



## 水稻における収穫指数の品種間差に関する研究

—乾物生産特性との関係—

崔晶・楠谷彰人\*・豊田正範・浅沼興一郎

(香川大学)

**要旨:** 水稻の日本品種 60 (日本品種群) とアジア各国で育成された多収品種 20 (多収品種群) につき, 収穫指数 (HI) と収量 (Y) の品種間差を調査した. HI は 36.8% から 53.4% に変異し, その平均値は, 日本品種では 43.5%, 多収品種では 48.8% であった. Y は 22.6 g/株 から 40.0 g/株 の範囲にあり, 日本品種における平均値は 27.8 g/株, 多収品種の平均値は 34.1 g/株 であった. 多収品種では HI と Y との間に有意な正の相関関係が認められたが, 日本品種における相関関係は有意ではなかった. HI と成熟期における全乾物重 ( $W_2$ ) との間には, 日本品種では有意な負の相関関係が存在したが, 多収品種に有意な相関関係は認められなかった. HI と物質生産との関係を明らかにするために, 収数 (N) と出穂期の全乾物重 ( $W_1$ ) を基に HI を次の三つの構成要素に分割した.

$$HI = Y/W_2 = [W_1/W_2] \times [N/W_1] \times [Y/N]$$

両品種群とも, HI は  $W_1/W_2$  と有意な負の相関を示した. また, 日本品種では  $N/W_1$ , 多収品種では  $Y/N$  との間にも有意な正の相関関係が認められた.  $W_1/W_2$ ,  $N/W_1$  および  $Y/N$  はそれぞれ, 出穂期前後の乾物生産力のバランス, 収数生産効率および登熟の良否を示す指標になると考えられる. 従って, 以上の結果は, 水稻では出穂期前の乾物生産力に比べ出穂期後の乾物生産力が相対的に優れる品種ほど高い HI を持つことを示唆している. さらに, 日本品種では収数生産効率, 多収品種では登熟の良否も HI に影響すると考えられる.

**キーワード:** 収穫指数, 収穫指数構成要素, 水稻, 多収性, 物質生産.

多収性は従来より, 作物の持つ特性の中でも特に重要なもののひとつとされてきた. 生産性の安定や品質, 食味が重視されるようになった現在でも, 作物生産に果たす多収性の持つ意義は本質的に何ら変わらない. すなわち, 収量を無視して他の特性を改良したとしても, 実用的に広く普及することは望めない. また, 資源の過剰消費を伴わない収量性の改善は生産の低コスト化に直結する. さらに, 今後予想される世界人口の増加を考えた場合, 作物の収量性を一層向上させることが必要で, そのための技術開発や品種改良に対する期待は大きい. それ故, 多収機構の解明は今なお作物学上の最も基本的な課題として位置づけられている. こうした背景の中で, 本研究は水稻における収量の品種間差の生じる機構を主に物質生産面から検討し, 今後の多収栽培技術の開発や多収性育種に資する知見を得る目的で実施した.

物質生産からみると, 作物の収量は次の式で表される.

$$\text{収量} = \text{全乾物生産量} \times \text{収量/全乾物生産量}$$

収量/全乾物生産量は生産された乾物の収穫部位への配分割合を示すもので, 一般に収穫指数と称される. このうち, 全乾物生産量についての研究はこれまでも多数行われ, その品種間差をもたらす生理生態的特性やこれを高めていく方法に関する知見は広く集積されている (翁ら 1982, 武田ら 1984, 斎藤ら 1990, 斎藤ら 1991, 徐ら 1997). 一方, 収穫指数については内容が複雑で, その実体はまだ十分解明されているとはいえない. このため, 水

稲において収穫指数を直接の対象とした研究はそれほど多く行われていない (速水 1983, 楠谷 1985, 石井ら 1988).

こうしたことから, 本研究では収穫指数に着目して解析をすすめた. すなわち, 水稻における収穫指数の品種間差がどのような機構によって決定されるのかを検討することで, その収量生産に果たす意義と限界を明らかにしようとして試みた. 本報では先ず, 同一条件下で栽培した場合の収穫指数の品種間差を調査し, 収量および物質生産との関係について検討した.

### 材料と方法

試験は 1996 年と 1997 年に香川大学農学部内水田において, 第 1 表に示した 80 品種を供試して行った. 供試品種のうち 1~60 は従来の日本品種であるが, 表には育成年度の古い順に記載した. ただし, 1~3 の品種の育成年度は不明であった. 61~80 は, 近年日本, 韓国, 中国で多収を目的に育成された印度型または印度型の血をひく品種で, 61~67 は日本の系統, 68~72 は韓国, 73~76 は中国, 77~80 は日本の品種である. なお, 以下の本文中では 1~60 を日本品種, 61~80 を多収品種と総称した.

試験方法は, 移植日を除いて, 両年とも同じであった. すなわち, 28 日間箱育苗した苗を 1996 年は 6 月 14 日, 1997 年は 6 月 13 日に 22.2 株  $m^{-2}$  (30 cm  $\times$  15 cm) の栽植密度で, 3 本ずつ本田に手植えた. 肥料は N, P<sub>2</sub>

第1表 供試品種およびその出穂期迄日数, 収量, 全乾物重, 収穫指数.

