

동아시아 잇꽃 유전자원의 지방조성 및 항산화 분석

성정숙[†] · 정이진 · 김다정 · 아와리스 아세파 · 전영아 · 허은숙 · 노니영 · 고호철 · 옥현충 · 이주희 · 이명철 · 백형진
농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터

Oil Compositions and Antioxidant Properties of Safflower Germplasm Collected from East Asia

Jung Sook Sung[†], Yi Jin Jeong, Da Jeong Kim, Awraris Derby Assefa, Young Ah Jeon, On Sook Hur, Na Young Ro, Ho Cheol Ko, Hyun Choong Ok, Ju Hee Rhee, Myeong Chul Lee and Hyung Jin Baek
National Agrobiodiversity Center, NAS, RDA, Jeonju 54784, Korea.

ABSTRACT

Background: To obtain useful safflower resources for breeding and research of functional materials, the present study was conducted to determine fatty acid compositions and antioxidant activities of 281 safflower accessions collected from East Asia including South Korea.

Methods and Results: Lipid contents and fatty acids compositions were evaluated using soxhlet extraction and gas chromatography, respectively. Antioxidant activities were analyzed using a spectrophotometer. The evaluation range of safflower accessions showed very wide variation. In terms of lipid contents, the China accessions were higher than the collection from other regions, whereas antioxidant activities did not differ among regions. The result of the principal component analysis showed that the first and second principal component cumulatively explained 90.6% of the total variation. In clustering the safflower accessions, the tree showed four major clades. Group II (16 accessions) was high in lipid content, oleic acid and linoleic acid, whereas group III (50 accessions) exhibited higher antioxidant activities than other groups.

Conclusions: It was recommended that the China collections be utilized as a useful resource for research on functional oil materials. These results provided valuable information for safflower breeders and researchers of functional food.

Key Words: *Carthamus tinctorius* L., Antioxidant Activity, Fatty Acid, Lipid Content

서 언

활성산소는 체내에서 염증, 피부노화, 암들을 유발하는 것으로 인간의 노화와 질병발생의 원인이 된다 (Choi *et al.*, 2016). 항산화 기능은 유해한 활성산소의 발생을 저해하거나 중화시켜 건강한 삶을 영위할 수 있는 역할을 한다. 항산화제로 이용되어지는 대표적인 합성 항산화제로는 butylated hydroxyl-toluene (BHT), butylated hydroxyl anisole (BHA), 2-tert-butylhydroxyquinone (TBHQ) 등이 있다. 그러나 이와 같은 소재는 높은 항산화 효능은 있으나 고용량으로 장기간 사용 시 지질대사의 불균형과 암을 유발할 수 있다. 이를 보

완할 수 있는 천연물 항산화물질을 찾기 위하여 수종의 약용 식물에 대한 활성물질을 탐색하여 항산화활성이 높은 식물자원을 보고하거나, 식품첨가제 등 다양한 소재로서 이용 가능한 천연물 유래 항산화 성분에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Song *et al.*, 2000; Choi and Lee, 2014; Song and Lee, 2015; Seo *et al.*, 2016).

Farag 등 (1989)은 천연 향신료 정유성분을 추출하여 caraway > sage > cumin > rosemary > thyme > clove 순으로 항산화 효능이 있음을 보고하였다. 리놀레산은 불포화지방산의 하나로, 인체 내에서 합성이 불가능하여 음식을 통하여 보충되어야만 하는 필수지방산이다.

[†]Corresponding author: (Phone) +82-63-238-4931 (E-mail) sjs31@korea.kr

Received 2017 December 4 / 1st Revised 2017 December 21 / 2nd Revised 2018 January 9 / 3rd Revised 2018 January 11 / Accepted 2018 January 15
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.

불포화지방산은 면역에 관여하거나 혈액순환을 원활히 하는 것에 이르기까지 인간의 삶에 매우 중요한 영향을 미치며, 생선, 아마종자, 콩기름, 카놀라유, 치아종자, 호박종자, 해바라기종자, 면화종자 오일, 잎채소 등의 식품에 함유되어 있다 (Kim *et al.*, 2010).

잇꽃 (*Carthamus tinctorius* L.)은 국화과에 속하는 일년생 초본으로 꽃잎을 ‘홍화’, 종자를 ‘홍화자’로 하여 생약으로 사용하고 있다. 꽃에는 safflower yellow와 carthamin 등 색소물질 함유하고 있으며, 종자에는 여러 가지 지방산이 함유되어 있다 (Kim *et al.*, 1996). 일반적으로 재배되는 종은 *C. tinctorius*이며 야생종으로는 *C. persicus* (syn. *C. laveszensis*), *C. lanatus*, *C. oxyacanthus*, *C. palaestinus*가 있고, 이들은 다양한 병충해의 저항성이나 내성을 가지고 있는 자원으로 알려져 있다 (Kumar and Agrawal, 1989; Dajue and Mundel, 1996).

잇꽃종자 오일은 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키고, 동맥경화 예방, 지방질 유도 인슐린 저항성 예방 효과 등이 있는 것으로 보고되어 건강기능성 소재로 관심받고 있으며 뿐만 아니라 화장품 원료로서의 항산화 효과에 대한 연구결과도 다수 보고되어 있다 (Cox *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 1996; Espin *et al.*, 2000; Prescha *et al.*, 2014).

본 연구는 유용 지방성분 또는 천연항산화제로서 이용가치가 높은 우수한 잇꽃 유전자원을 선발하고자 한국을 포함한 동아시아지역에서 수집한 잇꽃자원을 대상으로 종자의 지방조성과 항산화 활성 평가를 하였으며, 그 결과를 공유하여 관련 연구의 기초자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

동아시아 지역에서 수집된 잇꽃 (*Carthamus tinctorius* L.) 281 자원은 2015년 전북전주의 농업유전자원센터 시험포장에서 증식하여 신선한 종자를 확보하였다 (Table 1).

잇꽃종자는 건조 및 마쇄하여, 지방조성 및 항산화 활성 실험재료로 이용하였다. 항산화 활성실험을 위해 ASE 200 (Dionex, Sunnyvale, CA, USA)을 이용하여 75% 에탄올로 70 °C, 1,500 압력에서 추출하였으며, Genevac HT-4X (Genevac Ltd., Ipswich, England)로 농축처리하였다.

