Journal of Environmental Science International
31(11); 951~958; November 2022

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2022.31.11.951

ORIGINAL ARTICLE

시설내의 탄산가스 시용이 딸기의 생육 및 생산성에 미치는 영향

이정은 · 김현도 · 이규빈[1] · 강점순*
부산대학교 원예생명과학과 [1]국립식량과학원 고령지농업연구소

Effects of Carbon Dioxide Application on the Plant Growth and Productivity of Strawberry in Greenhouse

Jung-Eun Lee, Hyeon-Do Kim, Gyu-Bin Lee[1], Jum-Soon Kang*
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
[1]Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 25342, Korea

Abstract

The aim of this study was to determine the optimum level of carbon dioxide to maximize the quality and yields of strawberries cultivated in a greenhouse. Specifically, two strawberry cultivars, namely, 'Seolhyang' and 'Maehyang', were subjected to varying concentrations of carbon dioxide and patterns linked to their productivity were noted. Both cultivars showed improvements across various physical variables (i.e., leaf area, crown diameter, plant height, fresh weight, and dry weight) when carbon dioxide concentrations were at 1,500 ppm. The optimum carbon dioxide concentration for increased fruit yields and quality was 1,000 ppm. When carbon dioxide was at 1,000 ppm the yields of 'Seolhyang' and 'Maehyang' increased by 1.99 and 1.78 times, respectively, compared to control plants. The influence of carbon dioxide on fruit color was negligible. However, the carbon dioxide increased the sugar content and sugar-acid ratio of the experimental fruits compared to control plants. Specifically, the sugar-acid ratio, which is directly related to taste, was at its highest when the concentration of carbon dioxide was at 1,000 ppm (i.e., for both 'Seolhyang' and 'Maehyang'). Overall, the application of carbon dioxide culminated in improved yields and fruit quality for both cultivars of interest.

Key words : Carbon dioxide, Fruit, Greenhouse, Maehyang, Seolhyang, Strawberry

1. 서 론

우리나라 대부분의 시설원예 농가들은 겨울철에 시설 내부의 온도를 확보하여 난방비를 절감하기 위하여 하우스를 밀폐된 상태에서 작물을 재배한다. 밀폐된 시설 내부는 낮 동안 작물체에 의해 탄산가스가 소모되어 탄산가스 농도는 150 ppm 이하로 떨어진다(Nelson, 1998; Kang et al., 2007). 이러한 낮은 탄산가스 농도는 광합성 속도를 떨어뜨려 작물의 생장을 저해시킨다(Sage and John, 2001).

탄산가스는 광합성의 필수성분으로 작물은 탄산가스를 흡수하여 포도당을 생성하게 되고, 탄산가스 농도를 높이면 광합성 속도를 증가시킬 수 있다. 작물 재배 시 탄산가스를 시용하면 광합성량, 엽면적, T/R율, 건물중 등과 같은 다양한 작물의 생리 반응에 영향(Cure, 1986)을 미칠 뿐만 아니라 수확량을 증대시키고 수확

Received 22 September, 2022; **Revised** 26 October, 2022; **Accepted** 7 November, 2022
***Corresponding author** : Jum-Soon Kang, Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
Phone : +82-55-350-5523
E-mail : kangjs@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

물의 품질을 향상시킨다(Farrar et al., 2000).

따라서 온실 내부에 탄산가스를 공급하여 작물 생장을 향상시키는 기술은 이미 오래전부터 네덜란드에서 연구가 진행되어 실용화 되었다. 최근 국내에서도 파프리카 및 유럽형 토마토 재배에 탄산가스가 시용되고 있고, 그 효과는 작물의 수확소요일수 단축, 수확량 증가 및 품질 향상으로 나타나고 있다. 특히 과채류에서는 초기수량이 증가하고 상품과 비율이 증가하는 등 품질 향상 효과가 현저한 것으로 알려져 있다(Farrar et al., 2000).

고추에서는 4주간 1,000 ppm의 탄산가스를 시용하면 수량이 2배 이상 증가 하였으며(Willits and Peet, 1981), 참외에서도 탄산가스 시용이 과중 및 당도를 향상시켰다고 하였다(Shin et al., 2014). 딸기에서도 탄산가스 시용은 과당과 자당의 함량을 증가시키고 생산량을 30-40% 증가시켰으며(Jeong et al., 1996; Paek et al., 2020), 최적 광합성 조건하에서 1,000 ppm의 탄산가스 시용은 일부 당함량이 대조구에 비해 3배까지 증가시킨다고 하였다(Sung and Chen, 1991; Jeong et al., 1996; Lieten, 1997; Kim et al., 2009).