| 番号 | 品種名    | t <sub>1</sub> | Y ± S.D. | W <sub>2</sub> | HI   | 番号 | 品種名     | t <sub>1</sub> | Y ± S.D. | W <sub>2</sub> | HI   |
|----|--------|----------------|----------|----------------|------|----|---------|----------------|----------|----------------|------|
| 1  | 上州     | 60             | 24.0±1.4 | 53.3           | 44.9 | 41 | コガネマサリ  | 73             | 29.4±1.0 | 70.4           | 41.7 |
| 2  | 十石     | 82             | 24.1±2.3 | 58.2           | 41.4 | 42 | オオセト    | 68             | 27.4±1.7 | 61.3           | 44.7 |
| 3  | 撰一     | 61             | 23.9±3.7 | 52.2           | 45.8 | 43 | ニシヒカリ   | 82             | 28.6±3.1 | 69.4           | 41.3 |
| 4  | 関取     | 83             | 25.8±3.1 | 66.0           | 39.1 | 44 | 星の光     | 62             | 30.4±0.8 | 63.0           | 48.2 |
| 5  | 白玉     | 81             | 27.2±3.1 | 67.0           | 40.5 | 45 | 青い空     | 62             | 29.3±2.4 | 59.7           | 49.1 |
| 6  | 都      | 77             | 27.3±1.7 | 66.0           | 41.4 | 46 | ミナミヒカリ  | 84             | 30.0±2.0 | 79.1           | 37.9 |
| 7  | 大場     | 60             | 22.6±0.0 | 52.9           | 42.6 | 47 | 朝の光     | 63             | 29.1±0.1 | 60.9           | 47.7 |
| 8  | 竹成     | 79             | 25.6±2.3 | 62.9           | 40.7 | 48 | キヌヒカリ   | 58             | 27.8±0.3 | 58.0           | 48.0 |
| 9  | 神力     | 84             | 27.5±2.1 | 71.5           | 38.5 | 49 | ヒノヒカリ   | 75             | 30.1±0.6 | 73.0           | 41.2 |
| 10 | 愛国     | 63             | 23.4±1.0 | 51.1           | 45.9 | 50 | ユメヒカリ   | 87             | 29.9±2.0 | 77.7           | 38.4 |
| 11 | 銀坊主    | 74             | 27.7±0.7 | 62.8           | 44.0 | 51 | おくひかり   | 64             | 32.8±1.1 | 69.3           | 47.4 |
| 12 | 京都旭    | 80             | 28.3±1.1 | 71.8           | 39.4 | 52 | ハナエチゼン  | 57             | 28.6±2.3 | 61.2           | 46.7 |
| 13 | 朝日     | 78             | 25.9±2.5 | 60.3           | 43.0 | 53 | ひめのまい   | 82             | 28.7±0.3 | 73.4           | 39.1 |
| 14 | 愛知旭    | 79             | 29.2±0.4 | 68.1           | 42.9 | 54 | ヒノクニオトメ | 67             | 29.5±3.3 | 67.1           | 44.0 |
| 15 | 農林1号   | 55             | 25.8±3.7 | 55.5           | 46.4 | 55 | ほほほの穂   | 55             | 27.0±1.8 | 53.8           | 50.2 |
| 16 | 瑞豊     | 90             | 30.7±1.0 | 83.3           | 36.8 | 56 | つぶより    | 77             | 29.2±2.8 | 75.9           | 38.5 |
| 17 | 山田錦    | 79             | 27.7±0.7 | 68.2           | 40.6 | 57 | 夢つくし    | 60             | 26.9±1.1 | 56.8           | 47.3 |
| 18 | 農林8号   | 72             | 26.6±0.4 | 61.0           | 43.6 | 58 | どんとこい   | 60             | 27.7±1.6 | 58.5           | 47.4 |
| 19 | 農林18号  | 86             | 29.3±1.7 | 76.0           | 38.5 | 59 | こいごころ   | 70             | 29.1±2.0 | 67.2           | 43.3 |
| 20 | 東山38号  | 72             | 26.8±1.3 | 62.1           | 43.3 | 60 | あきろまん   | 70             | 28.6±2.5 | 64.1           | 44.6 |
| 21 | 金南風    | 77             | 29.5±0.7 | 67.0           | 44.0 | 61 | 西海198号  | 73             | 40.0±1.6 | 83.5           | 47.8 |
| 22 | ナギホ    | 73             | 31.0±0.8 | 69.8           | 44.5 | 62 | 西海203号  | 78             | 33.2±5.5 | 71.1           | 46.7 |
| 23 | 中生新千本  | 75             | 29.0±0.8 | 64.1           | 45.3 | 63 | 西海213号  | 63             | 29.0±0.1 | 58.0           | 50.0 |
| 24 | ギンマサリ  | 63             | 28.6±1.0 | 63.7           | 45.0 | 64 | 中国146号  | 70             | 27.9±0.3 | 61.3           | 45.5 |
| 25 | ハウネンワセ | 56             | 27.4±0.3 | 56.0           | 48.9 | 65 | 北陸147号  | 76             | 30.4±1.1 | 72.3           | 42.0 |
| 26 | ヤエホ    | 68             | 26.1±1.7 | 59.0           | 44.2 | 66 | 北陸153号  | 64             | 31.0±5.4 | 58.2           | 53.3 |
| 27 | コシヒカリ  | 60             | 30.4±2.5 | 64.3           | 47.2 | 67 | 北陸168号  | 62             | 30.5±2.5 | 61.4           | 49.6 |
| 28 | アズサ    | 62             | 24.9±1.3 | 51.2           | 48.6 | 68 | 統一      | 66             | 36.0±0.6 | 67.4           | 53.4 |
| 29 | チヨヒカリ  | 72             | 27.3±2.4 | 65.0           | 42.1 | 69 | 密陽23号   | 73             | 38.2±2.0 | 78.7           | 48.6 |
| 30 | ヤマビコ   | 69             | 28.1±1.7 | 60.3           | 46.5 | 70 | 来敬      | 70             | 39.4±6.2 | 76.3           | 51.7 |
| 31 | ハウヨク   | 80             | 26.8±2.0 | 64.3           | 41.7 | 71 | 水原258号  | 80             | 31.3±5.1 | 66.0           | 47.4 |
| 32 | 秋晴     | 70             | 25.6±3.1 | 54.8           | 46.8 | 72 | 水原405号  | 70             | 37.5±2.4 | 74.2           | 50.5 |
| 33 | コトミノリ  | 78             | 26.7±1.7 | 63.7           | 42.3 | 73 | 塩選203号  | 71             | 29.3±0.1 | 65.0           | 45.1 |
| 34 | ウズシオ   | 81             | 30.5±1.8 | 73.6           | 41.5 | 74 | 南京11号   | 63             | 35.5±0.7 | 67.1           | 52.9 |
| 35 | トドロキワセ | 58             | 29.0±1.4 | 61.0           | 47.5 | 75 | 桂朝2号    | 76             | 39.9±0.8 | 76.4           | 52.3 |
| 36 | テンリョウ  | 65             | 27.4±1.8 | 56.5           | 48.4 | 76 | 揚稲4号    | 80             | 39.4±0.6 | 79.5           | 49.6 |
| 37 | セトホマレ  | 73             | 25.0±0.0 | 63.0           | 39.6 | 77 | アケノホシ   | 71             | 32.1±2.4 | 62.3           | 51.5 |
| 38 | ニホンマサリ | 64             | 25.5±1.3 | 61.0           | 41.8 | 78 | ホシユタカ   | 85             | 27.8±1.5 | 72.6           | 38.3 |
| 39 | ミズホ    | 86             | 29.9±0.8 | 77.7           | 38.4 | 79 | ハバタキ    | 67             | 36.4±5.4 | 74.8           | 48.7 |
| 40 | ミナミニシキ | 83             | 28.5±2.0 | 74.9           | 38.0 | 80 | タカナリ    | 70             | 37.7±4.1 | 74.7           | 50.5 |

