

## 制御環境下におけるメロンの光合成および呼吸作用

津野幸人\*・竹内芳親\*・平尾倫子\*

### Photosynthesis, Respiration, and Respiration/photosynthesis Ratio of Melon Plants Grown under Growth Cabinet Conditions

Yukindo TSUNO\*, Yoshichika TAKEUCHI\* and Michiko HIRAO\*

*\*Division of Arid Land Agro-ecology, Sand Dune Research Institute*

#### Summary

Experiments were attempted to make clear a time course of photosynthesis on the day, respiration/photosynthesis ratio and the temperature-photosynthesis relation of melon plants as influenced by carbon dioxide concentration in the air. Young melon plants were cultivated in a growth cabinet (volume 1 m<sup>3</sup>), which was controlled by a light intensity of 30 Klux, the air temperature of 30°C during illumination time (14 hrs), and the air temperature during the dark period (10 hrs) in a day was changed from 15°C to 30°C with a 5°C interval.

The time course of photosynthesis during 14 hrs could be expressed as trapezoid shape. However, the amount of photosynthesis per 7 hrs of the latter half of illumination time was decreased 14% as an average value rather than that of the first half. The ratios of respiratory amount per 10 hrs to photosynthetic amount per 14 hrs in the day at four levels of the air temperature during the dark period, 15, 20, 25 and 30°C, were 15%, 17%, 22% and 25% respectively according to the temperature of dark period.

Low temperature of 15°C during the dark period affected the photosynthetic amount of the next day. As a result the photosynthetic amount decreased 15% compared with the case of 25°C. Temperature coefficient of respiration ( $Q_{10}$ ) obtained in both cases, long time scale as one day unit and short time scale as several hours, agreed to the value of about 1.70.

The photosynthetic rate at 30 Klux was also influenced by the soil temperature, which showed 33°C optimum for its photosynthesis. The photosynthetic rate was increased considerably with carbon dioxide in the air, between 270 and 700 ppm. At the higher concentration of 1200 ppm, no change occurred in the maximum rate of photosynthesis, but the depression of the rate of photosynthesis, which was caused by the high temperature of 35°C, was prevented.

## I. 緒 言

周知のとおりネット・メロンの栽培は主としてガラス温室内でおこなわれ、周到的な管理がなされている。しかし、作物の物質生産の基本である光合成作用および呼吸作用と環境要因の関係について、本作物では不明の部分が多いので、この点を明らかにすることは極めて意義のあることである。

本報告はグロス・キャビネットを使用して、メロンの光合成作用と呼吸作用について、以下の事項を明らかにしようとしたものである。(1)光合成作用と呼吸作用の日変化のパターンを明らかにする。(2)温度と呼吸作用との関係について短時間で温度が変化した場合に得られた結果と、温度変化が長時間にわたった場合における結果とが一致するかどうかを検討する。(3)炭酸ガス濃度が温度—光合成関係に及ぼす影響を調査する。

## II. 実験方法および材料

使用した環境制御装置は島津高性能グロス・キャビネットであって、植物生育室の容量100×100×100 cm、陽光ランプによる人工照明で灯下1mで30 Kluxの照度が得られる。気温、地温は独立して制御され、 $9/5000$ のワグネルポット9個を収容できる。

なお、植物生育室は特に気密に製作され、ここに外部より送風機で所定の新鮮空気を送り、空気出入口の炭酸ガス濃度を日立・堀場製赤外線分析計で測定した。送気量に空気出入口の濃度差を乗じて光合成量あるいは呼吸量を求めた。

メロン品種、新芳露の40日苗を4月27日にキャビネット内のワグネル・ポットに移植した。培地として本研究施設研究圃場の砂土を用い、これに津野ら<sup>19)</sup>の考案した気泡ポンプ利用の水耕法の原理によって、ポット底部より培養液を供給した。用いた培養液は全期間を通じて大塚ハウス肥料の800倍液である。

