短稈多収性の改良インド型水稻品種の特性に関する研究

第6報 腹白米多発品種「早生統一」における腹白米の不透明部の形と 登熟に伴う米粒の背側と腹側のでんぷん粒の発達の差異

徐 錫 元・早 川 利 郎

(新潟大学農学部)

昭和54年6月28日受理

前報^{21,22)}において、改良インド型品種の IR-8、早生統一などに極めて大きい不透明部をもつ腹白米が多発する原因を日本型品種と比較しつつ調査した。その結果、これらの品種は遺伝的に、①出穂期における sink-source のバランスを示すと思われる1穎花当りの葉面積が小さく1粒当りの乾物生産量が少ないこと、②籾殻が大きく米粒の一次生長量(米粒の長さ×幅)が極めて大きいこと、③早期に米粒の発育が停止することが主として挙げられた。また、これらの品種は、どのような耕種法をもっても腹白部が小さくなることはあれ、腹白米の発現を抑制することは困難であった²⁰⁾。

これまで、腹白米の不透明部の形や不透明部のでんぷん粒については安藤ら¹⁾ 江幡・田代^{3,26)} らの報告がある。著者らは、本報において極めて大きい不透明部をもつ腹白米多発品種で IR-8 型の品種である「早生統一」の腹白米の不透明部の形、および登熟に伴う米粒の背側と腹側のでんぷん粒の発達の差異について検討したのでその概要を報告する。

実験材料および方法

1978 年、前報²¹⁾と同様な耕種法で栽培し収穫した玄米を試料とした。腹白米 1000 粒をほぼ中央でカミソリで割り不透明部の形の違いによって分類を行いその発現率を求めた。

開花後の米粒の発達に伴う背側部と腹側部の走査型電子顕微鏡観察(島津 EMX)には前報²¹⁾の試料を用いた。いずれの試料についても背側と腹側の果皮部から 250~300 μm の部位を観察した。試料は手で半分には割りアラルライトで試料台に接着させた。その後、金で真空蒸着し、加速電圧 25 kV で観察した。

実験結果

1. 各種米粒の占める割合

調査結果を第1表に示した。おのおのの発現率は完全米 0%, 腹白米 56.3%, 乳白米 12.4%, 半死米

14.3%, 死米 8.4%, その他 8.6%であった。したがって早生統一ではすべての米粒が登熟障害をうけている。また、特異的なことは、日本米では稀な¹⁶⁾半死米が多発したことである。

2. 腹白米の不透明部の形

結果を第1図に示した。

第Ⅰ型〔A〕米粒の腹側の外層部に不透明部が残るいわゆる外層腹白米³⁾。

第Ⅱ型〔B,C〕不透明部が米粒の中央部まで伸び、中央部に向かって三角形を呈している。このような腹白米を江幡ら³⁾は内外層腹白米とよんでいる。

第Ⅲ型〔D, E, F, G, H〕外層腹白と乳白が同時に発現している腹白米。

第Ⅳ型〔I, J〕内外層腹白と乳白が同時に発現する粒。

3. 第1図の分類基準に基づく各型の腹白米の発現率(全腹白米中に占める各型の腹白米の発現率)

結果を第2表に示した。表から明らかなように外層腹白米や内外層腹白米の占める割合が低いのに対し、外層腹白ないし内外層腹白に乳白が同時に発現した腹白米の占める割合は高かった。したがって、早生統一の腹白は、乳白的腹白であり江幡ら³⁾の内外層腹白や外層腹白と区別する必要があるものと考える。

4. 開花後日数に伴う米粒の背側と腹側のでんぷん粒の電子顕微鏡による観察

観察結果を第2図(背側)および第3図(腹側)に示した。

背側 開花後8日(A), 12日(B)において、直径が2~4 μm のでんぷん粒から10~20 μm の大きいでんぷん粒に至るまで、大きさに変化のあるでんぷん粒が観察された。個々のでんぷん粒は丸味を帯び、でんぷん粒間には間隙がみられる。開花後16日(C)になると個々のでんぷん粒は発達し大きくなり、細胞内をうめつくす結果、でんぷん粒はお互いを圧迫しあうため角張り、でんぷん粒中のでんぷん小粒も角張っていた。また、でんぷん粒とでんぷん粒とが互に対面

第1図 早生統一に発現した主要な腹白米の不透明部の形

みられたような protein body に起因する凹ではなく、でんぷんの自己消化^{注1)}によって生ずると思われる小さい凹がみられた。本図からは、でんぷん粒が小さいためでんぷん粒と protein body を区別することはできなかった。

