

良品，多収のための環境管理基準の設定に関する研究（第1報）

長期栽培トマトに対する CO<sub>2</sub> 施用の影響について

森岡和之・久富時男

**A Study on the Standardization of the Environmental Control  
for Increasing the Fruit Production of Vinyl House Crops. 1.**

The influence of CO<sub>2</sub> enrichment on long-term-cultured  
tomato plant

Kazuyuki MORIOKA, and Tokio HISATOMI

緒 言

施設栽培はその内部環境を人為的に制御して，その中で栽培される作物の生育に適した環境を与え，安定して良品を多収することにその意義がある。

われわれは冬期の低温寡日照下で作物の光合成を増し，生育を促進させる手段として空気流動，早朝加温について検討しており，空気流動は施設内温湿度の均一化や CO<sub>2</sub> 輸送に関係し<sup>9)</sup>，また，早朝加温は施設内の温度を朝早くから高めて，光合成を促進させることを認めている<sup>1)</sup>。

作物の生育に関係する環境要因は多くあるが，その内で，CO<sub>2</sub> は作物が光合成により炭水化物を合成するための重要な要因の一つであり，CO<sub>2</sub> 濃度の増加にともない作物の光合成量も増加することは知られていて，Gaastra<sup>2)</sup> や Ponomareva<sup>14)</sup> は，CO<sub>2</sub> 濃度と光合成の関係を種々の作物について報告している。そして，CO<sub>2</sub> 施用実験も数多く行なわれており，生育促進，増収などの効果があることが認められている<sup>3)7)9)</sup>。CO<sub>2</sub> 発生源としては，灯油，プロパンなどの燃焼によるものや，CO<sub>2</sub> 発生剤，CO<sub>2</sub> ポンプ，ドライアイスなどがある。

このように CO<sub>2</sub> は重要な環境要因であるにもかかわらず，施設栽培における CO<sub>2</sub> 環境は，特に冬期では，施設内の換気回数が少なくなり，外気に比較して日中の濃度の低下が著しいことを著者らは以前の測定で確認し，また，伊東<sup>8)</sup> によつてもこの現象が報告されている。

一方，施設の利用体系から，われわれは果菜類，特にトマトについては長期栽培作型が適当であると考えている。

このようなことから，空気流動，早朝加温処理下で長

期栽培トマトに対する CO<sub>2</sub> 施用の影響について実験を行なつたので，結果を報告する。

実験材料および方法

トマト品種は TVR を用い，1971年8月2日は種，9月13日に，株間 35cm，条間 65cm の2条植えて 10a あたり2400本の密度に定植した。元肥施肥量は，10a あたり成分量で，N : 25kg，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 40kg，K<sub>2</sub>O : 30kg とした。追肥は液肥 (12-5-7%) 100倍液を株あたり約 1ℓ づつ 5 回施用した。

試験区として2棟のビニールハウスを用い，各ハウスの規模は面積 88m<sup>2</sup> (5.5m × 16m)，容積約 200m<sup>3</sup> で，1棟は CO<sub>2</sub> 施用，空気流動，早朝加温の3処理を，他の1棟は対照区として空気流動，早朝加温の2処理を行なつた。

CO<sub>2</sub> 施用は，1500ppm の濃度を目標に，Johnson CO<sub>2</sub> Generator によりプロパンガスをハウス内で毎日午前6時から午前7時まで1時間燃焼させて，発生した CO<sub>2</sub> を用いた。施用期間は11月10日から4月30日までとした。

空気流動は，羽根径 40cm，風量 107m<sup>3</sup>/min の有圧換気扇を，ハウス内の吸気口妻側中央から 1m 内部で，高さ約 2m の位置に設置し，換気扇からの送風は棟の方向につけたポリダクトで案内し，反対側の妻面近くで放出した。

CO<sub>2</sub> 処理区の場合，施用した CO<sub>2</sub> の拡散を十分に行なうために CO<sub>2</sub> 施用開始と同時に空気流動を行ない，11月10日から3月16日の間は午前6時から午後5時まで，3月17日から4月30日の間は午前6時から午前9時まで実施した。一方，無処理区は11月10日から3月16

日の午前9時から午後5時までとし、以後は強制換気の頻度が多くなったため停止した。

早朝加温は、温風暖房機にサーモスタットをタイマーで午前6時から午前9時まで切換え作動させ、両区とも18℃を設定温度として、11月10日から4月10日まで行なった。

