

자외선 Hormesis가 딸기의 페놀류 함량에 미치는 영향

조용진*, 김철진, 김종태, 김태은, 배기석¹, 길준영¹, 피재호¹, 이상국²
한국식품연구원 나노바이오연구단, ¹단국대학교 분자생물학과, BK21 RNA 전문인력양성팀,
나노센서바이오텍연구소, ²이화여자대학교 약학대학

Effect of UV Hormesis on Phenolics Contents in Strawberries

Yong-Jin Cho, Chul-Jin Kim, Chong-Tai Kim, Tae-Eun Kim, Ki Suk Bae¹,
Joon Yeong Kihl¹, Jaeho Pyee¹, Sang Kook Lee²

Food Nano-Biotechnology Research Center, Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea
¹Department of Molecular Biology, BK21 Graduate Program for RNA Biology and Institute of Nanosensor and
Biotechnology, Dankook University, Yongin 448-701, Korea
²College of Pharmacy, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

Abstract

Hormesis has defined as stimulation by low doses of any potentially harmful agent. In this study, enrichment of phenolics such as pelargonin and cyanin in strawberries was investigated using UV hormesis. When the harvested strawberries were stimulated by UV-A with the energy levels of 5.94 mJ/cm² and 19.38 mJ/cm² and UV-C with the energy levels of 10.68 mJ/cm² and 19.53 mJ/cm², enrichment of pelargonin and cyanin contents was showed at the significant levels of 10.6% and 2.9%, respectively, which were analyzed statistically by a general linear model. At the same time, changes in strawberry quality in the aspects of weight, length, width, color, firmness, soluble solids content, electrical conductivity and pH were investigated. The changes in strawberry quality was negligible while enrichment of phenolics can be obtained by UV hormesis.

Key words: hormesis, UV, strawberry, phenolics, quality

서 론

호르메시스(hormesis)란 '잠재적으로 위험한 수단이지만 낮은 용량으로 주는 자극(Stimulation by low doses of any potentially harmful agent)'이라고 Luckey(1980)는 정의하고 있다(Sharma & Alderson, 2005). 즉, 낮은 용량으로 주는 자극에 의해 생물체는 특이한 대사반응을 보이므로 이러한 현상을 이용하여 유용한 산물을 유도생성 할 수 있다는 것이다. 이런 현상(hormetic phenomena)은 이미 1880년대 초반부터 보고되었다. 호르메시스에 의한 생체대사조절은 방사선이나 비방사선 조사로 가능할 뿐만 아니라 생물학적 방법이나 화학적 방법으로도 가능한 것으로 보고되고 있다(Cho et al., 2006; Cho, 2008).

호르메시스를 효과적으로 활용하게 되면, DNA가 복원

가능한 수준에서 생물체를 자극하여 세포내 대사를 조절하고, 식물체의 항상성(homeostasis)을 유지하는 긍정적 변화를 유도할 수 있게 되므로 최근 상업적인 효용을 증대시키는 현상에 많은 관심을 보이고 있다. 상업적인 효용이란 식물체에 호르메시스를 적용하여 항균성을 향상시키고, 속도를 조절하며, 건강기능성 물질을 증폭시키는 효과를 얻고자 하는 것이다. 이때 생화학 반응을 촉발하여 식물체의 대사조절을 유도하는 자극을 제거하더라도 후속반응은 계속되어 소기의 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다(Sharma & Alderson, 2005; Cho et al., 2006).

