

# 冬期におけるカーネーション 温室内外の日射量, 気温と炭酸ガス濃度の日変化の関係, ならびに温室内の炭酸ガス濃度が光合成に及ぼす影響\*

三 浦 泰 昌

Yasumasa MIURA

Relations between solar radiation intensities, air temperature and CO<sub>2</sub> concentrations inside and out of carnation greenhouse in winter, and influence of CO<sub>2</sub> concentration in the greenhouse on the photosynthesis of carnation.

## I 緒 言

本県の温室カーネーション栽培では、毎年6月に定植し11月から翌年6月まで切花を収穫する、いわゆる冬切り栽培が中心である。この時期のカーネーションの生育適温は、日中22~23°C(7)、夜間12°C(1)とされ、生産者はこれを目標に温度管理を行って来た。しかしその後の研究によって、日中の高温は到花日数を短縮させる反面、花の大きさや茎の太さ、切花重の減少など品質の低下を招くことが明らかにされ(1, 2)、Bunt(3)は切花品質に対しては気温よりも日射量の影響が大きく、日射量が150cal cm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>以下の場合、日中14~15°Cに管理することによって、品質が著しく向上することを明らかにした。その結果イギリスでは冬季の日中の室温を13°Cにして、以後夏までに毎月1°Cずつ室温を高める方法が取られている(6)。

以上のことから、日射量など他の気象要因にかかわらず、気温を一定に保つ現行栽培法は、品質面からみて必ずしも有効とは言えないことが、明らかになって来た。

また現行の栽培法では、日射量が少なく室内気温の上

昇が緩やかな冬の曇雨天日には、温室は長時間にわたって密閉状態になるために、室内の炭酸ガス濃度が低下し、これが光合成に影響していることも考えられる。

そこで、冬期のカーネーション温室の気象制御を合理化することを目的に、まず現行栽培における温室内外の日射量、気温と温室内の炭酸ガス濃度の日変化を調査し、更に、カーネーション群落内の個体の光合成速度の日変化と、炭酸ガス濃度が光合成速度に及ぼす影響について調査した。その結果現行栽培における幾つかの改善点が明らかになったので、取りまとめて報告する。

## II 材料および方法

### 1. 温室内外の日射量, 気温ならびに室内炭酸ガス濃度の日変化の測定

'81年6月15日に当場の温室(330m<sup>2</sup>, 南北棟)の幅80cmのベッドに、1m<sup>2</sup>当り38本のカーネーション'スケニヤ'を定植した。'82年2, 3月にかけて群落内の地上部から高さ20, 60, 100cmおよび高さ60cmの東側, 中央部, 西側の炭酸ガス濃度と気温の日変化を測定した。炭酸ガス濃度は赤外線ガス分析計, 気温は熱電対と電子式平衡記録計により測定した。日射量は全天日射計を地上120cmの群落上, および温室南側の露地に設置して測定した。

### 2. 温室内におけるカーネーションの光合成および蒸散速度の測定

\* 本報告の一部は昭和57年度園芸学会秋季大会で発表した。

'83年3月22日から31日まで、群落内中央部の1個体を透明ポリエステル製チェンバー（直径15cm×長さ120cm、内容積21.2 lの円筒形）に入れ、上下端をビニルで密封したのち、晴天時は $50 \text{ l min}^{-1}$ 、曇雨天日および夜間は $20 \text{ l min}^{-1}$ の通気を行い、チェンバー内外の気温差が $3^\circ\text{C}$ 以下になるようにした。

光合成速度の測定は赤外線ガス分析計により、空気出入口の炭酸ガス濃度差から求めた。

蒸散量は空気出入口の乾、湿球示度を自記させて絶対湿度を算出し、出入口の絶対湿度差に通気量を乗じて求めた。絶対湿度の算出及び蒸散量を求める式は(1)及び(2)によった。

$$X = \frac{e}{760} \cdot \frac{1.293 \times 0.622}{1 + 0.00367 t} \dots\dots(1)$$

