1913년부터 2013년까지 한국에서 육성된 콩 품종의 Isoflavone 함량의 변이와 다변량 분석에 의한 품종군 분류

김현명¹ · 장은규² · 곽병삼³ · 황태영⁴ · 윤건식⁵ · 황세구⁵ · 정현상¹ · 김홍식^{1*}

¹충북대학교 농업생명환경대학, ²경기도농업기술원, ³경상북도 잠사곤충사업장

⁴국립축산과학원 축산자원개발부, ⁵충청북도농업기술원

Variation of Isoflavone Contents and Classification Using Multivariate Analysis in Korean Soybean Varieties Released from 1913 to 2013

Hyun Myung Kim¹, Eun Kyu Jang², Byeong Sam Gwak³, Tae Young Hwang⁴, Geon Sig Yun⁵,
Se Gu Hwang⁵, Heon Sang Jeong¹, and Hong Sig Kim^{1*}

¹College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

²Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Yeoncheon, 11017, Korea

³Gyeongsangbuk-do Silkworm & Insect Management Center, Sangju, 37110, Korea

⁴National Institute of Animal Science, Cheonan, 31000, Korea

⁵Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju, 28130, Korea

Abstract: This study was carried out to investigate the variation of 12 isoflavone components among 172 Korean soybean varieties released from 1913 to 2013. Cluster analysis was performed to classify the varieties based on the variation of isoflavone contents. Total isoflavone contents ranged from 206.3 µg/g to 2666.2 µg/g with an average of 837.2 µg/g. By each component, malonylgenistin content ranged from 99.2 µg/g to 1149.1 µg/g with the highest average of 390.0 µg/g, and glycitein content ranged from 0.1 µg/g to 2.4 µg/g with the lowest average of 0.8 µg/g. Among composition groups, the aglycone group contents ranged from 2.2 µg/g to 33.1 µg/g with the lowest average of 10.0 µg/g, and glucoside group contents ranged from 36.9 µg/g to 801.8 µg/g with an average of 202.4 µg/g. The malonylglucoside group contents ranged from 143.6 µg/g to 1796.4 µg/g with the highest average of 599.1 µg/g and acetylglucoside group contents ranged from 3.7 µg/g to 103.9 µg/g with an average of 27.5 µg/g. Varieties with high total isoflavone content were Aga8(2666.2 µg/g), Aga4(2569.3 µg/g), and Aga9(2345.0 µg/g) in bean sprouts group. The low total isoflavone content were observed from Deawang(328.8 µg/g) in soy sauce and paste group, Hanol(599.3 µg/g) in vegetable and early maturity group and Gemjeong1(664.1 µg/g) in cooking with rice group. The first three principal component axes accounted for 89.14% of the total variation observed. Dendrogram constructed using average linkage cluster method revealed that 172 Korean soybean varieties were divided into seven groups with the average distance of 0.8 between groups. The group I includes 57.6% of the total varieties, which was the largest group among seven groups, followed by the group II that includes 35.5% of the total varieties. However, the other groups were small groups containing less than five varieties. In comparison among the total isoflavone contents according to groups, the highest isoflavone content was observed in group VI with an average of 2526.9 µg/g, followed by group IV(1546.6 µg/g) and group V(1503.5 µg/g). The others were found to contain low isoflavone content.

Keywords : Variation, Isoflavone, Multivariate analysis, Korean, Soybean, Variety

*Corresponding Author (E-mail: hongsigk@chungbuk.ac.kr, Tel: +82-43-261-2513, Fax: +82-43-261-2513)

(Received on January 1, 2018. Accepted on February 8, 2018.)

서 언

우리나라의 콩 [*Glycine max* (L.) Merrill] 품종개발은 국내 재래종을 순계 분리하여 1913년에 최초로 ‘장단백목’이 육성되었으며, 1960년대 이전에는 재래종과 도입품종에서 우량계통을 순계분리하여 품종을 육성, 보급하였고, 최초의 교잡품종으로 1969년에 모자이크 바이러스 저항성이며 다수성인 ‘광교’를 육성, 보급하였다. 1970년대는 다수확 품종이 육성되었고, 1980년대에는 농촌의 노동력 감소에 따라 기계화 적응성품종이 육성되었다. 1990년대에는 WTO(World Trade Organization)체제가 출범하여 용도의 다양화 및 품질의 고급화를 육종 목표로 추진하였다. 2000년대 이후에는 육종의 목표가 기능성 고품질, 수요의 선호에 따른 용도별 다양성, 병충해 및 고부가가치성 등으로 다양화 되었으며, 2014년까지 다양한 기능 및 용도의 품종들이 육성되어 178품종이 개발되었다(Lee et al. 2015a, Lee et al. 2015b).

