국내 고추 품종 간 대사산물 함량과 항산화 활성 비교

이태규¹ · 박예리¹ · 최익영² · 박남일^{1*}

¹강릉원주대학교 식물생명과학과, ²강원대학교 미래농업융합학부 농생명산업학전공

Comparison of Metabolite Levels and Antioxidant Activity Among Pepper Cultivars

Tae Gyu Yi¹, Yeri Park¹, Ik-Young Choi², and Nam-Il Park^{1*}

¹Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea

²Department of Agriculture and Life Industry, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

Abstract Red peppers (*Capsicum* spp.) are one of the most widely consumed vegetables in Korea; thus, improving the beneficial properties of peppers may have important public health implications. Peppers contain various active phenolic compounds, including capsaicinoids; therefore, developing cultivars with high levels of these and other functional compounds is of major interest. We analyzed and compared the physiological activities and functional compounds on 15 cultivars of red peppers, including 5 commonly consumed cultivars that were collected from markets in Korea, and 10 important breeding cultivars that were registered with the National Agrobiodiversity Center (RDA, Korea). Comparisons of polyphenol content showed that polyphenol levels were higher in the green stages of the 10 registered peppers than in the same stage of 'Noggwang Gochu' peppers collected from the market. Based on ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6- sulfonic acid) radical scavenging activity, all stages of the 10 registered peppers had higher antioxidative activity than did the green and red stages of 'Noggwang Gochu.' Overall, 'Hongsinho Gochu' and 'House Put Gochu' had the highest antioxidant activity levels and the highest functional content among breeding cultivars. Among landraces, 'Jeonbuk Wanju' red peppers had both the highest functional ingredient levels and the highest antioxidant activity levels.

Keywords antioxidant activity, genetic resources, metabolites, red pepper, polyphenol

Received on July 18, 2019. Revised on September 1, 2019. Accepted on September 16, 2019.

* Corresponding Author (E-mail: nipark@gwnu.ac.kr, Tel: +82-33-640-2351, Fax: +82-33-640-2909)

서 언

고추(*Capsicum* spp.)는 세계적으로 소비되는 열대성 가지과 채소로 주요 기호식품으로 사용되고 있다. 국내에서는 경제적으로도 중요한 위치를 차지하고 있으며, 조미채소의 가장 넓은 재배면적을 차지하고 있다(Kim et al. 2006). 고추는 미성숙 시기와 성숙 시기 모두 사용이 가능한 채소로, 성숙과인 홍고추는 건고추로 만들어 조미료로 사용되며, 미성숙과인 풋고추는 생식용으로 사용된다(Son et al. 2012).

식물체에 포함되어 있는 2차대사산물은 건강기능성물질로서의 가치가 크다. 식물체에 분포되어 있는 폴리페놀(polyphenol) 성분은 다양한 약리적 기능이 있다고 알려져 있으며, 이로 인한 많은 생리 활성적 연구가 이루어지고 있다(Manach et al. 2004). 고추의 대표적인 페놀성 화합물로는 매운맛을 내는 캡사이시노이드(capsaicinoid) 성분이 있다. 이 중 capsaicin과 dihydrocapsaicin 이 고추 매운맛의 주요 성분으로 고추 capsaicinoid 성분의 약

90%를 차지한다(Perucka & Oleszek 2000). 또한, 색소 성분으로 알려져 있는 quercetin, kaempferol, myricetin, luteolin 등 다양한 플라보노이드(flavonoid) 성분(Ghasemnezhad et al. 2011; Howard et al. 2000; Lee et al. 1995; Mican & Mohamed 2001)과 caffeic acid, ferulic acid, sinapic acid, vanillic acid, *p*-coumaric acid 등의 다양한 페놀산(phenolic acid) 성분들이 보고된 바 있다(Mattila & Hellström 2007).

Capsaicinoid는 항암 효과를 갖고 있는 성분으로, 세포 내에서 분비하는 항암 물질의 유출을 줄이며(Nabekura 2010), 종양억제 단백질 p53을 상향 조절하는 기능을 하여, 암 세포주기를 억제하고 사멸에 도움을 준다(Fernandes et al. 2016). 또한 에너지 대사를 활발하게 하여 지방의 축적을 억제하는 효과도 있다(Shin & Moritani 2007). Flavonoid는 천연 색소 성분으로 다양한 항산화 및 약리적 효과를 나타낸다(Harborne & Williams 2000). 보고된 바에 따르면, 심혈관계 질환, 뇌혈관계 질환, 암, 천식, 백내장 당뇨, 관절염 및 알레르기 등 다양한 만성질환에 효과를

보인다고 보고된 바 있다(Neuhaus 2004). Phenolic acid도 항산화 활성을 포함한 항암, 항당뇨, 항콜레스테롤 등의 질병 예방에 도움을 주는 것으로 알려져 있고(Graf & Eaton 1990; Scalbert et al. 2005), 2차대사산물의 생합성에 중요한 요인으로 작용하여 다른 2차대사산물과 함께 연구가 이루어지고 있다(Heleno et al. 2015).

한국인의 1인당 고추 소비량은 세계 최고의 수준이나 국내 생산량은 감소하고 수입은 점점 증가하고 있다(Huang et al. 2014; Lee et al. 2018). 따라서 수입산 품종과의 차별성을 확보하기 위해 식물의 2차대사산물을 이용한 고기능성, 고품질의 품종 육성이 경제적인 면에서 절대적으로 필요하다. 국내에는 각 지역의 다양한 기후와 풍토에 적응하고 오랜 기간 동안 선발되어 온 다양한 재래종이 있으며, 종묘회사들에 의해서 개량되어 온, 많은 재배품종이 존재한다(Bozokalfa et al. 2009; Lanteri et al. 2003). 이러한 유전자원을 육종의 소재로서 효율적으로 활용하기 위해서는 이러한 유전자원에 대한 많은 정보가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 국내의 재래종 및 재배품종 고추의 생리활성과 기능성 성분의 특성을 파악하고 각 특성의 우수한 유전자원에 대한 정보를 제공하고자 농업유전자원센터에서 분양받은 국내의 재래종 및 재배품종과 시장에서 판매되고 있는 고추(오이맛고추, 청양고추, 파리고추, 풋고추, 홍고추)를 구입하여 생리활성 및 기능성 성분에 대한 특성을 비교하고, 건강 기능성 품종개발을 위한 육종연구에 필요한 기능성물질의 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

육성 품종으로서 Cucumber mosaic virus (CMV) 저항성을 갖고 있으며(Shin et al. 2013), 육종의 소재로서 중요한 가치가 있는 10종(재배품종 4품종, 재래종 6종)을 농촌진흥청 농업유전자원센터에서 분양받아 사용하였다. 또한 현재 시장에서 많이 판매되고 농가에서 많이 재배되고 있는 고추 5종을 수집하였다. 사용된 품종으로는 오이맛고추의 'BN54', '청양고추', 파리고추의 '농우파리꽃' 그리고 가장 많이 사용되는 형태인 풋고추 및 홍고추는 '녹광고추'를 사용하여 성숙기에 따른 비교를 하였다(Table 1).

연구재료는 경기도 여주시에서 비가림 방식으로 재배하였다. 2월에 파종을 시작하여 2주 동안 발아시키고 5월에 노지에 정식하여, 11월까지 재배하였다. 본 시험의 분석용 시료 채취는 녹색

미성숙과(꽃 개화후 15~20일)와 적색 성숙과(꽃 개화후 40~50일)로 나누어 품종당 10개씩 채취하였다. 채취한 시료들은 분석을 위해 -70℃ 초저온 냉동고에서 보관한 뒤, 동결건조하여 분말화하였다.

본 실험에 사용된 모든 용매와 표준물질은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

2차대사산물 추출

추출은 분말시료(0.1 g)을 0.5 N HCl이 첨가된 70% acetone 1 mL에 넣은 뒤, 10초간 vortexing 하였다. 이후 진탕 항온조(KMC-1205 SWI, Vision Co. Korea)에서 60℃로 6시간 동안 추출하였다. 추출물은 원심분리(13000 × g, 10분, 4℃) 한 후, 상층액을 채취하고 0.22 μm syringe filter (Woongki Science, Seoul, Korea)로 여과하여 사용하였다. 총 polyphenol 함량, 총 flavonoid 함량과 항산화 활성 측정에 사용되는 추출물은 5,000, 2,500 및 1,250 mg/L로 희석하여 사용하였다. 유리당, capsaicinoid, phenolic acid 및 flavonoid 함량 측정은 추출물을 원액을 그대로 사용하였다.

총 polyphenol 함량 측정

총 polyphenol 함량은 Folin-Ciocalteu 방법(Zhuang et al. 2012)을 변형하여 수행하였다. 각 추출물 100 μL에 Folin-Ciocalteu reagent 50 μL를 가한 후 3분간 방치하고, 20% Na₂CO₃ 용액 300 μL를 가하였다. 15분 후 distilled water (D.W) 1,000 μL를 첨가한 후 원심분리 하여 상등액을 96 well plate로 옮겼다. 반응액은 흡광기(Multiskan™ FC Microplate Photometer, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)로 측정하였으며, 흡광도 값은 738 nm에서 측정하였다. 표준물질은 gallic acid를 사용하였으며, 검량선($y=0.0047x+0.0502$, $R^2=1$)을 그려 mg GAE/g (dried weight)로 나타내었다.

