

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

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	津野, 幸人
巻/号	44巻1号
掲載ページ	p. 44-53
発行年月	1975年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



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*

津野 幸人**

(愛媛大学農学部)

I. 緒言

蒸散と光合成は植物と大気との間の物質交換をつかさどる重要な生理作用であつて、それぞれについては多くの研究成果が蓄積している。とくに近年に至つて同化箱内の湿度変化から蒸散量を測定し、蒸散についての気孔抵抗を求める方法を採用^{4,9,2,6,7,21)}して、光合成と蒸散とが同時に測定されるようになり、両者が相互に関連する部分の実態が次第に明らかになつてきた。しかし、上記の成績は単葉または幼植物を対象としたものであつて、全個体を対象とし、しかも個体の Age を考慮した成績は得られておらず、作物学の立場からすれば、さらに実際栽培と関連した研究が望まれるのである。

そこで、甘藷、水稻、大豆、落花生の4作物をえらんで、それらの各生育時期において蒸散の変動が光合成に如何なる影響を与えるかを明らかにするための実験をおこなつた。また、それと平行して甘藷を材料として気孔開度と根部との関連性を究明するための実験をおこなつたので、それらをあわせて報告する次第である。なお、実験は1965、66年に農業技術研究所・生理第2科(埼玉県北本市)でおこなつたものである。

II. 実験材料および方法

供試作物は甘藷(農林1号、沖縄100号)、大豆(農林2号、Harosoy)、落花生(千葉半立)、水稻(トネワセ)を用い、前三者は10lの畑土壌をつめた植木鉢で、水稻は鴻巣水田土壌をつめたワグネル・ポット(a/2000)でもつて戸外で栽培した。各鉢に1個体あて栽植したが、甘藷は支柱で固定した竹輪に茎を誘引して別報²⁸⁾のごとく立体的に仕立てた。基肥として甘藷を除いて他の3作物は三要素成分各1.0gを与えた。甘藷はカリを3.0gに増量し、落花生については石灰10g、大豆には苦土石灰10gを与えた。追肥は生育の状態をみて適宜施した。植付は甘藷5月25日、水稻6月20日、播種は大豆、落花生ともに5月17日であつた。各作物とも病虫害は皆無で旺盛な生育を示した。

光合成作用および蒸散作用の測定には fig. 1 の装置を用いた。送風機より送られた空気は同化箱を通過して排出されるが、その場合の空気中の炭酸ガス濃度を赤外線炭酸ガス分析計で検出して、それに通気量を乗じ、純光合成量として算出した。同化箱の空気入口と出口に熱電対でつくつた乾湿温度計を装置し、それぞれにおける水蒸気張力を測定し、絶対湿度(gH_2O/m^3)に換算し、同化箱出入口の湿度差に通気量を乗じて蒸散量を算出した。測定中は植木鉢全体をビニール布でくるんで土面からの水分蒸発を抑制した。

なお、この装置には同化箱内の湿度を変化させるために fig. 1 のような工夫がはらわれている。湿度を下げる場合は、3~5°C の冷水が循環する熱交換機を組みこんだ除湿機を作動させる。すると、除湿機を通過した空気は除湿されると同時に低温になる。これが送気管をとつて同化箱を通過する過程で輻射熱によつて暖められるので乾燥した条件をつくることができる。同化箱の湿度を上げる場合は除湿機を作動させないで湿つた空気を送り、さらに水道水を同化箱の周囲に吹つけ、箱内気温を引き下げる操作をおこなつた。なお、光合成測定中は通気量を一定として同化箱内の風速の変動が蒸散に影響することをさけた。

甘藷葉の気孔開度の調査には試薬浸潤法⁵⁾を用いた。すなわちイソブチルアルコール(90%)とエチレンジグリコール(10%)の混液を試薬順位1とし、前者

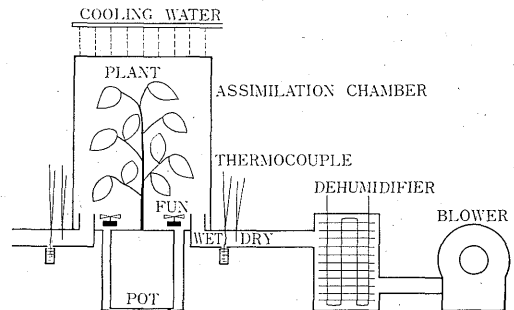


Fig. 1 Diagram showing assimilation chamber and humidity-controlling system.

Note: Low- and high-humidity condition were made by dehumidifier or chamber cooling with cold water.

* 昭和49年7月13日受理

** 現在 鳥取大学農学部

と後者の混合比 10 : 90 のものを試葉順位 9 とし、それらの中間を 10% きざみで混合比を変えて順位を設けた。試葉順位と気孔開度とは比例的關係にあることは確かめられている^{5,11,13)}が、本実験の場合もスンプ法で測定した気孔幅の平均値と試葉順位とは直線的な比例關係が認められた。なお、気孔数の分布は葉の裏面が表面の 2.7 倍 (3 品種平均) であつたので、気孔開度の測定は裏面についておこなつた。

