

## REVIEW

# Glucosinolate를 활용한 기능성 브로콜리 육성계통 선발 전략

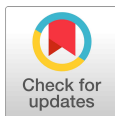
조정수\*

전남대학교 원예생명공학과

## Selection Strategies for Functional Broccoli Breeding Lines Based on Glucosinolate Profile and Content

Jung Su Jo\*

Department of Horticulture, College of Agricultural and Life Science, Chonnam National University, Gwangju, Korea



Received: December 11, 2023  
Accepted: December 22, 2023

\*Corresponding author :  
Jung Su Jo  
Department of Horticulture, College of  
Agricultural and Life Science, Chonnam  
National University, Gwangju, Korea  
Tel : +82-62-530-2063  
E-mail : jungsu@jnu.ac.kr

Copyright © 2023 Institute of Agricultural Science  
& Technology, Chonnam National University.  
This is an Open Access article distributed  
under the terms of the Creative Commons  
Attribution Non-Commercial License  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)  
which permits unrestricted non-commercial  
use, distribution, and reproduction in any  
medium, provided the original work is  
properly cited.

### ORCID

Jung Su Jo  
<https://orcid.org/0000-0002-9358-947X>

### Abstract

Glucosinolates (GSLs) are unique functional compounds found in cruciferous vegetables, there has been growing interest from consumers, and breeding companies are also making efforts to develop functional cultivars. This study aims to review methods for selecting functional broccoli breeding lines and improving functional compounds. To breed functional broccoli, it is not enough to select breeding lines based on GSL content alone. It is important to consider the isothiocyanates, which are the hydrolytic products with actual beneficial effects, when selecting lines. Additionally, since GSLs are greatly affected by environmental factors, it is necessary to verify the content variation through repeated cultivation after selecting the breeding lines. Lines that are sensitive to environmental factors may be problematic to use, so it is necessary to select and breed lines that are insensitive to environmental changes and have high GSL content. Lines selected and bred in this way can further increase their functional compounds depending on the cultivation, storage, and consumption methods. Therefore, to breed functional broccoli, it is necessary to select lines with high GSL content and low sensitivity to environmental factors. It is also believed that by systematically using a series of cultivation, storage, and consumption methods for further functional enhancement, functional broccoli can be provided to consumers.

### Keywords

broccoli, glucosinolate, isothiocyanate, myrosinase, nitrile

## 서론

Glucosinolate(GLS)는 황으로 연결된  $\beta$ -glucopyranosyl 잔기, thiotyroximate 및 아미노산에서 유래된 다양한 측쇄로 구성된다[1].

GSL은 항암 작용을 하는 식물의 2차 대사산물로 브로콜리, 콜리플라워, 양배추, 유채, 무, 배추를 포함한 배추과 채소에 존재하며, 황과 질소를 함유하고, 특이한 맛과 풍미를 제공하며, 현재까지 배추과 작물에서 약 200종의 개별 GSL이 확인되었다[3,4]. 200개 이상의 GSL 중 glucoraphanin, glucobrassicin 및 gluconasturtiin은 높은 생리활성 화합물로 자주 보고되었고, 배추과 채소의 특정 조직에서 이러한 GSL의 축적은 유전자형, 재배 계절, 식물 부위 및 기타 여러 환경 조건과 같은 요인에 크게 의존한다[5,6]. 유전자형은 GSL의 함량과 농도를 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나이며, 동일한 유전자형이라도 조직 유형, 성장 단계 등 개체 발생 조건에 따라 그 조성이 매우 다양하다. 현재까지 유용한 개별 GSL의 구성을 갖는 근친교배 계통의 선발과 광범위한 작물에서 GSL 변이의

해석에 대한 많은 연구가 보고되었다[1].

