

## 채취시기별 보검선인장 줄기의 항산화, 항당뇨 및 항알츠하이머 활성평가

정윤숙 · 황병순 · 조수묵 · 황경아 · <sup>†</sup>황인국

농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

### Antioxidant and Anti-Diabetic, Anti-Alzheimer Activities of Stem from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* Cultivated in Jeju at Harvest Time

Yun Sook Jeong, Byung Soon Hwang, Soo-Muk Cho, Kyung-A Hwang and <sup>†</sup>In Guk Hwang

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

#### Abstract

In this study, we assessed antioxidant, anti-diabetic, and anti-Alzheimer activities of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* (OFI) at harvest time. OFIs were cultivated December 2015~November 2016 in Jeju island. The 70% ethanol extracts of OFI were used to investigate total polyphenol and flavonoid contents, antioxidant(DPPH and ABTS radical scavenging assay), anti-diabetic(yeast  $\alpha$ -glucosidase and rat  $\alpha$ -glucosidase inhibition assay), and anti-Alzheimer(Acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibition assay) activities. Total polyphenol and flavonoid contents of OFIs were 17.40~23.11  $\mu$ g gallic acid/mg Ex and 2.17~6.22  $\mu$ g (+)-catechine/mg Ex, respectively. DPPH and ABTS radical scavenging activity of OFIs were 131.98~184.90 mg ascorbic acid(AA) eq/100 g and 63.60~101.83 mg AA eq/100 g, respectively. In the anti-diabetic and anti-Alzheimer activities, 70% ethanol extracts of OFI exhibited moderate inhibition activity, compared to control (acarbose and beberine). Total polyphenol and flavonoid contents, antioxidant, anti-diabetic, and anti-Alzheimer activities were no significant differences by season, respectively. Therefore, information on comparative biological evaluations of OFI may be a beneficial in exploring functional food and drug development.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, anti-diabetic activities, anti-Alzheimer activities, harvest time

#### 서론

UN(United Nations)은 65세 이상 인구가 전체 인구에서 차지하는 비율이 7% 이상이면 '고령화 사회', 14% 이상이면 '고령 사회', 20% 이상이면 '초고령 사회'로 분류하고 있다(UN, 2014). 우리나라는 2000년 '고령화 사회'에 진입하여 다가오는 2026년에는 초고령 사회로 빠르게 진입할 것으로 전망되어 만성질환 및 노인성 질환의 유병률도 가파르게 증가될 것이라고 예상된다(Statistics Korea, 2013). 2012년 국민건강영양조사 결과에 따르면, 65세 이상 인구에서 21.5%가 당뇨를 앓고 있다고 나타났으며(Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control & Prevention Korea Health

Statistics 2012, 2013), 노인성 대표 질환인 치매는 65세 이상 인구에서 9.18% 앓고 있다고 보고되었다(Kim 등 2012). 당뇨는 망막증, 신장증, 신경병증과 같은 당뇨합병증으로 발전될 위험이 높고(Lim 등 2009), 치매는 완치가 불가능한 질환으로 증상완화를 위한 치료법이 개발되고 있으나, 효과가 미미한 상태이다(Um 등 2013). 따라서 당뇨와 치매는 치료에 장기간의 모니터링이 필수적인 개인적, 국가적 영향력이 큰 질병으로, 질병 예방과 치료에 지속적인 관심과 대응이 필요하다.

보검선인장(*Opuntia ficus-indica*)은 백년초 또는 손바닥 선인장이라고 불리며, 우리나라의 제주도 및 남해지역에서 주로 재배되고 있다(Seo 등 2012). 보검선인장은 예로부터 식용

<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, E-mail: ighwang79@korea.kr

이나 식품으로 섭취되어 왔으며, 특히 보검선인장의 줄기는 피부질환, 류마티스 관절염 및 화상의 치료를 목적으로 민간 요법에 활용되어 왔다(Lim 등 2016). 보검선인장 줄기에 관한 연구로 Dok-Go 등(2003)은 백년초의 줄기와 열매의 ethyl acetate 분획물로부터 분리한 quercetin, (+)-dihydroquercetin, quercetin 3-methyl ether 3가지 플라보노이드가 산화스트레스에 의한 신경계질환에 효과적이며, Galati 등(2001)은 보검선인장 줄기가 위암에, Ncibi 등(2008)은 간보호에 효과적이라고 각각 보고하였다. 이 외에도 Hwang 등(2015)은 항산화연구, Kwon 등(2008)은 면역활성, Yoon (2013)은 지질대사 활성 평가에 대한 연구가 보고되어 있다. 보검선인장의 당뇨병과 관련된 연구로는 Lee 등(2016)이 재배지역별(제주도 및 남해) 겨울에 재배한 보검선인장 줄기의 70% ethanol 추출물의  $\alpha$ -glucosidase 억제에 효과가 있으며, Butterweck 등(2011)이 백년초 줄기의 물 추출물이 식후 혈당을 낮추는데 도움을 주고,  $\beta$ 세포에서의 인슐린 분비에 자극을 증가시켜 2형 당뇨에 효과적이라는 연구, Lee 등(2005)은 5주간 보검선인장 줄기와 열매를 먹인 rat에서 보검선인장 줄기를 먹인 그룹에서 노와 혈중 glucose가 낮아 당뇨 예방과 치료에 효과가 있다는 연구 등이 보고되어 있다. 또한, 보검선인장의 알츠하이머와 관련된 연구로는 Cho 등(2007)이 보검선인장의 줄기의 50% ethanol 추출물로부터 butanol 분획물이 amyloid $\beta$ (A $\beta$ )에 의한 신경적 손상에 효과가 있다는 연구와 Hwang 등(2016)이 제주도에서 겨울에 재배한 보검선인장 열매 80% 에탄올 추출물을 통한 PC-12 신경세포 보호 및 콜린가수분해효소 관련된 연구가 보고되어 있다. 하지만 그 외의 채취시기별 보검선인장 줄기에 관한 당뇨 및 알츠하이머 관련된 생리활성 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 제주도 보검선인장 줄기의 채취시기별 줄기의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량을 분석하고, 항산화활성평가로 DPPH radical과 ABTS radical 제거 활성, 항 당뇨 활성으로  $\alpha$ -glucosidase 및 rat  $\alpha$ -glucosidase 억제활성, 항 알츠하이머 활성평가로 Acetylcholinesterase (AChE) 및 Butyrylcholinesterase(BChE) 저해 활성을 평가하여 예방 및 치료제로서의 보검선인장의 활용성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 연구에서 사용한 보검선인장 줄기는 제주도지역에서 2015년 12월부터 2016년 11월까지 한 달 간격으로 구입하여 시료로 사용하였다. 보검선인장은 공급받은 즉시 가시를 제거하여 일정크기로 잘라 동결 건조(Lyoph pride, Ilshin Biobase Co. Ltd., Dongducheon, Korea) 하였다. 이후, 동결 건조한 보

