

## Research Report

신선 곶취(*Ligularia fischeri* Turcz.) 잎 저장을 위한 CA 조성 최적화박윤문<sup>1,2\*</sup>, 김태완<sup>1,2</sup>, 김현석<sup>1,2</sup>, 김태훈<sup>3</sup>, 박유진<sup>4</sup><sup>1</sup>안동대학교 식품생명공학과<sup>2</sup>안동대학교 농업과학기술연구소<sup>3</sup>대구대학교 식품공학과<sup>4</sup>청송군농업기술센터Optimized Controlled Atmosphere Regimen for Storage of Fresh Fischer's *Ligularia* (*Ligularia fischeri* Turcz.) LeavesYoon-Moon Park<sup>1,2\*</sup>, Hyun-Seok Kim<sup>1,2</sup>, Taewan Kim<sup>1,2</sup>, Tae Hoon Kim<sup>3</sup>, and Yoo Jin Park<sup>4</sup><sup>1</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong 760-749, Korea<sup>2</sup>Institute of Agricultural Science and Technology, Andong National University, Andong 760-749, Korea<sup>3</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea<sup>4</sup>Cheongsong Agriculture Technology & Extension, Cheongsong 763-803, Korea

**Abstract:** A controlled atmosphere (CA) regimen was optimized during 3 consecutive harvest seasons as the basis of practical modified atmosphere packaging (MAP) storage for quality maintenance and extension of storage potential of fresh *Ligularia fischeri* leaves. Leaves were harvested in April or May and forced-air cooled to 4°C before punch-hole MAP (control, where gas concentrations were same as air) and CA treatments. CA regimens adjusted stepwise during 3 experimental years were: 1 and 3% O<sub>2</sub>, respectively combined with 5 and 10% CO<sub>2</sub> in the first year, 3% O<sub>2</sub> fixed in combination with 0, 2.5, and 5% CO<sub>2</sub> in the second year, and 3% O<sub>2</sub> fixed in combination with 2.5 and 5% CO<sub>2</sub> in the third year. In the first year, higher incidence of black discoloration was observed with the reduction of respiration under 10% CO<sub>2</sub> CA conditions regardless of O<sub>2</sub> levels at 1 or 3%. In the second and third year, the incidence of the disorder seemed not to be clearly relevant to CA conditions showing slightly higher incidence only after 4- or 5-week storage + 5-day shelf life. Although texture and appearance quality were maintained better under the 3% O<sub>2</sub> + 2.5% CO<sub>2</sub> condition after 4-week storage + 5-day shelf life, effects of CA on the extension of storage period was slight. Overall results indicated that *Ligularia fischeri* leaves are very susceptible to CO<sub>2</sub> injury. CO<sub>2</sub> concentration should be adjusted below 2.5% for safe and effective CA or MAP storage to maintain quality even during short-term storage.

**Additional key words:** browning, critical concentration, modified atmosphere, respiration rate, storage disorder, storage potential

## 서 언

곶취는 국화과 곶취속 식물로 주로 신선한 잎을 쌈채소로 이용하며 일부는 김치 등 절임 식품으로 가공되기도 한다. ‘곶취’라는 명칭은 식물학적으로 왕곶취, 큰곶취를 의미하

지만(KNA and PTSK, 2007) 일반 매장에서는 한대리곶취와 같은 변종과 종이 다른 곤달비를 포함하기도 한다. 곶취는 주로 산지에서 재배되거나 자연 상태에서 채취되는 산나물로 분류되며 곶취 특유의 씹살한 풍미를 지니고 있는데 최근에는 여러 가지 기능이 밝혀지면서(Bae et al., 2009;

\*Corresponding author: park123@andong.ac.kr

※ Received 15 August 2014; Revised 18 December 2014; Accepted 21 December 2014. “본 연구는 2014년 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호: s111314L050130)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다”.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

Choi et al., 2007) 소비가 확대되고 있다.

건조 후 이용되는 다른 취나물류와는 달리 곱취는 신선상태로 많이 이용되며 수확 기간이 한정되어 있는 까닭에 수확 후 품질 유지를 위한 관리가 필요하다. 엽채류의 단기 보관 혹은 장기 저장 중 품질을 유지하는 기술로는 저온저장과 controlled atmosphere(CA) 저장이 적용되며 유통 과정에서 품질유지를 위해서는 modified atmosphere packaging(MAP) 기술이 보편화되어 있다. CA 저장은 규모화된 시설을 갖추어야 하는 반면, MAP 기술은 플라스틱 필름을 이용한 소포장 상태에서 CA 저장의 효과를 대체할 수 있는 장점이 있어서(Mattheis and Fellman, 2000; Kim et al., 2014) 장기 저장보다는 단기간의 품질 유지가 목표인 산채류에 적합한 보관 기술로 활용할 수 있다. 그러나 저장기간을 최대화할 때는 MAP 저장 역시 포장 내부의 기체 조성을 적정 수준으로 유지해야만 저산소 혹은 고이산화탄소 농도에 의한 장해 현상을 피하면서 실질적인 품질 유지 효과를 얻을 수 있다.

