

유색미 도입 유전자원의 생육 및 품질특성 변이 다변량 분석

박종현¹ · 이지윤² · 전재범² · 유오종^{3,†} · 손은호^{3,†}

Multivariate Analysis of Variation of Growth and Quality Characteristics in Colored Rice Germplasm

Jong-Hyun Park¹, Ji-Yoon Lee², Jae-Buhm Chun², Oh-Jong You^{3,†}, and Eun-Ho Son^{3,†}

ABSTRACT The aim of this study was to evaluate the variation of growth and quality characteristics in colored rice from 178 accessions and to develop useful, basic rice breeding data by classifying these germplasm characteristics via principal component (PC) analysis. The coefficient of variation of the 178 colored rice accessions were the highest for panicle length (PL) and protein contents, followed by length-width ratio (LWR), 1000-grain weight (TGW), culm length (CL), and amylose contents, whereas the lowest was for the number of panicles per hill (NP), which is a yield component. The results from the PC analysis exhibited eigenvalues and contributions respective to each PC as follows: PC1, 2.06 and 29.49%; PC2, 1.31 and 18.75%; PC3, 1.21 and 17.36%; PC4, 1.01 and 14.38%. The eigenvalues of four PCs were over 1.0, and their cumulative contributions were 79.98%, which completes the necessary condition for evaluation of the 178 colored rice accessions. Cluster analysis showed cluster I as the largest, which included 79 accessions, while clusters II, III, IV, V, VI, and VII comprised 46, 19, 13, 4, 8, and 9 accessions, respectively. Moreover, dark brown accessions were dispersed in clusters I and II, and many resources of purple seed coat color were found in clusters V, VI, and VII. Particularly, cluster V had resources of only black and purple seed coat colors. Resources of cluster VII were found to have a relatively small average CL, PL, and LWR; notably, cluster V had the smallest average TGW, and cluster IV the lowest NP but the highest TGW. Finally, considering the yield potential, growth characteristics, heading stage, and color during breeding of colored rice, we obtained the following conclusions: cluster VII is suitable for breeding of colored rice; cross breeding among clusters I, II, and VII has a high yield potential; and it is possible to produce a superior color by cross breeding plants from cluster V and VI.

Keywords : colored rice, germplasm, multivariate analysis of variation, principal component, rice

최근 식생활 변화와 1인 가구 증가 등에 따라 쌀 소비가 급격히 감소하고 있는 추세다. 하지만, 한편으로는 웰빙 등 건강에 대한 관심 증가에 따라 쌀의 기능성이 중요시 되면서, 유색미를 포함한 기능성 쌀에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 유색미는 Cyanidin-3-glucoside, Malvidin-3-galactoside 등의 안토시아닌을 함유하고 있고, 현미 종피층에 얽은 갈색에서 적갈색, 짙은적색, 자색 등의 색소가 포함된 쌀로서, 안토시아닌 중에서 Cyanidin-3-glucoside (C3G)가 가장 많이 존재하는 것으로 알려져 있다(Reddy *et al.*, 1994;

Ryu *et al.*, 1998; Ryu, 2013; Ryu, 2014). 최근에 농촌진흥청(국립식량과학원)은 흑미계통인 ‘밀양152호’에 유리당 함량이 높은 유전자원 ‘sugary’를 이용해 ‘건강홍미’(Song *et al.*, 2017) 품종을 육성하였고, 한국방송통신대학교는 흑진주벼와 수원425호의 후대계통인 C3GHi 벼와 대립벼1호를 교배해 고기능성 조생종 품종인 빠른슈퍼자미(Ryu, 2016)를 개발했다.

작물의 육종에서는 육종소재로 활용되는 품종, 육성계통 등 유전자원의 유용형질 활용이 주목적이며, 이들 유전자

¹농림축산식품부(Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, Sejong 30110, Korea)

²국립식량과학원(National Institute of Crop Sciences, Wanju-gun 55365, Korea)

³국립농업과학원(National Institute Agricultural Sciences, Wanju-gun 55365, Korea)

[†]Corresponding author: Oh-Jong You & Eun-Ho Son; (Phone) +82-63-238-3365; (E-mail) zzan@korea.kr & picaon@nate.com

<Received 14 May, 2018; Revised 21 June, 2018; Accepted 6 July, 2018>

원의 유연관계 분석을 통해 자원을 분류하는 것은 품종육성에 매우 중요하다.

농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터에는 국외에서 도입한 유색미 유전자원이 178점(2016년 12월 31일 기준)이 보관되어 있으며, 품종육성, 성분분석 등에 다양하게 활용되고 있다. 품종과 유전자원에 대한 유전적 다양성(군집분석 포함) 분석은 다변량 분석(Park *et al.*, 2014), 생화학적 동위효소(Han *et al.*, 1999) 및 DNA 마커 등이 많이 이용되고 있고(Ghosh *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2006), 그 중 다변량 분석은 다양한 여러 형질들이 관여하는 정도가 고려되는 까닭에 품종, 유전자원의 평가 및 작물육종 등 여러 연구분야에 걸쳐 다양하게 이용되고 있고(Nielsen & Munchk, 2003; Ennis *et al.*, 1982), 작물 중에서는 옥수수(Park *et al.*, 2014; Choi, 2010), 딸기(Kim *et al.*, 2009) 및 벼(Kim *et al.*, 2016; Kwak & Yeo, 2004) 등에 대한 연구가 보고된 바 있다. 본 연구에서는 국외 도입 유색미 유전자원의 생육특성 및 품질 관련 특성을 조사하고 그 결과를 바탕으로 다변량 분석을 통해 자원군을 구분하고자 하였다.

