水稻多収性品種の生理生態的特徴について

—アケノホシと日本晴の比較—

第1報 収量および乾物生産*

蔣 才 忠・平 沢 正・石 原 邦

(東京農工大学農学部)

昭和62年7月30日受理

要 旨：水稻品種の多収性機構や多収穫水稻のもつべき生理生態的諸性質を明らかにするため、最近育成された多収性品種アケノホシと日本晴を用い、両品種の収量および乾物生産特性について検討した。

アケノホシは日本晴に比べて地上部乾物重が大きく、1穂穎花数が著しく多いので単位面積当り穎花数も多く、収量は170 kg/10 a 以上多かった。アケノホシの地上部乾物重が大きい要因を生長解析によって検討したところ、アケノホシの個体群生長速度 (CGR) が日本晴に比べてとくに登熟期に大きくなり、この両品種の相違は平均葉面積指数 ($\overline{\text{LAI}}$) ではなく、アケノホシの純同化率 (NAR) が日本晴より大きいことによってもたらされていることが認められた。NAR は主として葉の立体的配列と関連する受光態勢および個体群の葉群を構成する個々の葉の光合成速度とによって規定されるが、個体群構造、吸光係数には両品種の間でほとんど相違は認められなかったことから、両品種の NAR の相違は葉の光合成速度にあることが推察された。

なお、収量に影響するもう一つの要因、すなわち、穂における光合成産物の蓄積過程についてみると、アケノホシは乾物生産が高く穎花数が多くシンクが大きいだけでなく、穂への光合成産物の蓄積能力が長く持続するのに対し、日本晴はその能力が早く低下する、いいかえると穂の老化が早いことが認められた。

キーワード：イネ、乾物生産、個体群構造、受光態勢、純同化率、生長解析、多収性品種。

Physiological and Ecological Characteristics of High Yielding Varieties in Rice Plants I. Yield and Dry Matter Production : Cai-Zhong JIANG, Tadashi HIRASAWA and Kuni ISHIHARA (*Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

Abstract : To clarify the physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants, the yield, its components and the process of dry matter production were compared between the cultivar Akenohoshi, a new high yielding variety, and the cultivar Nipponbare, a Japanese standard variety.

The yield was 170 kg/10 a higher in Akenohoshi than that in Nipponbare due to higher dry matter production and larger spikelet number per unit area in Akenohoshi with larger panicles compared with those in Nipponbare. The process of dry matter production was examined by growth analysis method. The crop growth rates were higher at all stages and especially much higher at the ripening stage in Akenohoshi owing to higher net assimilation rates as compared with those in Nipponbare. Leaf area indices at the panicle formation and ripening stages were not different significantly between the two varieties. Net assimilation rates were affected by the canopy structure related to leaf arrangement and photosynthetic rates of leaves in the canopy. As the light extinction coefficient at the panicle formation and ripening stages was not significantly different between the two varieties it was assumed that the difference in the net assimilation rates between the two could be due to the difference in the photosynthetic rates of leaves in the canopy. Furthermore, the process of dry matter accumulation in the panicle was compared and was discussed from the point of the senescence of the panicle.

Key words : Canopy structure, Dry matter production, Growth analysis, High yielding variety, Light intercepting characteristics, Net assimilation rate, Rice plant.

水稻多収性品種の性質あるいは多収穫を上げ得る水稻の備えるべき性質について、とくに光合成、物質生産の面から多く研究されてきた。これらの研究を通じて品種改良あるいは栽培における生育制御の目標が想定され、多収性品種の草型、いわゆる理想型水稻のイメージが描かれるようになった^{6,17)}。

しかしながら従来の研究をみると、品種の多収性によってあるいは高い栽培技術によって実際に多収穫を上げた水稻について、光合成、物質生産に関連する諸性質のうち、いかなる性質によって多収穫を上げ得たかに着目して行われた解析的研究^{8,16)}は必ずしも多くない。この理由は品種に着目すれば、日本の品種改良が品質、食味を重視して行われてきたことと関連して、栽培されている品種は相互に遺伝的に近縁で¹⁰⁾、収量の相違が小さく、また生理、生