현재까지 신선 산채류의 CA 혹은 MAP 저장을 위한 기체 환경 조성에 대한 연구 정보는 매우 미흡하다. 수확 시기가 유사한 산채류인 울릉산마늘은 산소 1% + 이산화탄소 10% 수준에서도 장해가 발생하지 않고 품질 유지가 가능한 것으로 보고되었다(Park et al., 2013). 반면, 기초적인 CA 실험 결과에서 곱취는 이산화탄소 장해에 매우 민감한 것으로 조사된 바 있다(Park et al., 2012). 과실과 채소의 적정 MAP 수준에 대한 요약 자료를 보면, 봄 산채류와 품질 특성이 비슷한 시금치는 산소 농도 2%(Beaudry, 2000), 이산화탄소 농도 15% 수준이 장해를 유발하는 한계 농도인 것으로 제시되었다(Watkins, 2000).

본 연구는 효과적인 MAP 저장 기술을 활용하기 위한 기초 연구로서 곱취 잎의 적정 CA 저장 조건을 밝히고자, 장해 유발 한계 농도로 추정되는 조성 범위에서 시작하여 단계적으로 CA 환경을 조정하는 방식으로 3년에 걸쳐 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 실험처리

곱취 잎은 청송 지역의 동일한 재배 농가에서, 1년차 실험은 2012년 5월 13일, 2년차 실험은 2013년 4월 5일, 3년차 실험은 2014년 5월 11일 수확하였다. 수확한 곱취 잎은 차압통풍예냉 방식으로 4°C까지 품온을 낮춘 후 펀치 홀 MAP 저장 또는 CA 저장 시료로 사용하였다. 대조구로서 MAP

처리는 직경 8mm 펀치 홀 4개가 양면에 각각 천공 처리된 40 $\mu$ m 폴리프로필렌(polypropylene, PP) 필름 봉지를 활용함으로써(punch hole MAP) 저장 중 봉지 내 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도가 일반 대기 조성과의 차이가 없도록 하였다.

CA 저장 처리의 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도는 안전 조성 범위를 파악하기 위해 연도별로 조정 단계를 거쳤다. 1년차에는 O<sub>2</sub> 1, 3%에 각각 CO<sub>2</sub> 5, 10%를 조합한 2 × 2 요인으로 4개의 CA 처리를 두었고 2년차에는 O<sub>2</sub> 3%에 CO<sub>2</sub> 0, 2.5, 5%를 조합하여 3개 처리로 설정하였다. 3년차에는 CA 장해 발생을 확인하기 위한 처리로서 O<sub>2</sub> 3%에 CO<sub>2</sub> 2.5와 5%를 조합한 2개 처리를 두고 대조구와 비교하였다. CA 조성은 설정 농도로 미리 배합한 혼합가스를 1.2~1.5kg(약 8반복 해당)의 시료가 담긴 유리병(15L)에 간헐적으로 흘려 보내는 방식을 사용하였다. 실험을 수행한 파일럿 저장고의 온도는 0.0 ± 0.5°C로 설정하였고 MAP와 CA 조성 유리병 안의 상대습도는 95 ± 5% 수준을 유지하였다. 저장 후 모의 유통은 모든 처리의 시료를 대조구에서 사용한 것과 같은 판매용 천공 PP 필름 포장에 담아 7°C 선반형 소형 냉장실에 치상하여 5일간 저온유통으로 수행하였다.

### 호흡속도 측정

품질 변화와 연관된 생리대사로서 수확 시, 저장 후 및 모의 유통 후 등 3회에 걸쳐 호흡속도를 조사하였다. 수확 시에는 20°C, 저장 및 유통 후에는 7°C 온도 평형 상태에서 신선농식품에 보편적으로 적용하는 폐쇄형 호흡 측정 장치를 이용하여 4시간 동안 증가한 이산화탄소 농도를 측정하여 호흡속도를 계산하였다(Kim et al., 2014). 이산화탄소 농도는 thermal conductivity detector(TCD)와 Porapak Q column이 장착된 가스크로마토그래프(Model 600D, Young Lin Co., Seoul, Korea)를 사용하여 90°C injector, 80°C column, 및 90°C detector의 조건에서 분석하였다.

### 품질인자 분석 및 관능평가

곱취의 품질은 수확 시, 저장 후 및 모의 유통 5일 후에 걸쳐 이화학 분석과 관능평가 방식을 병행하여 조사하였다.

