KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 30, No. 3 181~191 (2024)
https://doi.org/10.20909/kopast.2024.30.3.181

어린잎 채소 '청치마' 상추의 재배 중 CO_2 처리에 따른 생육과 수확 후 품질 특성 비교

이정수*

국립원예특작과학원

Comparison of Growth and Freshness Characteristics of 'Cheongchima' Lettuce Baby Leaf Vegetables as Affected by CO_2 Treatment during Cultivation

Jung-Soo Lee*

National institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 54874, Korea

Abstract The increasing popularity of baby leaf vegetables necessitates advancements in cultivation techniques to enhance growth and ensure quality retention post-harvest. This research evaluated the impact of CO_2 treatment on growth and examined factors such as weight, gas exchange, chlorophyll content (SPAD), color, and visual quality during the storage of lettuce baby leaf vegetables. The vegetables were grown in controlled environments with ambient CO_2, enhanced by direct gassing or carbonated water at concentrations of 700 and 1,400 mg·L^{-1}. CO_2 enrichment during the growth phase significantly promoted fresh weight, plant length, and leaf length compared to untreated plants. Growth analyses showed slight differences in weight and size between CO_2-enriched and control plants. However, photosynthetic efficiency (Fv/Fm) and antioxidant enzyme activity (SOD) showed no significant changes due to CO_2 treatment. This study also examined how CO_2 treatment affected the quality of lettuce baby leaf vegetables after packaging with polypropylene film at 10°C. In packaging, O_2 consumption and CO_2 accumulation were higher in CO_2-treated plants. CO_2-treated plants showed lower values in SPAD, hue angle, and appearance compared to the control. While CO_2 treatments improved growth, they did not maintain quality during the shelf-life period

Keywords Baby leaf vegetable, 'Cheongchima', CO_2 treatment, Growth, Storage

서 론

어린잎 채소에 대한 관심이 늘면서 생육 향상과 품질 개선 방안이 요구되고 있다[1,2]. 어린잎 채소는 발아 후 유묘 상태의 식물을 정선 처리 후에 이용하는 신선편이의 한 가지로[3], 다자란 성체 식물보다 기능성 성분의 함유량이 높고, 농약이나 비료 등의 시용이 적어 친환경 채소로써 인기가 높다[4,5]. 어린잎 채소 이용은 샐러드 등의 요리에서 별다른 조리 과정없이 쓰이는데, 조직이 연해 신선하고 부드러운 식감이 있으나, 신선품으로 상품의 손실 쉽게 발생하는 단점이 있다[2,4].

어린잎 채소 생육 조절을 위하여 재배 시 영양제나 조정제 처리가 어려워 식물 성장 촉진을 위한 다른 방법의 모색이 필요하다[4-6]. 비료 등 화학적 처리 대신에 채소 생장 증진을 하기 위하여 CO_2처리가 보고되었는데[7], CO_2 처리 방법에 있어서 가스 처리 외에도 탄산수에 의한 처리 방법도 알려져 있다[8]. 어린잎 채소에서 생산성 및 수확 후 품질 특성에 관하여 연구가 이루어지고 있으나[9,10], 수확 전 생산 방법을 연계한 수확 후 품질 변화에 관련 연구는 많지 않다. 수확 전 생산 방법에 따라 Lee 등[9]은 다채에서 성체가 수확 전의 재배 환경이나 처리에 의해 식물 생육 차이를 보이고, 수확 후 품질에 영향을 미쳐 수확 후 저장성을 향상시킨다고 보고하였다. Lee 등[11]의 무싹기름 채소 연구와 같이 어린잎 채소에서도 수확 전 재배 중 처리에 대한 효과가 수확 후의 특성에 대한 검증이 지속적으로 필요할 것으로 보인다. 따라서 재배 중에 CO_2 처리를 통한 어린잎 채소의 생육 중에 미치는 영향의 검증 뿐만아니라, CO_2 처리에 의한 수확 후 품질에 미치는 효과에 대한 확

*Corresponding Author: Jung-Soo Lee
National institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 54874, Korea
E-mail: ljs808@korea.kr

인이 필요하다. '청치마' 상추는 국내에서 전국적으로 많이 재배되는 품종 중에 하나로, 품종 구분을 위한 기준에서 엽형 상추로 분류하고 있다[12].

본 연구에서는 국내에서 많이 재배되고 있는 '청치마' 상추로 CO_2 처리가 생육 증진 및 저장 중 품질에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. CO_2 처리에 따른 어린잎 채소의 수확 시 생육 증진과 유통 및 저장 중 발생할 수있는 품질 변화를 검토하여, 수확 전·후 품질 관리 체계를 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료, 이산화탄소(CO_2) 처리 방법과 생육 조사

본 연구에서 어린잎 채소인 상추는 '청치마'(농우바이오, 수원, 한국)을 이용하였으며, 발아 후 온실에서 재배 중에 CO_2를 처리하여 생육과 수확 후에 미치는 영향을 조사하였다. CO_2처리 방법은 Muthusamy 등[7] 결과를 참고하여 CO_2가스 처리를 하지 않은 무처리(A)와 CO_2처리에서 가스는 700 mg·L^{-1} 농도로 살포처리(B) 하였고, 탄산수 처리는 Woo 등[8]과 Lee[11] 방법을 참고하여 탄산수 내에 CO_2농도를 700 mg·L^{-1}(C)와 1,400 mg·L^{-1}(D)하여, Fig. 1과 같이 처리하였다.

어린잎 채소로 이용한 상추 재배는 완주지역에 소재한 국립원예특작과학원 육묘 온실을 이용하여 수행하였는데, 재배 동안의 온실 내 온·습도는 15.7±3.4℃에, 55.3±13.0%이었다. 상추 파종은 200공 트레이에 시판 상토(바이오상토 1호, ㈜팜흥농, 서울, 한국)를 사용하였다. '청치마'상추 경종개요에서 파종은 2020년 11월 25일에 하였으며, 수확은 12월 30일에 실시하였다. CO_2(이산화탄소) 가스 처리는 어린잎 채소를 밀폐형 아크릴 챔버(60 × 30 × 35 cm, 경기아트, 수원, 한국)에 넣어서 오전 시간에 처리하였으며(09시~13시), 처리 후 챔버를 개봉하였다. 생육조사 방법은 농촌진흥청 조사기준표[13]에 따라 초장, 엽장, 엽폭 등을 측정하였다.

2. 엽록소형광과 superoxide dismutase (SOD) 분석

엽록소형광 반응 조사는 BarbaGallo[14], Genty 등[15]과 Gorbe 등[16], Yoo등[17]의 보고를 참고하였다. 엽록소 형광 이미지 분석은 어린잎 채소인 상추를 재배 후에 chlorophyll fluorometer (IMAGING-PAM, Walz, Effeltrich, Germany)로 측정하였다. 측정 시 30분 이상 광을 차단해 암적응시킨 후에 식물 잎에 1,500 μmole/m^2/sec으로 포화광을 쪼여 최대 quantum efficiency (Fv/Fm)의 형광이미지와 측정치를 얻었다. Dhindsa 등[18]과 Kim[19], Zhang 등[20]의 보고에 따라 nitro blue tetrazolium (NBT)의 광 환원 억제 능력을 측정하여 superoxide dismutase (SOD) 활성을 분석 하였으며, SOD분석은 NBT 감소 50% 억제한 생성효소의 양으로 한정하여 조사하였다.

3. 포장 내 가스 (CO_2 및 O_2) 농도

어린잎 채소인 상추를 수확 후에 무공의 PP 필름 (polypropylene, 두께: 30 μm, 크기: 15 × 20 cm) 봉지를 이용하여 20 g 씩 포장 후에 밀봉하였다. 수확 후 저장은 쇼케이스 냉장고(Zikor, Samsun Inc., Inchon, Korea)를 이용하여, 온도를 10±1℃ 조건 하에서 저장하면서 수행하였다. 포장 내부 기체조성(CO_2 및 O_2) 변화는 Lee 등[21]의 방법을 참고로 하여, 필름의 표면에 septum을 부착한 후에 가스 분석기(Checkmate 9900, PBI Dansensor Co., Denmark)를 이용하여 4일 간격으로 조사하였다.

