

Research Note

수확후 자외선 조사가 딸기의 생물활성에 미치는 영향

홍지영 · 이상국 · 조용진^{1*} · 김철진¹ · 김남수¹ · 김종태¹ · 맹진수¹

서울대학교 약학대학, 한국식품연구원¹

Effect of Post-harvest Ultraviolet Irradiation on Biological Activities in Strawberries

Ji-Young Hong, Sang Kook Lee, Yong-Jin Cho^{1*}, Chul-Jin Kim¹, Namsoo Kim¹,
Chong-Tai Kim¹, and Jin-Soo Maeng¹

College of Pharmacy, Seoul National University

¹Korea Food Research Institute

Abstract

Strawberries have various fruit phenolics which provide biological activities such as antioxidant, anti-inflammatory, and anti-proliferative potential against various cancer cells. Previous studies showed that such phenolics might be enriched by ultraviolet irradiation (UV) after harvesting fruits and vegetables. In the present study, we investigated the effect of post-harvest ultraviolet irradiation on the biological activities of strawberries. When 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging activity, induction of quinone reductase activity, inhibitory effect on the proliferation of various human cancer cells, and inhibitory effect on the expression of inducible nitric oxide synthase (iNOS) of UV-irradiated strawberries using *Maehyang*, *Akihime*, and *Red pearl*, were evaluated, the biological activities were, in general, enhanced by ultraviolet irradiation after harvest.

Key words: ultraviolet, irradiation, biological activity, strawberry

서 론

딸기는 과거 3-5월에 집중되어 생산되었으나 시설재배의 급격한 증가로 12월부터 익년 5월까지 생산이 장기화되고 있으며, 시설재배의 비중도 더욱 증가하였다. 이러한 딸기의 경쟁력을 강화시키기 위해서는 딸기의 건강기능성분의 함량 및 그에 따른 생물활성을 제대로 이해할 필요가 있다.

딸기(*Fragaria×ananassa* Duch.)는 hydroxybenzoic acid 유도체, hydroxycinnamic acid 유도체, anthocyanins, flavonols, flavan-3-ols, tannins 등과 같은 다양한 피토케미컬(phytochemicals)을 가지고 있으며, 이러한 물질에 의해 항산화, 암 발현 억제, 세포증식 억제 등의 생물활성을 가진다고 알려져 있다(Macheix et al., 1990; Heinonen et al., 1998; Sun et al., 2002). 딸기는 식이적 기능뿐만 아니라 이러한 생물학적 효능 때문에 과실류와 채소류 중에서 가

장 많이 소비되는 품목 중의 하나로 자리 잡고 있다. 특히, Hong et al.(2008)은 매향 딸기의 항산화, 항염증 및 세포증식 억제에 대한 효능이 매우 우수하다고 보고하였다.

최근, 과실류 및 채소류의 맛이나 영양 측면뿐만 아니라 건강 기능적 측면에 대한 관심은 더욱 커지고 있다. 과실류나 채소류를 비롯하여 식물 자원의 건강 기능적 측면을 극대화하기 위한 노력의 일환으로서 건강기능 성분을 추출하여 소재화하는 방법으로 자원으로서의 가치를 제고하고 있으며, 유용 성분을 효과적으로 추출하기 위해 소개되고 있는 방법으로는 화학적 방법, 물리적 방법, 효소적 방법 등 다양하게 소개되고 있다(Renard et al., 1993; Sakamoto et al., 1995; Cho et al., 1999; Cho & Hwang, 2000; Romero-Pérez et al., 2001; Cho & Lee, 2002; Cho et al., 2006). 그러나 과실류 및 채소류를 추출물의 원료로 활용할 경우 그 특유의 맛이나 조직감을 상실하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서는 건강기능 성분과 같이 유용 성분이 고농도로 함유된 농산물을 생산하여 신선식품의 형태로 소비하는 것이 바람직하다.

