

腹白米に関する研究第5報

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	田代, 享 江幡, 守衛
巻/号	45巻4号
掲載ページ	p. 616-623
発行年月	1976年12月

腹白米に関する研究

第5報 腹白の発現過程、とくに米粒水分との関係について*

田代 亨・江幡 守衛

(名古屋大学農学部)

緒 言

これまでの腹白米についての研究は、主として成熟した乾燥状態の米粒についてのみ行なったものであり^{2,8,9,11)}、腹白が米粒の発育過程でいかに発現してくるかを詳細に調べた報告はない。また、第4報¹⁰⁾で述べたように腹白の発現には米粒組織の脱水収縮過程が関与すると推察されるが、この点についてもいまだ明らかでない。

米粒の発育にともなう腹白の発現や、それと米粒組織の水分変化との関連を知ることは腹白の発現機作の解明上重要な意義を持つものと考えられる。本研究は従来未検討であったこれらの点を究明する目的で行なったものである。

材料および方法

供試材料は本学の圃場で栽培した日本型水稻品種の日本海・金南風・農林8号・五百万石(酒米)および日本型陸稲品種の世界一、そのほかにインド型水稻品種の鶏脚籼を用いた。

登熟期に穂を経時的に採取し、新鮮状態の生玄米について新鮮重と腹白発現率を調査した。この試料米はシリカゲルを入れたデシケーター内に一ヶ月間ほど置いて十分乾燥させたのち、再び腹白発現率を調査し、また乾物重を測定した。

一部の品種については、新鮮状態のまま腹白の発現が認められていない籾および生玄米をシリカゲルが半分ほど入った広口びんの中に入れ、種々の温度条件下で乾燥させ、乾燥条件が腹白発現におよぼす影響を調査した。

なお、各実験に用いた米粒は主に一次枝梗の強勢粒(4・5・6粒目)の40~80粒であった。

結 果

1. 登熟過程における腹白の発現とその品種間差異

* 昭和51年4月28日受理
第157回講演会(昭和49年4月)において一部を
発表

米粒の発育にともなう腹白発現率や粒重・含水率などの変化については内外層腹白多発品種の鶏脚籼、外層腹白品種の日本海の結果をそれぞれ第1図に示した。腹白は米粒の発育が進むにつれて急速に発現し易くなり、鶏脚籼では乾燥粒・新鮮粒いずれの状態でも発現開始以降その発現率は極めて急激に増加し、乾燥粒の状態では粒重が最大になる直前に、新鮮粒の状態では粒重が最大になると同時に、それぞれ最高に達した。これに対して、日本海では腹白発現率の増加はやや緩慢であり、とくに新鮮粒におけるその増加はかなりゆるやかであって、完熟期に至って始めて最高に達した。

このような品種間差異をより明瞭にするため、品種の腹白米発現率、腹白の大小とその型²⁾を第1表に、腹白発現の開始時期とその開始時期の粒重、含水率との関係を第2表に示した。

腹白発現の開始時期は第2表に示したように品種により明らかに異なった。新鮮粒の状態では腹白の発現が開始される時期は、腹白米発現率が非常に高く、しかも腹白部の大きな内外層腹白を発現する品種(第1表)では著しく早かった。すなわち、鶏脚籼では開花後15日ですでに腹白の発現がみられ、世界一でも開花後18日には腹白が認められた。これに対して、外層腹白を特徴とする腹白米発現率の低い日本型水稻の諸品種(第1表)では腹白の発現開始時期がかなり遅れた。すなわち、早生品種の五百万石および日本海では開花後24~26日、中生品種の金南風および農林8号では開花後30~32日に腹白が発現した。また、日本型水稻の諸品種の中では成熟のおそい品種ほど腹白発現開始時期が遅れる傾向を示した。