昼間のハウス内温度は、28℃を設定温度にして強制換気を行ない、また、夜温は早朝加温の暖房機で8℃を設定温度とした。

各花房は、2、3花開花時にトライロンを、秋春期は800倍液、冬期は600倍液を花房散布処理した。着果した果実は無摘果とし、第18花房まで収穫を行なった。生育調査は、毎月1日に各区無摘芯の5株を草丈、葉数について行なった。また、その株を用いて、葉身、葉柄、茎、果実、花に分解後、乾物重を求め、それに腋芽と摘葉した下葉の乾物重を加えて生長の解析に供した。葉面積の算出はリーフパンチ法によった。相対生長率 (relative growth rate, RGR)<sup>5)15)</sup> と、純同化率 (net assimilation rate, NAR)<sup>5)15)</sup> は次の式より求めた。

$$RGR = \frac{\log w_2 - \log w_1}{t_2 - t_1}$$

$$NAR = \frac{\log u_2 - \log u_1}{u_2 - u_1} \times \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1}$$

(wはt時における全乾物重、uはt時における葉面積)。

CO<sub>2</sub>濃度測定は、ヘリウム混合の1070ppmのCO<sub>2</sub>

をスタンダードとして、ガスクロマトグラフィー法によった。

### 実験結果

#### 1. ハウス内 CO<sub>2</sub> 環境

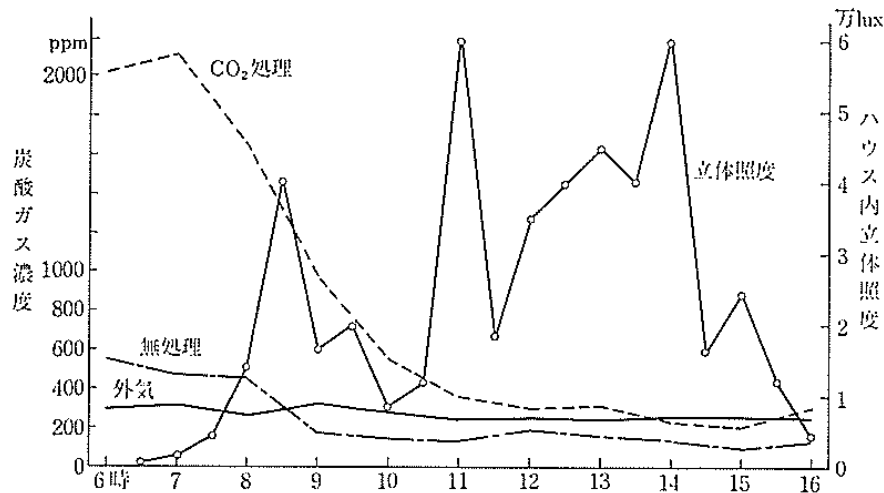
密閉した時のハウス内 CO<sub>2</sub> 濃度の経時変化は、第1図のようになり、無処理区は、濃度測定開始の6時には外気の約1.8倍の濃度であつたが、8時をすぎるとCO<sub>2</sub>濃度は減少し、9時以後は外気以下になり、15時には最低115ppmまで低下した。一方、6時から1時間CO<sub>2</sub>施用を行なったCO<sub>2</sub>処理区は、CO<sub>2</sub>施用停止の7時には約2100ppmのCO<sub>2</sub>濃度が測定され、時間の経過とともに減少したが、午前中は外気よりも高濃度を維持した。

#### 2. 生育・収量

草丈と葉数については、CO<sub>2</sub>施用による顕著な影響は見られず、6月1日の調査打ち切り時では、草丈と葉数はそれぞれ、無処理区589cm、70枚、CO<sub>2</sub>処理区583cm、72枚となつた。

花房ごとの開花期は第1表のように、1月から開花を始めた第9花房から差が表われ、CO<sub>2</sub>処理区の方が早くなり、その傾向は第18花房まで続いた。

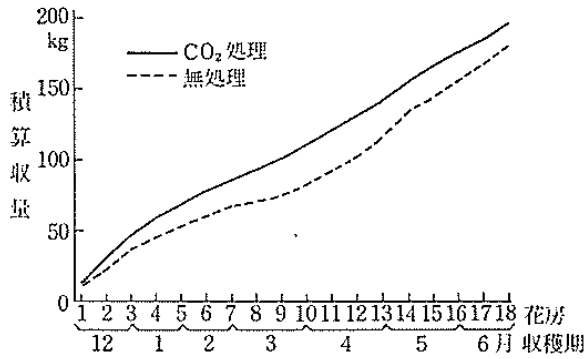
収量は、病果を含まない各花房の積算量を第2図に示した。20株合計で、無処理区は果数1217個、重量179,200g、一方、CO<sub>2</sub>処理区はそれぞれ、1338個、197,720g