과실류 및 채소류는 생장 중 2 차 대사산물인 페놀화합물을 생성한다(Macheix et al., 1990). 또한, 수확이후에도 세포의 활성이 활발한 경우 외부자극에 의해 페놀화합물

*Corresponding author: Yong-Jin Cho, Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

Tel: +82-31-780-9136; Fax: +82-31-780-9257

E-mail: yjcho@kfri.re.kr

Received February 2, 2012; revised February 20, 2012; accepted February 21, 2012

생성을 위한 세포 대사가 다시 촉발된다. Cho et al.(2008)은 hormesis의 개념을 소개하고 수확한 딸기에 대해서 자외선을 처리하여 안토시아닌 계열의 펠라고닌과 시아닌의 함량이 강화됨을 확인하였다. 이때 딸기의 품질은 손상되지 않았다고 보고하였다. 또한, Cho et al.(2011)은 포도를 수확한 후 자외선 처리를 통해 포도의 대표적인 페놀화합물인 레스베라트롤의 함량을 수배 이상 강화할 수 있었다고 보고하였다. 이러한 기술들은 과실류 및 채소류를 수확한 이후 식물의 대사를 조절하는 방법으로 페놀류 함량을 강화함으로써 건강기능성분이 고함유된 신선식품을 생산하는 산업기술로 활용될 가능성이 있다고 하였다. 그런데 건강기능성분이 강화되었다고 하더라도 신선식품의 형태로서 과실류나 채소류의 생물활성이 향상되었다는 확인은 아직 불충분한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 딸기를 수확한 후 자외선을 처리하였을 때 딸기의 생물활성이 향상될 수 있는지를 확인하고자 한 바, 구체적으로, 딸기의 항산화 효능, 해독화 효소 발현 조절 능력, 암세포 사멸 능력 및 항염증 효능을 평가하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서는 합천 지역에서 2007년 2월에 수확한 매향(Maehyang), 장희(Akihime), 육보(Red pearl) 등 3 가지 품종의 딸기가 사용되었다. 수확 직후 자외선 처리를 한 딸기는 곧바로 생물활성 평가를 위한 시료로 사용되었다.

자외선 처리

본 연구에서는 40 W 및 200 W UV-A와 40 W 및 190 W UV-C 램프를 상부면에 설치한 자외선 조사실을 자체 제작하였으며, 조사높이와 조사시간 조절을 통해서 Table 1과 같은 조건으로 딸기에 자외선을 처리하였다. 즉, 딸기에 가해진 자외선 에너지는 UV-C 영역에서 10.68 mJ/cm² 및 19.53 mJ/cm², UV-A 영역에서 5.94 mJ/cm² 및 19.38 mJ/cm² 이었다. 이때 실제 자외선의 출력은 방사계(Mdodel: VLX-3 W, Cole-Parmer, Vernon Hills, USA)로 측정하였다.

Table 1. Irradiation intensity and duration of UV treatment.

UV band	Virtual UV power (W)	Actual UV intensity (mW/cm ²)	Treatment duration (second)	Irradiation energy (mJ/cm ²)
C (100 - 280 nm)	40	0.356	30	10.68
	190	0.651	30	19.53
A (315 - 400 nm)	40	0.198	30	5.94
	200	0.646	30	19.38

생물활성 평가

딸기의 생물활성은 Hong et al.(2008)의 방법에 의해 항산화 효능, 해독화 효소 발현 조절 능력, 암세포 사멸 능력 및 항염증 효능을 평가하였다.

항산화 효능은 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 프리라디칼 소거법에 의해 측정하였다. 시료를 DMSO로 처리 후 515 nm에서 ELISA reader로 흡광도를 측정하였다. 대조군으로 H₂O를 사용하며, %inhibition은 시료의 값과 H₂O 대조군과의 비교값으로부터 구하여 계산하였다. 실험 결과는 IC₅₀ 값으로 표시하여 활성도를 비교하였다.

