

水稻多収性品種の乾物生産特性の解析

第6報 新・旧品種の比較を通じて

斎藤 邦行*・下田 博之・石原 邦

(東京農工大学農学部)

1993年1月31日受理

要 旨: これまで解析を行ってきた多収性品種の特性の比較の結果を参考にして、今日広く栽培される新品種と大正・昭和20年代に栽培されていた旧品種の収量、収穫指数、乾物生産過程を比較した。

新品種の収量は $561\sim 606\text{ g/m}^2$ で、旧品種の収量($460\sim 501\text{ g/m}^2$)に比べ20~25%多く、この相違の要因は主として出穂期以降の乾物生産の違いにあり、その結果新品種の収穫指数(41~51%)は、旧品種(36~45%)に比べ高かった。シンク容量は新・旧品種間で大きな相違はなく、新品種で登熟後期に同化産物が稈に多く再蓄積されているということは、新品種では登熟期の高い物質生産力に比べて、相対的にシンク容量が不足していることを示している。新・旧品種における出穂期以降の乾物生産の相違には、主として登熟期間中の個体群吸光係数が小さいこと、および葉身の老化に伴う光合成速度の減少程度が新品種で小さいことが関係していた。これらの新・旧品種に比較して、南京11号、密陽23号はシンク容量が著しく大きく、収量は新品種に比べ南京11号は2~6%、密陽23号は12~18%多かった。

以上の結果、新品種では高い乾物生産力に比較してシンク容量が小さく、稈に同化産物が再蓄積することにより、収穫指数は低下し始めていることが明らかになった。シンク容量の拡大と乾物生産力の強化を通じて収量・収穫指数はさらに高まることを推察した。

キーワード: 乾物生産、吸光係数、個葉光合成速度、収穫指数、新旧水稻品種、多収性品種。

Characteristics of Dry Matter Production Process in High-Yield Rice Varieties VI. Comparisons between new and old rice varieties: Kuniyuki SAITOH*, Hiroyuki SHIMODA and Kuni ISHIHARA (*Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

Abstract: Differences in yield, dry matter production, and harvest index between new (registered after 1955) and old (before 1940) Japanese rice varieties were examined with reference to light-intercepting characteristics, single-leaf photosynthesis, and dry matter accumulation in the panicle. The average yield of new varieties (586 g/m^2) was higher than that of old varieties (483 g/m^2) owing to higher dry matter production during the ripening period. This difference was caused by a smaller decline in the leaf photosynthetic rate and by the lower canopy light extinction coefficient observed in the new varieties, as compared with the old varieties, during the ripening period. The new varieties had a higher harvest index as compared with the old varieties, but there were no differences in sink size between them. The higher dry matter production in the new varieties resulted in the accumulation of assimilate in the culm at the late ripening stage. Clearly, the sink size was not enough in the new varieties, i.e. the sink size should be enlarged by using the Indica or Indica/Japonica hybrid varieties (Nanjing 11, Milyang 23) in the breeding program.

Key words: Dry matter production, Harvest index, High-yield variety, Light extinction coefficient, New and old varieties, Rice plant, Single-leaf photosynthesis.

既報^{9,10,11,12,13)}において、水稻品種の多収性に関連する要因を乾物総生産量および収穫指数から解析を行った。品種間の乾物総生産量の相違は乾物生産過程を個体群構造^{9,10)}、個葉光合成¹¹⁾、個体群光合成¹³⁾から比較することにより明らかにした。また、品種間の収穫指数の相違は出穂前に茎葉に蓄積した貯蔵炭水化物量とその穂への転流、および出穂後に生産した炭水化物量の穂への蓄積と茎への再蓄積から明らかにした¹²⁾。

これまで行ってきた水稻品種の特性比較の結果を基礎に、多収性品種の備えるべき生理、生態、形態的特性、さらに今後の多収性品種育成の方向を考える上で、品種の改良の過程を物質生産の立場から検討することが必要と考えた。このような観点から、新・旧水稻品種の特性を収量成立過程、乾物生産過程に着目し、受光態勢に関連した草型、個葉光合成から解析した研究はすでにいくつか認められる。Tsunoda¹⁷⁾、速水²⁾は東北において多肥多収向新品種では葉群が直立的であること、田中ら⁴⁾、林ら³⁾、武田ら¹⁵⁾はそれぞれ北海道、関東、九州における新品種の吸光係数が旧品種に比較して小さいことを明

* 現在: 岡山大学農学部。

Present address: Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama 700, Japan.

Table 1. Comparisons of yield and yield component between the new and the old rice varieties (1999, 1991*).