* 大要は、第179回講演会(昭和60年4月)において発表。本研究の一部は文部省科学研究費によった。

態、形態的性質が類似していることにありと考えられる。

最近、飼料を含めて水稻、米を他目的に利用することが考えられ、品質を考慮せずもっぱら多収のみを目標として改良された品種や、韓国で育成された多収性の日印交雑品種の栽培試験が行われるようになった。このような品種は天候条件がよければ著しく多収となるので、光合成、物質生産の面から解析的研究を通じて、品種の多収性の基礎となる生理、生態、形態的特徴を研究することが可能である。このような研究を通じて多収性の機構を生理、生態、形態学的に明らかにすることは、多収性品種の育成あるいは多収穫栽培の基礎として重要と考える。とくに品種の育成については、遺伝子操作、染色体工学など新しい育種技術が実用の段階に入りつつある現在、その重要性はますます大きくなっていると考えられる。

このような観点から、日本で栽培されている品種と上述した多収性品種の生理、生態、形態について光合成、物質生産に着目しつつ、研究を行っているが、ここではそのうち日本晴と最近育成されたアケノホシを比較した結果について報告する。

実験材料および方法

本実験は、最近育成された多収性品種アケノホシと日本晴を用いて1984年、1985年の2年にわたり、本学農学部附属農場本町水田（多摩川沖積土壌）において行った。栽培方法は両年ともほぼ同様であったので、1984年について述べる。5月9日に畑苗代に播種し育苗した第7葉抽出期の苗を6月13日に、 m^2 当り22.2株（30 cm×15 cm）、1株3本の栽植密度で手植移植した。肥料は基肥として堆肥3,000 kg/10 a、化成肥料（14-14-14）35.7 kg/10 a、追肥として8月2日と9月2日にそれぞれ化成肥料（16-0-16）18.8 kg/10 aを施した。移植後はほぼ全生育期間にわたって湛水状態とし、除草および病虫害防除を随時に行った結果、両品種とも生育は順調で出穂日は8月24日、収穫日は10月29日であった。なお、1985年でとくに1984年と異なるのは、追肥が8月5日、30日であることと、出穂期、収穫日がそれぞれ8月26日と11月8日であることであった。

生育調査は常法にしたがって、1週間おきに葉齢、草丈、茎数を測定した。80株ずつ3ヵ所計240株を採取し、各箇所から平均の生育を示す株計14

株を選び、収量および収量構成要素を調査した。

乾物増加量測定、生長解析のための試料採取は最高分げつ期から2週間おきに以下のように行った。各生育時期に平均的茎数をもつ株10株を採取し、葉身、茎（葉鞘を含む、以下同様）、穂に分け、それぞれを90°Cで72時間通風乾燥して乾物重を測定した。なお、各株の葉面積は3株の全葉身の葉面積を自動葉面積計（林電工製）で測定して比葉面積を求め、その他の株の葉身重にこの比葉面積を乗じて算出した。

個体群構造と吸光係数は以下のように測定した。中庸な生育を示す場所を選び、散光下で条間、株間および4株の中心の3ヵ所の相対照度を10 cmの高さごとに測定した後、高さ10 cmごとに層別に4株を葉身、茎、穂に分けて刈取った。葉面積を自動葉面積計で測定した後、90°Cで通風乾燥し、乾物重を測定した。吸光係数は門司-佐伯の方法によって算出した。

実験結果

アケノホシと日本晴の関係は1984年と1985年とではほぼ同じであったので、主として1984年の結果について述べる。

生育、収量構成要素および収量 生育経過についてみると、葉齢は両品種ともほぼ等しく推移し、16葉が止葉であった。最高分げつ期の分げつ数は日本晴で23本とアケノホシより5本多く、草丈は最高分げつ期頃から差が生じ、出穂期にはアケノホシが5~10 cm高かった。収量構成要素を比較すると、穂数は日本晴が多かったが、アケノホシでは2次枝梗着生穎花数が110.0と多かったため、1穂穎花数は170.8と著しく多く、その結果、 m^2 当り穎花数はアケノホシで著しく多くなった（第1表）。アケノホシの登熟歩合は2次枝梗に着生した穎花の登熟歩合がとくに低かったため、日本晴に比べてかなり低かったが、部分刈り収量および収量構成要素から算出した収量のいずれも、アケノホシは約700 kg/10 aで日本晴に比べて170 kg/10 a以上収量が多かった。なお、日本晴のもみわら比は0.63で、アケノホシの0.94に比べて著しく低かった（第1表）。1985年では両品種の収量はそれぞれ569.6 kg/10 a、622.8 kg/10 aで、収量差は53 kgと1984年に比べれば小さかったが、収量構成要素、もみわら比の両品種の関係は変わらなかった。

乾物重および乾物生産過程 日本晴に比べてア

Table 1. Yield and yield components (1984).