第1図 ハウス内炭酸ガス濃度変化 (1971年12月9日)

第1表 各花房の平均開花開始日 (月、日、10株平均)

花房	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CO <sub>2</sub> 処理	9.24	10.8	10.19	10.30	11.8	11.21	12.4	12.16	1.2	1.14	1.30	2.13	2.28	3.9	3.19	3.30	4.10	4.20
無処理	9.24	10.3	10.19	10.30	11.9	11.22	12.5	12.15	1.8	1.20	2.4	2.21	3.6	3.17	3.26	4.6	4.16	4.24



第 2 図 花房別積算収量 (20株合計)

となり、CO<sub>2</sub> 施用により果数で9.9%、重量で10.3%の増収となつた。全収量に対する乱型果率は両区とも 8.1%であり、また、病果は無処理区 2 個、250g、CO<sub>2</sub> 処理区 2 個、130gであつた。花房別の収量は、第 1 花房から第 10 花房までは CO<sub>2</sub> 処理区の方が多く、第 11 花房から第 15 花房までは差が小さいが無処理区の方が多く、また、第 16 花房以上も無処理区の方が多かつた。これらの関係を第 2 表に示した。

第 2 表 収量の分析 (20株合計)

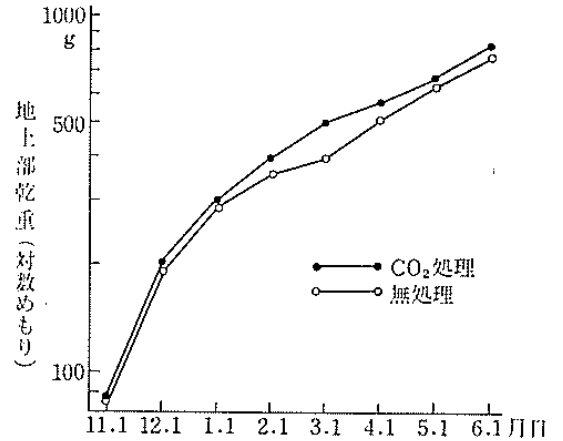
花 房		1~10	11~15	16~18
CO <sub>2</sub> 処理	個数ヶ	769	394	175
	重量 g	110820	59570	27330
無 処 理	個数ヶ	642	377	198
	重量 g	81240	62590	35370

各花房の一果平均重は第 3 表のように、第 9 花房までは CO<sub>2</sub> 処理区の方が大きく、第 10 花房以上では、第 12 花房を除き、無処理区の方が大きかつた。

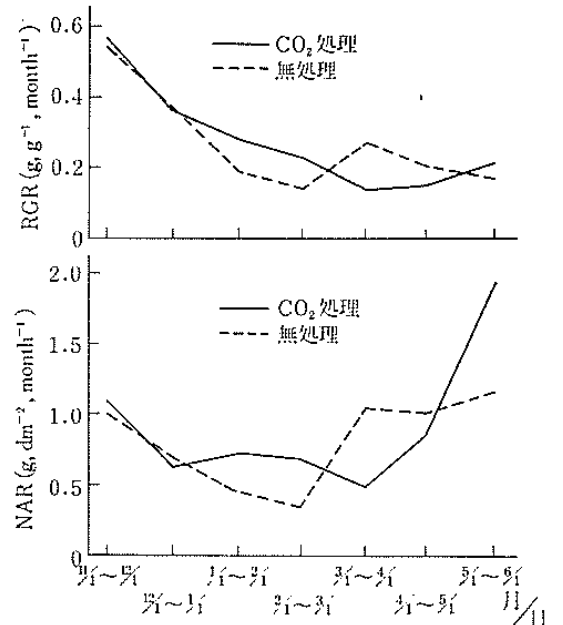
3. 生長の解析

植物の生長量は、総光合成量から呼吸消費量を差引いた純光合成量の蓄積によるものである。1 か月間の純光合成量を、地下部を除く地上部全乾物重の変化で表わすと第 3 図のようになり、CO<sub>2</sub> 施用開始後約 2 か月目より CO<sub>2</sub> 施用の影響が表われ、2 月から 4 月までは両区の差は顕著であつたが、その後は差が小さくなつた。6 月 1 日の調査打切り時における地上部乾物重は、CO<sub>2</sub> 処理区が約 8% 多かつた。