그러나 탄산가스 시용 농도에 비례하여 광합성은 계속 증가하는 것이 아니라 어느 시점에 이르면 더 이상 증가하지 않는 포화현상이 발생하고, 오히려 고농도의 탄산가스 조건에서는 기공이 닫혀 증산작용이 감소하며 작물 체온이 올라가면서 엽소현상이 나타나기도 한다.

탄산가스 적정 시용농도는 작물의 종류와 생육단계에 따라 달라지며, 착색단고추는 1,000 ppm(Kim et al., 2005), 멜론은 1,200 ppm(Yuwen and Shidong, 2004), 수박은 1,200 ppm(Kim, 2021)에서 생육증진 및 품질향상 효과가 좋았다고 하였다. 대체적으로 작물의 탄산가스 포화점은 1,200~1,800 ppm 정도로 알려져 있으며, 1,500 ppm 이상은 작물에 적합하지 않고 700~1,200 ppm 정도가 적정 시비량으로 알려져 있다(RDA, 2018).

딸기는 과일의 맛과 향이 풍부하고 비타민 C를 많이 함유하고 있을 뿐만 아니라 저온에 강하여 저온기에 난방비 부담이 적으며 가격이 안정되어 수익성이 높은 작물 중 하나이다(RDA 2015). 최근 딸기 재배 형태는 육묘, 정식, 적엽, 적화 및 수확까지 전 작업을 선 자세로 할 수 있어 작업이 효율적이며, 토양의 염류집적이나 연작장해 피해를 경감할 수 있는 고설 딸기재배 면적이 증가하고 있다.

본 연구는 딸기 시설재배에 탄산가스 농도를 다르게 시용하여 생육 및 생산성을 검정하고 이를 통해 고품질의 딸기를 생산하기 위한 경제적 탄산가스 시용 농도를 규명하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시품종 및 재배조건

본 실험에 사용된 딸기(*Fragaria ananassa* Duch.) 품종은 '설향(Seolhyang)'과 '매향(Maehyang)'이었다. 실험은 주간온도 20℃, 야간온도 13℃로 설정된 부산대학교 온실의 고설벤치 베드에서 재배실험을 수행하였다.

본엽이 4장 전개된 묘를 원예용 상토(Chambujs, Farmhannong, Korea)로 채워진 포트(가로 60 cm x 세로 25 cm × 높이 30 cm)에 정식하였다. 시험구는 난괴법 3반복이었으며, 처리구당 6개의 포트를 배치하고 포트 당 3주의 식물체를 정식하여 재배하였다. 실험에 사용된 딸기묘는 평균 크라운 직경이 8.5 mm 되는 것을 사용하였다.

재배기간 중 양액은 400배로 희석한 물푸레 1호 과채류용(Daeyu, Korea)을 사용하였고, 자동 타이머를 이용하여 하루에 각 2분씩 5회 걸쳐 점적튜브를 통해 총 400 mL의 양액을 비순환식으로 공급하였다. 공급되는 양액의 pH는 6.7 이었으며, EC는 1.5 dS/m 였다.

2.2. 탄산가스 시용 처리 조건

탄산가스 시용이 딸기의 생육, 수량 및 품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 온실별로 700, 1,000, 1,500 ppm의 탄산가스를 시용하여 대조구(360 ppm)와 그 효과를 비교하였다. 탄산가스 자동 시비장치는 CO_2 센서(GMW45, VAISALA, Helsinci, Finland), 농도조절용 컨트롤러(SX9, Hanyoung, Seoul Korea), 전자 밸브로 구성되었다. 탄산가스 시용 방법은 가스봄베(30 kg)를 이용하여 액화탄산을 분사하여 24시간 공급하였다. 또한 시용된 탄산가스가 온실내에 균일하게 분포하도록 유동팬을 이용하여 공기를 교반시켰다.

2.3. 생육 및 생산성 검정

생육조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 30일, 60일 및

90일째에 실시하였다. 조사방법은 반복 당 3주의 식물체를 대상으로 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 경직경, 관부직경, 초장, 근장, 생체중, 및 건물중을 조사하였다. 엽면적 측정은 엽면적 측정기(LI-3100, LI Cor., USA)를 이용하였고, 엽수는 잎의 길이가 1 cm 이상인 것을 조사하였다. 건물중은 105℃의 건조기에서 12시간 건조 후 무게를 측정하였다. 근장은 뿌리를 물로 완전히 씻어 흙을 제거한 후 뿌리의 가장 긴 부분을 측정하였다.