총 flavonoid 함량 측정

총 flavonoid 함량 추출은 Menichini의 방법(Menichini et al. 2009)을 변형하여 수행하였다. 각 추출물 500 μL에 10% aluminium nitrate 100 μL와 1 M potassium acetate 100 μL를 가한 후 40분간 반응시킨다. 반응액은 96 well plate로 옮겨 흡광도 값 405 nm에서 측정하였다. 표준물질은 quercetin을 사용하였으며, 검량선($y=0.0125x+0.0421$, $R^2=0.9996$)을 그려 mg QE/g (dried weight)로 나타내었다.

Table 1. Fifteen kinds of peppers used in this study (1-5 are the collected and 6-15 are varieties registered in the national agrobiodiversity center, Republic of Korea).

Sample number	IT No. ^z	Resource name	Supply source	Scientific name	Classification	Major use	Resource classification	Fruit color	
								Immature	Mature
1	-	BN54 (Cucumber pepper)	Hung Nong	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Vegetable	Breeding	Green	Red
2	-	Cheongyang pepper	Hung Nong	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Seasoning	Breeding	Green	Red
3	-	Nongwoo Qarri put (Quarri pepper)	Nong Woo	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Vegetable	Breeding	Green	Red
4	-	Noggwang Gochu (Green pepper)	Hung Nong	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Vegetable	Breeding	Green	Red
5	-	Noggwang Gochu (Red pepper)	Hung Nong	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Seasoning	Breeding	Green	Red
6	100771	Sinhong Gochu	NAC ^y	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Seasoning	Collected	Green	Red
7	100772	House put Gochu	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Vegetable	Collected	Green	Red
8	100787	Haneul Cho Gochu	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Seasoning	Collected	Green	Red
9	100789	Hongsinho Gochu	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Cultivar	Seasoning	Collected	Green	Red
10	104175	Gyeonggi Pyeongtaek	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Land race	Seasoning	Collected	Green	Red
11	104276	Gyeongnam Hadong	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Land race	Seasoning	Collected	Green	Red
12	101118	Jeonbuk Wanju	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Land race	Seasoning	Collected	Green	Red
13	104017	Jeonbuk Gimje-1	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Land race	Seasoning	Collected	Green	Red
14	104029	Jeonbuk Gimje-2	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Land race	Seasoning	Collected	Green	Red
15	104837	Jeonnam Hwasun	NAC	<i>Capsicum annuum</i>	Land race	Seasoning	Collected	Green	Red

^zThe number that national agrobiodiversity center uses for resource management.^yNAC, National Agrobiodiversity Center (Republic of Korea)

DPPH radical 소거 활성능 측정

DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical 소거 활성능은 Re et al. (1999)의 방법을 변형하여 수행하였다. 각 추출물 100 μ L에 0.15 mM DPPH 용액(99.9% ethanol에 용해) 100 μ L을 첨가한 후 519 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소치를 측정하였으며, 표준물질로서 ascorbic acid를 사용하였다. 각 시료의 radical 소거 활성능은 전자 공여능으로 계산하여 나타냈다.

ABTS radical 소거 활성능 측정

ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6- sulfonic acid)

radical 소거 활성능 측정은 Re et al. (1999)의 방법을 변형하여 수행하였다. ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 1:1 비율로 섞어 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후, PBS buffer에 738 nm에서 흡광도 0.7 ± 0.03 값이 나오도록 희석하여 사용하였다. 각 추출액 10 μ L에 희석된 ABTS 용액 190 μ L을 가하여 흡광도의 변화를 암실에서 10분간 둔 후에 738 nm에서 측정하였다. 표준물질로서 ascorbic acid를 사용하였다. 각 시료의 radical 소거 활성능은 전자 공여능으로 계산하여 나타냈다.

유리당 함량 분석

유리당 분석에 사용된 표준물질은 sucrose, glucose 그리고 fructose가 사용되었다. 분석조건은 refractive index detector가 장착된 YL 9112 HPLC system (YoungLin, Anyang, Korea)로 분석하였다. 컬럼은 Sugar-Pak I column (300 mm × 6.5 mm, Waters, USA)를 사용하였고, 사용 용매는 3차 증류수를 단일로 사용하였다. 유속은 0.6 ml/min, 주입량은 5 μ L, 컬럼 온도는 80°C를 유지하였다.

2차대사산물 함량 분석

분석에 사용된 표준물질로 capsaicinoid는 capsaicin과 dihydrocapsaicin이 사용되었으며, flavonoid는 naringenin, naringin, myricetin, quercetin, kaempferol, kaempferol 3-O-rutinoside (K3OR), luteolin, apigenin이 사용되었고, phenolic acid는 chlorogenic acid, *p*-coumaric acid, caffeic acid, vanillic acid, sinapic acid, ferulic acid가 사용되었다.

분석조건은 Diode array UV-vis 검출기가 장착된 Prominence HPLC system (Shimadzu, Kyoto, Japan)을 사용하여 C18 column (250 × 4.6 mm, 5 μ m, Shimadzu, Kyoto, Japan)을 통해 분석하였다. 이동상A는 water (formic acid 0.1%), 이동상B는 acetonitrile (formic acid 0.1%)을 사용하였고, 유속은 0.7 ml/min, 주입량은 10 μ L, column 온도는 40°C를 유지하였다. 용매의 조성변화는 다음과 같다. 0분, 88% A / 12% B; 20분, 70% A / 30% B; 50분, 20% A / 80% B; 53분, 20% A / 80% B; 54분, 12% A / 88% B; 60분, 12% A / 88% B. 분석파장은 280 nm와

330 nm에서 분석하였다. 검량선은 표준물질 10~100 μ g/mL 사이의 5 농도를 사용하여 그렸으며, 각 성분의 면적을 검량선을 이용하여 정량분석하였다.

통계처리

모든 분석은 3회 이상 수행하였고, 평균과 표준편차로 나타내었다. 통계분석은 SAS (version 9.1)를 이용하여 분산분석(ANOVA)하였고, 각 측정 평균값의 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 Duncan's multiple range test (Duncan 1955) 분석하였다. 그리고 그룹간의 관계를 알아보기 위해, R (version 3.3.1)을 이용하여 시각화하였다. 각 그룹간의 연관성을 조사하기 위해 heatmap (ggplot2, https://cran.rstudio.com/src/contrib/ggplot2_3.1.0.tar.gz) 및 상관관계 분석(corrplot, https://cran.rstudio.com/bin/windows/contrib/3.3/corrplot_0.84.zip)를 수행하였다.

결과 및 고찰

총 polyphenol 및 flavonoid 함량 비교

페놀성 화합물은 식물체 내에서 해충 및 병원균에 대한 방어기능을 수행하는 성분으로 항산화, 항균 활성 등 다양한 생리활성을 나타내는 주요 물질이다(Ghasemnezhad et al. 2011). 시장에서 수집한 고추와 농업유전자원센터에 등록된 고추의 총 polyphenol 함량을 비교하였다(Fig. 1). 함량은 희석 농도별로 각각 5,000 mg/L에서 937.31~475.20 mg GAE/g, 2,500 mg/L에서 584.83~237.07 mg GAE/g, 그리고 1,250 mg/L에서 294.83~96.78 mg GAE/g로

Fig. 1. Comparison of total polyphenol contents of immature and mature red peppers of the 15 genetic resources. 1: BN54 (Cucumber pepper), 2: Cheongyang pepper, 3: Nongwoo Quarri put (Quarri pepper), 4: Noggwang Gochu (Green pepper), 5: Noggwang Gochu (Red pepper), 6: Sinhong Gochu, 7: House put Gochu, 8: Haneul Cho Gochu, 9: Hongsinho Gochu, 10: Gyeonggi Pyeongtaek, 11: Gyeongnam Hadong, 12: Jeonbuk Wanju, 13: Jeonbuk Gimje-1, 14: Jeonbuk Gimje-2, 15: Jeonnam Hwasun

나타났다. 가장 높은 함량을 보인 것은 파리고추인 ‘농우파리꽃’으로 나타났으며, 그 뒤를 이어, 재배품종인 ‘홍신희고추’의 성숙과와 미성숙과가 높게 나타났다. ‘녹광고추’의 풋고추를 기준으로 미성숙과를 비교하면, 모든 재래종과 재배품종들은 ‘녹광고추’의 풋고추보다 높은 총 polyphenol 함량을 보였으며, ‘청양고추’보다도 높은 함량을 보였다. 재배품종 중에서는 ‘홍신희고추’, 재래종 중에서는 경남 하동의 재래종이 가장 높게 나타났다. ‘녹광고추’의 홍고추를 기준으로 성숙과를 비교하면, 모든 재배품종들은 ‘녹광고추’의 홍고추보다 모두 높은 함량을 보였다. 재래종의 경우, 경기 평택, 경남 하동, 전북 완주의 재래종은 ‘녹광고추’의 홍고추보다 함량이 높게 나타났다. 재배품종 중 가장 함량이 높게 나타난 품종은 ‘홍신희고추’였으며, 재래종은 경남 하동의 재래종이 가장 높은 함량을 보였다. 농업유전자원센터에 등록된 재래종과 재배품종으로 성숙시기에 따라 총 polyphenol 함량을 비교하였을 시, 미성숙 시기에서 높은 함량을 보인 고추는 4종(‘하우스풋고추’, 전북 완주, 전북 김제-2, 전남 하순), 성숙 시기에서 높은 함량을 보인 고추는 3종(‘신희고추’, ‘홍신희고추’, 경기 평택)으로 나타났다. 나머지 3종(‘하늘초고추’, 경남 하동, 전북 김제-1)은 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Polyphenol 화합물 중 하나인 flavonoid에 대한 함량을 비교 분석하였다(Fig. 2). 희석 농도별 함량은 각각 5,000 mg/L에서 45.44~2.64 mg QE/g, 2,500 mg/L에서 21.76~0.07 mg QE/g로 나타났으며, 1,250 mg/L에서는 모두 10 mg QE/g이하로 검출되었다. 수집한 고추 중에서 총 flavonoids 함량이 높은 것은 파리고추 ‘농우파리꽃’, 오이맛고추 ‘BN54’, ‘청양고추’ 순으로 나타났