Variety	Panicle no. per m ²	Spikelet no. per panicle	Total spikelet no. per m ² × 1000	Filled spikelets %	1000 kernel wt. g	Brown rice yield kg/10 a	Unit area sampling yield kg/10 a	Grain- straw ratio
Nippon- bare	330.8 ± 20.0	96.2 ± 4.4 (46.5)*	31.8	76.3 ± 6.9 (74.0)	22.4 ± 0.5	540.9 ± 57.8	473.0 ± 23.3	0.63
Akeno- hoshi	288.6 ± 26.2	170.8 ± 18.2 (110.0)	49.3	68.3 ± 3.7 (57.9)	21.5 ± 0.3	718.9 ± 95.6	715.4 ± 35.2	0.94
LSD _{0.01}	32.4	20.2		6.3	0.5	80.7	67.6	0.14

*Values in parentheses show spikelet number and filled spikelet percentage on secondary rachis branches.

ケノホシの収量が著しく高くなった要因を乾物生産の推移から検討した (第1図)。まず、地上部重の推移をみると、アケノホシの地上部重は測定を開始した7月20日以後は日本晴に比べて常に大きかった。両品種の地上部重の差は登熟後期の9月20日以後とくに大きく、収穫時には日本晴が76.5 g/株であったのに対してアケノホシは82.3 g/株で日本晴に比べて8%大きかった。

日本晴とアケノホシではもみわら比が異なったので、出穂後の乾物重を穂重と茎重に分けて比較した (第1図)。穂重は出穂後約1ヵ月急激に増加し、アケノホシの穂重は日本晴に比べて常にやや大きく推移した。9月20日以後はアケノホシの穂重は引き続き増加しているのに対して、日本晴の穂重はほとんど増加しなかった。一方、茎重は出穂後1ヵ月間は両品種間で相違は明らかではないが、9月20日以後の1ヵ月間はアケノホシではほとんど増加しなかったのに対して日本晴では30.3 g/株から38.9 g/株と大きく増加した。なお、収穫期に日本晴の稈基部にはいわゆる「ひこばえ」が多く発生していた。

さらにアケノホシと日本晴の地上部重増加の相違を生長解析を通じて検討した (第2図)。個体群生長速度 (CGR) は、両品種とも7月20日から8月20日まで大きかったが、8月20日以後生育がすすむに従って小さくなった。両品種の CGR を比べると8月20日から9月5日までの期間を除けば、アケノホシが日本晴より常に大きく、とくに登熟期に両品種の相違が大きかった。すなわち、日本晴、アケノホシの CGR は9月5日から2週間ではそれぞれ 10.4 g/m²/day, 16.5 g/m²/day, 9月20日から2週間ではそれぞれ 2.5 g/m²/day, 4.7 g/m²/day で、アケノホシの CGR は日本晴に比べて50%~90%大きかった。このような CGR の相違を純同化率 (NAR) と平均葉面積指数 (LAI) に分けてみると、7月20日から9月5日までの期間のアケノ

Fig. 1. Changes in dry weight of the whole plant, stem and leaf sheath, and panicle as well as ratoon number per hill in Nipponbare (solid lines) and Akenohoshi (dotted lines) (1984). The arrow shows heading date.

*** Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

ホシの NAR は日本晴に比べて20%大きかったが、 $\overline{\text{LAI}}$ は日本晴が大きいのので、NAR の差ほど CGR の差は大きくならなかった。つぎに9月5日以後についてみると、 $\overline{\text{LAI}}$ は両品種で大きな違いはなく、両品種の CGR の大きな違いはもっぱらアケノホシの NAR が日本晴に比べて著しく大きいことによってもたらされた。すなわち9月5日から2週間ごと

のアケノホシの NAR は $2.9 \text{ g/m}^2/\text{day}$, $0.9 \text{ g/m}^2/\text{day}$ でそれぞれ日本晴に比べて 60%, 80% 大きく、この相違がアケノホシと日本晴の CGR の違いをもたらした。以上の結果から、アケノホシが日本晴に比べて、乾物生産量がとくに多いのは、アケノホシの NAR が高いことに関係していることがわかった。