Variety	Heading date (1990)	Culm length (cm)	No. of panicles /m ²	No. of spikelets /panicle	No. of spikelets /m ² × 10 ³	% of ripend grains	1000 grains weight (g)	Sink size (g/m ²)	Yield (g/m ²)
New variety (Japonica)									
Akihikari	Aug. 6	83(89)*	347(327)	91.1(105)	31.6(34.3)	90.2(87.7)	20.0(20.3)	632(696)	571(611)
Kosihikari	Aug. 12	100(108)	349(362)	96.4(105)	33.6(37.9)	79.8(77.6)	21.0(19.4)	706(735)	561(571)
Nipponbare	Aug. 22	89(94)	423(364)	82.2(100)	34.7(36.5)	80.3(61.3)	21.1(19.2)	732(701)	587(429)
Musasikogane	Aug. 19	75(79)	412(348)	84.4(97)	34.8(33.7)	93.4(88.8)	19.6(19.5)	682(657)	600(585)
Akinisiki	Aug. 22	88	371	85.2	31.6	88.9	20.9	660	588
Tukinohikari	Aug. 22	84	320	94.3	30.2	92.4	21.7	655	606
Old variety (Japonica)									
Aikoku	Aug. 16	102(102)	314(325)	112.9(117)	35.4(38.0)	69.0(60.0)	20.4(19.2)	722(730)	496(439)
Kamenoo	Aug. 19	116(118)	339(341)	104.3(109)	35.4(37.2)	72.5(49.9)	18.5(17.8)	655(662)	475(330)
Asahi	Sept. 1	118(112)	349(320)	102.8(119)	35.9(38.0)	62.6(42.5)	21.0(20.1)	754(763)	469(324)
Ginbouzu	Aug. 23	113(117)	326(320)	110.7(127)	36.1(40.6)	68.7(46.7)	18.7(17.6)	675(714)	460(333)
Sen-iti	Aug. 20	115	420	109.1	45.6	67.1	16.5	752	501
Norin 8	Aug. 22	110	359	99.7	35.8	73.4	19.2	687	499
Indica and Indica/Japonica hybrid semidwarf variety									
Nanjing 11	Aug. 12	71(75)	253(241)	159.3(182)	40.4(43.8)	79.1(63.0)	18.7(21.2)	755(929)	595(584)
Milyang 23	Aug. 20	72(79)	259(247)	156.1(173)	40.4(42.6)	81.3(63.3)	21.1(22.8)	852(971)	692(615)
Mean value									
New variety		87(93)	370(350)	88.9(102)	32.8(35.6)	87.5(78.9)	20.7(19.6)	678(697)	586(549)
Old variety		112(112)	351(327)	106.6(118)	37.4(38.5)	68.9(49.8)	19.1(18.7)	708(717)	483(357)
Difference		** (**)	NS(**)	** (**)	** (**)	** (**)	** (NS)	NS(NS)	** (**)

Each figure in the table is an average of 16 hills.

*: Values in the parentheses were obtained in 1991.

** and NS indicate the difference at 1% level of significance and not significant, respectively.

らかにした。また、武田ら¹⁵⁾、速水²⁾、黒田ら⁷⁾、佐々木ら¹⁴⁾は新・旧品種の個葉光合成速度の比較を行い、旧品種に比べ新品種の光合成速度が登熟中期に高いことを認めた。これらの研究成果は、いわゆる草型育種に対して理論的概念を提供し、その後の理論的発展に寄与するとともに、改良品種の生育制御を通じた多収獲栽培技術の基礎となっている。

しかし、既報⁹⁾において述べたように、近年多収獲のみを目的とした品種改良が進展し、これまでの改良品種とは遺伝的にかなり異なる品種が育成されてきており、前述した新・旧品種の特性についても新たな視点から再検討を行う必要があると考えられる。

そこで、本研究では今日広く栽培されている新品種、ならびにこれらの品種育成の交雑親として用いられ、新品種と遺伝的に近縁な旧品種、およびこれまで多収性品種の特性比較を行ってきた南京 11 号、密陽 23 号を用いて、収量成立過程、乾物生産過程および収獲指数の比較を行った。

材料と方法

栽培試験は東京農工大学農学部附属本町農場の水田で 1990, 1991 年の 2 カ年行った。1990 年の試験には、新品種として 1970~1980 年代に関東地方の各県で奨励品種に採用されたことのある日本晴、むさしこがね、アキヒカリ、コシヒカリ、アキニシキ、月の光の 6 品種を、また旧品種としてコシヒカリ、アキニシキ、アキヒカリ等の品種を育成するまでに交雑親として用いられた品種の内、明治時代に育成され大正時代に栽培面積の多かった愛国、亀の尾、旭、銀坊主、撰一および昭和時代に育成され、昭和 20 年代に栽培されていた農林 8 号の 6 品種、およびこれまでの研究を通じて比較を行ってきた日印交雑品種密陽 23 号、インド型品種南京 11 号の合計 14 品種を用いた。さらに、1990 年の試験結果を確認するため、1991 年の試験にはアキニシキ、月の光、撰一、農林 8 号を除いた合計 10 品種を用いた (第 1 表)。

栽培方法は 2 カ年ともほぼ同様であったので、

Table 2. Comparisons of dry weight at one month after transplanting(I), heading time(II) and harvesting time(III); dry weight increase in top(ΔW) and in panicle(ΔE) from heading to harvesting time; stem and leaf weight decrease($-\Delta S$) and reincrease($+\Delta S$) during ripening period; harvest index; carbohydrate content in stem at heading time; and light extinction coefficient at panicle development (PDS) and early ripening(ERS) stages; between the new and the old rice varieties (1990).

