pISSN 1225-4339 eISSN 2287-4992
Korean J. Food Nutr. Vol. 28. No. 1, 1~8 (2015)
http://dx.doi.org/10.9799/ksfan.2015.28.1.001

THE KOREAN JOURNAL OF
한국식품영양학회지
FOOD AND NUTRITION

식물공장에서 재배한 브로콜리 새싹 용매 분획물의 항산화 활성

김 은 지 · †김 미 혜
호서대학교 생명보건과학대학 식품영양학과 및 기초과학연구소

Antioxidant Activity of Solvent Fraction from Broccoli Sprouts Cultivated at the Plant Factory System

Eun-Ji Kim and †Mi-Hye Kim
The Research Institute for Basic Sciences, Dept. of Food and Nutrition, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

Abstract

This study was designed to determine the antioxidant activity of solvent fractions of broccoli sprouts grown by controlling the growing environment at the plant factory system. Fractionation was achieved with chloroform, n-hexane, ethyl acetate, butanol, water by 70% EtOH extract of the broccoli sprouts. Each solvent fraction was put through TLC and HPLC to separate active components. Higher antioxidant activities were observed for the butanol and ethyl acetate layers. Further evaluation of each of the 5 layers (LH1 to LH5) of the butanol fraction showed that the refined LH3 extract had a high antioxidant effect. Components with similar Rf values from TLC had the same retention times and peaks in the HPLC analysis. It was also determined that the sulforaphane content was high at the chloroform and butanol layers and the sulforaphane was responsible for, the high antioxidant activity. Thus, to use for functional materials, the butanol extract/layer of broccoli sprouts is recommended as the most effective.

Key words: broccoli sprouts, solvent fraction, antioxidant activity, sulforaphane, plant factory

서 론

최근 현대인들의 생활환경 및 식생활 패턴 변화와 과도한 스트레스 등으로 인해 암, 심장 질환, 동맥경화, 고혈압 등과 같은 각종 만성 대사성 질환이 증가하고 있다. 이러한 질병의 원인 중 한 가지로 superoxide anion radical(O_2), hydroxy radical (OH), singlet oxygen($^1O_2$)과 hydrogen peroxide(H_2O_2) 등과 같은 활성산소가 제시되고 있다(Choi 등 2005; Yoon 등 2007). 또한 건강에 대한 관심 증가는 노화 억제와 질병의 원인인 활성산소를 감소시키는 항산화 물질에 대한 관심으로 확대되고 있다. 특히 천연 항산화 물질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 천연식물 추출물은 약리적 효능과 항산화 작용을 지닌 생리 활성 물질을 함유하고 있어 항산화 연구 재료로써 유용하다고 평가되고 있다(Ody P 1995). 이러한 천연 식물 중에서도 새싹 채소의 기능성에 대한 관심과 소비가 증가하고 있다.

브로콜리(*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck)는 십자화과 식물로 항산화 물질인 ascorbic acid, β-carotene, rutin, selenium, glutathione, quercetin, sulforaphane 등이 다량 함유되어 있어 암세포 증식 억제, 고혈압 예방, 심혈관 질환 예방 및 해독 효소의 유도 효과가 크다고 알려져 있다(Sok 등 2003; Lee & Park 2005; Kwon 등 2008). 브로콜리 생리 활성 물질 중 sulforaphane은 isothiocyanate의 화학 구조를 갖는 물질로 강력한 항산화 효과를 가진 glucosinolate가 소화 과정 중 myrosinase에 의해 가수분해되어 생성된다(Kjaer A 1960). Kim 등(1997)은 국내에서 생산되어 소비되는 20여 가지의 십자화과 채소 중에서 브로콜리에 sulforaphane이 가장 많다고 보고하였다. Sulforaphane은 발암물질로 전 처리한 생쥐의 유선에서 종양

† Corresponding author: Mi-Hye Kim, The Research Institute for Basic Sciences, Dept. of Food and Nutrition, Hoseo University, Asan 336-795, Korea. Tel: +82-41-540-9663, Fax: +82-41-548-0670 E-mail: Kimmihye92@hoseo.edu

발생을 억제하고(Gerhauser 등 1997), 전립선암의 예방에도 유효한 것으로 보고되었다(Brooks 등 2001). *In vitro* 실험에서 암 예방 효과뿐만 아니라, 헬리코박터에 대한 강력한 살균 효과가 있음이 밝혀졌다(Fahey 등 2002). 또한 sulforaphane은 Nrf2(NF-E2-related factor-2)의 핵 내로의 이동 및 antioxidant response element(ARE) 결합을 촉진함으로써 항산화 효소들의 발현을 유도한다고 보고되었다(Surh YJ 2003; Surh 등 2008).

지구온난화와 심각한 기후 변화는 농작물 수확량 감소로 이어지고 있어 안정적인 식량 확보 차원에서 식물공장 도입의 필요성이 증대되고 있다(Kang & Hong 2009). 식물공장 연구는 1950년대 이미 유럽에서 시작되었으며, 미국을 거쳐 일본에서 가장 활발히 진행되고 있으며, 농업기술과 IT, NT 등 차세대 산업기술을 융합한 형태로 다양한 이점을 지닌 차세대 농업혁명 기반으로 주목을 받고 있다. 식물공장에서 통제할 수 있는 조건 중 하나인 광원은 LED가 추천되고 있는데, 광파장을 조절하여 기능성 성분의 함량을 증가시킬 수 있다고 하였다(Nishimura 등 2006; TIIC 2009; Nozue 등 2010).

