

무 싹채소 탄산 가스 처리에 따른 생육과 수확후 품질 특성 비교

이정수*

국립원예특작과학원

Comparison of Growth and Freshness Characteristics as Affected by CO₂ Treatment during Cultivation on Radish Sprout Vegetable

Jung-Soo Lee*

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

Abstract As sprout vegetables of interest growing, its maintaining the quality of the technology was needed to solve the problem of increasing growth and maintain quality after harvest. This experiment proved that the quality of radish sprout vegetable was affected by CO₂ treatment during cultivation. Thus, the effect of CO₂ treatment during cultivation on post-harvest quality of radish sprout vegetable was investigated in terms of the quality changes in weight loss, gas partial pressure, SPAD, hue angle external appearance during storage at polypropylene film (thickness 30 µm) at 10°C. CO₂ treatment used the way to gas with 700 ppm or carbonated water with 700 ppm and 1,400 ppm. The study revealed that growths on CO₂ treated plant were more than those of non-treatment on stem length. After harvesting, the CO₂ treated plant and control growing little different characteristics on fresh weight, plant length and so on. However, there were no differences between the CO₂ treated plant and control on the Fv/Fm and SOD (superoxide dismutase). In gas partial pressure, the O₂ consumption and CO₂ accumulation of the CO₂ treated plant tended to be more than that of non-treated plant. This study also checked that after packaging, the effects of CO₂ treatment during cultivation on the quality of radish sprout vegetable was not significant. However, there were tended to CO₂ treatments were lower value compared to control on SPAD, hue angle and general appearance. CO₂ treatments of radish sprouting vegetable before harvest were improve growth of stem length, but ones were not improving the maintain of quality on radish sprout vegetable during shelf-life period. The results indicated that CO₂ treatment only affected stem elongation until radish sprout vegetable its growth.

Keywords radish, sprout vegetable, CO₂ treatment, growth, storage

서 론

엽채류인 싹채소에 대한 관심이 늘면서 상품성 개선을 위한 기술이 요구되고 있다^{1,2)}. 싹채소는 발아 후 어린 채소를 이용하는 것으로 싹기름 채소나 어린잎 채소 등으로도 부르고 있으며, 다자란 성체 식물보다 기능성 성분 함유량이 높고, 농약이나 비료 등의 사용이 적어 친환경 채소로 인기가 높다³⁾. 싹채소는 주로 비빔밥이나 샐러드 등의 요리에서 별다른 조리 과정없이 신선 상태로 이용하는데, 생

육량이 크지 않고, 조직이 연해 상품성의 손실이 쉽게 발생하는 단점이 있다²⁾. 싹채소는 생육에 있어서 채소 종류에 따라 경장이 다양하지만, 경장의 길이가 길수록 상품 가치가 높아진다⁴⁾. 이러한 싹채소의 생장 증진을 하기 위하여 CO₂를 가스로 처리한 결과가 보고되었는데⁵⁾, CO₂ 처리 방법에 있어서 가스 처리이외에도 탄산수 처리에 의한 효과도 알려져 있다⁶⁾. 싹채소의 생산성 개선과 수확후 품질을 보존하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으나, 수확 전 생산 방법에 따른 수확후 선도 등의 변화에 미치는 연구는 많지 않는 실정이다. Lee 등⁷⁾은 수확전의 환경이나 물리적 처리에 의해 성체 식물의 생육에 영향을 미치며, 가공성에 향상시킬 수 있다고 하였는데, Lee 등³⁾은 묘상에서 brushing의 스트레스 처리가 잎의 생장을 저해하지만 엽육의 물리적 특성에 영향을 미쳐 저장성을 향상시켰다고 보

*Corresponding Author : Jung-Soo Lee
National institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 54874, Korea
Tel : +82-, Fax : +82-
E-mail : ljs808@korea.kr

고 하였다. 싹채소의 약한 저장성 개선을 위하여 수확전의 재배 중 생육 개선과 수확후의 상품성을 개선할 방법의 모색이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 재배 중의 CO_2 처리를 통해 생육을 증진시키고, 수확후 품질에 미치는 영향을 조사하여, 상품성 개선의 효과가 있는지에 대한 자료를 얻고자 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료, 이산화탄소(CO_2) 처리 방법과 생육 조사

본 실험에서 싹채소인 무는 ‘청풍골드무’(한농종묘, 서울, 한국)를 이용하였으며, 새싹무를 온실에서 녹화 시에 CO_2 처리를 하였다. 실험 방법은 CO_2 가스 처리를 하지 않은 무 처리(A)와 CO_2 가스 농도를 Muthusamy 등⁵⁾ 결과를 근거로 하여 700ppm 살포 처리(B)와 탄산수 처리는 Woo 등⁶⁾의 방법을 참고로 하여 음료용으로 사용되는 탄산수를 700 ppm 처리(C)와 1,400 ppm 처리(D)로 Fig. 1과 같이 하였다.

무 싹채소를 4일간 암상태에서 재배 후, 6일간 온실에서 녹화시켰는데, 녹화 시에 탄산가스를 처리하였다. 암상태 재배는 직팽식공기조화기(SM-3303T, 창성엔지니어링, 한국)가 설치된 챔버 안에서 온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도는 $80 \pm 5\%$ 에서 하였으며, 녹화 시에는 국립원예특작과학원 육묘 온실 내에서 재배하였는데, 온실 내 온도는 $15.7 \pm 3.4^\circ\text{C}$, 습도는 $55.3 \pm 13.0\%$ 이었다. 무의 파종은 200공 트레이에 시판용 상토(바이오상토 1호, ㈜팜농, 서울, 한국)를 이용하였다. 이산화탄소(CO_2) 처리는 싹채소를 가스 밀폐형 아크릴챔버($60 \times 30 \times 35$ cm, 경기아트, 수원, 한국)넣어 오전 시간 동안 처리하였으며(09시~13시), 처리 후 챔버를 개봉하였다. 생육조사는 농촌진흥청 조사기분표⁸⁾에 따라 초장, 엽장, 엽폭 등을 조사하였으며, 통계분석은 SAS (ver. 9.2, SAS Inc., USA)를 이용하여 완전임의 배치 5반복으로 하였다.