검선인장 줄기를 분쇄기(SMX 6500JS, Shinil Co. Ltd., Seoul, Korea)로 분쇄한 다음  $-70^{\circ}\text{C}$ 의 deep freezer(WLF-D500, Daihan scientific co. Wonju, Korea)에 보관하여 사용하였다. 실험에 사용된 (+)-catechine, garlic acid, L-ascorbic acid, acarbose, rat intestinal acetone powder, acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase 등의 시약은 Sigma-Aldrich(St, Louis, MO, USA)에서 구입하여 실험에 사용하였다.

### 2. 추출물 조제

보검선인장 줄기 추출물 조제는 동결 건조한 보검선인장 줄기 분말 5 g 에 70% ethanol 150 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 1차 증류수에 재용해 하여 동결건조하였다. 이 후, 이 70% ethanol 보검선인장 줄기 추출물의 동결건조 분말을 5, 10, 12.5, 25 mg/mL로 추출물을 조제하여 실험에 사용하였다.

### 3. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

보검선인장 줄기의 총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 측정하였다. 5 mg/mL 농도의 시료 100  $\mu\text{L}$ 에 2% sodium carbonate 용액을 2 mL 첨가한 후, 3분간 실온에 방치하였다. 이후, 50% Folin-Ciocalteu reagent 100  $\mu\text{L}$ 를 첨가하여 30분간 실온에서 방치 후 UV spectrophotometer를 이용하여 720 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 사용하여 검량선을 작성한 후, 총 폴리페놀 함량을 시료 mg Ex(extract)당  $\mu\text{g}$  gallic acid로 나타내었다.

보검선인장 줄기의 총 플라보노이드 함량은 Jang 등(2012)의 방법에 따라 측정하였다. 5 mg/mL 농도의 시료 250  $\mu\text{L}$ 에 증류수 1 mL와 5% sodium nitrite 75  $\mu\text{L}$ 를 첨가한 후, 5분간 실온에 방치하였다. 이후 10% aluminium chloride 150  $\mu\text{L}$ 를 첨가한 후, 6분간 실온에서 방치한 후에 1 M sodium hydroxide 500  $\mu\text{L}$ 를 첨가하였다. 이후 11분간 실온에서 방치 후, UV spectrophotometer를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 (+)-catechin hydrate를 사용하여 검량선을 작성한 후, 총 플라보노이드 함량을 시료 mg Ex당  $\mu\text{g}$  (+)-catechine으로 나타내었다.

### 4. 항산화 활성 평가

보검선인장 줄기의 DPPH radical scavenging 활성은 Blois MS(1958)의 방법에 따라 측정하였다. DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)를 MeOH에 용해하여 암실에 보관하였다. 시료와 대조군인 L-ascorbic acid를 다양한 농도로 희석하여 각 농

도별 시료 160  $\mu\text{L}$ 에 DPPH MeOH 용액 40  $\mu\text{L}$ 를 첨가하였다. 이 혼합물을 충분히 반응하도록 30분간 암실에서 반응시킨 후, UV spectrophotometer를 이용하여 520 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하여 AEAC(L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)로 나타내었다.

보검선인장 줄기의 ABTS radical scavenging 활성은 Re 등 (1999)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 1:1 비율(v/v)로 혼합한 후, 12~16시간 실온에서 암반응하여 ABTS radical 양이온을 형성시킨다. 이후, UV spectrophotometer를 이용하여 735nm에서 0.70 $\pm$ 0.02가 되도록 희석시킨다. 시료와 대조군인 L-ascorbic acid를 다양한 농도로 희석하여 각 농도별 시료 20  $\mu\text{L}$ 에 희석시킨 ABTS<sup>•+</sup> 용액 180  $\mu\text{L}$ 를 첨가하였다. 이 혼합물을 충분히 반응하도록 30분간 암실에서 반응시킨 후, UV spectrophotometer를 이용하여 735 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하여 AEAC로 나타내었다.

