

자외선 LED 포장용기 시스템에 의한 포장절단당근의 품질보존

김남용 · 이동선 · 안덕순[†]

경남대학교 식품생명학과

Quality Preservation of Shredded Carrots Stored in UV LED Packaging System

Nam Yong Kim, Dong Sun Lee, and Duck Soon An[†]

Dept. of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, Gyeongsan 631-701, Korea

ABSTRACT Pre-storage ultra-violet (UV) light treatment on fresh produce is known to inactivate the contaminated microorganisms, activate the defense system, and delay ripening extending the shelf life. As UV light emitting diode (LED) becomes available at a relatively low price, continuous or intermittent UV treatment during chilled storage is possible in a container or package. This study attempted an *in situ* UV LED treatment on fresh produce stored under a refrigerated container in order to see its potential in the fresh produce storage and further optimize its application conditions. The effect of in-container UV LED irradiation on the quality preservation of shredded carrots was investigated in the air and modified atmosphere (MA) conditions. Two sets of experiment with *Escherichia coli* inoculation and with natural microbial flora in the air (two 30 minute on-off cycles of 1 diode/dm² per day at a location above 2 cm) showed a clear and significant effect of the UV LED irradiation on the suppression of microbial growth: 280 nm was the most effective by maintaining a lower microbial count by at least 0.5 log (CFU/g) throughout the 6 day storage period. The carotenoids content of shredded carrots subjected to UV LED treatment at 365 and 405 nm in the air was higher than that of the control shredded carrots. In MA condition of O₂ of 1.2~4.3% and CO₂ of 8.4~10.6% being indifferent with LED wavelengths, 280 nm UV LED irradiation was also effective in inhibiting the microbial growth. While there was no observed difference in the carotenoids content between untreated and UV LED-treated shredded carrots in MA, UV LED irradiation at 365 and 405 nm was slightly better in DPPH radical scavenging activity. The use of UV LED in storage container or package seems to give the benefits of preserving the microbial and nutritional qualities of minimally processed fruits and vegetables.

Key words: UV-LED, shredded carrot, modified atmosphere, microbial growth inhibition, carotenoid

서 론

건강한 식생활에 대한 관심이 집중됨에 따라 채소와 과일에 대한 소비가 증가되고 있으며, 이러한 현상은 에너지 함량은 적으면서 많은 건강 기능성 증진 효과를 가진 신선과채류가 선호되고 다량 소비되는 것으로 생각된다. 또한 생활패턴의 변화로 신선한 상태로 바로 섭취 가능한 포장된 최소가공 신선 식품의 가공 및 판매가 증대되고 있다. 최소가공된 신선과채류는 과일이나 채소를 세척, 절단하여 조리하지 않고 바로 섭취하는 식품이어서 미생물에 의한 부패가 촉진되어 식중독 사고가 빈번히 발생하고 있다. 신선 과일과 채소의 구매와 소비에서 소비자는 신선한 고품질을 요구하고 있으며 이는 유통 판매되는 산물에 대해서도 그러하지만, 가정에서의 보관에서도 신선도 유지에 매우 민감하다. 따라서 수확 후의 저장, 수송, 판매의 모든 단계에서 신선 과일과

채소의 신선도를 유지하기 위한 많은 기술 개발과 연구들이 활발하게 진행되고 있다.

제품의 종류에 따라 적절한 온도와 습도를 관리하는 기본적인 방법에서부터 변형기체포장, 선도유지제포장, 활성포장, 항균성포장, master 포장 등 여러 가지 기능성 포장기법이 적용되고 있다(1-3). 여러 가지 저장 및 포장 기술 중에서 빛 에너지를 사용하여 원예산물의 저장성과 선도를 향상시키는 시도가 이루어지고 있다(4-6). 신선 원예산물의 저장에서 적절한 빛 에너지 조사는 광합성을 유지시키고 성숙 및 노화를 지연시켜서 chlorophyll과 ascorbic acid의 파괴를 억제하고 환원당 및 단백질을 보존 혹은 축적시키며 유리 아미노산의 생성을 억제하는 것으로 알려져 있다(4,6-9). 자외선영역의 빛 조사는 곰팡이 등의 부패 미생물을 사멸시키고 미생물에 대한 원예산물의 저항력을 향상시키며 속도 지연 기능을 가지는 것으로 여러 원예산물에 대한 효과가 보고되었다. 자외선의 미생물 사멸, 숙성 지연, 내병성 강화 등의 생리적, 생화학적, 유전자적 기작에 대해서는 최근에 일부 연구결과가 발표되고 있다. 최근에는 이 자외선 조사에 의한 생리기능성 물질의 보존 및 생성에 대한 여러 결과가

Received 4 September 2013; Accepted 22 October 2013

[†]Corresponding author.