第2表 第1図の分類規準による各種腹白米の発現率

型	I	II	III	IV
発現率 (%)*	6.3	20.6	48.3	24.8

* 全腹白米中に占める発現率

I...(A), II...(B,C), III...(D,E,F,G,H),

IV...(I, J)

第1表 早生統一における各種米粒の発現率

完全米	腹白米	乳白米	半死米	死米	その他
0.0	56.3	12.4	14.3	8.4	8.6
					発現率 %

する面には、protein body によってあいたと思われる凹が多くみられた。(D) および (E) は、それぞれ開花後 20 日、30 日の観察結果である。

腹側 開花後 8 日 (A) において、でんぷん粒の直径は $2 \sim 4 \mu\text{m}$ であった、個々のでんぷん粒は丸く、でんぷん粒間には多くの間隙がみられた、背側と比較した場合、でんぷん粒は背側のそれに比し小さく、でんぷん粒間の空間量も多かった。腹側では、さらに開花後 12 日 (B)、16 日 (C)、20 日 (D)、30 日 (E) と開花後の日数が経過するにもかかわらず、でんぷん粒の大きさは開花後 8 日の時とほとんど変化がなく、でんぷん粒は丸く、でんぷん粒の表面には背側で

5. 腹白米の不透明部の内部にみられたでんぷん粒の形 (開花後 30 日)

結果を第4図に示した。A は第3図の E よりもさらに $300 \mu\text{m}$ 内部の点を観察したものである。複粒でんぷん粒は第3図 E のよりも大きく $7 \mu\text{m}$ 前後の大きさで、複粒でんぷん粒には無数の小さな凹がみられた。B は透明部と不透明部の境界付近の図である。でんぷん粒は数十個のでんぷん粒よりなるでんぶ

注1) 米粒の成熟過程で、いったん合成されたでんぷん粒が酵素作用を受け、でんぷん粒の表面に凹があく現象¹¹⁾

第2図 開花後日数に伴う米粒の背側のでんぷん粒の発達（早生統一）

注1) A: 開花後8日. B: 開花後12日.
C: 開花後16日. D: 開花後20日.
E: 開花後30日.

注2) 観察は果皮から250~300 μm の点を行った.

注3) P: Protein body, PH: Protein body による凹

注4) scale bar = 5 μm

ん粒や、あたかもでんぷん小粒であるかのようなでんぷん粒に至るまで、さまざまなでんぷん粒がみられた.

6. 心白米多発品種「五百万石」の心白部のでんぷん粒観察

第3図 開花後日数に伴う米粒の腹側のでんぷん粒の発達(早生統一)

注1) A: 開花後8日, B: 開花後12日,
C: 開花後16日, D: 開花後20日,
E: 開花後30日.

注2) 観察は果皮から250~300 μm の点を行った.

注3) PM: Protein matrix, SD: 酵素作用による凹

注4) scale bar = 5 μm

結果を第5図に示した. 第3図および第4図に示した早生統一の腹白米の不透明部のでんぷん粒と同じく, でんぷん粒は丸かった. 第4図Bの大きなでんぷん粒には, でんぷん小粒とでんぷん小粒との間にす

第4図 腹白米の不透明部にみられたでんぷん粒の特徴

(A) 第3図Eよりさらに $300\mu\text{m}$ 内部の点

(B) 透明部と不透明部の境界付近

注1) P: protein body, SD: 酵素作用による凹

注2) scale bar = $5\mu\text{m}$

第5図 五百万石の心白部のでんぷん粒
scale bar $5\mu\text{m}$

き間が観察されたが、第5図の心白部のでんぷん小粒にはこのようなすき間はみられなかった。

第6図 早生統一の籾と玄米

考 察

本結果より、早生統一の腹白米の不透明部は従来⁹⁾の在来インド型品種の一部の品種や陸稲の一部の品種で観察された不透明部の大きいいわゆる内外層腹白⁹⁾よりもさらに大きく、大部分の腹白は同時に乳白が発現し、第6図からもわかるようにこの米粒の腹側は著しく生長が不良で、粒がくびれている。一般に在来インド型品種は日本型品種に比して、粒長は大きく、粒幅は小さいことが知られている^{12,14)}。しかし、改良インド型の早生統一は在来インド型品種と同様に粒長は大きかったが、粒幅は日本型品種とほぼ同じであった。このことは在来インド型品種の一部でみられた内外層腹白より大きい腹白が早生統一で発現した一因と考えられる。また、このような型の腹白米は IR-8 を母本とした品種の中に多くみられることから注2) 何らかの区別を行う必要がある。

