

## Antioxidant activities of commonly used *Brassica* spp. sprout vegetables in Korea

Gi-Hae Shin<sup>1</sup>, Young-Jun Lee<sup>1</sup>, Jae-Hwan Kim<sup>1</sup>, Young-Hyun Kim<sup>1</sup>,  
Dan-Bi Kim<sup>1</sup>, Jong Seok Lee<sup>1</sup>, Jeong-Ho Lim<sup>2</sup>, Ok-Hwan Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>2</sup>Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

### 국내 다소비 십자화과 새싹채소 추출물의 항산화 활성

신기해<sup>1</sup> · 이영준<sup>1</sup> · 김재환<sup>1</sup> · 김영현<sup>1</sup> · 김단비<sup>1</sup> · 이종석<sup>1</sup> · 임정호<sup>2</sup> · 이옥환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 식품생명공학과, <sup>2</sup>한국식품연구원

#### Abstract

*Brassica* spp. vegetables have been known to have biological activities such as anti-cancer and anti-inflammatory activities. In this study, we investigated the in vitro physicochemical characteristics and antioxidant activities of commonly used *Brassica* spp. sprout vegetables such as kohlabi (*Brassica oleracea* var. *gongyloides*), red radish (*Raphanussativus* L. var. *sativus*), broccoli (*B. oleracea* var. *italica*), cabbage (*B. rapavar. glabra* Regel), rape (*B. napus*), radish (*R. sativus*), and tatsoi (*B. campestris* var. *narinosa*) sprouts. Our results showed that the vegetables with the highest total phenolics contents were the radish sprout (24.40±1.24 mg TAE/g) and kohlabi sprout extracts (23.97±0.46 mg TAE/g). Furthermore, the vegetable with the highest total flavonoid content was the radish sprout extract (15.30±1.35 mg CE/g). However, the kohlabi sprout extract showed the highest DPPH radical scavenging value (IC<sub>50</sub> = 1.95 mg/mL) and ORAC value (79.03 mM TE/g). In addition, the six kinds of *Brassica* spp. sprout vegetable extracts, except tatsoi, significantly inhibited the reactive oxygen species (ROS) production and showed that intracellular oxidative stress is closely related to the accumulation of differentiated adipocytes and fat during the adipogenesis of 3T3-L1 preadipocytes. These results suggest that *Brassica* spp. sprout vegetables, especially kohlabi and radish sprout extracts, can be used to develop natural antioxidants.

**Key words** : *Brassica* spp. vegetable, sprout extract, antioxidant, ROS, total phenol content

#### 서 론

새싹채소는 짧은 기간 동안 종자에서 발생하는 싹을 키워 생육 초기의 어린 배축과 떡잎을 식용으로 하거나, 숙근 초 등의 뿌리나 줄기를 문어 움을 트게 하여 그 싹을 식용으로 하는 채소(1)로 우리나라에서 예로부터 즐겨 먹었던 콩나물이나 무순, 숙주나물과 같은 싹기름 채소도 넓은 의미로 새싹채소로 포함할 수 있다(2). 최근 well-being이라는 추세로 인해 콜라비(*Brassica oleracea* var. *gongyloides*), 적무(*Raphanus sativus* L. var. *sativus*), 브로콜리(*B. oleracea*

var. *italica*), 배추(*B. rapa* var. *glabra* Regel), 유채(*B. napus*), 무순(*R. sativus*) 및 다채(*B. campestris* var. *narinosa*) 등의 다양한 십자화과 새싹채소들이 주목 받고 있으며, 소비량도 점차 증가하고 있다(1,2).

십자화과 채소는 꽃이 십자 모양으로 피는 식물들로, 이들은 β-carotene, rutin과 같은 phenolic compounds와 섬유소, 각종 비타민류를 풍부하게 함유하고 있다(3). 또한 새싹채소는 그 생육기간이 짧아 농약을 사용하지 않아 다른 채소에 비해 농약오염에 대한 걱정을 줄일 수 있고, 깨끗한 물로만 키우는 환경 친화적인 기능성 청정채소로서, 연중 신선한 채소를 필요한 시기에 먹을 수 있으며, 채소 자체 내 다량의 효소를 함유하고 있어 소화가 잘 되는 특징이 있다(4,5). 특히, 새싹이 돋아나는 시기에는 두꺼운 껍질과 배아

\*Corresponding author. E-mail : loh99@kangwon.ac.kr  
Phone : 82-33-250-6454, Fax : 82-33-259-5565

속에서 안전하던 씨앗이 수분과 온도가 주어지면서 싹이 트는데, 이때 식물은 성장과 생명유지에 필요한 영양소를 다량 합성하게 되며, 곰팡이, 박테리아 등 외부의 적으로부터 자신을 보호하는 목적으로 이차대사산물을 생산한다(6).

