

녹화 처리기간에 따른 황기, 석결명, 술패랭이꽃 및 질경이 새싹채소의 항산화 효과 변화

이철희, 신소림, 김나래, 윤성은, 김수인, 백설희, 황주광*

충북대학교 응용생명환경학부 원예과학과

Changes of Antioxidant Effects According to Greening Period of *Astragalus membranaceus* var. *membranaceus*, *Senna occidentalis*, *Dianthus longicalyx*, and *Plantago asiatica* Sprout Vegetables

**Cheol Hee Lee, So Lim Shin, Na Rae Kim, Sung Eun Yoon, Su In Kim, Seol Hee Baek
and Ju Kwang Hwang***

Dept. of Horticultural Science, Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju 361-763, Korea

Abstract - The potential use of 4 plant species, *Astragalus membranaceus* var. *membranaceus*, *Senna occidentalis*, *Dianthus longicalyx* and *Plantago asiatica*, as new sprout vegetables with high antioxidant function was examined in the present experiments. Seeds of above plants were allowed to germinate under light condition, and seedlings were maintained under dark condition for shoot growth in length for contain period of time. Then the seedlings were put under light for photosynthesis (greening treatment) for the period of 0~3 days. Samples were collected to analyze the changes in antioxidant levels and activity, and it was observed that antioxidant substances were affected by greening treatments, depending on plant species. In *A. membranaceus*, the contents of total polyphenol was highest with no greening, total flavonoids with 3 days greening, DPPH radical scavenging effects with no greening, ABTS scavenging with 1 day greening, Fe²⁺ chelating effects with no greening, and inhibitory activity against linoleic acid peroxidation with 3 day greening. In *S. occidentalis*, highest levels of antioxidant activity and radical scavenging effects were obtained by 2 day greening, Fe²⁺ chelating effects by no greening and inhibitory activity against linoleic acid peroxidation by 1 day greening. In *D. longicalyx*, highest levels of antioxidant activity and Fe²⁺ chelating effects were obtained by 2 day greening, Fe²⁺ chelating effects by no greening and inhibitory activity against linoleic acid peroxidation by 1 day greening. In *D. longicalyx*, highest levels antioxidant activity and Fe²⁺ chelating effects were observed with 3 day greening, and highest radical scavenging effects and inhibitory activity against linoleic acid peroxidation with no greening treatment. In *P. asiatica*, antioxidant activity and radicals scavenging effects were highest with 2 day greening, whereas highest chelating effects was obtained with no greening and highset inhibitory activity against linoleic acid peroxidation with 3 day greening. As the length of greening treatments influenced the antioxidant levels and function in plant species tested in this experiments, different culture methods are recommended for different plant species to get maximum health benefits out of sprout vegetables.

Key words - anti-lipid peroxidation, Fe²⁺ chelating, flavonoid compound, polyphenol compound, radical scavenging

서 언

새싹채소란 종자가 발아한지 10일 남짓의 어린 싹을 뜻한다. 종자는 적당한 수분과 온도 조건에 따라 발아하게 되

는데, 이 때 미생물 및 기타 환경요인으로부터 보호하기 위하여 다양한 생리활성물질을 생산하게 된다(Badshah 등, 1991). 새싹채소는 일반 채소 보다 크기가 작지만 발아에 의한 다양한 생리작용에 의하여 5~10배의 영양소를 지닌 것으로 알려져 있으며(Khalil 등, 2007), 아미노산, 탄수화물, 미네랄, 비타민 및 폴리페놀 등 건강 기능성 생리활

*교신저자(E-mail) : jkhwang@chungbuk.ac.kr

성물질의 함량이 높아 건강기능성 식품으로 인정받고 있다 (Feng, 1997). 또한 농약 없이 재배할 수 있는 환경친화적 청정채소이며, 세포벽이 얇아 함유된 영양소의 배출이 용이하여 인체 흡수가 빠른 장점이 있다(Khalil 등, 2007; El-Adawy, 2002).

유럽과 호주 등지에서는 새싹채소의 판매가 왕성하며, 시장규모도 200억 달러를 넘어섰다(Kuo 등, 1988; Lee와 Kim, 2008). 일본 또한 새싹채소 소비가 급증하고 있으며, 채소시장의 10~20%를 차지하고 있다(Lee와 Kim, 2008). 국내에서도 새싹채소에 대한 수요와 관심이 급속도로 증가하고 있으며(Lee 등, 2007b), 알파파, 브로콜리, 메밀, 녹두, 겨자, 무, 유채 등의 새싹채소(Park 등, 2007) 및 집에서 새싹채소를 재배할 수 있는 kit가 판매되고 있다. 그러나 새싹채소의 효능에 관한 연구가 미흡하며(Lee 등, 2007b), 판매되는 새싹채소의 종류도 적다. 따라서 다양한 새싹채소의 개발 및 각각의 효능에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에 사용된 황기는 콩과의 다년생 초본식물이며, 한방에서는 황기의 뿌리를 강장 등의 효능을 갖는 약재로 사용한다(Ahn, 2003). 황기는 기능성 생리활성이 매우 우수한 것으로 알려져 있으며, 항산화, 간기능 보호, 항바이러스, 항고혈압, 세포성장 및 면역증강작용 등 다양한 효능이 보고되어 있다(Xie 등, 2002; Rios와 Waterman, 1997). 석결명은 콩과의 1년초로서 약용식물로 재배한다(Lee, 1999). 석결명의 잎은 항말라리아 효과(Iwalewa 등, 2006)와 항산화 효과가 있으며, 갈슘과 마스네슘의 함량이 높다(Odhav 등, 2007). 또한 석결명의 뿌리는 구충, 이노 등의 효과가 있다(Lorenzi, 1991). 술패랭이꽃은 석죽과의 다년초로서 민간에서는 음건한 전초를 이노 및 통경제로 사용하며(Lee, 1999), 항균활성 및 항암활성이 우수한 것으로 알려져 있다(Kim 등, 1996). 질경이는 질경이과의 다년초로 종자는 차전자(車前子)라 하여 한약재로 사용하고 연한 잎은 나물로 한다(Lee, 1999). 질경이는 항염, 항균, 항종양 효과(Park, 1997), 간독성 해독작용(Chang, 1998), 만성퇴행성 질환 예방 및 치료효과(Park, 1997; Davidson 등, 1998) 등 다양한 약리효과가 있다.

