

탄산가스 발생제 처리가 참외의 품질 및 수량에 미치는 영향

신용섭^{1*} · 이지은¹ · 김민기¹ · 정종도¹ · 도한우¹ · 박종욱¹ · 김주환¹ · 박종태¹ · 이수탁² · 서전규³

¹경상북도농업기술원성주과채류시험장, ²참외마이스터, ³경북대학교 원예과학과

Effect of Solid CO₂ Generator Treatment on Fruit Yield and Quality of Korean Melon(*Cucumis melo* var. *hybrida*)

Yong Seub Shin^{1*}, Ji Eun Lee¹, Min Ki Kim¹, Joung Do Cheung¹, Han Woo Do¹, Jong Uk Park¹, Jwoo Hwan Kim¹, Jong Tae Park¹, Soo Tak Lee², and Jun Kyu Suh³

¹Seongju Fruit Vegetable Experiment Station, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Seongju 719-861, Korea

²Boowol-ri, Suryun-myeon, Seongju-gun, Gyeongsangbuk-do 719-891, Korea

³Department of Horticultural science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract. The objective of this study was to examine the changes in carbon dioxide (CO₂) concentration due to application of solid CO₂ generator (Tansansol) in plastic greenhouses during winter cultivation of Korean melon. The experimental treatments consisted of four levels, namely, 0 (control) 10, 20 and 30bags with solid CO₂ generator per 600 m² of plastic greenhouse. CO₂ concentration in plots with solid gas generators was higher by 3.0-3.2% compared to control. Fruit weight, sugar content and color parameter were also enhanced due to application of solid CO₂ generator. The fraction of fermentated and unmarketable fruits were decreased by 2.9-3.9% and 5.4-7.3%, respectively, in plots where solid CO₂ generators were applied. The marketable yield increased by 10.3, 14.8 and 16.2% in plots with 10, 20 and 30bags with CO₂ generators, respectively. As a result, CO₂ concentration within the greenhouses was increased by applying CO₂ generators and it is positively affected the rate of photosynthesis.

Additional key words : tansansol, plastic greenhouse, photosynthesis

서 론

국내에서 참외는 저온기에 가온 없이 보온위주로 재배 되는데, 비닐하우스 내부에 터널을 설치하여 야간에는 두꺼운 보온덮개로 터널을 피복하여 보온을 해 주고 주간에는 피복물을 벗겨주는 작업을 한다. 주로 4월까지의 보온을 위해 하우스를 밀폐하기 때문에 환기 부족으로 이른 오전 중의 하우스 내부에는 탄산가스 농도가 150ppm이하로 떨어져(Nelson, 1992) 광합성에 필요한 탄산가스가 부족하여 작물생육이 저해된다. 탄산가스에서 유래된 탄소는 작물의 기본적인 필수 원소이며(Resh, 1995) 대기 중 낮은 탄산가스 농도는 루비스코의 카르복실화 과정의 제한요소로 직접적으로 작용하여 광합성을 저해하고 간접적으로 광 호흡을 증가시켜 탄소 동화작용이 감소한다(Sage와 John, 2001). 탄산가스 농도가 높아지면 순광합성

량, 엽면적, 건물량 등이 증가하고 증산, 기공전도도는 감소하는 등 다양한 식물 생리 반응에 영향을 미쳐 작물에 따라 다소 차이를 보이지만 품질과 수량이 증대된다(Cure, 1986; Nederhoff와 Graaf, 1992). 작물은 탄산가스를 정오까지 증가하는 경향을 보이고 정오 이후에는 감소하는 특성이 있다(Hennessey와 Field, 1991). 참외의 경우 시설내 탄산가스 발생을 위해서는 11월경 본포 준비시 벗겨진 퇴비와 함께 사용하여야 하나 대부분의 농가에서는 생략하는 경우가 많다. 일부 선도농가에서 탄산가스 발생제를 착과 후인 1~2월부터 환기를 많이 시키는 4월까지 사용하고 있으나 사용기준에 관한 연구결과가 미흡한 실정이다. 따라서 본 시험은 시설참외 재배시 탄산가스 발생제(제품명 : 탄산솔) 사용이 시설내 탄산가스 농도의 변화, 흡수, 광합성 촉진에 미치는 영향과 과실의 품질 향상과 수량 증대의 효과 등을 구명하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험작물은 '슈퍼매직'(농우바이오) 대목에 '참사랑꿀

*Corresponding author: sys1962@korea.kr
Received April 30, 2014; Revised May 19, 2014;
Accepted May 23, 2014