2. 시약

지방조성 평가를 위한 헥산, 14% boron trifluoride-methanol (BF₃-Methanol) 용액 및 항산화 활성 실험에 사용된 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazil (DPPH), L-ascorbic acid, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox), Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid 등은 Sigma-Aldrich (St.

Louis, MO, USA)에서 구입하였다.

3. 종자의 크기와 무게

잇꽃의 종자 길이와 폭은 캘리퍼스를 이용하여 mm단위로 측정하였다. 종자무게 (천립중)는 실험용 저울을 이용하여 0.1 g 단위로 측정하였다.

4. 조지방 함량

조지방 함량을 측정하기 위하여 건조분쇄한 시료 1 g에 헥산을 용매로 하여 Soxtec™ 2043 (FOSS Tecator AB, Hilleroed, Denmark)을 이용하여 분석하였다.

5. 지방산 조성

추출한 지방 50 µl를 튜브에 담고 0.5 N NaOH를 가한 후 80°C 수욕상에서 10 분간 처리한 후, 14% BF₃-methanol 용액을 가하고 헥산과 water 용액을 넣는다. 처리한 용액을 원심분리하여 상층액을 취한 후 황산나트륨 (Na₂SO₄)에 반응시킨다. 다시 이를 여과시키고 상층액을 취하여 가스 크로마토그래피 (QP2010Ultra, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 지방산 조성을 분석하였다.

6. DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능의 측정은 Piao 등 (2013) 방법을 이용하였다. 농축기 (HT-4X, Genevac Ltd., Ipswich, England)를 이용하여 75% 에탄올 잇꽃 추출물을 농축한 시료를 100 ppm으로 희석하여 DPPH 소거능 분석시료로 사용하였다.

희석액 100 µl와 75% EtOH 100 µl를 96 well plate의 각각의 well에 분주하였고, 여기에 100% EtOH 150 µl와 150 µM DPPH를 150 µl을 혼합한 다음, 빛을 차단하여 30 분간 실온에서 반응시켰다. 반응시킨 후, ELISA reader (Epoch, BIO-TEK, Winooski, VT, USA)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH radical 소거능의 표준물질은 L-ascorbic acid를 사용하였으며, 농도별 흡광도를 측정하여 표준검량식으로부터 당량을 계산하였다.

7. ABTS 양이온 소거능

ABTS 양이온 소거능의 측정은 Re 등 (1999)의 방법에 따라 7 mM의 ABTS 용액에 potassium persulfate를 2.45 mM을 용해시킨 다음, 12 시간 이상 냉장 보관하여 반응시킨 후 734 nm에서 0.7이 되도록 증류수로 조정된 ABTS 용액을 사용하였다.

농축액을 500 ppm으로 희석하여 희석액 10 µl와 75% EtOH 10 µl를 96 well plate의 각각의 well에 분주하였으며, 여기에 75% EtOH 10 µl와 3 차 증류수 190 µl와 ABTS용액을 190 µl씩 혼합한 다음, 빛을 차단하여 30 분간 실온에

Table 1. The accessions of safflower collected from East Asia for this study.

No.	Accession number	Collection area	No.	Accession number	Collection area	No.	Accession number	Collection area
1	K184982	China	48	305573	China	95	300396	China
2	K185133	China	49	K186120	China	96	K186218	China
3	K185134	China	50	300367	China	97	K186219	China
4	300327	Japan	51	K186122	China	98	K186220	China
5	300328	Japan	52	300368	China	99	300397	China
6	300329	Japan	53	300369	China	100	300399	China
7	300330	Japan	54	300370	China	101	300400	China
8	K185389	China	55	K186126	China	102	K186225	China
9	300331	China	56	K186127	China	103	300401	China
10	300332	China	57	300371	China	104	300402	China
11	300333	China	58	300372	China	105	300403	China
12	300334	China	59	300373	China	106	300404	China
13	300335	China	60	300374	China	107	300405	China
14	300336	China	61	300375	China	108	300406	China
15	300337	China	62	300376	China	109	300407	China
16	300338	China	63	300377	China	110	300408	China
17	K186088	China	64	300378	China	111	300409	China
18	K186089	China	65	300379	China	112	300410	China
19	300339	China	66	K186137	China	113	300411	China
20	300340	China	67	K186138	China	114	305576	China
21	300341	China	68	K186139	China	115	K186238	China
22	300342	China	69	305574	China	116	K186239	China
23	300343	China	70	K186141	China	117	300412	China
24	300344	China	71	300380	China	118	K186241	China
25	300345	China	72	300381	China	119	300413	China
26	300346	China	73	K186144	China	120	K186243	China
27	300347	China	74	K186145	China	121	K186244	China
28	300348	China	75	305575	China	122	300414	China
29	300349	China	76	300382	China	123	K186246	China
30	300350	China	77	300383	China	124	K186247	China
31	300351	China	78	300384	China	125	300415	China
32	300352	China	79	300385	China	126	300416	China
33	300353	China	80	300386	China	127	300417	China
34	300354	China	81	300387	China	128	300418	China
35	300355	China	82	300388	China	129	300419	China
36	300356	China	83	300389	China	130	300420	China
37	300357	China	84	300390	China	131	300421	China
38	300358	China	85	300391	China	132	300422	China
39	K186110	China	86	300392	China	133	305577	China
40	300359	China	87	K186159	China	134	300423	China
41	300360	China	88	K186160	China	135	300424	China
42	300361	China	89	K186161	China	136	300425	China
43	300362	China	90	K186162	China	137	300426	China
44	300363	China	91	K186163	China	138	300427	China
45	300364	China	92	300393	China	139	300428	China
46	300365	China	93	300394	China	140	300429	China
47	300366	China	94	300395	China	141	K186264	China

유용 특성에 따른 홍화 유전자원 선발

Table 1. Continued.