根中の糖分は乾燥材料から熱アルコールで抽出し、Somogyi 新試薬を用いて比色定量をおこなつた。

III. 実験結果および考察

1. 蒸散の変動が光合成作用に及ぼす影響

蒸散作用に変動を与える目的で同化箱外部から約 20°C の水道水を吹きつけて冷却したり、また除湿乾

燥した空気を送り、光合成作用の経時的变化を測定した結果を fig. 2~5 に示す。これらの光合成および蒸散の測定は個体を対象としたが、いずれも単位葉面積当たりで表示してある。測定は晴天日を選び、0.8 ly/min 以上の日射で光飽和条件のもとで測定されているが、同化箱の湿度低下処理は蒸散と葉温に同時に影響を与えている。葉温—光合成關係に及ぼす蒸散の影響については次項で検討したい。

蒸散の促進または抑制が水稻の光合成作用に及ぼす影響を fig. 2 でみると、出穂直後の 8 月 3 日においては蒸散の変動が光合成作用に影響を与えていないところが、糊熟期である 9 月 6 日の 2 測定例をみると、蒸散の抑制によつて光合成は著しく高まつた。同化箱への冷水吹きつけを中止し乾燥条件にすると蒸散は高まるが、光合成は逆に低下した。そして再び蒸散

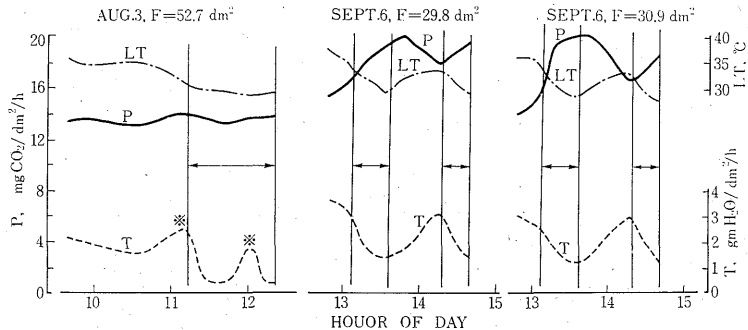


Fig. 2 Effect of restraint or promotion of transpiration upon photosynthetic rate, and changes in leaf temperature of rice plant at different growth stages.

Note: F.....Leaf area of test plant P.....Net photosynthetic rate
LT.....Leaf temperature T.....Rate of transpiration
|↔|.....Restraint term ※.....Promotion

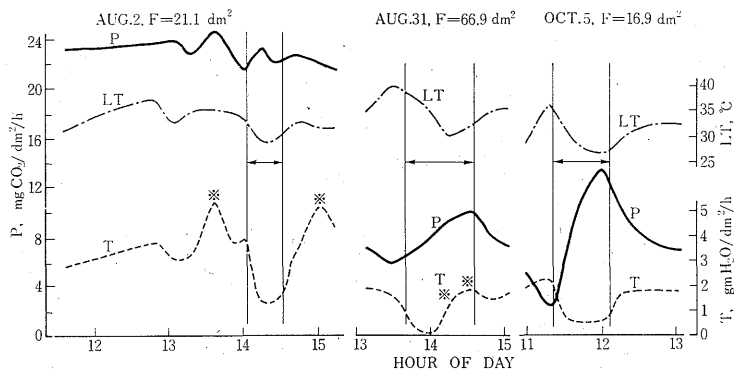


Fig. 3 Effect of restraint or promotion of transpiration upon photosynthetic rate, and changes in leaf temperature of sweet potato plant at different growth stages.

Note: Abbreviations and symbols are the same with Fig. 2.

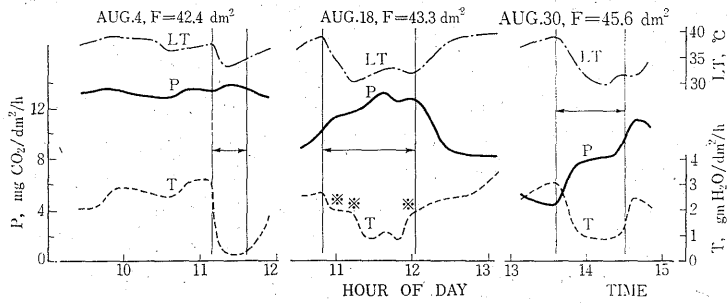


Fig. 4 Effect of restraint or promotion of transpiration upon photosynthetic rate, and changes in leaf temperature of soybean plant at different growth stages.

Note: Abbreviations and symbols are the same with Fig. 2.

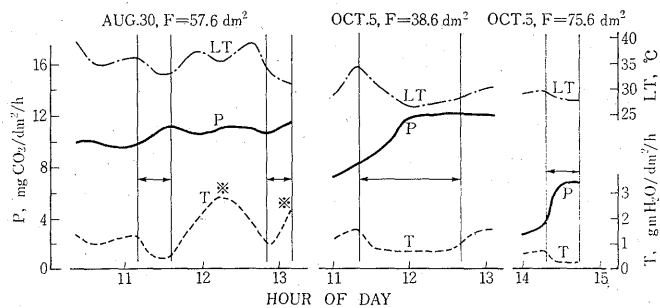


Fig. 5 Effect of restraint or promotion of transpiration upon photosynthetic rate, and changes in leaf temperature of peanut plant at different growth stages.

Note: Abbreviations and symbols are the same with Fig. 2.

