

馬鈴薯の光合成作用に関する二、三の特性

津野幸人*

昭和51年7月7日受付

Some Characteristics of the Photosynthesis of the Potato Plant

Yukindo TSUNO*

The net photosynthetic rates of leaves and the whole potato plant, cultured in pots from March to July, were measured with the assimilation-chamber-method.

The maximum rate of net photosynthesis was $25 \text{ mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ and it was measured in young leaves during the period of vigorous growth. The minimum rate of net photosynthesis was about $5 \text{ mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ in old green leaves.

The light saturation point of a light-photosynthetic curve under artificial light existed at 30 Klux but was lower in an out-of-doors condition, thereby receiving some diffused light, about 20 Klux.

The optimum temperature of the net photosynthesis was 30°C in May. During the late growth stages in June and July, the optimum temperature was reduced to a lower degree, and the rate of photosynthesis decreased considerably under the high temperature condition above 30°C . A late variety, for example, the Hokkai No. 42, decreased slightly in the photosynthetic rate under high temperature conditions.

緒 言

馬鈴薯は世界的にみて重要な作物であるにもかかわらず、その光合成作用に関する研究は極めて少ない。言うまでもなく光合成作用は物質生産の原動力であって、その生理・生態学的特性を明らかにすることは、作物栽培に関する基本的な知見を提供することになり、学術的にみても、また実用的見地からしても有意義なことであると考えられる。そこで著者は馬鈴薯葉の光合成作用を簡便に測定できる同化箱(第1図)を考案し、これを用いて光合成作用を室内および戸外で測定した。また、植木鉢で栽培した個体についても戸外において別の同化箱⁹⁾を使用して個体光合成を測定し、個葉の測定値と対比して馬鈴薯の光合成作用に関する一般的特性を明らかにしよ

うとした。なお実験は1965年および1966年に農林省農業技術研究所生理第2科(埼玉県北本町)において実施されたものである。当時の研究室長、現岩手大学教授 藤瀬一馬博士より有益な御助言をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

材料および方法

供試材料の種いもはウスプルン消毒を行なったのち頂芽のみをえらんでペーパーポットに植え、苗床に伏せこみ、被覆をしないままで、地温のみを電熱線で加温し、齊一に発芽させた。4月22日から25日の間に生育の均一なものを選んで、径24cmの素焼き植木鉢に定植した。鉢には肥沃な土をつめ、基肥として化成肥料(3-10-10)を15g施した。さらに5月29日に硫安5gを追肥した。

* 鳥取大学農学部砂丘利用研究施設 乾地生態部門

Sand Dune Research Institute, Faculty of Agriculture, Tottori University

個葉の光合成測定には第1図のごとき同化箱を用いた。正方形の2枚の亚克力樹脂板で外径15mmの軟質ビニール管をはさみ、それで測定葉を囲んだのち、紙ばさみで図のように亚克力板を固定した。ビニール管には3カ所の空気採取孔があり、管の一端より小型ポンプで空気を誘引して、それを赤外線炭酸ガス計へ導いた。したがって、空気は葉柄基部から葉の先端方向へ流れることになる。同化箱を通過した空気のCO₂濃度が外気のそれよりも30~40ppm低下するように通気量を調節した。

同化箱温度の調節は通水可能なビニールの袋を箱の上下におし当て、それに温度調節した水槽より所定温度の水を送って、加温または冷却をおこなった。そして、同化箱の中心位置にある葉の裏面に熱電対をセロテープではり付けて葉温を測定した。

個体光合成の測定には植木鉢を収容できるブリキ製の箱を作り、それに亚克力樹脂製の箱(50cm×50cm×60cm高さ)をかぶせて材料を密閉し、これに外部より送風機でもって通気した。箱内には小型ファンを2個設置して箱内の空気を攪拌した。測定は戸外で快晴の日をえらんでおこなったため、放置すれば同化箱の温度は上昇する。これを防ぐために冷水を同化箱周囲にかけ流し、外気温とほぼ等しく箱内温度を保った。葉温の測定は4枚の葉についておこなった。

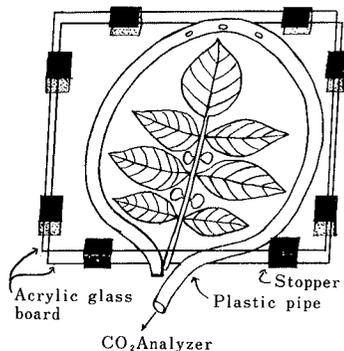


Fig. 1 Assimilation chamber using for potato leaf.
Note. Temperature in the chamber was controlled with plastic bags attached to both sides of the chamber and temperature-controlled-water circulated from a water bath to the plastic bags.