이화학 품질인자로서 조직의 경도는 물성분석기(model EZ-Test/CE, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan)를 이용하여 잎의 기부에서부터 0.5cm 아래 엽병 부위를 대상으로 직경 2mm 탐침이 2mm·s<sup>-1</sup>의 속도로 조직을 통과할 때까지의 저항치(penetration force)를 측정 후 강도 변화 곡선의 적분값(누적 침투 강도)을 뉴톤(N)으로 표시하였다. 잎의 색도는 색차

계(model CR-10, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 CIE  $a^*$  값(녹적도)을 측정하였다.

관능 품질로서의 잎의 조직감 평가는 훈련된 평가요원 4명을 활용하여 수행하였으며, 1-5점으로 구분하여 점수화하였다. 점수 별로는, 1점 = 잎과 엽병 조직이 심하게 붕괴되었거나 건조되어 씹을 수 없는 상태, 3점 = 잎과 엽병이 다소 연화되었거나 마른 상태지만 식용으로 가능한 상태, 5점 = 조직의 씹힘성이 신선 나물로서 매우 우수한 수준 등으로 구분하였다.

CA 장해나 조직 이상으로 인한 변색 정도는 흑변 발생률과 변색 지수로 나누어 조사하였다. 발생률은 포장 봉지 1개 분량에 해당하는 1반복 잎 수를 기준으로 장해로 인한 변색 증상을 보인 잎 수의 비율을 구하였다. 변색 지수는 흑변 현상이 없으면 1점(상품성이 훼손되지 않음)으로 하였고 흑변 현상이 발생한 경우에는 피해 잎만을 대상으로 평가하여, 흑변 조직이 미미하고 부분적으로 나타나면 2점, 흑변이 어느 정도 인지되지만 판매 가능한 정도는 3점, 흑변이 뚜렷하게 인지되어 상품성 저하가 유발되는 정도는 4점, 흑변 부위가 10%를 넘어 상품성이 전혀 없는 변색 정도는 5점으로 구분하였다. 전반적인 상품성 평가는 외관을 기준으로 하였고 저장 + 모의 유통 5일 후 최종 소비단계에서 조사하였다. 잎의 변색 정도, 위조 증상, 조직 붕괴 현상을 종합적으로 평가하여, 1점 = 잎의 변색과 황화로 인해 상품성이 낮아 판매가 불가능, 3점 = 품질의 저하는 있으나 판매 가능한 한계 수준, 5점 = 수확 시와 비슷한 정도의 아주 우수한 품질 수준 등으로 점수화하였다.

### 실험설계 및 데이터 분석

실험은 완전임의배치법에 준하여 1년차에는  $2 \times 2(2^2)$  요인분석을 전제로 설계하였고, 150g 포장 단위에 해당하는 25-28매 잎 묶음을 1반복의 기준으로 하여 처리 별 4반복을 두었고 생리활성 및 품질조사는 각각 반복 별로 1개 포장 단위를 취하여 조사하였다. 1년차의  $O_2$ 와  $CO_2$  농도 효과 분

석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)의 2원분산분석법을 이용하였으며, 대조구를 포함한 처리 평균 간 유의성 검정은 Duncan의 다중범위검정으로 분석하였다. 2, 3년차 실험은 1원 완전임의배치법에 준하여 처리 평균 간 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 수확후 품질 특성

곰취 잎의 CIE 녹적도 값( $a^*$ )은 수확시기가 늦은 5월에는 -10 이상이었고 수확시기가 빠른 4월 초에는 -11.7로 상대적으로 녹색도가 높은 경향이였다(Table 1). 호흡속도는 5월에 수확한 1년차와 3년차에는 20°C 평형온도에서 각각 44.7, 61.5 mL  $CO_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ 이었던데 비해 4월 초에 수확한 2년차에는 102.0 mL  $CO_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ 로 높게 나타나 수확시기에 따라 큰 차이를 보였다.

### CA 장해 분석

1년차(2012년) CA 저장 곰취에서는 2주 저장 후부터 잎이 검게 변색되는 흑변 증상이 관찰되었다.  $O_2$  1, 3% +  $CO_2$  5% 처리에서는 40~50%의 발생률을 보였고  $O_2$  1, 3% +  $CO_2$  10% 처리에서는 모든 잎이 흑변 증상을 나타냄으로써 발생률이 100%에 달했다(Table 2). 변색 정도 역시  $CO_2$  농도 10%를 조합한 CA 처리에서 심하여 저장 후 이미 상품성이 없는 수준까지 증상이 발현되었다.  $CO_2$  농도를 5%로 조성한 CA 조합에서의 저장 직후 흑변 정도는 변색 지수 3점으로 상품화가 가능한 수준이었으나 5일 모의 유통 후에는 발생률의 증가와 함께 상품화가 어려운 수준까지 변색 지수도 증가하였다. 대조구를 제외하고 CA 처리만을 대상으로 한  $O_2$ 와  $CO_2$  요인의 이원분산분석에서는 흑변 발생률과 변색 지수에 미치는  $CO_2$  효과가 유의성을 보였다.