を抑制すると光合成は高まった。他の作物とちがって水稻の場合は平均光合成速度の最高値は穂ばらみ期よりも登熟期の方が高い水準にある。これは生育後期で葉面積は減少したが、登熟期の追肥によつて葉身の窒素濃度が8月3日より9月6日が高かつたためと考えられる。また同様に9月6日が蒸散の最高値も高いが、それだけに葉身の水分損失が大きく、蒸散にみあう水分補給がなされぬ場合は光合成は一時低下し、水分含量の回復をまつて再び高まるというリズムが生じるものと推察される。

生育後期になると蒸散の抑制によつて光合成が高まるという現象は供試4作物に共通してみられた。他方、蒸散の促進によつてあきらかに光合成が高まる例はほとんどみあたらない。甘藷では蒸散抑制による光合成の増加は生育後期においてとくに著しく、平均光合成速度の最高値も10月5日でかなり高い水準に達した。これは他の3作物と異なり葉の更新が生育後期までおこなわれるため光合成機能の高い若い葉の占める比率が高いためと考えられる。

2. 蒸散の抑制が温度—光合成関係に及ぼす影響

温度と光合成作用との関係は作物の種類により、また生育時期により異なることが知られている^{18,22}。本実験においては供試個体の5葉について熱電対で葉温を測定し、平均葉温と光合成作用との関係を時期別に求め、蒸散の抑制が葉温—光合成関係にどのように影響するかを調べた。fig. 6は甘藷、fig. 7は大豆における温度—光合成関係である。まず甘藷についてみると、光合成速度の高いものほど、40°C附近の高温域においても光合成の低下はみられない。生育時期がすすみ平均光合成速度が低下するにつれて高温側での低下が著しくなる。8月18日までは蒸散の抑制が温度—光合成関係にほとんど影響しないが8月末日から10月5日にかけては、蒸散の抑制によつて光合成速度の上昇が顕著であつた。同様の傾向が大豆 (fig. 7) においても認められる。すなわち、8月8日までは蒸散抑制の影響は認められぬが、8月30日では蒸散抑制条件と通常の測定条件とで温度—光合成関係は大きく異なつており、通常条件では温度上昇とともに光合成は直線的に減少するが、蒸散抑制下では温度—光合成曲線が、生育初期のものに近い形状となつている。葉温が

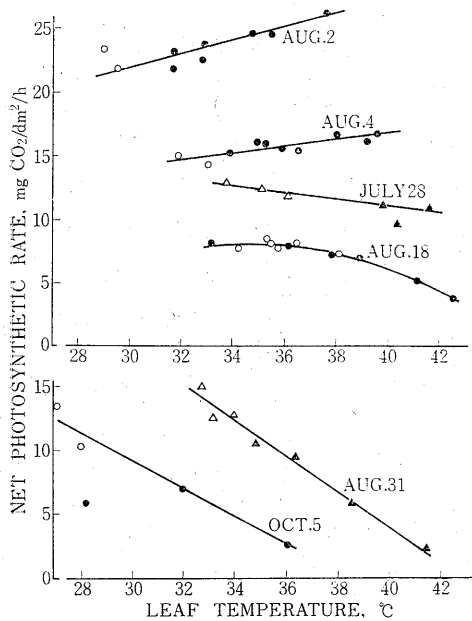


Fig. 6 Influence of restraint of transpiration on the relationship between leaf temperature and photosynthesis in sweet potato plant.

Note: Open symbols showed restraint of transpiration.

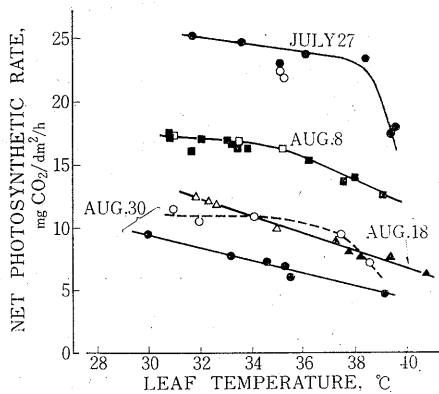


Fig. 7. Influence of restraint of transpiration on the relationship between leaf temperature and photosynthesis in soybean plant.

Note: Open symbols showed restraint of transpiration.

高まると蒸散が活発におこなわれ葉内水分が低下することは当然予想される。葉内水分と光合成との関係は必ずしも直線的な正比例関係とは考えられないが、あ

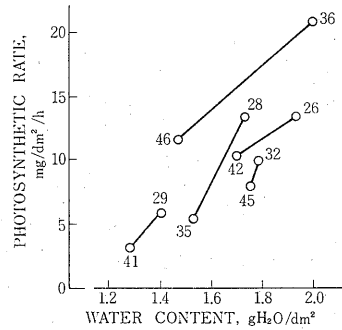


Fig. 8 Relationship between water content in leaf of sweet potato and its net photosynthesis, with changing the leaf temperature at 35 klux.

Note: Numeral in figure showed leaf temperature.

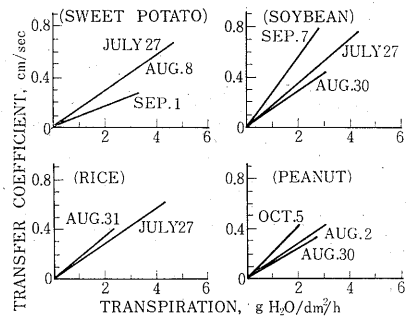


Fig. 9 Relation between transpiration of a whole plant and water vapour transfer coefficient (D) under conditions within assimilation chamber.

Note: $D = T / (W_s - W_a)$

T Transpiration

W_s Saturated water vapour concentration in air corresponding to measured leaf temperature.

W_a Water vapour concentration of air in assimilation chamber.