実験結果および考察

〔光一光合成関係〕 光の強さと光合成速度との関係を明らかにすることは当該作物の光合成特性ならびに群落光合成を解析する上で最も基本的な事項である。本実験で得られた多くの資料より、結論的な部分を示す数例

をあげれば次のとおりである。第2図左図は成熟個体について、同図右図は幼植物について戸外の測定で得られた光一光合成曲線である。個体光合成の光飽和点を照度で示せば30 Klux附近に認められ、ly/minで示すと約0.4である。いずれも水稻などのイネ科作物⁶⁾に比して低い値であることが注目される。

さらに、個葉の光飽和点を第3図左図でみると、人工光源(投光機用白熱燈)では第2図左図と同様に30 Klux附近に存在する。この葉を戸外に出して太陽光で光一光合成曲線を求めてみると、戸外では光飽和点はさらに低下し、とくに20 Klux以下では人工光よりも太陽光の方が同一照度で高い光合成速度を示す。また、これとは別に鉢栽培の個体から光合成速度の最高値のほぼ等しい2葉をえらんで、圃場群落のなかに持ちこみ、1つは群落上部で、他は群落下層で光一光合成曲線を求めた。その結果は第3図右図に示したとおりであって、群落上部よりも下部の葉の方が光飽和点が低下している。

第3図において戸外で光一光合成曲線を求める手続は光合成の日変化を追跡したものであって、日中から夕刻にかけて日射強度の低下にともなう光合成速度の低下を対応させたものである。それ故に弱光域では散乱光成分の増加していることが推測できる。とくに群落内部は散乱光成分が多くなるので光飽和点は第3図右図にみられるとおり15 Klux程度になる。また、馬鈴薯葉はスプーン状であるので、水平方向からの散乱光成分の利用効率がすぐれているとみなすこともできる。人工光源では光の照射方向が一方に固定され葉の裏面での受光量が戸外よりも少ないために、たとえ葉の表面での照度は戸外のものと同じであっても全受光量が劣るために光合成速度は戸外よりも低い値をとるものと考えられる。これらの結果からして Monsi und Saeki⁵⁾の方法を適用して馬鈴薯群落の光合成量を測定するとき、人工光で得られた光一光合成曲線を用いると大きな誤差を招来することが予測できる。

〔温度—光合成関係〕 光飽和点以上の照度を与えておいて、同化箱を外部より加温または冷却して、3~4時間にわたってゆるやかに葉温を変化させ、温度—光合成曲線を得た。その結果を第4図に示した。まず男爵薯についてみると5月25日では光合成の適温が30℃附近に認められる。ところが6月中、下旬になると、上から第2葉を除いて他の葉は15℃で最高値を示し、これより高温側では光合成速度が低下している。光合成速度の高い第2葉においても適温は22℃附近であり、明らかに5月下旬の傾向とは異なっている。

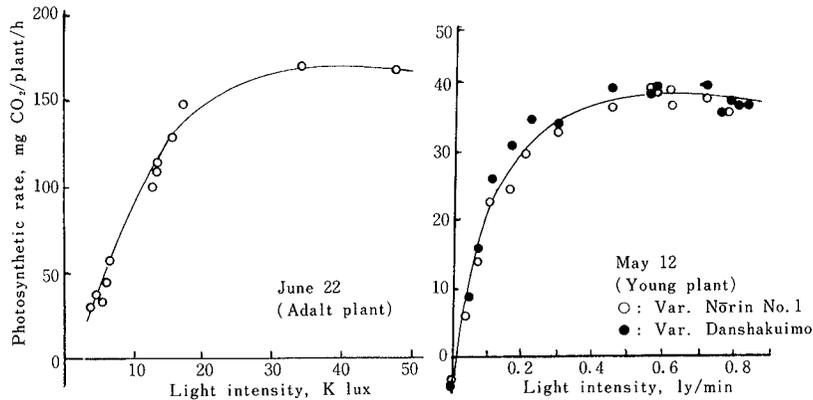


Fig. 2 Light-photosynthetic rate curves of plant at two growth stages under outdoor condition.

