

UV-C, 에탄올 처리가 신선편이(Fresh-cut) 씨 없는 수박의 품질에 미치는 영향

[†]한현아 · 조승현* · 이송이 · 김은주 · 송은주**

전라북도농업기술원 작물식품과 지방농업연구소,
전라북도농업기술원 수박시험장 지방농업연구소*, 전라북도농업기술원 작물식품과 지방농업연구관**

Effects of UV-C and Ethanol Treatment on Quality of Fresh-cut Seedless Watermelon

[†]Hyun Ah Han, Seung-Hyun Jo*, Song-Yee Lee, Eun-Ju Kim and Eun-Ju Song*

Researcher, Division of Crops & Food, Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54968, Korea.

*Researcher, Watermelon Experiment Station, Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Gochang 56469, Korea

**Senior Researcher, Division of Crops & Food, Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54968, Korea

Abstract

To apply UV-C as a non-heating sterilization method to increase the microbiological safety of fresh seedless watermelon products, reductions in *E. coli* and quality changes by treatment dose (0, 2, 4, 8, 14, 20 kJ/m²) were investigated. The pH, sugar content, and hardness of watermelon inoculated with *E. coli* were not significantly different according to the UV-C treatment dose, but the polyphenol content was significantly decreased compared to the controls (425.4 GAE µg/g F.W.). When treated with 2 and 4 kJ/m², the lycopene content was 31.6 and 30.9 µg/g F.W., respectively, which was increased compared to the controls (28.5 µg/g F.W.). The arginine and citrulline content was also significantly increased compared to the controls. The number of *E. coli* was significantly decreased compared to the controls following UV-C treatment. Considering the degree of *E. coli* reduction, lycopene content, arginine content, citrulline content, and UV-C irradiation time, subsequent experiments were conducted by selecting a UV-C treatment dose of 2 kJ/m². The results of confirming the degree of reduction in the number of *E. coli* colonies by a single treatment and combined treatment with UV-C 2 kJ/m² and 70% ethanol showed that the combined treatment was most effective as colonies were decreased by 2.3 log CFU/g compared to the controls. Therefore, it is judged that UV-C 2 kJ/m² radiation and combined treatment with 70% ethanol could be applied as a non-heating sterilization method for fresh watermelon slices.

Key words: fresh-cut, seedless watermelon, UV-C, ethanol, *Escherichia coli*

서 론

수박(*Citrullus lanatus*)은 신선한 향, 높은 수분 함량, 체내 흡수가 빠른 포도당과 과당이 있어 피로 회복에 도움을 주는 대표적인 여름철 과일이다(Kim 등 2013). 한국농촌경제원이 발표한 2018 식품 소비 형태 조사 통계 보고에 따르면 수박의 소비량은 2012년 이후 지속적인 감소 추세인 반면(Korea Rural Economic Institute 2018), 수박을 600 g 내외로 소포장한 제품은 2018년 대비 2019년에는 매출이 20% 상승했고, 4분

의 1통, 2분의 1통 수박의 매출도 15% 신장했으며(Ministry of Economy and Finance 2020), 큐브 모양의 컵 수박 등의 판매량이 증가하고 있다. 이처럼 세척, 절단 등의 최소한 가공 과정과 원료 과일이나 채소의 특성을 그대로 갖는 것을 신선편이(fresh-cut) 식품이라 한다(Kim JG 2017). 씨 없는 수박은 수정이 되지 않아 무른 우윳빛 종피가 있어 씨앗을 뺀내지 않아 편리하고 위생에 도움이 된다. 또한 1~2인 가구를 위한 큐브 모양의 신선편이 식품이나 주스 개발이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 신선편이 식품은 절단 후 갈변, 호흡량

[†] Corresponding author: Hyun Ah Han, Researcher, Division of Crops & Food, Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan, 54968, Korea. Tel: +82-63-290-6044, Fax: +82-63-290-6059, E-mail: hha208@korea.kr

증가 등 생리적 변화가 일어나며, 가공 과정에서 물리적인 상처가 발생하면 미생물의 증식이 빨라질 수 있다(Kim JG 2017). 수박은 *Pseudomonas* sp., *Escherichia coli*, *Enterobacter* sp., *Salmonella*와 같은 다양한 미생물 생육에 적합한 기질이다(Fonseca & Rushing 2006). 미생물 오염은 식품의 보존성과 안전성에 영향을 주기 때문에, 미생물 수 감소를 위한 전처리 과정이 아주 중요하다(Kim 등 2011). 가열처리가 곤란한 신선편이 식품의 미생물학적 안전성 확보를 위해서 irradiation(Nthenge 등 2007), electrolyzed oxidizing water(Guentzel 등 2008), organic acid(Akbas & Ölmez 2007), ozone(Selma 등 2007), chlorine(Beuchat 등 2004), sodium hypochlorite(Niemira BA 2007), ethanol(Cho & Park 2012) 등과 같은 방법이 사용된다.