t<sub>1</sub>: 出穂期迄日数 (日), Y ± S.D.: 収量 ± 標準偏差 (g/株), W<sub>2</sub>: 全乾物重 (g/株), HI: 収穫指数 (%).

O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O をそれぞれ 10 a 当たり 8.5 kg 全量基肥で施与した.

各品種の出穂期に 9 株を採取し, 生体重中庸の 5 株につき地上部乾物重を測定した. 成熟期に 28 株を刈り取り, 網室内で約 2 週間風乾した後地上部全乾物重と収量および収量構成要素を調査した. 収量は唐箕による風選を 2 回加えた後の精籾重とした. 収量構成要素のうち, 穂数は 28 株, 1 穂籾数は平均穂数に近い 3 株の全穂について計数した. 1000 籾重は, 収量対象籾について測定した. 収量を穂数, 1 穂籾数および 1000 籾重の積で除して, 登熟歩合を求めた. 従って, 本報で述べる登熟歩合は, 正確には精籾歩合ということになる.

成熟期の地上部全乾物重を全乾物生産量とし, 収量をこれに除して収穫指数を算出した.

なお, 両年とも反復区を設けなかったもので, 解析は 2 年間の平均値を用いて行ったが, 香川大学農学部気象月報から求めた 1996 年と 1997 年の 6 月~10 月の積算日平均気温および積算全天日射量は, それぞれ 3466 °C と 3477 °C, 2595 MJm<sup>-2</sup> と 2757 MJm<sup>-2</sup> で, 大きな差はなかった.

## 結 果

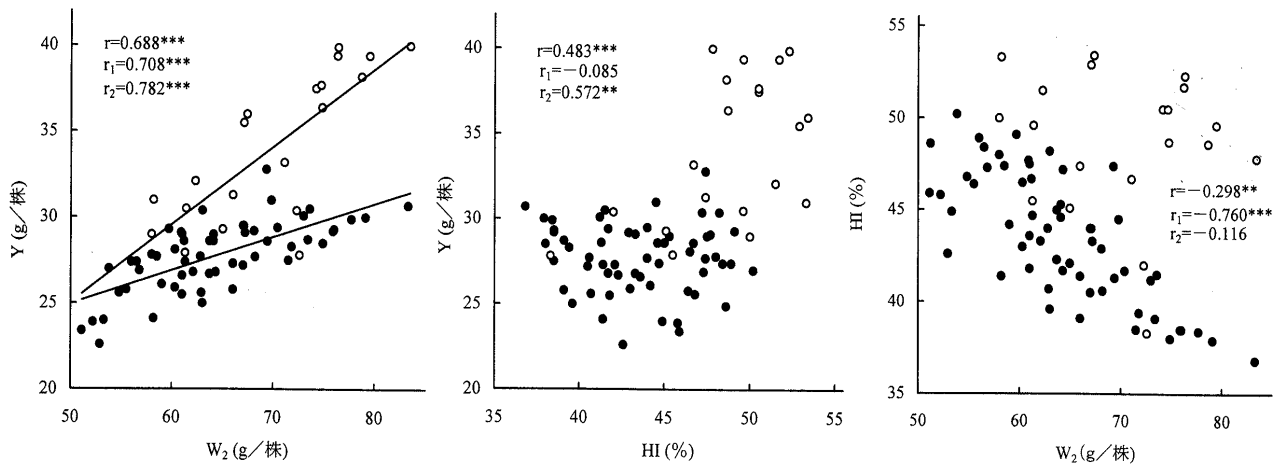
### 1. 供試品種および収量関連形質

第 1 表に供試品種およびその移植期から出穂期までの日

第2表 収量関連形質の平均値。

|      | $t_1$ | Y    | $W_2$ | HI   | EN   | GN    | N    | GW   | RP   |
|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| 全品種  | 71    | 29.4 | 65.8  | 44.8 | 14.1 | 94.6  | 1297 | 26.4 | 86.6 |
| 日本品種 | 71    | 27.8 | 64.3  | 43.5 | 14.8 | 83.7  | 1233 | 25.9 | 87.6 |
| 多収品種 | 71    | 34.1 | 70.0  | 48.8 | 11.7 | 127.3 | 1492 | 28.0 | 83.6 |
| 有意性  | ns    | **   | **    | **   | **   | **    | **   | **   | **   |

$t_1$ : 出穂期迄日数 (日), Y: 収量 (g/株),  $W_2$ : 全乾物重 (g/株), HI: 収穫指数 (%), EN: 穂数 (本/株), GN: 1 穂粒数 (粒/穂), N: 粒数 (粒/株), GW: 1000 粒重 (g), RP: 登熟歩合 (%), ns, \*\*: 最小有意差法により日本品種と多収品種の間にそれぞれ有意差なし, 1%水準で有意差ありを示す。


 第1図 全乾物重 ( $W_2$ ), 収穫指数 (HI) および収量 (Y) の相互関係。

●: 日本品種, ○: 多収品種, r: 全品種の相関係数,  $r_1$ : 日本品種の相関係数,  $r_2$ : 多収品種の相関係数, \*\*, \*\*\*: それぞれ 1% および 0.1% 水準で有意。

数 (以下, 出穂期迄日数), 収量, 全乾物生産量 (同, 全乾物重), 収穫指数を示した。また, 第2表は日本品種と多収品種の収量関連形質を比較するために, 全品種および両品種群の出穂期迄日数, 収量, 全乾物重, 収穫指数および収量構成要素の平均値を示したものである。