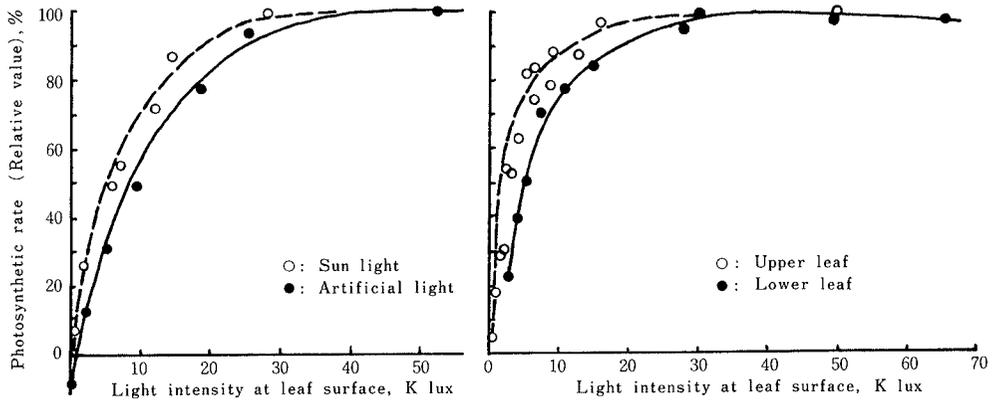


Fig. 3 Comparison with light-photosynthetic curves of leaf under sun light and artificial light (left), and upper leaf and lower leaf existing in potato population.

北海42号においては6月下旬でも光合成の適温は25~30℃にあり、著しい品種間差異が認められるようである。5月10日に測定した男爵薯の個体光合成の温度曲線を第5図にみられるとおりで、両品種には大差がなく、また呼吸の温度係数(Q_{10})も約2.1とほぼ等しい。純光合成に呼吸を加えたところの総光合成の温度曲線をみると両品種で大きなちがいがあり、北海42号はかなり高温になっても総光合成は低下しない傾向がうかがえる。

純光合成の温度曲線の品種間差異を明らかにする目的で5月27日に測定した個体光合成を比較したのが第7図である。葉面積に差異があるので光合成の絶対値には品種間で大きな差があるが、温度曲線の傾向から判断すれば、男爵薯、農林1号、島系471号は類似した温度反応を示すが、エニワと北海42号は前記3品種とは異なった傾向を示している。すなわち、エニワは純光合成の高温低

すぎない。他方、男爵薯で同様のことをみれば6 mgCO₂/dm²/hrの低下である。暗所で測定した呼吸速度は第6図にみられるとおりで、両品種には大差がなく、また呼吸の温度係数(Q_{10})も約2.1とほぼ等しい。純光合成に呼吸を加えたところの総光合成の温度曲線をみると両品種で大きなちがいがあり、北海42号はかなり高温になっても総光合成は低下しない傾向がうかがえる。

純光合成の温度曲線の品種間差異を明らかにする目的で5月27日に測定した個体光合成を比較したのが第7図である。葉面積に差異があるので光合成の絶対値には品種間で大きな差があるが、温度曲線の傾向から判断すれば、男爵薯、農林1号、島系471号は類似した温度反応を示すが、エニワと北海42号は前記3品種とは異なった傾向を示している。すなわち、エニワは純光合成の高温低