2. 엽록소형광과 SOD (superoxide dismutase) 분석

엽록소형광 반응 변화를 Barba Gallo⁹⁾, Genty 등¹⁰⁾,

Gorbe 등¹¹⁾과 Yoo 등¹²⁾의 보고를 참고하여 다음과 같이 조사하였다. 엽록소 형광 이미지 분석은 무 싹채소의 재배 후 수확 시에 chlorophyll fluorometer (IMAGING-PAM, Walz, Effeltrich, Germany)를 이용하여 측정하였다. 조사 시 30분 이상을 광을 차단하여 암적응시킨 식물의 잎에 $1,500 \mu\text{mole/m}^2/\text{sec}$ 의 포화광을 조사하여 최대 quantum efficiency (F_v/F_m)의 형광이미지와 수치를 얻었다.

SOD 활성은 Dhindsa 등¹³⁾과 Kim¹⁴⁾, Zhang 등¹⁵⁾의 방법에 따라 nitro blue tetrazolium (NBT)의 광 환원 억제 능력을 측정함으로써 분석 하였다. SOD의 한 단위는 분석 조건 하에서 NBT 감소의 50% 억제를 생성하는 효소의 양으로 한정하여 측정하였다.

3. 모의유통 방법, 포장 내 가스 (CO_2 및 O_2) 농도

무 싹채소는 수확후 무공의 PP 필름(polypropylene, 두께: $30 \mu\text{m}$, 크기: 15×20 cm) 봉지에 20 g 씩 포장하여 밀봉하였다. 모의유통은 일반 매장에서 이용되는 쇼케이스 냉장고(Zikor, Samsun Inc., Inchon, Korea)에서 저장온도 $10 \pm 1^\circ\text{C}$ 조건 하에서 저장하면서 모의유통을 가정하여 수행하였으며, 실험 시 반복은 4반복으로 하여 3일 간격으로 조사하였다.

포장의 내부 기체조성(CO_2 및 O_2)은 Lee 등¹⁶⁾ 방법을 참고로 하여서, 필름의 표면에 septum을 부착한 뒤 헤드스페이스 가스분석기(Checkmate 9900, PBI Dansensor Co., Denmark)를 이용하여 3일 간격으로 측정하였다.

4. SPAD 지수와 색도(hue angle)변화 측정

Lee 등¹⁶⁾의 보고를 참고하여 엽록소계(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 3일 간격으로 측정하였다. SPAD값(soil & plant analyzer development)은 녹색 정도(greenness)에 따른 엽록소 함량 변이를 추정하여 측정 표시한 것이다¹⁷⁾.

무 싹채소의 색도 변화는 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 lightness(명도), hunter a(red-green)와 b(yellow-blue)값을 측정하였고, 측정된 hunter a와 b값을

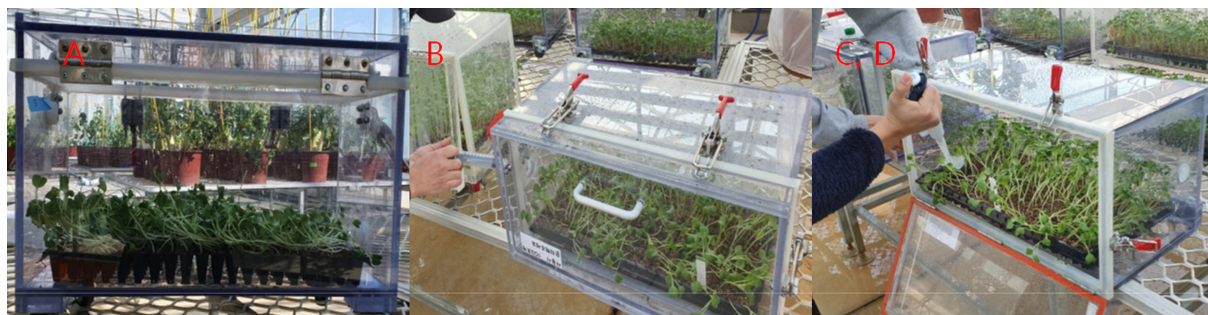


Fig. 1. Four methods of CO_2 treatment on acrylic box: (A) Control with non-treatment; (B) Gas treated CO_2 with $700 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ content; (C) Carbonated water treated CO_2 with $700 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ content; and (D) Carbonated water treated CO_2 with $1,400 \text{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

환산하여 hue angle(°)를 구하였다. 환산 시에 $a^* > 0$, $b^* > 0$ 일 때 Hue angle(°) = $\text{Arc tan}(b/a)$ 식을, $a^* < 0$, $b^* > 0$ 일 때 Hue angle(°) = $180 + \text{Arc tan}(b/a)$ 식을 사용하였다.

5. 신선도 평가 및 외관 변화와 생체중량 감소 조사

무 싹채소의 신선도 평가 및 외관에 의한 품위 변화는 Bark 등¹⁸⁾와 Jeong 등¹⁹⁾의 방법을 참고로 하여, 훈련된 3명의 평가원들이 실험재료의 색, 형태변화, 신선도 등을 상등 급에서 하등급까지 5단계를 두어 3일 간격으로 조사하였다 (선도 기준: 4 = 매우 신선, 수확 당시와 유사, 3 = 선도 약간 저하, 팽택 비슷, 2 = 선도저하, 변색, 1 = 연화 시작, 시장성 상실, 0 = 부패시작, 식용불가, 상품성 상실). 저장 시 증산 및 호흡에 의해 생체중 감소(감모)가 일어나는데, 중량감소는 입고 시 중량에 대한 생체중의 감소 정도를 백분율로 표시하였다.

