中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究

第 3 報 収量生産期間における非構造化炭水化物及び 全窒素濃度の変動からみた子実生産特性*

宋 祥甫**・縣 和一・川 満 芳 信

(九州大学農学部)

平成元年 7 月 27 日受理

要 旨：水稻の子実生産は、出穂期前に稈・葉鞘部に蓄積された非構造化炭水化物 (NSC) と出穂後の葉身光合成による同化産物とによって決まることから、本報ではそれぞれの指標となる茎葉中の NSC% と葉身窒素濃度 (N%) の動態に注目して、F₁ ライスの多収性を検討した。

F₁ ライスの葉身中の NSC% は普通稲品種に比べて大差はなかったが、稈・葉鞘部では顕著に高かった。各品種とも出穂後 NSC% は急減したが、普通稲品種では登熟期後半に再び高まった。これに対して F₁ ライスは登熟末期まで減少を続け、その減少率も大きかった (第 1 図)。出穂期から登熟末期にかけての NSC% の減少と稈・葉鞘部から子実への乾物の転流分との間には高い正の相関関係が認められた (第 3 図)。また、玄米収量との間にも高い正の相関関係がみられた (第 4 図)。これらの結果は、子実への転流の主体は NSC であること、稈・葉鞘部の NSC% は玄米収量と密接な関係にあることを示し、F₁ ライスの多収性は高い NSC% に負うところが大きいことが示唆された。

各品種とも葉身の N% は稈・葉鞘部に比べて高く、生育段階が進むにつれて減少した。F₁ ライスの N% は葉身、稈・葉鞘部とも普通稲に比べて低く、減少割合も小さかった (第 5 図)。葉身の N% と玄米収量との間には、F₁ ライスを除いた場合、両者間に有意な正の相関関係が認められた (第 6 図)。

以上の結果から、F₁ ライスの子実生産は普通稲品種に比べて、出穂期前に稈・葉鞘部に蓄積された炭水化物に依存する割合が大きいことが明らかになった。

キーワード：出穂期、多収性品種、貯蔵炭水化物、ハイブリッドライス、非構造化炭水化物。

Studies on dry matter and grain production of F₁ hybrid rice in China III. Grain-production character from the view point of time changes in non-structural carbohydrate and nitrogen contents during the yield production: Xiang fu SONG**, Waichi AGATA and Yoshinobu KAWAMITSU (*Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812, Japan*)

Abstract : High yielding factors of F₁ hybrid rice was extensively examined from the time changes in the percent of non-structural carbohydrate (NSC%) and total nitrogen (N%) in the leaf blade, culm and leaf sheath.

There was no large difference in NSC% of leaf blade (LB) between the F₁ hybrid rice and common rice varieties. However, NSC% of the culm and leaf sheath (LS) in the F₁ hybrid rice showed a higher value than common rice varieties. NSC% of LS in all common rice varieties decreased rapidly after the heading stage, and then increased again at the middle stage of ripening. On the other hand, that of the F₁ hybrid rice continuously decreased up to the harvesting stage.

There was a highly positive correlation between the decreasing rate of NSC% and translocated products from the LS during ripening period. There was also a highly positive correlation between the decreasing rate of NSC% and grain yield. These results show that NSC in the LS moves to grain and contributes greatly to the production of brown grain rice.

The N% of the LB is higher than that of the LS in all varieties. N% of the F₁ hybrid rice was lower than that of common rice varieties in both plant parts. There was significant positive correlation between N% in the LB and grain yield when excluded the F₁ hybrid rice.

These results show that a high yield of the F₁ hybrid rice depends more on the reserved carbohydrate accumulated in the LS before the heading stage as compared with common rice varieties.

Key words : F₁ hybrid rice, heading stage, high-yielding variety, non-structural carbohydrate, reserved carbohydrate.

* 大要は、第 185 回講演会 (1988年4月) において発表。

** 現在：中国水稻研究所。

Present address: China National Rice Research Institute, Hangzhou, Zhejiang, China.

