pISSN 1225-4339 eISSN 2287-4992
Korean J. Food Nutr. Vol. 29. No. 4, 521~528 (2016)
http://dx.doi.org/10.9799/ksfan.2016.29.4.521

THE KOREAN JOURNAL OF
한국식품영양학회지
FOOD AND NUTRITION

재배지역별 보검선인장 줄기의 영양성분 및 생리활성 평가

이상훈 · 정윤숙 · 송진 · 황경아 · 노건민 · †황인국
농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

Chemical Composition and Physiological Activity of *Opuntia ficus-indica* depending on Different Cultivation Regions

Sang Hoon Lee, Yun Sook Jeong, Jin Song, Kyung-A Hwang, Geon Min Noh and †In Guk Hwang
Dept. of Agrofood Resources, National Academy of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate changes in the proximate composition, antioxidant activities, and α-glucosidase inhibitory activity of *Opuntia ficus-indica* (OFI) cladodes cultivated in Jeju (JJ1, JJ2, JJ3) and Jeonnam (JN1, JN2). The difference in the proximate composition (crude protein, lipid and ash content) of OFI between the two regions was not significant. Ca, Mg and Na were the major mineral components of OFI. The ascorbic acid content of OFI ranged from 57.87 to 143.72 mg/100 g. A 70% ethanol extract was used to investigate the antioxidant content and activity as well as the α-glucosidase inhibitory activity. The total polyphenol and flavonoid contents of OFI were 38.69~55.29 and 3.33~4.03 mg/g, respectively. The antioxidant activities based on the DPPH and ABTS free radical scavenging assays were 45.19~61.52% and 39.15~51.96%, respectively, at a concentration of 1 mg/mL. The inhibitory activity of OFI extracts against rat intestinal α-glucosidase was 29.72~45.73% at 1 mg/mL concentration, and JN1 showed the highest α-glucosidase inhibitory activity. This information could be very useful for authentication of *Opuntia* species with the highest potential as sources of nutritional and therapeutic elements.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, cultivation region, chemical composition, antioxidant activity, α-glucosidase inhibition

서 론

손바닥 선인장(*Opuntia ficus-indica*)이라고도 불리는 보검선인장은 예부터 식용이나 식품 대용으로 사용되어 왔으며, 식품의약품안전처 식품원료목록에 원재료 보검선인장으로 등록되어 있고, 열매와 줄기가 식품원료로 사용 가능하다(KFDA 2016). 우리나라에서는 오래 전부터 보검선인장의 열매와 줄기를 변비치료, 이뇨효과, 장운동의 활성화 및 식욕증진 등의 목적으로 사용하였고, 특히 줄기는 피부질환, 류마티스 및 화상치료에 민간요법으로 사용되고 있다(Choi 등 2001).

보검선인장 및 동속 식물에 관한 연구로는 Lee 등(1997)이 부위별(줄기, 열매, 씨) 보검선인장의 성분을 분석한 결과, 무기성분 중 Ca, Mg, Na 및 K이 풍부하게 함유되어 있었으며, 줄기의 vitamin C 함량은 알로에보다 많고, 페놀 화합물 역시 다량 함유되어 있다고 보고하였다. Hwang 등(2015)은 제주산 보검선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*)의 추출물과 용매분획물의 항산화 활성을 평가한 결과, 물보다는 주정 추출물에 페놀 화합물 추출율이 높았으며, 라디칼 소거활성 및 nitric oxide 생성 저해활성 역시 높게 나타났다. 생리활성에 관한 연구로는 Choi 등(2001, 2002a, 2002b)이 손바닥 선인장 열매와 줄기 추출물의 항염작용, 순환계, 자율신경계, 정신신경계에 대한 효과와 희쥐의 식이성 및 알코올성 고지혈증에 미치는 효과를 평가하였다. 활성성분에 관한 연구로는 Dok-Go 등(2003)이 보검선인장 줄기 ethyl acetate 분획물로부터 quercetin, (+)-

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

dihydroquercetin 및 quercetin 3-methyl ether 등을 분리하고, 항산화 효과 및 뇌 질환 관련 활성을 평가하였으며, Avila-Nava 등(2014)은 손바닥 선인장(*O. ficus-indica*, Nopal)으로부터 quercetin, kaempferol 및 isorhamnetin을 분리하고, 이들의 항산화 활성을 평가하였다. 또한 Butera 등(2002)은 손바닥 선인장의 열매로부터 항산화 활성을 갖는 betanin과 indicaxanthin을 분리하여 보고하였다.

