

水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究第98 報

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	田中, 孝幸 松島, 省三
巻/号	40巻2号
掲載ページ	p. 164-169
発行年月	1971年6月

水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究

第 98 報 葉身窒素含有率および葉身の厚さが個葉の表面および裏面の光一同化曲線に及ぼす影響*

田中孝幸・松島省三

(農林省農業技術研究所)

緒言

前報¹²⁾では、水稻個体群の個々の葉は表面(向軸面)および裏面(背軸面)の両面から受光していることから、実際の受光状況に則して個葉の表面および裏面の光の強さと同化量との関係を検討した。その結果、表面および裏面の光度の合計値が同一であっても各面の光度の組み合わせによつて種々な同化量を示し光一同化曲線の形も異なつたものとなることが明らかとなつた。そこで、さらに葉身窒素含有率および葉身の組織的な厚さの違いが表裏各面の光一同化曲線に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

第1実験: 品種はマンリョウを用い、6月28日移植、栽植密度は m^2 当たり22.2株、基肥は磷酸および加里を m^2 当たり15g、窒素は無施用とし、追肥は出穂前2日に窒素の施用量を変えて4段階の試験区を設けた。すなわち、窒素追肥量を m^2 当たり40g(N40区)、5g(N5区)、1g(N1区)および無施用(N0区)とし、葉身の組織的な厚さは同一で、窒素含有率の異なる材料を育成した。各区とも追肥後10日目に $1/5000$ aポットに株上げし、茎に着生したままの止葉について同化量の測定を行なつた。

同化量の測定方法は前報¹²⁾第2実験と同様である。すなわち、人工照明装置により個葉の表面および裏面の光度を変化させながら、表裏それぞれの面の CO_2 吸収量を分離して測定した。

第2実験: 6月1日日本田移植、栽植密度は m^2 当たり22.2株、基肥は m^2 当たり窒素・磷酸・加里とも20gで栽培した品種群の中から止葉の厚さを調査して、厚い品種として荒木およびIR8、薄い品種としてクサブエおよびDharialの4品種を選び、第1実験と同様にポットに株上げし、それぞれの品種の主

稈の出穂始めから5日目の止葉について表裏各面の CO_2 吸収量を分離測定した。葉身の厚さの測定は、各品種とも葉身長の $1/2$ の位置で横断切片を作り中肋および中肋を中心として左右の最も内側の大維管束とその大維管束から3番目の小維管束、3番目と4番目の小維管束の谷の部分の厚さを検鏡してそれぞれ測定し、左右の値を平均して用いた。

実験結果および考察

第1実験: 葉身窒素含有率が個葉の表裏各面の光一同化曲線に及ぼす影響

供試した試験区の止葉の窒素含有率について示したものがtable 1.である。table 1.によれば出穂直前の窒素追肥量が増加するにしたがい止葉の窒素含有率は明らかに増大している。

次にこれら葉身窒素含有率の異なる4区について、止葉の裏面を暗黒にし表面のみに光を照射した場合と、止葉の両面を $1/2$ ずつの光度で照射した場合について、表裏各面の CO_2 吸収量をそれぞれ分離して測定した。表面のみに光を照射した場合は表裏面それぞれの CO_2 吸収量、および表裏面合計 CO_2 吸収量を示し、両面を $1/2$ ずつの光度で照射した場合には表裏面それぞれの CO_2 吸収量に差がみられない¹²⁾ので、表裏面合計 CO_2 吸収量のみを示したものがfig 1.である。fig.1.によれば、葉身窒素含有率の違いによつて各光度および照射方法に対する CO_2 吸収量はそれぞれ異なつた反応を示している。すなわち、表

Table 1. The effect of the amount of nitrogen top-dressing just before heading on the nitrogen content of the flag-leaves of rice plants.