현재까지 식물공장에서 생산된 새싹 채소에 대한 연구는 주로 장미 등의 원예작물과 상추 등 경엽 채소들을 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있으며(Soh 등 2001; Yeo 등 2007; Um 등 2010; Lee 등 2011), 브로콜리에 관한 연구는 주로 자연조건에서 생산된 브로콜리의 생리 활성 효과 등을 보여주었다(Han 등 2008; Kim 등 2009; Lee 등 2009a; Lee 등 2009b; Cheng 등 2011). 또한 식물공장 시스템의 특정한 광파장에서 재배된 브로콜리에 대한 연구는 또한 매우 미미한 실정이며(Kim 등 2011), 생산된 브로콜리 새싹의 분획 용매에 따른 sulforaphane 함량에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 식물공장에서 대량 생산시스템에 의해 생산된 브로콜리 새싹이 건강기능식품과 식품 신소재로 산업적 이용이 가능하도록 하기 위한 연구의 일환으로 식물공장에서 재배한 브로콜리 새싹의 분획 용매에 따라 항산화 효과를 분석하고, 항산화 물질인 sulforaphane 함유량을 확인하고자 하였다. 이를 통하여 식물공장 생산 시스템을 활용한 고기능성 생리 활성 브로콜리 새싹 생산체계 구축을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 브로콜리 새싹은 (주)미스바알텍의 식물공장에서 430~460 nm 파장 범위의 LED 청색 광원을 발아 2일(암조건), 4일 동안 하루에 10시간씩 조사시켰으며, 온도범위는 21~23℃, 습도는 45~60%로 조절하여 브로콜리 새싹을 재배하였다. 이 브로콜리 새싹을 저온열풍건조기 60℃에서 24시간 동안 건조하였고, 전 처리된 브로콜리 새싹은 200 mesh로 분쇄하여 분리 · 동정 후 분석시료로 사용하였다. 광원과 건조방법에 따른 재배방법에 대한 실험은 이전의 연구에서 실시하였던 방법 중 가장 활성이 우수했던 방법을 택하여 실시하였다(Kim MH 등 2013). 분쇄한 브로콜리 새싹에 70%의 EtOH을 10배 넣고, 실온에서 24시간 침지하여 3회 반복하여 추출액을 얻었으며, 이 추출액을 여과지를 사용해 여과한 다음 감압 농축기를 이용하여 농축한 후 사용하였다.

2. 분획 방법

건조된 브로콜리 새싹을 70% EtOH 용매를 가하여 shaking incubator(NB-205V.N-Biotek INC. Korea)에서 12시간씩 3회 반복 추출하였다. 추출된 시료는 여과(Whatman No.2) 후 감압농축(Rotary evaporator N-1,000, EYELA)한 다음 $CHCl_3$, hexane, EtOA, BuOH, water에 의해 순차적으로 분획하여 각종 분석에 사용하였다.

3. 항산화 활성 분석

1) 총 페놀성 화합물

추출물 1,000 ppm 농도 0.1 mL에 2% Na_2CO_3을 2 mL 가하고, 혼합하여 실온에서 30분 간 정치한 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 페놀성 화합물 정량을 위한 검량선은 catechin을 이용하여 0~1.0 mg/mL의 농도로 작성하였으며, 모든 과정은 3회 반복하였다(Bevenuti 등 2004).

2) SOD 유사 활성 측정

시험관에 tris-HCl buffer 3 mL, 0.2 mM pyrogallol 0.2 mL, 추출물 0.2 mL를 가하고 25℃에서 10분 방치한 후, 1 N HCl 1 mL를 첨가하여 반응을 정지시키고, UV 420 nm에서 흡광도를 측정하였다(Tsuda 등 1995).

$$\text{SOD-liked activity}(\%) = 100 - \left(\frac{A}{B} \times 100\right)$$

A: 시료 첨가군의 흡광도 B: 시료 무첨가군의 흡광도

3) 전자공여능(EDA) 측정

추출물 0.5 mL에 0.15 mM DPPH 용액 3.5 mL 가하여 잘 섞은 후, 517 nm에서 30분간 흡광도의 변화를 측정하여 다음과 같이 계산하여 나타내었다(Kang 등 2001).

$$\text{EDA}(\%) = 100 - \left(\frac{A}{B} \times 100\right)$$

A: 시료 첨가군의 흡광도 B: 시료 무첨가군의 흡광도

4) Hydroxyl radical 소거 활성 측정

시험관에 0.1 mM $FeSO_4$/EDTA 용액 0.2 mL, 10 mM 2-deoxyribose 0.2 mL, 추출물 0.1 mL와 0.1 M phosphate buffer (pH 7.4) 1.3 mL, 10 mM H_2O_2 0.2 mL를 가하고, 37℃ incubator에서 2시간 반응시킨 후 20% TCA(trichloroacetic acid)용액 1 mL를 가하여 100℃에서 15분간 가열한 후 급속히 냉각시켜 532 nm에서 흡광도를 측정하였다(Chung SK 1997).