No.	Accession number	Collection area	No.	Accession number	Collection area	No.	Accession number	Collection area
142	K186265	China	189	300471	China	236	300500	Korea (S)
143	300430	China	190	300472	China	237	300501	Korea (S)
144	300431	China	191	K186314	China	238	300502	Korea (S)
145	300432	China	192	K186315	China	239	K186690	Korea (S)
146	300433	China	193	300473	China	240	300503	Korea (S)
147	300434	China	194	300474	China	241	300504	Korea (S)
148	300435	China	195	300475	China	242	K186693	Korea (S)
149	300436	China	196	300476	China	243	K186694	China
151	300438	China	197	K186368	China	244	K186696	China
150	300437	China	198	300477	China	245	K186723	China
152	300439	China	199	300478	China	246	K186724	China
153	300440	China	200	300479	China	247	K186725	China
154	300441	China	201	300480	China	248	K186726	China
155	300442	China	202	300481	China	249	175073	Korea (S)
156	300443	China	203	300482	China	250	183233	Korea (S)
157	300444	China	204	300483	China	251	185433	Korea (S)
158	300445	China	205	300484	China	252	209879	Korea (S)
159	300446	China	206	300485	Korea (N) ¹⁾	253	212780	Korea (S)
160	300447	China	207	300486	China	254	221709	Korea (S)
161	300448	China	208	K186383	China	255	247682	China
162	300449	China	209	K186384	China	256	247683	China
163	K186286	China	210	K186575	China	257	247711	China
164	K186287	China	211	K186576	China	258	247712	China
165	305578	China	212	K186577	China	259	247713	China
166	300450	China	213	K186578	China	260	252150	Korea (S)
167	300451	China	214	300487	China	261	252151	Korea (S)
168	300452	China	215	300488	China	262	252152	Korea (S)
169	300453	China	216	300489	China	263	252153	Korea (S)
170	300454	China	217	300490	China	264	252154	Korea (S)
171	300455	China	218	300491	China	265	252155	Korea (S)
172	300456	China	219	K186598	China	266	252156	Korea (S)
173	300457	China	220	300492	China	267	259082	Korea (S)
174	300458	China	221	300493	China	268	259205	Korea (S)
175	300459	China	222	K186625	China	269	259265	Korea (S)
176	300460	China	223	300494	China	270	259270	Korea (S)
177	305579	China	224	300495	China	271	259331	Korea (S)
178	300461	China	225	K186631	China	272	259419	China
179	300462	China	226	K186634	China	273	260731	Korea (N)
180	300463	China	227	K186643	China	274	260732	Korea (N)
181	300464	China	228	K186655	China	275	260733	Korea (N)
182	300465	China	229	K186680	China	276	260734	Korea (N)
183	300466	China	230	K186681	China	277	260735	Korea (N)
184	300467	China	231	K186682	China	278	267832	China
185	305580	China	232	303012	China	279	278506	Korea (S)
186	300468	China	233	300497	Korea (S) ²⁾	280	278568	Korea (S)
187	300469	China	234	300498	Korea (S)	281	278678	Korea (S)
188	300470	China	235	300499	Korea (S)			

¹⁾ Korea (N); North Korea, ²⁾ Korea (S); South Korea.

서 반응시켰다.

반응시킨 후, ELISA reader (Epoch, BIO-TEK, Winooski, VT, USA)를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS radical 소거능의 표준물질은 Trolox를 사용하였고 농도별 흡광도를 측정하여, 표준검량식으로부터 당량을 계산하였다.

8. 총 polyphenol 함량 측정

총 polyphenol 함량은 Folin & Ciocalteu 방법을 변형하여 사용하였다 (Waterhouse, 2002). 잇꽃 농축액을 1,000 ppm로 희석하여 총 polyphenol 함량 측정의 분석시료로 이용하였다. 희석액 100 μ l와 75% EtOH 100 μ l를 96 well plate의 각각의 well에 분주하였으며, 여기에 3 차 증류수 100 μ l와 1 N Folin & Ciocalteu 시약 100 μ l을 첨가하고 실온에서 3 분간 반응시켰다. 그 다음, 3 차 증류수 100 μ l와 2% Na₂CO₃용액 100 μ l를 추가로 첨가하여 30 분간 반응시킨 후, ELISA reader (Epoch, BIO-TEK, Winooski, VT, USA)를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 gallic acid를 사용하였으며, 표준검량식으로부터 총 polyphenol 함량을 계산하였다.

9. 통계처리

모든 실험의 결과는 평균 \pm 표준편차로 산출하였으며, 각 실험치 간의 통계분석은 R Project (www.r-project.org, R i386 3.4.1, Vienna, Austria)를 이용하였으며, $p < 0.05$ 의 조건에서 값의 유의성을 인정하였다.

결 과

기능성 소재로 유용한 자원을 선별하고자 동아시아 4 개국인 한국 (South Korea), 북한 (North Korea), 일본 및 중국으로부터 수집한 281 자원의 잇꽃종자를 대상으로 크기와 천립중, 지방성분과 항산화 활성평가를 실시하였다.

1. 종자의 크기와 무게

동아시아에서 수집된 잇꽃 (*Carthamus tinctorius* L.) 281 자원의 종자크기와 천립중은 Table 2와 같다. 종자길이와 폭은 각각 5.8 - 8.5 mm, 3.4 - 5.5 mm로 분포하였으며, 평균은 각각 6.9 mm, 4.3 mm였다. 천립중의 경우, 평균 52.0 g였으며 27.0 - 83.2 g로 분포하였다.

한국자원의 종자크기는 4.5 mm \times 6.5 mm이었으며 중국자원은 4.3 mm \times 6.9 mm, 일본자원은 4.2 mm \times 7.2 mm, 북한자원은 4.8 mm \times 7.0 mm의 크기였다. 국가별 종자의 길이와 폭에는 큰 차이가 없었으나, 중국 자원의 천립중이 30.7 - 83.2 g으로 변이가 컸으며, 천립중 60 g이상인 자원은 전체자원 중 45 자원으로 모두 중국자원들이었다.

Table 2. Mean, standard deviation and range for seed characters, antioxidant activities and oil compositions of 281 safflower germplasm collected from East Asia.

