



## 피마자 유전자원의 농업형질과 피마자유 함량 기반 다양성 분석

유은애<sup>1,2</sup> · 여준환<sup>3</sup> · 이기안<sup>4</sup> · 이재은<sup>5</sup> · 이수경<sup>6</sup> · 김은경<sup>7</sup> · 김경주<sup>8</sup> · 김류담<sup>9</sup> · 김준용<sup>10</sup> · 이동호<sup>11‡</sup> · 성정숙<sup>12‡</sup>

### Diversity Analysis of Castor Germplasm Based on Agronomic Traits and Castor oil Content

Eun Ae Yoo<sup>1,2</sup>, Jun Hwan Yeo<sup>3</sup>, Gi An Lee<sup>4</sup>, Jae Eun Lee<sup>5</sup>, Soo Kyeong Lee<sup>6</sup>, Eun Gyeong Kim<sup>7</sup>, Gyeong Ju Gim<sup>8</sup>, Ryu Dam Kim<sup>9</sup>, Jun Yong Kim<sup>10</sup>, Dong Ho Lee<sup>11‡</sup>, and Jung Sook Sung<sup>12‡</sup>

#### ABSTRACT

Received: 2024 September 25  
1st Revised: 2024 October 22  
2nd Revised: 2024 November 10  
3rd Revised: 2024 November 23  
Accepted: 2024 November 23

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Background :** Castor (*Ricinus communis* L.) is an important industrial medicinal and oil crop with high economic value. Despite its potential, limited research has been conducted on the diversity of castor germplasm for various industrial uses.  
**Methods and Results :** 189 castor germplasms were characterized according to 13 agronomic traits and evaluated for oil content. Significant positive correlations were observed between seed weight and dimensions. Principal component analysis identified six components that explained 71% of the total variation, with seed and leaf sizes contributing the most to diversity. The germplasm lines were grouped into four distinct clusters. K157287, from Cluster IV, had the largest seed weight and size. (K)908593 from Cluster III had the greatest leaf-related traits but the lowest oil content. Meanwhile, germplasm IT032145 exhibited the highest oil content. IT101352 had the earliest flowering time, whereas IT112895 had the latest flowering time.  
**Conclusions :** The results have highlighted the genetic diversity of the castor germplasm, offering key insights into the development of high leaf yield and oil-rich resources and, providing a foundation for future breeding programs.

**Key Words:** *Ricinus communis* L, Agronomic Traits, Breeding, Castor Oil, Germplasm



#### 서 언

피마자 (*Ricinus communis* L., 아주까리)는 약 280 속 8,500 종의 다양한 식물들을 포함하는 대극과 (*Euphorbiaceae*)에 속하는 식물로 원산지는 아프리카와 인도에 분포하고, 열대 및 아열대 기후에 서식하며 아시아에는 주로 도입되어 재

배되고 있는 분류군이다 (Yang *et al.*, 2020; Nour *et al.*, 2023).

피마자는 약용과 유지 작물로서 전 세계적으로 윤활유, 페인트, 플라스틱, 녹비, 화장품 등 다양한 산업 분야에 활용되며, 플라보노이드, 페놀산, 스테로이드 등의 기능성 물질이 풍부하여 의약품의 원료로도 이용된다 (Severino *et al.*, 2012;

<sup>1</sup>Corresponding author: (Phone) +82-63-238-2133 (E-mail) sjs7861@korea.kr

<sup>‡</sup>Co-corresponding author: (Phone) +82-2-3290-3516 (E-mail) dongholee@korea.ac.kr

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, 연구사 / Researcher, National Institute fo Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54874, Korea.

<sup>2</sup>고려대학교 식물생명공학과 박사과정생 / Ph. D. student, Department of Plant Biotechnology, Korea University, Seoul 02841, Korea.

<sup>3</sup>한국한약진흥원 산업진흥본부 책임연구원 / Principal researcher, Department of Industry Promotion, NIKOM, Jangheung 59338, Korea.

<sup>4</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, 연구사 / Researcher, National Institute fo Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54874, Korea.

<sup>5</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, 연구사 / Researcher, National Institute fo Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54874, Korea.

<sup>6</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, 연구사 / Researcher, National Institute fo Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54874, Korea.

<sup>7</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, 연구사 / Researcher, National Institute fo Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54874, Korea.

<sup>8</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터, 전문연구원 / Researcher, National Institute fo Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54874, Korea.

<sup>9</sup>한국한약진흥원 산업진흥본부 연구원 / Researcher, Department of Industry Promotion, NIKOM, Jangheung 59338, Korea.

<sup>10</sup>한국한약진흥원 산업진흥본부 연구원 / Researcher, Department of Industry Promotion, NIKOM, Jangheung 59338, Korea.

<sup>11</sup>고려대학교 식물생명공학과 교수 / Professor, Department of Plant Biotechnology, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 02841, Korea.

<sup>12</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 기획조정과 연구관 / Researcher, Planning and Coordination Division, NAS, RDA, Jeonju 55365, Korea.

Lee *et al.*, 2017).

피마자를 포함한 유지작물은 인간 필수 지방산의 공급원과 천연 바이오 원료 소재로서 관심이 높아지고 있으며 특히 국내 수요가 높은 원산인 들깨는 들기름에 있는 오메가-3 계열 지방산의 효과가 알려지면서 들기름의 생산을 높이는 품종들이 개발되었다 (Lee *et al.*, 2017).

피마자의 평균 오일 함량은 약 38% - 54%이며, 이는 다른 주요 유지작물과 비교할 때 높은 편으로 많은 불포화지방산을 포함한다 (Chen *et al.*, 2016; Cafaro *et al.*, 2023). 피마자유에는 리신 (ricin) 등 독성 알부민 (albumin)을 포함하고 있어 가공에 주의가 필요하지만 리시놀레산 (ricinoleic acid)이 약 85%를 차지하여 식물 오일에서 유일한 하이드록실 지방산의 원천으로서 산업적으로 매우 중요하다고 알려져 있다 (Kim *et al.*, 2008; Ozcan and Sagiroglu, 2009). 리시놀레산은 올레산을 기질로 하여 지방산 하이드록실화 효소에 의해 생성되며, 에스터화 과정을 거쳐 트리 아실 글리세롤(TAGs) 형태로 피마자 종자 배유 및 배아 내 지질체에 저장된다 (Sturtevant *et al.*, 2019).

2022년 세계 피마자 생산량은 약 185만 톤이며 인도 (87.3%), 모잠비크 (4%), 중국 (2.6%) 및 브라질 (1.3%)에서 주로 생산된다 (FAO, 2022). 이 중 인도의 피마자유 생산량은 56만 톤에 달하며, 조숙 특성을 갖는 유전자원을 선발하여 수확량 증대를 목표로 하는 육종이 활발히 진행되고 있다 (Saratchandra, 2010; Anjani, 2012). 브라질에서는 다양한 피마자 유전자원을 활용하여 병충해 저항성과 내건성 품종을 개발하고 있으며, 기계화에 적합한 자원을 찾는 것을 목표로 하고 있다 (da Silva César and Batalha, 2010; Salihu *et al.*, 2014; Dutra *et al.*, 2015; EMBRAPA, 2020). 에티오피아 등 아프리카와 일부 아시아의 개발도상국에서는 피마자가 경제적으로 중요한 소득 작물로서 지역 경제를 활성화시키는데 기여하고 있다 (Anjani, 2012; Alemaw, 2016; Halley *et al.*, 2021).

피마자는 기후 조건으로 인해 전 세계적으로 광범위하게 재배되기 어려운 특성이 있으며, 리시놀레산을 이용하는 특정 산업에 특화된 용도를 가지고 있어 시장 수요에 제한이 컸다 (Falasca *et al.*, 2012; Landoni *et al.*, 2023). 하지만 최근에는 하이드록실기 구조로 유행성과 비점을 증가시키는 피마자유의 특성으로 인해 바이오디젤 원료로도 많은 주목을 받고 있으며 높아지는 수요로 피마자 재배와 품종 개발에 대한 관심도도 증가하고 있다 (Chan *et al.*, 2010; Severino *et al.*, 2012).

수십 년 동안 높은 수율을 갖는 품종과 교잡종이 개발되었으나, 세계적인 피마자유 수요를 충족하기 위해서 오일 함량 증대, 내충성, 내건성 등을 가진 재배 품종이 요구되고 있다 (Saratchandra, 2010; Anjani, 2012). 피마자의 산업적 중요성이 증가됨에 따라, 피마자의 재배 및 생산성 향상 등에 대한

연구도 활발히 진행되고 있다 (Falasca *et al.*, 2012; Landoni *et al.*, 2023).

품종 재배의 근간이 되는 작물학적 특성과 피마자유 함량의 유연관계 분석 또한 전무한 실정이다 (Kim *et al.*, 2009; Anjani, 2012). 피마자의 다양한 산업적 용도에 따라 육종 목표가 달라질 필요가 있지만, 그동안 피마자의 유전적 다양성을 활용한 새로운 품종 개발은 어려움이 많았다.