$$\text{Hydroxyl radical scavenging activity}(\%) = \frac{B-A}{B} \times 100$$

A : 시료 첨가군의 흡광도 B : 시료 무첨가군의 흡광도

5) Hydrogen radical 저해 활성 측정

1 g의 lecithin을 chloroform 10 mL에 녹인 후 각 시험관에 100 μL씩 주입시킨 후 질소가스를 이용하여 용매를 완전히 제거한 추출물 0.1 mL와 Tris-KCl buffer(0.01 M Tris-HCl, 0.175 M KCl(pH 7.4)에 2 mM $FeSO_4$, 2 mM ascorbic acid를 첨가하여 혼합하고 37℃에서 30분간 incubating 후 과산화 지질을 TBARS법(2-thiobarbutric acid relative substance)으로 측정하였다(Muller HE 1985).

$$\text{Hydrogen radical scavenging activity}(\%) = \frac{A-B}{A} \times 100$$

A: 시료 첨가군의 흡광도 B: 시료 무첨가군의 흡광도

4. 활성물질 분리

브로콜리 새싹 추출물을 chloroform, n-hexane, ethyl acetate, butanol로 분획 후 활성이 우수했던 ethyl acetate 층과 butanol 층을 이용하여, Sephadex LH-20, 4×50 cm, methanol(0~100%)의 조건에서 용출하였다. 분취한 시료는 UV-vis spectrophotometer에 의해 흡수파장을 확인하였으며, 같은 파장의 분획물은 합쳐 LH1에서 LH5까지 나누었다.

5. TLC 분리

TLC 전개용매 및 기타시약은 특급 및 분석용 시약을 사용하였고, TLC plate는 Merck사의 precoated kieselgel 60 F_{254} (layer thickness 0.25 mm, 20×20 cm, Merck Art. No. 5715)를 사용하였다. TLC 전개조건은 ($CHCl_3$: BuOH : MeOH : H_2O : AcOH - 2 : 4 : 1 : 2 : 1, v/v/v/v/v), (BuOH : MeOH : water - 4 : 1 : 2, v/v/v), ($CHCl_3$: Hexane : BuOH : MeOH : water : AcOH - 4 : 2 : 2 : 2 : 1 : 0.5, v/v/v/v/v/v) 후 UV 254 nm, 334 nm에서

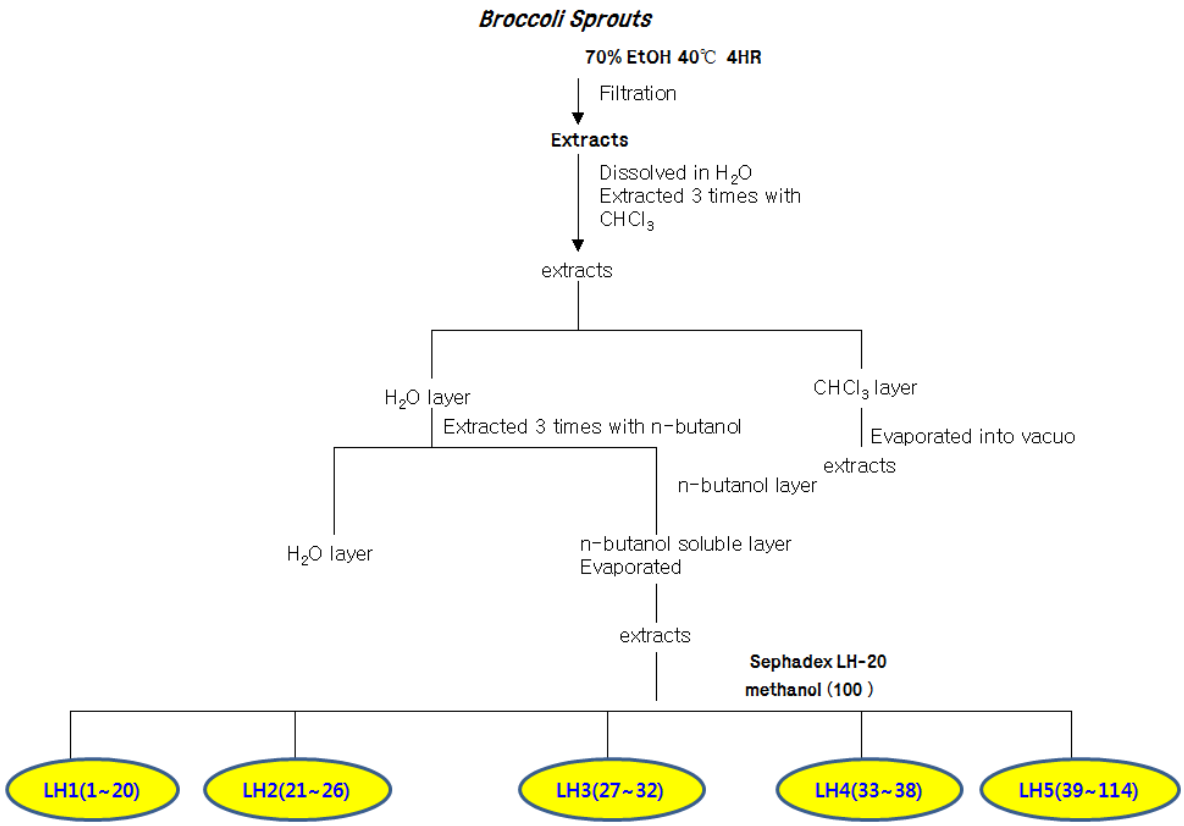

Fig. 1. Scheme of extraction and solvent fractionation of butanol extract from broccoli sprouts

