

# CO<sub>2</sub> 처리에 의한 딸기의 광합성 특성, 당 및 산함량에 미치는 영향

정천순\* · 용영록\*\*

(\*강원대학교 농업생명과학대학 · \*\*강릉대학교 원예학과)

## Effects of CO<sub>2</sub> Enrichment on the Net Photosynthesis, Content of Sugar and Organic acid in Strawberry

Jeong, Cheon-Soon\* · Yeung, Young-Rog\*\*

\* Kangwon Nat'l Univ. College of Agriculture and Life Sciences, Chuncheon 200-701, Korea,

\*\* Kangnung Nat'l Univ. Dept. of Horticulture, Kangnung 210-702, Korea

### 적 요

딸기의 품종간 광합성 특성과 온도, 광도 및 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 광합성 속도에 대한 연구결과는 다음과 같다. 딸기의 광합성속도는 품종간에 차이가 없었고, 순광합성량은 20°C와 800 $\mu$ E/s. m<sup>2</sup>에서 광포화점이 나타났다. 저온(15°C)과 약광(500  $\mu$ E/s. m<sup>2</sup>)하에서는 CO<sub>2</sub>를 시용하면 순광합성 속도는 떨어지지만 효과는 인정되었고, 저온에서도 광도(800  $\mu$ E/s. m<sup>2</sup> 이상)와 CO<sub>2</sub> 농도(1,600ppm 이상)가 높으면 순광합성량은 2배 정도 증가하였다. 그리고 20°C에서는 800  $\mu$ E/s. m<sup>2</sup>의 광도와 900ppm의 CO<sub>2</sub> 농도까지는 급속하게 증가하여 약 60mg. CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>. hr으로 CO<sub>2</sub> 포화점이 나타나고, 25°C에서는 700ppm의 농도에서 CO<sub>2</sub> 포화점을 나타냈다. 딸기의 품질에 미치는 당 및 산의 함량은 무처리구에 비해 CO<sub>2</sub> 시용구에서 당은 증가하였고, 산은 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 당류중 fructose와 glucose에는 변화가 거의 없었지만, sucrose 함량은 3-4배 정도 증가하였다. 그리고 무처리구에 비해 CO<sub>2</sub> 시용구에서 30-40% 정도 증수 효과가 있었다.

### I. 서 론

식물의 광합성 속도는 많은 요인으로부터 영향을 받지만, 이러한 요인중에는 온도, 광도 및 CO<sub>2</sub> 농도가 가장 중요하게 작용을 한다. 시설재배에서 CO<sub>2</sub>시용은 생산성, 품질향상 및 성에너지등에 많은 영향을 미치고 있음이 인정되어 시설재배 면적의 증가와 비례하여 CO<sub>2</sub>를 시비하여 재배하는 농가가 매년 증가하고 있다. 현재 많이 이용하고 있는 CO<sub>2</sub> 발

생원으로 LPG 가스나 액화 CO<sub>2</sub> 가스를 주로 이용하고 있는데 적정 시용농도의 인식이 부족하여 재배농가에서 CO<sub>2</sub>의 오용으로 생산비증가, 생리장해 및 환경오염을 가중시키는 결과를 초래하게 된다<sup>9, 21)</sup>. 그리고 일부 보고에 의하면 CO<sub>2</sub>를 시용할 경우 초기에는 광합성 촉진, 증수효과가 인정되지만, 장기간 시용할 경우 광합성능 및 수량이 감소한다고 하였다<sup>12, 21)</sup>.

구부와 삼강<sup>9)</sup>은 토마토를 재배하고 있는 하우스내의 CO<sub>2</sub> 농도를 측정된 결과 일출전에는 500-600ppm을 유지