UV-C는 비가열 살균 처리 기술로써 주로 식품 표면의 미생물학적 오염을 줄이는 데 이용되며, 특히 253.7 nm 파장의 UV-C는 미생물의 DNA base에 손상을 일으켜 미생물을 사멸시킨다고 알려져 있다(Kim 등 2010; Kim 등 2011). 또한 잠재적 위해 요소에 대한 소비자의 거부감이 적고, 수분과 온도의 영향을 크게 받지 않으며, 설치와 조사 비용이 경제적이고(Kim 등 2010), 잔류 독성이 없고 처리 부산물이 생성되지 않는 것으로 보고되어 있다(Keyser 등 2008; Manzocco 등 2011). 한편, UV-C는 산패와 변색을 일으키는 특정 제품의 산화적 변화를 촉매할 수 있으며(Jay JM 1996), 열대 과일의 풍미와 색소에 산화적 손상을 주는 것으로 보고되었다(Lamikanra & Richard 2004; Hashizume 등 2007; Manzocco 등 2008; Alothman 등 2009). UV-C 등 비가열 살균 처리를 상업적으로 사용하기 위해서는 최종 제품에서 영양 및 관능 품질을 유지하면서, 미생물 성장을 지연시키고, 살균 효과가 있어야 한다(Fonseca & Rushing 2006). UV-C 처리가 신선편이 수박의 미생물 및 전반적인 품질 변화에 미치는 영향, 특히 라이코펜, 아르기닌, 시트룰린, 폴리페놀과 같은 일부 생리활성 화합물의 변화에 대한 정보가 부족하며, 국내 품종 씨 없는 수박에 적용해 본 사례는 거의 없는 실정이다. 또한 현재 산업적으로 비살균 식품 생산에 활용되고 있는 에탄올의 항균 효과는 오래전부터 알려져 있고, 70% 에탄올은 표면살균제로 이용되고 있다(Cho & Park 2012). 따라서 본 연구에서는 UV-C 조사선량별, 70% 에탄올 사용 여부, UV-C와 70% 에탄올 각각의 단일처리와 병합 처리에 따른 신선편이 씨 없는 수박의 품질, 대장균 콜로니 수에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 전처리

실험에 사용한 씨 없는 수박은 조생흑미 품종으로(*Citrullus*

lanatus cv. Josaengheugmi) 2022년 정읍에서 6월 중순에 수확한 것을 구입하여 사용하였다. 크기는 9±1 kg, 당도는 10~11°Brix인 수박을 선별하여 냉장실(4°C)에 보관하면서 사용하였다. 수박은 세척 후 물기를 제거한 다음 껍질에서부터 3 cm 두께로 잘라내고 과육 부분만 큐브 모양(가로 2.5 cm, 세로 2.5 cm, 높이 3 cm)으로 절단 후 일회용 사각용기(PSW 12155, Enterpack, Paju, Korea)에 6 조각씩 담았다. 시약 Folin-Ciocalteu's phenol reagent, gallic acid, 시트룰린, 아르기닌 표준품은 Sigma Aldrich Co.(St. Louis, Mo, USA)에서 구입하였다.

2. 대장균 배양 및 접종

씨 없는 수박에 접종하기 위해 사용된 *Escherichia coli* (NCTC 12923)의 균주는 -80°C 초저온 냉동고에서 20% glycerol stock(v/v) 형태로 보관된 것을 사용하였다. *E. coli*는 Nutrient Broth(Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 24시간 동안 배양 후 2차례 계대 배양하여 활성화시켰다. 보관 균주의 오염 여부를 확인하기 위하여 계대 배양한 균 액을 0.1% sterile peptone water에 10배수로 희석하여 선택 배지에 접종 배양한 후 형성된 전형적인 집락 형태와 수를 관찰하였고, 접종액으로 사용하였다. 수박 표면에 *E. coli* 접종은 클린벤치 내에서 각 조각에 20~100 µL씩 접종하였다.

3. UV-C, 에탄올 처리

절단 수박에 대장균을 접종한 다음 UV-C 조사를 하였으며, UV-C 램프는(253-257 nm broadband, 20W, Sankyo Denki Co., Kanagawa, Japan), 스테인리스스틸로 특수 제작된 자외선 조사 장치(W700×D600×H100 mm)에 8개를 부착하여 온도가 조절되는 인큐베이터(WIR-420, Daehan Scientific Co. Ltd., Wonju, Korea)에 설치하였다. 자외선량 측정기(HD2102.2, Delta Ohm, Caselle di Selvazzano, Italy)를 이용하여 조사량을 측정하였다. 조사량은 0, 2, 4, 8, 16, 20 kJ/m²로 하였고, 이때 소요된 시간은 2 kJ/m²은 1분 54초, 4 kJ/m²은 3분 49초, 8 kJ/m²은 7분 39초, 14 kJ/m²은 13분 24초, 20 kJ/m²은 19분 26초가 소요되었다. 70% 에탄올은 에탄올(ethyl alcohol anhydrous, 99.9%, Sanchun pure chemical Co., Pyeongtaek, Kora)과 증류수를 7:3(v:v)으로 혼합하여, 분무기(Burkle, Daihan Science, Germany)에 넣어 2 mL(1회=1 mL)를 분무하였다. 병합 처리는 UV-C 처리 후 에탄올을 분무하였다.