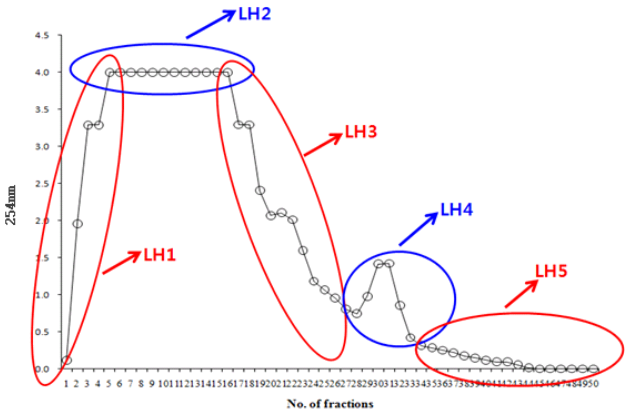

Fig. 2. The spectrum of Sephadex LH-20 subfractions by using UV-Vis spectrophotometer at 254 nm

확인하였고, 5% 황산 용액을 도포 후 발색하여 확인하였다. 그리고 동일한 Rf 값을 갖는 spot의 분획을 회수한 후, 감압 농축하여 5개의 소분획물(LH1~LH5)을 얻어 항산화 활성 실험을 하였다.

6. HPLC 분석

HPLC(High Performance Liquid Chromatography)는 Young-Rin Associates를 이용하였으며, mobile phase는 acetonitrile / water (20/80), 16 min(Gradient) - acetonitrile / water(60/40), 25 min acetonitrile / water(20/80)에서 μBondapak C_{18}(3.9×300 mm) 컬럼을 사용하였으며, flow rate는 0.8 mL/min였고, UV 254, 327 nm에서 측정하였다.

Table 1. Operating conditions of HPLC for analysis sulforaphane extracts

Items	Conditions
Instrument	Young-Rin Associates
Column	μBondapak C_{18} (3.9×300 mm)
Mobile phase	Initial step - acetonitrile / water (20/80), 16 min (Grediant) - acetonitrile / water (60/40) / acetonitrile / water (20/80)
Detecter	UV 254, 327 nm
Flow rate	0.8 mL/min

결과 및 고찰

1. 항산화 효과

발아채소는 본 잎이 나오기 전의 어린 떡잎 상태일 때가 유효한 생리 활성 물질의 생성량이 최대가 되며, 완전히 자란 식물에 비하여 4~100배 이상 많이 함유하고 있다고 알려져 있다(Yoon 등 2006). 일반적으로 폴리페놀과 같은 페놀계 물질은 식물에 존재하는 대표적인 항산화 물질이며, radical 소거 활성 및 금속이온 안정화 효과가 우수하다고 알려져 있다. 브로콜리 분획 추출물의 총 페놀 함량을 측정한 결과, EtOA (3.03 mg/ mL), BuOH(2.49 mg/mL), $CHCl_3$(1.62 mg/mL), water (1.15 mg/mL), hexane(1.05 mg/mL) 순으로 높게 나타났으며, Kim 등(2012)의 연구에서 맨드라미꽃의 메탄올 추출물은 총 페놀 함량이 BuOH(14.92 mg/mL), EtOA(9.96 mg/mL), $CHCl_3$ (6.62 mg/mL) 순으로 높게 나타나, 총 페놀 함량은 비극성 용매에서 그 함량이 높다는 것을 알 수 있었다. SOD 유사 활성은 EtOA(94.91%), BuOH(91.69%), $CHCl_3$(71.27%), water(50%), hexane(25%)의 순으로 높은 활성을 보였으며, Kim 등(2012)의 연구에서도 맨드라미꽃의 SOD 활성이 BuOH, EtOA 분획물에서 높게 나타났다. 전자공여능(EDA)은 EtOA(92.64%), BuOH (82.82%), $CHCl_3$(42.86%), water(21.06%), hexane(17.07%) 순으로 높게 나타났고, Kim 등(2012)의 연구에서도 BuOH과 EtOA의 활성이 높은 것으로 나타났다. Hydroxyl radical 소거능은 BuOH(91.08%), EtOA(89.59%), water(87.54%), hexane(86.10%), $CHCl_3$(85.76%) 순으로 높았으며, hydrogen radical 소거능은 water(71.40%), BuOH(71.37%), hexane(70.66%), EtOA(69.11%), EtOA(55.24%)의 소거능을 보였다. Lecithin oxidation는 water (71.40±0.139), BuOH(71.37±0.169), hexane(70.66±0.110), EtOA (69.11±0.050), $CHCl_3$(55.24±0.398) 순으로 나타났다. 일반적으로 ethyl acetone 또는 butanol로 추출하면 극성이 큰 플라보

Table 2. Antioxidant activity of broccoli sprout extracts fractionated from each solution

	Total phenolic acid contents(mg/mL)	SOD-liked activity(%)	EDA (%)[1)]	Hydroxyl radical scavenging(%)	Lecithin oxidation(%)
$CHCl_3$	1.62±0.006	71.27±0.579	42.86	85.76±0.127	55.24±0.398
Hexane	1.05±0.002	24.26±0.520	17.07	86.10±0.312	70.66±0.110
EtOA	3.03±0.002	94.91±0.122	92.64	89.59±0.026	69.11±0.050
BuOH	2.49±0.006	91.69±0.293	82.82	91.08±0.435	71.37±0.169
Water	1.15±0.002	50±1.414	21.06	87.54±0.320	71.40±0.139