メロンの生育は極めて順調であり、9個体収容したのでは、葉のこみあいが激しくなるのでガス代謝測定時には6個体とした。除去した3個体の全部の葉について葉面積を調査し、それに基づいて被測定株の葉の大きさと葉数から、葉面積を推定した。通

気量は16—20 m<sup>3</sup>/hrの範囲であった。炭酸ガス濃度を上昇させる場合は、送風機の空気取入口にポンペより調圧器をとおして一定量の炭酸ガスを混入した。

## III. 実験結果および考察

### (1). 光合成作用および呼吸作用の日変化のパターン

メロン栽培において温度管理の適正さがきびしく要求されているが、実験的に適温は求められていない。ただ農家の慣行のなかから適温が求められているようで、日平均気温は23—28℃程度ということが紹介されている<sup>14)</sup>。これから考えて昼温は30℃前後におかれる場合が多いと推察される。

そこで、グロス・キャビネットを照明期間30℃(14時間)、暗黒期間25℃(10時間)に設定し、そのもとでメロンを4月27日より6月4日まで育て、それより10日間にわたって、夜温のみを変化させて、光合成作用と呼吸作用の日変化を連続測定した。その結果は第1、2図に示したとおりである。なお、同図の時間軸0は午前5時に相当し、地温は6月14日以外は終日20℃の一定温度を保った。6月14日のみは照明期間中の地温を15—40℃の範囲で変化させた。

両図をみて明らかなどおり、照明期間中の光合成作用の推移は各日とも、おおむね台形状を示している。同様に暗黒期間における呼吸作用もほぼ台形状を示し、照明開始前と照明中止後の値には大差がみられない。

照明中における光合成速度の変化を詳細に検討するため、照明期間前半と後半とに分け、それぞれの光合成量を求め第1表で比較した。この表にみられるごとく、厳密に言えば後半の光合成量が前半よりも約10—26%低く、平均して14%の低下を示した。

光合成の日変化のパターンを調査した例は多く、数例をあげれば水稻<sup>12)</sup>、甘藷<sup>22)</sup>では午前も午後も光合成速度に変化がなく、鴨田ら<sup>9)</sup>の測定結果を詳細にみるとサトイモ、ダイズ、スイート・コーンで午後の値が午前のものよりも若干低下する傾向がうかがえる。また、Iwaki et al<sup>7)</sup>のコムギの例でも本実験のごときパターンを示すものも認められる。

伊東<sup>6)</sup>のトマトを用いた実験によれば、光合成速度は14—16時で午前の値よりも13%程度低下し、そ

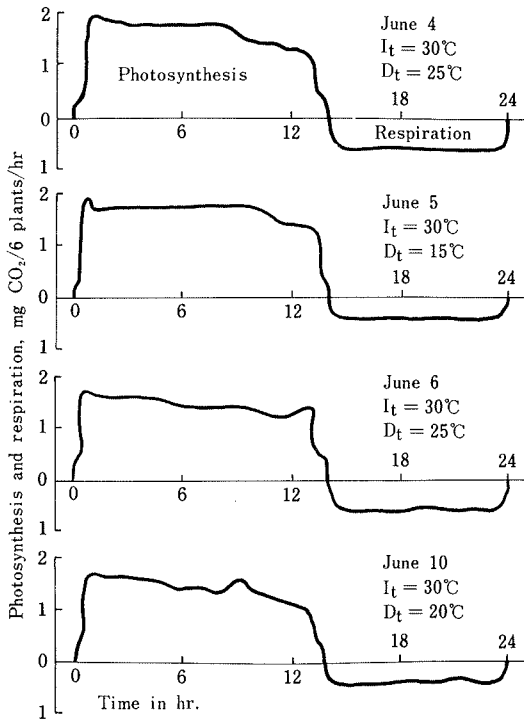


Fig. 1. Time course of photosynthesis and respiration in a growth chamber (I).

Note.  $I_t$  : Temperature of illumination period.  
 $D_t$  : Temperature of dark period.  
 Illuminating condition : 0-1 hr, 15 Klux.  
 1-13 hr, 30 Klux. 13-14 hr, 15 Klux.

