

UV-C 조사가 세척 당근의 저장 중 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*의 생육저해 및 품질에 미치는 영향

김주연 · 김은교 · 신초롱 · 송경빈[†]
충남대학교 농업생명과학대학 식품공학과

Effect of UV-C Irradiation on Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on Washed Carrot during Storage

Ju-Yeon Kim, Eun-Kyo Kim, Cho-Long Shin and Kyung-Bin Song[†]

Department of Food Science & Technology, College of Agriculture & Life Sciences,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

Inactivation by UV-C irradiation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated onto washed carrots was examined. Carrot samples were inoculated with 6-7 log CFU/mL of *E. coli* O157:H7 or *L. monocytogenes*, treated with doses of 0, 1, 3, 5, or 10 kJ/m² UV-C, and stored at 4±1°C for 8 d. The populations of *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* significantly decreased with increasing irradiation dose ($p < 0.05$). In particular, *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* populations fell significantly by 2.35 and 2.38 log CFU/g at 10 kJ/m², respectively, compared to control values. UV-C irradiation inhibited color changes and decreased the whiteness index in carrot during storage, compared to controls. Sensory evaluation results showed that UV-C-treated carrots had better sensory characteristics than did the control. Therefore, the results suggest that UV-C irradiation could be useful to improve the microbial safety and sensory qualities of fresh-cut carrots during storage.

Key words : UV-C irradiation, washed carrot, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, storage

서 론

최근 현대인들의 생활양식과 식생활 변화로 식품의 편리성이 매우 중요한 트렌드로 부각되고 있고, 웰빙 열풍과 외식업체 수의 증가 등에 따라 신선편이식품의 수요가 급증하고 있다(1-3). 식품공전에 따르면, 신선편이식품은 즉석 섭취·편의식품류의 유형으로 농·임산물을 세척, 박피, 절단 또는 세절 등의 가공공정을 거치거나 이에 단순히 식품 또는 식품첨가물을 첨가한 것으로서 그대로 섭취할 수 있는 식품을 말한다(4).

주로 세척되어 유통되고 있는 신선편이 당근은 즉석 샐러드나 주스 등의 다양한 형태로 소비 되고 있는 채소류로서 β -carotene이 다량 함유되어 있어 영양학적으로 우수한

식품으로 알려져 있다(5,6). 그러나 신선편이 당근은 대부분 가열 조리과정 없이 소비자가 구매 후 그대로 섭취할 수 있도록 세척, 박피 등의 최소가공 처리되어 판매되고 있어 가공, 저장 중 위해미생물 증식이나 당근 표면에 나타나는 백화현상과 같은 외관 품질 저하가 유통기한을 단축시키는 것으로 알려져 있다(7-10).

당근과 관련된 연구로, 외국에서는 이산화염소 가스를 이용한 당근의 저장기간 연장(11), 당근 절편에 가식성 필름 코팅 처리가 품질에 미치는 영향(12), 당근에 chlorine, acidified sodium chlorite(ASC), peroxyacetic acid 처리에 의한 위해미생물의 감소(13), 당근에서 이산화염소수, 오존수 처리 후 *E. coli* O157:H7의 감소(14), 감마선 조사가 당근의 조직적 특성에 미치는 영향(15) 등의 연구가 보고되었다. 또한 국내에서의 당근에 관한 연구로는 염소수와 오존수 세척(9), 차아염소산 처리(6) 등 대부분 화학적 살균처리에

[†]Corresponding author. E-mail : kbsong@cnu.ac.kr,
Phone : 82-42-821-6723, Fax : 82-42-825-2664

대한 연구로 한정되어 있다. 특히 염소수 처리는 미생물에 대한 살균효과가 제한적이고 chloramines, trihalomethanes 과 같은 발암유발 물질이 생성되어 인체의 건강에 해로운 영향을 미칠 수 있다는 보고가 있고(13,14,16), 또한 ASC 처리는 미생물 억제 효과는 있으나 경도 감소 등 외관 품질을 저하시켜 적합하지 못한 면이 있으며(17), 당근에 이산화염소 처리 농도가 증가할수록 표면의 백화현상이 비례적으로 증가하여 품질에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(18). 따라서 이와 같이 여러 문제점이 있는 기존의 화학적 살균 처리 외에 신선편이 식품 표면의 초기 미생물을 보다 효과적으로 제거할 수 있으면서도 품질유지가 가능한 물리적인 처리 방법에 관한 연구가 필요하다.

Ultraviolet(UV)는 파장 100-400 nm 범위의 전자기파를 말하는데, UV 영역은 크게 UV-A(315-400 nm), UV-B(280-315 nm), UV-C(100-280 nm)로 구분되며, 살균 및 소독에 사용되는 UV는 주로 UV-C이다(19-21). UV-C는 비가열 살균처리로서 주로 식품 표면의 미생물학적 오염을 줄이는데 이용되며, UV-C가 미생물의 DNA base에 손상을 일으켜 DNA 구조를 파괴하여 기능을 수행하지 못하게 함으로써 미생물을 사멸시키는 것으로 알려져 있다(19-22). UV-C 조사는 기존의 감마선이나 전자빔 처리 방법과 비교하여, 잠재적 위해요소에 대한 소비자 거부감이 적고 온도와 수분의 영향을 크게 받지 않으며 설치 및 조사비용이 저렴한 장점을 가지고 있다(23-26).

