds
Seed perimeter	SP	Seed	Average perimeter (mm) of 20 seeds
Seed length	SL	Seed	Average of the longest length (mm) of 20 seeds
Seed width	SW	Seed	Average of the shortest length (mm) of 20 seeds
Length/width ratio	L/W	Seed	Calculated by dividing seed length by seed width
100-seed weight	100SW	Seed	Average weight (g) of 100 seeds

통계분석

이 연구에서 수행한 모든 통계분석은 R 소프트웨어(버전 4.0.2.)를 이용하였다. 강낭콩 재래종의 원산지별 양적형질의 평균을 비교하기 위해 분산분석을 수행하였고, 양적형질들 간의 유의성을 분석하기 위해 상관분석을 수행하였다. 또한, 원산지별 강낭콩 재래종의 특성을 가장 잘 설명하는 주요인을 찾기 위해 양적형질들에 대해 주성분분석을 수행하였다.

결과

원산지별 강낭콩 유전자원의 농업 및 종자 형질 변이

한국, 불가리아, 엘살바도르 원산 재래종 강낭콩 135자원에 대해 10개의 농업 형질과 10개의 종자 형질(9개 질적, 1개 양적)에 대한 특성 평가를 수행하였다. 특성평가 결과는 질적형질과 양적형질로 나누어 나타내었다(Fig. 1, Table 3). 9가지의 질적형질에 대해서 강낭콩 재래종 자원은 다양성을 보였으며 각 형질별 차지하는 원산지의 비율도 다양했다(Fig. 1). 전체 자원에 대해, 신육형(GH)의 경우 유한 부시형(determinate bush) 31자원(23%), 무한 부시형(indeterminate bush) 53자원(39.3%), 무한 직립형(indeterminate upright) 51자원(37.8%)으로 나타났다. 기판(Cb)과 익판(Cw)의 색상은 백색이 전체 자원 중 각각 49자원(36.3%), 89자원(65.9%)에서 나타나 가장 많았다. 협색(PCm)의 경우 진홍색이 44자원(32.6%), 협2차색(PCh)의 경우 황색이 66자원(48.9%)으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 전체 자원들 중 협만곡(PC)은 약간굽음형(80자원, 59.3%)이 가장 많았으며, 종피광택(SB)이 강하며(56자원, 41.5%), 종피색(SC)이

Fig. 1. Distribution of qualitative traits according to country of origin. Legends of each graph follow qualitative trait description in Table 2. KOR, Korea; BGR, Bulgaria; SLV, El Salvador; GH, Growth habit; Cb, Banner color; Cw, Wing color; PCm, Pod color at maturity stage; PCh, Pod color at harvest stage; PC, Pod curvature; SB, Seed brilliance; SC, Seed color; SS, Seed shape.

적자색(48자원, 35.6%) 또는 흰색(44자원, 32.6%)인 자원들이 높은 비율을 차지하였다. 종자모양(SS)는 끝이 뾰족한 형(truncate fastigiate, 62자원, 45.9%)과 입방형(cuboid, 43자원, 31.9%)이 높은 비율을 차지했다. 11개의 양적형질에 대해서 강낭콩 유전자원들은 원산지별로 다양한 변이를 보였다(Table 3, Supplementary Table 1). 개화일수(DTF)와 성숙일수(DTM)의 경우, 엘살바도르 원산 자원의 개화일수 및 성숙일수가 각각 49.78일과 78.53일로 한국과 불가리아 원산 자원보다 짧았다. 협장(PL)과 협폭(PW)의 경우 불가리아 원산의 자원이 한국 및 엘살바도르 원산보다 크기가 컸으며, 협당립수(SNPP)의 경우 불가리아 원산 자원이 제일 적었고 엘살바도르 원산 자원이 가장 많았다. 종자면적, 종자둘레, 종자길이, 종자너비, 백립중은 원산지별로 불가리아, 한국, 엘살바도르 순으로 작아지는 경향을 보였다.

상관분석

재래종 강낭콩 유전자원의 양적형질을 이용해 상관분석을 수행한 결과는 Fig. 2와 같다. 개화일수와 성숙일수의 경우 높은 양의 상관관계(0.62)를 보였으며, 종자의 크기를 나타내는 종자면적, 종자둘레, 종자길이, 종자너비와 백립중(100SW)들은 서로 높은 양의 상관관계(0.81~0.99)를 보였다. 장폭비의 경우, 협장(0.59), 협폭(0.22), 종자면적(0.48), 종자둘레(0.59), 종자길이(0.71), 백립중(0.3)과 양의 상관관계를 보였으나, 개화일수, 성숙일수, 협당립수, 종자너비와는 상관관계를 보이지 않았다. 협당립수의 경우 협장과 장폭비를 제외한 나머지 양적형질에 대해 음의 상관관계(-0.47~-0.21)를 보였다(Fig. 2).

