

圃場条件下における水稻個葉の光合成の実態とその解析*

第1報 圃場条件下における個葉光合成の実態と
その支配要因*

黒田 栄喜**・玖村 敦彦・村田 吉男***

(東京大学農学部)

平成元年1月25日受理

要 旨：圃場条件下で水稻個葉の光合成の実態を調べ、その支配要因を検討した。その結果、葉面光強度が主導的な支配力をもつこと、しかし、それ以外にもかなり強い影響力をもつ要因が存在することが示唆された。個葉の光飽和点は場合によって異なったが、ほとんどの場合 $0.65 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 以下に位置していた。
キーワード：光合成支配要因、個葉光合成、水稻、光飽和点、圃場条件。

Single Leaf Photosynthesis of Rice Plants under Field Conditions I. Aspects of single-leaf photosynthesis and the regulating factors : Eiki KURODA*, Atsuhiko KUMURA and Yoshio MURATA** (*Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113 Japan*)

Abstract : Single-leaf photosynthesis *in situ* were observed under field conditions and the regulating factors investigated. The light intensity at the leaf surface was shown to act as the leading factor. However, it was also suggested that there were some other factors greatly affecting photosynthesis. Light saturation points varied from case to case, but they were lower than $0.65 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ in most cases.

Key words : Field conditions, Light saturation point, Photosynthesis-regulating factor, Rice plants, Single-leaf photosynthesis.

水稻個体群の光合成は、その葉群を構成する無数の個葉の光合成の総和である。

ところで、葉群内個葉の置かれる微細環境は空間内での位置に応じて複雑・多様である。さらに、たえず変動する外部環境の影響を受けて時々刻々変化する。葉群内個葉の光合成はこのような環境の中で行われる。

本研究は、葉群内個葉の光合成をできるだけありのままの状況の下で測定してその実態を明らかにすること、さらに個葉光合成を支配する主要な要因の種類とその影響の機作を解明することを目的として実施したものである。このことにより個葉光合成速度を高め、ひいては個体群の光合成を増大させるための手がかりを得ることができると考えたからである。

なお、野外条件下での水稻個葉の光合成の実態やその支配要因を扱った研究としては、村田⁶⁾、佐藤・金⁷⁾、石原ら^{1,2,3,4)}の諸報告がある。しかし、事

象が複雑であるだけに、全貌の解明にはなお程遠い。そこで、あらためてこの問題をとりあげた次第である。

研究の第一段階として、著者らは、圃場に栽培した水稻個葉の光合成速度（以下、CER）およびそれに関連すると思われる要因とを、種々の生育段階、時刻、気象条件の下で繰り返し測定した。本報告は、その結果から、圃場条件下における個葉の光合成の概況を明らかにするとともに、CER を支配している要因の種類を検討したものである。試験の実施経過としては、1979年に予備実験を行い、その結果にもとづいて1980年以降3年にわたり本格的に研究をすすめた。本報告では主として1980年と1981年のデータをもとにした検討結果について記述する。

材料と方法

品種および栽培方法

供試した品種は日本晴で、両年次とも東京大学農学部附属農場（東京都田無市）内の水田に、下記の方法で栽培した。

1980年：5月22日に、葉齢3.3~4.1の苗を、畦間30cm、株間18cm（18.5株/m²）、1株4本の栽植密度で移植した。10a 当り化成肥料のかたちでN、P₂O₅、K₂Oを各7.2、10.8、9.6kg 基肥とし

* 一部は第170回講演会（昭和55年9月）において発表。

** 現在：岩手大学農学部。

Present address: Faculty of Agriculture, Iwate University, Ueda 3-18-8, Morioka 020, Japan.

*** 現在：東京農業大学総合研究所。

Present address: Tokyo University of Agriculture, Setagaya-ku, Tokyo 156.