E-mail: ads2004@kyungnam.ac.kr, Phone: +82-10-6642-4564

활발히 보고되고 있다.

본 연구에서는 신선 과일과 채소류의 저장성을 향상시킬 수 있는 방법으로서 자외선(UV) 영역의 파장을 가진 LED(light emitting diode)를 이용하는 방법을 연구하였다. UV 영역 특히 280 nm 영역의 LED는 대장균 및 각종 부패성 미생물에 대한 사멸효과를 가지고 있다(10). 채소류 중에서 주로 세척되어 유통되는 당근은 다양한 절단 형태로 가공되어 저장 중 미생물 오염에 의한 부패와 당근 표면의 백화현상으로 인하여 유통기한이 단축되는 특성으로서 품질변화가 빠르다(11). 절단당근에 대한 유통기한을 연장하기 위하여 자외선 LED가 장착된 포장용기 시스템을 설계하고 제작하여 절단당근에 적용해 봄으로써 미생물 성장 억제 및 선도 유지 효과를 살펴보았다. 절단당근에 *Escherichia coli*를 접종하여 공기 조건으로 포장된 상태에서 미생물 증식과 카로티노이드를 측정 평가하였다. 다음으로 자연적 미생물 균총을 가진 절단당근에 대해서 미생물적 품질과 카로티노이드 함량을 측정하였다. 그리고 마지막 단계에서 플라스틱 용기를 밀봉된 조건으로 하여 변형기체(modified atmosphere, MA)를 형성시킨 후 저장 중 미생물적, 화학적 품질을 평가하였다.

재료 및 방법

재료

세척당근은 경상남도 창원시에 위치한 대형마트에서 신선도가 높은 국내산 제품을 구입하여 4°C에서 저장한 뒤 5시간 이내에 사용하였다. 당근은 채칼을 사용하여 50×3×1 mm 크기로 절단하였다.

자외선 LED

자외선 LED는 서울옵토디바이스(안산, 한국)에서 생산한 280 nm, 365 nm, 405 nm 파장영역의 제품을 구입하여 사용하였다. 조사 시간은 매일 30분-on, 30분-off를 2회 반복하여 총 1시간씩 조사되었다.

E. coli 균이 접종된 당근

E. coli(KCCM 21052) 균주는 한국미생물보존센터(Seoul, Korea)에서 분양 받은 후 -80°C 초저온 냉동고에서 20% glycerol stock(v/v) 형태로 보관하여 실험에 사용되었다. 분양받은 균주는 Nutrient Broth(NB, Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 24시간 동안 1차 배양한 후 다시 NB(Difco)를 사용하여 37°C에서 24시간 동안 2차 배양하여 활성화시켰다.

700 g의 절단당근은 표면의 미생물을 제거하기 위해 염소수 100 ppm(유효염소농도 100 ppm: 물 4 L+4% 차아염소산나트륨 10 mL)에서 5분간 침지하여 처리하고 약 10분간 자연건조 하였다. 활성화된 7~8 log CFU/mL의 *E. coli* 균주는 0.05% 멸균 펩톤수를 사용하여 3배수로 희석하였

다. 염소수 처리 후 자연 건조된 절단당근은 희석된 균 접종액에 약 5분간 침지시켜 균이 접종되도록 하였고 약 10분간 자연건조 하였다. 자외선 LED가 조사되지 않은 대조구와 280, 365, 405 nm 파장을 조사하는 4처리구로 실험하였다.

자연적 미생물 오염도의 당근

자연적 미생물 오염도를 가진 당근의 실험에서는 별도의 세척이나 소독 없이 바로 용기에 담아서 아무 처리되지 않은 대조구와 280, 365, 405 nm 파장을 조사하는 4처리구로 실험하였다.

자외선 LED를 장착시킨 포장에서의 당근의 저장

접종된 절단당근과 접종되지 않은 절단당근은 각 처리구마다 700 g씩 자외선 LED가 장착된 밀폐되지 않은 플라스틱 용기(41×29×15 cm)에서 LED 아래 2 cm 거리에 위치시켰다. 280, 365, 405 nm 자외선 LED는 각 박스에 10개씩 장착되어 조사되게 하고 10°C에서 저장하였다. 용기는 통기구를 가져서 일반 공기조성을 유지하게 하였고, 저장 중 일정량의 시료를 채취하여 미생물적 품질 및 카로티노이드 분석에 사용하였다.

