

수확 후 LED와 UV-B 조사에 의한 아스파라거스 순의 항산화 기능 향상

유남희¹ · 정선균² · 이정애³ · 최동근⁴ · 윤성중^{2*}

¹전북대학교 산학협력단, ²전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과, ³전북대학교 농업과학기술연구소
⁴전북대학교 농업생명과학대학 원예학과

Post-harvest LED and UV-B Irradiation Enhance Antioxidant Properties of Asparagus Spears

Nam-Hee Yoo¹, Sun-Kyun Jung², Chong Ae Lee³, Dong-Geun Choi⁴, and Song Joong Yun^{2*}

¹Bureau of Industry Cooperation and Research, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
²Department of Crop Science and Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
³Institute of Agricultural Science and Technology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
⁴Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

*Corresponding author: sjyun@jbnu.ac.kr

Abstract

Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears were treated with white (color temperature 4,500 K), blue (peak 450 nm), and red (peak 660 nm) light-emitting diodes (LEDs) at a photosynthetic photon flux density (PPFD) of 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for 12 h, and UV-B (280 nm) at 0.5 kJ or 1.0 kJ to determine the effect on agronomic characteristics, antioxidant phytochemicals, and antioxidant activity. The fresh weight, length, and width of spears were not affected by light quality treatments. The free sugars and chlorophyll contents were increased by 9 and 41%, respectively in the UV-0.5 kJ treatments. Among the antioxidant phytochemicals (vitamin C, total phenol, rutin, and total flavonoid), vitamin C was most greatly affected by the light treatments. Vitamin C content was significantly increased in asparagus spears subjected to the white (114%), red (137%), and UV-0.5 kJ (127%) treatments compared to the control. By contrast, rutin, total phenol, and total flavonoid content were increased only in samples subjected to the red and UV-0.5 kJ treatment. Furthermore, antioxidant activity, as measured by DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging activity, increased in white, red, and UV-0.5 kJ treatments by about 43, 41, and 43%, respectively, compared to the control. These results suggest that postharvest treatment of asparagus spears with red light at 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for 12 h or with UV-B (280 nm) at 0.5 kJ could enhance the functional quality of the asparagus spears by increasing the content of phytochemicals like vitamin C, rutin, total phenolics, and total flavonoids.

Additional key words: ascorbic acid, flavonoid, functional phytochemicals, light quality, phenolic acid

Received: September 5, 2016

Revised: October 4, 2016

Accepted: October 9, 2016

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY
35(2):188-198, 2017
URL: <http://www.kjhst.org>

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2017 Korean Society for Horticultural Science.

이 논문은 2013년도 전북대학교 신임교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

서 언

아스파라거스(*Asparagus officinalis* L.)는 백합과 다년생 식물로 약 2000년 전부터 약용 또는 식용으로 재배되어 왔다(Bown 2001; Duke et al., 2002; Negi et al., 2010). 아스파라거스에 다량 함유되어 있는 rutin은 대표적인 항산화물질이며(Sun et al., 2007b), 아스파라긴산은 숙취해소 및 피로회복에 유익한 성분으로 잘 알려져 있다(Kim et al., 2013).

우리나라에서는 정부가 아스파라거스를 수출유망채소로 선정하여 1966년부터 농가에서 재배되기 시작하였으며, 1968년에는 재배면적이 713ha에 이르렀다. 그러나, 국내 재배기술의 미흡과 수출 부진 등의 이유로 재배면적이 점차 감소하여 현재는 약 60ha 수준에 머무르고 있다(RDA, 2005; Kim et al., 2013).

최근 소비자의 식생활 양식의 변화와 국내 거주 외국인의 증가 등으로 기능성 채소에 대한 관심이 높아지고 있으며, 그에 따라 아스파라거스의 국내 소비량도 증가하는 추세를 보이고 있다. 아스파라거스의 수입량은 1990년 7톤에서 2010년 210톤, 2015년 640톤으로 매년 급격하게 증가하고 있다(Park et al., 2016). 이와 같은 수입량의 증가와 온난화에 따른 아열대 채소의 국내 재배 여건의 형성 등을 기반으로 다수의 지방자치단체에서 아스파라거스를 지역의 특화농산물로 개발하려는 노력을 기울이고 있다. 현재 국내에서는 강원, 경기, 전북, 경남, 제주 지역의 약 60 ha의 면적에서 아스파라거스가 생산되고 있다(RDA, 2014). 반면, 수출은 2000년도에 일본에 소량으로 이루어진 바 있지만, 현재는 국내수요를 충족시키기 위해 거의 이루어지지 못하고 있다(Kim et al., 2013).

근래에 국내외적으로 식품의 기능성에 대한 관심이 높아지면서 식품에 함유되어 있는 기능성 성분에 대한 연구와 생산물의 기능성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 아스파라거스, 쪽감, 생강 등 총 43종의 채소를 대상으로 조사한 연구에서 아스파라거스가 항산화 활성이 가장 높은 것으로 나타났다(Tsushida et al., 1994). 아스파라거스의 항산화 활성에 기여하는 주된 물질은 플라보노이드 성분, 페놀성 성분, 아스코르브산(ascorbic acid, 비타민 C) 등이다(Sun et al., 2007a). 플라보노이드 성분 중에서는 루틴(rutin) 함량이 가장 많으며(Tsushida et al., 1994; Wang et al., 2003), 아스파라거스의 항산화 활성의 약 75%를 차지한다(Tsushida et al., 1994).

아스파라거스는 주로 생식으로 이용되고 있지만, 수확 후에 쉽게 품질이 저하되고 저장성이 낮기 때문에 통조림이나 주스 등으로 가공하여 이용성을 높일 필요성이 증대되고 있다(Shimizu, 2006; Sun et al., 2007b). 또한, 아스파라거스의 기능성 향상을 추구하는 품종 개량(Motoki et al., 2012a), 재배 및 수확 후 처리기술 개발(Motoki et al., 2012b) 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 아스파라거스의 주요 플라보노이드인 루틴 함량은 온실 또는 차광재배에 비해 광량이 가장 높은 노지조건에서 생산된 아스파라거스 순에 현저히 높다(Maeda et al., 2010). 한편, 발광다이오드(light-emitting diode, LED) 등의 인공광원을 이용한 특정 파장의 광을 처리한 연구에서는 광량과 함께 광질 또한 채소의 생육과 기능성 성분 함량에 영향을 미친다는 것이 밝혀지고 있다(Bian et al., 2015; Chen et al., 2015; Lee et al., 2016; Son and Oh, 2015; Son et al., 2016).