4. SPAD 지수와 색도(hue angle)변화 측정

Lee 등[21]의 방법에 따라 엽록소계(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 4일 간격으로 측정하였다. SPAD (soil & plant analyzer development) 값은 조사된 광에 녹색 정도 (greenness)를 측정하여 표시한 것으로, 엽록소 함량 변화를 유추하는 데 많이 활용된다[22].

어린잎 채소인 상추의 색상 변화는 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 사용하여 CIE Lab에 따라 lightness(명도), hunter a* (red-green)와 b* (yellow-blue)값을 측정하였고[23], 상추 어린잎의 색상 변화는 Cho 등의 보고[24]에 따라 hunter a*와 b* 값을 hue angle(°)으로 환산하였다. 환산 시 a*>0, b*>0일 때 hue angle(°)=Arc tan(b/a) 식으로, a*<0, b*>0일 때 hue angle(°)=180 + arc tan(b/a)식을 사용하였다.

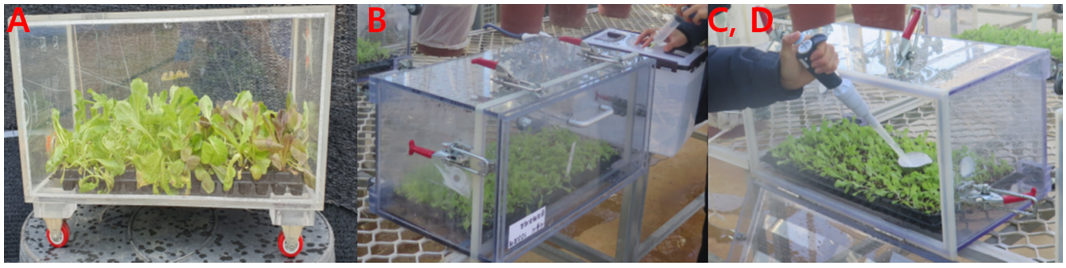

Fig. 1. Four methods of CO_2 treatment on acryl box: (A) Control with non-treatment; (B) Gas treated CO_2 with 700 mg·L^{-1} content; (C) Carbonated water treated CO_2 with 700 mg·L^{-1} content; and (D) Carbonated water treated CO_2 with 1,400 mg·L^{-1} content.

5. 외관 변화 평가

어린잎 채소인 상추의 신선도 및 외관에 의한 품위 변화에 대한 평가는 Bark 등[25]와 Jeong 등[26]의 방법을 참고로 하여, 훈련된 3명의 평가원들이 실험재료의 색, 형태, 신선도 등을 바탕으로하여 상등급에서 하등급까지 5단계를 두어 4일 간격으로 조사하였다(선도 기준: 4=매우 신선, 수확 당시와 유사, 3=선도 약간 저하, 광택 비슷, 2= 선도저하, 상품 판매 가능, 1= 연화 시작, 시장성 상실, 0=부패시작, 식용불가, 상품성 상실). 평가원들이 주관을 가지고 외관을 변화 평가하지만, Mihafu 등[27]의 보고에 따르면, 소비자가 식품과 같은 먹거리의 선택은 소비자의 외관에 따른 감각적 평가에 의하며, 관능 평가는 기존 식품 뿐만 아니라 새로운 식품에서도 일상적인 품질 관리를 위한 필수 도구이다. 평가원 간 결과의 일관성을 높이기 위해 평가원들을 훈련시켰으며, 일정한 시차를 두고 동일한 표본에 동일한 검사로 측정하면서 반복적인 평가 과정을 통해 신뢰성을 확보하였다.

6. 생체중량 감소

저장 중에 수확 후 원예산물은 증산 및 호흡으로 의해 생체중 중량 감소(감모)가 발생하는데, 생체중량 감소는 입고 시 생체중량에 대한 생체중의 감소 정도를 4일 간격으로 측정하여 백분율로 표시하였다.

7. 통계분석

통계 분석은 SAS (Version 9.2, SAS Inc., Cary, USA) 프로그램을 이용하였으며, 평균 간 유의 차이의 검증은 Duncan's multiple range test로 유의 수준 $p \leq 0.05$에서 하였다. 본 연구에서 표나 그림의 측정치는 4반복으로 평균(mean) ± 표준오차(standard error, SE)로 하여 표시하였다.

결과 및 고찰

1. 생육

어린잎 채소에서 상추는 재배 중에 이산화탄소(CO_2) 처리 여부에 따라 생육이 일부 차이를 보였으며, CO_2 처리

Table 1. Growth of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment

CO_2 treatment	Fresh weight (g)	Plant length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Stem width (mm)
A[1)]	4.0b[2)]	6.4c	5.1b	1.9a	4.6a	1.0a
B	4.0b	7.0b	6.0a	1.7a	4.6a	1.1a
C	4.3a	7.9a	6.4a	2.0a	4.8a	1.2a
D	4.5a	7.9a	6.6a	1.9a	5.0a	1.0a

[1)]Refer to Fig. 1 for CO_2 treatment

[2)]Mean separation within column by Duncan's multiple range test, $p = 0.05$.

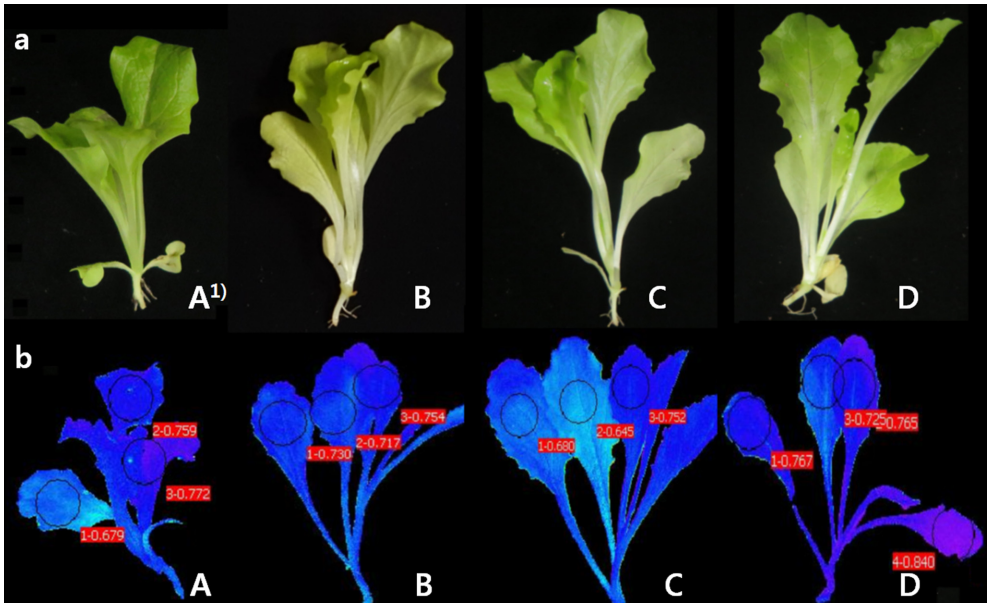

Fig. 2. Appearance (a) and chlorophyll fluorescence image (b) of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment.
[1)]Refer to Fig. 1 for CO_2 treatment.