따라서 본 연구에서는 국내에서 유통되고 있는 신선편이 세척 당근의 미생물학적 안전성 확보와 저장성 증대를 위해 오염 가능성이 높은 대표적인 병원성 미생물인 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*를 당근에 인위적으로 접종하여 UV-C 조사한 후 저장 중 미생물 수 감소 및 미생물변화에 미치는 영향을 조사하여 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

재료 및 저장 조건

본 연구에 사용된 세척 당근은 대전광역시 유성구에 위치한 H마트에서 세척 가공·처리되어 시판되고 있는 신선도가 높은 국내산 제품을 선별하여 구입한 후 4±1°C에 보관하며 24시간 이내에 사용하였다. 시료는 외관 상태와 모양 및 조사 면적의 크기가 전체적으로 균일하고 무게가 개당 약 200±1 g인 것으로 선별하였으며, 미생물의 photoreactivation을 최소화하기 위해 암실에서 조사하였다. 조사된 시료는 시중 저장·유통 조건과 동일한 4±1°C에서 8일 동안 low density polyethylene(LDPE) bag(21 cm × 29 cm, 두께: 0.13 mm)에 처리 조사량과 저장 일수에 따라서 각각 개별적으로 포장하여 실험에 사용하였다.

미생물 배양

E. coli O157:H7(NCTC 12079)과 *L. monocytogenes*(ATCC 19111)의 균주를 분양받은 후 -80°C 초저온 냉동고에서 20% glycerol stock(v/v) 형태로 보관하며 실험에 사용하였다. *E. coli* O157:H7은 Sorbitol MacConkey agar(SMAC; Difco Becton Dickinson)를 사용하여 37°C에서 24시간동안 배양하고, *L. monocytogenes*는 modified Oxford medium agar(MOX; Difco Laboratories)를 사용하여 37°C에서 48시간 동안 배양 후 형성된 각 균주의 단일 집락을 멸균된 loop로 취해 Tryptic soy broth(TSB, Difco)와 Brain heart infusion broth(BHI, Oxoid, Basingstoke, U.K.)에 접종하여 37°C에서 각각 24시간, 48시간 동안 진탕 배양하여 균주를 활성화하였다. 보관 균주의 오염여부를 확인하기 위하여 계대 배양한 균액을 0.1% sterile peptone water에 10배수로 희석하여 각 균주의 선택배지에 접종 배양한 후 형성된 전형적인 집락 형태와 수를 관찰하였다. 배양한 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* cell culture를 0.1% sterile peptone water에 vortex mixer(Vortex Genie-2, Scientific industries, INC., Bohemia, NY, USA)를 사용하여 재현탁시키고 원심분리(4,000 × g, 15 분)하여 2회 세척한 후 침전된 cell pellet을 희석하여 균 접종액으로 사용하였다.

당근의 균 접종

당근의 표면에 자연적으로 부착되어 있는 미생물을 제거하기 위해 clean bench UV light에서 30분 동안 처리하였다. 부착되어 있는 미생물을 제거한 당근에 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* 각각의 균 접종액(sample:inoculum solution ratio=1:5, w/v)에 10분 동안 침지하였는데, 이 때 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 초기 균수가 6-7 log CFU/mL가 되게 하였다. 접종된 시료 표면의 과잉 접종된 수분을 제거하고, 균이 잘 부착될 수 있도록 clean bench에서 30분 동안 건조하였다.

UV-C 조사 처리

UV-C 조사를 위해 제작된 UV 살균기(80 cm × 55 cm × 47 cm)의 상, 하부에 254 nm 파장의 unfiltered germicidal emitting lamps(Sylvania, G15T8, Phillips, Netherlands)를 설치하였고, UV-C 강도는 시료 tray 상에서 UV light meter(UV-340, Lutron Electronic Co., Taipei, Taiwan)를 이용하여 3 반복하여 측정하였다(5W/m²). 본 연구에서 사용된 UV-C 조사 선량은 1, 3, 5, 10 kJ/m²이었고, 조사시간은 각각 3분 20초, 10분, 16분 40초, 33분 20초이었다.

미생물 생육 측정

UV-C 조사 후, 시료의 표면 20 g을 멸균된 scalpel로 채취하여 0.1% sterile peptone water 180 mL와 함께 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, France)

에서 균질화 처리하였다. 균질화된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 0.1% sterile peptone water로 10배수 연속 희석한 후 각각의 선택배지에 분주하였다. *E. coli* O157:H7은 Sorbitol MacConkey agar(SMAC; Difco Becton Dickinson)를 사용하여 37°C에서 24시간동안 배양하고, *L. monocytogenes*는 modified Oxford agar(MOX; Difco Laboratories)를 사용하여 37°C에서 48시간동안 배양 후 형성된 colony를 계수하였다. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈다.

색도 및 백화지수 측정

색도는 색차계(CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b 값을 각 시료의 다른 표면을 반복 측정한 뒤 평균값으로 나타내었다. L value는 0(black), +100 (White), a value는 -80 (greenness), +100(redness), b value는 -80(blueness), +70 (yellowness)을 나타내며, 이때 사용된 표준 백판의 L, a, b 값은 각각 L=97.47, a=-0.02, b=1.67 이었다. 측정된 색도 값으로부터 Zanoni 등(2)과 Villalobos-Carvajal 등(12)의 방법에 따라 백화지수(WI, Whiteness index = $100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$)를 계산하였다.

관능검사

당근의 UV-C 조사에 따른 저장기간 중 품질 변화를 분석하기 위해 훈련된 panel 요원 10명으로 시료의 신선도(freshness), 조직감(texture), 냄새(odor), 색(color) 및 종합적 기호도(overall acceptability)에 대한 관능검사를 실시하였다. 이 때 각 조사된 시료에 대한 평점은 선정된 기준에 의거한 9점 기호 척도법(9-8점: 매우 좋음, 7-6점: 좋음, 5-4: 보통, 3-2: 나쁨, 1: 매우 나쁨)으로 평가하였다. 색도 및 백화지수와 관능검사에 사용된 시료는 균을 접종하지 않은 상태의 것을 사용하여 UV-C 조사에 따른 세척 당근의 품질 변화를 관찰하였다.