결과 및 고찰

1. 생육

무 싹채소의 재배 중에 이산화탄소(CO₂)처리로 일부 생장량에서 차이를 보였으나, CO₂ 처리 방법 간에 차이를 보이지 않았다. ‘청풍골드무’ 싹채소의 재배 동안에 CO₂ 가스와 탄산수 처리로 인하여, 무 싹채소의 경장과 경경이 Table 1과 같이 생육 차이를 나타냈으나, Fig. 2a에서 외형 간에는 차이를 구별하기는 어려웠다.

무 싹채소에서 CO₂ 가스와 탄산수 처리는 경장(줄기 길이)과 경경(줄기 두께)의 생육에 영향을 미쳐, 경장은 CO₂ 가스(B)와 탄산수 처리(C, D)가 56.2~60.6mm으로 무처리(A)가 48.2mm보다 긴 반면에, 경경은 무처리(A)에서 1.94mm으로 CO₂ 가스(B)나 탄산수 처리(C, D)의 1.74~1.92mm으로 두꺼운 것으로 나타났다. 그 외 초장은 CO₂ 처리한 것이 무처리 보다 큰 경향을 보였고, 엽장이나 엽폭에서 무처리가 큰 경향을 나타냈으나, 생체중에서는 처리 간의 차이를 보이지 않았다. CO₂ 처리 유무에 따라 경장에 차이를 보였으나 CO₂ 처리 방법 간에는 차이를 보이지 않았다. CO₂가스가 싹채소 경장의 생육을 촉진시키지만, 가스나 탄산수로 처리하든지 간에 처리 CO₂ 방법이 크게 영향을 미

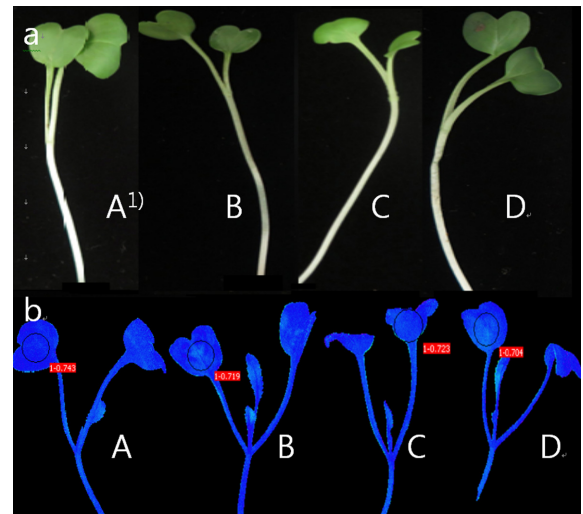


Fig. 2. Appearance (a) and chlorophyll fluorescence image (b) of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment
1) Refer to Fig. 1 for CO₂ treatment.

치지 못하는 것으로 보인다. Fig. 2a의 외형에서는 육안에 의한 판단에 있어서 CO₂ 가스나 탄산수 등의 처리 간에 큰 차이를 인지할 수 없었으며, CO₂ 처리에 따른 생육에서 장애를 보이지 않았다. Woo 등⁶⁾은 상추 생육 중의 CO₂ 처리에 따라 생체중은 비롯한 대부분의 생육량에서 탄산수 엽면 시비가 이산화탄소(CO₂)가스 처리와 같은 효과를 보여 차이가 난다고 하였다. 본 실험에서도 Woo 등⁶⁾과 마찬가지로 탄산수에 의한 CO₂의 시비가 가스 처리와 같은 효과를 나타내는 것으로 보인다. 무 싹채소와 같이 짧은 재배 기간 동안 CO₂ 처리로도 일부 생육 특성에서 차이를 보였으며, 외관에서는 CO₂를 탄산수 처리에 의한 장애는 발생하지 않았다. 무 싹채소의 생육 중 CO₂ 가스와 탄산수 처리로 일부 생육량에서 차이는 CO₂ 처리가 경장이 다소 길고 경경이 얇아지는데, 전체적으로 양적인 증가보다는 줄기 생장에만 한정되는 것으로 판단된다.

Woo 등⁶⁾은 CO₂ 시비에 대해 탄산수 처리가 CO₂ 가스와 동일한 효과를 얻고 경제적으로 이익을 얻을 수 있다고 하였는데, 무 싹채소에서 CO₂ 처리에 의해 경장의 길이 증가로 다소 생육에서 효과를 보여, 수확전에 생육을 촉진하기 위해 고려할 만한 방법으로 생각된다.

Table 1. Growth of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment

CO ₂ treatment	Fresh weight (g)	Plant length (mm)	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Stem length (mm)	Stem width (mm)
A ¹⁾	0.6a ²⁾	111.2a	20.1a	23.2a	48.2b	1.94a
B	0.6a	122.6a	20.6a	21.8a	60.6a	1.88ab
C	0.5a	118.6a	18.4a	21.4a	57.8a	1.74b
D	0.6a	120.0a	18.2a	21.6a	56.2ab	1.92ab

¹⁾Refer to Fig. 1 for CO₂ treatment

²⁾Mean separation within column by Duncan's multiple range test, P=0.05.

2. Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)와 SOD (superoxide dismutase)

무 싹채소 생육 중의 녹화 시 CO₂ 처리에 의한 엽록소 형광 반응을 Fig. 2b 및 Fig. 3a와 같다. CO₂ 처리에 따른 무 싹채소의 엽록소 형광반응의 Fv/Fm 값에는 차이가 없어 보였다. Yoo 등¹²⁾의 보고에 따르면, 엽록소형광 반응은 식물의 광합성에서 외부 환경으로부터 받는 스트레스 정도에 따라 광화학 활성이 반응 증가 또는 감소에 따른 형광 반응량이 변하는데, 엽록소형광 반응 측정 장치를 이용하여 광반응 활성능력을 엽록소형광 변수로 측정하는 것으로, 스트레스와 관련된 연구에서 식물체를 암상태에 방치한 후에 빛을 조사하여 최대형광값/최소형광값 비(Fm/Fo ratio)를 이용하여 식물체의 건전 정도를 추정하였으나, 근래에는 Fm/Fo ratio 보다는 광계 II의 최대 광화학적 효율을 나타내는 변동형광값/최대형광값 비(Fv/Fm Ratio)의 엽록소형광 변수를 보편적으로 이용하고 있으며, 일반적인 정상 범위로 0.78~0.84의 값을 나타낸다고 하였다. 무 싹채소의 수확 시 엽록소형광 변수(Fv/Fm) 값은 CO₂ 처리가 0.71~0.72으로 무처리의 0.74보다 낮을 뿐 아니라 다소 정상 범위보다 벗어나 있지만, 이는 CO₂ 처리 시 개체에 따른 차이로 발생한 편차로 판단된다. Oh 등²⁰⁾은 배추에서 CO₂를 농도별로 달리 처리하여도 유의 차이를 보이지 않으며, 스트레스를 받지 않는다고 하였다. Fig. 3에서 무 싹채소에서 녹화 시 Fv/Fm값을 보면, Oh 등²⁰⁾의 결과와 같이 CO₂처리에 의해 무 싹채소에 큰 스트레스는 없었고, 처리 간의 차이도 없어 보인다.

Fig. 3b에 측정된 SOD 함량 비교에서, CO₂처리에 의해 높아지는 경향을 보였으나, CO₂처리 방법이나 농도에 따른 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다. Kim 등²¹⁾은 보리싹에서 SOD가 황산화 물질 중에서 효능이 좋으며, 인체 내에서 내

생 SOD 외에도 내생 글루타치온, 카탈라아제, GPX를 자극으로 인해 인체 내에서 저항력을 높이며, 노화와 질병을 억제한다고 보고 하였다. SOD 함량 증가에 대해 Lee 등²²⁾은 식물의 스트레스 환경 하에서 광화학계 I과 II가 손상되고, 발생된 여기에너지로 인해 식물체에 활성산소종이 생성되며, 이에 대해 황산화체계를 갖으며, SOD와 같은 황산화 효소의 활성이 증가된다고 하였다. 무 싹채소에서 CO₂ 처리에 의해 높아지는 경향을 보였으나, CO₂ 처리 방법에 따라 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다. 무 싹채소에서 CO₂ 처리에 따른 엽록소형광 변수(Fv/Fm)에 큰 차이가 없듯이, SOD에서도 처리에 따른 효과가 크지 않아, 차후의 연구에서는 CO₂농도 범위를 확대하여 다루어질 필요가 있을 것으로 생각된다.

3. 포장 내 가스(CO₂ 및 O₂) 농도

무 싹채소의 모의유통 중 이산화탄소(CO₂) 처리 여부에 따라 포장 내 가스 조성에서 다소 차이가 나타났다. 모의유통 조건 하에서 무공 PP 필름 포장 내 무 싹채소의 호흡에서 O₂농도는 감소하고 CO₂는 증가하는데, 수확전 CO₂ 가스 및 탄산수 처리에 따른 영향을 보면, 무처리는 CO₂ 처리구보다 O₂ 감소량이 적고 CO₂ 발생량이 다소 낮아 호흡의 정도가 낮은 경향을 보였다.

무 싹채소 포장 내 O₂ 조성변화를 보면, Fig. 4에서 무처리가 3일째에 16.1%에서 6일째 13.9%까지 감소하였으며, CO₂ 가스 700 ppm의 직접 처리는 3일째에 15.1%로 6일째에는 10.3%까지 감소하였고, 탄산수로 하여 CO₂ 700 ppm 처리는 3일째에 14.6%이고 6일째에 13.8%로 감소하였으며, 탄산수로 하여 1,400 ppm 처리는 3일째에 14.6%로 6일째에 9.8%로 감소하는 것으로 나타났다. 포장 내 무 싹채소의 CO₂ 농도는 Fig. 4에서 무처리가 3일째에 3.2%이고 6

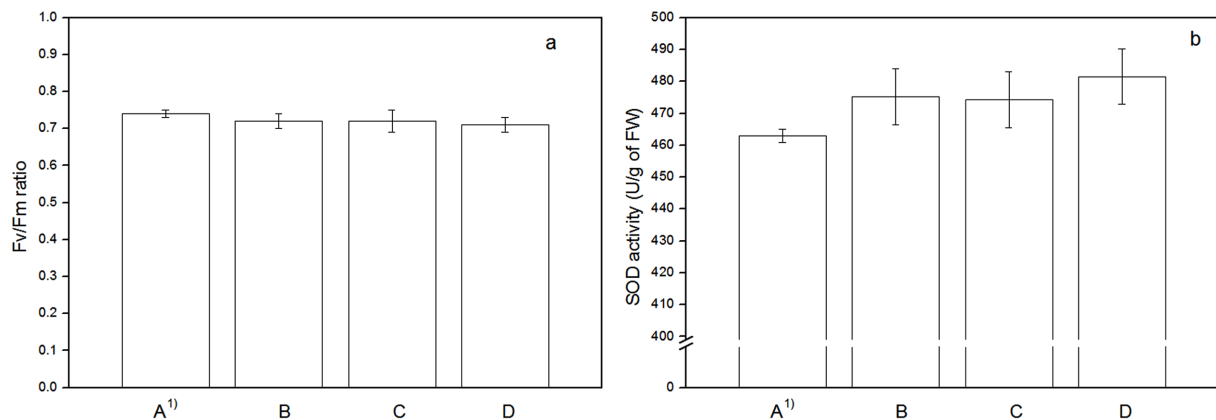


Fig. 3. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters (Fv/Fm ratio) and superoxide dismutase (SOD) of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment.

