〔作物学会
研究奨励賞
特別講演〕

水稻品種の多収性に関する解析的研究

—とくに物質生産・光合成に着目して—

斉藤 邦行 (岡山大学農学部)

日本作物学会紀事

(Jpn. J. Crop Sci.)

62巻(別1号)

1993年

Analytical study on the high yielding characteristics of the rice varieties with reference to matter production and photosynthesis

Kuniyuki Saitoh (Faculty of Agriculture, Okayama University)

わが国の水稻単収(10a当り)は、昭和20年代の300kgレベルから10年ごとに約30~70kg増加し、昭和60年代には470~500kgに達している。しかし、近年良食味品種の栽培面積比率の高まり、天候不順などが関連して、単収は年次間の変動幅が大きく、伸び率は小さくなっている。昭和50年代に入って米の多用途利用が考えられ、多収穫のみを目的とした栽培試験が行われ始め、これらの試験にはインド型品種および日印交雑品種が数多く用いられた。それらの品種は日本型品種間の交雑により育成されてきた日本の品種に比べ、著しく異なった生理生態、形態的特性をもつと考えられる。

稲作コストの通減を計り、水稻の単収を高める上で、多収穫水稻品種を育成することは不可欠である。育種技術は飛躍的に向上し、特定の形質に着目した品種改良が可能となりつつあり、多収性品種の特性を解析的に研究することは極めて重要である。本研究では、実際に多収をあげた品種の収量がいかなる物質生産、光合成に関連した生理生態、形態的特性によりもたらされたかを調査することを通じて、多収性品種の備えるべき特性を明らかにした。

I 密陽23号と日本晴の受光態勢：多収性が広く認められている日印交雑品種密陽23号と日本晴を用いて、5ヵ年にわたって収量および乾物生産特性を比較し、その相違する要因を個体群構造、吸光係数で示される受光態勢から解析した。密陽23号は日本晴に比べて一穂穎花数が多いことにより m^2 当り穎花数が多く、収量、乾物総生産量は常に日本晴よりも大きかった(第1表)。密陽23号の収量は最高で $765\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ となり、日本晴よりも49%多収であった。密陽23号の個体群生長速度(CGR)は日本晴に比べ出穂期以後に大きくなり、これには密陽23号の純同化率(NAR)が相対的に大きいことが関係した(第2表)。密陽23号の吸光係数は日本晴に比べて出穂期以降小さくなり、この相違には出穂期以降日本晴に比べ密陽23号で直立した葉身が多く、穂による遮光の程度が小さいことが関係していた(第1図)。株間引きを行い受光態勢の影響を少なくした条件下でのNARを比較することにより、両品種の乾物生産の相違には受光態勢が大きく影響していることを確かめた(第2表)。

II 早生・中生数品種間の比較：早生、中生計5品種を用いて、収量および乾物生産特性の比較を行った。収量は早生品種ではアキヒカリ($580\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)に比べ南京11号($653\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)が、中生品種では日本晴($512\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)に比べむさしこがね($596\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)、密陽23号($765\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)が多かった(第3表)。各品種の乾物生産量の相違は早生品種では出穂期以前、中生品種では出穂期以後のCGRの違いによっていることがわかった(第2図)。受光態勢を比較したところ、幼穂発育期には全品種で直立した葉身が多く、吸光係数も小さかったが、登熟初期には個体群上層の葉身が水平に近くなり、吸光係数は大きくなった。幼穂発育期と登熟初期のこの相違は、アキヒカリ、日本晴で大きかった(第3図)。また、アキヒカリ、日本晴個体群では穂による遮光の程度が著しかった(第4図)。さらに、登熟前期の株間引き処理に伴う純同化率の増加割合を比較することを通じて、出穂期以降の乾物生産に受光態勢が大きく影響することを確認した。南京11号の乾物生産がアキヒカリに比べて高いのは出穂期以前の葉面積指数が大きいことにより、密陽23号、むさしこがねの乾物生産が高いのは日本

第1表 日本晴と密陽23号の収量および乾物総生産量の比較.