$O_2$  농도를 3%로 고정하고  $CO_2$  농도를 0, 2.5, 5%로 조정 한 2년차(2013년) 실험에서는, 4주 저장 후 CA 처리에서만

**Table 1.** Quality characteristics of fresh *Ligularia fischeri* leaves at harvest.

Harvest	CIE $a^*$	Firmness (N/2 mm $\Phi$ )	Respiration rate, 20°C ( $CO_2$ mL $\cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ )	Texture rating
May 13, 2012	-8.0 $\pm$ 1.3	25.3 $\pm$ 1.1	44.7 $\pm$ 4.4	5.0 $\pm$ 0.0
April 5, 2013	-11.7 $\pm$ 0.2	23.3 $\pm$ 1.4	102.0 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 0.0
May 11, 2014	-9.5 $\pm$ 0.5	27.3 $\pm$ 1.5	61.5 $\pm$ 0.7	5.0 $\pm$ 0.0

<sup>2</sup>Means  $\pm$  SE (n = 6).

흑변 증상이 관찰되었으나 모의 유통 후에는 대조구(펀치홀 MAP)와 CA 등 모든 처리에서 흑변 현상이 나타났다 (Table 2). 모의 유통 후 흑변 발생률은 처리 간 차이가 없었던 반면, 흑변 정도를 기준으로 평가한 변색 지수는 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 5% 처리에서 높았다.

CO<sub>2</sub> 농도의 영향을 검증하기 위한 3년차(2014) 실험에서도 4주 저장 및 유통 후와 5주 저장 후의 흑변 장애 발생률은 처리 간 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 5주 저장 + 모의 유통 후에도 통계적인 유의성은 없었으나 펀치홀 MAP 처리나 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% 처리에 비해 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 5%

**Table 2.** Incidence of discoloration disorders on fresh *Ligularia fischeri* leaves in 2012 and 2013 harvest seasons.

Harvest season	CA regimen		Symptom of CA disorders			
	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Storage at 0°C + days on the shelf at 7°C			
2012			2 weeks		2 weeks + 5 days	
			% incidence	Discoloration index	% incidence	Discoloration index
	21	0.03	0.0 c	1.0 c	0.0 c	1.0 c
	(Control: punch hole MAP)					
	1	5	50.0 b	3.0 b	65.0 b	4.0 b
		10	100.0 a	5.0 a	100.0 a	5.0 a
	3	5	40.0 b	3.0 b	50.0 b	4.0 b
		10	100.0 a	5.0 a	100.0 a	5.0 a
	Significance					
	O <sub>2</sub>		NS	NS	NS	NS
CO <sub>2</sub>		**	**	**	*	
2013			4 weeks		4 weeks + 5 days	
			% incidence	Discoloration index	% incidence	Discoloration index
	21	0.03	0.0 a <sup>z</sup>	1.0 b	8.4 a	3.0 b
	(Control: punch hole MAP)					
	3	0	3.6 a	3.0 a	6.2 a	4.0 b
		2.5	1.8 a	3.0 a	9.1 a	4.0 b
		5	5.6 a	3.0 a	11.8 a	5.0 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns of respective seasons by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

NS,\*,\*\* Nonsignificant or significant at  $p \leq 0.05$  or  $0.01$ , respectively.

**Table 3.** Incidence of discoloration disorders on fresh *Ligularia fischeri* leaves in 2014 season.

Harvest season	CA regimen		Incidence of discoloration disorder (%)			
	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Storage at 0°C + days on the shelf at 7°C			
2014	21	0.03	4.3 a <sup>z</sup>	6.5 a	14.3 a	23.2 a
	(Control: punch hole MAP)					
	3	2.5	0.0 a	8.2 a	4.5 b	20.5 a
		5	4.6 a	12.4 a	8.7 ab	35.0 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

처리에서의 흑변 발생률이 높은 경향을 보였다(분산분석,  $F$  값 = 1.89;  $Pr > F = 0.20$ ).