다. 미성숙 상태에서 재배품종인 ‘하우스풋고추’와 ‘홍신희고추’는 ‘녹광고추’의 풋고추보다 높은 함량을 나타냈다. 재배품종 중에서는 ‘하우스풋고추’가 가장 높은 함량을 보였으며, 재래종 중에서는 경남 하동의 재래종이 가장 높은 함량을 보였다. ‘녹광고추’의 홍고추를 기준으로 성숙과를 비교하면, 전북 김제-1의 재래종을 제외한 모든 품종이 ‘녹광고추’의 홍고추보다 높은 함량을 보였다. 재배품종 중 가장 높은 함량을 보인 것은 ‘홍신희고추’였으며, 재래종 중 가장 높은 함량을 보인 것은 경기 평택의 재래종으로 나타났다. 농업유전자원센터에 등록된 재배품종과 재래종으로 성숙시기에 따라 비교했을 때, 3종(‘하우스풋고추’, 경남 하동, 전북 김제-1)은 미성숙과에서 함량이 높게 나타났으며, 6종(‘신희고추’, ‘하늘초고추’, 경기 평택, 전북 완주, 전북 김제-2, 전남 하순)은 성숙과에서 함량이 높게 나타났다.

항산화 활성 비교

DPPH는 안정된 자유 radical 분자로 짙은 자색을 띠며, cysteine, glutathione 등의 황 함유 아미노산과 ascorbic acid, BHA, tocopherol 및 방향족 아민류 등의 항산화 물질에 의해 환원되어 노란색으로 탈색되는 성질을 이용하여 분석한다(Sharma & Bhat 2009). DPPH법을 통해 시판되고 있는 고추와 항산화 활성을 비교 분석하였다(Fig. 3). 가장 항산화 활성이 높은 품종은 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량과 마찬가지로 파리고추인 ‘농우파리꽃’으로 나타났다. ‘녹광고추’의 풋고추를 기준으로 미성숙과를 비교하면, ‘신희고추’를 제외한 모든 재배품종은 ‘녹광고추’의 풋고추보다 높은 항산화 활성을 보였고, 재래종에서는 경기

Fig. 2. Comparison of total flavonoid contents of immature and mature red peppers of the 15 genetic resources. 1: BN54 (Cucumber pepper), 2: Cheongyang pepper, 3: Nongwoo Quarri put (Quarri pepper), 4: Noggwang Gochu (Green pepper), 5: Noggwang Gochu (Red pepper), 6: Sinhong Gochu, 7: House put Gochu, 8: Haneul Cho Gochu, 9: Hongsinho Gochu, 10: Gyeonggi Pyeongtaek, 11: Gyeongnam Hadong, 12: Jeonbuk Wanju, 13: Jeonbuk Gimje-1, 14: Jeonbuk Gimje-2, 15: Jeonnam Hwasun

평택 및 전북 완주의 재래종이 높게 나타났다. 성숙과에서 ‘녹광고추’의 홍고추보다 높은 항산화 활성을 보인 품종은 ‘하늘초고추’로 나타났다. DPPH법으로 성숙시기에 따른 항산화 활성은 모든 재배품종과 재래종이 성숙과보다 미성숙과에서 항산화 활성이 높게 나타났다.

ABTS는 청록색을 띄고 있으며, 항산화성 물질에 의해 탈색되는 것을 이용한 측정 방법이다(Gülçin et al. 2010). ABTS법을 통해 시판되고 있는 고추와 항산화 활성을 비교 분석하였다(Fig. 4). 가장 항산화 활성이 높은 품종은 DPPH법과 동일하게 파리고추인 ‘농우파리꽃’으로 나타났다. ‘녹광고추’의 풋고추를 기준으로

미성숙과를 비교하면, 모든 재배품종 및 재래종은 풋고추보다 높은 항산화 활성을 보였으며, 오이맛고추인 ‘BN54’보다도 높은 활성을 보였다. 성숙과 역시, ‘녹광고추’의 홍고추를 기준으로 성숙과를 비교했을 때, 모든 재배품종 및 재래종은 ‘녹광고추’의 홍고추보다 높은 항산화 활성을 보였다. ABTS법으로 성숙시기에 따른 항산화 활성을 비교했을 때, 10종 중 7종(‘하우스풋고추’, ‘하늘초고추’, 경남 하동, 전북 완주, 전북 김제-1, 2, 전남 하순)이 미성숙과에서 항산화 활성이 높게 나타났다.

DPPH 측정법과 ABTS 측정법 간의 차이가 있었으며, 재배품종 및 재래종은 ABTS 측정법으로 측정하였을 시, 더 높은 항산화

Fig. 3. Comparison of DPPH radical scavenging activity of immature and mature red peppers of the 15 genetic resources. ¹1: BN54 (Cucumber pepper), 2: Cheongyang pepper, 3: Nongwoo Quarri put (Quarri pepper), 4: Noggwang Gochu (Green pepper), 5: Noggwang Gochu (Red pepper), 6: Sinhong Gochu, 7: House put Gochu, 8: Haneul Cho Gochu, 9: Hongsinho Gochu, 10: Gyeonggi Pyeongtaek, 11: Gyeongnam Hadong, 12: Jeonbuk Wanju, 13: Jeonbuk Gimje-1, 14: Jeonbuk Gimje-2, 15: Jeonnam Hwasun

Fig. 4. Comparison of ABTS radical scavenging activity of immature and mature red peppers of the 15 genetic resources. ¹1: BN54 (Cucumber pepper), 2: Cheongyang pepper, 3: Nongwoo Quarri put (Quarri pepper), 4: Noggwang Gochu (Green pepper), 5: Noggwang Gochu (Red pepper), 6: Sinhong Gochu, 7: House put Gochu, 8: Haneul Cho Gochu, 9: Hongsinho Gochu, 10: Gyeonggi Pyeongtaek, 11: Gyeongnam Hadong, 12: Jeonbuk Wanju, 13: Jeonbuk Gimje-1, 14: Jeonbuk Gimje-2, 15: Jeonnam Hwasun

활성을 나타냈다. DPPH 측정법은 수소나 전자를 받는 것으로 활성을 측정하는 방법이다. ABTS 측정법은 수소 공여 항산화 및 radical chain-breaking 항산화 활성을 모두를 측정 할 수 있는 방법이며, 친수성 물질과 소수성 물질 모두 항산화 활성의 측정이 가능함으로, 일반적으로 DPPH법보다 높은 활성을 나타낸다고 보고되었다(Re et al. 1999). 또한 DPPH는 자유 radical인 반면, ABTS는 양이온 radical이라는 차이가 있으며, 이로 인해 이들과 결합하는 polyphenol 화합물의 종류에도 차이가 생긴다(Jo et al. 2010). Flavonoid와 같은 polyphenol 화합물은 치환기의 위치에 따라 radical 소거 활성능이 달라지는데(Kim & Park 2004), 보고된 바에 따르면, ABTS radical은 반응하여 소거 활성능이 나타나는 반면, DPPH radical은 반응하지 못하여 소거

활성능이 나타나지 않는 경우가 보고되었다(Wang et al. 1998).

유리당 함량 비교

유리당은 단맛을 나타내는 성분으로 맛과 영양에 영향을 준다. 또한 식물 대사의 중요한 탄소에너지원으로 사용되며, 이는 ascorbic acid 및 vitamin 함량에 영향을 준다고 보고된 바 있다(Jarret et al. 2009). 포도당(glucose)은 식물의 신진대사 및 에너지 생성에 중요한 역할을 담당하고 있으며, 자당(sucrose) 및 과당(fructose)은 건조 및 염분 스트레스와 같은 환경 스트레스로부터 식물을 보호하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Pilon-Smits et al. 1995).

유리당을 분석한 결과, fuctose와 glucose의 함량이 높게 나타

Table 2. Free sugar content of 15 immature and mature peppers.