Treatments	Amount of top-dressing g/m^2	Nitrogen content of flag-leaves %
N 40	40	3.48
N 5	5	2.56
N 1	1	2.22
N 0	0	1.90

* 昭和45年12月7日受理

第147回講演会(昭和44年4月)において発表

面のみに照射した場合は最も窒素含有率の高い N 40 区で表面と裏面の CO₂ 吸収量に著しい差異がみられ、いずれの光度でも表面の CO₂ 吸収量が多く裏面は著しく少ない。また、裏面の CO₂ 吸収量は表面光度 0.8 cal. までは漸次増大し、光不飽和型の曲線をとるとみられる。次に、N 5 区についてみると、弱光度下の表面 CO₂ 吸収量は N 40 区より多く、立ち上りの急傾斜な曲線とみられ、0.4 cal. ですでに飽和に達している。また、裏面 CO₂ 吸収量については、いずれの光度に対しても全般に N 40 区より多

く、特に強光度になるに従い表裏面の CO₂ 吸収量が接近している。N 1 区では弱光度下の表面 CO₂ 吸収量は N 40 区より多いが、0.4 cal. ですでに飽和し、強光度下では N 40 区より著しく少ない。また裏面 CO₂ 吸収量は N 5 区とほぼ同様な傾向が認められる。N 0 区では、さらに弱光度下の表面 CO₂ 吸収量は増大するが、0.2 cal. 程度でほぼ飽和しているとみられ、またいずれの光度でも表裏面の CO₂ 吸収量の差異はきわめて少なくなっている。

このように葉身窒素含有率が高いと表裏それぞれの面の CO₂ 吸収量に差異が大きく、窒素含有率が低くなるに従い表裏面の差異が小さくなること、および窒素含有率が高くなるほど表面の飽和光度とその CO₂ 吸収量が高くなることは、葉身の葉緑素含有率と関係があるのではないかと考えられる。すなわち、N 0 区では窒素含有率が低く、したがって葉緑素含有率も低いので、光度が低い段階ですでに表面は飽和に達し、また裏面まで光がよく透過する結果、表面および裏面の CO₂ 吸収量に差が少ないが、N 1 区、N 5 区と窒素含有率が増大するに従い葉緑素含有率が高まり、表面の CO₂ 吸収量は増大するが、同時に裏面への光の透過量は少なくなる結果、表面および裏面の CO₂ 吸収量の差が大きくなる。N 40 区においては葉緑素含有率が最も高いために表面は 0.8 cal. でもまだ葉緑粒は光不足で飽和状態には達しない。さらに裏面では光の透過量が最も少ないためにきわめて低い CO₂ 吸収量を示し、表裏各面の吸収量の差が激化したものと考えられる。

次に表面からのみ照射した場合と表裏両面から 1/2 ずつの光度で照射した場合について、それぞれの表裏面合計 CO₂ 吸収量を比較するとこの点が一そう明確になる。すなわち、N 40 区では弱光度の場合に両者の違いは少ないが、0.4~0.6 cal. 付近で著しく離れ、さらに光度が強まると両者は再び接近している。光度がきわめて弱い場合に同一光度の光を表面からのみ照射した場合と表裏両面に 1/2 ずつ照射した場合とで、ほとんど CO₂ 吸収量に差がないことは、光の絶対量が少ないために、組織内の葉緑粒はみな光不足状態で、どんな照射方法でも光は不足するとみられる。中間的な光度では表面からのみ照射した場合の表面側の葉緑粒はほぼ光飽和に達するが、裏面側まで光が十分に到達しないので裏面側の葉緑粒は光不足状態にある。したがって、表面側の光の半分を裏面側へまわし、両面から 1/2 ずつの光度で照射すれば葉の全層にわたって葉緑粒は飽和に近い状態となつて CO₂ 吸収量は増

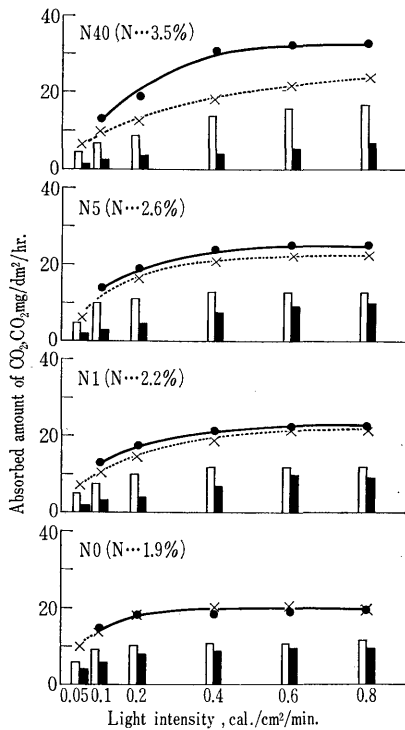


Fig. 1. Effects of the nitrogen content in a leaf-blade on the light-curve of CO₂ absorption of the obverse, the reverse and both sides the leaf-blade.