腹白が新鮮粒で発現する時期を米粒の乾物蓄積程度(最大乾物粒重に対する乾物粒重比:以下、粒重指数と言う)と含水率からみると、鶏脚籼や世界一では粒重指数が89および95で粒重が最大に達する前であり、含水率が28~29%で米粒水分の急激な減少期から緩慢な減少期に移行する時期であった。一方、日本型水稻諸品種の腹白発現開始時期は粒重が最大に達して、含水率が23~25%の緩慢な減少期であっ

Table 2 Varietal differences on the occurrence of white belly during kernel development^{a)}

Variety	Stage of initiation of white belly ^{b)}		Dry weight index at the stage of initiation of white belly ^{c)}		Moisture content at the stage of initiation of white belly		Stage of maximum dry weight ^{b)}
	Fresh kernel	Dry kernel	Fresh kernel	Dry kernel	Fresh kernel	Dry kernel	
Keikyakusen	15	12~13	89	83	29 (%)	33 (%)	20
Sekaiichi	18	15	95	79	28	34	23
Nihonkai	24	19	100	88	25	29	24
Kinmaze	30	22	100	91	23	26	28
Norin No. 8	32	23	100	92	23	26	28
Gohyakumangoku	26	20	100	89	24	28	24

Note a): Kernels were on the vigorous positions in the upper branches of ear.

b): Days after flowering

c): Dry weight index was expressed by the ratio dry weight of the kernel at a particular day after flowering to maximum dry weight of the kernel.

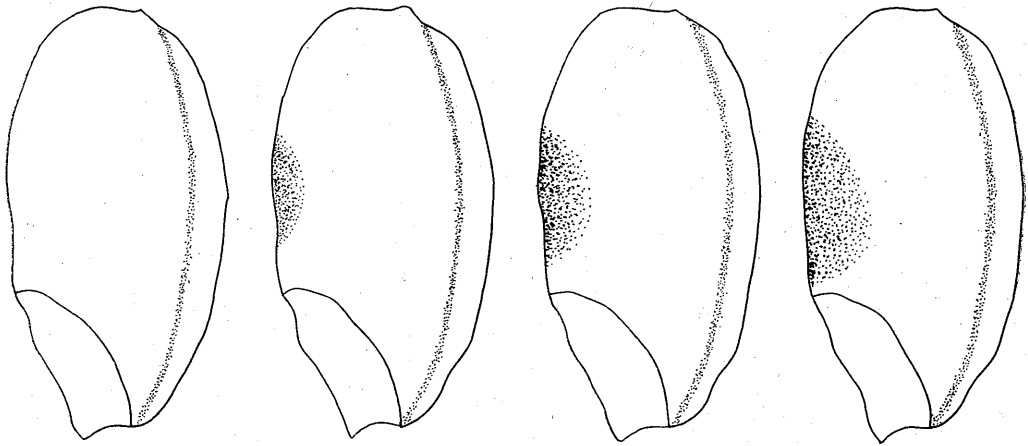


Fig. 2 Scheme showing the process on the occurrence of white belly accompanying with the moisture content decrease^{a)} in drying kernel

Note a): Moisture content decreased from left to right during dehydration

■: Opaque part

むほど腹白部は明瞭になり、その大きさも増した(第2図)。また、限界含水率は開花後26日の粒では21%程度であるのに対して、開花後30日の粒では23%程度であり、発育段階の進んだ粒ほど僅かながら高い値を示す傾向が得られた(第3図)。しかも、最終的な腹白発現率は発育が進んでいる粒ほど高かった(第3図)。

これらの結果は腹白の発現には米粒水分の放出を必要とするとともに、粒がある程度充実した状態になってから脱水されると腹白は一層発現し易くなることを示すものと考えられる。