방법 간에도 차이를 보이기도 하였다. 어린잎 채소인 상추에서 CO_2 가스와 탄산수 처리에 따라 생체중, 초장, 엽장 등의 생육은 Table 1과 같다. 어린잎 채소로 '청치마' 상추의 재배 동안에 CO_2 가스로 직접 처리한 것과 탄산수 처리한 어린잎 채소인 상추의 생체중, 초장과 엽장 등에서 생육 차이를 보였지만(Table 1), 외형은 차이를 구별하기는 어려웠다(Fig. 2a). 어린잎 채소에서 상추의 생체중은 탄산수로 CO_2 농도에서 700~1,400 mg·L^{-1}의 처리(C, D)에서 4.3 g 및 4.5 g으로, 무처리(A)나 700 mg·L^{-1}의 CO_2 가스 (B)처리보다 높은 생체중을 나타내어, CO_2 처리 중에서 탄산수 처리로 어린잎 상추의 생체중이 증가하는 것으로 나타났다. 초장에서 탄산수 처리(C, D)가 각각 7.9 cm으로 무처리의 6.4 cm 및 CO_2 가스 처리(B)의 7.0 cm보다 긴 것으로 나타나서, 재배 중 CO_2 처리 방법에 따라서 상추의 생육에 영향을 미치는 것으로 보인다. 엽장은 CO_2 처리에 의한 가스(B) 및 탄산수 처리(C, D)가 6.0~6.4 cm로 무처리의 5.1 cm보다 길어지는 것으로 나타났다. 그러나 엽폭이나 엽수, 경경에서는 CO_2 처리로 인한 유의적인 차이는 없었다. 어린잎 상추의 CO_2 처리 방법에 따라서는 탄산수 처리가 무처리보다는 다소 생육량이 많은 경향을 보였다. 생육 측정 항목에 따른 영향을 보면, 어린잎 채소인 상추는 생육 중 CO_2 가스와 탄산수 처리에서 생체중이 늘고, 초장은 다소 길어져서 생육량이 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 2a의 외형에서 CO_2 처리를 가스나 탄산수로 하여도 외관은 무처리와 큰 차이를 나타내지 않았으며, 외형적으로 생리적 이상이나 생육 장해가 어린잎 상추에서는 보이지 않았다. Woo 등[8]은 상추 생육 중의 CO_2 처리를 탄산수로 엽면 시비하여도 이산화탄소(CO_2)가스를 직접 처리한 것과 같은 효과를 보인다고 하였다. 본 연구에서도 Woo 등[8]과 마찬가지로 탄산수에 의한 CO_2의 시비가 가스 처리와 같이 생육 증진 효과를 나타났으며, 외형에서 생리적인 장해가 보이지 않았다. 어린잎 채소 상추 재배에서 탄산수를 기반으로 한 CO_2 처리가 생육을 향상시키는 효과를 새로이 확인하였다.

Fig. 3에서 어린잎 채소인 상추의 CO_2 처리 여부에 따라 세포 조직 구조 차이를 보여 주었다. Fig. 3에서 어린 상추 엽의 단면은 유엽 조직 분화가 완전하지 않은 것으로 보였으며, 엽 단면 세포 구조가 무처리에 비해 CO_2 처리를 한 어린 상추 엽의 세포 간 공극과 유관속 구조가 다소 엉성하고 성긴 것으로 나타났다. 어린 상추 잎은 무처리가 탄산가스 처리를 받은 것보다는 조밀한 세포 구조를 보였는데, CO_2 처리에 의하여 어린잎 상추가 세포 사이에 더 많은 공극이 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 어린잎 상추의 CO_2 처리 방법 간에는 세포 구조나 형태에서 큰 차이를 보이지 않았다. Lee [28]이나 Mirwais 등[29]은 작물은 재배환경에 따라 생육이 반응하여 도관 구조과 같은 식물 조직 구조가 영향을 받는다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 재배 중 CO_2 처리 여부가 어린 상추잎의 식물 내부 세포 구조에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 어린잎 채소의 상추에서 재배 동안 CO_2 처리로 일부 생육 특성의 차이를 보였으나, 외관에서 탄산수 등과 같은 CO_2 처리에 의한 장해는 발생하지 않았다. Woo 등[8]이 CO_2 시비에 대해서 탄산수 처리는 CO_2 가스와 동일한 생육 증진 효과를 얻고 경제적으로 이익을 얻을 수 있다고 하였다. 본 연구에서 어린잎 채소인 상추의 CO_2 처리가 생체중이나 초장 등의 생육량 증가 효과를 보여주어, 수확 전에 생육을 촉진하기 위한 고려할 만한 방법으로 생각되었다. 본 연구 결과에서 어린잎 상추는 재배 중 CO_2 처리 여부에 따라 생육에 차이를 보였으며, CO_2 처리 방법 간에는 탄산수 처리가 가스 보다 생육을 다소 증진하는 효과를 나타냈다. CO_2 처리 방법에서

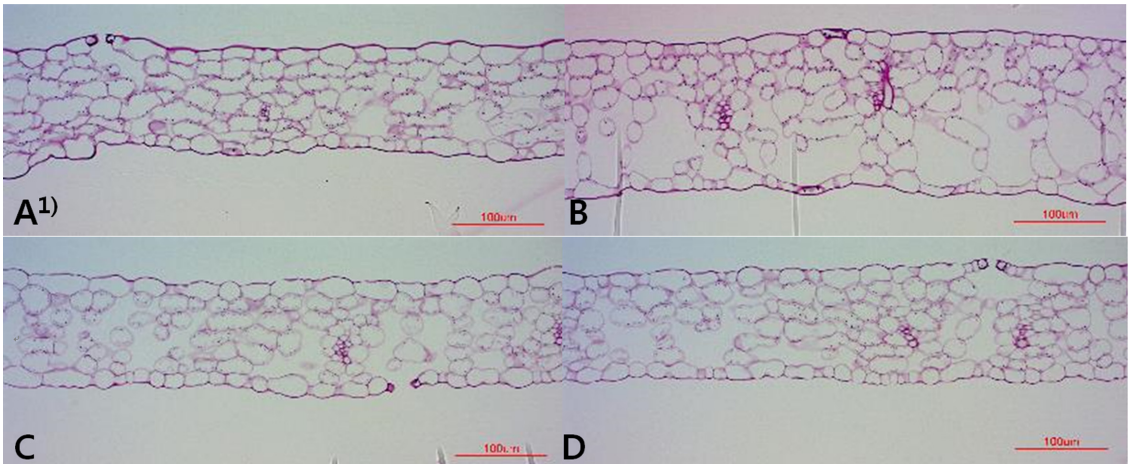

Fig. 3. Leaf morpholgy of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment.
[1)]Refer to Fig. 1 for CO_2 treatment.

탄산수 처리가 가스보다 작물의 생육에 더 높은 효용성을 보인 원인에 대해서는 보다 고찰이 필요할 것으로 보인다.

2. Chlorophyll fluorescence와 superoxide dismutase (SOD)

어린잎 채소인 상추에서 생육 중에 CO_2 처리에 의한 엽록소형광 반응은 Fig. 2b 및 Fig. 4a과 같다. 수확시 어린잎 채소인 상추의 Fv/Fm 비는 재배 중 CO_2 처리에 따른 차이가 없어 보였다. 엽록소 형광반응인 chlorophyll fluorescence의 변동형광값/최대형광값 비(Fv/Fm ratio)는 식물의 광합성 효율과 스트레스 반응에 대한 지표로 활용할 수 있는 것으로 알려져 있다[30]. Yoo 등[17]의 보고에 따르면, 엽록소형광 반응은 외부 환경으로부터 받는 스트레스 정도에 따라 광합성의 광화학 활성이 증가 또는 감소하면서 반응량이 변한다고 하며, 엽록소형광 반응으로 식물체 건전 정도 판단은 최대형광값/최소형광값 비(Fm/Fo ratio)보다 광계II의 최대 광화학적 효율을 나타내는 변동형광값/최대형광값 비(Fv/Fm ratio)를 보편적으로 이용하고, 엽록소형광 변수의 일반적인 정상 범위는 0.78~0.84 정도의 값을 보인다고 하였다.

Fig. 3에서 CO_2처리 방법에 따른 변동형광값/최대형광값 비(Fv/Fm ratio)에서 무처리(A)는 0.70이고, 700 mg·L^{-1}의 CO_2 가스처리(B)가 0.71이며, 700 mg·L^{-1}의 탄산수(C)처리가 0.71이고, 1,400 mg·L^{-1}의 탄산수(D) 처리 0.69인 것으로 나타났다. 어린잎 채소인 상추의 수확 시 엽록소 형광 변수비(Fv/Fm ratio) 값은 CO_2 처리에서 0.69~0.71으로 상추 무처리(A)와 대동소이한 것으로 나타났다. 다만 엽록소 형광 변수비(Fv/Fm ratio) 값이 Yoo 등[17] 보고 보다는 다소 벗어난 범위에 있지만, 이는 CO_2 처리 시 개체 차이로 발생된 편차에서 기인한 것으로 생각된다. Oh 등[31]은 배추와 같은 작물에서 CO_2 농도를 달리 처리하여도 Fv/Fm 비값은 차이를 보이지 않는다고 하였는데, 어린잎 채소인 상추에서도 CO_2처리 방법 차이로 Fv/Fm 비값에 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 본 연구 결과에서 CO_2처리가 어린잎 채소인 상추의 생육을 다소 증가시키나, 엽록소형광 반응과 같은 생리적 차이에서 큰 차이가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