Isoflavone은 flavonoid의 종류로서 2개의 benzyl 고리를 기본으로 하는 배당체로 식물체내에서 합성되고, 식물이 스트레스를 받을 때 생성되는 phytoalexin이라는 물질로 여러 가지 생물학적인 역할을 하는 동시에 작물의 내병성 증진에 기여하는 물질이다(Liu 1997, Erickson 1995). 콩에서 생성되는 isoflavone은 3개의 물질이 4가지의 화학적 구조로 이루어져 있는 12개의 이성질체로 비배당체인 aglycone(daidzein, glycitein, genistein)과 배당체인 glucoside(daidzin, glycitin, genistin), malonylglucoside 유도체(6"-O-malonyldaidzin, 6"-O-malonylglycitin, 6"-O-malonylgenistin), acetylglucoside 유도체(6"-O-acetyldaidzin, 6"-O-acetylglycitin, 6"-O-acetylgenistin)의 형태로 존재한다(Lee & Lee 2009). 콩 isoflavone은 phytoestrogen이라고 불리며 혈중 콜레스테롤을 낮추고 여성의 폐경 이후 심혈관질환, 골다공증 등을 완화하며 유방암, 전립선암, 난소암, 대장암 등의 예방 효과를 보이는 등 생리적 활성이 높다고 알려져 있는데(Barnes 1998), Trock et al.(2006)은 콩 및 두류 가공 식품을 많이 섭취하는 아시아 국가 여성들의 유방암 발생 비율이 서양 국가 여성들의 유방암 발생 비율보다 낮다고 보고하였다.

Isoflavone은 형태마다 체내에서 흡수되는 정도가 다른데 glucoside형태로는 장에서 흡수가 거의 되지 않으며 β -glucosidase에 의해 가수분해된 형태인 aglycone의 형태로 수동확산에 의해 빠르게 흡수된다(Murphy et al. 1982, Cederroth et al. 2012). 흡수되는 isoflavone 성분 중에서 특히 genistein과 daidzein은 생리기능이 우수한 대표적인 isoflavone으로 알려져 있다(Omoni

& Aluko 2005, Tsukamoto et al. 1995). Wang & Murphy(1994)는 콩 종실에는 약 1176~3309 $\mu\text{g/g}$ 의 isoflavone이 함유되어 있다고 하였고, 콩 종실내의 자엽에는 80~90%가 존재하며, 배축에는 10~20%가 존재하고, 농도적인 측면에서는 배축에 존재하는 isoflavone 농도가 품종에 따라 5~10배까지 차이가 있다고 보고되었다(Kim et al. 1999, Tsukamoto et al. 1995).

콩에 함유된 isoflavone의 함량은 품종 및 재배환경에 따라 큰 차이를 보이고, 같은 품종이라도 재배장소, 품종 및 연차간의 변화에도 함량의 변이가 크다고 하였다(Wang & Murphy 1994, Eldridge & Kwolet 1983). 국내 콩 품종의 isoflavone 함량은 714~2248 $\mu\text{g/g}$ (Ok et al. 2008), 624.1~2398.9 $\mu\text{g/g}$ (Ryoo et al. 2004), 309~1610 $\mu\text{g/g}$ (Lee et al. 2002), 543~1789 $\mu\text{g/g}$ (So et al. 2001) 및 371.9~2398.9 $\mu\text{g/g}$ (Kim et al. 1999)의 범위로 품종 간에 isoflavone 함량의 변이가 큰 것으로 보고되었다. Choung et al.(2006)도 콩의 isoflavone 함량은 품종 및 용도별 간에 변이가 크다고 하였고, Park et al.(2012)은 1913년부터 2006년까지 육성된 국내의 콩 품종은 isoflavone 함량의 평균은 1489 $\mu\text{g/g}$ 이었고 범위는 527.9~3436.5 $\mu\text{g/g}$ 이었다고 하였다. Tsukamoto et al.(1995)은 콩 isoflavone의 함량은 등숙기간의 평균기온이 낮은 지역에서 높다고 하였고, Kitamura et al.(1991)도 등숙기간($R_5 \sim R_7$)이 저온인 조건에서 함량이 높았다고 하였다. Lozovaya et al.(2005)은 대기온도와 토양의 수분상태에 따라 isoflavone의 함량이 달라진다고 하였는데, 대기온도가 낮을수록, 수분함량이 높을수록 콩 종실에 isoflavone이 많이 축적된다고 하였다.

다변량 분석은 많은 형질을 객관적이면서도 종합적으로 분류하는 방법으로서 여러 가지 형질들이 동시에 고려되기 때문에 소수의 형질에 의한 분류와는 달리 품종 또는 유전자원의 평가뿐만 아니라 육종의 실용적인 이용면에서도 다양하게 활용할 수 있다(Nielsen & Munck 2003, Ennis et al. 1982). 다변량 분석에 의한 형태적 및 생육형질에 대한 품종 및 유전자원의 분류는 옥수수(Park et al. 2014, Choi 2010), 딸기(Kim et al. 2009) 및 매실(Choi et al. 2014) 등에서 보고되었고, 콩은 국내에서 Lee et al.(2015b), Kim et al.(1999), Cho et al.(1994) 및 Guh et al.(1983)이 보고하였으며, 국외에서는 Malik(2011) 및 Oliveira et al.(2010)이 보고한 바 있다. 콩의 성분에 대한 다변량 분석은 Garcia et al.(2000)이 콩의 단백질에 대해 보고하였으며, isoflavone 성분에 대한 다변량 분석은 Yan et al.(2011)에 의해 보고된 바 있다.

최근 국내외적으로 콩에서 가장 중요한 기능성 성분인 isoflavone

에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 국내에서 육성된 콩 품종의 isoflavone 함량에 대한 체계적인 분류는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 1913년부터 2013년까지 국내에서 육성된 콩 172품종에 대한 isoflavone 함량의 변이를 구명하고, 다변량 분석으로 품종군을 분류하여 콩 육종의 기초자료로 이용코자 수행하였다.