次に、第 3 図の直線の傾きによつて示される個体の生長速度、RGR と、光合成器官である葉の単位面積あたりの生長速度、NAR を第 4 図に示した。RGR と NAR は、それぞれ CO<sub>2</sub> 施用開始から約 2 か月間は差が表われなかつたが、1 月から 3 月までの 2 か月間は、CO<sub>2</sub> 処理区の方が大きく、その後は、5 月までは無処理区の方が大きくなり、5 月から 6 月までは RGR の両区の差は小さく、NAR は CO<sub>2</sub> 処理区の方が大きかつた。



第 3 図 地上部乾物重の変化 (5 株平均)



第 4 図 RGR, NAR の変化 (5 株平均)

第 3 表 1 果平均重 (g, 20株平均)

花 房	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CO <sub>2</sub> 処理	174	223	204	142	136	142	105	96	103	111	137	172	148	162	151	157	155	157
無 処 理	173	175	167	109	101	105	101	82	93	123	151	157	169	178	174	182	199	175

第4表 光合成生産物の地上部各器官への分配率(乾物%, 5株平均)

		12月1日	1月1日	2月1日	3月1日	4月1日	5月1日	6月1日
CO <sub>2</sub> 処理	葉	36.7	35.3	30.8	32.0	30.0	26.9	25.4
	莖	15.7	16.1	14.1	15.8	13.8	12.9	12.5
	果実+花	47.6	48.7	55.2	52.2	56.2	60.2	62.1
無処理	葉	38.4	31.9	32.0	34.5	30.4	29.2	27.8
	莖	15.7	14.5	14.1	17.3	13.9	14.6	12.7
	果実+花	45.9	53.6	53.9	48.2	55.7	56.2	59.5

地上部各器官への光合成生産物の分配率を、1か月ごとの葉、莖、果実および花のそれぞれの乾物重の割合で示したのが第4表であり、生育が進むにつれて、両区とも繁殖器官である果実と花の分配率が増加し、そして、CO<sub>2</sub>処理区の方がやや多い傾向が見られた。

考 察

1. 低温期のハウス内温度は、午前中、換気設定温度に達する頻度が少なく、この場合、ハウス内のCO<sub>2</sub>濃度は伊東<sup>8)</sup>の結果と同様に外気にくらべ著しく低下する。Moss<sup>12)</sup>はトマトのCO<sub>2</sub>補償点を75ppmと報告しているが、本実験での日中の無処理区のCO<sub>2</sub>濃度では、光合成速度は著しく低下していると考えられる。しかし、早朝に1時間CO<sub>2</sub>施用を行ない、約2000ppmまでハウス内CO<sub>2</sub>濃度を高めることによつて、少なくとも午前中のCO<sub>2</sub>環境は良好になる。CO<sub>2</sub>濃度測定開始時に、無処理区は約600ppmのCO<sub>2</sub>濃度であったが、これは、夜間に土壤中から発生したCO<sub>2</sub>とトマトの呼吸により放出されたCO<sub>2</sub>の影響と考えられる。一方、CO<sub>2</sub>処理区においてもCO<sub>2</sub>施用開始時に約2000ppmのCO<sub>2</sub>濃度が測定されたが、これは、CO<sub>2</sub>発生器の能力に比較しハウス面積が小さいことと、常に種火を維持するCO<sub>2</sub>発生器の性質から、夜間にCO<sub>2</sub>が蓄積されたものである。

2. 草丈、葉数については、Hårdh<sup>9)</sup>やMorgan<sup>11)</sup>はCO<sub>2</sub>施用による増加を報告しているが、伊東<sup>9)</sup>は育苗期間中にCO<sub>2</sub>施用を行ない、約6か月栽培後の調査ではCO<sub>2</sub>施用の影響がなかったことを報告している。本実験の場合も草丈、葉数に対する影響は見られなかった。これは、CO<sub>2</sub>施用方法、期間が異なり、また、CO<sub>2</sub>施用を開始した時にすでに第5花房開花まで生育したトマトでは、栄養生長と生殖生長のバランスが育苗期のものとは異なり、貯蔵器官である果実が肥大していたため、草丈、葉数に対するCO<sub>2</sub>施用の影響が現われなかったと考えられる。

