

생육온도와 MA저장이 적로메인 상추 어린잎의 품질과 저장성에 미치는 영향

최담희¹ · 이주환¹ · 최인이^{2,3} · 강호민^{1*}

¹강원대학교 스마트농업융합학과

²강원대학교 원예학과

³강원대학교 농업생명과학연구원

Effect of Growth Temperature and MA Storage on Quality and Storability of Red Romaine Baby Leaves

Dam Hee Choi¹, Joo Hwan Lee¹, In-Lee Choi^{2,3}, and Ho-Min Kang^{1*}

¹Interdisciplinary Program in Smart Agriculture Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Agricultural and Life Science Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract This study was conducted to compare the quality of baby leaves grown under several temperature conditions and the storage properties of MA storage for romaine lettuce. It was grown for 5 weeks under an artificial light source ($200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) in a chamber at 21°C, 28°C, and 35°C. The growth and quality of red romaine lettuce that grown in different temperatures were investigated at the end of cultivation, and the oxygen, carbon dioxide, and ethylene concentrations in the 20,000 cc OTR film and perforated film packed with lettuces were measured for 36 and 12 days, respectively. The red romaine lettuce baby leaf was examined for color, chlorophyll, and visual quality at the end of storage. The maximum quantum yield of baby leaf grown in different temperatures at 7 days before the harvest was higher at 21°C and 28°C growth temperature treatments. On harvest day, the leaf length measured was longest at 28°C, and the leaf width was wider at 21°C and 28°C, and the number of leaves was similar to 5-6 at all cultivation temperatures. Leaf weight, root weight, and dry weight were found to be higher at 21°C, and tended to decrease as the cultivation temperature increased. The concentration of ethylene in the film of the MA storage treatments was maintained at $1\sim 2 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ until the end of storage in all treatments regardless of the cultivation temperature. Oxygen concentration in the MA treatment used 20,000 OTR film was maintained at around 19.5%, and carbon dioxide concentration around 1% that was satisfied the CA conditions. Both Hunter a* and b* values were generally higher in the MA storage treatment at the end of storage day. The chlorophyll content was decreased as the cultivation temperature increased, and was lower in the MA storage treatment than in the perforated film treatment. Visual quality was 3 points or higher in the MA storage treatment at 21°C growth treatment, and it was maintained marketability. As the above results, the growth of baby leaves of romaine lettuce was the best at 21°C treatment, and the lower the cultivation temperature, the longer the shelf life. And it was possible to extend the shelf life by 3 times by showing excellent visual quality at the MA storage treatment that satisfies the carbon dioxide concentration of CA condition until the end of storage day.

Keywords Carbon dioxide, OTR film, Shelf life, Visual quality

서 론

*Corresponding Author: Ho-Min Kang
Division of Horticulture and Systems Engineering, Program of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
Tel: +82-33-240-6425 Fax: +82-33-243-6620
E-mail: hominkang@kangwon.ac.kr

상추는 재배 적온이 15°C에서 20°C인 호냉성 작물로서 지구온난화 현상으로 인한 기후변화는 수확량 감소, 품질 저하 등의 손실을 야기한다¹⁾. 고온 조건에서 재배한 상추는 적온에서 재배된 상추에 비해 쓴맛 성분이 증가하고 조

기 추대, tip burn 현상 등의 품질적인 문제가 생기며^{2,3)}, 호흡량이 많고 노화가 빨리 일어나 저장성이 불량해지므로, 호냉성 채소이자 상추류인 결구상추의 경우도 여름철에는 고랭지 지역에 한정되어 재배되고 있지만, 높은 품온으로 인해 저장기간이 짧다⁴⁾.

현재 우리나라도 연평균 온도가 상승하고 있으며, 야간 기온이 25°C 이상인 열대야현상 등의 문제가 발생하고 있다. 온도는 작물 재배에 있어서 중요한 환경요인 중 하나이고, 작물 재배 시 생육 적온을 유지하지 못하면 생육 중 스트레스 요인으로 작용해 품질이 저하된다⁵⁾. 또한, 고온은 노지재배 채소에만 국한적으로 영향을 미치는 것이 아니라 시설 내부 온도까지 상승시키기 때문에 시설재배에도 영향을 준다⁶⁾. 높은 기온은 대기 중 이산화탄소 농도를 증가시키는데, Bert 등⁷⁾은 대기 중 이산화탄소 농도가 증가하면 식물체 기공전도도를 감소시켜 증산량을 줄이기 때문에 식물의 체온 조절이 원활하지 않아 고온에 의한 피해가 증가할 수 있다고 하였다.

