

## 보검선인장의 Phytochemical 함량 분석 및 항산화 활성

정윤숙 · 이상훈 · 송진 · 황경아 · 노건민 · 장다은 · <sup>†</sup>황인국

농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

### Phytochemical Contents and Antioxidant Activities of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*

Yun Sook Jeong, Sang Hoon Lee, Jin Song, Kyung-A Hwang, Geon Min Noh,  
Da Eun Jang and <sup>†</sup>In Guk Hwang

Dept. of Agrofood Resources, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

#### Abstract

The aim of this study was to evaluate key properties of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten* (OFI) ie, levels of key chemicals (carotenoids, flavonoids and polyphenolic compounds as well as phenolic acid) and its antioxidative potential, depending on where the plant had been cultivated in Korea. The levels of flavonoids and polyphenolic compounds in OFI were 55.45~65.32 mg (+)-catechin/g and 149.00~181.15 mg gallic acid/g, respectively. Protocatechuic acid was the most abundant phenolic acid in the ON1 and ON2 (161.90 and 196.25 µg/g DW (dry weight)). Nineteen flavonoids were identified and analyzed by LC-ESI-MS in cladodes from OFI. Narcissin was the most abundant flavonoid in all of the samples (1,241.89~1,775.10 µg/g DW). Capxanthin and zeaxanthin were the most abundant carotenoids in OFI (64.88~128.08 and 48.10~93.82 µg/g DW). The level of DPPH radical and ABTS radical scavenging activities in OFI were 10.78~25.35 and 16.85~34.16 mg AA eq/100 g, respectively. OFI by cultivar has different kind of phenolic acid, flavonoids, and carotenoids. Therefore, dietary intake of cladodes from OFI may be helpful for improving human health.

Key words: *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*, flavonoid, phenolic acid, carotenoid, antioxidant properties

#### 서 론

Phytochemical은 식물이 자외선, 해충, 독소 등의 외부환경으로부터 자신을 보호하기 위해 생산하는 화학물질로 필수 영양소는 아니지만 비타민, 무기질과 함께 미량영양소로 분류된다(Kim & Kim 2013; Na 등 2013). Carotenoid, phenolic acid, flavonoid가 대표적이며 이들의 성분은 노화와 알츠하이머, 파킨슨병, 당뇨병, 암, 염증 질환, 심혈관계 질환 등의 질병을 유발시키는 활성산소를 제거하거나 유리라디칼 생성을 지연시키는 항산화물질로 알려져 있다(Jung 등 2010; Kim 등 2012; Kim 등 2014b). Carotenoid는 C<sub>40</sub>의 구조를 갖는 화합물로 노란색, 주황색, 빨간색, 보라색을 나타내는 천연색소이며(Lee 등 2015), 과채류에 풍부하며 비타민 A의 전구체로써 인

체 내에서 생합성하지 못하기 때문에 반드시 음식으로 섭취해야한다(Kim 등 2015; Park 등 2015). Polyphenol은 hydroxyl기를 가지는 방향성 화합물을 총칭하는 것으로 다당류나 리그닌과 에스테르 결합을 이루고 있거나 중합체로 존재하는데, hydroxyl기를 통한 수소공여와 페놀 고리구조의 공명 안정화에 의하여 뛰어난 항산화 활성을 갖는다(Doh 등 2010; Hwang 등 2016). Flavonoid는 2개의 방향성 고리 구조를 가지는 15개의 탄소를 포함하는 C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>의 구조를 갖는 화합물로 노란색 계열의 색소화합물이다(Moon 등 2015). 구조의 C<sub>3</sub> 고리의 산화상태에 따라 flavanol, flavanone, flavone, flavonol, isoflavone, anthocyanidin 등으로 분류되며, 여러 가지 flavonoid는 효소적 또는 비효소적으로 지질과산화물 효과적으로 억제하며 뛰어난 항산화 효과를 갖는다(Lee 등 1999; Hwang 등

<sup>†</sup> Corresponding author: In Guk Hwang, Dept. of Agrofood Resources, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-238-3672, Fax: +82-63-238-3844, E-mail: ighwang79@korea.kr

2016).

보검선인장(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)은 손바닥 선인장으로도 불리며, 중식자목 선인장과에 속하는 다년생 초본으로 우리나라에서는 제주도와 남해안 지방에서 재배되고 있다(Hwang 등 2016; KFDA 2016). 보검선인장은 <중약대사전>과 <본초강목>에서 심장과 위의 통증, 이질, 치질, 기침, 해열진정제, 기관지 천식 등에 효과가 있다고 기록되어 있으며, 특히 보검선인장 줄기는 피부질환, 류머티스 및 화상 등의 피부질환의 치료제로서 이용되어 왔다(Han 등 2012). 이와 같이 보검선인장은 민간요법에 활용되면서 관상용뿐만 아니라 기능성 식품개발을 위한 원료로서 재조명되고 있어, 최근 손바닥 선인장 열매의 항산화 활성연구(Shin 등 2011), 선인장 열매의 섭취로 인한 혈소판 응집성에 관한 연구(Han 등 2012) 등이 이루어지고 있다. 하지만 주로 열매 위주의 연구가 이루어지거나 부위 구분 없이 열매, 줄기, 뿌리 등을 섞어 추출물을 제조하여 연구가 진행되었다. 보검선인장의 줄기에 관한 연구는 항산화(Hwang 등 2015a), 면역활성(Kwon 등 2008), 지질대사 효과(Yoon JA 2013) 등에 관한 생리활성 평가 연구, 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량(Hwang 등 2016), quercetin, kaempferol, isorhamnetin에 함량 연구(Medina-Torres 등 2011) 등 생리활성 물질 분석에 관한 연구가 일부 보고되어 있다. 하지만 국내에서 재배된 보검선인장 줄기의 구성 phenolic acid, flavonoid, carotenoid의 정성 및 정량 분석한 연구는 부족한 실정이다.

최근 다양한 질환을 예방하기 위한 건강기능성 식품과 기능성 음식 개발의 중요성이 증가함에 따라 보검선인장 줄기를 새로운 기능성 소재로 활용하고자 주요 기능성 성분인 carotenoid, polyphenol, flavonoid 등의 phytochemical 함량 분석 및 항산화 활성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 실험에서 사용된 보검선인장은 2015년 12월에 제주특별자치도 한림읍 4곳(OJ1~OJ4)과 전라남도 남해군 2곳(ON1~ON2)에서 수확한 것을 사용하였다. 보검선인장은 가시를 제거하고 세척 및 세절한 후 동결건조(Lyoph pride, Ilshin Biobase Co. Ltd., Dongducheon, Korea)를 하였다. 동결건조 보검선인장을 180  $\mu$ m 이하의 크기로 분쇄(SMX 6500JS, Shinil Co. Ltd., Seoul, Korea)하여,  $-70^{\circ}\text{C}$  냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

### 2. 추출물의 조제

보검선인장의 추출물 조제는 동결건조한 보검선인장 분말

5 g에 70% ethanol 75 mL를 넣고 30분 동안 초음파 추출을 한 후 3,000 rpm에서 5분간 원심분리(Union 55R, Hanil Science industrial Co., Inchen, Korea)하여 상등액을 회수하였다. 위 과정을 2회 반복하여 회수한 상등액을 Whatman No. 2 여과지로 여과한 후 감압 농축하여 총 플라보노이드, 총 폴리페놀 함량, 항산화 활성 측정에 사용하였다.

### 3. 총 플라보노이드 및 폴리페놀 함량

보검선인장의 총 플라보노이드 함량은 Jang 등(2012)의 방법에 따라 측정하였다. 보검선인장 70% ethanol 추출물 250  $\mu$ L에 증류수 1 mL와 5%  $\text{NaNO}_2$  75  $\mu$ L를 가한 후 실온에서 5분간 방치하였다. 이후 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  150  $\mu$ L를 가하여 6분간 방치한 후에 1 M NaOH 500  $\mu$ L를 가하였다. 11분 후, 반응액의 흡광도 값을 UV spectrophotometer(Spectramax M2 Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로는 (+)-catechin hydrate(Sigma Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성한 후, 총 플라보노이드 함량은 시료 g 당 mg으로 나타내었다.

