

재배 시 탄산시비가 딸기 ‘매향’의 품질과 저장성에 미치는 영향

최인이^{1,2} · 윤재수¹ · 윤혁성¹ · 최기영³ · 김일섭¹ · 강호민^{1,2*}

¹강원대학교 원예·시스템공학부 원예과학전공, ²강원대학교 농업생명과학연구원, ³강원대학교 시설농업학과

Effects of Carbon Dioxide Fertilization on the Quality and Storability of Strawberry ‘Maehyang’

Choi In-Lee^{1,2}, Jae Su Yoon¹, Hyuk Sung Yoon¹, Ki-Young Choi³, Il-Seop Kim¹, and Ho-Min Kang^{1,2*}

¹Division of Horticulture and Systems Engineering, Program of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Agricultural and Life Science Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Department of Controlled Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract. This study was conducted to find out the effects of CO₂ fertilization (1,000ppm) on the quality and storability of ‘Maehyang’ strawberry fruits. Qualities such as firmness, soluble solid, and acidity of strawberry fruits showed higher numbers in those treated with CO₂ fertilization compared to those after harvest. Strawberry fruits were stored at 8°C; MA condition using 20,000 cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR (oxygen transmission rate) films and conventional condition using unsealed PE box stored for 20 and 10 days, respectively. Fresh weight loss rate was less than 1.0% in MA storage regardless of CO₂ fertilization treatment. Concentrations of oxygen, carbon dioxide, and ethylene in OTR films did not show any significant difference between CO₂ fertilization treatment and control (non-treatment) during storage. CO₂ fertilization treatments maintained higher firmness after storage regardless of storage methods, but soluble solid, acidity, and surface color did not differ among the treatments. Visual quality and off-flavor based on sensory evaluation was the highest in CO₂ fertilization treated strawberry and stored at a MA condition, and was the lowest in CO₂ fertilization treated strawberry and those stored in a conventional condition, respectively. The fungal incidence rate of strawberry fruits showed less in CO₂ fertilization treatment than control during both MA and conventional storage. These results suggest that CO₂ fertilization can improve firmness, increase visual quality after harvest and storage at 8°C, and the MA storage method enhances the shelf-life of ‘Maehyang’ strawberry fruits.

Additional key words : carbon dioxide, firmness, fungal incidence, off-flavor, visual quality

서 론

우리나라의 딸기 생산 규모는 세계적인 생산량을 기록하며 동남아시아에도 수출량이 꾸준히 증가하는 원예작물이다. 그 중 ‘매향’은 국내에서 생산되는 여러 수출딸기 중 동남아시아 소비자들의 입맛에 부합하고 또한 저장성이 높은 품종으로써 주로 경남에서 대부분 생산되어 수출되고 있다(KREI, 2010; Kim과 Hwang, 2013; MIFAFF, 2010). 동남아시아로의 딸기 수출은 항공 수송시 1-2일, 선박 수송시 7일 이상 소요된 후 소비자에게 판매기간까지 고려해보면 수일에

서 최대 10일 이상의 저장기간이 필요하다. 이에 따른 저장기간 연장에 관한 연구가 진행되고 있는데 딸기 재배 중 Ca 살포(Cheour 등, 1990), 수확 후 저장 전 고농도 이산화탄소 처리(Harker 등, 2000; Hwang 등, 1999)등이 보고되었다. 딸기 수확 후 고농도 이산화탄소 처리는 과실의 부패, 호흡, 그리고 에틸렌 생성을 억제시키고, 경도를 높이거나 경도 저하를 완화시킨다고 보고되었다(Smith와 Skog, 1992; Watkins 등, 1999). 포장 용기에 따른 저장성 비교, 저장 환경 중 공기조성을 조절하여 호흡속도를 조절하는 CA 저장(Controlled atmosphere), 저장 필름의 두께를 다르게 하여 소포장 형태의 MAP(Modified atmosphere packaging) 저장 등의 연구가 보고되었다(Kim 등, 1998; Kim 등, 1993).