참외(농우바이오)를 편엽합접한 모종을 2013년 12월 10일에 폭 180cm 이랑에 40cm 간격으로 정식하여 2014년 1월 20일 착과시켜 무가온으로 재배하였다. 정식 1개월 전에 10a 당 질소, 인산, 칼리는 18.7, 6.3, 10.9kg의 40%를, 우분 발효퇴비(1,500kg)와 고토석회 (200kg)는 전량 기비로 사용한 후 경운하였으며, 질소와 칼리의 60%는 추비로 3회 분시하였다. 야간 보온을 위하여 하우스 내에 길이 2.4m 강선으로 소형터널을 설치하여 두께 0.03mm의 비닐과 12온스의 보온덮개를 피복하여 보온 재배하였다. 정식 전에 주지 4번째 마디에서 우선 적심을 하여 2개의 아들덩굴을 유인하고 17번째 마디에서 적심하였다. 착과는 아들덩굴 5번째 마디 이상에서 나온 손자덩굴 한 주에 4~5개의 과실이 달리도록 하였으며, 착과 유도를 위하여 도마도톤(4-chlorophenoxy acetic acid) 50배액과 GA3(gibberellic acid) 50mg·L⁻¹를 개화당일 지방에 분무 처리하였다. 시험에 사용된 시설은 폭 6m, 동고 2.3m, 길이 100m 규격의 참외재배 전용 터널형하우스 4동을 이용하였으며, 외피복재는 Polyolefin film(0.1mm, 크린알과 21, A.R.T.S)을 피복하였다. 탄산가스 발생제인 탄산솔(에코텍)은 탄산암모늄과 탄산나트륨에 촉매제를 첨가하여 공기 중에 쉽게 녹을 수 있도록 만든 제품으로 공기보다 무겁기 때문에 하우스 상부에 매달아 주면 작물이 쉽게 흡수할 수 있도록 되어 있다. 2014년 2월 27일에 탄산가스 발생제(100g/1봉)를 600m² 크기의 하우스 3동에 각각 10, 20 및 30봉씩 하우스 상단 중간부분에 매달았으며 무처리 하우스와 비교하였다. 탄산가스 농도는 지상 20cm 부위에 CO₂ meter(CO₂-9904SD)를 이용하여 측정하였고, 온·습도는 자동온도측정기(TR-71S, T&D, Japan)를 이용하였으며, 엽록소 형광반응은 엽록소형광측정기(FluorPen FP 100-MAX-D, PSI / Czech Republic)를 이용하여 탄산가스 발생제를 처리한 지 8일 후에 측정하였다. 수확한 과실은 무게와 과육두께를 조사한 후 칼로 잘라서 물이 흐르거나 태좌부의 갈변정도가 1/4이상 된 것은 모두 발효과로 구분하였다. 과육두께는 과실의 중앙단면을 절단하여 버니어캘리퍼스(ID-C1012BS, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 태좌부를 제외한 과육부분을 측정하였다. 당도는 정상과의 과육부를 착즙한 후 당도계(Atago N1, Taiwan)로 가용성 고형물 함량을 측정하였고, 색도는 과실 중앙부의 과피를 색도계(NR-3000, Denshoku Ind. Co., Japan)로 측정하였으며, 참외의 품질 및 수량은 3월 31일 1회 조사하였다. 시험구는 600m²(폭 6m, 길이 100) 크기의 하우스를 1처리로 하고 하우스내에 시험구 면적을 반복당 30m²로 하여 난괴법 3반복으로 처리하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 실시하였으며, 측정된 데이터는 SAS 통계프로그램(Ver. 9. 13, 2006)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

탄산가스 발생제 처리 8일 후인 2014년 3월 7일 10시 30분경 무처리구, 10, 20 및 30봉 처리구의 온도와 습도는 각각 36.5°C, 41.3%, 37.6°C, 42.9%, 38.8°C, 40.0% 그리고 35.9°C, 42.8%로 맑고 쾌청하였다. 그리고 그때 무처리구, 10, 20 및 30봉 처리구의 CO₂ 농도는 각각 71, 226, 224, 215ppm으로 무처리구에 비하여 처리구에서 3.0~3.2배정도 높았다(Fig. 1). 보온덮개를 벗기기 전인 08시 30분과 덮은 후인 18시 30분의 CO₂ 농도는 무처리구에서는 792ppm과 623ppm이었으나 10봉 처리구에서는 1,079ppm과 862ppm, 20봉 처리구에서는 1,139ppm과 1,067ppm 그리고 30봉 처리구에서는 1,437ppm과 1,258ppm으로 탄산가스 발생제 처리구에서 높은 경향이었다.