3. 米粒の腹側部における水分放出の特異性

米粒の腹側部および背側部からの水分放出の差異を比較検討するために、鶏脚趾の生玄米を第4図に示し

たように腹側部と背側部にカミソリを使用して切り取り、実験に用いた。

まず、開花後15日の粒から切り出した腹側部と背側部の組織で、乾燥処理にともなう含水率の変化を求めた。第5図にみられるように、乾燥前には腹側部が背側部より高い含水率を示したにもかかわらず、乾燥による水分の放出は腹側部の方が大きいため、乾燥処理が進むと両部位の含水率の関係は逆転し、80°Cの平衡含水率では明らかに背側部より腹側部の方が低くなった。

次に、米粒の発育にともなう腹側部と背側部の含水率の変化を求めた。第6図に示したように、物理的減少期のなかほどまでは腹側部の含水率が背側部のそれよりも常に高く維持されたが、この時期以降では両部

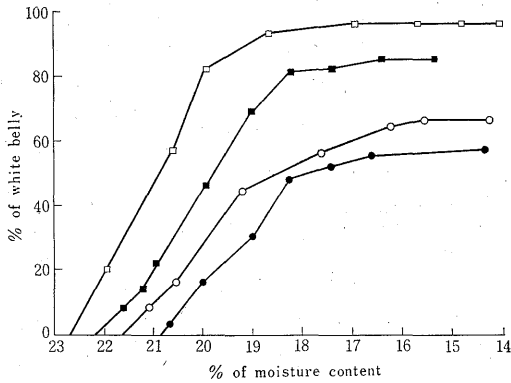
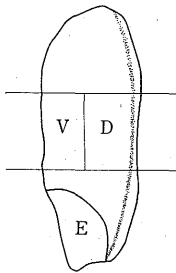


Fig. 3 Occurrence of white belly accompanying with the progress of dehydration of different aged kernel^{a)} (var. Kinmaze)

Note a): Kernels were on the vigorous positions in the middle branches of ear.

- : 26-day kernel
- : 28-day kernel
- : 29-day kernel
- : 30-day kernel



Note
D: Dorsal portion
V: Ventral portion
E: Embryo

Fig. 4 Scheme showing the dorsal and ventral portions of kernel used in the moisture measurement

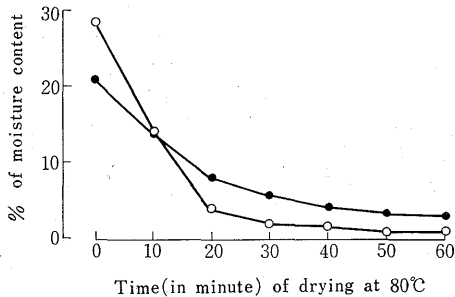


Fig. 5 Changes in moisture content of the dorsal and ventral portions of kernel during drying process (15-day kernel^{a)} of var. Keikyakusen)

Note a): Kernels were on the vigorous positions in the upper branches of ear.

- : Dorsal portion
- : Ventral portion

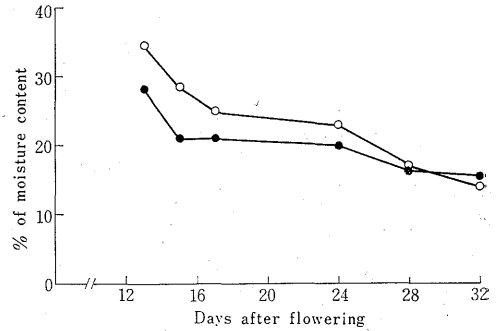


Fig. 6 Changes in moisture content of the dorsal and ventral portions of kernel^{a)} during development (var. Keikyakusen)

Note a): Kernels were on the vigorous positions in the upper branches of ear.

- : Dorsal portion
- : Ventral portion

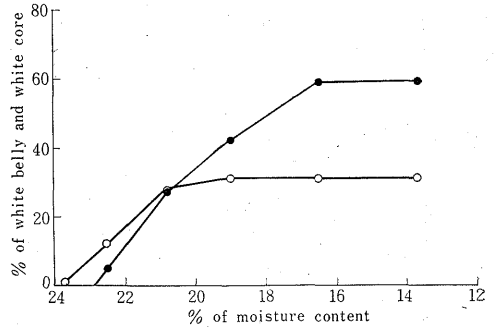


Fig. 7 Comparison of the occurrence of white belly and white core accompanying with dehydration of kernel (22-day kernel^{a)} of var. Gohyakumangoku)

Note a): Kernels were on the vigorous positions in the upper branches of ear.