[1)] EDA: Electron donating ability

노이드나 배당체 등이 추출되는 것으로 알려져 있다. Choi 등(2008)은 올리브잎의 생리 활성 연구에서 butanol 분획물에서 총 플라보노이드, 총 페놀 함량이 높게 측정되었다고 보고하였고, 이 결과는 본 실험의 결과와 일치하였다. 브로콜리 분획물들의 SOD 유사 활성 및 hydroxyl radical 소거능 또한 매우 높았고, 분획물에 따라 약간의 차이를 나타내었으나, 전자공여능이 다른 분획물보다 ethyl acetate와 butanol에서 높게 측정되었다. 따라서, 활성이 대체적으로 높은 butanol 분획층을 이용하여 open column chromatography, TLC 및 HPLC를 통해 활성 물질을 분리·정제하였다.

2. Sephadex LH-20에 의한 분획물의 항산화 측정

브로콜리 새싹 추출물로부터 항산화 활성이 높았던 butanol 층을 이용하여 정제된 물질을 동정하기 위해 Sephadex LH-20, Methanol(100) 조건에서 LH1~LH5까지의 subfractions을 얻어 각종 생리 활성 실험에 사용하였다. 브로콜리 정제 추출물의 총 페놀 함량을 측정한 결과, LH3(3.27 mg/mL), LH4(3.23 mg/mL), LH2(2.66 mg/mL), LH1(2.29 mg/mL) 순으로 나타났고, SOD 유사 활성은 LH2(96.90%), LH3(95.59%), LH1(95.34%), LH4(94.90%), LH5(94.04%) 순으로 높은 활성을 보였으며, 전자공여능은 LH2(90.70%), LH3(87.22%), LH1(81.08%), LH5(64.19%)로 나타났고, hydroxyl radical 소거능은 LH2(96.76%), LH3(96.62%), LH1(96.45%), LH4(96.42%), LH5(96.31%) 순으로 높은 소거능을 보였다. 페놀 화합물의 함량과 항산화 효과가 밀접한 관련이 있다는 보고와 비교하여 볼 때, 총 페놀 화합물의 함량이 높은 LH3 정제 추출물이 대체적으로 우수한 항산화 효과를 보여주었다.

3. TLC 분리

TLC 분석은 항산화 활성이 높았던 EtOA, BuOH 분획 추출

Table 3. Antioxidant activity contents of each fractions purified from broccoli sprouts glass column chromatogram

	Total phenolic acid contents (mg/mL)	SOD-liked activity	EDA (%)	Hydroxyl radical scavenging
LH1[1)]	2.29±0.002[2)]	95.34±0.273	81.08	96.45± 0.044
LH2	2.66±0.006	96.90±0.184	90.70	96.76± 0.076
LH3	3.27±0.008	95.59±0.211	87.22	96.62±20.036
LH4	3.23±0.009	94.90±0.330	83.43	96.42± 0.004
LH5	2.03±0.005	94.04±0.410	62.05	96.31± 0.004

1) Sephadex LH-20 subfractions
2) M ± S.D.

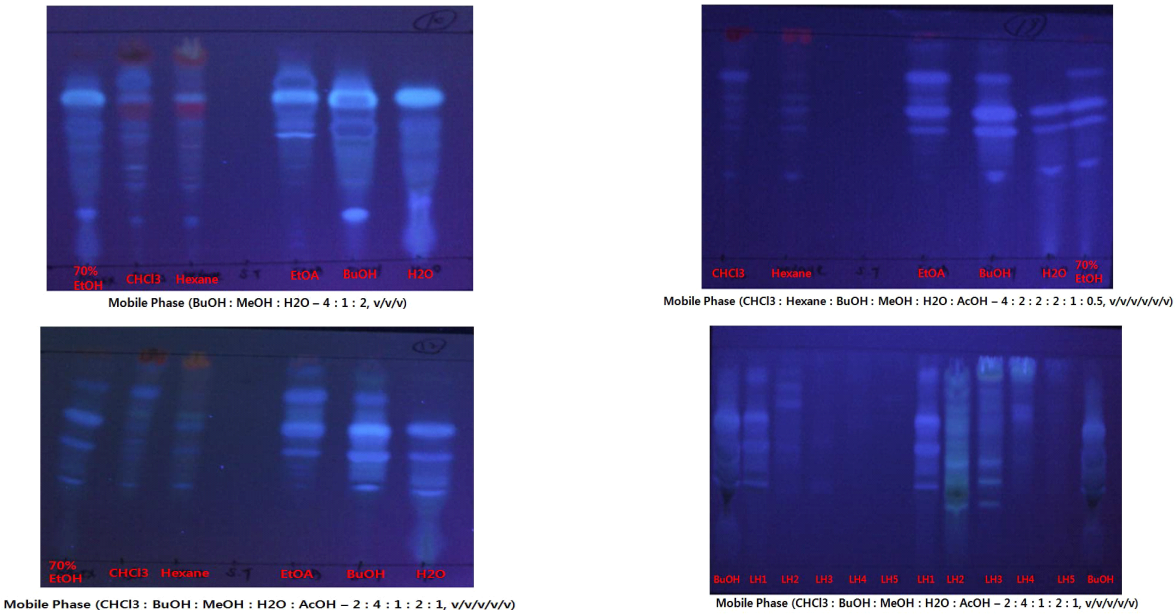

Fig. 3. TLC pattern of isolated fractions from n-butanol extract of broccoli sprouts

