

## 施設園芸作物の群落光合成に関する研究(4)

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	岩切, 敏 稲山, 光男
巻/号	30巻4号
掲載ページ	p. 161-166
発行年月	1975年3月

# 施設園芸作物の群落光合成に関する研究 (4)キュウリ個葉の2, 3の光合成特性

岩切 敏\*・稲山 光男\*\*

( \* 農業技術研究所 気象科 )  
( \*\* 埼玉県園芸試験場 )

Studies on the Canopy Photosynthesis of the Horticultural Crops  
in Controlled Environment. (4) Photosynthetic characteristics  
of single cucumber leaves

Satoshi IWAKIRI\* and Mitsuo INAYAMA\*\*

( \* Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences,  
Nishigahara, Tokyo  
\*\* Saitama Horticultural Experimental Station, Kuki, Saitama Prefecture )

## 1. ま え が き

個葉の光合成特性は、与えられた環境条件のもとでその作物が生産する物質の量を規定する作物側の基本的な要素の一つである。したがってこれまでに数多くの植物あるいは作物について個葉の光合成特性の測定が行なわれ (Gaastra, 1959; 村田, 1961; 玖村・浪花, 1965; Björkman, 1966; 田中, 1972; 伊東, 1973; 矢吹・高, 1973; Laar・Penning, 1972), 光量・光質・温度・湿度・炭酸ガス濃度・酸素濃度などの単一要素あるいは複合要素と光合成量との関係が明らかにされている。

野菜類の光合成特性についてはGaastra, 伊東, 矢吹らの報告でかなり詳細なデータが提出されている。しかしキュウリの場合生育中期以後の草丈が高くなることも関係して、幼苗あるいは生育初期以外の資料は少ないようにみられる。外国のキュウリはわが国のそれと系統が異なるので (Волков・Селявцев, 1959), 外国での測定値をそのまま使用できるかどうか疑問が残る。

計算法によって群落光合成を評価する場合、葉位あるいは葉令 (展開後日数) 別の個葉の光合成特性に関する資料が必要となる。そこでわれわれは農技研気象科・堀江 武技官の作製した個葉の光合成測定装置 (未発表) を用いて、ハウス栽培キュウリ個葉の光合成特性の一部について測定を行なった。種々の制約から測定データはあまり多くないが一応の結果をえたので報告する。

## 2. 実験の方法

供試材料: 品種は王金半促成を用いた。1973年3月5日播種, 4月10日に1/5000アールポットに移植し無加温ハウス内で栽培した。関東地方における栽培基準に準じて肥培管理を行なった。光合成の測定は15葉期の5月14日から27葉期の6月4日の間に実施した。

測定装置の概要: 同化箱は内径18.5×27.5×6.0cmの亚克力板製で、空気の流入側には1.5mmφの小孔が52個、流出側には4.5mmφの小孔52個があげられている。同化箱は3連で葉令の異なる3枚の個葉の光合成を同じ光・温度条件のもとで同時に測定できる。同化箱の正面奥には内部空気を攪拌し葉面境界層におけるCO<sub>2</sub>拡散抵抗を小さくする小型ファンがついている。温度調節は同化箱外の約10cm深さの水温を変化させることによって同化箱内気温を調節する間接法をとっている。同化箱と光源の間には4cm深さの水フィルターをおいている。光源には東芝レフレクターフラッドランプ300W4個と500W3個を使用している。光量は光源の高さと点灯数によって調節する。通気量は一つの同化箱について約20 lmin<sup>-1</sup>であり、換気率にして約400回/時となっている。この同化箱換気率はこれまでの他の報告にみられるよりもかなり大きい値で、通気量が光合成量の制限要因になることはないと考えられる (巽, 堀, 1969; 伊東, 1973)。通気量の測定には6mmφのガラス管製マノメータを用いた。外部からの空気のとりのり入口には約60×60×60cmの木箱をおき、その内部を攪拌することによって外気のCO<sub>2</sub>濃度変化が示差式CO<sub>2</sub>分析計度に及ぼす影響を小さくするようにした。葉温は0.3mmφの銅-コンスタンタン熱電対を葉の下面に付着させて