開花について、Hand<sup>3)</sup>とSmith<sup>10)</sup>はCO<sub>2</sub>施用によつて開花期が前進したことを報告している。本実験においても、開花期の前進は第9花房より表われ、Hurd<sup>6)</sup>の報告にもあるように、CO<sub>2</sub>施用による光合成の増加が原因であると考えられる。開花に対するCO<sub>2</sub>施用の影響が約2か月後に第9花房より現われたことからCO<sub>2</sub>施用による開花促進反応は、CO<sub>2</sub>施用後かなり遅れて表われるようである。

CO<sub>2</sub>施用による増収は、CO<sub>2</sub>環境のちがひによる光合成量の差が原因であると考えられ、第2表のように、前半の収量差の影響が大きかつた。しかし、後半の収量と1果平均重の減少は、冬期にくらべ3月中旬以降は日射量が増し、ハウス内の温度上昇も早くなつて、換気扇の作動開始が早まり、CO<sub>2</sub>処理区の高CO<sub>2</sub>濃度維持期間が短くなり、一方、無処理区はCO<sub>2</sub>濃度低下が解消されたことにより、第3図の乾物重の変化が示す光合成量に変化が起きたためと考えられ、また、CO<sub>2</sub>処理区では、前半の着果数の増加のために、生育後期において株づかれが生じたことも一因ではなかろうか。

3. CO<sub>2</sub>施用開始前から7か月間の生長を解析したところ、地上部乾物重は1月を過ぎてから差が表われ、4月まではCO<sub>2</sub>施用の影響は顕著で伊東<sup>9)</sup>の報告と一致した。しかし、4月以降はCO<sub>2</sub>施用の影響は減少したが、これは前述のCO<sub>2</sub>環境の変化が原因と考えられる。また、乾物重の増加に対してNewton<sup>13)</sup>は、CO<sub>2</sub>施用や日中の加温よりも日中の補光による影響の方が大であることを述べており、本実験の場合、日射量の少ない条件下ではCO<sub>2</sub>施用が乾物重増加の効果を示したが、日射量の増加がそれ以上に光合成に影響をおよぼしたものと考えられる。

RGR, NAR について、冬期ではHurd<sup>6)</sup>の結果と同様にCO<sub>2</sub>施用による増加が見られたが、春期では逆となり生長速度は減少した。このようなRGR, NARの変化は第2表の収量の分析を裏付けするものと思われる。

光合成産物の分配率に対するCO<sub>2</sub>施用の影響は、繁

殖器官である果実と花がやや増加する傾向として表われた。これは、CO<sub>2</sub> 環境のちがいによる光合成量の差が転流に影響をおよぼしたためと考えられるが、Hurd<sup>6)</sup> は、分配率に対する CO<sub>2</sub> 施用の影響がないことを述べており、本実験の場合は異なつたので、今後の検討を要すると思われる。両区とも生育が進むにつれて、繁殖器官への分配率は増加したが、これはすでに述べられている通りであつた<sup>10)17)</sup>。

### 摘 要

空気流動、早朝加温処理下で、長期栽培トマトに対する CO<sub>2</sub> 施用の影響について検討した。

1. 無処理区のハウス内 CO<sub>2</sub> 濃度は、午前 6 時から午前 8 時までは外気濃度 (約 300ppm) 以上であつたが、その後は外気以下の濃度で経過した。CO<sub>2</sub> 施用ハウスでは午前 6 時より 1 時間の CO<sub>2</sub> 施用によつて、午前中は外気よりも高濃度に維持できた。

2. 草丈、葉数に対する CO<sub>2</sub> 施用の影響は認められなかつたが、第 9 花房から第 18 花房までの開花期は、CO<sub>2</sub> 施用により前進した。一方、収量は CO<sub>2</sub> 施用により、果数で 9.9%、果重で 10.3% 増加した。