Note: The variety used is Manryo.

- : Absorbed amount of CO₂ on the obverse in case of one side exposure (cf. Summary 2).
- : Absorbed amount of CO₂ on the reverse in case of one side exposure (cf. Summary 2).
- ××× : Total amount of absorbed CO₂ on the reverse in case of one side exposure (cf. Summary 2).
- : Total amount of absorbed CO₂ on both sides in case of two side exposure (cf. Summary 2).

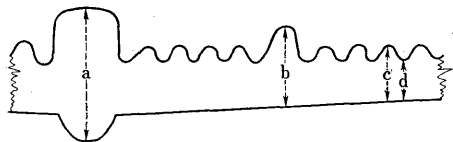
大し、表面からのみ照射した場合より両面から 1/2 ずつの光度で照射した場合の CO₂ 吸収量がまさる結果となる。さらに光度が強くなると表裏両面から 1/2 ずつの光度で照射した場合は、葉身全体の葉緑粒が飽和に達して CO₂ 吸収量は増大しない。表面のみから照射した場合は、表面側の CO₂ 吸収量は飽和に達して増大しないが、透過して裏面側に達する光が強くなるため、裏面側の CO₂ 吸収量が 増大している。したがって、さらに非常に強い光が与えられれば、表裏両面から 1/2 の光度で照射した場合にえられた CO₂ 飽和吸収量に近づくものかと考えられる。次に N 5 区および N 1 区についてみると、葉身窒素含有率が少なくなるに従い、表面からのみ照射した場合でも裏面への光の透過量が多くなるため、次第に弱い光度で表面からのみ照射した場合と、表裏両面から 1/2 の光度で照射した場合との表裏合計 CO₂ 吸収量は一致するようになる。葉緑素含有率の最も少ない N 0 区では、裏面への光の透過がさらに多くなるため、いずれの光度でも表面からのみ照射した場合と表裏両面から 1/2 の光度で照射した場合の CO₂ 吸収量は一致したものとみられる。

要するに、表面からのみ照射した場合は、葉身の窒素含有率が高まるに従い、葉緑素含有率が 増大して、表面側で吸収する光の量が 増大する反面、光の透過量が減少するために、裏面側が光不足の状態となり、表裏両面から 1/2 の光度で照射した場合と比較すると、

Table 2. Varietal differences in the thickness of leaf-blades (flag-leaves)

Varieties	Thickness on the different parts of flag-leaf (mm)			
	a	b	c	d
Araki	2.28	0.80	0.40	0.28
IR 8	1.68	0.52	0.28	0.18
Kusabue	1.40	0.50	0.24	0.12
Dharial	1.40	0.40	0.18	0.08

Note: 1. Measurement positions of a flag-leaf



a.....Midrib, b.....Large vascular bundle, c.....Small vascular bundle, d.....Chasm between tow small vascular bundles.

2. Measurement was mad at the central portion of a flag-leaf.

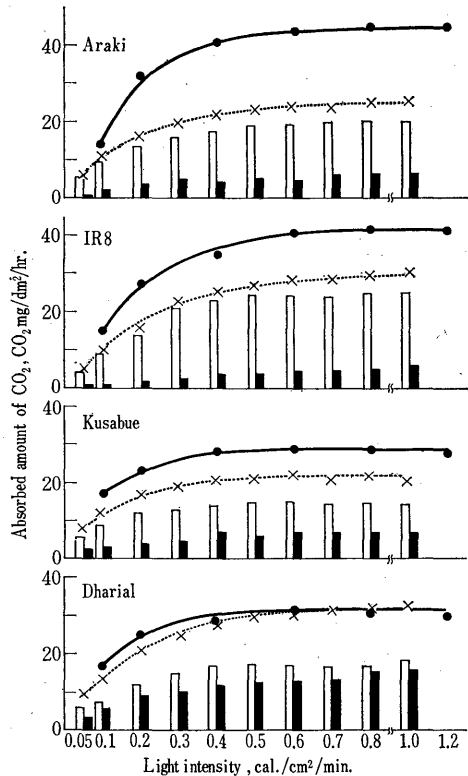


Fig. 2. Effects of the thickness in a leaf-blade on the light-curve of CO₂ absorption of the obverse, the reverse and both sides of the leaf-blade.