자외선 호르메시스(UV hormesis)에 의해 과실을 자극하게 되면 항곰팡이 물질(anti-fungal compounds)의 합성이 유도되어 그 물질의 함량이 증대되고, 이로 인해 항균성이 향상된다고 보고하고 있다. 감귤류의 경우, 자외선으로 자극을 줄 경우 푸른곰팡이 저항성을 향상시키는 피토알렉신(phytoalexins)이 생성되는데, scoparone(예, 6,7-dimethoxycoumarin), scopoletin(예, 7-hydroxy-6-methoxycoumarin), phenylalanine amonia lyase(PAL), peroxidase enzymes, pathogenesis-related(PR) proteins(예, chitinases, β -1,3-endoglucanases) 등

Corresponding author: Yong-Jin Cho, Head, Food Nano-Biotechnology Research Center, Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea
Tel: +82-31-780-9136; Fax: +82-31-780-9257
E-mail: yjcho@kfri.re.kr

과 같은 물질 생성에 대한 연구가 보고된 바 있다(Droby et al., 1993; D'hallewin et al., 1999; Porat et al., 1999). 또한, 포도에 자외선, $AlCl_3$, 오존 등으로 자극을 주게 되면 *Botrytis cinerea* 저항성 물질로서 stilbene-like phytoalexins (예, 3,5,4'-trihydroxystilbene), PAL, peroxidase enzymes 등과 같은 물질이 유도된다(Nigro et al., 1998; Cho et al., 2006).

호르메시스를 활용하여 과실의 숙성을 조절하고자 한 연구사례도 보고되고 있다. 과실의 숙성에 관여하는 인자로 에틸렌(ethylene), 폴리아민(polyamine) 등이 있는데, 급등형(climacteric) 과실에서 자체적으로 생성되는 에틸렌이 자체 촉매(autocatalysis)로서 역할을 하여 숙성을 촉진하여 선도 저하를 야기하게 되며, 비급등형(non-climacteric) 과실의 경우에도 외부로부터 유래된 에틸렌(exogenous application of ethylene)이 주어질 때 급등형 과실과 동일한 과정을 거치면서 선도가 저하되는 것으로 알려져 있다(Seymour et al., 1996). 이러한 숙성 과정에서 폴리아민과 에틸렌은 S-adenosylmethionine에 대해 경합하는 물질로 이해되고 있으며 UV 처리에 의해 폴리아민 농도를 증대시켜 숙성을 지연하는 효과를 기대할 수 있다고 하였다. 토마토에 자외선을 처리하였을 때, 토마토의 경도가 증가하고 적색도가 떨어지는 현상을 발견할 수 있었으며, 이러한 현상은 숙성이 지연된 결과로 해석되었다(Maharaj et al., 1999).

이와 같이 호르메시스를 이용하여 생성을 유도하는 물질들은 대부분 피토알렉신이다. 피토알렉신은 최근 건강기능성 물질로서 관심의 대상이 되는 물질이다. 포도의 경우, 레스베라트롤(resveratrol)은 생체방어물질로 작용하는 대표적인 물질로서 인간의 건강기능성에도 매우 유용한 물질로 밝혀져 있다. 유명한 '포도주에 대한 프랑스의 역설(French paradox: 술의 해로운 측면보다 유익한 측면)'을 만들어낸 대표적인 물질이 레스베라트롤인데, 포도에 함유되어 있던 이 물질이 발효 과정에서 포도주로 추출된 것이다. 포도 수확이후 자외선으로 자극하여 포도의 레스베라트롤 함량을 10배 이상 증폭할 수 있었다고 보고한 사례도 있다(Cho et al., 2006).

호르메시스를 활용함에 있어 유의해야 할 점도 있다. 그것은 DNA가 손상되지 않고 복원 가능한 정도의 자극을 이용하여 유용한 결과를 얻을 수 있도록 자극의 한계를 고려하여 호르메시스를 적용해야 한다는 것이다. 과도한 자극으로 인하여 부작용이 초래될 가능성이 있기 때문이다. 자외선으로 과다하게 자극하여 초래되는 현상들은 여러 가지가 있다. 예를 들면, 토마토에서 탈색 현상 발생, 딸기 꼭지에서 갈변 및 건조 현상 발생, 복숭아에서 갈변 부패 현상 발생, 망고에서 미성숙 상태의 숙성 발생, 토마토에서 노화 현상 발생 등이다(Sharma & Alderson, 2005).