저장성이 낮은 아스파라거스를 수확한 후에 상품성이 저해되지 않는 범위에서 기능성을 향상시킬 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 아스파라거스 순의 수확 후 광처리에 의한 기능성 품질의 향상 가능성을 연구하기 위하여 LED와 UV-B를 조사하여 외관 품질의 변화와 아스코르브산, 루틴, 총 페놀성분 및 총 플라보노이드의 함량과 항산화 활성에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

아스파라거스(cv. 아틀라스)의 순은 제주지역의 농가(제주시 조천읍 함덕리, 아스파라거스 영농조합법인)에서 생산된 것을

구매하여 실험에 사용하였다. 농가에서 수확 당일에 저온밀봉 처리하여 항공 우편을 통해 발송한 아스파라거스 순을 4°C의 조건에서 12시간 예냉과정을 거친 후 본 실험에 사용하였다. 실험재료 중 병충해의 피해가 없으며 길이 약 22cm, 생체중 약 10g 정도의 균일한 개체를 선별하여 세척 후 실험에 사용하였다.

실험에 사용한 모든 시약은 Sigma Aldrich Chemical Co.(U.S.A)에서 구입하였으며, 고속액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography, HPLC)를 이용한 분석에는 HPLC용 시약을 사용하였다.

LED 및 UV-B 처리 방법

수확 후 광처리 전 상태(before treatment)와 무광처리(control) 및 광처리(treatment)를 비교하기 위하여 대조구로 무광처리(control)를 암상태에서 12시간 저장하였고, 광처리는 발광다이오드(light-emitting diode, LED)와 UV-B(280 nm)광을 12시간 조사하였는데, LED처리는 넓은 대역의 파장을 방사하는 색온도(color temperature) 4,500 K인 백색광(T1처리)과 peak파장이 450 nm인 청색광(T2처리)과 peak파장이 660 nm인 적색광(T3처리) LED를 사용하였으며 LED 챔버 내의 광합성유효광양자속밀도(photosynthetic photon flux density, PPF)를 중앙 및 4개의 구석 지역 등 총 5개 지점에서 측정하여 평균 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정하였다. UV-B의 광량은 1kJ에서 아스파라거스의 호흡이 감소한다는 보고(Eichholz et al. 2011)와 본 연구팀의 사전 예비실험 결과를 바탕으로 하여 0.5 kJ(T4처리)과 1.0 kJ(T5처리) 두 수준으로 처리하였다. 광처리 시설 내 온도 조건은 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 로, 습도는 $70\pm 4\%$ 로 유지하였다.

외관 및 일반 품질 특성

광처리에 따른 외관 및 일반 품질의 변화 여부를 측정하기 위해 처리 전 생체 무게 약 10g, 순 길이 약 22cm의 균일한 개체를 선별하여 고유 번호를 부여하였고, 처리 전후 개체별 생체중, 순 길이 및 직경의 변화를 측정하였다. 또한 색도는 Chroma meter(CR-400, Minolta, JAPAN)를 이용하여 Hunter L*, a*, b* 값을 측정하였다.

가용성 고형물 및 pH 측정

가용성 고형물은 아스파라거스 순 전체를 막자 사발에 분쇄한 후 Digital refractometer(PR-32a, ATAGO, JAPAN)을 이용하여 측정하였으며, pH는 착즙하여 증류수로 5배 희석한 뒤 상온에서 pH meter(HM 25R, Tokyo, JAPAN)를 이용하여 측정하였다(Kim et al., 2007).

엽록소(chlorophyll) 함량 측정

마쇄한 시료 1g에 80% acetone을 10mL 첨가하여 균질화한 뒤 15분 동안 10,000g로 원심분리하였다. 상등액을 여과지(Watman No.2)를 이용하여 여과한 뒤 80% acetone 10mL를 첨가하여 microplate reader(BioTek, USA)를 이용해 측정하였다. 663 nm 및 645 nm 파장에서 측정된 흡광도와 환산식을 이용하여 chlorophyll a, b 및 총 chlorophyll 함량을 산출하였다(Kim and Han, 2005).

총 아스코르브산(total ascorbic acid) 함량 측정

총 아스코르브산의 함량은 Okamura(1980)와 Hwang et al.(2014)의 방법을 응용하여 환원형인 ascorbic acid(AA)와 산화형인 dehydroascorbic acid(DHA)의 합으로 계산하였다. 성분의 추출은 상온의 암상태에서 진행하였으며, 시료 0.5g에 1 mM ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA)가 포함된 5% methylphosphonic acid(MPA) 2mL를 혼합한 뒤 30초씩 3회 균질화하

였다. 균질화한 시료를 4°C에서 20분간 10,000g로 원심분리하여 얻은 상등액을 0.45µm PVDF syringe filter(Whatman, Pittsburgh, USA)로 여과하여 분석에 사용하였다. DHA는 tris(2-carboxyethyl)phosphine hydrochloride(TCEP)를 이용하여 AA로 환원시킨 후 AA를 분석하여 DHA로 환산하였다. 아스코르브산은 HPLC(Waters 2695, USA)를 사용하여 검출하였는데 Waters RP C18 3.5µm(4.6×150mm) 컬럼을 이용하여 254 nm에서 측정하였고, 루틴은 Supelco C18 5µm(4.6×150mm) 컬럼을 이용하여 350 nm에서 측정하였다.

루틴(rutin) 함량 측정

루틴의 함량은 Park et al.(1983)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 동결건조한 시료 0.2g에 70% ethanol 5 mL를 혼합한 뒤 균질화하였다. 균질화한 시료를 6,000g으로 10분간 원심분리한 뒤 상등액을 취하여 0.45µm PVDF syringe filter로 여과한 여과액을 분석에 사용하였다. HPLC(Waters 2695, USA)를 사용하여 검출하였는데 Supelco C18 5µm(4.6×150mm) 컬럼을 이용하여 350 nm에서 측정하였다.