보검선인장의 총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 측정하였다. 보검선인장 70% ethanol 추출물 100  $\mu$ L에 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액을 2 mL 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma Aldrich) 100  $\mu$ L를 가하였다. 실온에서 30분 방치 후 반응액의 흡광도 값을 UV spectrophotometer를 이용하여 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid(Sigma Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성한 후, 총 폴리페놀 함량은 시료 g 당 mg gallic acid로 나타내었다.

### 4. Phenolic acid 조성 분석

재배지역별 보검선인장 줄기의 페놀산 조성 분석 Dhauadi 등(2013)의 방법을 변형하여 실시하였다. 동결건조 분말 1 g에 80% ethanol 10 mL를 가하여 30분간 초음파 추출한 후 원심분리(3,000 rpm,  $4^{\circ}\text{C}$ , 10 min) 및 여과(0.45  $\mu$ m PVDF membrane filter, Whatman, GE Healthcare, Buckinghamshire, UK)하였다. 여과액을 질소농축하여 용매를 완전히 제거한 후 증류수 5 mL에 재용해하였다. Ethyl acetate와 ethyl ether 혼합액 5 mL로 분획하여 얻은 분획물을 질소농축한 후 증류수 2 mL에 재용해하였다. Methanol과 water로 활성화 및 치환시킨 Sep-Pak<sup>®</sup> C<sub>18</sub> cartridge(Waters, Milford, MA, USA)에 추출물을 주입한 후 water 2 mL로 세척하고 methanol 2 mL로 용출시켜 정제물을 얻었다. 이를 다시 질소농축한 후 10% methanol 0.5 mL에 재용해 및 0.2  $\mu$ m PVDF membrane filter로 여과하여 준비하였다. HPLC-DAD system(Nexera X2, Shimadzu, Kyoto, Japan)에 Shim-pack GIS C<sub>18</sub> column(100 $\times$ 30 mm, 3  $\mu$ m, Shimadzu)을 장착하였으며, 이동상은 0.1% acetic acid가 함유된 water를 A,

100% acetonitrile을 B로 하였다. 기울기 용매조성은 0.6 mL/min의 유속으로 초기 B 10%로 안정화시킨 후 1.5분까지 B 15%로 증가, 3.5분까지 B 15%로 유지, 4분까지 B 20%로 증가, 7분까지 B 20%로 유지, 10분까지 B 50%로 증가, 12분까지 B 90%로 증가, 14분까지 B 90%로 유지, 16분까지 B 10%로 감소 및 20분까지 유지하였다. 표준물질로 사용한 protocatechuic acid, 4-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, chlorogenic acid, *trans*-ferulic acid 및 *p*-coumaric acid는 Sigma-Aldrich(St. Louis, CA, USA)로부터 구매하여 methanol에 용해시킨 후 2.40~76.92 ppm의 농도로 희석하여 검량선을 작성한 후 함량 계산에 사용하였다.

### 5. Flavonoid 조성 분석

재배지역별 보검선인장 줄기의 플라보노이드 조성 분석 Astello-García 등(2015)의 방법을 변형하여 실시하였다. 동결 건조 분말 1 g에 내부표준물질 galangin이 포함된 추출용매(methanol:water:formic acid=45:55:5) 10 mL를 가하여 30분간 진탕 추출한 후 원심분리(3,000 rpm, 4°C, 10 min) 및 여과(0.45 µm PVDF membrane filter)하였다. 여과액을 질소농축하여 용매를 완전히 제거한 후 증류수 5 mL에 재용해하였다. Methanol과 water로 활성화 및 치환시킨 Sep-Pak<sup>®</sup> C<sub>18</sub> cartridge에 추출물을 주입한 후 water 2 mL로 세척하고 methanol 2 mL로 용출시켜 정제물을 얻었다. 이를 다시 질소농축한 후 추출용매에 재용해 및 0.2 µm PVDF membrane filter로 여과하여 준비하였다. UPLC-DAD system(Acquity, Waters)에 Kinetex C<sub>18</sub> column(150×2.1 mm, 1.7 µm, Phenomenex, Torrance, CA, USA)을 장착하였다. 이동상은 0.5% formic acid가 함유된 water를 A, 0.5% formic acid가 함유된 acetonitrile을 B로 하였다. 기울기 용매 조성은 0.3 mL/min의 유속으로 초기 B 5%로 안정화시킨 후 20분까지 B 25%로 증가, 25분까지 B 50%로 증가, 30분까지 B 90%로 증가, 32분까지 B 90%로 유지, 35분까지 B 5%로 감소 및 40분까지 유지하였다. MS 분석(Xevo G2-S QToF, Waters)은 electrospray ionization(ESI) source를 이용한 positive ionization mode로 진행하였으며, MS parameter로 각각 capillary voltage 3.50 kV, cone voltage 40 V, source 온도 120°C, desolvation 온도 500°C 및 desolvation N<sub>2</sub> 가스 1,050 L/h이 설정되었으며, 분자량 범위는 full scan type으로 200~1,200 m/z이었다. 개별 플라보노이드의 함량은 내부표준물질의 면적/농도 값과 상대적인 비교를 통하여 계산하였다.

### 6. Carotinoids 분석

보검선인장의 Carotinoid 함량 분석은 Lee 등(2015)의 방법을 변형하여 측정하였다. 보검선인장의 동결건조 분말 0.5 g을 50 mL cornical tube에 담고 추출용매인 ethanol에 녹인

0.2% ascorbic acid 용액을 20 mL를 가한 후 80°C의 water bath에서 15분간 추출한다. 10분간 냉각 후, 추출액에 검화용매인 80% KOH 용액 5 mL를 넣고 water bath에서 10분간 비누화 반응 후 10분간 냉각한다. 반응이 정지된 cornical tube에 증류수 5 mL와 hexane 5 mL를 넣고 vortex하여 혼합하여 추출한다. 이후 1,800 rpm에서 10분간(4°C) 원심분리하여 hexane 층을 micro-pipette으로 취해 새로운 50 mL cornical tube에 옮긴다. 위 과정을 2회 더 실시하여 약 15 mL의 hexane 층을 회수한 후 회전식 진공농축기를 이용하여 용매를 완전히 제거시킨다. MeOH:TBME(1:1, v/v) 1 mL를 넣어 완전히 녹인 후 0.45 µm syringe filter(PTFE, Whatman, Clifton, NJ, USA)로 여과 후 HPLC를 이용하여 분석하였다. HPLC 분석조건은 칼럼으로 YMC carotenoid(4.6×250 mm, YMC, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 검출기는 PDA를 사용하였으며, column temperature는 40°C로 설정하였다. 시료 주입량은 10 µL, 검출파장은 450 nm로 하였으며 이동상은 용매 A(MeOH:MTBE:Water:Triethylamine=81:15:4:0.1, v/v/v/v)와 용매 B(MeOH:MTBE:Water:Triethylamine=6:90:4:0.1, v/v/v/v)를 사용하였고, 유속은 1.0 mL/min로 하였다. 용매의 구매조건은 Kim 등(2014a)의 방법에 따라 용매 초기비율은 A:B=100:0으로 시작하여 5분까지 유지하였고 35분까지 50:50의 비율이 되도록 조절하였다. 45분까지는 0:100으로 조절한 후 5분간 유지하였고, 55분까지 다시 100:0으로 조절하여 60분까지 유지하였다. 표준물질로 사용한 lutein, zeaxanthin, β-cryptoxanthin, α-carotein, β-carotein, capxanthin은 Sigma-Aldrich로부터 구매하여 methanol과 methyl tertiary butyl ether(MTBE)을 1:1(v/v)로 혼합한 용액이나 chloroform에 용해하여 0.94~30.00 ppm의 농도로 희석하여 검량선을 작성한 후 함량 계산에 사용하였다.