본 연구에서는 딸기 수확후 자외선을 조사하였을 때 딸기의 페놀류 함량의 변화를 분석하고자 하였으며, 이때 품

질 변화에 미치는 영향을 아울러 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에는 매향, 장희, 육보 등 3가지 품종의 딸기가 사용되었다. 딸기는 2007년도 합천 지역에서 적기인 2월에 수확한 것이다.

자외선 처리

본 연구에서는 UV-A와 UV-C를 방사할 수 있는 장치를 자체 제작하였으며, 자외선의 출력, 방사높이, 방사시간 조절을 통해서 딸기에 가해진 에너지량을 조절하였다. 자외선의 출력은 방사계(radiometer, model: VLX-3W, Cole-Parmer)로 측정하였다. 한편, 딸기에 자외선을 처리한 후, 0°C와 20°C 저장고에 저장하고, 1, 2, 4, 6, 8, 10일이 경과하였을 때의 품질 변화를 관찰하였다.

페놀류 함량 분석

본 연구에서는 펠라고닌(pelargonin)과 시아닌(cyanin)의 함량을 HPLC 분석법에 의해 측정하였다. 80%의 MeOH과 50%의 MeOH로 회전증발기를 이용하여 딸기로부터 페놀류(pheolics)를 추출하였다. 추출된 시료는 증발상태에 따라 최초 건중량 3g당 3mL와 5mL의 MeOH을 가한 다음 0.22 μ m 나일론 필터(nylon filter)로 걸러준 뒤 다이오드 어레이형 자외선 검출기(diode-array UV detector)를 가진 HPLC(Agilent 1100 Series)에 주입하였다. 칼럼은 역상(reverse-phase) C-18(5 μ m, 4.6 \times 150 mm, Hewlett Packard)를 사용하였다. HPLC 분석 조건은 다음과 같다. MeOH/water를 용매로 하여 구배(gradient) 조건 하에서 1 mL/min의 유동속도로 35분간 작동시켰다. 이때 시료 주입량은 20 μ L이었고, 용매의 구배 조건은 55:45 MeOH/water로 하였다. 한편, 표준물질로는 Sigma(USA)의 펠라고닌과 시아닌을 구입하여 사용하였다.

품질 평가

딸기의 품질을 평가하기 위하여 딸기의 무게, 길이, 폭, 색의 밝기(Hunter L), 적색도(Hunter a), 황색도(Hunter b), 경도, 당도, 전기전도도, pH 등을 측정하였다. 딸기의 색상은 색차계(model CR-400, Konika Minolta, Japan)를 이용하여 Hunter 색지수로 표시하였다. 경도는 5 mm 직경의 플러저가 장착된 압축시험기(model Compac-100, Sun Scientific, Japan)로 측정하였으며, 이때 압축속도는 5 mm/min로 하였다. 딸기의 당도를 측정하기 위하여 과육을 균질기(homogenizer)를 이용하여 분쇄하고 여과포(miracloth)로 불용성 고형분을 제거한 후, 굴절당도계(model PR-101, Atago, Japan)로 측정하였다. 전기전도도와 pH는 각각 전기전도도측정기

(model 130A, Orion, USA)와 pH 측정기(model 720A, Orion, USA)로 측정하였다.