このように早生統一の粒の中央部が大きな不透明部を呈する腹白米が多発する原因は、この品種の遺伝的特性である①出穂期における1穎花当りの葉面積が小さいこと、②籾殻が大きいこと、③粒の肥大が早期に停止することなどのほかに登熟初期に転流される茎葉部の貯蔵炭水化物の量を問題としなければならない。なぜならば、米粒中におけるでんぷん粒の集積は粒の中央部から行われるためである⁶⁾。前報²¹⁾において、早生統一の出穂期における1穎花当りの貯蔵炭水化物量は日本型品種と比較し必ずしも少ないとはいえ

注2) 徐錫元：未発表

なかったが、籾殻の大きさ、すなわち1粒の乾物収容積のわりには酒米の五百万石（心白米多発品種）と同様に少なかった。したがって、登熟初期に米粒はこの大きい籾殻に沿って発達し米粒の一次生長量（長さ×幅）が極めて大きくなるにもかかわらず、そのわりには1粒当たりの貯蔵炭化物量が少なく、また1粒当たりの光合成量も少ないため粒の中央部は養分の集積が極めて不良となり、中央部は不透明部となる。その後、上述の①②③のことがらが重なりあう結果、腹側の養分集積が極めて不良となり、最終的に巨大な不透明部をもつ腹白米が発現するものと考えられ、粒質からみた場合問題の多い品種である。

従来、腹白米に対する評価は研究者によって異なり、「稔りの良い米」とする報告^{3,4,7,15)}と「障害米」とする報告^{4,24,25)}がみられるが、品種間において「粒重が大きいこと」と「稔りが良いこと」とは必ずしも一致しない。なぜならば、粒重は登熟の良否にかかわらず籾殻の大きさによって大きく制限を受け^{18,19,21)}、登熟が不良であっても籾殻の大きい品種の粒重は大きいため^{21,23)}である。したがって、米粒の登熟の良否は単に玄米1粒重を比較するだけでは充分でなく、個々の品種の籾殻の大きさに匹敵する粒重があるかどうかで決まり、たとえ玄米1粒重が大きくとも、その粒重が籾殻の大きさに比し小さければ「稔りは不良」といわざるをえない。本報における早生統一は籾殻の大きさのわりに玄米重が極めて小さく²¹⁾、また日本型品種に比し玄米の挫折硬度および密度が非常に小さいこと²⁴⁾などを総合するとこの品種の粒質は極めて不良であることがわかる。今後東南アジア諸国や韓国において、品種育成時の系統選抜にあたっては、収量のみならず粒質の鑑定も極めて重要であると考えられる。

このように、早生統一の米粒の不透明部が極めて大きいことは、腹側と背側のでんぷん粒の開花後日数の経過に伴う発達の差異からも知ることができる。

米粒における主たる養分の転流路である背側維管束に近隣する背側のでんぷん細胞では、登熟初期、でんぷん小粒であるかのような丸く小さいでんぷん粒から、数十個のでんぷん小粒よりなるでんぷん粒までみられ、でんぷん粒は丸く、でんぷん粒間には多くの間隙がみられた。その後養分の転流とともに1個のでんぷん粒はでんぷん粒が肥大することから⁹⁾、でんぷん粒は大きくなり、個々のでんぷん小粒およびでんぷん粒はお互いを圧迫しあう結果、でんぷん粒内部のでんぷん小粒はダイヤモンド状を呈する。したがって、この部分

は肉眼的には透明となる。開花後16日以降、でんぷん粒とでんぷん粒とが互に対面する面に protein body が観察され、多くの凹が観察された。この凹みについては従来、精製でんぷん粒の観察からでんぷん粒の自己消化によって生じた凹とする報告¹¹⁾と、米粒の活断面の観察から protein body が米粒を割った際に片面にとりさられたために生じた凹とする報告⁵⁾がある。著者らのこの凹は図から判断して protein body に起因する凹と考えられる。

従来、複粒でんぷん粒の形成に関して、1個のアミロプラストの内部に数多くのでんぷんの結晶の核が形成され、それらが各々でんぷん小粒となり全体として1個の複粒でんぷん粒となることは、BUTTROSE²⁾、星川⁶⁾、川上⁹⁾、佐藤¹⁸⁾らによって解明されている。このことから養分集積が遅れる早生統一の腹側では、前述したように養分の集積が極めて不良であるため、少なくとも開花後8日以降アミロプラスト内のでんぷん小粒がほとんど発達しない結果開花後30日の複粒でんぷん粒の大きさは開花後8日のそれとほぼ同じで（果皮から250~300 μm の点）極めて小さく、でんぷん粒間には間隙がみられ、またでんぷん粒相互が圧迫しあわないためでんぷん粒は全体的に丸い。したがって、丸いでんぷん粒間の間隙のため光の乱反射によってその部分が肉眼的に白色不透明部となるものと思われる。米粒の不透明部のでんぷん粒間に間隙がみられることは安藤ら¹⁾、田代ら²⁵⁾によっても報告されている。また、開花後30日の腹白部のでんぷん粒の大きさをみると、米粒の外層部ほど小さく、内部ほど大きかった。なお、米粒の中央部ほどでんぷん粒が大きく、外層部ほど小さいことは星川⁷⁾によっても報告されている。これらのことから、養分集積は外層部で最も遅れる¹⁷⁾ものと思われる。