MA 포장되어 처리된 절단당근

밀폐형 원형 플라스틱 용기(뚜껑-polypropylene, 몸체-polycyclohexane-1,4-dimethylene terephthalate, 두께 2 mm, 높이 5 cm, 지름 10 cm) 뚜껑의 가운데에 하나의 자외선 LED를 장착하여 실험에 사용하였다. 각 용기에 별도의 세척이나 소독을 하지 않은 25 g의 절단당근을 담고 밀폐 후 10°C에 저장하였다.

품질 측정

품질 측정은 카로티노이드 함량 및 호기성 총균수(*E. coli* 집중의 경우 총 *E. coli* 수)를 측정하였고 MA 포장 실험의 경우 항산화 효능 측정방법 중 하나인 DPPH 라디칼을 이용한 소거활성을 추가하여 측정하였다.

카로티노이드의 분석은 Cho 등(12)의 방법에 따라 시료의 41배에 해당하는 80% 아세톤으로 추출한 후 450 nm에서 분광광도계(Genesys 10-Vis, Thermo Electron Corporation, Madison, WI, USA)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 총 카로티노이드의 정량은 흡광도로부터 AOAC법(13)에 따라 흡광계수 $E_{1\%}^{1\text{cm}}=2,500$ 을 사용하여 농도를 계산하였다.

절단당근의 *E. coli* 수 및 호기성 총균수를 측정하기 위하여 시료 20 g을 100 mL의 0.05% 멸균 펩톤수와 혼합하고(MA 포장 절단당근 실험의 경우 시료 10 g을 90 mL 멸균 펩톤수와 혼합), stomacher(Stomacher400 Circulator, Seward Ltd., West Sussex, UK)를 이용하여 200 rpm에서 3분간 균질화 한다. 그리고 순차적으로 희석한 후 호기성 총균수는 plate count agar(Difco) 배지에 도말한 후 30°C

에서 3일간 배양하고, *E. coli*는 MacConkey agar(Difco) 배지에 도말한 후 37°C에서 1일간 배양하였다.

항산화 효능은 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 자유 라디칼 소거법에 의해 측정되었다. 시료 3 g을 100% 에탄올(EtOH) 30 mL로 40초간 마쇄 및 추출 후 여과지로 여과하였다. 이 용액 0.1 mL를 에탄올에 녹인 0.041 mM의 DPPH 0.9 mL와 혼합하여 상온에서 30분간 반응시킨 다음 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며, DPPH 라디칼 소거활성은 아래와 같이 계산하였다.

$$\%DPPH = \left(1 - \frac{S - S_b}{C}\right) \times 100$$

S: 시료 흡광도(시료 0.1 mL + DPPH 0.9 mL)

S_b: 시료 blank 흡광도(시료 0.1 mL + EtOH 0.9 mL)

C: 대조구 흡광도(EtOH 0.1 mL + DPPH 0.9 mL)

통계분석

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였고 통계분석은 Excel 2007 프로그램을 이용하여 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 실시한 다음, 각 처리구 간의 유의성 (P<0.05) 검증을 위해 Tukey의 honestly significant difference(HSD) test를 실시하였다.

결과 및 고찰

공기조건에서 *E. coli* 접종된 절단당근에서의 UV LED 조사의 효과

절단당근에 *E. coli*를 접종한 후 10°C에서 저장 6일 동안 자외선 LED 조사 처리에 따른 카로티노이드 함량 변화를 측정된 결과, 저장 중 자외선 LED 처리의 유의적인 효과가 있었다(Fig. 1). 카로티노이드 함량은 모든 처리구에서 저장 2일째까지 비슷하게 증가하다가 저장 3일째부터 약간의 차이가 나타났다. 대조구의 카로티노이드 함량은 초기 5.6 mg/100 g에서 저장 6일 뒤 6.3 mg/100 g으로 약간 증가하긴 했으나 크게 변하지 않았으며, 반면에 저장 6일 뒤 365,