재료 및 방법

시험품종은 1913년부터 2013년까지 국내에서 육성된 콩 172 품종이 사용되었다. 국내에서 1980년대 이전에 육성된 18품종, 1980년대에 육성된 17품종, 1990년대에 육성된 43품종 및 2000년 이후(2000년~2013년)에 육성된 94품종이 이용되었다. 육성기관별로는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 139품종, 농업기술원(경기도농업기술원, 강원도농업기술원)에서 12품종, 대학(경북대학교, 경상대학교, 영남대학교, 서울대학교)에서 13품종, 연구소(한국원자력연구원)에서 3품종 및 회사(소이벤처)에서 5품종이 육성되었다(Table 1). 시험품종들은 농촌진흥청 농업유전자원센터, 국립식량과학원 및 국립종자원으로부터 분양 받았으며, 콩 품종의 재배는 2014년 5월 28일 충북대학교 농업생명환경대학 전작포장에서 휴폭 70 cm, 주간 15 cm로 하여 1주당 3립씩 파종하였고, 초생엽이 전개되었을 때 1주당 2개체씩만 남기고 솎아주었다. 시비는 콩 복비 50 kg/10a(N : P₂O₅ : K₂O = 3 : 3 : 3.4 kg/10a)를 전량기비로 하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 콩 표준재배법에 준하였으며, 수확한 종실 시료는 건조 후 -20℃ 냉동고에서 보존하였다.

Isoflavone 함량은 Kim et al.(2012)의 방법을 변형하여 분석하였다. 분석에 이용되는 methanol(100%)과 acetonitrile (100%)

및 증류수는 HPLC 등급으로 J. T. Baker로부터, HCl은 Daejung Chemical & Materials Co. Ltd.로부터 구입되었다. 표준물질은 daidzein, glycitein, genistein, daidzin, glycitin 및 genistin은 Sigma-Aldrich Co.로부터, 6"-O-Malonyldaidzin, 6"-O-Malonylgenistin, 6"-O-Malonylglycitin, 6"-O-Acetyldaidzin, 6"-O-Acetylgenistin 및 6"-O-Acetylglycitin은 Nacalai Co. Jp로부터 구입하여 사용하였다. 콩 종실을 grinder(Cyclone sample mill, 0.5 mm screen)를 사용하여 곱게 마쇄한 후 시료 2 g을 칭량하여, 0.1N HCl 2 ml와 ACN(Acetonitrile) 10 ml을 가한 후 상온에서 2시간 교반하여 성분을 추출하였다. 추출물은 filter paper(No.42 Whatman)를 사용하여 여과한 후, 여액을 상온에서 완전히 감압농축하고, 농축물에 80% MeOH 2ml을 가하여 농축물을 완전히 용해시켜 0.2um syringe filter로 여과 후 HPLC분석에 사용하였다.

HPLC분석은 Waters 시스템(Waters 600 pump & controller, Waters 717 autosampler, Waters 486 tunable absorbance detector)를 사용하였고, 컬럼은 YMC-PACK ODS-AM column (5 μm, 4.6 X 250 mm)을 사용하였다. 이동상은 acetonitrile + 0.1% acetic acid와 0.1% acetic acid를 사용하였고, 펌프 프로그램을 통해 gradient를 설정하여 acetonitrile을 50분 동안 15%에서 35%까지 양을 증가시켰다. 유속은 1.0ml/min로 조절하였고, 시료주입량은 20μl이었으며, 검출파장은 254nm로 분석하였다(Table 2). 시료당 3반복으로 분석하였고, 콩 종실의 isoflavone 정량분석을 위해 12개의 표준물질을 MeOH(Methanol)와 DMSO (Dimethylsulfoxide)에 용해 후 농도구배에 따라 4개의 다른 농도로 희석하여 20μl씩을 HPLC에 주입해 얻어진 피크 면적의 실측치와 표준용액의 농도간의 검량곡선식과 결정계수를 산출하여 정량하였다. Retention time에 따라 daidzin, glycitin, genistin, malonyldaidzin, malonylglycitin, acetyldaidzin, acetylglycitin,

Table 1. Number of soybean varieties classified by released year and breeding organization for this experiment.

Released year	Breeding Organization					Total
	NICS ^z	ARES ^y	University	Institute	Company	
Before 1980	18	-	-	-	-	18
1980s	17	-	-	-	-	17
1990s	40	3	-	-	-	43
After 2000 (2000~2013)	64	9	13	3	5	94
Total	139	12	13	3	5	172

^zNICS: National Institute of Crop Science, RDA

^yARES: Agricultural Research & Extension Services

Fig. 1. HPLC chromatogram patterns(UV 254nm) of seed isoflavones.

Peak: 1, daidzin; 2, glycitin; 3, genistin; 4, malonyldaidzin; 5, malonylglycitin; 6, acetyldaidzin; 7, acetylglycitin; 8, malonylgenistin; 9, daidzein; 10, glycitein; 11, acetylgenistin; 12, genistein.

malonylgenistin, daidzein, glycitein, acetylgenistin, genistein의 순서로 분리되었다(Fig. 1).

본 연구의 통계처리는 SAS software(SAS Institute Inc., ver 9.1)를 이용하였으며, 품종군 분류는 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 수행한 후 주성분 점수를 이용해 Average Linkage Cluster 방법으로 군집분석을 수행하였다.

Table 2. Analytical conditions of HPLC for isoflavone.