ここでXは絶対湿度 ( $\text{g m}^{-3}$ )、eは水蒸気張力 (mm Hg)、1.293は760mmHgの $0^\circ\text{C}$ における乾燥空気比重 ( $\text{kg m}^{-3}$ )、0.622は水蒸気の空気に対する比重、0.00367は温度 $1^\circ\text{C}$ に対する空気の膨張率、tは空気の温度( $^\circ\text{C}$ )を示す。なお水蒸気張力eはAngotの式による。

$$T = \Delta (X_o - X_i) Q \dots\dots(2)$$

ここでTは蒸散量 ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{g/株}\cdot\text{時間}$ )、 $X_o$ 、 $X_i$ は

第1表 光合成測定個体の生育状況

	葉重 g	葉面積 $\text{cm}^2$	茎重 g	花 い重 g	根重 g
生体重	96.6	1601.3	111.1	15.3	45.1
乾物重	15.2	—	25.4	2.6	6.8

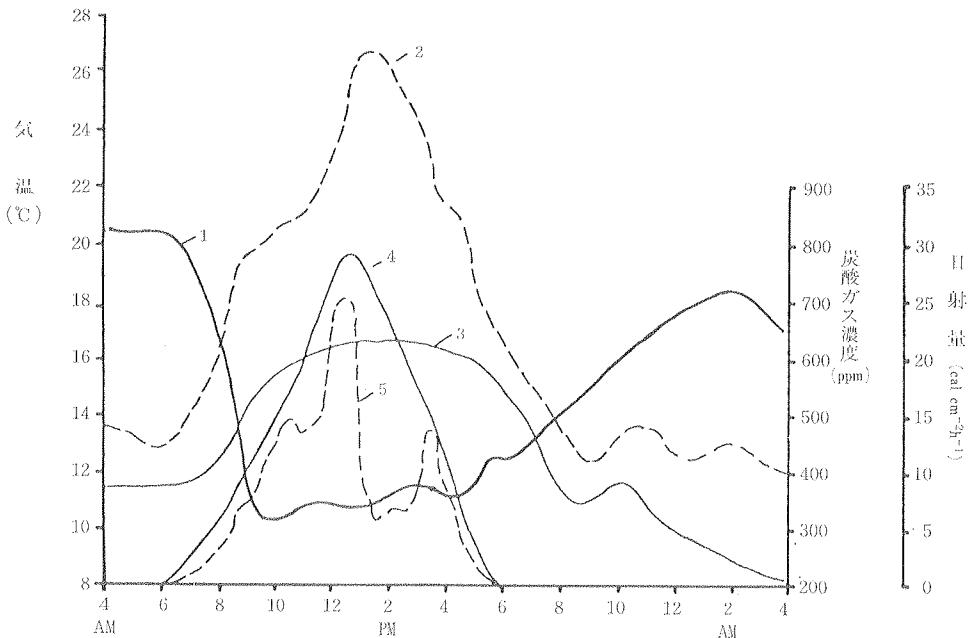
通気出口、入口の絶対湿度 ( $\text{g m}^{-3}$ )、Qは通気量 ( $\text{m}^3/\text{時間}$ )を示す。なお蒸散速度 ( $\text{g H}_2\text{O dm}^{-2} \text{hr}^{-1}$ ) は(2)式で求めた蒸散量を葉面積 ( $\text{dm}^2$ )で除し、30分当りの値として示した。日射量、気温の測定は試験1に準じた。