일반적으로 온전한 GSL은 생체활성을 갖지 않고, Myrosinase에 의해 생성된 가수분해 산물이 독특한 활성을 나타낸다고 보고되었다[2,7]. GSL의 가수분해산물은 주로 isothiocyanate(ITC), thiocyanate, nitrile, epithionitrile 그룹으로 나누어지며, myrosinase라는 식물 효소에 의해 매개된다. GSL의 가수분해산물은 인간과 동물에게 항암 및 항산화 활성을 나타낼 수 있으며[8], GSL과 가수분해산물인 ITC의 일반적인 생리활성 특성에 대한 첫 번째 연구는 17세기 초에 보고되었으며, 1830년에 sinigrin과 가수분해산물이 sinalbin이 확인되었다. 1956년에 GSL의 구조에 대한 정보와 최초의 합성 GSL가 공개되었고, 1970년대 이래로 많은 연구가 인간의 건강과 영양에 대한 개별 GSL 또는 그 가수분해 산물의 생물학적 영향에 초점을 맞춰 왔다. 최근에는 많은 배추과 채소의 GSL 함량, 기능성 및 함량변이 대한 연구가 집중적으로 수행되고 있다[9,10].

최근 소비자들이 기능성 채소를 선호하고 있으며, 육종회사에서도 기능성 채소 품종을 육성하려는 노력이 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기능성 측면에서의 브로콜리를 평가하고, 기능성 브로콜리 육종계통을 선발하는 방식 및 기능성 물질 향상 방법에 대하여 살펴보고자 한다.

## 본 론

### 1. 브로콜리의 식품영양학적 가치 및 효능

식물은 스트레스가 많은 환경조건에 노출되었을 때 자신을 보호하기 위한 방어 기작의 하나로써 항산화물질을 포함한 다양한 2차 대사산물을 생합성하여 식물체 내에 축적하게 된다[11]. 배추과 작물은 섬유질과 비타민 C의 중요한 공급원이며, GSL, flavonoid, phenol 화합물 등과 같은 기능성 물질을 풍부하게 함유되어 있어 약리적, 생리적 활성을 나타내는 중요한 채소 작물로 알려져 있다[2]. 그중 브로콜리는 식용부위 100 g당 33 kcal, 수분 88.6%, 단백질 5.0 g, 칼슘 64 mg, 철분 1.5 mg, 칼륨 307 mg 등 영양성분이 많이 함유되어 있으며, 비타민 A(retinol equivalent 128  $\mu$ g,  $\beta$ -carotene 766  $\mu$ g), 비타민 B2 0.26 mg, 비타민 C 98 mg 등을 함유하고 있어 배추과 채소류 중 식품영양학적 측면에서 매우 우수한 가치를 지닌 채소이다[12].

브로콜리는 GSL, 비타민, phenol, flavonoid 등 다양한 2차 대사산물이 풍부하여 가장 인기 있는 기능성 채소 중 하나로 꼽히며, 2000년대부터 소비자의 높은 관심으로 국내에서도 인기를 얻고 있다. 다양한 생리활성 화합물 중에서 GSL은 배추과 채소에 포함된 특이적 기능성 화합물이며, 항암 효과 및 항산화 활성과 같은 건강에 유익한 효과를 가지고 있다. 과거에는 GSL의 쓴맛과 매운맛 때문에 함량이 적은 배추과 채소를 선호했지만, 최근 GSL의 다양한 건강증진 효과가 보고되면서 GSL 함량이 높은 배추과 채소가 인기를 얻고 있다. 브로콜리는 glucobrassicin과 glucoraphanin을 주로 함유하고 있으며, 이들의 가수분해산물인 indole-3-cabinal(I3C)과 sulforaphane은 브로콜리에 풍부하며, 전립선암, 폐암, 난소암, 유방암, 간암, 후두암의 발생을 억제하는 것으로 보고되었다[13-15]. 브로콜리의 I3C과 sulforaphane은 myrosinase에 의한 glucobrassicin과 glucoraphanin 분해로 생성되는 대표적인 ITC이며[16], ITC는 산화 스트레스를 감소시켜 다양한 질병으로부터 인체를 보호하고, 효소 활성을 유도하거나 글루타티온 수준을 증여시켜 간접적으로 항산화 활성을 유도할 수 있다[17]. 브로콜리에 들어 있는 glucoraphanin의 가수분해 생성물인 sulforaphane은 고혈압, 심혈관 질환, 암을 예방하는 것으로 알려져 있다. 브로콜리의 긍정적인 생물학적 활성은 항비만 효과, 콜레스테롤 저하[18], 항염증 효과[19], 항산화 활성[20]에 대해 밝혀졌다. Sulforaphane은 쥐에서 화학적으로 유발된 유방암을 억제하고[21], 세포 주기를 차단하고 세포사멸을 촉진하여 종양 성장을 예방하는 것으로 효과가 입증되었고[22], 위염과 위암을 억제할 수 있다[23]. 최근 연구에 따르면 sulforaphane은 폐암, 악성의 연공성 종양, 자궁경부암세포[24,25], 세포주기 조절 유전자의 활성화[26]를 조절하는 것으로 나타났다. 브로콜리 화합물의 glucobrassicin의 분해로 생성된 I3C는