본 실험에서 보온덮개를 벗긴 직후인 08시부터 10시까지 탄산가스가 급격히 감소하였는데, 이것은 식물체가 탄산가스를 흡수하여 광합성을 시작한다는 의미이다. 광합성의 효율은 광합성 기간 중 오전에 효율이 좋다고 보고한 Hboudian과 Lai(1994)의 결과를 고려해 볼 때 참외의 경우,

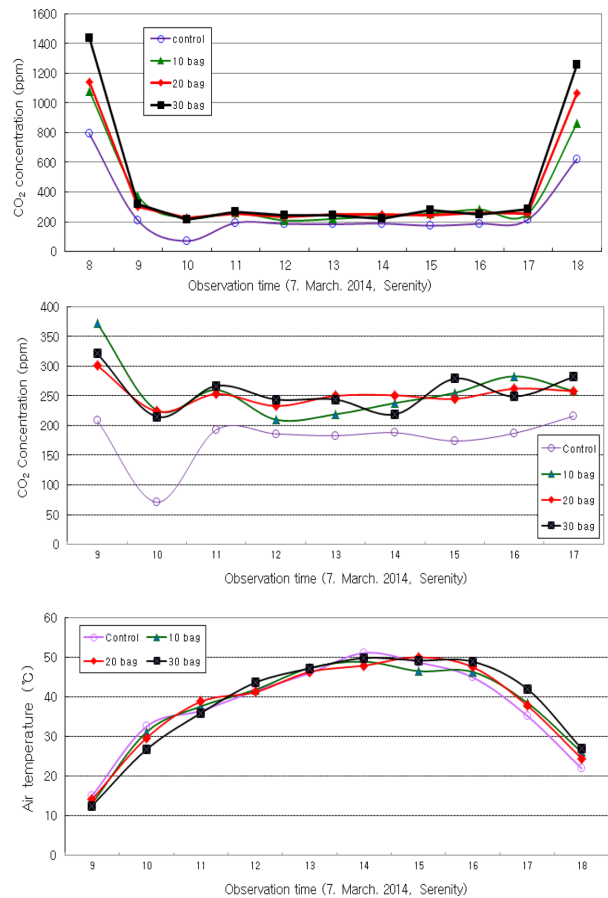


Fig. 1. Diurnal changes of CO₂ concentration and air temperature in different levels by solid CO₂ generator.

보온덮개를 벗긴 직후부터 탄산가스가 부족하지 않도록 탄산가스 발생제를 투입하는 것이 필요할 것으로 생각되었다.

엽록소형광 측정기를 이용하여 탄산가스 발생제 처리 8일 후에 Fo(엽록소함량), Fm(최대형광), Fv(최대이용형광), QY(양자수율, 측정시점의 광합성 능력)을 조사한 결과, 무처리구에서는 Fo 값은 낮고 QY 값이 높았으나, 처리구에서는 Fo 값이 높고 QY 값은 낮은 경향이였다 (Table 1). 엽록소형광을 이용한 광합성 연구(Yoo 등, 2012; Walter과 Horton, 1991; Kooten과 Snel, 1990)에 의하면, Fo는 암반응과 명반응 경계선상에서의 형광값으로 엽록소함량을 추측하고, Fm은 광계 2에서 최대형광값, Fv는 광계 2에서 최대형광값에서 엽록소 함량을 제거한 값으로, 측정시점의 광합성 능력은 QY(양자수율) 값으로 확인이 가능하다고 보고하였다. 엽록소 형광분석에 관한 연구는 Kautsky와 Hirsch(1931)의 광합성 과정 중 빛의 섭광에 의한 CO₂ 흡수동화의 변화원인에 대한 연구를 시작으로 하여 chlorophyll a(Chl_a)의 분자구조가 밝혀진 이래 Chl_a의 형광현상을 응용하여 광합성의 일련 반응을 해석하였다(Butler, 1966).

본 연구에서 탄산가스 발생제 처리에 따른 광합성능력을 조사한 결과, 무처리에서 측정시점의 양자수율 값이 높다는 것은 식물체가 탄산가스가 필요하다는 의미이고, 반대로 탄산가스 발생제 처리에서 양자수율 값이 낮다는 것은 탄산가스가 무처리구에 비해 부족하지 않다는 의미로 탄산가스 발생제 시용으로 광합성 능력이 증가한 것으로 생각된다.