出穂期迄日数には 55 日から 90 日までの差がみられたが, 平均出穂期迄日数は日本品種, 多収品種とも 71 日で, 品種群間に差はなかった。収量は 22.6 g/株から 40.0 g/株の間にあり, 全品種の平均収量は 29.4 g/株であった。日本品種だけについての平均収量は 27.8 g/株, 多収品種の平均収量は 34.1 g/株であり, 多収品種の方が日本品種を 22.7% 上回っていた。全乾物重は 51.1 g/株から 83.5 g/株の範囲にあった。全品種の平均値は 65.8 g/株, 日本品種の平均値は 64.3 g/株, 多収品種の平均値は 70.0 g/株であった。収穫指数は 36.8% から 53.4% の間に変異し, 全品種の平均値は 44.8% であった。収穫指数が 50% 以上の品種は全部で 10 あったが, このうち 9 までは多収品種に属していた。このため, 品種群別の平均値は日本品種 43.5%, 多収品種 48.8% となり有意差が認められたが, 日本品種の中にも多収品種の平均値前後の 45% 以上を示す品種が 21 あった。

収量構成要素の平均値について, 日本品種と多収品種を比較すると, 株当たり穂数 (以下, 穂数) は日本品種, 1 穂粒数は多収品種の方が多かった。多収品種の株当たり粒

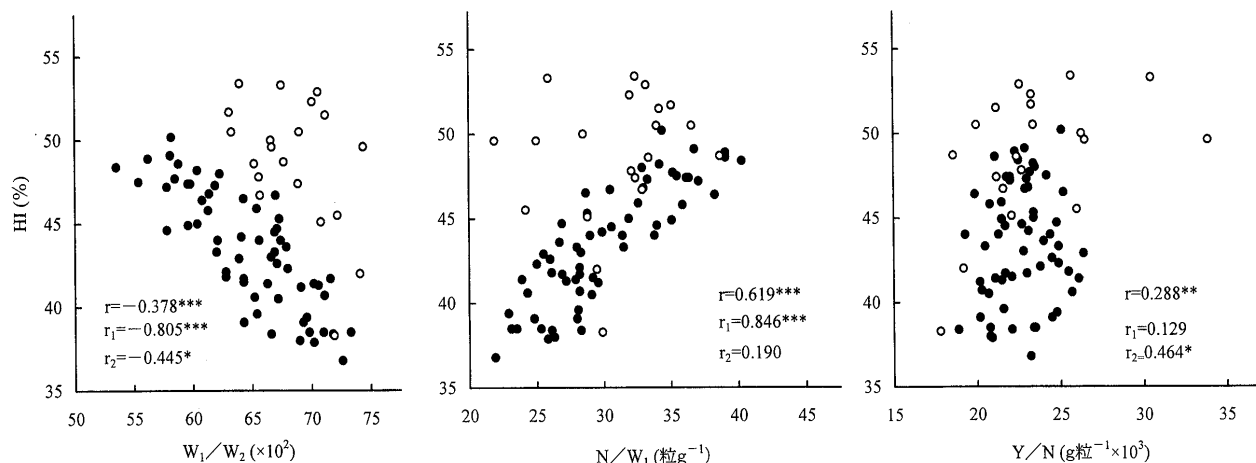
数 (同, 粒数) は 1500 粒に近く, 日本品種を 21.0% 上回っていた。1000 粒重は多収品種の方が重かったが, 登熟歩合は日本品種の方が高かった。

## 2. 収量と全乾物生産量および収穫指数との関係

第1図に全乾物重 ( $W_2$ ) と収穫指数 (HI) および収量 (Y) の相互関係を示した。全体的にみると,  $W_2$  および HI と Y との間には共に有意な正の相関関係が認められたが, その反応は日本品種と多収品種では違っていた。すなわち, 日本品種だけでは HI と Y は有意な相関を示さなかった。また,  $W_2$  と Y との関係でも, 両品種群とも相関係数は高かったが, 回帰する直線は異なった。 $W_2$  と HI との関係では, 全体および日本品種の相関係数は負で有意であったが, 多収品種だけでみると相関関係に有意性は認められなかった。すなわち, 日本品種では  $W_2$  の大きい品種ほど HI は低かったが, 多収品種にこの傾向はみられなかった。

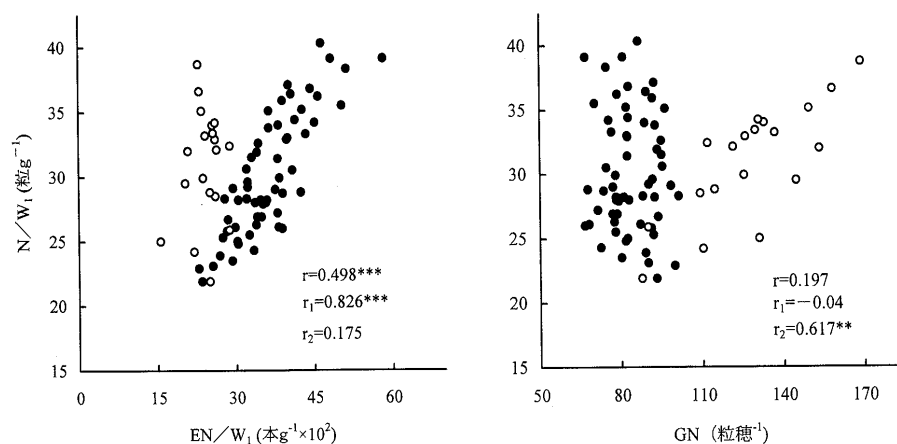
## 3. 収穫指数の構成

収穫指数 (HI) は, 収量 (Y) と全乾物重 ( $W_2$ ) との比であるが, 水稻の HI, あるいはこれとほぼ同じ内容を持つ粒/わら比は粒数 (N)/出穂期の乾物重 ( $W_1$ ) と密接な関係を示すことが報告されている (和田 1971, 森谷ら 1974)。そこで,  $N/W_1$  を組み込むことによって, HI を



第2図 出穂期乾物重 ( $W_1$ )/全乾物重 ( $W_2$ ), 粒数 ( $N$ )/出穂期乾物重 ( $W_1$ ) および収量 ( $Y$ )/粒数 ( $N$ ) と収穫指数 (HI) との関係。