본 연구에서는 피마자 189 자원의 농업적 특성과 오일 함량 평가를 통해 고품질 피마자 품종 개발과 생산성 향상을 위한 다양성을 조사하였다. 또한, 피마자의 다양성을 활용하여 환경 변화에 적응할 수 있는 품종을 육성하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 재료

본 연구는 농업유전자원센터 (<http://genebank.rda.go.kr>)로부터 피마자 (*Ricinus communis* L.) 189 자원을 분양받아 수행하였다. 분양받은 자원들은 한국한약진흥원 전남분원 시험연구 포장에 2021년 4월 28일 직파하여 2021년 11월 2일까지 재배하였다. 재식 거리는 120 cm 이랑에 2 열 10 주로 조간 거리 60 cm, 주간 거리 60 cm로 하였고 시비는 10a당 질소 16 kg, 인산 9 kg, 칼리 6 kg을 하였다.

재배 시기 장흥 지역의 월 평균 최고 기온은 7월 26.04°C로 기록되었고 평균 강수량은 7월에 14.6 mm로 가장 높았다 (Fig. 1).

유전자원은 국가등록 유전자원 목록에 포함된 자원 번호와 임시 번호를 부여받은 자원 번호를 표기하였으며 각 자원의 자원명, 원산지, 자원 구분을 나타내었다 (Table 1).

국내 원산 165 자원, 미얀마 3 자원, 파키스탄 3 자원, 중국 2 자원, 우즈베키스탄 2 자원 등 13 개국의 총 189 자원

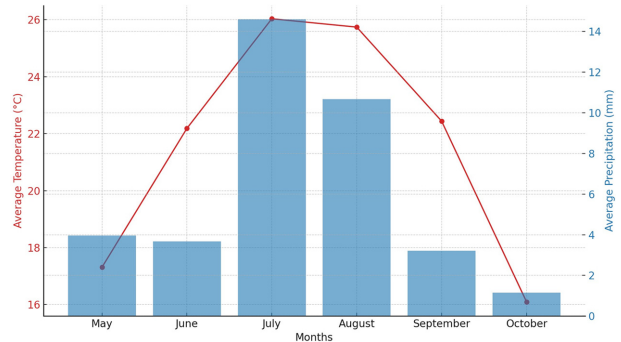


Fig. 1. Monthly climate trends in Jangheung from May to October 2021. The line graph highlights a peak temperature in July at 26.04°C, while the bar chart shows highest rainfall in July with 14.6 mm. Red line: average temperature (°C), blue bars: average precipitation (mm).

**Table 1.** Information of the 189 castor germplasm analyzed in this study.

IT(K) No.	Name	Origin <sup>1)</sup>	Status of Sample	IT(K) No.	Name	Origin	Status of Sample
32142	287-B	unknown	unknown	109050	GyeongbukChilgok-1985-9050	KOR	Landrace
32143	Entosspensed	unknown	unknown	109160	JeonbukJinan-1985-9160	KOR	Landrace
32145	Baker Hybrid 48	unknown	unknown	111087	JeonbukGochang-1985-11087	KOR	Landrace
32153	Baker 296	unknown	unknown	111157	JeonamWando-1985-11157	KOR	Landrace
32166	JeonamJangheung-1984-32166	KOR	Landrace	112796	GyeongbukAndong-1985-12796	KOR	Landrace
32167	JeonamJindo-1984-32167	KOR	Landrace	112805	GyeongbukAndong-1985-12805	KOR	Landrace
32173	GyeongbukGeumneung-1984-32173	KOR	Landrace	112890	GyeonggiHwaseong-1985-12890	KOR	Landrace
32175	GyeongbukAndong-1984-32175	KOR	Landrace	112895	GyeonggiPaju-1985-12895	KOR	Landrace
32176	Hyeopcheon	KOR	Landrace	112947	JeonbukGimje-1985-12947	KOR	Landrace
32181	Incheon-1984-32181	KOR	Landrace	112964	JeonbukGimje-1985-12964	KOR	Landrace
32182	GyeonggiPaju-1984-32182	KOR	Landrace	112997	JeonbukGimje-1985-12997	KOR	Landrace
32185	TaiwanSpecies	unknown	unknown	113134	ChungbukJincheon-1985-13134	KOR	Landrace
101289	JeonbukOkgu-1985-1289	KOR	Landrace	113194	GyeongbukGeumneung-1985-13194	KOR	Landrace
101342	JeonbukOkgu-1985-1342	KOR	Landrace	113196	GyeongbukGeumneung-1985-13196	KOR	Landrace
101352	Jejulho-1985-1352	KOR	Landrace	113223	GyeongbukGeumneung-1985-13223	KOR	Landrace
101385	JeonbukIksan-1985-1385	KOR	Landrace	113253	JeonbukGochang-1985-13253	KOR	Landrace
102590	JeonbukBuan-1985-2590	KOR	Landrace	113277	JeonbukGochang-1985-13277	KOR	Landrace
102609	JeonbukOkgu-1985-2609	KOR	Landrace	113302	JeonbukGochang-1985-13302	KOR	Landrace
102708	GyeonggiPaju-1985-2708	KOR	Landrace	113312	JeonbukGochang-1985-13312	KOR	Landrace
102713	GyeonggiPocheon-1985-2713	KOR	Landrace	113317	JeonbukGochang-1985-13317	KOR	Landrace
102719	GyeonggiPaju-1985-2719	KOR	Landrace	113409	JeonbukGochang-1985-13409	KOR	Landrace
102848	GangwonHoengseong-1985-2848	KOR	Landrace	119982	GyeongbukYeongpung-1986-6241	KOR	Landrace
102864	GyeonggiHwaseong-1985-2864	KOR	Landrace	138078	GyeongbukSeongju-1986-24337	KOR	Landrace
102967	GyeonggiHwaseong-1985-2967	KOR	Landrace	138101	unknown	KOR	Landrace
102984	GangwonHoengseong-1985-2984	KOR	Landrace	138110	GyeongbukSeongju-1986-24369	KOR	Landrace
102993	GyeongbukGeumneung-1985-2993	KOR	Landrace	162745	JeonbukJeongeup-1989-5465	KOR <sup>2)</sup>	Landrace
103008	GyeongbukGeumneung-1985-3008	KOR	Landrace	162782	unknown	KOR	Landrace
103075	GyeonggiHwaseong-1985-3075	KOR	Landrace	162783	unknown	KOR	Landrace
103109	GyeongnamMiryang-1985-3109	KOR	Landrace	162812	unknown	KOR	Landrace
103127	GyeongnamUlju-1985-3127	KOR	Landrace	162815	unknown	KOR	Landrace
103148	GyeongnamUlju-1985-3148	KOR	Landrace	162858	GangwonYangyang-1989-5578	KOR	Landrace
103271	GyeongnamTongyeong-1985-3271	KOR	Landrace	175078	unknown	KOR	Landrace
103292	GangwonSamcheok-1985-3292	KOR	Landrace	175846	Redcastor	KOR	Landrace
103303	GangwonSamcheok-1985-3303	KOR	Landrace	178563	ChungnamTaeon-1993-203	KOR	Landrace
103318	GyeongbukUiseong-1985-3318	KOR	Landrace	180647	GyeongnamGeochang-1993-2287	KOR	Landrace
103333	JeonamBoseong-1985-3333	KOR	Landrace	180982	GyeongbukGeumneung-1993-2622	KOR	Landrace
103349	JeonamBoseong-1985-3349	KOR	Landrace	180983	ChungbukYeongdong-1993-2623	KOR	Landrace
103356	JeonamBoseong-1985-3356	KOR	Landrace	183759	Hazera 22	ISR <sup>3)</sup>	unknown
103303	GangwonSamcheok-1985-3303	KOR	Landrace	178563	ChungnamTaeon-1993-203	KOR	Landrace
103318	GyeongbukUiseong-1985-3318	KOR	Landrace	180647	GyeongnamGeochang-1993-2287	KOR	Landrace
103333	JeonamBoseong-1985-3333	KOR	Landrace	180982	GyeongbukGeumneung-1993-2622	KOR	Landrace
103349	JeonamBoseong-1985-3349	KOR	Landrace	180983	ChungbukYeongdong-1993-2623	KOR	Landrace

Table 1. Continued.