대기 중의 탄산가스 농도는 광합성에 직접적으로 영향을 주며, CO₂는 Rubisco의 카르복실화 과정의 기질로서 다른 조건 즉, 광과 온도, 영양분 등이 충분한 경우에도 탄산가스가 부족하면 제한 요소로 작용하게 된다. 일반

적으로 CO₂ 농도가 180ppm으로 떨어지게 되면 광합성 능력은 절반으로 감소하고(Sage, 2001), 낮 동안 겨울철 보온을 위하여 밀폐한 온실의 탄산가스 농도는 150ppm으로 떨어지기도 하므로(Nelson, 1992) 저온기 시설재배 시 탄산가스 또는 발생제의 공급은 필요한 것으로 생각된다. 특히 본 연구에서 탄산가스 발생제를 투입하지 않은 무처리구에 비해 처리구에서 탄산가스 농도가 3.0~3.2 배 정도 높게 나타나(Fig. 1) 저온기 시설재배에서는 탄산가스 발생제 사용이 필요한 것을 알 수 있었다.

과실의 특성과 품질 및 수량을 조사한 결과, 무처리에 비하여 탄산가스 발생제 처리한 것이 유의하게 과중이 20.2~22.0g 더 무겁고, 태좌부 당도가 1.5~2.1°Brix 더 높고, 색도(a값)도 우수하였다. 그러나 탄산가스 발생제 처리수준 간에는 유의성이 없었다(Table 2). Mitchell 등(2000)은 탄산가스 농도가 높으면 C₃ 작물의 RUBP carboxylase 활성을 높이고, 광 호흡을 감소시켜 작물의 생육과 발육을 위한 동화산물의 합성을 향상시킨다고 보고하였는데, 본 연구에서도 무처리구에 비해 탄산가스 발생제 처리구에서 참외의 과중이 무겁고 과육부 및 태좌부의 당도가 높고 적색도가 높아져 유사한 경향이였다.

과실 품질에 있어서는 무처리에 비해 탄산가스 발생제 처리한 것이 발효과율 및 기형과율이 각각 2.9~3.9%, 5.4~7.3% 감소하고 상품과율이 8.7~10.3% 증가하였다. 그러나 탄산가스 발생제 처리수준 간에는 통계적 유의성이 없었다. 10a 당 상품과 수량은 무처리구의 385.8kg에 비하여 탄산가스 발생제 10, 20 및 30봉 처리에서 각각 10.3%, 14.8% 및 16.2% 증가하였다(Table 3).

Kang 등(2007)에 의하면 탄산가스 시용농도가 높아질 수록 착색단고추의 총 건물생산이 무처리에 비하여 20% 증가하고, 탄산가스 시용시간에 따른 착색단고추의 총건물 생산은 400ppm과 700ppm 시용 모두에서 3시간 시용보다 6시간 시용에서 증가한다고 보고하였는데, 본 실험에서도 탄산가스 발생제 무처리에 비해 처리구에서 상품과 수량이 10~16% 정도 증가하여 작물은 다르지만

Table 1. Effect of solid CO₂ generator levels on Fo, Fm, Fv and QY(quantum yield) of plant leaf of greenhouse grown Korean melon.

Treatments	Fo ^z	Fm ^y	Fv = Fm-Fo	QY ^x = Fv/Fm
Control	6,632 ^w	24,871	18,239	0.733
10 bag	7,120	19,149	12,029	0.628
20 bag	8,615	27,740	16,125	0.652
30 bag	9,070	18,856	9,786	0.519

^zMinimal chlorophyll fluorescence intensity measured in the dark-adapted state, when all PSII reaction centre are open.

^yMaximal chlorophyll fluorescence intensity measured in the dark-adapted state during the application of a saturating pulse of light.

^xMaximum quantum yield of PSII photochemistry measured in the dark-adapted state.

^wThese values were measured on 18, March. 2014 at 11:37 to 11:47 (8 days after treatment)

Table 2. Effect of solid CO₂ generator levels on fruit characteristics in Korean melon.

Treatments	Fruit weight (g)	Flesh thickness (mm)	Soluble solids(°Brix)		Color characteristics ^y	
			Flesh	Placenta	L	a
Control	368.1 b ^z	18.7 a	12.2 b	16.6 b	66.5 a	16.5 b
10 bag	388.3 a	18.7 a	13.3 a	18.7 a	65.1 ab	19.6 a
20 bag	389.1 a	19.4 a	13.3 a	18.1 a	66.3 a	18.9 a
30 bag	387.9 a	19.1 a	14.5 a	18.7 a	64.8 b	18.9 a

^zMean separation within columns by DMRT at 5% level.

