

## 식물공장 시스템에서 광원의 종류를 달리하여 재배한 브로콜리 새싹의 이화학적 특성

김태수<sup>1\*</sup> · 이성표<sup>1</sup> · 박소이<sup>1</sup> · 이진영<sup>2</sup> · 이수연<sup>2</sup> · 전혜지<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주)미스바알텍

<sup>2</sup>호서대학교 한방화장품과학과

### Physico-Chemical Properties of Broccoli Sprouts Cultivated in a Plant Factory System with Different Lighting Conditions

Tae-Su Kim<sup>1\*</sup>, Sung-Pyo Lee<sup>1</sup>, So-i Park<sup>1</sup>, Jin-Young Lee<sup>2</sup>, Soo-Yeon Lee<sup>2</sup>, and Hye-Ji Jun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Misuba RTech Co., Ltd., Chungnam 336-795, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Herbal Cosmetic Science, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

#### Abstract

The physico-chemical properties of broccoli sprouts cultivated in a plant factory system with different lighting conditions were investigated. We reported that there were significant differences among the chemical and nutritional properties of the broccoli sprouts grown under different light sources. Two kinds of sugars (glucose and fructose) were detected in the plants. The amount of glucose was 2.94~3.12% and that of fructose was 1.54~2.04%. Total chlorophyll was 1,157±0.004 mg% and chlorophyll-a 777±0.01 mg%. All over the test materials, 2 kinds of organic acids (citric acid and malic acid) were detected. The level of citric acid was 908~1,136 mg% and its highest level was under the (Blue LED) light source. The level of malic acid was 514~834 mg% and its highest level was under the (Red LED) light source. Seven different minerals were also analyzed. The amount of K was 518 mg% and its amount was significantly higher than that of Mg or Na. There were also negligible amounts of Zn, Fe and Cu. The amounts of vitamin A, C and E under the Red LED were, 860.62±0.02 µgRE, 134.570±0.14 mg% and 1.44±0.1 IU. The amounts under the Blue LED were, 432.48±0.05 µgRE, 137.05±0.1 mg% and 1.11±0.12 IU. The amounts under both Red and Blue LEDs were, 667.33±0.11 µgRE, 118.50±0.09 mg% and 1.47±0.1 IU. And finally, the amounts under a White LED were, 640.25±0.08 µgRE, 119.87±0.07 mg% and 1.31±0.15 IU. In this study, significant changes were shown in the chemical and nutritional properties of the broccoli sprouts. These findings indicate that LED light sources stimulated germination of the plants.

**Key words:** broccoli sprouts, plant factory system, LED light, vitamin contents, chemical components

#### 서 론

최근 생활수준의 향상에 따라 점점 웰빙(well-being)이나 LOHAS(lifestyles of health and sustainability) 붐으로 인하여 삶에 대한 소비자의 관심이 높아지면서 식품의 선택 및 섭취에 있어서 좀 더 기능성을 갖춘 식품을 선호하는 추세가 강해지고 있다(1). 21세기 지구와 인류에게는 여러 분야에서 많은 어려움에 직면하게 될 시대가 될 것이라는 예측은 현실로 나타나고 있다. 특히 인구증대, 에너지자원의 고갈, 토양의 황폐화와 이상기후에 의한 농업 생산의 불확실성과 정체는 세계 식량 대란이라는 위험한 문제점을 안고 있다. 우리들이 소비하는 농산물은 자연을 상대로 하여 생산하는 농업의 특성상 자연환경에 의해 수확량과 품질에 영향을 받는다. 자연재해를 극복하기 위해 시설하우스와 여러 농기

계를 활용하여 농작물을 재배하고 있지만 지금 농촌의 현실은 농업인의 고령화와 인구 감소, 보호농업정책에 의한 농촌의 경쟁력 상실 등의 문제점으로 자연재해를 효과적으로 극복할 여력이나 해결책이 없는 실정이다. 그래서 최근 계절이나 기온, 풍수해 등 자연환경에 구애받지 않고 일정한 공간에서 농작물 생육에 필요한 여러 가지 기기를 설치하여 환경조건을 제어하면서 농작물을 공장에서 생산하는 방식으로 식물을 재배하는 식물공장에 관심을 갖게 되었다(2). 식물공장(plant factory)이란 통제된 일정한 시설 내에서 빛, 온도, 습도, 양액조성, 대기가스 농도 등의 재배환경조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 관계없이 농작물을 공산품처럼 계획적으로 연속 생산하는 시스템적인 농업의 한 형태를 말한다(3). 식물공장에서 사용되는 광원으로는 LED가 추천되고 있는데 이는 특정한 광파장을 조절할 수 있는 장점으

\*Corresponding author. E-mail: taesu0929@naver.com  
Phone: 82-41-548-3159, Fax: 82-41-548-3599

로 기능성 성분의 함량을 증가시킬 수 있다고 한다(4-6).