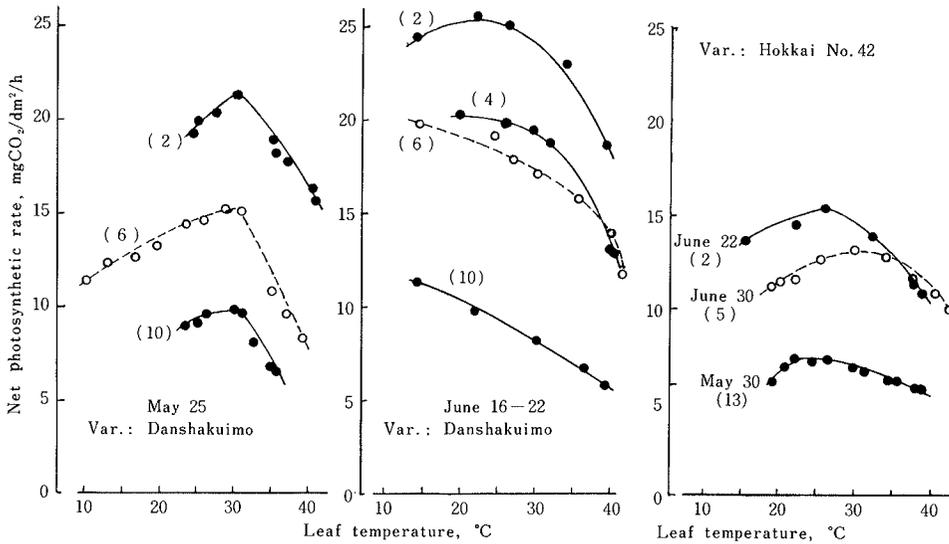


Fig. 4 Leaf temperature-photosynthetic rate curves of leaf in relation to leaf position and growth times.
Note. Leaf position was numbered from top-expanded leaf and as shown numeric in parenthesis in the figure.

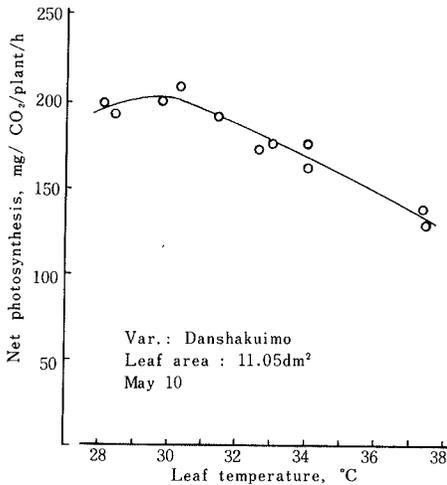


Fig. 5 Leaf temperature-photosynthetic rate curves of whole plant.

下現象が著しく、北海42号は27°Cから34°Cまでは変化がなく、それ以上の高温域ではじめて光合成の低下をみている。北海42号が供試5品種のなかで最も極晩生であり、初夏の高温期でも葉の枯れ上がりが少ない。この点とあわせて考えれば大変興味深い特性である。なお第7図は光合成の日変化曲線から、光飽和に達した値を選んで作成したものであって、午前と午後とで光合成速度には差異がみられなかった。快晴日における個体光合成の日変化曲線は、高温による低下がなければ台形状を示すもの

のと考えられる。

〔光合成速度に関する要因〕すでに明らかとなったが、馬鈴薯の純光合成速度の最高値は20~25mgCO₂/dm²/hr程度である。この値をすべての葉が示すものではなく、生育時期により、また同一時期においても個体内の葉位で異なっている。その実態を示すために第8図をあげた。第8図(A)は男爵薯の5月26日における葉位別光合成速度である。上位葉は20mgCO₂/dm²/hr以上の値を示すが下位葉になるにつれて光合成速度は低下し、第12葉では4mgCO₂/dm²/hrである。さらに6月29日となると〔第8図(B)〕下位葉の値は前回と変わらないが、上位葉の値が10mg/dm²/hr程度まで低下している。6月29日の農林1号においても上位葉の値は15mgCO₂/dm²/hrであり、下位葉は5mgCO₂/dm²/hrとなっている。馬鈴薯葉の純光合成速度は全体に緑色を保っている老化した葉では他の作物⁸⁾のそれと同様に5mgCO₂/hr程度であると指摘できる。

一般に純光合成速度は生育初期に高く後期に低下する傾向であるが、早生種である男爵薯の光合成速度の低下は農林1号よりも早い時期におこっている。この純光合成速度の時期的変化と関連する要因を探るために、葉身内3要素成分の変化を関連づけてみたが、葉身内の3要素濃度の変化と光合成速度のそれとの間には相関は認められなかった。イネ、トウモロコシ、ソルガム葉身では葉身のN濃度に高い相関を持つことが指摘されてい

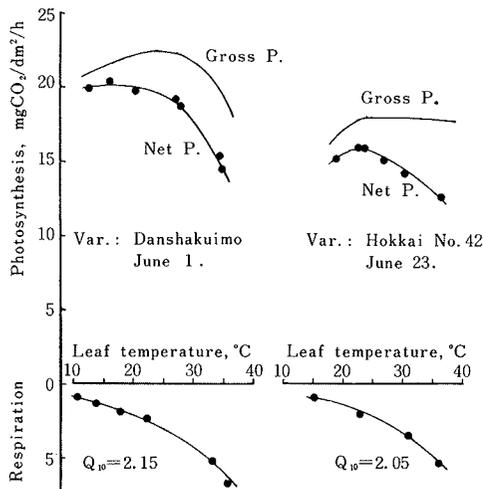


Fig. 6 Relation between leaf temperature and gross photosynthetic rate of leaf.