해독화 효소 발현 조절 능력은 quinone reductase 유도활성 측정을 통해 평가되었다. 마우스 간암 세포주인 Hepa 1c1c7 세포를 배양, 처리한 후 lysis하여 효소용액을 첨가하여 반응시킨 후 단백질 양을 crystal violet 염색방법으로 정량하여 시험군 처리에 따른 quinone reductase 유도활성을 측정하였다.

암세포 사멸 능력은 SRB assay를 이용한 세포 독성 평가를 통해 평가되었다. 사람 암세포주(폐암 A549, 대장암 HCT-116, 상피세포암 HT-1080, 위암 SNU-638, 혈액암 K562)를 세포 현탁액으로 처리하여 대조군과 zero-day control의 차이를 기준으로 하여 각 시험 물질 처리에 따른 세포 생존율을 환산하였다.

항염증 효능 평가는 inducible nitric oxide synthase (iNOS) 억제 효과 검색을 통해 이루어졌다. 마우스 대식세포의 lipopolysaccharide(LPS)에 의한 nitric oxide(NO) 생성 저해 활성을 검색한 바, RAW 264.7 세포의 세포 현탁액을 배양, 처리한 후 NaNO₂를 표준품으로 하여 검량선을 작성하여 각 시료를 처리한 배양액 중의 NO 생성량을 구하고 이로부터 시험군에서의 NO 저해 활성을 측정하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 수확 후 딸기에 자외선 자극을 주었을 때 딸기의 생물활성이 향상되는지를 분석하였다. 이미 Cho et al.(2008)은 수확 이후 자외선 자극을 받은 딸기에서 안토시아닌(anthocyanin) 계열인 펠라고닌(pelargonin)과 시아닌(cyanin)의 함량 변화를 분석하여, 딸기의 품종 및 자외선 방사량에 따라 다소의 차이는 있으나 펠라고닌과 시아닌의 함량이 크게 증가하는 것을 확인하였다. 여기서는 딸기의

Table 2. DPPH free radical scavenging activity of UV-irradiated strawberries.

	IC ₅₀ concentration (mg/mL)		
	Maehyang	Akihime	Red pearl
Control	0.43	0.81	0.29
UV-A 40W	0.40	0.92	0.24
UV-A 200W	0.60	0.93	0.29
UV-C 40W	0.34	0.61	0.25
UV-C 190W	0.42	0.79	0.25

생물활성의 변화 관점에서 살펴보고자 하였다. Table 2는 자외선 처리된 매향, 장희, 육보 딸기의 DPPH 프리 라디칼 소거 활성을 IC₅₀ 농도로 표시한 것이다. 품종에 따른 연구결과로는 항산화 활성에서 육보가 가장 높았으며 다음으로 매향이 높은 것으로 나타났다. UV처리에 따른 뚜렷한 항산화 효능의 증가는 보이지 않았으나 전체적으로 UV-C 40 W를 처리하였을 때 항산화 효능이 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 1은 해독화 효소 발현 조절 능력을 평가하고자 자외선 처리를 한 딸기의 quinone reductase activity를 분석한 결과를 나타낸 것이며, 대조구와 자외선 무처리 딸기와 비교하였다. Hapa 1c1c7 cells에 시료를 5 mg/mL 농도로 처리한 다음 quinone reductase 유도활성을 측정된 결과, 전체적으로 육보를 제외한 매향, 장희 딸기의 경우 1 내지 1.5 배 정도의 유도효과를 나타내었다. 매향의 경우 UV를 처리하지 않은 시료는 유도효과를 나타내지 못하였으나 UV를 처리한 시료는 유도효과의 증가를 나타내었다. 그 중 UV-A 200 W를 처리한 시료와 UV-C 40 W를 처리한 시료의 유도효과가 크게 증가하였다. 장희 역시 매향과 마찬가지로 UV-A 200 W를 처리한 시료와 UV-C 40 W를 처리한 시료의 유도효과가 크게 증가한 것을 확인할 수 있었다. 육보는 quinone reductase 유도활성을 거의 나타내지 않았으며 양성 대조군으로는 quinone reductase 유도가 있다고 알려진 β-naphthoflavone 1 μM을 사용하였다.