새싹채소는 발아하여 자라는 동안 광, 온도, 습도 등의 환경요인 및 새싹채소 내부의 생리작용에 의하여 다양한 생리활성물질이 합성 또는 분해되어 그 함량이 변한다(Lee와 Kim, 2008). 새싹채소는 재배방법에 따라 콩나물, 숙주나물과 같이 암조건에서 재배하여 판매하는 것과 무순,

브로콜리순 등과 같이 명조건에서 녹화시켜 판매하는 것이 있다. 이는 새싹채소의 영양소와 효능을 고려한 재배방식이 아니라 전통적으로 전해진 재배방법에 의한 것이므로 광합성에 의한 새싹채소의 기능성 생리활성 변화에 관하여 연구할 필요가 있다.

본 연구는 식·약용 식물인 황기, 석결명, 술패랭이꽃, 질경이 새싹채소의 항산화활성에 관한 기초자료를 제시하고 광합성 정도가 항산화효과에 미치는 영향을 분석하여 항산화 기능성 새싹채소를 재배하기 위한 적정 재배방법을 구축하기 위하여 수행하였다. 암조건에서 재배한 각각의 새싹채소를 수확하기 전 0, 1, 2, 3일 동안 녹화시켜 광합성 정도에 따른 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 등의 항산화 물질 함량, radical 소거능, Fe²⁺ chelating 효과 및 지질과산화 억제활성 등의 항산화 효과를 분석하였다.

재료 및 방법

새싹채소 재배 및 추출

새싹채소의 재배는 Lee(2007)의 연구에서 밝혀진 방법으로 수행하였다. 각각 황숙기에 채종하여 정선한 황기, 석결명, 술패랭이꽃, 질경이의 종자를 4℃의 저온저장고에서 14, 2, 30, 11 개월 동안 저장한 다음 발아시켜 실험에 사용하였다. 각각의 종자는 2시간 동안 증류수에 침지한 후 70% 에탄올로 30초 동안 소독하여 치상하였다. 종자는 모두 명조건에서 발아시켰으며, 황기 종자는 15℃에서 6일, 석결명 종자는 25℃에서 12일, 술패랭이꽃 종자는 20℃에서 10일, 질경이 종자는 25℃에서 2일 동안 발아시켰다. 발아된 종자는 새싹채소의 길이생장을 촉진하기 위하여 암조건으로 옮겨 재배하였다. 황기 발아 종자는 30℃에서 4일, 석결명 발아 종자는 20℃에서 4일, 술패랭이꽃 종자는 25℃에서 10일, 질경이 발아종자는 25℃에서 9일 동안 재배하였다. 암조건에서 재배한 각각의 새싹채소는 동일 온도 조건에서 3일 더 재배하면서 40 μmol·m⁻²·s⁻¹ 광도의 명조건에서 0, 1, 2, 3일 동안 녹화 한 다음 수확하였다.

수확한 새싹채소는 동결건조기(FD8512, IIShin Lab. Co. Ltd., Korea)로 동결건조하였다. 건조 시료는 분쇄기(FM-681C, Hanil Electric., Korea)로 분쇄하였으며, 80% 에탄올 용매로 60℃에서 6시간 동안 환류냉각추출하였다. 추출액은 여과지(Advantec No. 2, Toyo Roshi Kaisha Ltd., Japan)를 사용하여 vacuum pump(GAST)로 감압

여과 하였으며, 질소 충전하여 -70°C (SW-UF-200, Samwon Engineering Co., Korea)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량

추출물 0.1 mL, 2% Na_2CO_3 2 mL를 혼합하고 3분 후에 1N Folin & Ciocalteu's phenol reagent(F9252, Sigma, USA)를 0.1 mL 첨가하여 실온에서 30분 동안 반응 시켰으며, UV/Visible Spectrophotometer(Ultrospec 4000, Pharmacia Biotech.)로 750 nm에서 흡광도를 측정하였다(Velioglu 등, 1998). Tannic acid(T0200, Sigma, China)를 표준물질로 검량선을 작성한 다음 건조시료 g당 총 폴리페놀 함량($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)을 tannic acid 기준으로 환산하였다.

총 플라보노이드 함량

추출물 0.2 mL, diethylene glycol(H26456, Sigma, USA) 2 mL, 1N NaOH 0.2 mL을 첨가하여 37°C 의 항온수조(VS-190CS, Vision Sci., Korea)에서 1시간 반응시킨 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다(NFRI, 1990). Naringin (N1376, Sigma, USA)을 표준물질로 검량선을 작성하여 건조시료 g당 총 플라보노이드 함량($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)을 naringin 기준으로 환산하였다.

DPPH radical 소거활성

4단계로 희석한 각각의 추출물 0.2 mL와 0.15 mM DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; D9132, Sigma, USA) 용액 0.8 mL을 혼합하여 실온 암상태에서 30분 동안 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다(Blois, 1958). DPPH radical 소거능(RC_{50})은 추출물 대신 80% 에탄올을 첨가한 대조군의 흡광도를 50% 감소시키는데 필요한 가용성 고형분의 농도($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)로 나타냈다. Radical 소거능을 비교하기 위한 양성 대조군은 BHT(2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol; B1378, Sigma, Germany)와 ascorbic acid(A5960, Sigma, China)를 사용하였다.