¹⁾Refer to CO₂ treatments in Fig. 1.

Data represent the mean $\pm$ SE of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

일째에 3.6%로 증가한 반면에, CO₂ 가스 직접 처리는 3일째에 3.6%이고 6일째에는 4.9%였으며, 탄산수 700 ppm 처리가 3일째에 3.7%로, 6일째 5.0%이었으며, 탄산수 1,400 ppm 처리는 3일째 4.3%이었으며 6일째 6.5%까지 증가하는 것으로 나타났다. CO₂ 가스 처리 방법에 따라서는 CO₂의 축적이나 O₂ 감소는 탄산가스를 700 ppm으로 처리 시 큰 차이가 없으나, 탄산수 처리에서 700 ppm 보다는 1,400 ppm으로 처리한 것이 약간 호흡이 높은 경향을 보였다. Lee와 Lee²³⁾은 어린잎 채소 포장 내에 호흡에 의한 가스 농도 변화는 품질에 영향을 미치는 것으로 판단하였으며, 가스 조성의 차이는 작물의 호흡 능력 차이보다는 포장재와 같은 물리적 장벽에 의해 달라진다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 동일한 포장방법으로 포장하였음에도 불구하고, 포장 내 가스 농도가 조성 정도에 경향이 다소 차이를 보여, 작물이 수확전 처리에 따라 서로 호흡 정도에 영향을 미치는 것으로 보인다. DeEll 등²⁴⁾은 8°C 저장 시 가스 농도가 15% CO₂와 5% O₂의 조건에서 mung bean 싹채소가 5일 이상 저장성이 향상된다고 하였는데, 본 연구에서는 CO₂농도는 더 낮고 O₂는 높아서, 무 싹채소의 이상적인 조건 조성 하의 저장을 위해서는 저장 전 재배 방법의 개선과 함께 포장 소재를 보다 더 탐색하여 적극적인 MA 방법에 대해 모색해야 될 것으로 생각된다.

4. 생체중 변화

무 싹채소의 모의유통을 통한 저장 중의 생체중량 감소 정도가 미비하고, 수확전 CO₂ 가스 처리에 따른 수확후 무 싹채소의 생체중량 변화에는 영향이 적은 것으로 보인다. Fig. 5에서 ‘청풍골드무’ 싹채소를 무공의 PP 필름으로 포장하여 모의유통 조건을 가정하여 show case 형 냉장고에 10°C에서 저장하며, 수확전 탄산가스처리가 생체중량 정도에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 5에서 무 싹채소의 모의유통 중 생체중량 감소는 수확전 처리에 상관없이 6일 동안에 0.5% 정도의 매우 감소 정도가 적은 것으로 나타났다. 생체중량 변화에서(Fig. 5), 무처리가 3일째에서 0.2%이고 6일째에 0.5% 감소한 반면에 CO₂ 가스 처리별로 3일째에 0.1%, 6일째에는 0.4-0.5%의 감소 정도를 보여서, 무 싹채소에 CO₂ 가스처리에 따른 수확후 생체중량 변화량이 적기는 하였지만, CO₂ 가스 처리 여부에 따라 중량 감소 정도에 다소 경향을 달리하여서, 무처리가 CO₂ 가스 처리보다 다소 높게 유지되는 경향을 보였다. 무 싹채소의 생체중량 변화는 일반적인 채소류에서 품질에 영향을 주는 생체중량 감소가 3~5% 내외로 알려져 있는 것을 고려할 때²⁵⁾, 0.5% 미만으로 수확전 탄산가스 처리에 따라 경향을 달리 하였지만, 수확전 CO₂ 처리로 생체중으로 인한 품질 변화를 언급하기는 어려워 보인다.

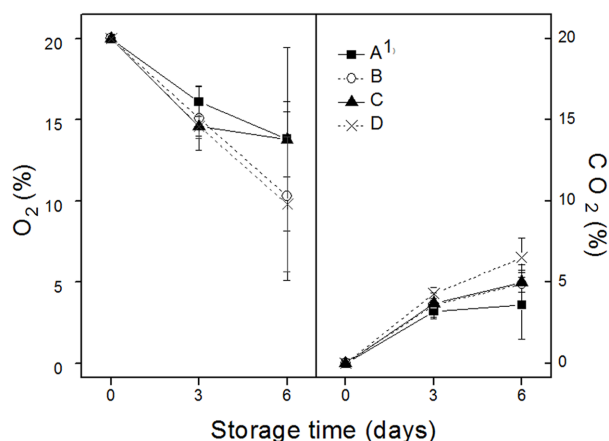


Fig. 4. O₂ and CO₂ partial pressure of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment at 10°C storage condition.

¹⁾Refer to CO₂ treatments in Fig. 1.