### III 成 績

#### 1. 温室内外の日射量、気温ならびに室内炭酸ガス濃度の日変化の測定

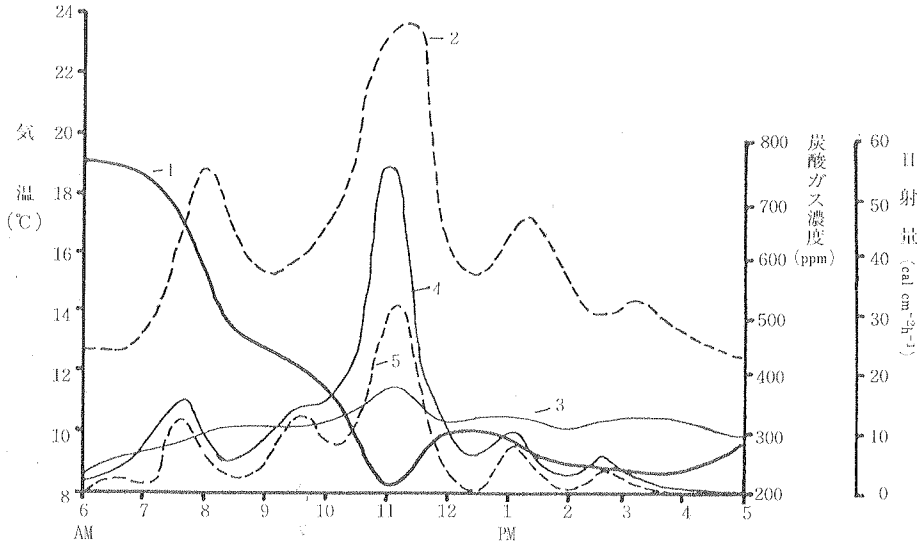
'82年2月から3月の間の測定値の中から、晴天日の3月16日と曇天日の3月20日の測定結果を、第1、2図に示した。

3月16日の場合、炭酸ガス濃度は午前6時まではほぼ800 ppmであったが、日射量の増大につれて急激に減少し、午前9時には330 ppmになった。一方この段階で室



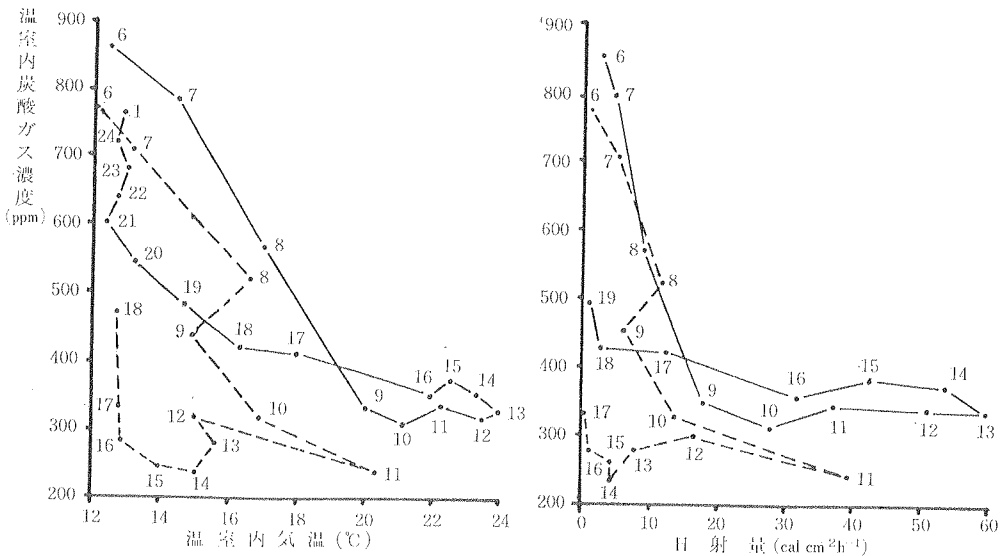
第1図 晴天日('82年3月16日)における温室内外の気温と日射量ならびに温室内部CO<sub>2</sub>濃度の日変化

1 : CO<sub>2</sub>濃度, 2 : 群落西側気温(地上1 m), 3 : 屋外気温, 4 : 屋外日射量, 5 : 温室内部日射量



第 2 図 曇天日（82年 3月20日）における温室内外の気温と日射量ならびに温室内 CO<sub>2</sub>濃度の日変化

1 : CO<sub>2</sub>濃度, 2 : 温室内外気温 (地上 1m), 3 : 屋外気温, 4 : 屋外日射量, 5 : 温室内日射量



第 3 図 3月16日と20日における温室内気温, 屋外日射量とCO<sub>2</sub>濃度の時刻別変化 (実線: 3月16日, 点線: 3月20日, 図内数字は時刻を示す)

