

## 딸기재배 시 연소식 탄산가스 발생기 이용 효과 구명

이재한 · 이종섭 · 박경섭 · 권준국 · 김진현 · 이동수 · 여경환\*

국립원예특작과학원 시설원예연구소

## Effect of Using Burn-type CO<sub>2</sub> Generators When Cultivation Strawberry in a Greenhouse

Jae Han Lee, Jung Sup Lee, Kyoung Sub Park, Joon Kook Kwon, Jin Hyun Kim,  
Dong Soo Lee, and Kyung Hwan Yeo\*

Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

**Abstract.** This study were carried out to evaluate the efficiency of using burn-type CO<sub>2</sub> generators in greenhouse for cultivation 'Seolhyang' strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during winter season. The concentration of CO<sub>2</sub> was 200 to 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  in the control, and 800 to 1,100  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  in using burn-type CO<sub>2</sub> generator between 6 and 11 hours. At other times, it was observed that at similar concentration in the control and using burn-type CO<sub>2</sub> generator. Measured greenhouse air temperature inside the of using burn-type CO<sub>2</sub> generator was 2 ~ 3°C higher than the control at 6 ~ 10 am. There was no temperature difference between treatments after 11 o'clock. Plant height, leaf length, leaf width, root diameter, fresh weight, and dry weight were not different between treatments. The marketable yield (kg/10a) of using burn-type generator were 4,131 kg, which was 519 kg higher than the control. Therefore, the total fruit yields increased 17% compared to the control.

**Additional key words :** carbon dioxide application, CO<sub>2</sub> generator, fruit yield, seolhyang

### 서 론

우리나라의 시설원예는 대형화, 자동화되고 재배기술이 발전하면서 연중 재배하는 형태가 증가하고 있다. 이러한 대형 자동화 온실에서는 생산성을 높이기 위해서 적극적인 온도관리는 물론이고 광 환경 개선, 탄소시비 등 다양한 장치와 기술을 활용하고 있다. 저온기의 시설재배는 보온력을 높이기 위하여 내부에 비닐을 추가로 피복하거나 부직포 및 보온덮개를 이용하여 외부로 열이 손실되는 것을 줄일 수 있도록 재배시설을 관리한다. 그러나, 저온기인 12월~3월까지 시설내부 온도를 확보하기 위하여 하우스의 밀폐도를 높여 주기 때문에 환기 부족으로 오전 중 하우스 내부의 탄산가스 농도는 작물의 생장이 저해 될 정도로 감소하게 된다.

탄소는 작물의 기본적인 필수원소이며(Resh, 1995) 저농도의 탄소가스 환경에서는 식물의 광합성이 감소하고 광호흡이 증가되며 탄소동화작용이 감소하게 된다(Sage와 John, 2001). 대부분의 작물은 대기 중의 탄산가스 농도보

다 높은 농도에서 포화점을 가지고 있다. 탄산가스는 순광합성량, 엽면적, 건물량 증가 등 식물생리 반응에 영향을 주지만(Cure, 1986; Nederhoff 등 1992), 지나치게 높은 농도의 탄산가스는 식물호르몬 계통에 문제를 유발하고, 기공을 닫히게 하여 광합성 속도는 오히려 감소된다. 그러나 저온기에는 환기가 원활하게 되지 않아서 탄산가스의 농도저하가 쉽게 발생되며, Nelson(1992)은 150ppm이하의 낮은 농도에서는 생육이 심하게 부진하게 되므로 재배시설 내부의 탄산가스를 적절히 유지하는 것이 필요하다고 하였다. 국내 토마토, 파프리카 등 시설과채류를 양액재배하는 농가에서는 생육촉진 및 수량증대를 위하여 탄산가스를 사용하고 있다. 그러나 탄산가스 공급은 많은 비용이 소모되기 때문에 농가에서는 저렴하고 편리하게 탄산가스를 사용하는 방법에 관심이 많다. 지금까지 농가에서 활용하고 있는 탄산가스 공급 방법으로 액화탄산가스를 이용하는 것은 편리하지만 비용이 많이 소요되고, 탄산가스 발생제를 사용하는 것은 비용이 저렴하지만 농도조절이 어려운 단점이 있다. 본 시험은 비교적 가격이 저렴하고 탄산가스 농도를 조절할 수 있는 LPG 연소식 탄산가스 발생장치를 이용하여 온실에서 딸기를 재배하였을 때, 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다.