딸기의 생산성 조사는 포트에 딸기를 정식 후 1화방에서 5화방이 출현할 때까지 수확된 과실 수량을 합산하였다. 과실의 수확 판정기준은 과실크기가 3 g 이상이고, 숙도가 균일한 것을 대상으로 하였다. 수확한 딸기는 수량, 과중, 과장 및 과경을 조사하였다. 과장, 과경은 Vernier calipers(CD-15CP, Mitutoyo Cor., JAPAN)을 사용하여 측정하였다. 또한 딸기의 품질에 관련된 색도, 당도, 산도, 당산비를 조사하였는데, 색도는 색차계(CM-3500d, Minolta, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b 값을 측정한 뒤 평균값으로 나타내었다. L value는 0(black), +100(white), a value는 +a(redness), -a(greenness), b value는 +b(yellowness), -b(blueness)로 수치화 하였다. 당도(PR-201a, Atago, Japan)는 과실의 앞쪽을 5mm 가량을 잘라낸 후 착즙하여 측정하였다. 산도는 Titratable acidity 법으로 그리고 당산비를 조사하였다.

실험 결과의 통계분석은 던컨다중(Duncan's multiple range test) 검정을 하였고, 이를 위해 SAS 프로그램(Statistical Analysis System, Inc., Version 9.4, NC. USA)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄산가스 시용이 딸기의 생육에 미치는 영향

원예작물 재배시 탄산가스를 시용하게 되면 순광합성량, 엽면적, 건물량 등이 증가하며 증산, 기공전도도는 감소되는 등 다양한 생리 반응에 영향을 미치고(Nelson, 1998), 수량 및 품질을 향상시킨다(Kang et al. 2007).

온실에서 탄산가스를 농도별로 시용하여 딸기의 생육을 검정한 결과 무처리에 비해 탄산가스를 시용 했을 때 생육이 향상되었다. 탄산가스 시용농도에 따른 생육반응은 품종에 따라 큰 차이는 없었으며, '설향', '매향' 두 품종 모두 1,500 ppm 탄산가스 시용 농도에서 생육이 가장 좋았으나 1,000 ppm과 유의적인 차이는 없었다(Table 1).

엽면적은 작물의 생산성에 큰 영향을 미치는 요인이며, 충분한 엽면적의 확보는 광합성을 증가시키는 요소이다. 작물재배 시 탄산가스 공급은 잎의 표피조직 세포의 신장을 촉진시키고, 엽면적과 엽수를 증가시키며 그 반응은 작물과 품종에 따라 차이가 있다고 알려져 있다(Taylor et al., 2001). '설향'에 탄산가스 1,500 ppm을 시용 후 30일에 엽면적 측정 결과 694.7 cm^2/plant 였고 750 ppm 시용구는 585.5 cm^2/plant에 불과하여 1,500 ppm에 비해 엽면적이 낮았다. '매향'에서도 1,500 ppm의 탄산가스를 시용한 딸기의 엽면적은 762.0 cm^2/plant 였으나 750 ppm 에서는 649.4 cm^2/plant의 엽면적을 보여 탄산가스 시용 농도가 높을수록 엽면적은 증가하였다. 또한 식물체의 초장, 크라운 직경도 탄산가스 시용 농도가 높을수록 생육이 향상되었다(Table 2).

'설향' 및 '매향' 두 품종 모두 탄산가스 시용 농도에 따라 생체중과 건물중에 큰 차이를 보였으며 1,500 ppm 시용구에서 지상부 및 지하부의 생체중과 건물중이 대조구 대비 높았다(Table 3). 하지만 처리 농도 1,000 ppm과 1,500 ppm 사이에는 초장, 엽수, 엽면적, 엽장 및 엽폭 등의 영양생장에는 유의적인 차이는 없었으나 대조구와 750 ppm시용구보다 생육이 향상되었다. 따라서 딸기의 생육을 촉진시킬 수 있는 탄산가스 적정 시용농도는 1,000-1,500 ppm 범위인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 딸기(Jang et al., 2019), 파프리카(Park et al., 2012), 배추(Oh et al., 2016) 및 고추(Song et al., 2016) 등에서도 탄산가스 시비농도가 증가할수록 식물체의 초장, 엽면적 등의 생육이 향상되었다는 선행연구와 유사한 결과였다. 그 원인은 탄산가스 농도가 증가할수록 RuBP (Ribulose-1,5-bisphosphate) carboxylase 활성을 높이고 광합성을 촉진하여 동화산물 축적량을 증가시킨 결과(Mitchell et al., 2000)로 해석된다.