*Corresponding author: hominkang@kangwon.ac.kr
Received January 12, 2017; Revised February 14, 2017;
Accepted April 26, 2017

저장성 향상에 관한 연구가 많이 보고되었음에도 불구하고 과육이 연하여 그 효과는 미미하여 잿빛곰팡이 등의 2차적 품질저하 현상이 많이 발생하고 있다(Kim 등, 2009). 이에 따른 딸기 원물에 최대한 물리적인 가해를 주지 않는 내에서 저장성을 향상할 수 있는 방법을 모색하는 것이 시급한 실정이다. 원예작물 재배시 탄산가스가 높아질 경우 순광합성량, 엽면적, 건물량 등이 증가하며 증산, 기공전도도는 감소되는 등 다양한 생리 반응에 영향을 미치고, 근권부와 지상부의 비, 수확지수 등의 변화를 일으키는 것으로 보고되었다(Cure, 1986; Nederhoff 등, 2000). 국내에서는 탄산가스 처리에 대한 보고는 착색단고추 재배시 생육(Kang 등, 2007)과 스프레이국화 품질(Sung 등, 2010)에 관한 연구가 있었고, 국외는 딸기 재배시 탄산가스 처리가 보고(Sung과 Chen, 1991; Wang 등, 2003) 되었으나 저장성과 연관된 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 딸기 ‘매향’ 재배 시 탄산시비가 수확 후 품질 및 저장성에 미치는 영향을 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2016년 1월부터 2월까지 경상남도 진주의 플라스틱 하우스에서 관비재배된 ‘매향’ 딸기를 대상으로 하였다. 탄산시비 처리구는 재배 시 오전 9-10시에 온실내 이산화탄소를 1,000 ppm (3L/1min) 수준으로 시비하였다. 탄산시비 처리구와 무처리구를 수확하여 과장, 과폭, 과중, 경도, 당도, 산도, 그리고 색도를 조사하였다. 저장 방법은 MA저장과 관행 저장 조건을 두었는데, 관행 저장은 기존 유통 용기에 담아 포장하였다. MA 저장은 기존 딸기 MA 저장 실험(Baek 등, 2015)에서 적합하다고 보고된 20,000 cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR(oxygen transmission rate) 필름(대룡포장산업(주))으로 포장하였다. 모든 처리구는 8°C에서 저장하였는데 관행 저장은 10일, MA 저

장은 20일간 진행되었다.

저장 중 생체중 감소율과 포장내 이산화탄소, 산소 및 에틸렌 농도 변화를 조사하였는데, 이산화탄소와 산소 농도는 CO₂/O₂ analyzer(CheckMate 9900, PBI, Denmark), 에틸렌 농도는 gas chromatography(GC-2010, Shimadzu, Japan)를 사용하여 측정하였다(Park 등, 2000). 저장 최종일에 경도, 당도, 산도, 외관, 이취, 색도, 그리고 곰팡이 발생률을 조사하였다. 경도는 rheometer (Compac-100II, Sun scientific, Japan), 당도는 pocket refractometer (PAL-1, Atago, Japan), 산도는 picket brix-acidity meter (PAL-BX|ACID1, Atago, Japan)로 측정하였고, 색도는 colorimeter (CR-400, Minolta, Japan)로 측정하여 CIE L*, Hue angle 및 Chroma 값으로 표기하였다(Hwang 등, 2013). 외관상 품질과 이취는 5명의 숙련된 패널에 의한 관능 평가로 조사하였는데 1부터 5까지 등급으로 평가하였다. 외관상 품질의 등급은 저장 전 가장 좋은 상태를 5점, 상품성이 유지된 상태를 3점, 그리고 완전폐기 상태를 1점으로 하였다. 이취의 평가 등급은 이취를 느끼지 못하는 수준을 0점, 이취가 매우 강한 수준을 5점으로 하였다. 모든 실험은 5반복으로 진행하였으며 통계 처리는 Microsoft Excel 2013 program을 이용하여 표준편차로 나타내거나, SPSS(IBM SPSS Statistics version 22) program을 이용하여 각 처리간의 유의성은 독립표본 T검정과 Duncan의 다중 범위 검증을 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

재배 중 1,000 ppm 농도로 탄산시비 처리한 ‘매향’ 딸기와 무처리구의 품질을 비교하였는데, 과장, 과폭, 과중, 색도는 처리에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 경도, 당도, 그리고 산도의 차이에는 통계적 유의성이 있었다(Table 1). 포도 재배 시 고농도 이산화탄소를 처리하였을 때 당도가 대조구에 비해

Table 1. Effects of CO₂ fertilization on the fruit height, fruit diameter, fruit weight, firmness, soluble solid, acidity, and color of strawberry 'Maehyang' after harvest.