물을 가지고 (BuOH : MeOH : H_2O - 4 : 1 : 2, v/v/v), ($CHCl_3$: Hexane : BuOH : MeOH : H_2O : AcOH - 4 : 2 : 2 : 2 : 1 : 0.5, v/v/v/v/v/v), ($CHCl_3$: BuOH : MeOH : H_2O : AcOH - 2 : 4 : 1 : 2 : 1 v/v/v/v/v)을 전개 용매로 TLC를 실시하였다. TLC상의 spot은 UV-Lamp로 확인한 후 5% H_2SO_4로 각각 발색하여 확인하였다. TLC 결과, 모든 분획 추출물에서 공통적으로 Rf 값이 같은 동일선상의 물질로 확인되었다. 이 결과로부터 항산화 활성에 효과가 있는 물질일 것으로 사료되었다.

4. HPLC 분석 및 sulforaphane 함량 분석

HPLC 분석 결과, 각 분획추출물에서 같은 시간대에 동일 피크가 존재하는 것을 확인하였다. 이들 물질은 TLC 결과, 각 분획 추출물에서 공통적으로 Rf 값이 같은 동일선상의 물질과 동일할 것으로 사료되었다.

브로콜리 새싹 추출물의 용매 분획별 sulforaphane 함량을 분석한 결과, $CHCl_3$(56.76 mg/100 g), BuOH(49.16 mg/100 g), water(5.67 mg/100 g), EtOA(2.18 mg/100 g)의 순으로 높은 함량이 확인되었다. HPLC 분석결과, 처리방법과 추출용매에 따라 유효성분인 sulforaphane의 용출량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Choi JH(2004)는 SFE/HPLC를 이용하여 브로콜리의 sulforaphane 함량을 분석한 결과, 67.8 mg/100 g으로 나타났다. Kim 등(2009)에 따르면 생 브로콜리의 sulforaphane 함량은 꽃 부위에서는 147.8 mg/100 g, 줄기 부위에는 61.6 mg/100 g으로 측정되었다. 그러나 본 연구에서는 추출 용매를 분획하여 sulforaphane 함량을 분석한 결과, 각 층에서의 함량은 이전 연구결과보다 다소 낮게 측정되었다. Kim 등(1997)의 연구에 따르면 품종, 재배지역 등 시료에 따라 sulforaphane

Table 4. HPLC requirement $CHCl_3$, hexane, EtOA, BuOH, water layer

Items	Conditions
Instrument	Young-Rin Associates
Column	ß-Bondapak C_{18}(3.9×300 mm)
Moblie phase	Initial step-acetonitrile / water (20/80), 16 min (Gradient)-acetonitrile / water (60/40)
Detector	UV 254 nm
Flow rate	0.8 mL/min

Table 5. Sulforaphane contents of broccoli sprouts extract fractionated from each solution

Sample	Sulforaphane (mg/100 g)
$CHCl_3$	56.79
n-Hexane	-
EtOA	2.18
BuOH	49.16
Water	5.67