### 7. DPPH radical 및 ABTS radical scavenging 활성 측정

보검선인장의 DPPH radical scavenging activity 측정은 Hwang 등(2011)의 방법에 따라 측정하였다. DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)를 methanol에 60분간 충분히 용해하여 제조한 후, UV spectrophotometer를 이용하여 520 nm에서 흡광도 값이 1.0이 되도록 methanol로 희석하였다. 희석한 DPPH 용액 1.0 mL에 보검선인장 70% ethanol 추출물 50 µL를 첨가하여 실온에서 30분간 방치한다. 이후 520 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하여 AEAC(L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)로 나타내었다.

보검선인장의 ABTS radical scavenging activity 측정은 Hwang 등(2013)의 방법에 따라 측정하였다. 7 mM ABTS(2,2'-Azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, Sigma Chemical Co.)와 2.45 mM potassium persulfate(Sigma Chemical Co.)를 12~16

시간 실온에서 암반응하여 ABTS radical 양이온을 형성시킨 후, UV spectrophotometer를 이용하여 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 증류수로 희석하였다. 희석한 ABTS ·<sup>+</sup> 용액 1.0 mL에 보검선인장 70% ethanol 추출물 50 µL를 첨가하여 실온에서 30분간 방치한다. 이후 734 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하여 AEAC로 나타내었다.

## 8. 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고, 재배지역별 간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여  $p < 0.05$  수준에서 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 총 플라보노이드 및 총 폴리페놀 함량

재배지역에 따른 보검선인장의 총 플라보노이드와 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과는 Table 1에 나타내었다. 총 플라보노이드의 함량은 제주에서 재배된 OJ3 보검선인장이 55.45 mg (+)-catechin/g으로 가장 낮게 나타났고, 남해에서 재배된 ON1 보검선인장이 65.32 mg (+)-catechin/g으로 가장 높게 나타났다. 총 폴리페놀 함량은 남해에서 재배된 ON2 보검선인장이 149.00 mg garlic acid/g으로 가장 낮게 나타났고, OJ1 보검선인장이 181.15 mg garlic acid/g으로 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 Hwang 등(2015a)이 제주산 손바닥 선인장 줄기 70% 에탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량은 14.4 mg (+)-catechin/g, 총 폴리페놀 함량은 172.0 mg garlic acid/g으로 보고하였고, Gallegos-Infante 등(2009)은 *O. ficus-indica* 줄기의 50% methanol 추출물에 대한 총 플라보노이드와 페놀의 함량은 4.45 mg (+)-catechin/g과 180 mg garlic acid/g라고 보고한

것과 비교했을 때, 총 플라보노이드 함량은 높고 총 폴리페놀 함량은 비슷한 수준으로 나타났다. 이러한 차이는 재배지역에 따른 재배환경의 차이, 추출용매, 수확시기 등에 따른 복합적인 요인에 기인한 것으로 추측된다. Lee 등(2008)은 토양의 특성과 함량간의 상관관계 분석결과 pH, 유기물, 칼륨 및 칼슘과 높은 양의 상관관계를, 마그네슘과는 음의 상관관계를 보여 유기물이 토양에 분해되어 마늘의 품질에 영향을 미쳐 플라보노이드와 폴리페놀화합물의 함량이 다르며, 결과적으로 재배지역에 따라 토양을 비롯한 다양한 환경의 차이에 의해 함량이 다르다고 고찰하였다. 또한 Lee 등(1997)은 손바닥 선인장의 줄기와 열매를 각각 50과 80% 메탄올을 이용하여 추출한 결과 80% 메탄올 추출물의 함량이 높게 나타나 추출방법이 함량에 영향을 미칠 수 있다고 고찰하였으며, Choi 등(2009)은 구지뽕나무 잎의 메탄올 추출물의 경우 5월과 6월 총 페놀 함량이 가장 높고 10월까지 감소하였으며, 플라보노이드 함량도 비슷한 경향으로 차이가 나타나 항산화성이 높은 잎 침출차 개발 시, 수확시기를 고려해야한다고 고찰하였다. 따라서 재배지역별 보검선인장의 총 플라보노이드와 폴리페놀의 함량의 차이는 보검선인장의 재배지역, 수확시기, 추출방법 등에 따라 다양하게 나타나는 것으로 생각된다.

### 2. 페놀산 함량

재배지역별 보검선인장 줄기의 페놀산 조성을 분석한 결과는 Table 2와 같이 6종의 페놀산이 검출되었다. Protocatechuic acid는 전남 남해산인 ON1과 ON2가 각각 161.90 µg/g DW과 196.25 µg/g DW으로 제주산인 OJ1~OJ4(1.89~3.15 µg/g DW)보다 유의적으로 높게 나타났다. 4-Hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid 및 *trans*-ferulic acid는 ON2에서 각각 1.61, 3.83 및 2.61 µg/g DW으로 가장 높은 함량을 보였으며, vanillic acid와 *p*-coumaric acid는 OJ4에서 각각 3.21 및 63.56 µg/g DW으로 높은 함량을 보여 재배지역에 따라 페놀산 함량에 차이를 보

**Table 1. Total flavonoid contents and total polyphenol contents in cladodes from *Opuntia ficus-indica* by depend on the cultivation regions**

|  | Jeju                      |                          |                          |                          | Namhae                    |                          |
|--|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|  | OJ1 <sup>1)</sup>         | OJ2                      | OJ3                      | OJ4                      | ON1                       | ON2                      |
| Total flavonoid contents (mg (+)-catechin/100 g) | 64.72±2.90 <sup>a2)</sup> | 57.93±2.36 <sup>bc</sup> | 55.45±1.00 <sup>c</sup>  | 60.48±2.93 <sup>b</sup>  | 65.32±1.33 <sup>a</sup>   | 57.81±2.36 <sup>bc</sup> |
| Total polyphenol contents (mg garlic acid/100 g) | 181.15±4.32 <sup>a</sup>  | 151.61±7.14 <sup>d</sup> | 160.58±5.07 <sup>c</sup> | 171.42±4.39 <sup>b</sup> | 163.48±4.26 <sup>bc</sup> | 149.00±3.44 <sup>d</sup> |

<sup>1)</sup> OJ: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Jeju, ON: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Namhae

<sup>2)</sup> Values are shown as mean±S.D. of triplicate. Different small letters in the same line indicate a significant difference at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

**Table 2. The phenolic acids content ( $\mu\text{g/g DW}$ ) in cladodes from *Opuntia ficus-indica* by depend on the cultivation regions**