\*: 5%水準で有意, 他の記号は第1図と同じ。



第3図 穂数 (EN)/出穂期乾物重 ( $W_1$ ) および1穂粒数 (GN) と粒数 ( $N$ )/出穂期乾物重 ( $W_1$ ) との関係。

図中の記号は第1図と同じ。

次のように変形した。

$$HI = Y/W_2 = [W_1/W_2] \times [N/W_1] \times [Y/N]$$

すなわち, HI を  $W_1/W_2$ ,  $N/W_1$  および  $Y/N$  の三つの構成要素に分割し検討を加えた。

第2図は, HI とその構成要素との関係を示したものである。供試品種全体についてみると, HI と  $W_1/W_2$  とは負,  $N/W_1$  とは正の0.1%水準で有意な相関を示した。  $Y/N$  と HI との関係は1%水準の正で有意であった。品種群別にみると, 日本品種の HI は  $W_1/W_2$  と負,  $N/W_1$  と正のそれぞれ強い相関関係にあったが,  $Y/N$  との関係に有意性は認められなかった。一方, 多収品種では,  $W_1/W_2$  と負,  $Y/N$  と正の5%水準で有意な相関を示し,  $N/W_1$  との関係は有意ではなかった。

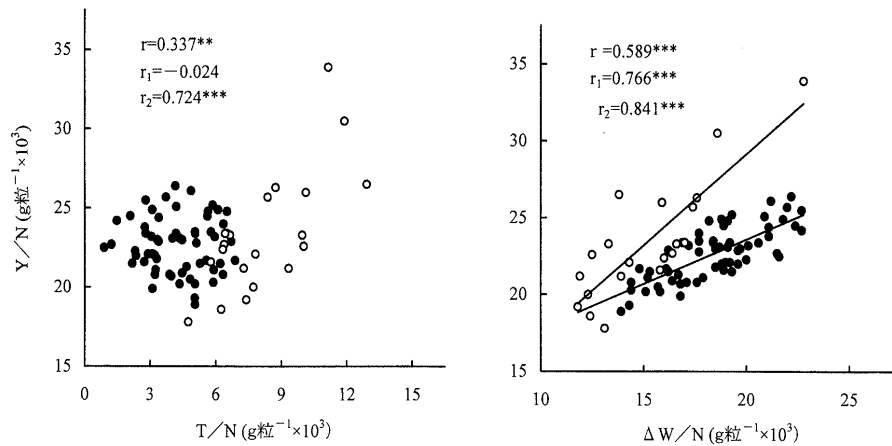
#### 4. 収穫指数構成要素の物質生産的内容

収穫指数 (HI) 構成要素の内容をさらに詳しく知るために, 他の物質生産特性との関係を検討した。全乾物重 ( $W_2$ ) は出穂期の乾物重 ( $W_1$ ) と出穂期後の乾物増加量 ( $\Delta W$ ) との和であるので, この関係によって  $W_1/W_2$  は

$1/(1+\Delta W/W_1)$  という形に変形することができる。すなわち,  $W_1/W_2$  は  $\Delta W/W_1$  の分数関数で表される。このため,  $\Delta W/W_1$  と HI との間には, 両品種群とも有意な正の相関関係 [日本品種  $r=0.798^{***}$  ( $n=60$ ), 多収品種  $r=0.444^*$  ( $n=20$ ), 図略] が存在した。

$N$  は穂数 (EN) と1穂粒数 (GN) との積であるため,  $N/W_1$  は  $EN/W_1$  と GN の積で表される。第3図に  $EN/W_1$  および GN と  $N/W_1$  との関係を示したが, これらの関係は品種群によって対照的に異なっていた。すなわち, 日本品種では  $EN/W_1$ , 多収品種では GN との間にのみ有意な正の相関関係が認められた。

$Y$  はその中身からみると, 出穂期前に生産され一時茎葉中に貯蔵された後粒に移行してくるもの (転流量) と  $\Delta W$  とに分けられる。そこで, 本報では  $\Delta W$  は全て粒に移行すると仮定し,  $Y$  とこれとの差を転流量 ( $T$ ) とみなして (宋ら 1990, 楠谷ら 1993) 検討を行った。従って,  $Y/N$  は  $T/N$  と  $\Delta W/N$  との和の形に書き改めることができる。第4図に示したように,  $T/N$  と  $Y/N$  との間には全体および多収品種では有意な正の相関関係が認められ



第4図 転流量 (T)/粒数 (N) および出穂期後乾物増加量 ( $\Delta W$ )/粒数 (N) と収量 (Y)/粒数 (N) との関係。  
図中の記号は第1図と同じ。

たが、日本品種では有意性は認められなかった。一方、 $\Delta W/N$  と  $Y/N$  とはいずれにおいても 0.1% 水準で有意な正の相関を示した。しかし、相関係数は日本品種と多収品種に分けてみた方が高く、両群は異なる直線上に回帰していた。

## 考 察

収穫指数を、作物の多収性の指標とすることについては種々の見解がみられる。林 (1972)、池橋 (1973)、伊藤 (1973) 等は水稻の収穫指数あるいはこれとほぼ同じ意味を持つ粒/わら比は遺伝的安定性の高い形質であることを認め、こうしたことから速水 (1983)、櫛淵 (1983) 等は水稻の多収性育種において収穫指数や粒/わら比は重視されるべき特性であると指摘している。また後藤 (1987) は、収穫指数と物質分配や転流との関係が明らかにされれば、物質分配の効率を高める方法が見出され、より高い収量を得るための改善策が得られるであろうと述べている。最近では、Evans (1999) や Sinclair (1999) 等も、今後の作物の収量性向上に果たす収穫指数の意義について報告している。

一方、こうした見方に対する批判も多い。村山 (1983)、武田 (1987) 等は、収穫指数は大きな全乾物重と組み合わせられたときのみ多収を可能にするのであって、収穫指数だけを高めていっても全乾物重が低下するだけで収量は必ずしも多くならない場合があると指摘している。武田 (1987) はさらに、収穫指数の遺伝率が高いことは認めながらも、収穫指数そのものを支配する遺伝子が存在するかどうか、すなわちこれが本当の意味での遺伝形質であるかどうかは慎重に検討してみなくてはならないと述べている。また石井 (1990) は、収穫指数は最終的な光合成産物の分配結果であり、その分配機構を解析する手段にはなり得ないと指摘している。さらに武田 (1997) は、収穫指数には上限が存在し、60% 程度で頭打ちになるのではないかと推測している。