IT(K) No.	Name	Origin <sup>1)</sup>	Status of Sample	IT(K) No.	Name	Origin	Status of Sample
103356	JeonamBoseong-1985-3356	KOR	Landrace	183759	Hazera 22	ISR <sup>3)</sup>	unknown
103472	GangwonHoengseong-1985-3472	KOR	Landrace	185823	GyeongnamJinhae--1994-3484	KOR	Landrace
103556	JeonbukJeonju-1985-3556	KOR	Landrace	185824	GyeongnamTongyeong-1994-3485	KOR	Landrace
103668	GyeongnamGeochang-1985-3668	KOR	Landrace	185825	GyeongbukSeonsan-1994-3486	KOR	Landrace
103676	GyeongnamGeochang-1985-3676	KOR	Landrace	185826	JeonbukNamwon-1994-3487	KOR	Landrace
103716	GangwonHoengseong-1985-3716	KOR	Landrace	185828	ChungnamYesan-1994-3489	KOR	Landrace
103720	GyeongbukGeumneung-1985-3720	KOR	Landrace	191079	Ground nut	THA <sup>4)</sup>	unknown
103832	JeonbukGimje-1985-3832	KOR	Landrace	195066	GyeongbukYecheon-1995-6834	KOR	Landrace
103858	JeonbukGochang-1985-3858	KOR	Landrace	196834	GyeongnamMiryang-1996-1590	KOR	Landrace
104010	JeonbukGochang-1985-4010	KOR	Landrace	196881	No.95119	KOR	Landrace
104070	GyeongnamSamcheon-1985-4070	KOR	Landrace	196882	No.95094	KOR	Landrace
104089	GyeongbukGeumneung-1985-4089	KOR	Landrace	196883	No.95136	KOR	Landrace
104178	GyeonggiPyeongtaek-1985-4178	KOR	Landrace	196884	No.95206	KOR	Landrace
104223	GyeonggiPyeongtaek-1985-4223	KOR	Landrace	201754	Treecastor	RUS <sup>5)</sup>	unknown
104251	GangwonHongcheon-1985-4251	KOR	Landrace	207374	GyeongbukGyeongju-1998-6654	KOR	Landrace
104352	GyeongbukUlleung-1985-4352	KOR	Landrace	207383	GyeongbukYeongcheon-1998-6663	KOR	Landrace
104573	GangwonPyeongchang-1985-4573	KOR	Landrace	212727	90	KOR	Landrace
104622	GangwonHongcheon-1985-4622	KOR	Landrace	212728	10	UZB <sup>6)</sup>	unknown
104637	GyeongbukSeongju-1985-4637	KOR	Landrace	212729	11	UZB	unknown
104665	GyeongbukSeongju-1985-4665	KOR	Landrace	308826	CNS 201302	KOR	Landrace
104671	GyeongbukSeongju-1985-4671	KOR	Landrace	709812	31	KOR	Landrace
104686	GyeongbukDalseong-1985-4686	KOR	Landrace	345371	44	KOR	Landrace
104706	GyeongbukGeumneung-1985-4706	KOR	Landrace	711950	28	KOR	Landrace
104775	GyeongbukGeumneung-1985-4775	KOR	Landrace	712040	40	KOR	Landrace
104784	GyeongbukGeumneung-1985-4784	KOR	Landrace	806354	NPL-NIS-1998-201	unknown	unknown
104916	GyeongnamGoseong-1985-4916	KOR	Landrace	807311	GyeongnamSancheong-1998-60	KOR	Landrace
104940	GyeongnamGoseong-1985-4940	KOR	Landrace	900113	44	KOR	Landrace
104947	GyeongnamGoseong-1985-4947	KOR	Landrace	908593	BOL-AWS-1999-434	unknown	unknown
104993	GyeongnamGoseong-1985-4993	KOR	Landrace	910210	65	KOR	Landrace
105178	GyeongbukMungyeong-1985-5178	KOR	Landrace	345372	JeonamHampyeong	KOR	Landrace
105197	GyeongbukCheongdo-1985-5197	KOR	Landrace	345373	13	KOR	Landrace
105247	JeonbukOkgu-1985-5247	KOR	Landrace	K024656	unknown	CHN <sup>7)</sup>	Landrace
105314	GangwonChuncheon-1985-5314	KOR	Landrace	K127014	101	MMR <sup>8)</sup>	Landrace
105402	GyeongbukYecheon-1985-5402	KOR	Landrace	K136626	Arind	PAK <sup>9)</sup>	unknown
105414	GyeongbukYecheon-1985-5414	KOR	Landrace	K151718	IncheonGanghwa-2008-30	KOR	Landrace
105431	GyeongbukYecheon-1985-5431	KOR	Landrace	K151723	JejuSeogwipo-2008-511	KOR	Landrace
105491	GyeongbukYecheon-1985-5491	KOR	Landrace	K153529	Arand	PAK <sup>10)</sup>	unknown
105507	GyeongbukSeonsan-1985-5507	KOR	Landrace	K153810	RICI 29	PRK <sup>11)</sup>	unknown
105542	GyeongbukGeumneung-1985-5542	KOR	Landrace	K157287	MMR-JAC-2009-23	MMR	unknown
105549	GyeongbukGeumneung-1985-5549	KOR	Landrace	K163402	Arand(A small variety)	PAK	unknown
105630	GyeonggiHwaseong-1985-5630	KOR	Landrace	K168107	sung 44	MMR	Landrace
105688	JeonbukJangsu-1985-5688	KOR	Landrace	K177342	JeonamGokseong-2011-51	KOR	Landrace

**Table 1.** Continued.

IT(K) No.	Name	Origin <sup>1)</sup>	Status of Sample	IT(K) No.	Name	Origin	Status of Sample
105738	JeonbukJangsu-1985-5738	KOR	Landrace	K177459	PER-LHS-2011-15	PER <sup>12)</sup>	unknown
105746	JeonbukJangsu-1985-5746	KOR	Landrace	K246095	CBN047	KOR	Landrace
105952	GyeongnamChangnyeong-1985-5952	KOR	Landrace	K246097	CBN105	KOR	Landrace
108700	GyeongbukYecheon-1985-8700	KOR	Landrace	K246103	CNS043	KOR	Landrace
108738	GyeongbukYecheon-1985-8738	KOR	Landrace	K249426	CAM 1306	KHM <sup>13)</sup>	wild
108782	GyeongbukGyeongsan-1985-8782	KOR	Landrace	K249429	CBN 20130919	KOR	Landrace
108818	GyeongbukWolseong-1985-8818	KOR	Landrace	345374	CBN 2013092504	KOR	Landrace
108841	GyeongbukGeumneung-1985-8841	KOR	Landrace	K249447	CN 2013114	CHN	Landrace
108884	GangwonPyeongchang-1985-8884	KOR	Landrace	K254860	SD 2779	KOR	Landrace
108907	GyeongbukGeumneung-1985-8907	KOR	Landrace	K255034	SD 3029	KOR	Landrace
108914	GyeongbukGeumneung-1985-8914	KOR	Landrace	K262401	1	LAO <sup>14)</sup>	wild
108944	JeonbukMuju-1985-8944	KOR	Landrace	K263105	SD 4539	KOR	Landrace
108987	JeonamSeungju-1985-8987	KOR	Landrace	K265023	CBN 20130714	KOR	Landrace
109028	GyeongbukChilgok-1985-9028	KOR	Landrace	K265027	CBN 20130717	KOR	Landrace
109031	GyeongbukChilgok-1985-9031	KOR	Landrace	345375	KSL 170250	KOR	Landrace
109043	GyeongbukChilgok-1985-9043	KOR	Landrace				

은 재래종 169 자원, 야생종 2 자원, 미상 18 자원으로 구성되었다.

다. 14 개의 양적형질은 생물학적 3 반복으로 10 개체 중 평균적인 생장을 보이는 3 개체를 선발하여 조사하였다.

## 2. 생육특성 조사

피마자의 생육 특성은 농촌진흥청 농업유전자원센터 피마자 특성조사기준 및 국립종자원 특성조사기준에 준하여 측정하였다 (Table 2). 피마자유 함량 분석을 위한 피마자 종자는 수확 후 10 일 동안 양건 후 5°C로 냉장 보관한 뒤 사용하였

## 3. 피마자유 함량 분석

### 3.1. 농축 플라스크 준비

농축 플라스크의 함량을 구하기 위해 수기를 깨끗이 세척한 후 건조기 (HB-502M, Hanbaek Scientific Technology, Suwon, Korea)에서 105°C로 2 시간에서 4 시간까지 가열한 뒤 데시케

**Table 2.** Descriptor of 13 agronomic traits for castor germplasm.

Variable	Abbreviation	Unit	Description
Days to flowering	DTF	days	Number of days from sowing until 50% of plants initiate flowering
Plant height	PLH	cm	Average length from base to the top of plant
Plant width	PLW	mm	Average length from base to the top of plant
Petiole length	PTL	cm	The length of the stalk that connects the leaf to the stem
Leaf length	LEL	cm	The length from the base to the tip of the leaf
Leaf width	LW	cm	The maximum width of the leaf
Depth of sinus	DS	cm	The depth between the two lobes from the edge of the leaf
Inflorescence length	IL	cm	The length of the flower cluster, from the base to the tip
Number of capsules per infructescence	NCI	number	Total number of capsules in a single infructescence
Pedicle length	PDL	mm	The length of the stem that supports a single flower
1000 seed weight	SW1000	g	Weight in grams of 1000 random seeds taken from the bulk harvest
Seed length	SL	mm	The average seed length
Seed width	SW	mm	The average seed width

이터 (AS ONE, Osaka, Japan)에서 방냉한 다음 실온에 도달하면 무게를 측정하고, 다시 수기를 건조기에 넣어 105°C로 30 분간 건조한 후 다시 데시케이터에서 방냉한 후 무게를 측정하였다. 수기의 무게가 항량이 될 때까지 반복 측정하였다.