\*Corresponding author: khyeo@korea.kr

Received December 18, 2017; Revised March 15, 2018;

Accepted April 2, 2018

## 재료 및 방법

본 시험은 2016년 국립원예특작과학원 시설원예연구소 연구시설에 시험작물 “설향” 딸기를 준비한 양액재배용 고설베드에 9월 12일 정식하여 2017년 3월 15일 까지 재배를 하였다. 탄산가스는 2016년 11월 9일~2017년 3월 10일 기간에 LPG 연소식(KCH-20Z, KUMHO, Korea) 장치를 일출 전 06:00부터 10:00 까지 가동시간을 정하고 탄산가스 농도를 800ppm까지 공급되도록 하였다. 시설내부 환기설정온도는 25°C로 설정하고 환기가 시작되면 탄산가스는 공급이 정지되도록 하였다. 처리내용은 탄산가스 시용, 무시용(대조구)으로 두었고, 딸기 축성표준재배법에 준하여 재배관리를 하였다. 조사내용에 있어 생육은 엽수, 크라운 직경, 초장, 엽록소함량 (SPAD value, Minota, Japan) 생체중 등 3월 10일에 시험구별로 각각 10주씩 조사하였고, 수량은 실험기간 동안 2-3일 간격으로 수확하여 상품과 비상품으로 구분하여 20주씩 조사하였다. 시설 내 기온은 변화는 온도센서 (CS 500, Campbell, USA)를 이용하여 연속 측정된 후 datalogger(CR 23X, Campbell, USA)에 저장하였다. LPG 연소기에서 발생하는 가스는 가스발생기에서 5m 떨어진 위치에서 지면으로부터 높이 1m 지점에 이산화탄소분석기(7545, TSI, USA)와 멀티형 가스분석기(MK-6000, RBR, Gemany)를 설치하여 이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물, 황산화물을 대기오염물질 및 실내 공기질 공정시험기준을 준용하여 측정하였다. 시설내부 탄산가스 농도는 CO<sub>2</sub> 센서(Telaire, T7001, GE, Billerica, MA, USA)를 이용하여 재배기간 동안의 변화를 측정하였고 측정된 데이터는 Watch Dog 1200 Data logger(USA)를 이용하여 저장하여 분석하였다. 광합성 속도는 오전 (09:00~12:00)까지 광합성 측정기기(Li-6400, Li-COR, Inc., USA)를 이용하여 성장점에서 3번째 전개된 엽을

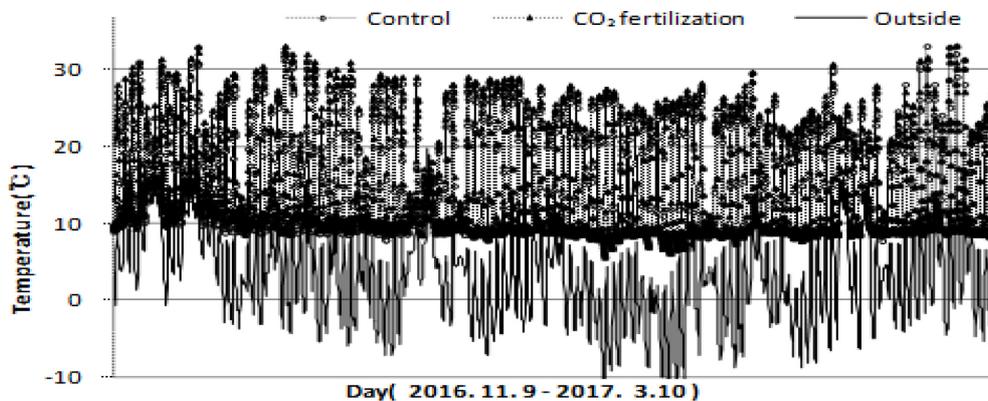
각각 5주씩 측정하였다. 모든 실험은 3반복으로 진행하였으며 시험결과는 SAS 프로그램을 이용하여 각 처리간의 유의성은 t-검정( $P = 0.05$ )으로 통계 분석하였다.