個体群構造および受光態勢 NAR は通常個体群構造、吸光係数で表わされる受光態勢と個体群の草冠を構成する各葉身の光合成速度によって決まるので、ここでは個体群構造と受光態勢について検討した。

まず個体群構造をみる。幼穂形成期では LAI は日本晴が著しく大きい、両品種とも葉身は 30 cm から 80 cm の層に集まり、茎重の層別分布にも両品種に違いは認められなかった（第3図A）。登熟前期でも両品種とも葉身は 30 cm から 90 cm の層に多く集り、穂は 80 cm から 100 cm の間にあった（第3図B）。登熟後期には葉身は両品種とも 30 cm から 80 cm に多く分布していたが、穂は登熟前期に比べて低くなり、両品種とも主として 60 cm から 90 cm に分布していた（第3図C）。しかし穂の上にある葉面積は両品種では異なり、アケノホシの葉面積は日本晴に比べて多かった。以上の結果から、登熟後期にアケノホシで穂より上の葉面積が多いことを除けば個体群構造には大きな相違は認められなかった。

つぎに吸光係数についてみると、幼穂形成期では日本晴、アケノホシの吸光係数はそれぞれ 0.39, 0.44 で、両品種で大きな違いはなかった（第4図A）。登熟前期では日本晴とアケノホシの吸光係数

はそれぞれ 0.60, 0.61 でほぼ等しかったが、両品種とも幼穂形成期に比べて大きくなり、生育がすすむに従って受光態勢がやや悪くなる傾向が認められた（第4図B）。登熟後期には日本晴とアケノホシの吸光係数はそれぞれ 0.60, 0.59 でほぼ等しかった（第4図C）。吸光係数については、1985 年にも測定した。その結果は第2表に示す通りで、1984 年と同様に吸光係数は生育がすすむほど大きくなったが、両品種で相違は認められなかった。

以上の結果、アケノホシは日本晴に比べて穂の上に分布する葉身がやや多いという特徴があるが、個体群構造、吸光係数ともに両品種で大きな違いはないといえる。

考 察

以上述べたように、アケノホシは日本晴に比べて乾物生産量が多く、収量もかなり高かった。しかし、実用的な品種という点からみれば、アケノホシは本実験においても、すでに指摘されている^{4,12)} ような改良すべき余地を多く残していることが見出された。すなわち、穂へ乾物が蓄積する期間は長く、このことは登熟期間を長くし、天候によって収量が不安定となり、また登熟歩合も低く、くず米も多く、さらに倒伏しやすいなどである。アケノホシはこのような多くの欠点をもっているが、本研究の目的ははじめに述べたように、品種の優れた性質、とくに乾物生産量が高く、多収になりうる諸特性を生理、生態、形態的に明らかにすることにあるので、以下アケノホシの乾物生産量、収量が日本晴に比べて高くなった要因に着目し、考察を行うことにした。

Fig. 2. Changes in crop growth rate (A), net assimilation rate (B) and mean leaf area index (C) in Nipponbare (solid bars) and Akenohoshi (open bars) (1984).

まず収量構成要素について両品種の特徴をみたい。日本晴では、1984年、1985年を通じて穂数は約330~350本/m²、1穂穎花数は約96~97、1m²当りの穎花数は3.2万~3.4万で、現在日本で栽培されている水稻の平均的な値¹¹⁾と著しく異なることはなく、登熟歩合は兩年を通じて76~77%であった。一方アケノホシでは、穂数は少ないが、2次枝梗に着生する穎花数が多く、1穂穎花数は171~193と著しく多くなり、その結果m²当りの穎花数は4.9万~5.7万であった。アケノホシのこの特徴は九州、四国、中国、近畿、東海、関東東山などの諸地域^{4,5,12,13,19)}においても認められている。近年水稻の収量水準を向上させるためには、m²当り