る限界値を割つた場合は急激に光合成が低下することが過去の成績^{10,8)}で明らかにされている。

甘藷葉において葉温を上昇させた場合に光合成速度と葉内水分がどの様に変化するかを調査した。まず、茎に附着したままの単葉を同化箱に封入し光合成を測定²⁹⁾、ただちに葉の半分を切り含水量を測定した。そして、茎に附着した側の残り半分の葉を再び同化箱に入れて所定温度まで葉温を変化させてそのときの光合成速度を測定し、ただちに前記のごとく葉内水分量を求めた。主脈を残して葉を半分切りとることが残り

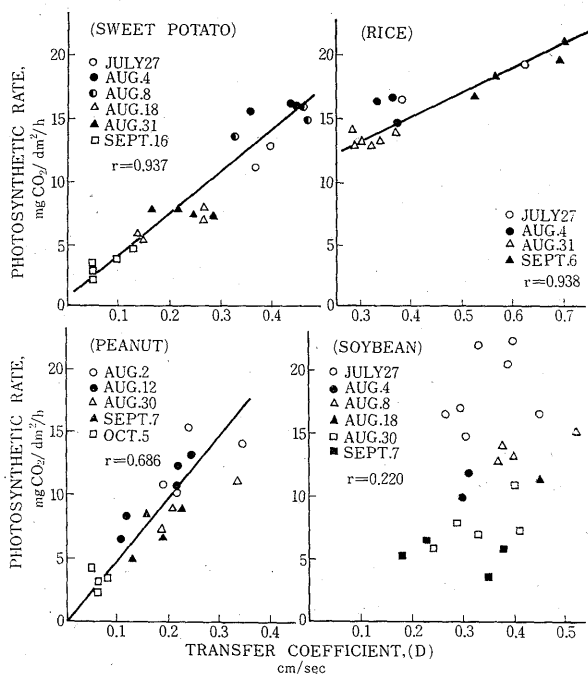


Fig. 10 Relation between water vapor transfer coefficient in transpiration and net photosynthetic rate for corps, under leaf temperature of 35°C condition.

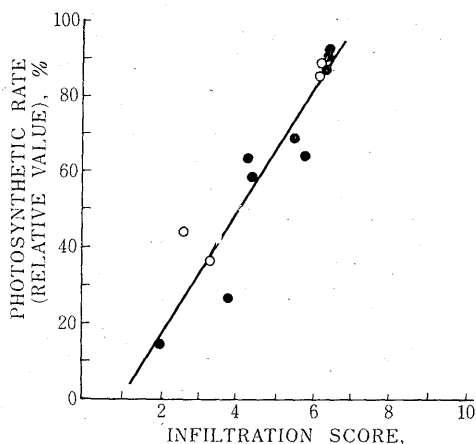


Fig. 11 The relationship between infiltration score for stomata in the abaxial epidermis and net photosynthesis of sweet potato plant on two period. (Closed circle; Sep. 27~30, open circle; Oct. 21).

半分の葉の光合成速度に影響を与えないことは予め確認しておいた。その結果は fig. 8 に示すとおりである。変温前後の2個の測定値を互いに線で結んだが、いずれも高温により葉内水分が減少するとともに光合成速

度も低下していることがわかる。

3. 水蒸気の交換係数と高温下での光合成速度

葉身からの蒸散速度 (T) は水蒸気の傾度 に交換係数 (D) を乗じて求めることができる。水蒸気の傾度は葉温に等しい空気の飽和水蒸気濃度 (W_s) と同化箱内の水蒸気濃度 (W_a) の差である。それ故に

$$D = T / (W_s - W_a)$$

と表示できる。ここで供試各作物の蒸散速度 (T) と水蒸気の交換係数 (D) との関係は fig. 9 のとおりである。同図では相関係数がほとんど1.0に近いので回帰直線のみで示してあるが、直線の勾配は生育時期によつて異なる。交換係数の最高値は大豆>甘藷>水稻>落花生の順位であり、大豆では最高0.8 cm/sec の値である。また、蒸散速度の最高値は落花生がもつとも低く3.0 gH₂O/dm²/h であるが、他の3作物は4~5 gH₂O/dm²/h 程度である。

さて、ここで35°Cの高温条件下における光合成速度と水蒸気の交換係数との関係を求めてみると fig. 10 のとおりであつて、大豆

を除く他の作物では両者の間には高い正の相関がある。すなわち、高温条件において光合成速度の低下しているものは交換係数が低く、したがつて fig. 9 の関係よりすれば蒸散が非常におとろえている。大豆において両者の間に明瞭な関係が見出し難い原因については不明である。交換係数は表現を変えれば、水蒸気の拡散抵抗 (r_w) の逆数 ($1/r_w$) としても表現でき、拡散抵抗はさらに葉身から空気層への水蒸気の拡散抵抗 (r_a) と気孔抵抗 (r_s) の和 ($r_w = r_a + r_s$) として求められる⁹⁾。本実験では同化箱への通気量を固定しており、かつ fig. 10 では葉温一定のものを選んでいたので r_a はほぼ一定とみなすことができる。したがつて、高温条件下で D が低下するのは主として気孔抵抗 (r_s) が増大した状態、つまり気孔がとざされ蒸散が制限された状態であることを示している。逆に高温下で D の値が大であることは、気孔が開かれ蒸散が盛んであり、その状態において光合成速度が大であるといえる。生育後期における甘藷に対して、fig. 1 の装置で蒸散の促進または抑制処理をおこない、それぞれの状態における気孔開度を浸潤試薬で調査した。そして、そのときの光合成速度を、その材料の示す最高値に対する指数で示し、気孔開度との関係をみると fig.

