水稻品種の乾物生産に及ぼす暗呼吸の影響

—早晩性の異なる品種の生長効率—

齊藤邦行*・大中隆史・黒田俊郎

(岡山大学)

要旨: 早生品種コシヒカリ、中生品種日本晴、晩生品種アケボノを供試し、生長パラメータ、暗呼吸速度を測定し、生長効率の推移を品種間で比較した。収量はアケボノ>日本晴>コシヒカリの順に高く、特にコシヒカリの登熟歩合が低かった。乾物総生産量も同様に晩生品種ほど高くなったが、これには葉面積指数が大きく、生育期間が長いことが関係していた。コシヒカリの葉面積は小さかったが、純同化率が高いことにより、生育前半の個体群生長速度が高く推移した。個体の暗呼吸速度(R_s)は、移植後10日頃にピークをとって以降、生育の経過とともに低下し、生育後半にはほぼ一定値をとった。穂の R_s は出穂後約1週間以内に最大値をとり、その後急速に低下してほぼゼロに近づいたが、コシヒカリでは成熟期においても $0.1 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 程度の値を維持した。面積当たりの呼吸消費量は各品種ともに出穂期前後に最大値をとりその後急速に小さくなり、生育全般を通じて日本晴で低く推移した。晩生品種ほど出穂期が遅くなり呼吸消費量の高い期間が持続した。生長効率(純生産量/総生産量)は生育初期には3品種ともに60%以上を維持したが、その後次第に低下して、登熟期には日本晴>アケボノ>コシヒカリの順に高くなった。登熟期の生長効率が低下した要因として、早生品種ほど気温が高く推移したこと、アケボノでは大きな植物体を維持するための呼吸量をより多く要したことが関係した。穂の生長効率はアケボノ>日本晴>コシヒカリの順に高くなったことから、高温下では穂の生長に関与しない呼吸が増大することが示された。

キーワード: 暗呼吸速度、乾物生産、水稻、生長効率、早晩性。

稲作において登熟期間は収量が決定される重要な期間であり、玄米の大部分はこの期間の光合成によって生産された炭水化物で構成される。これまで、登熟期の乾物生産、すなわちソースの活性を高く維持する観点から、受光態勢と関連する草型や個葉光合成速度の向上と老化の抑制など、光合成・物質生産に関する研究は数多く行われてきた。

しかし、作物の暗呼吸により生成されるエネルギーは植物体の合成や維持に用いられ、その消費量は光合成による総生産量の約半分に達する(Yamaguchi 1978)。暗呼吸は作物の代謝に必要なエネルギーを供給する反面、維持的な暗呼吸量の変動は、作物の生産性に大きな影響を与える。鈴木・中村(1977)は、暖地における平均気温とCGR・太陽エネルギー利用効率の間に、負の相関があることを認めている。また、登熟期の気温は玄米千粒重と負の相関を示すことが知られており(鈴木・中村 1978)、暖地においては登熟に適した平均気温の得られる時期に作期を移動するか、適した時期に登熟期をむかえるような晩生品種の選択が行われている。

Tanaka and Yamaguchi (1968)は光合成・呼吸・生長の相互関係を定量的に把握するため、生長効率(growth efficiency, GE)の概念を提案した。水稻群落の生長効率は栄養生長期には60%以上を維持し、登熟期には低下することが知られている(広田・武田 1978, Yamaguchi 1978)。また、Shi and Akita (1988)は生育期間を通じて気温が高い熱帯では、生長効率は生育後半には大きく低下することを認めている。したがって、生育後半における総生産量が等しい場合、暗呼吸量の増加、すなわちGEの低

下は直接的に純生産量の減少に結びつくことから、GEの変動要因を明らかにすることは極めて重要である。それら変動要因の中でも登熟期の気温は最も密接に関連するが、グロスチェンバーを用いて気温調節を行う場合、生育期間を通じた乾物生産や暗呼吸測定を行うための調査個体を数多く確保するのが極めて困難である。また、圃場試験を行う場合、同一品種を用いて作期を移動すると播種期に比較して成熟期の変動が小さくなる。そこで、本報告では早晩性の異なる3品種を供試し、乾物生産速度・暗呼吸速度を測定し、登熟期の気温が個体と穂の生長効率に及ぼす影響を品種間で比較した。