- : White belly
- : White core

位の関係が逆転し、むしろ腹側部の方が背側部より低い含水率を示した。

4. 腹白発現と心白発現との差異

腹白と類似な白色不透明部が米粒の中心部付近に特異的に存在する心白の発現様式を腹白のそれと比較するために、心白多発品種である五百万石を用いて検討した。その結果、第7図に示したように、腹白の発現と同様に米粒の含水率の低下とともに心白が発現することが明らかになった。そして、心白は腹白よりやや低い含水率で発現した。すなわち、心白発現の限界含水率は23%程度で腹白の場合の24%程度よりやや低かった。

Table 3 Influence of drying of kernel^{a)} on the occurrence of white belly

Variety	Days after flowering	Condition of drying		% of white belly
		State of seed	Temperature (°C)	
Nihonkai	25	Hulled rice	25	22.9
		Unhulled rice		16.7
	27	Hulled rice	25	51.2
		Unhulled rice		39.7
26	Hulled rice	20	66.7	
		30	73.3	
Kinmaze	25	Hulled rice	20	58.3
			30	75.5
	28	Hulled rice	20	75.0
			30	87.3

Note a): Kernels were on the vigorous positions in the upper branches of ear.

また、発現の増加は腹白では含水率 19% 付近で最大に達したのに対し、心白ではかなり乾燥が進むまで発現を増加し続け、含水率 16% 付近で最大に達した。

5. 乾燥条件と腹白の発現

乾燥条件が腹白の発現におよぼす影響を知るために、日本海および金南風を用い、新鮮粒で腹白が発現していない米粒を異なる条件下で一定期間放置し、乾燥させた。その結果、第3表に示したように腹白発現率は乾燥条件により明らかに変動した。すなわち、脱穎した生玄米の状態と籾の状態とで乾燥後の腹白発現率を比較すると、前者の方が後者に比べて高くなった。また、脱穎した生玄米を 20°C と 30°C の温度条件下で乾燥させると、30°C 区は 20°C 区に比較して腹白の発現率を高めることが判明した。

これらの結果は米粒からの脱水が急激に行なわれるような条件では腹白の発現が助長されることを示すものと考えられる。

考 察

登熟過程で米粒への貯蔵物質の集積にともない、粒質は中心部から外周部に向って、白色不透明な粉状質から次第に透明な硝子質へと変化することが知られている。米粒の透明化の経過については長戸ら^{10,15)}が詳細な観察を行なっているし、江幡⁹⁾は測光法を用いて数量的に示している。

米粒組織の透明化は正常な充実の場合には順調に進むが、粒の発育に合わせて貯蔵物質の供給が行なわれない場合、すなわち米粒内で蓄積物質の需給の不均衡があると、乳白米・基白米・心白米など胚乳組織の特定部位に白色不透明部を持つ米が生じることが報告されている^{9,10,12,13,14)}。

腹白米についても、米粒の透明化の過程で、腹側が透明化する時期にそれが進行せず、白色不透明のままとなり残されたと考えられている¹¹⁾。しかし、このような従来の考え方はすべて乾燥状態の玄米についての観察結果から得られたものであり、腹白米の発現を新鮮状態の生玄米について米粒の脱水過程との関係から調査したものではない。