Characters	Collection sites			
	China (n = 240)	Japan (n = 4)	South Korea (n = 31)	North Korea (n = 6)
Seed length (mm)	6.9 \pm 0.4 (5.8 - 8.5)	7.2 \pm 0.7 (6.4 - 8.1)	6.5 \pm 0.3 (5.9 - 6.9)	7.0 \pm 0.3 (6.5 - 7.5)
Seed width (mm)	4.3 \pm 0.3 (3.4 - 4.9)	4.2 \pm 0.3 (3.9-4.5)	4.5 \pm 0.3 (3.8 - 5.2)	4.8 \pm 0.5 (4.1 - 5.5)
Seed weight (g)	53.7 \pm 8.0 (30.7-83.2)	49.9 \pm 3.9 (47.2 - 55.8)	40.5 \pm 7.5 (27.0 - 56.1)	44.9 \pm 4.9 (37.8 - 50.8)
TP ¹⁾	68.5 \pm 21.2 (21.0-197.0)	58.9 \pm 21.8 (41.3 - 89.5)	62.7 \pm 14.9 (36.3 - 93.2)	70.3 \pm 15.4 (60.6 - 100.5)
DPPH ²⁾	4.7 \pm 1.9 (0.5 - 14.3)	4.6 \pm 4.6 (3.5 - 7.3)	4.4 \pm 1.2 (2.5 - 7.4)	4.6 \pm 1.1 (2.9 - 5.9)
ABTS ³⁾	72.4 \pm 27.3 (5.6 - 195.7)	68.5 \pm 17.0 (54.4 - 89.2)	71.2 \pm 16.2 (44.0 - 109.7)	72.6 \pm 11.4 (56.3 - 84.4)
Total oil (%)	22.4 \pm 3.4 (12.5 - 34.1)	20.9 \pm 3.6 (17.2 - 25.7)	19.8 \pm 2.2 (15.0 - 23.3)	20.5 \pm 2.9 (17.6 - 25.9)
Palmitic acid (%)	6.0 \pm 0.6 (4.8 - 8.5)	6.0 \pm 0.5 (5.5 - 6.5)	6.6 \pm 0.6 (5.0 - 7.6)	6.3 \pm 0.5 (5.4 - 6.8)
Stearic acid (%)	2.3 \pm 0.4 (1.6 - 4.7)	2.6 \pm 0.5 (2.2 - 3.4)	2.5 \pm 0.4 (2.0 - 3.7)	2.6 \pm 0.4 (1.9 - 2.9)
Oleic acid (%)	13.6 \pm 3.8 (9.8 - 48.5)	13.7 \pm 1.2 (12.9 - 15.4)	10.9 \pm 0.8 (9.5 - 12.7)	11.5 \pm 0.8 (10.3 - 12.3)
Linoleic acid (%)	77.7 \pm 3.9 (43.6 - 81.8)	77.3 \pm 2.0 (74.3 - 78.7)	79.6 \pm 1.1 (76.4 - 81.4)	79.2 \pm 1.6 (77.7 - 82.0)
Linolenic acid (%)	0.3 \pm 0.1 (0.2 - 0.7)	0.4 \pm 0.1 (0.3 - 0.4)	0.4 \pm 0.1 (0.3 - 0.6)	0.4 \pm 0.0 (0.3 - 0.4)

Values are presented as means \pm SD (standard deviation). Values in parentheses indicate the range (minimum to maximum). ¹⁾TP; Total polyphenol content (μ g·GAE·mg⁻¹), ²⁾DPPH; 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil (μ g·ASC·mg⁻¹), ³⁾ABTS; 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (μ g·Trolox·mg⁻¹).

2. 조지방 함량

조지방 함량의 평균은 22.1%였으며, 최소 12.5%, 최대 34.1%였다. 중국자원은 12.5 - 34.1%의 분포를 보였으며 평균 22.4%이었다. 한국자원은 15.0 - 23.3%, 평균 19.8%였다. 북한자원은 17.6 - 25.9%, 평균 20.5%, 일본자원은 17.2 - 25.7%, 평균 20.9%였다. 한국과 북한을 합친 한반도 자원의 조지방 함량은 15.0 - 25.9%로 분포를 보였으며, 평균 19.9%를

함유하고 있었다. 조지방 함량이 30%이상 높은 자원은 9 자원으로 전체자원의 3.2%였으며, 모두 중국자원이었다 (Table 2).

3. 지방산 조성

전체자원의 포화지방산 (palmitic와 stearic acid)과 불포화지방산 (oleic, linoleic 및 linolenic acid)의 비율은 8.4%와 91.6%로 불포화지방산 함량이 높았다. 포화지방산의 평균함량은 수집국가간의 차이는 거의 없었으며, 불포화지방산 중 oleic acid의 경우를 제외하고 linoleic acid와 linolenic acid의 경우도 각 수집국가간의 평균값의 차이는 거의 없었다.

불포화지방산 중, 가장 함량이 높은 linoleic acid의 전체자원의 평균은 78%였으며 43.6% - 82.0%의 분포로 변이가 컸다. 한국자원의 linoleic acid 평균은 79.6%였으며 76.4% - 81.4%의 분포를 보였다. 전체자원 중 182 자원이 평균이상의 linoleic acid를 함유하는 자원이었으며, 한국 29 자원, 북한 5 자원, 일본 2 자원 및 중국 146 자원을 포함되었다.

Oleic acid의 경우, 전체자원 평균은 13.3%였으며 9.5% - 48.5%의 분포를 보였다. 중국자원의 평균함량은 13.3%였고, 평가자원 중 가장 높은 함량 (48.5%)을 가지는 자원이 포함되어 있었다 (Table 2).

4. DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능을 평가한 결과, 전체자원 평균 4.6 $\mu\text{g}\cdot\text{ASC}\cdot\text{mg}^{-1}$ 의 활성을 가지고 있었으며, 중국자원에서 0.5 - 14.3 $\mu\text{g}\cdot\text{ASC}\cdot\text{mg}^{-1}$ 로 변이가 컸고, 한국자원은 2.5 - 7.4 $\mu\text{g}\cdot\text{ASC}\cdot\text{mg}^{-1}$ 를 보였다 (Table 2). 동아시아 수집자원 중 DPPH 라디칼 소거능이 10 $\mu\text{g}\cdot\text{ASC}\cdot\text{mg}^{-1}$ 이상인 자원은 전체자원 중 1.4%에 해당했으며 모두 중국자원이었다.