3. 地上部の乾物重に対する CO<sub>2</sub> 施用の影響は、処理開始後約 2 か月目より表われ、冬期では差が顕著であつた。

相対生長率 (RGR)、純同化率 (NAR) は冬期に差が表われ、CO<sub>2</sub> 処理区の方が大であつた。地上部各器官への光合成産物の分配率に対する CO<sub>2</sub> 施用の影響は、果実と花がやや増加する傾向が見られた。

### 引用文献

1. 福呂和之・久富時男・植田義実・卜部昇治・藤本幸平・宮本重信：1971、トマトの低温期栽培における生育制御の基準設定に関する研究 (第 4 報)、早朝加温と空気流動がトマトの生育、収量におよぼす影響、昭和 46 年度園芸学会 (秋) 要旨：130—131。
2. GAASSTA, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. Mededel. Landbouwhogeschool Wageningen. 59(13) : 1-68.
3. HAND, D.W. and J.D. POSTLETHWAITE. 1971. The response to CO<sub>2</sub> enrichment of capillarywatered

single-truss tomatoes at different plant densities and seasons. J. hort. Sci. 46 : 461-470.

4. HÅRDH, J.E. 1966. CO<sub>2</sub> enrichment in raising young vegetable plants. Acta Hort. 4 : 127-128.
5. 穂積和夫・篠崎吉郎：1960、イギリス系の生長解析、吉良竜夫編、生態学大系 2 上：237—244。
6. HURD, R.G. 1968. Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the growth of young tomato plants in low light. Ann. Bot. 32 : 531-542.
7. 今津 正・矢吹万寿・織田弥三郎：1967、炭酸ガス環境に関する研究 (第 3 報)、CO<sub>2</sub> 濃度が crisp head レタスの生育、結球、収量に及ぼす影響、園学雑、36(4) : 406—410。
8. 伊東 正：1970、そ菜栽培における作物群落内の炭酸ガス濃度低下、園学雑、39(2) : 185—192。
9. \_\_\_\_\_ : 1972、そ菜の光合成とその栽培的意義 (第 5 報)、育苗中の炭酸ガス増与、空気流動がトマト、キュウリの生育、収量におよぼす影響、園学雑、41(1) : 42—50。
10. 岩城英夫：1971、物質生産、戸苅義次編、作物の光合成と物質生産、養賢堂：224—225。
11. MORGAN, J.V. and Angela BINCHY 1968. Influence of supplementary light, carbon dioxide enrichment and ccc on the height and dry weight of tomato plants. Agricultural Research 7(1) : 15-22.
12. MOSS, D.N. 1962. The limiting carbon dioxide concentration for photosynthesis. Nature 193 : 587.
13. NEWTON, P. 1966. The influence of increased CO<sub>2</sub> concentration and supplementary illumination on growth of tomato seedlings during the winter months. Ann. appl. Biol. 57 : 345-353.
14. PONOMAREVA, M.M. 1960. The effect of carbon dioxide concentration on the rate of photosynthesis. Bot. Expm. 14 : 54-72.
15. RADFORD, P.J. 1967. Growth analysis formulae—Their use and abuse. Crop. Sci. 7(3) : 171-175.
16. SMITH, D.R. 1965. CO<sub>2</sub> gives 64% increase. Ibid. 64 : 174.
17. 戸塚 績・木村 允：1973、生態学講座 9、植物の生産過程、共立出版：90—99。

### Summary

This study was undertaken to elucidate the influence of CO<sub>2</sub> enrichment on the long-term-cultured tomato plant under the condition of air movement and early morning heating.

1. In the control vinyl house, CO<sub>2</sub> concentration was higher than that outdoors (300 ppm) from 6 A.M. to 8 A.M., however it decreased apparently after the period. When CO<sub>2</sub> continued to be added for an hour since 6 A.M., CO<sub>2</sub> concentration of the house enriched by CO<sub>2</sub> was kept higher in the morning than that of the outside.

2. CO<sub>2</sub> enrichment had no effect on the plant height and the number of the leaves, but it quickened inflorescence from the 9th truss to the 18th.

The rate of increase in total fruit number and weight was 9.9% and 10.3% respectively by the enrichment.

3. It was observed in winter that CO<sub>2</sub> enrichment increased dry weight of the aerial part. Enhancement of relative growth rate and net assimilation rate by increasing CO<sub>2</sub> concentration was also seen in the same season.

The effect of CO<sub>2</sub> enrichment had a little increase in the dry weight distribution rate of the fruit and flower.