작물에서 산화적 스트레스 대한 영향을 SOD 함량 비교로 판단할 수 있다[32]. Superoxide dismutase (SOD)는 작물에서 산화 스트레스에 대한 대응 능력의 지표로써, SOD 변화는 식물이 환경 스트레스로부터 발생하는 유해한 활성산소을 제거하는 역활을 하는 것으로 알려져 있다[32]. 어린잎 채소인 상추에 대한 CO_2 처리는 SOD 함량을 증가시켜 산화적 스트레스에 대한 식물의 대응 능력을 향상시키는 것으로 나타났다. Fig. 4b에 어린잎 상추에서 보면, CO_2 처리는 SOD의 함량과 같은 산화적 스트레스 대응 능력에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 어린잎 채소인 상추에서 CO_2 처리에 의해 SOD 함량이 높아지는 경향을 보이며, CO_2 처리 방법에 따라서 탄산수 처리가 높은 경향을 보여서, CO_2 700 mg·L^{-1}의 탄산수 처리(C)가 상추의 SOD 함량을 효과적으로 증가시키는 것으로 나타났다(Fig. 4b). 어린잎 채소인 상추에서 CO_2처리 방법에 따른 SOD 함량은 무처리에서 439.0 U/g이며, 700 mg·L^{-1}의 CO_2가스(B)에서 443.1 U/g이며, 700 mg·L^{-1} 탄산수(C)처리에서 447.2 U/g이고, 1,400 mg·L^{-1} 탄산수 처리(D)에서 443.1 U/g이었다. 이는 700 mg·L^{-1}의 CO_2 가스(B) 및 탄산수 처리는 무처리에 비해 상추의 SOD 함량을 증가시키는 것으로 생각된다. 어린잎 상추에서 탄산수로 CO_2의 700 mg·L^{-1}처리(C)가 SOD 함량이 가장 높아서, CO_2를 가스로 처리하는 것보다 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 탄산수의 CO_2 농도를 1,400 mg·L^{-1}으

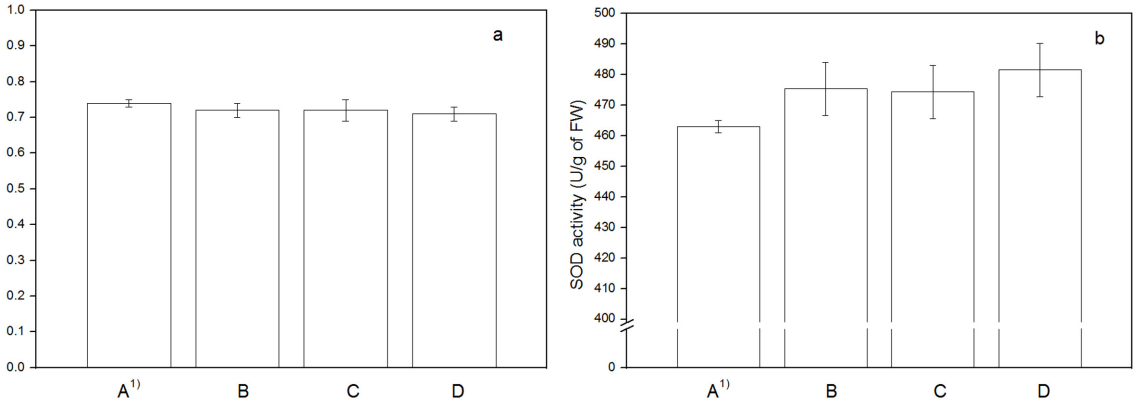

Fig. 4. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters (Fv/Fm ratio) and superoxide dismutase (SOD) of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment.
[1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.
Data represent the mean ± SE (standard error) of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

로 증가시켰을 때, SOD 함량이 다시 낮아지는 경향을 보였는데, 과도한 CO_2 처리는 어린잎 상추의 스트레스 대응 능력을 떨어뜨릴수 도 있는 것으로 판단된다.

Lee 등[33]이 SOD 함량 변화는 식물의 스트레스 환경 하에서 광합성 활성과 관계된 광화학계 I과 II가 손상되고, 발생된 여기에너지로 인해 식물체에 활성산소종이 생성되며, 이에 대한 황산화체계 대사작용으로, SOD와 같은 황산화 효소 활성이 증가된다고 보고하였다. Kim 등[34]은 보리싹의 SOD가 황산화 물질 로써 인체에 효능이 좋으며, 인체 내에서 SOD는 내생 글루타치온, 카탈라아제, glutathione peroxidase (GPX)를 자극하여 인체 내에서 저항력을 높이며, 노화와 질병을 억제한다고 보고하였다. 본 연구에서 어린잎 상추의 superoxide dismutase (SOD) 함량 변화를 통해 재배 중 CO_2 처리가 산화적 스트레스에 대한 대응 능력을 향상시키는 것을 확인하였다.

3. 포장 내 가스(CO_2 및 O_2) 농도

어린잎 채소인 상추에서 저장 중 포장 내 가스 조성에서 다소 차이가 나타났는데, 재배 중 이산화탄소(CO_2) 처리 여부에 따라 수확 후 영향을 받은 것으로 보인다(Fig. 5). 원예작물에서 modified atmosphere packaging (MAP)은 포장 내 가스 농도의 변화를 이용하여 선도 및 저장 기간을 연장하는 기술로써, MA 포장 시 포장재의 투과도와 호흡으로 인해 수동적으로 가스 농도 조성 변화가 발생한다[35]. MA 포장에서 작물의 호흡 정도에 따라 포장 내 가스 농도 조성이 달라질 수 있다[36]. 어린잎 채소인 상추의 무공 PP 필름 포장 시, 호흡으로 인해 O_2 농도는 감소하고 CO_2는 증가하는데, 재배 중 CO_2 처리한 것이 무처리보다 O_2 감소량이 높고 CO_2 발생량이 다소 높아 호흡의 정도가 높은 것으로 보인다. 수확 후 어린잎 채소로 상추의 포장 내 O_2 조성변화를 보면, Fig. 5에서 12일째에 무처리가 18.7%까지 감소하였으며, CO_2 가스 700 mg·L^{-1}의 농도 처리(B)는 17.4%까지, 탄산수 CO_2 700 mg·L^{-1} 농도처리(C)는 16.4%이고, 탄산수로 하여 CO_2 1,400 mg·L^{-1} 처리(D)는 17.2%까지 감소하는 것으로 나타났다. 수확 후 어린잎 채소인 상추에서 포장 내 CO_2 농도 변화를 Fig. 5에서 보면, 무처리가 18.7%이고, CO_2 가스 처리는 17.4%이며, 탄산수 700 mg·L^{-1} 처리(C)가 16.4%로, 탄산수 1,400 mg·L^{-1}처리(D)는 17.2.% 이었다. 본 연구에서 재배 중 CO_2 처리한 것이 수확 후에 무처리 상추보다 포장 내 O_2 소모가 크고 CO_2 발생이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

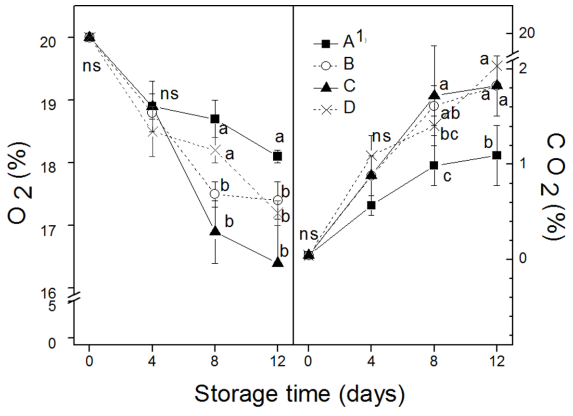

Fig. 5. O_2 and CO_2 partial pressure of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment at 10°C storage condition.
[1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.
Data represent the mean ± SE (standard error) of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

어린잎 상추의 CO_2 가스 처리 시용 방법 차이에 따라 CO_2 700 mg·L^{-1} 농도에서 CO_2의 축적이나 O_2 감소를 보면, 탄산 가스 직접 처리가 탄산수 처리보다 호흡이 높은 경향을 나타났다. Lee와 Lee[37]은 어린잎 채소에서 포장 내에 가스 조성 차이는 작물의 호흡 능력 차이보다는 포장재와 같은 물리적 장벽에 의해 달라진다고 하였다. 그러나 본 연구에서 동일한 포장재로 포장하였음에도 불구하고 포장 내 가스 농도의 변화 정도에 차이를 보여, 작물의 수확 전 처리가 수확 후에도 호흡 정도에 영향을 주어, 포장 내 Kang과 Kim[36]의 보고와 같이 가스 조성 반응이 달라지는 것을 확인하였다. Kang과 Kim[36]은 싹기름 채소에서 저장 환경에 따라 호흡이 높아지면, 저장성이 약하진다고 보고하였다. Islam 등[38]은 OTR 필름으로 MA 포장시 가스 조성이 CO_2 농도는 1.5~4.5%와 O_2는 19.3~20.0%의 조건에서 어린잎 상추의 저장성이 좋았다고 하였다. 본 연구 결과에서의 어린잎 상추는 Islam 등[38]의 결과 보다는 포장 내 CO_2 농도가 높고 O_2는 낮아서, 어린잎 채소의 이상적인 조건 조성 하에서 저장을 위해서는 저장 전 재배 방법의 개선과 함께 포장 소재 연구에 대하여 보다 더 탐색하여, 어린잎 채소의 효과적인 MA 방법에 대해 모색해야 될 것으로 생각된다.