温は20℃に上昇して天窓が開放され(天窓の開閉温度は20℃に設定), これ以後天窓が閉じる17時までほぼこの値を保った。天窓が閉じたのち炭酸ガス濃度は緩やかに

上昇して, 午前2時には750ppmに達した。

3月20日の場合は, 午前6時の800ppmから午前11時の200ppmへと, 炭酸ガス濃度はゆるやかに低下した。

また天窓の開放によって一時的には 300ppm まで上昇したが、天窓を閉じると再び低下した。

なお測定期間中の群落内の位置による炭酸ガス濃度差は極めて小さかった。

群落内の気温は午前 9 時から 12 時までは東側がやや高く、12 時から 16 時までは西側が高かった。また群落内の高さ別にみると、日射量の増加につ

れて差が大きくなり、日中は群落内の上部ほど高温になった。しかし 14 時以後は日射量の低下につれて、位置による差は小さくなった。また曇雨天日もその差は小さかった。

3 月 16 日の 6 時から 24 時までと、3 月 20 日の 6 時から 18 時までの気温、日射量（屋外）と室内炭酸ガス濃度の時刻別変化の関係を、第 3 図に示した。

3 月 16 日の場合は午前 9 時から午後 4 時まで室温が 20℃ 以上であったために、天窓は開放状態となり、炭酸ガス濃度は 300ppm 以上であった。日射量との関係では、ほぼ  $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  以上でこの濃度範囲にあった。

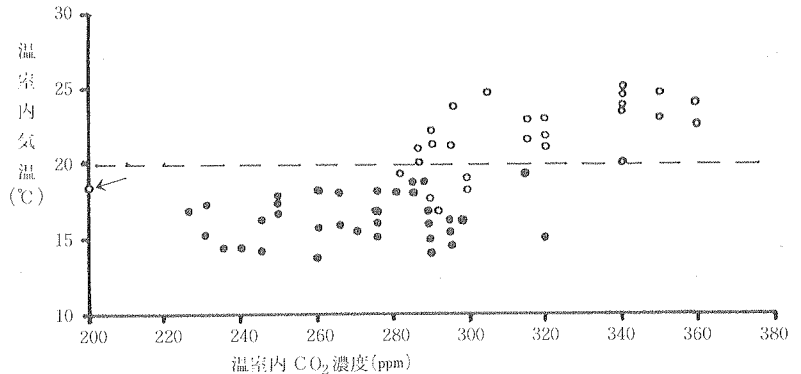
一方 3 月 20 日の場合は午前 11 時に室温が 20℃ に達して、炭酸ガス濃度は一時的に上昇したが、室温の低下によって天窓が閉じると、炭酸ガス濃度は 250ppm 前後に低下した。この間の日射量は  $10 \text{ cal cm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  以下であった。

3 月 16 日から 20 日までの 5 日間の午前 10 時から午後 4 時までの 30 分ごとの炭酸ガス濃度と気温の関係を第 4 図に示した。晴天時には天窓の開放されている時間が長く、このため炭酸ガス濃度は 280ppm 以上であったのに対して、20℃ 以下の場合は 300ppm 以下の時間が多く、200ppm 前後に低下する場合もあった。また曇天日に一時的に晴れて、しかも気温上昇がゆるやかな場合（図内矢印）は、200ppm まで低下した。

## 2. 温室内におけるカーネーションの光合成および蒸散速度の測定

'83 年 3 月 22 日から 3 月 31 日までの測定結果のうちで、曇天日の 3 月 27 日と晴天日の 3 月 31 日の測定値を第 5、6 図に示した。