No.	Classification	Resource classification	Resource name	Sucrose	Glucose	Fructose	Total
1	Cultivar	Breeding	Cucumber pepper	1668.56±84.52 ^{ghi z}	13525.95±160.64 ^a	15144.36±204.71 ^b	30338.88±311.97 ^b
2			Cheongyang pepper	912.03±271.00 ^{lmno}	6018.41±326.66 ^d	4012.08±155.30 ^{klm}	10942.52±596.13 ^{gh}
3			Quarri pepper	1286.57±69.64 ^{ijkl}	7342.62±68.47 ^c	5162.86±130.07 ^{hij}	13792.05±153.66 ^{de}
4			Green pepper	461.98±3.47 ^p	7519.2±48.62 ^c	8091.85±70.29 ^{de}	16073.02±94.26 ^c
5			Red pepper	3031.97±297.49 ^b	11823.03±159.28 ^b	19449.04±267.56 ^a	34304.04±253.24 ^a
6	Cultivar		Sinhong Gochu	2855.85±262.90 ^{bc}	3386.83±390.71 ^{fgh}	4028.6±198.61 ^{klm}	10271.28±694.93 ^{hij}
7			House put Gochu	1831.32±254.45 ^{fgh}	1971.85±72.68 ^{lm}	4615.3±153.01 ^{ijk}	8418.46±328.77 ^{klm}
8			Haneul Cho Gochu	2710.24±102.75 ^{bcd}	2564.71±4.80 ^{ijkl}	3471.94±116.90 ^{lmn}	8746.88±120.31 ^{jkl}
9			Hongsinho Gochu	1234.91±282.73 ^{ijklm}	2946.1±1304.43 ^{ghij}	6132.57±2644.66 ^{gh}	10313.58±2993.71 ^{hij}
10	Land race	Collected (Immature)	Gyeonggi Pyeongtaek	4383.14±130.37 ^a	2785.93±73.50 ^{hijk}	3188.52±121.2 ^{mn}	10357.58±250.52 ^{hij}
11			Gyeongnam Hadong	1483.64±59.18 ^{hij}	2200.84±75.44 ^{klm}	2936.1±59.41 ⁿ	6620.58±151.06 ^{nop}
12			Jeonbuk Wanju	2571.85±14.22 ^{cde}	3104.41±108.90 ^{ghi}	4372.79±59.84 ^{kl}	10049.05±149.20 ^{hijk}
13			Jeonbuk Gimje-1	2575.63±39.08 ^{cde}	3834.88±56.38 ^f	4069.36±22.62 ^{klm}	10479.87±90.25 ^{hi}
14			Jeonbuk Gimje-2	988.8±320.88 ^{klmn}	2194.66±351.26 ^{klm}	3159.54±109.77 ^{mn}	6343±630.83 ^{opq}
15			Jeonnam Hwasun	1920.86±384.42 ^{fg}	1892.03±363.98 ^m	3204.95±135.39 ^{mn}	7017.84±719.71 ^{mno}
6	Cultivar		Sinhong Gochu	2375.92±127.30 ^{de}	2318±187.13 ^{ijklm}	4543.71±46.83 ^{ijk}	9237.63±97.80 ^{ijkl}
7			House put Gochu	569.19±108.15 ^{op}	759.84±168.46 ⁿ	3950.61±126.31 ^{klmn}	5279.65±315.77 ^{pq}
8			Haneul Cho Gochu	936.57±25.03 ^{lmno}	4603.7±131.19 ^e	9162.27±82.73 ^c	14702.53±126.63 ^{cd}
9			Hongsinho Gochu	1033.24±173.36 ^{klmn}	4693.29±161.78 ^c	8672.01±163.67 ^{cd}	14398.54±123.44 ^{de}
10	Land race	Collected (Mature)	Gyeonggi Pyeongtaek	1357.48±316.67 ^{ijk}	3480.22±211.22 ^{fg}	5622.5±78.10 ^h	10460.2±475.26 ^{hi}
11			Gyeongnam Hadong	782.88±216.74 ^{nop}	1208.2±271.59 ⁿ	3021.32±122.09 ^{mn}	5012.41±496.26 ^q
12			Jeonbuk Wanju	2208.72±492.63 ^{ef}	3114.3±419.03 ^{ghi}	6905.82±370.71 ^{fg}	12228.83±1034.33 ^{fg}
13			Jeonbuk Gimje-1	830.27±98.96 ^{mno}	4699.81±83.47 ^e	7570.72±191.66 ^{ef}	13100.8±97.16 ^{ef}
14			Jeonbuk Gimje-2	709.73±174.07 ^{nop}	2371.58±441.61 ^{ijklm}	5413.87±111.11 ^{hi}	8495.18±590.43 ^{klm}
15			Jeonnam Hwasun	1320.69±234.36 ^{ijkl}	2287.31±264.65 ^{klm}	4532.28±89.95 ^{ijk}	8140.27±479.85 ^{lmn}

^zMeans in a row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

났다(Table 2). 이전에 보고된 바에 따르면 고추에 포함되어 있는 유리당 종류로는 sucrose, fructose, glucose, 맥아당(maltose)이 있으며, 이중 fructose와 glucose의 형태가 가장 많이 나타난다고 보고 되었다(Lee et al. 2005). 전체적으로, 농업유전자원센터에 등록된 재래종 및 재배품종은 수집된 ‘녹광고추’의 풋고추 및 홍고추보다 낮은 함량을 보였다. 농업유전자원센터에 등록된 고추 중 미성숙과에서 가장 높은 함량을 보인 고추는 전북 김제-1의 재래종이 높게 나타났으며, 성숙과에서는 재배품종인 ‘하늘초고추’가 가장 높게 나타났다. Fructose, glucose 및 총 유리당 함량의 경향은 유사하게 나타났으며, fructose의 경우 ‘하우스풋고추’를 제외한 9종이 성숙과에서 높은 함량을 보였다. 반면, 비환원당인 sucrose는 미성숙과가 성숙과보다 높은 함량을 보였다. 이는 이전에 보고된 바와 같으며, fructose, glucose, 총 유리당 함량은 서로 높은 상관관계가 있으며, 일반적으로 고추는

성숙이 진행됨에 따라 sucrose의 함량이 감소한다고 보고된 바 있다(Jarret et al. 2009).

Capsaicinoid 함량 분석

Capsaicinoid는 phenylalanine에서 파생된 vanillylamine과 측쇄지방산의 축합에 의해 합성되는 화합물로, 의약, 화장품 및 농산업과 같은 분야에서 여러 용도로 사용된다(Arce-Rodríguez & Ochoa-Alejo 2019). 농업유전자원센터에 등록된 고추로 비교하였을 때, 미성숙과보다 성숙과에서 높은 함량을 나타냈다(Table 3). 국내산 고추의 성숙에 따른 capsaicinoid 함량 변화에 대해서는 성숙할수록 높은 함량을 나타낸다고 보고된 바 있었으며(Chung & Kang 1985), 본 실험의 결과는 이와 같았다. 미성숙과의 전체적인 함량을 ‘녹광고추’의 풋고추를 기준으로 비교하였을 때, 재래종이 수집한 고추나 재배품종보다 함량이 더 높았으

Table 3. Capsaicinoid content of 15 immature and mature peppers.

No.	Classification	Resource classification	Resource name	Capsaicin	Dihydrocapsaicin	Total
1	Cultivar	Breeding	Cucumber pepper	2.46±0.16 ^{k z}	1.74±0.04 ^{op}	4.20±0.18 ^m
2			Cheongyang pepper	33.43±1.79 ⁱ	5.51±0.24 ^{no}	38.94±2.02 ^{jk}
3			Quarri pepper	0.43±0.05 ^k	0.74±0.13 ^p	1.17±0.09 ^m
4			Green pepper	2.63±0.21 ^k	1.59±0.05 ^{op}	4.22±0.26 ^m
5			Red pepper	61.33±2.44 ^f	22.53±0.86 ^{kl}	83.86±3.30 ^g
6	Cultivar	Collected(Immature)	Sinhong Gochu	16.25±0.96 ^j	12.93±0.67 ^m	29.18±1.63 ^{kl}
7			House put Gochu	4.69±0.55 ^k	4.96±0.31 ^{nop}	9.65±0.86 ^m
8			Haneul Cho Gochu	28.69±2.31 ⁱ	18.76±1.38 ^l	47.45±3.69 ^{ij}
9			Hongsinho Gochu	29.88±1.81 ⁱ	11.02±0.52 ^m	40.89±2.33 ^{ij}
10			Gyeonggi Pyeongtaek	45.70±2.62 ^h	26.40±1.44 ^j	72.10±4.06 ^h
11	Land race	Collected(Immature)	Gyeongnam Hadong	52.26±3.54 ^{gh}	43.40±2.95 ^{fg}	95.66±6.50 ^f
12			Jeonbuk Wanju	77.16±6.74 ^e	32.71±2.71 ⁱ	109.87±6.68 ^e
13			Jeonbuk Gimje-1	57.97±4.32 ^{fg}	38.48±2.56 ^h	96.46±6.87 ^f
14			Jeonbuk Gimje-2	31.67±1.90 ⁱ	20.46±1.05 ^{kl}	52.14±2.95 ⁱ
15			Jeonnam Hwasun	89.25±5.91 ^d	69.72±4.47 ^b	158.97±10.38 ^c
6	Cultivar	Collected(Mature)	Sinhong Gochu	53.74±3.30 ^g	23.53±1.41 ^{jk}	77.27±4.70 ^{gh}
7			House put Gochu	18.75±1.21 ^j	6.67±0.39 ⁿ	25.42±1.60 ^l
8			Haneul Cho Gochu	93.90±5.17 ^d	63.23±3.42 ^c	157.12±8.58 ^c
9			Hongsinho Gochu	33.62±2.47 ⁱ	12.73±0.88 ^m	46.35±2.37 ^{ij}
10			Gyeonggi Pyeongtaek	76.30±4.31 ^e	40.10±2.18 ^{gh}	116.39±6.50 ^e
11	Land race	Collected(Mature)	Gyeongnam Hadong	95.94±8.10 ^d	49.33±4.02 ^c	145.27±12.12 ^d
12			Jeonbuk Wanju	131.61±10.25 ^a	40.00±3.06 ^{gh}	171.62±9.42 ^b
13			Jeonbuk Gimje-1	120.28±7.13 ^b	46.01±2.60 ^{ef}	166.29±9.73 ^{bc}
14			Jeonbuk Gimje-2	113.71±7.92 ^b	53.44±3.67 ^d	167.15±11.59 ^{bc}
15			Jeonnam Hwasun	106.44±7.91 ^c	80.83±5.92 ^a	187.27±13.83 ^a