測定した。

測定の方法：個葉の光合成はまえに述べたように種々の要因に影響されるので、測定直前までの前歴（環境条件）が光合成特性の測定値に影響を与えることが知られている。最近では測定時までの一定時間作物を種別に設定したある光・温度・湿度条件下におく前処理も行なわれている（Laar・Penning, 1972）。伊東（1973）は、供試個体の内的条件をそろえるため測定前日の夕刻に標本採取を行ない、一定温度の暗黒下において光週性のリズムを乱さないようにすることが必要であることを指摘している。われわれの場合幼苗ではないので前処理のできるチャンバーを準備できなかった。そこで伊東の報告に準じて測定前日の夕刻にポットを温度変化の少ない実験室に搬入し（夜間室内気温 15~20℃）、当日限りの測定に使用する方法をとった。測定には生育の揃った3個体を供試し、それぞれの時期において上中下3層に属する個葉を対象とした（一部は同一個体についても測定）。測定葉以外の莖葉にも同化箱内の条件と類似した環境を与えることが望ましいとされているが（伊東, 1973）、今回の測定期間中の気温が約 23℃程度であったこと、光条件については室外からの散乱光の入射や他の室内照明からの照射があることを考慮して特別な処置はとらなかった。測定期間中の大気の平均的な炭酸ガス濃度は 330~350 ppm であった。

### 3. 結果ならびに考察

#### 3.1 個葉の光一光合成曲線

葉面上の光強度を大きくしていくと葉温は次第に上昇し、葉一気温差が増してくる。そこで測定条件の統一をはかるために、温度条件としては光合成量に直接的な関連をもっている葉温をとることにした。Fig.1には葉温を 25℃ に調節した条件下で測定した個葉の光一総光合成曲線が示されている。図には示されていないが呼吸量はいずれの場合にも光飽和に近いときのみかけの光合成量の 10% 以下の値を示した。Fig.1 からわかるように光強度の弱い領域では葉位あるいは葉令による光合成量の差異ははっきりしないが、約 0.2  $\text{ly min}^{-1}$  以上の強度になると葉位による差異が顕著になってくる。キュウリの場合、総光合成量  $P_g$  は下層に位置する老葉では小さく、中層から上層へ向うにつれて増加し、最上層ではまた減少する。定植前に出葉している第3葉などでは 0.4  $\text{ly min}^{-1}$  付近でかなり光飽和に近い状態となり、最大値  $P_m$  も 15  $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  以下である。

巽・堀（1969）による4葉期の苗についての測定では、 $P_g$  が 26  $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  以下という値がえられており、それが 30  $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  をこえる報告は少ない。

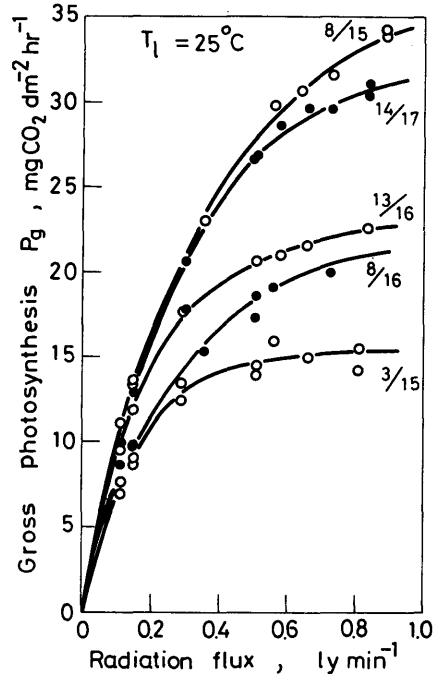


Fig. 1. Gross photosynthesis light response curves of single cucumber leaves at 25°C of leaf temperature. Denominators and numerators of the fractions in this figure indicate respectively the total leaf number and the leaf number counting from the bottom of the sample cucumber plant.