4. 생체중 변화

어린잎 채소의 상추에서 수확 후 저장 동안에 생체중량이 감소하지만, 저장 동안에 수확 전의 CO_2처리에 따른 어린잎 채소인 상추의 생체중량 변화는 차이가 명확하지 않았으며, 저장 종료 시점에 다소 유의차이를 보였다. Fig. 6에서 어린잎 채소의 '청치마'상추를 PP 무공 필름으로 포장하여 show case 형 냉장고에 10℃에 저장하며서, 수확 전 CO_2 가스 처리에 따른 수확 후 생체중량에 미치는 영향을 조사하였다. 어린잎 채소인 상추의 수확 전 CO_2 가스 처리 방법에 따른 수확 후 생체중량 변화는 무처리가 저장 4일째에 1.6%이고, 8일째에 2.0%로, 12일에 2.4%으로 감소하였고, CO_2 가스 처리는 저장 4일째에 1.7~2.1%, 저장

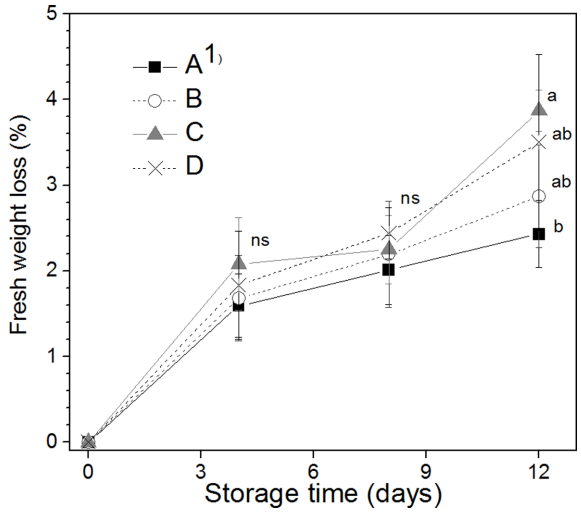

Fig. 6. Fresh weight loss of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment at 10°C storage condition.
[1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.
Data represent the mean ± SE (standard error) of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

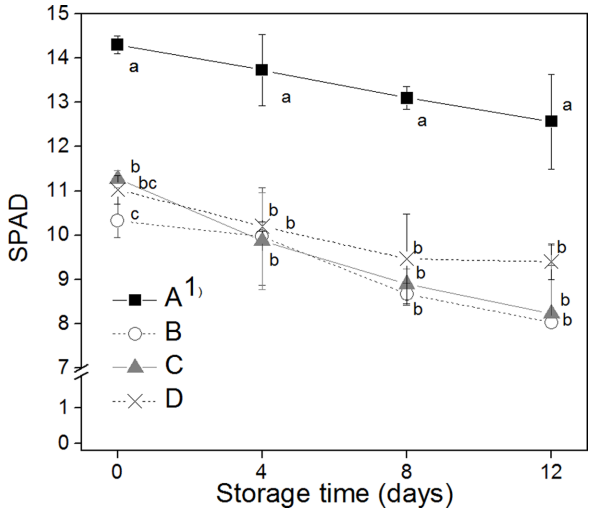

Fig. 7. SPAD value of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment at 10°C storage condition.
[1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.
Data represent the mean ± SE (standard error) of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

6일에는 0.4~0.5%으로 처리간 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 저장 12일에는 CO_2 가스 직접 처리(B)는 2.9%이고, 탄산수 700 mg·L^{-1}(C)와 1,400 mg·L^{-1}(D) 처리는 3.5~3.8%으로 감소하는 차이를 보였다(Fig. 6). 어린잎 상추의 수확 후 생체중량 변화는 CO_2 가스 처리 여부가 상품성을 유지하는 저장기간 동안에는 큰 영향을 미친다고는 보기 어려웠다. 그러나 저장 종료 시 12일째에 수확 전 CO_2 처리가 무처리보다 다소 높은 감소율이 나타났으며, 탄산수 처리에 의해 생체중량 감소율이 더 증가하는 경향을 보였다. 원예작물 저장 중 생체중량 감소는 수분이나 호흡에 의한 것으로 알려져 있는데[39], 본 연구에서 어린잎 채소가 무공의 PP 필름에 포장되어 있어서 수분 손실을 막아 생체중량 감소가 크지 않게 나타난 것으로 생각되며, 종료 시 어린잎 채소인 상추의 생체중량 감소 차이는 호흡의 영향으로 발생한 것으로 생각된다. 일반적인 채소류에서 품질에 영향을 주는 생체중량 감소 정도는 3~5% 내외로 알려져 있다[40]. Fig. 6에서 어린잎 채소 상추의 저장 중 생체중 변화는 수확 전 처리에 상관없이 저장 12일 동안에 4% 이하의 생체중량 감소 정도가 나타났다. 본 연구에서는 어린잎 상추 저장 종료 시 생체중량 감소 정도가 5% 미만으로 어린잎 상추의 수확 후 생체중 변화가 품질에 영향을 준다고 언급하기는 어려워 보인다.

5. SPAD과 색상(hue angle) 변화

어린잎 채소인 상추의 수확 후 SPAD 지수와 hue angle 값은 재배 중 CO_2 처리 여부에 따라 차이를 보였다. 어린잎 채소인 상추의 SPAD 지수는 저장 중 감소하는데, 수확 전 CO_2처리가 수확 후에도 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 7). SPAD 측정은 infrared LED 광과 적색광을 비추어, 투과와 반사 정도에 의해 식물체 잎의 엽록소 변화 정도를 추정하는 것으로, 같은 개체를 비파괴적이면서 반복적으로 측정할 수 있는 장점이 있다[22]. Lee 등[41]은 원예작물은 수확 후 저장 동안에 엽록소 손실로 인한 황화의 진행되어 SPAD 측정값이 감소한다고 하였다. Bark 등[25]과 Lee 등[42]은 다른 개체 측정을 통해 식물체 내의 엽록소 함량을 측정하는 것보다는 동일 개체에서 SPAD 값을 측정하는 것이 엽록소 변화를 효과적으로 유추할 수 있다고 하였는데, 본 연구의 어린잎 채소에서도 활용하였다. Fig. 7과 같이 수확 전의 CO_2 처리 방법에 따라 SPAD 지수 변화 정도는 수확 직후에는 CO_2 처리의 가스나 탄산수로 처리가 11.37~12.3이었으며, 무처리가 12.3으로 유사하였으나, 저장 4일에는 무처리가 11.7으로 CO_2 처리한 것의 9.9~10.2 보다 높은 수치를 보였으며, 저장 8일에는 무처리가 11.1이고 CO_2 처리가 8.7~9.4이었으며, 저장 12일에 무처리가 10.6에 CO_2 처리가 8.0~9.5으로 무처리가 지속적으로 다소 높게 유지하였다. 반면에 어린잎 채소인 상추의 SPAD 변화 정도를 보면, 수확 후 저장 동안에 CO_2 처리한 것이 오히려 황화 정도가 더 진행되어서 변화 정도가 큰 것으로 나타났다. Fig. 6과 같이 가스 조성 변화에서 보이는 것과 같이 CO_2 처리가 어린잎 채소의 호흡 정도를 증가시키고 엽록소 변화에 영향을 미쳐 어린잎 채소의 시각적 품질(visual quality)에 차이가 나타나는 것으로 생각된다. Cho 등[24]은 브로콜리(녹색꽃양배추)에서 황화 발생은 원예작물 상품성을 감소시키는 요인으로 지목하였는데, Choi 등[43]은 시금