Note: Notations are the same as in Fig. 1.

表裏合計 CO₂ 吸収量が著しく少なくなるとみられた。

第2実験：葉身の厚さが個葉の表裏各面の光—同化曲線に及ぼす影響

葉身の厚さについては単位葉面積当たり葉身重で表現されることが多いが^{1,2,3,7,8,9,13,14}、厳密にはこれの意味するものは厚さより重さを示すものであり、特に出穂後の水稻葉では珪酸含有率が関係すると考えられ、同化組織の厚さとは別の意味を持つ場合も少なくないと思われる。そこで、本報では葉身の横断切片を検鏡し、葉緑粒を含む組織の厚さを葉身の厚さとした。

同一施肥量で栽培した品種群の中から止葉の厚い品種として荒木(Japonica type), IR 8(Indica type), および薄い品種としてクサブエ(Japonca type), Dharial (Indica type) の4品種の厚さについて示したものが table 2. である。table 2. によれば、中肋の厚い品種は大維管束および小維管束も厚く、また小維管束と小維管束との谷間の部分の厚さも厚く、これ

ら 4 品種の厚さは荒木>IR 8>クサブエ>Dharial の順位とみられる。これらの品種について第 1 実験と同様な方法で同化量を測定した結果が fig. 2. である。

fig. 2. によれば、葉の厚い品種と薄い品種とはかなり異なつた光—同化曲線がみられる。すなわち、葉身の厚い荒木および IR 8 は裏面が暗黒で光を表面のみに照射した場合、表面と裏面のそれぞれの CO₂ 吸収量には差異が著しい。また、表面のみに照射した場合と、表裏両面を 1/2 の光度で照射した場合のそれぞれの表裏面合計 CO₂ 吸収量についても、両者に著しい差異がみられ、葉の厚いほど飽和光度およびその CO₂ 吸収量が高く、第 1 実験の窒素含有率の高い場合とよく似た特性をもつとみられた。一方、薄い品種のクサブエ、Dharial では表面のみから照射した場合の表裏各面の CO₂ 吸収量の差異が少なく、また、表面のみから照射した場合と表裏両面から 1/2 の光度で照射した場合のそれぞれの表裏面合計 CO₂ 吸収量の差異も少なく、飽和光度およびその CO₂ 吸収量もまた低い。これらの点は第 1 実験の窒素含有率の低い場合とよく似ている。

葉の厚い品種では、同化組織が厚い結果、表面からのみ照射した場合の表面での CO₂ 吸収量が多いが、裏面側への光の透過量は少なくなるので、表面が強い光を受けても、裏面側はなお光不足の状態にあるために、CO₂ 吸収量は少なく、表裏各面の CO₂ 吸収量の差が大きくなつたものと考えられ、また、葉の薄い品種では、同化組織が薄い結果、表面のみから照射した場合でも裏面側への光の透過量が多いため表裏面の CO₂ 吸収量に差が少なくなつたものと考えられる。要するに葉の厚さの違いによる光—同化曲線の差異も第 1 実験で行なつた推察と同様に光の吸収と透過の関係から説明づけられよう。

以上第 1 実験および第 2 実験の結果から、水稻の個葉の同化能力に關与する形質として、窒素含有率および葉身の組織的な厚さについて検討した結果、表裏面の合計光度が同一であつても、表裏それぞれの面の受光のしかたによつて窒素含有率および葉の厚さが同化量に及ぼす影響の著しく異なることが明らかとなつた。

葉身窒素含有率と同化能力との關係については、すでに松島ら⁴⁾、村田⁷⁾、武田ら¹⁰⁾、長田⁹⁾らによつて両者の間にきわめて高い正の相関々係の存在することが明らかにされているが、自然条件下の個々の葉は、表裏両面から受光していることから考えると、出穂後の同化量を増大しようとする場合、単に葉身窒素含有率を

高めるのみでなく、裏面側からも散光および反射光をより有利に受光しうるような態勢¹¹⁾を出穂前に整えておくことが^{5), 6)} 窒素追肥の効果を大きくするための重要な条件と考えられる。