### 5. 항당뇨 활성 평가

보검선인장 줄기의 yeast  $\alpha$ -glucosidase 억제 활성은 Li 등 (2005)의 방법에 따라 측정하였다.  $\alpha$ -Glucosidase는 10 mM phosphate buffer(pH 6.8)를 이용하여 0.2 unit/mL로 제조하고, 2.5 mM 4-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside(pNPG)는 100 mM phosphate buffer(pH 6.8)에 용해시켜 실험에 사용하였다. 각각의 시료와 positive control인 acarbose는 다양한 농도로 10% DMSO로 희석하여, 각 농도별 시료 20  $\mu\text{L}$ 와 기질 20  $\mu\text{L}$ , 100 mM phosphate buffer 20  $\mu\text{L}$ 를 넣고 yeast  $\alpha$ -glucosidase 20  $\mu\text{L}$ 를 넣어 shaking 후, 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 15분간 암반응하였다. 이후 0.2 M sodium carbonate solution 80  $\mu\text{L}$ 를 넣어주어 반응을 정지시킨 후, UV spectrophotometer를 이용하여 405 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하였다.

보검선인장 줄기의 rat  $\alpha$ -glucosidase 억제 활성은 Hwang 등(2011)의 방법에 따라 측정하였다. Rat intestinal acetone powder 1 g에 0.9% sodium chloride solution 10 mL의 비율로 균질화 후, 원심 분리하여 상등액을 효소로 사용하였으며, 5 mM pNPG는 100 mM phosphate buffer(pH 6.8)에 용해시켜 실험에 사용하였다. 각각의 시료와 positive control인 acarbose는 다양한 농도로 10% DMSO로 희석하여 각 농도별 시료 50  $\mu\text{L}$ 와 효소 100  $\mu\text{L}$ , 기질 50  $\mu\text{L}$ 를 넣어 shaking 후, 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 20분간 암반응하였다. 이후 UV spectrophotometer를 이용하여 405 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하였으며, 각각의 억제율(%)은 다음과 같은 식을 이용하여 나타내었다.

$$\text{억제율(\%)} = \frac{(Ac - As)}{Ac} \times 100$$

Ac는 negative control의 흡광도 값이며, As는 시료의 흡광도 값이다. Positive control은 10% DMSO에 녹인 acarbose가 사용되었다.

### 6. 항알츠하이머 활성 평가

보검선인장 줄기의 Acetylcholinesterase(AChE) 및 Butyrylcholinesterase(BChE) 억제 활성은 Ellman 등(1961)의 방법을 참고하여 측정하였다. AChE와 BChE는 각각 acetylthiocholineiodide와 butyrylthiocholine chloride가 기질로 사용되었다. 각각의 시료와 positive control인 beberine은 다양한 농도로 10% DMSO에 희석하여, 시료 20  $\mu\text{L}$ 에 효소 20  $\mu\text{L}$ 와 0.1 M phosphate buffer(pH 8) 140  $\mu\text{L}$ 를 넣고 15분간 실온에서 방치 후, DTNB 10  $\mu\text{L}$ 와 각각의 기질 10  $\mu\text{L}$ 를 넣고 15분간 실온에서 방치한다. 이후 UV spectrophotometer를 이용하여 412 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하였으며, 각각의 억제율(%)은 다음과 같은 식을 이용하여 나타내었다.

$$\text{억제율(\%)} = \frac{(Ac - As)}{Ac} \times 100$$

Ac는 negative control의 흡광도 값이며, As는 시료의 흡광도 값이다. Positive control은 10% DMSO에 녹인 beberine이 사용되었다.

### 7. 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicag, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고, 처리 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 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

채취시기에 따른 보검선인장 줄기의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같이 나타났다. 제주에서 재배된 보검선인장 줄기의 총 폴리페놀의 함량은 유의적 차이는 없었으나, 7월에 23.11  $\mu\text{g}$  gallic acid/mg Extract (Ex)로 가장 높게 나타났고, 4월과 11월에 17.40  $\mu\text{g}$  gallic acid/mg Ex로 가장 낮게 나타났다. 북반구에서 통상적으로 계절을 나누는 기준에 따라 3~5월은 봄, 6~8월은 여름, 9~11월은 가을, 12~2월은 겨울로 구분하여 비교한 결과는 Table 2와 같이 나타났다. 수확계절에 따른 보검선인장 줄기의 총 폴리페놀 함량은 19.64~22.59  $\mu\text{g}$  gallic acid/mg Ex로 유의적 차이는

**Table 1. Total polyphenol contents and total flavonoid contents of stem from *Opuntia ficus-indica* at harvest time**

Season	Month	Total polyphenol contents ( $\mu\text{g}$ gallic acid/mg Ex)	Total flavonoid contents ( $\mu\text{g}$ (+)-catechine/mg Ex)
Spring	March	21.79 $\pm$ 4.51 <sup>b1)</sup>	4.51 $\pm$ 0.14 <sup>e</sup>
	April	17.40 $\pm$ 3.70 <sup>e</sup>	3.70 $\pm$ 0.31 <sup>ef</sup>
	May	19.75 $\pm$ 2.17 <sup>d</sup>	2.17 $\pm$ 0.08 <sup>i</sup>
Summer	June	22.78 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	3.93 $\pm$ 0.09 <sup>de</sup>
	July	23.11 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	6.22 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>
	August	21.88 $\pm$ 0.35 <sup>b</sup>	3.27 $\pm$ 0.22 <sup>g</sup>
Fall	September	22.12 $\pm$ 0.29 <sup>b</sup>	3.89 $\pm$ 0.31 <sup>de</sup>
	October	19.44 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	3.39 $\pm$ 0.19 <sup>fg</sup>
	November	17.40 $\pm$ 0.13 <sup>e</sup>	3.23 $\pm$ 0.43 <sup>g</sup>
Winter	December	20.50 $\pm$ 0.43 <sup>c</sup>	4.95 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
	January	20.22 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	2.68 $\pm$ 0.17 <sup>h</sup>
	February	20.62 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>	4.23 $\pm$ 0.24 <sup>cd</sup>

<sup>1)</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.

