

## 作物生理・細胞工学

# 水稻品種の乾物生産に及ぼす暗呼吸の影響

—日本晴とタカナリの生長効率の比較—

齊藤邦行\*・村木智裕・土居寿幸・黒田俊郎

(岡山大学)

**要旨:** 多収性水稻品種タカナリを施肥窒素レベル2段階 (11, 17 gN/m<sup>2</sup>) で圃場栽培を行い, 乾物生産・暗呼吸速度・生長効率の推移を日本晴と比較した。個体群生長速度 (CGR) と葉面積指数 (LAI) は生育全般を通じてタカナリで高く推移した。特に登熟期の CGR の相違には LAI が高いにも関わらず日本晴とほぼ等しい NAR を保持していることが関係していた。標準区に比べ多肥区の CGR が高いことには LAI が主として関係していた。個体当たりの暗呼吸速度 (Rs) は両品種とも移植直後に高く, 移植後 40 日目頃まで急激に低下し, その後はほぼ一定に推移した。品種間で比較すると, 個体全体と茎の Rs は生育初期にはタカナリで低くなったが, 出穂期以降の相違は小さかった。葉身の Rs はタカナリでやや低く推移し, 施肥量による相違は小さかった。穂の Rs は日本晴では出穂期に最大値をとり登熟の進行とともに小さくなったが, タカナリの Rs は最高値をとるのがやや遅く, 登熟後期には日本晴よりも高い値を維持した。個体の窒素濃度も Rs とほぼ同様な推移を示し, 生育期間を込みにした場合両者の間には密接な正の相関関係が認められた。生長効率 (GE) は出穂前には品種・施肥量に関わらず約 64% を維持したが, 出穂後には両品種ともに GE は小さくなり, その程度は日本晴に比べタカナリで, 両品種ともに標準区に比べ多肥区で著しかった。水稻は高い乾物生産を行うと, その植物体を維持するために生育後期の呼吸量が増大し GE が低下すると推察された。

**キーワード:** 暗呼吸速度, 乾物生産, 水稻, 生長効率, 多収品種, 窒素施肥量。

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とされている (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。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。これまで多くの研究が行われ, 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, 武田ら 1976, Tanaka and Yamaguchi 1968, Yamaguchi 1978)。Shi and Akita (1988) は生育期間を通じて気温が高い熱帯では, 生長効率は生育前半には日本で測定された場合と同様な値を示すが, 生育後半には大きく低下すると述べている。Saitoh ら (印刷中) は GE の年次による相違には登熟期間の気温が影響することを認めている。また, 窒素施肥量の増加は GE を低下させることも報告されている (Tanaka and Yamaguchi 1968)。このように, 登熟期の GE は地域や気温, 栽培条件などにより大きく変動する。生育後半における暗呼吸量の増加, 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, GE の品種間差について報告した例はみられない。そこで, 本報告では, 近年多収性が広く認められている水稻

品種タカナリと標準品種日本晴を施肥2水準で栽培し, 乾物生産速度・暗呼吸速度・生長効率の生育に伴う推移を品種間で比較した。

## 材料と方法

**栽培方法と試験区:** 1996 年に, 岡山大学農学部附属農場水田 (灰色低地土壌土) において, 多収性品種タカナリと日本晴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 14 日に栽植密度 22.2 株/m<sup>2</sup> (30×15 cm, 3 本植) で手植移植した。栽培管理は慣行に従って行った。収穫は 10 月 7 日に行った。

試験区は日本晴とタカナリの 2 品種それぞれについて, 施肥水準を標準区と多肥区の 2 段階に設定し, 各区 1 a で栽培を行った。肥料は燐加安 44 号 (14-17-13) を用いて, 10 a 当たり窒素成分で標準区は基肥 5 kg, 追肥 6 kg, 多施肥区は基肥 8 kg, 追肥 9 kg を施用した。追肥は, 7 月 2 日, 7 月 29 日, 8 月 24 日の 3 回にそれぞれ等量となるように分施した。

**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 週間毎に各区 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, その平均値に近い 8 株を選抜した。選抜個体は器官別に分解した後, 80 °C で 48 時間通風乾燥し, 乾物重を測定した。葉面積は各区の最も平均に近い 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 時から気温 25℃ 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> を除去した空気に, 一定濃度の CO<sub>2</sub> をガス混合装置 (小島製作所製 GM-2B 型) を用いて混合し, CO<sub>2</sub> 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℃ における植物体の乾物 1 g, 1 時間当たりの CO<sub>2</sub> 放出量を暗呼吸速度 (Rs) 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。

各器官別の暗呼吸速度は次のようにして求めた。まず, 個体当たりの CO<sub>2</sub> 放出量を測定した後, 順次穂, 葉身を切除して CO<sub>2</sub> 放出量を測定して差し引くことにより, 各器官の CO<sub>2</sub> 放出量を求め, Rs を算出した。Rs の測定に用いた植物体は 80℃ で通風乾燥した後粉碎し, CN コーダー (柳本製作所製) を用いて器官別に窒素濃度を測定して, 個体当たり窒素濃度を算出した。