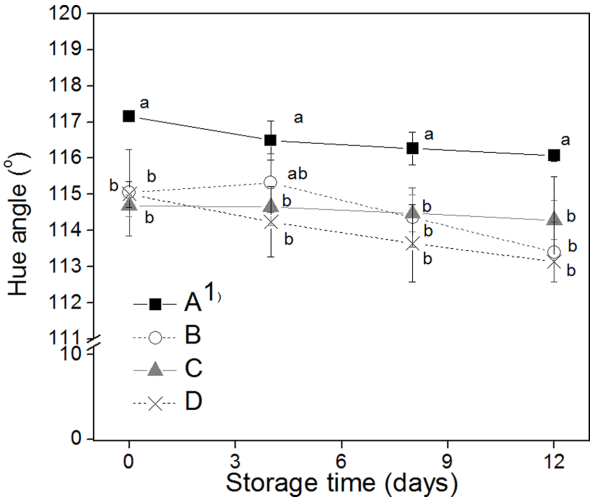

Fig. 8. Hue angle of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment at 10°C storage condition.
[1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.
Data represent the mean ± SE (standard error) of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

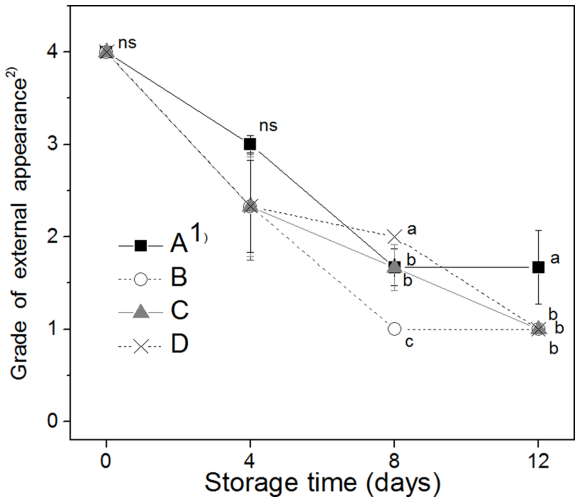

Fig. 9. Grade of external appearance of lettuce baby leaf vegetable as affected by CO_2 treatment at 10°C storage condition.
[1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.
[2)]External appearance: 4 = very good, 3 = good, 2 = fair, 1 = poor, 0 = very poor.
Data represent the mean ± SE (standard error) of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

치와 같은 원예작물 엽에서 조직의 파손에 따른 엽록소 손실로 인한 황화 현상으로 상품성이 저하되는데, Lee 등[42]은 엽채류인 상추에서 포장 방법에 따라 SPAD 값 차이를 보이면서 외관 품위가 달라졌다고 보고하였다. 본 연구에서의 SPAD 값 변화를 보면 어린잎 상추는 포장방법이 동일하였음에도 수확 전 재배 시 CO_2 가스 처리 여부에 따라 경향이 달라져서, 수확 후에도 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다. 어린잎 채소인 상추의 CO_2 가스 처리로 수확 전 생육량을 증가하였으나, 수확 후 엽록소 함량변화에 의해 SPAD과 같은 지수 감소가 빨라져 품위 유지에 역효과를 보였다. Fig. 8에서 어린잎 채소인 상추의 hue angle 값은 수확 시 114.7~116.5°으로 수확 전 CO_2 처리와 상관없이 대체로 비슷한 범위 내에서 유지되었으나, 저장 중에는 수확 전 CO_2 처리 여부에 따라 다소 처리 간에 다른 경향을 보였다. 수확 후 10℃에서 저장 중 무처리는 저장기간이 증가함에 따라 hue angle 값이 수확 후 116.5°에서 저장 12일에 115.6°으로 약간 감소하였으나, 가스로 CO_2 700 mg·L^{-1}처리(B)는 115.1°에서 113.4°로, 700 mg·L^{-1}탄산수 CO_2처리(C)는 114.7°에서 114.3°로, 1,400 mg·L^{-1}탄산수 CO_2 처리(D)는 115.0°에서 113.1°으로 감소하는 것으로 나타났다. 어린잎 채소인 상추 재배 중 CO_2 처리는 저장 기간 동안에 hue angle 값이 무처리보다 더 감소하는 경향을 보였다. 이중에서 탄산수 CO_2 1,400 mg·L^{-1}농도 처리(D)는 저장 기간이 진행됨에 따라 hue angle 값이 다른 처리 보다 더 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과로 어린잎 채소인 상추는 저장 중 색상 변화가 수확 전 CO_2 처리 여부에 따른 영향을 보여주는데, 탄산수에서 CO_2 농도가 증가함에 따라 수확 후 어린잎 색상이 빠르게 변화하는 것으로 나타났다. Cho 등[24]은 화채류인 녹색꽃양배추(브로콜리)에서 황화 현상은 엽록소 감소로 인해 발생하는 대표적인 손실 요인으로, 엽록소 변화에서 녹색꽃양배추 화뢰 부분의 황화 현상으로 hue angle 수치가 감소하여 가시적으로도 상품성 감소를 인지할 수 있다고 하였다. 어린잎 채소인 상추 저장 중 hue angle 값은 수확 전 CO_2 처리 여부에 따라 수확 후에 영향을 받는 것으로 보였으며, CO_2 처리 방법에 따라서 가스 처리가 탄산수 처리의 변화 정도에서 더 큰 경향을 보였다. 본 연구 결과는 상추 어린잎 재배나 수확 후 저장 시에 참고 가능한 정보를 제공할 수 있으며, 채소의 신선편이와 같은 농산품 품질 유지에 대한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 외관 변화

어린잎 채소의 외관 변화에 따른 선도는 수확 전 CO_2 처리에 의해 영향을 받았다. Fig. 9에서 어린잎 채소의 상추 외관은 무처리가 수확 후 품위가 재배 중 CO_2 처리보다 높게 유지하는 것으로 나타났다. 어린잎 상추 재배 중의 CO_2 처리로 저장 4일째나 8일째 모두 무처리보다 외관 변화 정도가 컸으며, 이로 인해 선도가 떨어지는 것으로 나타났다. 어린 잎 상추의 선도 판단 수치는 Bark 등[25]의 보고를 참고하여, 지수가 4.0일때는 수확 당시와 같이 유사하게 좋은 상태로 보았으며, 저장성이 지속될수록 지수가 떨어지는데, 2.0 정도는 시장가치가 떨어지나 최소한 판매가 가능