CO ₂ Fertilization	Fruit height (cm)	Fruit diameter (cm)	Fruit weight (g)	Firmness (N)	Soluble solid (°Brix)	Acidity (%)	Color (value)		
							L*	Hue angle	Chroma
Control	4.3	2.7	10.5	6.4	8.2	1.4	46.2	39.6	30.9
1,000ppm	4.2	2.6	10.3	8.1	9.4	1.7	47.3	41.0	32.3
	NS	NS	NS	*	*	*	NS	NS	NS

NS, * Nosignificant or significant at P < 0.05

높았다는 보고(Son 등, 2014)와 딸기 수확 후 이산화탄소 처리시 정도 유지되었다는 기존의 보고와 일치하는 결과를 보였다(Harker 등, 2000; Son 등, 2014; Wang 등, 2014).

8°C 저장 중 생체중 감소율은 OTR 필름으로 포장한 MA 조건에서 20일까지 1% 이하의 수준이었는데 탄산시비 처리 효과는 나타나지 않는다. 그에 반해 기존 유통 조건인 관행저장에서는 탄산시비 처리에 관계없이 저장 1일후 감소율이 급격히 증가하여 저장 5일째 10% 내외의 큰 감소를 나타냈다. 이는 딸기와 같은 장미과에 속하는 블랙베리(blackberry)의 최대 허용 생체중 감소율인 6.0%을 크게 상회하는 수치로서(Kays와 Paull, 2004), 관행저장 처리구는 수분손실로 인한 외관상 품질 저하를 보여 MA저장 처리구에 비해 저장기간이 10일이나 짧았다(Fig. 1). MA저장 중

포장내 이산화탄소 농도는 무처리구와 탄산시비 처리구 모두 저장 3일째 20% 내외의 높은 농도를 나타내었는데, 탄산가스 무처리구는 저장 3일 이후 15% 내외의 농도를 저장 종료일인 20일째까지 유지하였다. 이에 반해 탄산시비 처리구에서는 저장 3일 이후 감소하였다가 다시 5일 이후 급격히 증가하여 25%에 육박하는 수치를 나타낸 후, 저장 종료일에는 15%로 감소하였다. 이는 최적 CA조건 중 이산화탄소 농도는 15-20%인 수치와 유사하거나 다소 높은 수치였다. 딸기의 최대 이산화탄소 허용 농도는 15%로 원예작물 중에서도 높은 수치에 속하며 이산화탄소에 대한 민감도는 낮은 작물이다(Kader, 2002). 포장내 산소 농도는 탄산가스 처리구와 무처리구 모두 저장 직후 급격히 감소하여 3%의 낮은 수치를 나타내었고, 무처리구는 저장 5일 이후 10% 내외이었으며 처리구는 저장 10일째까지 증감을 반복하였고 이후 서서히 감소하며 저장 종료일인 20일째에 7%의 수치를 보였다. 딸기와 같은 장미과에 속하는 블랙베리(blackberry), 블루베리(blueberry), 크렌베리(cranberry) 등의 적정 CA 조건중 최저 산소 농도는 각각 5, 2, 1%로 보고되었는데(Kader, 2002), 이와 유사한 수치를 나타내었다. 포장내 에틸렌 농도는 대조구와 처리구 모두 저장 종료일까지 증감을 반복하며 저장 종료일까지 2.0 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 내외의 수치를 보였는데, 탄산시비에 대한 농도의 차이는 나타나지 않았다(Fig. 2). 기존의 이산화탄소 처리에 따른 딸기의 에틸렌 발생 양상에 관한 보고에서 Li와 Kader(1989)는 이산화탄소 농도가 증가할수록 에틸렌 생성량은 감소한다고 하였으나, Song 등(1995)은 증가한다고 하여 이산화탄소 처리와 에틸렌 발생과는 특별한 연관성이 없는 것으로 판단되었다.