통계 분석

자외선 처리에 따른 페놀류 함량과 품질의 변화를 분석하기 위하여 일반선형모형(General Linear Model)을 이용하였다. 일반선형모형에서 품종, 자외선 에너지, 저장온도 및 저장일수를 변수로 하였으며, 딸기의 무게, 길이, 폭, 색의 밝기(Hunter L), 적색도(Hunter a), 황색도(Hunter b), 경도, 당도, 전기전도도, 펠라고닌 함량, 시아닌 함량 등에 대한 유의성을 유의확률로 표시하였다. 이때 해당 변수 외에 다른 변수의 영향을 배제하는 PSS(partial sum of squares)를 산출하여 가설검증하는 제3형(type III)으로 분석하였다. 이와 같은 모형을 분석하기 위하여 SAS 프로그램을 사용하였다. 분석에 사용된 데이터는 무작위에 의해 3반복으로 측정된 값을 평균하여 1개의 관측 값으로 하여 변수가 모두 150수준(산출근거: [품종 3종]×[자외선처리 5수준]×[저장온도 2수준]×[저장일수 7수준 또는 2수준]; 0°C에서 저장일수 7수준, 그리고 20°C에서는 저장일수 3수준)으로 구성되었다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 수확된 딸기에 자극을 주어 대사조절을 유도하기 위하여 2종의 자외선 즉, UV-A와 UV-C를 이용하여 중간 수준의 에너지를 가했다. Table 1에서 보는 바와 같이, UV-A의 경우, 40 W와 200 W 출력의 램프를 30초 동안 방사하였을 때, 시료에는 각각 5.94 mJ/cm²와 19.38 mJ/cm²의 자외선 에너지를 가할 수 있었다. UV-C의 경우에는 40 W와 190 W 출력의 램프를 30초 동안 방사하였을 때, 각각 10.68 mJ/cm²와 19.53 mJ/cm²의 자외선 에너지를 가할 수 있었다.

Table 2에서 13은 품종 3종 × 자외선처리 5수준 × 저장일수 2수준 × 저장일수 7수준에 따른 자외선 처리 효과를 살펴보기 위하여 딸기의 페놀류 함량, 무게, 크기, 색도, 경도, 당도, 전기전도도, pH에 대한 유의확률을 나타낸 것이다. 여기서 유의확률이 0.0001이면 유의수준이 0.01%로서 99.99%의 확률로 처리에 따른 효과가 다르다고 해석할 수 있음을 의미하는 것이다. 본 연구에서는 딸기에 자외선을

Table 1. Experimental materials and conditions

Item	Materials and conditions	
Strawberry cultivar	Maehyang, Akihime, Red pearl	
UV energy (mJ/cm ²)	UV-A	5.94, 19.38
	UV-C	10.68, 19.53
Storage temperature (°C)	0, 20	
Storage period (days)	0, 1, 2, 4, 6, 8, 10	

Table 2. Significance probability for pelargonin content in strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.4479
UV energy	0.1067
Storage temperature	0.1506
Storage period	0.8776

Table 3. Significance probability for cyanin content in strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0497
UV energy	0.0294
Storage temperature	0.4825
Storage period	0.7202

처리하였을 때 나타나는 페놀류 함량 및 품질의 변화를 유의확률 측면에서 분석하여 처리에 따른 효과를 해석해 보고자 하였다.

구체적으로, 자외선 처리에 따른 페놀류 함량 변화를 보기 위하여 본 연구에서는 안토시아닌(anthocyanin) 계열인 펠라고닌(pelargonin)과 시아닌(cyanin)의 함량을 정량하였다. 안토시아닌은 과일류 및 채소류에서 적색, 자주색, 청색을 띠게 하는 색소 성분이다. 안토시아닌 천연 색소는 가수분해에 의해 안토시아닌(anthocyanidin)과 같은 아글리콘(aglycone)의 형태로 변하는 배당체이다. 딸기에는 주요 안토시아닌 계열의 물질로서 펠라고닌과 시아닌이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Macheix et al., 1990).