材料と方法

栽培方法と試験区: 1997年に、岡山大学農学部附属農場の水田(灰色低地土壌土)において、早生品種コシヒカリ、中生品種日本晴(注:岡山県では早生の晩に類別されるが、本研究では便宜上中生品種と称した)と晩生品種アケボノの3品種を供試して栽培を行った。5月13日に播種し、慣行に従ってポット育苗した苗を6月11日に栽植密度 22.2 株 m^{-2} ($30 \times 15 \text{ cm}$, 3本植)で手植移植した。試験区面積は各品種 100 m^2 とし、栽培管理は慣行に従って行った。出穂期と成熟期はそれぞれコシヒカリ8月10日、9月24日、日本晴8月18日、10月7日、アケボノ8月30日、10月22日であった。成熟期に各品種3地点から、それぞれ20株を収穫し、収量と収量構成要素を調査した。登熟歩合は脱粒、脱芒を行った粗粒から20g(4反復)を均分し、粒数に占める精玄米(粒厚 $>1.8 \text{ mm}$)の

割合として算出した。千粒重は水分含有率 15% に換算した。

生長解析: 地上部の器官別乾物重と葉面積の調査を行うために、移植日の翌日から 2 週間毎に各品種 20 株を抜き取り、根を切除して洗浄した後生体重を測定し、平均値に近い 8 株を選抜した。選抜個体は器官別に分解した後、80℃ で 48 時間通風乾燥し、乾物重を測定した。葉面積は最も平均に近い 4 株について自動葉面積計 (林電工製, AAM-8 型) を用いて測定した。以上の方法により得られた器官別乾物重と葉面積の値から、個体群生長速度 (CGR), 平均葉面積指数 (平均 LAI), 純同化率 (NAR) を算出した。

暗呼吸速度の測定: 暗呼吸速度は移植直後から約 1 週間ごとに測定した。各区 1 カ所 10 株を無作為に選んで茎数を数え、平均に最も近い 2 株を 15 時に圃場から抜き取り、根を洗浄して水道水に浸した状態で恒温暗室内に 3 時間放置した。これは、暗所へ移した直後の呼吸速度は昂進しており、安定するのに約 3 時間を要するためである (斎藤・杉本 1998)。18 時から $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に制御した呼吸チャンバー (MC-A3W 型, 小糸工業製) に入れて暗黒下においた。一定流量の空気を通気し、流入空気と流出空気の CO_2 濃度を赤外線ガス分析計 (島津製作所製, URA-107 型) を用いて測定した。流入空気はソーダライムを通過させて CO_2 を除去した空気に、一定濃度の CO_2 をガス混合装置 (小島製作所製, GM-2B 型) を用いて混合し、 CO_2 濃度を 300 ppm に調節した。この流入空気と、チャンバーからの流出空気の濃度差および流量から、気温 25°C における植物体の乾物 1 g, 1 時間当たりの CO_2 放出量を暗呼吸速度 (R_s) とした。また、チャンバー内の気温は銅-コンスタンタン熱電対を用いて測定した。

穂の暗呼吸速度は、個体当たりの CO_2 放出量から穂を切除して測定した CO_2 放出量を差し引くことにより、穂の CO_2 放出量を求め、 R_s を算出した。

暗呼吸量と生長効率の算出: 個体当たりの暗呼吸量は暗呼吸速度と乾物重の積として示される。まず、乾物調査日を挟む 2 点の暗呼吸速度を移植後日数で比例配分することにより、乾物重調査日の暗呼吸速度を推定した。推定した暗呼吸速度は気温 25°C 条件の値であるので、温度係数 $Q_{10}=2$ (Saitoh ら 1998) として、対応する期間の野外平均気温で補正した (注: Q_{10} は気温や基質レベルによって異なることが指摘されているが (Breeze and Elston 1978, Lee and Akita 1999), 本研究では一定と仮定した)。この値に m^2 当たりの乾物重を乗じ、炭水化物に換算して ($\text{CH}_2\text{O}/\text{CO}_2=0.681$), 1 日当たり m^2 (土地面積) 当たり炭水化物消費量を、乾物調査日の野外気温における呼吸消費量とした。