て施用し、この他に、堆肥 2.1 t, 熔りん 150 kg を耕起前に施した。また、追肥として、窒素成分で 10 a 当り 1.8 kg の硫酸を 8 月 4 日に施用した。この年は、7 月末から 8 月 10 日頃まで異常に気温が低かったが生育に大きな影響はみられず、開花盛期は 8 月 21~23 日であった。主稈葉数は 17 枚であった。

1981 年：葉齢 3.2~4.0 の苗を 5 月 19 日に本田に移植し、追肥として窒素成分で 10 a 当り 1.5 kg の硫酸を、8 月 8 日に施用した。その他の栽培条件は、前年と同様であった。生育は順調にすすみ、開花盛期は 8 月 22~24 日、主稈葉数は 17 枚であった。

CER および気孔伝導度

CER および気孔伝導度 (以下, g_s) の測定は、先に報告した個葉の CER およびその関連要因の同時測定装置⁵⁾を用いて行った。

測定日の前日、近接する 4~6 株の中から外観上ほぼ均一な主稈あるいは低位の一次分げつ茎を数本選び、これらに任意の“茎番号”を付した。測定日には、日の出直後から日没直前まで、約 2 時間間隔で計約 7 回の測定を行った。ただし、1981 年には、必要に応じて 9 回測定した。各測定時刻においては、茎番号の順に、上位 3~4 葉位の葉身についてなるべくありのままの姿勢において測定を行った。各測定時刻において、測定開始から終了までの所用時間は 50~60 分であった。各測定日の第 1 回目の測定のさいに、同化箱の両端に沿って葉面に印をつけ、以後の測定は、同一葉身の同一部位について実施した。

1 日の測定が終了した後、各葉身の測定部位の面積を、自動葉面積計 (林電工社製) で測定し、CER および g_s の計算に用いた。

気象条件の測定法

供試水田に隣接する畑に設置した下記の測器類により、測定当日の各環境要因の測定を行った。(a) 水平面日射強度：1980 年は農試電試型日射計、1981 年はゴルチンスキー型日射計 (英弘精機社製)。(b) 気温：サーミスター温度計 (応用電子社製)。(c) 相対湿度：乾・湿球温度計 (応用電子社製)。さらに、1981 年には、水稻個体群の葉層の直上部に設置した Piche の蒸発計⁸⁾により、各時刻における蒸発計蒸発速度 (以下、蒸発速度という) を測定した。

測定実施期間

これらの測定を実施した生育期間は、1980 年には 7 月下旬 (穎花分化期頃) から 10 月中旬 (完熟期) まで、1981 年には 7 月中旬 (穂首分化期ないしその直前と推定される) から 10 月中旬 (完熟期) までである。これらの期間において、測定は生育段階を追って実施した。ひとつの生育段階においては、連続する 4~5 日間にわたって測定を行った。この 4~5 日の期間には種々の気象条件の日が含まれるのが常であった。そこで、測定日の天候と CER の関係から、同一生育段階における天候の影響を検討した。

結果と考察

1. 各生育時期における CER の日変化の概況

調査結果の一部を、測定日別の日変化のかたちに整理し、第 1 図に示した。これらの結果を概観すると、すべての測定日、いずれの葉位においても、個葉の CER は、日出後水平面日射強度が増すにつれて大きくなり、午前中に最大値に達し、その後、時刻のすすみとともに低下するという推移をたどった。葉群の上層に位置する上位葉と下層に位置する下位葉とを比べると、穂孕期の 8 月 13 日 (第 3 図) を除き、上位葉のほうが、つねに高い CER をしめしていた。

2. CER の支配要因

第 2 図は、1981 年 7 月 16 日から同 19 日までの 4 日間における第 13 葉 (A: 供試葉数 435 枚) および同年 8 月 30 日から 9 月 5 日までの 5 日間における第 17 葉 (B: 供試葉数 168 枚) の測定結果をそれぞれ一括して、光-光合成関係のかたちに整理したものである。ここでの光強度は葉面光強度で、その変動は、時刻、天候、測定葉の方位・傾斜角、測定葉に対する他の葉の庇陰程度などの差異にもとづくものである。

これらの図によると、CER は葉面光強度に密接に関連している。すでに報告^{4,6,7,9)}があるように、いろいろな環境要因の中で、葉面光強度が光合成支配上主導的な地位にあることは明かといえよう。