5. ABTS 활성

수집자원의 ABTS 활성은 전체 평균 72.2 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$ 였으며, 중국자원은 5.6 - 195.7 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$ 로 변이가 컸고, 한국자원은 44.0 - 109.7 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$, 북한자원은 56.3 - 84.4 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$ 로 활성을 보였고, 일본자원은 54.4 - 89.2 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$ 로 분포하였다 (Table 2). ABTS 활성이 100 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$ 이상 높은 자원은 25 자원 (8.9%)였으며, 이중 한국수집 2 자원이 분포하였다. 또한, 20 $\mu\text{g}\cdot\text{Trolox}\cdot\text{mg}^{-1}$ 이하의 낮은 활성을 보인 자원은 4 자원 (1.4%)은 모두 중국자원이었다.

6. 총 polyphenol 함량

동아시아 수집자원의 총 polyphenol 함량은 평균 67.8 $\mu\text{g}\cdot\text{GAE}\cdot\text{mg}^{-1}$ 이었고, 전체자원은 21.0 - 197.0 $\mu\text{g}\cdot\text{GAE}\cdot\text{mg}^{-1}$ 의 범위로 분포하였으며, 중국자원의 분포범위와 같았다. 한국 36.3 - 93.2 $\mu\text{g}\cdot\text{GAE}\cdot\text{mg}^{-1}$, 북한 60.6 - 100.5 $\mu\text{g}\cdot\text{GAE}\cdot\text{mg}^{-1}$, 일본 41.3 - 89.5 $\mu\text{g}\cdot\text{GAE}\cdot\text{mg}^{-1}$ 로 분포하였다 (Table 2). 전체자원 중 100 $\mu\text{g}\cdot\text{GAE}\cdot\text{mg}^{-1}$ 이상 높은 자원은 12 자원이었었는데, 이중 북한 1 자원이 포함되어 있었으며 나머지 11 자원은 중국자원들이었다.

고 찰

동아시아 수집 잇꽃 (*Carthamus tinctorius* L.)종자의 천립중은 27.0 - 83.2 g의 분포를 보였으며, 중국자원이 평균 53.7 g으로 타국가 수집자원보다 높았으며, 천립중 변이폭도 컸다 (Table 2). 이는 중국의 경우, 넓은 국토의 다수 지역에서 잇꽃이 재배되고 있어 수집자원 수가 많기 때문에 다양성이 높

Table 3. Pearson correlation coefficients for seed characters, total polyphenol, DPPH, ABTS and fatty acid compositions of 281 safflower germplasm of East Asia.

Characters	SL	SW	SWT	TP	DPPH	ABTS	TO	PA	SA	OA	LA	LLA
SL	1.0	.093	.433**	.023	-.007	-.073	.238**	.019	.061	.024	-.033	-.064
SW		1.0	-.127*	.055	.103	.081	-.277**	.048	.078	-.203**	.181**	.122*
SWT			1.0	.215**	.179**	.100	.114	-.183**	-.206**	.157**	-.098	-.167**
TP				1.0	.738**	.595**	-.105	-.086	-.138*	.018	.013	-.065
DPPH					1.0	.910**	-.138*	-.085	-.122*	.016	.012	.039
ABTS						1.0	-.162**	-.086	-.086	.010	.014	.053
TO							1.0	-.183**	-.093	.049	-.003	-.223**
PA								1.0	.206**	-.094	-.103	.369**
SA									1.0	.023	-.181**	.367**
OA										1.0	-.973**	-.065
LA											1.0	-.058
LLA												1.0

*and **denote significant ($p \leq 0.05$) and highly significant ($p \leq 0.01$), respectively. SL; Seed length, SW; Seed width, SWT; Seed weight, TP; Total polyphenol, DPPH; 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazil, ABTS; 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid), TO; Total oil, PA; Palmitic acid, SA; Stearic acid, OA; Oleic acid, LA; Linoleic acid, LLA; Linolenic acid.

은 것으로 추측된다.

한반도원산 잇꽃자원의 천립중은 27.0 - 56.1 g으로, Park (2003)이 보고한 잇꽃 백립중이 2.9 - 3.9 g인 것에 비해 종자무게의 변이가 컸다. 종자의 무게차이가 생리학적 특성발현에 영향을 미치는 요소이며 (Hoy and Gamble, 1987), Lim 등

Table 4. Cumulative variances of first and second principal components and loadings of 12 characters on each principal component.

Characters	Eigen vectors	
	1	2
Seed length	-0.001	0.004
Seed width	0.001	-0.001
Seed weight	0.051	0.149
Total polyphenol	0.563	0.812
DPPH	0.058	-0.007
ABTS	0.822	-0.565
Total oil	-0.018	0.013
Palmitic acid	-0.002	-0.001
Stearic acid	-0.002	-0.003
Oleic acid	0.002	0.007
Linoleic acid	0.002	-0.003
Linolenic acid	0.000	-0.001
Cumulative variance (%)	73.4	17.2

Table 5. Average values of each groups based on seed size, oil composition and antioxidant activity.

Characters	Group I (n = 79)	Group II (n = 16)	Group III (n = 50)	Group IV (n = 136)
Seed length	6.7±0.4 ^c	7.5±0.4 ^a	7.2±0.4 ^b	6.8±0.3 ^c
Seed width	4.4±0.4 ^a	4.0±0.4 ^c	4.3±0.3 ^{ab}	4.3±0.2 ^b
Seed weight	46.8±9.6 ^c	58.7±9.6 ^a	58.2±9.2 ^a	52.0±6.0 ^b
Total polyphenol	65.2±14.9 ^b	54.2±26.3 ^c	87.6±26.6 ^a	63.5±15.0 ^b
DPPH	4.5±1.3 ^b	2.7±2.3 ^c	6.8±2.1 ^a	4.1±1.2 ^b
ABTS	71.4±19.7 ^b	41.3±27.4 ^c	97.4±29.7 ^a	67.1±19.7 ^b
Total oil	20.1±2.6 ^c	28.8±4.3 ^a	22.8±3.6 ^b	22.2±2.1 ^b
Palmitic acid	6.5±0.6 ^a	6.2±0.8 ^b	6.0±0.5 ^{bc}	5.9±0.5 ^c
Stearic acid	2.7±0.5 ^a	2.5±0.4 ^b	2.3±0.3 ^c	2.2±0.3 ^c
Oleic acid	13.1±3.2 ^b	18.6±11.7 ^a	12.9±1.4 ^b	12.9±1.5 ^b
Linoleic acid	77.3±3.1 ^a	72.4±11.4 ^b	78.5±1.6 ^a	78.8±1.6 ^a
Linolenic acid	0.4±0.1 ^a	0.3±0.0 ^b	0.3±0.0 ^b	0.3±0.0 ^b

Values are expressed means ± SD (standard deviation) and means within column with the same letters were not significantly different at $p \leq 0.05$.