Fahey 등(7)의 연구에서, 브로콜리에 함유된 항암물질인 sulforaphane의 함유량은 다 자란 브로콜리 보다 새싹에서 40배 이상 많이 함유되어 있다는 사실이 보고되면서 새싹 채소에 대한 관심이 높아졌다. 하지만 다양한 종류의 십자화과 새싹채소에 대한 항산화활성 및 지방세포 내 reactive oxygen species(ROS) 소거활성에 대한 연구는 아직 초기단계에 머물러 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 다소비 되는 십자화과 새싹채소 7종(콜라비, 무순, 배추, 적무, 브로콜리, 다채 및 유채)의 *in vitro* 항산화활성과 3T3-L1 전지방세포에서 ROS 생성 저감 활성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 추출물 제조 및 시약

본 연구에서 사용한 십자화과 새싹채소인 콜라비, 적무, 브로콜리, 배추, 유채, 무순 및 다채는 한국식품연구원으로부터 제공받아 사용하였다. 이들 새싹채소의 항산화활성 평가를 위하여 다음의 방법에 따라 추출물을 제조하였다. 동결건조 후 분쇄된 새싹채소의 100배에 해당하는 80% 에탄올을 가한 후, 실온에서 18시간 이상 일정 속도로 교반하여 추출하였다. 그 후 추출액은 여과지(Whatman filter paper No. 4)를 이용하여 2회 여과한 후 하루 동안 정치시킨 뒤 다시 한 번 여과하였다. 그 후 회전식 감압농축기(EYELA N-000, Tokyo, Japan)를 이용하여 농축시킨 뒤, 동결건조기(FD5510 SPT, Ilshin, Seoul, Korea)를 이용하여 동결건조 하여 추출물을 제조하였다.

마우스 유래 지방세포 3T3-L1 세포주는 American type culture collection(ATCC, CL-173, Manassas, VA, USA)로부터 분양받아 사용하였다. 실험에 사용된 시약인 folin & ciocalteu's phenol reagent, sodium nitrite, aluminium chloride, sodium hydroxide, catechin, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), potassium persulfate, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid(Trolox), 2,2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride(AAPH), 3-isobutyl-1-methylxanthine(IBMx), nitrotetrazolium blue chloride(NBT), dexamethasone(DEX), quercetin, ascorbic acid, gallic acid, N-acetyl-L-cysteine(NAC), trichloroacetic acid(TCA), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt(ABTS), potassium ferricyanide, sodium carbonate, 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine(TPTZ), potassium persulfate, insulin, acetic acid 등은 Sigma(sigma-aldrich Co.,

St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였고, Dulbecco's modified Eagle's medium(DMEM), bovine serum(BS), fetal bovine serum(FBS), phosphate-buffered saline(PBS), penicillin-streptomycin(P/S) 및 trypsin-EDTA는 Gibco(Gaithersburg, MD, USA)로부터 구입하였으며, XTT{2,3-bis(2-methoxy-4-nitro-5-sulfophenyl)-2H-tetrazolium-5-carboxanilide inner salt} assay kit는 WelGene(Seoul, Korea)로부터 구입하였고, fluorescein sodium salt는 Junsei(Junsei Chemical Co., Tokyo, Japan)로부터 사용하였다.

### 총 페놀 함량 분석

총 페놀 함량은 Folin-Ciocalteu의 방법(8)을 변형하여 측정하였다. 1 mg/mL의 농도로 제조한 시료 1 mL, 10% Folin-Ciocalteu's reagent 1 mL과 2% sodium carbonate 용액 1 mL을 혼합하여 1시간 반응 시킨 후 microplate reader(Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. Tannic acid를 이용하여 표준검량선을 작성하였고, 이로부터 시료의 총 페놀 함량(mg tannic acid equivalent/g)을 산출하였다.