ABTS radical 소거활성

7.4 mM의 ABTS[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)diammonium salt; A9941, Sigma, USA]와 2.6 mM potassium persulfate를 혼합하여 실온 암소에서 24시간 동안 방치하여 radical을 형성시켰다. ABTS 용액은 실험 직전에 732 nm에서 흡광도가 $0.700 \pm$

$0.030(\text{mean} \pm \text{SE})$ 이 되도록 phosphate-buffered saline(pH 7.4)으로 희석하여 사용하였다. 농도별 추출물 50 μL 에 ABTS 용액 950 μL 를 첨가하여 암소에서 10분간 반응시킨 후 732 nm에서 흡광도를 측정하였다(Re 등, 1999). ABTS radical 소거능(RC_{50})은 추출물 대신 80% 에탄올을 첨가한 대조군의 흡광도를 50% 감소시키는데 필요한 가용성 고형분의 농도($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)로 나타냈다. Radical 소거능을 비교하기 위한 양성 대조군은 BHT와 ascorbic acid를 사용하였다.

Ferrous ion chelating 효과

각 시료의 50배 추출물 1 mL, 80% 에탄올 0.8 mL, 2 mM $\text{FeCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (iron(II) chloride tetrahydrate; 220299, Sigma, USA) 용액 0.1 mL, 5 mM ferrozine [3-(2-Pyridyl)-5,6-diphenyl-1,2,4-triazine-4',4''-disulfonic acid; P5338, Sigma, USA] 용액 0.1 mL를 순서대로 첨가하여 혼합한 다음 실온에서 10분간 반응시켜 562 nm에서 흡광도를 측정하였다(Yen 등, 2002). Chelating 효과는 아래의 수식에 따라 산출하였다. 각 시료의 chelating 효과를 비교하기 위하여 $0.05 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 농도의 EDTA(ethylene-diaminetetraacetic acid; E5134, Sigma, USA)를 양성 대조군으로 사용하였다.

$$\text{Chelating activity (\%)} = (1 - A / B) \times 100$$

A: 시료 첨가군의 흡광도, B: 용매 첨가군의 흡광도

지질과산화 억제활성

지질과산화 억제활성은 ferric thiocyanate(FTC) 방법으로 실험하였다(Haraguchi 등, 1992). 가용성 고형분 농도를 $0.125 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 조절한 시료 0.5 mL, 99.9% 에탄올에 녹인 2.51% linoleic acid(L1376, Sigma, USA) 0.5 mL, 0.05M phosphate buffer(pH 7.0) 1 mL, 증류수 0.5 mL를 갈색병에 첨가하여 반응액을 조성하여 40°C 암소에 저장하여 실험에 사용하였다. 4일 간격으로 반응액 0.1 mL, 75% 에탄올 2.7 mL, 30% ammonium thiocyanate(221988, Sigma, USA) 0.1 mL, 20 mM ferrous chloride(iron(II) chloride tetrahydrate; 220299, Sigma, USA) 0.1 mL를 순서대로 첨가하고 정확히 3분 후에 500 nm에서 흡광도를 조사하여 산화 정도를 측정하였다. 양성 대조군은 추출물 대신 BHT를 동일 농도로 반응액을 조성하여 실험하였다. 지질과산화 억제율은 아래와 같이 구하였으며, 경과일수에 따른 시료의 지질과산화 억제율을 그래프로 나타냈다.

$$\text{지질과산화 억제율 (\%)} = (1 - A / B) \times 100$$

A: 추출물이 첨가된 반응물의 흡광도, B: 추출물 대신 용매가 첨가된 반응물의 흡광도

통계분석

모든 실험은 3반복을 1회로 하여 3회 반복 실시하였다. 통계처리는 SAS 프로그램(ver. 9.1; SAS Institute Inc.)을 이용하여 분석하였다. 평균과 표준오차를 표기하였으며, $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range tset로 녹화 기간에 따른 새싹채소의 항산화능을 비교하였다.

결과 및 고찰

녹화기간에 따른 추출 효율 변화

녹화기간을 달리하여 재배한 황기, 석결명, 술패랭이꽃, 질경이 새싹채소를 환류냉각추출한 결과 녹화 기간에 따라 건조시료 1 g에서 추출할 수 있는 가용성 고형분의 함량이 각기 다르게 나타났다(Table 1). 콩과의 황기와 석결명 새

싹채소는 암조건에서만 재배했을 때 추출수율이 가장 높았다. 그러나 석죽과의 술패랭이꽃과 질경이과의 질경이 새싹채소는 1일 녹화 했을 때 추출 수율이 가장 우수하였다.

항산화 물질 함량

황기, 석결명, 술패랭이꽃 및 질경이 새싹채소의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드의 함량은 녹화기간에 의하여 통계적으로 유의하게 변화하였으며, 종에 따라 녹화기간이 항산화 물질 함량에 미치는 영향이 달랐다(Table 2). 녹화기간을 달리한 황기, 석결명, 술패랭이꽃, 질경이의 새싹채소 중 2일 녹화한 석결명 새싹채소에서 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드의 함량이 가장 높았다.

황기의 총 폴리페놀 함량은 암조건에서 재배했을 때 가장 높았으며, 3일 녹화 했을 때 보다 총 폴리페놀 함량이 1.36배 높았다. 그러나 총 플라보노이드 함량은 녹화 3일 처리구에서 가장 높았으며, 0일 녹화 처리구에 비하여 2.66배 높았다.

녹화 기간을 달리한 석결명 새싹채소의 총 폴리페놀 함

Table 1. Soluble solids contents of sprout vegetables according to different greening period

Scientific name	Korean name	Greening period ^z (days)	Soluble solids (g·g ⁻¹ DW)
<i>Astragalus membranaceus</i> Bunge var. <i>membranaceus</i>	황기	0	0.232±0.001 a ^y
		1	0.211±0.001 b
		2	0.222±0.002 ab
		3	0.222±0.011 ab
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link.	석결명	0	0.353±0.006 a
		1	0.334±0.003 a
		2	0.220±0.012 c
		3	0.268±0.016 b
<i>Dianthus longicalyx</i> Miq.	술패랭이꽃	0	0.214±0.006 d
		1	0.315±0.002 a
		2	0.227±0.004 c
		3	0.292±0.001 b
<i>Plantago asiatica</i> L.	질경이	0	0.155±0.003 b
		1	0.191±0.009 a
		2	0.146±0.005 b
		3	0.107±0.004 c

^zGreening treatment under light intensity of 40 μmol·m⁻²·s⁻¹, after growing under dark condition.