Table 2와 3은 딸기에 자외선으로 자극을 주었을 때 펠라고닌과 시아닌 함량의 변화를 보고자 유의확률을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이, 딸기의 펠라고닌과 시아닌 함량의 차이가 나타나는 원인을 품종 효과, 자외선 처리 효과, 자외선 처리 후 저장 온도 및 저장 기간 효과를 유의확률 측면에서 분석하였다. 즉, 매향, 장희, 육보의 품종별 펠라고닌 함량의 차이는 유의확률이 0.4479로 나타난 바, 이러한 수치는 품종간 펠라고닌의 함량이 55.2% 신뢰수준에서 다르다고 해석할 수 있으므로 품종에 따른 펠라고닌의 함량 차이는 크다고 할 수 없음을 알 수 있다. 마찬가지로, 딸기에 자외선을 처리한 후 저장기간을 달리 하였을 때 유의확률이 0.8776로 나타나 시아닌의 함량 변화는 거의 없는 것으로 해석할 수 있다. 반면에, 자외선 처리에 따른 펠라고닌의 함량 차이에 대한 유의확률은 0.1067로 나타나 신뢰수준 89.3%에서 자외선 처리에 따라 펠라고닌의 함량에는 변화가 있는 것으로 해석할 수 있다. 뿐만 아니라, 자외선 처리 후 저장온도를 0°C와 20°C로 달리 하였을 때 펠라고닌의 함량은 유의확률 0.151, 신뢰수준 관점에서 84.9%에서 변화되는 것으로 해석할 수 있다.

반면에, 시아닌 함량 차이의 경우, 딸기의 품종 및 자외선 처리 효과에 의해 시아닌 함량은 다른 것으로 나타난 바, 그 유의확률은 각각 0.050 및 0.029로 분석되었고, 자외선 처리후 저장온도 및 저장기간을 달리 하였을 때 시아닌 함량의 변화는 크지 않는 것으로 나타났으며 그 때의 유의확률은 각각 0.483 및 0.720으로 분석되었다.

Fig. 1과 2는 딸기에 자외선을 가했을 때 자외선 에너지의 양에 따른 펠라고닌과 시아닌의 함량 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 보았을 때 딸기에 자외선으로 자극하게 되면 펠라고닌과 시아닌의 함량은 증가하는 것을 나타냈으며, 그 중에서도 육보 딸기의 경우 그 효과는 고르고 크게 나타났다. 매향 딸기의 경우, UV-A로 5.94 mJ/cm²의 에너지를 가했을 때 펠라고닌과 시아닌의 증폭 효과가 가장 큰 것으로 나타났으나 이러한 결과에 대해서는 심도 있는 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

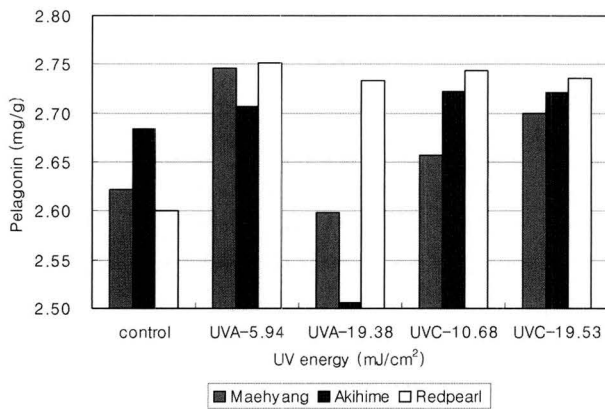


Fig. 1. pelargonin contents in UV treated strawberries. (UVA-5.94: 5.94 mJ/cm² at UV A; UVA-19.38: 19.38 mJ/cm² at UV A; UVC-10.68: 10.68 mJ/cm² at UV C; UVC-19.53: 19.53 mJ/cm² at UV C)