통계적 처리 분석

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였고 그 결과는 평균값 ± 표준편차로 나타냈다. 통계적 분석은 SAS(Statistical Analysis System program, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 각 실험군 간의 유의성(p<0.05) 검증을 위해 분산분석(analysis of variance, ANOVA) 후 Duncan's multiple range test로 다중비교를 실시하였다.

결과 및 고찰

병원성 미생물 생육저해 분석

세척 당근에 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*를 인위

적으로 접종한 후 UV-C 조사 처리에 따른 저장 중 미생물 수 변화를 조사한 결과는 Table 1, 2와 같다. 저장 초기 UV-C 조사하지 않은 대조구의 경우 당근에 접종된 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*는 각각 5.70, 5.98 log CFU/g이었다. *E. coli* O157:H7의 경우 UV-C 조사 직후 10 kJ/m² 처리구에서 3.57 log CFU/g으로 대조구에 비해 초기 미생물이 2.13 log CFU/g 감소한 것으로 나타났으며 조사선량이 증가할수록 미생물 수는 유의적으로(p<0.05) 감소함을 보였다(Table 1). 저장 4일까지는 대조구와 모든 UV-C 조사 처리구에서 저장 중 미생물 수가 증가하는 경향을 보였으며 증가폭은 대조구와 1 kJ/m² 처리구보다 고선량 처리구가 작게 나타났다. 또한 저장 4일에 10 kJ/m² 처리구가 3.67 log CFU/g으로 대조구 6.01 log CFU/g과 비교하여 2.35 log CFU/g 차이로 가장 큰 감균 효과를 나타냈으며, 조사선량이 증가할수록 *E. coli* O157:H7의 생육저해에 유의적인(p<0.05) 효과를 보였다. 저장 6일과 8일에는 10 kJ/m² 처리구에서 각각 3.61, 3.62 log CFU/g으로 유의적인 미생물 수 변화 없이 대조구의 5.88, 5.89 log CFU/g과 비교하였을 때 2.27 log CFU/g의 감균 효과를 유지하는 것을 나타냈다.

*L. monocytogenes*의 경우에도 *E. coli* O157:H7의 결과와 비슷한 경향을 나타냈는데, UV-C 조사 직후 10 kJ/m² 처리구에서 3.76 log CFU/g으로 대조구와 비교하여 유의적으로(p<0.05) 초기 미생물 대비 2.20 log CFU/g 감소하였다(Table 2). *L. monocytogenes*는 저장 4일까지 대조구를 포함한 전 처리구에서 저장 중 증가하였는데, 증가폭은 대조구와 낮은 조사선량 간에는 유의적인 차이가 없었으나 조사선량이 증가할수록 차이가 작았다. 저장 4일에 10 kJ/m² 처리구가 3.81 log CFU/g으로 대조구 6.19 log CFU/g과 비교하여 2.38 log CFU/g 차이로 가장 큰 감균 효과를 보였으며, 조사선량이 증가할수록 *L. monocytogenes*의 생육저해에 유의적인(p<0.05) 효과를 보였다. 저장 6일에는 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* 모두 미생물 수가 전체적으로 감소하였는데, 그 이유로는 저장기간이 경과함에 따라 당근 표면의 건조가 진행되어 미생물 생육 특성에 영향을 미친 것으로 판단된다(7,11). 저장 8일 *L. monocytogenes*는 10 kJ/m² 처리구가 3.77 log CFU/g으로 대조구 6.03 log CFU/g과 비교하여 2.26 log CFU/g 감소를 보였고, 저장기간 동안 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes* 모두 10 kJ/m² 처리구에서 가장 유의적인(p<0.05) 감균 효과를 나타냈다.

Ruiz-Cruz 등(13)은 당근에 40 ppm peroxyacetic acid 처리한 후 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*를 각각 1.24, 0.83 log CFU/g 감소시켰다고 보고했는데, 이러한 결과는 본 연구에서 처리한 UV-C 조사가 당근의 초기 미생물 감소에 매우 효과적임을 시사한다. 또한 Singh 등(14)의 보고에서 당근에 20 ppm 이산화염소수 처리하여 대조구와 비교했을 경우 *E. coli* O157:H7을 2.54 log CFU/g, 16.5 ppm 오존수 처리 시 1.80 log CFU/g 감소시킨 결과는 본 연구결과와

Table 1. Effect of UV-C irradiation on the populations of *E. coli* O157:H7 in washed carrot during storage at 4°C

Microorganism	UV-C dose (kJ/m ²)	Storage period (day)				
		0	2	4	6	8
<i>E. coli</i> O157:H7	0	5.70±0.03 ^{D1)a2)}	5.83±0.02 ^{Ca}	6.01±0.02 ^{Aa}	5.88±0.02 ^{Ba}	5.89±0.01 ^{Ba}
	1	4.82±0.03 ^{Db}	4.91±0.02 ^{Cb}	5.04±0.02 ^{Ab}	4.94±0.01 ^{CBb}	4.95±0.01 ^{Bb}
	3	4.44±0.05 ^{Cc}	4.51±0.03 ^{Bc}	4.62±0.02 ^{Ac}	4.53±0.03 ^{Bc}	4.53±0.03 ^{Bc}
	5	3.84±0.02 ^{Cd}	3.89±0.01 ^{Bd}	3.96±0.01 ^{Ad}	3.90±0.02 ^{Bd}	3.91±0.01 ^{Bd}
	10	3.57±0.03 ^{Ce}	3.61±0.01 ^{Bc}	3.67±0.02 ^{Ac}	3.61±0.02 ^{Bc}	3.62±0.03 ^{Bc}