에스트로겐 대사를 변경하여 호르몬 의존성 암의 발생을 조절할 수 있다[27].

GSL의 암 화학적 예방이 널리 알려지면서 브로콜리의 섭취도 늘어나고 있으며, 브로콜리를 활용한 건강보조식품과 화장품이 개발되고 있다. 따라서 많은 연구자들이 기능성 배추과 채소 선발에 관한 연구를 진행해 왔다[6,28,29].

## 2. 기능성 브로콜리 선발 방식의 변화

기능성 브로콜리를 선발하는 연구들이 활발하게 진행되고 있으며, 동일한 품종이라도 생장단계, 식물부위, 유전적 요인, 재배조건, 생장시기 등 다양한 환경요인에 따라 GSL의 조성과 함량에 차이가 발생하기 때문에 어려움을 겪고 있다[30]. 또한 GSL은 그 자체로는 활성을 나타내지 않으나 myrosinase에 의해 분해산물이 생성될 때 긍정적인 효과를 보인다[31]. 가수분해물 중 ITC는 항암 효과 등 많은 긍정적인 효과를 나타낸다. GSL이 myrosinase에 의해 분해될 때, 가수분해된 생성물의 함량은 ESP(epithiospecifier protein) 및 pH와 같은 여러 요인에 의해 결정된다[32]. 그중 ESP는 nitrile과 epithionitrile의 형성을 지시하고 가수분해물의 구성에 영향을 미친다[32]. 연구에 따르면 20개 상용 브로콜리 품종의 ESP 활성은  $17.1 \pm 0.98\%$ 에서  $46.0 \pm 1.33\%$ 로 다양했다[32]. 이러한 결과를 통해 브로콜리는 다양한 ESP 활성을 가지고 있음을 알 수 있으며, 다양한 ESP 활성으로 인해 브로콜리 유전자형에 따라 가수분해물의 조성 및 함량이 달라질 것으로 예상된다. 또한 ITC인 sulforaphane과 phenethyl ITC가 귀는 환원효소를 유도하는 것으로 보고되었다[33]. 반면, nitrile은 sulforaphane과 phenethyl ITC에 비해 화학적 보호 작용이 거의 또는 전혀 없는 것으로 알려져 있다[34]. 그러나 기능성 브로콜리 계통의 선별은 주로 GLS 함량과 조성에만 초점을 맞춰왔으며, 지금까지 기능성 브로콜리 선발을 위해 가수분해산물에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

최근 연구에서는 GSL 함량 또는 가수분해산물만을 고려하여 기능성 브로콜리를 선택함에 있어서 뚜렷한 차이를 발견하였고, 전체 GSL 함량과 개별 GSL 함량이 높아도 ITC 함량은 높은 수준으로 생산되지 않았다[35]. 따라서 기능성 브로콜리를 선발함에 있어서 낮은 nitrile 형성과 높은 ITC 함량이 필요하며, GSL 함량이 높은 기능성 브로콜리 계통을 선발할 때 이와 같은 사항을 고려하여야 한다. 또한 브로콜리뿐만 아니라 기능성 배추과 채소를 선발함에 있어서도 적용될 수 있지만, 명확한 육종 프로그램을 위해서는 개별 가수분해산물의 함량을 보다 정밀하게 분석할 필요가 있다.