하였지만, 일출후에는 200ppm 이하까지 저하되어 2-3시간 동안 지속된다고 보고하였다. CO<sub>2</sub> 시비는 밀폐된 시설물에서 행하기 때문에 저온(8℃ 이하)나 일조시간이 부족한(6시간 이하) 지역이 난방에 따른 생산비를 감소시킬 수 있다고 하였다. CO<sub>2</sub> 시비에 따른 순광합성 및 생육촉진, 수량증대에 대한 연구는 호온성 작물인 토마토와 오이에서 많이 이루어져 있다<sup>1, 2, 4, 14, 16</sup>. 딸기는 과채류중에서 저온에 비교적 강하여 동기에 하우스에서 축성재배로 매년 재배면적이 증가하고 있는 추세이다. 직전<sup>18</sup>에 의하면 딸기는 품종에 따라 약간의 차이는 있지만, 광보상점은 0.5-1klux, 광포화점은 16-25klux로 이때 CO<sub>2</sub> 흡수속도는 10-15mg. CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>. hr이지만, CO<sub>2</sub>를 사용하여 광합성량을 측정할 결과 2-3배로 현저하게 증가한다고 하였다. 지금까지 연구된 것은 광도에 따른 CO<sub>2</sub> 포화점을 중심으로 이루어졌고<sup>18</sup>, 온도의 변화에 따른 CO<sub>2</sub> 포화점에 대한 연구는 부족한 실정이다. 동기에 하우스에서 딸기를 재배할 때 기상조건은 일반적으로 약광, 단일 및 저온인데 이중 온도 제어는 인위적으로 가능하기 때문에 온도변화에 따른 적정 CO<sub>2</sub> 농도의 구명은 중요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 딸기의 품종별로 상이한 온도, 광도 및 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 광합성 특성을 밝혀 광도 및 온도조건의 변화에 따른 적정 CO<sub>2</sub> 사용농도를 제시하고, CO<sub>2</sub>를 사용하여 재배한 과실의 품질에 영향을 미치는 당류, 산류의 변화 및 생산량에 대하여 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

공시품종은 '수홍', '여홍', 및 '보교조생' 모주를 1995년 5월 11일에 정식하여 발생한 runner는 6월 30일까지 절소질 비료가 제한된 상토를 이용하여 10cm 비닐포트에서 육묘하였다. 저온. 단일처리는 8월 10일부터 8월 30일까지 20일간 야냉육묘하였다. 야냉육묘는 일장 8일간 (09 : 00 - 17 : 00), 야온 13℃로 처리하였다. 상토는 담토 : 완숙퇴비 (5:1)를 조제하여 직경 30cm 플라스틱 포트 (14l)에 9월 1일 정식하였다. 재배환경은 주/야온도를 25/8℃로 조절한 유리온실에서 각 품종당 10개체씩 정식하였고, CO<sub>2</sub> 처리는 07-12시까지 700 및 1,200ppm을 사용하여 재배하였다.

광합성 측정은 개화기부터 과실 성숙기에 걸쳐 완전하게

진개한 엽을 대상으로 3회 측정하여 평균치로 계산하였다. 품종간 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 광합성 특성을 보기 위하여 CO<sub>2</sub>를 농도별로 vinyl bag (90 x 300cm)에 액화 CO<sub>2</sub> gas를 CO<sub>2</sub> 조절기에 의해 2l/min.씩 10, 20, 40, 60, 80 및 100초간 각각 주입하여 CO<sub>2</sub> 농도를 휴대용 광합성 측정기( model: KIP-8510, KOITO사, Japan)로 측정하여 각각 CO<sub>2</sub> 농도를 조절하였다. 그 결과 0/340[주입시간(sec)/CO<sub>2</sub> 농도(ppm)], 10/980, 20/1,660, 40/3,200, 60/4,460, 80/5,860 및 100/7,120으로 각각 나타났다. 본 결과를 graph지에 도시하여 CO<sub>2</sub> 농도를 조절하여 광합성을 측정하는데 이용하였다 (Fig. 1). 수량은 상품성으로 인정되는 과실 (10g 이상)을 무처리구와 비교하여 총수량을 계산하였고, 당류는 완숙과 10과를 착즙하여 정<sup>8</sup>등의 방법에 의해 HPLC로 분석하였다. 유기산 분석은 C18 column을 이용하였고, 분석조건은 mobile phase 0.2% phosphoric acid, flow rate 0.6ml/min., detector UV 214nm에서 10μl씩 3회 주입하여 평균치를 계산하였다.