¹⁾Any means in the same row followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

²⁾Any means in the same column followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

Table 2. Effect of UV-C irradiation on the populations of *L. monocytogenes* in washed carrot during storage at 4°C

Microorganism	UV-C dose (kJ/m ²)	Storage period (day)				
		0	2	4	6	8
<i>L. monocytogenes</i>	0	5.98±0.01 ^{D1)a2)}	6.08±0.01 ^{Ba}	6.19±0.02 ^{Aa}	6.08±0.01 ^{Ba}	6.03±0.01 ^{Ca}
	1	5.69±0.02 ^{Db}	5.78±0.02 ^{Bb}	5.87±0.01 ^{Ab}	5.78±0.01 ^{Bb}	5.74±0.03 ^{Cb}
	3	4.71±0.02 ^{Dc}	4.78±0.02 ^{Bc}	4.85±0.02 ^{Ac}	4.78±0.01 ^{CBc}	4.75±0.02 ^{Cc}
	5	4.55±0.03 ^{Cd}	4.59±0.01 ^{Bd}	4.63±0.02 ^{Ad}	4.60±0.01 ^{Bd}	4.58±0.03 ^{CBd}
	10	3.76±0.02 ^{Ce}	3.78±0.02 ^{BAc}	3.81±0.02 ^{Ac}	3.78±0.01 ^{BAc}	3.77±0.01 ^{BCc}

¹⁾Any means in the same row followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

²⁾Any means in the same column followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

감균 효과와 유사하나 이산화염소수 처리 농도가 증가할수록 당근 표면의 백화현상을 증가시켜 외관적 품질에 영향을 준다고 알려져 있고(18), 또한 오존수 처리는 오존이 빨리 분해되어 살균력이 일시적인 것으로 나타나 저장기간 중 지속적인 감균 효과에는 한계가 있는 것으로 보고되었다(9).

본 연구 결과, UV-C 조사처리가 신선편이 당근에 오염된 미생물의 저장 중 생육 저해에 미치는 영향은 조사선량이 증가할수록 미생물 수 감소에 유의적인(p<0.05) 효과를 나타냈는데, 이러한 결과는 Allende 등(22)의 연구에서 낮은 조사 선량보다 높은 UV-C 조사 선량 처리구가 lettuce의 미생물 수 감소에 더 유의적인 차이를 보였다는 보고와 Erkan 등(27)이 zucchini slices에 4.93, 9.86 kJ/m² 조사하였을 때 총 호기성 세균의 감소에 효과적이었다는 결과와 일치한다. 따라서 UV-C 조사는 신선편이식품 표면의 초기 미생물 수를 효과적으로 감소시키는 비가열 살균처리 기술로써 기존 화학적 처리 방법을 대체할 수 있다고 생각된다.

색도 및 백화지수의 변화

당근을 UV-C 조사 처리한 후 저장 중 색도 변화에 대한

조사 결과는 Table 3과 같다. 당근의 L* value는 저장기간이 증가할수록 대조구와 모든 조사 처리구에서 유의적으로(p<0.05) 증가하는 경향을 보였는데, 저장 중 대조구의 L* value와 비교하여 1, 3 kJ/m² 처리구에서는 유의적인 차이가 없었으나 5, 10 kJ/m² 처리구에서는 저장 4일부터 유의적인 차이를 나타냈다(Table 3). 저장 8일 UV-C 조사 5, 10 kJ/m²의 L* value는 대조구와 비교했을 때 유의적으로(p<0.05) 증가폭이 작게 나타났으며 대조구와 1, 3 kJ/m² 처리구에서는 차이를 보이지 않았다. Hunter a* value와 b* value는 저장 초기 대조구와 모든 처리구 간에는 유의적인 차이가 없었으나 저장 4일부터 5, 10 kJ/m² 처리구를 제외하고 유의적인 차이를 보였고, 또한 저장기간이 증가할수록 L* value와 다르게 대조구와 모든 처리구에서 감소하는 경향을 나타냈다. 저장 8일 5, 10 kJ/m² 처리구의 a* value와 b* value는 대조구와 비교했을 때 유의적으로(p<0.05) 감소폭이 작게 나타났으며, 대조구와 1, 3 kJ/m² 처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 당근의 색도 변화는 저장 중 당근 표면의 건조와 백화현상의 진행 등으로 L* value가 증가되고, β-carotene과 같은 carotenoid계 색소가 손실되어 a**와 b* value가 감소한 것으로 판단된다. Lee 등(6)의 보고

Table 3. Changes in Hunter color values of UV-C irradiated washed carrot during storage at 4°C