총 페놀화합물(total phenolics) 함량 측정

총 페놀함량을 측정하기 위한 시료의 전처리에는 Jung et al.(2013)의 방법을 이용하여 실시하였다. 동결건조한 시료 1g에 80% methanol 30mL를 첨가한 뒤 상온에서 24시간 동안 200rpm으로 진탕하여 추출하였고, 추출액을 100 mL로 정용하여 실험에 사용하였다. 총 페놀 함량은 Folin-Ciocalteu's phenol시약을 이용한 비색법으로 측정하였다(Singleton and Rossi, 1965). 시료 50µL에 증류수를 첨가하여 1mL로 만든 후, 0.1mL Folin-Ciocalteu's phenol를 첨가하여 3분간 상온에서 반응시켰다. Na₂CO₃를 0.2mL 첨가하여 혼합하고, 증류수를 첨가하여 2mL로 정용한 후, 상온에서 1시간 동안 반응시킨 뒤, 반응액을 10,000g로 10분간 원심분리하여 얻은 상등액의 흡광도를 Micro plate reader(BioTek, U.S.A)를 이용해 725 nm에서 측정하였다. 표준물질은 garlic acid를 사용하였으며, 농도별로 표준용액을 조제한 뒤 시료와 같은 방법으로 흡광도를 측정한 후 표준곡선을 만들어 함량 환산에 사용하였다.

총 플라보노이드(total flavonoids) 함량 측정

시료는 Jung et al.(2013)의 방법을 이용하여 추출하였다. 동결건조한 시료 1g에 80% methanol 30mL를 첨가한 뒤 상온에서 24시간 동안 200rpm으로 진탕하여 추출하였고, 추출액을 100mL로 정용하여 실험에 사용하였다. 총 플라보노이드의 함량은 Boo et al.(2009)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료 100µL에 diethylene glycol 1mL 와 1 N NaOH 10µL를 첨가하여 상온에서 1시간 동안 반응시킨 후 Micro plate reader(BioTek, U.S.A)를 이용해 420nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 quercetin을 사용하였으며, 농도별로 표준용액을 조제한 뒤 시료와 같은 방법으로 흡광도를 측정한 후 표준곡선을 만들어 함량 환산에 적용하였다.

DPPH 자유기 소거능 측정

시료는 Jung et al.(2013)의 방법을 이용하여 추출하였다. 동결건조한 시료 1g에 80% methanol 30mL를 첨가한 뒤 상온에서 24시간 동안 200rpm으로 진탕하여 추출하였고, 추출액을 100mL로 정용하여 실험에 사용하였다. 자유기 소거능은 2,2-dipicryl-1-picrylhydrazyl (DPPH)를 이용하는 Blois(1958)법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료 100µL에 60µM DPPH 100µL를 혼합하여 암상태의 실온에서 30분 간 반응시킨 후 Microplate reader를 이용해 514nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 자유기 소거능은 아래 공식을 이용하여 백분율(%)로 나타내었다.

$$\text{DPPH 자유기 소거능(\%)} = [1 - (\text{시료첨가군 흡광도} / \text{무첨가군 흡광도})] \times 100$$

통계 분석

모든 실험은 3반복으로 실시되었으며, 처리 평균의 유의차는 Statistix 9(V9.0, Tallahassee, USA)을 이용하여 최소유의차(LSD)로 검정하였다.

결과 및 고찰

LED와 UV-B에 의한 외관 품질의 변화

아스파라거스의 생체중은 12시간의 광질처리에 의하여 0.7–1.0% 정도 감소하였으나 통계적 유의성은 인정되지 않았으며 순의 길이 역시 유의적 차이가 관찰되지 않았다. 아스파라거스 순의 정아 부분과 줄기 부분의 직경 역시 처리 전후 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았는데(Table 1), 12시간의 광질처리에 의하여 생체중, 길이, 직경 등의 외관특성이 변하지 않은 이유는 본 시험에서 사용한 광처리의 강도나 시간이 시료의 물리적 외관특성의 변화를 초래할 정도의 수준이 아니었기 때문으로 생각된다.

색과 엽록소 함량의 변화

광질처리에 따라 정아 및 줄기 부위의 색도 변화는 없었으나, 암처리(cont.)의 경우 정아와 줄기 부위의 색상이 4–6% 감소하였다(Table 2). 광질처리에 따른 아스파라거스 순의 엽록소 함량은 처리 전에 비하여 UV 처리구에서 41–54%, 백색광처리구(T1)에서 15% 증가하였고, 청색처리구(T2)과 적색광처리구(T3)에서는 변화가 없었으나, 대조구인 암처리(cont.)에서는 16% 감소하였다. 이러한 총 엽록소 함량의 변화는 엽록소 a와 b 함량이 처리구별로 유사한 경향으로 변화한 결과에 의해 나타났다(Fig. 1).

엽록소 a는 처리 전에 비해 UV-B 0.5kJ(T4), 1.0kJ(T5)는 각각 36%, 39% 증가하였고, LED 광 처리구는 3–15% 증가하였으며, 대조구(cont.)는 16% 감소하였다. 엽록소 b 역시 암처리구에 비해 UV-B 0.5kJ(T4)과 1.0kJ(T5)은 각각 26%와 37% 증가하였고, LED 광 처리구는 3–11% 증가하였고, 처리 전에 비해 대조구(cont.)는 11% 감소하였다. 식물의 UV-B나 C에 대한 반응은 식물종 및 처리강도에 따라 다르다. 애기장대에 UV-B(2.4kJ)를 처리하면 암상태에서 유도되는 엽록소의 파괴를 억제하고, 엽록소 함량을 증가시킨다(Sztatelman et al., 2015; Turtoi, 2013). 브로콜리를 UV-C(4–14kJ)로 처리하면 엽록소의 파괴를 지연시키며(Costa et al., 2006), 큰다닥냉이(*Lepidium sativum* L.)를 UV-C (36kJ)로 처리하면 엽록소 분해를 저해하고 엽록소 함량을 증가시킨다(Kasim and Kasim, 2012). 본 연구에서는 아스파라거스의 호흡 감소가 초래되는 것으로 보고된 1.0kJ(Eichholz et al. (2011)과 그 이하의 상대적으로 낮은 수준의 UV-B 처리에 의해 아스파라거스 순의 엽록소 함량이 증가

Table 1. Fresh weight, length, and diameter of asparagus spears before and after LED or UV light treatment.

Treatment ^z	Fresh weight (g)	Stem length (cm)	Flower part diameter (mm)	Stem part diameter (mm)
Before trt.	10.44a	26.16a	0.97a	8.87a
Control	10.33b	25.83b	0.87b	8.86ab
T1	10.36b	25.89b	0.87b	8.84ab
T2	10.35b	25.88b	0.86b	8.83ab
T3	10.33b	25.90b	0.86b	8.82b
T4	10.34b	25.90b	0.86b	8.82b
T5	10.37b	25.89b	0.87b	8.81b

^z Before treatment (trt.) and control indicate samples with no treatment and treated for 12 h with darkness, respectively. T1, T2, and T3 indicate white, blue, and red LED treatment for 12 h at 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD; T4 and T5 indicate UV-B 0.5 kJ and 1.0 kJ, respectively.