### 총 플라보노이드 함량 분석

총 플라보노이드 함량 측정은 Moreno 등(9)의 방법을 변형하여 측정하였다. 1 mg/mL의 농도로 제조한 시료 1 mL에 4 mL의 double distilled water(DDW)와 0.3 mL의 5% sodium nitrite를 첨가하여 5분간 반응 하였다. 0.3 mL의 aluminum chloride를 첨가하고 6분간 반응시킨 후 1 M의 sodium hydroxide 2 mL을 넣었다. DDW로 총 부피를 10 mL로 맞춘 후 microplate reader를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 catechin을 사용하였으며, 시료의 총 플라보노이드 함량은 작성된 표준곡선을 이용하여 catechin에 상응하는 양(mg catechin equivalent/g)으로 환산하였다.

### DPPH radical 소거능 측정

DPPH free radical 소거능은 Abdille 등(10)의 방법을 변형하여 시료의 항산화활성을 비교하였다. 시료 0.2 mL과 ethanol에 녹인 0.4 mM DPPH 시약 0.8 mL을 혼합 후 25°C 암소에서 10분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 다음 식에 의하여 DPPH free radical 소거능을 나타내었다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left[ 1 - \left( \frac{A_{\text{Experiment}}}{A_{\text{Control}}} \right) \right] \times 100$$

### Oxygen radical absorbance capacity(ORAC)

동결건조 된 7종의 새싹채소 추출물을 75 mM phosphate

buffer(pH 7.4)에 녹여 peroxy radical의 생성과 소멸에 의한 fluorescent의 감소율을 측정하였다. Peroxy radical의 생성을 위해 AAPH를 사용하였고, 표준물질로 trolox를 사용하여 Ou 등(11)의 방법을 응용하여 ORAC value를 평가하였다. Black well plate에 시료 25  $\mu$ L와 40 nM fluorescein 150  $\mu$ L를 첨가하고 측정 직전에 37°C에서 15분간 정치하고 150 mM AAPH 25  $\mu$ L를 첨가한 후 fluorescence microplate reader(Spectramax GEMINI EM, Molecular Devices)를 이용하여 485 nm에서 전자여기 후 535 nm에서 방출되는 조건으로 37°C에서 90분간 3분마다 fluorescence의 감소율을 측정하였다. 표준물질인 trolox를 이용하여 the area under the curve(AUC)를 구하고 이로부터 표준검량선( $y=1.1713x+0.266$ )을 작성하여 시료의 peroxy radical 저해능을 정량하였다.

### 세포독성평가

3T3-L1 지방세포에 대한 십자화과 새싹채소 추출물의 세포독성 평가는 Hanks와 Brent(12)의 방법을 변형하여 XTT assay kit를 이용하여 측정하였다. 3T3-L1 지방세포는 실험 전날  $1 \times 10^6$  cell 농도로 96-well plate에 seeding 하고 시료를 100  $\mu$ g/mL 농도로 처리하여 24시간 동안 37°C CO<sub>2</sub> incubator에서 배양하였다. 그 후 XTT 및 PMS(N-Methylphenazonium methyl sulfate) reagent를 37°C에서 완전히 해동 시켜 1 mL의 XTT와 20  $\mu$ L의 PMS reagent를 혼합하여 working solution을 조제하였다. 이를 96-well medium 부피의 20%가 되는 양 만큼을 각각의 well에 첨가하여 혼합하였다. CO<sub>2</sub> incubator에서 4시간 동안 배양 후, microplate reader를 이용하여 690 nm 흡광도 값에서 450 nm의 흡광도 값을 뺀 결과 값으로 세포독성을 계산하였다.

### 3T3-L1 세포 배양 및 분화

3T3-L1 전지방세포는 24-well plate에 각각  $1 \times 10^6$  seeding 한 후, BS(10%) 및 P/S(1%)를 함유한 High glucose DMEM (89%)에서 100% confluence 될 때까지 CO<sub>2</sub> incubator에서 배양하였다. 2일 후 지방세포 분화유도 물질(10  $\mu$ g/mL insulin, 1  $\mu$ M DEX, 0.5 mM IBMX)과 FBS(10%) 및 P/S(1%)를 함유한 DMEM으로 전지방세포를 지방세포로 분화유도 하였다. 지방세포 분화(day 0)시 DMEM에 새싹채소 7종 추출물을 각각 100  $\mu$ g/mL의 농도로 처리하였고, 이때 시료의 효과를 관찰하기 위하여 음성 대조군(negative control)에는 아무것도 처리하지 않았으며, 양성 대조군(positive control)에는 항산화제인 NAC(5 mM)를 처리하여 비교하였다. 지방세포의 분화는 분화유도 물질을 처리한 후, 2일마다 지속적으로 10  $\mu$ g/mL insulin, 1% P/S, 10% FBS가 함유된 배지에 각각의 시료를 처리하여 배양하였다.