前報¹⁾ において、ハイブリッドライス (F₁ ライス) の多収性は出穂期前に茎葉中に蓄積された貯蔵物質の転流に負ところが大きいことを指摘した。水稻の場合、出穂期前に蓄積された物質のうち、転流可能な貯蔵物質の主体は、全糖としての単糖類 (グ

ルコース、フラクトース)と二糖類(スクロース)及び多糖類としての澱粉であり⁶⁾、これらは高分子の構造化炭水化物(セルロース、リグニン)に対して非構造化炭水化物(non-structural carbohydrate, NSC)といわれ¹⁵⁾、生体内における化学エネルギー源となっている。

出穂期前、稲体に蓄積された炭水化物が登熟歩合や収量生産に及ぼす影響については多くの研究^{3,4,6,7,9~12)}がある。松島⁴⁾は出穂時における一穎花当り炭水化物量の多少は登熟歩合と関係の大きいことを明らかにしている。翁⁷⁾は出穂期における稈・葉鞘部の全炭水化物の多少は出穂後に同化産物が子実に移行する際の効率に影響し、子実生産に関係することを明らかにしている。また、出穂期の蓄積同化産物によって強勢穎花が多くなり^{4,9,13)}、それによって登熟歩合が高まるという効果も指摘されていることから、水稻における収量生産期間(村田⁵⁾によると、出穂前3週間と出穂後4週間がこの期間になる)中のNSCの動態は子実生産と密接に関係していることが考えられる。

一方、この期間中における茎葉中の窒素濃度は穎花の生産と光合成速度に密接に関係し^{4,13,14)}、非構造化炭水化物の生産を通じて子実生産に深く関わっていることが考えられる。したがって、水稻の子実生産を考える場合、両成分の動態を把握することが極めて重要である。

そこで、本報では前報^{10,11)}で扱った中国浙江省におけるインド型水稻品種を対象に、F₁ライスの子実生産に対する非構造化炭水化物濃度と窒素濃度の影響について検討した。

材料と方法

前報¹⁰⁾で供試した材料、すなわち、F₁ライス品種3、在来品種2、旧改良品種2、新改良品種3の合計10品種について生育段階別にサンプリングした器官別乾物重の測定材料を粉末にして非構造化炭水化物含量(NSC%)と窒素含量(N%)の分析を行った。NSC%の分析はDale Smith法¹⁵⁾により、N%はセミマイクロケルダール法²⁾によって行った。なお、解析上必要な玄米収量及び転流量等の数値は前報^{10,11)}で報告した資料を採用した。

結果と考察

1. 非構造化炭水化物濃度の動態からみた F₁ ライスの特徴

第1図に供試したF₁ライス及び時代別品種の平均NSC%の収量生産期間中における推移を示した。葉身におけるF₁ライスのNSC%は出穂期前は普通稲品種に比べて大きな差異はなく、4%前後の値を保っているが、出穂後は普通稲品種に比べて低い傾向を示した。また、登熟期後半におけるNSC%の増加も小さいという特徴がみられる。

次に、稈・葉鞘部についてみると、F₁ライスのNSC%が収量生産期間を通じて普通稲品種よりも顕著に高いことが認められる。特に出穂期前30日間のNSC%は普通稲品種の約2倍の値を示している。この値及び推移傾向は供試したF₁ライス3品種ともほぼ同じ傾向を示したことから、F₁ライスの特徴の一つといえる。従来、F₁ライスのヘテロシスがこのような面に発揮されるという報告はなく、どのような機構によって高いNSCの集積が稈・葉鞘部に起こるか興味ある課題といえる。

ところで、稈・葉鞘に蓄積された出穂期前のNSCは子実の充実に使われるため、出穂後は減少

Fig. 1. Time changes in mean values of non-structural carbohydrate content (%) of leaf blade (A) and of culm and leaf sheath (B) in native rice (○), old-improved rice (●), new-improved rice (△) and F₁ hybrid rice (▲). Cultivars used in the experiment as follows; Native rice: Qi shi ri huo ado and Lu cai hao; Old-improved rice: Ai jiao nan te and Yuan feng zao; New-improved rice: Qing gan huang lu ai No.4 and Zhu fei No.10; F₁ hybrid rice: Shan you No.63, Shan you No.64, and Shan you No.85.