Matsumoto 등(7)은 붉은광과 푸른광의 조도 비율에 따라 상추 내 낮은 질소 농도를 유지하고, 빠른 성장을 유도할 수 있다고 보고하였다. 최근 Um 등(8)은 수경재배 방식으로 광원강도와 종류를 달리하여 재배한 상추의 특성을 연구한 결과, 광원에 따라 상추의 생육을 증가시킨다고 하였다. 식물체의 종자는 다당류, 탄닌 및 사포닌 등의 비소화성 성분이 다량 함유되어 있어 이를 받아서 새싹채소로 키우면 영양성분과 소화력이 증가되고 쓴맛과 독성성분을 다른 물질로 전환시켜 기능성 물질을 생산한다고 보고되고 있다(9-11). 또한 메밀을 받아서 키운 메밀 싹 추출물도 항산화 및 항균 효과를 증가시킨다고 한다(12). 이처럼 식물체가 받아서 새싹으로 되면 받아와 함께 식물체 내 영양 화학적 성분에 큰 변화를 일으키는 것으로 나타났다. 브로콜리(*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck)는 십자화과에 속하는 채소로 잎과 줄기는 모두 버려지고 작은 꽃봉오리가 다발로 이루어진 꽃만을 식용하며, 한 줄기에서 꽃이 4~5개 정도 맺히고, 잎은 10~15장 이상 나와 매우 무성하게 된다(13). 브로콜리는 항산화물질로 알려진 ascorbic acid,  $\beta$ -carotene, rutin, selenium, glutathione, quercetin 등이 다량 함유되어 있으며, 암세포증식억제 및 해독효소의 유도효과가 크다고 알려져 많은 연구가 진행되고 있다(13,14). 특히, 브로콜리에는 신체의 자연 치유력을 증강시켜 암 발생의 위험성을 줄여주는 물질인 sulforaphane(S-methylsulfinylbutyl iso-thiocyanate)이 함유되어 있다고 알려져 있는데(15,16), sulforaphane은 최근 연구에서 발암물질로 전 처리한 생쥐의 유선에서 종양발생을 억제하고(17), 전립선암의 예방에도 유효한 것으로 보고되었다(18). 또한 *in vitro* 실험에서 sulforaphane이 암 예방 효과뿐만 아니라 헬리코박터에 대한 강력한 살균효과가 있음이 보고되었다(19). 현재까지의 식물공장에 대해서는 공장 설립을 위한 시스템 구축에 대한 연구가 대다수이고 또한 상추를 중심으로 연구되어 왔다. 최근 발아채소의 기능성에 대한 관심이 증가하면서 발아채소류에 대한 공급량이 증가하고, 다양하게 이용되고 있다는 점에서 브로콜리 새싹의 폭 넓은 활용 가능성을 보여 주고 있다. 그러나 식물공장 시스템에서 재배된 농산물의 이화학적 품질 특성에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 브로콜리 종자를 받아서 광원의 종류를 달리한 식물공장에서 재배한 새싹을 건조하여 이화학적 특성 및 영양성분 분석을 통해 브로콜리 새싹의 영양 가치를 평가하여 브로콜리 새싹의 폭 넓고 다양한 기능성식품 소재로 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 브로콜리 새싹은 (주)미스바알텍의 식

물공장에서 430 nm 내지 460 nm 파장 범위의 LED 청색광원을 받아 2일(암조건), 4일 동안 하루에 10시간씩 조사시켰으며, 적색광원은 650 nm 내지 680 nm 범위의 LED 광원, 적색+청색 LED광원, 일반 LED광원을 사용하였다. 온도 범위는 21~23°C, 습도는 45~60%로 조절하여 브로콜리 새싹을 재배하였다. 수확한 브로콜리 새싹은 열풍건조기를 이용하여 60°C에서 24시간 건조한 후 200 mesh로 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다.

### 일반성분 분석

시료의 일반성분은 AACC(20)의 방법에 준하여 측정하였다. 즉, 수분함량(AACC 44-15a)은 105°C 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법(AACC 46-10), 조회분은 회화법(AACC 08-01)으로 측정하였다. 무기질 함량은 0.5 g의 시료에 9 mL HNO<sub>3</sub>, 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 가한 후 Microwave digestion system(MPR-300/12S, Milestone Co., Sorisole, Bergamo, Italy)에서 산분해하여 전 처리한 시료를 증류수로 50 mL 정용 후 ICP(Inductively Coupled Plasma, Thermo Jarrell Ash Co., Franklin, Massachusetts, USA)로 분석하였고, 원소 Fe, K, Mg, Mn, Cu, Na, Zn의 ICP 표준시약(AnApex Co., Ltd, Daejeon, Korea)으로 표준곡선을 작성하였다.