Numbers in a column followed by the same letter are not significantly different at the $p = 0.05$ level by the least significant difference (LSD) method.

한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 본 연구의 광질처리 범위에서 화두와 줄기 부분의 선택 저하를 초래하지 않음을 나타낸다.

가용성 고형물 및 pH 변화

처리별 아스파라거스 순의 당도는 처리 전에 비해 대조구(cont.) 및 LED광 처리구는 10–13% 감소한 반면, UV-B 0.5kJ(T4), 1.0kJ(T5)는 각각 9%와 4% 증가하였다(Table 3). UV-C를 1 kJ·m⁻²로 8분 처리한 아스파라거스 순은 호흡이 감소되고 조직의 경도가 증가되었다는 결과(Turtoi, 2013)에 비추어, UV 처리구에서의 당도의 증가는 호흡감소로 인한 당 소비량의 감소에 의한 것으로 추정된다. 이와 같은 UV-C(4–14kJ) 처리에 의한 호흡저감 현상은 브로콜리에서도 보고되었다(Costa et al., 2006). pH는 처리 전과 모든 처리구에서 pH 6.2 정도가 유지되어 처리기간 동안은 물성의 변화가 미미한 것으로 생각된다(Table 3).

아스코르브산(비타민 C) 함량

처리 전의 아스코르브산 함량은 약 29 mg·100g FW⁻¹로 국외 품종에서 보고된 함량의 약 73–161% 수준에 해당하였다(Saito et al., 2000; Fanasca et al., 2009). 대조구(cont.)의 아스코르브산 함량은 처리 전 함량에 비해 약 52% 감소하였다(Table 3). 이

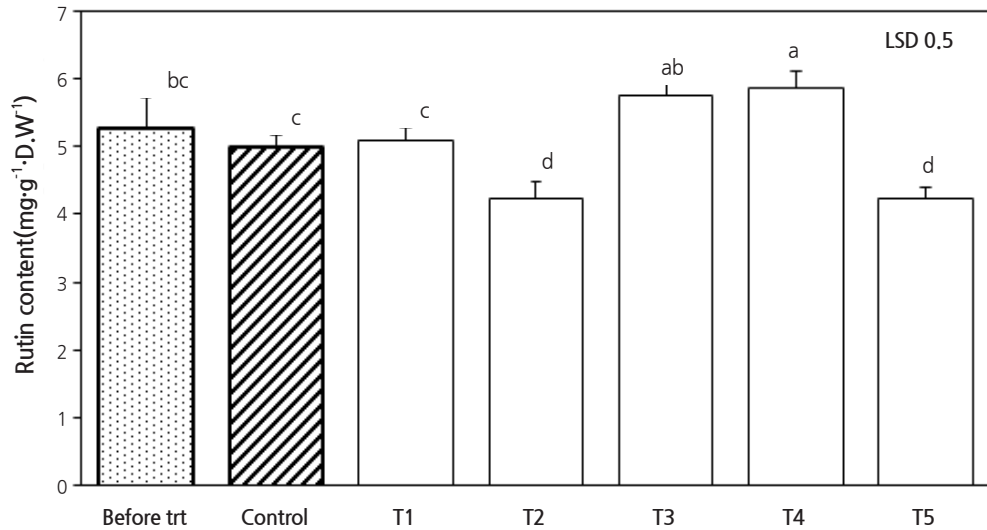


Fig. 1. Contents of rutin in asparagus spears treated with white (T1), blue (T2), or red (T3) LEDs for 12 h at 200 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPFD or UV-B 0.5 (T4) or 1.0 kJ (T5). Before treatment (trt.) and control indicate samples with no treatment and treated for 12 h with darkness, respectively. Vertical bars indicate standard deviations of nine samples.

Table 2. Colorimetric characteristics of flower and stem part of asparagus spears treated with white, blue, or red LEDs for 12 h at 200 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPFD or UV-B 0.5 and 1.0 kJ.

Treatment ²	Flower-part			Stem-part		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Before trt.	20.2a	-6.7a	24.1a	27.7a	-13.0ab	26.3a
control	21.5a	-8.0b	24.0a	26.2a	-14.6d	26.2a
T1	21.1a	-7.3ab	24.9a	26.7a	-14.2cd	26.0a
T2	21.0a	-7.6ab	24.5a	26.9a	-14.6d	26.2a
T3	20.7a	-7.3ab	24.1a	26.8a	-14.1cd	26.3a
T4	20.4a	-6.9a	24.4a	26.8a	-13.2bc	26.6a
T5	20.8a	-7.0ab	24.3a	26.9a	-12.1a	26.4a

²Before treatment (trt.) and control indicate samples with no treatment and treated for 12 h with darkness, respectively. T1, T2, and T3 indicate white, blue, and red LED treatment for 12 h at 200 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPFD; T4 and T5 indicate UV-B 0.5 kJ and 1.0 kJ, respectively.

Numbers in a column followed by the same letter are not significantly different at the p = 0.05 level by the least significant difference (LSD) method.

Table 3. Soluble solid, pH, and contents of chlorophyll, total ascorbic acid, total phenolics, and total flavonoids of asparagus spears treated with white, blue, or red LEDs for 12 h at 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF or UV-B 0.5 and 1.0 kJ.

Treatment ^z	Soluble solids (Brix %)	pH	Total Chl. ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$)	Total ascorbic acid ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$)	Total phenolics ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{DW}^{-1}$)	Total flavonoids ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{DW}^{-1}$)
Before trt.	4.92c	6.22b	0.10d	0.29ab	6.67ab	13.52bc
Control	4.38d	6.26ab	0.09e	0.14c	6.21c	13.07cd
T1	4.39d	6.21b	0.12c	0.29ab	6.47bc	13.88b
T2	4.42d	6.23b	0.11cd	0.26b	5.96c	11.95e
T3	4.34d	6.20b	0.11cd	0.33a	6.79a	14.70a
T4	5.43a	6.20b	0.15b	0.31ab	6.76a	14.27ab
T5	5.12b	6.21b	0.16a	0.18c	6.20c	12.62de

^zBefore treatment (trt.) and control indicate samples with no treatment and treated for 12 h with darkness, respectively. T1, T2, and T3 indicate white, blue, and red LEDs for 12 h at 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPF; T4 and T5 indicate UV-B 0.5 kJ and 1.0 kJ, respectively.

Numbers in a column followed by the same letter are not significantly different at the $p=0.05$ level by the least significant difference (LSD) method.