CA 장해는 핵심 유발 요인에 따라 저산소 장해와 이산화탄소 장해로 구분되며, 원예작물의 저산소 장해는 3% 미만에서 발생하는 경우가 많고(Beaudry, 2000), 생물학적으로는 2.5% 이하에서 혐기성 호흡에 의해 에탄올과 아세트알데히드가 생성되면서 이취 등 장해가 나타나는 것으로 풀이된다. 따라서 본 연구에서 설정한 3%  $O_2$  농도는 대부분의 작물에서와 마찬가지로 장해를 유발하는 수준으로 보기는 어려우며  $O_2$  농도 1%와 3% CA 조성 간 장해 발생 정도가 크게 차이 나지 않았던 점, 3년차 실험에서 4주 저장 후 대조구에서는 변색 증상이 관찰되었음에도 불구하고  $O_2$  3% +  $CO_2$  2.5% 처리에서는 장해 현상이 나타나지 않았던 점 등으로 미루어  $O_2$  농도가 흑변 발생을 좌우하는 1차 요인은 아닌 것으로 추정된다. 1년차(2012년도)에 CA 저장 실험과 동일한 시료를 사용하여 추가적으로 수행했던 무천공 폴리에틸렌(polyethylene, PE) 필름 MAP 저장 실험에서는 포장 내부의  $O_2$  농도 6%,  $CO_2$  농도 3% 수준에서도 CA 처리에서와 같은 장해 현상이 관찰되었는데(자료 미제시), 이러한 결과 역시  $O_2$  농도가 낮아서라기보다는  $CO_2$  농도가 높기 때문에 CA-연관 장해가 유기된다는 추정을 뒷받침하였다.

3년간의 CA 저장 실험 결과를 종합해 보면, 곰취 잎의 흑변 증상으로 표출되는 CA 장해는 1차적으로 이산화탄소에 의해 유기되며 1% 수준의 저산소 조건은 이산화탄소 장해를 심화시키는 2차 요인으로 작용하는 것으로 유추되었다. 또한 CA 장해를 유발하는 이산화탄소 농도는 5% 수준으로 보이며, 이러한 한계 수준에서는 저온저장 2주에 장해가 나타나기 시작하고 유통 과정에서 그 증상이 심화되어 표출되는 것으로 판단된다. 다각적인 분석 결과, 곰취의 CA 장해가 3%  $O_2$  농도에 의해서도 유기될 수 있는 가능성은 매우 희박하지만, 레몬, 라임 등 *Citrus* 속 과일과 풋콩, 아스파라거스 등 어린 채소와 같이 저산소 장해 한계농도가 5% 이상인 작물이 있음을(Beaudry, 2000) 간과해서는 안될 것이다.

과일과 채소의 저장 과정에서 발생하는 생리적 장해가 인지되는 시점이나 발생 정도는 수확 연도나 수확 시 성숙도에 따라 큰 차이가 있다(Lim et al., 2009; Watkins, 2000). 또한 저산소 혹은 이산화탄소 장해는 미세한 농도 차이와 부적합한 환경에 노출된 기간에 따라 발생률이 크게 달라질 수 있다(Park and Lee, 2008; Watkins, 2000). 곰취의 CA 장해 역시 연도 간 발생률의 차이가 심하였고 동일한 처리에

서도 반복간에 변이가 심하여 유의성이 나타나지 않았는데(Tables 2, 3), 그 이유는 수확 연도에 따라 수확 시기가 달라 장해 감수성이 다르고 CA 저장 과정에서 반복 간에 발생하는 산소와 이산화탄소 농도의 미세한 차이 때문인 것으로 추정되었다.

본 연구에서 관찰된 현상으로써 앞으로 세밀한 검토가 필요한 부분은, 부적합한 CA 저장 시 관찰되는 흑변 현상과 CA 환경과는 무관하게 대조구에서도 관찰되는 흑변 현상에 대한 생화학적 기작이다. 신선 농산물에서 나타나는 갈변 현상은 대체로 폴리페놀의 산화에 따른 효소적 갈변 현상으로서 조직이 파괴될 때 심화된다. 배의 과피흑변(Kim, 1974), 절편 가공하는 사과(Jang et al., 2009)와 감자(Chung and Lee, 1995)의 변색은 대표적인 효소적 갈변 현상으로서 그 색깔이 진하게 나타나면 흑변 현상으로 부르기도 한다. 적합한 CA 환경은 갈변 현상을 억제하는 반면 부적합한 CA 조건, 특히 한계농도 이상의  $CO_2$  CA 저장에서는 갈변 증상이 심화된다(Mattheis and Fellman, 2000). 본 연구의 고농도  $CO_2$  CA 저장 시 곰취 잎에서 관찰되는 흑변 현상이 폴리페놀의 효소적 갈변이라면 부적합한 CA 혹은 MA 환경에서 세포 조직이 파괴되면서 갈변이 진행되리라는 추정이 가능하다. 한편, 일반 공기 조성과 같은 조건의 편치 홀 MAP 대조구에서 나타나는 흑변은 조직의 노화, 엽록소 분해, 세포 대사의 이상이 동시에 진행되는 변색 장해로 유추할 수 있다(Toivonen and Brummell, 2008).