### 유리당 조성

유리당 분석은 Jeong 등의 방법(21)으로 유리당 획분을 얻은 다음 0.22  $\mu$ m membrane filter로 여과한 후 Sep-pak C<sub>18</sub>로 색소 및 단백질 성분을 제거하여 HPLC(HPLC 1100 Series, Agilent, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. Column은 carbohydrate column(4.6×250 mm, Waters, Milford, MA, USA)을 사용하였고, solvent와 flow rate는 70% acetonitrile과 1.0 mL/min, detector는 RI로 하였고, column 온도와 injection volume은 각각 35°C와 20  $\mu$ L였다. 표준물질로 사용한 glucose, fructose는 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)제품을 사용하였다.

### 클로로필 함량

브로콜리 새싹 3 g에 85% 아세톤 100 mL을 가하여 분쇄 후 3,000 rpm, 5분간 원심분리 하여 얻은 잔사에 다시 85% 아세톤을 넣어 추출하는 과정을 3회 반복 실시 후 상등액만 모아 500 mL로 정용하였다. 이 액 25 mL를 취하여 에테르 50 mL과 증류수 25 mL을 가하여 1분간 진탕, 에테르층을 취하는 조작을 3회 실시 후 sodium sulfate를 소량 가하여 수분을 제거한 다음 에테르로 100 mL 정용하여 660 nm, 642 nm에서 흡광도를 측정하여 총 클로로필, 클로로필 a, 클로로필 b 함량을 측정하였다(22).

### 유기산 분석

유기산 함량은 분쇄한 시료 3 g에 80% EtOH 60 mL를 가하여 6시간 동안 초음파 추출(3회)하였다. 추출한 시료액은 분석조건에 맞추어 희석한 다음 Sep-pak C<sub>18</sub> cartridges

(Waters, Milford, MA, USA)를 통과시켜 0.45 μm membrane filter(Woongki Science Co., Ltd., Seoul, Korea)로 여과한 것을 HPLC(HPLC 1200 Series, Agilent)로 분석하였다(23). 유기산 분석을 위한 HPLC 조건은 Capcell Pak C<sub>18</sub>-AQ(4.6×250 mm, 5 μm) 칼럼을 사용하여 UV 210 nm에서 검출하였으며, 이동상으로는 0.1 M NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(pH 2.5 with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 용액을 1 mL/min의 속도로 이동시켰다. 분리된 피크는 유기산 표준물질(Sigma)과 retention time을 비교하여 동정하고, 표준곡선으로부터 정량하였다.

**비타민 A 함량**

비타민 A의 함량은 Beaulieu 등의 방법(24)을 이용하여 HPLC(HPLC 1100 Series)로 분석하였다. 즉, 시료 10 g을 취해 에탄올 30 mL과 10% pyrogallol·에탄올 용액 1 mL를 가하여 잘 혼합하였다. 여기에 KOH용액 3 mL를 넣고 환류 냉각기를 장치한 후 끓는 물에서 30분간 가열 검화시켰다. 실온으로 급냉시킨 다음 증류수 30 mL를 가해 석유 에테르 층을 분액한 후 증류수 페놀프탈레인 지시약이 정색되지 않을 때까지 세척하였다. 석유 에테르 층에 무수 황산나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 가해 탈수시킨 다음 rotary evaporator로 증류(45°C)하였다. 이때 얻어진 잔류물에 benzene : hexane(1:5) 용액 10 mL를 가해 용해시킨 다음 이것을 시험용액으로 하였다. 이 시험용액 10 μL를 Novapak-Silica(3.9×150 mm, Waters) column이 장착된 HPLC에 주입하여 453 nm에서 β-carotene 함량을 측정하였다. 이 β-carotene 함량으로부터 vitamin A 효력치(IU)는 다음과 같이 환산하였다. 즉 β-carotene 0.6 μg이 vitamin A 1 IU와 동가이며 이 값의 1/3이 생물학적 효력을 나타내므로, 시료 100 g 중의 β-carotene 함량(μg)을 1.8로 나누어 vitamin A의 효력(IU)으로 표시하였다.

**비타민 C 함량**

비타민 C 함량은 RLD(적색광원), BLD(청색광원), RBLD(적색+청색광원), WLD(일반광원)으로 재배한 브로콜리 새싹 각각의 시료 2 g에 20 mL의 10% metaphosphoric acid를 가하여 10분간 현탁시킨 후 적당량의 5% metaphosphoric acid를 넣어 균질화한 다음 균질화된 시료를 100 mL mass flask에 옮기고 소량의 5% metaphosphoric acid액으로 용기를 씻은 후 mass flask에 합하여 100 mL로 정용한 다음 0.22 μm syringe filter로 여과하여 HPLC(Agilent 1200)로 분석

하였다. Column은 Shiseido C<sub>18</sub>(4.6×250 mm, 5 μm, Tokyo, Japan)을 사용하였고, solvent와 flow rate는 각각 0.05 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> : acetonitrile(60:40)과 1 mL/min으로 하였으며, UV과장과 injection volume은 254 nm와 20 μL였다. 표준곡선은 L(+)-ascorbic acid(Shinyo Pure Chemicals Co., LTD., Osaka, Japan)을 표준시약으로 사용하여 최종농도가 25, 50, 75, 100 ppm이 되도록 표준곡선을 작성하여 계산하였다.