## 결과 및 고찰

Table 1은 실험온실에서 LPG 연소식 탄산가스 발생기를 작동시키면서 이산화탄소 및 유해가스 농도를 측정된 결과이다. 연소식 탄산가스 발생기는 프로판가스, 백등유를 원료로 사용하는데 백등유는 유해가스 발생 위험이 많아서 현재 이용하는 농가는 거의 없는 편이다. 그러나 프로판 가스는 유해가스가 거의 발생되지 않지만 가동시간이 길어지거나 불완전연소가 될 경우에는 유해가스가 발생될 수도 있다. 그래서 유해가스 발생정도를 확인하기 위하여 실험온실에서 탄산가스 발생기를 1시간 동안 연속 가동시킨 결과 이산화탄소 농도는 3,390 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 으로 높았으나, 유해가스인 일산화탄소, 질소산화물, 황산화물은 각각 2, 3, 1 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 수준으로 측정되었다. Klimstra(1998)의 연구에서 기체 상태인 LPG는 완전연소에 가깝게 되어서 일산화탄소 등 유해가스의 농도가 현저히 낮아지고, 연소온도가 LPG는 백등유에 비해서 높았기 때문이라는 연구결과가 본 시험에서 일산화탄소, 질소산화물, 황산화물의 농도가 낮은 이유를 뒷받침

**Table 1.** Carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen and sulfur compounds generated by burn-type burner in the greenhouse were analyzed by gas analyzers.

Composition	Concentration ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
CO <sub>2</sub>	3,390
CO	2
NO <sub>x</sub>	3
SO <sub>x</sub>	1



**Fig. 1.** Daily course of temperature in greenhouses by using burn-type generator. Date were recorded every 60 min from 19 November, 2016 to 10 March, 2017.

딸기재배 시 연소식 탄산가스 발생기 이용 효과 구명

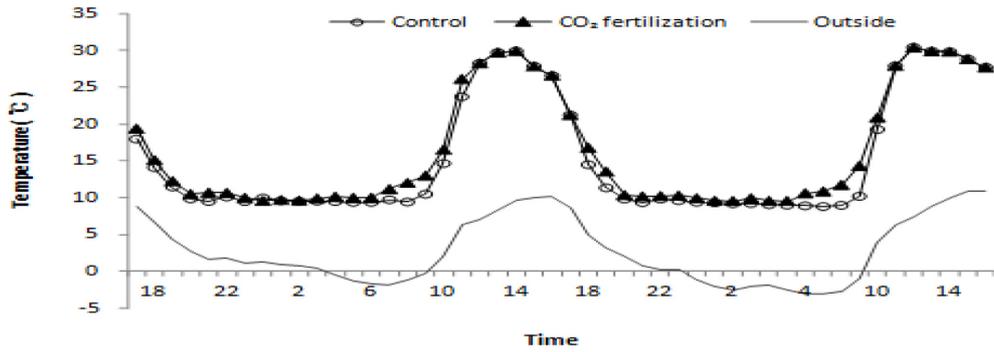


Fig. 2. Daily course of temperature in greenhouses by using burn-type generator. Date were recorded every 60 min from 27 to 29 November, 2016.