3.2. 피마자 castor oil 추출 및 농축

피마자 종자 생체중 2 g을 RETSCH사의 MM 200 mixer mill (Retsch Technology, Haan, Germany)을 이용하여 초당 25 회로 1.5 분간 작동하여 분쇄한 시료를 사용하여 *n*-hexane (96%, DAEJUNG Co., Seoul, Korea) 40 ml를 넣고 30 분간 3 회, 초음파로 추출하여 시료로 사용하였다.

추출한 시험용액을 filter paper (Advantec Grade No. 4A Hardened Ashless Filter Paper, TOYO ROSHI KAISHA LTD., Tokyo, Japan)로 여과 후 감압농축기 (BUCHI Rotavapor RII; Büchi Labortechnik, Flawil, Switzerland)를 이용하여 완전히 제거한 다음 수기를 데시케이터에 8 시간 이상 흡습한 후 피마자 castor oil 무게를 측정하였다.

4. 통계처리

본 연구에서 수행한 모든 통계처리는 R 프로그램 (www.rproject.org, R, ver.4.2.0, Vienna, Austria)을 이용하였다. 피마자 유전자원의 모든 양적형질은 3 반복으로 측정한 결과값을 기본 통계량으로 나타내었으며 피마자유 함량 간의 상관관계 분석, 주성분 분석, 군집분석을 수행하였다. 자원 및 특성의 유의적인 차이는 유의수준 5%에서 검증하였다 ( $p < 0.05$ ).

결과 및 고찰

1. 피마자 유전자원의 생육특성 및 피마자유 함량 변이

피마자 유전자원의 형태적 특성과 피마자유 함량에 대한 통계적 분석을 통해, 피마자 유전자원의 다양성을 나타냈다.

189 자원의 피마자 유전자원의 13 개 양적형질인 개화소요일 (days to flowering, DTF), 초장 (plant height, PLH), 식물체 너비 (plant width, PLW), 잎자루 길이 (petiole length, PTL), 엽장 (leaf length, LEL), 엽폭 (leaf width, LW), 잎결각 깊이 (depth of sinus, DS), 꽃차례 길이 (inflorescence length, IL), 꽃차례 당 삭과 수 (number of capsules per infructescence, NCI), 소화경 길이 (pedicel length, PDL), 천립중 (1000-seed Weight, SW1000), 종자 길이 (seed Length, SL), 종자 너비 (seed width, SW)와 피마자유 함량 (castor oil percentage, CO)의 평균, 표준편차, 중위수, 최솟값, 최댓값, 표준오차를 확인하였다 (Table 3).

개화는 6월 4일부터 6월 28일 사이에 되었으며 개화기까지 소요 기간은 평균 50 일이었다. Kim 등 (2009)의 연구에서 국내에 파종된 수집종의 출아소요일은 14 일 - 17 일이며 출아에서 개화까지 소요일은 63 일 - 68 일로 6월 중순 모두 개화되었다고 연구한 바 있으며, 본 연구는 개화소요일이 약 20 일 적게 평가되어 큰 차이가 있었으나 개화 시기는 6월 초중순으로 비슷하였다. 국내 피마자 연구가 미흡한 점과 파종 시기 및 유전자원의 원산지 구성을 감안하더라도 과거에 비해 수확까지 걸리는 기간이 짧아짐을 알 수 있었다.

초장은 식물의 기저부에서 꽃차례를 포함한 식물체의 높이

Table 3. Basic statistical information for quantitative traits of 189 castor germplasm.

Variable	Means	SD <sup>1)</sup>	Median	C.V. <sup>2)</sup>	Min	Max	SE <sup>3)</sup>
DTF <sup>4)</sup> (days)	49.51	2.25	50.00	4.52	47.00	59.00	0.16
PLH <sup>5)</sup> (cm)	275.45	40.70	28.00	14.76	161.30	476.70	2.96
PLW <sup>6)</sup> (mm)	26.61	3.78	26.69	14.20	20.41	53.14	0.27
PTL <sup>7)</sup> (cm)	20.10	4.87	19.70	24.23	14.70	74.00	0.35
LEL <sup>8)</sup> (cm)	26.50	4.14	26.40	15.63	19.00	54.60	0.30
LW <sup>9)</sup> (cm)	25.88	4.25	25.30	16.42	17.80	54.00	0.31
DS <sup>10)</sup> (cm)	11.23	2.27	11.50	20.19	7.20	23.00	0.16
IL <sup>11)</sup> (cm)	32.30	6.06	33.80	18.76	17.50	59.20	0.44
NCI <sup>12)</sup> (number)	26.87	6.56	26.30	24.41	14.30	40.70	0.48
PDL <sup>13)</sup> (mm)	39.60	7.50	40.28	18.95	26.23	60.22	0.55
SW1000 <sup>14)</sup> (g)	262.20	60.27	258.30	22.98	115.90	689.80	4.38
SL <sup>15)</sup> (mm)	11.99	1.26	12.13	10.47	8.46	17.14	0.09
SW <sup>16)</sup> (mm)	7.79	0.75	7.82	9.577	5.86	12.7	0.05
CO <sup>17)</sup> (%)	38.01	7.67	39.99	20.18	19.24	52.49	0.56

<sup>1)</sup>SD; standard deviation, <sup>2)</sup>C.V.; coefficient of variation, <sup>3)</sup>SE; standard error, <sup>4)</sup>DTF; days to flowering, <sup>5)</sup>PLH; plant height, <sup>6)</sup>PLW; plant width, <sup>7)</sup>PTL; petiole length, <sup>8)</sup>LEL; leaf length, <sup>9)</sup>LW; leaf width, <sup>10)</sup>DS; depth of sinus, <sup>11)</sup>IL; inflorescence length, <sup>12)</sup>NCI; number of capsules per infructescence, <sup>13)</sup>PDL; pedicel length, <sup>14)</sup>SW1000; 1000 seed weight, <sup>15)</sup>SL; seed length, <sup>16)</sup>SW; seed width, <sup>17)</sup>CO; castor oil percentage.



를 조사하였다. 초장의 범위는 161.3 cm에서 476.7 cm 사이로 관측되었으며, 평균 길이는 275.45 cm로 넓은 범위의 변이를 보였다.

주경 너비는 식물체 줄기의 가장 넓은 부분의 폭을 조사하였다. 범위는 20.41 mm - 53.14 mm로, 평균 26.61 mm로 관측되었다. 평균보다 넓은 폭을 가진 식물이 비교적 많았으며, 극단적인 값을 가진 자원이 일부 존재하였다.

잎자루 길이의 범위는 14.7 mm에서 74 mm까지로, 평균은 20.1 mm로 나타났고 일부 식물에서 매우 긴 잎자루 길이를 가지고 있었다.

엽장의 범위는 19 cm에서 54.6 cm이며 평균 26.49 cm 이고, 엽폭의 범위는 17.8 cm에서 54 cm로 평균은 25.88 cm로 나타났다.

잎결각 깊이는 7.2 mm에서 23 mm로, 평균은 11.23 mm로 관측되었다.

잎의 구조는 햇빛에 대한 노출 시간, 수분 스트레스 등 다양한 생태적 요인에 영향을 받으며 광합성 능력과 연관될 수 있다 (Santos *et al.*, 2017; Schurr *et al.*, 2000; Landoni *et al.*, 2023). 농업유전자원센터에서 수집한 피마자는 다양한 원산지와 자원 구분을 가지며 그동안 식물이 자라온 환경에 밀

접한 관련이 있을 것이라고 판단하였다.

꽃차례 길이 범위는 17.5 mm에서 59.2 mm로, 평균은 32.3 mm로 나타났다. 꽃차례 당 삭과 수는 26.23 개에서 60.22 개로 평균 39.6 개로 관측되었다.