Varieth	Dry weight Mean \pm S. D. (g/hill)			Dry weight increase, decrease and reincrease				Harvest index	Carbo- hydrate content	Light extinc- tion coefficient	
	I	II	III	ΔW	ΔE	$-\Delta S$	$+\Delta S$			(%)	(%)
New variety (Japonica)											
Akihikari	12.9 \pm 0.7	41.1 \pm 3.1	71.0 \pm 2.4	29.8	29.4	6.4	6.9	49.7	26.4	0.34	0.78
Kosihikari	12.3 \pm 0.7	45.7 \pm 2.5	75.1 \pm 5.3	29.5	28.0	3.6	5.1	46.7	14.8	0.46	0.72
Nipponbare	12.7 \pm 0.5	55.4 \pm 2.0	83.5 \pm 4.0	28.1	30.1	7.1	5.2	43.3	16.8	0.40	0.74
Musasikogane	10.7 \pm 0.4	54.2 \pm 3.2	82.5 \pm 9.7	28.3	29.0	4.8	4.0	42.3	21.0	0.46	0.59
Akihikari	10.2 \pm 0.7	49.0 \pm 2.6	76.1 \pm 1.4	27.1	29.1	3.5	1.5	45.4	15.0	0.55	0.62
Tukinohikari	11.8 \pm 0.5	53.3 \pm 2.8	84.3 \pm 3.5	31.0	29.3	4.7	6.4	41.6	23.8	0.47	0.52
Old variety (Japonica)											
Aikoku	12.8 \pm 0.6	46.5 \pm 3.2	65.8 \pm 2.0	19.3	24.0	4.7	0	45.8	9.5	0.45	0.77
Kamenoo	13.3 \pm 0.5	57.4 \pm 3.3	80.5 \pm 2.8	23.1	25.7	2.6	0	39.3	14.2	0.42	0.77
Asahi	12.4 \pm 0.6	65.5 \pm 2.8	82.6 \pm 6.4	17.1	23.8	7.6	1.0	36.6	16.3	0.62	1.25
Ginbouzu	10.9 \pm 0.4	55.5 \pm 2.4	76.4 \pm 7.2	20.9	23.9	3.6	0.7	39.4	17.0	0.43	0.86
Sen-iti	13.4 \pm 0.8	55.3 \pm 4.1	83.7 \pm 6.6	28.3	26.5	0.6	2.5	39.2	10.4	0.43	0.77
Norin 8	12.3 \pm 0.4	55.2 \pm 3.1	74.7 \pm 4.4	19.5	22.8	3.5	0.3	38.6	11.7	0.44	0.87
Indica and Indica/Japonica hybrid semidwarf variety											
Nanjing 11	16.0 \pm 1.1	49.5 \pm 3.2	73.9 \pm 1.7	24.4	33.6	10.4	1.2	56.3	27.2	0.42	0.64
Milyang 23	10.7 \pm 0.6	51.8 \pm 2.2	78.8 \pm 3.0	27.1	33.2	6.4	0.2	51.1	23.6	0.41	0.45
Mean value											
New variety	11.8	49.8	78.8	29.0	29.2	5.0	4.9	44.8	19.6	0.45	0.66
Old variety	12.5	55.9	77.3	21.4	24.5	3.8	0.8	39.8	13.2	0.47	0.88
Difference	NS	NS	NS	**	**	NS	**	**	**	NS	**

Harvest index: Panicle dry weight/top dry weight.

Carbohydrate content: Total sugar and starch content (glucose equivalent).

** and NS indicate the difference at 1% level of significance and not significant, respectively.

1990年の栽培方法について述べる。5月1日に育苗箱に播種し、常法に従って出芽させ約1カ月間育苗した苗を5月29日に10a当り堆肥3t、チッ素、リン酸、カリ各成分で3kg施用した水田(10a、各品種35m²2反復)にm²当たり19.6株(1株3本、30×17cm、南北畦)の栽植密度で手植え移植し、常時湛水状態として生育させた。追肥は各品種の出穂期が異なることを考慮して、移植後約1週間おきに10a当たりチッ素、リン酸、カリ各成分で0.5kgを施用し、各成分の10a当り総施肥量は基肥を含め合計でそれぞれ8kgであった。栽培管理として、初期除草剤散布、病虫害防除を適宜行った結果、9月下旬に台風で一部倒伏した以外は天候にも恵まれ生育は順調であった。また、1991年は9月に雨天の日が多く、中旬に接近した台風の影響で旧品種の大部分が

倒伏した。

収量および収量構成要素:各品種1区当り4カ所、各1カ所20株から平均穂数を有する2株合計16株を選び、収量構成要素を測定して収量を求めた。また、m²当り穎花数と精玄米1粒重との積をシンク容量として表した。

地上部部位別乾物重:移植1カ月後および出穂前15日、出穂期、出穂後15日、出穂後30日、収穫期の計6回、各時期1区につき採取した15株の内平均的な5株を選び、各品種合計10株を穂、葉身、茎(葉鞘と稈)に分けて地上部部位別の乾物重を求め、生長解析法により個体群生長速度(CGR)、純同化率(NAR)、平均葉面積指数(LAI)を求めた。収穫指数は穂乾物重を乾物総生産量(収穫期の乾物重)で割って求めた。また、登熟期の茎葉重の推移から、

第4報¹²⁾と同様に茎葉重の減少量 ($-\Delta S$) と再増加量 ($+\Delta S$) を求めた。

個体群構造および吸光係数: 各品種とも幼穂発育期と登熟初期の2回、早朝に層別の相対光強度を測定した後、高さ10 cm おきに層別刈り取りを行い、層別の積算葉面積指数と相対光強度の関係から吸光係数を算出した。

個葉光合成速度: 各品種とも第I葉(止葉)と第III葉について、展開完了後約1週間おきに個葉光合成速度を測定した。測定方法は第3報¹¹⁾とほぼ同様で、早朝に水田より15 cm 立方の土壌をつけて掘り取った株の主稈もしくは低位の一次分げつの葉身3~4枚を同化箱に挿入して赤外線ガス分析装置(横河電気製)により CO_2 吸収速度を測定した。測定条件は、光強度 $1340 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、気温 30°C で、葉温は $30 \sim 31^\circ\text{C}$ の範囲であった。

炭水化物濃度: 出穂期の茎部(稈+葉鞘)粉砕試料を80%熱エタノール抽出した後Somogyi-Nelson法により全糖濃度を、残渣は糊化後Fキットスターチ(Boehringer-Manheim社)によりデンプン濃度を測定し、両者をグルコース量に換算して炭水化物濃度とした。

結 果

1. 収量構成要素および収量(第1表): 新・旧品種間の収量構成要素の関係は1990, 1991年ともほぼ同様で稈長が短い新品種は旧品種に比較して、一穂穎花数が少ないので m^2 当り穎花数は3, 4千少なか

ったが、千粒重が大きいのでシンク容量は新・旧品種間で有意差は認められなかった。したがって、新・旧品種の相違は登熟歩合の相違にあり、登熟歩合の高い新品種の収量は旧品種に比べ、1990年は21%、天候が悪く倒伏の著しかった1991年には51%多かった。新・旧品種に比較して、南京11号、密陽23号は一穂穎花数が多いことを通じて m^2 当り穎花数が約4万と多いため、シンク容量は $800 \sim 900 \text{ g/m}^2$ と大きく、収量は新品種に比較して南京11号が2~6%、密陽23号が12~18%多かった。