葉の厚さと単位同化能力との關係については、Irvine⁸⁾ はサトウキビで両者の間に正の相関が高いことを認め、同化能力の高い品種の探索にその利用が提案されている。また、Wilson ら¹⁴⁾ は牧草のホソムギ類で葉の厚さおよび葉肉細胞の大きさと単位同化能力との間に高い相関を認め、小島ら⁹⁾ は大豆で葉面積重と同化量が下位葉では正の相関を示すが、上位葉では相関はみられないとしている。

水稻葉身の厚さと個体群の乾物生産との關係については、村田⁷⁾、林¹²⁾ は薄い葉は透光率がよいことから生産力が高いとし、角田¹³⁾ は厚い小型の葉で直立的な葉配置をとつたとき生産力が高いとしている。本実験の結果からは、葉身の厚い品種は多窒素条件の葉と、また薄い品種は少窒素条件の葉とよく似た同化特性がみられることから、これらの特性を生かした受光態勢をとるとき最も有利な同化生産を行ないうるものではないかと考えられる。したがつて、多収穫を目的とする場合は、葉は厚めの品種で、個葉の同化能力を十分發揮しうるような態勢、すなわち裏面側も十分受光しうるような直立型の受光態勢をとるよう稲の姿勢を制御する栽培法^{5), 6)} がとられる必要があらうと思われる。

摘 要

前報¹²⁾と同じ装置を用いて、葉身窒素含有率および葉身の組織的な厚さが個葉の表面および裏面の光度とそれぞれの面の CO₂ 吸収量との關係に及ぼす影響について調べた。主な結果は次の通りである。

1) 個葉の裏面を暗黒にし、表面の光度を変化させた条件では、葉身窒素含有率が高い場合および葉身が厚い場合の CO₂ 吸収量は、いずれの光度でも表面側が多く、裏面側が少なく、両者の差が著しい。窒素含有率が低くなるに従い、また厚さが薄くなるに従い表面側の CO₂ 吸収量は低下し、裏面側は逆に増大して両者の差は次第に僅少となり、遂に一致するものとみられた。

2) 個葉の表面のみに光を照射した場合と、1/2 の光度で表裏両面から照射した場合について、表裏面の合計光度と合計 CO₂ 吸収量との關係を比較すると、葉身窒素含有率および葉身の厚さによつて著しい違いがみられる。すなわち、窒素含有率が高い場合および

葉の厚い場合には、表面のみの照射では 0.8cal. まで飽和現象がみられないが、 $\frac{1}{2}$ の光度で表裏両面を照射すると 0.6~0.7cal. で飽和する。また、いずれの光度でも表面のみの照射より、 $\frac{1}{2}$ ずつの光度で両面から照射したほうが CO_2 吸収量が多い。しかし、窒素含有率が低く、また厚さが薄くなるに従い $\frac{1}{2}$ の光度で両面から照射した場合の飽和光度は低下し、表面からのみの照射でも飽和現象がみられるようになり、両者の CO_2 吸収量の差は僅少となつて、遂に一致した光一同化曲線をとるとみられた。