しかし、同じ葉面光強度の下での CER の変異幅は決して小さくない。たとえば、A の光飽和点近辺でみると、CER が約 $30 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ なのに対し、変異幅は約 $15 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ に達する。また、B においても同様な傾向が認められ、CER が約 $36 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ なのに対して、変異幅は約 $19 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ に達する。このことは、圃

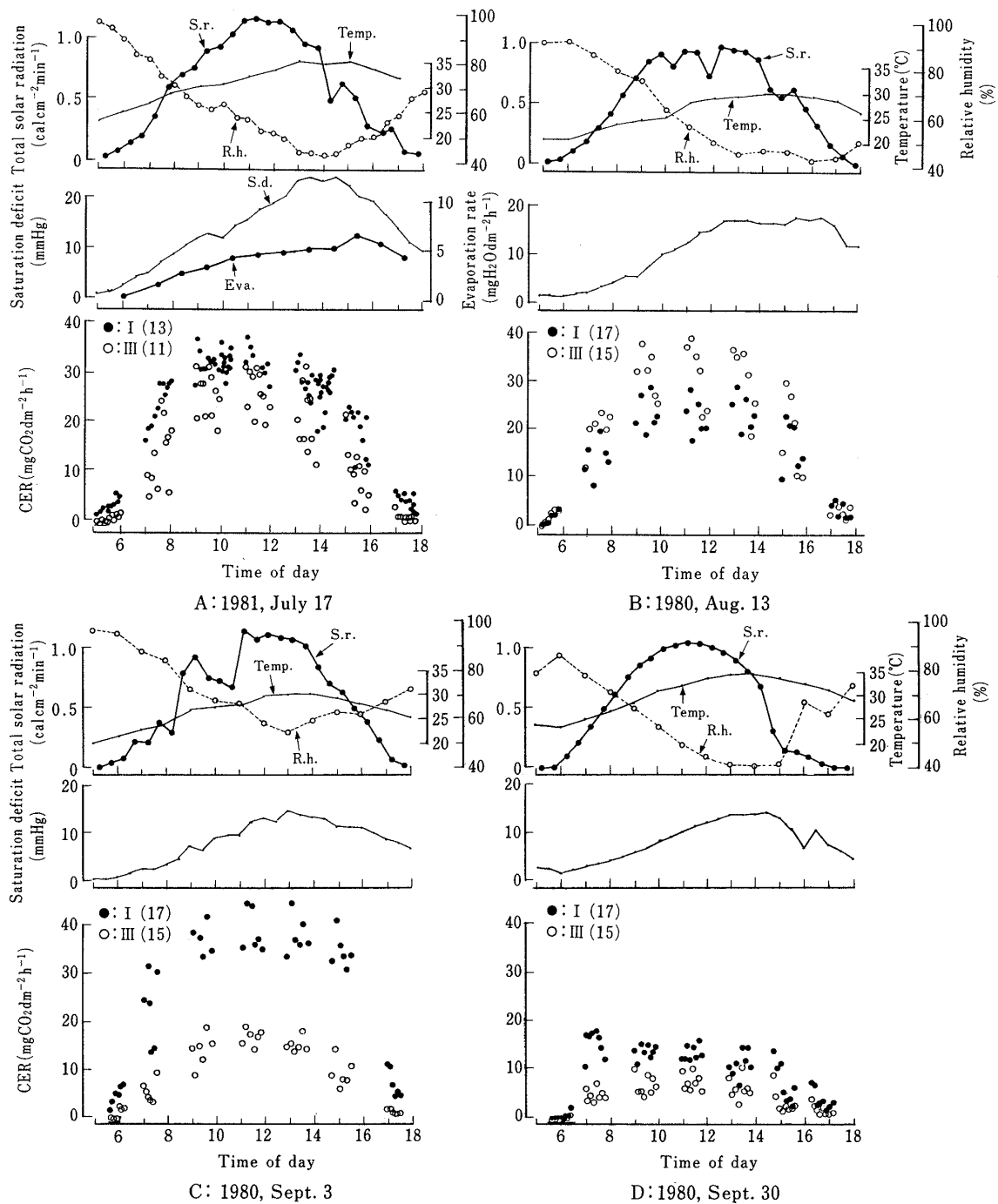


Fig. 1. Diurnal changes of single-leaf photosynthesis (CER) and environmental factors.