4. 분석 시료

대장균을 접종한 다음 자외선을 처리한 수박은 처리 선량별로 각 10 g을 멸균 백(3MTM, St. Paul, MN, USA)에 취한 후 각각 0.1% peptone water(DifcoTM, Detroit, MI, USA) 90 mL를 넣어 stomacher(BagMixer® 400, Interscience, France)를

이용하여 90초간 균질화하였다. 균질화된 용액을 분석 시료로 사용하였다.

5. 이화학 분석

pH는 pH meter(Seven Excellence™, Mettler Toledo, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 가용성 고형분(°Brix) 함량은 휴대용 당도계(Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였고, 색차계(Minolta Spectrophotometer CM-3500d, Minolta Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 측정하였다. 백색 표준판의 표준색은 L, a, b 값이 각각 99.60, -0.10, -0.43이었다. 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu's 법을 변형하여 측정하였다(Singleton & Rossi 1965). 각 분석시료 100 µL에 2%(w/v) Na₂CO₃ 용액 1 mL를 첨가하여 3분간 방치한 후 50%(w/v) Folin-Ciocalteu's reagent 100 µL를 첨가하여 반응액을 30분간 상온 방치한 후 ELISA microplate reader(Epoch2, Biotek, Winooski, USA)로 흡광도(750 nm)를 측정하였다. 폴리페놀 함량은 gallic acid를 표준물질로 사용하여 검량선을 작성한 후 시료 1 g 중의 µg gallic acid equivalent(GAE)로 표시하였다. 경도는 texture analyzer(TA. XT Express V2.1, London, UK)를 이용하여 측정하였고 분석 조건은 Table 1과 같다. 수박은 일정한 크기(2.5×2.5×3 cm)로 처리당 5 조각을 측정하여 평균값을 사용하였다.

6. 대장균 수

위생 지표 세균 중 대장균은 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2018)에 준하여 측정하였다. 시험액 1 mL를 10배씩 단계 희석하여 *Escherichia coli* and Coliform Plate 건조 필름(EC, 3M™)에 1 mL씩 분주하였다. 이후 37°C에서 48시간 배양하였고, 푸른색 집락 중 주위에 기포를 형성한 집락을 각각 대장균으로 계수하였다. 3회 반복 실험을 진행하였고, 미생물 수는 log CFU/g으로 나타내었다.

Table 1. Measurement conditions of texture analyzer

Items	Conditions
Pre-test speed	2.0 mm/sec
Test speed	1.0 mm/sec
Post-test speed	5.0 mm/sec
Distance	10 mm
Trigger type	Auto(Force)
Trigger force	5.0 g
Probe	Blade

7. 라이코펜 함량

라이코펜 함량은 Fish 등(2002)의 분석법을 변형하여 사용하였다. 수박 시험액 1 mL에 0.05% butylated hydroxyl toluene in acetone 5 mL과 95% ethanol 5 mL, hexane 10 mL을 넣고 암소에서 15분간 shaking 후 증류수 3 mL을 넣고 다시 5분간 shaking 후 5분간 방치하여 물층과 hexane층이 분리되게 하였다. 상층의 hexane층만 이용하여 503 nm에서 흡광도를 측정하여 계산식에 의해 함량을 구하였다.

$$\text{Lycopene content } (\mu\text{g/g}) =$$

$$(\text{Abs of sample} \times 31.2) / \text{weight of sample (g)}$$

8. 시트룰린 및 아르기닌 함량

시험액 1 mL을 취하여 15 mL 코니컬 튜브에 넣고 증류수 9 mL을 가한 다음 볼텍싱하여 membrane filter(PTFE 0.45 µm, Guangzhou Jet Bio-Filtration Co., Scenic Science City, China)로 여과하고 HPLC(Agilent 1260, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 컬럼은 Infinitylab poroshell 120 EC-C18(3.0×150 mm, 2.7 µm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)이었으며 이동상은 0.1% phosphoric acid(in ionized water)를 사용하여 isocratic mode로 분석하였으며 이때 유속은 0.3 mL/min이었고, UV 검출기 200 nm 파장에서 분석하였다. 주입량은 2 µL이고 시트룰린, 아르기닌 표준물질은 증류수를 이용하여 0.1~1,000 µg/mL 농도로 희석하여 검량선을 작성하여 사용하였다.