보검선인장은 전남 남해와 제주도 등 주로 우리나라의 남해안 지방에 많이 재배되고 있으며(Seo 등 1999), 지역특산품 제조를 위한 생물소재로 지정되어 다양한 형태의 기호식품으로 개발되어 시판되고 있다. 그러나 유전적 동일성이 0.37로 나타나, 기원이 다른 종으로 확인된 천년초(*O. humifusa*)와 혼동되는 경우가 있으며(Park 등 2013), 보검선인장의 경우, 재배지역에 따른 그 특성을 구명한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유전적 동일성 분석 및 형태학적 특성 평가를 통하여 품종이 확인된 제주도 3농장과 남해군 2농장의 보검선인장에 대한 일반성분, 항산화 성분 및 활성과 혈당 개선 효과를 구명하고, 기초 자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

보검선인장은 제주 한림읍 3곳(JJ1~JJ3)과 전남 남해군 2곳(JN1, JN2)에서 2015년 5월에 수확한 것을 가시 제거, 세척 및 세절한 후 동결건조(Lyoph-Pride, Ilshin-Biobase Co. Ltd., Dongducheon, Korea)하였다. 동결건조 보검선인장을 180 μm 이하의 크기로 분쇄(SMX-6500JS, Shinil Co. Ltd., Seoul, Korea)한 후, −18℃에서 저장하여 시료로 사용하였다.

2. 일반성분 분석

재배지역별 보검선인장의 일반성분 함량은 식품공전(KFDA 2016)에 따라 측정하였다. 즉, 수분함량은 105℃ 상압건조법, 조회분은 550℃ 건식회화법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백은 Kjeldahl 법으로 분석하였다.

3. 무기성분 분석

재배지역별 보검선인장의 무기성분 함량은 건식법으로 분석하였다(AOAC 1995). 즉, 보검선인장 동결건조분말 약 1 g을 550℃에서 회화한 후, 0.25 N NHO_3를 넣고, GF/C(90 mm, Whatman, GE Healthcare, Buckinghamshire, UK) 여과지로 여과한 후, 0.25 N NHO_3 용액 25 mL로 정용하여 Inductively Coupled Plasma spectrometer(ICP, Thermo Jarrell Ash, Franklin, MA, USA)로 분석하였다. Nebulizer의 압력은 30 psi, auxiliary gas의 유속은 1.5 L/min, approximate RF power는 950 W, frequency는 27.12 MHz, analysis pump rate는 130 rpm이었다.

4. 비타민 C 분석

재배지역별 보검선인장의 비타민 C 추출 및 분석은 Hwang 등(2014)의 방법으로 진행하였다. 즉, 보검선인장 동결건조분말 약 2 g에 100 mM ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)가 포함된 5% metaphosphoric acid 용액 40 mL를 가하고, homogenizer(Polytron RT 2500 E, Kinematica AG, Luzern, Switzerland)로 2분간 균질화 시켰다. 추출액을 4℃에서 10분간 3,000 rpm으로 원심분리한 후, 상등액을 50 mL로 정용하였다. 추출물은 0.45 μm polyvinylidene fluoride membrane filter(PVDF, Whatman, Clifton, NJ, USA)로 여과하여 HPLC 분석시료로 사용하였다. 비타민 C 분석에 사용된 HPLC는 UV 검출기가 장착된 Water 2690 system을 사용하였다. Column으로 Mightysil RP-18 GP column(4.6×250 mm, 5 μm, Kanto Chemical, Tokyo, Japan)을 사용하였고, column의 온도는 20℃로 유지하였다. 이동상은 0.1% trifluoroacetic acid, 유속은 0.6 mL/min, 시료 주입량은 10 μL, 검출기는 250 nm에서 분석하였다.

5. 추출물 제조

문헌고찰(Lee 등 2014; Hwang 등 2015)과 예비실험을 통해 활성이 가장 우수하였던 70% 에탄올을 이용한 초음파추출법을 이용하여 추출물을 제조하였다. 즉, 재배지역별 보검선인장 동결건조분말 약 1 g에 70% 에탄올 40 mL를 가한 후, 30분 동안 초음파 추출하고, 원심분리 및 여과하였다. 침전물을 총 3회 반복 추출하여 얻은 여과액을 회전식 진공농축기를 이용하여 용매를 완전히 제거하였다. 건조된 추출물을 10% dimethyl sulfoxide에 재용해하여 항산화 활성 및 α-glucosidase 억제 활성 평가 시료로 사용하였다.

6. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 측정

재배지역별 보검선인장 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(Dewanto 등 2002). 즉, 추출물 50 μL에 2% Na_2CO_3 용액 1 mL를 가하고, 3분 후 50% Folin-Ciocalteu reagent 50 μL를 가하고, 30분간 반응시킨 후 반응액의 흡광도를 750 nm에서 측정하였다. 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich, ST. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 총 폴리페놀 함량은 시료 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 추출물 Choi 등(2003)의 방법에 따라 추출물 250 μL에 증류수 1,000 μL와 5% $NaNO_2$ 용액 75 μL를 가한 후, 교반 및 5분간 반응시켰다. 그 다음 10% $AlCl_3$ 용액 150 μL를 차례로 가하고 혼합한 후, 실온에서 6분간 방치한

후 1 M NaOH 용액 500 μL를 혼합하여 11분 방치 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 시료 g 중의 mg (+)-catechin(Sigma-Aldrich)으로 나타내었다.