3) これら葉身窒素含有率および厚さの差異による光一同化曲線の違いは、葉身組織内での光の吸収透過の差異によるものと考えられた。

4) 本実験の結果から、自然条件下で同化量を増大するためには、葉身窒素含有率が高く、葉身が厚く、しかも表裏両面から受光しうるような態勢の重要性が指摘された。

引用文献

1. HAYASHI, K. 1968. Response of net assimilation rate to differing intensity of sunlight in rice variety. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan. 37: 528—533.
2. ———. 1969. Efficiencies of solar energy conversion and relating characteristics in rice variety. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan. 38: 495—500.
3. IRVINE, J. E. 1967. Photosynthesis in sugar-cane varieties under field conditions. Crop Science. 7: 297—300.
4. 松島省三・岡部 俊・和田源七 1956. 水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究 第33報 戸外の全植物体を対象とした炭素同化作用. 日作紀 25: 11—12.
5. ———・田中孝幸 1963. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第66報 稲の姿勢を任意に調節する方法の研究. 日作紀 32: 44—47.
6. ———・和田源七・田中孝幸 星野孝文 1963. 同第67報 高収量成立原理の探索と実証, 日作紀 32: 48—52.
7. 村田吉男 1961. 水稲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—169.
8. 小島睦男・川島良一 1968. 大豆の子実生産に関する研究 第5報 大豆の光合成能力の品種間差異とその安定性. 日作紀 37: 667—675.
9. 長田明夫 1966. 水稲品種の光合成能力と乾物生産との関係 特に窒素条件との関連において. 農技研報告 D(14): 117—188.
10. 武田友四郎・玖村教彦 1957. 水稲における収量成立過程の解析 I 窒素条件が葉面積・同化能率および呼吸能率に及ぼす影響 II 受光態勢並に物質生産経過に及ぼす窒素条件の影響について. 日作紀 26: 165—175.
11. 田中孝幸・松島省三・古城斉一・勝木依正 1970. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第91報 全光中散光成分の占める割合の多少と水稲個体群の光一同化曲線との関係. 日作紀 39: 319—324.
12. ———・——— 1970. 同第94報 個葉の表面および裏面の光強度と同化量との関係. 日作紀 39: 325—329.
13. TSUNODA, S. 1959. A developmental analysis of yielding ability in varieties of field crops II The assimilation-system of plants as affected by the form, direction and arrangement of single leaves. Jap. J. Breed. 9: 237—244.
- 14) WILSON, D. and J. P. COOPER 1967. Assimilation of *Lolium* in relation to leaf mesophyll. Nature 214: 989—992.

Analysis of Yield-Determining Process and Its Application to Yield-Prediction and Culture Improvement of Lowland Rice

XCVIII. Effects of the nitrogen content and thickness of a leaf-blade on the light-curve of carbon assimilation of the obverse, the reverse and both sides of the leaf-blade

Takayuki TANAKA and Seizo MATSUSHIMA

(National Institute of Agricultural Sciences, Konosu, Saitama)

Summary

Using the same apparatus as in the previous paper (XCIV) and using the leaves with four different levels in the nitrogen content as well as in the thickness of leaves, the authors studied the effect of nitrogen content and thickness of leaves on the light-curve of carbon assimilation of the obverse, the reverse and both sides of a leaf-blade. The main results can be summarized as follows.

1) In the case of the obverse of a leaf-blade (flag-leaf) being exposed to light and its reverse being kept in the dark, a leaf-blade with a high nitrogen content or a thick histological construction absorbs much larger amount of CO₂ on the obverse than on the reverse at any light intensity, and a remarkable difference in CO₂ absorption between two sides is always found, while, as the nitrogen content or the thickness of leaves decreases, the CO₂ absorption on the obverse goes on decreasing and at the same time, on the contrary, that on the reverse goes on increasing progressively, and as a result the difference in CO₂ absorption between two sides comes to be less and less, and finally no difference comes to be found at any light intensity.

2) A comparison in the total amount of absorbed CO₂ on the two sides of a leaf-blade has been made between two cases under the condition of the total amount of light on the two sides being always equal with each other case; i. e. one is the case of the obverse being exposed to light and the reverse being kept in the dark (hereinafter written as one side exposure) and the other is the case of both sides being exposed to light with a half light intensity (hereinafter written as two side exposure). The results are as follows.

The leaf-blades with a high nitrogen content or thick leaf-blades absorb much larger amount of CO₂ in the case of two side exposure than in the case of one side exposure, and they never show any light-saturation phenomenon up to the light intensity of 0.8 cal/cm²/min. in the case of one side exposure, while they clearly show a light-saturation phenomenon at the light intensity of 0.6~0.7 cal/cm²/min. in the case of two side exposure. However, as the nitrogen content or the thickness in leaves decreases, the light-saturation point starts descending in the case of two side exposure and it also starts appearing even in the case of one side exposure, and the difference in CO₂ absorption at every light intensity between two cases comes to be less and less and, as a result of it, finally the light-curves of CO₂ absorption in two cases come to coincide with each other.

3) The differences in the light-curves of CO₂ absorption due to different nitrogen levels or thicknesses in leaves can be ascribed to the differences in light-absorption and light-transmission in leaves.

4) The results in the present experiments strongly suggest the importance of straight and erect leaves, both sides of which are apt to receive sunlight under natural conditions, for increasing the rate of carbon assimilation and consequently the grain yield.