Color parameter	UV-C dose (kJ/m ²)	Storage period (day)				
		0	2	4	6	8
L [*] ¹⁾	0	50.69±0.17 ^{E2(a3)}	52.40±0.48 ^{Da}	53.92±0.02 ^{Ca}	56.57±0.25 ^{Ba}	58.17±0.23 ^{Aa}
	1	50.71±0.08 ^{Ea}	52.39±0.14 ^{Da}	53.91±0.13 ^{Ca}	56.58±0.19 ^{Ba}	58.16±0.07 ^{Aa}
	3	50.70±0.23 ^{Ea}	52.41±0.44 ^{Da}	53.93±0.07 ^{Ca}	56.56±0.14 ^{Ba}	58.15±0.06 ^{Aa}
	5	50.71±0.03 ^{Da}	52.39±0.02 ^{Ca}	52.66±0.12 ^{Cb}	53.72±0.25 ^{Bb}	54.04±0.26 ^{Ab}
	10	50.69±0.03 ^{Ea}	52.38±0.05 ^{Da}	52.66±0.06 ^{Cb}	53.73±0.21 ^{Bb}	54.05±0.11 ^{Ab}
a [*]	0	18.58±0.09 ^{Aa}	18.36±0.06 ^{Ba}	18.21±0.04 ^{Cb}	17.75±0.04 ^{Db}	17.39±0.02 ^{Eb}
	1	18.56±0.06 ^{Aa}	18.38±0.06 ^{Ba}	18.22±0.02 ^{Cb}	17.74±0.03 ^{Db}	17.40±0.03 ^{Eb}
	3	18.58±0.04 ^{Aa}	18.38±0.04 ^{Ba}	18.21±0.02 ^{Cb}	17.74±0.02 ^{Db}	17.39±0.04 ^{Eb}
	5	18.60±0.06 ^{Aa}	18.44±0.04 ^{Ba}	18.36±0.02 ^{Ba}	18.04±0.06 ^{Ca}	17.83±0.07 ^{Da}
	10	18.58±0.05 ^{Eb}	18.44±0.07 ^{Ba}	18.35±0.03 ^{Ca}	18.06±0.05 ^{Da}	17.82±0.04 ^{Ea}
b [*]	0	20.73±0.04 ^{Aa}	20.61±0.02 ^{Ba}	20.44±0.03 ^{Cb}	19.78±0.03 ^{Db}	19.27±0.03 ^{Eb}
	1	20.74±0.05 ^{Aa}	20.60±0.02 ^{Ba}	20.44±0.03 ^{Cb}	19.79±0.02 ^{Db}	19.26±0.04 ^{Eb}
	3	20.75±0.04 ^{Aa}	20.62±0.05 ^{Ba}	20.45±0.03 ^{Cb}	19.78±0.03 ^{Db}	19.27±0.02 ^{Eb}
	5	20.74±0.04 ^{Aa}	20.66±0.03 ^{Ba}	20.56±0.06 ^{Ca}	20.24±0.04 ^{Da}	20.02±0.04 ^{Ea}
	10	20.73±0.02 ^{Aa}	20.65±0.02 ^{Ba}	20.56±0.03 ^{Ca}	20.23±0.02 ^{Da}	20.00±0.06 ^{Ea}

¹⁾L*: degree of whiteness (0 black +100 White), a*: degree of redness (-80 greenness ~ 100 redness), b*: degree of yellowness (-80 blue ~ 70 yellowness).

²⁾Any means in the same row followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

³⁾Any means in the same column followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

에서 저장기간이 경과함에 따라 당근의 L* value가 증가하는 경향을 나타내고 반대로 a*, b* value가 감소했다는 것은 본 연구 결과와 일치한다.

당근의 외관적 품질을 결정하는데 있어서 중요한 지표로 백화지수(WI, whiteness index)는 저장·유통 중 표면에 나타나는 백화현상에 의한 색 변화를 나타내는데, UV-C 조사 처리에 따른 당근의 저장 중 백화지수는 Table 4와 같다. 저장 초기에는 대조구와 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았고, 저장 4일부터 5, 10 kJ/m² 처리구에서 유의적인(p<0.05) 차이를 나타냈다. 저장기간이 경과함에 따라 대조구를 포함한 모든 UV-C 처리구의 백화지수가 증가하는 경향을 나타냈는데, 이러한 결과는 저장 중 당근 표면의 건조가 진행되면서 L* value와 같은 색도에 영향을 주어 백화지수가 증가하였다고 판단된다. 기존의 연구보고(7,9,11,12,28)에 의하면 당근의 저장·유통 중 주로 나타나는 백화현상은 미생물 오염에 의한 부패와 물리·화학적 공정에서 표면 조직의 손상 및 건조로 인해 외층(outer layer)에 형성되는 lignin 생합성이 변색을 유도하고, β-carotene과 같은 색소가 분해되거나 손실되어 나타난 결과라고 설명하였다. 저장 8일 대조구의 백화지수 50.77과 비교하여 1, 3 kJ/m² 처리구는 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 5, 10 kJ/m² 처리구는 각각 46.79, 46.81로 증가폭이 유의적으로(p<0.05) 작게 나타났다(Table 4). UV-C 처리구에서는 5, 10 kJ/m²의 높은 조사선량에서 백화지수가 유의적으로(p<0.05) 낮아 당근 표면의 백화현상 억제에 효과적인 것으

로 나타났는데, 5, 10 kJ/m² 간에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서 5, 10 kJ/m² 처리구가 저장 중 당근 표면 L* value의 급격한 증가와 a*, b* value의 감소 및 백화현상을 억제시킨 결과는 고선량 UV-C를 토마토에 조사 처리 시 대조구와 비교하여 급격한 색도의 변화를 늦추어 저장기간을 연장시켰다는 보고(29)와 일치한다.

관능적 품질

UV-C 조사 처리 후 저장 중 당근의 신선도, 조직감, 냄새, 색 및 종합적 기호도를 9점 기호척도법으로 조사한 관능적 품질 특성에 대한 결과는 Table 5와 같다. 당근의 관능적 품질에 대한 점수는 저장기간이 경과함에 따라 대조구를 포함하여 모든 조사선량 처리구에서 전체적으로 낮아지는 경향을 나타냈다. 신선도와 냄새는 대조구를 포함한 UV-C 처리구에서 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 저장기간에 따른 결과에서는 10 kJ/m² 처리구에서 신선도 점수의 감소폭이 유의적으로(p<0.05) 가장 작게 나타났다, 냄새 점수는 모든 UV-C 처리구를 제외한 대조구에서 감소폭이 유의적으로(p<0.05) 크게 나타났다(Table 5).