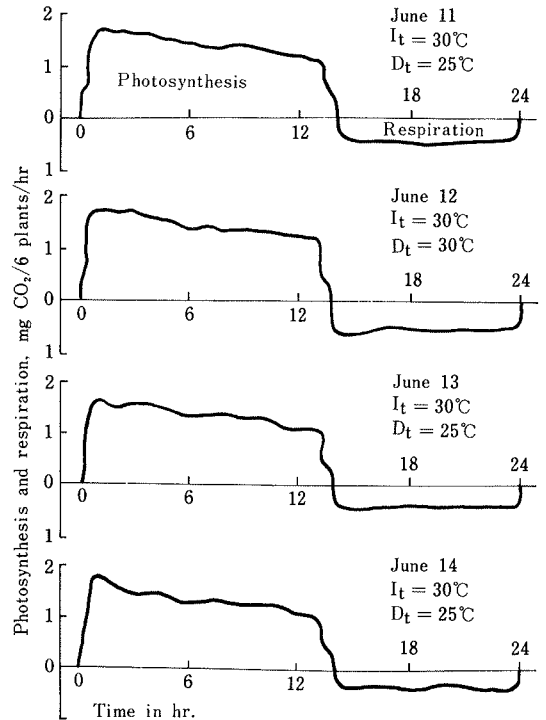


Fig. 2. Time course of photosynthesis and respiration in a growth chamber (II).

Note.  $I_t$  : Temperature of illumination period.  
 $D_t$  : Temperature of dark period.  
 Illuminating condition : 0-1 hr, 15 Klux.  
 1-13 hr, 30 Klux. 13-14 hr, 15 Klux.

Table 1. Comparison of photosynthesis amount between the first half and the latter half of the illumination period.

Date	Amount of photosynthesis, mg CO <sub>2</sub> /6 plants/7hrs		B/A
	The first half (A)	The latter half (B)	%
June 4	11.38	10.15	89.2
June 5	12.26	10.59	86.4
June 6	10.45	9.04	86.5
June 10	10.76	9.36	87.0
June 11	10.73	9.68	90.2
June 12	11.88	8.81	74.2
June 13	10.26	9.09	88.6
June 14	9.89	8.67	87.7

の後上昇する傾向を認めている。第1, 2図のとおり、光合成速度は照明開始直後に最高で、その後照明終期にかけてゆるやかに低下する傾向を示し、一

時的な低下とその後の回復は認められない。このような照明期間の始めと終りにおいて光合成速度に差の生じる原因については、現在のところ葉内水分の

Table 2. Influence of temperature of the dark period on the amount of respiration and respiration/photosynthesis ratio in one day.

Date	Temperature, °C		Amount of photosynthesis, (P) mg CO <sub>2</sub> /6 plants/14 hrs.	Amount of respiration, (R) mg CO <sub>2</sub> /6 plants/7 hrs.	R/P ratio %	Q <sub>10</sub>
	Illumination	Dark				
June 4	30	25	21.58	5.93	27.5	1.68
June 5	30	15	22.85	3.52	15.4	
June 6	30	25	19.49	5.15	26.5	
June 10	30	20	20.12	3.32	16.5	1.69
June 11	30	25	20.41	3.90	19.1	
June 12	30	30	20.69	5.24	25.3	
June 13	30	25	19.35	3.73	19.3	1.87
June 14	30	25	18.56	3.63	19.5	

Note. Q<sub>10</sub>……Temperature coefficient of respiration

不足,あるいは光合成産物の蓄積などが考えられるが,正確な原因はつかめていない。また,午前と午後との間で光合成速度に差の認められない実験例も数多くあるので,第1,2図の現象がメロンにおいて普遍的に存在するかどうかは確信できない状態である。この点に関して実際栽培のメロンについての詳しい調査が望まれるところである。しかし,上記した他の実験例に徴しても午前と午後の光合成速度に大差のない点だけは指摘できよう。