年次	玄米収量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) $\pm$ S.D.				乾物総生産量 ($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$) $\pm$ S.D.	
	日本晴		密陽23号		日本晴	密陽23号
	粗玄米	精玄米	粗玄米	精玄米		
1983年	448 (27)	399 (30)	549 (16)	333 (19)	55.4 (3.4)	65.9 (2.8)
1984年	611 (36)	570 (33)	796 (23)	754 (20)	69.3 (1.9)	79.8 (2.7)
1985年	577 (21)	527 (19)	693 (30)	636 (28)	63.8 (2.0)	68.3 (1.5)
1986年	556 (31)	512 (29)	802 (54)	765 (51)	70.6 (2.0)	74.9 (1.5)
1987年	486 (99)	428 (67)	716 (60)	662 (55)	58.8 (4.3)	75.2 (6.6)

各年次の収量と乾物総生産量は品種間に1%水準で有意差が認められた.

第1図 個体群層別の葉身傾斜角度分布 (1985年).
各図の上部は80-70cm層,
下部は60-50cm層を示す.

第2図 早生・中生品種の乾物重の推移 (1985年).

第3図 幼穂発育期と登熟初期の個体群吸光係数.

第4図 穂切除に伴う個体群吸光係数の変化.

第2表 日本晴と密陽23号のCGR, NARに及ぼす株間引き処理の影響.

生育時期	品種	CGR ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)		NAR ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)		LAI ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$)	
		無処理区	株間引き処理区	無処理区	株間引き処理区	無処理区	株間引き処理区
幼穂発育期 7/31~8/13	日本晴	23.2	17.7 (76)	3.95	5.88 (149)	5.9	3.0 (51)
	密陽23号	22.7	19.7 (87)	3.25	5.58 (172)	7.0	3.6 (51)
出穂開花期 8/14~8/27	日本晴	23.3	20.5 (88)	3.38	5.63 (167)	6.9	3.7 (54)
	密陽23号	24.2	17.8 (74)	3.24	4.52 (140)	7.5	3.9 (52)
登熟初期 8/28~9/16	日本晴	10.5	14.1 (134)	1.53	4.11 (269)	6.8	3.4 (50)
	密陽23号	17.1	16.3 (95)	2.55	4.75 (186)	6.8	3.4 (50)

括弧内の数字は無処理区に対する株間引き処理区の割合を示す.

第3表 早生・中生水稲品種の収量構成要素および収量の比較 (1986年).

年次 品種	m ² 当り 穂数	一穂 穎花数	m ² 当り 穎花数 $\times 10^3$	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	予測 収量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	部分刈 収量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
アキヒカリ	336 $\pm$ 12 ^a	101 $\pm$ 3 ^a	34.0 $\pm$ 1.3 ^a	81.1 $\pm$ 8.4 ^a	21.1 $\pm$ 0.3 ^a	580 $\pm$ 12 ^a	580 $\pm$ 22 ^a
南京11号	276 $\pm$ 11 ^b	177 $\pm$ 9 ^b	49.0 $\pm$ 2.8 ^b	61.3 $\pm$ 5.8 ^b	21.7 $\pm$ 0.2 ^a	650 $\pm$ 38 ^b	653 $\pm$ 32 ^b
日本晴	385 $\pm$ 16 ^a	96 $\pm$ 4 ^a	37.0 $\pm$ 2.9 ^a	64.3 $\pm$ 7.6 ^a	21.8 $\pm$ 0.5 ^a	516 $\pm$ 50 ^a	512 $\pm$ 29 ^a
むさしこがね	395 $\pm$ 14 ^a	89 $\pm$ 2 ^a	35.2 $\pm$ 1.7 ^a	83.9 $\pm$ 0.9 ^b	20.8 $\pm$ 0.8 ^b	614 $\pm$ 45 ^b	596 $\pm$ 13 ^b
密陽23号	263 $\pm$ 14 ^b	163 $\pm$ 4 ^b	42.9 $\pm$ 3.2 ^b	79.6 $\pm$ 2.2 ^c	22.8 $\pm$ 0.1 ^c	777 $\pm$ 58 ^c	765 $\pm$ 51 ^c

平均値 $\pm$ 標準偏差. 異なるアルファベットを伴う平均値は早生, 中生品種群それぞれの間に1%レベルで有意差のあることを示す.