^yValues are mean±SE and mean separation within columns by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$. Duncan's test should be compared within each species.

량은 13,962~37,270 mg·g⁻¹, 총 플라보노이드 함량은 1,640~24,650 mg·g⁻¹으로 다양하게 나타났다. 녹화 처리한 석결명 새싹채소는 녹화일수에 관계없이 암조건에서만 재배한 새싹채소 보다 항산화 물질 함량이 우수하였으며, 특히 플라보노이드의 함량은 광합성에 의해 크게 증가하였다. 석결명 새싹채소의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량은 2일 녹화 할 때 가장 높았으며, 2일 녹화한 석결명 새싹채소의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량은 암조건에서 재배한 새싹채소 보다 각각 2.68, 15.03배 많았다.

슬패랭이꽃 새싹채소의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량은 3일 동안 녹화했을 때 가장 우수하였다. 0~2일 동안 녹화시킨 새싹채소의 항산화 물질함량은 통계적 유의차가 없었다. 3일 녹화한 슬패랭이 새싹채소의 총 폴리페놀 함량은 1일 녹화한 처리구보다 1.18배 높았으며, 총 플라보노이드 함량은 녹화하지 않은 새싹채소 보다 1.43배 높았다.

질경이 새싹채소는 2일 녹화했을 때 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량이 가장 높았다. 질경이 새싹채소는 광

합성을 통해 항산화 물질 함량이 증가되지만, 3일 이상 녹화할 때는 항산화 물질 함량이 다소 낮아지는 경향을 보였다. 2일 녹화시킨 질경이 새싹채소의 총 폴리페놀 함량은 3일 녹화시킨 새싹채소보다 1.41배 높았으며, 총 플라보노이드 함량은 녹화시키지 않은 새싹채소보다 1.65배 높았다.

DPPH 및 ABTS radical 소거능

DPPH와 ABTS radical 소거능에 미치는 광합성의 영향은 종에 따라 각기 다른 것으로 나타났다(Table 3). 황기 새싹채소의 DPPH radical 소거능은 0~1일 녹화했을 때 우수하였으며, ABTS radical 소거능은 1일 녹화했을 때 가장 우수하였다. 황기 새싹채소의 DPPH 및 ABTS radical 소거능은 녹화 시간이 길어질수록 낮아졌다. 1일 녹화시킨 황기 새싹채소는 3일 녹화시킨 새싹채소보다 DPPH와 ABTS radical 소거능이 각각 1.1, 1.5배 높았다.

석결명 새싹채소는 광합성에 의하여 DPPH 및 ABTS radical 소거능이 증가되었으며, 2일 녹화했을 때 DPPH

Table 2. Total polyphenol and total flavonoid contents of extracts obtained from sprout vegetables according to different greening period

Scientific name	Korean name	Greening period ^z (days)	Total polyphenols (mg·g ⁻¹ DW)	Total flavonoids (mg·g ⁻¹ DW)
<i>Astragalus membranaceus</i> Bunge var. <i>membranaceus</i>	황기	0	21.175±0.106 a ^y	2.916±0.098 d
		1	17.521±0.025 b	4.545±0.049 c
		2	16.985±0.059 c	5.340±0.046 b
		3	15.580±0.068 d	7.758±0.121 a
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link.	석결명	0	13.962±0.137 c	1.640±0.050 d
		1	33.611±0.073 b	21.869±0.371 c
		2	37.270±0.686 a	24.650±0.159 a
		3	32.885±0.128 b	23.032±0.205 b
<i>Dianthus longicalyx</i> Miq.	슬패랭이꽃	0	15.976±0.421 b	9.908±0.504 b
		1	14.760±0.200 b	10.758±0.489 b
		2	15.301±0.422 b	11.345±0.594 b
		3	17.448±0.421 a	14.189±0.239 a
<i>Plantago asiatica</i> L.	질경이	0	13.660±0.015 c	4.608±0.157 d
		1	15.630±1.005 b	5.518±0.122 c
		2	18.788±0.386 a	7.614±0.060 a
		3	13.281±0.131 c	6.531±0.065 b

^zGreening treatment under light intensity of 40 μmol·m⁻²·s⁻¹, after growing under dark condition.

^yValues are mean±SE and mean separation within columns by Duncan's multiple range test, *p* < 0.05. Duncan's test should be compared within each species.

및 ABTS radical 소거능이 가장 우수하였다. 그러나, 3일 이상 녹화시켰을 경우에는 소거능이 다소 낮아지는 경향을 보였다. 2일 녹화한 석결명 새싹채소는 암조건에서 재배한 새싹채소 보다 DPPH radical 소거능은 1.8배, ABTS radical 소거능은 2.3배 높았다. 석결명 새싹채소는 ABTS radical 소거능이 특히 우수하였으며, 2일 녹화할 경우 합성항산화제인 BHT와 천연 항산화제인 ascorbic acid 보다 각각 1.4, 1.3배 우수한 ABTS radical 소거능을 보였다.

술패랭이꽃의 새싹채소는 4종의 새싹채소 중 DPPH 및 ABTS radical 소거능이 가장 낮았다. 술패랭이꽃 새싹채소의 DPPH 및 ABTS radical 소거능은 암조건에서 재배했을 때 가장 우수하였으며, 광합성이 시작된 녹화 1일째에

가장 낮게 나타났다. 녹화 2일째에는 radical 소거능이 다소 높아졌으나, 녹화 3일째에 다시 낮아졌다. 암조건에서 재배한 술패랭이 새싹채소는 1일 녹화시킨 새싹채소보다 DPPH radical 소거능은 1.4배, ABTS radical 소거능은 2.1배 우수하였다. 술패랭이꽃 새싹채소의 페놀계 물질 함량은 녹화기간이 길수록 증가하였으나, radical 소거능은 암조건에서 재배했을 때 가장 우수하였다. 따라서 술패랭이꽃 새싹채소는 페놀계 물질 보다 다른 항산화물질이 radical 소거능에 영향을 주는 것으로 생각되었다.