さらに,前日の地温が翌日の光合成に及ぼす影響をみると,6月5日で15°Cに地温を下げると翌日の光合成量は前日のそれよりも15%低下している。他方,6月12日に地温30°Cに上昇した場合は,翌日の光合成量は約6%低下している(第2表)。これからわかるとおり,メロンの光合成は前日の高地温よりもむしろ低地温の影響を強くうける様である。

ここで,一日当たり全光合成量に対する夜間の呼吸消耗率を検討しよう。第2表の6月4日から6日までの期間で,夜温25°Cの場合は約27%の呼吸比率(暗期呼吸量/明期光合成量)であるが,夜温15°Cの場合は15%と減少している。他方,6月10-14日の期間では夜温20°Cで17%,25°Cで19%,30°Cで25%となっている。25°Cの場合が両時期でかなり相違しているが,5個の値を平均すれば22%である。これらの数値から実際のメロン栽培において,草丈80cm程度の生育時期であれば,日中の光合成産物の20%前後を夜間の呼吸で消費すると推定できる。

## (2). 温度と呼吸作用との関係

通常,作物の呼吸作用は温度の上昇にともなって増加し,その温度係数(Q<sub>10</sub>)は2前後であることが知られている。しかし,この関係も詳細に検討すれば作物体の部位により異なり<sup>18,22)</sup>,かつ,温度範囲によってもQ<sub>10</sub>値は異なる。例えば,甘藷葉のQ<sub>10</sub>は10-20°Cの範囲では4であり,25-35°Cでは1.6程度である。これら一連の実験において,Q<sub>10</sub>を求める手続きは比較的短かい時間内に温度を変化させ,それにとまなう呼吸の変化を対応させたものである。自然条件下で夜温の変化にとまなう呼吸の変化は上記した実験結果に類似することが考えられるが,日単位という長時間で夜温をとらえ呼吸量との対応関係を検討した実験は極めて少ない。

そこで,第1,2図のデータから,暗期温度と呼吸量とを抽出し,それぞれの前後の日の呼吸量よりQ<sub>10</sub>値を計算して第2表にかかげた。この様に日単位で求めたQ<sub>10</sub>値は1.46-1.87の範囲にあり,平均すれば1.71である。

以上とは別の日(5月28日)に15.4°Cより40.5°Cまで比較的短時間内に温度を変化させて,それに伴う呼吸の変化を測定した。その結果は第3図に示すとおりであってQ<sub>10</sub>=1.69となり,日単位で求めたQ<sub>10</sub>値とほぼ等しい値が得られた。この結果よりメロンの物質生産量を理論的に計算する場合,呼吸速度と温度係数を考慮した平均夜温を用いれば光合成産物の呼吸消費量の算出は可能である。

## (3). 地温と光合成作用との関係

根圏の温度が植物の物質生産に影響することは周

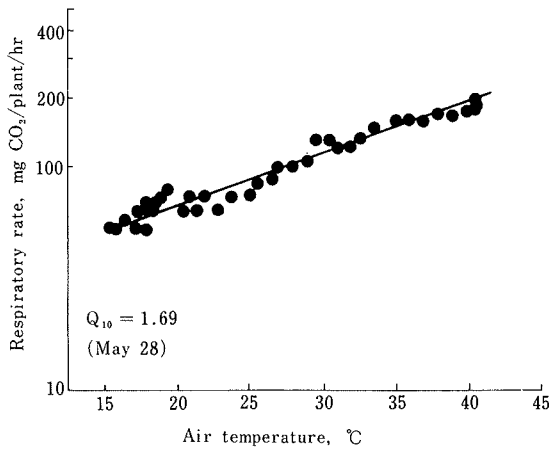


Fig. 3. Relation between air temperature and respiratory rate.

Note. Total leaf area, 170.5 dm<sup>2</sup>/7 plants.  
 Changing rate of temperature; 21-15.5°C:  
 1.4°C/hr, 15.5-40.5°C: 4.8°C/hr.