Louwers の測定値（Laar・Penning, 1972）は Fig.1 の中の高い  $P_g$  をもつ 2 例に近い。われわれの場合このように高い  $P_g$  の値はいずれも中層以上に属する葉についてえられている。

#### 3.2 葉温の光合成量に及ぼす影響

同一個体を使って測定した葉温の異なる場合の光一光合成曲線は Fig.2 のようになる。葉温 25℃ の場合、非常に若い葉（20/22、分母は測定個体の全葉数、分子は下から算える測定葉の葉序）の  $P_g$  は中層と下層の境界付近に位置する葉（8/22）の値よりもやや小さい。0.81  $\text{ly min}^{-1}$  付近ではまだ光飽和はみられず  $P_m$  は 20~25  $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  となる。しかし葉温が低い場合にはかなり弱い光条件下で光飽和現象がみられ、光強度の大きい領域では  $P_g$  はかえって減少する。光飽和状態となるときに光強度は葉の age によって異なり、老令葉 < 若令葉 < 中令葉の順に光飽和点の光強度は大きい方へ移行する。これは葉の気孔開度に及ぼす温度の影響が葉令によって異なることや老化に伴う葉の代謝機能の低下が主要な原因と考えられる。

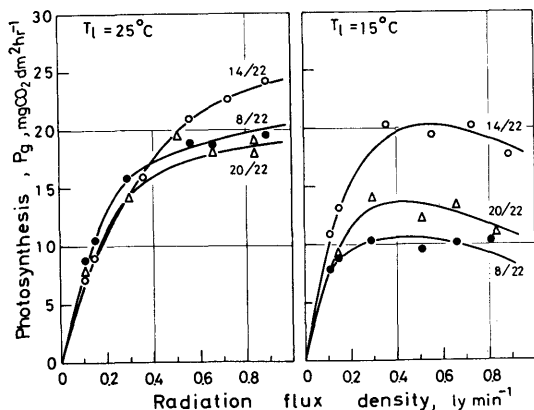


Fig. 2. Gross photosynthesis-light response curves as influenced by leaf temperature ( $T_l$ ).

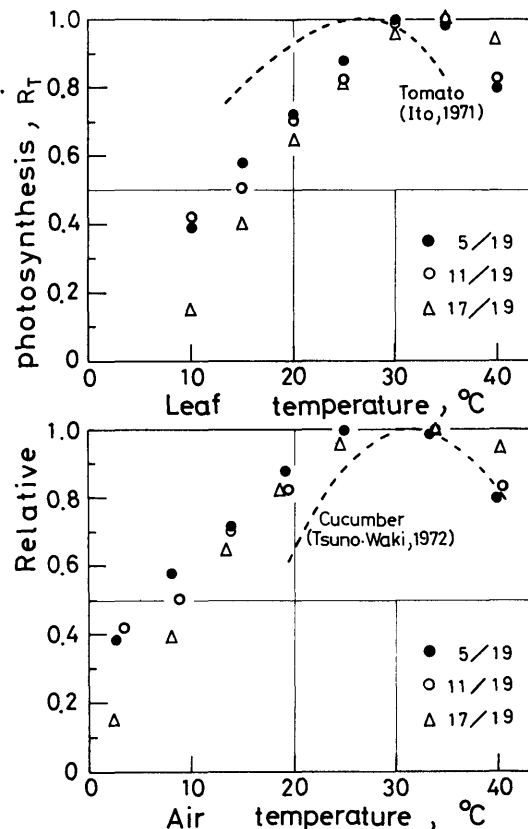


Fig. 3. Relative gross photosynthesis as functions of leaf temperature (top) and of air temperature within leaf chamber (bottom).