질경이 새싹채소는 4종의 새싹채소 중 radical 소거능이 가장 우수하였다. 질경이 새싹채소는 광합성에 의하여 DPPH 및 ABTS radical 소거능이 증가되었으며, 2~3일 녹화시

Table 3. DPPH, ABTS radical scavenging and ferrous ion chelating effects of extracts obtained from sprout vegetables according to different greening period

Scientific name	Korean name	Greening period ^z (days)	DPPH ^y	ABTS ^{x+}	Fe ²⁺ chelate
			RC ₅₀ ^y (mg·mL ⁻¹)	RC ₅₀ ^x (mg·mL ⁻¹)	% ^w
Ascorbic acid			0.026±0.000	0.199±0.009	-
BHT			0.217±0.004	0.217±0.004	-
EDTA			-	-	96.241±0.138
<i>Astragalus membranaceus</i> Bunge var. <i>membranaceus</i>	황기	0	3.484±0.121 a ^v	0.483±0.030 ab	95.441±0.144 a
		1	3.538±0.064 a	0.347±0.023 a	85.208±0.139 a
		2	3.850±0.020 b	0.407±0.018 ab	89.500±0.783 a
		3	4.013±0.111 b	0.531±0.117 b	87.191±0.854 a
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link.	석결명	0	1.277±0.018 d	0.356±0.019 c	29.293±0.583 a
		1	1.209±0.017 c	0.293±0.016 b	18.193±1.561 b
		2	0.721±0.011 a	0.156±0.007 a	19.319±0.640 b
		3	0.996±0.004 b	0.257±0.009 b	30.090±0.032 a
<i>Dianthus longicalyx</i> Miq.	술패랭이꽃	0	7.618±0.052 a	0.478±0.019 a	37.402±0.796 b
		1	10.496±0.223 c	1.000±0.008 c	33.234±0.246 c
		2	7.594±0.018 a	0.700±0.026 b	34.423±1.039 c
		3	9.254±0.140 b	0.750±0.140 b	40.567±0.803 a
<i>Plantago asiatica</i> L.	질경이	0	0.551±0.000 b	0.443±0.000 c	50.690±1.260 a
		1	0.560±0.006 b	0.317±0.074 b	31.539±0.630 b
		2	0.374±0.004 a	0.140±0.025 a	28.180±0.781 c
		3	0.368±0.011 a	0.176±0.021 a	30.980±0.236 b

^zGreening treatment under light intensity of 40 μmol·m⁻²·s⁻¹, after growing under dark condition.

^yConcentration of the material which is required to scavenge 50% of 0.15 mM DPPH radicals at 30 min. after starting the reaction.

^xConcentration of the material which is required to scavenge 50% of 7.4 mM ABTS radicals at 10 min. after starting the reaction.

^wFe²⁺ chelating activity of 50-fold extracts obtained from dried samples or EDTA (0.05 mg·mL⁻¹).

^vValues are mean±SE and mean separation within columns by Duncan's multiple range test, *p* < 0.05. Duncan's test should be compared within each species.

켰을 때 radical 소거능이 가장 우수하였다. 3일 녹화한 질경이 새싹채소는 암조건에서 재배한 질경이 새싹채소 보다 DPPH radical 소거능은 1.5배, ABTS radical 소거능은 2.5 배 우수하였다. 또한 2일 녹화한 질경이 새싹채소는 ascorbic acid 보다 1.4배, BHT 보다 1.6배 높은 ABS radical 소거능을 보였다.

Fe²⁺ chelating 효과

황기, 석결명, 슬패랭이꽃, 질경이 새싹채소의 Fe²⁺ chelating 효과는 황기 새싹채소에서 가장 우수하였으며, 석결명 새싹채소에서 가장 낮았다(Table 3). 암조건에서 재배한 황기 새싹채소는 항산화제인 EDTA와 유사한 chelating 효과를 보였으며, 모든 처리구에서 통계적 유의차 없이 chelating 효과가 우수하였다.

석결명 새싹채소의 Fe²⁺ chelating 효과는 광합성이 시작되면서 낮아졌으나, 녹화 기간이 증가할수록 Fe²⁺ chelating 효과가 다시 증가하였다. 3일 녹화한 새싹채소는 암조건에서만 재배한 새싹채소와 통계적으로 유의한 Fe²⁺ chelating 효과를 보였으며, 3일 녹화한 석결명 새싹채소의 chelating 효과는 1일 녹화한 새싹채소보다 1.7배 높았다.

슬패랭이꽃 새싹채소는 radical 소거능은 가장 낮았으나, Fe²⁺ chelating 효과는 비교적 우수하였다. 슬패랭이꽃 새싹채소의 Fe²⁺ chelating 효과는 석결명 새싹채소와 같이 광합성이 시작되면서 낮아졌으나, 녹화처리기간이 길어질수록 chelating 효과가 증가되었으며, 3일 녹화한 새싹채소에서 가장 높은 Fe²⁺ chelating 효과를 보였다. 3일 녹화시킨 슬패랭이 새싹채소의 chelating 효과는 1일 녹화시켰을 때보다 1.2배 우수하였다.

질경이 새싹채소의 radical 소거능은 2~3일 녹화 시켰을 때 가장 우수하였으나, Fe²⁺ chelating 효과는 암조건에서 가장 높았으며 2일 녹화 시켰을 때 가장 낮았다. 암조건에서만 재배한 질경이 새싹채소는 2일 녹화시킨 질경이 새싹채소보다 Fe²⁺ chelating 효과가 1.8배 가량 높았다.