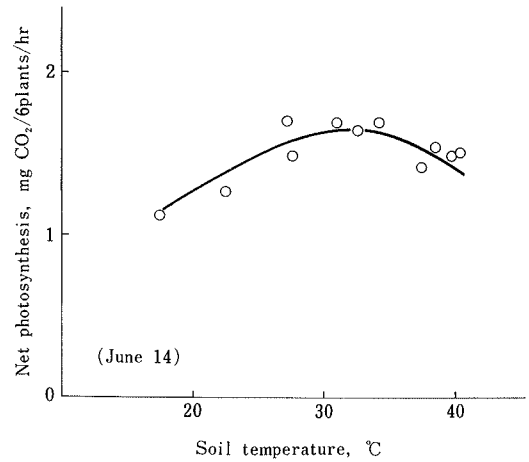


Fig. 4. Relation between soil temperature and photosynthesis.

Note. Soil temperature was gradually changed from low to high, and air temperature was constantly kept at 30°C.

知の事実であるが、Humphries<sup>5)</sup>は上記事項について詳細に実験をおこない、根部温度20°Cと13°Cでは後者の場合が乾物生産を低下させ、体内に糖が著しく蓄積することを報告している。また武田<sup>15)</sup>は夜間の低地温が2条オオムギの午前中の光合成を抑制することを認めている。

すでに第2表の結果から指摘したとおり、地温が光合成に影響することが推測されたので、この点を確認するために6月14日(照明期間中)地温を変化させて、光合成速度がどの様に変化するかを調べた。地温が光合成に対して影響を及ぼすのは気温と異なり、かなり時間がかかる様であって、経時的な地温変化のある場合同一時間における地温と光合成とは厳密に対応せず、1時間前の地温をとれば光合成との間には第4図のごとき一定の傾向が認められた。

地温と光合成との関係は単項曲線で示すことができ、33°C付近に最適地温が認められ、その前後で光合成は低下する。門田<sup>10)</sup>は各種蔬菜幼根の生長に対する温度の影響を調査しているが、メロン幼根の伸長は34°Cで最高となり、高温側40°C、低温側8°Cで伸長は停止するという結果を得ている。メロン根の伸長適温と光合成の最適地温がほぼ一致するのは極めて興味深い事実である。

もちろん、幼根の伸長適温と光合成適地温とは生理的意義において本質的に相違するものであるが、ともに根の生理的活性を高く保つ温度という点で共通する部分があることがうかがえる。すなわち地温と光合成との関係からみれば、光合成産物の転流と根部から地上部への水分の供給の良否が重要な意味を持つことが考えられ、水分吸収において根が活発に機能する温度は同時に根の生長を高く保障する温度であるとみなすこともできよう。

(4). 温度—光合成関係に及ぼす炭酸ガス濃度の影響

作物の光合成作用に対する温度(気温、葉温)の影響は必ずしも一定でなく作物の生理的状態<sup>20)</sup>によっても、また、炭酸ガス濃度によっても異なることが他の実験結果<sup>2,6,11)</sup>によって知られている。さらに、炭酸ガスを施用した場合の光—光合成関係も異なるので、まずはじめに通常大気中におけるメロン葉の光—光合成関係から検討しておこう。

すでに選、堀<sup>17)</sup>によって、メロン幼植物を材料として光—光合成曲線が求められているが、これによれば光飽和の照度は55 Kluxである。他方、野中ら<sup>13)</sup>によれば10品種のメロン幼植物で同40 Klux程度

であり、そのときの純光合成速度は15-22 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hrであった。著者の一人津野は愛媛大学農学部において、播種後120日目におけるメロン品種アールスの同一個体内における各葉位の葉の光・光合成曲線を求めた(第5図)。これによれば、展開後日数14日の若い葉から77日の古い葉でも光飽和照度は同じであって、ほぼ40 K luxである。ところが、純光合成速度は大きく異なり、若い葉から古い葉の順に22→14→7 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hrと低下している。葉のAgeが古くなるにつれて光合成速度が低下することは広く知られており(たとえばHopkinson<sup>4)</sup>, 津野・藤瀬<sup>22)</sup>, Jewiss and Weledge<sup>8)</sup>), 全個体を対象として光合成を測定した場合は、当然のことながら各葉の平均的な光合成速度を示すことになる。