7. 자유라디칼 소거 활성 측정

재배지역별 보검선인장 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성은 Blois(1958)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 에탄올 추출물 0.2 mL에 0.2 mM 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH, Sigma-Aldrich) 용액 0.8 mL를 가하여 실온에서 60 min 동안 방치한 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 대조구로 L-ascorbic acid를 사용하였다. ABTS 라디칼 소거 활성은ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후, 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 에탄올 추출물 50 μL를 가하여 흡광도의 변화를 60 min 후에 측정하였으며, 대조구로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

8. 환원력 측정

재배지역별 보검선인장 에탄올 추출물의 환원력 측정은 Ferric reducing antioxidant power(FRAP, Benzie & Strain 1996) 법으로 실시하였다. 1.6% glacial acetic acid 용액에 sodium acetate를 녹이고, pH 3.6으로 조정하여 300 mM sodium acetate buffer를 제조하였다. Ferric chloride hexahydrate는 증류수를 이용하여 20 mM 농도로 조제하였으며, 40 mM HCl 용액에 2,4,6-tripyridyl-s-triazine(TPTZ)를 녹여 10 mM TPTZ 용액을 제조한 후, 50℃의 항온수조에서 10분간 방치하여 완전히 용해시켰다. 상기 300 mM sodium acetate buffer, 20 mM ferric chloride solution 및 10 mM TPTZ solution을 각각 10 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 FRAP 반응시약을 제조하였다. 항온수조를 이용하여 37℃로 유지시킨 FRAP reagent 1 mL와 증류수 0.3 mL를 가하여 혼합한 후 593 nm에서 흡광도를 측정하고(0분), 다시 양성대조구인 L-ascorbic acid 또는 추출물 0.3 mL를 가하여 4분간 실온에서 반응시킨 후 동일 파장에서 흡광도를 측정하였다. 추출물의 환원력은 L-ascorbic acid를 표준물질로 하여 얻은 검량선으로 계산하여 L-ascorbic acid equivalent(AE)로 나타내었다.

9. α-Glucosidase 억제 활성 측정

재배지역별 보검선인장 에탄올 추출물의 α-glucosidase 억제 활성은 Hwang 등(2011)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, rat intestinal acetone powder(Sigma-Aldrich)에 0.9% NaCl 용액을 가한 후 homogenizer를 이용하여 조효소액을 추출하여 사용하였다. 추출물 50 μL와 조효소액 100 μL를 혼합하여 37℃에서 10분간 전배양한 후, 5 mM ρ-nitrophenyl α-D-glucopyranoside (ρNPG, Sigma-Aldrich) 50 μL를 가하여 37℃에서 15분간 배양시켰다. 배양액에 2 M Tris-HCl buffer(pH 7.0)를 가하여 반응을 정지시킨 후, 405 nm에서 흡광도를 측정하였다.

10. 통계분석

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

결과 및 고찰

1. 일반성분 함량

재배지역별 보검선인장 줄기의 일반성분 함량 분석 결과, 수분함량은 85.84~95.10% 범위로 나타났으며, 조단백, 조지방 및 조회분 함량을 건물량으로 환산한 결과를 Table 1에 나타내었다. 조회분이 8.69~16.50%로 가장 많은 비율을 차지하였으며, 조단백이 3.31~9.56%, 조지방이 1.08~3.31%로 나타나, 재배지역별로 유의적인 차이를 보였다($P<0.05$). Feugang 등(2006)은 손바닥 선인장(*Opuntia* spp.) 줄기의 영양성분을 분석한 결과, 조단백은 4~10%, 조지방은 1~4%, 조회분은 19~23%이었다고 보고하였으며, Lee 등(1997)은 제주산 손바닥 선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*)의 조단백, 조지방 및 조회분 함량을 8.52%, 1.20% 및 20.05%로 나타나, 본 연구결과와 회분 함량에서 차이를 보였으나, 조단백과 조지방 함량은 유사한 것으로 나타났다. 또한 Hwang 등(2015)이 제주산 손바닥 선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*) 엽상경의 화학성분을

Table 1. Proximate composition of the *Opuntia ficus-indica* cladodes depending on different cultivation regions

Cultivation regions	Proximate composition (%, dry basis)		
	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
JJ1	4.82±0.11^{d}	2.22±0.05^{c}	8.69±0.23^{d}
JJ2	9.56±0.23^{a}	3.31±0.42^{a}	12.37±0.37^{b}
JJ3	8.56±0.24^{b}	2.88±0.12^{b}	16.50±0.64^{a}
JN1	6.55±0.09^{c}	3.13±0.05^{ab}	12.37±0.16^{b}
JN2	3.31±0.08^{e}	1.08±0.05^{d}	10.55±0.37^{c}

JJ: Jeju, JN: Jeonnam. Values are shown as mean±S.D. of triplicate. Different small letters in the same column indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

분석한 결과, 조단백, 조지방 및 조회분 함량이 7.04%, 1.30% 및 16.60%로 본 연구결과와 유사하였으며, 수용성 식이섬유소가 53.4%로 대부분 섬유질로 구성되어 있다고 보고하였다.