Fig. 2. Correlation analysis among quantitative traits. DTF, days to flowering; DTM, days to maturity; PL, pod length; PW, pod width; SNPP, seed number per pod; SA, seed area; SP, seed perimeter; SL, seed length; SW, seed width; L/W, length/width ratio; 100SW, 100-seed weight.

Table 3. Quantitative traits of agronomic and seed traits according to country of origin

Quantitative Traits ^z	Mean±SD ^y		
	Korea	Bulgaria	El Salvador
DTF	53.9±5.4 ^a	56.0±5.2 ^a	49.8±3.3 ^b
DTM	91.5±13.6 ^a	88.9±10.2 ^a	78.5±4.1 ^b
PL (cm)	9.9±1.5 ^c	12.7±2.3 ^a	10.7±1.6 ^b
PW (mm)	10.4±1.0 ^b	13.5±2.9 ^a	10.1±1.0 ^b
SNPP	5.1±0.9 ^b	4.7±0.9 ^b	5.9±0.4 ^a
SA (mm ²)	62.6±14.5 ^b	94.3±16.1 ^a	57.2±4.4 ^b
SP (mm)	31.2±3.9 ^b	39.0±3.4 ^a	30.4±1.2 ^b
SL (mm)	11.1±1.6 ^b	14.5±1.4 ^a	10.7±0.4 ^b
SW (mm)	7.1±0.8 ^b	8.2±0.8 ^a	6.8±0.3 ^b
L/W	1.6±0.2 ^b	1.8±0.2 ^a	1.6±0.1 ^b
100SW (g)	31.9±12.0 ^b	43.9±9.5 ^a	25.7±2.9 ^c

Means with the same superscript letter are not significantly different ($p < 0.05$). ^zDTF, days to flowering; DTM, days to maturity; PL, pod length; PW, pod width; SNPP, seed number per pod; SA, seed area; SP, seed perimeter; SL, seed length; SW, seed width; L/W, length/width ratio; 100SW, 100-seed weight. ^ySD, standard deviation.

주성분분석

강낭콩 유전자원에 대해 특성평가한 10개의 양적형질 데이터를 이용하여 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 수행하였다(Table 4, Fig. 3). 그 결과, 제1주성분(PC1), 제2주성분(PC2), 제3주성분(PC3)은 각각 전체 변이의 55.15%, 15.97%, 10.29%를 설명하여 세가지 주성분은 전체의 81.41%의 변이를 설명하였다(Table 4). 주성분과 양적형질들의 상관관계를 보면, PC1에서는 협당립수(-0.46)를 제외한 모든 양적형질들이 양의 방향으로 상관관계를 나타냈고, 종자크기와 무게에 대한 형질들인 종자면적(0.98), 종자둘레(0.98), 종자길이(0.96), 종자너비(0.90), 백립중(0.90)은 매우 높은 양의 상관관계를 보여주었다. PC2에서는 협장(0.56)과 장폭비(0.56)가 양의 방향으로, 성숙일수(-0.66)와 개화일수(-0.64)가 음의 방향으로 다른 양적형질보다 높은 상관관계를 나타내었다. PC3에서는 협당립수(0.54), 개화일수(0.51), 협장(0.49), 성숙일수(0.48) 형질이 양의 방향으로 높은 상관관계를 보였다. 또한, 주성분분석에서 원산지별로 그룹핑을 수행한 결과, 원산지별로 명확하게 구분이 되지는 않았으나, 원산지별 자원의 특성을 확인할 수 있었다(Fig. 3). PC1을 기준으로 볼 때 불가리아의 자원이 한국과 엘살바도르 자원보다 대체로 종자크기와 종자무게가 크고, 협당립수가 적다는 것을 알 수 있었다. PC2를 기준으로 볼 때 한국 원산의 경우 개화일수 및 성숙일수의 변이가 큰 반면에 엘살바도르 자원들은 대체로

Fig. 3. The biplot of principal component analysis (PCA) of 135 common bean accessions based on morphological traits.