Table 3, 4 및 5는 각각 매향, 장희, 육보 딸기에 대한 암세포 성장 저해 효능을 평가한 결과를 나타낸 것이다. UV 처리 딸기의 암세포 성장 저해 효능을 평가하기 위하여 사람 폐암 세포주(A549), 사람 위암 세포주(SNU-638), 사람 대장암 세포주(HCT-116), 사람 섬유육종 세포주(HT-1080)을 사용하였다. 품종별로 암세포 성장 저해 효능은 항산화 결과와 유사하게 육보 > 매향 > 장희 순으로 크게 나타났다. 매향은 A549 세포에서 UV-C 처리에 의한 효능이 증가하는 것으로 확인할 수 있었으며, HT-1080 세포에서도 약간의 효능 증가를 확인할 수 있었다. 장희는 UV 처리에 따른 효과가 가장 뚜렷한 것으로 나타났으며 A549, HCT-116, HT-1080 세포주가 모두 UV-C 처리에 따

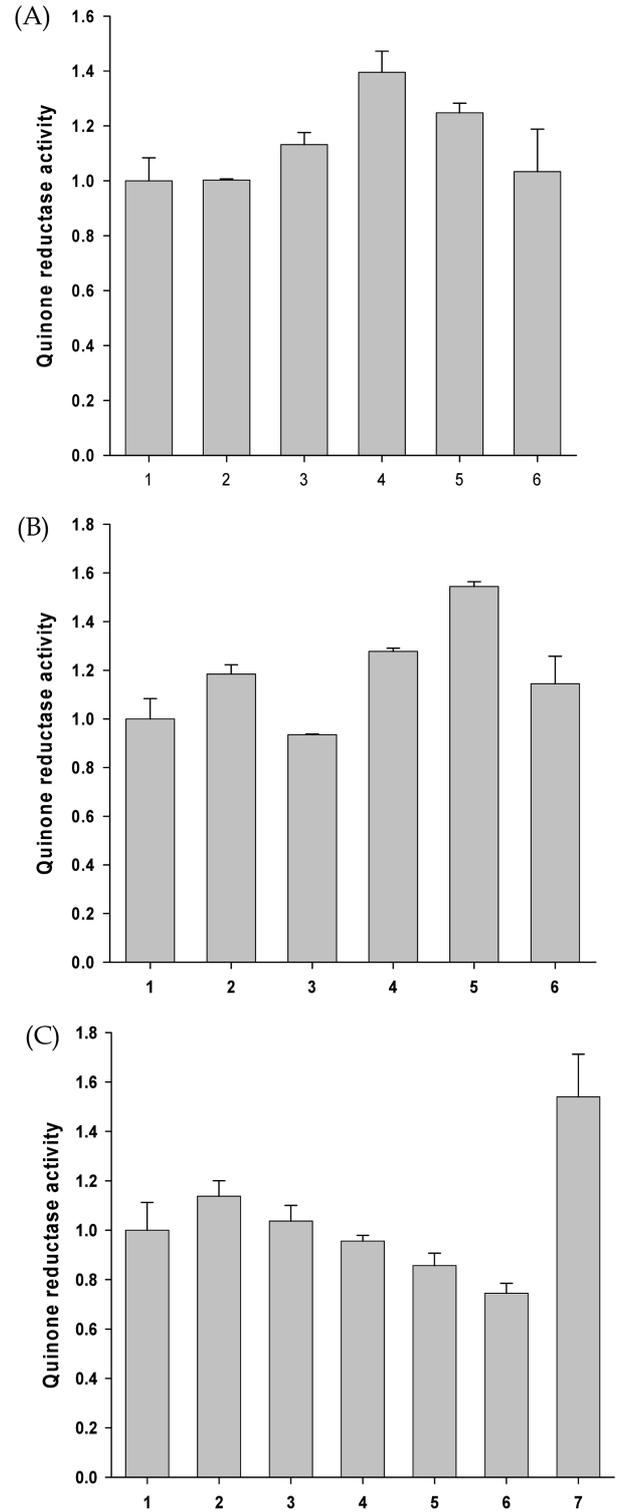


Fig. 1. Quinone reductase activity of strawberries of Maehyang (A), Akihime (B) and Red pearl (C). 1: CTL; 2: UV-untreated; 3: UV-A 40W-treated; 4: UV-A 200W-treated; 5: UV-C 40W-treated; 6: UV-C 190W-treated; 7: β-naphthoflavone 1 μM-treated.

Table 3. Inhibitory effect of *Maehyang* strawberries on the proliferation of various human cancer cells.

	IC ₅₀ concentration (mg/mL)			
	A549	SNU-638	HCT-116	HT-1080
control	7.68	9.08	3.82	1.14
UV-A 40 W	6.66	8.84	7.30	1.32
UV-A 200 W	9.54	9.79	7.20	1.51
UV-C 40 W	4.22	8.92	6.68	0.95
UV-C 190 W	5.83	8.97	7.11	0.96

Table 4. Inhibitory effect of *Akihime* strawberries on the proliferation of various human cancer cells.

	IC ₅₀ concentration (mg/mL)			
	A549	SNU-638	HCT-116	HT-1080
control	9.71	9.73	9.01	3.96
UV-A 40 W	>10	9.28	8.93	3.96
UV-A 200 W	>10	10	9.35	0.96
UV-C 40 W	8.76	9.11	3.34	1.39
UV-C 190 W	8.64	6.75	2.29	2.09