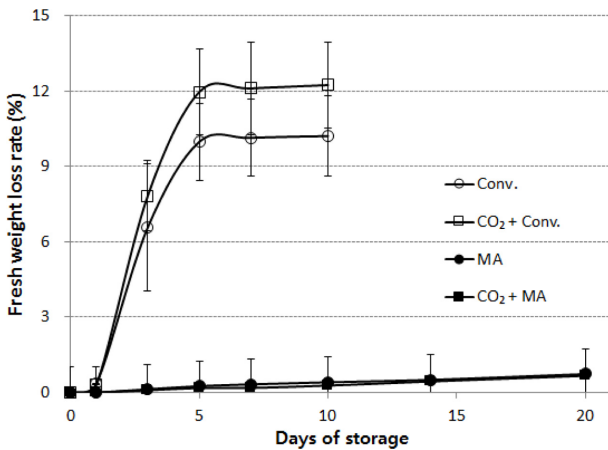


Fig. 1. The changes of fresh weight loss rate of strawberry 'Maehyang' treated CO₂ fertilization and stored Conv.(conventional) and MA conditions at 8°C. Vertical bars represent \pm SD(n=5).

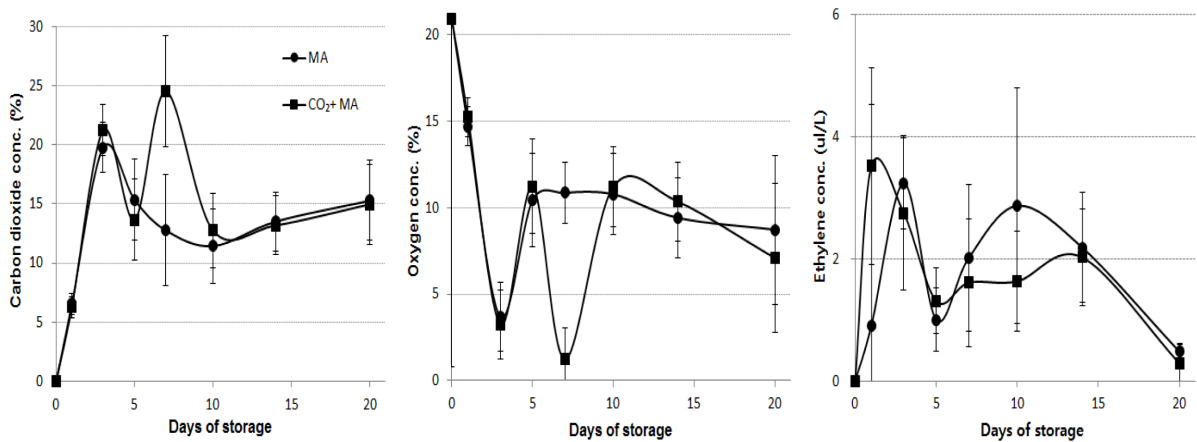


Fig. 2. Changes of carbon dioxide, oxygen, and ethylene concentration in package of strawberry 'Maehyang' treated CO₂ fertilization and stored MA conditions at 8°C. Vertical bars represent \pm SD(n=5).

Table 2. Firmness, soluble solid, acidity, visual quality, off-flavor, color, and fungal incidence, of strawberry ‘Maehyang’ treated CO₂ fertilization and stored conventional and MA conditions at 8°.

Storage method	CO ₂ Fertilization	Firmness (N)	Soluble solid (°Brix)	Acidity (%)	Visual quality	Off-flavor	Color index			Fungal incidence (%)
							L*	Hue angle	Chroma	
Conventional	Control	9.4bc ^z	8.3a	1.15a	1.7b	3.0a	45.4a	29.8c	30.7b	10.0
	1,000ppm	12.4a	9.1a	1.23a	2.2ab	2.0c	38.7c	30.5bc	30.9b	0.0
Modified atmosphere	Control	8.6c	7.4b	1.11a	2.1ab	2.7b	41.8b	36.0a	33.9a	42.3
	1,000ppm	10.6b	7.3b	1.23a	2.6a	2.8ab	42.9a	32.6b	31.3ab	33.3

^zMean separation within columns by DMRT at 5%

딸기는 에틸렌이 적게 발생하는 작물로서 에틸렌에 대한 민감도도 낮은 것으로 보고되었다(Kader, 2002).