2. 무기성분 함량

재배지역별 보검선인장 줄기의 무기성분을 분석한 결과, Ca, Fe, K, Mg 및 Na이 검출되었으며, 이들을 정량한 결과는 Table 2에 나타내었다. 보검선인장 줄기 100 g 중 Ca의 함량이 가장 높았으며, 전남지역의 보검선인장 줄기의 Ca 함량이 각각 4,204.09 mg과 4,173.14 mg으로 제주지역의 1,745.89~2,571.77 mg/100 g보다 높게 나타났다. Fe 함량은 13.90~52.87 mg 범위로 재배지역에 따라 다양하게 나타났으며, K 함량은 JJ3에서 2,534.68 mg으로 가장 높게 나타났다. Mg 함량은 JJ3, JN1 및 JN2 지역이 1,362.77~1,385.91 mg으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. Na 함량은 JJ2와 JJ3이 각각 1,547.78 mg과 1,096.76 mg으로 높게 나타나, 재배지역별로 큰 차이를 보였다. Feugang 등(2006)은 손바닥 선인장(*Opuntia* spp.) 줄기의 Na 함량은 400 mg이었다고 보고하였으며, Hwang 등(2015)은 제주산 손바닥 선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*) 엽상경의 Na 함량을 689.9 mg으로 보고하였다. 또한 Lee 등(1997)은 제주산 손바닥 선인장 줄기의 무기성분을 분석한 결과, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cu 및 P가 검출되었으며, 이중 Ca 함량이 4,391.2 mg으로 전체 무기성분의 약 50%를 차지하였고, K, Mg 및 Na 함량도 각각 1,932 mg, 1,984 mg 및 985 mg이었다고 보고하였다. 품종 및 재배지역에 따라 각 무기성분들의 함량 차이는 있었으나, 그 비율은 유사하였으며, 특히 Ca 함량은 감(36 mg), 감귤(14 mg), 다래(23 mg), 생대추(6~7 mg), 딸기(13~20 mg), 머루(5~8 mg) 등 다른 과실류에 비해 현저히 높게 함유되어 있어 풍부한 Ca 공급원으로 기대된다(Lee 등 1997).

3. 비타민 C 함량

재배지역별 보검선인장 줄기의 비타민 C 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 보검선인장 줄기 100 g 중 비타민 C 함량은 JJ2와 JN1이 각각 143.72 mg과 115.66 mg으로 높았으며, 그 외의 지역은 57.87~90.88 mg 범위로 재배지역에 따라 다양하게 나타났다. Lee 등(1997)은 제주산 손바닥 선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*)의 비타민 C 함량이 71.2 mg/100 g이었다는 보고와 유사하였으며, 이는 손바닥 선인장 열매의 163.8 mg보다는 낮지만, 알로에의 33.2 mg보다는 높은 결과였다.

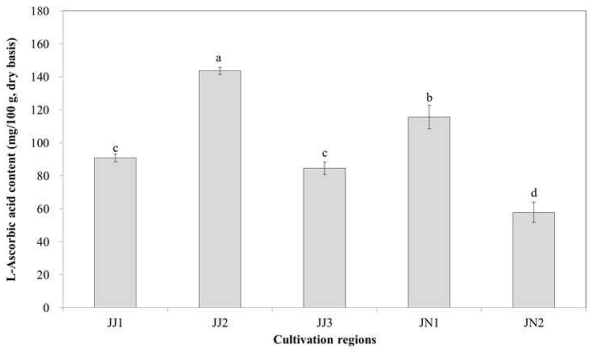

Fig. 1. The L-ascorbic acid contents of the *Opuntia ficus-indica* cladodes depending on different cultivation regions. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

4. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

재배지역별 보검선인장 줄기의 총 폴리페놀 함량을 시료 g당 gallic acid equivalent(GAE)로 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. JJ1이 55.29 mg으로 가장 높은 함량을 보였으며, JJ2, JJ3 및 JN1은 각각 47.72 mg, 48.15 mg 및 48.86 mg으로 유의적인 차이를 보이지 않았고($P>0.05$), JN2가 38.69 mg으로 가장 낮은 함량을 보였다. 시료 g당 catechin equivalent(CE)로 총 플라보노이드 함량(Fig. 3)은 JJ1~JN1이 3.85~4.03 mg 범위로 유의적인 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), JN은 3.33 mg으로 가장 낮은 함량을 보였다. Astello-García 등(2015)은 보검선인장

Table 2. The mineral compositions of the *Opuntia ficus-indica* cladodes depending on different cultivation regions

Cultivation regions	Mineral composition (mg/100 g, dry basis)				
	Ca	Fe	K	Mg	Na
JJ1	2,280.36±129.99^{b}	22.51±2.55^{c}	360.21±9.15^{d}	1,060.11±31.25^{c}	473.33±41.72^{c}
JJ2	1,745.89±107.05^{c}	52.87±3.92^{a}	953.87±61.56^{b}	1,619.57±5.25^{a}	1,547.78±154.41^{a}
JJ3	2,571.77±183.72^{b}	33.85±6.49^{b}	2,534.68±38.88^{a}	1,362.77±30.51^{b}	1,096.76±26.18^{b}
JN1	4,204.09±280.52^{a}	29.57±5.03^{c}	237.82±32.15^{e}	1,385.91±144.76^{b}	289.23±8.55^{d}
JN2	4,173.14±186.66^{a}	13.90±2.07^{d}	493.44±3.51^{c}	1,363.08±49.34^{b}	168.92±32.58^{e}