개화일수 및 성숙일수가 짧음을 알 수 있었다. 전체 그룹핑된 모양을 보면 한국원산 자원의 경우 PC2방향으로 넓게 분포해 있고, 불가리아 원산은 오른쪽으로 치우쳐 있었으며, 엘살바도르 자원의 경우 왼쪽의 위쪽에 좁게 분포한 것을 볼 수 있었다.

고찰

한국, 불가리아, 엘살바도르 원산 강낭콩 재래종 자원에 대한 특성평가를 수행하고, 원산지별 형태적 변이를 비교분석 하였다. 그 결과, 엘살바도르 원산 강낭콩 자원의 경우 조숙성, 작은 꼬투리 및 작은 종자 등과 같이 한국 및 불가리아 원산과는 차이는 형질들을 보임을 알 수 있었다(Fig. 1, Table 3). 이러한 차이는 엘살바도르 원산 자원이 메소아메리카 유전자풀에 속하기 때문이라고 생각되었다. 강낭콩은 과거 독립적인 순화 과정을 겪으면서 메소아메리카와 안데스 유전자풀로 나뉘었다(Schmutz et al. 2014). 메소아메리카 지역은 엘살바도르를 포함하는 멕시코에서 파나마까지의 지역을 말하며, 안데스 지역은 남아메리카 지역을 말한다. 이러한 두 개의 주요 유전자풀에 속하는 강낭콩들은 서로 다른 종자 형질을 가진다. 메소아메리카 유전자풀의 강낭콩은 백립중이 40 g 미만 정도의 소립에서 중립 정도의 무게를 가지는 반면에 안데스 유전자풀의 경우 백립중이 40 g 이상인 대립종자를 가지는 것으로 알려져 있다(Lioi & Piergiovanni 2013). 이 연구

Table 4. Principal component analysis of quantitative traits in common bean, eigen values, and percentage of variation for three principal components

Quantitative traits	Principal components		
	PC1	PC2	PC3
Days to flowering	0.37	-0.64	0.51
Days to maturity	0.33	-0.66	0.48
Pod length (cm)	0.56	0.56	0.49
Pod width (mm)	0.74	0.03	-0.03
Seed number per pod	-0.46	0.42	0.54
Seed area (mm ²)	0.98	0.02	-0.07
Seed perimeter (mm)	0.98	0.12	-0.06
Seed length (mm)	0.96	0.19	-0.01
Seed width (mm)	0.90	-0.19	-0.18
Length/width ratio	0.53	0.56	0.18
100-seed weight (g)	0.90	-0.15	-0.18
Eigen value	6.07	1.76	1.13
Proportion of variance (%)	55.15	15.97	10.29
Cumulative proportion (%)	55.15	71.12	81.41

에서 사용된 모든 엘살바도르 원산의 강낭콩 재래종들은 백립종이 40 g 미만으로 메소아메리카 자원의 특성과 일치했다(Supplementary Table 1). 또한, 대부분의 메소아메리카 자원들과 무한 부시형 생육습성을 가진 자원들은 단일식물(short day plants) 보다는 중일성 식물(day neutral plants)이라고 알려져 있다(Gonzalez et al. 2021, White & Laing 1989). 이 연구에서 사용한 엘살바도르 원산의 자원들의 신육형은 대부분이 무한 부시형을 가진 자원들이었다(Fig. 1). 이러한 근거들을 기반으로 중일성 식물인 엘살바도르 원산의 자원들이 엘살바도르보다 높은 위도인 한국에서 재배가 된다면 이들의 개화일수는 일장보다는 온도에 의해 상대적으로 더 영향을 받게 될 것이다. 한국은 일장이 긴 여름과 일장이 짧은 겨울을 가진 고위도 지역이다(Nakanichi 2015). 그러므로 한국과 같은 상대적인 고위도 지역에서 재배된다면, 광에 민감한 단일식물의 경우 늦게 성숙하지만 엘살바도르 원산 자원과 같이 열에 민감한 자원들은 고위도에서 일찍 성숙하게 되었을 것이다.