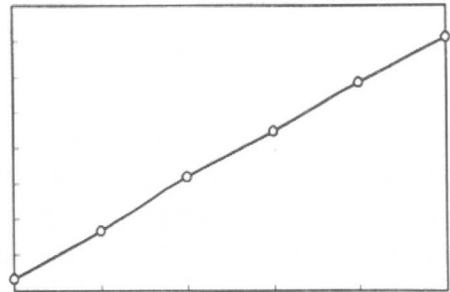


Fig. 1. Different CO<sub>2</sub> concentration of vinyl bag (90 x 300cm) by CO<sub>2</sub> injection.

## III. 결과 및 고찰

딸기의 광합성 특성은 품종간에 커다란 차이는 없는 것으로 나타났다. 순광합성량은 '수홍'이 20℃의 800 μE/s. m<sup>2</sup>에서 26.0mg. CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>. hr, '여홍'은 25.2mg. CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>. hr, '보교조생'은 26.1mg. CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>. hr으로 가장 높게 나타났다. 온도에 따른 순광합성량은 15 및 25℃보다 20℃에서 많았고, 25℃에서는 '수홍' 및 '여홍'이 500 μE/s. m<sup>2</sup> 그리고

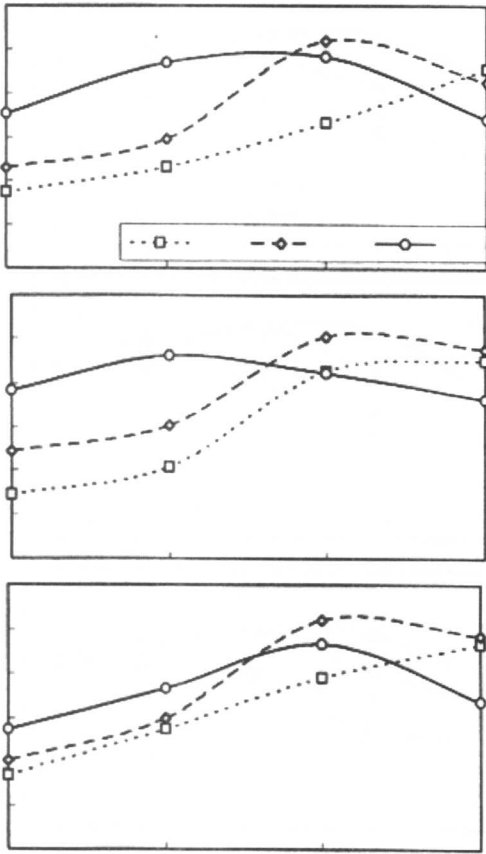


Fig. 2. Effect of light intensity and temperature on photosynthetic rate of strawberry

‘보교조생’은 800  $\mu\text{E/s. m}^2$  광도에서 광포화점을 나타냈다. 15°C에서는 광도가 1,200  $\mu\text{E/s. m}^2$ 까지 순광합성량이 계속 증가하였다 (Fig. 2). 딸기를 생육단계별로 구분하여 온도와 광도에 따른 순광합성을 측정된 결과 엽전개기, 개화기 및 과비대기에는 15 및 20°C와 800  $\mu\text{E/s. m}^2$ 의 광도에서 광포화점이 나타났고, 수확기와 런너 발생기에는 15°C에서 순광합성량이 가장 높다고 보고<sup>17, 20)</sup>하여 유사한 경향을 나타냈다.

15°C에서는 CO<sub>2</sub> 농도 및 광도를 달리하여 순광합성을 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 품종간에 CO<sub>2</sub> 사용효과는 공시한 3개 품종 모두 2,000ppm의 고농도에서 800 및 1,200  $\mu$