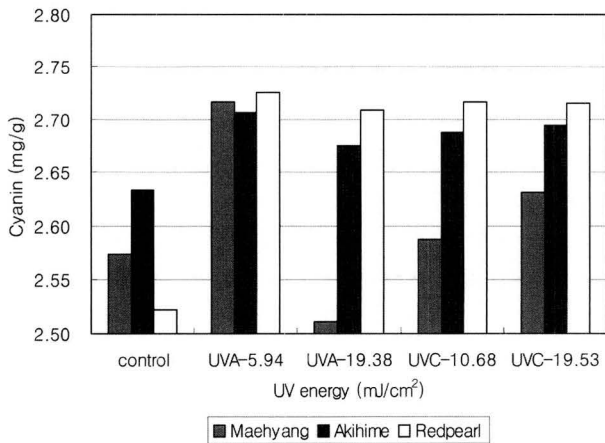


Fig. 2. Cyanin contents in UV treated strawberries. (UVA-5.94: 5.94 mJ/cm² at UV A; UVA-19.38: 19.38 mJ/cm² at UV A; UVC-10.68: 10.68 mJ/cm² at UV C; UVC-19.53: 19.53 mJ/cm² at UV C)

한편, 호르메시스를 이용하여 페놀류와 같은 건강기능성 성분을 증폭하고자 할 때, 품질의 저하가 발생하지 않도록 해야 한다. 본 연구에서는 딸기에 자외선 처리를 하였을 때 페놀류 증폭 효과와 동반하여 나타날 수 있는 품질의 저하 문제를 검토하였으며, 이 결과를 Table 4부터 13에 제시하였다. 매향, 장희, 육보 딸기에서 무게, 크기, 색도, 경도, 당도, 전기전도도, pH 등 모든 품질 인자는 품종 간 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 상기 7종의 품질인자는 매향, 장희, 육보의 품종간 차이는 자외선 처리를 하지 않

Table 4. Significance probability for weight of each single strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.0190
Storage temperature	0.0565
Storage period	0.0002

Table 5. Significance probability for length of each single strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.7062
Storage temperature	0.0322
Storage period	0.0001

Table 6. Significance probability for width of each single strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.6645
Storage temperature	0.3968
Storage period	0.0001

Table 7. Significance probability for lightness component (Hunter L) of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.0894
Storage temperature	0.1988
Storage period	0.0351

Table 8. Significance probability for red component (Hunter a) of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.7710
Storage temperature	0.3493
Storage period	0.1963

Table 9. Significance probability for yellow component (Hunter b) of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.6231
Storage temperature	0.0253
Storage period	0.0001

Table 10. Significance probability for firmness of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.5175
Storage temperature	0.0090
Storage period	0.0001

Table 11. Significance probability for soluble solids of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.2030
Storage temperature	0.0035
Storage period	0.0040

Table 12. Significance probability for electrical conductivity of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.0410
Storage temperature	0.2225
Storage period	0.0001

Table 13. Significance probability for pH of strawberry

Variable	Significance probability (Pr>F)
Strawberry cultivar	0.0001
UV energy	0.2110
Storage temperature	0.4464
Storage period	0.0001

더라도 유의확률이 0.0001 이하로 나타난 바, 품종간 품질의 차이는 큰 것을 알 수 있다. 이러한 품질 인자 중에서 자외선 처리에 따른 효과의 경우, 무게와 전기전도도 면에서 유의확률이 0.05 즉, 유의수준이 5% 이하로 나타나 품질의 차이가 초래되는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 자외선이 조사되었을 때 수분 증발에 따라 수분의 함량이나 형태에 영향을 주어 중량 감소 및 선도 저하 현상이 발생하여 무게와 전기전도도가 달라진 것으로 추측된다. 반면에, 유의확률을 분석한 결과에 의하면, 딸기의 크기, 색도, 경도, 당도 등은 자외선 처리에 따라 큰 변화를 보이지 않

는 것으로 해석할 수 있다. 그리고 저장온도(0°C와 20°C)와 저장일수(0, 1, 2, 4, 6, 8, 10일)에 따른 품질인자의 변화는 자외선 처리에 따른 영향에 비해 대부분 유의하게 다르게 나타났다.