러한 결과는 아스파라거스 순의 아스코르브산 함량이 수확 후 시간이 경과함에 따라 급격하게 감소한다고 한 Saito et al.(2000)의 결과와 유사하다. 한편 광처리구의 아스코르브산 함량은 백색광(T1), 적색광(T3), UV-0.5kJ(T4)에서 수확 직후에 비해 각각 2%, 13%, 8% 증가하였다. 또한 모든 광처리구의 아스코르브산 함량은 대조구(cont.)에 비해 31-137% 증가하였다. 이러한 결과는 아스파라거스 순을 수확한 후 암상태에 보관하는 동안 초래되는 아스코르브산의 손실이 아스파라거스의 호흡감소를 초래하지 않는 수준의 광처리에 의해 억제될 수 있음을 의미한다. 이러한 결과는 Lee(2011)등이 상추에서 명기가 길어짐에 따라 비타민 C의 함량이 증가한다고 한 결과와 유사하다.

아스코르브산은 비타민 C로 잘 알려져 있으며, 강력한 항산화 작용을 통하여 순환계질환, 암, 골관절염 등에 효과가 있는 것으로 널리 알려져 있으나 식품 중에 포함되어 있는 비타민 C는 저장 환경에 따라 쉽게 분해되어, 유통 및 가공 과정 중의 품질을 가늠하는 생물지표로 간주되고 있다(Domínguez-Perles et al., 2014). 비타민 C는 인체에서 합성되지 않아 음식물로부터 섭취하여야 하므로, 본 연구결과와 같이 수확한 아스파라거스의 유통 중에 비타민 C의 함량이 감소하지 않도록 함으로써 농산물의 기능성과 인체의 건강에 긍정적으로 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

루틴(rutin) 함량

본 시험에 사용한 처리 전 아스파라거스 순의 루틴 함량은 Fanasca et al.(2009)과 Maeda et al.(2010)이 보고한 함량과 유사하였다. 대조구(cont.)의 루틴 함량은 처리 전 함량에 비하여 약 5% 감소하였으나(Fig. 1), 광처리구의 루틴 함량은 적색광(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4)이 처리 전 함량에 비해 각각 9%와 11% 증가하였다. 한편 적색(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4) 처리구의 루틴 함량은 대조구에 비해 각각 15%와 17% 증가하였으며, 다른 광처리구의 함량은 처리 전과 같거나 약간 감소하였다. 이러한 결과는 메밀의 루틴함량이 적색광과 UV-B에서 증가한다고 한 Yoon (2010)의 결과와 유사하다.

루틴은 강한 항산화 작용으로 DNA, 단백질 및 지질의 산화를 억제하고 모세혈관을 강화하는 등의 인체 건강에 이로운 작용을 나타내는 성분으로 알려져 있다(Fusi et al., 2003). 아스파라거스 순의 루틴 함량은 품종이나 재배방법뿐만 아니라(Maeda et al., 2005; Maeda et al., 2010; Motoki et al., 2012ab) 줄기의 부위에 따라서도 다르다. 루틴 함량은 하부 줄기보다 상부의 어린 줄기에 0.03-0.06% 많은데(Wang et al., 2003), 줄기 부위에 따른 함량 차이의 원인에 대해서는 밝혀져 있지 않다. 최근 UV-B를 활용하여 식물체와 인체의 건강을 증진시킬 수 있는 2차대사산물을 증가시킬 수 있는 가능성이 제시되었다(Schreiner et al., 2012). 썬메밀의 잎에 UV-B를 조사하면 루틴 함량이 증가하는데, 이는 루틴을 합성하여 UV-B로 인한 조직의 손상을 방어하기 위한 식물체의 자기보호 반응에 해당한다(Suzuki et al., 2015). 아스파라거스에서도 UV-B 조사에 대한 방어기작이 작동하여 루틴의 함량이 변화된 것으로 생각된다.

총 페놀화합물 함량

본 시험에 사용한 처리전 아스파라거스 순의 총 페놀화합물 함량은 Maeda et al.(2005)이 보고한 백색 아스파라거스와 비슷하였으나, 녹색 또는 적색 아스파라거스에 비하여는 낮았다. 이러한 차이는 품종이나 재배환경 등 다수의 요인에 기인하였을 것으로 생각된다. 총 페놀함량은 처리 직전에 비해 대조구(cont.)에서 7% 감소하였으며, 적색(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4) 처리구는 처리 직전의 함량과 비슷한 수준이었다(Table 3). 또한 적색광(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4)의 총 페놀함량은 대조구(cont.)에 비해서는 9% 증가해 암상태에서의 함량 손실을 방지하는 효과를 보였다. 이는 들깨에서 적색광에 의해 총 페놀함량이 증가되었다는 결과(Choi, 2012), 그리고 UV-B를 조사한 씀바귀(Lee, 2013)와 UV-C(4-14kJ)를 처리한 브로콜리(Costa et al., 2006)에서 총 페놀함량이 증가한 결과 등과도 유사하다.

식물의 페놀화합물은 강력한 항산화 활성과 환원성 작용기 소거능으로 인하여 장해조건에서도 세포 내 산화환원전위의 균형을 유지하는데 기여함으로써 인체의 건강에 유용한 효능을 나타낸다. UV-B 처리에 의해 식물체의 방어기작이 유도되어 페놀화합물의 함량이 증가하는 현상이 다양한 식물종에서 관찰되었으며, 이러한 현상을 약용작물에 적용하여 다양한 약리성분을 증가시키는 연구가 진행되고 있다(Schreiner et al., 2012).

총 플라보노이드 함량

아스파라거스 순의 총 플라보노이드 함량을 보고한 문헌은 많지 않으나, 기준단위 및 조사대상 성분 등의 차이로 인하여 함량의 직접적인 비교가 쉽지 않다(Eichhoz et al., 2012; Maeda et al., 2005; Maeda et al., 2010; Motoki et al., 2012ab). 아스파라거스의 총 플라보노이드 함량은 처리 직전에 비해 대조구(cont.)에서 3% 감소하였으나, 적색광(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4) 처리구는 각각 9%와 6% 증가하였다(Table 3). 한편 적색광(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4) 처리구의 총 플라보노이드 함량은 대조구(cont.)의 함량에 비해서는 각각 13%와 9% 증가하였다. 이는 팬지에서 UV-B 처리에 의해 플라보노이드의 함량이 증가한다고 한 Park(2014)의 실험과 유사한 결과이다.