조사선량에 따른 색은 저장 초기 대조구와 모든 UV-C 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나 저장 6일부터 5, 10 kJ/m² 처리구가 유의적으로(p<0.05) 높은 점수를 나타냈다. 이러한 결과는 본 연구에서 5, 10 kJ/m² 처리구가 당근 표면의 백화현상 등의 억제에 영향을 주어 백화지수가 낮게 측정된 것과 관련된 것으로 UV-C 조사가 색에 대한

Table 4. Changes in whiteness index of UV-C irradiated washed carrot during storage at 4°C

Color parameter	UV-C dose (kJ/m ²)	Storage period (day)				
		0	2	4	6	8
WI ¹⁾	0	43.37±0.16 ^{E2)a3)}	44.98±0.43 ^{Da}	46.40±0.03 ^{Ca}	49.08±0.21 ^{Ba}	50.77±0.19 ^{Aa}
	1	43.40±0.10 ^{Ea}	44.97±0.15 ^{Da}	46.40±0.12 ^{Ca}	49.09±0.16 ^{Ba}	50.76±0.06 ^{Aa}
	3	43.37±0.22 ^{Ea}	44.97±0.37 ^{Da}	46.40±0.05 ^{Ca}	49.08±0.11 ^{Ba}	50.75±0.06 ^{Aa}
	5	43.38±0.02 ^{Ea}	44.92±0.03 ^{Da}	45.22±0.08 ^{Cb}	46.36±0.22 ^{Bb}	46.79±0.21 ^{Ab}
	10	43.37±0.02 ^{Ea}	44.91±0.06 ^{Da}	45.23±0.04 ^{Cb}	46.37±0.19 ^{Bb}	46.81±0.08 ^{Ab}

¹⁾WI; Whiteness Index.

²⁾Any means in the same row followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

³⁾Any means in the same column followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

Table 5. Sensory evaluation of UV-C irradiated washed carrot during storage at 4°C

Organoleptic parameter	UV-C dose (kJ/m ²)	Storage period (day)				
		0	2	4	6	8
Freshness	0	9.00±0.00 ^{A1)a2)}	8.70±0.48 ^{BAA}	8.20±0.63 ^{Ba}	6.40±0.84 ^{Ca}	5.10±0.74 ^{Da}
	1	8.90±0.32 ^{Aa}	8.60±0.52 ^{BAA}	8.10±0.74 ^{Ba}	6.50±0.85 ^{Ca}	5.20±0.63 ^{Da}
	3	9.00±0.00 ^{Aa}	8.70±0.48 ^{BAA}	8.30±0.67 ^{Ba}	6.40±0.52 ^{Ca}	4.90±0.74 ^{Da}
	5	9.00±0.00 ^{Aa}	8.70±0.48 ^{BAA}	8.50±0.53 ^{Ba}	6.70±0.67 ^{Ca}	5.40±0.52 ^{Da}
	10	8.90±0.32 ^{Aa}	8.80±0.42 ^{Aa}	8.40±0.70 ^{Aa}	6.90±0.74 ^{Ba}	5.60±0.84 ^{Ca}
Texture	0	9.00±0.00 ^{Aa}	8.10±0.88 ^{Ba}	7.00±0.67 ^{Cb}	5.10±0.74 ^{Db}	3.90±0.57 ^{Eb}
	1	9.00±0.00 ^{Aa}	8.00±0.82 ^{Ba}	7.10±0.57 ^{Cba}	5.30±0.48 ^{Db}	4.00±0.47 ^{Eb}
	3	9.00±0.00 ^{Aa}	8.20±0.63 ^{Ba}	7.10±0.57 ^{Cba}	5.30±0.67 ^{Db}	4.20±0.63 ^{Eb}
	5	9.00±0.00 ^{Aa}	8.40±0.52 ^{Ba}	7.50±0.53 ^{Cba}	6.30±0.48 ^{Da}	5.80±0.79 ^{Ea}
	10	9.00±0.00 ^{Aa}	8.40±0.52 ^{Ba}	7.60±0.52 ^{Ca}	6.70±0.67 ^{Da}	6.20±0.63 ^{Ea}
Odor	0	9.00±0.00 ^{Aa}	8.90±0.32 ^{BAA}	8.50±0.53 ^{Ba}	7.00±0.67 ^{Ca}	5.70±0.67 ^{Da}
	1	8.90±0.32 ^{Aa}	8.80±0.42 ^{Aa}	8.60±0.52 ^{Aa}	6.90±0.57 ^{Ba}	5.70±0.67 ^{Ca}
	3	8.90±0.32 ^{Aa}	8.70±0.48 ^{Aa}	8.50±0.53 ^{Aa}	6.90±0.57 ^{Ba}	5.60±0.70 ^{Ca}
	5	8.90±0.32 ^{Aa}	8.70±0.48 ^{Aa}	8.40±0.70 ^{Aa}	7.20±0.63 ^{Ba}	5.80±0.79 ^{Ca}
	10	9.00±0.00 ^{Aa}	8.80±0.42 ^{Aa}	8.60±0.52 ^{Aa}	7.20±0.63 ^{Ba}	5.80±0.63 ^{Ca}
Color	0	8.90±0.32 ^{Aa}	8.40±0.70 ^{Aa}	7.80±0.63 ^{Ba}	6.20±0.79 ^{Cb}	5.70±0.67 ^{Cb}
	1	9.00±0.00 ^{Aa}	8.40±0.70 ^{Aa}	7.70±0.95 ^{Ba}	6.10±0.88 ^{Cb}	5.80±0.63 ^{Cb}
	3	9.00±0.00 ^{Aa}	8.30±0.67 ^{Ba}	7.90±0.74 ^{Ba}	6.20±0.79 ^{Cb}	5.80±0.79 ^{Cb}
	5	9.00±0.00 ^{Aa}	8.50±0.53 ^{Aa}	7.90±0.57 ^{Ba}	7.40±0.70 ^{CBa}	6.90±0.74 ^{Ca}
	10	9.00±0.00 ^{Aa}	8.40±0.70 ^{Ba}	8.00±0.67 ^{CBa}	7.50±0.53 ^{Ca}	6.80±0.79 ^{Da}
Overall	0	9.00±0.00 ^{Aa}	8.60±0.52 ^{Aa}	7.90±0.57 ^{Ba}	6.10±0.74 ^{Cc}	5.20±0.79 ^{Db}
	1	8.90±0.32 ^{Aa}	8.50±0.53 ^{Aa}	7.80±0.63 ^{Ba}	6.20±0.63 ^{Cbc}	5.20±0.79 ^{Db}
	3	9.00±0.00 ^{Aa}	8.70±0.48 ^{Aa}	7.90±0.99 ^{Ba}	6.30±0.67 ^{Cbc}	5.30±0.67 ^{Db}
	5	9.00±0.00 ^{Aa}	8.70±0.48 ^{Ba}	8.40±0.52 ^{Ba}	6.80±0.79 ^{Cba}	5.70±0.67 ^{Db}
	10	9.00±0.00 ^{Aa}	8.80±0.42 ^{Aa}	8.30±0.67 ^{Ba}	7.20±0.63 ^{Ca}	6.10±0.57 ^{Da}