9. 통계분석

실험에서 얻어진 결과는 평균값을 사용하였으며 통계처리는 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 one-way analysis of variance (ANOVA)로 분석한 후 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하여 평균간 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. UV-C 처리 선량에 따른 신선편이 수박의 품질 특성

1) pH, 당도, 색도

UV-C 조사선량을 달리하고 측정한 pH, 당도, 색도는 Table 2에 나타내었다. pH는 5.7~5.9 사이로 UV-C 조사선량에 따른 유의적 차이는 크지 않았으며, Kim 등(2013)이 보고한 수박 우리꽃(*Citrullus lanatus* cv. Uriggul) 5.8, 삼복(*Citrullus lanatus* cv. Sambok) 5.7과 유사한 결과였다. 당도는 11.2~11.6 °Brix로 UV-C 조사선량별 유의적 차이는 크지 않았으며 Kim 등

Table 2. The pH, sugar content and color of fresh-cut seedless watermelon treated with different UV-C radiation

UV-C radiation (kJ/m ²)	pH	Sugar content (°Brix)	Color value ²⁾		
			L	a	b
Control	5.8±0.1 ^{ab1)}	11.5±0.2 ^{ab}	16.7±0.0 ^a	11.1±0.1 ^c	6.5±0.1 ^d
2	5.8±0.1 ^{ab}	11.4±0.4 ^{ab}	15.9±0.0 ^b	12.1±0.0 ^a	7.6±0.0 ^a
4	5.9±0.0 ^a	11.2±0.5 ^b	15.2±0.0 ^{cd}	12.1±0.1 ^a	7.3±0.1 ^b
8	5.8±0.1 ^{ab}	11.3±0.4 ^{ab}	15.7±0.1 ^{bcd}	11.6±0.0 ^b	7.3±0.1 ^b
14	5.8±0.0 ^{ab}	11.6±0.2 ^a	15.3±0.1 ^d	11.6±0.1 ^b	7.1±0.1 ^c
20	5.7±0.0 ^b	11.5±0.1 ^{ab}	15.7±0.4 ^{bc}	11.4±0.3 ^b	6.6±0.2 ^d

¹⁾ Means±S.D. (n=5) within each column followed by different letters are significantly ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

²⁾ Lightness (black 0 ↔ +100 white), redness(green -80 ↔ +100 red), yellowness(blue -70 ↔ +70 yellow).

(2013)이 보고한 수박 태양꿀(*Citrullus lanatus* cv. Taeyangggul) 11.7 °Brix와 무등산(*Citrullus lanatus* cv. Mudeungsan) 11.6 °Brix와 같은 수준이었다. 색도의 경우 대조에서 L(명도) 값은 16.7이었으나 UV-C 조사 후에는 15.2~15.9로 유의적으로 감소하였다. 반면 a(적색도) 값은 대조에서는 11.1이었으나 UV-C 조사 후에는 11.4~12.1 사이로 다소 증가하였으며 특히 2~4 kJ/m² 조사 후에 높았다. b(황색도) 값은 a 값과 유사하게 UV-C 조사 후 증가하였으며 2 kJ/m² 조사 후에 가장 높았지만, 육안으로는 차이를 느끼지 못하였다. 이는 딸기에 UV-C 5 kJ/m² 처리 시 색도 (L, a, b)는 대조와 유의적 차이가 없었고(Kim 등 2010), 레드치커리와 청경채에 UV-C 10 kJ/m² 처리 시 대조와 유의적 차이가 나지 않았던(Kim 등 2011) 결과와 다른 경향이였다. 이는 대상 작물, UV-C 처리 방법, 색도 측정 방법 등의 차이로 인한 것으로 판단된다. 신선편이 수박의 품질은 주로 식감, 색상 및 단맛의 손실 여부로 판단되는 데(Rushing 등 2001; Perkins-Veazie & Collins 2004) 본 연구에서 UV-C 처리는 pH, 당도에는 영향을 미치지 않았지만, 라이코펜 함량과 정의 상관관계가 있는 a(적색도) 값(Kim HY 2010) 처리 선량에 따라 유의적 차이를 보였으며, 이는 UV-C 처리를 통해 라이코펜의 함량에 변화가 있음을 예상할 수 있다.

2) 경도

절단된 수박에 0~20 kJ/m²의 UV-C를 선량별로 처리하고 측정된 경도의 결과는 Table 3과 같다. UV-C를 처리하지 않은 경우 1,049.0 g이었으며, 처리 선량별로 유의적인 차이는 보이지 않아 20 kJ/m² 이하의 UV-C 처리는 경도의 변화가 없는 것으로 판단된다. 이는 3 kJ/m² 이하의 UV-C로 복숭아의 경도가 유의적 차이를 보이지 않은 Lee 등(2013a)의 결과와 유사하였다.