晴に比べて出穂期以後の受光態勢が良いことによることが明らかになった。

Ⅲ 個葉光合成速度：これまで用いた水稻5品種について、最高分げつ期から収穫期まで完全展開した上位5葉の個葉光合成速度を測定した。各葉位の葉身の最大光合成速度は早生品種では南京11号に比べアキヒカリが、中生品種の上位葉では日本晴、むさしこがねに比べ密陽23号が大きかった(第4表)。老化に伴う光合成速度の減少割合はアキヒカリに比べ南京11号で、日本晴、むさしこがねに比べ密陽23号で著しかった。さらに、全品種、測定期間を通じた光合成速度と葉身窒素含量・拡散伝導度との間には直線関係がみられたが、クロロフィル含量との関係は指数関数として回帰され、クロロフィル含量が光合成速度に及ぼす影響は小さかった。なお、南京11号の葉身窒素含量と光合成速度との関係、密陽23号の葉身クロロフィル含量と光合成速度との関係は、他の品種と異なった。南京11号の老化に伴う光合成速度の減少が大きい特性は、登熟期の純同化率を小さくする要因として働くこと、中生3品種の光合成速度には実測値では大きな相違はなく、この時期の純同化率の相違には個体群の受光態勢が関係することを推察した。

Ⅳ 穂への同化産物の分配：これまで用いた水稻5品種の乾物総生産量、収量および収穫指数の相違する要因を穂への同化産物の分配から解析した(第5表)。部位別乾物重の推移のうち、茎葉重は出穂期以後減少して登熟後期には再び増加し、これには明らかな品種間差があった(第5図)。茎葉重の減少は穂への貯蔵同化産物の移行により、茎葉重の再増加は稈への同化産物の再蓄積によっており、以上の乾物重の変化は全糖・デンプン濃度の変化に対応していた。南京11号はアキヒカリに比べて出穂後の乾物生産は小さいものの出穂前貯蔵同化産物が多く、その大部分が大きいシンクへ移行することにより収量・収穫指数が高かった。中生品種では出穂前貯蔵同化産物量には大きな違いはなく、むさしこがねは日本晴に比べて出穂後の乾物生産が高いことにより収量が多いが、同化産物が稈に再蓄積することにより収穫指数が小さく、密陽23号は日本晴に比べ出穂後の乾物生産が高いことに加えて、その大部分が穂へと移行することにより収量・収穫指数が高かった。

Ⅴ 個体群光合成速度のシミュレーション：早生、中生水稻それぞれ2品種について、測定した個体群構造、受光態勢、個葉光合成の3つの特性をもとに、個体群光合成速度のシミュレーションモデルを作成した。その結果、光条件では、散乱光比率が個体群光合成速度に大きく影響することがわかった。本モデルを用いて推定した各生育時期における品種間のCGRの相対的關係は実測値とよく一致した(第6表)。上記3つの特性を品種間で交換することを通じて乾物生産の高い要因を解析した結果、南京11号はアキヒカリに比べ幼穂発育期には葉面積指数が大きいことによりCGRが高く、登熟初期には南京11号の個葉光合成速度が小さいことにより両品種間のCGRの相違が小さくなること、密陽23号は日本晴に比べ、幼穂発育期には個葉の光-光合成関係の初期勾配が大きいことによりCGRが高く、登熟初期には良好な受光態勢と、これを高い個体群光合成速度に結びつけられるような個体群構造をもつことによりCGRが著しく高いことが明らかとなった(第6図)。

Ⅵ 多収性水稻品種の生理生態的特性：本研究で検討を行った多収性品種の特性の解析結果をもとに、理想的な多収性品種の特性として、①一穂穎花数が多くシンク容量が大きい穂重型、②葉身の幅・長さ・面積が大きく、かつ直立している性質、③光合成能力が止葉に近いほど高く、茎間の変異の小さい性質、④穂の上に長く直立した葉身をもち、草高が高く、葉面積密度、個体群吸光係数の小さい性質、⑤開花期以降も受光態勢のよい性質、⑥草高が高くても倒伏抵抗性の大きい性質、⑦葉身の老化が遅くその進行が茎間で等しい性質、⑧葉身の老化に関連した光合成能力、葉面積指数の減少の小さい性質、⑨相対的に登熟期間の長い性質、⑩穂が同化産物を受け入れる能力が生育後期まで持続する性質が望ましいことを指摘し、これらの性質をより多くもつ飛躍的な多収性品種の育成が可能であることを示した。