JJ: Jeju, JN: Jeonnam. Values are shown as mean±S.D. of triplicate. Different small letters in the same column indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

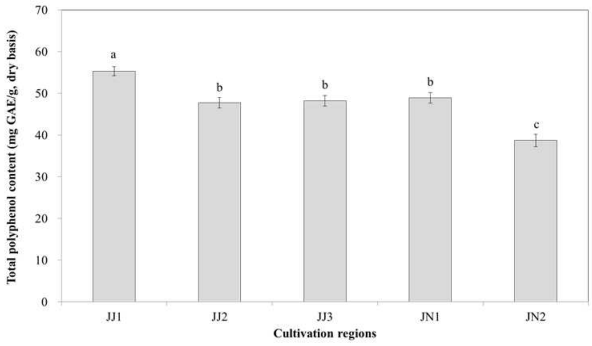

Fig. 2. The total polyphenol contents of the *Opuntia ficus-indica* cladodoes depending on different cultivation regions. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. GAE: gallic acid equivalent. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

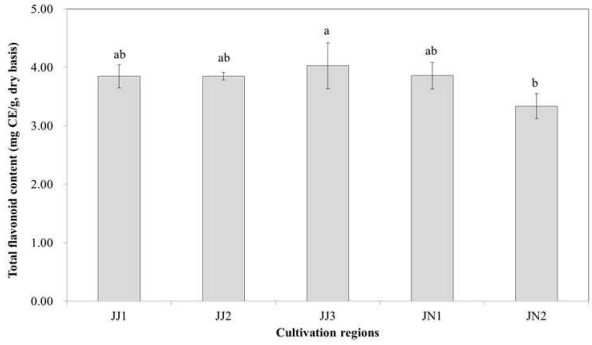

Fig. 3. The total flavonoid contents of the *Opuntia ficus-indica* cladodes depending on different cultivation regions. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. CE: catechin equivalent. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

의 재배지역별 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 평가한 결과, 22.5~56.7 mg GAE/g 및 17.6~20.4 mg quercetin equivalent/g으로 나타나, 플라보노이드보다는 폴리페놀의 지역적 차이가 크다고 보고하였다. Hwang 등(2015)은 제주산 손바닥 선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*) 엽상경의 70% 주정 추출물의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 각각 172.0 mg GAE/g과 14.4 mg QE/g으로 나타났다고 보고하여 본 연구결과보다 높은 함량을 보였다. 그러나 Lee 등(1997)은 제주산 손바닥 선인장(*O. ficus-indica*)의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 각각 1.821 mg caffeic acid equivalent/g과 1.110 mg rutin equivalent/g으로 나타나, 본 연구결과보다 낮은 함량을 보였다. Lee 등(2014)은 천년초 선인장 줄기 75% 주정 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 각각 약 40 mg GAE/g과 10 mg CE/g으로 나타나, 본 연구와 유사한 결과를 보여 손바닥 선인장의 품종, 추출방법 등에 따라 다양하게 나타났다.

5. 자유라디칼 소거 활성

재배지역별 보검선인장 줄기 에탄올 추출물을 1 mg/mL의 농도로 조제하여 DPPH 라디칼 소거 활성을 평가한 결과는 Fig. 4와 같다. JJ1, JJ2 및 JN1이 각각 60.62%, 60.92% 및 61.52%의 높은 소거 활성을 보였으나($P>0.05$), JN2는 45.19%로 가장 낮은 소거 활성을 보였다. ABTS 라디칼 소거 활성의 경우, JN1이 51.96%로 가장 높은 소거 활성을 보였으며, JJ1, JJ2 및 JJ3은 각각 47.42%, 46.31% 및 48.48%로 나타났으며, JN2는 39.15%로 가장 낮은 활성을 보였다(Fig. 5). 대조구인 L-ascorbic acid는 0.1 mg/mL 농도에서 DPPH와 ABTS 라디칼을 각각 86.71%와 70.89%를 소거하여 보검선인장 줄기 추출물보다 높은 항산화 활성을 보였다. Astello-García 등(2015)은 보검선인장 에탄올 추출물의 재배지역별 DPPH 라디칼 소거 활성을 평가한 결과, 309.1~659.4 mg trolox equivalent/g(평균 508.4 mg)으로 나타나 지역적 차이가 크며, 총 폴리페놀 및 플라보노이드 등과 같이 페놀화합물의 함량과 상관관계가 높다고 보고하였다. Hwang 등(2015)은 제주산 손바닥 선인장 줄기 추출물의 DPPH와 ABTS 라디칼 소거 활성을 평가한 결과, 각각 1 mg/mL 이상과 0.8 mg/mL의 농도에서 50%를 저해(IC_{50})한다고 보고하였다. 또한 전남 신안산 천년초와 제주산 보검선인장 줄기 열수 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성을 비교한 Park 등(2013)의 연구에서는 0.5 mg/mL의 농도에서 보검선인장 추출물(37.34%)이 천년초 추출물(28.75%)보다 DPPH 라디칼 소거 활성이 높았다고 보고하였으며, 천년초 줄기 주정 추출물의 DPPH와 ABTS 라디칼 소거 활성을 평가한 Lee 등(2014)의 연구에서도 1 mg/mL의 농도에서 각각 20%와 30%의 소거 활성을 보여, 손바닥 선인장의 라디칼 소거 활성은 품종 및 추출방법과 조건에 따라 다양하게 나타날 수 있다.