| Phenolic acids<br>( $\mu\text{g/g DW}$ ) | Jeju                     |                         |                         |                         | Namhae                   |                          |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|  | OJ1 <sup>1)</sup>        | OJ2                     | OJ3                     | OJ4                     | ON1                      | ON2                      |
| Protocatechuic acid                      | 2.36±0.02 <sup>c2)</sup> | 1.98±0.01 <sup>c</sup>  | 1.89±0.01 <sup>c</sup>  | 3.15±0.01 <sup>c</sup>  | 161.90±1.72 <sup>b</sup> | 196.25±1.32 <sup>a</sup> |
| 4-Hydroxybenzoic acid                    | 1.19±0.00 <sup>d</sup>   | 0.80±0.00 <sup>f</sup>  | 0.02±1.24 <sup>e</sup>  | 1.54±0.01 <sup>b</sup>  | 0.98±0.02 <sup>c</sup>   | 1.61±0.01 <sup>a</sup>   |
| Vanillic acid                            | 2.78±0.02 <sup>d</sup>   | 2.27±0.01 <sup>e</sup>  | 2.87±0.03 <sup>e</sup>  | 3.21±0.04 <sup>a</sup>  | 2.88±0.02 <sup>c</sup>   | 3.11±0.03 <sup>b</sup>   |
| Chlorogenic acid                         | 1.49±0.01 <sup>c</sup>   | 0.45±0.01 <sup>e</sup>  | 0.64±0.01 <sup>d</sup>  | 3.16±0.01 <sup>b</sup>  | 3.81±0.03 <sup>a</sup>   | 3.83±0.03 <sup>a</sup>   |
| <i>trans</i> -Ferulic acid               | 1.32±0.01 <sup>f</sup>   | 1.49±0.01 <sup>e</sup>  | 1.57±0.00 <sup>d</sup>  | 2.24±0.01 <sup>c</sup>  | 2.48±0.03 <sup>b</sup>   | 2.61±0.00 <sup>a</sup>   |
| <i>p</i> -Coumaric acid                  | 42.65±0.57 <sup>f</sup>  | 54.24±0.39 <sup>b</sup> | 47.15±1.10 <sup>e</sup> | 63.56±0.53 <sup>a</sup> | 49.81±0.58 <sup>d</sup>  | 52.83±0.13 <sup>c</sup>  |

<sup>1)</sup> OJ: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Jeju, ON: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Namhae

<sup>2)</sup> Values are shown as mean±S.D. of triplicate. Different small letters in the same line indicate a significant difference at  $p<0.05$  by Duncan's multiple range test.

이는 것으로 나타났다. 보검선인장(*O. ficus-indica*)에는 *p*-coumaric acid가 140  $\mu\text{g/g DW}$ 가 주요 페놀산이었으며, gallic acid, 4-hydroxybenzoic acid, ferulic acid 및 salicylic acid가 5  $\mu\text{g/g}$  수준으로 함유되어 있다고 보고되고 있다(El-Mostafa 등 2014). Cortez-García 등(2015)은 *O. joconostle*의 주요 페놀산은 protocatechuic acid(201.80  $\mu\text{g/g}$ )가 가장 높았으며, 4-hydroxybenzoic acid, syringic acid 및 vanillic acid가 95.33~109.73  $\mu\text{g/g}$  범위로 나타났다고 보고하였다. Guevara-Figueroa 등(2010)은 11종의 *Opuntia* 속(*ficus-indica*, *leucotricha*, *robusta* 및 *tapon*) 줄기의 페놀산 조성을 분석한 결과, ferulic acid와 salicylic acid가 전 품종에서 높은 수준(5.6~347.7  $\mu\text{g/g}$ )으로 검출되었지만 gallic acid와 *p*-coumaric acid는 3개의 품종에서만 검출되었으며 protocatechuic acid와 4-hydroxybenzoic acid는 미량 검출되어 품종 간의 페놀산 조성 차이가 크다고 보고하였다.

### 3. Flavonoid 함량

재배지역별 보검선인장 줄기로부터 분리된 개별 플라보노이드의 구조는 ESI source를 장착한 single quadrupole MS에서 positive ionization mode 분석 시 전체 화학구조로부터 당류가 잘려나가는 fragment 패턴을 분석하여 얻은 정보를 토대로 문헌정보(Qiu 등 2002; Galati 등 2003; Lee 등 2003; Saleem 등 2006; Park 등 2007; Kim & Park 2009; Guevara-Figueroa 등 2010; Leo 등 2010; Santos-Zea 등 2011; Dhauadi 등 2013; Moussa-Ayoub 등 2014; Yeddes 등 2014; Astello-García 등 2015)와 비교하여 동정하였다. 플라보노이드 조성을 분석한 결과, 19종의 aglycone 및 그 glycoside들이 검출되었으며, 이들의 MS fragment ion과 함량 분석 결과를 Table 3에 나타내었다. Aglycone으로 quercetin (17), isorhamnetin (18) 및 kaempferol (19)이 검출되었으며, OJ3에서 각각 34.69, 53.70 및 34.63  $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높은 함량을 보였으며, 재배지역 간의 유의적인 차이를 보였다( $p<0.05$ ). Quercetin을 aglycone으로 갖는 배당

체로는 quercetin 3-*O*-rhamnosyl-rhamnosyl-galactoside (2), quercetin 3-*O*-rhamnosyl-rhamnosyl-glucoside (3), quercetin 3-*O*-rutinoside (8, rutin), quercetin 3-*O*-robinobioside (9), quercetin 3-*O*-galactoside (10, hyperoside), quercetin 3-*O*-robinobioside (11, isoquercitrin)가 검출되었다. 이중 isoquercitrin의 함량이 89.24~196.96  $\mu\text{g/g}$  범위로 가장 높게 나타났으며, 재배지역에 따라 유의적인 차이를 보였다( $p<0.05$ ). Kaempferol 배당체로는 kaempferol 3-*O*-robinobioside-7-*O*-rhamnoside (4)와 kaempferol 3-*O*-rutinoside-7-*O*-rhamnoside (5)가 검출되었으며, 각각 35.62~70.88  $\mu\text{g/g}$ 과 1.16~8.44  $\mu\text{g/g}$  범위로 낮은 함량을 보였다. Isorhamnetin을 aglycone으로 갖는 배당체로는 isorhamnetin 3-*O*-rutinoside-4'-*O*-glucoside (1), isorhamnetin 3-*O*-rhamnoside-7-*O*-rutinoside(6), isorhamnetin 3-*O*-rutinoside-7-*O*-rhamnoside (7), isorhamnetin 7-*O*-rutinoside (12), isorhamnetin 3-*O*-robinobioside (13), isorhamnetin 3-*O*-rutinoside (14, narcissin), isorhamnetin 3-*O*-galactoside (15), isorhamnetin 3-*O*-glucoside (16)이 검출되었다. Isorhamnetin 배당체 중 1.47~4.86  $\mu\text{g/g}$ 을 보인 isorhamnetin 7-*O*-rutinoside를 제외한 다른 배당체들은 100  $\mu\text{g/g}$  이상의 높은 함량을 보였으며, 특히 narcissin으로 알려진 isorhamnetin 3-*O*-rutinoside는 1,241.89~1,775.10  $\mu\text{g/g}$ 의 높은 함량을 보였으며, flavonoid 조성 및 함량 역시 재배지역에 따라 차이를 보였다( $p>0.05$ ). El-Mostafa 등(2014)은 보검선인장(*O. ficus-indica*)의 부위별(flower, pulp, seed, skin fruits, cladode)에 flavonoid 조성이 달라지며, 그 중 줄기(cladode)에는 isorhamnetin 계열의 flavonoid가 주를 이루고 있으며, 특히 narcissin의 함량이 147~1,371  $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. Yeddes 등(2013)은 보검선인장의 줄기(cladode)를 껍질(peel)과 과육(pulp)로 나누어 flavonoid 조성을 분석한 결과, isorhamnetin 계열의 flavonoid가 껍질에 다량 함유되어 있었으며, 과육에는 phenolic acids와 betanin, isobetainin, betanidin 및 indicaxanthin으로 구성되어 있다고 보고하였다.