재료 및 방법

시험에 활용된 유색미 178 유전자원은 육성계통이 45자원, 품종이 44자원, 잡초형이 16자원, 재래종이 73자원이 이용되었으며, 대륙별(국가별)로는 아프리카 3자원, 아메리카 2자원, 아시아 150자원, 유럽 5자원, 원산지 미상이 18자원이었다. 유색미 유전자원의 종피색은 암자색(흑색) 5자원, 짙은 갈색 94자원, 자색 25자원, 적색 45자원, 얼룩진 갈색 4자원 및 얼룩진 자색 5자원이었다(Table 1). 시험에 활용된 유전자원은 농촌진흥청 농업유전자원센터로부터 분양받았으며, 경남 밀양에 위치한 국립식량과학원 남부작물부 시험포장에서 2015년 5월 13일에 파종하였으며, 이양은 6월 3일에 주당 1본씩 30×15 cm 간격으로 실시하였다. 시비량은 질소(N₂O)-인산(P₂O₅)-칼리(K₂O)를 10a당 성분량으로 9.0-4.5-5.7 kg를 시용하였으며, 기타 물 관리나 병해충 방제는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다. 생육 및 수량구성요소에 해당하는 형질의 조사는 농업유전자원센터의 벼 특성평가 기준(RDA, 2006)에 준하였고, 쌀의 단백질 및 아밀로스함량은 농촌진흥청 표준조사방법(RDA, 2003)에 따라 단백질은 Micro Kjeldahl법(Nx5.95), 아밀로스 함량은 Juliano (1985)의 비색정량법(발색온도 30℃)에 따라 전분 호화액을 요오드 정색반응 후 620 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 계산하였다. 통계프로그램 R (V.3.4.4)를 이용하여 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)

를 수행했고, Average Linkage Cluster 방법으로 군집분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

생육 및 품질특성 변이

178개의 도입 유색미 유전자원에 대한 생육형질 및 품질 특성의 최소, 최대, 평균, 표준편차 및 변이계수는 Table 2와 같다. 생육형질인 간장은 57.3 (IT 277450)~161.6 cm (IT 114353)의 범위로 평균 106.7 cm이었고, 이삭길이는 14.9 (IT 277412)~32.5 cm (IT 2346)범위로 평균 24.5 cm이었다. Kim *et al.* (2016)은 국내 육성 벼 243개 품종의 속기에 따른 간장 길이 평균이 조생종은 76.86 cm, 중생종은 78.20 cm, 만생종은 74.32 cm라 하였고, 이삭길이는 조생종이 평균 21.57 cm, 중생종이 20.02 cm, 만생종이 18.92 cm라고 보고한 결과를 비추어 볼 때 도입 유색미 유전자원 178자원의 평균 간장과 이삭길이가 국내 육성 벼 품종에 비해 긴 것으로 나타났다. 이는 간장길이가 100 cm이상인 자원이 전체 자원 중 61% (108자원)를 차지하고, 이들 자원 중 재래종이 48자원, 육성계통이 27자원, 잡초형이 7자원이었으며, 이삭길이는 27 cm이상인 자원이 전체 자원 중 20% (36자원)를 차지했고, 이들 자원 중 재래종이 18자원, 육성계통이 8자원, 육성품종이 9자원인 점을 고려할 때, 육종 소재로 활용되는 재래종과 육성계통 도입 유색미 유전자원의 긴 간장과 이삭길이 특성이 결과에 영향을 많이 준 것으로 보인다. 주당수수는 평균 7.9개이었고, 범위는 3.0 (IT 112515, 276199)~14.7개(IT 102003)이었으며, 천립중의 평균은 22.5 g이었고, 범위는 13.3 (IT 112327)~35.9 g (IT 346)이었다. 이들 두 수량구성요소 형질도 범위가 넓은 것은 간장과 이삭길이 형질과 마찬가지로 유전적 다양성이 큰 재래종과 육성계통 및 잡초형 도입 유색미 유전자원의 특성에 따른 결과로 보여진다. 생태형을 판단할 수 있는 립(立)장폭비 평균은 2.2배였으며, 범위는 1.5 (IT 277412)~3.2배(IT 251130, 260078, 284199)였다. 아울러, 미질 특성을 나타내는 아밀로스 및 단백질 함량에 있어서 아밀로스 함량 평균은 20.7%이었고, 단백질 함량 평균은 7.4%이었으며, 범위는 각각 3.8 (IT 217781)~26.9% (IT 4568, 268236), 5.0 (IT 284216)~9.4% (IT 204465, 273565, 284186)이었다. Kwak (2011)은 국내 육성연대별 주요 벼 품종의 단백질 함량은 1970년대 이전이 8.0%, 1980~1999년까지는 7.8%, 2000년 이후는 6.3%였으며, 아밀로스 함량은 1970년대 이전이 18.9%, 1980~1999년까지는 19.2%, 2000년 이후는 19.0%라고 보고한 바 있다. 변이계수는 이삭길이, 단백질 함량이 가장 높았고, 장폭

Table 1. Detailed information of the 178 colored rice accessions (from foreign countries) analyzed in this study.