### NBT assay를 이용한 ROS 함량 측정

분화 과정에 따른 지방세포의 ROS 생성량을 측정하기 위하여 먼저 24-well plate에 배양 및 분화 된 3T3-L1 세포의

배양액을 제거한 후 멸균된 PBS를 이용하여 2회 세척, 0.2% NBT reagent 0.2 mL를 첨가하여 CO<sub>2</sub> incubator 안에서 90분간 반응시킨 뒤 하루 정도 충분히 말린 plate에 DMSO와 1 N KOH를 7:3의 비율로 처리하고, 동량의 증류수를 추가하여 dark blue formazan을 모두 용출시켰다. 그 후 microplate reader를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 통계분석

모든 실험은 세 번 이상 반복하였으며, 결과의 통계처리는 SAS(9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 분석하였다. 유의성 분석은 one-way ANOVA 검정을 실시하고 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의성은  $p < 0.05$  수준에서 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량

페놀 화합물은 벤젠고리의 탄소에 phenolic hydroxyl (-OH)기가 결합되어 있는 물질이다. 페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물의 하나로서 다양한 구조와 분자량을 가진다. 페놀 화합물은 -OH기를 통한 수소 공여와 페놀 고리 구조의 공명 안정화에 의해 항산화활성을 가지며 항암 및 항균 효과 등의 생리활성을 가지는 것으로 알려져 있다(14-16). 페놀계 화합물 중 플라보노이드는 C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>의 기본골격을 가지고 있다. 과채류에는 anthocyanines, catechin, eicatechin, kaempferol, luteolin, myricetin, naringenin, phloridzin 및 quercetin 등 다양한 종류의 플라보노이드들이 존재한다.

본 연구에서 십자화과 새싹채소 7종 추출물의 총 페놀과 총 플라보노이드 함량을 분석 한 결과는 Table 1과 같다. 무순 추출물의 총 페놀 함량이 24.40 $\pm$ 1.24 mg TAE/g으로 가장 낮은 브로콜리 새싹 추출물(18.30 $\pm$ 0.80 mg TAE/g)에 비해 약 1.3배 높은 것으로 나타났다. 콜라비 새싹 추출물의 총 페놀 함량이 23.97 $\pm$ 0.46 mg TAE/g으로 높게 나타났으며 유채 새싹 추출물(22.17 $\pm$ 0.18 mg TAE/g), 적무 새싹 추출물(21.83 $\pm$ 0.34 mg TAE/g), 다채 새싹 추출물(20.68 $\pm$ 0.11 mg TAE/g), 배추 새싹 추출물(19.02 $\pm$ 0.51 mg TAE/g) 및 브로콜리 새싹 추출물 순으로 총 페놀 함량을 나타냈다. 총 플라보노이드 함량의 분석 결과, 무순 추출물이 15.30 $\pm$ 1.35 mg CE/g으로 가장 높은 결과를 나타냈고, 유채와 콜라비 새싹 추출물이 각각 13.34 $\pm$ 0.58 및 13.08 $\pm$ 0.37 mg CE/g으로 높은 값을 나타내었다. 총 페놀의 경우 무순과 콜라비 새싹 추출물이 유의적 차이가 없었지만 총 플라보노이드의 경우 무순 추출물이 유채와 콜라비 새싹 추출물 보다 유의적으로 높게 나타났다. 플라보노이드는 페놀성 화합물로, 시료간의 유

의성 차이가 비슷한 경향을 나타내는 경우가 많으며, 서양 민들레의 부위별 추출물의 총 페놀 함량과 총 플라보노이드 함량을 분석한 Chon 등(17)의 연구와 같이 두 함량 사이의 상관관계수( $R^2$ )가 0.9770( $p < 0.05$ )으로 매우 높아, 본 연구 결과와 유사한 경향을 보였다.