このように、収穫指数に対する考え方は様々であるが、収穫指数は生産された同化産物の収穫部位への分配割合を示すもので、これを高めていくことが増収のための一つの条件になることは間違いない。しかし、収穫指数だけで収量を論じるには限界があることも確実で、収穫指数が収量解析にとって真に有効となるためには、林 (1972) が指摘するように、収穫指数を構成する要因と全体の物質生産との関係が解明される必要がある。こうしたことから本報では、水稻における収穫指数の品種間差の生じる原因を物質生産との関係から明らかにしようと試みた。

本試験で得られた収量は 22.6 g/株から 40.0 g/株までに変異し、近年、アジア各国で多収を目的に育成された品種の平均収量は従来の日本品種の平均を 22.7% 上回っていた。全乾物重は 51.1 g/株から 83.5 g/株の範囲にあった。収穫指数は 36.8% から 53.4% におよんでいた。品種群別の収穫指数は平均値でみると多収品種の方が高かったが、日本品種の中にも多収品種に近い値を示すものがあった。しかし、これらの日本品種はいずれも全乾物重が小さく、多収は得られていなかった。すなわち、日本品種では収穫指数が高いほど全乾物重は小さかったが、多収品種にこの傾向はみられず、多収品種群では収穫指数と全乾物重との間の負の遺伝相関が打ち破られていた。これらより、本試験で扱った多収品種は、全乾物重と収穫指数のどちらかが極端に大きいという形ではなく、両者が高水準で結びつくことによって多収を実現していると判断される。

次に、収穫指数 (HI) の成り立ちを明らかにする目的で、HI を出穂期の乾物重 ( $W_1$ )/全乾物重 ( $W_2$ )、粒数 (N)/ $W_1$  および収量 (Y)/N の 3 構成要素に分割し、HI との関係を検討した。その結果、HI は品種群に関わらず  $W_1/W_2$  と有意な負の相関を示したが、 $N/W_1$  との間には日本品種、 $Y/N$  との間には多収品種だけに有意な正の相関関係が認められた。すなわち、日本品種では  $W_1/W_2$  が小さく、 $N/W_1$  が大きい品種ほど HI が高くなると推測される。これに対し、多収品種では  $W_1/W_2$  が小さく、 $Y/N$

Nの大きい品種でHIが高くなる傾向にあった。

各HI構成要素の内容をさらに詳しく知るために、他の物質生産特性との関係を検討した。 $W_1/W_2$ は出穂期前に生産された乾物重の全生育期間中に生産された乾物重に対する比であるが、出穂期後の乾物増加量( $\Delta W$ )を用いることによって、 $\Delta W/W_1$ の分数関数で表すことができる。このため、 $\Delta W/W_1$ とHIとの直接的な関係においても、両品種群とも有意な正の相関を示した。 $\Delta W/W_1$ が水稻のHIや籾/わら比と正の相関関係にあることは和田(1971)、速水(1983)等も指摘しているが、 $W_1/W_2$ や $\Delta W/W_1$ はその内容から言って、出穂期前後の乾物生産力のバランスを示す指標になると考えられる。すなわち、 $W_1/W_2$ が大きい品種ほど $\Delta W/W_1$ が小さく、出穂期後の乾物生産能力が相対的に低いとみることができる。ただし、和田(1971)、速水(1983)は出穂期前の同化産物はほとんどが体構成物質となり、出穂期後のそれはほとんどが澱粉になることから、 $\Delta W/W_1$ は結局、体構成物質に対する澱粉生産量比であると考察している。

$N/W_1$ についても、これが水稻のHIや籾/わら比に関係することは、和田(1971)、森谷ら(1974)によって指摘されている。 $N/W_1$ は物質生産からみた籾数生産効率(山本ら1991)を意味するが、HIに対しては同化産物の受容系、すなわちシンクの形成能力として関わっていると推定される(和田1971、速水1983)。日本品種のHIは $N/W_1$ と密接な正の相関を示し、シンクの形成能力がHIに関与しているとみられた。また、日本品種の $N/W_1$ は穂数(EN)/ $W_1$ と強い正の相関関係にあったが、 $EN/W_1$ は出穂期までに生産された乾物1gによって何本の穂が形成されたかを示すもので、この値が高いほど効率的な穂数形成が行われていると推測される。従って、Nが少なくシンク容量の小さい日本品種では、穂の形成効率が籾数生産効率、すなわちシンク形成能力を通じてHIを規制していると考えられる。斎藤ら(1993)もHIがシンクによって大きく制約されることを認め、シンク容量が小さいとHIは高くないと報告している。一方、多収品種においては $N/W_1$ とHIとの間に有意な関係は認められなかったが、これはNの絶対量が多いことによると思われる。すなわち、多収品種の株当たり平均Nは1500粒に近く、本試験の施肥水準におけるシンク容量としては概に十分な大きさが確保されているとみられる(楠谷ら1999)。このため、その形成能力に関わる籾数生産効率とHIとの関係が弱くなったと考えられる。

Y/Nは、収量構成要素からみると登熟歩合と1000籾重の積であり、水稻では1000籾収量、登熟度(松島1957)、登熟要素(前重1996)等と呼ばれ、籾の充実程度、すなわち登熟の良否を表す指標とされているが、Yはその内容から転流量と $\Delta W$ とに分けられる。近年の研究(斎藤ら1991)では、出穂期からの茎葉乾物重の減少量で転流量を表すことが多いが、本報ではYと $\Delta W$ との差でこれ