405 nm 자외선 LED 처리된 절단당근의 카로티노이드는 대조구에 비해 크게 증가하였다. 저장 6일째에 405 nm 자외선 LED 처리된 절단당근의 카로티노이드는 7.7 mg/100 g으로 대조구와 큰 차이를 보여 280, 365 nm의 자외선 LED를 조사하는 것보다 더욱 긍정적인 것으로 나타났다. 365, 405 nm 파장영역의 자외선 LED 조사는 저장 중 절단당근의 카로티노이드 함량을 향상시키는 것으로 알 수 있다. 일반적으로 카로티노이드는 산소가 존재하는 조건에서 산화작용으로 카로티노이드 함량이 감소하는 것으로 알려져 있다. 한 가지 요인인 산소 존재 유무에 의해 결정할 수 없으며, 뿌리와 잎에 존재하는 카로티노이드의 경우에는 광보호 역할을 통해 산소종을 불활성화 시키는 것으로 알려져 있고, 또한 온도 조건에 따라서도 달라질 수 있는 것으로 고려된다(14,15).

Fig. 2에서는 자외선 LED 처리가 총 *E. coli* 수에 미치는 영향을 보여주고 있다. 전체적으로 *E. coli* 수는 저장 2일에서 약간 감소했다가 증가하는 경향을 보인다. 이것은 초기 배지에 적응했던 균이 당근에 접종된 직후에 바로 적응하지 못해 감소한 것으로 생각된다. 저장 2일 이후부터 전체 처리구에서 증가하는 경향을 보이며 자외선 LED 처리는 대조구와 비교했을 때 *E. coli*의 성장을 억제하는 것으로 나타났다. 280, 365 nm 자외선 LED 처리의 경우 대조구와 유의적인 차이가 있었고 405 nm 자외선 LED 처리의 경우 약간의 차이가 있었다. 특히 280 nm 자외선 LED 처리의 경우 365, 405 nm 자외선 LED 처리보다 훨씬 뛰어난 미생물 성장 억제를 보였다. 비슷한 연구의 하나로서 딸기에 *E. coli* O157:H7을 접종한 후 pulsed 자외선 2.9~64.8 J/cm²를 처리하였을 경우 0.8~2.1 log CFU/g의 감소량을 나타내었다(16). 미생물 성장용 배지에 변태성 미생물인 *E. coli*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Saccharomyces cerevisiae* 등의 균주를 접종하고 LED를 조사해 본 결과, 280 nm로 조사한 경우 모든 균주에 대해 균 사멸 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(10). 이는 실제 식품에 미생물을 접종하여 미생물 성장 억제 효과

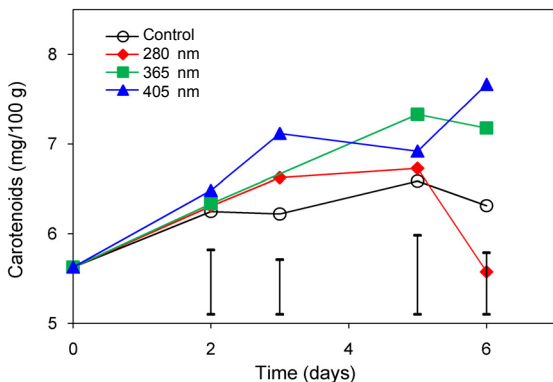


Fig. 1. Effect of UV LED irradiation on carotenoids of shredded carrots inoculated with *E. coli* and then stored in air condition for 6 days at 10°C. Vertical bars are HSD at α=0.05.

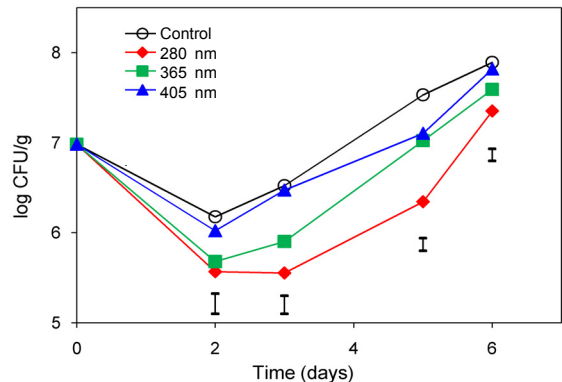


Fig. 2. Effect of UV LED irradiation on *E. coli* count of shredded carrots inoculated with *E. coli* and then stored in air condition for 6 days at 10°C. Vertical bars are HSD at α=0.05.

를 살펴본 본 연구의 결과와 비슷한 것으로 확인된다. Fig. 1과 Fig. 2에서 저장 5일째 결과를 종합해 보면 280, 365, 405 nm LED 처리는 대조구에 비해 절단당근의 카로티노이드 함량 변화에 부정적인 영향을 주지 않으면서 미생물 성장 억제 효과에 도움이 되는 것으로 알 수 있었다.