つぎに光条件を同一 ( $0.6 \sim 0.7 \text{ ly min}^{-1}$ ) にしておいて温度条件を変化させた場合の最大光合成量を 1.0 とする相対総光合成量を葉別別に示すと Fig. 3 のようになる。葉温についてみた場合、この光条件のもとでの適温域は

$30 \sim 35^\circ\text{C}$  の範囲にある。同様に葉温について整理されているトマトの結果 (伊東, 1971) と比較してみると、キュウリ葉温の適温域は約  $5^\circ\text{C}$  高い方にずれている。装置上の制約から  $40^\circ\text{C}$  以上の葉温域についての測定値はえられていないが、過高温域では低温域よりも急速に相対総光合成量が減少する傾向がうかがわれる。相対値でみた場合温度反応についての葉位間の差異はそれほど大きくなく、気温で整理した結果 (Fig. 3 下) でもほぼ同様なのがいう。キュウリ葉についてえられている Tsuno・Waki (1972) の結果 (供試品種: 久留米 H1; 光強度  $\approx 0.6 \text{ ly min}^{-1}$ ) と比較してみると、気温  $30^\circ\text{C}$  以上の範囲における関係はわれわれのえた結果とほぼ一致している。しかし  $30^\circ\text{C}$  以下では、われわれのえた相対総光合成量が比較的ゆるやかに減少するのに対し、Tsunoらの値はかなり急速に減少している。このくいちがいの原因ははっきりしないが、品種と測定時の湿度条件の差異などが考えられる。

葉温と相対総光合成量 ( $R_T$ ) との関係は、葉温  $T_l = 0^\circ\text{C}$  で  $R_T = 0$  と仮定すると、つぎのように表わされる。

$$R_T = 0.0500 T_l - 0.00076 T_l^2 \quad (1)$$

群落内の各層別の葉面上平均放射強度がわかり葉温が推定されると、この関係を用いて温度条件を考慮に入れた光合成量を推定することができる。

### 3.3 $P_m$ の変化

一般に光-光合成曲線は双曲線で近似され、つぎのように表わされる。

$$P_g = bI / (1 + aI) \quad (2)$$

ここで  $I$ 、光強度 ( $\text{ly min}^{-1}$ );  $a$ ,  $b$ , 定数。光強度  $I$  を無限大にしたときの総光合成量  $P_g$  を  $P_m$  とおくと、 $P_m = b/a$  がえられる。Fig. 1, 2 の形に表わされている光-光合成測定データから求めた  $P_m$  の値を、葉令 (葉の展開後日数) ( $d$ ) の関数として示すと Fig. 4 のようになる。データの数少なくまた点のばらつきも大きい、他の報告 (Hopkinson, 1964; Tsuno・Waki, 1972) の結果も参考にして近似式を求めるとつぎようになる。

$$P_m = 23.8 + 1.248d - 0.0361d^2 \quad (3)$$

Tsuno らのえた関係曲線 (1) では最大の  $P_m$  値を示す展開後日数が 12 日、Hopkinson のデータでは約 17 日となって、それ以後はいずれも急速に減少している。これに対し、われわれのえた結果では  $P_m$  の最大値を示す展開後日数は約 17 日で Hopkinson の結果に近いが曲線の形は若干異なり、 $d$  の増加に伴う  $P_m$  の増加ならびに減少はかなりゆるやかになっている。

トマトでは約 20 日目に  $P_m$  の最大値がえられること、また葉令の進行に伴う光合成量の変化には葉のおかれた環境条件も関係し、栽植密度が大きく陰葉化の進んだ場