나타나지 않았으나, 상대적으로 봄과 가을에 19.64와 19.65  $\mu\text{g}$  gallic acid/mg Ex로 비슷한 수준으로 낮게 나타났고, 여름과 겨울에 22.59와 20.45  $\mu\text{g}$  gallic acid/mg Ex로 비슷한 수준으로 높게 나타났다. 이러한 연구결과는 전기, 적기, 후기에 수확한 대학찰옥수수의 총 폴리페놀 함량이 92.10~104.45 mg/100 g으로 수확시기에 상관없이 비슷한 수준으로 나타난 연구결과와 유사하게 나타났다(Lee 등 2010). 또한, 제주에서 재배된 보검선인장 줄기의 총 플라보노이드 함량 또한 유의적 차이는 없었으나, 7월에 6.22  $\mu\text{g}$  (+)-catechine/mg Ex로 가장 높게 나타났고, 5월에 2.17  $\mu\text{g}$  (+)-catechine/mg Ex로 가장 낮게 나타났다. 수확계절에 따른 보검선인장 줄기의 총 플라보노이드 함량은 3.46~4.47  $\mu\text{g}$  (+)-catechine/mg Ex로 유의적 차이는 나타나지 않았으나, 상대적으로 봄과 가을에 3.46과 3.50  $\mu\text{g}$  (+)-catechine/mg Ex로 비슷한 수준으로 낮게 나타났고, 여

름과 겨울에 4.47과 3.95  $\mu\text{g}$  (+)-catechine/mg Ex로 비슷한 수준으로 높게 나타났다. 이러한 연구결과는 봄과 여름에 재배한 시금치의 총 플라보노이드 함량이 각각 210.1 mg%와 192.4 mg%로 수확시기에 상관없이 비슷한 수준으로 나타난 결과와 유사하게 나타났다(Hong 등 2005).

## 2. 항산화 활성 평가

채취시기에 따른 보검선인장 줄기의 항산화 활성은 DPPH radical과 ABTS radical scavenging을 평가하여 그 결과를 Fig. 1과 같이 나타냈다. 항산화 활성의 측정값은 L-ascorbic acid를 표준물질로 사용하여 AEAC값(mg ascorbic acid AA equivalent/100 g)으로 산출하였다. 제주에서 재배된 보검선인장 줄기의 DPPH radical scavenging 활성은 유의적 차이는 없었으나, 6월에 185.78 mg AA eq/100 g Ex로 가장 높게 나타났고, 11월에

**Table 2. Total polyphenol contents and total flavonoid contents of stem from *Opuntia ficus-indica* at season**

Season	Total polyphenol contents ( $\mu\text{g}$ gallic acid/mg Ex)	Total flavonoid contents ( $\mu\text{g}$ (+)-catechine/mg Ex)
Spring	19.64 $\pm$ 3.46 <sup>NS1)2)</sup>	3.46 $\pm$ 1.19 <sup>NS</sup>
Summer	22.59 $\pm$ 4.47 <sup>NS</sup>	4.47 $\pm$ 1.55 <sup>NS</sup>
Fall	19.65 $\pm$ 3.50 <sup>NS</sup>	3.50 $\pm$ 0.34 <sup>NS</sup>
Winter	20.45 $\pm$ 3.95 <sup>NS</sup>	3.95 $\pm$ 1.16 <sup>NS</sup>
Year Mean	20.58 $\pm$ 1.89	3.85 $\pm$ 1.07

<sup>1)</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.

<sup>2)</sup> NS: Not significantly.

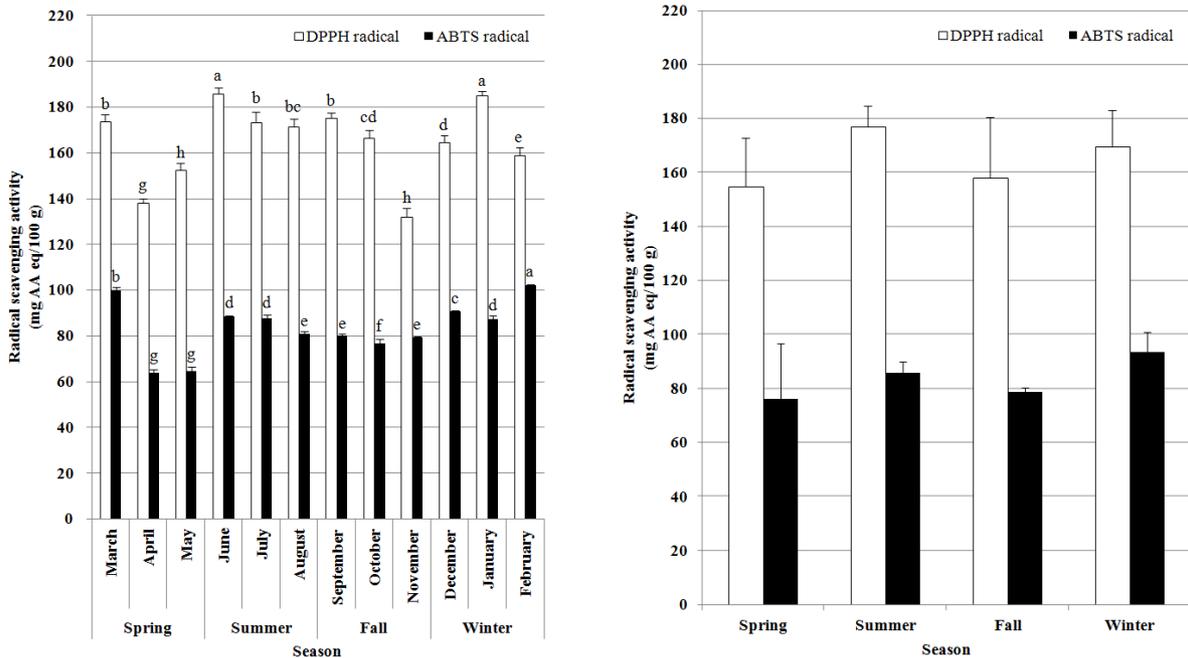


Fig. 1. Antioxidant activities of stem from *Opuntia ficus-indica* at harvest time.