**Table 3. The flavonoid contents content ( $\mu\text{g/g DW}$ ) by LC-ESI-MS in cladodes from *Opuntia ficus-indica* by depend on the cultivation regions**

| No. | Systematic names                              | MW  | Fragment ions (m/z)          | Jeju                  |                       |                       |                       | Namhae                |                       |
|-----|---|-----|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|     |   |     |                              | OJ1 <sup>1)</sup>     | OJ2                   | OJ3                   | OJ4                   | ON1                   | ON2                   |
| 1   | isorhamnetin 3-O-rutinoside-4'-O-glucoside    | 786 | 809, 787, 625, 479, 317      | 89.38 <sup>e2)</sup>  | 105.59 <sup>d</sup>   | 123.29 <sup>c</sup>   | 128.00 <sup>c</sup>   | 168.71 <sup>b</sup>   | 182.03 <sup>a</sup>   |
| 2   | quercetin 3-O-rhamnosyl-rhamnosyl-galactoside | 756 | 779, 757, 611, 449, 303      | 106.40 <sup>a</sup>   | 89.68 <sup>b</sup>    | 17.27 <sup>f</sup>    | 20.81 <sup>e</sup>    | 25.54 <sup>d</sup>    | 27.98 <sup>c</sup>    |
| 3   | quercetin 3-O-rhamnosyl-rhamnosyl-glucoside   | 756 | 779, 757, 611, 449, 303      | 32.71 <sup>d</sup>    | 29.83 <sup>d</sup>    | 343.76 <sup>a</sup>   | 221.62 <sup>c</sup>   | 218.39 <sup>e</sup>   | 276.74 <sup>b</sup>   |
| 4   | kaempferol 3-O-robinobioside-7-O-rhamnoside   | 740 | 763, 741, 595, 449, 433, 287 | 52.65 <sup>c</sup>    | 35.62 <sup>e</sup>    | 70.88 <sup>a</sup>    | 48.70 <sup>d</sup>    | 50.54 <sup>cd</sup>   | 58.34 <sup>b</sup>    |
| 5   | kaempferol 3-O-rutinoside-7-O-rhamnoside      | 740 | 763, 741, 595, 449, 433, 287 | 1.16 <sup>d</sup>     | 1.26 <sup>d</sup>     | 8.03 <sup>b</sup>     | 8.44 <sup>a</sup>     | 6.50 <sup>e</sup>     | 8.16 <sup>b</sup>     |
| 6   | isorhamnetin 3-O-rhamnoside-7-O-rutinoside    | 770 | 793, 771, 625, 479, 463, 317 | 134.20 <sup>a</sup>   | 100.47 <sup>d</sup>   | 116.52 <sup>b</sup>   | 107.66 <sup>c</sup>   | 94.60 <sup>e</sup>    | 84.05 <sup>f</sup>    |
| 7   | isorhamnetin 3-O-rutinoside-7-O-rhamnoside    | 770 | 793, 771, 625, 479, 463, 317 | 452.01 <sup>a</sup>   | 352.01 <sup>b</sup>   | 37.82 <sup>c</sup>    | 34.10 <sup>cd</sup>   | 28.28 <sup>e</sup>    | 30.36 <sup>de</sup>   |
| 8   | quercetin 3-O-rutinoside (rutin)              | 610 | 633, 611, 465, 449, 303      | 14.88 <sup>a</sup>    | 14.01 <sup>b</sup>    | 4.66 <sup>f</sup>     | 8.20 <sup>d</sup>     | 9.34 <sup>e</sup>     | 7.59 <sup>e</sup>     |
| 9   | quercetin 3-O-robinobioside                   | 610 | 633, 611, 465, 449, 303      | 67.02 <sup>b</sup>    | 42.34 <sup>d</sup>    | 51.66 <sup>c</sup>    | 51.38 <sup>c</sup>    | 78.65 <sup>a</sup>    | 78.58 <sup>a</sup>    |
| 10  | quercetin 3-O-galactoside (hyperoside)        | 464 | 487, 465, 303                | 81.02 <sup>d</sup>    | 78.26 <sup>d</sup>    | 139.25 <sup>c</sup>   | 325.57 <sup>a</sup>   | 322.25 <sup>a</sup>   | 291.26 <sup>b</sup>   |
| 11  | quercetin 3-O-glucoside (isoquercitrin)       | 464 | 487, 465, 303                | 196.90 <sup>a</sup>   | 176.14 <sup>b</sup>   | 89.24 <sup>e</sup>    | 114.84 <sup>d</sup>   | 148.00 <sup>e</sup>   | 144.55 <sup>c</sup>   |
| 12  | isorhamnetin 7-O-rutinoside                   | 624 | 647, 625, 479, 463, 317      | 3.56 <sup>b</sup>     | 4.86 <sup>a</sup>     | 1.47 <sup>e</sup>     | 2.86 <sup>d</sup>     | 3.35 <sup>e</sup>     | 3.53 <sup>b</sup>     |
| 13  | isorhamnetin 3-O-robinobioside                | 624 | 647, 625, 479, 463, 317      | 101.40 <sup>c</sup>   | 102.90 <sup>e</sup>   | 175.69 <sup>a</sup>   | 120.12 <sup>d</sup>   | 133.90 <sup>e</sup>   | 146.56 <sup>b</sup>   |
| 14  | isorhamnetin 3-O-rutinoside (narcissin)       | 624 | 647, 625, 479, 463, 317      | 1,561.94 <sup>b</sup> | 1,566.16 <sup>b</sup> | 1,775.10 <sup>a</sup> | 1,241.89 <sup>d</sup> | 1,413.64 <sup>e</sup> | 1,579.38 <sup>b</sup> |
| 15  | isorhamnetin 3-O-galactoside                  | 478 | 501, 479, 317                | 119.97 <sup>e</sup>   | 120.19 <sup>e</sup>   | 167.30 <sup>d</sup>   | 279.53 <sup>de</sup>  | 377.58 <sup>a</sup>   | 303.33 <sup>b</sup>   |
| 16  | isorhamnetin 3-O-glucoside                    | 478 | 501, 479, 317                | 32.17 <sup>c</sup>    | 25.42 <sup>f</sup>    | 131.68 <sup>d</sup>   | 163.00 <sup>c</sup>   | 266.07 <sup>a</sup>   | 200.81 <sup>b</sup>   |
| 17  | quercetin                                     | 302 | 325, 303                     | 20.01 <sup>c</sup>    | 15.40 <sup>e</sup>    | 34.69 <sup>a</sup>    | 18.36 <sup>d</sup>    | 15.51 <sup>e</sup>    | 30.48 <sup>b</sup>    |
| 18  | isorhamnetin                                  | 316 | 339, 317                     | 25.75 <sup>d</sup>    | 18.06 <sup>f</sup>    | 53.70 <sup>a</sup>    | 24.00 <sup>e</sup>    | 35.62 <sup>e</sup>    | 43.94 <sup>b</sup>    |
| 19  | kaempferol                                    | 286 | 309, 287                     | 18.90 <sup>d</sup>    | 10.94 <sup>e</sup>    | 34.63 <sup>a</sup>    | 24.96 <sup>c</sup>    | 34.94 <sup>a</sup>    | 33.21 <sup>b</sup>    |

<sup>1)</sup> OJ: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Jeju, ON: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Namhae

<sup>2)</sup> Values are shown as mean $\pm$ S.D. of triplicate. Different small letters in the same line indicate a significant difference at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

#### 4. Carotenoid 분석

재배지역별 보검선인장 줄기의 carotenoid 함량을 분석한 결과는 Table 4와 같이 lutein, zeaxanthin,  $\beta$ -cryptoxanthin,  $\alpha$ -carotein,  $\beta$ -carotein, capxantins의 6종의 carotenoid가 분석되었

다. 분석 결과, 적색의 파프리카나 고추 등에 포함되어 있는 capxantins과 짙은 녹색 엽채류인 시금치, 브로콜리, 케일, 양상추 등에 주로 존재하는 zeaxanthin이 보검선인장의 주된 carotenoid 성분임을 확인하였다(Jeong 등 2007; Kim 등 2011;