## 3. 브로콜리 glucosinolates 함량 증진 연구

이와 같은 기능적 이유로 기능성 브로콜리 품종을 육성하거나[6], 배추과 채소의 건강 증진 화합물을 강화하기 위한 다양한 방법이 시도되었다. 여러 보고서에 따르면 GSL 함량과 그 조성의 변화는 케일 싹에 대한 LED 단일 광 처리에 따라 달라졌고[36], 광주기(12시간과 24시간)에 따른 브로콜리의 식물화학물질의 변화[37]와 광주기에 따른 *Arabidopsis thaliana*의 차등적 GSL 생합성이 보고되었다[38]. 케일의 시니그린 함량은 적색광의 영향으로 증가했고[39], 청색광은 브로콜리 새싹의 glucoraphanin, epiprogoitrin, aliphatic GS를 증가시켰다[40]. 이와 같이 배추과 채소의 GSL 함량 증진 연구를 다양하게 보고되고 있다.

수확 후 브로콜리 화뢰는 저장기간이 증가하는 동안 급속한 노화를 겪을 수 있으며, 노화는 시각적으로 화뢰의 엽록소 분해로 나타날 수 있다[41]. 또한, 수확된 브로콜리 화뢰의 긴 운송 기간으로 인해 GSL 및 기타 건강 증진 화합물의 함량이 달라질 수 있다. 긴 운송 기간은 브로콜리의 노화로 이어질 수 있으며, 이는 GSL이 myrosinase에 의해 가수분해되어 휘발성 화합물로 방출되기 때문에 GSL 함량을 감소시킨다[42]. 몇몇 저자들은 1-22도 범위 내에서 높거나 낮은 온도에서 총 GSL 및 glucoraphanin 수준에 변화가 없거나 총 GSL이 감소했다고 보고했다[43]. 또한 10℃에서 보관한 브로콜리 화뢰의 총 GSL이 42% 증가했다는 연구도 있다[44]. 따라서 브로콜리의 GSL 함량에 대한

저장 온도의 영향은 완전히 연구되지 않았으며, 저장온도에 따른 가수분해산물에 대한 연구도 아직 미흡한 실정이다.

GSL 및 기타 식물화학물질에 가장 큰 영향을 미치는 수확 후 과정은 섭취 방법이다. 브로콜리 화퇴의 GSL은 주로 요리하는 동안 물로 침출 되어 손실되지만 손실 속도는 물의 양, 사용된 섭취 방법 및 요리 시간에 따라 달라진다[45]. 여러 연구에 따르면 브로콜리의 GSL 손실은 대부분 전자레인지에서 조리되거나 물로 삶을 때로 나타났다[46]. 대조적으로, 증기를 이용한 조리방법은 다양한 배추과 채소에서 GSL 손실이 가장 적은 것으로 밝혀졌다[47]. 익히지 않은 브로콜리의 화퇴에서 nitrile과 sulforaphane은 ESP의 작용으로 glucoraphanin의 주요 가수분해산물이었지만[48], 브로콜리 화퇴를 60도에서 5분 또는 10분 동안 가열을 시키면 sulforaphane 함량이 증가하고, 이는 가열 온도가 ESP를 비활성화시키기 때문이다[48]. 비록 일반적인 조리 방법은 아니지만 낮은 열처리를 통해 단백질의 비활성으로 브로콜리 화퇴의 sulforaphane을 크게 증가시킬 수 있다고 보고되었다[48]. 또한, 전자레인지 처리 시간이 길어질수록 sulforaphane 함량이 감소하고, 조리 시간이 길어질수록 sulforaphane 생산을 방해할 수 있다고 보고되었다[49]. 따라서 섭취 전 가공 방법은 다른 건강 증진 화합물과 함께 ITC 및 nitrile의 함량을 결정하는 중요한 요소가 될 수 있다.