3.2. 탄산가스 시용에 의한 딸기의 생산성 검정

시설 딸기재배에서 경제적인 탄산가스 시용 농도를 설정하기 위해 시용 농도를 달리하여 딸기의 수량과 품질에 미치는 영향을 조사하였다(Table 4,5). 그 결과 '설향' 및 '매향' 두 품종 모두 탄산가스 시용구에서 과실 수량이 증가하였고, 과중도 높았다. '설향' 에서는 대조구의 경우 주당 과실 수량이 38.3개에 불과하였다.

Table 1. The effect of CO_2 fertilization on number of leaves, leaf area, leaf length and leaf width of strawberry plants

Cultivars	CO_2 Concen. [z] (ppm)	No. of leaves	Leaf area (㎠)	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)
		30 days after transplanting [y]			
Seolhyang	750	11.22b [x]	585.5a	10.43a	8.98a
	1,000	11.46a	622.2a	11.22a	9.72a
	1,500	10.98b	694.7a	11.46a	9.51a
	Untreated	10.43b	574.5a	10.98a	9.20a
Maehyang	750	12.04ab	649.4a	12.04a	7.49a
	1,000	12.30a	636.9a	12.30a	7.63a
	1,500	12.42a	762.0a	12.42a	8.18a
	Untreated	11.58b	463.1b	11.58b	7.72a
		60 days after transplanting			
Seolhyang	750	9.00a	1,082.3a	11.84a	10.11a
	1,000	9.78a	1,230.7a	11.82a	10.04a
	1,500	10.00a	1,290.0a	12.09a	10.11a
	Untreated	6.89b	791.3b	10.39b	9.28b
Maehyang	750	7.56a	1,044.5b	11.97b	7.91a
	1,000	7.33a	1,203.2a	12.90a	8.46a
	1,500	7.62a	1,286.7a	13.10a	8.95a
	Untreated	5.78b	1,132.6b	11.99b	8.22a
		90 days after transplanting			
Seolhyang	750	10.11a	1089.0a	11.42a	9.43a
	1,000	9.97a	1666.6a	11.56a	9.31a
	1,500	10.11a	1764.1a	11.99a	9.83a
	Untreated	7.00b	554.7b	8.42b	7.84b
Maehyang	750	6.44a	1087.3b	11.87b	7.52a
	1,000	6.41a	1352.5a	11.87b	7.96a
	1,500	7.33a	1364.0a	13.58a	7.96a
	Untreated	5.67b	744.4c	11.92b	7.21a

[z] Plants were different levels of CO_2 fertilization applied from transplanting to 90 days growing periods. Untreatment was the condition in which non CO_2 supplied.
[y] Plant growth measured was at 30 days intervals for 90 days after transplanting.
[x] Means in columns within each cultivar are separated by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

반면 탄산가스 1,000 ppm 시용구에서는 주당 과실수가 76.3개로 가장 많았고, 1,500 ppm 에서는 60.3개였으며, 750 ppm 에서는 57.3개의 수량을 보였다.

'매향'도 '설향'과 비슷한 경향으로 대조구는 주당 과실 수량이 25.8개에 불과 하였으나 탄산가스를 시용하면 주당 과실수가 증가하였는데 특히 1,000 ppm 탄산가스 시용구에서 주당 과실수가 45.8개로 가장 많았다. 다음은 42.0개의 주당 과실수를 보인 1,500 ppm 이었고, 750 ppm 시용구에서는 38.0개의 과실 수량을 보였다. 따라서 딸기재배에 1,000 ppm의 탄산가스를 시용함으로써 대조구에 비해 '설향'에서는 1.99배 '매향'에서는 1.78배의 과실 수량을 향상시킬 수 있었다.