以上の事柄以外にも、透明部のでんぷん粒に若干の相連点がみられた。すなわち、開花後16日以降になると不透明部のでんぷん粒の表面に小さな凹が観察され（第3図 C, D, E および第4図 A）たが、これは背側の protein body とは異なり、でんぷん粒の自己消化による凹^{9,11)}と考えられる。川上⁹⁾は、米でんぷん粒には角型と丸型があり、丸型でんぷん粒に自己消化による凹が観察されたと報告している。このような自己消化によると思われる凹が透明部では観察されないところをみると、個々のでんぷん粒の内部充実度に透明部と不透明部では相違があり、不透明部のでんぷん粒は透明部のそれよりも充実度が低いのではない

かと考えられる。なお、不透明部では protein body によると思われる凹がでんぶん粒にみられなかったが、これは登熟期間中腹部の養分集積が極めて不良であるためでんぶん粒相互の圧迫がなかったためと思われる。

一般に米粒のでんぶん粒は電子線に対して弱く、電子線を受けることによって種々の Artifacts が生じ、電子顕微鏡観察時における映像の解読を誤らせることが多い¹⁰⁾。本報において、第4図Bの不透明部の大きなでんぶん粒内のでんぶん小粒の間に間隙がみられたが、同じ不透明部でも、五百万石の心白部でみられた不透明部（第5図）のでんぶん粒ではこのような間隙はみられなかった。したがって、不透明部において前者のようなでんぶん小粒とでんぶん小粒との間にすき間がみられるのが、でんぶん粒そのものの姿なのか、電子線による Artifacts なのか、または、米粒を割った衝撃の際にできたすき間なのかどうか本研究の範囲では断定することはできない。いずれにせよ、でんぶん小粒相互の結びつき、ひいてはでんぶん小粒自体の充実は透明部に比し不良であることは確かである。

摘 要

腹白米多発品種「早生統一」における腹白米の不透明部の形、および登熟に伴う米粒の背側と腹側のでんぶん粒の発達の差異を走査型電子顕微鏡によって調査し、つぎの結果を得た。

1. 不透明部の形

早生統一に発現した腹白米の大部分は、単に腹白のみならず乳白も同時に発現していた。

2. 開花後の背側と腹側のでんぶん粒発達の差異

開花後8日および12日の米粒の背側において、小さいでんぶん粒から大きいでんぶん粒まで種々みられた。これらのでんぶん粒は丸く、でんぶん粒間には間隙がみられた。開花後16日以降、でんぶん粒の発達に伴い先の空間はでんぶん粒の肥大によって見られなくなった。また、開花後16日以降、でんぶんの表面に protein body に起因すると思われる凹が観察された。でんぶん粒は角張っていた。

一方、腹側においては、登熟日数の経過にもかかわらず、でんぶん粒はほとんど発達せず、開花後30日目のでんぶん粒の大きさは開花後8日とほぼ同じ直径2～5μmで、その形は丸かった。また、でんぶん粒間には間隙がみられた。開花後16日以降になると、でんぶん粒上には酵素作用によってあいたと思われる小