Table 1 Carbohydrates content in roots of sweet potato plants, for stomatal aperture in sensitive and non-sensitive response to dried air

Stomatal aperture (Lower epidermis)	Reducing Sugar (%)	Non-reducing Sugar (%)	Total Sugar (%)	Starch (%)
Reduce with dried air	1.1	4.5	5.6	1.5
Free with dried air	2.1	9.1	11.2	5.0

Note: Per cent of dry weight, sampling time—Oct. 4 (maximum tuber developing).

Table 2 Comparison of carbohydrates content in roots of sweet potato plants, for wide and narrow stomatal aperture at noon time on fine day

Stomatal aperture (Lower epidermis)	Reducing Sugar (%)	Non-reducing Sugar (%)	Total Sugar (%)	Starch (%)
Narrow	0.80	0.90	1.50	3.55
Wide	1.10	8.55	9.65	2.60

Note: Per cent of dry weight, sampling time—Oct. 5.

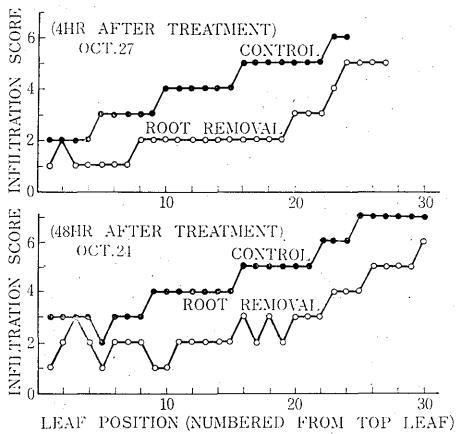


Fig. 12 Effect of removing the root grown on middle part of vine on stomatal aperture in abaxial epidermis for sweet potato grown in field.

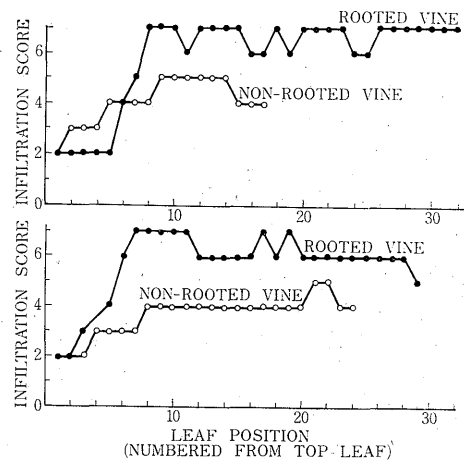
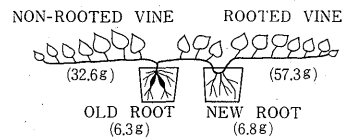


Fig. 13 Comparison of stomatal aperture in abaxial epidermis of potted sweet potato with non-rooted and rooted vine as shown below figure.



11のごとくであつて、気孔開度と光合成速度との間には高い正の相関が認められた。

4. 根部の性状と気孔開度

葉身への水分供給に關与する要因として、根量、根の吸水力、根と葉身との距離、水分が通過する各組織の通導抵抗、などが考えられる。本項では根量および根の吸水力に關与する要因をとりあげ、気孔開度との關係を明らかにしたい。

挿苗時期の異なる鉢栽培の甘藷に対して fig. 1 の装置で気温 32°C、相対湿度 50% の乾燥した条件を約 1 時間与えた。すると、標準植 (5 月 25 日) の沖縄 100 号には若干の萎凋した葉が認められたが、晩植 (7 月 25 日) の農林 1 号には異常はなかつた。同化箱をと

り去り直ちに浸潤試薬で気孔開度を調べると前者の平均値は 3、後者は 6 であり、農林 1 号は気孔がよく開いていた。両者の細根を掘りとり化学分析をおこない炭水化物含有率を比較したのが table 1 である。乾燥空気によつて気孔が閉ざされた沖縄 100 号の根には炭水化物が少ないことがわかる。

異なる圃場に生育しているタマユタカの気孔開度の

日変化を調査した。腐植の乏しいやせた畑の甘藷は快晴日の正午頃になると気孔開度は試薬順位で3.5程度まで低下し、午後日射が弱くなると6.0にまで上昇した。堆肥を施した肥沃な畑の甘藷は試薬順位6.0で一日中変わりがなかった。両畑の細根を掘りとり炭水化物含有率を調査すると、日中に気孔が閉じる甘藷細根の炭水化物含有率は日中に気孔が開かないものに比して明らかに低い値を示した (table 2)。

上記 table 1, 2 の例をみてもわかるとおり、蒸散の盛んな条件下で気孔の閉じる甘藷細根の炭水化物、なかでも全糖含量が健全な対照区に比して著しく少ないのが特徴である。この細根では吸水力を左右する根細胞の浸透圧の低下が推察されるのである。