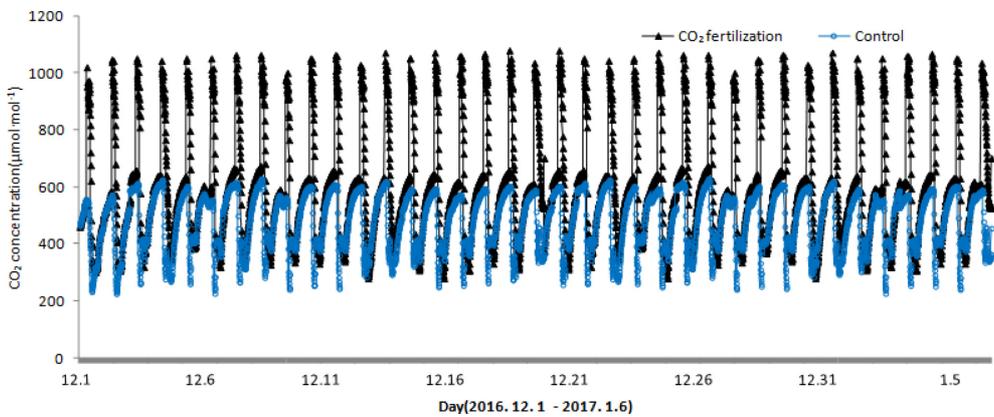


Fig. 3. Time course of average hourly CO<sub>2</sub> concentration in greenhouses by using burn-type generator. Date were recorded every 60 min from 1 December, 2016 to 6 January, 2017.

하고 있다. Nederlandse Gasunie 등(1999)은 재배작물은 유해가스에 민감하기 때문에 일산화탄소, 질소산화물의 임계농도가 매우 중요하다고 하였으며, 환기횟수가 0.2 회 조건에서 최대허용량이 약  $35\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  인 것을 고려해 볼 때, 질소산화물의 농도가  $3\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  으로 측정되어 Park 등(2010)이 연소식 CO<sub>2</sub>발생기 사용에 의한 유해가스 농도분석결과와 유사한 경향으로 유해가스에 의한 작물피해가 거의 없을 것으로 추정할 수 있다. 더구나 25°C 도달 시 환기가 이루어지도록 설정하였기 때문에 질소산화물이 작물에 미치는 영향은 매우 적을 것으로 판단되며, 실제로 딸기 재배기간 중에 유해가스에 의한 증상은 발견되지 않았다.

Fig. 1과 2는 재배기간 및 일중 온도변화를 조사한 결과이다. 재배기간(2016. 11.9~2017. 3.10) 동안 시설 내부 최고 및 최저온도는 처리 간 차이는 없었다. 그러나 일중온도(2016. 11. 27~29) 변화는 Fig. 2에서와 같이 탄산가스가 사용되는 시각(6:00~11:00)에서 대조구에 비해서 1~3°C 높은 경향이었고 그 외 시간에서는 내부기온 상승에 의한 환기에 의해서 처리 간에 차이는 거의 없

었다. 일출 전 후 탄산가스가 사용되는 시간에서 온도가 높았던 것은 LPG가 연소할 때 부생적으로 발생된 열이 영향을 준 것으로 조사되었다. 일출 전 예비기온은 재배 시설의 온도를 관행대비 5~6°C 이상 충분히 높여서 조기에 생육적온에 도달할 수 있도록 온도를 관리하는 방법인데 오이, 고추 등 고온성 작물에 활용되고 있다. 이와 같이 예비기온은 주로 고온성작물에 효과가 높는데 이것은 보온자재를 열 때 온실의 상층부에 정체되어 있는 냉기가 식물체에 스트레스를 주는 것을 줄이고 일출과 더불어 광합성을 촉진하는 효과가 있다. 연소식 탄산가스 공급방식에 의해서 발생된 열은 예비기온과 같은 효과가 일정부분 작용한 것으로 예상할 수 있지만 비교적 짧은 시간의 온도 차이와 딸기작물의 특성 때문에 생육 차이를 확인하기 곤란하였다.