**Table 4. Carotenoid contents ( $\mu\text{g/g DW}$ ) in cladodes from *Opuntia ficus-indica* by depend on the cultivation regions**

| Carotenoid ( $\mu\text{g/g DW}$ ) | Jeju                           |                               |                               |                               | Namhae                         |                               |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   | OJ1 <sup>1)</sup>              | OJ2                           | OJ3                           | OJ4                           | ON1                            | ON2                           |
| Lutein                            | 0.41 $\pm$ 0.04 <sup>a2)</sup> | 0.34 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.27 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>  | 0.25 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>  | 0.38 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>   | 0.20 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>  |
| Zeaxanthin                        | 93.83 $\pm$ 11.42 <sup>a</sup> | 71.79 $\pm$ 1.91 <sup>b</sup> | 54.96 $\pm$ 5.52 <sup>d</sup> | 61.72 $\pm$ 0.32 <sup>c</sup> | 87.76 $\pm$ 1.78 <sup>a</sup>  | 48.10 $\pm$ 3.06 <sup>e</sup> |
| $\beta$ -cryptoxanthin            | 0.91 $\pm$ 0.14 <sup>e</sup>   | 1.36 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>  | 1.15 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>  | 1.54 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  | 2.37 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>   | 1.22 $\pm$ 0.10 <sup>cd</sup> |
| $\alpha$ -carotein                | 0.91 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>   | 2.97 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>  | 1.29 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>  | 1.38 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>  | 1.06 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>   | 0.75 $\pm$ 0.05 <sup>d</sup>  |
| $\beta$ -carotein                 | 1.66 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>   | 1.53 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>  | 1.07 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>  | 1.04 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>  | 1.70 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>   | 1.09 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  |
| Capxantins                        | 128.08 $\pm$ 7.42 <sup>a</sup> | 95.91 $\pm$ 2.12 <sup>b</sup> | 64.88 $\pm$ 5.72 <sup>c</sup> | 69.87 $\pm$ 1.93 <sup>c</sup> | 122.54 $\pm$ 3.25 <sup>a</sup> | 69.05 $\pm$ 5.07 <sup>c</sup> |
| Total carotenoid                  | 225.80 $\pm$ 3.25              | 173.89 $\pm$ 0.71             | 123.62 $\pm$ 1.94             | 135.80 $\pm$ 0.42             | 215.81 $\pm$ 0.92              | 120.42 $\pm$ 1.39             |

<sup>1)</sup> OJ: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Jeju, ON: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Namhae

<sup>2)</sup> Values are shown as mean $\pm$ S.D. of triplicate. Different small letters in the same line indicate a significant difference at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

Kim & Kim 2012). 재배지역별 보검선인장 줄기의 lutein, zeaxanthin,  $\beta$ -cryptoxanthin,  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene, capxanthin의 함량은 각각 0.20~0.41, 48.10~93.83, 0.91~2.37, 0.75~2.97, 1.04~1.70, 64.88~128.08  $\mu\text{g/g}$ , DW 범위로 나타났다. 그 중 lutein, zeaxanthin, capxanthin은 제주에서 재배된 OJ1 보검선인장이 0.41, 93.83, 128.08  $\mu\text{g/g}$  DW로 가장 높게 나타났으며,  $\beta$ -cryptoxanthin과  $\beta$ -carotene은 남해에서 재배된 ON1 보검선인장이,  $\alpha$ -carotene은 제주에서 재배된 OJ2 보검선인장이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 멕시코에서 재배된 *Opuntia ficus-indica* 줄기의  $\beta$ -carotene과 lutein의 함량이 각각 90.40, 11.03  $\mu\text{g/g}$  DW인 연구결과와 *Opuntia ficus-indica*의  $\alpha$ -carotene과  $\beta$ -carotene의 함량이 각각 0.48과 2.50  $\mu\text{g/g}$  FW(fresh weight)라는 연구결과와 비교했을 때, 낮은 함량 값을 보였다(González-Cruz 등 2011; Isaac AA 2016). 하지만 주요 carotenoid인 capxanthin의 경우, 노란색 파프리카 2종과 빨간색 파프리카 3종의 capxanthin 함량이 각각 4.30~5.30과 147.0~184.6  $\mu\text{g/g}$  DW인 연구와 비교했을 때, 재배지역별 보검선인장이 빨간색 파프리카보다는 낮고, 노란색 파프리카보다는 높은 수치로 나타났다. 또한 봄당근 5개의 품종에 대한 zeaxanthin 함량이 3.2~9.2  $\mu\text{g/g}$  DW, 총 6종의 색깔별 파프리카의 zeaxanthin이 주황색 파프리카 (orange pro)를 제외하고(313.7  $\mu\text{g/g}$  DW) 8.10~54.3  $\mu\text{g/g}$  DW인 결과와 비교했을 때, 재배지역별 보검선인장의 zeaxanthin 함량이 높은 수준이었지만 부추, 취나물, 원추리, 참나물, 돌나물, 시금치와 같은 엽채류에 대한 zeaxanthin의 함량(154~717  $\mu\text{g/g}$  DW)보다는 낮은 수준임을 알 수 있었다(Ha 등 2009; Kim & Kim 2012; Hwang 등 2015b).

##### 5. DPPH radical 및 ABTS radical scavenging 활성 측정

DPPH radical과 ABTS radical을 이용한 항산화 활성인 L-ascorbic acid를 표준물로 이용하여 AEAC 값(mg ascorbic acid (AA) equivalent/100 g)으로 산출하였고, 재배지역에 따른 보검선인장 줄기의 항산화 활성을 측정한 결과는 Table 5에 나

타내었다. 보검선인장의 DPPH radical scavenging 활성은 10.78~25.35 mg AA eq/100 g DW로, OJ3 보검선인장이 가장 낮고, OJ1 보검선인장이 가장 높게 나타났다. ABTS radical scavenging 활성은 16.85~34.16 mg AA eq/100 g DW로, ON2 보검선인장이 가장 낮고, OJ1 보검선인장이 가장 높게 나타났다. 일반적으로 페놀성 화합물의 함량이 높을수록 radical의 소거 및 산화를 촉진하고 금속이온을 환원시켜 항산화 활성이 높아진다는 보고와 같이 OJ1 보검선인장의 경우, 총 플라보노이드와 폴리페놀 함량이 시료 중에서 유의적으로 높은 함량을 보여 높은 항산화 활성이 나타난 것으로 생각된다(Jun 등 2014; Kim 등 2014c). 하지만 세부적으로 19개의 flavonoid 함량분석을 고려했을 때, 높은 항산화 활성을 나타낸 OJ1 보검선인장은 quercetin 3-O-rhamnosyl-rhamnosyl-galactoside, isorhamnetin 3-O-rhamnoside-7-O-rutinoside, isorhamnetin 3-O-rutinoside-7-O-rhamnoside, rutin, isoquercitrin 5종만이 유의적으로 높게 나타나고 분석한 6종의 모든 페놀산의 함량은 유의적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 총 폴리페놀성 함량이 높은 무발효인삼 잎의 항산화 활성이 페놀산이 증가한 발효인삼 잎보다 높게 나타나 페놀산보다 다른 플라보노이드 성분이 항산화에 기여도가 높을 것이라는 연구(Lee 등 2010)와 같은 flavonoid이지만 당의 결합 여부와 배당체의 개수와 유무, 당이 결합한 위치에 따라 항산화력에 다양하게 영향을 미친다는 연구(Kim 등 2014b)에 따라 나타난 결과라고 판단된다. 또한 항산화 활성이 높게 나타난 OJ1 보검선인장은 6개의 carotenoid 중에서 lutein, zeaxanthin,  $\beta$ -carotene, capxanthin이 유의적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 capxanthin이  $\beta$ -carotene, lutein, zeaxanthin 처럼 과산화물 생성을 억제하여 좋은 항산화 물질이라는 연구에 기인된 결과라 사료된다(Matsufuji 등 1998). 따라서 보검선인장의 DPPH radical과 ABTS radical scavenging 활성은 시료의 총 플라보노이드와 총 폴리페놀의 함량과 구성 phenolic acid와 flavonoid, carotenoid 조성과 함량 수준에 따라 다양하게 나타날 것으로 사료된다.