Note:

- 1) Materials: Leaves on the equivalent positions of main stems or vigorous primary tillers. These were showing very similar appearance at the time of measurement. The leaf positions are expressed in Roman and Arabic numbers (see symbols).
- 2) Symbols:
 - S.r., total solar radiation at the horizontal surface measured at a open.
 - R.h., relative air humidity measured at a position neighboring the experimental paddy field.
 - Temp., air temperature measured at a position neighboring the experimental paddy field.
 - S.d. and Eva., vapor pressure deficit and evaporation rate, respectively, evaluated using Piche's evaporimeter situated above the leaf canopy.
 - Roman numbers, the leaf positions numbered downward from the uppermost full expanded leaf at the time of measurement.
 - Arabic numbers, the leaf positions numbered upward from the lowermost leaf in the case of main stems and the equivalent positions in tillers.

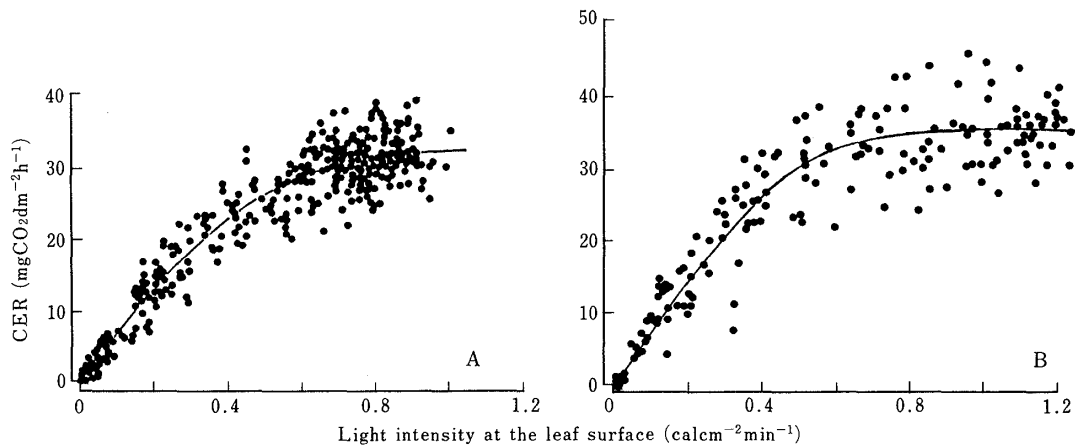


Fig. 2. Dependence of single-leaf photosynthesis (CER) on light intensity at the leaf surface.

Note: 1) Date of measurement: A; July 16-19, 1981, B; Aug. 30-Sept. 5, 1981.

All the results obtained on various days and at various times of day were combined here.

2) Materials: A, the uppermost full expanded leaves (the 13th leaves or the equivalent leaves when the position is numbered from the lowermost leaf of main stem). B, the 17th (flag leaf) leaves.

In each of A and B, leaves showing very similar appearance were used as the materials.

Light intensity at the leaf surface was measured using a silicon photodiode which was sensitive to visible light. Conversion from the readings to the energy unit was done using the factor based on the relation obtained in the daylight outside the leaf canopy.