8°C에서 각각 10일과 20일 저장한 관행저장 처리구와 MA저장 처리구의 저장 종료일 경도는 탄산시비 처리구가 대조구에 비해 높은 경도를 나타내었다. Wang 등(2014)은 ‘설향’ 딸기를 상온에서 3시간 동안 고농도 이산화탄소를 처리하였을 때 대조구에 비해 경도 증진 효과가 20% 이상 나타난 것과 유사한 결과를 나타내었다. 당도는 탄산시비에 따른 처리구와 대조구의 차이는 나타나지 않았으나, MA저장에 비해 관행저장이 높았는데 이는 관행저장 처리구의 생체중 감소율로 유추해 볼 때 수분 손실로 인한 희석효과로 생각된다(Park, 1983). 산도는 저장방법에 관계없이 탄산시비 처리구가 무처리구에 비해 다소 높았으나 통계적 유의성은 없었다. 기존의 보고에서 이산화탄소 처리에 따른 딸기의 산도 변화에 대해 Harker 등(2000)은 감소한다고 하였으나, Li와 Kader(1989)는 차이를 보이지 않았다고 하였다. 외관상 이취는 패널 테스트로 진행되었는데 외관상 품질은 두 저장방법 모두 탄산시비 처리구가 대조구에 비해 우수하였는데, 이는 저장 전 증진된 경도의 영향이라고 판단된다. Choi 등(2012)은 21종의 파프리카 품종별 저장성 비교 실험에서 경도가 높을수록 저장성이 높았고 경도와 저장수명간의 고도의 정의 상관관계가 있다고 하였다. 이취는 저장방법별로는 관행저장이, 처리별로는 탄산시비 처리구가 낮았으나 모든 처리구의 이취 정도가 2-3점인 것으로 보아 어느 정도의 이취는 발생하였다.

본 실험에서 포장내 고농도의 이산화탄소가 이취의 발생 원인이었던 것으로 판단되는데, 일반적으로 이산화탄소 농도가 15% 이상일 때 해당과정에서 생성된 pyruvate가 TCA cycle로 연결되지 못하고 발효과정이 일어나 이취의 원인인 아세트알데히드와 알콜이 생성된다(Kays, 1991). ‘여봉’ 딸기 수확 후 20%의 고농

도 이산화탄소로 CA저장 하였을 때 무처리구에 비해 처리구가 이취를 많이 발생하였다고 보고하였고(Kim 등, 1998), Li와 Kader (1989)는 낮은 산소 농도와 높은 이산화탄소 농도의 조건이 에탄올의 축적을 증가하여 이취를 유발한다는 보고하였다.

과실의 색도는 명도를 나타내는 CIE L*과 낮을수록 red purple색을 나타내는 hue angle 값은 저장방법과 탄산시비 처리에 따른 일정한 경향을 나타나지 않았다. 외관상 선명도를 알 수 있는 chroma 값(Hwang 등, 2013)은 무처리구에 비해 탄산시비 처리구, 관행저장에 비해 MA저장 처리구가 더 선명한 붉은색을 띄었으나 통계적 유의성은 없었다. Wang 등(2014)은 ‘설향’ 딸기에 고농도 이산화탄소 처리시 처리시간이 길고 처리농도가 높을수록 화탁 같은 현상이 증가한다고 보고하였는데, 본 연구의 탄산시비에 따른 과실의 화탁의 같은 현상은 나타나지 않았다(데이터 없음). 곰팡이 발생률은 MA저장에 비해 관행저장이 낮았고 무처리구에 비해 탄산시비 처리구가 낮은 수치를 보였다. 또한 탄산시비하여 관행저장한 처리구는 곰팡이가 전혀 발생하지 않았다(Table 2). 이는 수확 후 이산화탄소를 30%의 농도로 3시간 처리한 딸기가 대조구에 비해 잿빛곰팡이에 의한 부패과 발생률이 낮았던 보고(Han 등, 2015)와 수확한 딸기를 고농도 이산화탄소에 노출하였을 때 부패균 증식을 억제한다는 보고와 일치하였다(Harker 등, 2000; Hwang 등, 1999).