Fig. 3은 딸기 재배기간 중 온실내부의 이산화탄소 농도를 조사한 결과이다. 연소식 탄산가스 사용구는 CO<sub>2</sub>가 시설내부로 확산되면서 800~1,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  이었고 환기되기 전까지 대조구에 비해서 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  이상 높게 유지되었다. 탄산가스는 광합성에 직접적으로 영향

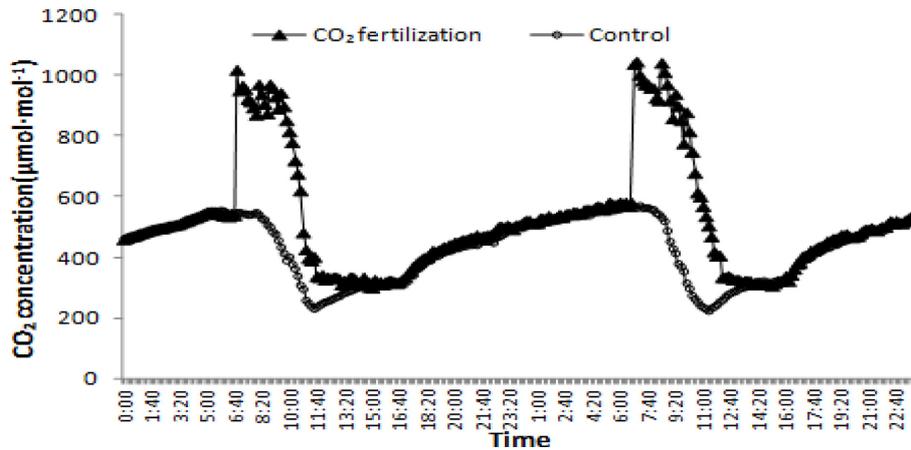


Fig. 4. Time course of average hourly CO<sub>2</sub> concentration in greenhouses by using burn-type generator. Date were recorded every 60 min from 1 to 2 December, 2016.

Table 2. Growth characteristics of the strawberry cultivated in greenhouses by using burn-type generator, 10 March, 2017.

Treatment	No. of leaves	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Crown diameter (mm)	Plant height (cm)	SPAD value	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
CO <sub>2</sub> fertilization	7.8	7.6	7.0	18.0	21.7	48.5	871	42.3	11.6
Control	7.9	7.6	6.9	17.9	21.9	48.6	861	42.2	11.5
	NS <sup>z</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>NS, Nonsignification by the t-test ( $P = 0.05$ )

을 주는데 광, 온도, 양수분이 충분한 경우에도 CO<sub>2</sub>가 부족하면 제한 요소로 작용하게 된다. Sage와 John (2001)은 탄산가스 농도가 180ppm 이하로 낮을 경우 광합성 속도는 절반으로 줄어든다고 하였으며, Nelson (1992)은 150ppm이하에서는 생육이 부진하게 되어 탄산가스를 인위적으로 공급할 필요가 있다고 하였다. Fig. 4는 하루 중 탄산가스 농도를 조사한 결과로 일몰 후 대조구에서는 CO<sub>2</sub> 농도가 서서히 상승하여 600μmol·mol<sup>-1</sup>까지 도달하였고 일출과 더불어 감소하기 시작하여 210μmol·mol<sup>-1</sup>까지 낮아지는 것으로 조사되어 탄산가스가 부족해지는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3과 4에서 탄산가스 농도가 200μmol·mol<sup>-1</sup> 이하로 내려가지는 않았으나 대부분의 과채류는 대기 수준보다 높은 CO<sub>2</sub>농도에서 포화점이 형성되는 특성을 고려해 볼 때 작물이 필요한 탄산가스를 충분히 공급받지 못한 것을 알 수 있다. 이산화탄소의 농도가 적정수준으로 높아지면 순 광합성량, 엽면적, 건물량 등이 증가할 뿐 아니라 과실의 수량이 늘어나게 된다(Cure, 1986; Nederhoff 등, 1992). 광합성 작용에 의한 동화산물의 생산량은 오전에 활발히 일어나고 오후에 광합성이 감소하고 호흡이 증가하는데 오후에 광합성이 줄어드는 원인에 대하여 명확히 구명되지는 않았으나 작물의 잎 내 수분함량 감소,