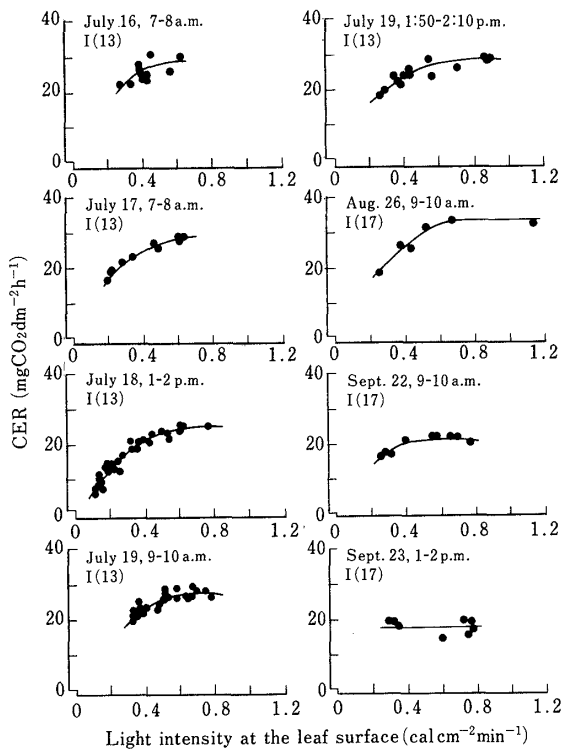


Fig. 3. Light-photosynthesis curves for various cases (1981).

Note:

As for Roman numeral and Arabic numbers in parentheses, see the note for Fig. 1.

As for light intensity at the leaf surface, see the note for Fig. 2.

圃場条件下で光強度以外にも少なからぬ支配力をもつある要因が存在することを示唆している。同様なことは、他の葉位・生育時期においても認められた。そこで、続報では、葉面光強度以外の光合成支配要因を検討課題として順次とりあげていくこととする。

3. 個葉の光飽和点

圃場条件下では葉面光強度が個葉光合成速度の第1支配要因として働く。したがって、それ以外の要因の効果を検討するためには、葉面光強度の効果を除去する必要がある。

そこで、著者らは、続報において、葉面光強度が光飽和点を超える場合の結果をえらび出し、CERと諸要因との関連を調べるといった方法をとることとした。このような光条件の下では、CERは光強度に無関係となるからである。

このような検討方法をとるためには、光飽和点の具体的な値を知らなければならない。そこで、1981年の測定結果の中から、いくつかの生育段階における、午前・午後の特定時刻（それぞれ1時間の幅がある）の、特定葉位の結果を選び出し、光-光合成関係のかたちに整理したのが第3図である。この場合の葉面光強度の変異は、葉の方位角・傾斜角と他の葉による庇陰の程度の差異および測定が行われた約1時間の間における日射の変動によるものであ

る。

この図をみると、光飽和点は必ずしも一定していない。しかし、もっとも高い場合でも $0.65 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ を超えることはないようにみえる。このことから、続報においては、葉面光強度が $0.65 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ を超えている場合にみられる CER の変動は、光以外の要因によるとみなすこととした。

謝 辞 本研究を行うにあたり、角田公正教授(現名誉教授)はじめ東京大学田無農場の方々に大変お世話いただいた。ここに記して厚くお礼を申し上げる。

引用文献

1. 石原 邦・石田康幸・小倉忠治 1971. 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第2報 気孔開度の日変化について. 日作紀 40: 497-504.
2. ———・平沢 正・飯田 修・木村昌久 1981. 水稻葉身の蒸散速度・気孔開度・気孔伝導度・木部の水ポテンシャルおよび葉の水ポテンシャルの日変化. 日作紀 50: 25-37.
3. ———・黒田栄喜 1986. 水稻葉身の光合成速度に対する空気湿度の影響. 日作紀 55: 458-464.
4. ———・斉藤邦行 1987. 湛水状態の水田に生育する水稻の個葉光合成速度の日変化に影響する要因について. 日作紀 56: 8-17.
5. 黒田栄喜・玖村敦彦・村田吉男 1987. 圃場条件下における個葉の CO_2 交換速度およびその関連要因の同時測定装置について. 日作紀 56: 51-58.
6. 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 D9: 1-169.
7. 佐藤 庚・金 鐘萬 1980. 水稻個体群における環境と個葉の生産・消費活動との関係. 第1報 圃場における個葉の光合成と暗呼吸. 日作紀 49: 243-250.
8. Slavík, B. 1974. Methods of studying plant water relations. Czechoslovak Academy of Sciences, Prague. 248-252.
9. 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 A19: 1-100.