IT No.	Accession Name	Type	Origin		Seed coat Color
			Continent	Country	
102003	Bhurarata 4-10	Breeding line	Asia	China	Red
102318	TNAU658	Breeding line	Asia	China	Red
113940	Kwei 70225	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114206	IRRI-IRGC-1441	Breeding line	Asia	China	Red
114244	IRRI-IRGC-1479	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114345	96-50-1	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114350	97-51-2	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114351	97-39-1	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114352	97-35-2	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114353	97-32-2	Breeding line	Asia	China	Dark brown
114356	98-50-1	Breeding line	Asia	China	Dark brown
192012	Shanghai xiang xue nuo	Breeding line	Asia	China	Purple
217781	NB-182	Breeding line	Asia	China	Purple
217812	Long jin 1	Breeding line	Asia	China	Purple
218973	039-049	Breeding line	Asia	China	Red
218974	Zi xiang nuo 861	Breeding line	Asia	China	Purple
276199	LK1D-2-12-1	Breeding line	Asia	China	Stained dark purple
277450	Ji hei jing	Breeding line	Asia	China	Stained dark purple
277478	W-14	Breeding line	Asia	China	Dark brown
157	IRRI21060	Breeding line	Asia	India	Dark brown
442	IRRI26909	Breeding line	Asia	India	Red
718	CHINSURAH BORO 2	Breeding line	Asia	India	Dark brown
3024	MNP248	Breeding line	Asia	India	Red
264228	Seohaekwan246	Breeding line	Asia	Japan	Stained dark brown
3416	PI208449	Breeding line	Asia	Nepal	Dark brown
3417	PI208449	Breeding line	Asia	Nepal	Red
1066	DE78	Breeding line	Asia	Pakistan	Red
1098	IRRI8504	Breeding line	Asia	Pakistan	Red
1101	IRRI8576	Breeding line	Asia	Pakistan	Dark brown
1103	IRRI8593	Breeding line	Asia	Pakistan	Red
427	BPI76-1	Breeding line	Asia	Philippines	Red
112372	IR10175-13-1-2	Breeding line	Asia	Philippines	Dark brown
112386	IR20896-B-6	Breeding line	Asia	Philippines	Red
112387	IR20897-B-70	Breeding line	Asia	Philippines	Dark brown
361	BJ1	Breeding line	Asia	Thailand	Dark brown
7733	Woe Gue 1	Breeding line	Asia	Taiwan	Red
2391	KAEU N 651	Breeding line	Europe	Russia	Red
2399	KAEU N 5846	Breeding line	Europe	Russia	Dark brown
3859	SC-45	Breeding line	Unknown	Unknown	Dark brown
9776	C 203-1	Breeding line	Unknown	Unknown	Red
112327	ARC14304	Breeding line	Unknown	Unknown	Dark brown
112354	DHALIBORO 476	Breeding line	Unknown	Unknown	Dark brown
112515	TOS12697	Breeding line	Unknown	Unknown	Red
218986	SUNG PAN TAO	Breeding line	Unknown	Unknown	Dark brown
220079	LKA-3-6-12-1-1	Breeding line	Unknown	Unknown	Purple
113891	TUNG AN CHUNG	Landrace	Asia	China	Red

Table 1. Detailed information of the 178 colored rice accessions (from foreign countries) analyzed in this study (Continue).

IT No.	Accession Name	Type	Origin		Seed coat Color
			Continent	Country	
113893	HEI CHIAO CHUI LI HSIANG KENG	Landrace	Asia	China	Dark brown
113903	HEI PEN	Landrace	Asia	China	Dark brown
113905	LU YU 132	Landrace	Asia	China	Dark brown
113946	TWAN TSI C	Landrace	Asia	China	Dark brown
113947	PU SAN 1	Landrace	Asia	China	Dark brown
113948	HSIN CHOW TSAO SHENG	Landrace	Asia	China	Dark brown
113999	HWANG MU	Landrace	Asia	China	Dark brown
114003	TI HO HUNG	Landrace	Asia	China	Dark brown
114005	HUI LEI	Landrace	Asia	China	Dark brown
114013	LU WAN HSIEN	Landrace	Asia	China	Red
114015	PI 160637	Landrace	Asia	China	Red
114017	PI 160639	Landrace	Asia	China	Dark brown
114018	PI 160640	Landrace	Asia	China	Dark brown
114126	P 168	Landrace	Asia	China	Dark brown
114127	P 171	Landrace	Asia	China	Dark brown
114133	P 155	Landrace	Asia	China	Dark brown
114205	HWANG MIAO CHAN	Landrace	Asia	China	Dark brown
114211	TSU TA LI	Landrace	Asia	China	Red
114251	CHENG CHANG	Landrace	Asia	China	Red
114254	WC 550	Landrace	Asia	China	Dark brown
114271	Tsi Chiol Tsa	Landrace	Asia	China	Dark brown
114281	HUNG HSIEN JU	Landrace	Asia	China	Purple
114292	KENG CHI JU	Landrace	Asia	China	Dark brown
114299	PI 161006	Landrace	Asia	China	Dark brown
114304	PA JU	Landrace	Asia	China	Dark brown
114326	MEI SHAN HEI KU	Landrace	Asia	China	Purple
114332	SUNG PAN TAO	Landrace	Asia	China	Dark brown
114374	Hung Hsien Ju	Landrace	Asia	China	Purple
114375	Hung Hsien Ju	Landrace	Asia	China	Purple
264802	Shang nong hei nuo 92	Landrace	Asia	China	Purple
266260	Yunnan Landrace 6	Landrace	Asia	China	Dark brown
273563	S CHERNYMI OSTYAMI	Landrace	Asia	China	Dark brown
10126	Sigadagaba	Landrace	Asia	Indonesia	Dark brown
8671	Jungsukhwanado	Landrace	Asia	Japan	Red
274175	WIR1775	Landrace	Asia	Kazakhstan	Dark brown
228201	Kazim	Landrace	Asia	Kyrgyzstan	Dark brown
228202	Akuruk	Landrace	Asia	Kyrgyzstan	Dark brown
228203	Margo	Landrace	Asia	Kyrgyzstan	Dark brown
241902	Real Kazim	Landrace	Asia	Kyrgyzstan	Dark brown
268297	Phnom Penh Westnorth Landrace 54	Landrace	Asia	Cambodia	Red
2346	JUMLA LOCAL 1	Landrace	Asia	Nepal	Dark brown
2351	JUMLA LOCAL 8	Landrace	Asia	Nepal	Dark brown
200446	Angga	Landrace	Asia	Nepal	Dark brown
275020	K 271-4	Landrace	Asia	Philippines	Red
276544	K 11137-13	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284186	K 11340-102	Landrace	Asia	Philippines	Red

Table 1. Detailed information of the 178 colored rice accessions (from foreign countries) analyzed in this study (Continue).