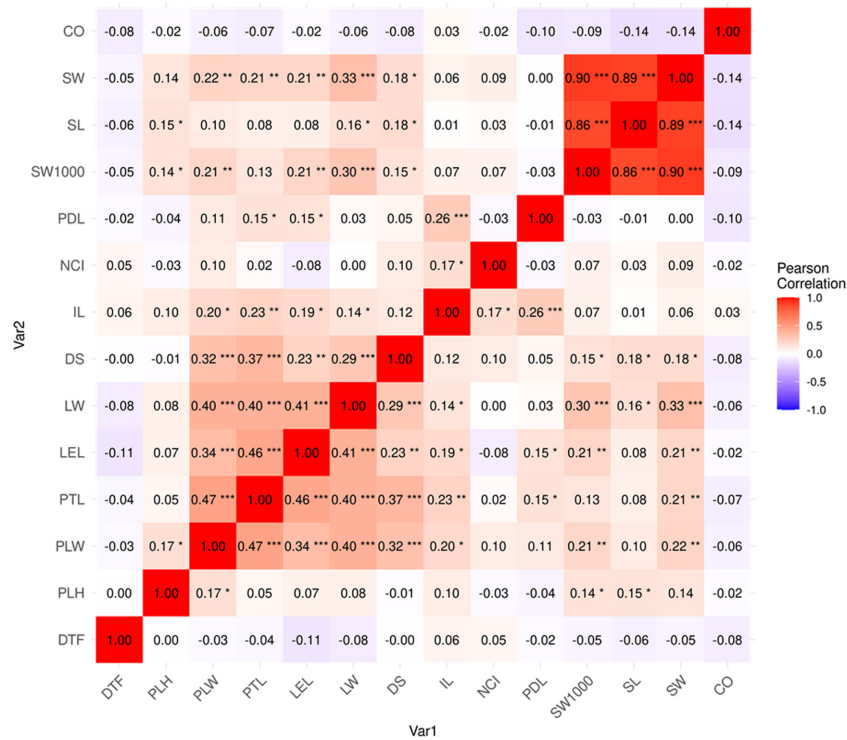
피마자 종자의 천립중은 115.9 g에서 689.8 g 사이의 범위를 보였으며, 평균 262.2 g로 양적형질 중 가장 큰 분산을 나타냈다.

종자 길이는 8.46 mm에서 17.14 mm이며 종자너비는 5.86 mm에서 12.7 mm 범위를 나타냈다.

피마자유 함량은 피마자 종자 무게 대비 추출된 지방 함량의 비율을 나타낸 것으로 피마자유 함량의 변이는 19.24%에서 52.49%까지이며 평균은 38.01%로 측정되었다.

변이 계수로 볼 때 줄기굵기, 분지수 및 엽수가 변이가 컸으며 경장과 절수의 변이가 작았다.

피마자의 생육 특성은 유전자원 간에 다양한 변이를 보이고 있어 품종개량을 위한 변이의 선별은 매우 활용 가능성이 클 것으로 생각된다. 특히, 특성평가 결과는 본 연구의 군집분석에 사용되어 생산성을 향상시키고 재배조건을 최적화하기 위한 육종 소재로서 유전자원 선별에 활용되었다. 농업유전자원센터 홈페이지 (<https://genebank.rda.go.kr/>)를 통해 피마자 재



**Fig. 2. Heatmap of correlation coefficient between 13 agronomic traits and oil contents of 189 castor germplasm.** The heatmap illustrates the correlation between agronomic traits and oil content, with deeper red shades indicating stronger positive correlations and deeper purple shades indicating stronger negative correlations. Notably, strong positive correlations were observed between SW1000 (1000-seed weight) and both SW (seed width) and SL (seed length). Significant at the level of 5%, 0.5%, and 0.1% probability, respectively ( $p < 0.05$ ,  $**p < 0.005$  and  $***p < 0.001$ )

배와 유전자원 선발의 기초 자료를 제공하며, 향후 피마자 생산과 관련된 다양한 연구와 육종에 유용하게 활용될 것이다.

### 3. 주요 농업형질 및 지방 함량의 상관분석

피마자 유전자원의 농업형질 간 상관관계를 조사한 결과를 히트맵을 사용하여 나타내었다 (Fig. 2). 피마자 유전자원의 농업형질 및 피마자유 함량 간 상관관계를 분석한 결과 (Fig. 2), 천립중은 종자 너비, 종자 길이와 고도의 유의한 양의 상관을 보였다. 종자 너비와 꽃차례 당 삭과 수, 꽃차례 길이 및 잎자루 길이는 약한 양의 값을 보였지만 유의하지 않았다. 잎과 관련된 각 농업형질 간의 상관관계를 분석한 결과, 엽폭과 잎자루 길이는 엽장과 결각 깊이와 양의 상관관계를 보였다. 또한 엽폭은 식물체 주경의 굵기 및 꽃차례 길이와도 유의한 양의 상관관계를 보였다. 각 농업형질과 피마자유 함량의 유의한 상관관계는 관찰되지 않았다.

Ahmed 등 (2011)의 연구결과에 따르면 피마자 종자 무게는 33.7 mg에서 515.8 mg까지 다양하며 종자 발아의 임계값 248 mg 이하의 종자는 발아가 되지 않고 대립종일수록 더 큰 묘목과 건조 중량을 갖는 경향을 보인다고 하였다. Raji 등 (2006)의 연구에서도 대립종은 소립종에 비해 더 큰 유묘를 형성하는 경향이 있다고 하였으며 이는 본 연구와 일치하는 결과를 얻었다. 또한 Odunsi 등 (2012)의 연구에서는 대립종에 비해 소립종에서 피마자유 함량이 높은 경향을 보인다고 하였는데 본 연구에서는 피마자 종자의 크기와 피마자유 함량의 음의 관계가 있는 부분은 일치하였으나 유의한 차이를 보이지 않았다.

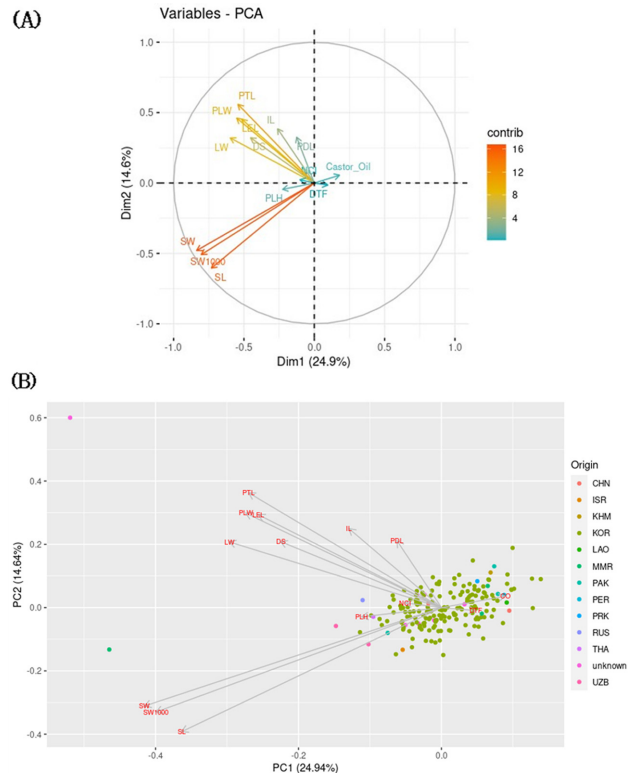
피마자유 함량과 피마자의 양적 농업형질들이 서로 독립적일 가능성이 크며 재배 지역, 재배 품종, 수확 시기 및 보존 환경 등 여러 요인이 더 중요한 영향을 미칠 가능성이 크다는 것을 시사한다 (Lin, 2009; Hernández *et al.*, 2013).

### 4. 주성분 분석

피마자 189 자원의 다양성을 설명하는 주요인을 확인하기 위하여 농업형질 및 피마자유 함량에 대한 주성분 분석을 수행하였다 (Fig. 3 and Table 4).

고유값 (eigen value)이 1 이상인 주성분은 총 6 개였으며, 14 개의 형질 중에서 7.5 개를 포함하며 분산의 71.14%를 설명하였다 (Table 4).

제1주성분은 분산의 약 24.94%를 설명하고 있으며, 개화기와 피마자유 함량을 제외한 양적형질들은 모두 음의 관계를 보였다. 개화기와 피마자유 함량은 제1주성분 및 제2주성분에 모두 기여도가 낮은 경로로 보아 다른 양적형질들에 비해 주성분의 변동성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 보였다 (Fig. 3). 종자 너비 (-0.45), 천립중 (-0.43), 종자 길이 (-0.39), 엽폭 (-0.3), 식물체 주경 너비 (-0.29), 잎자루 길이 (-0.29), 엽



**Fig. 3. Principal component analysis (PCA) of 189 castor germplasm based on agronomic traits and castor oil content.** (A) The PCA variables plot illustrates the contribution of each variable within a two-dimensional space. Variables' relative positions indicate their relationships and the arrows' length and color reflect the extent of each variable's contribution to the principal components. (B) The biplot of principal component analysis (PCA). The percentage of variance explained is indicated for both axes (Dim1 explained 29.94% of total variation, while Dim2 explained 14.64% of the variance).