**비타민 E 함량**

비타민 E는 Ueda와 Igarash의 방법(25)에 따라 HPLC(HPLC 1100 Series)로 분석하였다. 시험용액은 앞선 비타민 A와 동일한 방법으로 제조하였으며, 다만 석유 에테르 층을 rotary evaporator로 증류한 다음 잔류물에 hexane 1.0 mL를 가해 용해시켜 이것을 시험용액으로 하였다. 이 시험용액 1 mL에 tocol 표준용액 1 mL를 가한 다음, 그중 10 μL를 Novapak-Silica(3.9×150 mm, Waters) column이 장착된 HPLC에 주입하였으며, peak 면적법으로 계산하여 시료중의 tocopherol 함량을 정량하였다. Tocopherol 측정 시 사용한 이동상 용매 조건은 hexane : isopropanol(98:2), 유속 0.5 mL/min, 검출기 UV, wavelength 298 nm이었다.

**통계처리**

모든 실험은 3회 이상 반복하여 실시하였고, 평균과 표준편차 계산 후 그 결과를 비교하였다. 통계 분석은 SAS (Statistical Analysis System, Cary, NC, USA) 통계프로그램을 사용하여 분산 분석(ANOVA)을 실시하였고, 각 시료간의 유의성 검증은 Duncan's multiple range test를 사용하였다(p<0.05).

**결과 및 고찰**

**일반성분**

본 실험에 사용한 브로콜리 새싹의 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 발아에 의한 영양소의 함량 변화를 평가할 때에는 실질적인 고형물의 변화가 중요하기 때문에 습량기준보다는 건량기준이 효과적이라고 보고(25,26)되어 본 연구에서도 건량기준으로 일반성분 및 영양성분 함량을 관찰하였다. 저온열풍 건조한 브로콜리 새싹의 수분함량은 RHD 6.93±0.001%, BHD 6.53±0.002%, RBHD 8.24±0.001%, WHD 7.18±0.001%로 측정되었다. 회분함량은 RHD 4.94±

**Table 1. Proximate composition of broccoli sprouts (%)**

Sprout samples <sup>1)</sup>	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash	Carbohydrate
RLD	6.93±0.001 <sup>c2)</sup>	13.28±0.001 <sup>c</sup>	7.48±0.01 <sup>a</sup>	4.94±0.001 <sup>d</sup>	67.37±0.01 <sup>c</sup>
BLD	6.53±0.002 <sup>d</sup>	16.05±0.004 <sup>a</sup>	4.11±0.01 <sup>d</sup>	5.20±0.002 <sup>b</sup>	68.11±0.02 <sup>b</sup>
RBLD	8.24±0.001 <sup>a</sup>	10.13±0.006 <sup>d</sup>	4.41±0.015 <sup>c</sup>	5.14±0.005 <sup>c</sup>	72.08±0.03 <sup>a</sup>
WLD	7.18±0.001 <sup>b</sup>	14.24±0.004 <sup>b</sup>	7.30±0.014 <sup>b</sup>	5.27±0.004 <sup>a</sup>	66.01±0.02 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>RLD: red lighting, BLD: blue lighting, RBLD: red+blue lighting, WLD: white lighting.  
<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of experimental group. Different letters (a-d) in each values show statistical significances at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

0.001%, BHD  $5.20 \pm 0.002\%$ , RBHD  $5.14 \pm 0.005\%$ , WHD  $5.27 \pm 0.004\%$ 로 약간의 유의적인 차이를 나타내었다. 조지방 함량은 RHD  $7.48 \pm 0.01\%$ , BHD  $4.11 \pm 0.01\%$ , RBHD  $4.41 \pm 0.015\%$ , WHD  $7.30 \pm 0.014\%$ 로 측정되었고, 조단백질 함량은 RHD  $13.2 \pm 0.0018\%$ , BHD  $16.05 \pm 0.004\%$ , RBHD  $10.13 \pm 0.006\%$ , WHD  $14.24 \pm 0.004\%$ 로 나타났다. 같은 십자화과에 속하는 건조한 메밀싹의 경우는 수분 2.84%, 조단백질 21.82%, 조지방 2.98%, 조회분 3.78%를 함유하고 있어 브로콜리 새싹에 비하여 조단백질 함량은 높았으나, 조지방 함량은 낮았다. 7일간 발아시킨 브로콜리 싹의 경우 건량기준으로 수분 함량은 2.04%, 조단백질 22.04%, 조지방 12.80%, 조회분 6.25% 및 탄수화물 56.87% 함유하고 있다고 보고(27)되어 LED 광원을 쬐인 브로콜리 새싹보다 조단백질 함량은 높았으나, 조지방, 조회분 함량은 비슷한 결과를 나타내었다. 일반적으로 채소류는 곡류의 조단백질 함량인 7~12%에 비하여 높은 함량을 보이지만 채소류의 단백질은 세포벽에 결합된 형태나 사람 체내에서 이용될 수 없는 형태로 결합되기 때문에 채소류를 통한 단백질 섭취량은 큰 의미가 없다고 한다(28). 조지방도 채소류가 곡류인 옥수수 3.8%와 쌀 1.3%에 비하여 높은 함량을 차지하고 있으며 발아채소에 함량이 높은 것을 감안할 때 지금까지 채소류의 지방 함량에 대해서는 비중 있게 연구된 바 없고, 한국인의 1일 영양소 섭취기준과 관련하여 논의된 적이 없기 때문에 이들을 고려해야 할 것으로 사료된다.