6. 환원력

FRAP assay에 의한 환원력 측정은 낮은 pH에서 항산화제에 의해 Fe^{3+}-TPTZ가 Fe^{2+}-TPTZ로 환원되는 능력을 평가(Kim 등 2009)하는 것으로 자유라디칼 소거활성을 이용한 항산화 측정법과 다른 메커니즘의 평가방법이다(Yoo 등 2007). 재배지역별 보검선인장 줄기 에탄올 추출물의 환원력을 시료 g당 L-ascorbic acid equivalent (AE)로 평가한 결과는 Fig. 6과 같다. JJ3이 0.305 mg으로 가장 높은 환원력을 보였으며, JJ2와 JN1이 각각 0.277 mg과 0.273 mg으로 유의적인 차이를 보이지 않았고($P>0.05$), JN2가 0.218 mg으로 가장 낮은 환원력을

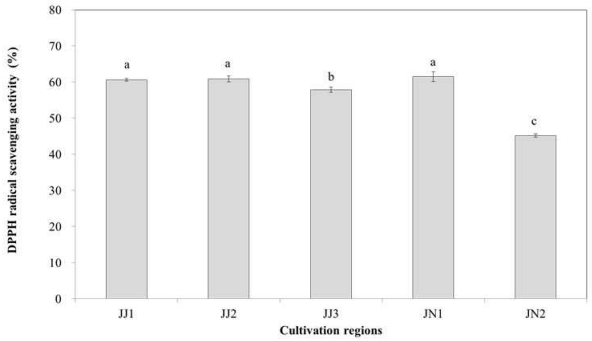

Fig. 4. The DPPH radical scavenging activities of the *Opuntia ficus-indica* cladodes extracts depending on different cultivation regions. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. The concentrations of extracts were 1 mg/mL. The DPPH radical inhibition rate of L-ascorbic acid, positive control, was 86.71% at concentration of 0.1 mg/mL. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

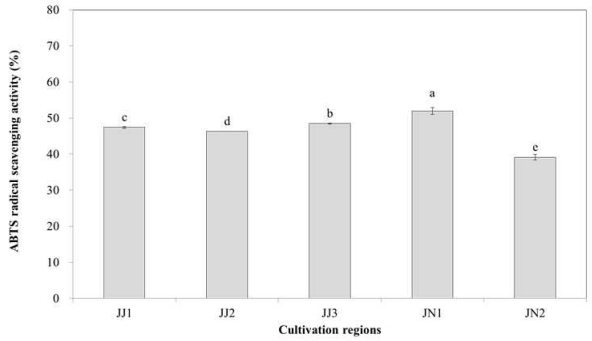

Fig. 5. The ABTS radical scavenging activities of the *Opuntia ficus-indica* cladodes extracts depending on different cultivation regions. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. The concentrations of extracts were 1 mg/mL. The ABTS radical inhibition rate of L-ascorbic acid, positive control, was 70.89% at concentration of 0.1 mg/mL. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

보여 재배지역에 따라 차이를 나타냈다. Bensadón 등(2010)은 두 품종의 보검선인장 줄기와 열매의 환원력을 평가한 결과, 열매보다 줄기 에탄올 추출물의 환원력이 높았으며, 품종에 따른 유의적인 환원력의 차이를 보고하였다. Kim 등(2011)은 천년초 줄기의 80% 에탄올 추출물의 환원력(0.157 abs)이 열수 추출물(0.069 abs)보다 2배 정도 높았다고 보고하였으며, Lee 등(2014)의 연구에서도 천년초 선인장 줄기 에탄올 추출물 및 용매분획물의 환원력을 평가한 결과, chloroform 분획물

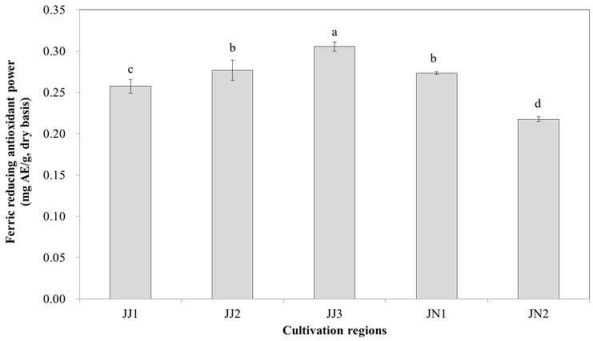

Fig. 6. The ferric reducing antioxidant power (FRAP) of the *Opuntia ficus-indica* cladodes extracts depending on different cultivation regions and concentrations. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. AE: L-ascorbic acid equivalent. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

에서 가장 높은 환원력을 보였으며, 75% 에탄올 추출물 역시 우수한 환원력을 보였다고 보고하였다.