탄산가스 시용은 과장과 과경 등 과일크기를 증가시켰다. '설향'과 '매향' 두 품종 모두 과실크기 증가에 적합한 탄산가스 시용농도는 1,000 ppm 이었다. 탄산가스 1,000 ppm을 처리한 '설향'에서는 대조구에 비해 과장은 3.2 mm, 과경은 3.1 mm 증가하였다. '매향'도 1,000 ppm 탄산가스 시용구에서 과장은 3.6 mm, 과경은 2.1 mm 증가하였다. 이상의 결과로 탄산가스 시용은 딸기의 수량 증대뿐만 아니라 과실 크기 증가에도 효과적이었으며 딸기의 상품성도 향상되었다(Table 4).

탄산가스를 공급하여 수확한 과실의 색택을 조사한 결과 Hunter L(white), a(red), b(yellowness) 값에는 큰 영향을 주지 못했다. 두 품종 모두 탄산가스 시용

Table 2. The effect of CO_2 fertilization on plant height, stem diameter, crown diameter, and root length of strawberry plants

Cultivars	CO_2 Concen. [z] (ppm)	Plant height (cm)	Crown diameter (mm)	Stem diameter (mm)	Root length (cm)
		30 days after transplanting [y]			
Seolhyang	750	33.62a [x]	16.27a	3.04a	16.20b
	1,000	32.41a	15.49a	3.02a	20.60a
	1,500	35.07a	16.87a	3.42a	22.52a
	Untreated	28.63b	14.19a	3.33a	14.30b
Maehyang	750	36.33a	14.90b	3.10a	20.10a
	1,000	37.70a	16.26a	3.19a	22.05a
	1,500	37.70a	17.23a	3.58a	23.45a
	Untreated	32.88b	12.05c	2.93b	23.40a
		60 days after transplanting			
Seolhyang	750	34.24a	19.58a	3.82a	21.25a
	1,000	35.92a	21.10a	3.78a	26.75a
	1,500	37.27a	22.19a	4.02a	25.30a
	Untreated	30.31b	19.15b	3.47b	24.80a
Maehyang	750	38.91a	19.76a	3.50b	25.95a
	1,000	40.14a	18.93a	3.37a	23.20a
	1,500	40.80a	20.86a	3.88a	29.75a
	Untreated	36.80b	19.65a	3.69b	25.29a
		90 days after transplanting			
Seolhyang	750	34.56a	25.69a	3.45a	21.15b
	1,000	33.48a	25.15a	3.43a	29.15a
	1,500	35.31a	26.32a	4.52a	28.75a
	Untreated	23.39b	16.82b	2.96b	24.60b
Maehyang	750	36.54a	17.52a	3.85b	29.90a
	1,000	35.71a	20.90a	3.93ab	30.15a
	1,500	40.65a	18.75a	4.78a	37.70a
	Untreated	32.82b	17.39a	3.37c	28.55a

[z] Plants were different levels of CO_2 fertilization applied from transplanting to 90 days growing periods. Untreatment was the condition in which non CO_2 supplied.
[y] Plant growth measured was at 30 days intervals for 90 days after transplanting.
[x] Means in columns within each cultivar are separated by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

에 관계없이 Hunter L 값은 40 이상으로 탄산가스 시용은 과실의 밝기에는 큰 영향이 없었다. 또한 딸기의 과실성숙과 관련이 있는 적색도를 나타내는 a값이 높으면 과실의 색택이 우수하다는 것을 의미한다. 탄산가스의 시용 농도에 관계없이 '설향'은 Hunter a값이 45 이상 이었고 '매향'은 42 이상 이었다. 또한 황색도를 나타내는 b 값도 탄산가스 시용에 의해 큰 차이는 없었다. 따라서 탄산가스 시용은 딸기의 색택에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

반면 탄산가스 시용은 수확된 과실의 당도 및 당산비 값이 대조구에 비해 증가하는 경향을 보였고, '설향'은 1,500 ppm의 탄산가스 시용구에서 당도가 대조구에 비해 높았다. 당도와 산도의 비율을 나타내며 맛에 직접적인 연관이 있는 당산비는 1,000 ppm에서 10.86으로 가장 높았다. '매향' 또한 이와 유사한 경향을 보였다(Table 5). Choi et al.(2017)도 딸기에서 1,000 ppm의 탄산가스를 시용하면 과실의 당도 및 산도가 높고 수량이 증가 되었다고 하였다.