#### 유리당 함량

6일간 발아시킨 브로콜리 새싹의 구성당 함량을 측정된 결과는 Table 2와 같다.

LED 광원을 쬐인 브로콜리 새싹은 총 2종의 유리당이 검출되었으며, glucose가 2.94~3.12%로 가장 많이 검출되었고, fructose는 1.54~2.04% 검출되었다. 적색+청색광원을 쬐인 브로콜리 새싹에서 glucose 함량이 가장 높았고, 적색광원을 쬐인 브로콜리 새싹에서는 fructose 함량이 높게 측정되었으며, 일반광원을 쬐인 브로콜리 새싹에서의 함량이 다른 광원들에 비해 낮게 측정되었다. 이러한 결과로 볼 때 브로콜리 새싹은 LED 광질의 종류에 따른 차이가 있는 것으로 사료된다. Lee 등(27)에 의하면 브로콜리 싹은 ribose, fructose 및 glucose 3종의 유리당이 검출되었고(29), 무순은 2종의 유리당인 fructose와 glucose, 1종이 이당류인 sucrose

Table 2. Free sugar content of broccoli sprouts (%)

Sprout samples <sup>1)</sup>	Glucose	Fructose
RLD	$3.06 \pm 0.0$ <sup>b2)</sup>	$2.04 \pm 0.02$ <sup>a</sup>
BLD	$3.11 \pm 0.015$ <sup>a</sup>	$1.66 \pm 0.01$ <sup>b</sup>
RBLD	$3.12 \pm 0.02$ <sup>a</sup>	$1.65 \pm 0.02$ <sup>b</sup>
WLD	$2.94 \pm 0.01$ <sup>c</sup>	$1.54 \pm 0.02$ <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>See the Table 1.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of experimental group. Different letters (a-c) in each values show statistical significances at  $\alpha = 0.05$  by Duncan's multiple range test.

Table 3. Chlorophyll contents of broccoli sprouts (mg%)

Sprout samples <sup>1)</sup>	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total
RLD	$698 \pm 0.020$ <sup>b2)</sup>	$403 \pm 0.003$ <sup>a</sup>	$1,101 \pm 0.020$ <sup>b</sup>
BLD	$585 \pm 0.010$ <sup>d</sup>	$267 \pm 0.003$ <sup>d</sup>	$852 \pm 0.004$ <sup>d</sup>
RBLD	$670 \pm 0.030$ <sup>c</sup>	$400 \pm 0.010$ <sup>b</sup>	$1,070 \pm 0.010$ <sup>c</sup>
WLD	$777 \pm 0.010$ <sup>a</sup>	$380 \pm 0.003$ <sup>c</sup>	$1,157 \pm 0.004$ <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>See the Table 1.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of experimental group. Different letters (a-d) in each values show statistical significances at  $\alpha = 0.05$  by Duncan's multiple range test.

가 검출되었으며, 5일간 발아시킨 유채 싹은 무순과 마찬가지로 fructose, glucose 및 sucrose 3종만이 검출되었다고 보고하였다(30).

#### 클로로필 함량

클로로필 a는 청록색, 클로로필 b는 황록색을 나타내며 그 비율은 3:1로 존재한다. LED 광원에 따른 브로콜리 새싹에 함유되어 있는 클로로필의 화학구조는 다른 물질과 결합하기 쉬운 염증을 발생시키는 물질을 흡착, 포획하여 염증을 중화시키고 해독력을 높여준다. 또한 클로로필의 핵 중심은 Mg, 혈액색소의 핵 중심은 Fe이란 점 외에 이 둘은 같은 porphyrin 구조이며, 이는 동물이 엽록소를 섭취하여 소화될 때 소장 용모에 존재하는 Fe과 Mg가 치환되어 혈액색소를 생성하는 조절작용에 관여하는 것으로 보고되고 있다(31,32).