이상의 결과를 볼 때, 탄산시비 처리는 무처리구에 비해 경도가 높으며, 같은 기간 저장하였을 때 대조구에 비해 외관상 품질이 양호하고 이취가 적게 발생하며, 곰팡이 발생률이 낮았다. 또한 관행저장에 비해 MA저장하는 것이 저장기간이 2배로 늘어나는 것을 확인 할 수 있었다. 이에 ‘매향’ 딸기 재배 시 탄산시비하여 MA저장하는 것이 저장성 향상에 효과가 있는 것으로 판단된다.

적 요

‘매향’ 딸기의 재배 시 1,000ppm 농도의 탄산시비가 품질과 저장성에 미치는 영향을 알아보기로 본 연구를 수행하였다. 딸기 수확 후 품질을 비교 하였는데, 경도, 당도, 그리고 산도가 무처리구에 비해 탄산가스 처리구에서 높은 수치를 나타내었다. 기존 유통 조건인 관행저장 처리구는 10일간, 20,000cc OTR 필름으로 MA저장 처리구는 20일간 8°C에서 저장하였다. 저장 중 생체중 감소율은 탄산시비 처리에 관계없이 MA저장 처리구가 저장종료일까지 1%의 낮은 감소를 보였다. 저장 중 MA저장 처리구의 포장내 산소, 이산화탄소, 그리고 에틸렌가스 농도는 탄산시비 처리에 따른 유의성있는 차이를 보이지 않았다. 저장종료일의 경도는 저장방법에 관계없이 탄산시비 처리구가 무처리구보다 높은 수치를 나타내었으나, 당도와 산도 그리고 과색은 처리에 따른 차이가 나타나지 않았다. 패널테스트를 통한 외관은 탄산시비 처리하여 MA저장한 처리구가 가장 우수하였으며, 이취는 탄산시비 처리하여 관행저장한 처리구가 가장 낮았다. 곰팡이 발생률은 두 저장방법 모두 무처리구에 비해 탄산시비 처리구가 낮은 수치를 보였다. 이상의 결과를 볼 때, 재배 중 탄산시비는 ‘매향’ 딸기의 경도를 높여 8°C 저장 중 외관상 품질과 저장 후 경도를 높게 유지시켜 저장성을 향상시킬 수 있으며, 저장방법으로는 MA저장이 저장기간을 연장시킬 것으로 판단된다.

추가 주제어: 경도, 곰팡이 발생률, 외관, 이산화탄소, 이취

사 사

본 연구는 2016년 농림수산식품기술기획평가원 수출전략기술개발사업(과제번호 314027-03)으로 수행되었음.

Literature Cited

Baek, J.P., H.S. Yoon, I.L. Choi, M.J. Jeong, L.S. Hwang, J.H. Jung, J.S. Kim, and H.M. Kang. 2015. Effect of OTR film of different maturity strawberry ‘MaeHyang’ in MA storage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33(Suppl II):122.
 Cheour, F., C. Willemot, J. Arul, Y. Makhlof, P.M. Charest, and A. Gosselin. 1990. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:789-792.
 Choi, I.L., Y.B. Lee, I.S. Kim, and H.M. Kang. 2012. A comparison of storability in MA storage and the quality of