탄산가스 시용에 의해 딸기는 생육을 증대시키고 수량 및 과실의 품질도 향상되었다. 작물의 종류에 따라 탄산가스 적정농도가 존재하게 되며, 고농도의 탄산가스 조건에서는 기공이 닫혀 증산작용이 감소하며 작물체온이 올라가면서 잎이 타는 엽소현상이 나타나기도 한다. 반면 저농도에서는 수량증대 효과와 품질개선 효과가 감소한다. 따라서 작물에 맞는 적정 탄산가스 시용 농도를 구명하는 것이 필요하다.

Table 3. The effect of CO_2 fertilization on fresh weight and dry weight of strawberry plants

Cultivars	CO_2 Concen. [z] (ppm)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
		Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
		30 days after transplanting [y]					
Seolhyang	750	26.99a [x]	8.59a	35.58a	4.96a	1.25a	6.21a
	1,000	27.03a	10.61a	37.64a	5.40a	1.01a	6.41a
	1,500	32.35a	11.06a	43.41a	5.32a	1.37a	6.69a
	Untreated	22.78b	6.79b	29.57b	4.18a	0.89b	5.07b
Maehyang	750	22.52b	7.97c	30.49a	4.16a	1.01a	5.17b
	1,000	26.01a	8.22b	34.23a	5.02a	0.87a	5.89b
	1,500	27.71a	13.28a	40.99a	5.10a	1.44a	6.54a
	Untreated	20.63b	4.73c	25.36b	4.47a	0.64b	5.11b
		60 days after transplanting					
Seolhyang	750	49.02a	31.99a	81.01a	9.84a	3.28b	13.12a
	1,000	50.50a	28.44a	78.94a	10.33a	2.72b	13.05a
	1,500	53.55a	38.46a	92.01a	10.25a	4.53a	14.78a
	Untreated	32.05b	20.28a	52.33b	6.42b	2.46b	8.88b
Maehyang	750	42.96b	24.39a	67.35b	8.26a	2.30b	10.56b
	1,000	45.45b	21.24a	66.69b	9.20a	2.89a	12.09a
	1,500	50.70a	25.02a	75.72a	9.92a	2.90a	12.82a
	Untreated	46.32b	16.36b	62.68b	9.17a	2.10b	11.27b
		90 days after transplanting					
Seolhyang	750	57.83a	36.68b	94.51a	11.21a	4.65a	15.86a
	1,000	71.48a	45.39a	116.87a	13.73a	5.31a	19.04a
	1,500	64.54a	49.41a	113.95a	13.23a	5.58a	18.81a
	Untreated	21.20b	34.44b	55.64b	7.40b	4.13a	11.53b
Maehyang	750	50.27a	27.60a	77.87a	10.90b	3.38a	14.28a
	1,000	60.29a	32.02a	92.31a	11.93b	4.02a	15.95a
	1,500	67.46a	33.55a	101.01a	16.49a	5.46a	21.95a
	Untreated	28.72b	17.64b	46.36b	5.48c	2.44b	7.92b

[z] Plants were different levels of CO_2 fertilization applied from transplanting to 90 days growing periods. Untreatment was the condition in which non CO_2 supplied.
[y] Plant growth measured was at 30 days intervals for 90 days after transplanting.
[x] Means in columns within each cultivar are separated by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

Table 4. The effect of CO_2 fertilization on number of fruits, fruits weight, fruit length and fruit diameter of strawberry

Cultivars	CO_2 Concen. [z] (ppm)	No. of fruits /plant [y]	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)
Seolhyang	750	57.3a [x]	4.97a	21.0b	20.4b
	1,000	76.3a	6.36a	24.1a	22.5a
	1,500	60.3a	5.52a	22.8b	21.5a
	Untreated	38.3b	4.28b	20.9b	19.4b
Maehyang	750	38.0a	4.73b	23.6a	20.6a
	1,000	45.8a	6.87a	26.5a	20.7a
	1,500	42.0a	4.79b	23.6a	20.0a
	Untreated	25.8b	4.52b	22.9a	18.6b

[z] Plants were different levels of CO_2 fertilization applied from transplanting to 90 days growing periods. Untreatment was the condition in which non CO_2 supplied.
[y] Fruit quality measured from 1 flower clusters to 5 flower clusters.
[x] Means in columns within each cultivar are separated by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

Table 5. The effect of CO_2 fertilization on chromaticity, soluble solid content, acidity of fruit in strawberry