Parameter	Condition
Instrument	Waters 600 pump & controller, Waters 717 autosampler, Waters 486 tunable absorbance detector
Wavelength	254nm
Mobile phase	Acetonitrile + 0.1% acetic acid : 0.1% acetic acid Acetonitrile 15 → 35% / 50min (gradient)
Flow rate	1.0ml/min
Injection volume	20μl
Column	YMC-PACK ODS-AM column (5μm, 4.6 X 250mm)

결과 및 고찰

육성품종의 isoflavone 함량의 변이

1913년부터 2013년까지 육성된 한국의 172개 품종의 종실

isoflavone 함량은 평균함량이 837.2 μg/g이었으며 206.3~2666.2 μg/g의 범위에 있었다. Wang & Murphy(1994)에 의하면 콩의 품종간에 isoflavone 함량의 변이가 크다고 하였는데, 본 연구에서도 품종간 변이가 큰 것으로 나타났다. Choung et al.(2006)도 콩의 isoflavone 함량은 품종 및 용도별 간에 변이가 크다고 하였고, Kim et al.(2012)도 미국 27품종, 중국 68품종 및 한국 109품종의 총 204품종의 isoflavone 함량의 분석에서 미국품종은 879.8~3275.6 μg/g의 범위에, 중국품종은 683.3~2441.4 μg/g의 범위에, 한국품종은 814.4~4778.1 μg/g의 범위에 있었으며 품종간에 변이가 크고, 품종과 육성국가에 의하여 영향 받는다고 보고하였다. Wang & Muppy(1994)도 isoflavone 함량은 품종과 재배환경간에 상호작용이 있어 같은품종이라도 재배연도 및 재배지역에 따라 함량의 변이가 크다고 하였다. Malonylgenistin의 총 평균 함량이 390.0 μg/g으로 가장 높았으며 99.2~1149.1 μg/g의 범위에 있었고, glycitein의 총 평균 함량은 0.8 μg/g으로 가장 낮았으며 0.1~2.4 μg/g의 범위이었다. Group별 함량은 aglycone group이 평균 10.0 μg/g이었으며 2.1~33.1 μg/g의 범위에 있었다. Glucoside group은 평균 202.4 μg/g이었고, 전체 평균함량의 24.2%를 차지하였으며 36.9~801.8 μg/g의 범위에 있었다. Malonylglucoside group은 평균 599.1 μg/g이었고 전체 평균함량의 71.6%로 가장 많이 차지하였고, 143.6~1796.4 μg/g의 범위이었다. Acetylglucoside group은 평균 27.5 μg/g이었고 3.7~103.9 μg/g의 범위이었다.

Table 3. Maximum, minimum, mean and coefficient of variation(CV) values of isoflavone contents in 172 Korean soybean varieties.

Statistics	Aglycone				Glucoside				Malonylglucoside				Acetylglucoside				Total
	Dai ^z	Gly ^y	Gen ^x	Total	Dai ^w	Glyc ^v	Geni ^u	Total	Mdai ^t	Mgly ^s	Mgen ^r	Total	Adai ^q	Agly ^p	Agen ^o	Total	
	-----μg/g-----																
Max.	18.0	2.4	12.6	33.1	283.2	102.4	441.9	801.8	650.4	77.3	1149.1	1796.4	74.6	16.3	79.7	103.9	2666.2
Min.	1.5	0.1	0.0	2.1	2.2	0.5	20.4	36.9	31.8	0.3	99.2	143.6	1.0	1.8	0.0	3.7	206.3
Mean	5.8	0.8	3.4	10.0	67.7	27.5	107.2	202.4	181.1	28.0	390.0	599.1	19.8	5.7	2.1	27.5	837.2
±SD	3.1	0.5	2.6	5.7	46.4	19.2	60.5	117.5	96.4	17.9	161.4	263.1	11.3	2.6	6.9	15.0	393.8
CV(%)	53.2	63.4	75.4	57.3	68.6	69.8	56.4	58.1	53.2	64.1	41.4	43.9	57.1	45.9	332.6	54.6	47.0

^zdaidzein, ^yglycitein, ^xgenistein, ^wdaidzin, ^vglycitin, ^ugenistin, ^tmalonyldaidzin, ^smalonylglycitin, ^rmalonylgenistin, ^qacetyldaidzin, ^pacetylglycitin, ^oacetylgenistin.

Yan et al.(2011)은 중국재래종 56종에 대한 isoflavone 8개성분의 분석에서 isoflavone 중에서 malonylglucoside group이 62%로 가장 높았고, 다음으로 glucoside group이 34%로 높았으며, acetylglucoside group과 aglycone group은 각각 0%, 4%로서 함량이 매우 낮았다고 보고하여 본 연구와는 다소 상이하였다. 이러한 결과는 시험재료 및 재배환경의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 변이계수는 acetylgenistin이 332.6%로 가장 높아

Fig. 2. Frequency distributions of total isoflavone content in 172 Korean soybean varieties.

변이가 가장 컸고, malonylgenistin이 41.4%로 가장 낮아 변이가 가장 작았다. 각 성분 group 중에서 변이계수가 가장 큰 group은 glucoside group으로 58.1%이었으며, malonylglucoside group이 43.9%로 가장 작았다(Table 3).