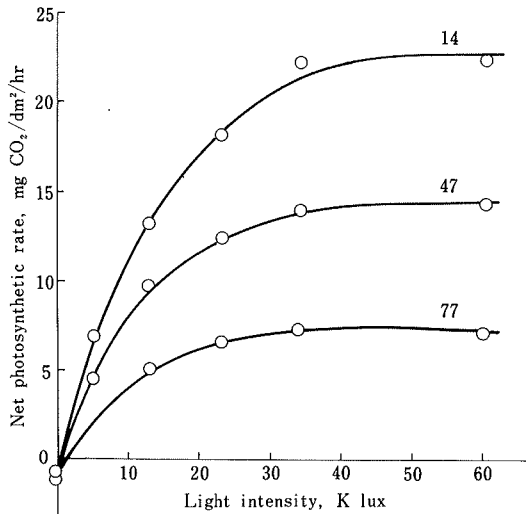


Fig. 5. Light-photosynthetic curves of different leaf in same plant.

Note. Numbers in the figure show leaf age as days after complete expansion of leaf.  
CO<sub>2</sub>, 300 ppm. Air Temperature, 28°C.

さて、ここでCO<sub>2</sub>濃度を270, 700, 1200 ppmと3段階に変化させ、各濃度のもとでの温度-光合成関係を求め、第6図に示した。いずれの場合も平均照度30 K luxであり、白丸は生長の旺盛な時期のもの、黒丸は生長のやや停滞した時期のものである。まず、通常空気より炭酸ガス濃度が若干低い270 ppmの場

合から検討しよう。この場合は2時期ともに15-20°Cの温度範囲における光合成速度が、それ以上の温度のものよりも高い値を示した。また光合成速度の最高値も8-9 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hr程度である。選, 堀<sup>16)</sup>がトマト・キュウリの温度-光合成関係で、生育温

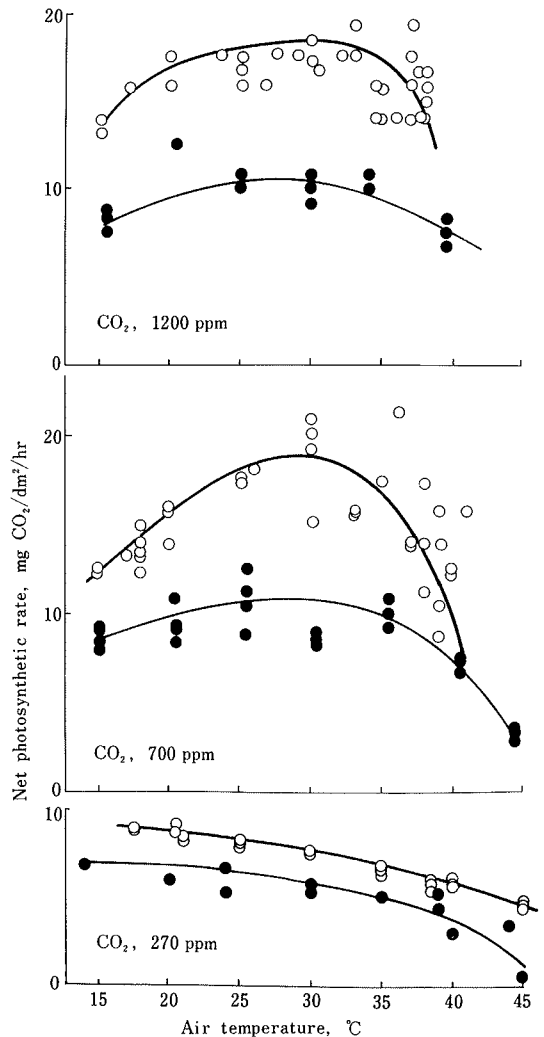


Fig. 6. Relation between air temperature and net photosynthetic rate under condition of different carbon dioxide concentration at 30 K lux light intensity.