Cultivars	CO_2 Concen.[z] (ppm)	Hunter[y]			Soluble solid content(°Brix)	Titratable acidity (Acetic acid %)	SSC/TA ratio
		L	a	b			
Seolhyang	750	43.77a[x]	45.03a	30.03a	7.2b	0.92a	7.83b
	1,000	43.99a	46.73a	30.94a	7.6b	0.70b	10.86a
	1,500	44.47a	47.03a	32.60a	8.6a	1.09a	7.89b
	Untreated	42.40a	46.16a	29.80a	7.1b	0.98a	7.24b
Maehyang	750	40.36a	43.71a	26.28a	7.8b	0.90a	8.67b
	1,000	42.88a	43.53a	28.24a	7.8b	0.68b	11.47a
	1,500	41.32a	42.69a	24.86a	9.6a	1.00a	9.60b
	Untreated	40.19a	42.70a	24.96a	7.8b	0.99a	7.88b

[z] Plants were different levels of CO_2 fertilization applied from transplanting to 90 days growing periods. Untreatment was the condition in which non CO_2 supplied.
[y] Fruit quality measured from 1 flower clusters to 5 flower clusters.
[x] Means in columns within each cultivar are separated by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

딸기 시설재배 시 탄산가스 시용 농도를 달리하여 생육, 수량 및 품질 개선 효과를 검정한 결과 1,500 ppm에서 생육이 향상되었으나 수량 및 품질에는 1,000 ppm 시용구가 효과적이었다. 이상의 결과로 탄산가스 처리비용 등 경제성을 감안한다면 고품질 딸기 생산을 위해 시설 딸기 영농현장에서 유용하게 활용될 수 있는 최적 처리 농도는 1,000 ppm 이었다.

4. 결 론

본 연구는 딸기의 대표 품종인 '설향'과 '매향'의 탄산가스 시용 농도에 따른 생육 및 생산성 검정을 통해 고품질의 딸기를 생산하기 위한 탄산가스 시용 농도를 확립하기 수행되었다.

'설향', '매향' 두 품종 모두 탄산가스 시용구에서 딸기의 엽면적, 크라운 직경, 초장, 생체 및 건물중 등 생육이 좋았으며 시용농도는 1,500 ppm 에서 좋았다. 또한 탄산가스의 시용은 과실 수량을 증가시켰고, 과중도 높았다. 딸기에서 과실 수량과 품질을 향상시킬 수 있는 탄산가스 최적 시용농도는 1,000 ppm 이었다. 1,000 ppm의 탄산가스를 시용한 '설향' 품종은 대조구에 비해 1.99배, '매향'에서는 1.78배의 과실 수량을 증대시킬 수 있었다. 탄산가스 시용은 과실의 색택에는 큰 영향을 주지 못했다. 반면 탄산가스 시용은 수확된 과실의 당도 및 당산비가 무시용구에 비해 증가하는 경향을 보였다. 특히 맛에 직접적인 연관이 있는 당산비는 '설향'과 '매향' 품종 모두 1,000 ppm에서 가장 높았다.

탄산가스 시용은 딸기의 생육을 증대시키고 수량 및 과실의 품질이 향상되었으며 딸기 시설 재배의 영농현장에서 고품질 딸기 생산을 위해 활용될 수 있는 탄산가스 최적 처리 농도는 1,000 ppm 이었다.

감사의 글

본 논문은 농생명산업기술개발사업(과제번호 : 315004-05-1-HD030)의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

Choi, I. L., Yoon, J. S., Yoon, H. S., Choi, K. Y., Kim, I. S., Kang, H. M., 2017, Effects of carbon dioxide fertilization on the quality and storability of strawberry 'Maehyang', Protected Hort. Plant Fac., 26, 140-145.

Cure, J. D., 1986, Crop responses to carbon dioxide doubling : a literature survey, Agr. Forest Meteorol., 38, 127-145.

Farrar, J., Pollock, C., Gallagher, J., 2000, Sucrose and the integration of metabolism in vascular plants, Plant Sci., 154, 1-11.

Jang, M. S., Choi, M. H., Jun, H. J., 2019, Effect of CO_2 enrichment on growth of a Korean strawberry (Fragaria×ananassa) cultivar 'Kuemsil' grown in greenhouse, Hortic. Sci. Technol., 37, 185.