**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℃ 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。この値に m<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> (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 ( $\Delta W$ ) を求め, また前述の呼吸消費量からその期間の積算呼吸量 (Rc) を求め, 生長効率を次式  $\text{GE}=\Delta W/(\Delta W+\text{Rc})$  により算出した。また, 出穂期以前の栄養生長期, それ以降の登熟期および全生育期間について, それぞれの乾物増加量と積算暗呼吸量から個体の GE を算出した。

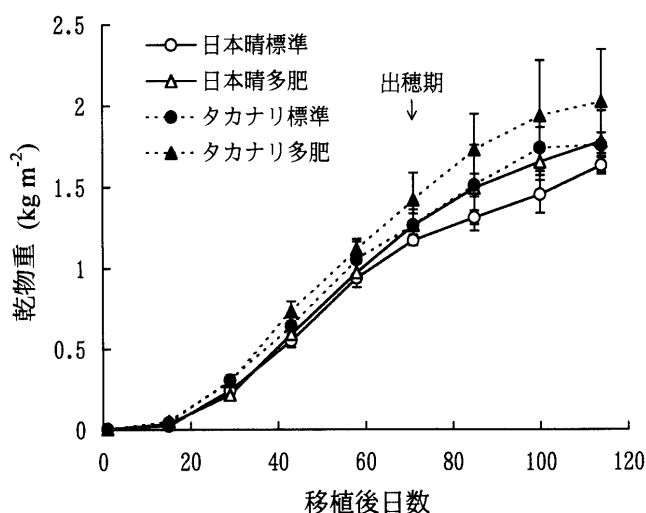
**気象概況:** 1996 年の日照時間は 6 月中旬から下旬にかけて平年値を下回り, 7 月中旬から下旬にかけて平年値を上回った。降水量は 7 月下旬と 8 月上旬では認められなかった。これら以外の時期は概ね平年並みであり, 平均気温は生育期間全体を通じて平年並みであった。また, 台風, 異常気象による被害はほとんどなかった。

## 結 果

**乾物生産:** 全乾物重は両品種ともに移植後 30 日頃から出穂期まで急速に増加し, それ以降収穫期まで漸次増加し続けた (第 1 図)。出穂期以降は日本晴に比べタカナリが, また標準区に比べ多肥区の乾物重が高く推移した。

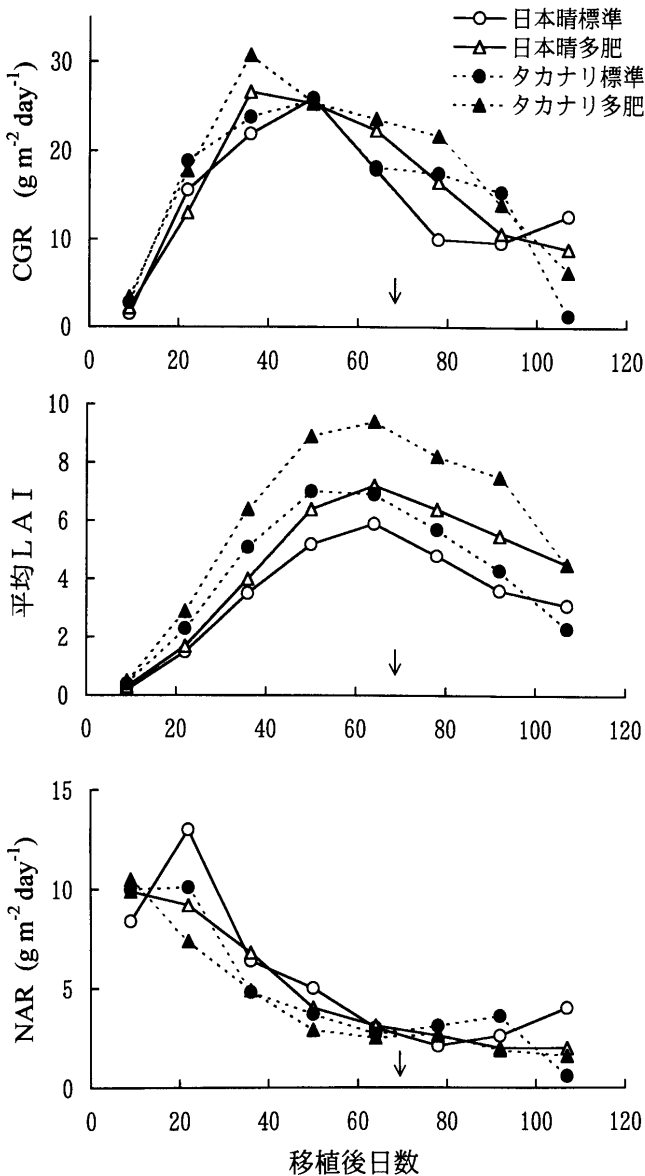
生長パラメータを比較してみると (第 2 図), CGR は移植後 40~50 日頃に最大値をとり, その後次第に低下した。移植後 60~90 日頃には同じ施肥区では日本晴に比べタカナリが, また両品種とも標準区に比べ多肥区の CGR が高くなった。平均 LAI は移植後 65 日頃に最大値をとった後, 徐々に減少したが, 生育後期の低下程度はタカナリで著しかった。生育期間を通じてタカナリ > 日本晴, 多肥区 > 標準区の順位になった。NAR は生育初期に高く, LAI の増加とともに急速に小さくなった。移植後 60 日頃までは日本晴に比べタカナリで低く推移したが, それ以降品種間の相違は小さくなった。すなわち, タカナリは LAI が高いにも拘わらず, 日本晴と同等の NAR を維持したことにより, 日本晴よりも高い CGR を確保していた。また, 両品種ともに標準区の NAR は多肥区に比べ出穂期以降やや高く推移したことから, 多肥区の CGR が高いことには LAI が関係していると推察された。