### 호흡 특성

2012년 1년차 CA 저장 2주 후 측정된 곰취 잎의 호흡속도는  $O_2$  1, 3% +  $CO_2$  10%의 고이산화탄소 조합 조건에서 뚜렷하게 낮았고  $CO_2$  5% 조건에서는  $O_2$  농도가 1%이면서 저장기간이 3주 이상 길어질 때 감소 현상이 나타났다(Table 4). 이에 비해  $O_2$  3% 수준에  $CO_2$  0, 2.5, 5% 조합 CA 저장 후 및 유통 후의 호흡속도는 저장기간 및 조합에 따라 다소의 차이는 있으나 대체로 대조구와 비슷하거나 높은 경향을 보였다. 이러한 결과를 볼 때, 곰취 잎의 CA 장해는 극단적인 조건에서 에너지 대사의 저하가 수반되는 조직의 이상 증상으로 볼 수 있다.

2년차와 3년차에 적정 범위로 판단되는 CA 저장 곰취의 저장 후와 유통 후 호흡속도는 대조구와 비슷하거나 오히려 높은 경향을 보였다(Table 4). CA 저장을 하는 많은 원예작물의 경우, 일반적으로 장해를 유발하지 않는 범위에서의 CA 환경은 저장 후까지 호흡속도를 낮게 지속시켜 유통과

정에서도 품질 유지가 가능한 잔존효과를 보인다고 하였는데(Park and Youn, 1999), 곰취는 그러한 차이가 나타나지 않는 점으로 미루어 CA 저장 효과도 크지 않을 것이라는 추정이 가능하였다.

#### 품질 요인과 상품성의 변화

4주 및 5주 저장 + 5일 유통 후 측정된 곰취 엽병의 정도는 처리 간 차이가 없었으나 잎의 조직감 평가지수는 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% 처리에서 5주 + 유통 후까지 우수 수준을 유지하면서 다른 처리에 비해 높았다(Table 5).

본 연구에서 측정된 잎 바로 아래 부분 엽병의 정도는 조직의 침투 저항치를 반영하는 지표로서 가식부인 잎의 조직감을 직접적으로 평가하지는 못하지만 저장 및 유통 과정에서 조직의 와해 정도를 반영하는 지표로 활용할 수 있다.

CA와 MA 환경이 원예작물의 품질에 미치는 효과에 대한 종합적 고찰에서는(Mattheis and Fellman, 2000), 적정 범위의 CA 환경은 조직감 저하를 지연시키는 반면, 한계 범위를 벗어나면 오히려 조직감을 나쁘게 한다고 하였다. 본 실험에서 조사한 곰취 엽병의 정도나 잎의 조직감 평가 결과는 보편적인 CA 혹은 MA 효과와 일치하는 것으로 나타났다. 다만, 곰취 잎은 두께가 얇고 전체 부위에 잎맥이 분포하고 있어서 탐침을 이용하는 정도 측정기로는 순간적인 파열 강도만 측정되는 한계가 있고 전체적인 물리적 성질을 정확하게 평가하기에는 어려움이 있으므로, 잎을 가식부로 하는 산채류의 조직감을 객관적으로 평가하려면, 잎의 조직감을 반영하는 물리적 특성의 측정 방법이 개발되어야 할 것이다.

저장 + 모의 유통 후 잎의 녹색도, CIE a\* 값은 -8.5 ~ -10.0 범위로 처리간 차이가 나타나지 않았다(Table 6). CA

**Table 4.** Respiration rates of fresh *Ligularia fischeri* leaves immediately after storage and after 5-day shelf life as influenced by CA regimen in the consecutive 3 harvest seasons.

Harvest season	CA regimen		Respiration rate, 7°C (CO <sub>2</sub> mL·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )			
	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Storage at 0°C + days on the shelf at 7°C			
2012	21 (Control: punch hole MAP)	0.03	2 weeks	2 weeks + 5 days	3 weeks	3 weeks + 5 days
		5	16.6 ab <sup>z</sup>	12.4 a	10.6 a	-
	1	10	22.0 a	12.7 a	6.9 b	-
		5	2.0 c	<sup>y</sup>	3.9 bc	-
	3	5	20.6 a	9.4 a	12.3 a	-
		10	8.0 b	-	3.6 c	-
2013	21 (Control: punch hole MAP)	0.03	3 weeks	3 weeks + 5 days	4 weeks	4 weeks + 5 days
		0	19.7 ab	13.9 ab	14.6 c	14.1 c
	3	2.5	17.6 b	14.9 ab	17.7 b	17.2 b
		5	18.5 ab	13.7 b	19.6 ab	20.0 a
		5	23.2 a	15.9 a	22.4 a	16.4 bc
2014	21 (Control: punch hole MAP)	0.03	4 weeks	4 weeks + 5 days	5 weeks	5 weeks + 5 days
		2.5	12.5 b	9.1 b	12.5 a	24.3 a
	3	5	14.1 ab	9.2 b	14.3 a	25.3 a
			16.7 a	11.4 a	13.7 a	19.4 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns of respective seasons by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

<sup>y</sup>No data because of severe quality loss of the samples.