^yL = Lightness, a = bluish-green/red-purple.

Table 3. Effect of solid CO₂ generator levels on fruit quality in Korean melon.

Treatments	Fermented fruit(%)	Malformed fruit(%)	Marketable fruit(%)	Marketable yield (kg/10a)	Index
Control	11.4 b ^c	17.9 b	70.7 b	385.8 b	100
10 bag	8.1 a	12.5 a	79.4 a	425.9 a	110
20 bag	7.5 a	11.6 a	80.8 a	442.9 a	115
30 bag	8.5 a	10.6 a	81.0 a	448.4 a	116

^aMean separation within columns by DMRT at 5% level.

유사한 경향을 보였다.

일반적으로 과채류에 대하여 액화탄산가스 공급장치를 이용하여 1,000ppm 이상의 탄산가스를 시비했을 경우 다양한 작물들에서 뿌리로부터 과실까지 모든 기관의 생체중과 건물중이 증가된다고 보고(Arp, 1991; Fierro 등, 1994; Reddy와 Zhao, 2005; Behboudian과 Lar, 1994; Islam, 1996)되어 있다. 그러나 본 연구에서는 상대적으로 탄산가스 발생이 적은 탄산가스 발생제를 매달아 줌으로써 탄산가스 농도가 낮은데도 불구하고(Fig. 1), 무처리에 비해 처리구에서 품질이 우수하고 수량이 증가한 것은(Table 1, 2) 참외의 경우 지주재배가 아닌 포복재배의 형태로 재배함으로써 탄산가스가 공기보다 무거워 지표면 근처에 많이 분포하여 흡수가 용이했기 때문으로 생각된다. Kang 등(2007)도 착색단고추는 고추에 비하여 넓은 잎과 용적이 큰 과실을 가지고 있어 많은 양의 동화산물을 필요로 하므로 탄수화물의 활용 능력이 커져 강한 Sink로 작용하여 뿌리나 줄기 등 다른 기관에 비하여 건물 생산이 증가한다고 보고하였는 바, 작물은 다르지만 참외에서도 잎도 넓고 크고 지표면에 골고루 분포하기 때문에 유사한 경우로 생각된다.

Henneset와 Field(1991)에 의하면 온실에서 재배되는 작물은 상위 잎을 제외하고는 광도가 포화상태가 되는 것이 어려우며, 중위 잎과 하위 잎은 항상 광 부족 상태가 되며, 이에 따라 작물군락 전체가 광주기성을 만족시킬 수 있는 환경 조건을 가지는 것은 어렵다고 보고하였다. Kang 등(2007)도 착색파프리카 실험에서 무처리에 비하여 탄산가스 처리효과는 있으나 처리기간에 비하여 농도 수준에 따른 효과가 적다고 하였으며, 작물 전체를 볼 때 탄산가스 농도가 높아지더라도 광 등 다른 환경들이 제한요소로 작용하여 동화산물의 축적 증가량을 감소시키는 것으로 보고하여 이를 뒷받침하고 있다. 따라서 참외의 경우 넓혀 재배하기 때문에 토마토, 오이 처럼 세워 재배하는 작물보다는 효과가 높을 것으로 추정되지만 이에 대해서는 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