3 月 27 日の場合は室内気温が 20℃ に達しなかったため



第 4 図 3 月 16 日から 20 日までの午前 10 時から午後 4 時までの 30 分ごとの温室内気温と炭酸ガス濃度の関係

○：晴天日，●：曇天日

に、天窓の自動開閉装置は作動せず、このため炭酸ガス濃度は午前 6 時の 500ppm から急激に低下して、午前 10 時にはほぼ 150ppm を示した。この段階で天窓を手動で開放すると急激に上昇して、ほぼ 290ppm を維持した。しかし 12 時に天窓を閉ると再び低下して、午後 2 時には 100ppm を示した。これ以後は緩やかに上昇して、18 時には 270ppm に達した。

みかけの光合成は午前 7 時頃から始まり、これ以後緩やかに上昇して、午後 6 時にはゼロとなった。

蒸散速度は午前 7 時頃から緩やかに上昇して、11 時には  $0.17 \text{ g dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  に達し、以後緩やかに低下したが、15 時に  $0.13 \text{ g}$ 、17 時に  $0.04 \text{ g}$  に減少した。

3 月 31 日の場合は、午前 6 時から 8 時の間に炭酸ガス濃度は急激に低下したが、この段階で天窓が開き、以後 17 時までほぼ 300ppm の一定した値を示した。

みかけの光合成は午前 7 時頃から始まったが、午前 11 時まで急激に上昇し、午後 1 時までほぼ一定した値を示したのち、午後 4 時まで緩やかに低下した。更に午後 6 時まで直線的に低下した。

蒸散は午前 7 時から 12 時まで直線的に上昇したのち、午後 3 時までにはほぼ一定し、以後 6 時までには直線的に低下した。

3 月 27 日と 31 日の午前 6 時から午後 6 時までの、1 時間当りのみかけの光合成速度をその時間の日射量で除して、単位日射量当りの光合成速度を求めた。その結果は第 7 図に示すように、31 日の場合は午前 7 時から午後 5 時の間ほぼ  $0.25 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$  を示し、光合成が日射量によって律速されていることを示した。一方 27 日の場合は午前 8 時まで増加し、11～12 時に一時的に上昇し

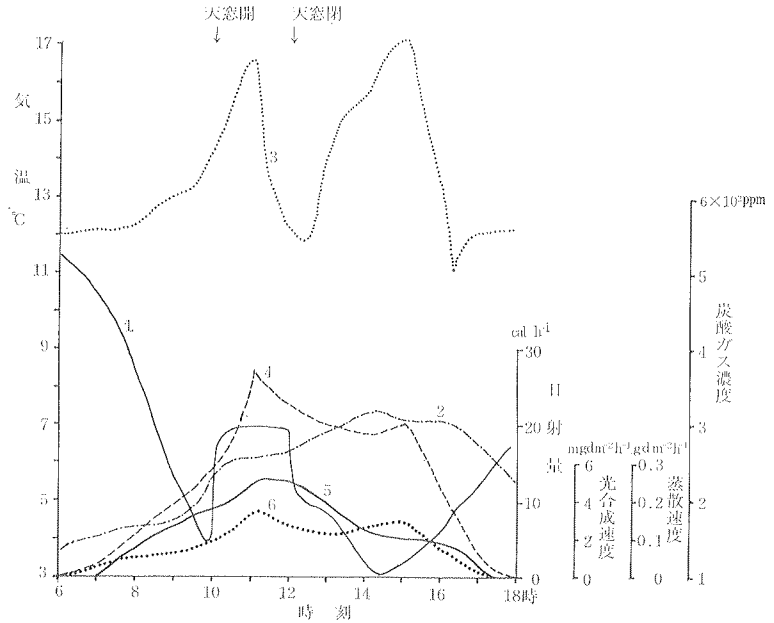
たが、午後3時には  $0.1 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$  と、31日の平均値の40%に低下した。このことは、炭酸ガス濃度が低下した段階では、光合成速度が日射量以外の要因によって律速されていることを示した。

次に午前8時から午後4時までの1時間当りの蒸散量を日射量で除して、日射量当りの蒸散量を求めて第2表に示した。3月27日の場合は全期間を通じてほぼ  $6 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$  で一定した値を示した。一方3月31日の場合は午前8時の12mgからゆるやかに増加して、午後4時には25mgに達したのち再び低下した。