つぎに根量が気孔開度に及ぼす影響を調べるために肥沃な畑で栽培されたタモユタカを供試材料とした。甘藷の細根を発生部からみると ① 定植時に土中に埋められた苗の節から出るもの、② 塊根より伸びるもの、③ 茎が伸長して土と接した部分から発生するもの、に分けられる。10月末期に上記③の根を茎から切り離す処理をおこない、その茎の全葉について気孔開度を浸潤試薬で調査した。その結果を fig. 12 でみると、まず対照区における葉位と気孔開度の関係は基部が大で先端になるにつれて小となっている。先端8葉までは葉面積が拡大している葉であり、気孔が未発達であるため気孔開度が小であることを考慮しても、基部の気孔開度が大きいという一般的な傾向は否定できない。ところが、茎の中ほどの節から発生しているわずか4~6本の細根を除去することによって、茎に附着する全葉の気孔開度が低下することがよくわかる。

生育の中期に茎から発生した細根が水分吸収に役立つ、それが気孔開度を大にしていることを証明するため、fig. 13の参考図としてかかげた内容の実験をおこなった。つまり、主茎と分枝した茎とを反対方向に伸長させ、分枝茎の中ほどを別の植木鉢に埋めると、そこから細根が発生する。中ほどに細根を持つ茎と、細根を有しない茎、それぞれにおける全葉の気孔開度を晴天日の正午に調べると fig. 13のような結果が得られた。茎の中ほどから根が発生した茎の葉は全般に気孔開度が大きいことが明らかである。このように、根量が多く地下部から水分供給の多い茎では、気孔開度が大きい、これに比して根量の少ない茎では快晴日において、気孔開度が小さいことが認められた。

論 議

Van Bavel *et al.*²⁹⁾の精密な蒸散の測定によれば、蒸散速度は一定ではなく5分間程度の周期でリズムカルに変動していることが知られている。また、乾燥条件下では30~40分間隔で周期的な変動を生じる^{2,3,8,29)}ことが認められている。蒸散速度と光合成速度とは無関係である¹⁹⁾とする成績もあり、蒸散の変動がただちに光合成速度に影響するとは考えられない。

本報告でも生育の初期は蒸散と光合成は無関係である。ところが生育後期になると供試4作物ともに、蒸散の促進によって光合成速度が低下し、抑制によって光合成速度は増大している。葉内水分と光合成との関係は他の成績¹⁰⁾に徴しても、ある一定値を越えて水分低下がおこったとき、急激な光合成の低下を示している。植物の葉内水分を調節する内的要素として考えられるのは気孔開度である。水分の供給不足によって気

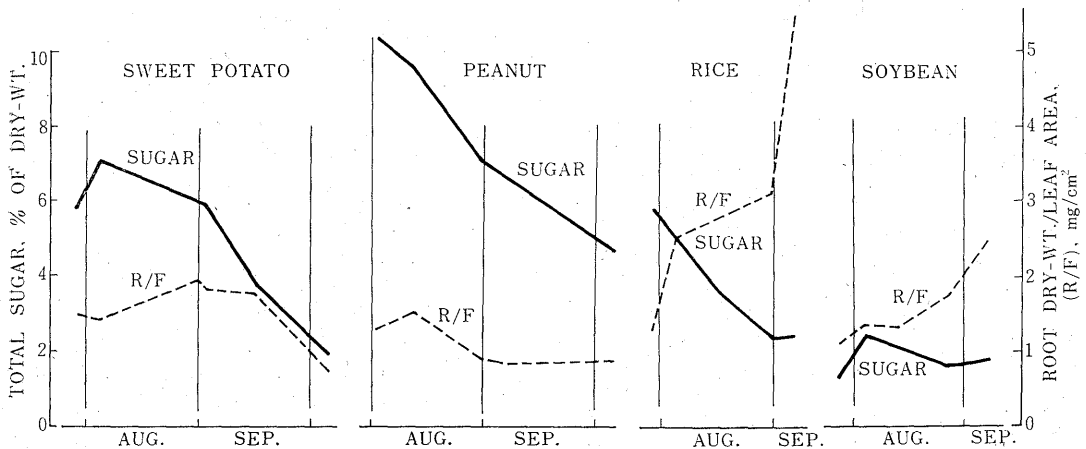


Fig. 14 Seasonal changes in total sugar content in root and root weight (R): Leaf area (F) ratio of four crops.

孔が閉ざされるという現象は植物の乾燥抵抗^{24,25)}として広く認められるが、水稻のように湛水状態で生育する作物でも日中または老化葉で気孔開度が小さくなるという現象^{14,15)}は根の吸水能力が気孔開度に関与することを示唆している。Totsuka and Monsi^{26,27)}は葉の水分欠差と active root/leaf area ratio に密接な関係のあることをタバコ幼植物の水耕栽培試験より見出し、その比が低下するほど乾物生産も減少することを認めた。

近年、多くの研究者は光合成の過程をガスの分子拡散に関する Fick の法則に基づいて解明しようと試みた。それは CO₂ が大気から葉面に至るまでの抵抗 (r_a)、葉面から気孔を通過して葉内の細胞間隙に達する間にある抵抗 (r_s)、さらに葉内の細胞壁を通過してクロロプラストに達して光合成反応に利用されるまでにある抵抗 (r_m) を設定したものである。なかでも植物体側の要素としては r_s と r_m が考えられる¹²⁾が、水分不足によって生じる光合成の低下は気孔抵抗 (r_s) が増大した状態であることは fig. 11 からしても容易に推測できる。葉内水分の損失を補うだけ地下部より水分が供給されると r_s は次第に減少し、ある一定閾値を越して葉内水分が増加した場合は、もはや r_s は光合成の制限因子とはならず、主として光合成組織の生理的活性に支配されている葉肉抵抗 (r_m) が光合成速度を律速するものと考えられる。