이 연구에서 조사한 양적형질들의 유의성을 분석하기 위해 상관분석을 수행하고, 원산지별 강낭콩 재래종의 특성을 가장 잘 설명하는 주요인을 찾기 위해 양적형질들에 대해 주성분분석을 수행하였다. 그 결과 상관분석에서는 개화일수와 성숙일수 간에, 종자면적, 종자둘레, 종자길이, 종자너비, 백립중 간에 서로 높은 양의 상관관계를 보였으며(Fig. 2), 주성분분석에서는 PC1의 경우 종자크기(종자면적, 종자둘레, 종자길이, 종자너비)와 백립중이, PC2에서는 개화일수 및 성숙일수가 해당 주성분과 높은 상관관계를 보였다(Table 4). 이를 통해 볼 때 농업형질인 개화일수 및 성숙일수와 종자의 크기 및 무게 형질은 한국, 불가리아, 엘살바도르 재래종 자원들의 특성들을 설명해주는 주요한 요인임을 알 수 있다. 또한, 원산지별 재래종 자원들의 그룹핑 결과를 보면 한국 원산 자원의 경우는 PC2 방향으로 길게 분포하고 있으며, 불가리아 원산 자원의 경우 PC1의 양의 방향에 위치해있으며, 엘살바도르 원산의 경우 PC1의 음의 방향 및 PC2의 양의 방향에 위치해있었다. 이를 통해 한국원산 자원의 경우 개화일수 및 성숙일수의 변이가 넓은 특성을 가지며 불가리아 원산의 경우 다른 원산들보다 종자의 크기 및 무게가 크며, 엘살바도르 원산의 경우 종자크기 및 무게가 적고, 개화일수 및 성숙일수가 짧은 특성을 지닌다는 것을 알 수 있다.

원산지별 주요 특성은 강낭콩 품종 육성시 유용한 자원을 선발하는 데 이용될 수 있을 것이다. 먼저, 기존의 연구들을 통하여 강낭콩의 백립중과 수량 간에 높은 상관관계를 갖는다는 것이 알려져 있다(Assefa et al. 2015, Assefa et al. 2019, Rao et al. 2017). 따라서, PC2의 양의 방향에 위치하고 있는 불가리아

원산자원들은 수량성이 높은 자원을 육성하는데 유용한 자원으로 이용될 수 있을 것이다. 또한, 이 자원들은 종자크기가 크기 때문에 밥밀콩 자원 육성시에도 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 강낭콩 재배시 유리한 조숙성 품종의 개발을 위해서는 PC2의 양의 방향에 위치하고 있는 자원들이 품종 육성 소재로서 유용할 것이며, 특히 엘살바도르 자원들의 경우 다른 원산지 자원들보다 가장 일찍 성숙하는 특성을 가지고 있어 조숙성 육성소재로서 유용할 것이라고 생각한다.

원산지별 형태적인 다양성 측면에서, PCA 분석에서 그룹핑별의 분포도를 보면 엘살바도르 자원의 경우 한국, 불가리아 원산자원들과 다르게 비교적 적은 영역에 그룹핑 된 것을 볼 수 있다. 이는 엘살바도르 자원의 형태적 다양성이 다른 원산의 자원보다 적기 때문이다.

적 요

본 연구는 한국, 불가리아, 엘살바도르 원산 재래종 135자원에 대해 형태적 특성평가를 수행하였다. 또한, 특성평가 결과를 원산지별로 비교분석하기 위해 주성분분석을 이용하여 원산지별 차이를 가장 잘 설명할 수 있는 주요인을 분석하였고, 주성분 분석의 그룹핑 결과를 이용하여 각 원산지의 형태적 다양성을 분석하였다. 그 결과, 한국 원산 재래종 자원의 경우 개화일수 및 성숙일수의 변이가 큰 특성을, 불가리아 원산 자원의 경우 종자의 크기 및 무게가 큰 특성을, 엘살바도르 원산 자원의 경우 종자 크기 및 무게가 작고, 개화일수 및 성숙일수가 짧은 특성을 지님을 알 수 있었다. 또한, 주성분분석 결과 엘살바도르 원산의 경우 다른 원산자원들보다 작은 면적에 그룹핑 되어 형태적 다양성이 상대적으로 적음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 수행한 특성평가 결과는 강낭콩 품종 육성시 육종소재를 선발하는데 중요한 기초정보로서 활용될 수 있을 것이며, 원산지별 형태적 다양성 분석은 농업유전자원센터 보유 자원에 대한 다양성 평가 및 다양성 확보 계획수립에 중요한 자료로 활용될 것으로 기대한다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 농업과학기술기술평가(과제번호: PJ 01424201)의 지원으로 연구하였습니다.

보충자료

본문의 Supplementary Table 1과 Supplementary Fig. 1은 한국육종학회지 홈페이지에서 확인할 수 있습니다.