## 결론

앞서 언급한 내용과 같이 기능성 브로콜리를 육성하기 위해서는 단순히 GSL 함량만으로 육성계통을 선발하는 것이 아니라 실질적인 유용한 효과를 가지고 있는 ITC를 고려하여 계통을 선발하여야 한다. 또한 GSL은 환경요인에 영향을 많이 받기 때문에 육성계통을 선발 후에도 연차간 재배를 통해 함량이 변이의 확인이 필요하다. 만약 환경에 민감하게 반응하는 계통의 경우는 사용하기에 문제가 생길 수 있고, 따라서 환경변이에 둔감하게 반응하며 GSL 함량이 높은 계통을 선발 및 육성해야 한다. 이러한 방법으로 선발 및 육성된 계통들은 재배, 저장 및 섭취 방법 등에 따라서 추가적인 기능성 물질의 증진이 가능하다. 따라서 기능성 브로콜리 육성을 위해서는 GSL 함량이 높으며, 환경에 둔감하게 반응하는 계통을 선발하여야 한다. 또한 추가적인 기능성 증진을 위한 일련의 재배, 저장 및 섭취 방법들을 체계적으로 사용한다면 소비자들에게 기능성 브로콜리를 보급할 수 있을 것으로 사료된다.

## Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

## References

1. Clarke DB. Glucosinolates, structures and analysis in food. *Anal Methods*. 2010;2: 310-325.
2. Roger Fenwick G, Griffiths NM, Heaney RK. Bitterness in brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*): the role of 126 glucosinolates and their breakdown products. *J Sci Food Agric*. 1983;34:73-80.
3. Pellegrini N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, et al. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen *Brassica* vegetables. *J Agric Food Chem*. 2010;58:

- 4310-4321.
4. Yan X, Chen S. Regulation of plant glucosinolate metabolism. *Planta*. 2007;226:1343-1352.
5. Bhandari SR, Jo JS, Lee JG. Comparison of glucosinolate profiles in different tissues of nine Brassica crops. *Molecules*. 2015;20:15827-15841.
6. Jo JS, Bhandari SR, Kang GH, Lee JG. Comparative analysis of individual glucosinolates, phytochemicals, and antioxidant activities in broccoli breeding lines. *Hortic Environ Biotechnol*. 2016;57:392-403.
7. Getahun SM, Chung FL. Conversion of glucosinolates to isothiocyanates in humans after ingestion of cooked watercress. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 1999;8:447-451.
8. Halkier BA, Gershenzon J. Biology and biochemistry of glucosinolates. *Annu Rev Plant Biol*. 2006;57:303-333.
9. Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*. 2001;56:5-51.
10. West LG, Meyer KA, Balch BA, Rossi FJ, Schultz MR, Haas GW. Glucoraphanin and 4-hydroxyglucobrassicin contents in seeds of 59 cultivars of broccoli, raab, kohlrabi, radish, cauliflower, brussels sprouts, kale, and cabbage. *J Agric Food Chem*. 2004;52:916-926.
11. Dixon RA, Paiva NL. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*. 1995;7:1085-1097.
12. NAAS. 10th revision Korean food composition table [Internet]. 2021 [cited 2023 Oct 6]. Available from: <https://koreanfood.rda.go.kr/kfi/fct/fctIntro/list?menuId=PS03562>
13. Paul B, Li Y, Tollefsbol TO. The effects of combinatorial genistein and sulforaphane in breast tumor inhibition: role in epigenetic regulation. *Int J Mol Sci*. 2018;19:1754.
14. Kan SF, Wang J, Sun GX. Sulforaphane regulates apoptosis- and proliferation-related signaling pathways and synergizes with cisplatin to suppress human ovarian cancer. *Int J Mol Med*. 2018;42:2447-2458.
15. Lee CM, Park SH, Nam MJ. Anticarcinogenic effect of indole-3-carbinol (I3C) on human hepatocellular carcinoma SNU449 cells. *Hum Exp Toxicol*. 2018;38:136-147.
16. Cole RA. Isothiocyanates, nitriles and thiocyanates as products of autolysis of glucosinolates in Cruciferae. *Phytochemistry*. 1976;15:759-762.
17. Traka M, Mithen R. Glucosinolates, isothiocyanates and human health. *Phytochem Rev*. 2009;8:269-282.
18. Lee JJ, Shin HD, Lee YM, Kim AR, Lee MY. Effect of broccoli sprouts on cholesterol-lowering and anti-obesity effects in rats fed high fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2009;38:309-318.
19. Jang MW, Ha BJ. Effects of broccoli on anti-inflammation and anti-oxidation according to extraction solvent. *J Food Hyg Saf*. 2012;27:461-465.
20. Kim SM, Cho YS, Sung SK. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol*. 2001;33:626-632.
21. Fahey JW, Zhang Y, Talalay P. Broccoli sprouts: an exceptionally rich source of

- inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proc Natl Acad Sci.* 1997;94:10367-10372.
22. Keum YS, Jeong WS, Tony Kong A. Chemoprevention by isothiocyanates and their underlying molecular signaling mechanisms. *Mutat Res Fundam Mol Mech Mutagen.* 2004;555:191-202.
  23. Fahey JW, Haristoy X, Dolan PM, Kensler TW, Scholtus I, Stephenson KK, et al. Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibiotic-resistant strains of *Helicobacter pylori* and prevents benzo[a]pyrene-induced stomach tumors. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2002;99:7610-7615.
  24. Lee WK, Kim SJ. Sulforaphane-induced apoptosis was regulated by p53 and caspase-3 dependent pathway in human chondrosarcoma, HTB-94. *J Life Sci.* 2011;21:851-857.
  25. Yu SM, Kim SJ. Sulforaphane (SFN) and sodium nitroprusside (SNP) regulate proliferation and apoptosis through C-Jun N-terminal kinase (JNKinase) pathway in human breast cancer cell line, MDA-MB-231. *Cancer Prev Res.* 2011;16:318-325.
  26. Bae SJ, Kim GY, Yoo YH, Choi BT, Choi YH. Modulation of cell cycle regulators by sulforaphane in human Mepatocarcinoma HepG2 cells. *J Life Sci.* 2006;16:1235-1242.
  27. Keck AS, Finley JW. Cruciferous vegetables: cancer protective mechanisms of glucosinolate hydrolysis products and selenium. *Integr Cancer Ther.* 2004;3:5-12.
  28. Klopsch R, Witzel K, Börner A, Schreiner M, Hanschen FS. Metabolic profiling of glucosinolates and their hydrolysis products in a germplasm collection of *Brassica rapa* turnips. *Food Res Int.* 2017;100:392-403.
  29. Bhandari SR, Rhee J, Choi CS, Jo JS, Shin YK, Lee JG. Profiling of individual desulfo-glucosinolate content in cabbage head (*Brassica oleracea* var. capitata) germplasm. *Molecules.* 2020;25:1860.
  30. Bhandari SR, Kwak JH. Chemical composition and antioxidant activity in different tissues of *Brassica* vegetables. *Molecules.* 2015;20:1228-1243.
  31. Bones AM, Rossiter JT. The myrosinase-glucosinolate system, its organisation and biochemistry. *Physiol Plant.* 1996;97:194-208.
  32. Matusheski NV, Swarup R, Juvik JA, Mithen R, Bennett M, Jeffery EH. Epithiospecifier protein from broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. italica) inhibits formation of the anticancer agent sulforaphane. *J Agric Food Chem.* 2006;54:2069-2076.
  33. Ku KM, Choi JH, Kim HS, Kushad MM, Jeffery EH, Juvik JA. Methyl jasmonate and 1-methylcyclopropene treatment effects on quinone reductase inducing activity and post-harvest quality of broccoli. *PLOS ONE.* 2013;8:e77127.
  34. Lee YS, Ku KM, Becker TM, Juvik JA. Chemopreventive glucosinolate accumulation in various broccoli and collard tissues: microfluidic-based targeted transcriptomics for by-product valorization. *PLOS ONE.* 2017;12:e0185112.
  35. Jo JS, Bhandari SR, Kang GH, Shin YK, Lee JG. Selection of broccoli (*Brassica oleracea* var. italica) on composition and content of glucosinolates and hydrolysates. *Sci Hortic.* 2022;298:110984.