3) 폴리페놀, 라이코펜, 아르기닌, 시트룰린 함량

폴리페놀은 함량은 대조에서는 425.4 GAE µg/g fresh

weight이었고, UV-C 2 kJ/m² 처리에서 400.6 µg GAE/g F.W.으로 4~20 kJ/m²에서는 408.5~414.2 µg GAE/g F.W.으로 대조에 비해 유의적으로 감소하였다. 이러한 결과는 Artés-Hernández 등(2010)이 신선편이 수박에 UV-C 처리 후 폴리페놀 함량이 대조(0.90 mg CAE/kg F.W.)에 비해 UV-C 1.60-7.20 kJ/m² 처리 시 감소(0.85~0.88 mg CAE/kg F.W.)하였다고 보고한 것과 같은 경향이었고, 함량의 차이는 수박 품종 및 정량에 사용한 표준물질의 차이로 인한 것으로 생각된다. UV-C 처리는 폴리페놀 함량 감소에 영향을 미친다고 유추할 수 있으며 선량에 따른 감소 정도 등 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

라이코펜은 카로티노이드 중 한 성분으로 토마토와 같은 붉은색 과일에 주로 함유되어 있으며, 강력한 항산화력과 전립선의 양성 및 악성 상피 세포의 성장 저해 효과가 보고되었다(Boileau 등 2001; Kim 등 2013). 라이코펜 함량은 대조에서 28.5 µg/g F.W.이었고, 이 함량은 UV-C 2, 4, 20 kJ/m² 처리하였을 때 31.6, 30.9, 29.2 µg/g F.W.으로 대조에 비해 함량이 높았으며, UV-C 8, 14 kJ/m² 처리하였을 때는 각각 26.3, 27.2 µg/g F.W.으로 대조에 비해 함량이 낮아지는 경향이였다. 라

Table 3. Hardness of fresh-cut seedless watermelon treated with different UV-C radiation

UV-C radiation (kJ/m ²)	Hardness (g)
Control	1,049.0±99.3 ^{ND1)}
2	1,009.2±66.6 ND
4	995.5±57.7 ND
8	998.8±74.7 ND
14	1,015.5±56.7 ND
20	1,053.8±60.9 ND

Means±S.D. (n=5) within each column followed by different letters are significantly ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test. ND not different.

이코펜 함량은 앞에서 언급한 적색도 변화와 같은 패턴을 보였다. Kim 등(2013)은 수박 품종에 따라 라이코펜 함량은 30.20~55.43 $\mu\text{g/g}$ F.W. 이었다고 보고 하였고, 본 연구에 사용된 씨 없는 수박의 라이코펜 함량은 이보다 낮았으며 이는 품종, 수확시기, 재배 지역 등의 차이로 생각된다. Artés-Hernández 등(2010)은 낮은 선량(1.6~2.8 kJ/m^2)의 UV-C 처리 후 라이코펜의 함량 변화가 없었고, 4.8 및 7.2 kJ/m^2 처리 후에는 각각 2.6, 7.7%가 감소하였다고 보고하여 본 연구 결과와는 다른 경향이였다. 이는 수박의 씨 함유 여부, 절단 크기 등의 차이로 인한 것으로 생각되며, 더불어 UV-C 처리 선량이 라이코펜의 함량에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

수박에 풍부하게 함유되어있는 비필수 아미노산인 시트룰린은 아르기닌의 전구체이며, 요소 사이클의 중간대사 물질이며 체내에서 산화물질 제거와 혈관 확장 기능을 갖는 것으로 알려져 있다(Figueroa 등 2017). 아르기닌 함량은 2~14 kJ/m^2 의 UV-C를 처리하였을 때 대조에 비해 함량이 유의적으로 높았으며, UV-C 20 kJ/m^2 처리에서는 대조에 비해 낮은 함량을 보였다. 시트룰린 함량은 UV-C 8 kJ/m^2 에서 3,519.4 $\mu\text{g/g}$ F.W., 2 kJ/m^2 에서 3,446.1 $\mu\text{g/g}$ F.W.으로 대조 3,384.5 $\mu\text{g/g}$ F.W. 보다 높았다. 이는 각 성분에 따라 함량의 증감에 영향을 미치는 UV-C 처리 선량이 다름을 시사한다. 대조의 시트룰린 함량은 Lee 등(2013b)이 수박 유전자원 계통 및 시판종 98점을 대상으로 조사한 평균 함량 3.1 mg/g F.W.과 유사하였다(Table 4).