Note. ●...Low activity plant in photosynthesis. (May 31 - June 2)  
○...Median activity plant in photosynthesis. (May 15-17)

度としては不十分な10-15℃で高い光合成速度が認められたことを報告しているが、本結果もこれとよく類似している。

高温によって純光合成速度が零となる濃度はワタ・ヒマワリで48-55℃、ソルガムで60℃という報告<sup>1)</sup>がある。また、同様にダイズ・ビート・トウモロコシでは45-50℃とされている<sup>3)</sup>。メロンの場合も曲線の傾向からして45-50℃付近で純光合成は零になると推測される。

炭酸ガス濃度を700ppmに引き上げた場合は、第6図中段図にみられるとおり両時期とも光合成速度の最高値は著しく高まり、光合成の最適温度は30℃となった。このとき、生長の旺盛な時期のものの方が光合成速度の促進率が大きであって、270ppmの場合と比較すれば約2倍となっている。生育がやや停滞を示し、平均光合成速度の低下した時期においても、30℃における純光合成速度は同様に2倍近い促進率である。さらに、炭酸ガス濃度を1200ppmまで高めると、光合成速度の最高値は700ppmと変わらないが、高温側における光合成の低下が少なくなる傾向がうかがえる。

第6図の結果からすれば、メロンにおける炭酸ガスの増与は、700ppmまでは純光合成速度を著しく高め、それ以上では光合成速度の促進効果はうすらぐが、光合成の高温低下現象を防止する点で効果があるといえよう。炭酸ガス濃度を高めることによって温度-光合成関係の適温が高まることはLundegårdh<sup>11)</sup>の明快な指摘があるが、その後においてもGaastra<sup>2)</sup>、伊東<sup>6)</sup>などの成績からも確認することができる。特に注目しなければならぬのは、メロン栽培において常時遭遇するであろうところの30℃付近において、通常大気よりも若干の炭酸ガス濃度の低下によって、光合成速度はかなり制限をうけるという点である。メロン栽培はガラス室という保・加温を目的とした施設内でおこなわれるのであるから、密閉した状態、あるいは換気不良の状態にしばしば作物はおかれることが予想される。このとき温度管理と同様の注意を炭酸ガス濃度の管理にもはらう必要があることが指摘できる。

#### IV. 摘 要

環境制御装置(島津高性能グロス・キャビネット)でメロン(新芳露)を栽培し、光合成作用ならびに呼吸作用に及ぼす温度の影響を明らかにした。

(1). 14時間照明, 10時間暗黒(夜間)条件を設置し、さらに明期温度は30℃で一定とし、暗期温度のみを変えた場合の光合成の経時的な変化は、ほぼ台形状のパターンを示した。しかし、照明期前半と後半の光合成量を比較すると、後者が14%程度少ない。また、1日あたりの光合成量に対する呼吸量の比率をみると、夜温15-20℃で15-17%、25℃で22%(5日平均)、30℃で25%と、夜温上昇とともに比率は増大した。

(2). 前日の夜温が翌日の光合成に影響することが認められ、夜温15℃では翌日の全光合成量は夜温25℃の場合よりも15%低下した。30℃の高夜温は翌日の光合成量を約6%低下させたにすぎなかった。

(3). 夜間(暗期)温度を15, 20, 25, 30℃の4段階に設定して、夜間の全呼吸量と気温との関係を調査したところ、呼吸の温度係数( $Q_{10}$ )は平均1.71であった。これとは別に短時間に気温を変化させて得られた $Q_{10}$ は1.69であり、両者はほぼ一致した。

(4). 地温のみを変化させてそれが光合成速度に及ぼす影響を調べたところ、33℃付近に最適値をもつ単項曲線で表示できる関係が得られた。

(5). 照度30Kluxのもとで炭酸ガス濃度を3段階(270, 700, 1200ppm)に設置し、それぞれの濃度での温度-光合成関係を求めた。光合成速度の促進は700ppmまでに高い効果が認められ、1200ppmではさほど期待できなかったが、この濃度では高気温側(35℃)での光合成の低下を防止する効果が認められた。