딸기, 배, 사과, 십자화과 채소를 수확한 후에 적당량의 UV-B를 조사하면 플라보노이드 성분이 증가한다(Huyskens-Keil et al., 2008; Kataoka and Beppu, 2004; Marais et al., 2000). 또한 아스파라거스에 대한 UV-B 처리에 의해 특정 플라보노이드 성분이 줄기의 상부에서 증가하는 현상이 관찰되었는데, 이러한 결과는 UV-B로 인하여 이동성이 낮은 플라보노이드 성분이 이동성이 높은 수용성 형태로 전환되어 줄기 하부에서 상부로 이동한 결과로 알려져 있다(Eichhoz et al., 2012).

DPPH 라디칼 소거능

아스파라거스의 DPPH 라디칼 소거능은 수확 직후에 비해 대조구(cont.)는 8% 감소하였으나, 광처리구는 백색광(T1), 적색광(T3) 및 UV-B 0.5kJ(T4)에서 각각 31%, 29% 및 31% 증가하였다(Fig. 2). 또한 광처리구의 DPPH 라디칼 소거능은 대조구(cont.)에 비하여 백색광(T1), 적색광(T3) 및 UV-B 0.5kJ(T4)에서 각각 43%, 41%, 43% 증가였다. 비타민 C는 잘 알려진 항산화제이며, 루틴은 비타민 C와 비슷한 활성산소종 소거능을 가지고 있다고 알려져 있다(Frei et al., 2012). 본 실험에서 비타민 C의 함량이 백색광(T1), 적색광(T3) 및 UV-B 0.5kJ(T4)에서 가장 높았고, 루틴의 함량이 적색광(T3)과 UV-B 0.5kJ(T4)에서 가장 높았다. 한편, Sun et al.(2007a)은 아스파라거스와 브로콜리 추출물의 항산화 활성은 플라보노이드 함량과 직선적 관계를 보인다고 보고한 바 있다. 따라서 이들 처리구에서의 비타민 C와 루틴의 함량 증가가 활성산소 소거능의 증가에 기여하였을 가능성이 있을 것으로 생각된다. 낮은 수준의 UV-B는 살균효과뿐만 아니라, 식물의 2차대사의 독특한 변화를 유도하여 플라보노이드와 페놀성 화합물의 축적을 유도하고 이로 인하여 식물의 항산화능이 증가되는 등의 효과가 있으므로, 채소나 과일의 수확 후 관리에 UV-B가 유용하게 이용되고 있다(Mewis et al., 2012; Schreiner et al., 2012).

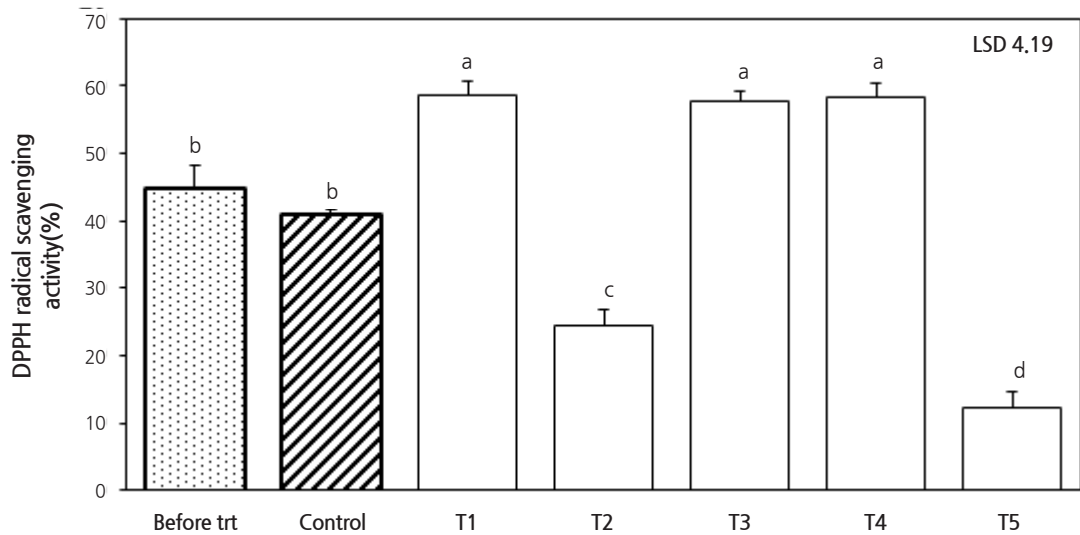


Fig. 2. DPPH radical scavenging activity in asparagus spears treated with white (T1), blue (T2), or red (T3) LEDs for 12 h at $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD or UV-B 0.5 (T4) or 1.0 kJ (T5). Before treatment (trt.) and control indicate samples with no treatment and treated for 12 h with darkness, respectively. Vertical bars indicate standard deviations of nine samples.

이상의 결과를 종합하면, 아스파라거스 순을 수확한 후 12시간 동안 적색 LED광 또는 0.5kJ의 UV-B를 처리하면 위조나 갈변과 같은 외관상 품질의 저하를 초래하지 않고 암상태에 보관하는 것에 비해 비타민 C, 루틴, 총 플라보노이드 및 총 페놀의 함량이 각각 127–137%, 9–13%, 6–11% 증가하였고, DPPH 자유기의 소거능은 41–43% 증가하였다. 또한, UV-B 0.5kJ에서는 당도와 엽록소 함량 역시 각각 9%와 41% 증가하였다. 따라서 수확한 아스파라거스 순에 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD의 적색광 또는 0.5kJ의 UV-B를 처리하면 일반 아스파라거스에 비해 기능성 성분을 향상시킬 수 있으므로 유통 전 또는 유통 중에 처리하여 고품질의 아스파라거스를 소비자에게 공급할 수 있을 것으로 기대되며, 특히 생식용으로 적합성이 낮은 아스파라거스를 주스 등의 가공용 재료로 사용할 때 부가가치를 높일 수 있는 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