する^{6,9,12)}。本実験の場合でも、普通稲品種は出穂後急速に低下し、登熟中期以降再び NSC%が高まる傾向を示した。これは登熟後半に入ると籾に収容しきれない炭水化物が稈や葉鞘部に再蓄積されることによるものである。ここで興味ある点は、在来品種の場合、NSC%の減少が小さく、回復も早い時期におこり、速やかに出穂時の NSC%レベルまで回復するのに対して、旧改良品種から新改良品種へと育種されるにつれて NSC%の低下の割合が大きくなり、回復も遅れるという事実である。さらに F_1 ライスに注目すると、収穫期まで NSC%は減少を続けており、再蓄積の様相はみられない。

稈・葉鞘部における NSC%のこのような動態は、シンクとしての穎花数の多少を反映しているといえることができる。すなわち、第2報¹¹⁾ でみたように、 F_1 ライスでは穎花数が4万粒と多いため、登熟全期にわたって稈・葉鞘部に蓄積してあった NSC を子実生産のために利用しているものと推定できる。また、普通品種においても、穎花数が在来品種で少なく、旧改良品種から新改良品種へと改良されるにつれて増大している事実と NSC%の動態とがよく一致している。このことから、NSC の子実生産への利用がシンクとしての穎花数と密接に関係しているものと考えられる。そこで、出穂期以降、収穫期までの間で NSC が最小値を示した点を、稈・葉鞘部から子実への転流による NSC%の減少分と考えて、各品種の NSC の減少割合と穎花数との関係をみたのが第2図である。両者間に高

Fig. 2. Relationship between decreasing content of non-structural carbohydrate in culm and leaf sheath during the ripening period and total number of spikelet. See Fig. 1 for the symbols.

い正の相関関係がみられ、出穂期以降における稈・葉鞘部からの NSC%の減少の割合は穎花数の多少と密接に関わっていることが明白である。

ところで、出穂期以降における稈・葉鞘部における NSC%の減少は、稈・葉鞘部から子実へと NSC が実際に転流した結果であることから、上述した NSC%の減少分と転流量との関係を、さらに検討することにする。ここで扱う転流量とは、第2報¹¹⁾ で報告したように、出穂期の全乾物重との差である ΔW (登熟期間中に生産された同化産物) を玄米重から差し引いた値である。第3図に供試品種を込みにした場合の両者の関係が示されているが、高い正の相関関係がみられる。このことは、転流する乾物の主体は NSC であり、 F_1 ライスの転流量が大きい原因は稈・葉鞘部に NSC を高濃度に

Fig. 3. Relationship between decreasing content of non-structural carbohydrate in culm and leaf sheath and products traslocated from culm and leaf sheath during the ripening period. See Fig. 1 for the symbols.

Fig. 4. Relationship between decreasing content of non-structural carbohydrate in culm and leaf sheath during the ripening period and brown rice yield. See Fig. 1 for the symbols.

Fig. 5. Time changes in mean values of total nitrogen (%) of leaf blade (A) and of culm and leaf sheath (B) in native rice (○), old-improved rice (●), new-improved rice (△) and F_1 hybrid rice (▲) during the yield productive period.

蓄積しているためであることを示している。ここで、さらに最終的な玄米収量を上記 NSC%の減少分との関係でみることにする(第4図)。両者間に高い正の相関関係が認められる。これは水稻の子実生産に稈・葉鞘部からの NSC の移動が密度に関係していることを示すもので、普通稲品種の育種過程でも NSC の転流量(NSC%の減少分)を大きくする方向で改良が行われてきたことを示唆している。これは、穎花数の増大方向からもたらされた必然的な結果とみることができる。

2. 全窒素濃度の動態からみた F_1 ライスの特徴

第5図に F_1 ライス及び時代別品種の平均 N%を葉身と稈・葉鞘部に分けて示した。葉身と稈・葉鞘部における N%は収量生産期間中、漸減する傾向を示しているが、稈・葉鞘部に比べて、葉身の N%が相対的に高く、約2倍の値を示している。これは光合成が主体的に行われる葉身と、貯蔵器官であり、しかも葉群を支える骨格的器官である稈部の機能からくる差異と考えられる。

さて、葉身の N%の動きを普通稲と F_1 ライスと比較してみると、 F_1 ライスの N%は出穂期前後で普通稲品種に比べて低いことが注目される。特に、出穂期前では約1%も低い値を示した。 F_1 ライスの NAR が、第1報¹⁰⁾ でみたように、普通

Fig. 6. Relationship between total nitrogen content (%) in leaf blade at heading stage and brown rice yield. See Fig. 1 for the symbols.