지질과산화 억제활성

황기, 석결명, 슬패랭이꽃, 질경이 새싹채소의 지질과산화 억제활성을 4일 간격으로 40일 동안 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 황기 새싹채소는 지질과산화 억제활성이 낮았으며, 모든 처리구에서 반응 12일 이후에는 지질과산화 억제활성이 나타나지 않았다. 황기 새싹채소의 지질과산화

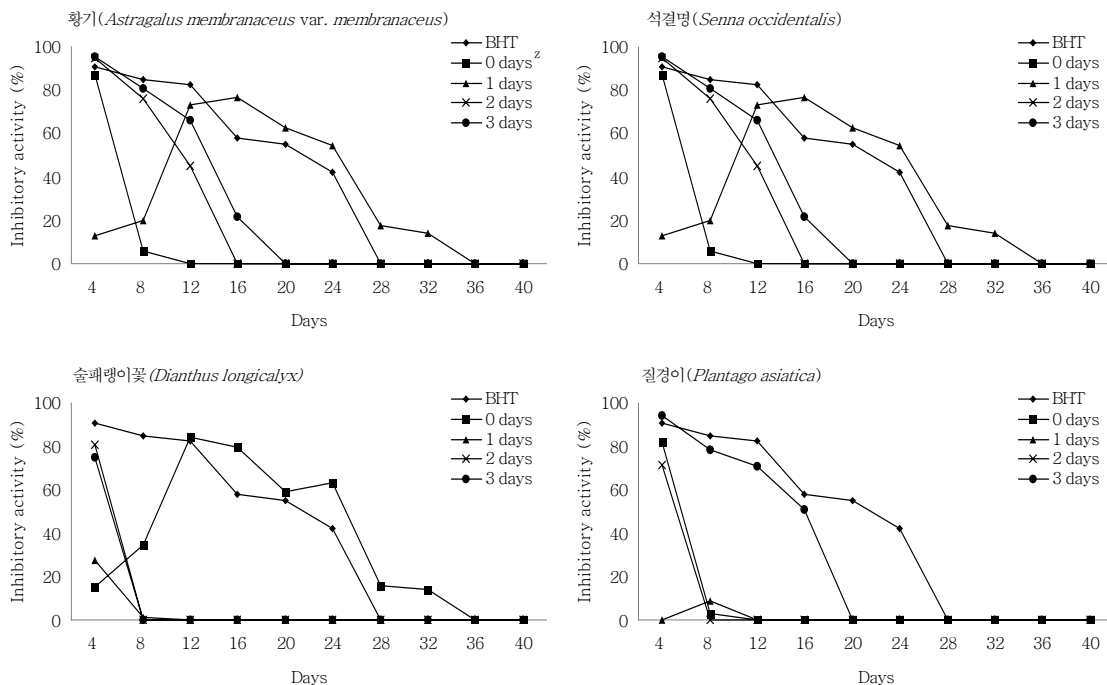


Fig. 1. Changes in inhibitory activity against linoleic acid peroxidation of extracts obtained from several sprout vegetables according to different greening periods.

⁷Greening treatment at 40 μmol·m⁻²·s⁻¹, after growth in dark condition.

억제활성은 광합성이 시작된 녹화 1일에 가장 낮았으나, 광합성이 진행될수록 지질과산화 억제활성이 증가하여 녹화 3일째에 가장 높은 지질과산화 억제활성을 보였다.

석결명 새싹채소는 4종 중 가장 우수한 지질과산화 억제활성을 보였다. 석결명 새싹채소는 녹화시키지 않았을 때 지질과산화 억제활성이 가장 낮았다. 2~3일 정도 녹화시킨 석결명 새싹채소는 과산화지질이 왕성하게 형성되는 반응 초기인 16일 이전에는 억제활성이 비교적 우수하였으나, 그 이후에는 지질과산화 억제활성이 급속히 낮아졌다. 1일 녹화시킨 석결명 새싹채소는 지질과산화 반응 초기인 8일 이전에는 억제활성이 낮았으나, 8~12일 사이에 억제활성이 급증하여 16일 이후에는 합성 항산화제인 BHT보다 지질과산화 억제활성이 우수하였다.

술패랭이꽃 새싹채소는 녹화시키지 않았을 때 지질과산화 억제활성이 가장 우수하였다. 녹화시킨 새싹채소는 녹화 기간에 관계없이 8일 이후에는 지질과산화 억제활성을 보이지 않았다. 그러나 암조건에서 재배한 술패랭이꽃 새싹채소는 8~12일 사이에 지질과산화 억제활성이 급증하였으며, 12일 이후에는 BHT보다 지질과산화 억제활성이 우수하였다.

질경이 새싹채소는 광합성에 의하여 지질과산화 억제활성이 증가하였으며, 3일 녹화한 새싹채소의 지질과산화 억제활성이 가장 우수하였다. 0~2일 녹화시킨 새싹채소는 8일 이전에 지질과산화 억제활성이 급속히 낮아졌으며 12일 이후에는 억제활성을 보이지 않았다. 3일 녹화시킨 질경이 새싹채소는 반응 16일까지는 BHT와 유사한 지질과산화 억제활성을 보였으며, 16일까지 50% 이상의 지질과산화 억제활성을 보였으나 16일 이후에는 억제활성이 나타나지 않았다.

연구의 결과 황기, 석결명, 술패랭이꽃 및 질경이 새싹채소는 항산화효과가 우수하여 기능성 새싹채소로 개발 가치가 우수한 것으로 생각되었다. 식물 종에 따라 우수한 항산화효과가 각기 다르게 나타났다. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드의 함량은 석결명 새싹채소, DPPH 및 ABTS radical 소거능은 질경이 새싹채소, Fe²⁺ chelating 효과는 황기 새싹채소, 지질과산화 억제활성은 석결명과 술패랭이꽃 새싹채소에서 가장 우수하였다.