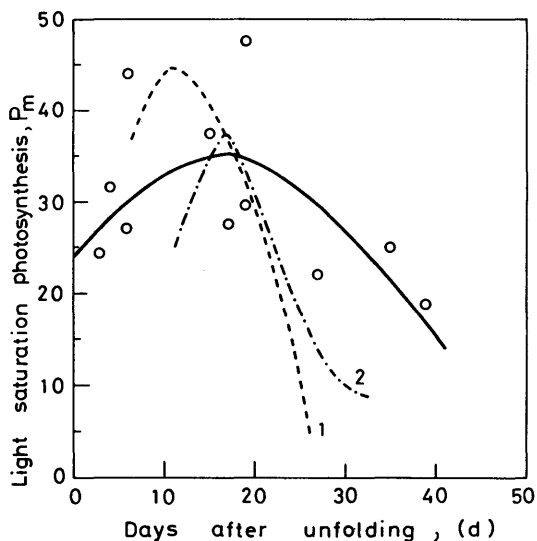


Fig. 4. Dependence of light saturation photosynthesis  $P_m$  on leaf age (days after unfolding,  $d$ ).  
 (1) : Tsuno and Waki (1972),  
 (2) : Hopkinson (1964).

合に光合成量の減少することなどが実験によって明らかにされている(伊東, 1973)。これらの結果から判断すると, Tsunoらのえた関係とのくい違いの原因の一つは供試葉の陰葉化の程度の差異に帰せられるかも知れない。 $P_m$ の最大値はTsunoらの値が最も大きく約45, ついでHopkinson約37, われわれのえた約 $35 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ の順となっている。なお, これらのデータはいずれもポット栽培についてえられているものであるため, より信頼度の高い葉令- $P_m$ 曲線をうるためには実際栽培条件下での測定が必要と思われる。

Fig. 4に示した回帰曲線をもちいると, 群落を層別に分割した場合のそれぞれの層における光-光合成関数を求めることができる。Horie・Udagawa (1971)はヒマワリの測定値を整理して, (2)式に含まれる係数 $b$ の値が $P_m$ によってあまり大きな変化を示さずほぼ一定値とみなしうることを明らかにしている。われわれがキュウリについてえた結果においても, かなり点のばらつきは大きい $b$ の値は葉令あるいは葉位や $P_m$ の大きさには関係せず,  $b \approx 110 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} / (\text{ly min}^{-1})$ とみなせることがわかった。 $b$ の値が与えられると係数 $a$ の値は層別の $P_m$ の値を用いて自動的に決定される。

### 3.4 比葉面積の変化

葉によって生産された光合成産物は, 種々の生化学的過程を経ながら作物体の各器官に分配され形態形成にあずかる。生長モデルの作成にあたり葉の形成についてのパラメータとしては比葉面積 ( $SLA$ ) が用いられる。そ

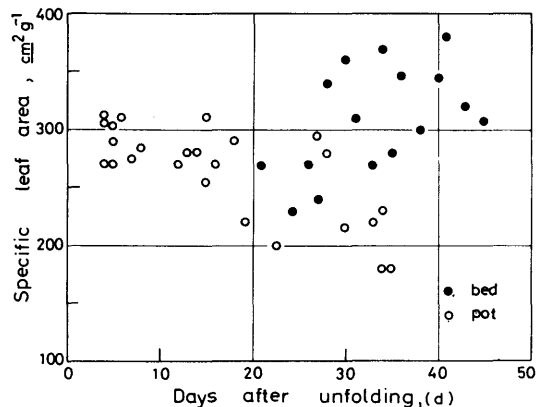


Fig. 5. Dependence of specific leaf area (leaf area/dry weight) on leaf age in days after unfolding.

こで個葉の光合成測定に供試した個体ならびにハウス内に栽培している個体より採取した葉について $SLA$ を求めた (Fig. 5)。図からわかるようにハウス内ポット栽培の場合 $SLA$ は葉のageに伴って明らかに減少している, すなわち, 葉の厚みが増している。しかしハウス内ベッド栽培の場合(黒丸)にはあまりはっきりした傾向はみられず, 測定値は $250 \sim 400 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ の間にある。