著者らは腹白の生成が胚乳細胞内への貯蔵物質の充填不足に基づくならば、当然胚乳細胞の porous な構造は粒の脱水過程で生じるはずであるとの考え方に立って、新鮮粒と乾燥粒の両者について、腹白発現の経過を追跡した。その結果、腹白は従来考えられているように単に粒質の透明化の過程で透明化しえなかった組織として白色不透明のまま最初から存在するものではなくて、新鮮粒の状態で一度は透明化した組織が粒の脱水収縮過程で porous な白色不透明に変わることが明らかになった。そして、このような米粒からの脱水による白色不透明部の発現は腹白に限らず心白でも同様な現象がみられたので、他の障害米の胚乳組織の一部にみられる白色不透明部についても、その発現機作は同じではないかと推測される。

米粒の含水率が高い時期では、粒質の透明化が完了していても腹白の発現がみられない。これは含水率の高いこの時期では充実度の劣る胚乳細胞でも蓄積物質が膨潤しているため、細胞内は一応満たされた状態で、白色不透明化の原因となる空隙¹⁶⁾が存在しえない結果と推察される。

乾燥粒で、粒質全体が死米様の白色不透明を呈する非常に若い発育段階の粒では腹白の有無は識別できないが、粒内の大部分が透明化する発育段階になるとそれが識別できるようになる。この腹白が識別でき始め

る頃の一時期には乾燥しても腹白の発現が少ないが、その後米粒の発育が進むと乾燥したとき腹白の発現が顕著に増加する現象がみられた。このことから、腹白の発現には粒質がある程度まで硬く充実していることが必要とされるのではないかと考えられる。この現象については現在のところ十分な説明はつけ難いが、粒が比較的未熟で含水率の高い状態では、粒全体の組織が柔らかく可塑性に富んでいて組織間の水分の移動も順調に行なわれるため、乾燥の際に米粒組織全体の脱水収縮が円滑に進み充実不良組織もそれに応じて圧縮される結果、空隙を生じにくく、これに対して粒がある程度充実して大部分が硬くなり可塑性を失なってくると、組織の収縮は全体的に起こり難くなってくるため、高い含水率を保持する充実不良な一部組織のみは乾燥して多量の水分を失う結果、この充実不良部の収縮が米粒組織全体の収縮を上回り、空隙を生じ易いのではないかと推定される。

腹白の発現は米粒からの脱水が緩慢に行なわれる乾燥条件下でやや少なくなる傾向が得られた。これは緩慢な乾燥では米粒組織間の水分の授受が円滑に行なわれ、組織の脱水収縮が比較的均一化されるため充実不良部で空隙を生じ難いのではないかと推測できる。乾燥条件と粒質の関係では江幡⁴⁾がもち米のりよく化についての実験で、急激な乾燥条件が粒の透明化を低下させることを認めている。

腹白発現の難易には品種間差異がみられ、新鮮粒で腹白が発現するのは外層腹白品種では粒重が最大に達した時点で、含水率が23~25%であって米粒水分の緩慢な減少期であった。一方、白色不透明部の大きな内外層腹白を多発する品種では、外層腹白品種より含水率が高く、粒重指数が低く、米粒の発育段階としては早い時期から腹白の発現がみられた。また、米粒の発育にともなう腹白発現率は内外層腹白品種が外層腹白品種に比べて急激に高まった。このように、品種特性の一つである腹白の型により、腹白の発現開始時期やその増加の仕方が相違することが明らかになったが、この相違は白色不透明部の大きさ²⁾やその部位の充実の程度¹⁰⁾に起因するものと推測される。すなわち、内外層腹白品種は外層腹白品種に比較して、白色不透明部が大きく、またその部位の充実程度も低いので、一層空隙を生じ易いものと考えられる。

従来、腹白がなぜ腹側部に生成されるかについては米粒への主要な養分供給路と考えられている背側維管束が、腹側部から最も距離的に離れた位置にあるため充実しにくいと推論されている^{6,7)}。