る^{6,8)}が、馬鈴薯ではその様な関係は見出し難い。

各生育時期の純光合成速度と葉身呼吸速度との相関を調べてみると、第9図のごとき傾向が得られた。葉身呼

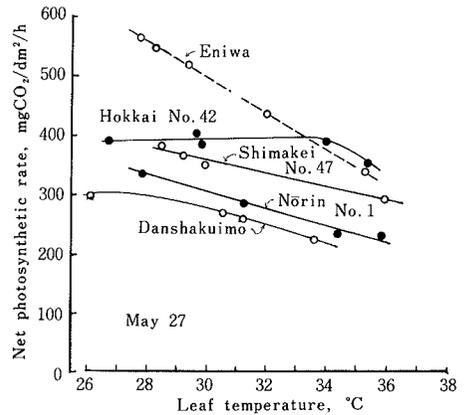


Fig. 7 Comparison of varietal difference leaf temperature-photosynthetic rate curves of whole plant.

吸速度の時期的変化の巾は3~9 mgCO₂/dm²/hrであり、その範囲においては純光合成速度と高い正の相関関係がある。一般に若い葉身では呼吸速度が大であって、また光合成速度も大であることは他の作物⁸⁾においても認められている。しかし呼吸と光合成とがどのような因

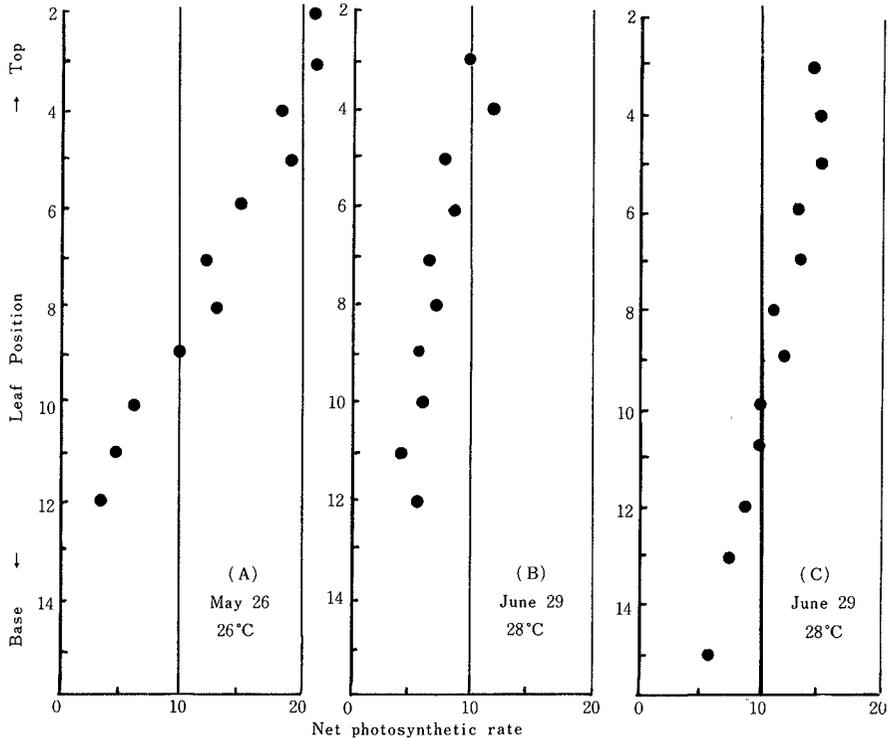


Fig. 8 Changes of photosynthetic rates as shown successive leaves of potato plant. Note. (A) and (B): Var. Danshakuimo. (C): Var. Nōrin No. 1.