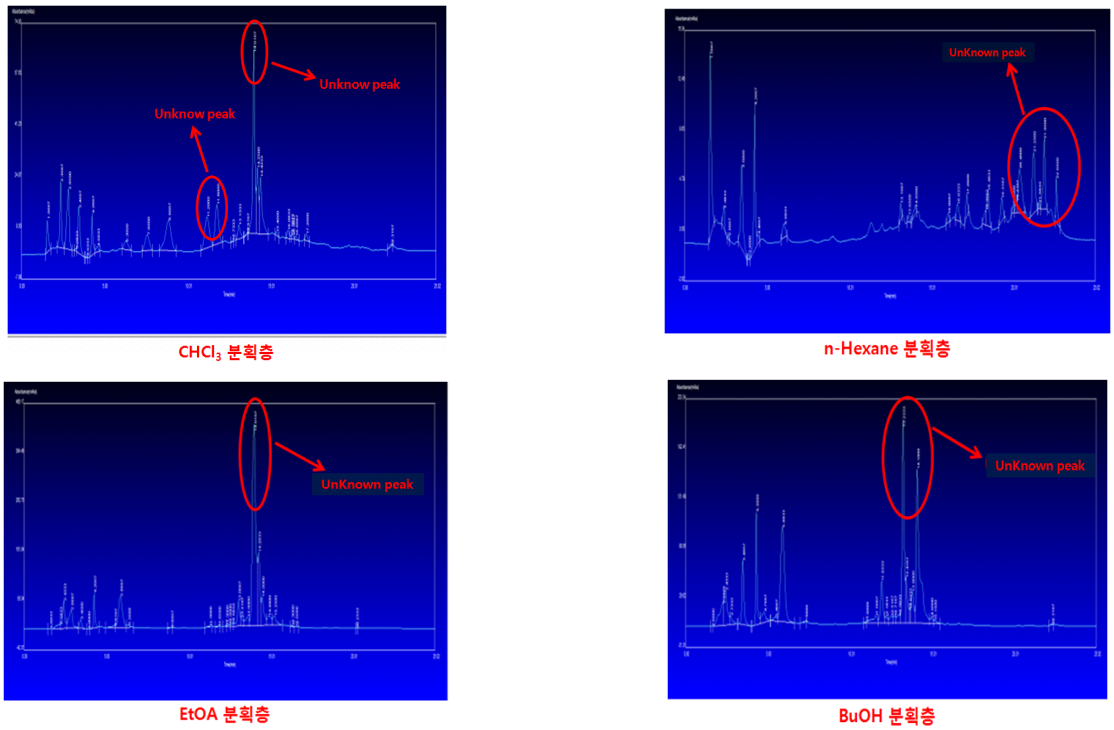

Fig. 4. HPLC analysis result

함량이 다르다는 연구가 보고되어, 결과의 차이가 있는 것으로 해석되었다.

요약 및 결론

발아채소는 완전히 자란 식물에 비하여 유효한 생리 활성 물질을 4~100배 이상 많이 함유하고 있어 주목을 받고 있는 항산화 물질 중 하나이다. 또한, 식량 확보 차원에서 식물공장 도입의 필요성이 증대되고 있어, 브로콜리 새싹을 식물공장에서 대량 생산시스템을 활용하여 재배하고 있다. 이를 분획 용매에 따라 항산화 효과를 분석하고, 항산화 물질인 sulforaphane 함유량을 확인하여, 이를 식물공장 생산 시스템에 활용하여 고기능성 생리 활성 브로콜리 새싹 생산체계 구축을 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

이에 본 연구는 식물공장에서 생육 환경을 조절하여 재배한 브로콜리 새싹의 70% EtOH 추출물을 chloroform, n-hexane, ethyl acetate, butanol, water의 용매로 분획하였고, 이 분획물로 총 페놀 함량, SOD 유사 활성, 전자공여능, 하이드록시 라디컬 유사 활성을 분석하여 항산화 활성을 알아보았다. 또한 용매를 분리하여 TLC와 HPLC 분석을 통해 활성물질을 확인하고, 이에 따른 함량을 분석하였다.

분획물의 항산화 활성을 비교한 결과, butanol과 ethyl acetate 층에서 높은 항산화 활성을 보였고, 이에 butanol 층을 대상으로 Sephadex LH-20에 분리하여 같은 파장을 나타내는 LH1에서 LH5까지 5개의 층으로 나누어 분석한 결과, LH3의 정제 추출물이 높은 항산화 효과를 가지고 있는 것으로 나타났다. 다시 분획물을 TLC로 분리한 결과, Rf 값이 동일한 물질로 발견되었고, HPLC 분석을 실시한 결과, 각 분획물에서 동일한 피크가 존재하였으며, 이 물질들은 TLC 분석 결과와 비교하였을 때 Rf값이 같은 물질일 것이라 생각되었다. 또한 sulforaphane 함량은 chloroform, butanol층에서 높은 것으로 나타나, butanol 층에서 항산화 활성을 나타내는 것이 sulforaphane 함량이 높은 것과 관련이 있을 것으로 생각된다.

따라서 브로콜리 새싹의 추출물이 체내 및 식품에서 유용한 기능성 소재로서 이용 가치가 높음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원(과제 번호: 111005-03-3-HD110)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

References

Bevenuti S, Pellati F, Melegari M, Bertelli D. 2004. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid and radical scavenging activity of rubus, ribes and aronia. *J Food Sci* 69:164-169

Brooks JD, Paton VG, Vidanes G. 2001. Potent induction of phase 2 enzymes in human prostate cells by sulforaphane. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 10:949-954

Cheng HC, Kim SM, Kim YH, Lee KS, Seo JH, Shim IS. 2011. Change of antioxidant content in broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 29:116-116

Choi JH. 2004. SFE/HPLC detection and quantitative changes during cooking process of sulforaphane in broccoli. Master's thesis, Chonnam National Univ. Gwangju. Korea

Choi NY, Lee JH, S HS. 2008. Antioxidant activity and nitrite scavenging ability of olive leaf (*Olea europaea* L.) fractions. *Korean J Food Sci Technol* 40:257-264

Choi Y, Ku JB, Chang HB, Lee J. 2005. Antioxidant activities and total phenolics of ethanol extracts from several edible mushrooms produced. *Korea Food Sci Biotech* 14:700-703

Chung SK. 1997. Hydroxyl radical-scavenging effects of spices and scavengers from brown mustard. *Biosci Biotech Biochem* 61:118-123

Fahey JW, Haristory X, Dolan PM, Kensler TW, Scholtus I, Stephenson KK, Talaly P, Lozniewski A. 2002. Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibioticresistant strains of *Helicobacter pylori* and prevents benzo [α]pyrene-induced stomach tumors. *Proc Natl Acad Sci USA* 99:7610-7615

Gerhauser C, You M, Liu J, Moriarty RM, Hawthorne M, Mehta RG, Moon RC, Pezzuto JM. 1997. Cancer chemopreventive potential of sulforamate, a novel analogue of sulforaphane that induces phase 2 drug-metabolizing enzymes. *Cancer Res* 57:272-278

Han YH, Lee GY, Soh HS, Lee YS, Cho IS, Park KY, Lim JW. 2008. Physiological activity effects of sulforaphane in broccoli. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 26:52-52