장 (-0.27), 결각 깊이 (-0.24)의 순서로 음의 값을 가지며 높은 기여도를 보였다.

제2주성분은 약 14.64%의 분산을 차지하였으며 형질 중 1.43 개를 포함하였다. 종자 길이 (-0.42), 천립중 (-0.35), 종자 너비 (-0.33) 형질의 순서로 음의 값에 의해 주로 영향을 받았다.

제3주성분은 약 8.74%의 분산을 설명하며, 열매차례 당 삭과수 (-0.55), 개화기 (-0.48), 꽃차례 길이 (-0.45)의 변수들이 음의 값을 나타냈고, 피마자유 함량 (0.23)과는 상대적으로 기여도가 낮은 양의 값을 보였다. 피마자유 함량은 각 개별 형질과는 유의한 값을 갖고 있지 않았지만 제3주성분에서는 개화일수, 꽃차례 길이, 피마자유 함량이 높은 기여율을 나타냈다.

각 국가별 유전자원의 분포를 살펴보았을 때, 한국 (KOR)을 비롯한 대부분의 자원들은 중앙에 밀집해 있으며 특정 변수에 의해 뚜렷하게 구분되지 않았다. 일부 미얀마 (MMR)



**Table 4.** Principal component analysis (PCA) of 189 castor accessions based on agronomic traits and castor oil content.

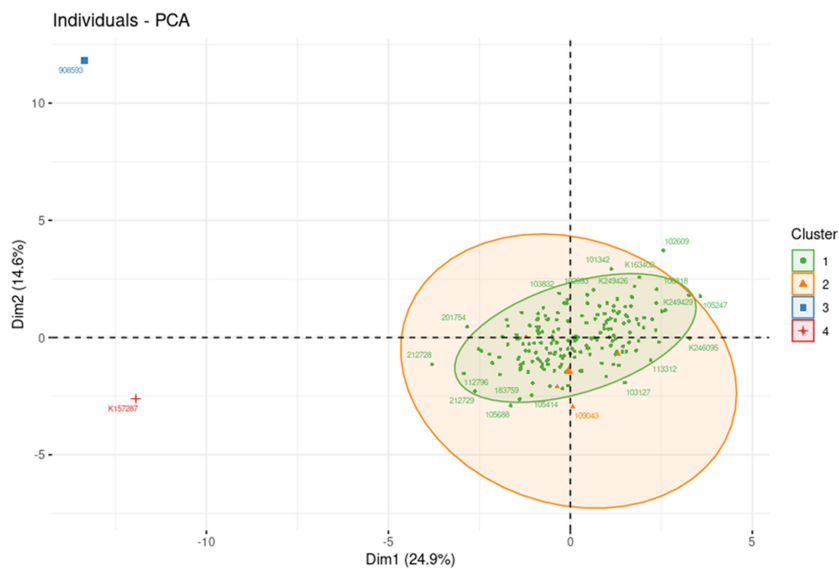
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC <sup>1</sup> 6
DTF <sup>2</sup> (days)	0.05136	-0.01026	-0.48066	0.11468	0.22438	-0.49269
PLH <sup>3</sup> (cm)	-0.12028	-0.03146	0.02424	0.08656	-0.50765	-0.67810
PLW <sup>4</sup> (mm)	-0.29499	0.32185	0.00257	0.18498	-0.00887	-0.14618
PTL <sup>5</sup> (cm)	-0.29033	0.39031	0.07069	0.03444	0.11915	-0.01980
LEL <sup>6</sup> (cm)	-0.27572	0.31592	0.25353	-0.13662	-0.05329	-0.00810
LW <sup>7</sup> (cm)	-0.31970	0.22353	0.21256	0.12450	0.07606	-0.03677
DS <sup>8</sup> (cm)	-0.24245	0.22466	-0.04320	0.25283	0.34501	0.11074
IL <sup>9</sup> (cm)	-0.13946	0.26909	-0.45646	-0.12435	-0.44185	0.09447
NCI <sup>10</sup> (number)	-0.05456	0.01624	-0.55114	0.48470	-0.05213	0.32605
PDL <sup>11</sup> (mm)	-0.06700	0.22766	-0.28312	-0.68999	-0.10353	0.18028
SW1000 <sup>12</sup> (g)	-0.43001	-0.35528	-0.02161	-0.03053	-0.06580	0.06186
SL <sup>13</sup> (mm)	-0.39148	-0.42227	-0.04096	-0.08257	-0.00729	0.06169
SW <sup>14</sup> (mm)	-0.44754	-0.33496	-0.03452	-0.04051	-0.01293	0.06516
CO <sup>15</sup> (%)	0.09593	0.03871	0.23759	0.33166	-0.58035	0.31998
Standard deviation	1.86840	1.43140	1.10620	1.04837	1.03501	1.01286
Proportion of Variance	0.24940	0.14640	0.08740	0.07851	0.07652	0.07328
Cumulative Proportion	0.24940	0.39570	0.48310	0.56163	0.63815	0.71142

<sup>1</sup>PC; Principal Component, <sup>2</sup>DTF; days to flowering, <sup>3</sup>PLH; plant height, <sup>4</sup>PLW; plant width, <sup>5</sup>PTL; petiole length, <sup>6</sup>LEL; leaf length, <sup>7</sup>LW; leaf width, <sup>8</sup>DS; depth of sinus, <sup>9</sup>IL; inflorescence length, <sup>10</sup>NCI; number of capsules per infructescence, <sup>11</sup>PDL; pedicel length, <sup>12</sup>SW1000; 1000 seed weight, <sup>13</sup>SL; seed length, <sup>14</sup>SW; seed width, <sup>15</sup>CO; castor oil percentage.

자원과 미상 (unknown) 자원과 같은 특정 국가의 자원은 다른 자원들과 분리되었지만, 국가별로 분포가 그룹핑되지 않는 걸로 보아 원산지보다는 개별 자원이 특정 변수에 크게 영향을 받는 걸로 생각된다 (Fig. 3).

를 통해 각 유전자원들이 어떤 변수에 의해 영향을 많이 받는 지 확인할 수 있었으며 (Fig. 3), 동시에 군집분석에서 수행된 결과와 겹쳐 보았을 때 다른 자원들과 극명히 차이가 나는 자원들을 확인할 수 있었다 (Fig. 4).

피마자 유전자원의 주성분 변동성에 따른 개체별 분석 결과

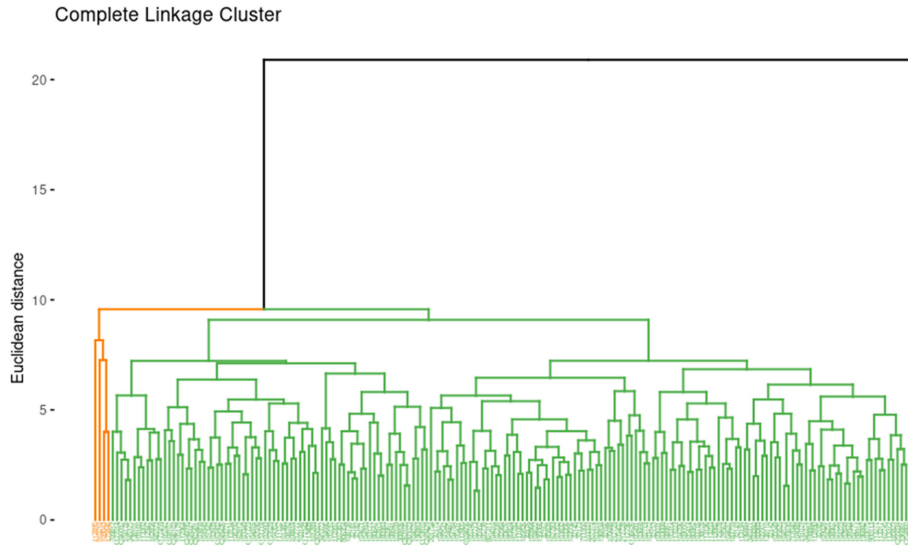


**Fig. 4.** Principal component analysis (PCA) individuals plot. Plot divided into four groups (Cluster I, II, III, IV) based on clusters created by 13 agricultural traits and oil content.