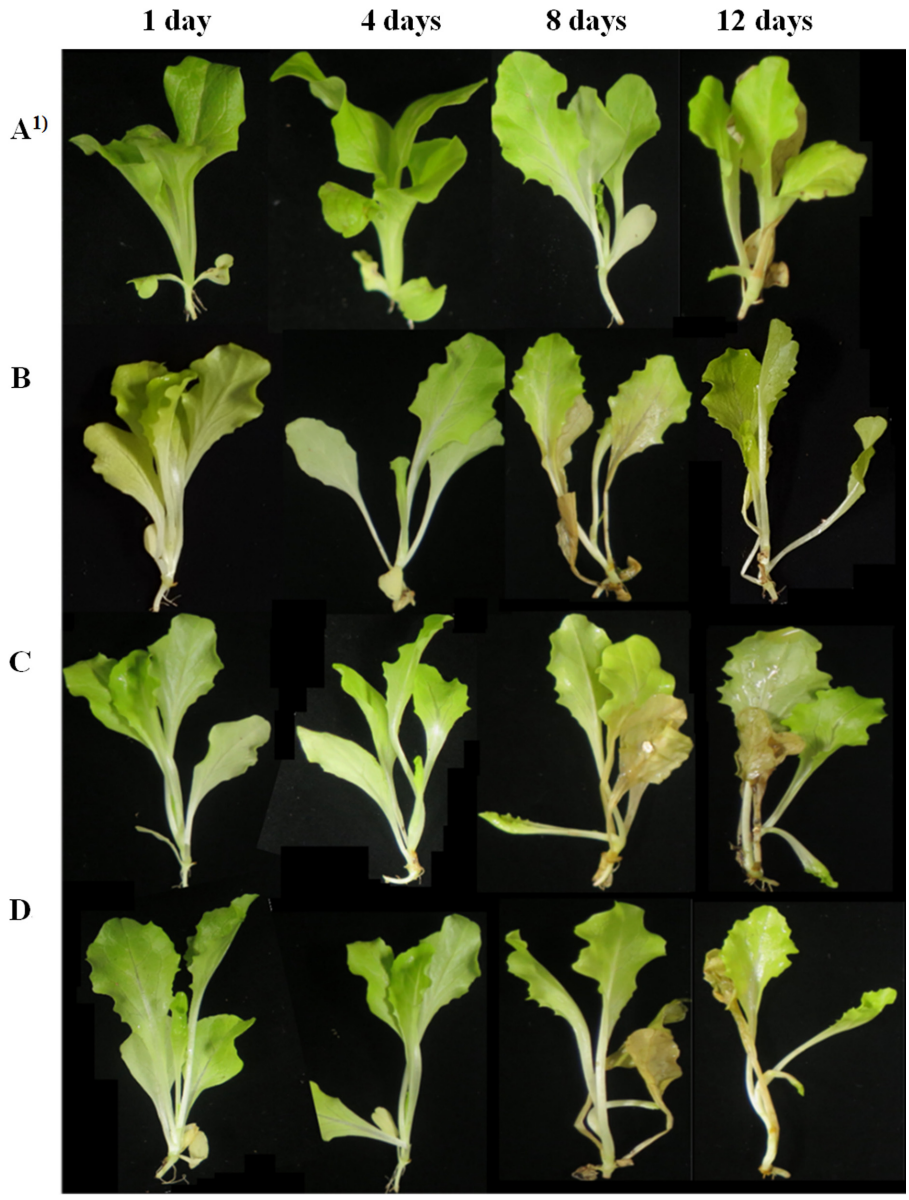

Fig. 10. Changes in appearance of lettuce baby vegetable packaged as affected by CO_2 treatment at 10°C storage condition. [1)]Refer to CO_2 treatments in Fig. 1.

할 것으로 판단하였으며, 0은 부패나 수분 손실로 인하여 상품성이 전혀 없는 것으로 보았다. 신선도의 변화에 따른 어린잎 상추 외관 지수 변화는 Fig. 9에서와 같이 수확 후 저장 시 무처리는 저장 4일째에 4.0이며, 8일째에 2.7, 12일에는 1.8이었으며, CO_2 가스 직접 처리는 4일째에 2.3이고, 8일째에 1.0이고, 12일에는 1.0이었고, 탄산수로 700 $mg{\cdot}L^{-1}$ 처리(C)는 4일째에 2.3이었고, 8일째에 1.7이고, 12일에는 1.0이었으며, 탄산수 1,400 $mg{\cdot}L^{-1}$ 처리(D)는 4일째에 2.3이고, 8일에 2.0이고, 12일에 1.0으로 나타났다. 어린잎 상추 재배 중 CO_2 처리에 따른 수확 후 상품성 유지 기간은 무처리가 저장 8일까지 판매 가능한 상품성을 유지하였고, 가스나 탄산수를 통한 CO_2 처리는 저장 4일까지 상품성을 유지 하는것으로 나타났으며, 이후에는 상품성이 없는 것으로 보였다. Fig. 10에서 수확 후 외관 변화를 보면, 어린잎 상추는 엽색이 변색되거나 짓물러지면서 변질되어서 상품성을 상실하였는데, 무처리 보다 CO_2 처리한 것이 수확 후 변이가 더 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 어린잎 채소의 외관 지수에 변화를 주는 요인으로는 생체중량 변화 정도가 Fig. 6에서 차이를 보일 정도로 크지 않아 생체중량 감소에 의한 영향은 크지 않은 것으로 보이며, SPAD의 Fig. 7과 hue angle의 Fig. 8에서 재배 중 CO_2 가스 처리가 수확 후 변화 정도가 더 커서, 외관 변화와

같은 상품성 감소에 영향을 미치는 요인으로 판단된다. 어린잎 채소인 상추의 재배 중 CO_2 가스 처리는 생체중 등이 증가하여 생육면에서는 유리한 효과를 보였으나, 수확 후 저장 동안에 CO_2 처리한 것이 무처리보다 SPAD나 hue angle과 같은 수치의 변화폭이 더 커졌으며, 외관과 같은 품질 감소가 빨라지는 것으로 나타나서, 생육을 높이기 위한 수확 전의 처리가 오히려 수확 후 저장 중에 역효과를 보이는 것으로 나타났다. 어린잎 채소의 수확 후 관리 방법에 의한 연구는 있으나[2,3,9], 수확 전 처리에 따라 수확 후와 연계와 관련된 연구는 많지 않은 실정이다. 상추와 같은 어린잎 채소에서 탄산수와 같은 CO_2 처리는 수확 전 생육을 증가시켰지만, 수확 후까지 연계하여 선도유지에는 효과적이지 못하였다. '청치마' 상추를 통한 어린잎 채소에서 CO_2 처리가 생육에는 유리하지만, 수확후 품질에 부정적인 영향을 미칠수 있는 것을 새롭게 관찰하였다. 본 연구에서는 어린잎의 '청치마' 상추에서 CO_2 공급 시에 탄산수 처리를 통한 생육 증진 효과를 밝혔으나, 정확한 처리 농도에 대해서는 규명하지 못하였다. 또한 재배 시 광학적 요소나 생육 온도 등과의 다른 생육 조절 요인과의 상호작용 또한 고려하지 못하였다. 따라서 이를 개선하기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

어린잎 채소에 대한 관심이 증가함에 따라, 재배 중 이산화탄소(CO_2) 처리가 생육 증진과 수확 후 품질 유지에 미치는 효과를 평가하였다. 본 연구에서 어린잎 채소인 '청치마' 상추를 이용하여, 재배 중 CO_2를 가스나 탄산수 형태로 처리하여 생육과 수확 후 저장 중에 포장 내에서 나타나는 품질 변화를 조사하였다. 생육은 어린잎 상추의 CO_2 처리가 무처리보다 생체중 등이 증가하는 효과가 있었다. CO_2 처리 방법에 따라서는 탄산수 처리가 가스 처리보다 더 높은 효과를 나타내어서, 탄산수 이용의 가능성을 보여주었다. 수확 후 CO_2 처리된 어린잎 채소는 수확 후 포장 내 O_2 소모와 CO_2 축적이 증가하였으며, 저장 중에 재배 중 CO_2 처리가 외관을 비롯하여, SPAD·hue angle 등에서 더 큰 수치 변화를 보여주었다. 수확 후에는 재배 중 CO_2 처리 방법을 달리 하여도 선도 유지에 효과를 보이지 않은 것으로 나타났다. 본 연구 결과에서 어린잎 채소는 재배 중 CO_2 처리에 의한 처리로 생체중 등의 생육량을 증가시키나, 저장 시 수확 후 선도 유지에는 효과에 대해서 언급하기 어려웠다. 결과적으로, CO_2 처리가 일부 생육 증진에는 효과적이었으나, 수확 후 저장 기간 동안 선도 유지에는 도움이 되지 않았다. 따라서 향후 다른 방법을 통하여 생육 향상과 품질 유지를 동시에 할 수 있도록 더 많은 모색이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Kim, D.S. and Lee, K.B. 2010. Physiological characteristics and manufacturing of the processing products of sprout vegetable. Kor. J. Food Cookery Sci. 26: 238-245.
2. Lee, J.S., Kim, J.G. and Park, S. 2010. Effects of chlorine wash on the quality and microbial population of 'Tah Tasai' Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *narinosa*) microgreen. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27: 625-630.
3. Di Gioia, F., Renna, M. and Santamaria, P. 2017. Sprouts, microgreens and "Baby Leaf" vegetables. In: Minimally processed refrigerated fruits and vegetables; Fatih, Y., Wiley, R.C., Eds.; Springer Boston, USA, pp. 403-432.
4. National institute of Horticultural & Herbal Science (NIHHS). 2016. Post-harvest quality management technology manual for young leaf vegetables. NIHHS, Wanju, Korea.
5. Lee, J.S. and Do, K.R. 2012. Growth and postharvest freshness of tah tasai Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *narinosa*) baby leaf vegetable as affected by brushing treatment during cultivation. Kor. J. Food Preserv. 19:19-25.
6. Kwack, Y., Kim, D.S. and Chun, C. 2015. Growth and quality of baby leaf vegetables hydroponically grown in plant factory as affected by composition of nutrient solution. J. Bio-Env. Con. 24:271-274.
7. Muthusamy M., Hwang J.E., Kim S.H., Kim J.A., Jeong M.J., Park H.C. and Lee S.I. 2019. Elevated carbon dioxide significantly improves ascorbic acid content, antioxidative properties and restricted biomass production in cruciferous vegetable seedlings. Plant Biotech. Rep. 13: 293-304.
8. Woo Y.H., Kim D.E. and Lee J.W. 2019. The effect of photosynthesis, stomatal conductivity, thermotolerance and growth on foliar fertilization of carbonated water at lettuce hydroponic cultivation. J. Agro. Fisheries & Res. 21:115-122.
9. Lee, H.E., Lee, J.S., Choi, J.W., Pae, D.H. and Do, K.R. 2009. Effect of mechanical stress on postharvest quality of baby leaf vegetables. Kor. J. Food Preserv. 16: 699-704.
10. Takahama M. 2019. Studies on the year-round production and quality improvement of baby-leaf vegetables. Ph.D. Dissertation, Hokkaido University, Sapporo, Japan.
11. Lee, J.S. 2020. Comparison of growth and freshness characteristics as affected by CO_2 treatment during cultivation on radish sprout vegetable. Korean J. Packag. Sci. Tech. 26:105-112.
12. Hwang, S.J., Jang, S.W., Choi, J.H. and Ho, Q.S. 2003. Selection of standard example varieties for evaluation of plant morphological characters in DUS test of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Hortic. Sci. Technol. 21: 181-189.
13. RDA (Rural Development Administration). 2003. Manual for agricultural investigation, RDA, Suwon, Korea.
14. BarbaGallo, R.P., Oxborough K., Pallett K.E. and Baker N.R. 2003. Rapid, non-invasive screening for pertubations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiol. 132: 485-493.
15. Genty, B., Briantais J.M. and Baker, N.R. 1989. The

relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochim. Biophys. Acta. 990: 87-92.
16. Gorbe, E. and Calatayud, A. 2012. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. Sci. Hortic. 138: 24-35.
17. Yoo S.Y., Eom K.C., Park S.H. and Kim T.W. 2012. Possibility of drought stress Indexing by chlorophyll fluorescence imaging technique in red pepper (*Capsicum annuum* L.). Kor. J. Soil Sci. Fert. 45: 676-682.
18. Dhindsa, R.S., Pulmb-Dhindsa, P. and Thorpe, T.A. 1981. Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. J. Expt. Bot. 32: 93-101.
19. Kim Y.S. 1996. Studies on changes of chemical contents and activity of SOD from buckwheat vegetable. MS, Thesis. MyongJi University, YongIn, Korea.
20. Zhang Y., Zhang M. and Yang H. 2015. Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. Food Chem. 174:558-563.
21. Lee, J.S., Chung, D.S., Lee, J.U., Lim, B.S., Lee, Y.S. and Chun, C.H. 2007. Effects of cultivars and storage temperatures on shelf-life of leaf lettuces. Kor. J. Food Preserv. 14: 345-350.
22. Publishing committee for experiment method in plant nutrient (PCEMP). 1990. Experimental methods in plant nutrient. Hakuyusha, Tokyo, Japan.
23. Markovic, I., Ilic, J. Markovic, D., Simonovic, V. and Kosanic, N. 2013. Color measurement of food products using CIE L* a* b* and RGB color space. J. Hyg. Eng. Des. 4: 50-53.
24. Cho, M.A., Hong, Y.P., Choi, J.W., Won, Y.B. and Bae, D.H. 2009. Effect of packaging film and storage temperature on quality maintenance of broccoli. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27: 128-139.
25. Bark D.E., Yoon Y.N., Woo Y.J., Cheung G.H., Hwang S.B., Park S.H., Jeong J.Y., Shin C., Choi D.S., Lim J.H., Park S.E. and Lee J.S. 2015. Freshness comparison of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in accordance with storage and packaging method on high-temperature period. Kor. J. Packaging Sci. Tech.. 21:35-40.
26. Jeong J.C., Woo P.K. and Joon Y.Y. 1990. Influence of packaging with high-density polyethylene film on the quality of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. *Cheongchima*) during low temperature storage. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 31: 210-224.
27. Mihafu F.D., Issa J.Y. and Kamiyango M.W. 2020. Implication of sensory evaluation and quality assessment in food product development: A review. Curr. Res. Nutr. Food Sci. 8:690-702.
28. Lee, J.S. 2018. Growth and salting properties influenced by culture methods, cultivars and storage packaging of kimchi cabbage (Brassica rapa) in spring. Korean J. Agric. Sci. 45:623-634.
29. Mirwais, M.Q., Ashley, B.M. and Sage, L.D. 2019. Environmental factors influence plant vascular system and water regulation. Plants. 8:1-23.
30. Shin, Y.K., Kim, Y.H. and Lee, J.G. 2019. Application of chlorophyll fluorescence parameters for the detection of water stress ranges in grafted watermelon seedlings. J. Bio-Env. Con. 28:461-470.
31. Oh S.J., Son I.C., Wi S.H., Song E.Y. and Koh S.C. 2016. Photosynthetic and growth responses of Chinese cabbage to rising atmospheric CO_2. Kor. J. Agric. For. Meteorol. 18: 357-365.
32. Raychaudhuri S.S. and Deng, X.W. 2000. The Role of Superoxide Dismutase in Combating Oxidative Stress in Higher Plants, Bot. Rev. 66:89-98.
33. Lee, S.Y., Jung, J.A., Sung, J.K., Ha, S.K., Lee, D.B., Kim, T.W. and Song, B.H. 2014. Responses of nutrient uptake, carbohydrates and antioxidants against low temperature in plants. CNU J. Agri. Sci. 41: 75-83.
34. Kim Y.H. 2011. Extraction of manganese super oxide dismutase from sporouts of barley (*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*). J. Sangmyung Uni. Eng. Res. Inst. 2011:42-47.
35. Kader, A.A. and Watkins, C.B. 2000, Modified atmosphere packaging-toward 2000 and beyond. HortTechnology 10: 454-486.
36. Kang, H.M. and Kim, I.S. 2007. Comparison of storability of some sprout vegetables in MA storage. J. Bio-Env. Con. 16: 415-419.
37. Lee, J.S. and Lee, Y.S. 2012. Effect of packaging methods on postharvest quality of tah tasai Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *narinosa*) baby leaf vegetable. Kor. J. Food Preserv. 19: 1-6.
38. Islam, M.Z., Lee,Y.T., Mele, M.A., Choi, I.L., Jang, D.C., Ko, Y.W., Kim, Y.D. and Kang, H.M. 2019. Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of baby leaf lettuce. Qual. Assur. Saf. Crop. Foods 11: 749-756.
39. Kim, M.N. Park, S.H., Park, C.W., Choi, S.Y., Choi, D.S. Kim, J.S., Kim, Y.H. and Lee, S.J. 2018. Quality estimation of winter Chinese cabbage stored in purge type of controlled atmosphere storage. Food Eng. Prog. 22:59-66.
40. Kays, J.S. 1991. Posthravest physiology of perishable plant product, AVI publishing, New York, USA.
41. Lee, J.S., Lee, H.E., Lee, Y.S. and Chun, C.H. 2008. Effect of packaging methods on the quality of leaf lettuce. Kor. J. Food Preserv. 15: 630-634.
42. Lee, J.S., Chung, D.S., Choi, J.W., Jo, M.A., Lee, Y.S. and Chun, C.H. 2006. Effects of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce. Kor. J. Food Preserv. 13: 8-12.
43. Choi, D.J., Lee, S.H., Yoon, J.T., Oh, S.G. and Jun, H.J. 2007. Effect of polypropylene film package and storage temperature on the shelf-life extension of spinach (*Spinacia oleracea* L.). J. Bio-Environ. Control 16: 247-251.

투고: 2024.08.02 / 심사완료: 2024.10.29 / 게재확정: 2024.11.19