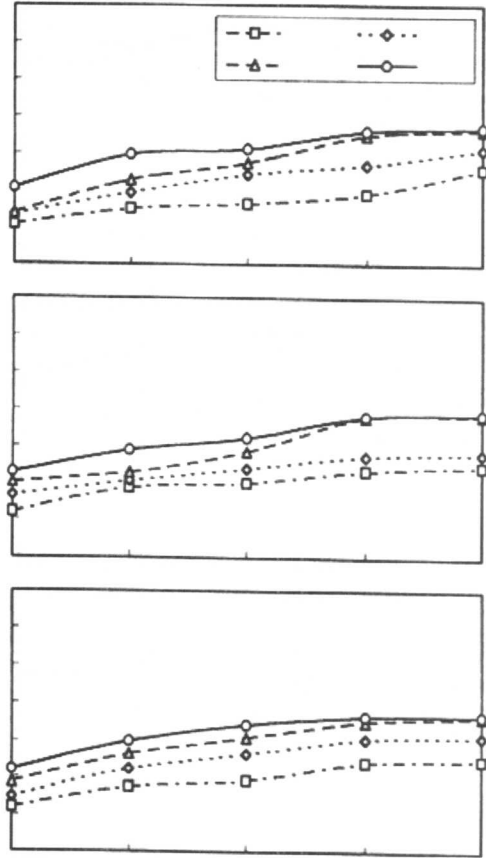


Fig. 3. Effect of light intensity ( $\mu\text{E/s. m}^2$ ) and CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthetic rate of strawberry. Temperature fixed at 15°C.

$\text{E/s. m}^2$  광도에서 약 36mg. CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>. hr으로 나타나서 약 200  $\mu\text{E/s. m}^2$  보다 3배 정도 순광합성량이 많았다. 저온 및 약광이라도 CO<sub>2</sub> 농도가 높으면 순광합성에 미치는 효과는 비록 적지만, 광합성 촉진효과는 인정되는 것으로 나타났다. 정<sup>7)</sup>등은 고추에 CO<sub>2</sub>를 사용하여 순광합성을 측정된 결과 저온(15°C)에서는 CO<sub>2</sub>를 사용하면 고온에 비해 순광합성량은 떨어지지만 효과는 있었고, 고온(30°C)에서는 2배 정도 증가한다고 보고하였다. 또한 약광하에서는 CO<sub>2</sub> 사용이 효과가 적었고, 광도가 증가하면서 순광합성 속도가 60klux까지 급속하게 증가하여 CO<sub>2</sub> 포화점이 나타났다고 하였다. 따라서 저온 및 약광의 환경조건일때 고농도의 CO<sub>2</sub>

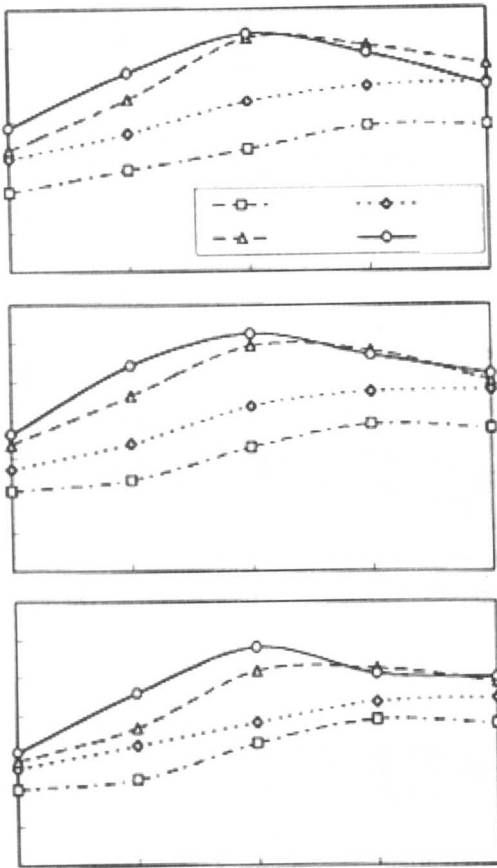


Fig. 4. Effect of light intensity ( $\mu\text{E/s. m}^2$ ) and  $\text{CO}_2$  enrichment on photosynthetic rate of strawberry. Temperature fixed at  $20^\circ\text{C}$ .

를 이용하면 순광합성에 미치는 효과가 인정되기 때문에 약 광 및 저온의 환경에서 딸기를 재배할때 고농도의  $\text{CO}_2$ 를 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