**暗呼吸速度の推移:** 個体の Rs は移植後 5~20 日頃に最も高く, 移植後 40 日頃まで急速に, それ以降成熟期まで徐々に低下した (第 3 図)。品種間で比較すると, 移植後 60 日頃までは日本晴に比べタカナリが低く, 登熟期には

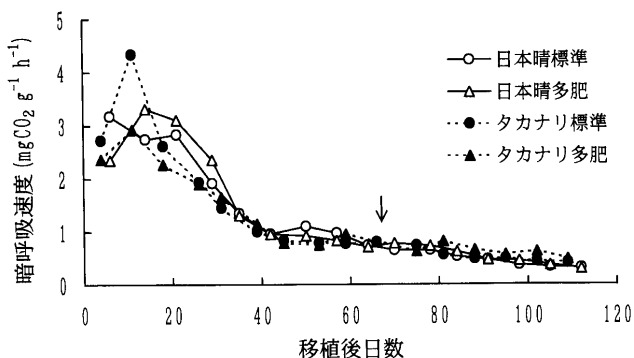


第 1 図 乾物重の生育に伴う推移。図中の縦棒は±標準偏差を示す。

逆に日本晴がやや低く推移した。生育初期には日本晴では多肥区が高く、タカナリでは標準区が高く推移した。移植後40日以降、施肥区間の相違は小さくなったが、両品種ともに標準区に比べ多肥区でやや高く推移した。この傾向は特にタカナリで顕著であった。



第2図 CGR, 平均 LAI, NAR の推移。図中の矢印は出穂期を示す。



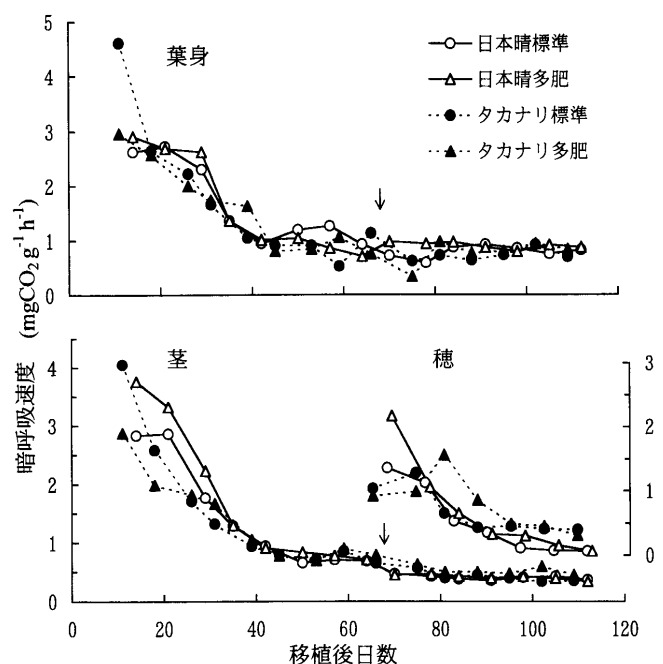
第3図 個体の暗呼吸速度の推移。図中の矢印は出穂期を示す。

各器官の Rs の推移についてみると (第4図), 茎の Rs は個体全体とほぼ同様に, 活着期に高く, それ以降移植後40日頃まで急速に, 出穂期まで徐々に低下し, 登熟期にはほぼ一定に推移した。葉身の Rs はタカナリがやや低く推移し, 施肥量による相違は小さかった。穂の Rs は日本晴では出穂期に最大値をとり登熟の進行とともに小さくなったが, タカナリの Rs は最高値をとるのがやや遅く, 登熟後期には日本晴よりも高い値を維持した。