총 isoflavone 함량의 분포는 500~1000 μg/g의 범위에서 91품종으로 가장 많았고 500 μg/g이하가 31품종, 2000 μg/g 이상이 3품종이었다(Fig. 2). 총 isoflavone 함량이 2000 μg/g 이상인 상위 3개의 품종은 아가8호(2666.2 μg/g), 아가4호(2569.3 μg/g) 및 아가9호(2345.0 μg/g)이었고, 모두 소립종으로서 isoflavone 고 함량 품종 육성을 위해 야생콩과 교잡된 품종들이었다. Isoflavone 함량이 적은 하위 3개 품종은 모두 대립종으로 장류용인 대왕(328.8 μg/g), 풋콩 및 울콩용인 한울(599.3 μg/g), 밥밀용인 검정콩 1호(664.1 μg/g) 이었다(Table 4).

주성분분석

콩의 12개 isoflavone성분을 이용하여 주성분분석을 실시한 결과, 획득한 고유치(eigenvalue)와 각 주성분의 기여도는 Table 5와 같다. 전체에 대한 주성분의 기여도는 제 1주성분이 72.29%

Table 4. Varieties with high and low total isoflavone contents in 172 Korean soybean varieties.

Isoflavone	Variety	Seed size	Utilization type	Isoflavone contents(μg/g)				
				Aglycone	Glucoside	Malonylglucoside	Acetylglucoside	Total
High	Aga8	S ^z	B.S. ^x	27.2	801.8	1744.6	91.7	2666.2
	Aga4	S ^z	B.S. ^x	33.1	653.0	1796.4	86.8	2569.3
	Aga9	S ^z	B.S. ^x	17.2	723.2	1536.0	68.5	2345.0
Low	Daewang	L ^y	S.P. ^w	7.4	73.6	241.0	9.28	328.8
	Hanol	L ^y	V.E. ^v	7.0	116.2	458.5	19.5	599.3
	Geomjeong1	L ^y	C.R. ^u	13.2	99.6	530.4	23.3	664.1

^zSmall, ^yLarge, ^xBean sprouts, ^wSoy sauce & paste, ^vVegetable & early maturity, ^uCooking with rice.

Table 5. Eigenvalues and contribution obtained from principal component analysis in 172 Korean soybean varieties.

Principal component	Eigenvalue	Contribution(%)	Cumulative contribution(%)
PC 1	12.289	72.29	72.29
PC 2	1.561	9.18	81.47
PC 3	1.304	7.67	89.14
PC 4	0.996	5.86	95.00
PC 5	0.36	2.12	97.12
PC 6	0.211	1.24	98.36
PC 7	0.121	0.71	99.07
PC 8	0.091	0.54	99.61
PC 9	0.026	0.16	99.76
PC 10	0.021	0.13	99.89
PC 11	0.014	0.08	100
PC 12	0.005	0	100

Table 6. Correlation coefficients between isoflavone compositions and principal components in 172 Korean soybean varieties.

Composition	PC 1	PC 2	PC 3
Daidzein	0.757** ^z	-0.344**	0.413**
Glycitein	0.750**	-0.021	-0.193
Genistein	0.817**	-0.059	-0.155
Daidzin	0.805**	-0.318**	0.426**
Glycitin	0.947**	0.047	-0.104
Genistin	0.974**	-0.021	-0.038
Malonyldaidzin	0.734**	-0.366**	0.501**
Malonylglycitin	0.961**	0.095	-0.064
malonylgenistin	0.975**	0.045	-0.043
Acetyldaidzin	0.920**	0.119	-0.127
Acetylglycitin	-0.034	0.874**	0.377**
Acetylgenistin	0.772**	0.601**	0.164

^z*,** Significant at the level of 0.05 and 0.01 probability, respectively.

로 누적기여도가 72.29%, 제 2주성분의 기여도는 9.18%이었고 누적기여도는 81.47%이었으며, 제 3주성분의 기여도는 7.67%이고 누적기여도는 89.14%이었다. 제 11주성분부터는 누적기여도가 100%로 나타났다. 12개의 주성분 중 자료의 변이를 많이 설명하는 주성분만을 선택해 군집분류를 실행하는데, 일반적으로 고유값이 1 이상인 주성분의 수를 결정한다(Janmohammadi et al. 2014). 따라서 본 연구에서도 고유값 1 이상을 기준으로 하여 상위 제 3주성분까지로 전체의 89.14%를 설명할 수 있기

때문에 1~3주성분으로 한국 콩 육성 172품종의 isoflavone 함량 변이에 따른 군집분류가 가능한 것으로 나타났다. 제 1주성분은 acetylglycitin을 제외한 모든 성분들에 대하여 높은 정의 상관을 보였으며, 제 2주성분은 daidzein과 daidzin, malonyldaidzin에 대하여는 높은 부의 상관을 보였고, acetylglycitin과 acetylgenistin에 대하여는 높은 정의 상관을 보였다. 또한 제 3주성분은 daidzein, daidzin, malonyldaidzin, acetylglycitin에 대해 높은 정의 상관을 보였다(Table 6).