を表現した(宋ら1990、楠谷ら1993)。この方法では $\Delta W$ が茎葉中に再蓄積される場合には転流量を過小評価することになるが、本試験では出穂期後の部位別乾物重の推移は調査しなかったため、 $\Delta W$ は全て籾に移行すると仮定して、検討をすすめた。従って、Y/Nは転流量(T)/Nと $\Delta W/N$ との和の形で表すことができる。日本品種、多収品種ともY/Nは $\Delta W/N$ と密接な正の相関を示し、籾1粒に分配される登熟期間中の乾物生産量が籾の充実に強く関与していると考えられた。ただし、この関係にも品種群間差がみられ、多収品種ではT/Nとの間にも有意な正の相関関係が認められた。また、同じ $\Delta W/N$ 水準でのY/Nは多収品種の方が日本品種よりも高かったが、これらは多収品種の籾の充実にTも影響することを示すものである。なお、森谷ら(1974)も $\Delta W/N$ がHIと強い関係を持つことを認め、和田(1971)も $\Delta W/N$ は登熟の良否を決定する要因であると述べている。

これらより、水稻のHIには出穂期前後の乾物生産力のバランス、籾数生産効率および籾の充実度という三つの物質生産的内容が含まれていると判断した。従って、HIとその構成要素との関係からみて、日本品種のHIは、出穂期後の乾物生産力が相対的に低く、籾数生産効率の劣る品種ほど低くなり、籾の充実程度にはそれ程強く影響されなかったと考えられる。一方、多収品種では出穂期後の乾物生産力と籾の充実度の低い品種でHIが低下する傾向を示した。すなわち、日本品種ではシンク側、多収品種ではソース側にHIを強く制限する要因が存在すると推察された。

従来、水稻のHIあるいは籾/わら比は転流や登熟の良否の指標になると言われてきたが、これに対し和田(1971)は、そうした指摘が当てはまるのは日照不足や冷害等の災害を受けた場合のみであると反論している。伊藤(1973)も、登熟期の日射量が著しく少ない関東地方にあってこそ、籾/わら比が多収性の選抜指標になり得ると述べている。また、楠谷(1985)は北海道において、冷害年にはHIと収量との間に高い正の相関関係が認められたと報告している。石井ら(1988)の報告をみても、天候不順年にはHIと収量は密接な正の相関を示したが、天候に恵まれた年の相関関係は著しく弱くなっている。さらに本試験では、多収品種においてのみY/NとHI、およびHIとYとの間に有意な正の相関関係が認められたが、楠谷ら(1999)の報告によれば、本試験で扱った印度型あるいは日印交雑型多収品種はシンク能に対するソース能が相対的に低いと指摘されている。従ってこれらの結果は、HIが収量を強く規制するのは日照不足、冷害等によって登熟が阻害されたり、シンクの大きさに見合うだけの同化産物が生産されず、籾の充実度が高くない場合においてであることを示唆している。言い換えれば、登熟不良となるような条件下ではY/N、すなわち籾の充実度がHIを介して収量を規制するが、登熟にそれ程問題がない場合には

$W_1/W_2$ や $N/W_1$ , すなわち出穂期前後の乾物生産力のバランスや籾数生産効率といった収量のポテンシャルそのものに関わる要素が HI に影響するものと考えられる。こうしたことからみて, 籾/わら比は出穂期の乾物重に対する出穂期後の乾物生産量および穎花数の比を表すもので登熟の良否の指標とはなり得ないとする和田 (1971) の指摘は必ずしも妥当とは言えず, HI にはこれらが内容的に全て含まれており, そのうちのどれが表面的に強く表れるかが条件により変化すると考えるのが妥当であろう。しかし, いずれにしてもこの辺りに HI の持つ意味の限界がありそうに思われるので, 今後は環境条件やシンクとソースとの相互関係が HI に及ぼす影響についても解析していく必要がある。

以上, HI の品種間差をもたらす原因並びに Y と HI との関係にみられる日本品種と多収品種の反応の違いについて考察してきた。その結果, これらの因果関係についてはある程度明らかにできたと考える。しかし, 本試験の結果は, 比較的低肥料水準で得られたものである。また, 上に述べたように HI には気象条件が強く影響すると思われる。従って今後は, 栽培条件や気象条件の違いが HI の変動や Y との関係に及ぼす影響について, より詳しい解析を行っていかなければならない。

## 引用文献

- Evans, L. T. 1999. Steps towards feeding the ten billion: A crop physiologists view. Proc. Int. Symp. "World Food Security", Kyoto. 1-7.
- 後藤寛治 1987. 収穫指数の意義と限界. 育種学最近の進歩 28: 21-28.
- 速水彦彦 1983. 水稻多肥多収性品種の生理生態的特性の解明. 第 2 報 光合同化産物の受容系能率, 供給系能率からみた多肥多収性品種の特性. 東北農試研報 68: 21-43.
- 林健一 1972. 生産力の種間差・品種間差と多収品種論. 戸荻義次監修, 作物の光合成と物質生産. 養賢堂, 東京. 302-312.
- 池橋宏 1973. 2 形質の比ないし型の指数化による選抜の意義. 育種学最新の進歩 14: 27-31.
- 石井龍一・松崎昭夫・刈屋国男・季万九・中元明実・町田寛康・角田公正・玖村敦彦 1988. 水稻収量の品種間差とその成立原因. 後藤寛治研究代表, 作物の収量機構の解析と到達可能水準の探究. 昭和 60-62 年科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書. 6-18.
- 石井龍一 1990. 収量成立過程と光合成, 呼吸の役割. 松尾孝嶺 代表編集, 稲学大成 第 2 巻生理編. 農文協, 東京. 545-549.
- 伊藤隆二 1973. 水稻育種における籾/わら比率による選抜に関する研究. 農事試研報 17: 1-59.
- 檜淵欽也 1983. イネの多収性育種. 村上寛一監修, 作物育種の理論と

方法. 養賢堂, 東京. 52-58.