LED 광원에 따른 브로콜리 새싹의 클로로필 함량을 분석한 결과(Table 3) WLD(일반광원)의 총 클로로필 함량은  $1,157 \pm 0.004$  mg%, 클로로필 a  $777 \pm 0.01$  mg%, 클로로필 b  $380 \pm 0.003$  mg%의 값으로 가장 높았으며, BLD(청색광원)의 총 클로로필 함량은  $852 \pm 0.004$  mg%, 클로로필 a  $585 \pm 0.003$  mg%, 클로로필 b  $267 \pm 0.01$  mg%의 값으로 가장 낮은 함량을 보였다. 청록색을 나타내는 클로로필 a의 함량이 클로로필 b에 비해 높은 경향을 보였으며, 청록색을 나타내는 a 값과 총 클로로필 함량은 WLD(일반광원)를 쬐인 새싹에서 높게 나타났다. 또한 브로콜리 새싹의 클로로필 함량은 시금치 총 클로로필 947 mg%, 클로로필 a 698 mg%, 클로로필 b 249 mg%(33), 미나리 총 클로로필 612 mg%, 클로로필 a 462 mg%, 클로로필 b 153 mg%(34)보다 높았다.

#### 유기산 함량

LED 광원으로 처리한 브로콜리 새싹의 유기산은 citric acid, malic acid가 검출되었으며, LED 광원에 따라 각각 달랐다(Table 4).

Citric acid, malic acid는 모든 시료에서 검출되었으며, Citric acid는 908~1,136 mg%로 청색광원(BLD)에서 가장 높게 측정되었다. Malic acid는 514~834 mg%로 적색광원(RLD)에서 가장 높은 함량을 보였으며, lactic acid, 휘발성을 갖는 oxalic acid는 Ca과 불용성염을 형성하여 Ca의 체내 이용률을 저하시키는 유기산으로 알려졌는데(35), 브로콜리 새싹의 모든 시료에서 검출되지 않았다. 이는 건조과정에서

Table 4. Organic acids contents of broccoli sprouts

(mg%)

Sprout samples <sup>1)</sup>	Citric acid	Malic acid	Lactic acid	Oxalic acid
RLD	908.87±0.1 <sup>d2)</sup>	834.58±0.21 <sup>a</sup>	ND <sup>3)</sup>	ND
BLD	1,136.98±0.17 <sup>a</sup>	514.71±0.17 <sup>d</sup>	ND	ND
RBLD	1,061.80±0.2 <sup>c</sup>	518.14±0.1 <sup>c</sup>	ND	ND
WLD	1,132.59±0.16 <sup>b</sup>	716.49±0.11 <sup>b</sup>	ND	ND

<sup>1)</sup>See the Table 1.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of experimental group. Different letters (a-d) in each values show statistical significances at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>3)</sup>Not detected.

Table 5. Mineral contents of broccoli sprouts

(mg%)

Sprout samples <sup>1)</sup>	Fe	K	Mg	Mn	Cu	Na	Zn
RLD	5.79±0.01 <sup>b2)</sup>	518.67±0.01 <sup>a</sup>	339.02±0.009 <sup>b</sup>	2.63±0.08 <sup>a</sup>	0.76±0.02 <sup>b</sup>	94.03±0.011 <sup>c</sup>	6.95±0.012 <sup>c</sup>
BLD	5.88±0.011 <sup>a</sup>	427.71±0.01 <sup>c</sup>	281.85±0.01 <sup>d</sup>	2.40±0.09 <sup>d</sup>	0.79±0.01 <sup>a</sup>	83.21±0.01 <sup>d</sup>	8.43±0.01 <sup>a</sup>
RBLD	4.91±0.01 <sup>d</sup>	386.12±0.013 <sup>d</sup>	332.36±0.012 <sup>c</sup>	2.48±0.014 <sup>e</sup>	0.75±0.05 <sup>c</sup>	99.75±0.015 <sup>b</sup>	7.6±0.09 <sup>b</sup>
WLD	5.53±0.012 <sup>c</sup>	433.09±0.017 <sup>b</sup>	360.08±0.011 <sup>a</sup>	2.53±0.01 <sup>b</sup>	0.79±0.01 <sup>a</sup>	117.44±0.011 <sup>a</sup>	6.16±0.01 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>See the Table 1.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of experimental group. Different letters (a-d) in each values show statistical significances at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

산화작용을 통한 저분자화로 그 함량이 감소하거나 휘발된 것으로 사료된다. 같은 십자화과 채소인 무순도 oxalic acid가 검출되지 않았으며, 무순에 함유된 유기산은 levulinic acid, malic acid, citric acid 순이었다(36). 메밀 싹의 경우는 유기산 중 oxalic acid 함량이 가장 많이 검출되었고, 다음으로 citric acid, maleic acid, succinic acid, malic acid, acetic acid, formic acid 순으로 검출되었다(37).

무기질 조성

LED 광원에 따른 브로콜리 새싹의 무기질 함량은 Table 5와 같다. 총 7종의 무기질 성분이 검출되었다. 이 중 적색광원을 쬐인 브로콜리 새싹의 K 함량이 518 mg%로 가장 많았으며, 다음으로 Mg, Na 순이었고, Zn, Fe, Cu의 함량은 미량이었다. Kim 등(38)의 다 자란 브로콜리 잎 즙의 경우 무기질 함량은 K, Ca, Na, Mg, Mn, Fe, Zn, Mn, Se 순으로 나타나 LED 광원을 쬐인 브로콜리 새싹과 브로콜리 잎의 무기질 성분 및 함량에 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다.