穎花数を増すこと、換言すればシンクを拡大することの重要性が強調されており^{9,14,20)}、この点から日本晴に比べてアケノホシの収量が高いのはもっぱらm²当り穎花数が多く、シンクが大きいという特徴にあるとすることができる。確かに、シンクである穂などを切除するとソースである葉身の光合成速度が低下するなどの研究³⁾はあるが、従来の研究ではシンクが大きくなることによってソースの能力がどのような影響を受けるかは必ずしも明らかにされていない。すなわち、大きいシンクに十分に光合成産物が蓄積し、収量が高くなったのは、乾物生産に関連する諸過程のうちどの過程が変化することによって達成されたかは必ずしも明らかではなく、この点

Fig. 3. Distribution profile of leaf area, panicle dry weight (black portions), stem and leaf sheath (shadowed portions), and relative light intensity (dotted lines) in the canopy of Nipponbare (left) and Akenohoshi (right) at the panicle formation (A), the early (B) and the late (C) ripening stages (1984).

Fig. 4. Relation between leaf area index and relative light intensity inside the canopy at the panicle formation (A), the early (B) and the late (C) ripening stages in Nipponbare (solid lines) and Akenohoshi (dotted lines) (1984).

K in figure indicates light extinction coefficient.

を追究することが重要と考えられる。

水稻の収量は乾物生産量と生産された乾物の穂への分配の2つに分けて考えることができるので、以下それぞれについて検討してみたい。まず日本晴とアケノホシの乾物生産量についてみると、出穂期における地上部乾物重は日本晴とアケノホシで大きな相違はなかった。登熟期間中の乾物生産量が著しく異なり、地上部乾物重の増加は日本晴で小さくなるのに対して、アケノホシは引き続き大きく増加した。その結果、収穫期には日本晴、アケノホシの地上部乾物重はそれぞれ 76.5 g/株、82.3 g/株であった。すなわち、収量の 60~80%を生産するとされる¹⁷⁾ 出穂後乾物生産量が日本晴に比べてアケノホシでとくに高いことになる。

登熟期間中における乾物生産が両品種の間で異なる要因を生長解析によって検討した。その結果、登熟初、中期とも両品種の $\overline{\text{LAI}}$ がほぼ等しいことから、登熟期間のアケノホシの CGR が日本晴に比べて高いのはアケノホシの NAR が日本晴に比べて高

Table 2. Comparison of light extinction coefficient at the panicle formation, and the early and the late ripening stages (1985).

Variety	Stage	Ripening	
		early	late
Nipponbare	Panicle formation	0.33	0.49
Akenohoshi	Panicle formation	0.34	0.52
		0.49	0.59
		0.52	0.58

いことによることが明らかとなった。なお、出穂期以前においてもアケノホシの NAR は日本晴に比べて高かった。

NAR は主として個体群構造、とくに葉の空間的配列と関連する受光態勢と個体群を構成する個々の葉身の光合成速度とによって規定される。そこで本研究では個体群構造と吸光係数について検討を行った。幼穂形成期から登熟前期にかけて両品種の葉身および茎、穂の個体群内の分布などの個体群構造および吸光係数には大きな相違がなく、登熟後期でもアケノホシでは日本晴に比べて穂より上にでている葉面積がやや多かったという点を除けば、個体群構造、吸光係数に両品種の間でほとんど相違は認められなかった。この点では日本晴に比べて穂より上に止葉が出て、穂の上に分布する葉面積が著しく多く、吸光係数が生育期間を通じて日本晴より小さい密陽 23 号とは非常に異なっていた²⁾。なお、武田らは葉面積密度が高いほど CO_2 拡散係数が小さいことに着目し、葉面積密度と個体群光合成速度との関係を検討し、物質生産における葉面積密度の重要性を指摘している^{15,18)} が、個体群構造として今後さらに検討されるべき問題であると考えている。

以上、本研究において検討した個体群構造、吸光係数からみた受光態勢については、アケノホシ、日本晴で大きな相違はなく、したがってアケノホシの NAR が大きい主たる要因は、個体群を構成する葉身の光合成速度にあると考えられる。この点については第 2 報で詳細に述べることにしたい。

最後に、生産された乾物の穂への分配の問題についてふれておきたい。すでに述べたように、穂の乾物重はアケノホシでは収穫期まで増加しつづけたのに対して、日本晴は出穂後 40 日でほぼ頭打ちになった。日本晴の穎花数はアケノホシに比較すれば著しく少ないが、日本晴の登熟歩合は 76~77%と必ずしも高くなく、穂に光合成産物が蓄積する余地は充分残っていると考えられる。それにもかかわらず、穂の乾物重の増加が止まり、稈の基部からいわ