伊東 (1973) が4葉期のキュウリ苗について $\text{CO}_2$ 施肥とハウス内空気流動による各器官別の生長量の差異を調査したデータから $SLA$ を算出してみると, 無処理の対照区では約395,  $\text{CO}_2$ 施肥をすると約370に, 空気流動を加えるとさらに小さく約 $340 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ となっている。一般に苗の時期には葉が薄く $SLA$ は大きい。また換気をよくすると葉が硬化し厚くなることが経験的にも知られている。これらのことを総合的に判断すると, 通常のハウス栽培キュウリでは比葉面積の平均値を約 $300 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ にとってよいように思われる。

## 4. 要 約

群落光合成を計算法によって求める場合の基礎資料となるキュウリ個葉の光合成特性のうち, 光ならびに温度-光合成関数について実験的に検討した。品種は王金半促成で, 無加温ハウス内に栽培した。測定には堀江(未発表)の作成した3連の個葉光合成測定装置を使用した。結果はつぎのように要約される。

(1) 光-光合成曲線は葉令(展開後日数)あるいは葉位によって異なり, 下層の老葉では弱光のもとで光飽和に達し, 光飽和総光合成量 $P_m$ の値も小さい。 $P_m$ の最大値は群落の中層から上層にかけてみられ, 葉令 $d$ の関数としてつぎのように近似される。

$$P_m = 23.8 + 1.248d - 0.0361d^2$$

(2) 双曲線関数で近似した光-光合成関数式に含まれている係数  $b$  の値はあまり大きな変化を示さず  $b \approx 110 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} / (\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1})$  とみなすことができる。この係数値と  $P_m$  を求める式を用いると、任意の時期における群落の層別の光-光合成関数式を決定することができる。

(3) 光強度を  $0.6 \sim 0.7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  においたときの総光合成量の温度反応を相対値で示すと葉温  $T_l$  の関数としてつぎのように近似できる。

$$R_T = 0.0500 T_l - 0.00076 T_l^2$$

(4) キュウリ葉の形態形成に関係するパラメータ比葉面積は環境条件によって変化する、ポット栽培の値は普通に栽培されているものよりもやや小さい(葉が厚い)。ハウス栽培キュウリの比葉面積の平均値として  $300 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  を採用してよいように思われる。

終りに本研究の実施に当り、貴重な光合成測定装置を快よく貸与して戴いた農業技術研究所気象科・堀江武技官に対し厚く御礼申し上げる。また報告のとりまとめにあたって同物理第1研究室長内嶋善兵衛博士から懇切な御指導を戴いた、ここに記して感謝の意を表する。

#### 引用文献

- 1) Björkman, O., 1966: The effect of oxygen concentration on photosynthesis in higher plants. *Physiologia Pl.* **19**, 618-633.
- 2) Волков, В.Я., Селявцев, В.Ф., 1959: Расчет площади ассимиляционной поверхности огурцов. *Физиология Растений* **6**, 619-622.
- 3) Gaastra, P., 1959: Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. *Meded LandbHoogeschool Wageningen* **59**: 1-68.
- 4) Hopkinson, J.M., 1964: In: An introduction to crop physiology. Milthorpe, F.L. and J. Moorby, 1974, Cambridge University Press, p.95
- 5) Horie, T. and T. Udagawa, 1971: Canopy photosynthesis of sunflower plants—Its measurements and modeling. *Bull. NIAS*, **A18**, 1-56.
- 6) 伊東 正, 1971: そ菜の光合成特性とその栽培的意義 I. 同化箱法による光合成測定法の検討, *園学雑* **40**, 35-40.
- 7) 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第7号, pp.134.
- 8) 高 博・矢吹万寿, 1974: 葉の光学的特性および解剖学的特性がその光質-光合成関係に及ぼす影響(1). *農業気象* **29**, 229-237.
- 9) 玖村敦彦・浪花 勲, 1965: 大豆の物質生産に関する研究(1) 生育に伴う植物体の光合成能ならびに呼吸能の推移. *日作紀* **33**, 467-472.
- 10) 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D9*, 1-169.
- 11) 田中孝幸, 1972: 水稻の光・同化曲線に関する作物学的研究—特に受光態勢制御との関係. *農技研報告A19*, 1-100.
- 12) 巽 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, *園芸試験場報告A(平塚)*第8号, 127-140.
- 13) 巽 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. *園芸試験場報告A(平塚)*第9号, 181-188.
- 14) van Laar, H.H. and F.W.T. Penning de Vries, 1972: CO<sub>2</sub>-assimilation light response curves of leaves: some experimental data. *Verslagen* **62**, Dept. of Theoretical Production Ecology, Agr. University, Wageningen, pp.53.
- 15) 矢吹万寿・高 博, 1973: 数種の蔬菜の光合成と光質との関係, *農業気象* **29**, 17-23.