**Table 5. The DPPH radical and ABTS radical scavenging activities of in cladodes from *Opuntia-ficus indica* by depend on the cultivation regions**

| Antioxidative activities                             | Jeju                      |                         |                         |                          | Namhae                  |                         |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  | OJ1 <sup>1)</sup>         | OJ2                     | OJ3                     | OJ4                      | ON1                     | ON2                     |
| DPPH radical scavenging activity (mg AA eq/100 g DW) | 25.35±0.14 <sup>a2)</sup> | 18.52±0.17 <sup>b</sup> | 10.78±0.64 <sup>c</sup> | 18.74±0.09 <sup>b</sup>  | 18.64±0.32 <sup>b</sup> | 17.82±1.54 <sup>b</sup> |
| ABTS radical scavenging activity (mg AA eq/100 g DW) | 34.16±1.47 <sup>a</sup>   | 20.25±1.45 <sup>c</sup> | 19.78±1.30 <sup>c</sup> | 21.67±1.97 <sup>bc</sup> | 23.52±2.43 <sup>b</sup> | 16.85±0.67 <sup>d</sup> |

<sup>1)</sup> OJ: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Jeju, ON: *Opuntia ficus-indica* cultivated in Namhae

<sup>2)</sup> Values are shown as mean±S.D. of triplicate. Different small letters in the same line indicate a significant difference at  $p<0.05$  by Duncan's multiple range test.

## 요 약

본 연구는 재배지역별 보검선인장의 총 플라보노이드, 총 폴리페놀 함량과 6종의 phenolic acid, 19종의 flavonoids, 6종의 carotenoid를 함량분석하고 DPPH radical과 ABTS radical scavenging 활성을 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 남해에서 재배된 ON1 보검선인장이 65.32 mg(+)-catechin/g으로 가장 높게 나타났고, 총 폴리페놀 함량은 제주에서 재배된 OJ1 보검선인장이 181.15 mg garlic acid/g으로 가장 높게 나타났다. 6개의 phenolic acid 중에서, protocatechuic acid는 전남 남해산인 ON1과 ON2가 유의적으로 높게 나타났으며, 4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid 및 *trans*-ferulic acid는 ON2에서 가장 높게 나타났고, vanillic acid와 *p*-coumaric acid는 OJ4에서 가장 높은 함량을 보여 재배지역에 따라 페놀산 함량에 차이가 나타났다. 플라보노이드의 경우, quercetin, isorhamnetin, kaempferol은 OJ3 보검선인장에서 가장 높게 나타났으며 각각의 배당체에 대한 함량도 다양하게 나타났다. 보검선인장의 주요 carotenoid는 zeaxanthin과 capxanthin으로 나타났으며 각각 93.83과 128.08 µg/g DW로 OJ1 보검선인장이 가장 높게 나타났다. DPPH radical과 ABTS radical scavenging 활성의 경우, 총 플라보노이드와 폴리페놀의 함량이 가장 높은 OJ1 보검선인장이 가장 높게 나타났다. 따라서 플라보노이드와 폴리페놀의 함량이 항산화 효과에 영향을 미치며, phenolic acid, flavonoid, carotenoid의 종류와 함량에 따라 항산화 효과가 다양하게 나타나는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ011644) 및 2016년도 농촌진흥청 국립농업과학원 박사후연수과정지원사업(과제번호: PJ011644)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## References

- Astello-García MG, Cervantes I, Nair V, Santos-Díaz MDS, Reyes-Agüero A, Guéraud F, Negre-Salvayre A, Rossignol M, Cisneros-Zevallos L, Rosa APB. 2015. Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *J Food Comp Anal* 43:119-130
- Choi SR, You DH, KIm JY, Park CB, KIm DH, Ryu J. 2009. Antioxidant activity of methanol extracts from *Cudrania tricuspidata* Bureau according to harvesting parts and time. *Korean J Medicinal Crop Sci* 17:115-120
- Cortez-García RM, Ortiz-Moreno A, Zepeda-Vallejo LG, Necoechea-Mondragón H. 2015. Effects of cooking methods on phenolic compounds in xoconostle (*Opuntia joconostle*). *Plant Foods Hum Nutr* 70:85-90
- Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:3010-3014
- Dhaouadi K, Raboudi F, Funez-Gomez L, Pamies D, Estevan C, Hamdaoui M, Fattouch S. 2013. Polyphenol extract of barbary-fig (*Opuntia ficus-indica*) syrup: RP-HPLC-ESI-MS analysis and determination of antioxidant, antimicrobial and cancer-cells cytotoxic potentials. *Food Anal Methods* 6: 45-53
- Doh ES, Chang JP, Lee KH, Seong NS. 2010. Ginsenoside change and antioxidation activity of fermented ginseng. *Korean J Medicinal Crop Sci* 18:255-265
- El-Mostafa K, El-Kharrassi Y, Badreddine A, Andreoletti P, Vamecq J, El-Kebbaj MS, Latruffe N, Lizard G, Nasser B, Cherkaoui-Malki M. 2014. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules* 19:14879-14901
- Galati EM, Mondello MR, Giuffrida D, Dugo G, Miceli N, Pergolizzi S, Taviano MF. 2003. Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill juice: Antioxidant and antiulcerogenic activity. *J Agric Food Chem* 51:4903-4908
- Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzman NE, González-Laredo RF, Reynoso-Camacho R, Medina-Torres L, Cervantes-Cardozo V. 2009. Effect of air flow rate on the polyphenols content and antioxidant capacity of convective dried cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*). *Int J Food Sci Nutr* 60: 80-87
- González-Cruz L, Filardo-Kerstupp S, Bello-Pérez LA, Güemes-Vera N, Bernardino-Nicanor A. 2011. Carotenoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of low-calorie nopal (*Opuntia ficus-indica*) marmalade. *J Food Process Preserv* 36:267-275
- Guevara-Figeroa, Jiménez-Islas H, Reyes-Escogido ML, Mortensen AG, Laursen BB, Lin LW, León-Rodríguez A, Fomsgaard IS, Rosa APB. 2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *J Food Comp Anal* 23:525-532
- Ha JL, Bae JS, Park MK, Kim YU, Ha SH, Bae JM, Back KW, Lee CH, Lee SW, Ahn MJ. 2009. Quantitative analysis of