paprika fruit among cultivars. *J. Bio-Environ. Cont.* 21(3):252-260.
 Cure, J.D. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling : a literature survey. *Agricultural and forest meteorology.* 38:127-145.
 Han, S.H., S.Y. Lim, and E.J. Lee. 2015. High CO₂ prolongs postharvest life of strawberry (*Fragaria × Ananassa*) by reducing decay and cell wall degradation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33(Suppl II):46.
 Harker, F.R., H.J. Elagr, C.B. Watkin, P.J. Jackson, and I.C. Hallett. 2000. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biology Technology.* 19:139-146.
 Hwang, D.K., H.L. Eum, Y.R. Yeoung, K.K. Park, and S.J. Hong. 2013. Characteristics of everbearing strawberry cultivars and the effect of precooling treatment to maintain quality of ‘Charlotte’ cultivar grown on highland in summer season. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31(3):282-288.
 Hwang, Y.S., Y.A. Kim, and W.S. Lee. 1999. Effect of postharvest CO₂ application time on the flesh firmness and quality in ‘Nyoho’ strawberries. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:179-182.
 Kader, A.A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops.* 3rd Ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. USA.
 Kang, I.Y., S.Y. Lee, H.J. Kim, H. Chun, and B.R. Jeong. 2007. Effects of CO₂ Enrichment concentration and duration on growth of bell pepper(*Casicum annuum* L.). *J. Bio-Environ. Cont.* 16(4): 352-357.
 Kays, S.J. 1991. *Extension physiology of perishable plant products* AVI publishing. New York.
 Kays, S.J. and E.R. Paull. 2004. *Postharvest biology.* Exon Press, Athens, GA.
 Kim, H.M. and S.J. Hwang. 2013. Qualitative changes in maturity, precooling temperatures and light illumination on the post-harvest management of the fruits in ‘Maehyang’ strawberry for export. *Protected Hort. and Plant Fac.* 22(4):432-438.
 Kim, J.G., S.S. Hong, S.T. Jeong, Y.B. Kim, and H.S. Jang. 1998. Quality change of “Yeobong” strawberry with CA storage conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30:871-876.
 Kim, J.K., K.D. Moon, and T.H. Sohn. 1993. Effect of PE film thickness on MA (modified atmosphere) storage of strawberry. *Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 22:78-84.
 Kim, Y.H., I.B. Lee, C.H. Chun, H.S. Hwang, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Yoo, J.P. Bitog, and K.S. Kwon. 2009. Utilization of CO₂ influenced by windbreak in an elevated production system for strawberry. *J. Bio-Environ. Cont.* 18(1):29-39.
 Korea Rural Economic Institute (KREI). 2010. *Agricultural outlook.* 198-210.
 Li, C. and A.A. Kader. 1989. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:629-634.

- Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (MIFAFF). 2010. Annual report of greenhouse vegetable product.
- Nederhoff, R.A.C., J.C. Theobald, M.A.J. Parry, and D.W. Lawlor. 2000. Is there scope for improving balance between RuBP-regeneration and carboxylation capacities in wheat at elevated CO₂. *Journal of experimental Botany*. 51:391-397.
- Park, K.W. 1983. Effects of fertilization, irrigation and harvesting period on the quality of vegetable crops. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 24:325-337.
- Park, K.W., H.M. Kang, and C.H. Kim. 2000. Comparison of storability on film sources and storage temperature for fresh Japanese mint in MA storage. *J. Bio-Environ. Cont.* 9:40-46.
- Smith, R.B. and L.J. Skog. 1992. Postharvest carbon dioxide treatment enhance firmness of several cultivars of strawberry. *HortScience*. 27:420-421.
- Son, I.C., J.H. Han, J.G. Cho, S.H. Kim, E.H. Chang, S.I. Oh, K.H. Moon, and I.M. Choi. 2014. Effects of the elevated temperature and carbon dioxide on vine growth and fruit quality of ‘Campbell Early’ grapevines (*Vitis labruscana*). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(6):781-787.
- Song, J.C., N.K. Park, W.K. Chung, and S.Y. Lee. 1995. Studies on post-harvest physiology and storability of strawberry with controlled CO₂ concentrations. *RDA J. Agri. Sci.* 37(2):687-695.
- Sung, F.J.M. and J.J. Chen. 1991. Gas exchange rate and yield response of strawberry to carbon dioxide enrichment. *Scientia Horticulturae*. 48:241-251.
- Sung, M.S., S.G. Kang, S.S. Lee, S.J. Ko, Y.K. Kang, and Y.H. Kim. 2010. Study on the nature carbon dioxide (CO₂) fertilizing on spray type chrysanthemum by use of development of heating system for agricultural facilities using underground air in jeju. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(Suppl II):111.
- Wang, M.H., A.Y. Lee, K.S. Oh, and Y.S. Hwang. 2014. Occurrence of sepal browning and firmness changes in strawberry fruit treated by high pressure CO₂. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(Suppl I):102.
- Wang, S.Y., J.A. Bunce, and J.L. Maas. 2003. Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in field-grown strawberries. *J. Agric. Food Chem.* 51:4315-4320.
- Watkins, C.B., J.E. Manzano-mendez, J.F. Nock, J. Zhang, and K.E. Maloney. 1999. Cultivar variation in response of strawberry fruit to high carbon dioxide treatments. *J. Sci. Food Agric.* 79:886-890.