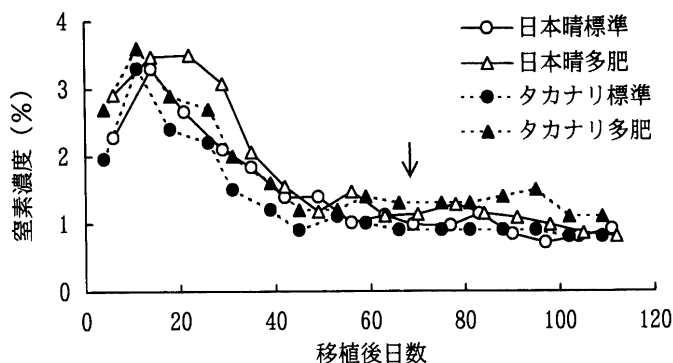
**窒素濃度の推移:** 個体の窒素濃度は NAR や Rs とほぼ同様な推移が認められ (第5図), 移植後10~20日後に最大値をとり, 移植後50日頃まで急激に低下し, その後ほぼ一定値を維持しながら, 生育後期には若干低下した。生育初期にはタカナリに比べ日本晴で高く推移したが, 生育後期には標準区ではほぼ等しく, 多肥区ではタカナリがやや高く推移した。両品種とも標準区に比べ多肥区で高く推移する傾向にあった。生育期間を込みにした窒素濃度と Rs との間には各区ともに有意な ( $P < 0.01$ ) 正の相関関係が認められた (第6図)。回帰直線の傾きは両品種ともに多肥区に比べ標準区で大きくなったが, 統計的に有意差は認められなかった。

**呼吸消費量と生長効率の推移:** 呼吸消費量は移植後60日頃に最大値をとり (タカナリ多肥区のみ移植後84日), その後登熟の進行とともに低下していった (第7図)。生育期間を通じて日本晴に比べてタカナリで高く推移し, 両品種ともに多肥区で高く推移した。

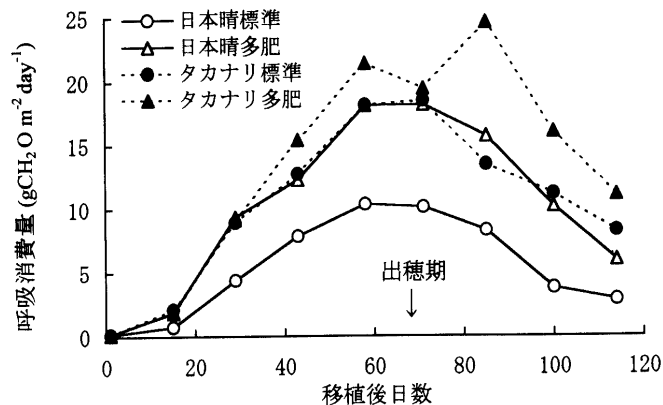
各乾物調査期間における生長効率の推移をみると (第8図), 各区ともに移植後20日前後の生育初期に高く, 移植



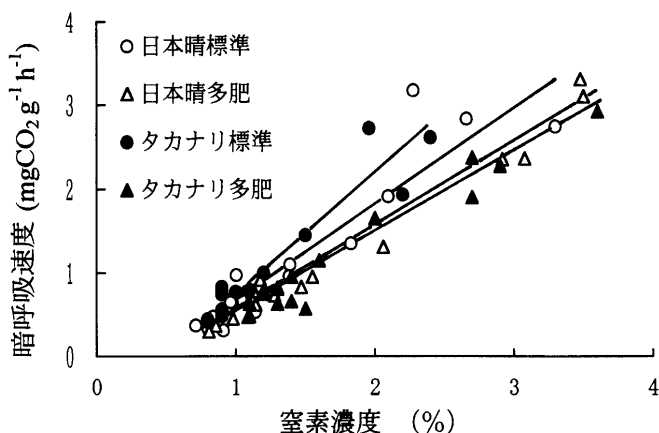
第4図 葉身, 茎, 穂の暗呼吸速度の推移。図中の矢印は出穂期を示す。



第5図 個体の窒素濃度の推移。図中の矢印は出穂期を示す。



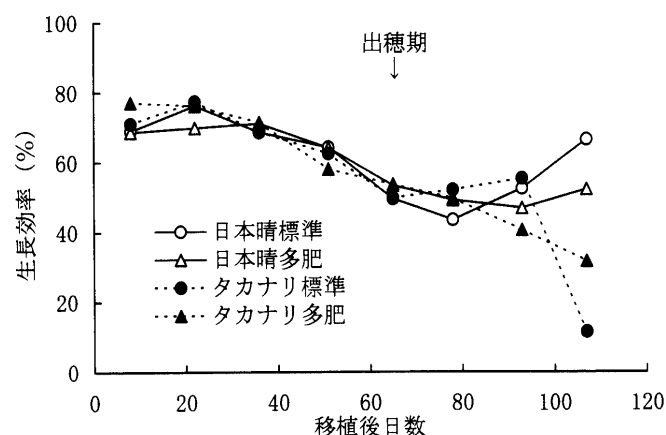
第7図 個体群の呼吸消費量の推移。



第6図 個体の窒素濃度と暗呼吸速度の関係。

生育期間すべてのデータを示した。

各区の回帰式は、日本晴標準:  $y = 1.17x - 0.52$  ( $r = 0.931$ ), 日本晴多肥:  $y = 1.01x - 0.53$  ( $r = 0.987$ ), タカナリ標準:  $y = 1.46x - 0.71$  ( $r = 0.975$ ), タカナリ多肥:  $y = 0.96x - 0.49$  ( $r = 0.976$ )。