$20^\circ\text{C}$ 에서는  $\text{CO}_2$  농도 및 광도에서 측정한 순광합성은 Fig. 4와 같다. 공시한 3개 품종 전부  $200 \mu\text{E/s. m}^2$ 의 약광에서는  $500\text{ppm}$  보다  $1,600\text{ppm}$ 의 농도에서 순광합성량이  $40\text{mg. CO}_2/\text{dm}^2. \text{hr}$  내외로 2배 정도 증가하였다. 그리고  $800$  및  $1,200 \mu\text{E/s. m}^2$  광도와  $900\text{ppm}$ 까지 급속하게 증가하여 '수홍' 및 '여홍' 품종에서  $60\text{mg. CO}_2/\text{dm}^2. \text{hr}$  이상 높게 나타났고, '보교조생'은  $1,600\text{ppm}$  까지 증가하는 경향을 나타냈다. Nilsen<sup>16)</sup>등은 호온성 채소인 토마토는  $350\text{ppm}$

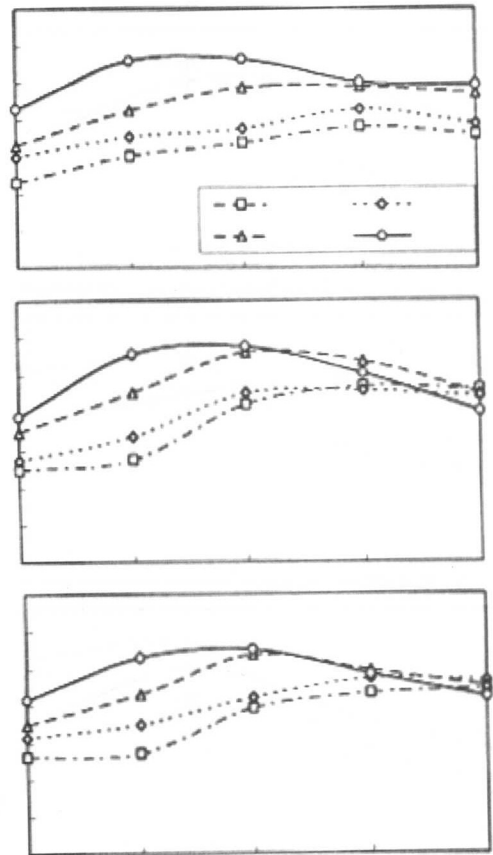


Fig. 5. Effect of light intensity ( $\mu\text{E/s. m}^2$ ) and  $\text{CO}_2$  enrichment on photosynthetic rate of strawberry. Temperature fixed at  $25^\circ\text{C}$ .

에서는  $15\text{--}20^\circ\text{C}$ 에서 순광합성량이 가장 높았지만,  $1,000\text{ppm}$ 의 농도에서는  $25^\circ\text{C}$ 에서  $\text{CO}_2$  포화점이 나타나서  $\text{CO}_2$  사용시 최적온도라고 하였다. 이와같이  $\text{CO}_2$ 를 사용했을 때 광합성 촉진을 극대화하기 위해서는 온도의 관리가 중요하다고 생각된다.

$25^\circ\text{C}$ 에서는 전체적으로  $1,200 \mu\text{E/s. m}^2$ 의 광도에서는  $700\text{ppm}$ 에서 가장 높은 순광합성량을 보였고, 이후의 고농도에서는 감소하는 경향이 나타났다.  $500 \mu\text{E/s. m}^2$ 의 광도에서는  $900\text{ppm}$ 에서  $\text{CO}_2$  포화점이 나타나서 온도와 광도가 높으면  $\text{CO}_2$  요구량이 적은 것으로 나타났다.  $20^\circ\text{C}$ 에 비해  $25^\circ\text{C}$ 에서 순광합성량은 높게 나타났지만, 약광하에서는 효

Table 1. Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the content of sugar and organic acid in the fruit juice of strawberry.

Cultivar	CO <sub>2</sub> concentration (ppm)	Sugar (%/ml-juice)				Organic acid (%/ml-juice)			Total marketable yield (%)
		suc	fru	glu	T.S	malic	citric	T.O.	
Suhong	cont.	0.46	4.69	4.32	9.47	trace	1.66	1.66	100
	700	1.21	4.69	4.52	10.42	trace	1.43	1.43	134
	1200	1.56	5.04	4.89	11.49	trace	1.21	1.21	140
Nyohong	cont.	0.48	5.27	4.98	10.73	0.44	1.56	2.00	100
	700	0.71	5.33	5.04	11.08	0.24	1.48	1.72	130
	1200	1.63	5.44	4.47	11.54	0.27	1.24	1.51	138
Bokyo	cont.	0.38	5.29	4.6	10.34	0.58	1.43	2.01	100
	700	1.46	5.32	5.35	12.13	0.26	1.73	1.99	127
	1200	1.40	5.57	4.11	11.08	0.19	1.17	1.36	125