공기조건에서 자연적 미생물 오염상태의 절단당근에 대한 UV LED 조사의 효과

인위적 균의 접종 없이 공기조성의 포장에서 절단당근에 자외선 LED를 조사하였을 때 카로티노이드 함량과 호기성 총균수 변화를 알아보기 위해 10°C에서 9일간 저장하여 실험하였고 그 결과를 각각 Fig. 3과 Fig. 4에서 나타내었다. 9일간의 저장 동안 대조구의 카로티노이드 함량은 7.6~8.8 mg/100 g에 머물러 큰 변화가 없었다. 280 nm와 365 nm 자외선 LED 조사의 경우 초기에 증가하는 경향을 보이다가 저장 9일째에 감소하였으며 대조구보다 약간 더 높게 나타났다. 405 nm의 경우 초기 8.8 mg/100 g에서 저장 9일에는 12.3 mg/100 g으로 증가하여 가장 좋은 효과를 보였다. 절단당근의 카로티노이드 함량은 매일 조사하는 자외선 LED 처리로 인하여 개선되는 것으로 나타났으며, 특히 405 nm 자외선 LED 조사가 카로티노이드 함량을 가장 좋은 상태로

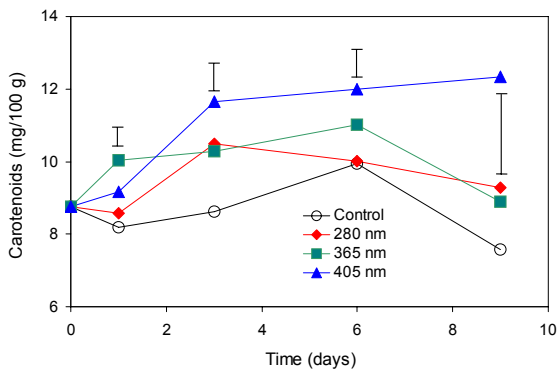


Fig. 3. Effect of UV LED irradiation on carotenoids of shredded carrots stored in air condition for 9 days at 10°C. Vertical bars are HSD at $\alpha=0.05$.

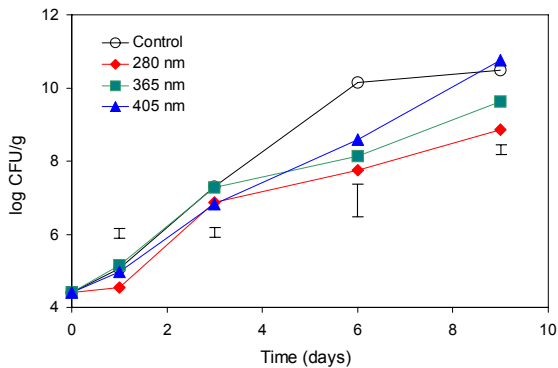


Fig. 4. Effect of UV LED irradiation on total aerobic bacteria counts of shredded carrots stored in air condition for 9 days at 10°C. Vertical bars are HSD at $\alpha=0.05$.

향상시키는 것으로 나타났다.

호기성 총균수는 저장 9일 동안 전체 처리구에서 증가하였다. 초기 4.4 log CFU/g이던 호기성 총균수는 저장 3일까지 전체적으로 비슷하게 성장하다가 6일째에 대조구는 10.1 log CFU/g까지 증가하여 자외선 LED가 조사된 처리구의 7.8~8.6 log CFU/g보다 훨씬 많이 증가한 것을 알 수 있었다. 특히 저장 9일에 280 nm 자외선 LED 처리의 경우 8.9 log CFU/g으로 대조구(10.5 log CFU/g)에 비해 큰 미생물 성장 억제를 보이는 것으로 나타났다. 즉 280 nm 자외선 LED 처리는 미생물 성장 억제에 가장 효과적이었다. Manzocco 등(17)의 연구에서 멜론조각을 6 kJ/m²의 UV-C 처리하였을 때 총균수는 2.3 log CFU/g으로 감소한 것으로 보고되었다. 본 연구에 적용된 280, 365, 405 nm의 LED 조사는 미생물을 완전히 사멸시키기보다는 미생물의 성장을 지연시켜 신선 농산물의 저장성을 향상시키기 위한 것이며, 초기 미생물의 농도가 낮을 경우 미생물 성장의 억제가 더 효과적으로 나타날 수 있을 것으로 생각된다. Fig. 3과 Fig. 4의 데이터를 종합하면 저장 6일째 카로티노이드 함량은 초기에 비해 대조구에서 감소하였으며 280 nm, 365 nm, 405 nm에서는 유지 또는 증가하는 경향을 보였고, 저장 6일 동안 280 nm, 365 nm, 405 nm에서 호기성균의 성장이 대조구에 비해 1~2 log 정도로 성장이 억제되는 것으로 확인되었다.