식물 체내 물질은 광합성으로부터 만들어지는데, 고온 환경은 식물의 광계II와 같은 광합성 기구를 손상시킨다^{8,9)}. 고온에 장기간 노출이 되면 광합성이 충분히 일어나지 못하므로 작물 내 동화 산물이 제대로 축적되지 않을 수 있어 결국 생육저하로 이어진다⁵⁾. 사과와 경우 여름철 야간 기온이 낮은 지역에서 재배될 때 당도가 더 높다는 하였는데¹⁰⁾, 이는 식물이 야간에는 호흡을 통한 이화작용으로 낮에 만들어진 동화산물을 소모하여 고온일수록 호흡이 많아져 당도가 낮아지기 때문이다. 이에 생육 온도를 조절할 수 있는 시설재배와 식물공장의 필요성이 높아지고 있다. 온도와 더불어 광 조건도 광합성의 필수 조건인데, Cha 등¹¹⁾은 적축면 상추의 안토시아닌 색소발현을 위해서는 $120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상의 광도가 필요하다고 하였다. 또한, Park 등¹²⁾은 광도 $200\sim 300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 명기/암기는 12h/12h 또는 18h/6h 시간 처리가 상추 생육에 좋은 영향을 끼친다고 하였다. 잎 상추의 경우 증산작용이 활발하여 저장 중 생체중 감소가 높는데, 0~5°C의 저온과 필름 포장 처리를 통한 고습도 유지로 저장 일수가 연장된다고 하였으며, 결구상추는 저장온도가 낮으면 품종과 같은 내재 된 요인이 억제되면서 저장성의 차이가 나타나지 않는다고 하였다^{13,14)}.

이에 본 연구는 로메인 상추를 대상으로 몇 가지 온도 조건에서 재배한 어린잎의 품질과 MA(Modified atmosphere) 저장 중 품질변화 및 저장수명을 비교하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 재배 방법

본 실험의 공시재료인 적로메인 상추('Caesars Red', Asia seed, Korea)는 강원대학교 내 플라스틱 온실에서 원예용

상토(Baroker, Seoul Bio, Korea)를 충전한 플러그트레이(108공)에 파종하여 20°C 챔버 암조건에서 발아시켰다. 그 후, 떡잎이 2매 출현한 적로메인 상추를 각각 21°C, 28°C, 그리고 35°C로 설정한 챔버에서 5주간 재배하여 본엽이 100 mm 정도인 어린잎 상태에서 수확하였다. 챔버 내 인공 광원으로 백색 형광등(PL-L 36W, Philips, Nederland)을 사용하였으며, 광도는 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 주간 16시간, 야간 8시간으로 설정해 유지하였다^{11,12)}.

2. 재배 종료일 생육 및 특성 조사

적로메인 상추 어린잎의 생육 조사 항목으로는 재배 종료일 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중, 근중과 건물중을 두었다. 엽장과 엽폭은 버니어 캘리퍼스를 사용해 측정하였으며, 엽수는 떡잎을 제외한 길이 1 mm 이상의 것을 조사하였고, 엽중과 근중을 측정 후 건물중을 측정하였다. 건물중은 70°C에서 48시간, 100°C에서 24시간 건조하여 조사하였다.

재배온도 환경에 따른 적로메인 상추의 호흡률과 에틸렌 발생률은 재배 종료일에 재배환경과 동일한 온도 조건에서 조사하였는데, infrared single beam sensor(Checkpoint 3, AMTEK mocon, USA)와 gas chromatography(GC-2010, Shimadzu, Japan)를 사용해 이산화탄소와 에틸렌 농도를 측정하여 호흡률과 에틸렌 발생률로 표시하였다.

재배 종료일의 최대 양자수율을 알아보기 위해서, 수확 전의 적로메인 상추의 잎 부분을 15~20분간 암적응 시킨 후 광합성 형광측정기(Junior-pam chlorophyll fluorometer, Heinz Walz GmbH, Germany)를 사용하여 최대 양자수율(Fv/Fm)을 조사하였다.