IT No.	Accession Name	Type	Origin		Seed coat Color
			Continent	Country	
284193	K 7800-536	Landrace	Asia	Philippines	Purple
284195	K 11292-203	Landrace	Asia	Philippines	Stained dark purple
284196	K 11337-99	Landrace	Asia	Philippines	Black
284197	K 11318-79	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284199	K 11040-120	Landrace	Asia	Philippines	Purple
284201	K 6333-227	Landrace	Asia	Philippines	Red
284203	K 7400-372	Landrace	Asia	Philippines	Purple
284207	K 5978-127	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284212	K 6607-665	Landrace	Asia	Philippines	Purple
284214	K 5976-126	Landrace	Asia	Philippines	Red
284216	K 11243-321	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284217	K 11136-11	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284218	K 11134-7	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284220	K 11247-325	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284226	K 11339-101	Landrace	Asia	Philippines	Red
284227	K 11307-65	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284230	K 7800B-534	Landrace	Asia	Philippines	Black
284232	K 11125-169	Landrace	Asia	Philippines	Red
284236	K 11323-84	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284240	K 11354-117	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284241	K 11329-90	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
284244	K 11133-6	Landrace	Asia	Philippines	Dark brown
235706	UZB-GJG-2004-38	Landrace	Asia	Uzbekistan	Dark brown
235707	UZB-GJG-2004-41	Landrace	Asia	Uzbekistan	Dark brown
235744	Devzra	Landrace	Asia	Uzbekistan	Dark brown
273565	Shestrest	Landrace	Europe	Azerbaijan	Dark brown
1581	HEI-CHIAO-CHUI-LI HSING KENG	Variety	Asia	China	Dark brown
1742	HUNG-TSAN	Variety	Asia	China	Purple
3160	N-GAN-TSAN	Variety	Asia	China	Purple
117885	XIAO HONG GU	Variety	Asia	China	Red
204465	Beijing 3	Variety	Asia	China	Purple
220078	Shanghai xiang xue nuo	Variety	Asia	China	Purple
242048	260516	Variety	Asia	China	Purple
264942	Jilin Coll. #8	Variety	Asia	China	Purple
264944	Jilin Coll. #5	Variety	Asia	China	Black
264945	Unknown var. China #2	Variety	Asia	China	Black
274397	Donghangu	Variety	Asia	China	Dark brown
277412	Hong mi	Variety	Asia	China	Red
3969	Siharboei	Variety	Asia	Indonesia	Red
120	ANNAPURNA	Variety	Asia	India	Red
1158	DULAR	Variety	Asia	India	Dark brown
3984	SITASAIL	Variety	Asia	India	Red
268236	syaki	Variety	Asia	India	Dark brown
8643	Nakate Shinsenbon	Variety	Asia	Japan	Dark brown
217337	Kitano Murasaki	Variety	Asia	Japan	Purple
275327	Tokachikuromomi	Variety	Asia	Japan	Red

Table 1. Detailed information of the 178 colored rice accessions (from foreign countries) analyzed in this study (Continue).

IT No.	Accession Name	Type	Origin		Seed coat Color
			Continent	Country	
275336	A-107	Variety	Asia	Japan	Red
3330	Pachchai Perumal	Variety	Asia	Srilanka	Dark brown
268187	PODI NIYAN WEE	Variety	Asia	Srilanka	Dark brown
1082	DHARIAL	Variety	Asia	Pakistan	Dark brown
2969	Marichbuti	Variety	Asia	Pakistan	Dark brown
268192	SADA SOLAY	Variety	Asia	Pakistan	Dark brown
214850	IRAT 10	Variety	Africa	Ghana	Red
267922	BOSSA	Variety	Africa	Guinea	Red
274111	PRETO REGADO 142	Variety	Africa	Morocco	Dark brown
3465	PRATAO	Variety	America	Brazil	Dark brown
4568	WHARIAL	Variety	America	United States of America	Dark brown
275564	Uzros 770	Variety	Europe	Russia	Dark brown
275565	Vil'Kidziri	Variety	Europe	Russia	Dark brown
346	BINEGAI	Variety	Unknown	Unknown	Stained dark brown
1299	FARAM BAGODE	Variety	Unknown	Unknown	Red
1309	FON-CHAN-THON	Variety	Unknown	Unknown	Dark brown
3783	SAKITA	Variety	Unknown	Unknown	Dark brown
3977	SINAPON	Variety	Unknown	Unknown	Red
9621	ANNAPOORNA	Variety	Unknown	Unknown	Red
9972	Panbira	Variety	Unknown	Unknown	Stained dark brown
112456	MACHE	Variety	Unknown	Unknown	Dark brown
220081	Ac-1423	Variety	Unknown	Unknown	Purple
220082	Sanghyaehanghyulna	Variety	Unknown	Unknown	Red
220088	Yamautaka	Variety	Unknown	Unknown	Red
259969	YW1411	Weedy type	Asia	Butan	Dark brown
251164	Keng Chi Ju	Weedy type	Asia	China	Red
260077	Ai xue nuo	Weedy type	Asia	China	Purple
260078	Hei mi nuo	Weedy type	Asia	China	Purple
283515	Wanzi	Weedy type	Asia	China	Black
268220	Tinggu Loko	Weedy type	Asia	Indonesia	Stained dark purple
259938	Chinsurah2	Weedy type	Asia	India	Dark brown
259939	Bankural	Weedy type	Asia	India	Dark brown
259941	Abor Red B	Weedy type	Asia	India	Dark brown
259942	Bhadui	Weedy type	Asia	India	Dark brown
260591	Laos red rice19	Weedy type	Asia	Laos	Stained dark brown
251130	Padi Adongdumarat	Weedy type	Asia	Malaysia	Stained dark purple
259944	Bageri	Weedy type	Asia	Nepal	Dark brown
259950	Marshi	Weedy type	Asia	Nepal	Dark brown
251131	Tak Sufaid	Weedy type	Asia	Pakistan	Red
259958	Baliatinao	Weedy type	Asia	Philippines	Purple

비, 천립중, 간장, 아밀로스 함량 순으로 높았고, 수량구성 요소인 주당수수가 가장 낮았다(Table 2). Malik (2011)에 따르면 변이계수가 높은 형질들이 자원의 다양성 평가 및

분류에 유용한 지표형질이 될 것이라는 점에서 이삭길이와 단백질 함량은 도입 유색미 유전자원의 형질 평가에 유용할 것으로 보여진다.