2. 乾物生産特性(第2表): 移植1カ月後の乾物重(I)は平均値でみると、新品種の 11.8 g に比べ旧品種は 12.5 g とやや大きかったが、有意差はなかった。出穂期の乾物重(II)は新品種の 49.8 g に比べ旧品種は 55.9 g と 6.1 g 大きかったが、品種による違いが大きく新・旧品種間で有意差はなかった。また、出穂期の乾物総生産量(III)は新・旧品種間でほぼ等しく、有意差はなかった。いずれの時期も乾物生産量に相違はなかったが、各時期の乾物増加量で比較すると相違が認められ、出穂期の全乾物増加量(ΔW)は旧品種の 21.4 g に比べ新品種が 29.0 g と有意に大きかった。

新・旧全品種の出穂後30日間の個体群生長速度(CGR)と平均葉面積指数(LAI), 純同化率(NAR)との関係を第1図A, Bに示した。新・旧品種ともにLAIとCGRの間には負の相関関係が認められ、LAIが大きくなるとCGRは小さくなり、その程度は新品種に比べ旧品種で大きく、旧品種では葉面積

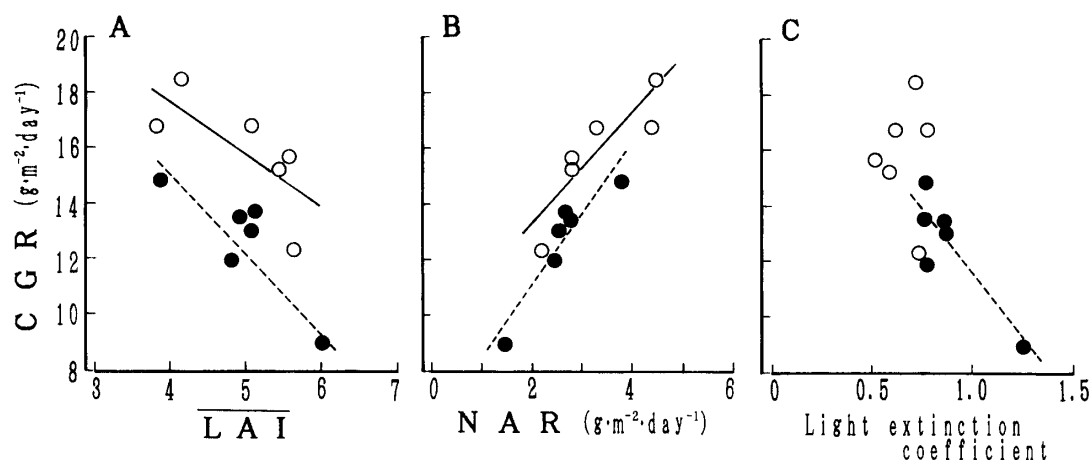


Fig. 1. Relationships between crop growth rate and mean leaf area index (A), net assimilation rate (B) and canopy light extinction coefficient at the early ripening stage (C) in the new (○) and old (●) rice varieties (1990).

The correlation coefficients between new and old varieties were -0.726 , -0.871^* (A), 0.875^* , 0.933^{**} (B) and 0.017 , -0.871^* (C), respectively.

の増大に伴い相互遮蔽が大きくなることが推察された。NAR と CGR との間には新・旧品種ともに密接な正の相関関係が認められ、乾物生産は主として NAR によって規定されていることがわかった。新・旧品種間で比較してみると NAR と CGR との関係を示す回帰直線の傾きは新品種 (1.97) に比べ旧品種 (2.57) が大きく、旧品種では NAR による CGR の律速程度が大きいことがわかった。

新・旧品種と南京 11 号、密陽 23 号の乾物生産を比較してみる。南京 11 号は移植 1 カ月後の乾物重は比較を行った品種の中で最も大きく、既報¹⁰⁾と同様に速い初期生育が認められたが、収穫期の乾物重は新品種に比べ小さかった。密陽 23 号の収穫期の乾物重は新品種とほぼ等しかったが、 ΔW はやや小さく、既報^{9,10)}で認められた乾物生産の優位性は認められなかった。

3. 出穂後の乾物の分配(第2表): 収量の大小に関係する穂乾物増加量 (ΔE) は新品種が大きかった。 ΔE を ΔW と出穂前に茎葉に蓄積し出穂後穂へ転流した同化産物量を示す出穂後の茎葉重減少量 ($-\Delta S$)、および出穂後生産された乾物の内穂へ移行しなかった同化産物量を示す茎葉重の再増加量 ($+\Delta S$) に分けて考えると、

$$\Delta E = \Delta W + (-\Delta S) - (+\Delta S)$$

という関係が成り立つ。 $-\Delta S$ は新・旧品種間に有意差は認められなかったが、新品種が 5.0 g と旧品種の 3.8 g に比べてやや大きかった。しかし、出穂期における貯蔵炭水化物量(糖+デンプン)濃度で比較してみると、旧品種の 13.2% に比べ新品種は 19.6%

と有意に高かった。 $+\Delta S$ には明白な有意差が認められ、旧品種の 0.8 g に対し新品種は 4.9 g と大きく、 $-\Delta S$ とほぼ同量の乾物が茎部へ再蓄積していた。また、穂への乾物の分配率を示す収穫指数は、旧品種の 39.8% に比べ新品種では 44.8% と高かった。

以上の結果をまとめてみると、出穂期までの乾物生産(出穂期乾物重)に新・旧品種間で有意差が認められないのに旧品種に比べ新品種の収量が高いのは、出穂後の乾物生産が高く穂への同化産物の分配が多く、収穫指数が高まったことが関係し、新品種の出穂後の高い乾物生産量は穂の同化産物の収容能力を超えているので、茎部への乾物の再蓄積が起こったと考えられる。

さらに、南京 11 号、密陽 23 号と新・旧品種の乾物の分配過程を比較してみる。南京 11 号は新品種に比較して、 $-\Delta S$ が大きいことにより ΔE が大きく、 $+\Delta S$ が小さいことにより収穫指数が高く、出穂期の炭水化物濃度は 14 品種中最も高かった。密陽 23 号は新品種に比較して、 $-\Delta S$ はほぼ等しく、 $+\Delta S$ が小さいことにより収穫指数が高かった。