**Table 5.** Changes in firmness of the petiole and texture rating of fresh leaves in *Ligularia fischeri* after storage and on the shelf, 2014 season.

CA regimen		Firmness (N/2 mm Ø)		Texture rating	
O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Storage at 0°C + on the shelf at 7°C		Storage at 0°C + on the shelf at 7°C	
		4 weeks + 5 days	5 weeks + 5 days	4 weeks + 5 days	5 weeks + 5 days
21 (Control: punch hole MAP)	0.03	25.4 a <sup>z</sup>	27.1 a	4.3 b	3.4 b
3	2.5	27.2 a	27.9 a	5.0 a	4.3 a
	5	26.8 a	27.1 a	4.1 b	3.1 b

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

**Table 6.** Changes in greenness and overall appearance of fresh *Ligularia fischeri* leaves after storage and on the shelf, 2014 season.

CA regimen		CIE a*		Appearance rating			
O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Storage at 0°C + on the shelf at 7°C		Storage at 0°C + on the shelf at 7°C			
		4 weeks + 5 days	5 weeks + 5 days	4 weeks	4 weeks + 5 days	5 weeks	5 weeks + 5 days
21 (Control: punch hole MAP)	0.03	-8.5 a <sup>z</sup>	-9.8 a	4.0 b	3.0 b	3.0 b	3.0 a
3	2.5	-9.1 a	-10.0 a	5.0 a	4.3 a	4.0 a	3.0 a
	5	-9.5 a	-9.4 a	4.5 ab	3.0 b	3.0 b	2.0 b

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

나 MAP 처리는 엽채류나 허브의 황화 현상을 지연시키는 효과를 보이는데(Mattheis and Fellman, 2000; Wright, 2004), 시금치의 경우 10~40%의 비교적 높은 이산화탄소 농도와 10% 산소 농도의 CA 조합에서 황화 현상이 지연되고 품질이 유지된다고 하였다(Hardenburg et al., 1986). 곱취의 천공 MAP와 CA 저장에서 잎의 녹색도가 대조구와 큰 차이가 없었던 이유는, 이산화탄소 농도를 상대적으로 낮게 조성했기 때문으로 보인다.

잎의 변색 정도, 수분 손실로 인한 위조 증상 및 조직의 손상 등 외관 요인을 고려한 전반적인 외관 상품성은, 대조구인 펀치홀 천공 MA 포장과 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 5% CA 저장 곱취는 4주 저장 + 유통 후까지 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% CA 저장 곱취는 5주 저장 + 유통 후까지 적합 수준을 유지하였다(Table 6).

## 결론

곱취는 CA 장해에 민감한 작물로서 O<sub>2</sub> 1, 3%와 조합하는 CO<sub>2</sub> 5% 이상 수준에서는 흑변 증상이 증가하는 경향을 보

였다. O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% CA 조건에서도 흑변 증상은 관찰되었으나 일반 대기 조성 과 동일한 펀치 홀 MAP에서 관찰되는 흑변 증상 발생률과 차이를 보이지 않는 점으로 미루어 이산화탄소 2.5% 수준에서의 흑변 증상은 CA 장해가 아닌 것으로 판단되었다.

신선 곱취 잎의 저온유통 5일 후까지의 상품성을 전제로 한 저장 한계 기간은 펀치 홀 MAP 대조구와 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% CA 조건에서 최대 5주까지 가능한 것으로 나타났으며 안전 저장기간을 4주로 설정한다면 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% CA 저장은 일반 저온저장에 비해서는 조직감과 외관 상품성 향상에 효과가 있는 것으로 평가되었다. 따라서 MA 포장 기술을 활용하는 장기 보관 과정에서 CA 효과를 보기 위해서는 CO<sub>2</sub> 농도가 2.5% 이상 축적되지 않는 포장 소재의 선택과 적절한 천공도 조절의 필요성이 제시되었다.