비타민 A, C, E 함량

비타민 A, C 및 E 함량을 측정된 결과는 Table 6과 같다. 비타민 A의 함량은 적색광원(RLD)을 쬐인 브로콜리 새싹에서 860.62±0.02 µgRE로 가장 높은 함량을 보였으며, 비타민 C의 경우는 청색광원(BLD)을 쬐인 브로콜리 새싹에서 137.05±0.1 mg%로 가장 높게 나타났다. 비타민 E 경우는 1.11~1.47 IU의 함량을 나타내었다. 유채 싹의 경우 비타민 E가 0.37 mg% 함유되어 있는 것으로 보고(37)되어 브로콜리 새싹이 지용성 항산화 비타민인 비타민 E 함량이 유채 싹보다 3~4배 이상 높게 나타났다. 또한 순무 싹 분말의 비타민 함량 분석 결과 비타민 A와 E의 함량은 각각 0.09 mg%와 30.6 mg%이었다(39). 브로콜리 싹의 경우 비타민 A와 E의 함량은 0.06 mg%, 0.82 mg%로 LED 광원을 쬐인

Table 6. Contents of vitamin A, C, E in broccoli sprouts

Sprout samples <sup>1)</sup>	Vitamin A (µgRE/100 g)	Vitamin C (mg/100 g)	Vitamin E (IU/100 g)
RLD	860.62±0.02 <sup>a2)</sup>	134.57±0.14 <sup>b</sup>	1.44±0.1 <sup>b</sup>
BLD	432.48±0.05 <sup>d</sup>	137.05±0.1 <sup>a</sup>	1.11±0.12 <sup>d</sup>
RBLD	667.33±0.11 <sup>b</sup>	118.50±0.09 <sup>d</sup>	1.47±0.1 <sup>a</sup>
WLD	640.25±0.08 <sup>c</sup>	119.87±0.07 <sup>c</sup>	1.31±0.15 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>See the Table 1.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD of experimental group. Different letters (a-d) in each values show statistical significances at α=0.05 by Duncan's multiple range test.

브로콜리 새싹이 순무 싹이나 브로콜리 싹, 유채 싹에 비하여 지용성 항산화 비타민인 비타민 E 함량이 월등히 높은 것으로 나타났다(27).

요 약

LED광원에 따른 건조한 브로콜리 새싹의 일반성분을 분석한 결과 광원에 따라 유의적인 차이를 나타냈으며, 구성당은 glucose가 2.94~3.12%로 가장 많았고, fructose는 1.54~2.04% 검출되어 총 2종이 검출되었다. 클로로필 함량은 WLD(일반광원)을 쬐인 브로콜리 새싹에서 총 클로로필 함량 1,157±0.004 mg%, 클로로필 a 777±0.01 mg%로 높게 나타났다. 유기산은 총 2종의 유기산이 검출되었으며, citric acid, malic acid는 모든 시료에서 검출되었고, citric acid 함량은 908~1,136 mg%로 청색광원(BLD)에서 가장 높게 측정되었으며, malic acid는 514~834 mg%로 적색광원(RLD)에서 가장 높은 함량을 보였다. 무기질은 총 7종의 성분이 검출되었고, 이 중 K 함량이 518 mg%로 가장 많았으며, 다음으로 Mg, Na 순이었고, Zn, Fe, Cu의 함량은 미량이었다. 비타민 A와 C 및 E 함량은 각각 RLD 860.62±0.02 µgRE, 134.570±0.14 mg%, 1.44±0.1 IU, BLD 432.48±0.05 µgRE,

137.05±0.1 mg%, 1.11±0.12 IU, RBLD 667.33±0.11 µgRE, 118.50±0.09 mg%, 1.47±0.1 IU, WLD 640.25±0.08 µgRE, 119.87±0.07 mg%, 1.31±0.15 IU이었다. 이상의 결과 브로콜리 새싹은 LED 광원에 따라 식물체가 발아하여 새싹으로 되면 발아와 함께 식물체 내 영양 화학적 성분에 큰 변화를 일으키는 것으로 나타났다.