Table 2. Minimum, maximum, mean, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) of observed traits in 178 colored rice accessions.

Statistics	CL (cm)	PL (cm)	NP (no.)	1000-grain Wt (g)	LWR	Amylose content (%)	Protein content (%)
MIN	57.3	14.9	3	13.3	1.5	3.8	5
MAX	161.6	32.5	14.7	35.9	3.2	26.9	9.4
Mean	106.7	24.5	7.9	22.5	2.2	20.7	7.4
SD	25.6	3.1	2.4	3.4	0.3	5.9	1.0
CV (%)	4.2	7.9	3.2	6.6	7.3	3.5	7.5

*CL: culm length; PL: panicle length; NP: number of panicles per hill; TGW: 1000-grains weight; LWR: length-width ratio

주성분 분석

고유값과 각 주성분의 기여도(누적기여도 포함)는 Table 3과 같다. 제1주성분은 전체 변이의 29.49%를, 제2주성분은 18.75%, 제3주성분은 17.36%, 제4주성분은 14.38%를 각각 차지하고 있었으며 4주성분까지의 누적기여율은 79.9%로 나타났다. 일반적으로 고유값이 1 이상이 되도록 주성분의 수를 결정(Janmohammadi *et al.*, 2014)하고, 이들 주성분만을 선택하여 군집분류를 함에 따라, 본 연구에서는 분류된 4개 주성분의 고유값이 모두 1 이상인 것으로 나타났고, 제4주성분으로 전체 변이의 79.97%를 설명할 수 있기 때문에 이를 통해 유색미 도입 유전자원 178자원의 유전적 변이에 따른 분류가 가능한 것으로 나타났다. Kim *et al.* (2016)은 국내 육성 벼 243개 품종에 대한 생육형질을 이용한 다변량 분석에서 고유값이 1 이상인 3개의 주성분 기여도가 74%이었다고 보고하였고, Kwak & Yeo (2004)는 자포니카, 통일형 등 벼 16품종에 대한 수량구성요소 등을 이용한 다변량 분석에서 고유값이 1 이상인 2개의 주성분 기여도가 73.1%라고 보고한 바 있다.

벼 생육형질 및 품질특성과 주성분 간의 관계를 나타내는 결과는 Table 4와 같다. 이는 각각의 주성분 결과에 벼 생육형질 및 품질특성이 관여하는 정도를 나타낸 것인데, 제1주성분에서는 간장과 이삭길이가 크게 연관되었고, 제2주성분에서는 주당수수와 천립중이 높게 관여된 것으로 나타났다. 제3주성분은 립(立)장폭비, 아밀로스함량이 크게 관여하였고, 제4주성분은 단백질함량이 크게 관여한 것으로 나타났다. 따라서 제1주성분과 제2주성분에 높게 영향을 미친 간장, 이삭길이, 주당수수, 천립중 4가지 생육형질이 도입 유색미 유전자원을 분류하는데 매우 중요할 것으로 여겨진다. 다만, 생육 및 품질특성 변이 분석 결과(Table 2)에서 이삭길이와 단백질 함량 특성이 변이계수가 높아 형질평가에 유용할 것으로 검토된 결과를 상호 검토 시 주성분 분석은 서로 연관되어 있는 측정변수들을 서로 독립적

Table 3. Eigen values and contribution obtained from principal component analysis of the 178 colored rice accessions analyzed.

Principal component	Eigen values	Contribution (%)	Cummulative Contribution (%)
PC1	2.06	29.49	29.49
PC2	1.31	18.75	48.24
PC3	1.21	17.36	65.60
PC4	1.01	14.38	79.97

Table 4. Relation coefficients between growth and quality characteristics and principal components (PCs) of the 178 colored rice accessions analyzed.

Characters	PC1	PC2	PC3	PC4
CL	-0.599	0.182	-0.037	0.028
PL	-0.565	0.117	-0.205	-0.229
NP	0.188	0.660	0.310	-0.035
TGW	-0.293	-0.566	0.259	-0.333
LWR	0.003	0.281	-0.714	-0.360
Amylose	-0.360	0.343	0.487	-0.052
Protein	0.264	0.029	0.216	-0.838

*CL: culm length; PL: panicle length; NP: number of panicles per hill; TGW: 1000-grains weight; LWR: length-width ratio

인 소수의 인공변수인 주성분으로 차원축소를 피하는 것(Kang, 2013)이고 변이계수는 표준편차를 평균으로 나눈 상대적 분산정도를 나타내는 통계적 특성을 감안 시 다양한 유전적 변이 특성을 활용하기 위한 유전자원 형질평가는 변이계수 산출뿐만 아니라 주성분 분석을 통한 평가가 유용할 것으로 판단된다.

군집 분석

Average Linkage Cluster 방법으로 군집분석 한 결과, Fig. 1 및 Table 5와 같이 7개의 군집으로 구분하였다. I군집은 IT220088 등 79자원이 포함되었으며, II, III, IV, V, VI, VII 군집은 각각 46자원, 19자원, 13자원, 4자원, 8자원 및 9자원이 분포하였다. I군집은 시험 대상 유전자원 대비 전체의 44%로 가장 많은 자원이 포함되어 있었으며, II군집은 26%로 그 다음 큰 군집이었다. III군집은 11%로 I-III군집이 전체의 81%를 포함하였다. 또한, IV군집은 7%, V군집은 2%, VI군집은 4%, VII군집은 5%로 구분되었다.