과가 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 온도와 CO<sub>2</sub> 농도가 충족되어도 광도가 부족하면 광합성의 효율성이 떨어지므로 3가지 요소가 복합적으로 작용해야 광합성량을 최대화시킬 수 있다고 생각된다. 직전<sup>18)</sup>은 23℃에서 4-10klux까지의 약광하에서는 800ppm에서 CO<sub>2</sub> 포화점이 인정되었고 1,400ppm에서는 촉진효과가 적다고 하였다. 그러나 광도가 20klux 이상이면 CO<sub>2</sub> 사용효과가 1,400ppm까지 순광합성량이 급속하게 증가한다고 보고하였다. 본 연구의 결과는 25℃의 고온에서 CO<sub>2</sub>를 이용하면 500-700ppm 사이의 농도에서는 순광합성량의 증가율이 완만하게 진행됨을 볼 수 있는데 고온에서는 CO<sub>2</sub>를 이용할 경우 저농도로 이용하는 것이 경제적이라고 사료된다.

CO<sub>2</sub> 이용이 과실내 당 및 산축적에 대한 결과는 Table 1과 같다. 품종간에 전당함량은 무처리구에서는 10% 내외로 차이가 없었고, 당류별로는 fructose와 glucose가 각각 5% 정도의 함량을 나타내 주요당으로 작용하였고 sucrose는 0.5% 미만으로 소량 축적되었다. Charles와 Breen<sup>3)</sup>에 의하면 딸기의 sucrose 함량은 개화후 10일까지는 검출되지 않았지만, 이후 20일경까지 약 1.3%로 급속하게 증가한 후에 25일경에는 약 50% 정도 감소한다고 보고하였다. 본 연구에 공시한 3개품종 모두 sucrose 함량이 0.5% 미만으로 나타난 것은 완숙기에 수확한 과실이기 때문이라고 사료된

다. 그러나 CO<sub>2</sub>를 이용할 경우 sucrose 함량은 매우 민감하게 작용하여 품종간에 차이가 있었고, 무처리구에 비해 3-4배 정도 증가하였다. 품종간 당축적은 CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 당함량도 증가하였지만, '보고조생'은 1,200ppm에서 감소하였다. 그리고 산함량은 2% 미만으로 CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 산류는 구연산이 사과산보다 많이 집적되었고, '수홍'은 사과산이 검출되지 않았다. 딸기에 축적되는 산의 종류는 9종류가 있는데 이중 사과산과 구연산이 90%이상 높은 비율을 차지한다고 하였다<sup>6, 13, 19)</sup>. 상품성이 있는 총생산량은 품종간에 차이가 있었고, 무처리구 보다는 CO<sub>2</sub> 사용구에서 약 30-40% 정도 증수효과가 있었다. 중천<sup>15)</sup>등은 CO<sub>2</sub>를 이용해서 재배하면 45%의 증수효과가 있고, 당도, 당산비에 대해서는 수확시기에 따라 다르고 수확전기에는 CO<sub>2</sub> 사용구가 높지만, 후기에는 커다란 차이가 없고, 그이후에는 약간 떨어지는 경향이 있다고 하였다. CO<sub>2</sub>를 이용하면 당류중 fructose와 glucose는 변화가 없지만, sucrose 함량은 증가하고 35% 정도 증수된다고 하였다<sup>8, 21)</sup>. 본 연구에서도 유사한 경향을 나타냈고, CO<sub>2</sub>를 이용하면 광합성능이 현저하게 증가하면서 광합성산물의 분배로 뿌리의 발달과 더불어 생산력과 과실로의 축적기관(sink)에 강하게 관여하여 당도가 높게 나타나는 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합하여 보면 딸기의 광합성에 미치는 요인은 CO<sub>2</sub> 농도, 광도 및 온도에 따라 순광합성량이 상이하게 나타나므로 동기의 열악한 환경조건에서 고당도, 고품질 생산 및 증수효과를 위해서는 적정 CO<sub>2</sub> 사용과 경제적인 생산을 위해서는 광도 및 온도의 변화에 따라 CO<sub>2</sub> 농도를 자동으로 조절하여 사용할 수 있는 장치의 개발이 중요하다고 생각된다.