(2012)은 종자무게가 무거운 잇꽃종자를 사용하여 재배할 경우 작물의 발아 및 생육에 유리하나 유지생산에 있어서는 유리한 형질이 아니라고 보고하였다. 본 연구의 결과에서, 종자무게와 유지함량과는 정의상관을 보이고는 있으나 상관성이 높다고 해석하기는 어려우며, 선행연구와 유사한 결과로 사료된다 (Table 3).

Carthamus 속 식물의 조지방 함량은 *C. tinctorius*가 29.2 - 34.0%, *C. oxyacantha* 20.0 - 30.8%, *C. lanatus* 15.3 - 20.8%의 범위로 함유하고 있다 (Mohammad *et al.*, 2008). 본 연구의 동아시아 잇꽃자원 (*C. tinctorius*)의 경우, 조지방 함량은 전체적으로 12.5 - 34.1%였고, 이중 한반도원산 자원은 15.0 - 25.9%로 분포를 보였다 (Table 2). 일반적으로 잇꽃종자는 6 - 8% palmitic acid, 2 - 3% stearic acid, 16 - 20% oleic acid, 71 - 75% linoleic acid로 구성되어 있다 (Velasco and Fernandez-Martinez, 2001). 지방산 조성은 식물성 오일 활용성을 결정하는 중요한 요소이며, 식물종에 따라 조성 변이가 다양한 편이다.

잇꽃종자 오일은 식용 또는 산업용으로 이용이 증가함에 따라 그 중요도도 높아지고 있다. 최근에는 고리놀레산 오일 또는 고올레산 오일과 관련된 연구결과가 발표되고 있다. 고리놀레산 오일의 경우는 다른 종류의 식물성 식이오일과 혼합하여 영양소를 높이는데 이용되며, 고올레산 오일의 경우, 식물성 연료의 이용성으로 연구되었으나, 새로운 고영양소 식이오일 또는 가축의 사료, 식용색소, 약용 등 다양한 분야에서 그 가치가 증대되고 있다 (Liu *et al.*, 2016).

동아시아 수집자원 중, IT300331 (중국)는 48.45%의 높은 oleic acid의 함량조성을 보였다. 이는 Sung 등 (2016),

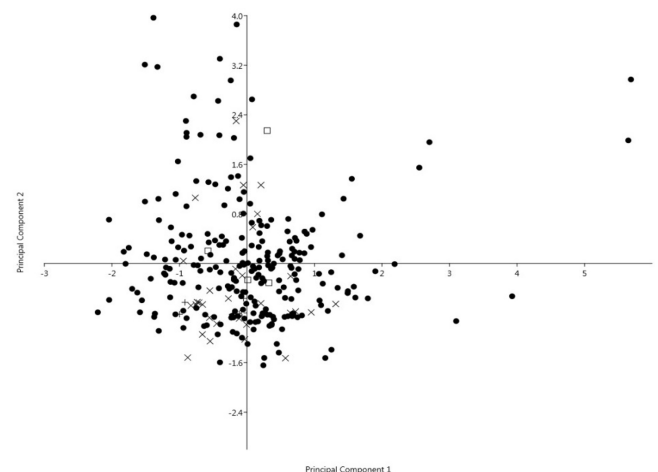


Fig. 1. Projection of 281 accessions of safflower from different countries. •; accessions of China, +; accessions of Japan, x; accessions of South Korea, and □; accessions of North Korea.