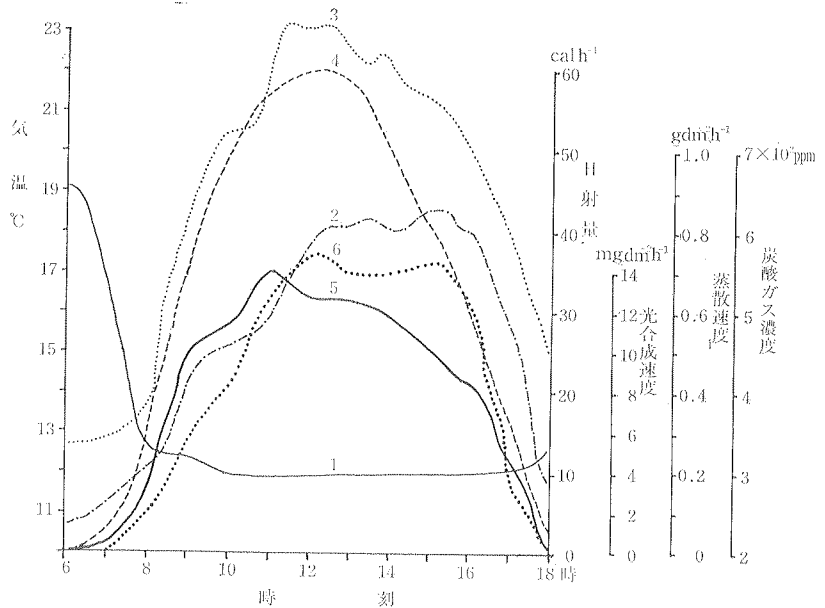
#### IV 考 察

本試験の結果から、カーネーション温室内の炭酸ガス濃度変化に対しては、植物体の光合成速度と、天窓の開閉による換気の影響が大きいことが明らかになった。午前8時までの炭酸ガス濃度低下が晴天日ほど著しかったことは、この時間の光合成速度の違いとして理解できる。本試験では群落内中央部の個体を用いて光合成を測定したために、午前6時から7時の光合成速度は比較的小さかった。午前中の光線を強く受ける群落内の東側の個体では、この時刻の光合成速度は更に大きいであろう。群落内の位置による切花収量の個体差と、光合成の関係については更に検討する必要がある。

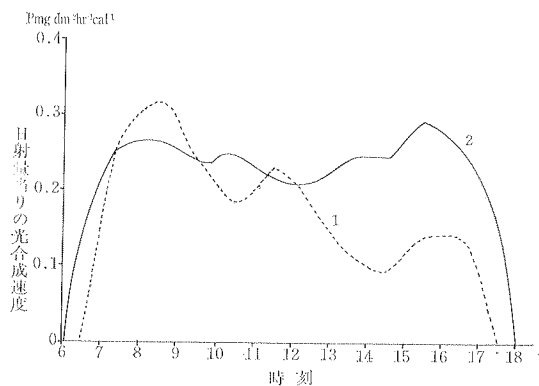
本調査での夜間の炭酸ガス



第5図 雨天日における温室内外の気温、日射量ならびにカーネーション個体の光合成、蒸散量の時刻別変化（'83.3.27）  
 1：温室中CO<sub>2</sub>濃度，2：温室外気温，3：温室中気温  
 4：水平日射量，5：光合成速度，6：蒸散速度



第6図 晴天日における温室内外の気温、日射量ならびにカーネーション個体の光合成、蒸散量の時刻別変化（'83.4.2、図内数字は第5図に同じ）



第7図 3月27日と31日における日射量当りの  
光合成速度の変化  
1：3月27日，2：3月31日

第2表 3月27日と31日における日射量当りの蒸散  
速度の時刻別変化(単位:mgdm<sup>-2</sup>cal<sup>-1</sup>hr<sup>-1</sup>)

時刻	3月27日	3月31日
8	8.3	12.3
9	5.5	11.1
10	6.4	10.4
11	6.3	13.6
12	6.0	14.2
13	5.5	13.6
14	6.6	17.0
15	7.0	21.0
16	6.3	25.0