4) 대장균 수

씨 없는 수박에 6.52 log CFU/g의 대장균을 접종 후 UV-C(0, 2, 4, 8, 14, 20 kJ/m^2) 처리 후 대장균 수 변화를 조사하였다(Fig. 1). 대조에 비해 모든 처리에서 대장균 수가 감소하였으며, 2 kJ/m^2 처리 시 0.39 log CFU/g, 4 kJ/m^2 처리시 0.26 log CFU/g, 8 kJ/m^2 처리 시 0.72 log CFU/g, 14 kJ/m^2 처리 시 0.33 log CFU/g, 20 kJ/m^2 처리 시 0.47 log CFU/g 감소

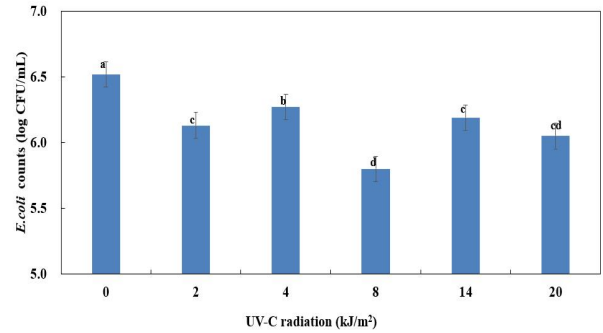


Fig. 1. *E. coli* counts of fresh cut seedless watermelon treated with different UV-C radiation. ^{a-d}Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

하여, 8 kJ/m^2 처리에서 가장 많은 감소를 보였다. Artés-Hernández 등(2010)은 신선편이 수박에 UV-C(1.6, 2.8, 4.8, 7.2 kJ/m^2) 처리 후 mesophilic, psychophilic and enterobacteria의 콜로니수가 감소되었음을, Fonseca & Rushing(2006)은 신선편이 수박에 UV-C(4.1 kJ/m^2)를 처리하는 것은 주스 누출, 색상, 전반적인 시각적 품질에 영향을 주지 않으면서 미생물 콜로니 수 저감에 효과적이라고 하였다. 본 연구에서는 2 kJ/m^2 조사로도 유사한 효과가 있었다. 따라서 대장균 감소 정도, 라이코펜 함량, 아르기닌 함량, 시트룰린 함량, UV-C 조사 시간 등을 고려하여 이후 실험은 UV-C 처리 선량을 2 kJ/m^2 로 선정하고 진행하였다.

2. UV-C, 에탄올 단일 및 병합 처리에 따른 신선편이 수박의 품질 특성

1) pH, 당도, 색도

pH, 당도는 처리에 따른 유의적 차이는 보이지 않았으며, 색도는 대조에 비해 70% 에탄올 처리 시 L값은 증가하고 적

Table 4. Polyphenols, lycopene, arginine and citrulline content of fresh-cut seedless watermelon treated with different UV-C radiation

UV-C radiation (kJ/m^2)	Polyphenol (GAE $\mu\text{g/g}$ F.W.)	Lycopene ($\mu\text{g/g}$ F.W.)	Arginine ($\mu\text{g/g}$ F.W.)	Citrulline ($\mu\text{g/g}$ F.W.)
Control	425.4 \pm 0.0 ^a	28.5 \pm 0.0 ^d	391.2 \pm 1.6 ^d	3,384.5 \pm 79.9 ^{bc}
2	400.6 \pm 0.0 ^c	31.6 \pm 0.0 ^a	438.7 \pm 0.2 ^a	3,446.1 \pm 9.3 ^{ab}
4	409.1 \pm 0.0 ^b	30.9 \pm 0.1 ^b	429.0 \pm 0.5 ^{ab}	3,313.5 \pm 10.5 ^{cd}
8	414.2 \pm 0.0 ^b	26.3 \pm 0.0 ^f	412.7 \pm 2.4 ^{bc}	3,519.4 \pm 5.1 ^a
14	412.3 \pm 0.0 ^b	27.2 \pm 0.0 ^e	402.6 \pm 7.4 ^{cd}	3,298.4 \pm 9.4 ^d
20	408.5 \pm 0.0 ^b	29.2 \pm 0.0 ^c	333.0 \pm 15.0 ^e	3,202.1 \pm 12.7 ^e

Means \pm S.D. (n=5) within each column followed by different letters are significantly ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 5. Quality characteristics according to UV-C, ethanol single treatment and combined treatment

Treatment	pH	Sugar content (°Brix)	Color value ²⁾		
			L	a	b
Control	6.2±0.1	11.2±0.7	14.9±0.1 ^{b1)}	9.6±0.1 ^c	7.9±0.0 ^b
70% EtOH	6.2±0.1	11.2±0.2	15.2±0.1 ^a	8.9±0.1 ^d	7.7±0.1 ^c
UV-C 2	6.2±0.1	11.6±0.4	15.2±0.1 ^a	9.9±0.1 ^b	8.1±0.1 ^a
UV-C 2+70% EtOH	6.2±0.1	12.0±0.6	14.9±0.1 ^b	10.1±0.0 ^a	7.8±0.0 ^{bc}

¹⁾ Means±S.D. (n=5) within each column (^{a-d}) followed by different letters are significantly ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

²⁾ Lightness(black 0 ↔ +100 white), redness(green -80 ↔ +100 red), yellowness(blue -70 ↔ +70 yellow).