3. 저장 방법 및 품질평가 방법

수확한 적로메인 상추 어린잎은 예냉하여 PP(Polypropylene) 용기(137 × 95 × 30 mm)에 넣고 PP 필름을 레이저로 가공하여 산소 투과도를 조절한 OTR 필름(Oxygen transmission rate film, Dae Ryung Precision Industry Co., Ltd., Korea)으로 포장하였다. 포장용 필름은 예비 실험에서 적로메인 상추 MA 저장에 적합하다고 조사되었던 $20,000 \text{ cc}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$ OTR 필름을 사용하였다. 대조구로는 PP(Polypropylene) 필름을 타공한 유공필름(\varnothing 8 mm × 4 hole; perforated) 처리구를 두었다. 포장 후 $5 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대 습도 85% 저온고에서 대조구는 12일간, MA 저장 처리구는 36일간 저장하였다.

저장 중 생체중 감소율을 초기 중량에서 감소하는 중량을 백분율로 표현하였다. 포장 내 산소, 이산화탄소, 그리고 에틸렌 가스 농도는 infrared single beam sensor(Checkpoint 3, AMTEK mocon, USA)와 gas chromatography(GC-2010, Shimadzu, Japan)를 사용하여 조사하였다. 두 항목 모두 저장 직전 0일차 이후 3일 간격으로 조사되었다.

저장 종료일에 엽록소 함량, 엽색, 그리고 외관을 측정하였다. 엽록소 함량과 엽색은 엽맥을 제외한 지점을 측정하였으며, 엽록소 함량은 SPAD(502Plus, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였고, 엽색은 Colormeter(CR-400, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 측정해 Hunter L*, a*, b* 값으로 나타내었다. 외관상 품질평가는 5명의 숙련된 패널리스트가 진행한 Panel test로 수행하였다¹⁵⁾. 외관상 품질 정도는 저장 전 가장 양호한 상태 5점, 상품성을 유지한 상태 3점, 그리고 과도한 수분 증발로 인한 위조 혹은 과도한 무름 상태로 폐기 수준인 것을 1점으로 하였다. 위 사항들은 저장 직전 0일차와 저장 종료일에 측정하였다.

4. 통계분석

생육 실험은 10반복으로 품질 및 저장 실험은 5반복으로 수행되었으며, Microsoft Excel program(version 2019, Microsoft, USA)을 사용하여 표준오차, SPSS statistics program(version 24, IBM, USA)을 사용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 생육

적로메인 상추 어린잎의 엽장은 28°C 재배온도 처리구(이하 '재배구'라 칭함)에서 101.2 mm로 가장 길었고, 21°C, 35°C 재배구와 유의적인 차이를 보였다. 엽폭은 21°C 재배구가 48.1 mm, 28°C 재배구가 46.6 mm로 유사하게 넓었으며, 35°C 재배구가 가장 좁았다. 엽수는 모든 재배구에서 5~6장으로 유사하였다. 지상부 생체중은 21°C 재배구가 가장 높았으며, 재배온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 지상부 건물중은 21°C와 35°C 재배구가 높았으며 28°C 재배구는 가장 낮았다. 지하부 생체중과 건물중은 35°C 재배구가 높았고, 재배온도가 높아질수록 낮아지는 경향을 나타냈다(Table 1). Choi와 Lee¹⁶⁾는 잎상추를 대상으로 주간/야간 온도를 10/7°C, 20/15°C, 30/25°C로 설정하여 재배하였을 때, 재배기간과 관계없이 주야간 온도가 높을수록 생체중이 높았는데, 본 연구에서는 생육 온도가 높아질수록

Table 1. The leaf length, leaf width, no. of leaves, fresh weight, and dry weight of red romaine lettuce grown for 5 weeks at 21, 28 and 35°C in growth chamber that irradiated 200 μmol·m⁻²·s⁻¹