第8図 生長効率の推移。

後40日頃まで70%前後を維持したが、その後次第に低下した。出穂期以前は品種、施肥量による相違は小さかったが、収穫期近くにはタカナリが日本晴に比べて急激に小さくなった。施肥区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、出穂期までを栄養生長期、それ以降を登熟期として乾物増加量、呼吸消費量、生長効率を求めてみた(第1表)。

乾物増加量は栄養生長期、登熟期および全生育期間ともに日本晴に比べタカナリが、標準区に比べ多肥区が大きくなった。呼吸消費量も乾物増加量とほぼ同様な傾向にあったが、日本晴を100とした相対値でみると、呼吸消費量は栄養生長期には各品種、施肥区とも、乾物増加量とほぼ等しかった。一方、登熟期タカナリの乾物増加量が107に対して、呼吸消費量は137と、乾物増加量に比較して呼吸消費量の増加割合が大きかった。また、日本晴多肥区の乾物増加量112に対して呼吸消費量133、同様にタカナリ多肥区の乾物増加量128に対して呼吸消費量201と、呼吸消費量の増加が日本晴に比べタカナリで、標準区に比べ多肥区で大きくなった。その結果、生長効率は栄養生長期には品種、施肥量によらず64%前後となったのに対して、登熟期には日本晴に比べタカナリは標準区で6.1%、多肥区で

6.9%小さくなった。また、標準区に比べ多肥区の生長効率は日本晴で4.4%、タカナリで5.2%低くなった。

## 考 察

本研究に用いた半矮性インド型品種タカナリは、 $m^2$ 当たり5万粒を越える粒数が容易に確保でき、天候のよい条件下では $800 g/m^2$ を越える収量性が報告されている(平岡ら1992, 徐ら1997)。その多収要因は栄養生長期と登熟期間の高い乾物生産と収穫指数にあることが示されている(石川ら1999, 徐ら1997, Saitohら1999)。本研究においても、タカナリのCGRは移植後30日頃までと出穂期から出穂後30日頃まで顕著に高くなり、その程度は標準区に比べ多肥区で著しかった。この生育初期における高いCGRはLAIの増加速度が高いことが関係し、登熟期にはNARの高いことが関係していた(第2図)。また、両品種ともに多肥区のCGRが大きいことには主としてLAIが関係していた。石川ら(1999)も同様にタカナリの初期生育の速さには、高温で葉面積展開速度の高いことが関係することを指摘しており、暖地においてはタカナリの初期生育が旺盛であると推察される。出穂期以降については、タカナリの個体群光合成速度が高く、これには止葉の貢献が大きいたことが明らかにされており、タカナリの高い乾物生産には、穂首が止葉葉鞘より抽出しにくいいため、穂の上に直立した大きな止葉を配置していることが関

第1表 栄養生長期と登熟期における乾物増加量, 呼吸消費量, 生長効率の比較.

品種・区	栄養生長期*	登熟期	全生育期間
乾物増加量 (g m <sup>-2</sup> )			
日本晴標準	1173(100)	462(100)	1636(100)
日本晴多肥	1265(108)	517(112)	1781(105)
タカナリ標準	1263(108)	493(107)	1756(103)
タカナリ多肥	1421(121)	591(128)	2013(119)
呼吸消費量 (g CH <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> )			
日本晴標準	670(100)	400(100)	1070(100)
日本晴多肥	712(106)	533(133)	1245(116)
タカナリ標準	715(107)	546(137)	1261(118)
タカナリ多肥	806(120)	805(201)	1611(151)
生長効率 (%)			
日本晴標準	63.6	53.6	60.4
日本晴多肥	64.0	49.2	58.9
タカナリ標準	63.8	47.5	58.2
タカナリ多肥	63.8	42.3	55.6

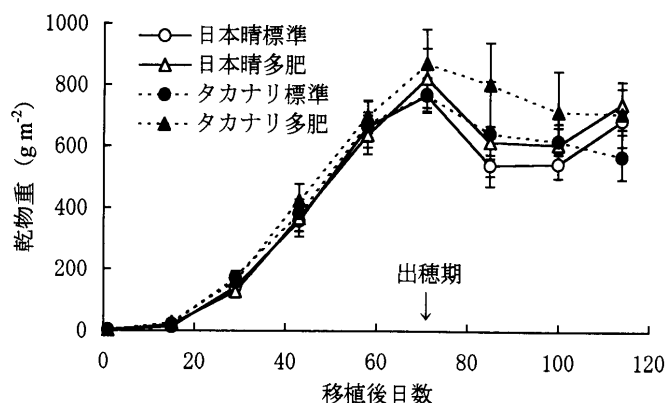
\*: 移植期から出穂期まで.