なお、本研究は東京農工大学農学部附属農場において行われたものである。

第5表 早生・中生水稻品種における収量、乾物総生産量、収穫指数ならびに登熟期の全乾物増加量(ΔW)、穂部乾物増加量(ΔE)、登熟初期の茎葉部乾物重の減少量($-\Delta S$)、登熟後期の茎葉部乾物重の再増加量($+\Delta S$)の比較(1989年)。

品 種	シンク容量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	部分刈 収 量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	乾 物 総生産量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	収穫 指数 (%)	地上部 乾物 増加量 ΔW ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	穂 部 乾物 増加量 ΔE	茎 葉 部 乾物重の 減少量 $-\Delta S$ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	再増加量 $+\Delta S$	$-\Delta S$ / ΔE^* (%)
アキヒカリ	790 (48)	659 (39)	1341 (103)	57.7 (1.4)	624	681	76	19	11.1
南京11号	869 (83)	728 (72)	1490 (70)	58.7 (1.0)	479	722	244	0	33.8
日 本 晴	724 (52)	574 (30)	1594 (75)	45.5 (0.8)	467	592	218	92	36.8
むさしこがね	624 (28)	571 (44)	1638 (73)	43.2 (1.0)	563	584	150	130	25.7
密陽23号	906 (99)	772 (32)	1688 (68)	55.5 (1.0)	606	768	163	0	21.2

平均値(標準偏差)。シンク容量は m^2 当り穎花数 $\times$ 精玄米1粒重、収穫指数は地上部乾物重に占める穂乾物重(穂首以上)の割合で示した。*: 茎葉部から穂へ転流した同化産物の割合を示す。

第5図 地上部全乾物重および部位別(穂、葉身+枯葉、稈+葉鞘)乾物重の推移(1989年)。

第4表 早生・中生水稻品種における上位3葉の最大光合成速度の比較(1986年)

品 種	最大光合成速度($\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)		
	第I葉*	第II葉	第III葉
アキヒカリ	47.7	43.5	39.4
南京11号	43.0	40.8	40.2
日 本 晴	33.1	32.9	35.2
むさしこがね	34.1	33.2	38.9
密陽23号	44.3	38.1	34.3

* 印は止葉を示す。最大光合成速度は葉身が展開完了した直後に測定した最大値で示した。

第6図 日本晴の個体群光合成速度の垂直分布(C)に及ぼす密陽23号の個体群光合成速度のパラメータS(個体群構造)、K(受光態勢)およびS・K両者の影響(8月28日正午、登熟初期)。図中の数値は個体群全体の総光合成速度を示す。

第6表 個体群光合成モデルにより推定した個体群純生産の日量と実測した個体群生長速度の比較(1989年)。

項 目	幼 穂 発 育 期				登 熟 初 期			
	アキヒカリ	南京11号	日本晴	密陽23号	アキヒカリ	南京11号	日本晴	密陽23号
実 測 値								
L A I	4.72	7.37	6.66	6.46	4.49	5.95	6.18	6.07
C G R ¹⁾	23.6	25.6	21.1	25.5	21.4	14.1	11.4	18.8
推 定 値								
総光合成の日量 ²⁾	36.1	43.8	38.9	42.9	32.3	28.6	24.9	29.3
呼吸の日量 ²⁾	14.7	18.9	18.9	19.3	16.5	17.8	17.3	18.4
純生産の日量 ²⁾	21.4 (91)	24.9 (97)	20.0 (95)	23.6 (93)	15.8 (74)	10.8 (76)	7.6 (66)	10.9 (58)

括弧内の数値は実測値に対する推定値の割合を示す。 ¹⁾: $\text{gDW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, ²⁾: $\text{gCH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 。