生長効率 (GE) は Tanaka and Yamaguchi (1968) の概念に従って、ある期間の乾物増加量 (ΔW) を求め、また呼吸消費量からその期間の積算呼吸量 (R_c) を求め、次式により算出した。

$$\text{GE} = \Delta W / (\Delta W + R_c)$$

また、栄養生長期・生殖生長期・全生育期間における個体と穂の GE を、それぞれの乾物増加量と日積算暗呼吸量から算出した。

結 果

収量と乾物生産: m^2 当たり精玄米収量はアケボノ (557 g), 日本晴 (499 g), コシヒカリ (458 g) と晩生品種ほど高くなった (第 1 表)。総粒数はコシヒカリ > アケボノ > 日本晴の順に多く、これにはコシヒカリの穂数が多く、日本晴の一穂粒数が少ないことが関係していた。登熟歩合はコシヒカリが 75.8% と低く、他の 2 品種では 90% 以上と高くなった。千粒重はアケボノ (23.5 g) > 日本晴 (22.4 g) > コシヒカリ (21.5 g) と晩生品種ほど高くなった。

個体の乾物重は移植後 60 日頃までコシヒカリで高く推移したが、その増加速度は出穂期以降小さくなった (第 1 図)。移植後 80 日以降はアケボノの乾物重がコシヒカリ、日本晴に比べて高く推移した。晩生品種ほど成熟期が遅れるため、最終乾物重はアケボノ > 日本晴 > コシヒカリの順に大きくなった。茎の乾物重も個体と同様に推移したが、出穂期以降各品種とも減少し、成熟期には再び増加した。その程度は日本晴で著しかった。葉身の乾物重も生育初期を除くと晩生品種ほど大きく、出穂期以降の減少程度はコシヒカリで大きかった。穂乾物重の増加速度は登熟初期に大きく、登熟後期には小さくなり、最終乾物重はアケボノがやや大きくなった。

CGR は生育初期にはコシヒカリで高く、その後直線的に低下したが、晩生品種ほど最大値をとる時期が遅れ、生育後期の減少程度も晩生品種ほど大きかった (第 2 図)。NAR は各品種ともに活着期が最大で、その後急速に、登熟期には徐々に低くなった。生育全般を通じて LAI の小さかったコシヒカリで高く推移した。平均 LAI は葉身の乾物重と同様に、晩生品種ほど最大値をとる時期が遅く、最大値も大きくなったが、減少程度はコシヒカリで著しか

第 1 表 収量と収量構成要素。

品種	穂数 (m^{-2})	一穂 粒数	総粒数 ($\times 10^3 \text{m}^{-2}$)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米 収量 (g m^{-2})
コシヒカリ	356a	73.0ab	25.9a	75.8a	21.5a	458a
日本晴	340a	69.6a	23.6a	90.9b	22.4a	499a
アケボノ	331a	76.0b	25.2a	91.1b	23.5a	557a

同一文字を伴う平均値間には、ダンカン法により 5% 水準で有意差がない。

第1図 乾物重の推移。
図中の縦棒は±標準偏差を示す。
矢印は出穂期を示す。

った。したがって、生育初期にコシヒカリのCGRが大きかったことにはNARが関与し、生育後期にアケボノほどCGRが高くなったことには主としてLAIが関係していると考えられた。

暗呼吸速度の推移: 個体のRsは移植後14日頃に最も高く、出穂期まで急速に、それ以降成熟期まで徐々に低下したが、いずれの品種ともに出穂7日後にはやや高まる傾向がみられた(第3図)。品種間で比較すると、明白な相違は認められなかったが、生育全般を通じてアケボノでやや高く、日本晴でやや低く推移した。穂のRsは出穂後約1週間以内に最大値を取り、その後急速に低下してほぼゼロに近づいたが、最大値はアケボノが他の2品種に比べ小さかった(第4図)。また、コシヒカリでは成熟期においても $0.1 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 程度の値を維持していた。