따라서 Table 4부터 13의 결과를 종합해 보면, 본 연구에서 처리한 자외선 에너지 수준에서는 일부 품질 인자가 영향을 받을 수 있는 것으로 나타났으나 전체적으로 보아 딸기의 품질 저하를 초래하지 않는다고 할 수 있다.

요 약

최근 과실과 채소의 건강기능성분에 대한 관심이 커지고 있는 시점에, 수확이후, 건강기능성분을 증폭시킬 수 있는 호르메시스에 대한 관심은 더불어 커지고 있다. 딸기에 함유되어 있는 페놀류는 대표적인 건강기능성분이라 할 수 있다. 본 연구에서는 딸기 수확 후 자외선 호르메시스를 적용하였을 때 안토시안 계열의 펠라고닌과 시아닌의 함량 변화를 분석하고자 하였다. 또한, 자외선 처리로 인한 딸기의 품질 변화를 살펴보았다.

수확된 딸기에 UV-A와 UV-C를 이용하여 자극을 주었을 때 펠라고닌은 10.6% 유의수준에서, 그리고 시아닌은 2.9% 유의수준에서 함량의 변화를 초래한 것을 나타났다. 반면에, 자외선 처리 후 저장온도와 저장일수에 따른 효과는 유의수준이 낮지 않아서 자외선 처리 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 한편, 딸기에 자외선을 처리하여 펠라고닌과 시아닌의 함량을 증폭시키는 동안 동시에 품질의 변화를 살펴보기 위하여 무게, 크기, 색도, 경도, 당도, 전기전도도, pH 등의 변화를 분석한 결과, 크기, 색도, 경도, 당도, pH 등과 같은 품질 인자 측면에서 품질 저하를 염려하지 않아도 되는 것으로 나타났다.

호르메시스를 효과적으로 활용하게 되면, DNA가 복원 가능한 수준에서 생물체를 자극하여 세포내 대사를 조절하고, 식물체의 항상성을 유지하는 긍정적 변화를 유도할 수 있게 되므로 향후 이에 대한 연구가 계속 이어지기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 현장협력기술개발사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Cho YJ, Kim CJ, Kim CT, Pyee J, Lee SK. 2006. Development of a system to enrich resveratrol content of harvested grapes using metabolism modulation. Research Report GA0620-06040, Ministry of Agriculture, Korea
- Cho YJ. 2008. An application of UV hormesis to post-harvest process.

- Invited Seminar (Unpublished). Korean Society of Agricultural Machinery. Jan. 25, 2008, Suwon
- D'hallewin G, Schirra M, Manueddu E, Piga A, Ben-Yehoshua S. 1999. Scoparone and scopoletin accumulation and ultraviolet-C induced resistance to postharvest decay in oranges as influenced by harvest date. *J. American Soc. Hort. Sci.* 124: 702-707
- Droby S, Chalutz E, Horev B, Cohen L, Gaba V, Wilson CL. 1993. Factors affecting UV-induced resistance in grapefruit against the green mold decay caused by *Penicillium digitatum*. *Plant Pathology* 42: 418-424
- Macheix JJ, Fleuriet A, Billot J. 1990. *Fruit Phenolics*. CRC Press, Boca Raton
- Maharaj R, Arul J, Nadeau P. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 13-23
- Nigro F, Ippolito A, Lima G. 1998. Use of UV-C to reduce storage rot of table grape. *Postharvest Biol. Technol.* 13: 171-181
- Porat R, Lers A, Dori S, Cohen L, Weiss B, Daus A. 1999. Induction of chitinase and β -1,3-endoglucanase proteins by UV irradiation and wounding in grapefruit peel tissue. *Phytoparasitica* 27: 233-238
- Seymour GB, Taylor JE, Tucker GA. 1996. *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London
- Sharma G, Alderson P. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. *Trends Food Sci. Technol.* 16: 128-136

(접수 2008년 3월 14일, 수정 2008년 6월 5일, 채택 2008년 6월 13일)