¹⁾Any means in the same row followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

²⁾Any means in the same column followed by different letters are significantly(p < 0.05) different by Duncan's multiple range test.

관능적 품질에도 긍정적인 영향을 미친 것으로 생각된다.

저장 중 당근의 조직감은 저장 초기 대조구와 비교하여 모든 UV-C 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 저장 4일부터 유의적인($p<0.05$) 차이가 나타났다. 저장 8일에 대조구의 조직감은 4점 미만으로 상품적 가치가 낮은 것으로 나타났고, 5, 10 kJ/m² 처리구를 제외한 다른 처리구에서도 유사하게 낮은 점수를 나타냈으나 5, 10 kJ/m² 처리구는 평균적으로 양호한 5-6점을 나타내어 높은 조사선량이 조직감 변화 억제작용에 효과적인 것으로 판단된다. Nayak 등(15)의 연구에 따르면 감마선 조사가 당근의 조직적 특성에 미치는 영향에서 조사선량이 증가할수록 세포벽의 손상 및 분해 작용이 촉진되어 조직의 연화를 증가시키는 것으로 보고한 반면에, 본 연구에서 얻어진 관능적 품질 결과는 Liu 등(29)의 높은 선량의 UV-C 조사가 조직의 연화를 늦추어 저장기간을 연장시킨다는 보고와 일치함을 보여준다.

저장기간에 따른 당근의 종합적 기호도는 저장 4일까지 5, 10 kJ/m²가 높은 점수를 나타냈으며, 저장 6일부터는 10 kJ/m² 처리구가 7점 초반으로 가장 높은 점수를 나타냈다. 이러한 결과는 5, 10 kJ/m² 처리구가 대조구와 낮은 조사선량 처리구보다 상대적으로 낮은 백화지수와 색 및 조직감에서 높은 점수 등으로 인하여 관능적 품질에 대한 종합적 점수에 영향을 미친 것으로 판단된다. 당근의 관능적 품질은 저장 중 미생물 생육 수가 유의적으로($p<0.05$) 감소된 5, 10 kJ/m² 처리구에서 높은 관능 점수를 나타내어 관능적 품질과 미생물 생육간의 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

따라서 UV-C 조사 처리는 세척 당근의 저장·유통 중에 오염될 수 있는 병원성 미생물에 대한 미생물학적 안전성 확보와 외관적 품질저하 억제에 효과적인 살균 처리기술이며, 본 연구결과 10 kJ/m² 조사 처리가 미생물 수 감소와 품질 유지 측면을 동시에 향상시킬 수 있는 효과적인 조사선량이라고 판단된다.

요 약

세척 당근에 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*를 인위적으로 접종한 후 UV-C 조사 처리에 따른 저장 중 미생물 수 변화를 조사하였다. 당근에 접종된 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 초기 균수가 6-7 log CFU/mL가 되게 하였고, 사용된 UV-C 조사선량은 1, 3, 5, 10 kJ/m²이었으며 조사된 시료는 4±1℃에서 8일 동안 저장하였다. UV-C 조사는 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 미생물 수에 있어서 조사선량이 증가할수록 유의적으로($p<0.05$) 감소하는 것을 나타냈다. 특히, 10 kJ/m² 처리구는 대조구와 비교하여 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 미생물 수를 각각