	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	No. of leaves	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
				Top	Root	Top	Root
21°C	76.8 ^b	48.1 ^a	5.5 ^a	1.83 ^a	0.74 ^a	0.30 ^a	0.08 ^a
28°C	101.2 ^a	46.6 ^a	5.8 ^a	1.41 ^b	0.54 ^b	0.15 ^b	0.06 ^{ab}
35°C	49.5 ^c	33.7 ^b	5.9 ^a	1.12 ^b	0.70 ^a	0.01 ^c	0.05 ^b

Within a column, different superscripts indicate significant differences (P ≤ 0.05)

Table 2. The respiration rate and ethylene production rate of red romaine lettuce harvested after 5 weeks grown in different temperature, and Fv/Fm at 7 days before harvest

	Respiration rate (CO ₂ ml·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	Ethylene production rate (C ₂ H ₄ μl·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	Fv/Fm
21°C	47.0 ^b	0.16 ^b	0.31 ^a
28°C	48.3 ^b	0.20 ^b	0.30 ^a
35°C	96.0 ^a	0.35 ^a	0.16 ^b

Within a column, different superscripts indicate significant differences (P ≤ 0.05)

생체중과 근중, 건물중은 낮아지는 결과를 보였다. 이는 본 연구의 야간 온도는 주간 온도와 동일하게 유지되었기 때문에 야간에도 고온 스트레스를 주기적으로 받았기 때문이라 생각한다.

호흡률과 에틸렌 발생률은 35°C 처리구에서 가장 높았으며, 21°C 처리구에서 가장 낮았으나 28°C와 유의적 차이는 없었고, 최대 양자수율은 21°C, 28°C 재배구가 약 0.3의 수치로 높았고, 35°C 재배구가 가장 낮았다(Table 2). 로메인 상추 호흡률은 20°C에서 30~38 mL CO₂·kg⁻¹·hr⁻¹, 에틸렌 발생률은 0.1 μL C₂H₄·kg⁻¹·hr⁻¹ 미만으로 알려졌으나¹⁷⁾, 본 실험에서 이들 값은 재배온도에 상관없이 기존 보고에 비해 높았다. 같은 작물이라도 어린잎 채소의 호흡률과 에틸렌 발생률이 성체에 비해 높았다는 기존의 보고와 유사하였다¹⁸⁾. 로메인 상추는 에틸렌에 민감도가 높는데¹⁹⁾, 본 실험의 경우 에틸렌 발생률이 높은 어린잎을 사용하여 MA 저장 시 노화 호르몬인 에틸렌에 의해 잎의 황화 현상이 우려되었다. 최대 양자수율은 광합성 잠재력 값을 표현한 것으로²⁰⁾, Maxwell과 Johnson²¹⁾은 적정 최대 양자수율은 0.83으로 보고하였으나, 식물공장에서 명기/암기가 18h/6h일 때 이보다 낮은 0.5 이하의 수준이었다²²⁾. 또한, An 등²⁰⁾은 오이의 엽온이 증가하면 최대 양자수율이 감소하였다고 보고하였다. 따라서 폐쇄형 식물공장에서 재배되는 상추의 최대 양자수율은 광질 및 광량에 영향을 받고, 재배온도가 높을수록 낮아지는 것으로 판단된다.

2. 저장 중 품질변화

저장 중 생체중 감소율은 재배온도와 관계없이 MA 저장 처리구가 1% 이하였고, 대조구인 유공필름(PF) 처리구는 포장 직후 급격히 증가하여 저장 12일째 12~15%의 높은 감소 정도를 보였다(Fig. 1). 상추의 경우 상품성을 유지할 수 있는 최대 허용 생체중 감소율은 3.7% 알려졌는데²³⁾, 본 연구의 대조구인 유공필름 처리구는 저장 3일째가 되기 전에 이미 허용 수준을 초과하여 수분 손실로 인한 외관상 품질 저하를 나타냈다. MA 저장 처리구 내 에틸렌 가스 농도는 저장 종료일까지 1.0 μL·L⁻¹ 내외로 유지되었으며, 처