係していると考えられる (Saitoh ら 1999).

徐ら (1997) はタカナリの収穫指数が高い要因として, 茎葉に蓄積された同化産物の穂への転流量が大きいことを指摘している. そこで, 茎葉部重のみに着目して, その推移を品種間で比較してみると (第9図), 収穫期を除くと生育全般を通して日本晴に比べタカナリが, 両品種ともに標準区に比べ多肥区が高く推移した. 日本晴では生育後期に茎葉部重が再び増加して, 出穂期とほぼ等しくなったのに対して, タカナリでは収穫期まで茎葉部重が減少することが明確に認められた. この特徴は, 多収性が認められている半矮性インド型品種の南京11号, 密陽23号 (斎藤ら 1991) でも認められている. しかし, 本研究で転流量を (出穂期の茎葉部重 - 登熟期間中の茎葉部重の最小値) と仮定して試算してみると (斎藤ら 1991), 日本晴標準区 228 g/m<sup>2</sup>, 多肥区 217 g/m<sup>2</sup>, タカナリ標準区 201 g/m<sup>2</sup>, 多肥区 162 g/m<sup>2</sup> と, 両区ともに日本晴に比べタカナリが小さくなった. したがって, 本研究においては, タカナリの収穫指数が小さいことには転流量よりも, 登熟期間の乾物生産が大きいことと, 茎葉部重の再増加がないことが関係していた. しかし, 結果は示していないが, 1997年については徐ら (1997) と同様な結果を得ている. したがって, タカナリは日本晴に比べ転流量の多い傾向があるが, この特性は必ずしも安定していないとみられる.

上述したように, これまで乾物生産能力の高い要因を, 個葉光合成速度や葉面積, 受光態勢と関連した草型など, ソース面から検討した研究は数多く認められる. しかし, 植物体の生長や維持に関わる光合成同化産物の呼吸による消費に着目した研究は少ない (Yamaguchi 1978, 広田・武田 1978, 鈴木・村田 1975, 秋田ら 1993, Saitoh ら 1998). 特に呼吸速度や生長効率の品種間差に着目した研究はほとんどない.

本研究では多収品種タカナリと日本晴の呼吸特性, 生長



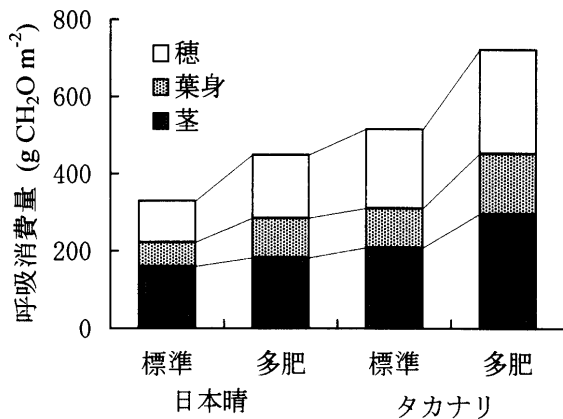
第9図 茎葉部 (茎+葉身) の乾物重の推移. 図中の縦棒は±標準偏差を示す.

効率を比較した. その結果, 葉身と茎の Rs は品種間で大きな相違はみられなかった (第4図). これまで収量性や乾物生産, 光合成特性, 形態の特徴など, タカナリは日本型品種に比べ大きく異なっていたが, 栄養器官の呼吸特性に関しては日本型品種と大きくは異なることが明らかとなった. しかし, 穂の Rs は成熟期には日本晴ではほぼゼロに近かったのに対し, タカナリでは約 0.4 mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> の値を維持していた. したがって, シンクの大きい特徴をもつタカナリでは, 生育後期においても子実の発育が継続していることが推察された.

施肥区間で比較してみると, 両品種ともに窒素濃度は生育期間を通じて標準区に比べ多肥区で高く推移したが, Rs の区間差は小さかった (第3, 4図). すなわち, 呼吸に及ぼす窒素の影響はこれまで指摘されてきた (Amthor 1989) よりも小さいことが推察された. また, 生育期間を込みにした個体の窒素濃度と Rs との間には密接な正の相関関係が認められたが, 回帰直線の傾きは両品種ともに, 標準区に比べ多肥区で小さくなった. この結果は施肥レベル3段階で栽培した日本晴でも認められており (Saitoh ら 印刷中), 前述したように施肥レベルが多くなって窒素濃度が増加しても, 暗呼吸速度はそれほど変化しないことを示している. Saitoh ら (印刷中) は生育段階ごとに窒素濃度と Rs との関係を検討した結果, 回帰直線の傾きは移植直後が高く, 出穂期以降は著しく小さくなることを認めており, 生育段階を込みにして窒素と Rs の関係を検討して有意性が認められても, 暗呼吸の律速要因が窒素であると結論するのは危険である.