I군집에는 육성계통이 26자원이었으며, 육성품종이 17, 잡초형이 5자원, 재래종이 31자원으로, 군집내에서는 재래종(39%), 육성계통(33%), 육성품종(22%), 잡초형(6%) 순으로, 재래종이 가장 많았다. II군집에서는 재래종 19자원(41%), 육성품종 13자원(28%), 육성계통 11자원(24%), 잡초형 3자원(7%)로 분포하였다. III군집은 재래종 13자원, 잡초형 4자원, 육성품종 2자원으로, 재래종이 군집내에서 68%로 많은 점유율을 보였고, IV군집에서는 재래종이 7자원, 육성품종이 4자원, 육성계통이 2자원 분포하였다. V군집과 VI군집, VII군집에서는 각각 4자원, 8자원, 9자원으로 다른 군집에 비하여 각 군집에 포함된 자원의 수가 적었다.

Table 6과 같이 I군집, II군집에서는 짙은 갈색의 자원이 많이 있었고, V군집, VI군집, VII군집에서는 자색 계열의 종피색을 가진 자원이 많았다. 특히, V군집은 암자색(흑색)과 자색만으로 자색계열의 종피색을 가진 자원만이 포함되어 있다. Kim *et al.* (2008)의 유색미의 항산화활성 분석결과에서 흑미가 가장 많은 페놀 함량과 강한 항산화활성을 나타냈고, 갈색벼, 백색미 순으로 감소하는 경향을 보였으며, Lee *et al.* (2012)은 비타민 B₁과 B₂를 분석한 결과 적미가 흑미와 녹미에 비해 높은 값을 나타낸 평가결과를 바탕으로, 각 군집별 유색미 자원을 기능성 벼 품종 육종에 활용하는 방안도 검토할 필요가 있다.

Table 7은 군집별 양적형질 항목별 평균값을 나타낸 것으로, III군집과 V군집에서는 수량과 연관된 평균 주당수수와 천립중이 다른 군집에 비해 낮게 나타났는데, 이는 상대적으로 다른 군집에 비해 잡초형과 재래종 유전자원이 높게 점유한 결과로 판단할 수 있다. 이러한 결과로 유색미 유전자원 중 수량이 우수한 자원을 선발할 경우에는 III군집과 V군집 보다는 I군집이나 II군집, VII군집이 보다 유용할 것으로 생각된다. VII군집에서 간장, 이삭길이가 다른 군집에 비해 가장 평균값이 적었으며, V군집에서는 천립중 평균이 다른 군집에 비해 가장 낮았다. IV군집에서는 평균 주당수수가 가장 낮았으나, 천립중 평균은 가장 높

게 나타난 것으로, 수중형 자원 선발을 위해서 효과적으로 이용될 가능성이 있을 것으로 생각된다. V군집, VI군집, VII군집은 자색계열의 종피색을 가진 자원이 많았으며, 또한 아밀로스 평균값이 7이하로 나타난 특징이 있다. 이를 통해 분석 수치상으로 아밀로스가 낮은 것을 목표로 하는 육종 시 쉽게 자원을 선발할 수 있는 기준이 될 것으로 판단되며, 가공용 흑미 육종 시 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

흑미의 육종목표는 안토시아닌 함량이 많아 색택이 진한 흑색으로 보이는 것이 우선 선발되어야 한다. 따라서 V군집, VI군집, VII군집이 선발대상이 되며 생육특성을 고려했을 때 간장이 긴 품종은 도복의 우려가 매우 높아 II, V, VII군집이 유리하다. 안토시아닌은 고온에서 합성이 저하되고 저온에서 촉진되므로 출수기가 늦은 군집이 유리한데 II군집의 경우 출수기가 빨라서 색소 생성환경에 적합하지 않을 것으로 판단된다. 결론적으로 수량성, 생육특성, 출수기, 색택 등을 고려했을 때 VII군집이 적합할 것으로 판단되며 수량성이 높은 I, II, VII군집과 색택이 우수한 V군집, VI군집과의 교배를 통한 육종개량도 가능할 것으로 보인다.

적 요

우리나라에 도입된 유색미 유전자원 178점의 생육 및 품질특성 변이를 평가하고 주성분 분석을 통해 유전자원을 분류하여 벼 육종의 기초자료로 활용하고자 연구를 수행하였다.

1. 도입 유색미 유전자원 178점의 변이계수는 이삭길이가, 단백질 함량이 가장 높았고, 장폭비, 천립중, 간장, 아밀로스 함량 순으로 높았고, 수량구성요소인 주당수수가 가장 낮았다.
2. 유색미 유전자원의 생육 및 품질특성에 대한 주성분 분석 결과, 각 주성분의 고유값과 기여율은 제1주성분 2.06개, 29.49%, 제2주성분 1.31개, 18.75%, 제3주성분 1.21개, 17.36% 및 제4주성분 1.01개, 14.38%로 4개의 주성분 고유값이 1 이상이며, 누적기여율이 79.98%로 도입 유색미 유전자원 평가가 가능하였다.
3. 군집분석 결과, I군집은 79자원이 포함되었으며, II, III, IV, V, VI, VII군집은 각각 46자원, 19자원, 13자원, 4자원, 8자원 및 9자원이 분포하였다. I군집, II군집에는 짙은갈색의 자원이 많이 분포되었고, V군집, VI군집, VII군집에는 자색 계열의 종피색을 가진 자원이 많았다. 특히, V군집은 암자색과 자색만으로 자색계열의 종