4. 個体群構造・吸光係数: 新・旧品種の比較の一例として新品種日本晴と旧品種亀の尾および密陽 23 号の登熟初期における個体群構造を第2図に示した。日本晴では個体群中層に葉面積が集中しているのに対し、亀の尾は個体群上層に葉面積を多く配置していた。亀の尾は稈長が長いことを反映して、穂の分布する位置が高く、個体群上層が穂で覆われていた。これら2品種に比較して、密陽 23 号では個

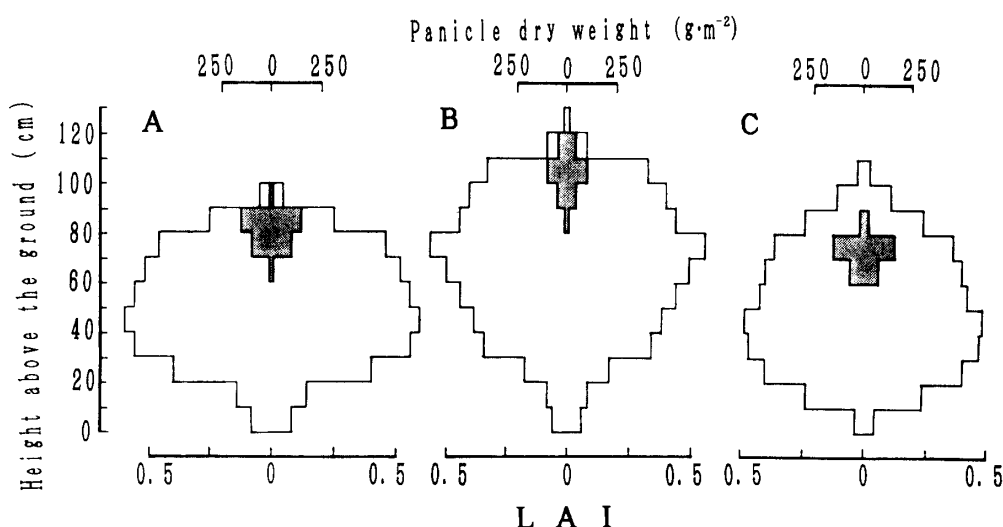


Fig. 2. Comparisons of canopy structure at the early ripening stage between Nipponbare (A), Kamenoo (B) and Milyang 23 (C) in 1991.

Table 3. Comparisons of maximum single-leaf photosynthetic rates measured during the two weeks after the full expansion and the rates at the mid ripening stage (MRS) measured for 10 days from 20 to 30 days after the heading time in the 1st (flag) and the 3rd leaf between the new and the old rice variety (1990).

Variety	Single-leaf photosynthetic rate ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)			
	1st(flag) leaf I		3rd leaf III	
	Max. rate	MRS	Max. rate	MRS
New variety (Japonica)				
Akihikari	36.6 ± 0.4	25.0 ± 4.2 (31.6)	39.0 ± 4.0	15.4 ± 2.3 (60.6)
Kosihikari	36.5 ± 3.2	24.4 ± 4.8 (33.4)	29.1 ± 3.0	13.9 ± 3.8 (52.4)
Nipponbare	38.7 ± 1.4	23.5 ± 2.5 (39.2)	27.7 ± 0.5	11.6 ± 0.6 (58.1)
Musasikogane	35.7 ± 1.9	26.3 ± 0.5 (26.5)	27.3 ± 0.5	13.4 ± 2.1 (51.1)
Akinisiki	37.2 ± 1.0	23.7 ± 4.5 (36.4)	30.4 ± 3.7	11.5 ± 3.0 (62.2)
Tukinohikari	37.1 ± 1.8	25.1 ± 1.4 (32.3)	33.2 ± 5.1	15.9 ± 0.2 (52.3)
Old variety (Japonica)				
Aikoku	42.3 ± 0.2	20.8 ± 2.3 (50.9)	30.1 ± 3.7	11.8 ± 2.4 (60.9)
Kamenoo	36.2 ± 3.5	15.8 ± 2.3 (56.5)	28.7 ± 3.7	10.2 ± 1.0 (64.7)
Asahi	36.3 ± 1.5	14.1 ± 1.2 (61.1)	29.5 ± 1.2	10.2 ± 3.0 (65.4)
Ginbouzu	40.5 ± 1.5	19.0 ± 2.7 (53.1)	33.1 ± 4.5	13.2 ± 1.5 (60.0)
Sen-iti	38.3 ± 2.8	23.7 ± 0.6 (38.3)	29.7 ± 1.0	11.0 ± 2.3 (62.8)
Norin 8	39.4 ± 1.7	20.7 ± 1.9 (46.9)	28.1 ± 2.0	10.6 ± 2.4 (62.2)
Indica and Indica/Japonica hybrid semidwarf variety				
Nanjing 11	40.6 ± 0.3	16.9 ± 3.6 (58.4)	27.9 ± 2.5	8.0 ± 2.2 (71.1)
Milyang 23	48.3 ± 1.7	33.2 ± 4.7 (31.3)	34.1 ± 3.1	18.0 ± 2.1 (47.2)
Mean value				
New variety	37.0 ± 0.9	24.7 ± 0.9 (33.2)	31.1 ± 4.0	13.6 ± 1.7 (56.1)
Old variety	38.8 ± 2.2	19.0 ± 3.2 (51.1)	29.9 ± 1.6	11.2 ± 1.1 (62.7)
Difference	NS	** (**)	NS	** (**)

Values indicate mean \pm S. D..

Numerals in the parentheses indicate the percentages of photosynthetic depression at the MRS.