ゆる「ひこばえ」が発生していたことは、日本晴の穂の乾物蓄積能力が比較的早く停止したことを示している。一方アケノホシは登熟歩合は低かったが、日本晴に比べてもみわら比が高く、光合成産物が穂へ充分に移行したと考えられる。このことから、アケノホシは穎花数が多くシンクが大きいだけでなく、穂への乾物の蓄積能力が長く持続するのに対して、日本晴はその能力が早く低下する、いいかえると穂の老化が早いと考えられ、これがどのような要因によって生じるかについては今後検討したいと考えている。

引用文献

1. Cock, J.H. and S. Yoshida 1972. Accumulation of ^{14}C -labelled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in rice plant. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 41: 226—234.
2. 石原 邦・滝川佳秀・斉藤邦行 1987. 水稻の光合成、物質生産と草型. 育種学最近の進歩 第23集. 11—19.
3. King, R.W., I.F. Wardlaw and L.T. Evans 1967. Effect of assimilate utilization on photosynthetic rate in wheat. *Planta* 77: 261—276.
4. 小松良行・松尾善義・上村幸正 1985. 多収性外国稲の品種生態の解析. 7) 穂首節間の大維管束からみたアケノホシの特徴. *日作紀* 54(別1): 10—11.
5. 楠田 幸・芝山秀次郎・小林廣美 1984. 水稻中国91号の収量構成要素からみた多収性. *日作紀* 53(別1): 38—39.
6. 松島省三 1973. 稲作の改善と技術—理想稲による多収安全良質稲作—. 養賢堂, 東京.
7. ———・和田源七 1958. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. XLVIII. 水稻登熟機構の研究(9). 出穂前貯蔵炭水化物・出穂後蓄積炭水化物及び出穂時窒素含量が水稻の登熟歩合並びに収量に及ぼす影響. *日作紀* 27: 201—203.
8. 村田吉男・猪山純一郎・姫田正美・泉 清一・河辺愛宏・神前芳信 1967. 光合成と物質生産から見た水稻の深耕密植栽培の研究. *農技研報* D15: 1—53.
9. 村山 登 1969. 続・水稻の施肥と登熟に関する栄養生理(2). *農業技術* 24: 251—256.
10. 野口弥吉 1968. 育成品種の系譜表示に関する提案. *農及園* 43: 3—10.
11. 農林水産省統計情報部 1985. 昭和59年産作物統計 27: 294—298.
12. 芝山秀次郎 1986. 多収稲「アケノホシ」の品種特性と栽培法. *農及園* 61: 37—42.
13. 篠田次躬・藤井啓史・関沢邦雄・小川紹文・紫回和博・岡本正弘・山本隆一・山田利昭・鳥山国土 1985. 超多収水稻品種「アケノホシ」の育成について. *育種* 35(別1): 290—291.
14. Takeda, T. 1984. Physiological and ecological characteristics of higher yielding varieties of lowland rice with special reference to the case of warmer areas in Japan. In *Potential Productivity and Yield Constraints of Rice in East Asia*. *Proc. Internat. Crop Sci. Symp. Crop Sci. Soc. Japan. Fukuoka, Japan.* 125—139.
15. 武田友四郎・岡 三徳・梶 和一 1983. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第1報 明治期以降の新旧品種の乾物生産特性. *日作紀* 52: 299—306.
16. 津野幸人・佐藤 亨 1969. 水稻の多収穫に関する生理生態学的研究. 第6報 多収穫水稻の乾物生産とその解析. *日作紀* 38(別1): 27—28.
17. 角田重三郎 1964. 作物品種の多収性の研究—生長解析の立場より—. 日本学術振興会, 東京.
18. 内島善兵衛・宇田川武俊・堀江 武・小林勝次 1970. 作物群落内におけるエネルギーとガス交換に関する研究. 第8報 トウモロコシ群落内の拡散係数と葉面拡散速度. *農業気象* 25: 215—227.
19. 渡辺利通・芝山秀次郎 1985. 多収性品種アケノホシの収量構成要素と多収性. *日作紀* 54(別2): 12—13.
20. Yoshida, S. 1976. Carbon dioxide and yield of rice. In *Climate and Rice*. IRRI, Los Banos. 211—221.