- carotenoids in carrot cultivars produced in Korea. *J Environ Sci* 18:1135-1141
- Han SG, Kang MS, Ryou SH, Hwang SW, Kang JS. 2012. Effect of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) intake on blood lipids, platelet aggregation, antioxidant and liver parameters in volunteer diving woman. *Korean J Nutr* 45: 462-469
- Hwang IG, Hwang Y, Kim HY, Lee JS, Jeong HS, Yoo SM. 2011. Quality characteristics of tofu (soybean curd) added with Cheongyang hot pepper (*Capsicum annuum* L.) juice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:999-1005
- Hwang IG, Kim HY, Park BR, Han HM, Yoo SM, 2013. Effect of heat treatment on the antioxidant properties of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Korean J Food & Nutr* 26: 857-864
- Hwang JH, Yi MR, Kim JW, Bu HJ, Kang CH, Lim SB. 2015a. Quality characteristics and antioxidant activity of prickly pear cactus cladodes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:356-362
- Hwang JR, Hwang IK, Kim SA. 2015b. Quantitative analysis of various carotenoids from different colored paprika using UPLC. *Korean J Food Sci Technol* 47:1-5
- Hwang JS, Im SB, Lee II, Kim TR, Kim DO. 2016. Effects of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* ripe fruits on protection of neuronal PC-12 cells and cholinesterase inhibition. *Korean J Food Sci Technol* 48:86-91
- Isaac AA. 2016. Overview of Cactus (*Opuntia ficus-indica* (L): A myriad of alternatives. *Ethno Med* 10:195-205
- Jang GY, Kim HY, Lee SH, Kang YR, Hwang IG, Woo KS, Kang TS, Lee JS, Jeong HS. 2012. Effects of heat treatment and extraction method on antioxidant activity of several medicinal plants. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:914-920
- Jeong JW, Seong JM, Park KJ, Lim JH. 2007. Quality characteristics of semi-dried red pepper (*Capsicum annuum* L.) using hot-air drying. *Korean J Food Preserv* 14:591-597
- Jun HI, Kim YA, Kim YS. 2014. Antioxidant activities of *Rubus coreanus* Miquel and *Morus alba* L. fruits. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43:381-388
- Jung EH, Hwang IK, Ha TY. 2010. Properties and antioxidative activities of phenolic acid concentrates of rice bran. *Korean J Food Sci Technol* 42:593-597
- KFDA. 2016. Food Code. Korean Food and Drug Association, Seoul, Korea
- Kim EJ, Choi JY, Yu MR, Kim MY, Lee SH, Lee BH. 2012. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 44:337-342
- Kim H, Park SH. 2009. Metabolic profiling and discrimination of two cacti cultivated in Korea using HPLC-ESI-MS and multivariate statistical analysis. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 52:346-352
- Kim HJ, Kim JK. 2013. Cucurbitacin I, a natural cell-permeable triterpenoid, suppresses colitis-associated colon carcinogenesis in mice. *J Exp Biomed Sci* 19:224-232
- Kim HK, Chun JH, Kim SJ. 2015. Method development and analysis of carotenoid compositions in various tomatoes. *Korean J Environ Agric* 34:196-203
- Kim HW, Kim JB, Poovan S, Chung MN, Cho SM, Lee YM, Cho YS, Kim JH, Kim HR. 2014a. Effect of processing conditions on the content of cis/trans carotene isomers as provitamin A carotenoids in Korean sweet potato varieties. *Int J Food Sci Nutr* 65:821-826
- Kim JS, Ahn JY, Ha TY, Rhee HC, Kim SN. 2011. Comparison of phytochemical and antioxidant activities in different color stages and varieties of paprika harvested in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 43:564-569
- Kim JW, Moon JS, Choe TB. 2014b. Comparison of antioxidant activity of kenaf extract and its flavonoids. *Kor J Aesthet Cosmetol* 12:203-210
- Kim SA, Kim JS. 2012. Method validation and quantification of lutein and zeaxanthin from green leafy vegetables using the UPLC system. *Korean J Food Sci Technol* 44:686-691
- Kim SM, Kim DY, Park HR, Seo JH, Yeom BM, Jin YJ, Pyo YH. 2014c. Screening the antioxidant components and antioxidant activity of extracts derived from five varieties of edible spring flowers. *Korean J Food Sci Technol* 46:13-18
- Kwon MC, Han JG, Jeong HS, Qadir SA, Choi YB, Ko JR, Lim TI, Lee HY. 2008. Enhancement of immune activities of *Opuntia ficus-indica* L. Miller by ultrasonification extraction process. *Korean J Medicinal Crop Sci* 16:1-8
- Lee EH, Kim HJ, Song YS, Jin C, Lee KT, Cho J, Lee YS. 2003. Constituents of the stems and fruits of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Arch Pharm Res* 26:1018-1023
- Lee KS, Seong BJ, Kim GH, Kim SI, Han SH, Kim HH, Baik ND. 2010. Ginsenoside, phenolic acid composition and physiological significances of fermented ginseng leaf. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:1194-1200
- Lee MK, Cho SY, Cho SJ, Shin JH, Kim HW, Kim SG, Ko HC, Ro NY, Kim JB, Baek HJ. 2015. Changes in carotenoid

- contents of colored pumpkin (*Cucurbita* spp.) germplasms. *Korean J Environ Agric* 34:186-191
- Lee SJ, Chung HY, Lee IK, Yoo ID. 1999. Isolation and identification of flavonoids from ethanol extracts of *Artemisia vulgaris* and their antioxidant activity. *Korean J Food Sci Technol* 31:815-522
- Lee YK, Shin HM, Woo KS, Hwang IG, Kang TS, Jeong HS. 2008. Relationship between functional quality of garlic and soil composition. *Korean J Food Sci Technol* 40:31-35
- Lee YC, Hwang KH, Han DH, Kim SD. 1997. Compositions of *Opuntia ficus-indica*. *Korean J Food Sci Technol* 29:847-853
- Leo M, Abreu MB, Pawlowska AM, Cioni PL, Braca A. 2010. Profiling the chemical content of *Opuntia ficus-indica* flowers by HPLC-PDA-ESI-MS and GC/EIMS analyses. *Phytochem Lett* 3:48-52
- Matsufuji H, Nakamura H, Chino M, Takeda M. 1998. Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annuum*). *J Agr Food Chem* 46:3468-3472
- Medina-Torres L, Vernon-Carter EJ, Callegos-Infante JA, Rocha-Guzman NE, Herrera-Valencia EE, Calderas F, Jimenez-Alvarado R. 2011. Study of the antioxidant properties of extracts obtained from nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes after convective drying. *J Sci Food Agric* 91:1001-1005
- Moon SH, Assefa AD, Ko EY, Park SW. 2015. Comparison of flavonoid contents and antioxidant activity of yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) based on harvest time. *Kor J Hort Sci Technol* 33:283-291
- Moussa-Ayoub TE, El-Hady ESA, Omran HT, El-Samahy SK, Kroh LW, Rohn S. 2014. Influence of cultivar and origin on the flavonol profile of fruits and cladodes from cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Food Res Int* 64:864-872
- Na HS, Kim JY, Yun SH, Park HJ, Choi GC, Yang SI, Lee JH, Cho JY. 2013. Phytochemical contents of agricultural products cultivated by region. *Korean J Food Preserv* 20:451-458
- Park SH, Kim H, Rhyu DY. 2007. Flavonoids from the stems of eastern picklypear *Opuntia humifusa*, Cactaceae. *J Appl Biol Chem* 50:254-258
- Park WS, Kim HJ, Chung HJ, Chun MS, Kim ST, Seo SY, Lim SH, Jeong YH, Chun JW, An SK, Ahn MJ. 2015. Changes in carotenoid and anthocyanin contents, as well as antioxidant activity during storage of lettuce. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:1325-1332
- Qiu Y, Chen Y, Pei Y, Matsuda H, Yoshikawa M. 2002. Constituents with radical scavenging effect from *Opuntia dillenii*: Structures of new  $\alpha$ -pyrones and flavonol glycoside. *Chem Pharm Bull* 50:1507-1510
- Saleem M, Kim HJ, Han CK, Jin C, Lee YS. 2006. Secondary metabolites from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Phytochem* 67:1390-1394
- Santos-Zea L, Gutiérrez-Urbe JA, Serna-Saldivar SO. 2011. Comparative analyses of total phenols, antioxidant activity, and flavonol glycoside profile of cladode flours from different varieties of *Opuntia* spp.. *J Agric Food Chem* 59:7054-7061
- Shin EH, Park SJ, Choi SK. 2011. Component analysis and antioxidant activity of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *J East Asian Soc Dietary Life* 21:691-697
- Yeddes N, Chérif JK, Guyot S, Baron A, Trabelsi-Ayadi M. 2014. Phenolic profile of Tunisian *Opuntia ficus indica* thornless form flowers via chromatographic and spectral analysis by reversed phase-high performance liquid chromatography-UV-photodiode array and electrospray ionization-mass spectrometer. *Int J Food Prop* 17:741-751
- Yeddes N, Chérif JK, Guyot S, Sotin H, Ayadi MT. 2013. Comparative study of antioxidant power, polyphenols, flavonoids and betacyanins of the peel and pulp of three Tunisian *Opuntia* forms. *Antioxidants* 2:37-51
- Yoon JA. 2013. Effects of *Opuntia ficus-indica* on lipid metabolism in the *db/db* mouse. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:861-868

---

Received 18 August, 2016  
 Revised 18 September, 2016  
 Accepted 24 October, 2016