Data represent the mean ± SE of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

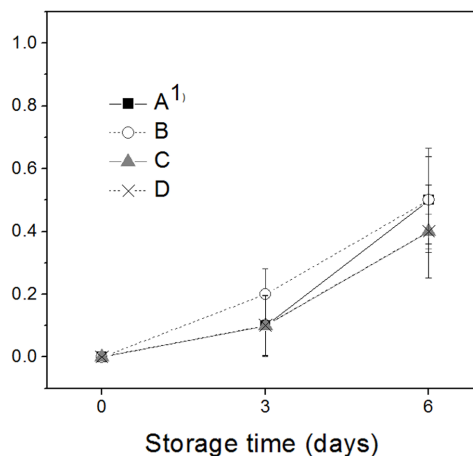


Fig. 5. Fresh weight loss of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment at 10°C storage condition.

¹⁾Refer to CO₂ treatments in Fig. 1.

Data represent the mean ± SE of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

5. SPAD과 색상(hue angle) 변화

무 새싹 채소 저장 중 SPAD 지수가 감소하는데, 수확전 CO₂ 가스 처리에 따라 감소 정도에 다른 경향을 보였다. SPAD 측정은 infrared LED 광과 적색광을 조사하여, 반사와 투과 정도를 통해 엽의 엽록소 함량 변화 정도를 판정하는 것으로, 같은 개체를 비파괴적이며 경시적으로 조사할 수 있는 장점이 있다¹⁶⁾. Bark 등¹⁸⁾은 매번 다른 개체의 분석을 통해 엽록소 함량을 측정하는 것보다는 동일 개체의 SPAD 값을 측정하여 효과적으로 엽록소 변화를 유추할 수 있다고 하였다. 엽록소 변화와 관련하여 Choi 등²⁶⁾은

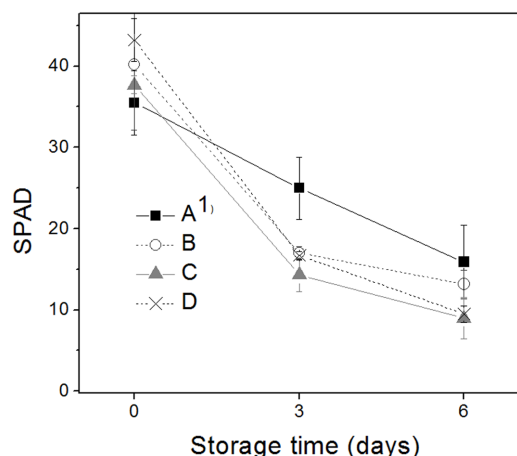


Fig. 6. SPAD value of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment at 10°C storage condition.

¹⁾Refer to CO₂ treatments in Fig. 1.

Data represent the mean $\pm$ SE of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

시금치의 엽에서 황화 현상으로 상품성이 저하되는데, 황화는 저장 중의 조직 붕괴에 따른 엽록소 파괴로 원인을 추정하였고, Jeong 등¹⁹⁾은 녹색꽃양배추에서 엽록소 함량 감소에 따른 황화 현상으로 엽채류에서 상품성이 감소한다고 지적하였다. 따라서 원예작물의 저장 기간 동안 엽록소의 손실로 황화가 진행되어 SPAD 값이 줄어 드는데²⁷⁾, Fig. 6과 같이 수확전 CO₂ 처리 여부에 따라 SPAD 지수 감소에 있어서 변화 정도는 모의유통 초기에 무처리가 35.5으로 CO₂ 처리의 37.7~43.2 보다 낮았으나, 3일에는 무처리가 25.0으로 CO₂ 처리한 것이 14.3~17.0으로 오히려 높은 수치를 보였으며, 6일에는 무처리가 15.9으로 CO₂ 처리가 9.0~13.2으로 지속적으로 다소 높은 지수를 유지하였다. 무 싹채소의 SPAD 변화 정도를 보면, 녹화 시의 CO₂ 처리에서 오히려 황화 정도가 더 진행되어 변화 정도가 큰 것으로 보이는데, 이는 Fig. 6과 같이 가스 조성 변화에서 보이는 호흡의 차이에 의해 엽록소 손실에 영향을 미치는 것으로 유추된다. Lee 등²⁷⁾은 엽채류인 상추에서 포장 방법에 따라 SPAD 값의 차이를 보이면서 외관의 품위가 달라졌다고 보고하였는데, 본 연구에서도 SPAD 값의 변화로 외관의 품위 변화를 보이나 포장방법이 동일한 내에서도 수확전 탄산 가스 처리에 따라 경향이 달라져, 탄산가스 처리 여부가 수확후 모의유통에서도 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다. 무 싹채소에서 탄산가스 처리는 수확전 생육량을 증가시키기는 하였으나, 수확후에 엽록소 함량 감소가 더 빨라져 품위에는 역효과를 보이는 것으로 나타났다.

색도에서는 무 싹채소 모의유통으로 저장 중의 110°이상의 hue angle 값을 유지하였으나, hue angle의 수치는 점차 감소하는 것으로 나타났다. Hue angle 값이 높을수록

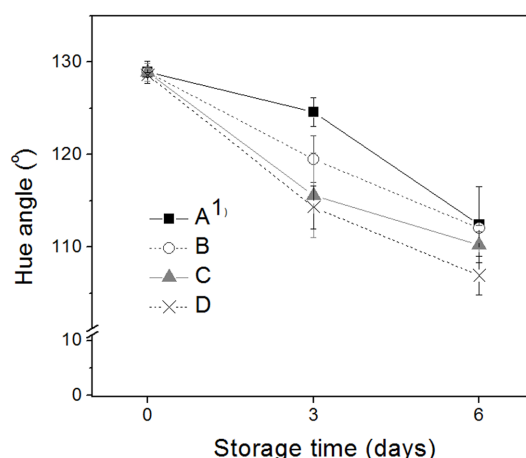


Fig. 7. Hue angle of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment at 10°C storage condition.

¹⁾Refer to CO₂ treatments in Fig. 1.