## 문 헌

- Ha JO, Ha TM, Lee JJ, Kim AR, Lee MY. 2009. Chemical components and physiological functionalities of *Brassica campestris* ssp *rapa* sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1302-1309.
- Kim JW. 2010. Trend and direction for plant factory system. *J Plant Biotechnol* 37: 442-455.
- Kozai T. 2007. Propagation, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan. *Propag Ornament Plants* 7: 145-149.
- TIIC, Technical Information Institute Co., LTD. 2009. *A plant factory business strategy and the latest cultivation technology*. TIIC, Tokyo, Japan. p 451-478.
- Nishimura T, Zobayed SMA, Kozai T, Goto E. 2006. Effect of light quality of blue and red fluorescent lamps 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.
- Matsumoto T, Itoh H, Shirai Y, Shiraiishi N, Uno Y. 2010. Effects of light quality on growth and nitrate concentration in lettuce. *J SHITA* 22: 140-147.
- 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.
- Troyer JR. 1964. Anthocyanin formation in excised segments of buckwheat-seedling hypocotyls. *Plant Physiol* 39: 907-912.
- Troyer JR. 1958. Anthocyanin pigments of buckwheat hypocotyls. *Ohio J Sci* 58: 187-188.
- Watanabe M. 2007. Anthocyanin compound in buckwheats sprouts and its contribution to antioxidant capacity. *Biosci Biotechnol Biochem* 71: 579-582.
- Hwang EJ, Lee SY, Kwon SJ, Park MH, Boo HO. 2006. Antioxidative, antimicrobial and cytotoxic activities of *Fagopyrum esculentum* Mönch extract in germinated seeds. *Korean J Med Crop Sci* 14: 1-7.
- Kim MR, Kim JH, Wi DS, Na JH, Sok DE. 1999. Volatile sulfur compounds, proximate components, minerals, vitamin C content and sensory characteristics of the juices of kale and broccoli leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 1201-1207.
- 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.
- 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.
- Zhang Y, Talalay P, Cho CG, Posner GH. 1992. A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: isolation and elucidation of structure. *Proc Natl Acad Sci USA* 89: 2399-2403.
- 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.
- 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.
- Fahey JW, Haristony X, Dolan PM, Kensler TW, Scholtus I, Stephenson KK, Talaly P, Lozniewski A. 2002. Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibiotic-resistant strains of *Helicobacter pylori* and prevents benzo [a]pyrene-induced stomach tumors. *Proc Natl Acad Sci USA* 99: 7610-7615.
- AACC. 1990. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. 8th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., MN, USA. 08-01, 10-10b, 38-10, 44-15A, 46-10, 50-11, 54-21, 54-30, 56-81B.
- Jeong CH, Kim JH, Shin KH. 2006. Chemical components of yellow and red onion. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 708-712.
- AOAC. 1984. *Official methods of analysis*. 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 169-171.
- Yang YT, Kim MS, Hyun KH, Kim YC, Koh JS. 2008. Chemical constituents and flavonoids in citrus pressed cake. *Korean J Food Preserv* 15: 94-98.
- Lee EH, Kim C. 2008. Nutritional changes of buckwheat during germination. *Korean J Food Culture* 23: 121-129.
- Ueda T, Igarashi O. 1987. Determination of tocopherol by HPLC. *J Micronutrient Anal* 3: 15-18.
- Vanderstoep J. 1981. Effect of the nutritive value of legumes. *Food Technol* 35: 83-91.
- Lee JJ, Lee YM, Kim AR, Lee MY. 2009. Physicochemical composition of broccoli sprouts. *Korean J Life Sci* 19: 192-197.
- Kim DJ, Kim JM, Hong SS. 2004. The composition of dietary fiber on brassica vegetables. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 700-704.
- Han JH, Moon HK, Kim JK, Kim JY, Kang WW. 2003. Changes in chemical composition of radish bud (*Raphanus sativus* L.) during growth stage. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19: 596-602.
- Kim IS, Kwon TB, Oh SK. 1988. Study on the composition change of free sugars and glucosinolates of rapeseed during germination. *Korean J Food Sci Technol* 20: 194-199.
- Morishita K. 2000. Foundation of natural medical science. The 4th International New Science Symposium. Washington, DC, USA. Vol 5, p 169.
- Kim KT, Kim SS, Lee SH, Kim DM. 2003. The functionality of barley leaf and its application on functional foods. *Food Science and Industry* 36: 45-49.
- Schwartz SJ, Lorenzo TV. 1990. Chlorophyll in foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 29: 1-17.
- Kim KT, Seog HM, Kim SS. 1994. Changes in physicochemical characteristics of barley leaf during growth. *Korean J Food Sci Technol* 26: 471-474.
- Stauffer JQ, Humphreys MH, Weir CJ. 1973. Acquired hyperoxaluria with regional enteritis after ileal resection. Role of dietary oxalate. *Ann Intern Med* 79: 383-391.
- Han JH, Moon HK, Kim JK, Kim JY, Kang WW. 2003. Changes in chemical composition of radish bud (*Raphanus sativus* L.) during growth stage. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19: 596-602.
- Lee EH, Kim CJ. 2008. Nutritional changes of buckwheat

- during germination. *Korean J Food Culture* 23: 121-129.
38. Kim DJ, Kim JM, Hong SS. 2004. The composition of dietary fiber on brassica vegetables. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 700-704.
39. Ha JO, Ha MH, Lee JJ, Kim AR, Lee MY. 2009. Chemical components and physiological functionalities of *Brassica campestris* ssp *rapa* sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1302-1309.

(2011년 9월 26일 접수; 2011년 11월 16일 채택)