さな凹が見られた。

終りに、終始御助言と御尽力を頂いた小林正義氏、牛山智彦氏、齊藤研二氏、梁取昭三助教授、ならびに茶村修吾教授に対し感謝の意を表します。

引 用 文 献

1. 安藤孝雄・市川邦介 1974. 透過型および走査型電子顕微鏡による米粒の胚乳構造の観察. 醸工 52: 46—57.
2. BUTTROSE, M. S. 1962. Formation of rice starch granules. Naturwissenschaften 49: 307—308.
3. 江幡守衛・田代 亨 1973. 腹白米に関する研究, 第1報 腹白米発現の品種間差. 日作紀 42: 370—376.
4. 後藤寛助 1904. 米の品質に関する調査. 農学会報 61: 7—11.
5. HAYAKAWA, T., S. W. SEO and I. IGAUE 1980. Electron microscopic observation of rice grain. I. Morphology of rice starch granule. J. Jap. Soc. Starch Sci. 投稿中.
6. 星川清親 1968. 米の胚乳発達に関する組織形態学的研究. 第10報 胚乳澱粉粒の発達について. 日作紀 37: 97—106.
7. ———— 1968. ————. 第11報 胚乳組織における澱粉粒の蓄積と発達について. 日作紀 37: 207—216.
8. 稲垣乙丙 1899. 米の腹白に就て. 農学会報 47: 14—15.
9. 川上いつえ 1975. デンプンの形態. 医歯薬出版株式会社, 東京. p. 21—212.
10. 桐淵滋雄・中村道德 1973. 澱粉粒を走査型電子顕微鏡で観察する際の Artifacts. 澱粉科学 20: 206—210.
11. ———— 1974. 米種子の発芽の際の澱粉の分解機構. 澱粉科学 21: 299—306.
12. 松尾孝嶺 1952. 栽培稲の特性に関する種生態学的研究. 農技研報 D3: 1—112.
13. 松島省三 1957. 水稻の収量成立原理とその応用に関する作物学的研究. 農技研報 A5: 1—271.
14. 永松土巳 1942. 栽培稲の地理的分化に関する研究とその地理的分布に就いて. 日作紀 14: 132—145.
15. 長戸一雄 1953. 心白, 乳白及び腹白の発生に関する研究. 日作紀 21: 26—27.
16. ———— 1972. 米の品質について. 日作紀 42: 238—257.
17. 大島正男 1966. 水稻の生育各期に同化された¹⁴Cの種実への移行について. 土肥誌 37: 581—593.
18. 佐藤 庚 1964. 稲の組織内澱粉に関する研究. 第10報 穎花の発達及び稔実に伴う各部組織内澱粉の消長. 日作紀 33: 29—34.

19. 1968. 稲の籾殻の大きさの意義について. 日作紀 **37**: 454—456.
20. 徐 錫元・茶村修吾 1979. 改良インド型(短稈多収性)水稻品種の腹白米発現の軽減について. 新潟大農研報 **31**: 17—22.
21. 1979. 短稈多収性の改良インド型水稻品種の特性に関する研究. 第1報 シンク, ソース, 貯蔵炭化物からみた登熟特性. 日作紀 **48**: 365—370.
22. 1979. 第2報 粒形および粒質, とくに腹白米の発現について. 日作紀 **48**: 418—424.
23. 1979. 玄米蛋白質含有率の品種間差の発現. 日作紀 **48**: 34—38.
24. 早川利郎・茶村修吾 1980. 短稈多収性の改良インド型水稻品種の特性に関する研究. 第5報 腹白米多発品種の米粒の物理的性質. 新潟大農研報 **32**: 17—24.
25. 田代 亨・江幡守衛 1975. 腹白米に関する研究. 第3報 登熟期の環境条件が腹白米発現におよぼす影響. 日作紀 **44**: 86—92.
26. 1975. 第4報 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. 日作紀 **44**: 205—214.

Studies on the Characters of the Improved Semi-Dwarf, High-Yielding Indica Rice Varieties

VI. Shape of opaque part of white belly kernels and difference in the development of starch granules on dorsal and ventral sides in developing kernels in the variety making many white belly kernels “Chosaeng Tongil”

Seok Weon SEO and Toshiro HAYAKAWA

(Faculty of Agriculture, Niigata University, Igarashi, Niigata 950 21)

Summary

1. Shape of opaque part of white belly kernels. Most of the opaque part of the white belly kernels of this variety extended near the dorsal side. In this variety, white belly and white milky occurred in the kernel at the same time.

2. Starch granules on the ventral and dorsal sides in developing rice kernel of Chosaeng Tongil were observed using scanning electron microscope. In this study, the observed points were 250 μm to 300 μm interior from pericarp. (a) On the dorsal side: 8 days and 12 days after flowering, small and large starch granules were observed. Their shapes were irregularly spherical, and air-spaces were observed among the granules. 16 days after flowering, the air-spaces were not observed, and starch granules showed sharp edges. And on the surface of the starch granules, the pits due to protein body were observed. (b) On the ventral side: In spite of the passing of the time after flowering, at least after 8 days after flowering, starch granules almost never developed, and their diameters were 2 to 5 μm 30 days after flowering. After 16 days, on the surface of the starch granules, the pits due to enzymes in kernel^{9,11)} were observed. But the pits due to protein body were not observed. Their shapes were irregularly spherical, and air-spaces were observed among the starch granules during the whole ripening period.