군집분석

주성분분석을 수행한 후 제 1~3주성분을 이용하여 평균군집 분석을 수행한 결과, 한국 콩 172개 품종들은 평균거리(average distance) 0.8을 기준으로 할 때 7개의 군집으로 구분되었다(Fig. 3). I 군집은 화성꽃콩 등 99품종이, II 군집은 원흑 등 2품종이, III군집은 청아 등 61품종이, IV군집은 아가1호 등 5개 품종이, V 군집은 팔달콩의 1개 품종, VI군집은 아가 4호 등 3품종이, VII군집은 갈미의 1개 품종이 포함되었다. I 군집은 전 품종의 57.6%를 차지하는 가장 큰 군집이었고, III군집은 35.5%를 차지하는 두 번째로 큰 군집이었다. IV군집은 2.9%를 차지하였으며 II, V, VI 및 VII군집은 전체의 2% 미만이 속하는 작은 군집이었다.

군집에 따른 총 isoflavone의 평균함량은 VI군집이 2526.9 µg/g으로 가장 높았으며, IV군집이 1546.6 µg/g, V 군집이 1503.5 µg/g, III군집이 1080.3 µg/g, II 군집이 769.8 µg/g, VII군집이 722.6 µg/g 이었고 I 군집이 596.3 µg/g으로 가장 낮게 나타났다. 각 군집의 성분별 평균함량은 품종이 가장 많이 속해있는 I 군집에서 malonylglucoside와 acetylglucoside의 함량이 각각 441.4 µg/g, 18.6 µg/g으로 가장 낮았다. II 군집은 aglycone의 함량이 4.6 µg/g으로 가장 낮았으며, V 군집은 aglycone함량이 28.5 µg/g로 가장 높았다. VI군집은 glucoside 함량이 726.0 µg/g, malonylglucoside 함량이 1692.4 µg/g으로 가장 높았다. VII군집은 갈미 한 개의 품종만 속해 있었는데 glucoside함량이 120.0 µg/g으로 가장 낮았으며, acetylgenistin의 함량이 79.7 µg/g으로 다른 군집보다 함량이 현저히 높았기 때문에 따로 분류된 것으로 생각된다(Table 7). Yan et al.(20011)은 중국의 여러지역에서 수집된 재래종 56종에 대하여 isoflavone 8개성분에 대한 분석과 함께 1~3주성분으로 군집을 분류하여 5개 그룹으로 분류한 바 있으며 각 그룹간에 isoflavone 구성성분의 차이가 있다고 보고하였다.

본 연구에서 1913년 과거부터 2013년까지 한국에서 육성된 콩 172품종들에 대한 종실의 isoflavone 함량은 총 평균함량이

837.2 $\mu\text{g/g}$ 이었으며 206.3~2666.2 $\mu\text{g/g}$ 의 범위로서 변이가 매우 큰 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 육종과정에서 교배모본의 유전적배경과 육성모지에서의 선발환경에 따른 차이일 것으로 생각된다. Park et al.(2012)은 1913년부터 2006년까지

한국에서 육성된 콩 106품종의 종실 isoflavone 함량은 육성년대, 용도, 종실크기 및 육성모지에 따라서 유의적인 차이가 인정된다고 보고한 바 있다. 또한 본 연구에서는 12개 isoflavone 함량에 근거하여 다변량분석으로 품종군을 분류하고 유연관계

Fig. 3. Dendrogram classified by average linkage cluster based on principal component scores of isoflavone components in 172 Korean soybean varieties.

Fig. 3. Continued

를 도식화하였다. 작물육종에서 성공적인 요인은 보유하고 있는 유전집단의 변이와 유연관계를 평가하여 우수한 자원을 선발하

고 육종재료로 이용하는 것이다. 이러한 관점에서 품종이나 유전 집단의 체계적인 분류는 효율적인 육종을 위해서는 반드시 필요

Table 7. Mean values of isoflavone contents of each group classified in 172 Korean soybean varieties.

Group	Aglycone				Glucoside				Malonylglucoside				Acetylglucoside				Total
	Dai ^z	Gly ^y	Gen ^x	Total	Daid ^w	Glyc ^v	Geni ^u	Total	Mdai ^t	Mgly ^s	Mgen ^r	Total	Adai ^q	Agly ^p	Agen ^o	Total	
	-----μg/g-----																
I (n=99)	4.1	0.6	2.1	6.7	41.6	19.0	71.1	131.6	128.0	20.8	292.6	441.4	13.1	4.0	1.5	18.6	596.3
II (n=2)	3.0	0.5	1.1	4.6	56.1	18.7	101.3	176.1	149.1	18.2	374.5	541.8	18.4	4.4	26.4	49.3	769.8
III (n=61)	7.6	1.0	4.9	13.5	93.4	35.7	144.5	273.6	233.7	35.1	490.9	759.7	26.4	7.5	1.1	34.9	1080.3
IV (n=5)	11.4	2.0	7.3	20.8	140.9	66.4	198.7	406.0	348.0	63.4	656.9	1068.3	40.4	9.8	1.8	51.9	1546.6
V (n=1)	16.5	1.1	11.0	28.5	181.1	29.2	202.2	412.5	350.2	30.0	630.5	1010.8	39.1	12.2	2.0	53.3	1503.5
VI (n=3)	14.0	2.0	9.8	25.8	265.5	87.7	372.8	726.0	572.4	71.7	1048.3	1692.4	66.7	14.6	1.0	82.3	2526.9
VII (n=1)	5.3	0.4	3.6	9.3	33.1	11.7	75.3	120.0	119.0	10.9	361.6	491.5	17.9	6.4	79.7	103.9	722.6

^zdaidzein, ^yglycitein, ^xgenistein, ^wdaidzin, ^vglycitin, ^ugenistin, ^tmalonyldaidzin, ^smalonylglycitin, ^rmalonylgenistin, ^qacetyldaidzin, ^pacetylglycitin, ^oacetylgenistin.