本実験の結果では登熟過程で米粒の腹側部は背側部に比べて含水率が高いが、脱水が進むにつれて両部位の含水率は接近し、さらに脱水が進むと両部位の含水率の関係が逆転することが明らかになった。そして、このような現象は生玄米の人工乾燥過程でもみられた。これらのことは一般に腹側部が背側部より成熟が早いのが充実し難い位置であるとする従来の推論¹⁾を裏付けたとともに、腹側部と背側部のでんぶんの結晶性に差異が存在することを示唆した結果と推察される。すなわち、でんぶんの非晶部分(ゲル相)は吸水時の膨潤性や脱水時の収縮性に大きく関与するとの報告⁵⁾から推測して、腹側部が背側部より脱水が強度に行なわれることは、腹側部のでんぶんの結晶性が背側部のそれより低いことを示していると考えられるが、この点については現在さらに検討中である。

摘 要

1. 新鮮粒における腹白発現開始時期は品種により異なり、内外層腹白品種では開花後15~18日、粒重指数89~95、含水率28~29%の米粒の発育段階であったが、外層腹白品種では開花後24~32日、含水率23~25%、ほぼ最大粒重に達した米粒の発育段階であった。腹白の発現率は米粒の発育が進み、含水率が低下するにつれて増加するが、内外層腹白品種では急増して最大粒重に達すると同時に、外層腹白品種では漸増して完熟期頃にそれぞれ最高に達した。
2. 乾燥粒における腹白の発現開始時期は新鮮粒の場合より早かったが、その発現経過には新鮮粒と同様に品種間差異が存在した。すなわち、乾燥粒での腹白発現開始時期は内外層腹白品種では開花後12~15日、粒重指数79~83、含水率33~34%に対して、外層腹白品種では開花後19~23日、粒重指数88~92、含水率26~29%の米粒の発育段階であった。腹白は発現開始以降、米粒の発育が進むとともにその発現率を急速に高め、内外層腹白品種の場合では最大粒重到達期直前に、外層腹白品種の場合では最大粒重到達期に、それぞれ最高に達した。
3. 腹白は乾燥による脱水過程で限界含水率に達すると発現し、含水率の低下とともにその発現率が増加した。発育段階が若い米粒では乾燥脱水によっても腹白を発現し難いが、粒の発育が進むにつれて限界含水率ならびに腹白発現率は高まる傾向がみられた。
4. 新鮮粒の腹側部は背側部より含水率が高いが、脱水にともないこの両者の関係は逆転した。このことは腹側部では背側部に比較して充実が劣るとともに脱