전분 축적, 호흡량 증가 등이 복합적으로 작용하는 것으로 추정하고 있다. 따라서 저온기 탄산가스가 부족하기 쉬운 오전에 탄산가스를 공급하여 광합성 작용을 촉진하여 생산성을 높일 수 있는데, Hennessey와 Field(1991)는 작물의 탄산가스 이용 특성 연구에서 정오까지 증가하는 경향을 보이고 정오 이후에는 감소한다는 연구가 이러한 결과를 뒷받침하고 있다.

Table 2는 탄산가스 처리에 따른 생육 특성을 조사한 결과이다. 많은 연구결과에서 1,000ppm 이상의 탄산가스를 사용하였을 때 뿌리에서 과실까지 모든 기관의 생체중 및 건물중이 증가된다고 하였는데(Arp, 1991; Behboudian과 Lar, 1994; Fierro 등, 1994; Islam 등, 1996; Reddy와 Zhao, 2005), 생육조사 결과 관부직경, 엽면적, 생체중, 건물중, 초장 등 탄산가스 시용구에서 다소 높았다. 그러나 반복간의 차이로 인해서 통계적으로 유의성은 없는 것으로 분석되었다. Taylor 등(2001)은 탄산가스 시용이 작물과 품종에 따라서 정도의 차이는 있었지만 잎의 표피조직 신장을 촉진시키고, 엽면적 및 엽수를 증가시킨다고 보고하였고, 반면에 식물체의 엽, 뿌리 등 기관의 생육차이는 확인하기 어려웠지만 과실에서는 차이가 있었다는 연구결과(Behboudian과 Lar, 1994; Fierro 등, 1994; Reddy와 Zhao, 2005)를 고려해

**Table 3.** Gas exchange parameters of the strawberry cultivated in greenhouses by using burn-type generator, 10 March, 2017.

Treatment	Gas exchange parameters <sup>z</sup>		
	A <sub>n</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	g <sub>s</sub> (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Tr (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
CO <sub>2</sub> fertilization	12.5	0.26	2.69
Control	11.7	0.25	2.71
	NS <sup>y</sup>	NS	NS

<sup>z</sup>A<sub>n</sub>-Photosynthesis, g<sub>s</sub>-Stomatal conductance and Tr - Transpiration rate

<sup>y</sup>NS, Nonsignification by the t-test (P = 0.05)

**Table 4.** Fruit yield of the strawberry cultivated with burn-type CO<sub>2</sub> generator in greenhouses. Plant were harvested from 21 November, 2016 to 10 March, 2017.

Treatment	Average weight of fruit (g)	Marketable fruit yield of plant		Marketable fruit yield (kg/ 10a)	Total fruit yield (kg/10a)
		No. of fruit (ea)	weight of fruit (g)		
CO <sub>2</sub> fertilization	21.3	21.5	459	4,131	4,589
Control	20.5	19.6	402	3,612	3,911
	NS <sup>z</sup>	*	*	*	*

<sup>z</sup>NS, Nonsignification by the t-test (P = 0.05)

볼 때, 탄산가스의 시용 농도, 지속시간 뿐만 아니라 다양한 재배환경이 복합적으로 작용하는 것으로 판단된다.