MA 포장된 절단당근

절단당근의 MA 포장 내부의 가스조성은 Fig. 5와 같다. 초기 공기조성과 같던 내부 가스조성은 저장 동안 CO₂ 농도는 증가하고 O₂ 농도는 감소하여 저장 3일 이후부터 O₂ 농도는 1.2~4.3%, CO₂ 농도는 8.4~10.6%를 유지하여 절단채소와 과일의 품질에 도움이 되는 MA가 형성되었다. 이러한 3일에서 6일까지의 기체조성은 절단당근의 신선도를 유지하는데 긍정적이다. 전체 처리구에서 비슷한 가스조성을 유지하여 자외선 LED 처리에 따른 차이가 내부 기체조성에 미치는 영향에서 두드러지게 나타나지는 않았다. MA 포장에서 UV LED 조사가 절단당근의 호흡에 미치는 영향은 미

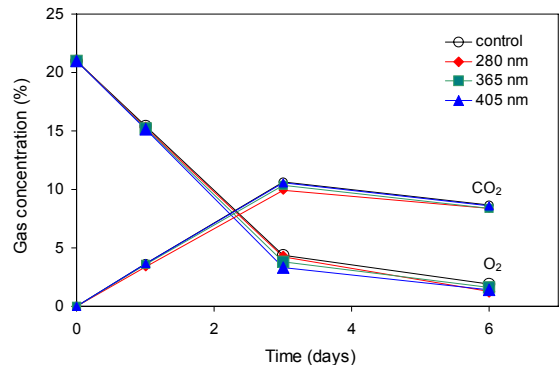


Fig. 5. Gas composition inside package of shredded carrots stored in MAP condition for 6 days at 10°C.

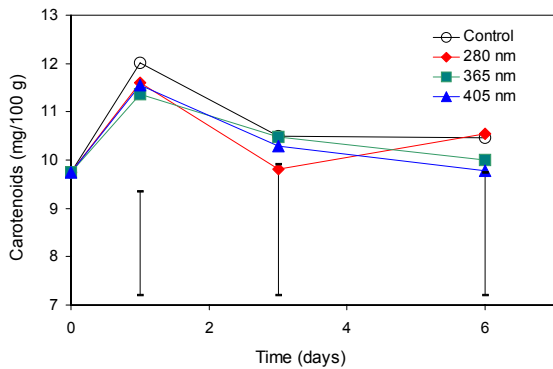


Fig. 6. Effect of UV LED irradiation on carotenoids of shredded carrots stored in MAP condition for 6 days at 10°C. Vertical bars are HSD at $\alpha=0.05$.

미하고 포장의 MA 조성은 호흡과 포장의 기체투과도에 따라서 결정되는 것으로 판단되며, 본 실험의 포장 조건은 절단당근에 적절하게 설계된 것으로 생각된다.

Fig. 6은 MA 상태에서 자외선 LED가 조사된 절단당근의 카로티노이드 함량을 나타낸 결과이다. 모든 처리구에서 카로티노이드 함량은 초기 1일까지 증가하다가 그 이후에 약간 감소하여 3일째부터는 비슷하게 유지되었으며 처리구 간의 유의적인 차이는 없었다. 공기조건에서의 UV LED 조사에 따라 카로티노이드 함량이 높게 유지되었던 결과(Fig. 1 및 Fig. 3)와 비교하면, Fig. 6의 결과는 MA 조건에 의한 카로티노이드 보존이 지배적으로 작용한 것에 연유된 것으로 생각된다. 즉 MA 포장 조건에서는 자외선 LED 조사보다 MA에 의해 카로티노이드 함량이 더 영향을 받은 것으로 보인다. 그리고 이 결과는 MA 포장 조건에서 자외선 LED 조사가 절단당근에 나쁜 영향을 주지는 않는 것을 보여준다.