栄養生長期の生長効率は品種, 施肥量によらず 64% 前後であった (第8図, 第1表). Shinano ら (1995) も, 水耕栽培したダイズとイネの栄養生長期における生長効率に及ぼす, 培地の窒素レベルと温度の影響は小さいことを認めている. したがって, 栄養生長期における呼吸の大部分は新たな植物体構成成分の合成, すなわち生長呼吸として主に用いられると考えられた.

これに対して, 登熟期の生長効率は日本晴に比べタカナリで, また両品種ともに標準区に比べ多肥区で低下した.



第10図 登熟期間における穂、葉身、茎の呼吸消費量の比較。

この要因を乾物増加量と呼吸消費量からみると、乾物の増加に比べ呼吸消費量の増加が大きいことが生長効率の低下につながっていた。そこで、登熟期間中の呼吸消費量を部位別に分けて検討してみると（第10図）、穂の呼吸量は子実の生長に直接的に関係しており、日本晴に比べ子実収量の大きいタカナリが大きくなった。茎葉部の呼吸量は施肥量によらず日本晴に比べタカナリで大きく、また両品種ともに標準区に比べ多肥区で大きくなった。さらに、呼吸量は乾物重と呼吸速度の積で表されるが、葉と茎の呼吸速度は、品種、施肥量によらず大きな相違はなかった（第4図）。したがって、第10図にみられた呼吸量の増加は主として茎葉部の乾物重が大きいために起こっているとみられた（第9図）。葉身は登熟期の乾物生産を支えるソース器官であるが、茎は貯蔵同化産物を再転流させるだけであり、登熟期間の維持呼吸量増大の主たる要因である。Yamaguchi (1978) も生育後期に茎の呼吸量の占める割合が相対的に増加することを認めており、今後長稈品種と短稈品種で茎の呼吸量を比較して行きたい。

前述したように、茎葉部から穂への転流量はタカナリに比べ日本晴で大きく、多肥区に比べ標準区で大きかった（第9図）。一般に、転流に関わる呼吸消費は多く見積もられても、転流したシュクロースの18%、少ない見積もりでは1.4%にしか達しない（Amthor 1989）。茎葉部重の推移で見る限り、茎葉から穂への転流が多い時期は登熟初期である（第9図）。この時期の茎葉のRsをみると、葉身はやや変動が大きいだが、成熟期の値と大差なかった。茎についてもタカナリの多肥区で若干高く推移しているが、標準区は日本晴とほぼ等しく推移した。したがって、これまで試算されているとおり、茎葉から穂への転流に関わるコストは小さいと考えられた。しかし、近年の多収性品種は転流量が多い特徴をもつことから、量的なコストの試算を行う必要があると考えられる。

本研究の結果、乾物生産の高い特性をもつ品種を栽培したり、施肥量を増加させて乾物生産が高くなると、出穂期以降の生長効率が低下することが明らかとなった。これには窒素成分の影響は小さく、高い乾物生産を行うと茎葉

部、特に茎の乾物重が大きくなり、その結果維持的な呼吸量の増加を招くことに起因すると結論された。

## 引用文献

- 秋田重誠・石川哲也・李雨・片山勝之 1993. 生理的令を異にする水稻の組織・器官の暗呼吸速度とその変動に關する諸要因. 日作紀 62: 73—80.
- Amthor J.S. 1989. Physiology of respiration. In *Respiration and Crop Productivity*. Springer-Verlag, New York. 44—68.
- 平岡潔志・建部雅子・米山忠克 1992. 養分の吸収・分配、シンク（穂）の特性からみた関東 146 号（タカナリ）の多収性. 土肥誌 63: 517—523.
- 広田修・武田友四郎 1978. 数種作物の太陽光利用効率に關する研究. 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關係. 日作紀 47: 336—343.
- 石川哲也・藤本寛・梶木伸幸・丸山幸夫・秋田重誠 1999. 水稻品種タカナリの出穂期までの乾物重と穎花数の決定. 日作紀 68: 63—70.
- 斎藤邦行・柏木伸哉・木下孝宏・石原邦 1991. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第4報 穂への同感産物の分配. 日作紀 60: 255—263.
- 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.
- Saitoh, K., K. Yonetani, T. Murota and T. Kuroda 1999. Effects of flag leaves and panicles on light interception and canopy photosynthesis in high-yielding rice cultivars bred in Japan. *Proc. Int. Symp. "World Food Security"*, Kyoto. 304—305.
- Saitoh, K., T. Doi and T. Kuroda 2000. Effects of nitrogen fertilization on dark respiration and growth efficiency of field grown rice stand. *Plant Prod. Sci.* 3: (印刷中).
- Shi Q. and Akita S. 1988. Biomass production and grain yield of IR cultivars in high nitrogen water culture. *Jpn. J. Crop Sci.* 57 (Extra issue 1): 23—24.
- Shinano, T., M. Osaki and T. Tadano 1995. Comparison of growth efficiency between rice and soybean at the vegetative growth stage. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41: 471—480.
- 鈴木守・村田吉男 1975. 圃場における水稻の光合成のエネルギー転換効率の測定. 日作紀 44: 109—113.
- 武田友四郎・矢島正晴・青木正敏・箱山晋・斎藤尚・小野博 1976. 水稻個体群における一次生産力推定のための大型同化箱法について. 日作紀 45: 139—150.
- Tanaka, A. and J. Yamaguchi 1968. The growth efficiency in relation to the growth of rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 14: 110—116.
- 徐銀発・大川泰一郎・石原邦 1997. 水稻品種タカナリの収量と乾物生産過程の解析. —1991年から1994年の4年間—. 日作紀 66: 42—50.
- Yamaguchi, J. 1978. Respiration and the growth efficiency in relation to crop productivity. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.* 59: 59—129.