Table 5. Inhibitory effect of *Red pearl* strawberries on the proliferation of various human cancer cells.

	IC ₅₀ concentration (mg/mL)			
	A549	SNU-638	HCT-116	HT-1080
control	1.87	1.18	1.22	0.68
UV-A 40 W	2.69	0.92	1.17	0.70
UV-A 200 W	3.55	1.25	1.47	1.1
UV-C 40 W	3.02	0.96	1.89	1.02
UV-C 190 W	3.35	1.65	1.54	0.83

Table 6. Inhibitory effect of strawberries on the expression of inducible nitric oxide synthase (iNOS).

	IC ₅₀ concentration (mg/mL)		
	Maehyang	Akihime	Red pearl
UV-untreated	2.14	3.97	1.50
UV-A 40 W-treated	1.95	2.70	2.42
UV-A 200 W-treated	3.42	2.73	3.15
UV-C 40 W-treated	2.30	4.15	3.42
UV-C 190 W-treated	1.70	3.28	2.33

라 효능이 1-3 배 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 육보의 경우, UV 처리 딸기는 대조군에 비해 효능 향상이 뚜렷하게 발견되지 않았다.

Table 6은 LPS 처리에 의해 생성된 iNOS에 대해 UV를 처리한 딸기가 저해 효과를 나타내는지 알아보기 위해 LPS에 의해 생성된 NO를 Griess reagent와 반응시켜 발색 정도를 확인한 결과를 나타낸 것이다. Table 6에서 보는 바와 같이, UV 처리한 시료는 UV를 처리하지 않은 시료에 비하여 iNOS 생성을 억제하는 효과가 향상되지 않은 것으로 나타났다.

딸기의 생물활성은 이미 확인된 바, Hong et al.(2008)은 매향 딸기의 항산화, 항염증 및 세포증식 억제에 대한 효능이 우수하다고 보고하였는데, 구체적으로 DPPH 프리 라기칼 소거, 대장암(HCT-116), 폐암(A549), 위암(SNU-638) 및 상피세포암(HT-1080)의 성장 억제, LPS-stimulated NO 생성 억제, LPS-induced iNOS protein 및 마우스 대식 세포주 (RAW 264.7)에서 mRNA 발현 억제 등의 효능을 보였다고 보고하였다. 나아가 본 연구에서는 수확후 딸기에 대해 자외선 처리를 하였을 때 생물활성이 더욱 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