**Table 5.** Cluster analysis of 189 castor accessions based on agronomic traits and castor oil content.

Trait	Clusters <sup>1)</sup>			
	1 (n = 183)	2 (n = 4)	3 (n = 1)	4 (n = 1)
DTF <sup>2)</sup> (days)	49.38	56.25	49	48
PLH <sup>3)</sup> (cm)	273.3	352.42	323	313
PLW <sup>4)</sup> (mm)	26.45	22.87	53.14	44.08
PTL <sup>5)</sup> (cm)	19.78	20.3	74	23.7
LEL <sup>6)</sup> (cm)	26.36	23.45	54.6	35
LW <sup>7)</sup> (cm)	25.64	23.2	54	52.3
DS <sup>8)</sup> (cm)	11.19	9.9	23	11.5
IL <sup>9)</sup> (cm)	32.08	34.75	59.2	35.7
NCI <sup>10)</sup> (number)	26.81	26.675	32.7	32.7
PDL <sup>11)</sup> (mm)	39.5	40.075	60.22	34.39
SW1000 <sup>12)</sup> (g)	258.69	297.425	336.3	689.8
SL <sup>13)</sup> (mm)	11.94	12.81	12.44	17.14
SW <sup>14)</sup> (mm)	7.75	8.175	9.3	12.7
CO <sup>15)</sup> (%)	38.09	37.79	19.24	42.15

<sup>1)</sup>Clusters; the result of k-means clustering algorithm and complete linkage using Euclidean distance metric, <sup>2)</sup>DTF; days to flowering, <sup>3)</sup>PLH; plant height, <sup>4)</sup>PLW; plant width, <sup>5)</sup>PTL; petiole length, <sup>6)</sup>LEL; leaf length, <sup>7)</sup>LW; leaf width, <sup>8)</sup>DS; depth of sinus, <sup>9)</sup>IL; inflorescence length, <sup>10)</sup>NCI; number of capsules per infructescence, <sup>11)</sup>PDL; pedicel length, <sup>12)</sup>SW1000; 1000 seed weight, <sup>13)</sup>SL; seed length, <sup>14)</sup>SW; seed width, <sup>15)</sup>CO; castor oil percentage.



**Fig. 5.** Cluster analysis of 189 castor germplasm using euclidean distance. The cluster classified by complete linkage using Euclidean distance metric between pairs of points based on scaled scores of traits. Cluster I comprised the majority of accessions, while Clusters II, III, and IV contained smaller subsets of accessions with distinct agronomic and oil content characteristics. Green: Cluster I, Orange: Cluster II, Blue: Cluster III, Red: Cluster IV.

**5. 군집분석 및 우수자원 선발**

피마자 189 자원의 양적형질과 피마자유 함량에 대한 군집분석을 수행한 결과 4개의 그룹으로 나뉘었다 (Fig. 5, Table 5).

군집 I 은 183 자원으로 대부분을 차지하여 가장 큰 군집 이었고, 군집 II는 4 자원(IT109043, IT112895, IT175846 과

(K)910210), 군집 III과 IV는 각각 1 자원인 (K)9085931 과 K157287 자원으로 구성되었다. 군집의 크기가 매우 극단적으로 나뉜 것으로 보아 소수의 자원을 포함하는 II, III과 IV 군집은 I 군집과는 매우 차별화된 특성을 보였다.

군집 별 양적형질을 항목별 평균값을 나타낸 결과는 Table

**Table 6.** Selected castor germplasm with minimum and maximum values of agronomic traits.

Variable	Minimum		Maximum	
	Accessions	Origin	Accessions	Origin
DTF <sup>4)</sup> (days)	IT101352, etc.	KOR, etc.	IT112895	KOR <sup>1)</sup>
PLH <sup>5)</sup> (cm)	K246103	KOR	(K)910210	KOR
PLW <sup>6)</sup> (mm)	IT345372	KOR	(K)908593	unknown
PTL <sup>7)</sup> (cm)	IT104784	KOR	(K)908593	unknown
LEL <sup>8)</sup> (cm)	IT103127	KOR	(K)908593	unknown
LW <sup>9)</sup> (cm)	IT103303	KOR	(K)908593	unknown
DS <sup>10)</sup> (cm)	IT113134, IT185823	KOR	(K)908593	unknown
IL <sup>11)</sup> (cm)	IT108987	KOR	(K)908593	unknown
NCI <sup>12)</sup> (number)	IT105197	KOR	IT109050	KOR
PDL <sup>13)</sup> (mm)	IT105314	KOR	(K)908593	unknown
SW1000 <sup>14)</sup> (g)	K249426	KHM <sup>2)</sup>	K157287	MMR <sup>3)</sup>
SL <sup>15)</sup> (mm)	IT102609	KOR	K157287	MMR
SW <sup>16)</sup> (mm)	IT102609	KOR	K157287	MMR
CO <sup>17)</sup> (%)	(K)908593	unknown	IT32145	unknown

<sup>1)</sup>KOR; accession origin of Korea, <sup>2)</sup>KHM.; accession origin of cambodia, <sup>3)</sup>MMR; accession origin of myanmar, <sup>4)</sup>DTF; days to flowering, <sup>5)</sup>PLH; plant height, <sup>6)</sup>PLW; plant width, <sup>7)</sup>PTL; petiole length, <sup>8)</sup>LEL; leaf length, <sup>9)</sup>LW; leaf width, <sup>10)</sup>DS; depth of sinus, <sup>11)</sup>IL; inflorescence length, <sup>12)</sup>NCI; number of capsules per infructescence, <sup>13)</sup>PDL; pedicel length, <sup>14)</sup>SW1000; 1000 seed weight, <sup>15)</sup>SL; seed length, <sup>16)</sup>SW; seed width, <sup>17)</sup>CO; castor oil percentage.

6과 같다. 대부분의 피마자 자원의 특성을 대표하는 군집 I에 비해 군집 II는 초장이 큰 특성을 가진 자원이 포함되었으며, 영양 생장이 길어짐에 따라 이로 인해 개화까지 걸리는 기간이 평균 7 일 정도 더 소요되는 것으로 보였다. 군집 별 개화 일수는 군집 II는 평균 56 일로 길었으며, 군집 I은 49 일, 군집 III은 49 일, 군집 IV는 48 일을 보였다. 온난한 기후대의 우리나라에서 재배한 다양한 원산지의 유전자원들은 대부분 큰 개화기 차이를 보이지 않았다.

종자 수확을 빠르게 하기 위하여 재배 온도 조건을 조절해주는 것이 좋지만 동일한 조건에서 개화기를 우선으로 선발할 때 군집 I, III, IV이 군집II 보다 유용할 것으로 판단되었다.

군집 II의 종자 길이, 천립중 등 그 외의 농업형질들은 군집 I과 비슷한 특성을 나타내었고 피마자유 함량 또한 평균과 표준편차가 비슷하였으나 많은 자원을 포함한 군집 I의 피마자유 함량 스펙트럼이 넓고 가장 높은 함량을 갖는 자원이 포함되었다.

군집 III은 식물체 너비, 잎자루 길이, 엽폭, 엽장, 결각 길이, 꽃차례 길이, 소화경 길이가 크지만 종자 너비, 종자 길이가 작고 피마자유 함량이 가장 작은 자원이 해당되었다. 기계화에 적합한 형질을 갖는 자원은 초장과 잎 크기가 작은 계통이 유리하며, 초장이 크고 조숙성이 떨어지는 군집 II와 잎 크기가 큰 군집 III을 배제하고 군집 I 내에서 선발하는 것이 수확 노동력 절감에 효과적일 것이다.

군집 IV는 군집 I, II, III에 비해 천립중, 종자 길이, 종

자 너비가 가장 크며 다른 군집의 평균 피마자유 함량보다 가장 큰 값을 가졌다. 따라서, 수확량과 오일 생산을 목적으로 하는 측면에서 우수할 가능성을 보여주었다.

유전자원들 중 생육 특성별 최댓값과 최솟값을 갖는 자원을 확인한 결과 (Table 6), 다른 자원들과 매우 다른 특성으로 군집 III에 분류된 자원인 908593은 189 자원 중 식물체 너비, 엽장, 엽폭, 결각 길이, 꽃차례 길이, 소화경 길이가 가장 길었으며 반면에 가장 낮은 피마자유 함량을 나타내었다. 해당 자원은 피마자 잎을 먹이로 하는 실크누에 사육에 활용 가능 할 것으로 보인다 (Ravinder *et al.*, 2015; Tulu *et al.*, 2022).

또한 908593 자원은 피마자유 함량이 극히 낮으며 IT032145 자원은 피마자유 함량이 가장 높아 피마자유 생산 증대를 위한 교배집단을 구축하여 모부본과의 유전적 변이를 관찰하기 위한 육종 소재의 활용이 가능할 것으로 보인다.

다른 이상치로 분류된 군집 IV에 해당하는 자원인 K157287는 천립중이 689.8 g으로 매우 크며 기존의 대립종은 오일 함량이 적다는 연구와는 달리 42.15%의 함량을 보였다.

또한, 피마자는 중일성 식물이지만 일장 조건에 의해 단성화에서 양성화의 경향을 보일 수 있으며 이는 피마자의 성 메커니즘에 중요하다 (Patane *et al.*, 2019; Parvathy *et al.*, 2021; Manjunatha *et al.*, 2024). 개화기는 짧은 기간에 수확량을 극대화하기 위한 중요 농업형질로 육종을 위해 조생종이 유리하다고 알려져있어 개화기가 가장 빠른 IT101352 등의 유

전자원과 개화기가 가장 느린 IT112895 자원은 개화 및 성 메커니즘 연구에 활용될 수 있을 것이다.