**Table 1. Total phenolic and total flavonoid contents of commonly used *Brassica* spp. sprout vegetables**

<i>Brassica</i> spp. sprout vegetables	Total phenolic contents (mg TAE/g)	Total flavonoid contents (mg CE/g)
<i>B. oleracea</i> var. <i>gongyloides</i>	23.97±0.46 <sup>a1)</sup>	13.08±0.37 <sup>b</sup>
<i>R. sativus</i> L. var. <i>sativus</i>	21.83±0.34 <sup>b</sup>	10.47±0.97 <sup>c</sup>
<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i>	18.30±0.80 <sup>c</sup>	10.34±0.77 <sup>c</sup>
<i>B. rapa</i> var. <i>glabra</i> Regel	19.02±0.51 <sup>d</sup>	10.74±1.50 <sup>c</sup>
<i>B. napus</i>	22.17±0.18 <sup>b</sup>	13.34±0.58 <sup>b</sup>
<i>R. sativus</i>	24.40±1.24 <sup>a</sup>	15.30±1.35 <sup>a</sup>
<i>B. campestris</i> var. <i>narinosa</i>	20.68±0.11 <sup>c</sup>	8.26±1.00 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Each bar represents the mean±SD of triplicate determinations, n=4. <sup>a-d</sup>Means not sharing a common letter are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple test.

### 항산화활성 측정

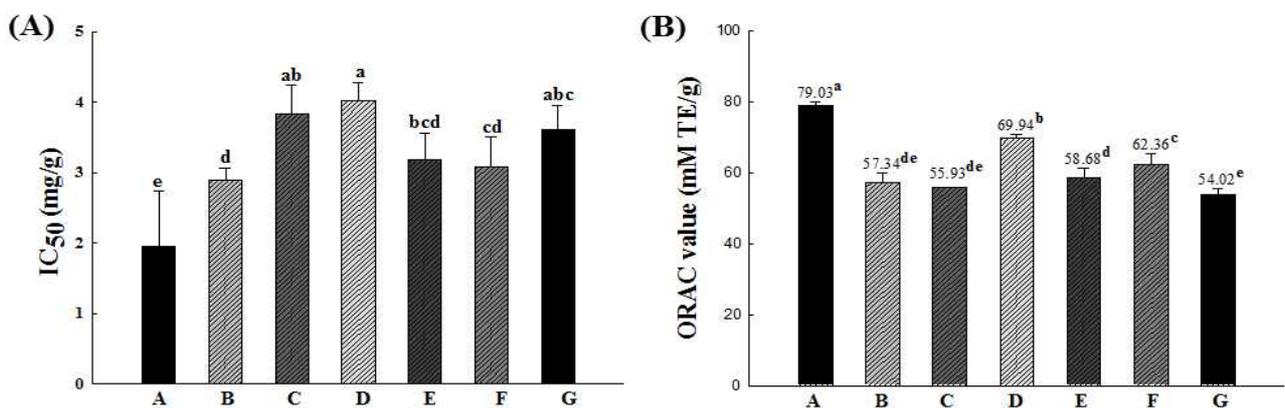
식품 내 구성성분의 항산화활성은 식품 내에 들어있는 항산화물질의 함량을 측정하여 산화에 대항하는 능력을 측정하거나, 식품의 섭취 후 생체 내부에서 얼마나 항산화활성을 갖는지에 대한 능력을 측정하여 알 수 있다(18,19). 이는 전자전달에 의한 항산화활성 측정법과 수소전자의 전달에 의한 항산화활성 측정법으로 나뉜다. 전자 전달에 의한 항산화활성을 측정하는 방법에는 대표적으로 DPPH radical 소거능 측정법이 있으며, ascorbic acid 및 tocopherol, polyhydroxy 방향족 화합물, 방향족 아민류에 의해 전자나 수소를 받아 환원되어 안정한 분자를 형성하게 될 때, 보라

색이 탈색되어지는 원리를 이용하여 다양한 천연소재로부터 항산화물질을 탐색하기 위해 많이 이용되고 있다. 비교적 짧은 시간 내에 간단하게 항산화능을 측정할 수 있어 널리 사용되고 있는 방법이다(20). 수소전자의 전달에 의한 항산화활성 측정법은 항산화물질의 free radical 소거능을 측정하는 방법으로, ORAC assay가 대표적인 예이다.