요 약

본 연구에서는 딸기의 건강기능성 효과를 증대시키기 위해 자외선 처리를 하였을 때 매향, 장희, 육보 딸기의 생물활성이 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 본 연구는 과일류 및 채소류의 수확 이후에도 세포 활성이 유지된다면 자외선 등 여러 가지 외부 자극을 통해 2차 대사산물이 세포 대사에 의해 유도합성이 가능하다는 기작에 근거하여 딸기의 생물활성이 향상될 수 있다는 가설에 근거를 두고 있다. 본 연구에서 딸기의 생물활성은 항산화 효능, 해독화 효소 발현 조절 능력, 암세포 사멸 능력 및 항염증 효능 측면에서 평가되었다. 평가 결과에 의하면, 딸기의 품종과 UV 조사량에 따라 다소의 차이는 있으나 전반적으로 딸기 수확후 자외선을 조사하면 항산화 효능, 해독화 효소 발현 조절 능력, 암세포 사멸 능력 등이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 항염증 효능은 자외선 처리 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 전체적으로 살펴볼 때, 딸기 수확 이후 자외선 자극을 통해 생물활성이 향상될 수 있음을 확인하였으나 후속연구를 통해 보다 정밀한 기작에 대한 규명이 뒤따라야 함을 또한 지적해 두고자 한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 현장협력기술개발사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Cho YJ, Kim CT, Kim CJ, Hwang JK. 1999. Modeling of extraction for pectin extraction from apple pomace. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 1011-1016.
- Cho YJ, Hwang JK. 2000. Modeling the yield and intrinsic viscosity of pectin in acidic solubilization of apple pomace. *J. Food Eng.* 44: 85-89.
- Cho YJ, Lee SC. 2002. Enzymatic solubilization of cell wall materials from apple pomace. *Food Sci. Biotechnol.* 11: 697-

- 699.
- Cho YJ, Hong JY, Chun HS, Lee SK, Min HY. 2006. Ultrasonication-assisted extraction of resveratrol from grapes. *J. Food Eng.* 77: 725-730.
- Cho YJ, Kim CJ, Kim CT, Kim TE, Bae KS, Kihl JY, Pyee JH, Lee SK. 2008. Effect of UV hormesis on phenolics contents in strawberries. *Food Eng. Prog.* 12: 143-148.
- Cho YJ, Maeng JS, Kim CT, Pyee JH. 2011. Enrichment of resveratrol content in harvested grape using modulation of cell metabolism with UV treatment. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 21: 739-745.
- Heinonen MI, Meyer AS, Frankel EN. 1998. Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *J. Agric. Food Chem.* 54: 4107-4112.
- Hong JY, Song SH, Park HJ, Cho YJ, Pyee JH, Lee SK. 2008. Antioxidant, antiinflammatory, and antiproliferative activities of strawberry extracts. *Biomol. Therapeutics* 16: 286-292.
- Macheix JJ, Fleuriet A, Billot J. 1990. *Fruit Phenolics*. CRC press, Boca Raton, FL, USA, pp. 2-17.
- Renard CMGC, Thibault JF, Voragen AGJ, van den Broke LAM, Pilnik W. 1993. Studies on apple protopectin VI: extraction of pectins from apple cell walls with rhamnogalacturonase. *Carbohydr. Polym.* 22: 203-210.
- Romero-Pérez AI, Lamuela-Raventós RM, Andrés-Lacueva C, de la Torre-Boronat MC. 2001. Method for the quantitative extraction of resveratrol and piceid isomers in grape berry skins: effect of powdery mildew on the stilbene content. *J. Agric. Food Chem.* 49: 210-215.
- Sakamoto T, Hours RA, Sakai T. 1995. Enzymic pectin extraction from protopectins using microbial protopectinases. *Process Biochem.* 30: 403-409.
- Sun J, Chu YF, Wu X, Liu RH. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7449-7454.