^zMeans in a row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

며, 전남 하순의 재래종이 가장 높은 함량을 보였다. ‘녹광고추’의 홍고추를 기준으로 성숙과를 비교하면, 모든 재래종이 ‘녹광고추’의 홍고추보다 높은 함량을 나타냈으며, 미성숙과와 마찬가지로 전남 하순의 재래종이 가장 높은 함량을 보였다. 전체적으로 성숙과가 미성숙과보다 높은 함량을 보였다. 이는 시료를 채취 시기에 따라 다르게 나타날 수 있다. 보고된 바에 따르면, 고추는 과일 숙성 40일까지 capsaicinoid 함량은 꾸준히 증가하는 경향을 보였으며, 40일과 50일 사이에 capsaicinoid 함량의 현저한 감소가 나타났다고 하였다(Barbero et al. 2014).

한국산업규격을 보면 고춧 가루의 capsaicin 및 dihydrocapsaicin의 합한 함량으로 매운맛을 구분하였으며, 150 mg/kg 미만일 경우 순한 맛, 150~300 mg/kg일 경우, 덜 매운맛, 300~500 mg/kg일 경우, 보통 매운맛, 500~1,000 mg/kg일 경우, 매운맛, 100 mg/kg 이상일 경우, 매우 매운맛으로 구분하였다(Huang et al. 2014). 한국산업규격을 기준으로 분류하였을 시, 전남 하순의 미성숙과와 성숙과, 전북 완주의 성숙과, 전북 김제-1,2의 성숙과 그리고 ‘하늘초고추’의 성숙과는 덜매운맛으로 분류되며, 나머지 품종은 순한 맛으로 분류된다. 매운맛에 대한 선호도는 지역 및 식생활 문화에 따라 차이에 달라질 수 있다. 이와 같이 분석한 고추들의 매운맛 정도를 분류함으로써, 매운맛 선호도에 따른 각 유전자원들에 대한 활용성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

Flavonoid 및 Phenolic acid 함량 분석

노란색 색소 성분인 flavonoid는 자연계에 널리 분포되어 있으며, 다양한 항산화 활성 및 약리적 기능을 갖고 있다(Harborne & Williams 2000; Neuhouser 2004). 8 종류의 flavonoid 성분을 비교 분석하였다(Table 4). 가장 많은 함량을 나타낸 성분은 myricetin으로 나타났다. Myricetin은 강력한 항산화 성분으로, 피부암을 억제하고, 파골세포의 분화를 억제한다고 보고된 바 있다(Jung et al. 2008; Ko 2012). 성숙시기에 따라 비교하면, 총 10품종 중 8품종이 미성숙과에서 flavonoid 함량이 높게 나타났다. ‘녹광고추’의 풋고추를 기준으로 미성숙과를 비교하면, 재배품종의 ‘하늘초고추’와 ‘홍신평고추’, 그리고 전북 지역의 재래종은 ‘녹광고추’의 풋고추보다 높은 함량을 나타냈다. ‘녹광고추’의 홍고추를 기준으로 성숙과를 비교하면, 전북 완주의 재래종과 재배품종인 ‘하늘초고추’는 ‘녹광고추’의 홍고추보다 높은 함량을 나타냈다.

Phenolic acid는 유기체의 대사 및 생체 활성에 중요한 역할을 하며, 항균 및 항종양 등의 효과를 보인다(Heleno et al. 2015). 총 5종류의 phenolic acid 성분을 비교 분석하였다(Table 5). 가장

많은 함량을 보인 성분은 chlorogenic acid였으며, chlorogenic acid는 간 손상을 보호하며, glucose의 흡수를 저해하여 비만에 도움을 준다는 보고가 있다(Ali et al. 2017). 가장 phenolic acid의 함량이 높은 품종은 파리고추인 ‘농우파리꽃’이었으며, 특히 chlorogenic acid의 함량이 높게 나타났다. ‘녹광고추’의 풋고추를 기준으로 미성숙과를 비교하였을 때, ‘녹광고추’의 풋고추보다 높은 함량을 보인 품종은 재배품종인 ‘하우스풋고추’가 있었으며, ‘신평고추’를 제외한 재배품종은 모두 재래종보다 높은 함량을 보였다. ‘녹광고추’의 홍고추를 기준으로 성숙과를 비교했을 때는 재배품종인 ‘하늘초고추’가 있었으며, 재배품종이 재래종보다 높은 함량을 보였다.

Flavonoid와 phenolic acid는 전체적으로 미성숙과에서 높은 함량이 나타났다. Phenolic acid나 flavonoid와 같은 페놀성 화합물은 미성숙과가 성숙과보다 높은 함량을 갖고 있다는 보고가 있었다(Lee et al. 1995). 또한, 성숙에 따른 flavonoid 및 phenolic acid 성분들에 대한 특징은 품종마다 다르게 나타났다. Lee et al. (1995)의 연구에 따르면, 품종에 따라 지역 및 환경에 따른 polyphenol 성분에 대한 함량 차이가 생길 수 있다고 보고된 바 있다. 본 실험에서 분석한 flavonoid 및 phenolic acid 성분은 일부분에 불과하며, 더 다양한 페놀성 화합물에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

성숙시기에 따른 대사 물질의 조성 및 함량

품종에 따른 전체적인 생리활성 및 대사물질의 조성을 보기 위해 HCA (hierarchical clustering analysis)를 수행하였다(Kim et al. 2017). 본 연구에서 HCA 결과는 동일한 품종 간에는 차이가 없음을 보여주었다(Fig. 5). 생리활성에 대한 HCA 결과를 보면, 미성숙과에서 높은 생리활성을 나타낸 품종은 재배품종인 ‘하우스풋고추’와 ‘신평고추’로 나타났으며, 그 뒤를 이어 전북 완주 및 경남 하동의 재래종이 높게 나타났다. 성숙과의 경우, 재배품종인 ‘홍신평고추’ 및 ‘하늘초고추’가 높은 생리활성을 나타낸 것으로 나타났으며, ‘신평고추’ 및 전북 완주의 재래종 순으로 높게 나타났다. 각 대사산물은 품종 및 환경에 따라 다양하게 나타난다(Jarret et al. 2009; Lee et al. 1995). 대사산물의 HCA 결과는 품종에 따른 대사산물의 상대적인 특징을 나타냈다. 미성숙과를 기준으로 분석한 대사산물의 함량을 상대 비교하면, 재배품종인 ‘홍신평고추’와 전북 완주의 재래종이 높게 나타났다. 성숙과에서는 재배품종인 ‘하늘초고추’, ‘홍신평고추’ 그리고 전북 완주의 재래종이 상대적으로 높게 나타났다.

Table 4. Flavonoid content of 15 immature and mature peppers.