** and NS indicate the difference at 1% level of significance and not significant, respectively.

体群中層を中心として上層・下層になるほど均一に葉面積が少なくなり、短稈で穂首が止葉の葉鞘から抽出する程度が小さく、穂の上に長い、面積の大きな葉身を有することと関係して、穂の位置が相対的に低く、個体群が穂を包み込むような構造をしていた。

受光態勢の指標となる個体群吸光係数は、幼穂発育期には新品種が 0.45、旧品種が 0.47 と品種間の相違はなかった (第 2 表)。登熟初期になると新・旧品種ともに吸光係数が大きくなったが、大きくなる程度は新品種 (0.66) に比べ旧品種 (0.88) で著しく、新品種に比べ旧品種の受光態勢は出穂期以後悪くなる程度の大きいことがわかった。さらに、個体群吸光係数と CGR との関係を見ると (第 1 図 C)、両者の間には旧品種では有意な負の相関関係 ($r = -0.871^*$) があったが、新品種では有意な相関はなかった ($r = 0.017$)。すなわち、旧品種では受光態

勢が登熟期の乾物生産に大きく影響しているのに対して、新品種では葉面積指数や個葉光合成速度が関係していることがわかった。この点から南京 11 号と密陽 23 号の吸光係数をみると、両品種ともに新品種に比べて小さく、吸光係数が乾物生産に大きく影響しているとは考えられなかった。

5. 個葉光合成速度 (第 3 表) : 新・旧品種の最大光合成速度 (展開完了後 2 週間の平均値) は、それぞれ第 I 葉 (止葉) が $37.0, 38.8 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、第 III 葉が $31.1, 29.9 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ と有意差は認められなかった。しかし、出穂後 20~30 日の光合成速度には有意差があり、旧品種に比べ新品種の光合成速度は第 I 葉、第 III 葉それぞれで $5.7, 2.4 \text{ mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 大きかった。

さらに、全品種について測定した第 I 葉、第 III 葉の個葉光合成速度の推移を出穂期前後日数で示した (第 3 図)。第 I 葉の光合成速度は新・旧品種ともに展

開完了直後は小さく、出穂期から出穂後10日頃に最大となり、その後日数の経過とともに減少した。第III葉の光合成速度は、展開完了直後には品種間で変動が大きかったが、日数の経過とともに徐々に低下した。それぞれの測定値は新・旧品種間でかなり変動しているが、第3表で認められたように展開完了後2週間程度は新・旧品種の測定値のバラツキは均一であったのに対し、出穂20日以降には第I葉、第III葉ともに明らかに新品種に比べ旧品種の測定値が小さくなる頻度が多かった。

最後に、南京11号と密陽23号についてみる。南京11号は止葉の最大光合成速度は新品種に比べて大きいものの、両葉位ともに登熟中期の光合成速度は新品種に比べてかなり小さく、既報¹¹⁾と同様に老化に伴う光合成速度の減少程度が大きかった。密陽23号は止葉の最大光合成速度が14品種中最大で、第III葉もアキヒカリに次いで大きく、登熟中期の光合成速度は両葉位ともに全品種中最大であり、既報¹¹⁾と同様に止葉の光合成速度が高かった。

考 察

本報告では、今日広く栽培されている品種ならびにそれらと遺伝的に近縁な旧品種の乾物生産過程、収量および収穫指数の比較を行った。これらの結果を基礎として、水稻品種の改良過程を考察するとともに、これら品種とこれまでの研究^{9,10,11,12,13)}で用いてきた多収性品種の南京11号、密陽23号の特性を再検討してみたい。

新・旧品種の収量および乾物生産特性：新・旧品種の比較を行った結果から、今日栽培されている新品種の特徴をまとめてみる。収量構成要素からみると、シンク容量は新・旧品種間でほぼ等しく、登熟歩合が高いことにより新品種の収量が多かった（第1表）。乾物生産過程からみると、新品種は旧品種に比べ出穂期以降の乾物生産（ ΔW ）の高いことにより収量・収穫指数が高いが、 ΔW はシンクの容量を越えて大きいので、出穂後に再蓄積される同化産物量が旧品種に比べて大きかった。新・旧品種の収量、乾物生産およびこれに関連した受光態勢、個葉光合成速度に着目して比較した研究は数多くある。新品種において、登熟期間の乾物生産が高いことが様々な地域において田中ら⁴⁾、速水²⁾、武田ら¹⁵⁾により示され、その主たる要因は新品種では受光態勢の指標となる吸光係数が小さいこと、登熟中期の個葉光合成速度が高いことにあることが明らかにされてい

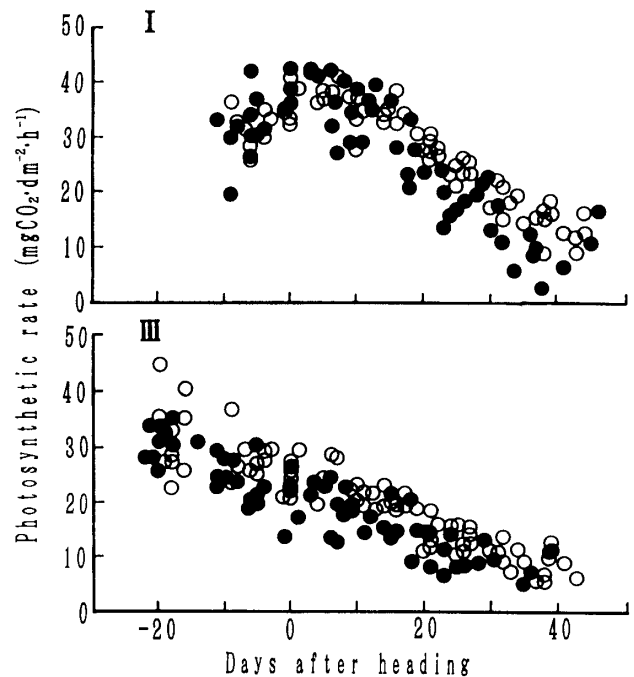


Fig. 3. Changes in photosynthetic rate of the 1st (flag, I) and the 3rd (III) leaves with aging in the new (○) and old (●) rice varieties (1991).