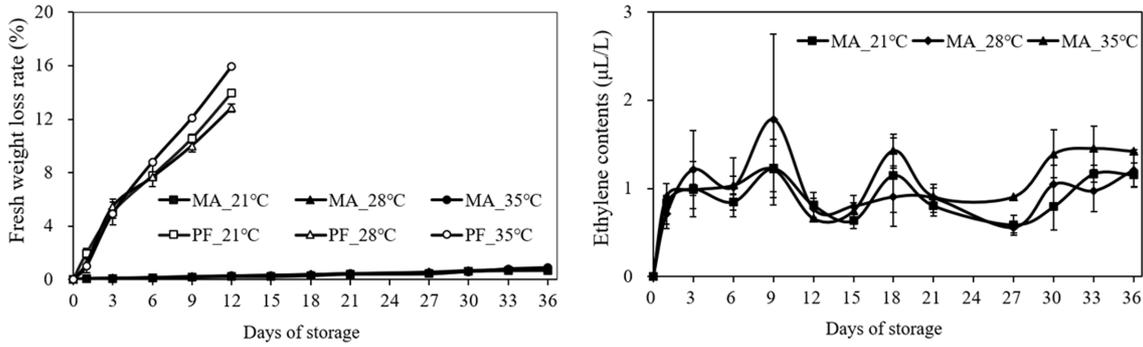


Fig. 1. Changes of fresh weight loss rate and ethylene contents of red romaine lettuce packaged with perforated film(12days) and 20,000 cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR(Oxygen transmission rate) film(36days) in storage at 5°C. Vertical bars represent ± SD (n = 5).

리구 간 차이에 통계적인 유의성은 없었다(Fig. 1).

필름 내 산소 농도는 모든 MA 저장 처리구가 저장 종료일까지 19.5% 내외의 수치를 유지하였고, 이산화탄소 농도는 35°C MA 처리구가 가장 높은 1.2% 내외, 21°C와 28°C는 0.6% 내외였다(Fig. 2). 상추의 CA(controlled atmosphere) 조건은 2~5%의 O₂+0% CO₂로 보고되었고, 최소 허용 산소 농도는 2%, 최대 허용 이산화탄소 농도는 2%로 알려져 있는데¹⁹⁾, 본 연구의 모든 MA 저장 처리구의 이산화탄소 농도는 이 수준에 해당하였다.

저장 종료일에 측정된 엽색은 명도를 나타내는 Hunter L*값의 경우 재배온도와 관계없이 MA 저장 처리구가 대체로 높았다. 0을 기준으로 양의 값은 적색을 나타내는 Hunter a*값은 유공필름 처리구와 MA 저장 처리구에서 재배온도와 관계없이 초깃값과 비교해 증가하였는데, MA 저장 처리구가 대조구와 비교해 많이 증가하였다. 0을 기준으로 양의 값은 황색을 나타내는 Hunter b*값은 28°C 유공필름 처리구에서 유의성 있는 차이를 내며 증가하였고, 21°C와 35°C 재배온도 처리구에서는 포장 방법 간 차이가 없었다. SPAD 수치로 조사한 엽록소 함량은 재배온도 및 포장 방법에 따른 일정한 경향은 보이지 않았다. 생체중 감소가 컸던 유공필름 처리구의 SPAD 값은 모든 재배온도 처리구에서 증가하여 농축 효과(concentration effect)를 보였고²⁴⁾, MA

저장 처리구에서는 초깃값과 비교해 감소하였는데 21°C와 28°C에서 각각 15.5%, 11.0% 감소를 하였고, 35°C에서는 26.5%의 감소율을 보였다. 일반적으로 작물은 저장기간이 증가할수록 엽록소 함량이 감소하는데²⁵⁾, 여러 가지 방법으로 예냉 처리한 어린잎 로메인 상추를 상업적으로 활용되는 유공필름으로 포장하여 4°C, 상대습도 85% 조건으로 13~16일간 저장하였을 때 엽록소 함량이 초깃값과 비교해 50% 가까이 감소하였다²⁶⁾. 저장 기간에 에틸렌에 노출되면 엽록소가 급격히 감소하여 황변 현상을 일으킨다고 하였다²⁷⁾. 본 실험에서 포장 내 에틸렌 가스가 축적으로 엽록소 감소가 크게 나타날 것으로 예측하였으나, MA 저장 처리구의 평균 엽록소 함량 감소율이 17.7%로 일반 저장하였던 Kongwong 등²⁶⁾의 실험 결과보다 매우 적었는데, 이는 포장 내 1~2%의 이산화탄소가 에틸렌에 의한 엽록소 감소를 억제한 것으로 판단된다²⁸⁾.