유용 특성에 따른 홍화 유전자원 선발

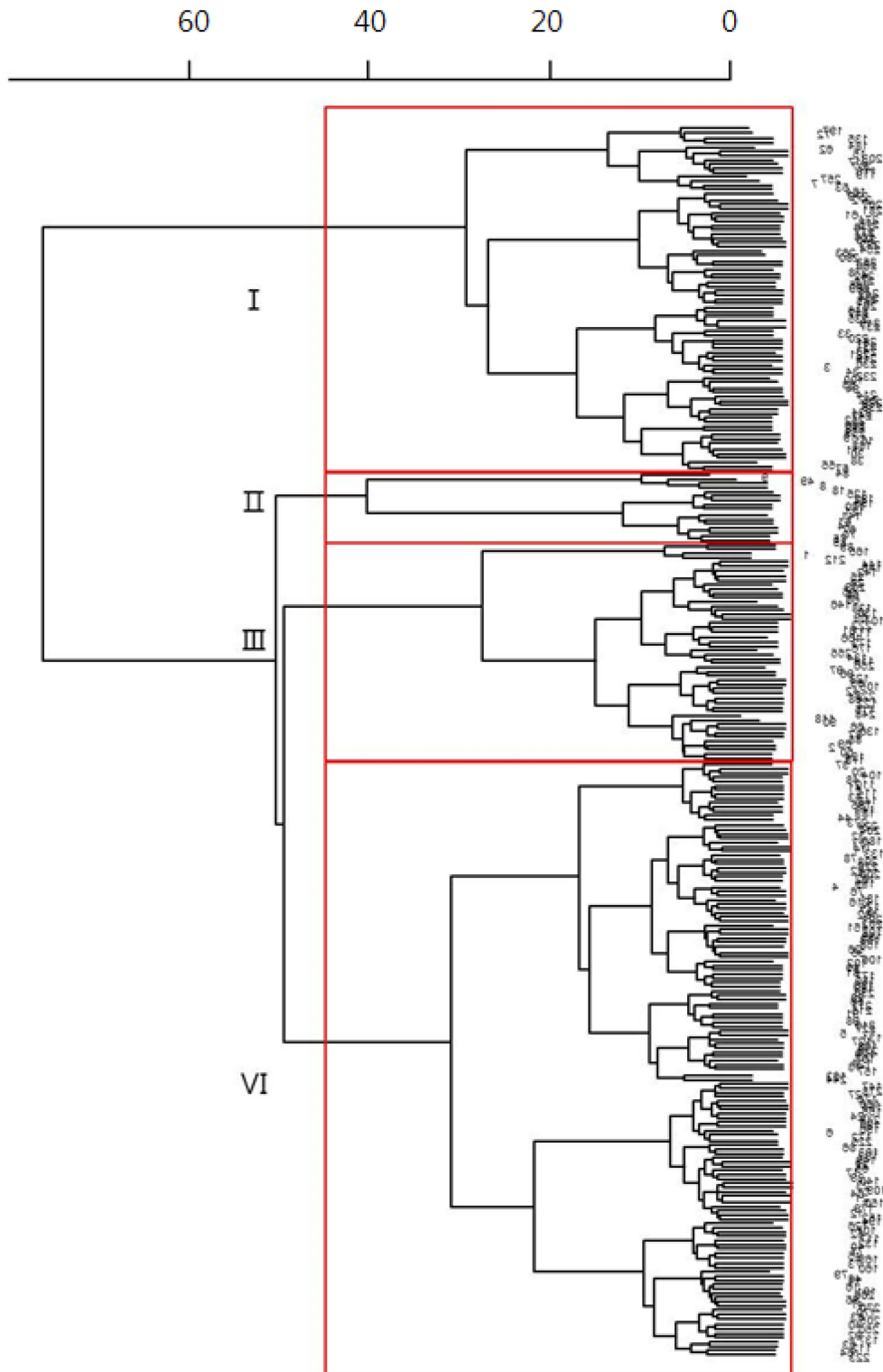


Fig. 2. Clustering analysis of oil compositions, antioxidant activities, and seed characters in 281 safflower accessions collected from East Asia.

Knowles (1965) 및 Fernandez-Martinez 등 (1993)이 기보고한 인도 및 파키스탄 수집자원들에 비해 함량이 높지 않았으나, 기존에 알려져 있는 한반도에서 재배되고 있는 잇꽃의 oleic acid 함량조성보다 월등히 높았다. 한국재래종은 linoleic acid 함량이 높은 자원들이 대부분이기 때문에 IT300331와 같은 자원은 고올레산 자원으로 국내 활용가능성이 높을 것으로 사료된다.

잇꽃종자는 기름을 짜고 남은 유박이나 불에 구운 것이라 해도 항산화 효능을 가지는 유용성분을 함유하고 있다는 것이 보고 (Choi *et al.*, 2011) 되고 있고, 이들 항산화 성분은 *N*-feruloylserotonin이라는 것이 밝혀졌으며 기존에 항산화제로 많이 이용되었던 α -tocopherol과 비교에서도 높은 활성을 보여 새로운 천연항산화제로서의 가능성을 보였다 (Song *et al.*, 2000).

본 연구의 동아시아 수집 잇꽃자원에서는 수집국가별 항산화활성에 차이는 거의 없었으나, ABTS 활성 평가에서 중국자원들이 $5.6 - 195.7 \mu\text{g} \cdot \text{Trolox} \cdot \text{mg}^{-1}$ 로 변이가 컸다 (Table 2). 한반도원산 자원의 DPPH 소거능은 평균 $4.4 \mu\text{g} \cdot \text{ASC} \cdot \text{mg}^{-1}$ 였고, $2.5 - 7.4 \mu\text{g} \cdot \text{ASC} \cdot \text{mg}^{-1}$ 의 범위에 있었으며, ABTS 활성은 평균 $71.2 \mu\text{g} \cdot \text{Trolox} \cdot \text{mg}^{-1}$ 이었고, $44.0 - 109.7 \mu\text{g} \cdot \text{Trolox} \cdot \text{mg}^{-1}$ 의 분포를 보였다. 총 polyphenol 함량은 평균 $63.9 \mu\text{g} \cdot \text{GAE} \cdot \text{mg}^{-1}$ 이었고 $36.3 - 100.5 \mu\text{g} \cdot \text{GAE} \cdot \text{mg}^{-1}$ 로 분포하였다 (Table 2).

총 polyphenol 함량과 항산화 활성 간에 상관관계 있는 것으로 보고하고 있으며 (Lee *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2010b; Choi *et al.*, 2013), 본 연구에서도 이와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 동아시아 수집 잇꽃자원의 평가항목별 상호연관관계는 Fig. 1 및 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

DPPH 라디칼 소거능은 ABTS 활성 (0.910^{**}) 및 총 polyphenol 함량 (0.738^{**})과 높은 양의 상관관계 ($p \leq 0.01$)를 보였으며, 이는 Pasko 등 (2009) 및 Sung 등 (2015)의 결과와 유사하였다. Linoleic acid는 oleic acid (-0.973^{**})와 강한 음의 상관관계를 보였으며, stearic acid (-0.181^{**})와도 음의 상관을 나타냈다. 수집 자원간의 변이값을 이용하여 주성분 분석 (principal component analysis)한 결과, 제1 과 제2의 주성분들로서 전체 변이의 90.6%를 해석할 수 있었다. 제1 주성분 (PC1)으로 변이의 73.4%를 해석할 수 있었는데, 총 polyphenol 함량 및 ABTS 활성값의 기여도가 높았다 (Table 4).

동아시아수집 잇꽃자원의 지방조성과 항산화 활성의 연관성을 고려하여 4 그룹으로 자원을 구분할 수 있었다 (Fig. 2). 79 자원을 포함하는 그룹I 은 포화지방산의 평균함량이 다른 4 개 그룹보다 비교적 높은 자원들이었다. 그룹II 는 16 자원을 포함하고 있었으며, 조지방 평균함량, 불포화지방산 중 oleic 및 linoleic acid 조성비를 그리고 종자의 평균길이가 다른 그룹들에 비해 컸다. 그룹III 은 50 자원을 포함하였으며,

다른 그룹에 비해 높은 총 polyphenol 함량과 항산화 활성을 보였다. 그룹IV 는 일본수집 자원을 포함하여 136 자원이 분포하였다 (Table 5).