る。これらの知見と本報告の結果とはよく一致しており、戦後の品種改良の過程において、短稈化（第1表）とこれに伴う出穂後の受光態勢、個葉光合成速度の維持等（第1、3表）により、登熟期間の乾物生産を高め収量・収穫指数が高まったとする推測は、より確かになったと考えられる。

しかし、第1図Cで認められたように、新品種では吸光係数とCGRとの間には有意な相関関係は認められなかった。この結果は、現在の品種において受光態勢はかなり改良されてきており、最適な葉面積指数の確保、もしくは登熟期の個葉光合成能力の向上が新品種では重要であることを示している。本研究で用いた新品種の個葉光合成能力およびその老化に伴う減少程度は大きくは異ならなかった（第3表）。また、新品種の \overline{LAI} とCGRの間には負の相関関係が認められたことを考えると（第1図A）、武田ら^{15,16)}、黒田ら⁶⁾の研究が示すように、短稈化による葉面積密度の増加が乾物生産の制限要因となってきたおり、現在の品種の葉面積指数の増加は葉面積密度の増大のみを伴い、これが乾物生産を規定しているとも考えることも可能である。

出穂期以前に蓄積した同化産物の分配という観点から新・旧品種を比較してみる。本研究では、出穂期以前に蓄積し、出穂後穂へ転流した同化産物量（一

ΔS) は新・旧品種間で有意差は認められなかったが、平均値では旧品種に比べ新品種で大きく、転流物質と考えられる炭水化物の出穂期における濃度は旧品種に比べ新品種で有意に高かった(第2表)。さらに、本研究に用いた14品種の稈長と炭水化物含量との関係を検討してみると(第4図)、両者の間には負の相関関係が認められ、稈長の長い長稈品種ほど茎の炭水化物濃度が低かった。この関係は、稈長が長いと出穂前の貯蔵炭水化物が減少することを示唆する。同様な傾向を平岡ら¹⁷⁾、翁ら¹⁸⁾も認めており、稈長の短い新品種では出穂前貯蔵炭水化物が多く、出穂後穂へと転流するが、登熟後期に稈へ同化産物が再蓄積することにより収量に対しては大きな意味をもたなくなる。しかし、出穂前の貯蔵炭水化物の大小は、年による天候の不安定性によって生じる登熟期間の乾物生産の低下を補う上では大きな意味をもつと考えられる。

さらに、新・旧品種のシンクの特徴について考えてみる。 m^2 当り穎花数は新品種に比べ旧品種で多かったが、千粒重が小さいことによりシンク容量の有意差は認められなかった(第1表)。丸山ら⁸⁾は施肥窒素量の増大に伴う m^2 当り穎花数の増加が旧品種に比べて新品種で大きいことを認めているが、本研究における施肥水準においては明らかに旧品種の穎花数が多かった。この結果から、品種改良の過程において m^2 当り穎花数の増加はなされておらず、千粒重の増大により旧品種と同等のシンク容量を確保してきたと推測することも可能である。

このように、今日栽培されている新品種は出穂後の物質生産力は改良されているが、相対的にシンク容量が不足していることは、武田ら¹⁶⁾、玖村⁵⁾も指摘しており、現在の品種では収穫指数が低下しつつあることを示唆している。このことはつぎの項で述べるように、多収をあげた南京11号、密陽23号あるいはその他の最近育成された多収性品種はすべて m^2 当り穎花数が著しく多く、シンク容量が改良されていることから明らかであり、多収性の日本型品種の育成にあたって早急に改善されなければならない最も重要な課題である。

水稻多収性品種のシンク容量: 物質生産の観点から収量を考えると、収量は次式で表わされる。

$$\text{収量} = \text{乾物総生産量} \times \text{収穫指数}$$

したがって、単に式のみから考えると乾物総生産量と収穫指数の両者を高めることによって収量は限りなく大きくなると考えられる。しかし、収穫指数は

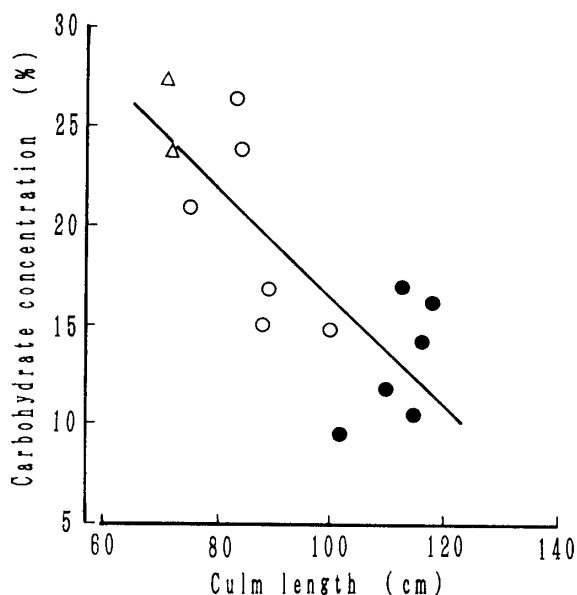


Fig. 4. Relation between culm length and carbohydrate concentration in the stem (culm with leaf sheath) at the heading time in the new (○), old (●) and Indica semidwarf (△) rice varieties (1990).

The correlation coefficient was -0.774^* .