저장 종료일 패넬테스트를 통해 조사한 외관상 품질의 경우, 21°C MA 저장 처리구만 상품성 한계점인 3점 이상이 었다. 28°C와 35°C MA 저장 처리구는 각각 2.5, 1.5, 모든 온도의 유공필름 처리구는 가장 낮은 1점을 보였다. 로메인 상추 신선편이를 OTR 필름에 MA 저장하였을 때, 산소 투과도가 낮았던 처리구의 외관상 품질이 저조하였던 이유를 이산화탄소 장해라고 보고하였는데²⁹⁾, 본 연구의

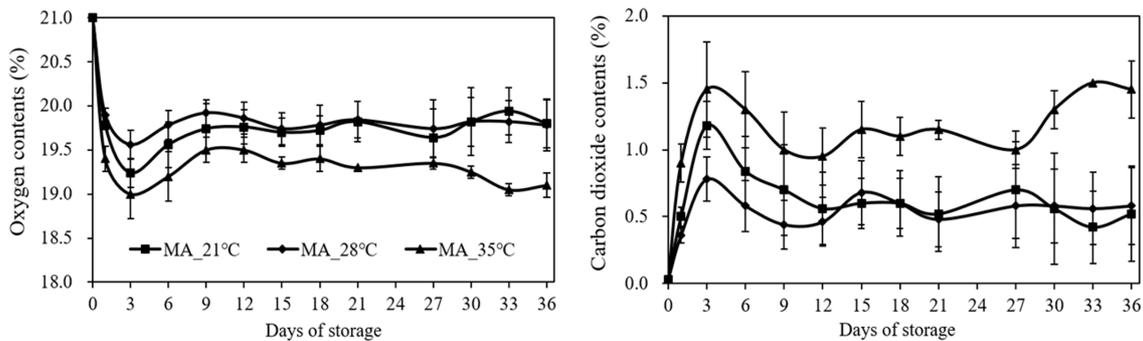


Fig. 2. Changes of oxygen and carbon dioxide contents of red romaine lettuce packaged with perforated film(12days) and 20,000 cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR(Oxygen transmission rate) film(36days) in storage at 5°C. Vertical bars represent ± SD (n = 5).

Table 3. Hunter L*, a*, b*, chlorophyll contents, and visual quality of red romaine lettuce baby leaf packaged with PE(perforated film) at 12days and MA (20,000cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR(Oxygen transmission rate) film at 36days after in 5°C storage

	Value									Chlorophyll (SPAD)			Visual quality		
	L*			a*			b*			21°C	28°C	35°C	21°C	28°C	35°C
	21°C	28°C	35°C	21°C	28°C	35°C	21°C	28°C	35°C						
Initial	31.2 ^a	34.0 ^a	30.6 ^a	3.2 ^b	2.5 ^b	4.0 ^c	3.4 ^a	4.1 ^b	3.5 ^a	23.9 ^a	22.7 ^a	23.8 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a	5.0 ^a
MA	31.0 ^a	33.8 ^{ab}	30.8 ^a	5.6 ^a	4.6 ^a	7.9 ^a	3.9 ^a	5.2 ^{ab}	3.0 ^a	20.2 ^b	20.2 ^a	17.5 ^b	3.5 ^b	2.5 ^b	1.5 ^b
PF	28.7 ^b	32.0 ^b	28.7 ^a	4.1 ^{ab}	4.3 ^a	5.8 ^b	1.4 ^b	5.9 ^a	3.8 ^a	25.1 ^a	20.7 ^a	24.9 ^a	1.0 ^c	1.0 ^c	1.0 ^c

Within a column, different superscripts indicate significant differences ($P \leq 0.05$)

MA 저장 처리구가 저장기간이 길었음에도 외관상 품질이 높았던 것은 필름 내 이산화탄소 농도가 알려진 CA 조건의 이산화탄소 농도와 일치하였기 때문이라고 생각된다.

위의 결과를 종합해보면, 적로메인 상추 어린잎은 재배온도가 낮을수록 저장성이 우수하였고, 재배온도와 관계없이 MA 저장을 하면 필름 내 고농도 이산화탄소로 엽록소 함량 및 외관상 품질이 유지되어 유공필름 포장 방법과 비교해 저장 일수를 3배로 연장할 수 있다.