呼吸消費量と生長効率の推移: 面積当たりの呼吸消費量は各品種ともに出穂期前後に最大値を取りその後急速に小さ

第2図 CGR, NAR, 平均LAIの推移。
図中の矢印は出穂期を示す。

第3図 個体の暗呼吸速度の推移。
図中の矢印は出穂期を示す。

くなった(第5図)。生育全般を通じて日本晴で低く推移した。晩生品種ほど出穂期が遅くなり呼吸消費量の高い期間が持続した。穂の呼吸消費量は出穂後14日頃に最大値を取り、その後徐々に低下したが、最大値はコシヒカリ>日本晴>アケボノの順に高くなった。

各乾物調査期間における生長効率の推移をみると(第6図)、各品種とも移植後21日までは60%以上を維持したが、その後次第に低下して移植後63日以降コシヒカリで

第4図 穂の暗呼吸速度の推移。

第5図 呼吸消費量の推移(個体・穂)。

図中の矢印は出穂期を示す。

低く推移した。出穂期以降アケボノの生長効率は日本晴と大差なかったが、成熟期には4%まで低下した。品種による生長効率の相違は推定期間により異なっていたため、生育期間の呼吸消費量を積算して、出穂前と登熟期に分けて乾物増加量、呼吸消費量、生長効率を求めてみた(第2表)。

出穂前の乾物増加量(個体)は晩生品種ほど大きくなったが、出穂後には逆に晩生品種ほど小さくなった。出穂前の呼吸消費量は晩生品種ほど大きくなったが、出穂後には逆に晩生品種ほど小さくなった。その結果、出穂前の生長効率はコシヒカリ(55%)と日本晴(54%)に比べアケボノでは49%と低くなった。出穂後の生長効率は日本晴(45%)>アケボノ(39%)>コシヒカリ(37%)の順に高くなった。全期間を通じた生長効率も日本晴(51%)がアケボノ、コシヒカリ(46%)に比べて高くなった。穂の生長効率は穂の呼吸消費量の相違を反映して、アケボノ(81%)>日本晴(79%)>コシヒカリ(77%)の順に高くなった。

各期間の気象条件を比較してみると、出穂前の平均気温は約26℃と品種間で相違はなかったが、出穂後はコシヒカリ(27℃)>日本晴(24℃)>アケボノ(21℃)の順に高く、早生品種ほど登熟期の気温が高く推移した。積算日照時間はいずれの期間も晩生品種ほど長くなった。

第6図 生長効率の推移(個体)。

図中の矢印は出穂期を示す。

第2表 乾物増加量、呼吸消費量、生長効率の比較。

品 種	期 間	乾物増加量 (g m ⁻²)	呼吸消費量 (g m ⁻²)	生長効率 (%)	平均 気温 (℃)	積算 日照時間
コシヒカリ	出穂前	703	594	54.2	26.1	364
	出穂後	477	799	37.4	26.6	284
	全期間	1180	1393	45.9	26.3	649
日本晴	出穂前	875	705	55.4	26.4	415
	出穂後	440	541	44.9	24.2	299
	全期間	1315	1246	51.4	25.4	713
アケボノ	出穂前	1143	1197	48.9	26.6	522
	出穂後	338	532	38.9	21.4	315
	全期間	1482	1729	46.2	24.6	837
穂		482	110	81.4	21.4	315

考 察

一般に、作物を栽培して、最大収量を得ようとした場合、晩生品種を用いて、総乾物生産を高めるとともに、より大きなシンク量を確保することが最善の道と考えられる。しかし、暖地においては寒地に比べシンク量の拡大が難しく、収量も停滞気味に推移しているのが実状である。従来登熟期の乾物生産が収量の大部分を占めることから、登熟期の乾物生産を高めるような受光態勢の制御や肥培管理が行われてきた。また、登熟期の気温は玄米千粒重と負の相関を示すことが知られており(鈴木・中村 1978)、登熟を順調に行えるような気温(21~22℃、内島・羽生 1967)に出穂期が合致するような作期、品種の選択が行われてきた。その結果、栄養生長期には暖地の平均気温が著しく高いのとは対照的に、登熟期の気温は寒地と暖地間の相違は小さくなっている(和田 1991)。近年、暖地においてはコメの価格有利性のある早期栽培の増加や、良食味品種の作付け拡大に伴って、成熟期が早期化する傾向にあり、登熟期の高温が子実肥大を抑制する機構や、高温下でも登熟の良好な遺伝資源の探索など、早急に検討を行う必要がある。