131.98 mg AA eq/100 g Ex로 가장 낮게 나타났다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 DPPH radical scavenging 활성은 154.61~176.75 mg AA eq/100 g으로 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 상대적으로 봄과 가을에 각각 154.61과 157.77 mg AA eq/100 g으로 비슷한 수준으로 낮게 나타났으며, 여름과 겨울에는 각각 176.75와 169.43 mg AA eq/100 g으로 비슷한 수준으로 높게 나타났다. 따라서 앞선 연구의 총 폴리페놀 함량과 비슷한 경향으로 DPPH radical scavenging 활성이 봄과 가을에 낮고, 여름과 겨울에 높게 나타났다. 이러한 결과는 감잎 추출물과 싸리속 식물 methanol 추출물의 폴리페놀 화합물이 증가할수록 DPPH radical scavenging 활성이 높다는 연구결과와 일치한다(Yoo & Jeong 2009, Kim 등 2010). 제주에서 재배된 보검선인장 줄기의 ABTS radical scavenging 활성 또한 유의적 차이는 없었으나, 2월에 101.83 mg AA eq/100 g Ex로 가장 높게 나타났고, 4월에 63.60 mg AA eq/100 g Ex로 가장 낮게 나타났다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 ABTS radical scavenging 활성은 75.98~93.24 mg AA eq/100 g으로 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 상대적으로 봄과 가을에 각각 75.98과 78.61 mg AA eq/100 g으로 비슷한 수준으로 낮게 나타났으며, 여름과 겨울에는 각각 85.54와 93.24 mg AA eq/100 g으로 비슷한 수준으로 높게 나타났다. 이처럼 채취시기별 보검선인장 줄기의 DPPH와 ABTS radical scavenging 활성이 다른 경향으로 나타났는데, 이는 보검선인장 줄기의 다양한 화합물들이 과산화물의 분해, 전이금속 이온과의 결합, 연쇄반응 개시의 방지 등 항산화 물질들의 다양한 작용 기작에 의

한 것으로 사료된다(Lee 등 2008).

### 3. 항당뇨 활성 평가

섭취된 음식물은 소화과정을 통해 다당류가 단당류로 분해되어 혈당이 높아지게 된다. 이러한 고혈당 상태에서 인슐린과 인슐린 수용체의 결합으로 포도당이 세포내로 이동하게 되어 혈당이 정상수치로 낮아져야 하는데, 인슐린의 부족(1형 당뇨병)이나 인슐린 저항성(2형 당뇨병)으로 인해 고혈당으로 유지되는 상태를 당뇨병이라고 한다(Kim 등 2010). 인슐린과 관계없이 고혈당을 억제하기 위해 소장에서 이당류를 단당류로 분해하는 효소인  $\alpha$ -glucosidase를 억제시켜 혈당을 낮추는 기전을 활용하였다(Kim 등 2006). 따라서 채취시기에 따른 보검선인장 줄기의 항당뇨 활성 평가는 yeast  $\alpha$ -glucosidase 와 rat  $\alpha$ -glucosidase inhibition을 평가하여 Fig. 2와 같이 나타냈다. 제주에서 재배된 보검선인장 줄기의 yeast  $\alpha$ -glucosidase 억제율은 10 mg/mL의 농도에서 19.06~1.93%로 나타났으나, 이는 대조군인 acarbose의 억제율이 1 mg/mL의 농도에서 55.74%로 나타난 것보다 낮은 활성이다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 yeast  $\alpha$ -glucosidase 억제활성은 29.45~.27%로 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 상대적으로 봄에 29.45%로 가장 낮은 억제활성이 나타났고, 가을과 겨울에 각각 56.27과 54.35%로 비슷한 수준으로 높은 억제활성이 나타났다. 보검선인장 줄기의 rat  $\alpha$ -glucosidase 억제율은 25 mg/L의 농도에서 28.07~5.65%로 나타났으나, 이는 대조군인 acarbose의 억제율이 10 mg/mL의 농도에서 62.75%로 나타난