구에서 낮았다. 패널테스트를 통한 외관상 품질은 21°C MA 저장 처리구에서만 상품성 한계점인 3점 이상이였다. 이상의 결과를 종합해보면, 로메인 상추 어린잎은 21°C에 재배할 때 최대 양자수율이 높아 생체중 등의 생육이 좋았으며, 재배 중 온도환경이 낮을수록 저장수명이 연장되었다. 또한 저장 방법으로는 CA 조건의 이산화탄소 농도를 충족시킨 MA 저장처리에서 저장 종료일까지 우수한 외관상 품질을 보여 저장수명을 3배까지 연장할 수 있었다.

요 약

본 연구는 로메인 상추를 대상으로 몇 가지 온도 조건에서 재배된 어린잎의 품질과 MA 저장 시 저장성을 비교하고자 수행하였다. 21°C, 28°C, 그리고 35°C 챔버 내에서 인공광원(200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 하에 5주간 재배되었다. 재배 종료일에 생육 및 품질조사를 진행하였고, 20,000cc OTR 필름과 유공필름으로 각각 36일, 12일간 저장하며 필름 내 산소, 이산화탄소, 그리고 에틸렌 농도를 측정하였다. 그리고 저장 종료일에 엽색, 엽록소, 외관상 품질을 조사하였다. 재배 종료일의 엽장은 28°C 재배구가 가장 길었고, 엽폭은 21°C와 28°C 재배구가 넓었다. 엽수는 모든 재배온도에서 5~6장으로 유사하였고, 최대 양자수율은 21°C와 28°C 재배구가 높았다. 엽중, 근중, 건물중은 21°C가 높았고, 재배온도가 올라갈수록 감소하는 경향을 보였다. 호흡률과 에틸렌 발생률은 35°C가 높았고, 재배온도가 낮아질수록 감소하였다. 저장 중 생체중 감소율은 모든 MA 저장 처리구는 저장 종료일인 36일까지 1% 미만이었으며, 모든 유공필름 처리구는 저장 후 급격히 증가하여 저장 종료일인 12일째에 12~15%의 높은 감소율을 보였다. MA 저장 처리구의 필름 내 에틸렌 농도는 재배온도와 관계없이 모든 처리구가 저장 종료일까지 1~2 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도를 유지하였다. 필름 내 산소 농도는 19.5% 내외, 이산화탄소는 1% 내외의 농도를 유지하며 모든 MA 저장 처리구가 CA 조건에 부합하였다. 저장 종료일의 엽색은 Hunter a*, b* 값 모두 대체로 MA 저장 처리구에서 높았다. 엽록소 함량은 재배온도가 올라갈수록 낮아지고, 유공필름 처리구와 비교해 MA 저장 처리

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품수출비즈니스전략모델구축사업의 지원을 받아 연구되었고(319088-3), 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2021R1A6A1A03044242).

참고문헌

- Dufault, R.J., Ward, B. and Hassell, R.L. 2009. Dynamic relationships between field temperatures and romaine lettuce yield and head quality. *Sci. Hortic.* 120(4): 452-459.
- Jenni, S. and Yan, W. 2009. Genotype by environment interactions of heat stress disorder resistance in crisphead lettuce. *Plant Breeding*, 128(4): 374-380.
- Tudela, J.A., Hernández, N., Vicente, A.P. and Gil, M.I. 2017. Growing season climates affect quality of fresh-cut lettuce. *Postharvest Biol Technol.* 123: 60-68.
- Chang, M.S. and Lee, J.S. 2017. Effects of packaging methods on the freshness during storage of lettuce harvested in summer season of Korea. *Korean J. Food Preserv.* 24(2): 159-167.
- Oh, S.J., Moon, K.H., Son, I.C., Song, E.Y., Moon, Y.E. and Koh, S.C. 2014. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(3): 318-329
- Park, K.S., Kwon, J.K., Choi, H.G., Bekhzod, K. and Moon, H.S. 2014. Effect of infrared cut-off film covering on lettuce growth under plastic house. *Hortic Environ Biotechnol.* 32(2): 92.