2.35, 2.38 log CFU/g 감소시켰다. 품질 변화에서는 UV-C 조사 5, 10 kJ/m² 처리구가 저장 중 당근 표면 L* value의 급격한 증가와 a*, b* value의 감소 및 백화현상을 유의적으로($p<0.05$) 억제시켰다. 관능적 품질 평가는 5, 10 kJ/m² 처리구가 대조구에 비해 유의적으로($p<0.05$) 높게 나타났다. 따라서 본 연구결과, UV-C 조사 처리는 세척 당근의 저장 중 미생물학적 안전성 확보와 품질유지 향상에 효과적인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2009년 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 결과로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Rico, D., Martin-Diana, A.B., Frias, J.M., Barat, J.M., Henehan, G.T.M. and Barry-Ryan, C. (2007) Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatment for stored ready-to-eat carrots. *J. Food Eng.*, 79, 1196-1206
- Zanoni, B., Lavelli, V., Ambrosoli, R., Garavaglia, L., Minati, J. and Pagliarini, E. (2007) A model to predict shelf-life in air and darkness of cut, ready-to-use, fresh carrots under both isothermal and non-thermal conditions. *J. Food Eng.*, 79, 586-591
- Durango, A.M., Soares, N.F.F. and Andrade, N.J. (2006) Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*, 17, 336-341
- Korean Food and Drug Administration. (2008) Food Standards Codex. Korean Foods Industry Association. Seoul, Korea, 29-18, 256
- Patras, A., Tiwari, B.K., Brunton, N.P. and Butler, F. (2009) Modelling the effect of different sterilisation treatment on antioxidant activity and colour of carrot slices during storage. *Food Chem.*, 114, 484-491
- Lee, K.H. and Lim, H.K. (2008) A study on the shelf-life extension of minimally processed carrot. *J. Food Hyg. Safety*, 23, 330-337
- Klaiber, R.G., Baur, S., Wolf, G., Hammes, W.P. and Carle, R. (2005) Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Inno. Food Sci. Emerg. Technol.*, 6, 351-362
- Forney, C.F., Song, J., Hildebrand, P.D., Fan, L. and

- McRea, K.B. (2007) Interactive effects of ozone and 1-methylcycloprop. (on decay resistance and quality of stored carrots. *Postharv. Biol. Technol.*, 45, 341-348
9. Kim, J.G., Luo, Y. and Lim, C.I. (2007) Effect of ozonated water and chlorine water wash on the quality and microbial de-contamination of fresh-cut carrots shreds. *Korean J. Food Preserv.*, 14, 54-60
10. Cho, M.H., Choi, Y.J., Park, H.J., Kim, K.S., Woo, G.J. and Park, J.Y. (2007) Titanium dioxide/UV photocatalytic disinfection in fresh carrots. *J. Food Prot.*, 70, 97-101
11. Gomez-Lopez, V.M., Devlieghere, F., Ragaert, P. and Debevere, J. (2007) Shelf-life extension of minimally processed carrots by gaseous chlorine dioxide. *Int. J. Food Microbiol.*, 116, 221-227
12. Villalobos-Carvajal, R., Hernandez-Munoz, P., Albors, A. and Chiralt, A. (2009) Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. *Food Hyd.*, 23, 526-535
13. Ruiz-Cruz, S., Acedo-Felix, E., Diaz-Cinco, M., Islas-Osuna, M.A. and Gonzalez-Aguilar, G.A. (2007) Efficacy of sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* populations on fresh-cut carrots. *Food Control*, 18, 1383-1390
14. Singh, N., Singh, R.K., Bhunia, A.K. and Stroshine, R.L. (2002) Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *Lebensmitt Wiss Technol.*, 35, 720-729
15. Nayak, C.A., Suguna, K., Narasimhamurthy, K. and Rastogi, N.K. (2007) Effect of gamma irradiation on histological and textural properties of carrot, potato, and beetroot. *J. Food Eng.*, 79, 765-770
16. Gonzalez, R.J., Luo, Y., Ruiz-Cruz, S. and McEvoy, J.L. (2004) Efficacy of sanitizers to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut carrotshreds under simulated process water conditions. *J. Food Prot.*, 67, 2375-2380
17. Kim, J.G. (2004) Improvement of washing method of fresh-cut carrot. *Postharvest Technology Division, National Horticultural Research Institute Research Report.*
18. Sy, K.V., Murray, M.B., Harrison, M.D. and Beuchat, L.R. (2005) Evaluation of gaseous chlorine dioxide as a sanitizer for killing *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and yeast and mold on fresh and fresh-cut produce. *J. Food Prot.*, 68, 1176-1187
19. Mok, C.K. and Lee, N.H. (2008) Distribution of ultraviolet intensity and UV leaking of commercial UV sterilizers used in restaurants. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 40, 228-233
20. Perkins-Veazie, P., Collins, J.K. and Howard, L. (2008) Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharv. Biol. Technol.*, 47, 280-285
21. Keyser, M., Muller, I.A., Cilliers, F.P., Nel, W. and Gouws, P.A. (2008) Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Inno. Food Sci. Emerg. Technol.*, 9, 348-354
22. Allende, A. and Artes, F. (2003) UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Res. Int.*, 36, 739-746
23. Allende, A., McEvoy, J.L., Luo, Y., Artes, F. and Wang, C.Y. (2006) Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. *Food Microbiol.*, 23, 241-249
24. Rajkowski, K.T. (2007) Inhibition of *Shigella sonnei* by ultraviolet energy on agar, liquid media and radish sprouts. *J. Food Safety*, 27, 223-240
25. Wong, E., Linton, R.H. and Gerrard, D.E. (1998) Reduction of *Escherichia coli* and *Salmonella senftenberg* on pork skin and pork muscle using ultraviolet light. *Food Microbiol.*, 15, 415-423
26. Lee, J.H., Sung, T.H., Lee, K.T. and Kim, M.R. (2004) Effect of gamma irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. *J. Food Sci.*, 69, 585-592
27. Erkan, M., Wang, C.Y., and Krikak D.T. (2001) UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environ. Exp. Bot.*, 45, 1-9
28. Lavelli, V., Pagliarini, E., Ambrosoli, R., Minati, J.L. and Zandoni, B. (2006) Physicochemical, microbial, and sensory parameters as indices to evaluate the quality of minimally-processed carrots. *Postharv. Biol. Technol.*, 40, 34-40
29. Liu, L.H., Zabaras, D., Benett, L.E., Aguas, P. and Woonton, B.W. (2009) Effect of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.*, 115, 495-500