7. α-Glucosidase 저해 활성

α-Glucosidase는 소장 점막 내 미세융모막에 있는 효소로서 다당류를 단당류로 분해하는 탄수화물의 소화와 흡수작용에 관여하는 효소이다. 전분은 먼저 올리고당으로 분해가 된 후 α-glucosidase에 의해 포도당으로 분해되는데, α-glucosidase 저해제는 소장 점막에서 α-glucosidase의 효소활성을 저해함으로써 올리고당이 포도당으로 분해되어 흡수되는 것을 방해하여 포도당의 흡수를 지연시켜 식후 혈당을 조절할 수 있다(Lee 등 2014; Standl 등 1999; Benalla 등 2010). 재배지역별 보검선인장 줄기 에탄올 추출물의 α-glucosidase 저해 활성을 평가한 결과는 Fig. 7과 같다. 대조구로 사용한 acarbose는 0.1 mg/mL 농도에서 69.75% 저해 활성을 보였다. 저농도(1 mg/mL)에서는 JJ3과 JN1이 각각 45.01%와 45.73%로 가장 높았으며, JJ1이 29.72%로 가장 낮은 저해 활성을 보였다. 그러나 고농도(10 mg/mL)에서는 JJ1~JN1이 75.36~78.51% 범위로 유사하였으나, JN2은 68.91%로 가장 낮은 저해 활성을 보여 농도에 따른 저해 활성에 차이를 보였다. 천년초와 보검선인장 줄기 물 추출물의 α-glucosidase 저해 활성을 평가한 Park 등(2013)의 연구에서 보검선인장 추출물의 저해 활성은 관찰되지 않았으며, 천년초 추출물의 경우 10~200 μg/mL의 농도에서 25.56~36.91% 범위의 Baker's α-glucosidase 저해 활성을 보여 본 연구결과와 차이를 보였다. 또한 Lee 등(2014)의 연구에서는 1 mg/mL의 농도로 제조한 천년초 줄기 주정 추출물이 rat intestinal α-glucosidase를 약 25% 저해한다고 보고하였

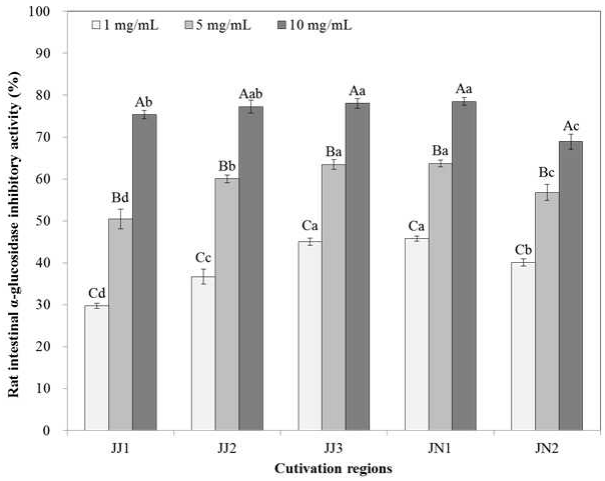

Fig. 7. The α-glucosidase inhibitory activities of the *Opuntia ficus-indica* cladodes extracts depending on different cultivation regions and concentrations. JJ: Jeju, JN: Jeonnam. The α-glucosidase inhibition rate of acarbose, positive control, was 69.75% at concentration of 0.1 mg/mL. Vertical bars represents standard deviation (n=3). Small letters on the error bars indicate a significant difference at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

다. 따라서 손바닥 선인장 줄기 추출물의 α-glucosidase 저해 활성은 추출물의 제조 방법, 효소의 기원 및 활성 평가 농도 등에 의해 다양하게 나타날 수 있다.

요 약

본 연구는 재배지역이 다른 보검선인장의 일반성분, 비타민 C, 페놀 화합물 함량, 항산화 활성 및 α-glucosidase 저해 활성을 평가하고, 기초 자료로 제공하고자 하였다. 보검선인장 줄기의 수분함량은 85~95%이었으며, 조회분이 8.69~16.50%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 무기성분 중 Ca이 1,745~4,204 mg/100 g으로 다량 함유되어 있었으며, 비타민 C 역시 57.87~143.72 mg/100 g으로 함량이 높게 나타나, 재배지역에 따라 유의적인 차이를 보였다. 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 각각 38.69~55.29 mg/g과 3.33~4.03 mg/g으로 지역적인 차이는 크지 않았다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소건 활성 역시 45.19~61.52%와 39.15~48.48%로 유사하게 나타났다. α-Glucosidase 저해 활성은 저농도(1 mg/mL)에서는 29.72~45.73%로 재배지역에 따라 차이를 보였으나, 고농도(10 mg/mL)에서는 68.91~78.51%로 차이가 적어 농도에 따라 저해 활성이 달라짐을 확인하였다. 일반성분, 무기성분 및 비타민 C 함량은 재배지역에 따라 큰 차이를 보였지만, 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 환원력 및 α-glucosidase 저해 활성은 지역적 차이가 적었다. 이상의 결과를 바탕으로 보검선인장 줄기는 우수한 Ca 급원이 될 수 있으며, 항산화 및 항당뇨 활성으로 인해 건강기능식품의 소재로 활용이 가능할 것이라고 기대된다.