REFERENCES

- Abramoff MD, Magalhaes PJ, Ram SJ. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics Int* 11: 36-42.
- Assefa T, Assibi Mahama A, Brown AV, Cannon EKS, Rubyogo JC, Rao IM, Blair MW, Cannon SB. 2019. A review of breeding objectives, genomic resources, and marker-assisted methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Mol Breeding* 39: 20.
- Assefa T, Wu J, Beebe SE, Rao MI, Marcomin D, Rubyogo JC. 2015. Improving adaptation to drought stress in small red common bean: Phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. *Euphytica* 203: 477-489.
- Bareke T. 2019. Diversity and genetic potential of various morphological traits among common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae) landraces. *Biodiversitas* 20: 3237-3245.
- Broughton WJ, Hernandez G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) - Model food legumes. *Plant Soil* 252: 55-128.
- Castro-Guerrero NA, Isidra-Arellano M, Mendoza-Cozatl DG, Valdes-Lopez O. 2016. Common bean: A legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to iron, zinc, and phosphate deficiencies. *Front Plant Sci* 7: 600.
- Chavez-Servia JL, Heredia-García E, Mayek-Pérez N, Aquino-Bolaños EN, Hernández-Delgado S, Carrillo-Rodríguez JC, Gill-Langarica HR, Vera-Guzmán AM. 2016. Diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces and the nutritional value of their grains. pp. 1-33. In: Goyal AK. (Eds.) *Grain legumes* IntechOpen, London, United Kingdom.
- Choi YM, Lee S, Hyun DY, Yoon M, Oh S, Lee MC, Lee J, Ko H, Huh O. 2015. Comparison of agricultural traits and SSR diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Korea, China and El Salvador. *Korean J Breed Sci* 47: 245-254.
- Gonzalez AM, Yuste-Lisbona FJ, Weller J, Vander Schoor, JK, Lozano R, Santalla M. 2021. Characterization of QTL and environmental interactions controlling flowering time in Andean common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Front Plant Sci* 11: 599462.
- Kim J, Shin I, Lee J, Ha B, Lee J, Choung M, Moon J, Kang S. 2021. Soybean cultivar 'Noksim' with green cotyledons and a black seed coat for cooking with rice. *Korean J Breed Sci* 53: 69-76.
- Lee HB, Choi BR, Kang CS, Kim YH, Choi YJ. 2001. Determination of seed protein and oil concentration in kidney bean by near infrared spectroscopic analysis. *Korean J Crop Sci* 46: 248-252.
- Lioi L, Piergiovanni AR. 2013. European common bean. pp. 11-40. In: Singh M, Upadhyaya HD, Bisht IS. (Eds.) *Genetic and genomic resources of grain legume improvement*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Nakamichi N. 2015. Adaptation to the local environment by modifications of the photoperiod response in crops. *Plant Cell Physiol* 56: 594-604.
- Negri V, Maxted N, Veteläinen M. 2009. European landrace conservation: An introduction. pp 1-22. In: Veteläinen M, Negri V, Maxted N. (Eds.) *European landraces: On-farm conservation, management and use*. Bioversity International, Rome, Italy.
- Rao IM, Beebe SE, Polania J, Grajales M, Cajiao C, Ricaurte J, Garcia R, Rivera M. 2017. Evidence for genotypic differences among elite lines of common bean in their ability to remobilize photosynthate to increase yield under drought. *J Agric Sci* 155: 857-875.
- Schmutz J, McClean PE, Mamidi S, Wu GA, Cannon SB, Grimwood J, Jenkins J, Shu S, Song Q, Chavarro C, Torres-Torres M, Geffroy V, Moghaddam SM, Gao D, Abernathy B, Barry K, Blair M, Brick MA, Chovatia M, Gepts P, Goodstein DM, Gonzales M, Hellsten U, Hyten DL, Jia G, Kelly JD, Kudrna D, Lee R, Richard MM, Miklas PN, Osorno JM, Rodrigues J, Thareau V, Urrea CA, Wang M, Yu Y, Zhang M, Wing RA, Cregan, PB, Rokhsar, DS, Jackson SA. 2014. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nat Genet* 46: 707-713.
- Shin DC, Kang ST, Han WY, Baek IY, Choung MG, Park KY, Kang NS, Hwang YH, Ko JM, Suh DY, Kim HY. 2008. A new pod edible kidney bean variety "Hwangheob 2" with yellow pod color. *Korean J Breed Sci* 40: 470-473.
- Singh SP, Gepts P, Debouck DG. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ Bot* 45: 379-396.
- White JW, Laing DR. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Field Crop Res* 22: 113-128.