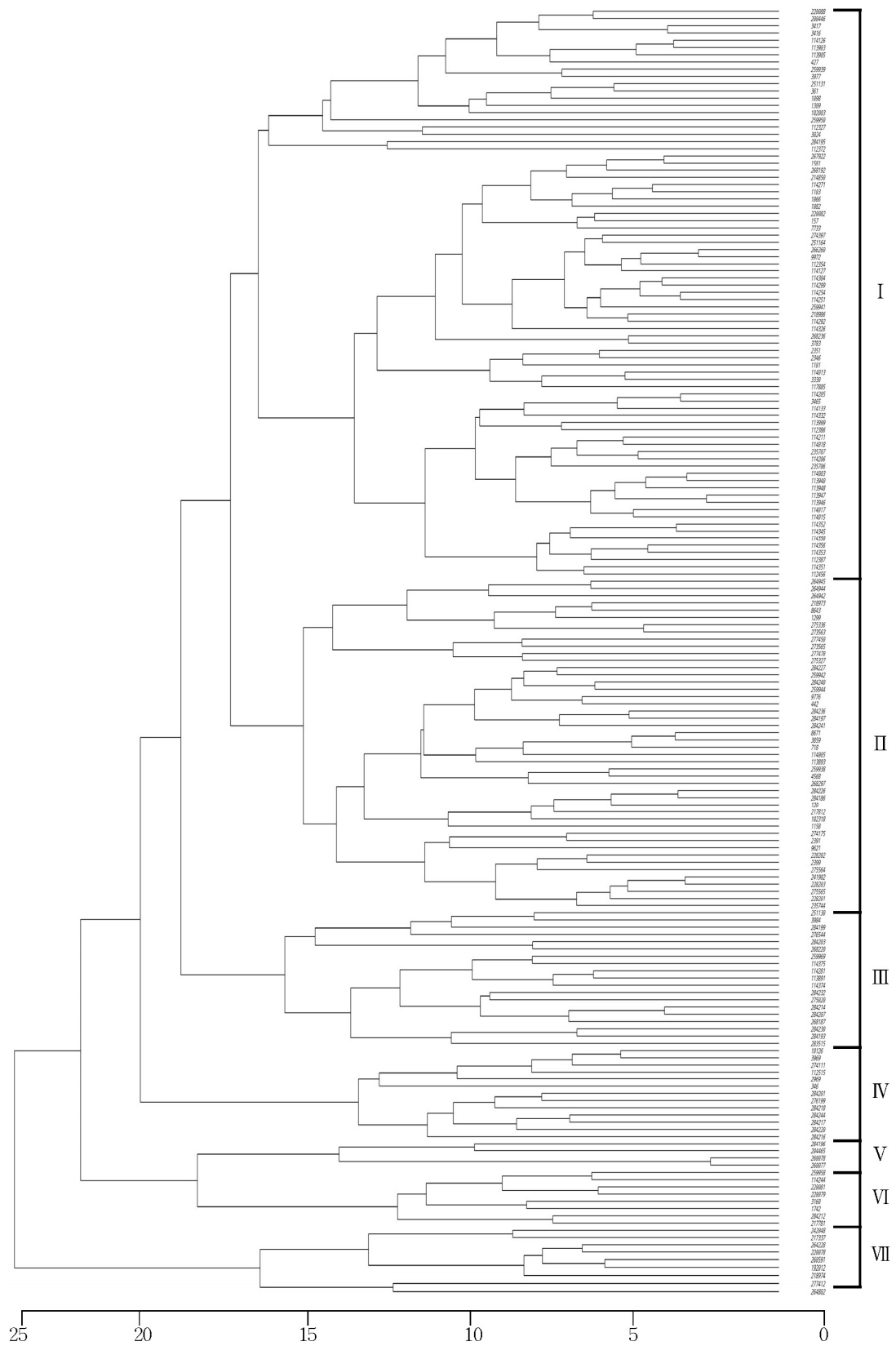


Fig 1. Dendrogram classified by average linkage cluster analysis showing the 178 colored rice accessions used in this study.

Table 5. Number of accessions in each cluster arranged by type.

Cluster	Type				Total
	Variety	Breeding line	Weedy type	Landrace	
I	17 (21.5%)	26 (32.9%)	5 (6.3%)	31 (39.3%)	79
II	11 (23.9%)	13 (28.3%)	3 (6.5%)	19 (41.3%)	46
III	-	2 (10.5%)	4 (21.1%)	13 (68.4%)	19
IV	2 (15.4%)	4 (30.8%)	-	7 (53.8%)	13
V	-	1 (25%)	2 (50%)	1 (25%)	4
VI	3 (37.5%)	3 (37.5%)	1 (12.5%)	1 (12.5%)	8
VII	3 (33.3%)	4 (44.5%)	1 (11.1%)	1 (11.1%)	9
Total	45 (25.3%)	44 (24.7%)	16 (9.0%)	73 (41.0%)	178 (100%)

Table 6. Number of accessions in each cluster arranged by seed coat color.

Cluster	Seed coat Color						Total
	Black	Purple	Stained dark purple	Dark brown	Stained dark brown	Red	
I	-	1	1	54	1	22	79
II	2	2	1	27	-	14	46
III	2	6	2	4	-	5	19
IV	-	-	1	8	1	3	13
V	1	3	-	-	-	-	4
VI	-	7	-	1	-	-	8
VII	-	6	-	-	2	1	9
Total	5	25	5	94	4	45	178

Table 7. Clusters of the colored rice accessions analyzed showing average growth and quality related characteristics.