전반적으로 호기성 총균수는 모든 처리구에서 저장 6일 동안 증가하였다(Fig. 7). 전체 처리구 중 280 nm 자외선 LED 조사 처리가 가장 큰 미생물 성장 억제를 보였으며 다른 처리구는 대조구와 유의적인 차이가 없었다.

절단당근의 항산화 활성을 평가한 결과 전체적으로 절단당근은 저장기간 동안 항산화 효과가 증가하였다(Fig. 8).

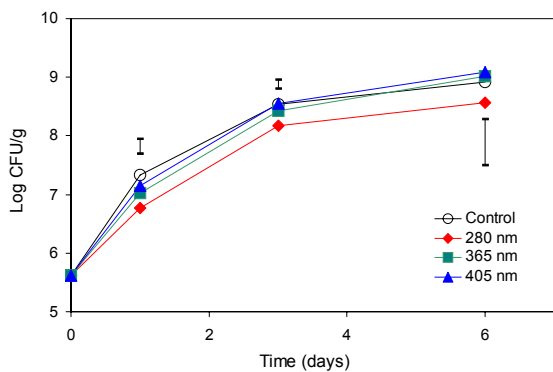


Fig. 7. Effect of UV LED irradiation on total aerobic plate counts of shredded carrots stored in MAP condition for 6 days at 10°C. Vertical bars are HSD at $\alpha=0.05$.

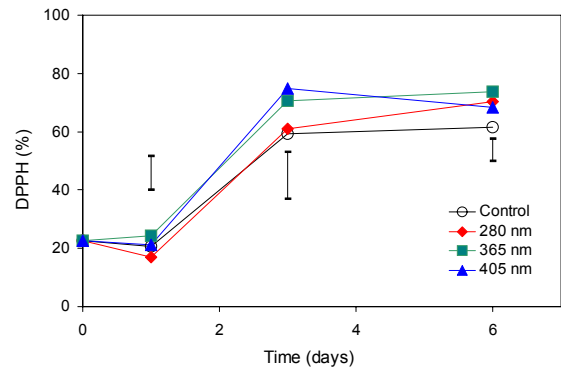


Fig. 8. Effect of UV LED irradiation on DPPH radical scavenging activity of shredded carrots stored in MAP condition for 6 days at 10°C. Vertical bars are HSD at $\alpha=0.05$.

저장 6일에 자외선 LED 조사가 DPPH 라디칼에 대한 소거 활성에 미치는 영향은 365 nm(73.6%) > 280 nm(70.4%) > 405 nm(68.4%) > control(61.7%) 순으로 나타났으며, 각 처리구 간의 큰 유의차가 있지는 않지만 자외선 LED 조사는 대조구에 비하여 약간 긍정적인 효과를 보여주었다. Du 등(18)은 여러 가지 형태의 절단당근에 대해 UV-B를 141.4 mJ cm⁻²로 조사하여 살펴본 결과, 모든 종류의 절단당근에서 대조구에 비해 항산화능이 증가하는 것으로 보고된 바 있다. Hong 등(19)의 연구에서는 딸기에 UV-C 40 W를 조사하였을 경우 항산화 효능이 증가하는 것으로 보고하였다. 또한 딸기에 UV-C를 5분(2.15 kJ m⁻²)과 10분(4.30 kJ m⁻²) 처리한 후 10°C에서 15일간 저장하였을 때 항산화능과 효소 활성이 증가한 결과도 있다(20). 그러므로 UV 영역의 빛 조사는 신선과채류의 항산화 활성을 유지한다거나 약간 증가시킬 수 있는 효과가 있는 것으로 판단된다.

요 약

신선농산물의 저장성을 향상시키기 위해 저장용기에 장착된 자외선영역의 LED는 저온 냉장시스템에서 지속적 조사 처리 또는 간헐적 조사 처리 방식으로 활용되며 비교적 저렴한 가격으로 이용 가능하다. 저장용기에 자외선영역의 280 nm, 365 nm, 405 nm LED를 각각 장착하고 대표적 신선편 이식품의 하나로서 절단당근을 선택하여 10°C 온도에 저장하면서 LED 조사 처리 조건에 따른 품질변화를 살펴보았다. 저장용기의 뚜껑 안쪽 부분에 장착된 자외선 LED는 절단당근의 표면으로부터 2 cm 높이에서 조사되도록 하였으며, 하루에 30분 간격으로 on/off를 2회 반복하여 조사하였다. 공기조건에서 절단당근에 *Escherichia coli* 균주를 접종한 경우와 자연적 미생물 오염도를 측정해 본 결과, 280 nm 자외선 LED 조사 처리를 한 경우 다른 과장(365 nm, 405 nm)의 조사 처리구보다 더 큰 미생물 성장 억제능력을 보여 가장 효과적이었다. 공기 조건에서 절단당근의 카로티노이드 함량은 365 nm와 405 nm에서 대조구에 비해 높은 함량