初めに述べたように、登熟期間の気温が乾物生産、暗呼吸速度および生長効率に及ぼす影響を検討する場合、本来

同一品種を用いて、作期を変えて試験設計を行う必要がある。しかし、その場合播種期に比較して成熟期の変動が小さくなり、登熟期間中の気温の変動幅が小さくなることが予測されたため、本研究では早晩性の異なる3品種を用いて試験を行った。したがって、乾物生産に及ぼす気温の影響を考察する場合、その影響の相違には品種の特性を包括していることになる。以下、このことに十分配慮して、高温が生長効率に及ぼす影響について考察を行う。

収量は晩生品種ほど高く、これにはアケボノの登熟歩合と千粒重が高いこと、コシヒカリでは登熟歩合が低いことが関係していた(第1表)。千粒重も収量と同様に晩生品種ほど大きくなった。登熟期の高温は千粒重を小さくすることが認められており(鈴木・中村 1978)、早生品種ほど登熟期間の気温が高く推移したことが千粒重を小さくした要因であると推察された。しかし、千粒重は遺伝的支配が大きいことから、同一品種を用いて環境制御した条件下で、気温が千粒重に及ぼす影響を検討する必要があると考えられた。

乾物生産の特徴をまとめてみると、コシヒカリは生育初期のCGRが高く、晩生品種ほどLAIが大きくなり、CGRの高い期間が持続した結果総乾物生産量が大きくなった(第2図)。器官別にみると、晩生品種ほど葉身と茎の乾物重が大きくなった(第1図)。したがって、晩生品種ほどシンク以外の器官の占める割合が大きくなった。

Rsの推移をみると(第3図)、出穂期は品種間で異なるにも拘わらず、Rsはほぼ同様な傾向で推移した。しかし、出穂後日数でRsの推移を比較してみると(第7図)、コシヒカリが他の2品種に比べ明らかに高く推移していた。Rsに影響するとされる窒素濃度(Yamaguchi 1978)についても検討してみたが、出穂期における個体の窒素濃度はコシヒカリ1.04%、日本晴1.05%、アケボノ1.08%と品種間の相違は小さく、窒素濃度ではRsの品種間差を説明できなかった。Rsの推移はステージによる違いよりも、測定時点の全乾物重に占める葉鞘・稈などの生長に関与せずRsの低い器官の割合や測定を行った日の気象要因による影響をより強く受けるのかも知れない。また、3品種と

も出穂7日後に個体のRsはやや高まる傾向がみられたが、これには穂の呼吸量が急速に増大することが関与すると考えられた(第3, 4図)。

穂の暗呼吸速度からみると(第4図)、コシヒカリでは成熟期においても $0.1 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 程度の値を維持していたことから、生長過程にある穎花が存在している可能性を示唆している。穂が高温下で生長する場合、子実生長は急速であるため(Sofieldら 1977)、個体内における穂間の出穂日の変動や1穂内での開花日の変動は、子実生長の穂間、穎花間の相違(新田ら 1994)をより増幅することになる。その結果、成熟期において、穎花重のバラツキが大きくなり登熟歩合が低下すると考えることもできる。

佐藤・稲葉(1973)は栄養体と穂を別々に温度処理した結果、高温下で登熟した場合の穎花重低下の主要な原因は、栄養体よりも穂への直接的な影響であることが示されている。この点と関連して、本研究で推定した穂の生長効率は登熟期が高温に経過した早生品種ほど低くなった。この結果は、穂の生長に関与しない呼吸量の増加を示している。しかし、この増加がいかなる要因によっているのかは不明であり、高温下における穎花の物質合成経路の効率や穂の維持呼吸速度の測定等、今後検討を要する課題である。