シンク容量によって大きく制約を受けるので、乾物総生産量が大きくても相対的にシンク容量が小さいと収穫指数は大きくならない。

南京11号、密陽23号は m^2 当り穎花数が著しく多く、シンク容量が非常に大きかった(第1表)。南京11号は出穂期以前の乾物生産が高く、出穂期に茎葉に蓄積し出穂期以後穂に移行した炭水化物の量 ($-\Delta S$) が多いことにより収量、収穫指数が高かった(第2表)。密陽23号は、出穂前に蓄積した炭水化物 ($-\Delta S$)、出穂後に生産した炭水化物 (ΔW) のほとんどが穂に移行したことにより収量、収穫指数が高かった(第2表)。すなわち、両品種ともにシンク容量が大きいことにより、茎への同化産物の再蓄積が小さく、収穫指数が高くなり、収量が高かった。この2品種に比較して、本研究で用いた新品種ではシンク容量が小さく、出穂後生産された同化産物の多くが登熟後期に稈へ再蓄積することにより、収量、収穫指数が低かった(第2表)。

これらの結果から、 m^2 当り穎花数で表わされるシンク容量が小さければ、シンク容量を越えて生産された同化産物は稈へ再蓄積してそれ以上収量は増加せず、収穫指数は低下すること、大きいシンク容量が確保され、かつ高い乾物生産が達成されたときに高い収量が得られ、その結果収穫指数は著しく高くなることがわかった。

近年、多収のみを目的として育成された品種をみると、アケノホシ、ハバタキ、オオチカラ、タカナリ等に共通していることは、一穂穎花数が多く、その結果 m^2 当り穎花数が多くなる特性をもつことである。したがって、今日の品種改良においてシンク容量を拡大することは、日印交雑やそれら品種間の交雑により充分可能になってきた。しかし、インド型品種で一穂穎花数が多く、この品種を用いれば m^2 当り穎花数を確保できる品種を容易に育成できる要因については全く不明で、その遺伝的支配および機構は多収性日本型品種の育成のために今後研究されるべき重要な課題の一つである。

以上、第1報から本報告までを通じて、多収性品種密陽23号と南京11号の物質生産に関連した生理生態的特性を解析してきた。その過程で、 m^2 当り穎花数で示されるシンク容量の大きい特性をもつ品種の高い乾物生産要因を追及することの重要性を指摘するとともに、出穂期以前、登熟期の乾物生産を高める要因を議論してきた。

現在広く栽培されている品種の多くは、品質、食味が重視されて品種改良が行われてきたものが多く、これらの品種だけを用いて多収穫を達成するには限界がある。本報告でも認められたように、現在栽培されている品種の物質生産力はシンク容量を越えており、シンク容量の拡大はそのまま増収へと結びつく可能性がある。

最近の育種技術は飛躍的に向上しつつあり、近い将来特定の形質に着目して品種の改良を行うことが可能になると考えられる。この点を考えると、今後多収性品種の食味、品質を改良することは品種改良のシナリオとして充分成立する。この点からも、多収性水稻品種の生理生態、形態学的特性を整理し、それらの遺伝的支配を明らかにする研究の重要性は益々大きくなると考えられる。

謝辞: 本試験の遂行にあたり、ご協力をいただいた当時の本学農学部学生小林智宏君（現在郵政省職員）、登立靖紀君（現在本学大学院学生）に感謝します。

引用文献

- 平岡博幸・寺島一男・西山岩男 1986. 多収性水稻の生理生態的特性の解明. 9. 炭水化物の動態からみた多収性品種育成の目標形質. 日作紀 55 (別2): 17-18.
- 速水和彦 1982. 水稻多肥多収性品種の生理生態的特性の解明. 第1報 多肥多収性品種の光合成特性に対する窒素施肥の影響. 東北農試研報 67: 43-75.
- 林 健一 1972. 水稻品種の日射エネルギー利用効率に関する研究. 農技研報告 D 23: 1-67.
- 田中 明・山口淳一・島崎佳郎・柴田和博 1968. 草型よりみた北海道における水稻品種の歴史的変遷. 土肥誌 39: 526-534.
- 玖村敦彦 1990. 物質生産・物質配分からみた多収性の生理. 松尾孝嶺編, 稲学大成 2. 生理編. 農文協, 東京. 555-581.
- 黒田栄喜・大川泰一郎・石原 邦 1989. 草高の異なる水稻品種の乾物生産の相違とその要因の解析, とくに個体群内におけるガス拡散に着目して. 日作紀 58: 374-382.
- ・玖村敦彦 1990. 水稻個葉の光合成速度における新旧品種間差異. 第1報 個葉光合成速度と気孔伝導度. 日作紀 59: 283-292.
- 丸山幸夫・柁木信幸・田嶋公一 1988. 日本稲およびインド稲の窒素に対する生育反応. 第1報 窒素施肥によるわら重と穎花数増加の品種間差異. 日作紀 57: 470-475.
- 斎藤邦行・下田博之・石原 邦 1990. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第1報 密陽23号と日本晴の受光態勢の比較. 日作紀 59: 130-139.
- ・———・——— 1990. ————. 第2報 早生・中生数品種間の比較. 日作紀 59: 303-311.
- ・———・——— 1991. ————. 第3報 個葉光合成速度の比較. 日作紀 60: 35-74.
- ・柏木伸哉・木下孝宏・石原 邦 1991. ————. 第4報 穂への同化産物の分配. 日作紀 60: 255-263.
- ・下田博之・石原 邦 1992. ————. 第5報 個体群光合成速度のシミュレーションによる比較. 日作紀 61: 62-73.
- 佐々木治人・石井龍一・玖村敦彦 1986. 水稻個葉光合成の品種間差に関する研究. 第1報 個葉光合成速度の生育時期別比較. 日作紀 55 (別2): 83-84.
- 武田友四郎・岡 三徳・縣 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.
- ・———・——— 1983. ————. 第2報 明治期以降の新旧品種の子実生産特性. 日作紀 53: 12-21.
- Tsunoda, S. 1959. A developmental analysis of yielding ability in varieties of field crops. II The assimilation-system of plants as affected by the form, direction and arrangement of single leaves. Jpn. J. Breed. 9: 237-244.
- 翁 仁憲・縣 和一・武田友四郎・箱山 晋 1986. 水稻の子実生産に関する物質生産的研究. 第4報 出穂期における全炭水化物濃度の品種間差異. 日作紀 55: 201-207.