- 楠谷彰人 1985. 北限地帯における水稻の生産生態に関する研究. 第 2 報 冷害年における収量および収穫指数の品種間差異. 日作紀 54: 120-126.
- 楠谷彰人・浅沼興一郎・木暮秩 1993. 水稻における多収性の品種生態に関する研究. 第 1 報 収量構造の品種間差異. 日作紀 62: 385-394.
- 楠谷彰人・上田一好・浅沼一郎・豊田正範 1999. 水稻における多収性の品種生態に関する研究—ソース・シンク比と収量との関係—. 日作紀 68: 21-28.
- 前重道雅 1996. "全天候型稲作" の県全域推進. 前重道雅編, 稲作の技術革新と経営戦略. 養賢堂, 東京. 94-99.
- 松島省三 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A5: 1-271.
- 森谷国男・深田健一郎 1974. 鹿児島県における水稻短稈穂数型品種の生育と収量についての一考察. 鹿児島県農試研報 2: 1-11.
- 村山登 1983. 収穫漸減法則の克服. 養賢堂, 東京. 1-233.
- 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.
- 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 穂への同化産物の分配. 日作紀 60: 255-263.
- 斎藤邦行・下田博之・石原邦 1993. 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. 日作紀 62: 509-517.
- Sinclair, T.R. 1999. Options for sustaining and increasing the limiting yield-plateaus of grain crops. Proc. Int. Symp. "World Food Security", Kyoto. 65-75.
- 宋祥甫・縣和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究. 第 2 報 収量生産特性. 日作紀 59: 29-33.
- 武田和義 1987. 作物の草型をめぐる諸問題. 育種学最近の進歩 28: 1-3.
- 武田和義 1997. 多収性の遺伝的解剖. 農及園 72: 445-449.
- 武田友四郎・岡三徳・縣和一 1984. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 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.
- 和田源七 1971. モミワラ比を中心とした光合成産物の分配. 農業技術 26: 517-521.
- 翁仁憲・武田友四郎・縣和一・箱山晋 1982. 水稻の子実生産に関する物質生産的研究. 第 1 報 出穂期前に貯蔵された炭水化物および出穂後の乾物生産が子実生産に及ぼす影響. 日作紀 51: 500-509.
- 徐銀発・大川泰一郎・石原邦 1997. 水稻多収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.
- 山本由徳・吉田徹志・榎本哲也・吉川義一 1991. 日印交雑稲および半矮性インド稲の籾数生産能率と登熟特性. 日作紀 60: 365-372.

**Studies on the Varietal Difference of Harvest Index in Rice—Relationship between harvest index and dry matter production—**: Jing CUI, Akihito KUSUTANI\*, Msanori TOYOTA and Koh-ichiro ASANUMA (*Fac. of Agr., Kagawa Univ., Miki, 761-0795, Japan*)

**Abstract**: Varietal differences in harvest index (HI) and yield (Y) were examined using 60 Japanese varieties (J group) and 20 high-yielding varieties bred in Asian countries (H group). HI varied from 36.8% to 53.4%. Mean values of HI were 43.5% in the J group and 48.8% in the H group. Y ranged from 22.6 g/plant to 40.0 g/plant. The mean value of Y in the J group

was 27.8 g/plant, and that in the H group was 34.1 g/plant. A significant positive correlation was found between HI and Y in the H group, but the correlation was not significant in the J group. There was a significant negative correlation between HI and total dry weight at the maturing time ( $W_2$ ) in the J group, but the correlation was not significant in the H group. The relationship between HI and dry matter production was examined by dividing HI into the following three components, based on the number of spikelets (N) and total dry weight at the heading time ( $W_1$ ), and  $W_2$ .

$$HI = Y/W_2 = [W_1/W_2] \times [N/W_1] \times [Y/N]$$

HI showed a negative correlation with  $W_1/W_2$  in both groups. HI also had a positive correlation with  $N/W_1$  in the J group and with  $Y/N$  in the H group.  $W_1/W_2$ ,  $N/W_1$  and  $Y/N$  are presumed to be indicators of the balance of dry matter production around heading time, the efficiency of spikelet production and the ripening ability, respectively. Therefore, these results suggest that varieties with relatively higher dry matter productivity after heading have higher HI in rice. Furthermore, HI was assumed to be affected by the efficiency of spikelet production in the J group and by the ripening ability in the H group.

**Key words:** Dry matter production, Harvest index, Harvest index component, High-yielding ability, Rice.

## 書評

「ゲノムレベルの遺伝解析—MAP と QTL—」 鵜飼保雄著. 東京大学出版会, 2000 年, 350 頁. 5,800 円.

ゲノムサイエンスが華やかな時代である。ヒトゲノムでは全遺伝情報の解析が世界的規模で進められているが、民間企業が近いうちに塩基配列の解読を全て終了するらしい。また植物の世界でもイネ、アラビドプシスなどでゲノム解析が世界の各国で進められており、ゲノム解析は動植物を問わず活況を呈している。

一方、作物の育種はこれまで「ブリーダー」あるいは「育種家」と言われる専門家により進められ、従来の遺伝育種学はそれとはやや離れた位置で研究が進められていたように思われる。これは遺伝育種学が主として 1 あるいは 2 遺伝子支配の質的形質を扱うのに対して、実際の育種で扱う収量、食味などの主要な目標形質が量的形質であり、関与する遺伝子の数・効果のほとんどが不明であることによると思われる。また環境による変動が大きい量的形質に関する選抜は独自の勘を培った育種家の眼に頼る部分が多い。

この量的形質の解析のための画期的な手法が本書の副題でもある QTL 解析である。QTL とは量的形質遺伝子座 (Quantitative Trait Locus) のことであり、この手法により量的形質に関与する染色体上の領域と数と効果の程度が定量的に把握できるようになった。しかし、QTL 解析は数年前から育種学会で発表があり最近では作物学会でも発表がありながら、その理論的体系についてはまとまった書が見当たらず、私にとって QTL 解析の全体像の理解がなかなかできにくい状況にあった。

本書は私が知る限り日本における QTL 解析に関する最初の成書ではないかと思われる。本の構成は、第 I 部 遺伝解析の基礎と原理、第 II 部 連鎖地図の作成とその理論、第 III 部 QTL 解析となっており、DNA マーカーを利用した連鎖地図の作成とこれを利用した量的形質の遺伝子座解析を行う道筋を示してある。本書を契機として遺伝育種学と実際の育種事業はより密接につながるであろう。

また、著者の鵜飼先生のインターネット上のホームページ (<http://www.asahi-net.or.jp/~fh6y-uki/>) には遺伝育種の国内外の専門書が多数紹介されており若い研究者には必見の価値がある。この分野の先達がどれほど多くの専門書を読破して一流の研究者になられたのか、そして今の自分が如何に不勉強であるか、初めてこのホームページを訪れたときの驚きと反省の思いは鮮烈であった。

(福岡県農業総合試験場 和田卓也)