さて、地下部から地上部への水分供給に関する量的な側面として根量が、吸水能力という質的な側面として根の糖含有率が考えられる。ここで、fig. 2~5 にあげた材料について、上記の観点から検討を加えてみた。fig. 14 は 4 作物の根部の全糖含有率と根重(R)/葉重(F)比(乾燥重量)の時期的な変化を示したものである。根重は水分吸収と関係の深い細根のみの重量であつて、甘藷の塊根、梗根ならびに落花生、大豆の太い木化した根は除いてある。fig. 14 にみられるとおり R/F 比は甘藷、落花生では調査期間中では大きな変化がないが、水稻、大豆では生育後期になると著しく高くなつていく。これは生育後期に下葉が枯死して生葉重が減少するためである。全糖含有率は大豆では全般に低く経過し、時期による差も少ないが、他の 3 作物では生育の中期に高かく後期に著しく低下する傾向を示している。fig. 6 の甘藷の葉温—光合成関係のうち 7 月 28 日のものよりも 8 月 2, 4 日の方が高温での光合成速度が高いが、根中の糖含有率もこの時期が最高となつている点が注目される。また、fig. 10 の水稻では 9 月 6 日における水蒸気の交換係数 (D) が

高いが、この時期の R/F 比も著しく高い。しかし、これは fig. 2 にみられるとおり蒸散抑制によつて葉内水分を高とした直後の現象であつて、いつでも R/F 比の高い場合に高い D 値を示すものではない。根における吸水の最も盛んな部位は根の先端に近い部位であり、たんに根量のみで吸水機能を表示することはできないが、全糖含有率と R/F 比の両者を同時に把握すればある程度の地下部からの水分供給力の指標としうるであろう。大豆を除く他の 3 作物については、根の糖含有率の低下と、葉内水分の不足とが平行した関係にあるということを確認することができる。大豆根は木化がはげしく、また茎においても同様であつて、水分の通導抵抗といつた概念を持ちこまなければ説明しきれない局面が存在するようである。

〔要約〕 以上述べてきた各種の実験結果から蒸散の変動が光合成の変動を招く原因について要約すると次のとおりである。

一般に根の生長部位では呼吸基質である糖含量が少ないことが認められている¹⁾が、とくに成熟期の作物は光合成産物が貯蔵器官に集中的に移行するので、糖分の地下部に対する分配量が減少し、根全体の糖含量が低下する。また、成熟期にはいづれの作物も旧根の枯死によつて、根量の減少がめだつてくる。これらのことは地上部への水分供給能力の低下を招来し、蒸散の盛んな条件下では葉内水分の損失を防ぐために気孔抵抗が高まつて光合成は低下する。そのとき、蒸散を抑制すると葉内水分が高まり、気孔開度が増大するので光合成速度が大となる。この現象は温度—光合成関係にも顕著な影響を与えることになる。

引用文献

1. 相見 霊三・藤巻 和子 1958. 根の機能に関する細胞生理的研究。(1) 水稻根に於ける物質及酵素の組織化学的分布。日作紀 27 : 21—24.
2. AUBERT, B. and J. CATSKY 1970. The onset photosynthetic CO₂ influx in Banana leaf segments as related to stomatal diffusion resistance at different air humidities. Photosynthetica 4 : 254—256.
3. BARRS, H. D. and B. KLEPPER, 1968. Cyclic variation in plant properties under constant environmental conditions. Physiol. Plant. 21 : 711—730.
4. BIERHUIZEN, J. F. and R. O. SLATYER, 1964. An apparatus for the continuous and simul-