Kang HC, Hong SY. 2009. The evolution of agriculture that respond to climate change: Plants factories. *Seri Economy Focus* 225:1-25

Kang MH, Park CG, Cha MS, Seong ES, Chung HK, Lee JB. 2001. Component characteristic of each extract prepared by different extract methods from by-products of *Glycyrrhizia uralensis*. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 30:138-142

Kim HY, Ko JY, Song SB, Kim JI, Seo HI, Lee JS, Kwak DY, Jung TW, Kim KY, Oh IS, Jeong HS, Woo KS. 2012. Antioxidant activities of solvent fractions from methanolic

extract of cocksome (*Celosia cristata* L.) flowers. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:1502-1507

Kim JY, Park SH, Lee KT. 2009. Sulforaphane content and antioxidative effect of cooked broccoli. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life* 19:564-569

Kim MH, Kim TS, Kim EJ. 2013. Physicochemical and antioxidant properties of broccoli sprouts cultivated in the plant factory system. *Korean J Food Culture* 28:57-69

Kim MR, Lee KJ, Kim HY. 1997. Effect of processing on the content of sulforaphane of broccoli. *Korean Society of Food & Cookery Science* 13:422-426

Kim MR, Lee KJ, Kim JH, Sok DE. 1997. Determination of sulforaphane in cruciferous vegetable by SIM. *Korean J Food Sci Technol* 29:882-887

Kim TS, Lee SP, Park JY, Lee JY, Lee SY, Jun HJ. 2011. Physico-chemical properties of broccoli sprouts cultivated in a plant factory system with different lighting conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:1757-1763

Kjaer A. 1960. Naturally derived isohio cyanates (mustard oils) and their parent glucosides. *Fortschr Chem Org Naturst* 18:122-122

Kwon YD, Ko EY, Hong SJ, Park SW. 2008. Comparison of sulforaphane and antioxidant contents according to different parts and maturity of broccoli. *Kor J Hort Sci Technol* 26:344-349

Lee HS, Park YW. 2005. Antioxidant activity and antibacterial activities from different parts of broccoli extracts under high temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:759-764

Lee JG, Jang SW, Kim SY, Oh SS, Um YC, Kim JG, Choi JW, Kim WB. 2011. Growth and anthocyanin development of red leaf lettuce germplasms in plant factory system. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 29:63-64

Lee JJ, Lee YM, Kim AR, Lee MY. 2009a. Physicochemical composition of broccoli sprouts. *Korean J Life Sci* 19:192-197

Lee JJ, Shin HD, Lee YM, Kim AR, Lee MY. 2009b. Effect of broccoli sprouts on cholesterol-lowering and anti-obesity effects in rats fed high fat diet. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 38:309-318

Muller HE. 1985. Detection of hydrogen peroxide produced by microorganisms on an ABTS peroxidese medium. *Zentralblatt Bakteriol Mikrobiol Hyp A* 259:151-154

Nishimura T, Zobayed SMA, Kozai T, Goto E. 2006. Effect of light quality of blue and red fluorescentlamps on growth of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.). *J SHITA* 18:225-229

Nozue H, Shimada A, Taniguchi Y, Nozue M. 2010. Improving the productivity of plants using an LED light equipped with a control module. *J SHITA* 22:81-87

Ody P. 1995. Herbal insight: A close look at active constituents of medicinal herbs. Soaps, oils, fats and waxes. *Journal* 121:8-11

Soh JW, Sim MY, Lee YB. 2001. Effect of dissolved oxygen (DO) concentration of nutrient solution on growth and quality in plant factory. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 19:67-67

Sok DE, Kim JH, Kim MR. 2003. Isolation and identification of bioactive organosulfur phytochemicals from solvent extract of broccoli. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32:315-319

Surh YJ, Kundu JK, Na HK. 2008. Nrf2 as a master redox switch in turning on the cellular signaling involved in the induction of cytoprotective genes by some chemopreventive phytochemicals. *Planta Med* 74:1526-1539

Surh YJ. 2003. Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals. *Nat Rev Cancer* 3:768-780

TIIC, Technical Information Institute Co TD. 2009. Aplant Factory Business Strategy and the Latest Cultivation Technology. pp 451-478. TIIC, Tokyo, Japan

Tsuda T, Oshinori YF, Katsumi O, Yamamoto A, Kawakishi S, Osawa T. 1995. Antioxidative activity of tamarined extract prepared from the seed coat. *Nippon Shokuhin Kaishi* 42: 430-435

Um YC, Oh SS, Lee JG, Kim SY, Jang YA. 2010. The development of container-type plant factory and growth of leafy vegetables as affected by different light sources. *Journal of Bio-Environment Control* 19:333-342

Yeo KH, Cho YY, Lee YB. 2007. Shoot development of single-node cutting roses based on growing degree-days in a plant factory. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 24:127-127

Yoon MY, Kim JY, Hwang JH, Cha MR, Lee MR, Jo KJ, Park HR. 2007. Protective effect of methanolic extracts from *Dendrobium nobile* Lindl. on H_2O_2-induced neurotoxicity in PC12 cells. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 50:63-67

Yoon YH, Lee JG, Jeong JC, Ok HC, Kim CG. 2006. Effect of temperature and light on the antioxidative polyphenils contents in tatary buckwheat sprout. *Kor J Med Crop Sci* 14:378-379

Received 14 October, 2013
Revised 1 December, 2014
Accepted 5 December, 2014