#### V. 引用文献

1. EL-SHARKAWY, M.A. and J.D. HESKETH. 1961. Effects of temperature and water deficit on leaf photosynthetic rates of different species. *Crop Sci.* 4: 514-518.
2. GAASTRA, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide,

- temperature and stomatal diffusion resistnace. Mededelingen Landbouw. Wageningen, Nederland. 59(13) : 1-68.
3. HOFSTRA, G. and J.D. HESKETH. 1969. Effect of temperature on the gas exchange of leaves in the light and dark. *Planta*. 85 : 228-237.
4. HOPKINSON, J.M. 1964. Studies on the expansion of the leaf surface. IV. The carbon and phosphorus economy of a leaf. *J. Exp. Bot.* 15 : 125-137.
5. HUMPHRIES, E.C. 1967. The effect of different root temperatures on dry matter and carbohydrate changes in rooted leaves of *Phaseolous spp.* *Annals of Botany*. N.S. 31 : 59-69.
6. 伊東 正. 1973. 蔬菜の生育, 生理におよぼす炭酸ガス環境の影響. 千葉大園芸学部特別報告. No.7 : 1-134.
7. IWAKI, H., G. TAKEDA and T. UDAGAWA. 1976. Ecological studies on the photosynthesis of winter cereals. II. Photosynthesis of wheat and rye plants under field conditions. *Proc. Crop Sci. Japan*. 45 : 32-39.
8. JEWISS, O.R. and J. WOLEDGE. 1967. The effect of age on the role of apparent photosynthesis in leaves of Tall Fescue (*Festuca arundinacea Schreb.*). *Annals of Botany*. N.S. 31 : 661-671.
9. 鴨田福也・伴 義之・志村 清. 1974. 野菜の光合成及び蒸散に関する研究. I. 光合成, 蒸散の作物間差異及び土壌水分との関係. 野菜試報. A. No.1 : 109-139.
10. 門田寅太郎. 1959. 蔬菜の幼根の成長に対する温度の研究. 高知大農学研報. 8(9) : 1-95.
11. LUNDEGÅRDH, H. 1957. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Gustav Fischer Verlag.  
植物実験生態学. 門司・山根・宝月訳. 岩波 : 125-151.
12. 村田吉男. 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農技研報告. D-9 : 1-170.
13. 野中民雄・新井和雄・高橋和彦. 1974. メロン幼植物における同化特性の品種間差異. 日本砂丘研究会21回全国大会要旨集 : 13-14.
14. 鈴木英治郎. 1970. 温室メロン栽培の基礎. 誠文堂新光社. 東京. 66.
15. 武田元吉. 1976. 麦類の光合成に関する生態学的研究. 第1報. 冬期における2条オオムギの光合成の日変化. 日作紀. 45 : 17-24.
16. 選 穰・堀 裕. 1970. そ菜の光合成に関する研究. II. 温度および光の強さとそ菜幼植物の同化特性. 園試報. A. No.9 : 181-188.
17. 選 穰・堀 裕. 1969. そ菜の光合成に関する研究. I. 光の強さとそ菜幼植物の同化特性. 園試報. A. 8 : 127-140.
18. 津野幸人. 1977. 光合成作用と呼吸作用からみた馬鈴薯の乾物生産. 鳥大農研報. 29 : 96-102.
19. 津野幸人・佐藤 亨・入倉修一. 1977. 作物幼苗の亜硫酸ガスに対する抵抗性の差異とそれを応用した大気汚染検出用植物計. 鳥取大砂丘研報. No.16 : 15-26.
20. 津野幸人. 1975. 数種作物における光合成作用と蒸散作用の関連について. 日作紀. 44 : 44-53.
22. 津野幸人・藤瀬一馬. 1965. 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究. 農技研報告. D. 3 : 1-131.