- taneous measurement of photosynthesis and transpiration under controlled environmental conditions. CSIRO Aust. Div. Land Res. Reg. Surv. Tech. Paper No. 24: 1-16.
5. DALE, J.E. 1961. Investigations into the stomatal physiology of upland cotton. 2. Calibration of the infiltration method against leaf and stomatal resistance. Ann. Bot. N.S. 25: 94-103.
 6. DRAKE, B.G., K. RASCHKE, and F.B. SALISBURY 1970. Temperature and transpiration resistances of *Xanthium* leaves as affected by air temperature, humidity, and wind speed. Plant Physiol. 46: 324-330.
 7. DRAKE, B.G. and SALISBURY, F.B. 1972. After effects of low and high temperature pretreatment on leaf resistance, transpiration, and leaf temperature in *Xanthium*. Plant Physiol. 50: 572-575.
 8. EHRLER, W.L., F.S. NAKAYAMA and C.H.M. VAN BAVEL 1965. Cyclic changes in water balance and transpiration of cotton leaves in a steady environment. Physiol. Plant. 18: 766-775.
 9. GAASTRA, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Mededel. Landbouwhogeschool, Wageningen, 59: 1-68.
 10. GLOSER, J. 1967. The dependence of CO₂ exchange on density of irradiation, temperature and water saturation deficit in *Stipa* and *Bromus*. Photosynthetica 1: 171-178.
 11. 長谷場徹也 1973. 植物の蒸散に関する農業気象学的研究. 愛媛大学農学部紀要 Vol. 18, No. 1: 1-141.
 12. HOLMGREN, P., P.G. JARVIS and M.S. JARVIS. 1965. Resistance to carbon dioxide and water vapour transfer in leaves of different plant species. Physiol. Plant. 18: 557-573.
 13. 石原 邦・西原武彦・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1報. 気孔開度の測定法について. 日作紀 40: 491-496.
 14. ———— 石田康幸 ———— 1971. ————. 第2報 気孔開度の日変化について. 日作紀 40: 497-504.
 15. ———— ———— 1971. ————. 第3報 異なった葉位の葉身における気孔開度およびその日変化の相違について. 日作紀 40: 505-512.
 16. MORROW, P.A. and R.O. SLATYER. 1971. Leaf temperature effects on measurements of diffusion resistance to water vapour transfer. Plant Physiol. 47: 559-561.
 17. MURATA, Y., J. IYAMA and T. HONMA 1965. Studies on the photosynthesis of rice plants. XIII. On the interrelationships between photosynthetic activity of the root. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 34: 148-153.
 18. ————, ————, ———— 1965. Studies on the photosynthesis of forage crops. IV. Influence of air-temperature upon the photosynthesis and respiration of alfalfa and several southern type forage crop. Proc. Crop. Sci. Japan 34: 154-158.
 19. NEVINS, D.J. and R.S. LOOMIS 1970. A method for determining net photosynthesis and transpiration of plant leaves. Crop Sci. 10: 3-6.
 20. PALLAS, Jr. J.E. 1973. Diurnal changes in transpiration and daily photosynthetic rate of several crop plants. Crop Sci. 13: 82-84.
 21. RASCHKE, K. 1970. Temperature dependence of CO₂ assimilation and stomatal aperture in leaf resistance of *Zea mays* L. Planta 91: 336-363.
 22. SAWADA S. 1970. An ecophysiological analysis of the difference between the growth rates of young wheat seedlings grown in various season. Jour. of the faculty of science, Univ. of Tokyo, Sec. III. Vol. X, Parts 11-13: 233-263.
 23. SLATYER, R.O. and P.G. JARVIS 1966. Gaseous-diffusion porometer for continuous measurement of diffusive resistance of leaves. Science 151 (3710): 574-576.
 24. TAZAKI, T. 1960. Studies on the dehydration resistance of higher plants. I. Deter-

- mination of the measures related to the dehydration resistance of mulberry plants. Bot. Mag. Tokyo 73 : 148—155.
25. TAZAKI, T. and T. USHIJIMA 1963. Studies on the dehydration resistance of higher plants. IV. Dehydration resistance of the leaves in young poplar plants with special reference to the water economy of other plant parts. Bot. Mag. Tokyo 76 : 237—245.
26. TOTSUKA T. and M. MONSI 1959. Effect of water economy on plant growth. I. Influence of water level lowering on growth of water-cultured tobacco plants. Bot. Mag. Tokyo 72 : 367—374.
27. ——— and ——— 1960. Effect of water economy on plant growth. 2. An analysis of water economy of water-cultured tobacco plant. Bot. Mag. Tokyo 73 : 14—21.
28. 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 D 13 : 1—131.
29. VAN BAVEL, C. H. M., F. S. NAKAYAMA, and W. L. EHRLER 1965. Measuring transpiration resistances of leaves. Plant Physiol. 40 : 535—540.

The Influence of Transpiration upon the Photosynthesis in Several Crop Plants

Yukindo TSUNO

(Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama)

Summary

Many investigations have been made on transpiration and photosynthesis of plants. However, the relationship between transpiration and photosynthesis has not been completely established. The study reported here was planned to elucidate the effect of transpiration on the apparent photosynthesis and the relation of temperature and photosynthesis in several crops: sweet potato, rice, soybean and peanut.

1) Experiments were conducted outdoors under full sunlight using an apparatus which has a humidity-controlling system (Fig. 1). In early growth stage, photosynthesis was not affected by restraint of the transpiration caused by increasing humidity in the chamber, but in late growth stage a marked increase of photosynthetic rates occurred by restraining the transpiration (Figs. 2-5). These results suggest that water supply from root to the photosynthetic organ turns insufficient in the late growth stage.

2) Fig. 6 and Fig. 7 indicate the relation of leaf temperature and photosynthesis in sweet potato and soybean plant at various growth stages. In early growth stage, apparent photosynthesis was insensible of high temperature from 30 to 40°C. In late growth stage, however, apparent photosynthetic rates showed a rapid decrease at high-temperature range. These phenomena were also recognized in other crops, e.g., rice and peanut. From results of the investigation for the stomatal opening and fluctuation of water level in sweet potato leaves under various temperature condition, it may be concluded that depression of photosynthetic rate at high-temperature range was due to a deficit of water content and high stomatal resistance in leaf.

3) In the series of experiments as shown in Figs. 2-5, water vapour transfer coefficient (D) was calculated for several crops from the equation presented in the note of Fig. 9. There was a close relationship between the transpiration and the 'D' value. The 'D' values, selected under approximately constant conditions with leaf temperature of 35°C and air volume passing through a chamber of 8-11 m³/hr, showed high correlations to photosynthetic rates in three crops except soybean plant (Fig. 10). The 'D' value is a reciprocal of diffusion resistance(r) which can be divided into two components: (i) resistance in external air during diffusion away from leaf(r_a), and (ii) resistance through the stomata(r_s). It is considered that the 'D' mainly depends on $1/r_s$ in the case of Fig. 10. Accordingly, when photosynthetic rate is high at high leaf temperature, stomata are widely open.

4) Two factors, total sugar content in root and the ratio of root dry weight (R) to leaf area (F), must be concerned with the water supply from root to photosynthetic organ. Therefore, both factors, whose changes with time are shown in Fig. 14, would be correlated to the 'D' values of each growth stage.