Table 3은 탄산가스 처리에 의한 광합성 속도를 측정 한 결과이다. 기공전도도 및 증산율은 처리 간 차이가 적었고, 광합성 속도는 탄산가스 시용구가 대조구보다 높았지만 통계적 유의성은 없었다. Barradas 등(1994)은 광합성 속도, 증산율 및 기공전도도는 서로 밀접한 관계가 있으며, 단순히 탄산가스의 증가로는 광합성 속도 증가가 어렵고 엽록소의 함량, 광, 온도, 수분 등 복합적인 요인이 상승작용을 하였을 때 광합성 속도의 증가가 가능하다고 하였다. Mitchell 등(2000)은 C<sub>3</sub> 작물에서 높은 CO<sub>2</sub>는 RUBP carboxylase 활성을 높이고, 광호흡을 감소시켜 작물의 생육과 발달을 위한 탄소 동화산물의 합성을 향상시킨다고 하였다. 일반적으로 잎의 광합성 증가는 동화산물인 유리당을 증가시켜고, 과일의 당은 일시적으로 전분형태로 잎에 축적되게 한다.

저온기인 12~2월에는 외부 기온이 낮아서 오전에 환기는 거의 이루어지지 않는다. Fig 3과 4와 같이 환기가 부족한 대조구는 오전에 탄산가스 농도가 낮았지만 탄산가스 시용구는 탄산가스 농도가 높아서 대조구보다 광합성이 활발하게 진행되었다고 추정할 수 있다. 그러나 본 실험에서는 3월 이후에 측정된 결과로 일사량 및 기온이 높아서 오전에 충분한 환기가 이루어지고 있는 상태였기 때문에 광합성 속도에 영향을 주지 못한 것으로 판단된다.

Table 4는 탄산가스 시용에 따른 과실의 착과수와 개별 무게를 조사한 결과이다. 평균과중에서는 탄산가스

시용구가 대조구에 비해서 과중에 0.8g 무거웠는데 반복 간의 차이로 인하여 유의성은 없었다. 수당 상품수량에 있어서 과수 및 과중은 각각 10%, 14% 높았고 총수량에서 17% 증수되었으며 유의성도 인정되었다. Arp (1991)는 뿌리기관이 sink 역할을 하는 무, 사탕무 등과 같은 작물에서는 뿌리의 생장이 차이가 있었다고 하였으며, Shin 등(2014)은 참외재배에서 과중 및 당도 향상되었고, 토마토 등 식물체의 과실을 생산하는 기관에서는 엽, 줄기 등의 생육보다는 수량 증대효과가 상대적으로 높았다는 연구 보고가 있다(Behboudian과 Lar, 1994; Fierro 등, 1994; Reddy와 Zhao, 2005). 이와 같이 탄산가스 시용으로 품질이 향상되고 수량이 증가하는 하는 것을, Farrar 등(2000)은 동화산물이 전분형태로 바뀌어 일시적으로 잎에 저장되어 있다가 그것을 요구하는 다른 기관(Sink)으로 이동되어 전체적으로 균형을 이루기 때문이라 하였다. 이상의 결과에서 저온기 시설딸기 재배에서 대기수준보다 낮은 농도의 탄산가스는 수량을 감소시킬 수 있는데 탄산가스를 공급하면 수량 증대 뿐 아니라 품질도 높아질 수 있으며 탄산가스 시용 방법에 있어 비교적 저렴한 연소식 탄산가스 발생장치를 활용할 경우 농도조절과 함께 보다 편리하게 농업현장에 활용할 수 있을 것을 판단된다.

## 적 요

본 연구는 저온기 시설 딸기재배에서 연소식 탄산가스 발생기를 이용한 재배효과를 구명하기 위하여 수행하였

다. 시설내부 일중 탄산가스 농도는 6시에서 11시 사이에 대조구가 210~600 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  이었고, 탄산가스 시용구는 800~1,100 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  이었다. 그 외 시각에서는 대조구와 유사한 분포를 나타내었다. 온실내 온도는 연소 방식 탄산가스 시용구는 오전 6시 ~ 10시 대조구에 비해서 1~3°C 높았다. 11시 이후에는 대조구와 차이가 없었다. 초장, 엽장, 엽폭, 관부직경, 생체중, 건물중 등 생육은 처리 간 차이가 없었다. 상품수량은 대조구 3,612kg에 비해서 탄산가스 공급하는 것이 4,131kg으로 519kg 더 무거웠으며 탄산가스 발생기에서 총수량이 대조구에 비해서 17%가 증수 되었다.