Cluster	Character						
	CL (cm)	PL (cm)	NP	1000-grain Wt (g)	LWR	Amylose content (%)	Protein content (%)
I	120.3	26.0	8.8	22.4	2.1	23.8	7.3
II	81.3	21.9	8.3	22.1	2.2	20.8	8.1
III	120.3	25.0	5.4	20.2	2.7	21.3	6.6
IV	124.2	26.3	4.9	29.5	2.1	23.0	6.4
V	75.2	24.9	7.8	19.0	2.9	6.2	8.5
VI	117.7	27.9	6.4	23.1	2.4	6.3	7.1
VII	68.3	19.0	8.8	20.9	1.9	6.7	6.8
Mean	106.7	24.5	7.9	22.5	2.2	20.7	7.4

* CL: culm length; PL: panicle length; NP: number of panicles per hill; TGW: 1000-grains weight; LWR: length-width ratio

피색을 가진 자원만이 포함되어 있다. VII군집에서 간장, 이삭길이, 장폭비가 다른 군집에 비해 평균값이 적었으며, V군집에서는 천립중 평균이 다른 군집에 비해 가장 낮았다. IV군집에서는 평균 주당수수 가장 낮았으나, 천립중 평균은 가장 높게 나타났다.

References

- Choi, H. G. 2010. Assessment of major physicochemical components on waxy corn hybrids (*Zea mays* L.). Department of Agronomy, Graduate School, Chungnam National University. PhD thesis. p. 123.
- Ennis, D. M., H. Boelens, H. Haring, and P. Bowman. 1982. Multivariate analysis in sensory evaluation. *Food Technology*. pp. 83-90.
- Ghosh, J. P., D. Ghosh, and P. R. Choudhury. 2014. An assessment of genetic relatedness between soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] cultivars using SSR markers. *American Journal of Plant Sciences*. 5(20) : 3089-3096.
- Han, O., J. Abe, and Y. Shimamoto. 1999. Genetic diversity of soybean landraces in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 44(3) : 256-262.
- Janmohammadi, M., Z. Movahedi, and N. Sabaghnia. 2014. Multivariate statistical analysis of some traits of bread wheat for breeding under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences*. 59(1) : 1-14.
- Juliano B. O. 1985. *Rice : Chemistry and Technology*. AACC second edition. p. 757.
- Kang, H. C. 2013. A guide on the use of factor analysis in the assessment of construct validity. *J. Korean Acad. Nurs.* 43(5) : 587-594.
- Kim, D. Y., M. K. Yoon, J. H. Kwak, T. I. Kim, and J. H. Kim. 2009. Classification of strawberry germplasms based on horticultural traits and principal component analysis. *Korean. J. Hort Sci. Technol.* 27(4) : 636-643.
- Kim, E. O., J. H. Oh, K. T. Lee, J. G. Im, S. S. Kim, H. S. Suh, and S. W. Choi. 2008. Chemical compositions and antioxidant activity of the colored rice cultivar. *Korean. J. Food Preserv.* 15(1) : 118-124.
- Kim, M. S., H. J. Lee, D. A. Yu, J. Y. Song, M. Nino, F. Nogoy, J. Kim, Y. S. So, and Y. G. Cho. 2016. Classification of Korean rice varieties based on agro-morphological traits. *Korean J. Breed. Sci.* 48(3) : 254-270.
- Kim, S. H., J. W. Jung, J. K. Moon, S. H. Woo, Y. G. Cho, S. K. Jong, and H. S. Kim. 2006. Genetic diversity and relationship by SSR markers of Korean soybean cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 51(3) : 248-258.
- Kwak, T. S. 2011. Varietal variation of grain yield and physicochemical properties related to grain quality of the major rice varieties by the released year. *Korean J. Intl. Agri.* 23(1) : 109-114.
- Kwak, T. S. and J. H. Yeo. 2004. Varietal variation of yield related and growth analysis related characters in rice based on ecological traits. *Korean J. Intl. Agri.* 16(2) : 143-149.
- Malik, M. F. A. 2011. Evaluation of genetic diversity in soybean (*Glycine max* (L.) genotypes based on agronomic and biochemical traits. Quaid-i-Azam University PhD thesis. p. 170.
- Nielsen, J. P. and L. Munck. 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.
- Park, J. Y., K. J. Sa, K. J. Park, and J. K. Lee. 2014. Analysis of morphological characteristics for normal maize inbred lines. *Korean J. Crop Sci.* 59(3) : 312-318.
- Reddy, V. S., K. V. Goud, R. Sharma, and A. R. Reddy. 1994. Ultraviolet-B-Responsive anthocyanin production in a rice cultivar 1s associated with a specific phase of phenylalanine ammonia lyase biosynthesis. *Plant Physiol.* 105 : 1059-1066.
- Rural Development Administration, National Institute of Crop Science. 2003. Evaluate the quality and taste of rice. Suwon, Korea.
- Rural Development Administration. 2006. Evaluation and management of Rice germplasm. Suwon, Korea. p. 111.
- Ryu, S. N. 2013. Grain of new large-grain pigmented rice variety, 'Daeripjambyeo'. *Korean J. Crop Sci.* 58(2) : 185-189.
- Ryu, S. N. 2014. *Science of functional rice*. KNOU Press. p. 235.
- Ryu, S. N. 2016. Grain quality of a black rice variety 'Pareun-superjami'. *Korean J. Breed. Sci.* 48(4): 547-552.
- Ryu, S. N., S. Z. Park, and C. T. Ho. 1998. High performance liquid chromatographic determination of anthocyanin pigments in some varieties of black rice. *Journal of Food and Drug analysis* 6(4) : 729-736.
- Song, Y. C., J. H. Cho, J. Y. Lee, J. H. Lee, S. H. Oh, S. I. Han, K. H. Jung, W. D. Seo, W. H. Hwang, K. C. Jang, N. B. Park, D. S. Park, S. Y. Kim, H. W. Kang, and H. D. Lee. 2017. Antioxidant functional and red pericarp rice 'Geonganghongmi'. *Korean J. Breed. Sci.* 49(1): 23-30.