個体の生長効率は3品種とも生育初期には60%以上を維持し(第6図)、過去の報告とよく一致した(Yamaguchi 1978, 広田・武田 1978, Saitohら 1998)。その後低下して、出穂期以降はコシヒカリで最も低く推移した。生育後期の生長効率は登熟期の平均でみると33~54%の範囲にあり(Saitohら 1998, 齊藤ら 2000)、気象条件に影響される総光合成と呼吸とのバランスにより大きく変動する。出穂後の登熟期間における生長効率はコシヒカリ37%、日本晴45%、アケボノ39%と日本晴で高くなった(第2表)。これはコシヒカリとアケボノの呼吸消費量が乾物増加量に比べて相対的に多いことに起因している。前述したように、コシヒカリのRsは出穂期以降高く推移し、かつ登熟期間の平均気温が日本晴に比べ 2.2°C 高く推移したことが呼吸消費量の増加に関係していた。アケボノのRsは日本晴とほぼ同様に推移し、また平均気温も日本晴に比べ 2.8°C 低かったにも拘わらず呼吸消費量が多いことには、晩生品種ほど全乾物重、特に葉身・茎の乾物重が大きいたことが関係していた。すなわち、コシヒカリでは呼吸活性が高くかつ高温により、アケボノでは生育期間が長いことにより多くの呼吸量を必要とすることにより、それぞれ日本晴に比べ登熟期の生長効率が低下したと推察された。

最後に、生長効率算出の問題点について考えてみる。本研究の生長効率は暗呼吸速度の温度係数が一定($Q_{10}=2$, Saitohら 1998)と仮定して算出されたものである。この値はこれまで多くの作物種について得られた値と比較しても、ほぼ妥当な値である(Amthor 1989)。しかし、温度

第7図 出穂期以降の暗呼吸速度の推移(個体)。

図中の矢印は出穂期を示す。

係数が温度レンジや基質レベルによって変化すると指摘する報告もみられる (Breeze and Elston 1978, Lee and Akita 1999). もし Q_{10} が変化するとすると, 気温の変動による暗呼吸速度の推定に大きな誤差を生じ, 呼吸速度に基づいて算出される生長効率も推定精度が著しく低下することになる. 今後様々な温度条件下で温度係数の器官, 生育ステージによる相違を, 厳密に測定する必要がある.

本研究の結果, 登熟期の高温は個体レベル, シンク器官レベルで生長効率を低下させることが認められた. したがって, 暖地においては, これまで多くの研究が示すように, 登熟期間中の維持的な呼吸量を最小化する気温, また登熟を順調に行える気温に出穂期が合致するような作期, 品種の選択を行うことが重要であると考えられた. しかし, 晩生品種を用いた場合には, 生育後期には植物体が大きくなるのに伴って維持的な呼吸量が増加し, 個体の生長効率は小さくなることがわかった. 子実生産においては, たとえ個体の生長効率が低下したとしても, 穂の生長効率を高く維持することは, 呼吸によるロスを抑えて穂への乾物蓄積を促進することにつながり, 太陽エネルギーの有効利用, ひいては低投入持続的農業の観点からも極めて重要であると考えられた.