한 과정이다(Lee et al. 2015b). 본 연구의 결과는 한국 콩 품종의 isoflavone 함량에 대한 육종계획에 효율적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

1913년부터 2013년까지 국내에서 육성된 장류용, 나물용, 풋콩 및 올콩용, 밥밀용 품종을 포함한 172 품종에 대한 종실의 isoflavone 12개 성분의 함량에 대한 변이를 구명하고, 다변량분석에 의한 품종군을 분류하였다. 종실의 총 isoflavone의 평균함량은 837.2 μg/g이었고, 206.3~2666.2 μg/g의 범위이었다. 성분별로는 malonylgenistin의 평균함량이 390.0 μg/g로서 가장 높았고, 99.2~1149.1 μg/g의 범위이었고, glycitein의 평균함량이 0.8 μg/g로서 가장 낮았으며 0.1~2.4 μg/g의 범위이었다. 성분그룹별로 보면 malonylglucoside group의 평균함량은 599.1 μg/g로서 가장 높았고 143.6~1796.4 μg/g의 범위이었으며, glucoside group의 평균함량은 202.4 μg/g이었고 36.9~801.8 μg/g의 범위이었다. acetylglucoside group의 평균함량은 27.5 μg/g이었고 3.7~103.9 μg/g의 범위이었으며, aglycone group의 평균함량은 10.0 μg/g로서 가장 낮았고 2.1~33.1 μg/g의 범위이었다. 총 isoflavone함량이 높은 품종은 나물용 품종인 아가8호(2666.2 μg/g), 아가4호(2569.3 μg/g) 및 아가9호(2345.0

μg/g)이었고, 총 isoflavone 함량이 낮은 품종은 장류용 품종인 대왕(328.8 μg/g), 풋콩 및 올콩 품종인 한울(599.3 μg/g) 그리고 밥밀용 품종인 검정콩1호(664.1 μg/g)이었다. Isoflavone성분에 대한 주성분분석을 실시한 결과, 제 1~3주성분까지의 누적 기여도가 89.14%이었고, 제 3주성분만으로도 한국 콩 품종의 군집분류가 가능하였다. 군집분류에서 평균거리를 0.8로 하였을 때 7개의 군집으로 분류되었고, I 군집은 전체 품종의 57.6%가 속하는 가장 큰 군집이었고, 다음으로 III군집이 35.5%가 속하는 큰 군집이었으며, 나머지 5개 군집은 5개 이하의 품종이 속하는 소군집이었다. 군집에 따른 총 isoflavone의 평균함량은 VI군집이 2526.9 μg/g으로 가장 높았으며, 다음으로 IV군집이 1546.6 μg/g, V군집이 1503.5 μg/g으로 높았으며, 그 외 군집은 낮았다.

사 사

본 연구는 2015년도 충북대학교 학술연구지원사업에 의하여 수행되었음

REFERENCES

- Barnes S. 1998. Evolution of the health benefits of soy isoflavones. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 217: 386-392.