본 연구에서는 십자화과 새싹채소 7종 추출물을 이용하여 전자전달을 이용한 항산화활성 측정과 수소전자의 전달을 이용한 항산화활성 측정 두 가지를 함께 진행하여 새싹 7종 사이의 항산화활성을 비교·분석 하였다(Fig. 1). DPPH radical 소거능의 경우 각 시료의 소거능을 측정한 후 대조군의 흡광도를 50% 감소시키는데 필요한 시료의 농도 (inhibition concentration 50, IC<sub>50</sub>)로 나타내었다. 그 결과 콜라비 새싹 추출물(IC<sub>50</sub>=1.95 mg/mL)이 가장 높은 DPPH 라디칼 소거능을 보였고 적무(IC<sub>50</sub>=2.90 mg/mL)와 무순(IC<sub>50</sub>=3.09 mg/mL) 새싹 추출물 순으로 나타났다. ORAC value의 경우 콜라비 새싹 추출물이 79.03 mM TE/g으로 가장 높은 항산화활성을 나타내었고, 그 뒤로 배추 새싹 (69.94 mM TE/g), 무순(62.36 mM TE/g) 추출물의 순서로 나타났다. 이상의 결과를 볼 때, 콜라비 새싹 추출물의 경우 DPPH radical 소거능과 ORAC 효능 평가에서 모두 높은 항산화활성을 나타내었고, DPPH는 적무 새싹 추출물이, ORAC은 배추 새싹 추출물이 각각 두 번째로 항산화활성이 높게 나타났다. 무순 추출물 또한 DPPH radical 소거능과 ORAC 효능이 우수한 것으로 나타났다.

### 세포독성평가

3T3-L1 지방세포에 대한 새싹 7종의 세포독성은 Fig. 2와 같다. 100 µg/mL의 농도로 십자화과 새싹채소 7종 추출물을 처리한 후 실험을 진행한 결과, 다체를 제외한 6종에서는 독성이 나타나지 않았다. 다체의 경우 아무것도 처리하지 않은 control cell 대비 92.56%의 생존율을 보였다.



**Fig. 1. DPPH radical scavenging activity (A) and ORAC value (B) of *Brassica* spp. sprout vegetables.**

ORAC values expressed as trolox equivalents (mM TE/g). Each bar represents the mean±SD of triplicate determinations, n=3. <sup>a-d</sup>Means not sharing a common letter are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple test. A, *B. oleracea* var. *gongyloides*; B, *R. sativus* L. var. *sativus*; C, *B. oleracea* var. *italica*; D, *B. rapa* var. *glabra* Regel; E, *B. napus*; F, *R. sativus*; G, *B. campestris* var. *narinosa*.

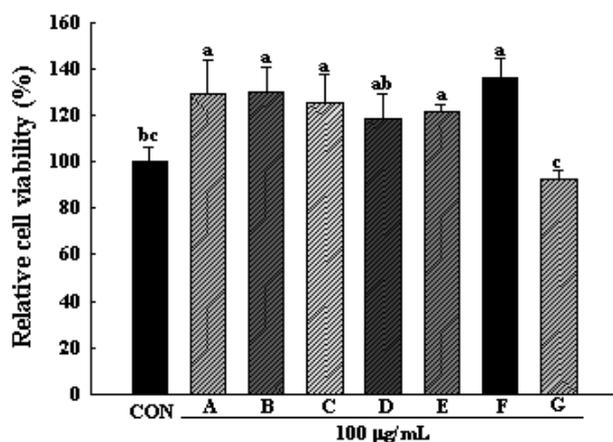


Fig. 2. Effect of *Brassica* spp. sprout vegetables on cell viability.

Cell viability was determined by XTT assay. Each value is the mean±SD of the results from five different plates (n=5) and is representative of results from at least two different experiments. Statistical analysis was performed by the one-way ANOVA ( $p < 0.05$ ). A, *B. oleracea* var. *gongyloides*; B, *R. sativus* L. var. *sativus*; C, *B. oleracea* var. *italica*; D, *B. rapa* var. *glabra* Regel; E, *B. napus*; F, *R. sativus*; G, *B. campestris* var. *narinosa*.

### ROS 생성 저감 효과

NBT assay는 NBT 용액이 지방세포 내에 축적된 reactive oxygen species(ROS)와 반응하여 dark blue formazan을 생성하게 되며, 이를 용출하여 세포 내 ROS의 생성량을 알 수 있다. 이러한 산화적 스트레스는 지방세포의 분화 및 지방의 축적과 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려져 있다(13,21). 3T3-L1 전지방세포에 분화 유도 물질을 처리하여 지방세포로 분화 시킨 뒤 생성된 ROS 생성량을 측정하기 위하여 NBT assay를 이용하여 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 양성대조군으로 사용된 NAC는 thiol기를 포함하는 화합물로서 glutathione(GSH)의 전구체이며 천연 항산화제 중 하나로 잘 알려져 있다(22). 시료를 처리하지 않은 대조군과 십자화과 새싹채소 7종 추출물의 흡광도를 비교한 결과 다채 새싹 추출물을 제외한 콜라비 새싹, 적무 새싹, 브로콜리 새싹, 배추 새싹, 유채 새싹 및 무순 추출물 6종에서 모두 ROS 생성을 저감하는 것으로 나타났다. 다채 새싹 추출물의 경우는 control과 유의적 차이가 없었다.