Resource classification		Unit : $\mu\text{g/g}$									
No.	Classification	Resource name	Naringenin	Naringin	Myricetin	Quercetin	Keampferol	K3OR	Luteolin	Agigenin	Total
1	Cultivar	Cucumber pepper	0.82±0.02 ^{kl, z}	0.12±0.02 ^j	2.13±0.49 ^{jk}	1.06±0.04 ^{efgh}	0.49±0.01 ^k	2.47±0.05 ^e	0.64±0.02 ^{lmno}	0.46±0.02 ^{lm}	8.18±0.43 ^{lmn}
2		Cheongyang pepper	0.98±0.06 ^{hijk}	1.55±0.07 ^{ef}	0.79±0.07 ^k	1.13±0.04 ^{de}	0.73±0.09 ^{ghi}	5.93±0.24 ^a	0.98±0.04 ^{gh}	0.62±0.06 ^{jkl}	12.70±0.42 ^{ij}
3		Quarri pepper	0.95±0.03 ^{ijk}	0.30±0.03 ^{ij}	3.13±0.34 ^{ij}	1.02±0.13 ^{efghi}	0.49±0.01 ^k	4.64±0.14 ^b	0.63±0.06 ^{lmno}	0.59±0.03 ^{kl}	11.74±0.69 ^{kl}
4		Green pepper	0.68±0.02 ^{lm}	0.74±0.17 ^{ghi}	6.26±0.20 ^g	0.88±0.02 ^{efhijkl}	1.89±0.16 ^c	2.63±0.09 ^e	0.83±0.03 ^{hijk}	0.31±0.02 ^m	14.21±0.43 ^j
5		Red pepper	1.77±0.12 ^e	4.86±0.74 ^c	22.12±0.50 ^e	0.71±0.04 ^{kl}	0.51±0.02 ^k	1.17±0.03 ^j	0.78±0.09 ^{ijklm}	1.42±0.12 ^c	33.34±0.89 ^f
6	Cultivar	Sinhong Gochu	1.07±0.04 ^{hijk}	0.31±0.02 ^{ij}	0.87±0.05 ^k	1.72±0.08 ^b	0.53±0.01 ^{jk}	1.16±0.05 ^j	0.81±0.03 ^{hijkl}	0.71±0.04 ^{hijkl}	7.17±0.23 ^{mn}
7		House put Gochu	0.98±0.06 ^{hijk}	0.76±0.05 ^{ghi}	1.27±0.04 ^k	2.06±0.16 ^a	0.51±0.02 ^k	1.06±0.06 ^{jk}	1.21±0.11 ^{ef}	0.62±0.06 ^{jkl}	8.48±0.50 ^{lmn}
8		Haneul Cho Gochu	1.86±0.09 ^e	0.02±0.01 ^j	29.20±1.80 ^d	0.84±0.01 ^{hijkl}	0.75±0.03 ^{gh}	1.40±0.23 ⁱ	0.63±0.01 ^{lmno}	1.51±0.09 ^e	36.22±2.26 ^e
9		Hongsinho Gochu	3.48±0.17 ^c	3.67±0.08 ^d	34.68±1.20 ^b	0.66±0.01 ^l	0.60±0.02 ^{hijk}	3.02±0.21 ^d	1.62±0.08 ^c	3.16±0.17 ^c	50.90±1.86 ^c
10		Collected (Immature)	1.19±0.04 ^{ghi}	0.08±0.01 ^j	1.24±0.38 ^k	1.33±0.05 ^{cd}	0.56±0.03 ^{ijk}	1.80±0.09 ^{fg}	0.73±0.06 ^{ijklm}	0.83±0.04 ^{ghij}	7.75±0.42 ^{mn}
11	Land race	Gyeonggi Pyeongtaek	1.11±0.06 ^{hij}	0.57±0.19 ^{hij}	1.24±0.05 ^k	1.11±0.08 ^{ef}	2.19±0.13 ^b	0.57±0.02 ^m	0.98±0.09 ^{gh}	0.78±0.06 ^{hijk}	8.55±0.41 ^{lmn}
12		Gyeongnam Hadong	5.57±0.39 ^a	1.89±0.32 ^e	71.87±4.59 ^a	0.87±0.22 ^{ghijkl}	0.67±1.72 ^{hijk}	3.79±0.29 ^e	1.61±0.20 ^c	5.28±0.40 ^a	92.54±4.93 ^a
13		Jeonbuk Wanju	2.53±0.16 ^d	1.01±0.04 ^{gh}	23.01±1.25 ^e	1.14±0.07 ^{de}	0.76±0.19 ^{gh}	1.61±0.01 ^{ghi}	0.71±0.23 ^{klmn}	2.22±0.12 ^d	32.99±1.53 ^f
14		Jeonbuk Gimje-1	0.57±0.02 ^m	8.21±0.92 ^b	9.01±0.28 ^f	1.00±0.30 ^{efghi}	2.52±0.30 ^a	1.56±0.07 ^{hi}	0.96±0.12 ^{gh}	0.97±0.04 ^{gh}	24.81±0.86 ^g
15		Jeonnam Hwasun	1.04±0.05 ^{hijk}	0.44±0.02 ^{ij}	1.73±0.09 ^{jk}	1.14±0.04 ^{de}	1.71±0.05 ^d	1.81±0.08 ^{fg}	1.35±0.13 ^{de}	0.68±0.05 ^{ijkl}	9.90±0.36 ^{klm}
6	Cultivar	Sinhong Gochu	1.64±0.13 ^{ef}	0.55±0.05 ^{hij}	0.74±0.01 ^k	1.45±0.10 ^c	0.55±0.01 ^{ijk}	1.00±0.06 ^{kl}	0.66±0.07 ^{klmno}	1.29±0.13 ^{ef}	7.88±0.38 ^{mn}
7		House put Gochu	1.18±0.08 ^{hij}	0.20±0.01 ^{ij}	0.79±0.02 ^k	1.07±0.26 ^{efgh}	1.25±0.06 ^f	0.82±0.01 ^l	0.91±0.03 ^{hi}	0.82±0.40 ^{ghijk}	6.82±0.71 ⁿ
8		Haneul Cho Gochu	3.28±0.20 ^c	11.52±1.32 ^a	32.52±1.28 ^c	0.84±0.05 ^{hijkl}	1.66±0.07 ^d	2.65±0.04 ^e	2.21±0.02 ^b	2.95±0.20 ^c	57.62±2.68 ^b
9		Hongsinho Gochu	4.76±0.33 ^b	1.16±0.01 ^{fg}	1.86±0.06 ^{jk}	0.75±0.02 ^{kl}	1.45±0.07 ^e	1.84±0.29 ^f	4.04±0.25 ^a	4.45±0.33 ^b	20.32±0.79 ^h
10		Collected (Mature)	0.94±0.05 ^{ijk}	0.31±0.06 ^{ij}	1.13±0.29 ^k	1.08±0.11 ^{efg}	0.61±0.04 ^{hijk}	0.92±0.05 ^{kl}	0.60±0.04 ^{lmno}	0.57±0.05 ^{kl}	6.17±0.42 ⁿ
11	Land race	Gyeonggi Pyeongtaek	0.91±0.09 ^{kl}	0.29±0.02 ^{ij}	1.01±0.12 ^k	0.92±0.05 ^{efghijk}	0.71±0.07 ^{ghij}	0.90±0.06 ^{kl}	1.13±0.06 ^{fg}	0.55±0.09 ^{klm}	6.42±0.35 ⁿ
12		Gyeongnam Hadong	4.80±0.63 ^b	1.65±0.84 ^{ef}	22.82±1.44 ^e	1.04±0.38 ^{efgh}	1.60±0.22 ^{de}	1.60±0.04 ^{ghi}	1.51±0.29 ^{cd}	4.49±0.64 ^b	39.50±2.86 ^d
13		Jeonbuk Wanju	1.20±0.05 ^{ghi}	1.75±0.21 ^e	3.57±0.15 ^{hi}	0.79±0.04 ^{ijkl}	0.86±0.03 ^g	1.17±0.07 ^j	0.52±0.05 ^{no}	0.84±0.05 ^{ghij}	10.71±0.21 ^{kl}
14		Jeonbuk Gimje-1	1.23±0.11 ^{gh}	1.61±0.25 ^{ef}	4.70±0.07 ^h	1.05±0.07 ^{efgh}	0.66±0.06 ^{hijk}	1.03±0.01 ^{ijkl}	0.87±0.05 ^{hij}	0.87±0.11 ^{ghi}	12.03±0.46 ^{jk}
15		Jeonnam Hwasun	1.44±0.11 ^{fg}	0.46±0.09 ^{ij}	1.08±0.16 ^k	0.95±0.08 ^{efghij}	0.62±0.13 ^{hijk}	1.70±0.08 ^{fg}	0.51±0.11 ^o	1.08±0.11 ^{fg}	7.83±0.35 ^{mn}

^zMeans in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Table 5. Phenolic acid content of 15 immature and mature peppers.