## 초록

곱취의 수확 후 품질 유지와 출하시기 연장을 위한 MAP 저장의 기초 연구로서 3년에 걸쳐 CA 환경 최적화 연구를

수행하였다. 4월과 5월에 수확한 곱취는 차압통풍 예냉 방식으로 4°C까지 품온을 낮춘 후 펀치 홀 MAP(일반 공기 조성과 같은 대조구) 및 CA 환경을 조성하였다. 대조구로서 MA 포장은 펀치 홀 천공 처리한 PP 필름 봉지를 활용하였다. CA 환경은 1년차에는 O<sub>2</sub> 1, 3% 2개 농도에 각각 CO<sub>2</sub> 5, 10%를 조합한 2 × 2 요인 처리, 2년차에는 O<sub>2</sub> 3% 고정 CO<sub>2</sub> 0, 2.5, 5% 3개 처리, 3년차에는 O<sub>2</sub> 3%와 CO<sub>2</sub> 2.5, 5% 2개 처리를 설정하여 단계적인 최적화 과정을 거쳤다. 1년차 실험 결과, O<sub>2</sub> 1, 3%와 무관하게 CO<sub>2</sub> 10% 조합 CA 조건에서는 호흡속도의 감소와 함께 흑변 증상이 심하게 발생하였다. 2, 3년차에는 CA 저장에서도 장해 발생률이 뚜렷하게 나타나지 않았으나 4주 이상 저장 + 유통 후에는 대조구에 비해 다소 높은 경향이였다. 저장 4주 + 유통 5일 후에 조사한 조직감과 외관 상품성은 O<sub>2</sub> 3% + CO<sub>2</sub> 2.5% CA 저장에서 우수하였으나 CA 조성에 따른 저장기간 연장 효과는 크지 않았다. 연구 결과를 종합해 보면, 곱취는 이산화탄소 장해에 민감한 작물로서 상품성 유지를 위한 안전하고 효과적인 MAP 또는 CA 저장을 위한 CO<sub>2</sub> 농도 조성은 2.5% 수준이 적합한 것으로 판단되었다.

**추가 주요어 :** 갈변 현상, 한계 농도, MA, 호흡속도, 저장장해, 저장 한계기간

## 인용문헌

- Bae, J.H., S.O. Yu, Y.M. Kim, S.U. Chon, B.W. Kim, and B.G. Heo. 2009. Physiological activity of methanol extracts from *Ligularia fischeri* and their hyperplasia inhibition activity of cancer cell. *J. Bio-Environ. Cont.* 18:67-73.
- Beaudry, R.M. 2000. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. *HortTechnology* 10:491-500.
- Choi, E.M., Y. Ding, H.T. Nguyen, S.H. Park, and Y.H. Kim. 2007. Antioxidant activity of Gomchi (*Ligularia fischeri*) leaves. *Food Sci. Biotechnol.* 16:710-714.
- Chung, H.M. and G.J. Lee. 1995. Changes in polyphenol oxidase activity, phenol concentration and browning degree of potato slices with different cultivars during cold storage. *Korean J. Dietary Culture* 10:89-95.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada, and C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agric. Handbook No. 66.* USDA-ARS, Beltsville, MD.
- Jang, J.H., S.T. Kim, and K.D. Moon. 2009. Inhibitory effects of ultrasound in combination with ascorbic acid on browning and polyphenol oxidase activity of fresh-cut apples. *Food Sci. Biotechnol.* 18:1417-1422.
- Kim, J.H. 1974. Studies on the causal factors of skin browning during storage and its control method in 'Imamura-aki' pear (*Pyrus serotina* Rehder). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 16:1-25.
- Kim, S.J., Y.M. Park, and T.M. Yoon. 2014. Perforation adjustment of unit package for 'Fuji' apples during short-term cold storage and export simulation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32:184-192.
- Korea National Arboretum (KNA) and the Plant Taxonomic Society of Korea (PTSK). 2007. A synonymic list of vascular plants in Korea. Korea National Arboretum, Pochun, Korea.
- Lim, C.S. and J.L. Cho. 2009. Different susceptibility of sweet and hot pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) to surface pitting during storage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:244-249.
- Mattheis, J. and J.K. Fellman. 2000. Impacts of modified atmosphere packaging and controlled atmospheres on aroma, flavor, and quality of horticultural commodities. *HortTechnology.* 10:507-510.
- Park, Y.J., G.Y. Bang, and Y.M. Park. 2013. Controlled atmosphere storage disorders in fresh *Allium* (*Allium ochotense* Prokh.). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31(Supp. 1):75-76. (Abstr.)
- Park, Y.M., S.M. Woo, and Y.J. Park. 2012. Controlled atmosphere storage disorders in fresh Fischer Ligulariata (*Ligularia fischeri* Turcz.) leaves. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30(Supp. 2):85-86. (Abstr.)
- Park, Y.M. and S.W. Youn. 1999. Poststorage physiology and quality changes of 'Fuji' apples as influenced by harvest maturity and storage procedures. *Food Sci. Biotechnol.* 8:30-33.
- Park, Y.M. and Y.J. Lee. 2008. Induction of modified atmosphere-related browning disorders in 'Fuyu' persimmon fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 47:346-352.
- Toivonen, P.M.A. and D.A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 48:1-14.
- Watkins, C.B. 2000. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. *HortTechnology* 10:501-506.
- Wright, K.P. 2004. Pepper. In: K.C. Gross, C.Y. Wang, and M. Saltveit (eds.). *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks* (Agric. Handbook No. 66. Website version, revised in April, 2004). USDA-ARS, Beltsville, MD.