稲品種に比べて小さかったことの一因は N%が低いことにあるとみることもできるが、光合成速度に差がなかったことを考えると、この点はなお検討が必要となる。

次に、稈・葉鞘部における N%の動きであるが、普通稲に比べて F_1 ライスの変動は小さく、N%も低いのが特徴である。それに対して普通稲では出穂期前から出穂後20日目まで減少を続け、その差は2%にも及んでいる。このことは普通稲品種では、稈・葉鞘部の N%も子実生産に転流・利用されている¹³⁾ ことを立証するものである。

葉身の N%は収量生産期間中の光合成速度と密接に関係している^{1,4,13,14)} ことから、子実生産と関係が深いと考えられる。そこで、葉身 N%と玄米収量との関係をみたのが第6図である。全品種を込みにした場合、N%と玄米収量との間には、はっきりとした傾向はみられないが、 F_1 ライスを除いた普通稲品種でみると、N%と玄米収量との間に有意な相関関係が認められる。しかも新しい品種で高い傾向がみられることから、普通稲品種では N%が高く、登熟期間中、光合成によって同化産物を子実に供給するような品種に改良されて来たことを示唆するものである。因みに、竹菲10号(Zhu fei No.10)を除くと、在来品種よりは旧改良品種、さらに新改良品種へと N%は高まってきている。しかし、 F_1 ライスは稈・葉鞘部の NSC%が高く、子実生産に対する NSC の寄与率が格段に大きいことから、普通稲品種とは別のタイプに属すると判断することができる。ただ、 F_1 ライスは葉身の N%は低い光合成が行われる場としての LAI は普通稲品種に比べて大きい¹⁰⁾ ので、N%と LAI との積で示される光合成量¹⁴⁾ についてみると、普通稲品種

に比べて大きいことが考えられる。つまり登熟期間中の真の光合成量は N% と LAI によって左右されるためである。そこで、 $N\% \times LAI$ を 1 つの生産指標¹⁴⁾ としてとらえ、玄米収量との相関をみたところ、両者間に高い正の相関係数が得られた (図省略, $r=0.830^*$)。このことは、F₁ ライスの多収性は貯蔵 NSC の蓄積分以外に登熟期間中の光合成による同化産物によって支えられる面も大きいことを示している。この点は、第 2 報¹¹⁾ でみたように、F₁ ライスの玄米収量への転流分は 35 % であり、登熟期間中の稼ぎによる割合は 65 % であったことを裏づけるものである。

3. 出穂期における稲体の非構造性炭水化物濃度及び全窒素濃度からみた F₁ ライスの特徴.

以上みてきたように、水稻の玄米収量は品種によって出穂期前に蓄積された貯蔵養分をより多く利用するタイプと登熟期間中の光合成によって主体的に稼ぐタイプの 2 つに大別できそうである。この点は津野¹³⁾ も指摘し、稼ぎ型品種は出穂期以降の光合成能力が落ちないような肥培管理が必要であることを強調している。また、稼ぎ型品種は概して根の活力が高いことを明らかにしている^{13,14)}。蔣¹⁾ は日印交雑稲であるアケノホシがこのタイプに属することを明らかにしている。