Table 6. Hardness and number of *E. coli* colonies according to UV-C, ethanol single treatment and combined treatment

Treatment	Hardness (g)	<i>E. coli</i> counts (log CFU/g)
Control	1,005.7±80.1 ND	5.8±0.7 ^a
70% EtOH	1,125.3±104.7 ND	5.6±0.2 ^b
UV-C 2	1,330.7±232.6 ND	4.0±0.4 ^c
UV-C 2+70% EtOH	1,137.7±256.7 ND	3.5±0.6 ^d

Means±S.D. (n=5) within each column (^{a-d}) followed by different letters are significantly ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test. NDnot different.

색도는 감소하여 색의 변화를 보였다. a 값은 UV-C 2 kJ/m² 처리 후 70% 에탄올을 처리하였을 때 다소 증가하여 대조에 비해 선명한 붉은색을 보였다(Table 5).

2) 경도, 대장균 콜로니수

경도는 처리 별로 유의적 차이를 보이지 않았고, 대장균 콜로니 수는 대조에 비해 모든 처리에서 유의적으로 감소하였으며, UV-C 2 kJ/m² 처리 후 70% 에탄올을 분무하였을 때 대조 대비 2.3 log CFU/g 감소하여 가장 효과적이었다. Jang 등(2003)은 0%(V/V), 10, 20, 30, 50% 농도의 에탄올에 *Bacillus cereus*, *E. coli*를 20°C에서 5분간 노출하여 생균수를 비교한 결과 30% 이상의 농도에서 살균효과가 있었고, 50%에서 10분간 처리하였을 때 모두 사멸된 결과를 보고하였다. Huang 등(2001)은 60% 에탄올에서 5분간 처리하였을 때 모두 사멸된 결과를 보고하였고, 이러한 효과는 에탄올이 peptidoglycan 가교결합의 조합을 저해하기 때문이라 하였다. UV-C와 70% 에탄올 병합 처리는 단일 처리에 비해 신선편이 제품에 적용했을 때 대장균 등 미생물 저감에 더 효과적임을 알 수 있었다(Table 6).

요약 및 결론

씨 없는 수박 신선편이 제품의 미생물학적 안전성 증대를 위한 비가열 살균 처리 방법으로 UV-C를 적용하고자 처리 선량별(0, 2, 4, 8, 14, 20 kJ/m²) 대장균 감소 효과와 품질변화를 조사하였다. *E. coli*로 접종된 수박의 pH, 당도, 경도는 UV-C 처리 선량에 따른 유의적 차이를 보이지 않았고, 폴리페놀 함량은 대조(425.4 GAE µg/g F.W.)에 비해 감소하였다. 라이코펜 함량은 2, 4 kJ/m² 처리했을 때 대조(28.5 µg/g F.W.)에서 보다 증가한 31.6, 30.9 µg/g F.W.이었고, 아르기닌과 시트룰린 함량 역시 대조에 비해 유의적으로 증가하였다. *E. coli* 수는 UV-C 처리 시 유의적으로 감소하였으며, 대장균 감소 정도, 라이코펜 함량, 아르기닌 함량, 시트룰린 함량, UV-C 조사 시간 등을 고려하여 이후 실험은 UV-C 처리 선량을 2 kJ/m²로 선정하고, UV-C와 70% 에탄올 각각 단일처리와 병합처리하여 대장균 콜로니 수 감소 정도를 확인한 결과 UV-C 2 kJ/m² 처리 후 70% 에탄올을 분무하였을 때 대조 대비 2.3 log CFU/g 감소하여 가장 효과적이었다. 따라서 본 연구 결과 UV-C 2 kJ/m² 조사와 70% 에탄올 병합 처리는 씨 없는 수박의 신선편이 제조 공정 중 오염될 수 있는 미생물 수 감소에 효과적일 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 지역특화기술개발연구사업(과제번호 PJ012588022019) 지원에 의한 연구결과의 일부로 이에 감사드립니다.

References

- Akbas MY, Ölmez H. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce by dip wash treatments with organic acids. *Lett Appl Microbiol* 44:

- 619-624
- Alothman M, Bhat R, Karim AA. 2009. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innov Food Sci Emerg Technol* 10:512-516
- Artés-Hernández F, Robles PA, Gómez PA, Tomás-Callejas A, Artés F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol Technol* 55:114-120
- Beuchat LR, Adler BB, Lang MM. 2004. Efficacy of chlorine and a peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on iceberg and Romaine lettuce using simulated commercial processing conditions. *J Food Prot* 67:1238-1242
- Boileau TW, Liao Z, Kim S, Lemeshow S, Erdman JW Jr, Clinton SK. 2001. Prostate carcinogenesis in *N*-methyl-*N*-nitrosourea (NMU)-testosterone-treated rat fed tomato powder, lycopene, or energy-restricted diets. *J Natl Cancer Inst* 93:1872-1879
- Cho SK, Park JH. 2012. Bacterial biocontrol of sprouts through ethanol and organic acids. *Korean J Food Nutr* 25:149-155
- Figueroa A, Wong A, Jaime SJ, Gonzales JU. 2017. Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 20:92-98
- Fish WW, Perkins-Veazie P, Collins JK. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *J Food Compos Anal* 15:309-317
- Fonseca JM, Rushing JW. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol Technol* 40:256-261
- Guentzel JL, Liang Lam K, Callan MA, Emmons SA, Dunham VL. 2008. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiol* 25:36-41
- Hashizume M, Gordon MH, Mottram DS. 2007. Light-induced off-flavor development in cloudy apple juice. *J Agric Food Chem* 55:9177-9182
- Huang SL, Weng YM, Chiou RYY. 2001. Survival of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* as affected by ethanol and NaCl. *J Food Prot* 64:546-550
- Jang JH, Jang JS, Lee SY, Kim HS, Kang SM, Park JH. 2003. Growth inhibition effects of ethanol and sodium chloride on *Bacillus cereus*. *Korean J Food Sci Technol* 35:998-1002
- Jay JM. 1996. Radiation preservation of foods and nature of microbial radiation resistance. In *Modern Food Microbiology*. 5th ed. pp.304-323. Van Nostrand Reinhold
- Keyser M, Müller IA, Cilliers FP, Nel W, Gouws PA. 2008. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innov Food Sci Emerg Technol* 9:348-354
- Kim HJ, Song HJ, Song KB. 2011. Effect of combined treatment of aqueous chlorine dioxide with ultraviolet-c on the quality of red chicory and pak choi during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:245-252
- Kim HY. 2010. Development new method measuring lycopene content for watermelon. Master's Thesis, Kangwon National Univ. Chuncheon. Korea
- Kim JG. 2017. Packaging technology of fresh-cut produce. *Food Sci Ind* 50:12-26
- Kim JY, Kim HJ, Lim GO, Jang SA, Song KB. 2010. Effect of combined treatment of ultraviolet-c with aqueous chlorine dioxide or fumaric acid on the postharvest quality of strawberry fruit "Flamengo" during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:138-145
- Kim JY, Lee SH, Hwang SJ, Kim GH, Eun JB. 2013. Physicochemical characteristics and functional components of Mudeungsan watermelon and the other cultivars from Korea. *Korean J Food Sci Technol* 45:345-349
- Korea Rural Economic Institute. 2018. Statistics of the 2018 food consumption survey. Available from <http://foodsurvey.krei.re.kr> [cited 20 November 2022]
- Lamikanra O, Richard OA. 2004. Storage and ultraviolet-induced tissue stress effects on fresh-cut pineapple. *J Sci Food Agric* 84:1812-1816
- Lee KH, Park JH, Lee YJ, Ban KE, Jang JH. 2013a. Application of low dose UV-C irradiation for shelf-life extension of peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Korean J Food Nutr* 26: 85-91
- Lee WM, Lee HJ, Yang EY, Choi HS, Kim S, Kwon MJ, Chae SY, Huh YC. 2013b. Screening of Germplasms with High Citrulline Content in Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai). In 2013 Annual Autumn Conference of the Korean Society for Horticultural Science. pp.95. Korean Society for Horticultural Science
- Manzocco L, Kravina G, Calligaris S, Nicoli MC. 2008. Shelf life modeling of photosensitive food: The case of colored beverages. *J Agric Food Chem* 56:5158-5164
- Manzocco L, Pieve SD, Maifreni M. 2011. Impact of UV-C light

- on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 12:13-17
- Ministry of Economy and Finance. 2020. "One serving of watermelon please" Popularity of small packaged watermelon. Available from <https://m.post.naver.com/search/post.naver?keyword=소포장수박> [cited 6 November 2022]
- Ministry of Food and Drug Safety. 2018. Regulation on Approval of Functional Ingredient for Health Functional food. Available from <https://various.foodsafetykorea.go.kr> [cited 10 November 2022]
- Niemira BA. 2007. Relative efficacy of sodium hypochlorite wash versus irradiation to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 internalized in leaves of Romaine lettuce and baby spinach. *J Food Prot* 70:2526-2532
- Nthenge AK, Weese JS, Carter M, Wei CI, Huang TS. 2007. Efficacy of gamma radiation and aqueous chlorine on *Escherichia coli* O157:H7 in hydroponically grown lettuce plants. *J Food Prot* 70:748-752
- Perkins-Veazie P, Collins JK. 2004. Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol Technol* 31:159-166
- Rushing JW, Fonseca JM, Keinath AP. 2001. Harvesting and postharvest handling. In Maynard DN (Ed.), *Watermelons: Characteristics, Production, and Marketing*. ASHS Press
- Selma MV, Beltrán D, Allende A, Chacón-Vera E, Gil MI. 2007. Elimination by ozone of *Shigella sonnei* in shredded lettuce and water. *Food Microbiol* 24:492-499
- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144-158

Received 6 December, 2022
 Revised 9 January, 2023
 Accepted 16 January, 2023