이상의 결과를 통해 지방세포의 분화과정에서 콜라비, 적무, 브로콜리, 배추, 유채 및 무순 추출물의 처리는 지방세포 내 ROS의 생성을 억제하는 것으로 나타났다. 세포 내 산화적 스트레스는 지방세포의 분화 및 지방의 축적과 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려져 있는데, 에너지대사 경로에 의해 생성된 NADPH는 NADPH Oxidase 4(NOX4)에 의하여 세포 내 superoxide를 생성한다. 이와 같이 지방세포 내에서 생성된 ROS와 세포가 분비하는 cytokine들은 새롭게 생성되는 전지방세포의 분화를 촉진시키고, 또한 체내에서 지방세포 주변에 위치한 macrophage에 영향을 미쳐 또 다른 ROS를 생성한다. 따라서 지방세포의 분화를 억제하는 물질은 ROS의 생성저감을 통한 지방의 축적량 감소에도 영향을 미칠 것으로 생각된다(13,21,23).

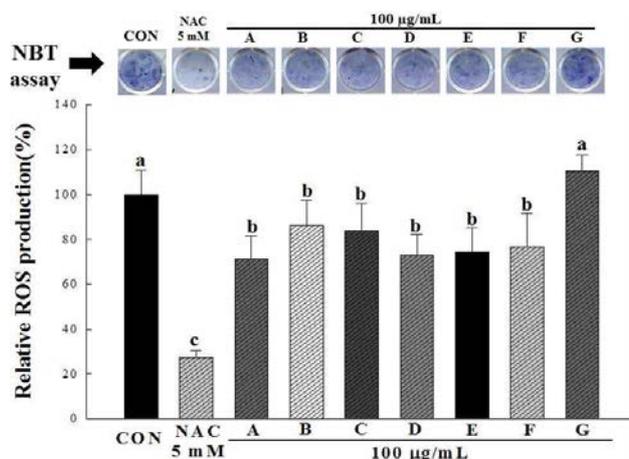


Fig. 3. Effect of *Brassica* spp. sprout vegetables on reactive oxygen species (ROS) production in 3T3-L1 cells during the adipogenesis.

CON, control cells which were differentiated with MDI; NAC, positive control cells which were differentiated with MDI in the presence of NAC. Each value is the mean±SD of the results from five different plates (n=6) and is representative of results from at least two different experiments. Statistical analysis was performed by the one-way ANOVA ( $p < 0.05$ ). A, *B. oleracea* var. *gongyloides*; B, *R. sativus* L. var. *sativus*; C, *B. oleracea* var. *italica*; D, *B. rapa* var. *glabra* Regel; E, *B. napus*; F, *R. sativus*; G, *B. campestris* var. *narinosa*.

### 요약

본 연구에서는 국내에서 다소비 되는 십자화과 새싹채소 7종(콜라비, 적무, 브로콜리, 배추, 유채, 무순 및 다채)의 항산화 및 지방세포 내 ROS 생성 억제 활성을 측정하였다. 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량을 측정된 결과, 총 페놀 함량은 콜라비 새싹과 무순 추출물이  $23.97 \pm 0.46$  mg TAE/g 및  $24.40 \pm 1.24$  mg TAE/g으로 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었고, 총 플라보노이드 함량은 무순 추출물이  $15.30 \pm 1.35$  mg CE/g으로 다른 새싹채소 추출물에 비해 높은 값을 나타내었다. DPPH radical 소거능과 ORAC value를 측정된 결과, 콜라비가 DPPH radical 소거능( $IC_{50} = 1.95$  mg/mL)과 ORAC value( $79,032.5$   $\mu$ M TE/g)에서 모두 항산화 능력이 뛰어난 것으로 나타났다. 한편, 다채를 제외한 새싹채소 추출물 6종 모두에서 세포 내 ROS 생성량을 감소시키는 효과를 확인하였다. 이상의 결과로부터, 십자화과 새싹채소 중 콜라비 새싹과 무순 추출물의 경우 항산화활성 및 지방세포 내 ROS 생성 억제 활성을 가지며, 천연물 유래 항산화 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국식품연구원 위탁연구 개발과제(과제번호:C1008688-01-02)로 수행한 연구의 일부로 이에 감사드립니다.