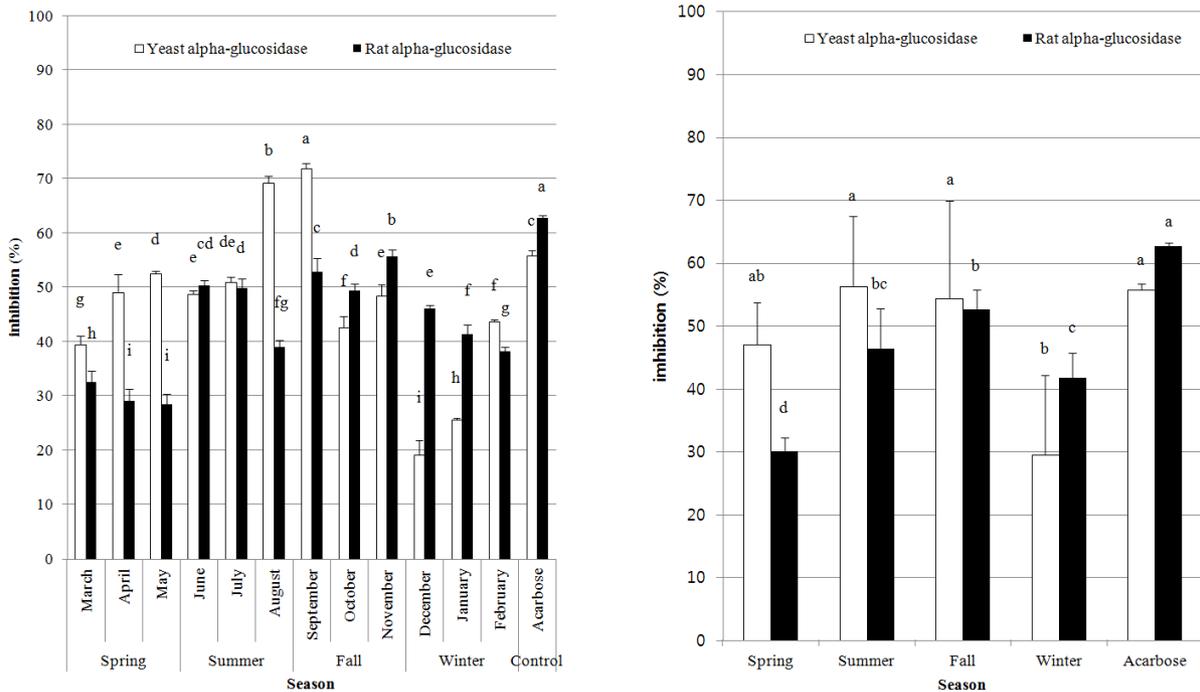


Fig. 2. Antioxidant activities of stem from *Opuntia ficus-indica* at harvest time.

것보다 낮은 활성이다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 rat  $\alpha$ -glucosidase 억제활성은 33.26~7.63%로 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 상대적으로 봄에 30.00%로 가장 낮은 억제 활성이 나타났고, 여름, 가을, 겨울에는 각각 46.34와 52.62, 41.81%로 비슷한 수준으로 높은 억제 활성이 나타났다. 비슷한 연구로, 천년초 줄기 주정 추출물은 1 mg/mL 농도에서 rat  $\alpha$ -glucosidase 억제 활성이 25%로 나타났다는 연구(Lee 등 2014)와 재배지역별 보검선인장 줄기 에탄올 추출물의 rat  $\alpha$ -glucosidase 억제 활성이 대조군인 acarbose가 0.1 mg/mL 농도에서 69.75% 저해활성을 보인 반면, 1 mg/mL에서 전남과 제주의 보검선인장 줄기의 억제 활성이 29.72~45.73%, 10 mg/mL에서는 68.91~78.51%로 농도에 따른 저해 활성의 차이를 보인 연구가 보고되어 있다(Lee 등 2016). 따라서 보검선인장 줄기 추출물의  $\alpha$ -glucosidase 저해 활성은 재배지역, 추출시기별의 시료와 추출물의 제조방법 등에 의해 다양하게 나타날 수 있으며, 이번 연구의 수치 차이는  $\alpha$ -glucosidase 효소의 기원에 따른 차이로 사료된다.

#### 4. 항알츠하이머 활성 평가

알츠하이머는 주로 노화에 의해 뇌기능이 점진적으로 쇠퇴하는 퇴행성 뇌질환으로 대표적인 증상으로는 기억상실이 나타난다(Lim 등 2013). 알츠하이머의 발병원인은 정확하게 규명되지 않았으나, 산화 스트레스, 콜린성 신경계의 변

화, amyloid plaque 생성 등의 여러 원인에 의해 유발된다고 보고되고 있다(Chae 등 2012). 특히 알츠하이머의 대표적 증상인 기억력 감퇴현상은 Cyole 등(1983)과 Talesa(2001)에 의해 콜린성 신경전달물질과 밀접한 관련이 있다고 보고되었다. 아세틸콜린(acetylcholine: ACh)은 cortical 뉴런을 활성화시켜 학습과 기억에 필수적인 역할을 하는데 대뇌 피질에 존재하며, 주로 신경 스냅스 접합부에 발견되는 Acetylcholinesterase(AChE)는 아세틸콜린을 아세테이트와 콜린으로 가수분해시켜 신경전달을 종결시킨다(Hwang 등 2016). 따라서 알츠하이머의 인지기능을 개선하거나, 진행을 늦추기 위해 AChE 저해제로 아세틸콜린의 분해를 막아 아세틸콜린의 효능을 높이는 기전을 활용했다. 하지만 최근에는 Greig NH (2001)과 Giacobini E 등(2002)에 의해 뇌의 교세포에 주로 위치하는 Butyrylcholinesterase(BChE) 억제제가 알츠하이머 환자의 인지능력 향상과 관련 있다고 보고되어 AChE과 함께 BChE 모두 알츠하이머에 중요한 요인으로 보고 있다. 따라서 채취시기에 따른 보검선인장의 항알츠하이머 활성 평가는 AChE와 BChE 억제 활성을 평가하여 Fig. 3과 같이 나타냈다. 제주에서 재배된 보검선인장 줄기의 AChE 억제 활성은 25 mg/mL의 농도에서 13.35~41.55%로 나타났으나, 이는 대조군인 beberine의 억제율이 0.3125 mg/mL의 농도에서 90.69%로 나타난 것보다 낮은 활성이다. 채취시기에 따른 보검선인장 줄기의 BChE 억제 활성은 25 mg/mL의 농도에서 34.61~59.53%로 나타났으나, 이는 대조군인 beberine의 억제율이 0.3125