**Effect of Dark Respiration on Dry Matter Production of Field-Grown Rice Cultivars —Comparison of growth efficiency between Nipponbare and Takanari—**: Kuniyuki SAITOH\*, Tomohiro MURAKI, Toshiyuki DOI and Toshiro KURODA (*Fac. of Agr., Okayama Univ., Okayama 700-8530, Japan*)

**Abstract**: The dry matter production, dark respiration rate and growth efficiency of high-yielding rice cultivar 'Takanari', grown under two levels of nitrogen fertilization (11, 17 gN/m<sup>2</sup>), were compared with those of 'Nipponbare'. The crop growth rate (CGR) and leaf area index (LAI) were higher in 'Takanari' throughout the growth season. This higher CGR in 'Takanari' was due to the maintenance of NAR at the same level as in 'Nipponbare' in spite of the increase in LAI. The higher the nitrogen fertilization, the higher was the CGR due to the increase in LAI. The maximum dark respiration rate (Rs) in the whole plant was recorded at the early growth stage, followed by a rapid decrease until 40 days after transplanting and decreased gradually thereafter. The Rs in the whole plant and stems was higher in 'Takanari' as compared with 'Nipponbare' at the early stage, but was almost equal during the grain-filling period. The nitrogen concentration and Rs of the whole plant changed similarly, showing a close correlation between the two characters. The growth efficiency (GE) was about 64% during the early stage and gradually decreased thereafter in both cultivars irrespective of fertilization level. The GE during the grain-filling period was higher in 'Nipponbare' than in 'Takanari' and with the normal fertilization than heavy fertilization. We concluded that GE decreased at the later stage of plant growth due to increase in respiratory loss.

**Key words**: Dark respiration rate, Dry matter production, Growth efficiency, High-yielding cultivar, Nitrogen fertilization, Rice.

## 書評

「応用植物科学 栽培実習マニュアル」 森源治郎・堀内昭作・山口裕文監修. 養賢堂, 2000年, 181頁, 3400円.

本書は、題名にあるように栽培実習用の教材として、25名からなる実習教育の指導者によってまとめられたものである。長年にわたって、実習担当の教員が独自に作成してきた教材を土台として、21世紀の栽培実習を念頭に置いた編集がなされている。

第1章から第4章では、園芸作物を中心としてその繁殖と育苗から始まり、土つくりと施肥法、養液栽培、栽培管理に関して、基礎的なものから高度な農業技術へと展開されている。そして、第5章から第10章では、病害虫と雑草の防除から始まり、ハウスの組立てと環境制御、収穫・ポストハーベスト、農産物加工、ガーデニング、採種法と最新の内容まで盛り込まれている。さらに、農薬、肥料、植物生長調節剤などの一覧に関する付録と7頁からなる索引も充実しており、実習だけでなく、学生達の予習や復習の学習にも十分に耐えられる編集内容である。

見方によっては、10章51項目からなる本書が盛りだくさんすぎると感じられるであろう。しかし、その心配は無用である。1項目は2ページの見開きからなり、1回の実習時間の説明で完結できるように配慮され、学生達の見やすさも考慮した編集に注目したい。そして、全項目ともに重要な農業技術と知識は流れ図などによって理解しやすく示されており、視覚による教育効果を十分に引き出せるものである。同様に、マニュアルを利用する学生達の目線を意識した構成は、見出しに使用している文字フォントの工夫と17からなるコラムにもうかがえる。これらのコラムでは、専門用語の解説にとどまらず、環境を重視した新しい研究成果なども取り上げられている。

このように作物—土—人間の関わりを総合的にとらえた栽培実習マニュアルは、従来のハンドブック、栽培入門書などとは明らかに異なり、有益で、この種の本としては先駆的な役割を果たしている好著である。日頃、実習教育に関する資料の準備と指導法に苦慮されている教育者とそうでない方にも、ぜひ一読をお薦めしたい。最後に監修者へのお願いとして、改訂版を出されるときに、作業着のポケットに入るようなフィールド・ポケット・ブック（要約版）も検討して頂きたい。

(岡山大学農学部附属農場 岸田芳朗)