### 인용문헌

- Aoki, M. and K. Yabuki. 1977. Studies on the carbon dioxide enrichment for plant growth. VII. Changes in dry matter production and photosynthetic rate of cucumber during carbon dioxide enrichment. *Agricultural Meteorology* 18:475-485.
- Calvert, A. and G. Slack. 1976. Effect of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. II. The duration of daily periods of enrichment. *J. of Hort. Sci.* 51:401-409.
- Charles, F. F. and P. J. Breen. 1986. Sugar content and uptake in the strawberry fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(2):241-247.
- Hicklenton, P.R. and P.A. Jolliffe. 1978. Effects of greenhouse CO<sub>2</sub> enrichment on the yield and photosynthetic physiology of tomato plants. *Can. J. Plant Sci.* 58:801-817.
- 구부시남, 삼강화지. 1978. 양품, 다수의ための 환경관리기준의 설정에 관한 연구 (제3보)저일사기におけるビニールハウス内の탄산가스 환경とトマト의 광합성について. *나양현농업시험장연구보고* 9:1-12
- 도엽소차, 이동탁이, 중촌령지보. 1977.イチゴ의 작형と 과실 중의 당および 유기산 조성. *강산대농학보*. 50:37-42.
- 정천순, 유근창, 장강정소. 1994. CO<sub>2</sub> 처리에 의한 고추의 순광합성 촉진효과. *한원지*. 35(6):581-586.
- 정천순, 유근창, 장강정소, 금전성웅. 1995. 청과용 고추재배를 위한 광도, 야온 및 CO<sub>2</sub> 농도의 효과. *한원지*. 36(2):211-217.
- 천도신언. 1991. 시설재배におけるCO<sub>2</sub>시용의 현상と 과제. *농업기상*. 47(3):177-182.
- 청진신, 시취만수. 1982. 탄산가스 환경에 관한 연구(VIII) 고CO<sub>2</sub>농도하におけるキュウリ葉の 광합성속도경시 변화. *생물환경조절*20(1):17-23.
- Knecht, G.N. and J.W. O'Leary. 1974. Increased tomato fruit development by CO<sub>2</sub> enrichment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99(3):214-216.
- 이용범, 이병일. 1994. 장기시용이 토마토의 생육, 수량 및 품질에 미치는 영향. *한원지*. 35(2): 103-110.
- 진부효명. 1989. 생식용イチゴ의 품질평가(2)일반성분, 유기산 조성, 향기성분급비베크틴 질と 물성의 품종간 차이. *광도농단대보*. 8:669-677.
- 삼강화지, 구부시남. 1973. 양품, 다수의ための 환경관리기준의 설정에 관한 연구 (제1보)장기재배トマト에 대する CO<sub>2</sub>시용의 영향について. *나양현농업시험장연구보고* 5:12-17.
- 중천천, 길강평, 하진공, 서촌인일, 촌상정자. 1989. 과일조지역における 시설야채의 CO<sub>2</sub>시용에 관한 연구(제2보)イチゴ'여봉'의 생육.수량に 及ぼす CO<sub>2</sub>시용의 영향. *원학잡* 58(별2):352-353.
- Nilsen, S., K. Houland, C. Dons and S.P. Sletten. 1983. Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthesis, growth and yield of tomato. *Sci. Hort.* 20:1-14.
- 서택용, 굴유. 1989.イチゴ의 영양생장기から 휴면기にかけて의 광합성 と 광합성산물의 전류. 분배. *원학잡*. 57(4):633-641.
- 직전미삼랑. 1975.イチゴ에 대する 시용의 이론と その 실용화. *농업오비원예* 50(12):57-62.
- 좌등기남. 1985.イチゴ'보교조생'의 축성재배における 당도 향상について. *신나천원시연보*. 33:18-25
- 윤형권, 유근창. 1992. 딸기의 생육 단계별 광합성 특성. *한원지*. 33(1):16-20.
- 길강평. 1990. 과일조지역における 시설야채에 대する 시용 효과. *농업오비원예*65(12):50-54.