Farrar 등(2000)에 의하면 탄산가스 시용으로 품질이 향상되고 수량이 증가하는 것은 앞에서 생성된 동화산물이

일시적으로 잎에서 Starch 등으로 형태가 바뀌어 저장되어 있다가 그것을 요구하는 다른 기관(Sink)으로 이동하게 되며 Sink의 탄수화물 활용능력에 따라 분배되어 전체적으로 균형을 이루기 때문이라고 하였다. Sink-Source 균형에는 온도, 광 등 다양한 환경조건이 영향을 미치며, 탄산가스는 광합성의 주요 구성요인이며, 광합성에 관여하는 효소들의 활성을 결정하기 때문에 Sink-Source 균형에 영향을 미치는 주요한 환경요인이라고 보고하였다(Arp, 1991). Shin 등(1998)은 참외의 광합성에 필요한 탄산가스 농도는 1,000ppm이 적당하다고 보고하였는데 하우스 내부에 1,000ppm을 지속적으로 공급하기 위해서는 탄산가스 발생기를 이용하여 천연액화탄산가스를 사용해야 가능하다고 하였다. 본 실험에서는 탄산가스 발생제를 사용하였기 때문에 1,000ppm 까지 올릴 수 없었지만 무처리에 비해 처리구에서 탄산가스 농도가 3.0~3.2배 정도 높아지고 과중이 무겁고 당도가 높아지며, 색도가 우수하고 상품과율과 상품과 수량이 증가하는 것을 종합하면, 저온기 참외 시설재배시 탄산가스 발생제를 사용하면 탄산가스 농도가 높아져 광합성이 촉진되어 품질이 향상되고 수량이 증가한 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 저온기 시설참외 재배 시 탄산가스 발생제(탄산솔)의 사용효과를 구명하기 위하여 수행하였다. 600 m² 크기 하우스에 탄산가스 발생제(100g/1봉)를 10, 20 및 30봉을 각각 매달아 무처리와 비교하였다. 그 결과 무처리구에 비해 처리구에서 탄산가스 농도가 3.0~3.2배 정도 높았다. 그리고 무처리구에 비해 처리구에서 과중이 20.2~22.0g 더 무겁고, 태좌부 당도가 1.5~2.1°Brix 더 높았으며, 색도(a값)도 우수하였다. 또한 탄산가스 발생제 처리한 것이 무처리에 비해 발효과율 및 기형과율이 각각 2.9~3.9%, 5.4~7.3% 감소하였고, 상품과율은 8.7~10.3% 증가하였다. 10a당 상품과 수량은 무처리구의 385.8kg에 비하여 탄산가스 발생제 10, 20 및 30봉 처리한 것이 각각 10.3%, 14.8%, 16.2% 증가하였다. 이상의 결과를 보아, 저온기 참외 시설재배시 탄산가스 발생제를 사용함으로써 탄산가스 농도가 높아져 광합성이 촉진되어 품질이 향상되고 수량이 증가한 것으로 판단되었다.

추가 주제어 : 탄산솔, 비닐하우스, 광합성

사 사

본 연구는 농촌진흥청 지역전략작목산학연협력사업과 제(PJ 0102952014)의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- Arp, W.J. 1991. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO₂. *Plant, Cell and Environment* 14:869-875.
- Behboudian, M.H. and R. Lar. 1994. Carbon dioxide enrichment in 'Virosa' tomato plant : responses to enrichment duration and to temperature. *Hort Science* 29(12):1456-1459.
- Butter, W.L. 1966. Fluorescent yield in photosynthetic systems and its relation to electron transport. *Curr. Top. Bioenerg.* 1:49-73.
- 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.
- Kang, I.K., S.Y. Lee, H.J. Kim, H. C, and B.Y. Jeong. 2007. Effects of CO₂ enrichment concentration and duration on growth of bell pepper. *J. Bio-Env. Con.* 16(4):352-357. (in Korean).
- Kautsky, A. and A. Hirsh. 1931. Neue versuche zur kohlen-saureassimilation. *Naturqissenschaften.* 19:964.
- Kooten, O. and J.F.H. Snel. 1990. The use of chlorophyll fluorescent nomemclature in plant stress physiology. *Photosynth. Res.* 25:147-150.
- 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 CO₂. *Journal of Experimental Botany* 51:391-397.
- Nederhoff, E.M., A.A. Rijdsdijk, and R. Graaf. 1992. Leaf conductance and rate of crop transpiration of greenhouse grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by carbon dioxide. *Scientia Horticulturae* 52:283-301.
- Nelson, P.V. 1992. Greenhouse operation and management. 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. p. 375-376.
- Reddy, K.R. and D. Zhao. 2005. Interactive effects of elevated CO₂ 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 CO₂ on plants : more than a thing of the past. *Plant Science* 6(1):18-24.
- Shin, Y.S., H.W. Do, S.G. Bae, S.K. Choi, and B.S. Choi. 1998. Effect of CO₂ Enrichment on quality and yield of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* Mak.) in greenhouse. *RDA Journal of Agro-Environment Science.* 40(2):107-110. (in Korean).
- Yoo, S.Y., K.C. Eom, S.H. Park, and T.W. Kim. 2012. Possibility of drought stress indexing by chlorophyll fluorescent imaging technique in red pepper. *Korea. J. Soil Sci. Fret.* 45(5):676-682. (in Korean).
- Walter, R.G., and P. Horton. 1991. Resolution of components of non-photochemical chlorophyll fluorescent quenching in barley leaves. *Photosynth. Res.* 27:147-150.