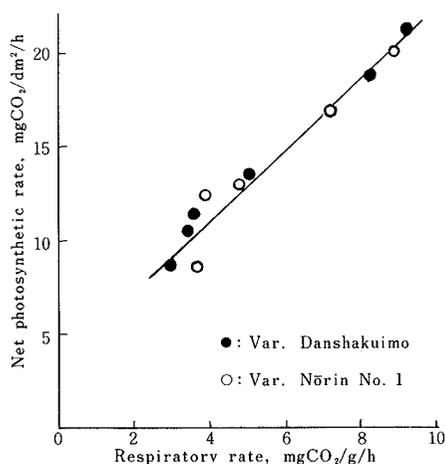


Fig. 9 Relation between respiratory rate of leaf at 25 °C and net photosynthetic rate.

果関係で本質的に結ばれているかは現在のところ不明である。植物におけるAgingの進行と生理活性の低下との関係が本質的に究明されていない現状では、第9図の関係について立ちいった考察がなされないのであるが、同図のごとく呼吸と光合成との間に顕著な相関の認められる点は現象的ではあるにせよ注目に値することがらである。

度が大きい場合が多い。葉面積を拡大しつつある葉では、光合成産物は当該葉身の造成に利用され、その葉自体がSink（光合成産物の受容体）となっている。津野、藤瀬¹⁰は甘藷において、塊根肥大を良好ならしめる条件が、光合成速度を高く維持する条件であることを指摘した。また、Nösberger and Humphries⁷は馬鈴薯の塊茎を除去すると純同化率が低下することを報告している。これは馬鈴薯においても、いわゆるSink-Source関係が光合成速度に影響することを示唆している。

そこで、彼等と同じ塊茎除去操作⁷をおこなった馬鈴薯の個体光合成を測定し、平均光合成速度を算出してみると第1表のとおりである。同表のNo.1における塊茎除去株は、除去処理後に再び塊茎が形成されたものであるが（第2表参照）、対照株と比べて光合成速度は低下してはいない。ところが、同表No.2での塊茎除去株では著しく光合成速度が低下している。また同様に蒸散速度も低下している。測定例が少ないため断言はさげなければならぬが、馬鈴薯においてもSink-Source関係が光合成速度に影響を及ぼすようである。

論 議

すでに述べたとおり馬鈴薯の光合成作用に関する成績は極めて少ない。しかし、Lundegårdh⁴の研究によって基

Table 1. The influence of removing tubers on mean net photosynthetic rate of whole plant (mg CO₂/dm²/hr) and rate of transpiration per unit leaf area (gH₂O/dm²/hr)

Series	No. 1		No. 2	
	Cont.	Remo. tuber	Cont.	Remo. tuber
Photosynthesis	24.3	23.1	23.1	14.5
Transpiration	2.46	2.51	2.00	1.35

Note. No.1; June 13, 30 - 32 °C. No.2; June 14, 28 - 30 °C. The values in the table are averages of four measurements during am 9:30 - 12:00.

Table 2. Dry weight (g) of material plant at immediately after of measuring for photosynthesis

Series	Treatment	Leaves	Stem	Root	Tuber	Whole plant	Leaf area(cm ²)
No. 1	Cont.	16.4	7.3	2.6	17.7	44.0	2854
	Remo. tuber	16.0	10.0	2.4	4.6	33.0	2784
No. 2	Cont.	22.8	12.5	1.7	18.9	55.9	3967
	Remo. tuber	25.7	26.9	2.0		54.6	4472

Note. Removing tubers was applied with the method of Nösberger, J and E.C. Humphries(1965)

光合成速度の律速要因については、明確に指摘することはできなかったが、ただ、葉身の呼吸速度と光合成速度との間に高い相関が認められた。一般に作物体各部位において呼吸速度が大である場合はその部位の生長速

本的な特性はある程度うかがうことができる。すなわち、馬鈴薯葉の光合成速度は20mgCO₂/dm²/hr程度であり、通常大気のコ₂濃度のもとでは20°C附近に適温がある。また、Chapman and Loomis²によって圃場条件下で測定

された純光合成速度にしても上記の成績を裏付けるものである。ただ彼等は光合成速度の温度係数 (Q_{10}) は広い範囲で1.0であるという前提で実験をおこなった。

本報告の結果からしても馬鈴薯の光合成速度の最高値は20~25mgCO₂/dm²/hrであり、過去の成績と大差がない。また、その値に大きな品種間差のないことも Chapman¹⁾の指摘するとおりであった。本報告は光合成速度の時期的変化をとらえた点と葉位別に詳細に光合成速度を明らかにした点が新発見を加えたと言える。