引用文献

- Amthor, J.S. 1989. Physiology of respiration. In *Respiration and Crop Productivity*. Springer-Verlag, New York. 44—68.
- Breeze, V and J. Elston 1978. Some effects of temperature and substrate content upon respiration and the carbon balance of field beans (*Vicia faba* L.). *Ann. Bot.* 42: 863—876.
- 広田修・武田友四郎 1978. 数種作物の太陽光利用効率に関する研究. 第3報 水稻及び大豆個体群における光合成有効放射転換効率と構成呼吸及び維持呼吸の関係. *日作紀* 47: 336—343.
- Lee, K. H. and S. Akita 1999. Variation in temperature coefficient of dark respiration in rice. *Proc. Int. Symp. "World Food Security"*, Kyoto, 282—283.
- 新田洋司・山本由徳・渉秀之・吉田徹志 1994. 水稻の1穂内穎花の玄米乾物重の差異の生じる要因. *日作紀* 63(別1): 154—155.
- 斎藤邦行・杉本充 1998. 自然光下で生育した水稻個体の暗呼吸速度の日変化. *日作紀* 67: 91—93.
- Saitoh, K., M. Sugimoto and H. Shimoda 1998. Effects of dark respiration on dry matter production of field grown rice stand. —Comparison of growth efficiencies in 1991 and 1992—. *Plant Prod. Sci.* 1: 106—112.
- 齊藤邦行・村木智裕・土居寿幸・黒田俊郎 2000. 水稻品種の乾物生産に及ぼす暗呼吸の影響. 一日本晴とタカナリの生長効率の比較—. *日作紀* 69: 194—200.
- 佐藤庚・稲葉健吾 1973. 高温による水稻の稔実障害に関する研究. 第2報 穂と茎葉を別々の温度環境においた場合の稔実. *日作紀* 42: 214—219.
- Shi Q. and S. Akita 1988. Biomass production and grain yield of IR cultivars in high nitrogen water culture. *Jpn. J. Crop Sci.* 57 (Extra issue 1): 23—24.
- Sofield, I., L. T. Evans, M. G. Cook and I. F. Wardlaw 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 785—797.
- 鈴木守・中村公則 1977. 暖地における水稻の乾物生産と気象要因ならびに太陽エネルギー利用効率について. *日作紀* 46: 530—536.
- 鈴木守・中村公則 1978. 暖地水稻の収量成立過程における気象要因の影響に関する二・三の解析. *日作紀* 47: 529—535.
- Tanaka, A. and J. Yamaguchi 1968. The growth efficiency in relation to the growth of rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 14: 110—116.
- 内島立郎・羽生寿郎 1967. 本邦における水稻の気候登熟量示数の地域性について. *農業気象* 22: 137—142.
- Yamaguchi, J. 1978. Respiration and the growth efficiency in relation to crop productivity. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.* 59: 59—129.
- 和田学 1991. 暖地型イナ作. *農業技術体系 (作物編2)*. 農文協, 東京. 453—463.

Effect of Dark Respiration on Dry Matter Production of Field-Grown Rice Cultivars—Growth efficiency of early, medium, and late-maturing cultivars—: Kuniyuki SAITOH*, Takasi OHNAKA and Toshiro KURODA (*Fac. of Agr., Okayama Univ., Okayama 700-8530, Japan*)

Abstract: The dry matter production, dark respiration rate, and growth efficiency of early- (Koshihikari), medium- (Nipponbare) and late- (Akebono) maturing rice cultivars, were examined. The yield was lowest in Koshihikari than the other two cultivars because of poor ripening. The phytomass yield was in the order of Akebono > Nipponbare > Koshihikari because of the larger leaf area and the longer growth duration in later cultivars. The crop growth rate was higher in Koshihikari during the early growth stage in spite of its lower leaf area. The dark respiration rate (R_s) in the whole plant was highest at the rooting stage and rapidly decreased until the heading time; it decreased gradually thereafter. R_s in the panicle was highest at 7–14 days after the heading time and decreased to nearly zero by the maturing stage. In Koshihikari, however, it was maintained above zero at maturity. The respiratory loss as land areal basis was highest at about the heading time in all cultivars and decreased thereafter. The later the maturing time of the cultivar, the longer the period with high respiratory loss. The growth efficiency (net production/gross production) was above 60% at the rooting stage, but it was lowered during the grain-filling period, especially in Koshihikari and in Akebono. These were attributable to the higher atmospheric temperature in Koshihikari and larger plant body in Akebono, both requiring more respiration to be maintained. The growth efficiency in the panicle was higher in the order of Akebono > Nipponbare > Koshihikari, implying that the higher temperature during the grain-filling period increased the respiratory loss independent of the growth of grains.

Key words: Dark respiration rate, Dry matter production, Earliness of cultivar, Growth efficiency, Rice.