No.	Classification	Resource name	Chlorogenic acid	p-Coumaric acid	Caffeic acid	Vanillic acid	Sinapic acid	Ferulic acid	Total
1	Cultivar	Cucumber pepper	5.97±0.55 ^z	0.66±0.02 ^{ghj}	0.17±0.03 ^e	0.68±0.06 ^{cdefgh}	0.55±0.05 ^k	1.02±0.01 ^{fgh}	9.04±0.61 ^{fgh}
2		Cheongyang pepper	4.14±0.58 ^e	0.58±0.01 ^{ij}	0.15±0.03 ^e	0.51±0.06 ^{cdefgh}	0.67±0.11 ^{jk}	1.91±0.06 ^b	7.95±0.71 ^{fgh}
3		Quarri pepper	223.16±16.59 ^a	0.55±0.01 ^j	19.55±1.90 ^a	1.16±0.15 ^{abc}	0.57±0.04 ^k	1.58±0.04 ^c	246.57±17.96 ^a
4		Green pepper	22.03±2.57 ^c	0.68±0.01 ^{ghij}	10.10±2.34 ^b	0.41±0.05 ^{fgh}	0.58±0.06 ^k	1.06±0.02 ^{fg}	34.85±4.17 ^{bc}
5		Red pepper	1.16±0.12 ^e	0.61±0.01 ^{hij}	9.56±2.98 ^b	1.14±0.10 ^{abc}	0.88±0.02 ^{ij}	0.68±0.01 ^{ijklmn}	14.02±2.13 ^{ef}
6	Cultivar	Sinhong Gochu	0.49±0.03 ^e	0.69±0.01 ^{ghij}	0.17±0.03 ^e	0.81±0.10 ^{cdefg}	1.18±0.05 ^{gh}	0.68±0.01 ^{ijklmn}	4.02±0.21 ^h
7		House put Gochu	34.42±0.90 ^b	2.18±0.19 ^b	0.21±0.05 ^e	1.05±0.23 ^{abc}	1.27±0.08 ^{gh}	0.65±0.02 ^{klmn}	39.78±0.92 ^b
8		Haneul Cho Gochu	20.44±1.79 ^c	2.13±0.13 ^b	0.83±0.04 ^e	0.93±0.41 ^{bcde}	1.80±0.16 ^e	4.16±0.08 ^a	30.29±1.82 ^c
9		Hongsinho Gochu	12.35±1.71 ^d	3.20±0.17 ^a	0.12±0.01 ^e	0.72±0.06 ^{cdefgh}	5.96±0.35 ^b	1.15±0.07 ^{ef}	23.50±1.80 ^d
10		Gyeonggi Pyeongaek	3.11±0.40 ^e	0.72±0.06 ^{gh}	0.17±0.02 ^e	0.28±0.01 ^h	2.88±0.13 ^c	0.84±0.02 ^{hijk}	8.00±0.51 ^{fgh}
11	Land race	Gyeongnam Hadong	0.79±0.08 ^e	1.38±0.09 ^c	0.37±0.09 ^e	0.44±0.04 ^{efgh}	7.02±0.44 ^a	0.52±0.01 ⁿ	10.52±0.64 ^{fgh}
12		Jeonbuk Wanju	4.00±0.32 ^e	1.07±0.20 ^c	0.46±0.06 ^e	1.08±1.10 ^{abc}	1.84±0.12 ^e	1.36±0.08 ^d	9.80±1.09 ^{fgh}
13		Jeonbuk Gimje-1	0.51±0.15 ^e	0.60±0.02 ^{hij}	0.22±0.01 ^e	0.28±0.09 ^h	1.61±0.06 ^{ef}	0.90±0.18 ^{ghi}	4.11±0.12 ^h
14		Jeonbuk Gimje-2	3.08±1.12 ^e	0.89±0.04 ^f	0.15±0.04 ^e	0.27±0.03 ^h	1.10±0.36 ^{hi}	0.78±0.02 ^{ijklm}	6.27±0.92 ^{gh}
15		Jeonnam Hwasun	1.33±0.07 ^e	0.75±0.02 ^g	0.31±0.10 ^e	0.33±0.03 ^{gh}	1.63±0.07 ^{ef}	0.84±0.02 ^{hijk}	5.20±0.28 ^h
6	Cultivar	Sinhong Gochu	1.43±0.17 ^e	0.66±0.01 ^{ghij}	4.65±0.64 ^c	1.48±0.22 ^a	1.18±0.04 ^{gh}	0.63±0.01 ^{lmn}	10.03±0.80 ^{fgh}
7		House put Gochu	0.97±0.01 ^e	0.66±0.01 ^{ghij}	3.28±0.44 ^d	0.82±0.03 ^{cdefg}	1.39±0.06 ^{fgh}	0.59±0.01 ^{mn}	7.72±0.40 ^{fgh}
8		Haneul Cho Gochu	11.67±0.26 ^d	1.18±0.03 ^{de}	0.91±0.15 ^e	1.19±0.24 ^{abc}	2.88±0.14 ^c	1.06±0.01 ^{fg}	18.89±0.06 ^{de}
9		Hongsinho Gochu	2.18±0.30 ^e	1.20±0.03 ^d	0.17±0.05 ^e	1.35±0.04 ^{ab}	6.95±0.47 ^a	0.85±0.07 ^{hij}	12.70±0.63 ^{efg}
10		Gyeonggi Pyeongaek	0.52±0.01 ^e	0.74±0.02 ^{gh}	0.76±0.13 ^e	1.08±0.19 ^{abc}	1.65±0.05 ^{ef}	0.61±0.01 ^{mn}	5.36±0.35 ^{gh}
11	Land race	Gyeongnam Hadong	0.75±0.08 ^e	0.58±0.01 ^{ij}	0.83±0.10 ^e	1.18±0.14 ^{abc}	1.67±0.08 ^{ef}	0.61±0.02 ^{mn}	5.63±0.37 ^{gh}
12		Jeonbuk Wanju	1.23±0.12 ^e	0.87±0.03 ^f	0.86±0.30 ^e	1.05±0.42 ^{abc}	2.30±0.12 ^d	1.26±0.65 ^{de}	7.57±0.76 ^{fgh}
13		Jeonbuk Gimje-1	0.41±0.01 ^e	0.63±0.01 ^{ghij}	0.75±0.05 ^e	1.14±0.14 ^{abc}	1.62±0.06 ^{ef}	0.68±0.02 ^{ijklmn}	5.22±0.23 ^h
14		Jeonbuk Gimje-2	0.67±0.09 ^e	0.61±0.01 ^{hij}	0.70±0.07 ^e	1.00±0.10 ^{abcd}	1.47±0.07 ^{fg}	0.64±0.01 ^{lmn}	5.11±0.30 ^h
15		Jeonnam Hwasun	0.66±0.03 ^e	0.70±0.01 ^{ghi}	0.62±0.08 ^e	0.88±0.08 ^{bcdef}	2.23±0.10 ^d	0.82±0.02 ^{ijkl}	5.91±0.23 ^{gh}

^zMeans in a row with different letters are significantly different (p < 0.05).

Fig. 5. Heat map representing differences in the relative physiological activities and metabolites of immature and mature peppers. These data were standardized. Red or blue indicates that the metabolite content is increased or decreased, respectively.

고추의 생리 활성 및 유용성분 간의 상관관계 분석

다양한 유전자원의 활성과 함량은 대사관계를 볼 수 있는 자료로 사용 될 수 있다(Huang et al. 2014; Kim et al. 2017). 고추의 생리활성에 영향을 미치는 대사물질을 보기 위해 Pearson의 상관 분석과 HCA를 수행했다(Fig. 6). 미성숙과와 성숙과 모두 1,250 mg/L 농도의 ABTS를 제외하면, 총 polyphenol 및 flavonoid 함량과 항산화 활성(DPPH 및 ABTS radical 소거 활성능)은 0.98~0.54의 양의 상관관계를 나타냈다. 페놀성 화합물인 phenolic acid와 flavonoid 화합물 역시 양의 상관관계를 나타냈다. 특히, 미성숙과에서는 *p*-coumaric acid와 chlorogenic acid가 항산화 활성과 최대 0.89~0.88로 강한 양의 상관관계를 보였으며, phenolic acid인 두 성분의 함량이 가장 높은 품종은 ‘하우스풋고추’로, 총 약 36.6 $\mu\text{g/g}$ 을 함유하였다. 성숙과에서는 luteolin, *p*-coumaric acid, sinapic acid가 항산화 활성과 최대 0.89~0.85로 강한 양의 상관관계를 나타냈다. Phenolic acid인 *p*-coumaric acid와 sinapic acid, flavonoid인 luteolin의 총 함량

이 가장 높은 품종은 ‘홍신희고추’로 약 12.19 $\mu\text{g/g}$ 을 함유하였다. 미성숙과의 kaempferol (-0.1~0.4)과 성숙과의 quercetin (0.2~0.25)은 약한 음의 상관관계를 나타냈다. 본 실험에서 나타난 flavonoid 화합물의 함량이 적고, flavonoid는 재배환경에 따라 함량이 변화할 수 있으므로 추가적인 연구가 필요해 보인다. Capsaicinoid인 capsaicin과 dihydrocapsaicin은 각각 미성숙과에서 -0.12~0.67, 성숙과에서 -0.02~0.58의 음의 상관관계를 나타냈다. 이와 같은 결과는 고추에 함유된 capsaicinoids가 총 polyphenol 화합물의 1/10에도 미치지 못하기 때문에 나타난 현상으로 설명된 바 있으며, 실제로는 capsaicin과 dihydrocapsaicin의 항산화능이 페놀성 화합물의 항산화 활성과 유사하다고 보고된 바 있다(Zhou et al. 2016). 유리당의 경우, 성숙과는 미성숙과와 다르게 양의 상관관계를 보였다. 고추의 성숙에 따른 대사산물 및 탄소 생합성 경로 연구에 따르면, 성숙할수록 당분해가 급격하게 일어나며, 이로 인해 신진대사 및 여러 대사산물이 합성되어 항산화 활성에 영향을 준다. Glucose-6-P와 같은 당의 함량변화

Fig. 6. Correlation matrix and cluster analysis of data for physiological activity and metabolites from immature and mature peppers of the 15 genetic resources. Each square indicates a Pearson's correlation coefficient for a pair of activities and compounds. The value for the correlation coefficient is represented by the intensity of the blue or red color, as indicated on the color scale. Hierarchical clusters are presented as a cluster tree.

는 histidine 및 fructose-6-P의 함량에 영향을 미친다고 하였으며, fructose-6-P는 glyceraldehyde-3-P와 같은 중간 생성물에 영향을 미칠 수 있다고 보고된 바 있다(Aizat et al. 2014).