감사의 글

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

References

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA

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

Avila-Nava A, Calderón-Oliver M, Medina-Campos ON, Zou T, Gu L, Torres N, Tovar AR, Pedraza-Chaverri J. 2014. Extract of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes scavenges reactive oxygen species *in vitro* and enhances plasma antioxidant capacity in humans. *J Funct Foods* 10:13-24

Benalla W, Bellahcen S, Bnouham M. 2010. Antidiabetic medicinal plants as a source of alpha glucosidase inhibitors. *Curr Diabetes Rev* 6:247-254

Bensadón S, Hervert-Hernández, Sáyago-Ayerdi SG, Goñi I. 2010. By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant Food Hum Nutr* 65:210-216

Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239:70-76

Blois MS. 1958. Antioxidant determiantions by the use a stable free radical. *Nature* 181:1199-1203

Butera D, Tesoriere L, Di Gaudio F, Bongiorno A, Allegra M, Pintaudi AM, Kohen R, Livrea MA. 2002. Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *J Agric Food Chem* 50:6895-6901

Choi J, Lee CK, Lee YC, Moon YI, Park HJ, Han YN. 2001.

Screening on biological activities of the extracts from fruit and stem of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*). *Kor J Pharmcong* 32:330-337

Choi J, Lee CK, Lee YC, Moon YI, Park HJ, Han YN. 2002a. Biological activities of the extracts from fruit and stem of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*) II. - Effects on dietary induced hyperlipidemia. *Kor J Pharmcong* 33: 230-237

Choi J, Lee CK, Lee YC, Moon YI, Park HJ, Han YN. 2002b. Biological activities of the extracts from fruit and stem of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*) III. - Effects on subacute alcoholic hyperlipidemia in rats. *Kor J Pharmcong* 33:238-244

Choi YM, Kim MH, Shin JJ, Park JM, Lee J. 2003. The anti-oxidant activities of the some commercial teas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32:723-727

Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant acitivity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964

Dok-Go H, Lee KH, Kim HJ, Lee EH, Lee J, Song YS, Lee YH, Jin C, Lee YS, Cho J. 2003. Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Brain Res* 965:130-136

Feugang JM, Konarski P, Zou D, Stintzing FC, Zou C. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front Biosci* 11:2574-2589

Hwang IG, Byun JY, Kim KM, Chung MN, Yoo SM. 2014. Vitamin C quantification of Korean sweet potatoes by cultivar and cooking method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 955-961

Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Hong JT, Hwang BY, Jung JK, Lee J, Jeong HS. 2011. Isolation and characterisation of an α-glucosidase inhibitory substance from fructose-tyrosine Maillard reaction products. *Food Chem* 127:122-126

Hwang JH, Yi MR, Kim JW, Bu HJ, Kang CH, Lim SB. 2015. Quality characteristics and antioxidant activity of prickly pear cactus cladodes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44: 356-362.

KFDA. 2016. Food Code. Korea Food and Drug Association, Seoul, Korea

Kim DJ, Jung JH, Kim SG, Lee HK, Lee SK, Hong HD, Lee BY, Lee OH. 2011. Antioxidants and anti-obesity activities of hot water and ethanolic extracts from cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*). *Korean J Food Preserv* 18:366-373

Kim JH, Jeong CH, Choi JM, Kwak JH, Choi SG, Heo HJ. 2009. Antioxidant and neuronal cell protective effects of methanol extract from *Schizandra chinensis* using an *in vitro* system. Korean *J Food Sci Technol* 41:712-716

Lee JN, Kim HE, Kim YS. 2014. Anti-diabetic and anti-oxidative effects of *Opuntia humifusa* cladodes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43:661-667

Lee YC, Hwang KH, Han DH, Kim SD. 1997. Compositions of *Opuntia ficus-indica*. *Korean J Food Sci Technol* 29: 847-853

Park CM, Kwak BH, Park SH, Kim H, Rhyu DY. 2013. Comparison of biological activities of *Opuntia humifusa* and *Opuntia ficus-indica*. *Korean J Plant Res* 26:519-525

Seo KI, Yang KH, Shim KH. 1999. Antimicrobial and antioxidative activities of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* extract. *Korean J Postharvest Sci Technol* 6:355-359

Standl E, Baumgartl HJ, Füchtenbusch M, Stemplinger J. 1999. Effect of acarbose on additional insulin therapy in type 2 diabetic patients with late failure of sulphonylurea therapy. *Diabetes Obes Metab* 1:215-220

Yoo KM, Kim DO, Lee CY. 2007. Evaluation of different methods of antioxidant measurement. *Food Sci Biotechnol* 16:177-182

Received 20 July, 2016
Revised 10 August, 2016
Accepted 18 August, 2016