종에 따라 광합성이 항산화물질 함량 및 항산화활성에 미치는 영향이 각기 다르게 나타났다. 또한, 같은 식물도 항산화물질 및 항산화활성 종류에 따라 광합성에 의한 증

감이 다르게 나타났으므로 목표로 하는 항산화물질 또는 활성에 따라 녹화 기간을 다르게 재배해야 할 것으로 생각되었다. 이는 환경스트레스가 식물의 항산화 활성에 효과에 영향을 주기 때문이며(Barry, 1995; Beckman 등, 1998, Bracco 등, 1997), 특히 광합성과 식물체내 항산화인자가 서로 연관되어 있기 때문이다(Lee 등, 2002; Yang 등, 1994). Kaur 등(2009)이 명조건과 암조건에서 발아시킨 병아리콩(chickpea) 유묘의 뿌리, 줄기(shoot), 떡잎에서 superoxide dismutase, peroxidase, catalase, glutathione reductase, ascorbate peroxidase 등의 항산화효소 함량을 분석한 결과, 항산화효소의 종류에 따라 함량이 증가되는 광조건이 달랐으며, 같은 항산화 효소도 유묘의 부위에 따라 광합성에 의한 영향이 다르게 나타났다. 따라서 본 연구에서 녹화 기간에 따라 항산화활성이 달라지는 것은 항산화 물질 및 항산화 효소의 합성이 광합성에 의하여 영향을 받기 때문으로 생각되었다. 또한, 녹화기간에 따른 항산화효과 증감이 일정한 경향을 보이지 않고 증가되다가 감소되거나, 감소되다가 증가되는 것 또한 광합성이 진행됨에 따라 식물체의 다양한 항산화 인자가 합성 또는 분해되어 복합적으로 작용하기 때문으로 생각되었다.

일반적으로 폴리페놀과 플라보노이드 등과 같은 페놀계물질은 식물에 존재하는 대표적 항산화 물질이며(Kähkönen 등, 1999), radical 소거활성 및 금속이온 chelating 효과가 우수하다(Huang 등, 1992). 그러나, 본 연구에서는 페놀계물질 함량이 항산화효과와 반드시 비례하지 않았다. 이는 식물에는 페놀계물질 이외에도 superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, glutathione S-transferase 등의 항산화 효소와 비타민 C, E, β-carotene, carotenoids, flavonoids 등의 다양한 항산화물질이 존재하기 때문으로 생각되었다(Lee 등, 2007a). 특히 황기 새싹채소의 ferrousion chelating 효과와 질경이 새싹채소의 radical 소거능은 페놀계 물질 함량 관계없이 우수하였으므로, 차후 이들의 항산화 활성에 영향을 주는 항산화인자를 구명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구를 통하여 새싹채소의 종류에 따라 우수한 항산화효과가 다르며, 재배방법에 따라 항산화효과가 달라진다는 것을 확인하였다. 따라서 새싹채소를 시판할 때에는 광조건이 새싹채소의 기능성 물질 함량 및 항산화 효과에 미치는 영향을 고려하여 재배함으로써 동일한 새싹채소의 항산화효과를 증가시켜 출하시킬 필요가 있다.

적 요

새로운 항산화 기능성 새싹채소를 개발하고, 항산화효과가 우수한 재배 조건을 구명하기 위하여 향기, 석결명, 슬패랭이꽃, 질경이 새싹채소의 재배 중 녹화기간에 따른 항산화효과 변화를 분석하였다. 연구의 결과, 종에 따라 광합성이 항산화능에 미치는 영향이 각기 다르게 나타났다. 향기 새싹채소는 총 폴리페놀 함량은 녹화 0일, 총 플라보노이드 함량은 녹화 3일째에 가장 우수하였으며, DPPH radical 소거능은 녹화 0일, ABTS radical 소거능은 녹화 1일, Fe²⁺ chelating 효과는 녹화 0일, 지질과산화 억제활성은 녹화 3일째에 가장 우수하였다. 석결명 새싹채소는 2일 녹화했을 때 항산화물질 함량이 높고 radical 소거능이 우수하였으며, Fe²⁺ chelating 효과는 녹화 0일, 지질과산화 억제활성은 녹화 1일째에 가장 우수하였다. 슬패랭이 새싹채소는 녹화 3일째에 항산화물질 함량이 높고, Fe²⁺ chelating 효과가 우수하였으며, radical 소거능과 지질과산화 억제활성은 녹화시키지 않았을 때 가장 우수하였다. 질경이 새싹채소의 항산화물질 함량 및 radical 소거능은 녹화 2일째에 가장 우수하였으며, Fe²⁺ chelating 효과는 녹화 0일, 지질과산화 억제활성은 녹화 3일째에 가장 우수하였다. 연구의 결과, 식물 종에 목표로 하는 항산화 효과에 따라 광합성이 미치는 영향이 다르므로, 식물 종과 원하는 항산화 효과에 따라 재배 방법을 달리해야 할 것으로 생각되었다.

사 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

인용문헌

Ahn, D.K. 2003. Illustrated Book of Korean Medical Herbs. Gyohaksa, Seoul. (in Korean).
 Badshah, A., A. Zeb, and A. Sattar. 1991. Effect of soaking, germination and autoclaving on selected nutrients of rapeseed. Pak. J. Sci. Indus. Res. 34:446-448.
 Barry, R.H. 1995. Superoxide and hydrogen peroxide in relation to mammalian cell proliferation. Free Rad. Biol. Med. 18:775-794.