#### Summary

The photosynthetic function of a crop, which characterizes a response of leaves in the fixation of carbon dioxide to radiation intensity, temperature, humidity and so on, is a most important factor influencing the magnitude of canopy photosynthesis. The measurements of photosynthetic fixation of carbon dioxide were carried out using an enclosure method with cucumber crops (var. Ougon) raised in pots. The pots with cucumber crops were placed in a vinyl house without heating from transplanting (April 10, 1973) to the days before the measurements. The ages of the leaves used to measure CO<sub>2</sub>-fixation were in the range between 4 and 45 days after unfolding. The data so obtained were processed to clarify the photosynthesis of cucumber leaves dependent on radiation, tempera-

tures (leaf and air), and leaf age and the results can be summarized as follows:

(1) The shape of light-photosynthesis curve of a leaf is affected by the number of days after its unfolding. Namely, the light-photosynthesis curve changes clearly with leaf age from a less plateau type response with high photosynthesis for younger and vigorous leaves to a plateau type response with low photosynthesis for older and frail ones. The photosynthetic rate of a leaf at the light saturation ( $P_m$ ) reaches a maximum at a certain leaf age and decreases afterwards. The dependence of  $P_m$  on leaf age ( $d$ ) is approximately expressed as follows:

$$P_m = 23.8 + 1.248 d - 0.0361 d^2 .$$

Since newly unfolded leaves and old leaves are in the top and bottom layers of the canopy, respectively, the profile of  $P_m$  can be characterized by a curve with its maximum between  $0.5H$  and  $H$ , where  $H$  is a height of the canopy.

(2) The values of the parameter ( $b$ ) characterizing the shape of light-photosynthesis curve were found to be approximately  $110 \text{ mgCO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} / (\text{ly min}^{-1})$  independent of the leaf age. The photosynthetic function of leaves in a layer in the canopy can be, therefore, determined very easily in terms of  $P_m$  and  $b$ .

Photosynthetic fixation in the leaf was measured under a constant level of radiation ( $I \simeq 0.65 \text{ ly min}^{-1}$ ) and various temperature conditions, in order to obtain information of the response of photosynthesis to temperature. Fig. 3 presents changes in relative photosynthetic activity ( $R_r$ ) of the leaves with leaf and air temperatures in the measuring chamber ( $T_l$  and  $T_a$ ). They are approximated by a quadratic function of leaf temperature as follows:

$$R_r = 0.05 T_l - 0.00076 T_l^2 .$$

The above relation indicates that the rate of photosynthetic fixation of  $\text{CO}_2$  by the cucumber leaves reaches a maximum in a range of leaf temperature from  $30$  to  $35^\circ\text{C}$ . However, the optimum air temperature for photosynthesis shifted toward the lower temperature side by a magnitude of about  $5^\circ\text{C}$ , because the leaf temperature exceeded the air temperature by about  $5^\circ\text{C}$ .

(3) Specific leaf area ( $SLA$ ) is a determinant of the size of photosynthetic apparatus and plays a very important role in the simulation of the crop growth. The values of  $SLA$  ranged between  $250$  for cucumber crops raised in pots and  $400 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  for those raised in usual soil bed. As can be seen in Fig. 5, it is reasonable to assume that a mean values of  $SLA$  for cucumber crop is approximately  $300 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  independent of days after unfolding, although there is a considerable scatter of data.