초 록

아스파라거스의 기능성을 향상시키기 위하여 처리 전 그리고 12시간 암상태로 저장한 아스파라거스를 대조구로 하여 백색(색온도 45,000 K), 청색(peak 450 nm), 적색(peak 660 nm)의 발광다이오드(light-emitting diode, LED)를 이용하여 수확한 아스파라거스 순을 광합성유효광양자속밀도(photosynthetic photon flux density, PPFD) $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광으로 12시간 처리하고, UV-B(280 nm)를 0.5kJ 또는 1.0kJ로 처리하여 원예적 특성, 비타민C(total ascorbic acid), 루틴(rutin), 총 페놀(total phenolics) 및 총 플라보노이드(total flavonoids) 함량과 자유기 소거능에 미치는 영향을 조사하였다. 이들 처리는 아스파라거스 순의 생체중, 길이, 직경 등에 변화를 초래하지 않았으며, UV-B 0.5kJ에서는 당도와 엽록소 함량이 각각 9%와 41% 증가하였다. 비타민 C, 루틴, 총 페놀 및 총 플라보노이드 등 항산화 성분 중에서 비타민 C 함량은 대조에 비하여 백색광(114%), 적색광(137%) 및 UV-0.5 kJ(127%) 처리에서 크게 증가하였다. 반면 루틴, 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량은 적색광이나 UV-0.5 kJ 처리에서만 대조구에 비하여 증가하였다. 또한 DPPH 라디칼 소거능으로 측정된 항산화 활성은 대조구에 비하여 백색광, 적색광 및 UV-0.5 kJ 처리구에서 각각 43, 41 및 43% 증가하였다. 이상의 결과는 적색광 12시간 처리나 UV-B 0.5kJ 처리로 아스파라거스 순의 원예적 특성의 변화가 초래되지 않는 상태에서 비타민 C, 루틴, 총 페놀, 총 플라보노이드 등의 함량이 증가되고 자유기 소거능도 향상됨을 의미한다. 따라서 수확한 아스파라거스 순에 적색광 12시간 또는 UV-B 0.5kJ을 처리하면 채

소 또는 음료의 원료로 사용되는 아스파라거스 순의 기능성 품질을 증진시킬 수 있을 것으로 생각된다.

추가주요어: 아스코르브산, 플라보노이드, 기능성 성분, 광질, 페놀화합물

Literature Cited

- Bian ZH, Yang QC, Liu WK (2015) Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *J Sci Food Agric* 95:869-877. doi: 10.1002/jsfa.6789
- Blois MS (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200. doi: 10.1038/1811199a0
- Boo HO, Lee HH, Lee JW, Hwang SJ, Park SU (2009) Different of total phenolics and flavonoids, radical scavenging activities and nitrite scavenging effects of *Momordica charantia* L. according to cultivars. *Korean J M Crop Sci* 17:15-20
- Bown D (2001) *New Encyclopaedia of Herbs and their Uses*. Dorling Kindersley. NSW. Australia. pp. 449
- Chen C, Hu W, Zhang R, Jiang A, Zou Y (2016). Levels of phenolic compounds, antioxidant capacity, and microbial counts of fresh-cut onions after treatment with a combination of nisin and citric acid. *Hortic Environ Biotechnol* 57:266-273. doi: 10.1007/s13580-016-0032-x
- Choi JH (2012) Effect of LED lighting on growth functional material contents and flowering in perilla (*Perilla frutescens* L.). Master's Thesis, Department of Horticulture, The Graduate School, Chonbuk National University. pp. 51
- Costa L, Vicente AR, Civello PM, Chaves AR, Mart nez GA (2006) UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biol Tec* 39:204-210. doi: 10.1016/j.postharvbio.2005.10.01
- Dom niguez-Perles R, Mena P, Garc a-Viguera C, Moreno DA (2014) Brassica foods as a dietary source of vitamin C: A review, *Crit Rev Food Sci Nutr* 54:1076-1091. doi: 10.1080/10408398.2011.626873
- Duke JA, Bogenschutz-Godwin MJ, duCellier J, Duke PK (2002) *Handbook of Medicinal Herbs*. CRC. London. pp. 870. doi: 10.1201/9781420040463
- Eichholz I, Rohn S, Gamm A, Beesk N, Herppich WB, Kroh LW, Ulrichs C, Huyskens-Keil S (2012) UV-B-mediated flavonoid synthesis in green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) *Food Res Int* 48:196-201. doi: 10.1016/j.foodres.2012.03.008
- Fanasca S, Rouphael Y, Venneria E, Azzini E, Durazzo A, Maiani G (2009) Antioxidant properties of raw and cooked spears of green asparagus cultivars. *Int J Food Sci Tech* 44:1017-1023. doi: 10.1111/j.1365-2621.2008.01871.x
- Frei B, Birlouez-Aragon I, Lykkesfeldt J (2012) Authors' perspective: What is the optimum intake of vitamin C in humans? *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 52:815-829. doi: 10.1080/10408398.2011.649149
- Fusi F, Saponara S, Pessina F, Gorelli B, Sgaragli G (2003) Effects of quercetin and rutin on vascular preparations: a comparison between mechanical and electrophysiological phenomena. *Eur J Nutr* 42:10-17. doi: 10.1007/s00394-003-0395-5
- Hwang IK, Byun JY, Kim KM, Chung MN, Yun SM (2014) Vitamin C quantification of Korean sweet potatoes by cultivar and cooling method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43:955-961. doi: 10.3746/jkfn.2014.43.6.955
- Huyskens-Keil S, Schreiner M, Krumbein A, Reichmuth CH, Janata E, Ulrichs CH (2008) UV-B and gamma irradiation as physical elicitors to promote phytochemicals in brassica sprouts. *Acta Hortic* 858:37-41
- Huyskens-Keil S, Hassenberg K, Herppich WB (2011) Impact of postharvest UV-C and ozone treatment on textural properties of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *J Appl Bot Food Qual* 84:229-234
- Jung GT, Ju IO, Choi SR, You DH, Noh JJ (2013) Food nutritional characteristics of fruit of *Cudrania tricuspidata* in its various maturation stages. *Korean J of Food Preserv* 20:330-335. doi: 10.11002/kjfp.2013.20.3.330
- Kasim R, Kasim MU (2012) UV-C treatments of freshcut garden cress (*Lepidium sativum* L.) enhanced chlorophyll content and prevent leaf yellowing. *World Appl Sci J* 17:509-515
- Kataoka I, Beppu K (2004) UV irradiance increases development of red skin color and anthocyanins in 'Hakuho' peach. *HortScience* 39:1234-1237
- Kim HK, Kwon JS, Lee JO, Lee BC, Park SH, Yook HS (2007) Physicochemical changes of electron beam-irradiated korean kiwifruits at low dose levels. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36:603-608. doi: 10.3746/jkfn.2007.36.5.603
- Kim JA, Han JS (2005) The changes of chlorophyll and glycoalkaloid contents in potato tubers after exposure of fluorescent and UV light. *J East Asian Soc Diet Life* 15:207-212
- Kim SY, Choi SW, Kim YS, Jeon SG, Seong KC (2013) Production, marketing and momestic foreigners'consumption patterns of subtropical vegetables. *Korean J Food Mark Econ* 30:29-54
- Lee HI (2011) Analysis of light utilization efficiency of artificial lighting sources for plant production. Master's Thesis, Department of Bio-industrial Machinery Engineering, The Graduate School, Chonbuk National University. pp. 51
- Lee MJ (2013) Growth and phenolic compounds in *Lactuca sativa* L. and *Ixeris dentata* nakai exposed to supplemental UV light. Master's Thesis, Department of Horticulture, The Graduate School, Chungbuk National University. pp. 92
- Lee MJ, Son KH, Oh MM (2016) Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED

- light supplemented with blue LED light. *Hortic Environ Biotechnol* 57:139-147. doi: 10.1007/s13580-016-0133-6
- Maeda T, Kakuta H** (2005) Antioxidation capacities of extracts from green, purple, and white asparagus spears related to polyphenol concentration. *HortScience* 40:1221-1224
- Maeda T, Honda K, Sonoda T, Inoue K, Suzuki T, Oosawa K, Suzuki M** (2010) Light condition influences rutin and polyphenol contents in asparagus spears in the mother-fern culture system during the summer-autumn harvest. *J Japan Soc Hort Sci* 79:161-167. doi: 10.2503/jjshs1.79.161
- Marais E, Jacobs G, Holcroft DM** (2000) Postharvest irradiation affects colour development in bicoloured pome fruit. *Acta Hortic* 553:569-570
- Mewis I, Schreiner M, Nguyen CN, Krumbein A, Ulrichs C, Lohse M, Zrenner R** (2012) UV-B irradiation changes specifically the secondary metabolite profile in broccoli sprouts: induced signaling overlaps with defense response to biotic stressors. *Plant Cell Physiol* 53:1546-1560. doi: 10.1093/pcp/pcs096
- Motoki S, Kitazawa H, Maeda T** (2012a) Improving the yield of the purple asparagus cultivar 'Purple Passion' by high density planting. *Acta Hortic* 950:117-124. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.950.12
- Motoki S, Kitazawa H, Maeda T, Suzuki T, Chiji H, Nishihara E, Shinohara Y** (2012b) Effects of various asparagus production methods on rutin and protodioscin contents in spears and cladophylls. *Biosci Biotechnol Biochem* 76:1047-105. doi: 10.1271/bbb.120143
- Negi JS, Singh P, Joshi GP, Rawat MS, Bisht VK** (2010) Chemical constituents of *Asparagus*. *Pharmacogn Rev* 4:215-220. doi: 10.4103/0973-7847.70921
- Okamura M** (1980) An improved method for determination of L-ascorbic acid L-dehydroascorbic acid in blood plasma. *Clinica Chimica Acta* 103:259-268. doi: 10.1016/0009-8981(80)90144-8
- Park GL, Avery SM, Byers JL, Nelson DB** (1983) Identification of bioflavonoids from citrus. *Food Technol* 37:98-105
- Park JW** (2014) Effect of UV-B radiation on plant growth and antioxidants in edible flower pansy. Master's Thesis, Department of Environmental Horticulture, The Graduate School, University of Seoul. pp. 54
- Park M, Lee Y, Park H, Park J** (2016) An analysis of the supply and demand status of western vegetables and tasks. Korea Rural Economics Institute. Research report R786. pp. 222
- Rural Development Administration (RDA)** (2005) Production of high quality asparagus in the subtropical climate region in Korea. Research Institute of Climate Change and Agriculture. pp. 57
- Rural Development Administration (RDA)** (2014) Revenue model for asparagus production in highland area in Korea. Gangwondo Agricultural Research and Extension Services
- Saito M, Rai DR, Masuda R** (2000) Effect of modified atmosphere packaging on glutathione and ascorbic acid content of asparagus spears. *J Food Process Pres* 24:243-251. doi: 10.1111/j.1745-4549.2000.tb00416.x
- Schreiner M, Mewis I, Huyskens-Keil S, Jansen MAK, Zrenner R, Winkler JB, O'Brien N, Krumbein A** (2012) UV-B-induced secondary plant metabolites - Potential benefits for plant and human health. *Crit Rev Plant Sci* 31:229-240. doi: 10.1080/07352689.2012.664979
- Shimizu T** (2006) Expansion of asparagus production and exports in Peru. IDE-JETRO. pp. 30
- Singleton VL, Rossi JA** (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Viticul* 16:144-158
- Son KH, Oh MM** (2015) Growth, photosynthetic and antioxidant parameters of two lettuce cultivars as affected by red, green, and blue light-emitting diodes. *Hortic Environ Biotechnol* 56:639-653. doi: 10.1007/s13580-015-1064-3
- Son KH, Jeon YM, Oh MM** (2016) Application of supplementary white and pulsed light-emitting diodes to lettuce grown in a plant factory with artificial lighting. *Hortic Environ Biotechnol* 57:560-572. doi: 10.1007/s13580-016-0068-y
- Sun T, Powers JR, Tang J** (2007a) Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chem* 105:101-106. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.03.048
- Sun T, Powers JR, Tang J** (2007b) Effect of enzymatic macerate treatment on rutin content, antioxidant activity, yield, and physical properties of asparagus juice. *J Food Sci* 72:267-271. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00345.x
- Suzuki T, Morishita T, Kim SJ, Park SU, Woo SH, Noda T, Takigawa S** (2015) Physiological roles of rutin in the buckwheat plant. *JARQ* 49:37-43. doi: 10.6090/jarq.49.37
- Sztatelman O, Grzyb J, Gabry H, Bana AK** (2015) The effect of UV-B on Arabidopsis leaves depends on light conditions ter treatment. *BMC Plant Biol* 15:281. doi:10.1186/s12870-015-0667-2. doi: 10.1186/s12870-015-0667-2
- Tsushida T, Suzuki M, Kurogi M** (1994) Evaluation of antioxidant activity of vegetable extracts and determination of some active compounds. *J Japan Soc Food Sci Technol* 41:611-618. doi: 10.3136/nskkk1962.41.611
- Turtoi M** (2013) Ultraviolet light treatment of fresh fruits and vegetables surface: A review. *J Agroalimnt Proc Technol* 19:325-337
- Wang M, Tadmor Y, Wu QL, Chin CK, Garrison SA, Simon JE** (2003) Quantification of protodioscin and rutin in asparagus shoots by LC/MS and HPLC methods. *J Agr Food Chem* 51:6132-6136. doi: 10.1021/jf0344587
- Yoon YH** (2010) Selection of tartary buckwheat lines with high rutin content and production technology for high quality sprouts. Master's Thesis, Department of Crop Science, The Graduate School, Chungbuk National University. pp. 55