36. Qian H, Liu T, Deng M, Miao H, Cai C, Shen W, et al. Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. *Food Chem.* 2016;196:1232-1238.
37. Steindal ALH, Mølmann J, Bengtsson GB, Johansen TJ. Influence of day length and temperature on the content of health-related compounds in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *J Agric Food Chem.* 2013;61:10779-10786.
38. Huseby S, Koprivova A, Lee BR, Saha S, Mithen R, Wold AB, et al. Diurnal and light regulation of sulphur assimilation and glucosinolate biosynthesis in *Arabidopsis*. *J Exp Bot.* 2013;64:1039-1048.
39. Lefsrud MG, Kopsell DA, Sams CE. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience.* 2008;43:2243-2244.
40. Kopsell DA, Sams CE. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. *J Am Soc Hortic Sci.* 2013;138:31-37.
41. Page T, Griffiths G, Buchanan-Wollaston V. Molecular and biochemical characterization of postharvest senescence in broccoli. *Plant Physiol.* 2001;125:718-727.
42. Fieldsend J, Milford GFJ. Changes in glucosinolates during crop development in single- and double-low genotypes of winter oilseed rape (*Brassica napus*): I. production and distribution in vegetative tissues and developing pods during development and potential role in the recycling of sulphur within the crop. *Annu Appl Biol.* 1994;124:531-542.
43. Song L, Thornalley PJ. Effect of storage, processing and cooking on glucosinolate content of Brassica vegetables. *Food Chem Toxicol.* 2007;45:216-224.
44. Hansen M, Møller P, Sørensen H, de Trejo MC. Glucosinolates in broccoli stored under controlled atmosphere. *J Am Soc Hortic Sci.* 1995;120:1069-1074.
45. Jones RB, Faragher JD, Winkler S. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads. *Postharvest Biol Technol.* 2006;41:1-8.
46. Vallejo F, Tomás-Barberán F, García-Viguera C. Glucosinolates and vitamin C content in edible parts of broccoli florets after domestic cooking. *Eur Food Res Technol.* 2002;215:310-316.
47. Clifford Conaway C, Getahun SM, Liebes LL, Pusateri DJ, Topham DKW, Botero-Omary M, et al. Disposition of glucosinolates and sulforaphane in humans after ingestion of steamed and fresh broccoli. *Nutr Cancer.* 2000;38:168-178.
48. Matusheski NV, Juvik JA, Jeffery EH. Heating decreases epithiospecifier protein activity and increases sulforaphane formation in broccoli. *Phytochemistry.* 2004;65:1273-1281.
49. Vermeulen M, Klöpping-Ketelaars IWAA, van den Berg R, Vaes WHJ. Bioavailability and kinetics of sulforaphane in humans after consumption of cooked versus raw broccoli. *J Agric Food Chem.* 2008;56:10505-10509.