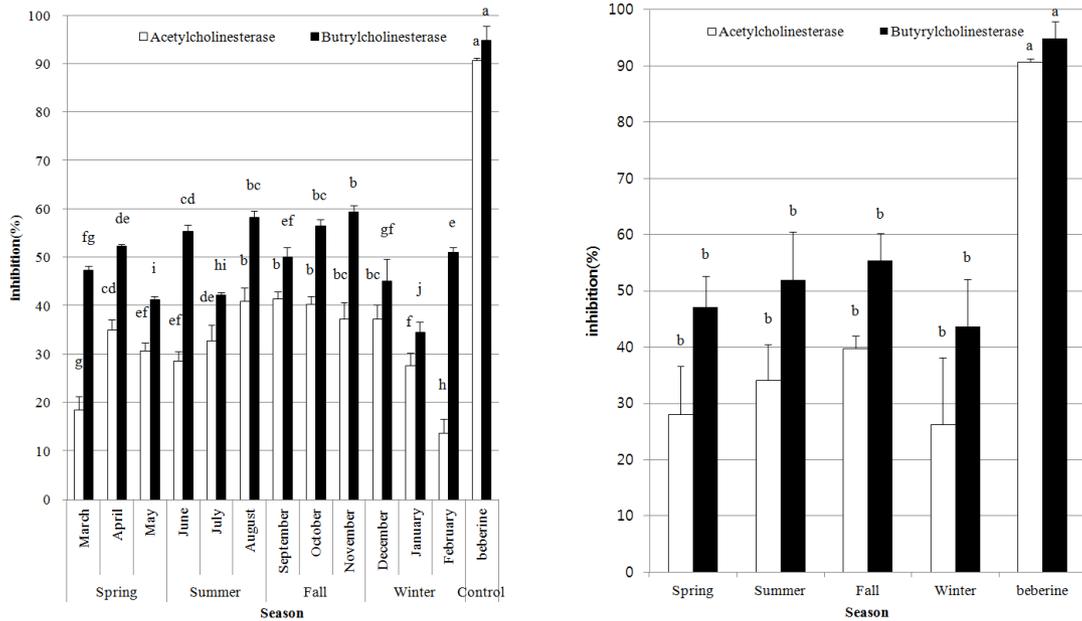


Fig. 3. Anti-alzheimer activities of stem from *Opuntia ficus-indica* at harvest time.

mg/mL의 농도에서 94.88%로 나타난 것보다 낮은 활성이다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 AChE와 BChE 억제 활성은 각각 26.23~39.71%와 43.63~55.42%로 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 상대적으로 겨울에 각각 26.23과 43.63%로 가장 낮은 억제활성이 나타났고, 봄, 여름, 가을에 각각 26.36, 34.16, 39.71%와 47.06, 51.96, 55.42%로 점점 억제활성이 증가하여 나타났다. 비슷한 연구로 백년초 80% 에탄올 추출물의 AChE과 BChE의 억제활성은 15.6, 62.5, 250, 1,000 mg/mL의 농도에서 각각 26.1, 34.5, 39.0, 39.3 nM 타크린 당량과 14.6, 15.9, 17.6, 25.7 nM 타크린 당량으로 백년초 추출물이 항알츠하이머 활성이 있다고 보고되었다(Hwang 등 2016). 하지만 보검선인장 줄기의 어떤 성분이 항알츠하이머 효과가 나타나는지에 관한 연구가 부족하므로, 추후 항알츠하이머 활성과 관련된 보검선인장의 활성성분에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

**요약 및 결론**

본 연구는 제주지역에서 시기별로 채취한 보검선인장 줄기의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량, 항산화 활성(DPPH radical과 ABTS radical scavenging 활성), 항당뇨 활성(yeast 와 rat α-glucosidase 억제 활성), 항알츠하이머 활성(AChE 와 BChE 억제 활성)을 평가하여, 제품화를 위한 기초 자료로 제공하고자 하였다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 각각 19.64~22.59 μg gallic acid/mg Ex와 3.46~4.47 μg (+)-catechine/mg Ex로 나타났으며,

DPPH radical과 ABTS radical 억제 활성은 각각 154.61~176.75 mg AA eq/100 g과 75.98~93.24 mg AA eq/100 g으로 계절에 따른 함량의 차이는 나타나지 않았다. 수확계절별 보검선인장 줄기의 yeast α-glucosidase 억제활성은 10 mg/mL에서 29.45~56.27%이며, rat α-glucosidase 억제활성은 25 mg/mL 농도에서 33.26~47.63%로 나타났고, AChE과 BChE 억제활성은 25 mg/mL에서 각각 26.23~39.71%와 43.63~55.42%로 나타나, 수확계절에 따른 항당뇨 및 항알츠하이머 활성의 차이나 나타나지 않았다. 따라서 채취시기에 따라 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량, 항산화, 항당뇨, 항알츠하이머 활성의 차이가 나타났으나, 그 차이가 크지 않게 활성이 나타나, 제주에서 채취한 보검선인장의 줄기는 시기에 상관없이 건강기능식품의 소재로 활용이 가능할 것이라고 사료된다.

**감사의 글**

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0116440-12017)의 지원에 의해 이루어진 것임.

**References**

Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical, *Nature* 181:1199-1200  
 Butterweck V, Semlin L, Feistel B, Pischel I, Bauer K, Verspohl EJ. 2011. Comparative evaluation of two different *Opuntia ficus-indica* extracts for blood sugar lowering effects in rat.