光飽和点は人工光源のもとでは30 Klux附近にあるが、戸外で太陽光のもとで得られた光—光合成曲線での光飽和点はさらに低下し、散乱光成分の増加にしたがって、比較的弱い照度のもとでも高い光合成速度を示す点を強調したい。これは馬鈴薯葉の形態と関連をもち、本作物の葉は散乱光成分を利用しやすい形態をとっていると考えられる。

温度—光合成曲線は生育時期により異なり、関東平野部では6月よりも5月において、適温がより高温域に存在すると推察できる。生育がすすむにつれて光合成の適温が低温側に移動する現象についてはすでに著者によって報告¹¹⁾されている。この現象が夏期から秋にかけて起るのならば気温が低下するので問題は少ないが、春植え夏収穫といった作型では気温が上昇するので問題は深刻である。夏期高温になると馬鈴薯生育が急速に衰える一つの原因は、温度—光合成関係の変化により、耐暑性が低下する点にあると考えられる。しかし、北海42号のような極晩生種は高温域で光合成の低下の少ないのが特徴的であった。このことは馬鈴薯の生態反応として極めて注目される現象である。栗原ら³⁾は栽植時期を変えた試験より馬鈴薯の萌芽期適温を12—16℃、莖葉伸長期適温を19—21℃、23℃以上では莖葉伸長不適温としていることからわかるように、この作物の生育適温は一般に低温域にある。暖地において初夏の昇温とともに急速に葉身が枯れ上がる現象は、本作物の生育後期における光合成適温の低下現象とも密接に関連していると考えられる。北海42号のごとき品種の存在は将来において優良な極晩生種育成の可能性を光合成作用特性の面から示唆できる。

摘 要

(1) 植木鉢に栽培した春作馬鈴薯における個葉ならびに個体の光合成作用を流気法で測定した。

(2) 純光合成速度の最大値は25mgCO₂/dm²/hrであり、最低値は5mgCO₂/dm²/hrであった。一般に先端附近の若い葉ほど光合成速度は大であった。

(3) 人工光源の下での光—光合成曲線は30 Klux附近で光飽和を示したが、その葉を戸外の散乱光成分の多い条件下で測定すると、光飽和点はさらに20 Klux程度まで低下した。

(4) 温度—光合成曲線は6月よりも5月において高温域に適温があり、生育後期になると高温域での低下が著しくなった。極晩生種の北海42号は高温域での光合成の低下が少なかった。

文 献

- (1) Chapman, H. W. : Absorption of CO₂ by leaves of the potato. *Amer. Pot. Jour.*, **28** 602 (1951)
- (2) Chapman, H. W. and W. E. Loomis : Photosynthesis in the potato under field conditions. *Plant Physiol.*, **28** 703 (1953)
- (3) 栗原浩・西川栄栄・田畑健司・大久保隆弘 : 馬鈴薯の栽培条件と生育との関係に関する解析的研究。東北農試報, **28** 143 (1967)
- (4) Lundegårdh, H. : *Klima und Boden in ihrer Wirkung das Pflanzenleben* (植物実験生態学, 門司, 山根, 宝月訳, 岩波書店). (1957) p.42, 125
- (5) Monsi, M. und T. Saeki : Über den Lichtfactung für in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. Bot.*, **14** 22 (1953)
- (6) 村田吉男 : 水稻の光合成作用とその栽培学的意義に関する研究。農技研報, **D 9** 1 (1961)
- (7) Nösberger, J. and Humphries E. C. : The influence of removing tubers on day-matter production and net assimilation rate of potato plants. *Ann. Bot. N. S.*, **29** : 579 (1965)
- (8) 佐藤 亨・津野幸人 : 作物体各部位のCO₂収支に関する研究。第3報, 水稻, トウモロコシ, ソルガム葉身の部分別光合成速度。日作紀 **44** 389 (1975)
- (9) 津野幸人・稲葉伸由・清水 強 : 主要作物の収量予測に関する研究。V、水稻乾物生産と体内窒素並びに日射量との関係。日作紀, **28** 188 (1959)
- (10) 津野幸人・藤瀬一馬 : 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究。農技研報告, **D 13** 1 (1965)
- (11) 津野幸人 : 数種作物における光合成作用と蒸散作用との関連について。日作紀, **44** 43 (1975)