적 요

고추(*Capsicum annuum*)는 한국에서 가장 널리 소비되는 채소 중 하나이며, 고추의 유익한 특성을 개선하면 공공의 건강에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 고추는 capsaicinoid를 포함한 다양한 활성의 페놀 화합물을 함유하고 있으며, 이러한 기능성 성분 및 다른 기능성 성분의 함량이 높은 품종을 개발하는 것이 중요하다. 우리는 농촌진흥청 농업유전자원센터(National Agrobiodiversity

Center, RDA)에 등록된 10 개의 중요한 육종 품종을 포함한, 총 15종의 수집된 고추에서 생리활성 및 기능성 성분을 분석하고 비교했다. 폴리페놀(polyphenol) 함량을 비교 한 결과, 농업유전자원센터에 등록된 미숙과 단계의 10개 품종의 고추는 마트에서 수집한 미숙단계의 '녹광고추'보다 높은 polyphenol 함량을 보였다. 항산화 활성을 ABTS radical 소거 활성으로 측정한 경우, 농업유전자원센터에 등록된 10개의 품종은 'Noggwang Gochu'(green and red stage)보다 높은 항산화 활성을 나타냈다. 전체적으로 농업유전자원센터에 등록된 10개의 품종 중 '홍신희고추'와 '하우스풋고추' 품종은 재배품종 중에서 가장 높은 기능성 성분과 항산화 활성을 나타냈다. 전북 완주의 재래종은 재래종 중에서 기능성 성분이 가장 높고 항산화 활성이 가장 높았다.

REFERENCES

1. Aizat WM, Dias DA, Stangoulis JC, Able JA, Roessner U, Able AJ. 2014. Metabolomics of capsicum ripening reveals modification of the ethylene related-pathway and carbon metabolism. *Postharvest Biol Tec* 89: 19-31.
2. Ali N, Rashid S, Nafees S, Hasan SK, Shahid A, Majed F, Sultana S. 2017. Protective effect of Chlorogenic acid against methotrexate induced oxidative stress, inflammation and apoptosis in rat liver: An experimental approach. *Chem-Biol Interac* 272: 80-91.
3. Arce-Rodríguez ML, Ochoa-Alejo N. 2019. Biochemistry and molecular biology of capsaicinoid biosynthesis: recent advances and perspectives. *Plant Cell Rep* 38: 1017-1030.
4. Barbero GF, Ruiz AG, Liazid A, Palma M, Vera JC, Barroso CG. 2014. Evolution of total and individual capsaicinoids in peppers during ripening of the Cayenne pepper plant (*Capsicum annuum* L.). *Food Chem* 153: 200-206.
5. Bozokalfa MK, Esiyok D, Turhan K. 2009. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of pepper (*Capsicum annuum* L.) from Turkey. *Span J Agric Res* 7: 83-95.
6. Chung B-S, Kang K-O. 1985. The changes of capsaicin contents in fresh and processed red peppers. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 14: 409-418.
7. Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11: 1-42.
8. Fernandes E, Cerqueira A, Soares A, Costa SK. 2016. Capsaicin and its role in chronic diseases. *Adv Exp Med Biol* 929: 91-125.
9. Gülçin İ, Huyut Z, Elmastaş M, Aboul-Enein HY. 2010. Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid. *Arab J Chem* 3: 43-53.
10. Ghasemnezhad M, Sherafati M, Payvast GA. 2011. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *J Funct Food* 3: 44-49.
11. Graf E, Eaton JW. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Bio Med* 8: 61-69.
12. Harborne JB, Williams CA. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* 55: 481-504.
13. Heleno SA, Martins A, Queiroz MJR, Ferreira IC. 2015. Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chem* 173: 501-513.
14. Howard L, Talcott S, Brenes C, Villalon B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *J Agr Food Chem* 48: 1713-1720.
15. Huang Y, So Y-J, Hwang JR, Yoo K-M, Lee K-W, Lee Y-J, Hwang IK. 2014. Comparative studies on phytochemicals and bioactive activities in 24 new varieties of red pepper. *Korean J Food Sci Tech* 46: 395-403.
16. Jarret RL, Berke T, Baldwin EA, Antonious GF. 2009. Variability for free sugars and organic acids in *Capsicum chinense*. *Chem Biodivers* 6: 138-145.
17. Jo Y-H, Park J-W, Lee J-M, Ahn G-H, Park H-R, Lee S-C. 2010. Antioxidant and anticancer activities of methanol extracts prepared from different parts of Jangseong Daebong persimmon (*Diospyros kaki* cv. Hachiya). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 500-505.
18. Jung SK, Lee KW, Byun S, Kang NJ, Lim SH, Heo Y-S, Bode AM, Bowden GT, Lee HJ, Dong Z. 2008. Myricetin suppresses UVB-induced skin cancer by targeting Fyn. *Cancer Res* 68: 6021-6029.
19. Kim K-I, Kim H-T, Kyung K-S, Jin C-W, Jeong C-H, Ahn M-S, Sim S-W, Yun S-S, Kim Y-J, Lee K-G. 2006. Monitoring of pesticide residues in peppers from farmgate and pepper powder from wholesale market in Chungbuk area and their risk assessment. *Korean J Pestic Sci* 10: 15-21.
20. Kim K-S, Park S-H. 2004. Isolation and identification of antioxidant flavonoids from *Salicornia herbacea* L. *Appl Biol Chem* 47: 120-123.
21. Kim TJ, Choi J, Kim KW, Ahn SK, Ha SH, Choi Y, Park NI, Kim JK. 2017. Metabolite profiling of peppers of various colors reveals relationships between tocopherol, carotenoid, and phytosterol content. *J Food Sci* 82: 2885-2893.
22. Ko S-Y. 2012. Myricetin suppresses LPS-induced MMP expression in human gingival fibroblasts and inhibits osteoclastogenesis by downregulating NFATc1 in RANKL-induced RAW 264.7 cells. *Arch Oral Biol* 57: 1623-1632.
23. Lanteri S, Acquadro A, Quagliotti L, Portis E. 2003. RAPD and AFLP assessment of genetic variation in a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genet Resour Crop Ev* 50: 723-735.
24. Lee J-S, Kang K-K, Hirata Y, Nou I-S, Thanh VC. 2005. Comparative chemical composition among the varieties of Korean chili pepper. *Plant Resour* 8: 17-26.
25. Lee W, Yang E, Cho M, Chae S, Choi H, Moon J. 2018.

- Breeding of Korean red pepper variety 'Jeockyoung' with high carotenoid content. *Korean J Breeding Sci* 50: 302-306.
26. Lee Y, Howard L, Villalon B. 1995. Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *J Food Sci* 60: 473-476.
27. Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr* 79: 727-747.
28. Mattila P, Hellström J. 2007. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *J Food Compos Anal* 20: 152-160.
29. Menichini F, Tundis R, Bonesi M, Loizzo MR, Conforti F, Statti G, De Cindio B, Houghton PJ, Menichini F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chem* 114: 553-560.
30. Miean KH, Mohamed S. 2001. Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants. *J Agr Food Chem* 49: 3106-3112.
31. Nabekura T. 2010. Overcoming multidrug resistance in human cancer cells by natural compounds. *Toxins* 2: 1207-1224.
32. Neuhouser ML. 2004. Dietary flavonoids and cancer risk: evidence from human population studies. *Nutr Cancer* 50: 1-7.
33. Perucka I, Oleszek W. 2000. Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annuum* L. by spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. *Food Chem* 71: 287-291.
34. Pilon-Smits EA, Ebskamp MJ, Paul MJ, Jeuken MJ, Weisbeek PJ, Smeekeens SC. 1995. Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiol* 107: 125-130.
35. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio Med* 26: 1231-1237.
36. Scalbert A, Manach C, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci* 45: 287-306.
37. Sharma OP, Bhat TK. 2009. DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chem* 113: 1202-1205.
38. Shin J, Xu SJ, Kim JY, Woo J, Kim HG, Park YJ, Hong SJ, Kim BS. 2013. CMV-P1 resistance evaluation using enzyme-linked immunosorbent assay of pepper genetic sources (*Capsicum* spp.). *Korean J Horti Sci* 31: 764-771.
39. Shin KO, Moritani T. 2007. Alterations of autonomic nervous activity and energy metabolism by capsaicin ingestion during aerobic exercise in healthy men. *J Nutr Sci Vitaminol* 53: 124-132.
40. Son K, Kwon H-Y, Kim J-B, Jin Y-D, Kim T-K, Kim C-S, Gil G-H, Im G-J, Lee K-W. 2012. The residue characteristics of chlorpyrifos in chilli and sweet peppers. *Korean J Pestic Sci* 16: 236-241.
41. Wang M, Li J, Rangarajan M, Shao Y, LaVoie EJ, Huang T-C, Ho C-T. 1998. Antioxidative phenolic compounds from sage (*Salvia officinalis*). *J Agr Food Chem* 46: 4869-4873.
42. Zhou L, Cao Z, Bi J, Yi J, Chen Q, Wu X, Zhou M. 2016. Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. *Int J Food Sci Tech* 51: 842-853.
43. Zhuang Y, Chen L, Sun L, Cao J. 2012. Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *J Funct Food* 4: 331-338.