濃度は600~800ppmに達し、藤野ら(4)の測定値よりも高かったが、これは主として温室の気密性の差によるものと考えられる。アルミニウム温室は気密性が高く、このために炭酸ガス濃度は夜間に上昇し、日中は低下したのと考えられる。

炭酸ガス濃度とカーネーションの生育、収量の関係についてはHolleyら(7)の報告があり、500ppmまでは炭酸ガス濃度の増加につれて収量、品質ともに上昇することが知られている。早朝の弱光下で室内の炭酸ガス濃度が高く維持されていることは、カーネーションの生育には好ましい条件と言えよう。

晴天日には午前中に室温が急激に上昇し、8時から9時の間に天窓は開放される。このため日中の炭酸ガス濃度は外気に近く、ほぼ300ppmを維持した。一方曇天日は室温の上昇が緩やかで天窓は開かず、炭酸ガス濃度は100ppm前後に低下した。また炭酸ガス濃度が200ppm

以下になった段階では、日射量当りの光合成速度が顕著に低下したことは、炭酸ガス濃度の低下が光合成を強く制限していたことを示している。

光合成速度と蒸散速度を制限する要因としては気孔の開度が考えられる。しかし日射量当りの光合成低下にかかわらず、蒸散速度が低下しなかったことは、葉の気孔の抵抗によって光合成速度が低下したとは考えられない。やはり炭酸ガス濃度の低下による飢餓現象と考えられる。

カーネーションの光合成速度に及ぼす環境条件としては、炭酸ガス濃度の外に光の強さと気温の影響が大きい(9)。光飽和に達しない弱光下では、光線量の不足によって光合成速度が抑えられているために、この状態で気温のみを高めると呼吸量の増大を招き、みかけの光合成量は低下する。日射量が150calcm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>以下では13~14℃の低温が生育適温とするBunt(7)の結果も、これを裏付けるものと考えられる。

これらの結果からみて、日射量や炭酸ガス濃度など、カーネーションの生育に大きく関与する環境条件を考慮せずに、室温を一定に規制する現在の方法は合理性に欠ける。日射量や炭酸ガス濃度を考慮した気温操作が必要と考えられる。現行の栽培においても、晴天日には炭酸ガス飢餓の発生は考えられないが、曇雨天日に発生の危険性が高い。Hands(6)はカーネーションの生育適温は、冬季弱光下では12~13℃であるために、炭酸ガス施用の効果は小さいとしている。弱光下では室温を下げ、天窓を早朝に開けて、炭酸ガス飢餓を防ぐか、気温を高く維持して炭酸ガスを施用するかは、議論が分かれる。光合成速度や生育収量、さらに経済性の検討を含めてより効果的な管理方法を明らかにする必要がある。

更に、日射量および昼温と夜温の組合せについても、今後検討する必要がある。

## V 摘 要

冬季のカーネーション温室の気象制御を合理化することを目的に、まず現行栽培における温室内外の日射量、気温と温室内の炭酸ガス濃度の日変化を調査し、さらにカーネーション群落内の個体の光合成速度の日変化と、炭酸ガス濃度が光合成速度に及ぼす影響について調査した。

1. 温室内の炭酸ガス濃度は夜間に600~800ppmに上昇したが、午前6時頃から急激に低下した。また低下の程度は晴天日の方が曇天日よりも激しかった。晴天日に

は室温の急激な上昇によって午前8時から9時の間に天窓が開き、日中の炭酸ガス濃度は300ppm前後を維持した。一方曇天日には室温の上昇が緩やかなために、天窓は終日閉じて温室は気密状態となり、炭酸ガス濃度は100ppm前後に低下する場合があった。

2. 群落内中央部のカーネーション個体の光合成速度の日変化を測定したところ、晴天日には午前7時から急激に上昇して、午前11時から午後1時に最大となり、午後4時まで緩やかに低下し、6時にはゼロとなった。一方曇天日は午前7時から11時まで緩やかに上昇したのち、12時から午後6時まで緩やかに低下した。