7. Bert, G.D., Miquel, A.G.M. and Steve, P.L., 1997. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO₂. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 48: 609-639
8. Takahashi, S. and Murata, N. 2008. How do environmental stresses accelerate photoinhibition. *Trends Plant Sci.* 13(4): 178-182.
9. Jones, H.G. and Tardieu, F. 1998. Modelling water relations of horticultural crops: a review. *Sci Hortic.* 74(1-2): 21-46.
10. Proctor, J.T.A., Watson, R.L., and Landsberg, J. 1976. The carbon budget of a young apple tree. *J Am Soc Hortic Sci.* 101(5): 579-582.
11. Cha, M.K., Kim, J.S. and Cho, Y.Y. 2012. Growth response of lettuce to various levels of EC and light intensity in plant factory. *J. Bio-Env. Con.* 21(4): 305-311.
12. Park, J.E., Park, Y.G., Jeong, B.R. and Hwang, S.J. 2013. Growth of lettuce in closed-type plant production system as affected by light intensity and photoperiod under influence of white LED light. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 22(3): 228-233.
13. 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. *Korean J. Food Preserv.* 13(1): 8-12.
14. Lee, J.S., Lee, H.E., Lee, Y.S., and Chun, C.H. 2008. Effect of packaging methods on the quality of leaf lettuce. *Korean J. Food Preserv.* 15(5): 630-634.
15. Rhee, J.K., Yu, J.H., Kim, M.K. and You, Y.S. 2016. Characterization of shelf life extension packaging material for food and fresh cut agricultural product: a review. *Korean J. Packag. Sci. Tech.* 22(3): 119-125.
16. Choi, K.Y. and Lee, Y.B. 2003. Effect of air temperature on tipburn incidence of butterhead and leaf lettuce in a plant factory. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 44(6): 805-808.
17. Cantwell, M. and Suslow, T. 2001. Lettuce, romaine: recommendations for maintaining postharvest quality. fresh produce facts. <http://postharvest.ucdavis.edu>.
18. Kim, J.Y., Han, S.J., Wang, L.X., Choi, I.L. and Kang, H.M. 2019. Comparison of post-harvest character and storability at several temperature for *Lactuca indica* L. baby and adult leaves. *Protected Horticulture and Plant Factory* 28(2): 172-177.
19. Kader, A.A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. 3rd Ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. USA.
20. An, J.H., Jeon, S.H., Choi, E.Y., Kang, H.M., Na, J.K. and Choi, K.Y. 2021. Effect of irrigation starting point of soil on chlorophyll fluorescence, stem sap flux relative rate and leaf temperature of cucumber in greenhouse. *J. Bio-Env. Con.* 30(1):46-55.
21. Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence — a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51(345): 659-668.
22. Park, J.E., Park, Y.G., Jeong, B.R. and Hwang, S.J. 2012. Growth and anthocyanin content of lettuce as affected by artificial light source and photoperiod in a closed-type plant production system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30(6):673-679.
23. Kays, S.J. and Paull, E.R. 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens, GA, USA.
24. Antonio, R., Irene, B., Nicoletta, N. and Flavio, P. 2007. Internal quality and antioxidants content of cold-stored red sweet peppers as affected by polyethylene bag packaging and hot water treatment. *Eur. Food Res. Technol.* 225(3): 395-405.
25. 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. *Korean J. Food Preserv.* 13(1): 8-12.
26. Kongwong, P., Boonyakiat, D. and Poonlarp. 2019. Extending the shelf life and qualities of baby cos lettuce using commercial precooling systems. *Postharvest Biol. Technol.* 150: 60-70.
27. Yoon, H.S., Choi, I.L., Baek, J.P. and Kang, H.M. 2016. Effects of 1-MCP and MA storage treatments for long-term storage of asparagus spears. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 25(2): 118-122.
28. Aharoni, N., Reuveni, A. and Dvir, O. 1989. Modified atmospheres in film packages delay senescence and decay of fresh herbs. *Acta. Hortic.* 258: 255-262.
29. Kim, J.G., Luo, Y., Saftner, R.A. and Gross, K. 2005. Delayed modified atmosphere packaging of fresh-cut romaine lettuce: effects on quality maintenance and shelf-life. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 130(13): 116-123.

투고: 2021.08.05 / 심사완료: 2021.11.08 / 게재확정: 2021.11.08