- Phytother Res* 25:370-375
- Chae YB, Chung KT, Kim SG, Yoo BH, Kim MM. 2012. Effect of *Curcuma longa* hot water extract on activity of neuronal cells related to oxidative stress. *J Life Sci* 22:657-664
- Cho JS, Lee YS. 2007. Neuroprotective and antioxidant effects of the butanol fraction prepared from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Biomol Ther* 15:205-211
- Coyle JT, Price DL, DeLong MR. 1983. Alzheimer's disease: A disorder of cholinergic innervation. *Science* 219:1184-1190
- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:4959-4964
- Dok-Go H, Lee KH, Kim HJ, Lee EH, Lee JY, Song YS, Lee YH, Jin CB, Lee YS, Cho JS. 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
- Ellman GL, Courtney KD, Andres V, Featherstone RM. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol* 7:88-95
- Galati EM, Monforte MT, Tripodo MM, d'Aquino A, Mondello MR. 2001. Antiulcer activity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae): Ultrastructural study. *J Ethnopharmacol* 76:1-9
- Giacobini E, Spiegel R, Enz A, Veroff AE, Cutler NR. 2002. Inhibition of acetyl- and butyryl-cholinesterase in the cerebrospinal fluid of patients with Alzheimer's disease by rivastigmine: correlation with cognitive benefit. *J Neural Transm* 109:1053-1065
- Greig NH, Utsuki T, Yu Q, Zhu X, Holloway HW, Perry TA, Lee B, Ingram DK, Lahiri DK. 2001. A new therapeutic target in Alzheimer's disease treatment: Attention to butyryl-cholinesterase. *Curr Med Res Opin* 17:159-165
- Hong JJ, Ahn TH. 2005. Changes in phytochemical compounds and hazardous factors of spinach by blanching methods. *Korean J Food Sci Technol* 37:268-273
- Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Hong JT, Hwang BY, Jung JK, Lee J, Jeong HS. 2011. Isolation and characterisation of an  $\alpha$ -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
- Hwang JS, Im S, Lee I, 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
- 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
- Kim DJ, Kim JM, Kim TH, Baek JM, Kim HS, Choe M. 2010. Anti-diabetic effects of mixed extracts from *Lycium chinense*, *Cordyceps militaris*, and *Acanthopanax senticosus*. *Korean J Plant Res* 23:423-429
- Kim KW, Kim JB, Kim SY, Kim SG, Kim JR, Kim TH. 2012. 2012 Nationwide survey on the epidemiology of Korea. Seoul: Korea Ministry of Health & Welfare
- Kim MJ, Ahn JH, Choi KH, Lee YH, Hong EK, Chung YS. 2006. Effects of pine needle extract oil on blood glucose and serum insulin levels in *db/db* mice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35:321-327
- Kim SM, Jung YJ, Pan CH, Um BH. 2010. Antioxidant activity of methanol extracts from the genus *Lespedeza*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:769-775
- Kwon MC, Han JG, Jeong HS, Qadir SA, Choi YB, Ko JR, 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 BB, Park SR, Han CS, Han DY, Park EJ, Park HR, Lee SC. 2008. Antioxidant activity and inhibition activity against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase of *Viola mandshurica* extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:405-409
- 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 SH, Jeong YS, Hwang KA, Noh GM, Hwang IG. 2016. Chemical composition and physiological activity of *Opuntia ficus-indica* depending on different cultivation regions. *Korean J Food Nutr* 29:521-528
- Lee SH, Hwang IG, Kim HY, Lee HK, Lee SH, Woo SH, Lee JS, Jeong HS. 2010. Physicochemical property and antioxidant activity of Daehak Waxy corn with different harvest time. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:719-724
- Lee YC, Pyo YH, Ahn CK, Kim Sh. 2005. Food functionality of *Opuntia ficus-indica* var. cultivated in Jeju Island. *J Food Sci Nutr* 10:103-110
- Li T, Zhang XD, Song YW, Liu JW. 2005. A microplate-based screening method for  $\alpha$ -glucosidase inhibitors. *Nat Prod Res*

- Dev* 10:1128.1134
- Lim JO, Yu JB, Kwon JY, Byun HG, Huh JS, Cho WJ. 2013. Development of sugar sensitive drosophila cell based ISFET sensor for Alzheimer's disease diagnosis. *J Sensor Sci Tech* 22:281-285
- Lim MH, Hong SJ. 2016. Availability of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* stem extracts as a natural preservative. *Asian J Beauty Cosmetol* 14:449-461
- Lim S, Kim DJ, Jeong IK, Son HS, Chung CH, Koh G, Lee DH, Won KC, Park JH, Park TS, Ahn JH, Kim JT, Park KG, Ko SH, Ahn YB, Lee IK. 2009. A nationwide survey about the current status of glycemic control and complications in diabetic patients in 2006 - The committee of the Korean diabetes association on the epidemiology of diabetes mellitus. *Korean Diabetes J* 33:48-57
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control & Prevention. Korea Health Statistics 2012: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES), 2013
- Ncibi S, Othman MB, Akacha A, Krifi MN, Zorgui L. 2008. *Opuntia ficus-indica* extract protects against chlorpyrifos-induced damage on mice liver. *Food Chem Toxicol* 46:797-802
- 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 Biol Med* 26:1231-1237
- Seo YH, Han CH, Lee JM, Choi SM, Moon KD. 2012. Effects of *Opuntia ficus-indica* extracts on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on fresh-cut apples. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:1009-1013
- Statistics Korea. 2012. Estimated Future Population, 2013
- Talesa VN. 2001. Acetylcholinesterase in Alzheimer's disease. *Mech Ageing Dev* 122:1961-1969
- Um MY, Ha TY, Seong KS, Kim YS. 2013. *In vitro* screening of the acetylcholinesterase inhibition, antioxidant activity, and neuronal cell protective effect of medicinal plant extracts. *Korean J Food Preserv* 20:840-845
- UN, Profiles of Ageing 2013, UNDESA, 2014
- Yoo KH, Jeong JM. 2009. Antioxidative and antiallergic effect of persimmon leaf extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:1691-1698
- 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 16 October, 2017  
 Revised 26 October, 2017  
 Accepted 17 November, 2017