**추가 주제어** : 이산화탄소 시용, 탄산가스 발생기, 상품수량, 설향

## 사 사

이 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 농업기술개발 연구사업(과제번호: PJ013621) 지원에 의해 이루어진 것임

## Literature cited

- Arp, W.J. 1991. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>. *Plant, Cell and Environment* 14:869-875.
- Barradas, V.L., H.G. Jones, and J.A. Clark. 1994. Stomatal responses to changing irradiance in *Phaseolus vulgaris*. *J. Expt. Bot.* 45:931-936.
- Behboudian, M.H. and R. Lar. 1994. Carbon dioxide enrichment in 'Viroso' tomato plant : responses to enrichment duration and to temperature. *Hort Science* 29:1456-1459.
- Cure, J.D. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling : a literature survey. *Agricultural and Forest Meteorology* 38:127-145.
- Farrar, J., C. Pollock, and J. Gallagher. 2000. Sucrose and the integration of metabolism in vascular plants. *Plant Science* 154:1-11.
- Fierro, A., N. Tremblay, and A. Gosselin. 1994. Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield. *Hort Science* 29(3):152-154.
- Hennessey, L.T. and C.B. Field, 1991. Circadian rhythms in photosynthesis. *Plant Physiol.* 96:831-836.
- Islam, S., T. Matsui, and Y. Yoshida. 1996. Effect of carbon dioxide enrichment on physico-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity. *Scientia Horticulturae* 65:137-149.
- Klimstra, J. 1998. Exhaust Treatment for CO<sub>2</sub> fertilization with reciprocation gas engines. *International Gas Research conference* 391-403.
- Mitchell, 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 CO<sub>2</sub>. *Journal of Experimental Botany* 51:391-397.
- Nederlandse Gasunie, N.V., M. Bekker, K. Hoving, and J. Klimstra. 1999. Increase in crop yields in greenhouse due to the combined heat and power using natural gas. *New energy and industrial technology development organization abroad reports* No. 816.
- Nederhoff, E.M., A.A. Rijdsdijk, and R. Graaf. 1992. Leaf conductance and rate of crop transpiration of greenhouse grown sweet pepper (*Capsicum annum* L.) as affected by carbon dioxide. *Scientia Horticulturae* 52:283-301.
- Nelson, P.V. 1992. *Greenhouse operation and management*. 5<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. p. 375-376.
- Park, J.S., J. W. Shin., T.I. Ahn, and J. E. Son. 2010. Analysis of CO<sub>2</sub> and harmful gases caused by using burn-type CO<sub>2</sub> generators in greenhouses. *Journal of Bio-Environment Control*, 19(4): 177-183.
- Reddy, K.R. and D. Zhao. 2005. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub> and potassium deficiency on photosynthesis, growth and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Research* 94:201-213.
- Resh, H.M. 1995. *Hydroponic food production : a definitive guidebook of soilless food-growing methods*. 5th ed. Woodbridge Press Publishing Company. p. 32-34.
- Sage, R.F. and R.C. John. 2001. Effects of low atmospheric CO<sub>2</sub> on plants : more than a thing of the past. *Plant Science* 6(1):18-24.
- Shin, Y.S., J.E. Lee, M.K. Kim, J.D. Cheung, H.W. Do, J.U. Park, J.H. Kim, J.T. Park, S.T. Lee, and J.K. Suh. 2014. Effect of solid CO<sub>2</sub> generator treatment on fruit yield and quality of korean melon (*Cucumis melo* var. hybrida) *Protected Horticulture and Plant Factory*, 23:83-87.
- Taylor, G., R. Ceulemans, R. Ferris, S.D.L. Gardner, and B.Y. Shao. 2001. Increased leaf area expansion of hybrid poplar in elevated CO<sub>2</sub> from controlled environments to open-top chambers and to FACE. *Environmental Pollution* 115:463-472.