을 보였다. MA 조건에서는 대조구를 포함한 모든 처리구에서 산소농도 1.2~4.3%, 이산화탄소 농도 8.4~10.6%의 가스농도로 유지하여 LED 처리에 따른 내부기체조성의 차이는 나타나지 않았지만, 280 nm 자외선 LED 조사 처리구가 가장 큰 미생물 성장 억제를 보였다. 카로티노이드 함량은 LED 조사 효과보다 MA 포장 효과에 의해 카로티노이드 보존이 지배적으로 작용한 것으로 보여 처리구 간의 유의적인 차이는 없었다. MA 조건에서 DPPH 라디칼에 대한 소거활성은 365 nm와 405 nm에서 약간 높게 나타났다. 이를 바탕으로 자외선 LED를 이용하여 신선농산물 포장의 적용 가능성을 확인하였으며, 저장용기에 자외선 LED를 장착함으로써 수확 후 수송, 판매, 저장 단계에서 신선농산물을 더욱 신선하게 유지시킬 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호 2011-0005946)이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Thompson AK. 1998. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. CAB International, Wallingford, UK. p 81-116.
2. Jeong MJ, An DS, Lee SJ, Lee DS. 2011. A master packaging system for preserving strawberries in the fresh produce supply chain. *J Food Agric Environ* 9: 114-117.
3. Beaudry R. 2007. MAP as a basis for active packaging. In *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. Wilson CL, ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p 31-55.
4. Goldthwaite JJ, Laetsch WM. 1967. Regulation of senescence in bean leaf discs by light and chemical regulators. *Plant Physiol* 42: 1757-1762.
5. Kays SJ. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. p 75-142.
6. Hosoda H, Nawa Y, Kurogi M. 1981. Effect of light on post-harvest quality in vegetables. Part 1. changes in chemical components in detached komatsuna leaves during storage. *Rep Natl Food Res Inst* 38: 33-39.
7. Burton WG. 1982. *Post-harvest physiology of food crops*. Longman, London, UK. p 127-198.
8. Hosoda H, Nawa Y, Kurogi M. 1981. Effect of light on post-harvest quality in vegetables. Part 2. changes in chemical components in attached komatsuna leaves during storage. *Rep Natl Food Res Inst* 38: 40-45.
9. Lamikanra O, Kueneman D, Ukuku D, Bett-Garber KL. 2005. Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut cantaloupe melon. *J Food Sci* 70: C534-C539.
10. Kim NY, Kwon MJ, Lee DS, An DS. 2012. Effect of UV-LED irradiation on microbial growth on solid media as a model for food. *J Food Agric Environ* 10: 129-131.
11. Klaiber RG, Baur S, Wolf G, Hammes WP, Carle R. 2005. Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 6: 351-362.
12. Cho YS, Ha BS, Park SK, Chun SS. 1993. Contents of carotenoids and chlorophylls in Dolsan leaf mustard. *Korean J Dietary Culture* 8: 153-157.
13. AOAC. 1980. *Official methods of analysis*. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 49-51.
14. von Elbe JH, Schwartz SJ. 1996. Colorants. In *Food Chemistry*. 3rd ed. Fennema OR, ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA. p 651-722.
15. Kays SJ. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. p 143-255.
16. Bialka KL, Demirci A. 2008. Efficacy of pulsed UV-light for the decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. on raspberries and strawberries. *J Food Sci* 73: M201-M207.
17. Manzocco L, Da Pieve S, Maifreni M. 2011. Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 12: 13-17.
18. Du WX, Avena-Bustillos RJ, Breksa AP III, McHugh TH. 2012. Effect of UV-B light and different cutting styles on antioxidant enhancement of commercial fresh-cut carrot products. *Food Chem* 134: 1862-1869.
19. Hong JY, Lee SK, Cho YJ, Kim CJ, Kim N, Kim CT, Maeng JS. 2012. Effect of post-harvest ultraviolet irradiation on biological activities in strawberries. *Food Eng Prog* 16: 69-73.
20. Erkan M, Wang SY, Wang CY. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol Technol* 48: 163-171.