2. Cederroth CR, Zimmermann C, Nef S. 2012. Soy, phytoestrogens and their impact on reproductive health. *Mol Cell Endocrinol.* 355: 192-200.
3. Cho CH, Seong YG, Kim SM. 1994. Classification of soybean genotypes based on seasonal response of flowering, and maturity by principle component analysis. *Kor J Breed.* 26: 405-413.
4. Choi GB, Hyun KH, Shin DY. 2014. Multivariate analysis on quantitative characteristics of *Prunus mume*. *Kor J Plant Res.* 27: 89-94.
5. Choi HG. 2010. Assessment of major physicochemical components on waxy corn hybrids(*Zea mays* L.). PhD thesis. pp. 123. Department of Agronomy, Graduate School, Chungnam National University
6. Choung MG, Kang ST, Han WK, Back IY, Kim HK, Shin DC, Kang NS, Hwang YS, An YN, Lim D, Kim KS, Park SH, Kim SL. 2006. Variation of isoflavone contents in Korean soybean germplasm. *Kor J Crop Sci* 512: 146-151.
7. Eldridge AC, Kwoh WF. 1983. Soybean isoflavone: Effect of environment and variety on composition. *J Agric Food Chem.* 31: 394-396.
8. Erickson D. 1995. Practical Handbook of soybean processing and utilization. USA: AOCS. PP.592.
9. Garcia MC, Torre M, Marina ML. 2000. Characterization of commercial soybean products by conventional and perfusion reversed-phase high-performance liquid chromatography and multivariate analysis. *J. Chromatography A.* 881: 47-57.
10. Guh JO, Lee YM, Shin DY. 1983. Basic studies on the native colored-soybean cultivars II. Classification of collected soybean varieties by the multivariate analysis. *Kor J Crop Sci.* 28: 340-344.
11. Janmohammadi M, Movahedi Z, Sabaghnia N. 2014. Multivariate statistical analysis of some traits of bread wheat for breeding under rainfed conditions. *J Agric Sci.* 59: 1-14.
12. Kim DY, Yoon MK, Kwak JH, Kim TI, Kim JH. 2009. Classification of strawberry germplasms based on horticultural traits and principal component analysis. *Kor J Hort Sci. Technol.* 27: 636-643.
13. Kim EH, Ro HM, Kim SL, Kim HS, Chung IM. 2012. Analysis of isoflavone, phenolic, soyasapogenol, and tocopherol compounds in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasms of different seed weights and origins. *J Agric Food Chem.* 60: 6045-55.
14. Kim SR, Hong HD, Kim SS. 1999. Some properties and contents of isoflavone in soybean and soybean foods. *Kor Soybean Digest* 16: 35-46.
15. Kim SR, Hong HD, Kim SS. 1999. Some properties and contents of isoflavone in soybean and soybean foods. *Kor Soybean Digest* 16: 35-46.
16. Kim YJ, Suh SK, Kim HS, Park HK, Park MS. 1999. Classification of soybean accessions by morphological characteristics. *Kor J Breed.* 31: 132-137.
17. Kitamura K, Ijita K, Kikuchi A, Kudou S, Okubo K. 1991. Low isoflavone content in some early maturing cultivars, so-called "summer-type soybeans"(*Glycine max* (L.) merrill). *Japan J Breed* 41: 651-654.
18. Lee CY, Choi MS, Kim HT, Yun HT, Lee BW, Chung YS, Kim RW, Choi HK. 2015a. Soybean[*Glycine max* (L.) Merrill]: Importance as a crop and pedigree reconstruction of Korean varieties. *Plant Breed Biotech.* 3: 179-196.
19. Lee GY, So YS, Kim HS, Hong JH, Jang EK, Lee KH, Yun GS, Hwang SG. 2015b. Variation of growth yield component characters and varietal classification by multivariate analysis in Korean soybean varieties. *Kor J Int Agric.* 27: 348-357
20. Lee MH, Park YH, Oh HS, Kwa k TS. 2002. Isoflavone content in soybean and its processed products. *Kor J Food Sci Tech.* 34: 365-369.
21. Lee SW, Lee JH. 2009. Effects of oven-drying, roasting, and explosive puffing process on isoflavone distribution in soybeans. *Food Chem.* 112: 316-320.
22. Liu K. 1997. Soybeans: chemistry, technology, and utilization. New York: Chapman & Hall. XXVI. p532.
23. Lozovaya VV, Lygin AV, Ulanov AV, Nelson RL, Dayde J, Widholm JM. 2005. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. *Crop Sci.* 45: 1934-1940.
24. Malik MFA. 2011. Evaluation of genetic diversity in soybean(*Glycine max* (L.) genotypes based on agronomic and biochemical traits. PhD thesis. pp. 170. Quaid-i-Azam University.
25. Murphy P, Farmakalidis E, Johnson L. 1982. Isoflavone content of soya-based laboratory animal diets. *Food Chem Tox.* 20: 315-317.
26. Nielsen JP, Munck L. 2003. Evaluation of malting barley quality using exploratory data analysis. I. Extraction of

- information from micromalting data of spring and winter barley. *J Cereal Sci.* 38: 173-180.
27. Ok HC, Yoon YH, Jeong JC, Hur OS, Lee CW, Kim CG, Cho HM. 2008. Yields and isoflavone contents of soybean cultivars in highland area. *Kor J Crop Sci.* 53: 102-109.
 28. Oliveira MF, Nelson RL, Geraldic IO, Cruzd CD, Toledo JFF. de. 2010. Establishing a soybean germplasm core collection. *Field Crops Research* 119: 277-289.
 29. Omoni AO, Aluko RE. 2005. Soybean foods and their benefits: potential mechanisms of action. *Nutr Rev.* 63: 272-283.
 30. Park JY, Sa KJ, Park KJ, Lee JK. 2014. Analysis of morphological characteristics for normal maize inbred lines. *Kor J Crop Sci.* 59: 312-318.
 31. Park KH, Piao XM, Jang EG, Yoo YE, Hwang TY, Kim SL, Jong JH, Shin HM, Kim HS. 2012. Variation of isoflavone contents in Korean soybean cultivars released from 1913 to 2006. *Kor J Breed Sci.* 44: 149-159.
 32. Ryoo SH, Kim SR, Kim KT, Kim SS. 2004. Isoflavone, phytic acid and oligosaccharide contents of domestic and imported soybean cultivars in Korea. *Kor J Food and Nutr* 17: 229-235.
 33. So EH, Kuh JH, Park KY, Lee YH. 2001. Varietal difference of isoflavone content and antioxidant activity in soybean. *Kor J Breed Sci.* 33: 35-39.
 34. Trock BJ, Hilakivi-Clarke L, Clarke C. 2006. Meta analysis of soy intake and breast cancer risk. *J Natl Cancer Inst.* 98: 459-471.
 35. Tsukamoto C, Shimada S, Ijta K, Kudou S, Kokubun M, Okubo K, Kitamura K. 1995. Factors affecting isoflavone content in soybean seeds: Changes in isoflavones, saponins and composition of fatty acids at different temperatures during seed development. *J Agric Food Chem* 43: 1184-1192.
 36. Yan W, Maoying Y, Wenyu Y, Weiguo L, Taiwen Y. 2011. Multivariate analysis on isoflavone content for soybean landraces in Sichuan Basin. *J Animal & Plant Sciences.* 11: 1380-1393.
 37. Wang H, Murphy PA. 1994. Isoflavone composition of American and Japanese soybeans in Iowa: Effects of variety, crop year, and location. *J Agric Food Chem* 42: 1674-1677.