Data represent the mean $\pm$ SE of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

녹색을 진하게 띠는 것을 의미하며, 값이 낮아질수록 노랗게 황화되어 변색되는 것을 의미한다²⁹⁾. Cho 등²⁹⁾은 화채류인 브로콜리에서 황화 현상은 클로로필 손실로 인해 발생하는 노화에 대한 대표적인 가시적인 현상으로, 클로로필 손실로 인하여 브로콜리 화회에서 황화 현상이 비례적으로 발생하고, hue angle 수치가 감소하기 때문에, 비파괴적인 품질 지표가 될 수 있다고 보고 하였다. Fig. 7에서는 무 싹채소의 모의유통 중 hue angle 값은 10°C에서 저장하는 모의유통 초기에는 128.6~128.9°로 처리 간 차이가 크지 않았으나, 3일째에 무처리는 124.6°에 6일째에 112.4°로 유지하였고, 가스로 CO₂ 700 ppm처리는 3일째 119.5°에 6일째에 112.0°였으며, 탄산수로 700 ppm으로 3일째에 115.6°에 6일째에 110.2°, 탄산수로 1,400 ppm 3일째에 114.3°에 6일째에 106.9°이었다. 무 싹채소 저장 중 hue angle은 수확전 녹화 시 CO₂ 처리 여부에 따라 영향을 받는 것으로 보였으며, 무처리가 CO₂ 처리보다 다소 높게 유지되는 것으로 나타났고, CO₂ 처리 방법에 따라서도 CO₂는 가스 처리가 탄산수 보다 다소 hue angle 값이 높은 경향을 보였다.

6. 외관 변화

무 싹 채소의 외관 변화에 따른 선도 차이는 수확전 CO₂ 처리에 영향을 미쳤다. Fig. 8에서 무처리가 외관의 품위가 좋고 선도도 탄산가스 처리보다 높게 유지하는 것으로 나타났다. CO₂ 처리는 모의유통 시 저장 3일이나 6일째 모두 무처리보다 감소 정도가 컸으며, 이로 인한 선도도 떨어지는 것으로 보인다. Fig. 8에서 저장 중 외관의 변화로 지수가 감소하는데, 외관 수치는 Bark 등¹⁸⁾의 보고를 참고하여, 4.0일째가 수확 당시와 같이 유사하게 가장 좋은

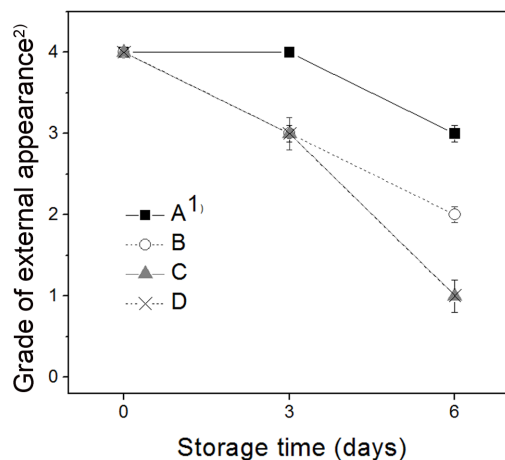


Fig. 8. Grade of external appearance of radish sprout vegetable as affected by CO₂ treatment at 10°C storage condition.

¹⁾Refer to CO₂ treatments in Fig. 1.

²⁾External appearance: 4 = very good, 3 = good, 2 = fair, 1 = poor, 0 = very poor.

Data represent the mean ± SE of four replicates. Some error bars are masked by the symbol.

상태이며, 저장성이 지속될수록 지수가 떨어져서 2.0 정도에서 시장가치가 떨어져 이용이 어려울 것으로 판단하였으며 0은 부패나 수분 손실로 인하여 상품성이 전혀 없는 것으로 판단하였다. 신선도의 변화에 따른 외관 지수는 Fig. 8에서 모의유통 시 무처리는 저장 3일째에 4.0에 6일째에 3.0이었으며, CO₂ 가스 직접 처리는 3일째에 3.0에 6일째에 2.0이었으며, 탄산수 700 ppm와 1,400 ppm 처리는 3일째에 3.0에 6일째에 1.0으로 나타나서, CO₂ 가스 처리는 3일 정도까지의 지수가 3.0으로 이후에는 상품성이 없는 것으로 보였다. 무 싹채소의 외관 지수 변화에서 생체중량 감소 정도가 상품성에 차이를 보일 정도로 크지 않아 생체중량의 영향은 적은 것으로 보이며(Fig. 5), SPAD의 Fig. 6와 hue angle의 Fig. 7의 감소에서 보듯이 CO₂ 가스 처리가 더 큰 감소 차이를 보여, 이로 인한 상품성 감소에 영향을 미치는 것으로 보인다. 무 싹채소의 CO₂ 가스 처리는 생육에는 다소 영향을 미쳐 경장이 증가하는 경향을 보여 생육에 유리한 효과를 보였으나, 모의유통 시 저장 동안에는 무 처리보다 CO₂ 처리가 SPAD나 hue angle과 같은 변화폭이 더 커져서 외관과 같은 품질의 감소를 증가시켜, 수확전의 생육을 높이기 위한 처리가 오히려 모의유통 하의 저장 중에 역효과를 보였다. 무 싹채소의 수확후 관리 방법에 의한 연구는 있으나^{2,3,7)}, 수확전 재배 방법에 따라 싹채소의 유통현장에서 나타나는 영향에 대해서는 많지 않은 실정이다. 본 실험 결과 싹채소 생장 증진을 위해 처리한 CO₂ 처리는 수확전 생육에서 경장 외의 영향이 미약하고, 모의유통 시에 SPAD 및 hue angle 값이 더 낮아지는 것으로 나타나, CO₂ 처리가 생육에는 다소 긍정적인 효과가 있을지