ところで、このような水稻品種における 2 つのタイプを何を基準にして見分けるかという問題は、水稻栽培上重要なことである。翁⁸⁾ は、出穂時における稈・葉鞘部の全炭水化物濃度と葉身中の N% を基準にして、稈・葉鞘部の全炭水化物濃度が高いものは蓄積養分依存型品種であり、葉身中の N% が高いものは稼ぎ型品種であるとしている。翁⁸⁾ は NSC% の代わりに全炭水化物を用いている点で本研究と同一には取り扱えない面がある。それは全炭水化物の中には NSC 以外にヘミセルローズがかなり含まれてる⁸⁾ からである。しかし、両者間には高い正の相関係数があるので、翁⁸⁾ の発想自体が間違っているわけではない。翁⁸⁾ が示した発想の根拠は、稈・葉鞘部の全炭水化物濃度が高い品種は蓄積炭水化物が多いことに合致していることと、出穂時の葉身の N% が高いものは登熟期に入っても高い光合成能力を維持できるとの観点からである。

このような立場から現在的水稻品種をみると、両タイプの他に中間型も存在している。しかし、多収性品種として注目されている日印交雑品種の密陽

Fig. 7. Relationship between total nitrogen content (%) in leaf blade and non-structural carbohydrate content (%) in culm and leaf sheath at heading stage. See Fig. 1 for the symbols.

23 号は蓄積依存型に属しているという⁸⁾。しかし、蔣¹⁾ らの報告によると、日印交雑品種のアケノホシは稼ぎ型であるということからすると品種によって各々特徴ある子実生産特性を持っていることが考えられる。

本研究で供試した中国の水稻品種について、出穂時における葉身中の N% と稈・葉鞘部の NSC% との関係を示したのが第 7 図である。普通稲の在来品種は中間型であるが、新改良品種の中には稼ぎ型に属しているものもある。これに対して、F₁ ライスでは蓄積依存型であることがわかる。子実生産が完了するまでには蓄積養分と登熟後の稼ぎによる同化産物の 2 つが関与していることは、いずれの品種においても間違いないことであるが、上述したように、その依存度の程度によって強いて分ければ 2 つのタイプが存在するというのが本実験からも確かめられたといえる。この問題は今後更に多くの品種について検討する必要があると考えられる。

引用文献

1. 蔣 才忠・平沢 正・石原 邦 1988. 水稻多収性品種の生理生態的特徴について—アケノホシと日本晴の比較—。第 1 報 収量および乾物生産。日作紀 57: 139—145.
2. 木内知美 1975. 無機成分分析法 (窒素). 作物分析法委員会編 栽培植物分析測定法. 養賢堂. 東京, 63—69.
3. 玖村敦彦 1956. 水稻における炭水化物の生産及び行動に関する研究. 第 3 報 環境条件が炭水化物の生産及び行動に及ぼす影響。日作紀 24: 324—330.
4. 松島省三・和田源七 1958. 水稻収量の成立原理とそ

- の応用に関する作物学的研究. XIVIII 水稻登熟機構の研究 (9). 出穂前貯蔵炭水化物, 出穂後蓄積炭水化物及び出穂時窒素含有量が水稻の登熟歩合並びに収量に及ぼす影響. 日作紀 27: 201—203.
5. 村田吉男 1976. 作物生産と栽培環境. 村田吉男編著. 作物の光合成と生態. 農文協. 東京, 147—196.
6. 村山 登・吉野 実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積に関する研究. 農技研報 B4: 123—166.
7. 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及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.
8. ———・縣 和一・武田友四郎 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.
9. 曾我義雄・野崎倫夫 1957. 水稻における蓄積炭水化物の消長と登熟の関係. 日作紀 26: 105—108.
10. 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1報 乾物生産特性. 日作紀 59: 19—28.
11. ———・—————・————— 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.
12. 戸苅義次・岡本 嘉・玖村敦彦 1954. 水稻における炭水化物の生産及び行動に関する研究. 第1報 生育に伴う諸器官中の主要成分含量の推移. 日作紀 22: 95—97.
13. 津野幸人 1970. イネの科学. 農文協. 東京, 115—204.
14. ———・王金龍 1988. 水稻の登熟過程にみられた品種間差異とその原因の解析—籾あたり葉面積の意義について—. 日作紀 57: 119—131.
15. 上野昌彦訳 1971. 植物組織からの全非構造化炭水化物 (TWE) の抽出法及び分析法. 日草誌 17: 75—82.