水が強度に行なわれることを意味し、これは腹側部における porous な腹白組織の生成と密接な関係があると考えられる。

5. 心白の白色不透明部も腹白と同様に脱水によって発現するが、腹白に比べてやや低い含水率で生ずることが認められた。

6. 乾燥粒の腹白の発現は乾燥条件によって影響され、急速な乾燥脱水はその発現率を増加させる傾向を示した。

終りに、本研究の実施にあたり、適切なお助言をいただいた名古屋大学農学部作物学研究室の諸氏に感謝の意を表する。

引要文献

1. 江幡守衛・長戸一雄 1961. 心白米に関する研究. 第3報 胚乳澱粉細胞組織の発達と心白との関係. 日作紀 29: 93—96.
2. ———・田代 亨 1973. 腹白米に関する研究. 第1報 腹白米の発現の品種間差異. 日作紀 42: 370—376.
3. ——— 1973. 測光法による米の粒質診断に関する研究. 第6報登熟ならびに乾燥にもなる粒質の透光性の変化. 日作東海支部研究梗概 66: 47—50.
4. ——— 1973. 測光法による米の粒質診断に関する研究. 第7報 もち米の透明度について. 日作東海支部研究梗概 68: 23—26.
5. FRENCH, D. 1972. Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. Denpun Kagaku 19: 8—25.
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.
7. 稲垣乙丙 1899. 米の腹白に就て. 農学会報 47: 14—15.
8. 木戸三夫・梁取昭三 1968. 腹白, 基白, 心白状乳白, 乳白米の穂上における着粒位置と不透明部のかたちに関する研究. 日作紀 37: 534—538.
9. 長戸一雄 1953. 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究. 日作紀 21: 25—27.
10. ———・江幡守衛 1958. 心白米に関する研究. 第1報 心白米の発生. 日作紀 27: 49—51.
11. ———・小林喜男 1958. 米の澱粉細胞組織の発育について. 日作紀 27: 204—206.
12. ———・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎果の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34: 59—66.
13. NAGATO, K. and F. M. CHAUDHRY 1969. Ripening of japonica and indica type rice as influenced by temperature during ripening period. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 38: 657—667.
14. ———・——— 1970. Influence of panicle clipping, flag leaf cutting and shading on ripening of japonica and indica rice. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 39: 204—212.
15. 長戸一雄・鈴木清太・佐渡敏弘 1975. 米粒の乾物増加過程と米質. 日作紀 44: 431—437.
16. 田代 亨・江幡守衛 1975. 腹白米に関する研究. 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 White-Belly Rice Kernel

V. On the occurrence of white belly during the development of rice kernel,
with special reference to the moisture content of kernel

Toru TASHIRO and Morie EBATA

*(Faculty of Agriculture, Nagoya University, Nagoya)***Summary**

These studies in series were devoted to clarify the characteristics of white belly rice kernel which had an opaque part at the ventral portion of its endosperm.

In this experiment, the stage of initiation of white belly in the developing kernel and the relationship between occurrence of white belly and dehydration of kernel were investigated.

The varieties used were Nihonkai, Kinmaze, Norin no. 8, Gohyakumangoku (Sakamai) and Sekaiichi (upland rice) of Japonica and Keikyakusen of Indica type of rice.

The following results were obtained.

1. Stage of initiation of white belly in fresh kernel differed with variety. In case of varieties which characterized by high occurrence and large size of white belly (external-internal white belly type), the initiation began 15–18 days after flowering when the kernel gained 89–95% of dry weight and 28–29% of moisture. The varieties featured by small white belly (external white belly type), on the other hand, initiated white belly 24–32 days after flowering when the kernel nearly attained its maximum dry weight and the moisture content of kernel decreased to 23–25%.

Percentage of white belly increased with the progress of maturation and dehydration. The highest value of white belly was indicated with the attainment of maximum dry weight in case of external-internal white belly type and that of full ripe stage in case of external white belly type.

2. Initiation of white belly in dry kernel occurred earlier than that of fresh kernel. In case of external-internal white belly type, the stage of initiation was 12–15 days after flowering when the kernel had 33–34% of moisture and dry weight index value of 79–83. Whereas, in case of external white belly type, the initiation occurred 19–23 days after flowering when the kernel had 26–29% of moisture and dry weight index value of 88–92.

The percentage of white belly increased with the development of kernel and reached at its highest value when the kernel just before attained maximum dry weight in case of external-internal white belly type and when the kernel attained maximum dry weight in case of external white belly type.

3. When the premature fresh kernel were dried artificially, the white belly appeared as the moisture content decreased and the moisture content at which the white belly initiated differed with the kernel age.

4. In fresh kernel, the moisture content of ventral portion was higher than that of dorsal portion, but this moisture state was reversed after the kernel was dried. This phenomenon seemed to indicate that the ventral portion of kernel had less deposition of storage matter and stronger dehydration capacity than the dorsal portion. It was also thought that this phenomenon might be related to the formation of porous tissue of white belly on the ventral portion of kernel.

5. In the premature fresh kernel of Gohyakumangoku a white core variety, the white core occurred with the progress of artificially dehydration in the same way as that of white belly, but the occurrence of white core was associated with slightly lower moisture range than that of white belly.

6. The occurrence of white belly was influenced by the condition of drying. And the dryings which resulted to the rapid dehydration of premature kernel increased the occurrence of white belly.