## References

1. Kim YJ, Park HT, Han HS (2006) A study on the production and marketing of sprouts and leaf vegetables. *Korea Rural Economic Ins*, 26, 5-6
2. Lee JS, Lee YS (2012) Effect of packaging methods on postharvest quality of tah tasai chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *narinosa*) baby leaf vegetable. *Korean J Food Preserv*, 19, 1-6
3. Kurilich AC, Tsau GJ, Brown A, Howard L, Klein BP, Jeffery EH, Juvik JA (1999) Carotene, tocopherol, and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. *J Agric Food Chem*, 47, 1576-1581
4. Khalil AW, Zeb A, Mahmood F, Tariq S, Khattak AB, Shah H (2007) Comparison of sprout quality characteristics of desi and kabuli type chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *LWT-Food Sci Technol*, 40, 937-945
5. El-Adawy TA (2002) Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods Hum Nutr*, 57, 83-97
6. Badshah A, Zeb A, Sattar A (1991) Effect of soaking, germination and autoclaving on selected nutrients of rapeseed. *Pakistan J Indus Res*, 34, 446-448
7. Fahey JW, Zhang Y, Talalay P (1997) Broccoli sprouts: an exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proc Natl Acad Sci*, 94, 10367-10372
8. Sato M, Ramarathnam N, Suzuki Y, Ohkubo T, Takeuchi M, Ochi H (1996) Varietal differences in the phenolic content and superoxide radical scavenging potential of wines from different sources. *J Agr Food Chem*, 44, 37-41
9. Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA (2000) Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol*, 71, 109-114
10. Abdille MH, Singh P, Jayaprakasha GK, Jena BS (2005) Antioxidant activity of the extracts from *Dillenia indica* fruits. *Food Chem*, 90, 891-896
11. Ou B, Huang D, Hampsch-Woodill M, Flanagan JA, Deemer EK (2002) Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *J Agric Food Chem*, 50, 3122-3128
12. Hanks T, Brent LA (2004) Comparison of cell viability on anorganic bone matrix with or without P-15 cell binding peptide. *Biomaterials*, 25, 4831-4836
13. Furukawa S, Fujita T, Shimabukuro M, Iwaki M, Yamada Y, Nakajima Y, Shimomura I (2004) Increased oxidative stress in obesity and its impact on metabolic syndrome. *J Clin Invest*, 114, 1752-1761
14. Xu XM, Jun JY, Jeong IH (2007) A study on the antioxidant activity of Hae-Songi mushroom (*Hypsizigus marmoreus*) hot water extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 36, 1351-1357
15. Droge W (2002) Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol Rev*, 82, 47-95
16. Halliwell B, Aeschbach R, Loliger J., Aruoma OI (1995) The characterization of antioxidants. *Food Chem Toxicol*, 33, 601-617
17. Chon SU, Bae CH, Lee SC (2012) Antioxidant and cytotoxic potentials of methanol extracts from *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. at different plant parts. *Korean J Plant Res*, 25, 232-239
18. Sarmadi BH, Ismail A (2010) Antioxidative peptides from food proteins: a review. *Peptides*, 31, 1949-1956
19. Serrano J, Goni I, Saura-Calixto F (2007) Food antioxidant capacity determined by chemical methods may underestimate the physiological antioxidant capacity. *Food Res Int*, 40, 15-21
20. Que F, Mao L, Zhu C, Xie G (2006) Antioxidant properties of Chinese yellow wine, its concentrate and volatiles. *LWT-Food Sci Technol*, 39, 111-117
21. Lee OH, Kwon YI, Hong HE, Park CS, Lee BY, Kim YC (2009) Production of reactive oxygen species and changes in antioxidant enzyme activities during differentiation of 3T3-L1 adipocyte. *J Korean Soc Appl Biol Chem*, 52, 70-75
22. Zafarullah M, L, WQ., Sylvester J, Ahmad M (2003) Molecular mechanisms of N-acetylcysteine actions. *Cell Mol Life Sci*, 60, 6-20
23. Yamashita A, Soga Y, Iwamoto Y, Asano T, Li Y, Abiko Y, Nishimura F (2008) DNA microarray analyses of genes expressed differentially in 3T3-L1 adipocytes co-cultured with murine macrophage cell line RAW264.7 in the presence of the toll-like receptor 4 ligand bacterial endotoxin. *Int J Obesity*, 32, 1725-1729