모르나, 수확후 선도에는 오히려 역효과를 보이는 것으로 나타나서, 수확전 생육의 증가뿐 만 아니라 수확후 선도유지를 할 수 있는 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

어린 싹을 길러 이용하는 채소에 대한 관심이 커지고 있어, 무 싹채소의 생육 증진과 유통 중 나타나는 영향을 검토하고자 CO₂처리 효과를 검토하였다. 본 실험에서는 재배 중 CO₂ 처리를 가스나 탄산수 형태로 하여, 생육뿐만 아니라 수확후 모의유통 중 포장 내의 생체중량 감소, 선도와 hue angle 등 수확후 변화 정도를 조사하였다. 재배 후 수확 시 생육에서 처리 여부에 따라서는 CO₂ 처리가 무처리보다 경장이 약간 길어지는 효과가 있었으며, 엽록소형광이나 SOD 값에서 무처리와 CO₂ 처리가 다소 다른 경향을 보였다. 그러나 CO₂ 처리 방법 간의 차이를 언급하기는 어려워 탄산가스 대신 탄산수 이용의 가능성을 보였다. 수확후 포장 내의 CO₂ 처리로 인해 무 싹채소의 O₂ 소모가 크고 CO₂ 축적 정도가 다소 높아졌으며, 모의유통 중에 수확전 CO₂ 처리가 hue angle 값을 비롯하여 SPAD, 외관 등에서 낮은 수치를 보여주었다. 그러나 CO₂ 처리 방법 간에는 큰 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다. 무 싹채소의 재배 중 CO₂ 처리에 의한 처리가 경장 등의 생육량을 증가시키나, 모의유통 시 수확후 선도 유지의 효과가 크지 않아, 재배 중 다른 방법을 통한 품질을 개선할 수 있도록 연구가 더 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

- Kim, D.S., Lee, K.B. 2010. Physiological characteristics and manufacturing of the processing products of sprout vegetable. *Kor. J. Food Cookery Sci.* 26: 238-245.
- Lee, J.S., Kim, J.G., 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.
- Lee, J.S., 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.
- Park, T.J., Chang, J.H., Eom, S.H. 2017. Promote the value of sprout vegetables according to hydroponic nutrient conditions. *Hortic. Sci. Technol.* 35: 77(abstrat).
- Muthusamy M., Hwang J.E., Kim S.H., Kim J.A., Jeong M.J., Park H.C., 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.
- Woo Y.H., Kim D.E., 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.
7. Lee, H.E., Lee, J.S., Choi, J.W., Pae, D.H., Do, K.R. 2009. Effect of mechanical stress on postharvest quality of baby leaf vegetables. Kor. J. Food Preserv. 16: 699-704
 8. RDA (Rural Development Administration). 2003. Manual for agricultural investigation, RDA, Suwon, Korea.
 9. BarbaGallo, R.P., Oxborough K., Pallett K.E., Baker N.R. 2003. Rapid, non-invasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiol. 132: 485-493.
 10. Genty, B., Briantais J.M., 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.
 11. Gorbe, E. Calatayud, A. 2012. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. Sci. Hortic. 138: 24-35.
 12. Yoo S.Y., Eom K.C., Park S.H., 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.
 13. Dhindsa, R.S., Pulmb-Dhindsa, P., 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.
 14. Kim Y.S. 1996. Studies on changes of chemical contents and activity of SOD from buckwheat vegetable. MS, Thesis. Myongji University, YongIn, Korea.
 15. Zhang Y., Zhang M., Yang H. 2015. Postharvest chitosan-galicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. Food Chem. 174: 558-563.
 16. 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.
 17. Publishing committee for experiment method in plant nutrient (PCEMP). 1990. Experimental methods in plant nutrient. Hakuyusha, Tokyo, Japan.
 18. 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., 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.. 21:1-6.
 19. Jeong J.C., Woo P.K., 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.
 20. Oh S.J., Son I.C., Wi S.H., Song E.Y., Koh S.C. 2016. Photosynthetic and growth responses of Chinese cabbage to rising atmospheric CO₂. Kor. J. Agric. For. Meteorol. 18: 357-365.
 21. Kim Y.H. 2011. Extraction of Manganese SuperOxide Dismutase from sporouts of Barley (*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*). J. Sangmyung Uni. Eng. Res. Inst., 2011:42-47.
 22. Lee, S.Y., Jung, J.A., Sung, J.K., Ha, S.K., Lee, D.B., Kim, T.W., Song, B.H. 2014. Responses of nutrient uptake, carbohydrates and antioxidants against low temperature in plants. CNU J. Agri. Sci. 41: 75-83.
 23. Lee J.S., 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.
 24. DeEll J., Vigneault C., Favre F., Rennie T., Khanizadeh S. 2000. Vacuum cooling and storage temperature influence the quality of stored mung bean sprouts. HortScience. 35: 891-893.
 25. Kays J.S. 1991. Postharvest physiology of perishable plant product, AVI publishing, New York, USA
 26. Choi D.J., Lee S.H., Yoon J.T., Oh S.G., 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.
 27. Lee J.S., Chung D.S., Choi J.W., Jo M.A., Lee Y.S., Chun C.H. 2006. Effects of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce. Kor. J. Food Preserv. 13: 8-12.
 28. Lee J.S., Lee H.E., Lee Y.S., Chun C.H. 2008. Effect of packaging methods on the quality of leaf lettuce. Kor. J. Food Preserv. 15: 630-634.
 29. Cho M.A., Hong Y.P., Choi J.W., Won Y.B., Bae D.H. 2009. Effect of packaging film and storage temperature on quality maintenance of broccoli. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27: 128-139.

투고: 2020.08.15 / 심사완료: 2020.08.27 / 게재확정: 2020.08.28