피마자 189 자원의 군집 분석을 통해 양적형질과 피마자유 함량에 따른 특성 차이를 구분할 수 있었다. 연구 결과, 4개의 각 군집은 개화기, 생육 특성과 피마자유 함량에서 차이를 보였다. 본 연구는 피마자 자원의 다양성을 잘 보여주며, 이를 바탕으로 재배 조건을 최적화하고, 생산성 향상을 위한 유용한 유전자원을 선별할 수 있는 중요한 정보를 제공할 것으로 보인다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2019-RD008643)의 지원에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Ahmed N, Khan D and Zaki MJ. (2011). Seed and seedling size relationship in Castor(*Ricinus communis* L.). International Journal of Biology and Biotechnology. 8:613-622.
- Alemaw G. (2016). Diversity of castor(*Ricinus communis* L.) in Ethiopia. Ethiopian Journal of Agricultural Sciences. 26:57-67.
- Anjani K. (2012). Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. Industrial Crops and Products. 35:1-14.
- Cafaro V, Calcagno S, Patanè C, Cosentino SL and Testa G. (2023). Effects of sowing dates and genotypes of castor(*Ricinus communis* L.) on seed yield and oil content in the South Mediterranean Basin. Agronomy. 13:2167. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/8/2167> (cited by 2024 October 27).
- Chan AP, Crabtree J, Zhao Q, Lorenzi H, Orvis J, Puiu D, Melake-Berhan A, Jones KM, Redman J, Chen G, Cahoon EB, Gedil M, Stanke M, Haas BJ, Wortman JR, Fraser-Liggett CM, Ravel J and Rabinowicz PD. (2010). Draft genome sequence of the oilseed species *Ricinus communis*. Nature Biotechnology. 28:951-956.
- Chen GQ, Johnson K, Morales E, Mackey B and Lin JT. (2016). Rapid development of a castor cultivar with increased oil content. Industrial Crops and Products. 94:586-588.
- da Silva César A and Batalha MO. (2010). Biodiesel production from castor oil in Brazil: A difficult reality. Energy Policy. 38:4031-4039.
- Dutra AF, de Melo AS, Dutra WF, da Silva FG, de Oliveira IM, Suassuna JF and Neto JGV. (2015). Agronomic performance and profitability of castor bean(*Ricinus communis* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping in the Brazilian semiarid region. Australian Journal of Crop Science. 9:120-126.
- Falasca SL, Ulberich AC and Ulberich E. (2012) Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean(*Ricinus communis* L.). Industrial Crops and Products 40:185-191.
- Food and Agriculture Organization of United Nations(FAO). (2022). FAOSTAT. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of United Nations. Rome, Italy. [www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize](https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize) (cited by 2024 October 27).
- Halley DJ, Saveljev AP and Rosell F. (2021). Population and distribution of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* in Eurasia. Mammal Review. 51:1-24.
- Hernández B, Luna G, García O, Mendoza M, Azuara E, Beristain C and Jimenez M. (2013). Extraction and characterization of *Oecopetalum mexicanum* seed oil. Industrial Crops and Products. 43:355-359.
- Kim IJ, Nam SY, Kim MJ, Rho CW, Lee JG, Yun T, Song HL and Kim HS. (2009). Growth characteristics of castor bean (*Ricinus communis* L.) collections. Korean Journal of Plant Resources. 22:1-4.
- Kim IJ, Nam SY, Kim MJ, Rho CW, Yun T, Song HL and Kim HS. (2008). Analysis of crude fat and fatty acid in collections of *Ricinus communis* L. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 16:301-305.
- Landoni M, Bertagnon G, Ghidoli M, Cassani E, Adani F and Pilu R. (2023). Opportunities and challenges of castor bean (*Ricinus communis* L.) genetic improvement. Agronomy. 13:2076. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/8/2076> (cited by 2024 July 17).
- Lee AY, Lee MH, Lee SH, and Cho EJ. (2017). Alpha-linolenic Acid from *Perilla frutescens* var. japonica oil protects Aβ-induced cognitive impairment through regulation of APP processing and Aβdegradation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 65:10719-10729.
- Lee SW, Park KH, Lee SH, Jang IB and Jin ML. (2017). Effect of green manure crop cultivation on soil chemical properties and root rot disease in continuous cropping field of ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 25:1-9.
- Lin JT. (2009). Ratios of regioisomers of triacylglycerols containing dihydroxy fatty acids in castor oil by mass spectrometry. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86:1031-1035.
- Manjunatha T, Ramya KT, Lavanya C, Sarada C, Senthilvel S, Yamanura M, Patel CJ, Patel AM, Patel MK, Madariya R and Yadav P. (2024). Genetic nature and role of environment in sex expression and phenological characters of pistillate lines in castor(*Ricinus communis* L.). Genetic Resources and Crop Evolution. 71:2617-2630.
- Nour IH, Alhadead K, Ellmouni FY, Badr R, Saad TI, El-Banhawy A and Abdel Rahman SM. (2023) Morphological, anatomical and chemical characterization of *Ricinus communis* L.(Euphorbiaceae). Agronomy. 13:895. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/4/985> (cited by 2024 July 17).
- Odunsi TAA, Olabode O and Ojedian T. (2012). Physical and nutrient characterisation of raw and processed castor(*Ricinus communis* L.) seeds in Nigeria. World Journal of Agricultural Sciences. 8:89-95.
- Ozcan, HM and Sagiroglu A. (2009). Production of ricinoleic acid from castor oil by immobilised lipases. Preparative Biochemistry and Biotechnology. 39:170-182.
- Parvathy ST, Prabakaran AJ and Jayakrishna T. (2021) Probing the floral developmental stages, bisexuality and sex reversions in castor(*Ricinus communis* L.). Scientific Reports. 11:4246. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-81781-9> (cited by 2024 October 27).
- Patanè C, Cosentino SL, Corinzia SA, Testa G, Sortino O and

- Scordia D.** (2019). Photothermal zoning of castor(*Ricinus communis* L.) growing season in the semi-arid Mediterranean area. *Industrial Crops and Products*. 142:111837. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019308477> (cited by 2024 October 27).
- Ravinder T, Kaki SS, Kanjilal S, Rao B, Swain SK and Prasad RBN.** (2015). Refining of castor and tapioca leaf fed eri silkworm oils. *International Journal of Chemical Science and Technology*. 5:32-37.
- Salihu B, Gana AK and Apuyor B.** (2014). Castor oil plant (*Ricinus communis* L.): Botany, ecology and uses. *International Journal of Science and Research*. 3:1333-1341.
- Santos CMD, Endres L, Ferreira VM, Silva JV, Rolim EV and Wanderley Filho HC.** (2017). Photosynthetic capacity and water use efficiency in *Ricinus communis*(L.) under drought stress in semi-humid and semi-arid areas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 89:3015-3029.
- Saratchandra B.** (2010). Eri-culture in India: Present status and future potential. *In* Hegde DM. (eds.). *Research and development in castor: Present status and future strategies*. Indian Society of Oilseeds Research, Hyderabad, p.191.
- Schurr U, Heckenberger U, Herdel K, Walter A and Feil R.** (2000). Leaf development in *Ricinus communis* during drought stress: dynamics of growth processes, of cellular structure and of sink–source transition. *Journal of experimental Botany*, 51:1515-1529.
- Severino LS, Auld DL, Baldanzi M, Cândido MJD, Chen G, Crosby W, Tan D, He X, Lakshamma P, Lavanya C, Machado OLT, Mielke T, Milani M, Miller TD, Morris JB, Morse SA, Navas AA, Soares DJ, Sofiatti V, Wang ML, Zanotto MD and Zieler H.** (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*. 104:853-880.
- Sturtevant D, Romsdahl TB, Yu XH, David JB, Rajeev KA, John S, Kent DC.** (2019). Tissue-specific differences in metabolites and transcripts contribute to the heterogeneity of ricinoleic acid accumulation in *Ricinus communis* L.(castor) seeds. *Metabolomics* 15;6.
- Tulu D, Aleme M, Mengistu G, Bogale A, Shifa K and Mendesil E.** (2022). Evaluation of castor(*Ricinus communis* L.) genotypes and their feeding values on rearing performance of eri silkworm (*Samia cynthia ricini* Boisduval)(Lepidoptera: Saturniidae) in Southwest Ethiopia. *Psyche: A Journal of Entomology*. 2022:1556776. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2022/1556776> (cited by 2024 October 27).
- Yang S, Mao L, Zheng Z, Chen B and Li J.** (2020) Pollen atlas for selected subfamilies of Euphorbiaceae from Southern China: a complementary contribution to Quaternary pollen analysis. *Palynology*. 44:659-673.