Beckman, K.B. and B.N. Ames. 1998. The free radical theory of aging matures. Physiol. Rev. 78:547-581.
 Blois, M.S. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature 26:1198-1204.
 Bracco, F., M. Scarpa, A. Rigo, and L. Battistin. 1991. Determination of superoxide dismutase activity by the polarographic method of catalytic currents in the cerebrospinal fluid of aging brain and neurologic degenerative disease. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 196:36-41.
 Chang, I.M. 1998. Liver-protective activities of aucubin derived from traditional oriental medicine. Res. Commun. Mol. Pathol. Pharmacol. 102:189-204.
 Davidson, M.H., K.C. Maki, J.C. Kong, L.D. Dugan, S.A. Torri, H.A. Hall, K.B. Drennan, S.M. Aderson, V.L. Fulgoni, L.G. Saldanha, and B.H. Olson. 1998. Long-term effects of consuming foods containing psyllium seed husk on serum lipids in subjects with hypercholesterolemia. Am. J. Clin. Nutr. 67:367-376.
 El-Adawy, T.A. 2002. Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. Plant Food Hum. Nutr. 57:83-97.
 Feng, P. 1997. A summary of background information and food borne illness associated with the consumption of sprouts. Center for Food Safety and Applied Nutrition. Food and Drug Administration, Washington. D.C.
 Haraguchi, H., K. Hashimoto, and A. Yagi. 1992. Antioxidative substances in leaves of *Polygonum hydropiper*. J. Agric. Food Chem. 40:1349-1351.
 Huang, M.T., C.T. Ho, and C. Lee. 1992. Phenolic compounds in food and their effects on health (II): Antioxidants and cancer prevention. Am. Chem. Soc. Washington, D.C. PP. 54-71.
 Iwalewa, E.O., O.M. Daniyan, and N.O. Omisore. 2006. Methanolic leaf extract of *Senna occidentalis* in the treatment of Malaria. J. Tropical Med. Plants 7:11-16.
 Kähkönen, M.P., A.I. Hopia, H.J. Vuorela, J.P. Rauha, K. Pihlaja, T.S. Kujala, and M. Heinonen. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. J. Agric. Food Chem. 47:3954-3962.
 Kaur, H., A.K. Gupta, N. Kaur, and J.S. Sandhu. 2009. Differential response of the antioxidant system in wild and cultivated genotypes of chickpea. Plant Growth Regul. 57:109-114.
 Khalil, A.W., A. Zeb, F. Mahmmud, S. Tariq, A.B. Khattak,

- and H. Shah. 2007. Comparison of sprout quality characteristics of desi and kabuli type chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). LWT 40:937-945.
- Kim, C.J., B.H. Kang, I.J. Ryoo, D.J. Park, H.S. Lee, Y.H. Kim, and I.D. Yoo. 1996. Screening of biologically active compounds from various weeds. J. Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 39:409-413. (in Korean).
- Kuo, T.M., J.F. VanMiddlesworth, and W.J. Wolf. 1988. Content of raffinose and oligosaccharides and sucrose in various plants. J. Agric. Food Chem. 36:32-36.
- Lee, C.B. 1999. Illustrated Flora of Korea. Hyangmoonsa. Seoul. (in Korean).
- Lee, E.H., and C.J. Kim. 2008. Nutritional changes of buckwheat during germination. Kor. J. Food Cult. 23: 121-129. (in Korean).
- Lee, J.C., S.H. Han, S.S. Jang, K.J. Cho, and Y.Y. Kim. 2002. Effects of ozone uptake rate on photosynthesis and antioxidant activity in the leaves of *Betula* species. Kor. J. Agric. For. Meteorol. 4:72-79. (in Korean).
- Lee, J.J., J.O. Ha, and M.Y. Lee. 2007a. Antioxidative activity of lotus root (*Nelumbo nucifera* G.) extracts. J. Life Sci. 17:1237-1243. (in Korean).
- Lee, J.J., Y.M. Lee, H.D. Shin, Y.S. Jeong, and M.Y. Lee. 2007b. Effects of vegetable sprout power mixture on lipid metabolism in rats fed high fat diet. J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr. 36:965-974. (in Korean).
- Lee, M.Y. 2007. Several environmental factors affecting production of sprout vegetables using sixty three species of resource plants. M.S. Thesis, Chungbuk Natl. Univ., Cheongju. (in Korean).
- Lorenzi, H. 1991. Plantas daninhas do Brasil. Nova Odessa. São Paulo. (in Portuguese).
- NFRI. 1990. Manuals of quality characteristic analysis for food quality evaluation (2). National Food Research Institute, Skuba.
- Odhav, B., S. Beekrum, U. Akula, and H. Baijnath. 2007. Preliminary assessment of nutritional value of traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. J. Food Comp. Anal. 20:430-435.
- Park, C.H. 1997. A Taxonomic and Systematic Study of genus *Plantago* in Korea. M.S. Thesis. Korea Univ., Seoul. (in Korean)
- Park, K.J., J.H. Lim, J.H. Kim, J.W. Jeong, J.H. Jo, and S.W. Jeong. 2007. Reduction of microbial load on radish (*Raphanus sativus* L.) seeds by aqueous chlorine dioxide and hot water treatments. Kor. J. Food Preserv. 14:487-491. (in Korean).
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Rad. Biol. Med. 26:1231-1237.
- Rios, J.L. and P.G. Waterman. 1997. A review of the pharmacology and toxicology of *Astragalus*. Phytother. Res. 11:411-418.
- Velioglu, Y.S., G. Mazza, L. Cao, and B.D. Oomah. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. J. Agric. Food Chem. 46:4113-4117.
- Xie, Z.F., Z.C. Lou, and X.K. Huang. 2002. Classified Dictionary of Traditional Chinese Medicine. Foreign Language Press, Beijing. (in Chinese-English).
- Yang, D.C., Y.H. Kim, D.C. Yang, and Y.N. Hong. 1994. Effects of antioxidants on the photosynthesis and carbohydrates/saponin contents in *Panax ginseng* leaves. Kor. J. Ginseng Sci. 18:175-181. (in Korean).
- Yen, G.C., P.D. Duhb, and H.L. Tsaia. 2002. Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid. Food Chem. 79:307-313.

(접수일 2009.6.8; 수락일 2009.7.28)