Jeong, C. S., Yeoung, Y. R., Kim, I. S., Kim, S. S., Cho, D. H., 1996, Effects of CO_2 enrichment on the net photosynthesis, yield, content of sugar and organic

acid in strawberry fruits, J. Kor. Soc. Hort. Sci., 37, 736-740.
Kang, Y. I., Lee, S. Y., Kim, H. J., Chun, H., Jeong, B. R., 2007, Effects of CO_2 enrichment concentration and duration on growth of bell pepper (Capsicum annuum L.), J. Bio-Env. Con., 16, 352-357.
Kim, S. H., 2021, Effect of stem training number, fruit setting node, and CO_2 application for forcing culture of small and medium-sized watermelon 'Blackruby', Ph. D. Dissertation, Pusan National University, Miryang, Korea.
Kim, Y. B., Chung, S. J., Bae, J. H., 2005, The somatometrical reaction for sweet paper plants by the lights, temperature and CO_2 concentration, J. Kor. Soc. Hor. Sci., 23, 35.
Kim, Y. H., Lee, L. B., Chun, C. H., Hwang, H. S., Hong, S. W., Seo, L. H., Yoo, J. I., Bitog, J. P., Kwon, K. S., 2009, Utilization of CO_2 influenced by windbreak in an elevated production system for strawberry, J. Bio-Env. Con., 18, 29-39.
Lieten, F., 1997, Effect of CO_2 enrichment on green house grown strawberry, Acta Hortic., 4392, 583-588.
Mitchell, R. A. C., Theoblad, J. C., Parry, M. A. J., Lawlor, D. W., 2000, Is there scope for improving balance between RuBP-regeneration and carboxylation capacities in wheat at elevated CO_2, J. Exp. Bot., 51, 391-397.
Nelson, P. V., 1998, Greenhouse operation and management, 5th ed., Prentice Hall, New Jersey, 375-376.
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 CO_2, Agric. For. Meteorol., 18, 357-365.
Paek, Y., Kang, S. W., Jang, J. K., Kwon, J. K., 2020, Veriations of carbon dioxide concentration in a strawberry greenhouse using dry ice, J. Kor. Acad-Ind. Coop. Soc., 21, 182-188.
Park K. S., Kwon, J. K., Choi, H. G., Yun, N. K., Paek, Y., Lee, S. M., Choi, G. W., 2012, Effects of carbon dioxide enrichment using gas boiler on the growth and quality of sweet pepper, Kor. J. Hort. Sci. Technol., 30, 76-77.
RDA (Rural Development Adninistration), 2015, Smart greenhouse environment management guide-line, Jeonju, Korea.
RDA (Rural Development Adninistration), 2018, Smart greenhouse environment management guide-line, Jeonju, Korea.
Sage, R. F., John, R. C., 2001, Effects of low atmospheric CO_2 on plants : more than a thing of the past, Plant Sci., 6, 18-24.
Shin, Y. S., Lee, J. E., Min, K. K., Joung, D. C., Han, W. D., Jong, U. P., Kim, J., Park, J. T., Lee, S. T., Suh, J. K., 2014, Effect of solid CO_2 generator treatment on fruit yield and quality of korean melon(Cucumis melo var. hybrida), Protected Hort. Plant Fac, 23, 83-87.
Song, E. Y., Kyung, H. M., Son, I. C., Wi, S. H., Kim, C. H., Lim, C. K., Oh, S. J., 2016, Impact of elevated temperature and CO_2 on growth and fruit quality of pepper (Capsicum annuum L.), Agr. Forest Meteorol., 18, 179-187.
Sung, F. J. M., Chen, J. J., 1991, Gas exchange rate and yield response of strawberry to carbon dioxide enrichment, Sci. Hortic., 48, 241-521.
Taylor, G., Geulemans, R., Ferris, R., Gardner, S. D. L., Shao, B. Y., 2001, Increased leaf area expansion of hybrid poplar in elevated CO_2, From controlled environments to open-top chambers and to FACE, Environ. Pollut., 115, 463-472.
Willits, D. H, Peet, M. M., 1981, CO_2 enrichment in a solar collection/storage greenhouse, 1981 Winter Meetings of the American Society of Agricultural Engineers meeting, Amer. Soc. Agr. Eng., Chicago, 81-4525,
Yuwen, S., Shidong, Z., 2004, Effect of CO_2 enrichment on agronomic character of melon, Anhui Agric. Sci., 32, 1179-1180.

• Master. Jung-Eun Lee
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
wjddms@pusan.ac.kr
• Master Student. Hyeon-Do Kim
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
every921004@naver.com
• PhD. Gyu-Bin Lee
Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration
gblee0211@korea.kr
• Professor. Jum-Soon Kang
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
kangjs@pusan.ac.kr