결과적으로, 잇꽃 수집자원들의 지방조성 및 항산화 활성에 있어서는 수집자원간에는 변이가 다양했다. 중국자원 중 oleic acid 함량이 높은 IT300331과 총 polyphenol 함량이 높은 K186161, IT305578 등은 국내 잇꽃 품종개발 또는 기능성 오일 연구의 소재로 활용 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01249302)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi CH, Kim HD and Im EB. (2011). Reviews of research trends on safflower seed(*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Korean Medical Classics. 24:63-90.
- Choi EY, Heo SI, Kwon YS and Kim MJ. (2016). Anti-oxidant activity and anti-inflammatory effects of *Spiraea fritschiana* Schneid extract. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 24:31-37.
- Choi KH, Nam HH and Choo BK. (2013). Effect of five Korean native *Taraxacum* on antioxidant activity and nitric oxide production inhibitory activity. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 21:191-196.
- Choi WY and Lee HY. (2014). Enhancement of antioxidant activities of *Curcuma longa* leaves by ultra high pressure extraction. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 22:121-126.
- Cox C, Mann J, Sutherland W, Chisholm A and Skeaff M. (1995). Effects of coconut oil, butter, and safflower oil on lipids and lipoproteins in persons with moderately elevated cholesterol levels. Journal of Lipid Research. 36:1787-1795.
- Dajue L and Mundel HH. (1996). Safflower. *Carthamus tinctorius* L.: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. p.20-21.
- Espin JC, Soler-Rivas C and Wichers HJ. (2000). Characterization of the total free radical scavenger capacity of vegetable oils and oil fractions using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48:648-656.
- Farag RS, Badei AZMA and El Baroty GSA. (1989). Influence of thyme and clove essential oils on cottonseed oil oxidation. Journal of the American Oil Chemists' Society. 66:800-804.
- Fernandez-Martinez J, Rio M and Haro A. (1993). Survey of safflower(*Carthamus tinctorius* L.) germplasm for variants in fatty acid composition and other seed characters. Euphytica. 69:115-122.
- Hoy DJ and Gamble EE. (1987). Field performance in soybean with seeds of differing size and density. Crop Science. 27:121-126.

- Kim JB, Cho MH, Hahn TR and Paik YS.** (1996). Efficient purification and chemical structure identification of carthamin from *Carthamus tinctorius*. *Agricultural Chemistry and Biotechnology*. 39:501-505.
- Kim SM, Zhang QY, Yu XZ, Yoon ST, Ji SJ and Kim JB.** (2010). Fatty acids composition of foxtail millet(*Setaria italica* Beauvois) seeds collected in South Korea. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 18:405-408.
- Kim TS, Kim JS, Park CG, Park SI, Ju YW and Kang MH.** (2010). Antioxidant activities of different *Phyllanthus* collection species extracts. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 18:201-207.
- Knowles PF.** (1965). Variability in oleic and linoleic acid contents of safflower oil. *Economic Botany*. 19:53-62.
- Kumar H and Agrawal RK.** (1989). 'HUS 305' a high-yielding safflower variety. *Indian Farming*. 39:17-18.
- Lee SO, Lee HJ, Yu MH, Im HG and Lee IS.** (2005). Total polyphenol contents and antioxidant activities of methanol extracts from vegetables produced in Ullung Island. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 37:233-240.
- Lim JD, Park HI, An TJ, Lim JJ, Kim SH, Yoo BR, Kim EH and Chung IM.** (2012). Effect of seed size on seed germination and growth characteristics in safflower(*Carthamus tinctorius* L.). *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 20:415-420.
- Liu L, Guan LL and Yang YX.** (2016). A review of fatty acids and genetic characterization of safflower(*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. *World Journal of Traditional Chinese Medicine*. 2:48-52.
- Park JS.** (2003). Oil content and growth characteristics of collected safflower varieties. *Korean Journal of Plant Resource*. 16:123-129.
- Pasko P, Barton H, Zagrodzki P, Gorinstein S, Folta M and Zachwieja Z.** (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry*. 115:994-998.
- Piao XM, Jang EK, Chung JW, Lee GA, Lee HS, Sung JS, Jeon YA, Lee JR, Kim YG and Lee SY.** (2013). Variation in antioxidant activity and polyphenol content in tomato stems and leaves. *Plant Breeding and Biotechnology*. 1:366-373.
- Prescha A, Grajzer M, Dedyk M and Grageta H.** (2014). The antioxidant activity and oxidative stability of cold-pressed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 91:1291-1301.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M and Rice-Evans C.** (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26:1231-1237.
- Sabzalian MR, Saeidi G and Mirlohi A.** (2008). Oil content and fatty acid composition in seeds of three safflower species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 85:717-721.
- Seo GE, Kim SM, Pyo BS and Yang SA.** (2016). Antioxidant activity and antimicrobial effect for foodborne pathogens from extract and fractions of *Sanguisorba officinalis* L. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:303-308.
- Song JC, Park NK, Hur HS, Bang MH and Baek NI.** (2000). Examination and isolation of natural antioxidants from Korean medicinal plants. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 8:94-101.
- Song JH and Lee SR.** (2015). Anti-oxidant and inhibitory activity on NO production of extract and its fractions from *Rosa davurica* Pall. leaves. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:20-26.
- Sung JS, Ko HC, Hur OS, Kim SG, Lee JR, Luitel B.P, Gwang JG, Baek HJ and Ryu KY.** (2015). Comparison in antioxidant activities and total polyphenol contents of safflower(*Carthamus tinctorius* L.) germplasm collection. *Korean Journal of International Agriculture*. 27:381-392.
- Sung JS, Ko HC, Kim SG, Lee JR, Luitel BP, Lee YH, Jang YS, Gwang JG, Baek HJ and Ryu KY.** (2016). Morphological and oil compositions in safflower(*Carthamus tinctorius* L.) germplasm of different geographical groups. *Journal of Korean Society of International Agriculture*. 28:84-91.
- Velasco L and Fernandez-Martinez JM.** (2001). Proceedings of the 5th international safflower conference: Breeding for oil quality in safflower. In Bergman JW and Mundel HH. (ed.), 5th International Safflower Conference. Williston, ND, USA. p.133-137.
- Waterhouse AL.** (2002). Current protocols in food analytical chemistry Determination of total phenolics. John Wiley and Sons Inc. New York, NY, USA. p.1-4.
- Zhang HL, Nagatsu A and Sakakibara J.** (1996). Novel antioxidants from safflower(*Carthamus tinctorius* L.) oil cake. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 44:874-876.