3. 炭酸ガス濃度が300ppm以上の場合は、日射量当りの光合成速度はほぼ  $0.25 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$  であったが、300ppm以下では、濃度の低下につれて光合成速度も低下し、100ppmでは  $0.1 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$  であった。

4. 日射量当りの蒸散量は炭酸ガス濃度に影響されず、曇天日は  $6 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$ 、晴天日には  $14 \text{ mg dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} \text{ cal}^{-1}$  を示した。

5. 日射量が  $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  以下の条件下では天窓開放温度を  $14 \sim 15^\circ \text{C}$  に下げることによって、炭酸ガス飢餓を防ぐことが可能と考えられる。

## 引用文献

1. Abou Dahab, A. M. (1967). Effects of light and temperature on growth and flowering of carna-

tion (*Dianthus caryophyllus* L.).

2. Bunt, A. C. (1972). Effect of season on the carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). I. Growth rate. Jour. Hort. Sci., 47, 467-477.

3. ————— (1980). —————. III. Flower quality. Jour. Hort. Sci., 53, 75-84.

4. 藤野守弘・宇田 明・柴田 進・藤田治夫 (1979). 環境調節による温室カーネーション花茎品質の改善, 第1報,  $\text{CO}_2$ , 長日および灌水量の影響, 兵庫農総センター研報 28, 81~88.

5. Goldsberry, K. L. and W. D. Holley (1960). Carbon dioxide in the greenhouse atmosphere. Colorado Flower Grower Association Bulletin, 119.

6. Hand, D. W. (1982).  $\text{CO}_2$  Enrichment, The benefits and problems. Scientific Horticulture, Vol. 33, 14~43.

7. Holley, W. D. and R. Baker (1963). Carnation production. W. C. Broun Co. Inc., Dubuque, Iowa.

8. Koths, J. S. and R. Adzima (1967). Carnation quality as influenced by carbon dioxide enriched atmospheres. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91, 612~616.

9. 三浦泰昌 (1982). カーネーション・スケニヤの生育時期別の光合成特性調査, 昭和56年度花き試験成績概要 (関東東山) 35~36.

## Summary

1. Atmospheric  $\text{CO}_2$  concentration in the greenhouse rose up to 600-800 ppm at midnight, and on clear days fell down to 300 ppm between 6 and 8 AM, and after that time to 5 PM the concentration was about 300 ppm by being opened roof ventilation which was set to operate at  $20^\circ \text{C}$ . On both of cloudy and rainy days, greenhouse temperature did not rise to  $20^\circ \text{C}$  because of low solar radiation intensity, so that the ventilation was closed throughout the day and  $\text{CO}_2$  concentration fell down to about 100ppm in the afternoon.

2. Photosynthetic rate of a whole plant of carnation C.V. Scania standing in the middle of canopy increased from 7 to 11 AM, and decreased from 1 to 6 PM. On clear days maximum photosynthetic rate was  $14 \text{ mg dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  in  $60 \text{ cal h}^{-1}$  solar energy.

3. When  $\text{CO}_2$  concentration was higher than 300

ppm, the photosynthetic rate per 1 cal of solar radiation was almost constant at  $0.25 \text{ mg dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . On the otherhand when it was lower than 300 ppm, the rate decreased with decreasing the concentration, and in 100 ppm the rate was about  $0.1 \text{ mg dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

4. Change of  $\text{CO}_2$  concentration had no affect to transpiration of the plant. On a cloudy day transpiration rate per 1 cal solar energy was about  $6 \text{ mg dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  throughout the daytime, though the concentration decreased from 300 to 100ppm. It suggests that photosynthetic rate was inhibited not by stomatal resistance but by decreased  $\text{CO}_2$  concentration.

5. When solar energy is lower than  $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , roof ventilation should be opened at  $14 \sim 15^\circ \text{C}$  in the greenhouse temperature, and opening the ventilation will save carnation plants from  $\text{CO}_2$  deficiency in winter season.