米粒の硬度分布に関する研究*

長 戸 一 雄

(名古屋大学農学部)

著者は従来米粒の澱粉細胞組織や部分比重から米粒の充実度を推定し、その比較によつて米としての性格の差あるいは環境その他による品質の変異などを検討したが⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾、米粒の充実度を的確に知るため米粒各部位の硬度を測定し、硬度分布の品種間差異・稔実様相との関係および米粒の水分含量温度との関係など基礎的問題を明らかにして、米の性格や品質研究の資とする目的で本研究を行なつた。

実験の方法および材料

硬度の測定は現在最も適当と思われる島津製微小硬度計を用い、二つの平滑水平な金属台の間の菱形の空隙に挟んだ米粒を丁寧に削つて得た極めて平滑な断面に 15 g の荷重でダイヤモンド四角錐を 13 秒間押し (15 秒間でもほとんど差はない)、印した正四角形の穴の大きさをその対角線の長さで測り、次式から Vickers 硬さを求めた。

$$H = \frac{2 P \sin \theta / 2}{d^2} \times 1000 = 1854.4 \frac{P}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

H...Vickers hardness P...load (15 g)

θ ...angle of the diagonal phases of diamond pyramid

d...length of diagonal of quadrate impression (μ)

Fig 1. Hardness distribution on the transection of kernel (var. Sasashigure)

なお、この場合 2 つの対角線長の平均で求めるが、一般には 2 つの対角線の値はほとんど差がない。ただ軟質な米の脊腹線附近や Aleuron 層に近い場所は充実度が均一でないものと推定され四角錐の痕跡が菱形になり 2 つの対角線の長さに差を生ずる場合がある。

測定材料は九州大学および各農業試験場より得た品種を当大学で栽培したもの为主とし、他に農業技術研究所、各食糧事務所より得たものを加え、日本型・印度型それぞれ 40 種余を用いた。

実験結果および考察

1) 完全米における硬度分布

米粒横断面の硬度分布 米粒中央部の横断面について硬度の分布を背腹方向に 150 μ 、厚さ方向に 100 μ の間隔で測定した。品種ササシグレの例を Fig. 1 に示すと、中心点附近は軟かく外側に向かつて次第に硬くなり、中間部が最も硬くそれより外側はふたたび軟かくなる。また中心点を通り背腹に至る線 (背腹線) の附近は他より一段軟かい傾向がある。この硬度分布の傾向は米粒の基部に近い横断面で多少硬度の劣る傾向がある以外はどの部位の横断面でもほとんど同様であるから、中央部の横断面で代表することができる。

米粒縦断面の硬度分布 米粒の中心を通り厚さ方向に平行な縦断面について、ほぼ中心線ぞいに 200 μ 、粒の先端から基部にかけて 5 カ所で厚さ方向に 100 μ の間隔で硬度を測定すると Fig. 2 のように、米粒の中心線附近は軟かく、それより外側へ硬くなり中間部より外側はふたたび軟かくなる。また米粒の基部は多少軟かい傾向がある。すなわち縦断面の硬度分布は前記横断面の硬度分布を縦に連ねたものとみて支障がない。

したがって米粒全体の硬度分布は米粒中央部の横断面の硬度で代表することができ、中央部横断面の硬度は中心点で交わる背腹線と厚さ線の硬度で代表させることができ

* 昭和37年 6 月20日受理

る。以下主としてこの両線の硬度分布を代表として論ずることとした。

2) 硬度分布の品種間差異

各品種につき中央部横断面の中心点を通る背腹および厚さ両線の硬度分布を比較すると、Fig. 3 のごとく、中心点附近の硬度の差により2つの型に大別される。

Type I (硬質米) Fig. 3

(1~6) にみられるように、中心点附近が最も硬く外側にいたるにしたがい同心円的に軟くなり、背腹線と厚さ線との間には大差なくむしろ背腹線がやや硬い傾向がある。印度型品種がこれに属し、わが国の品種では糯品種（水稻陸稻ともに）陸稻品種の多くがこの型を示し、最も硬質な米とみなすことができる。

Type II Fig. 3 (7~18) のように中心点附近が比較的軟かく、中間部が最も硬い型で日本型品種がこれに属する。この型は背腹線と厚さ線との硬度の差により次の3つに区別される。

Fig. 2. Hardness distribution on the longisection which is made in parallel with lateral diameter as through the central point. (var. Sasashigure)

Type II a (準硬質米) Fig. 3 (7~11) のごとく、背腹線と厚さ線の硬度分布に大きい差がない。わが国のいわゆる硬質米品種がこの代表とみられる他、陸稻品種中の交配種の一部や外国の日本型品種のあるものがこれに属し、やや硬い米とみることができる。

Type II b (準軟質米) Fig. 3 (12~16) で中心点は前者より軟かく、したがって背腹線は厚さ線に比しはるかに硬度が劣る。わが国の軟質米とみられる品

Fig. 3. Varietal differences in the hardness distribution

Fig. 4. The response of hardness to change in moisture content.

種がこれを代表し、外国の日本型品種の一部がこれに属し、やや軟かい米とみなされる。

Type II c (軟質米) Fig. 3 (17, 18) のように、中心点附近は著しく軟かく、背腹線にその部分も極めて軟かく、心白を発生しやすい構造を有するものと考えられる。酒造米といわれる粒巾の広い大粒種がこれに属し、もつとも軟質な米とみることができよう。

以上の硬度分布の特徴は先に報告した澱粉細胞組織⁴⁾ および米粒の部分比重の特徴⁵⁾⁶⁾と相応するものであり、I型は澱粉細胞が背腹線附近で扁平化することなく中心点より放射状に配列し比重は中心部ほど大きく、II c型は背腹線附近の数層の細胞が扁平に圧縮され比重も中心に近づく小さくなり、II a型およびII b型はそれぞれ、その間に位置するが、硬度分布によつてこれら品種の特徴を最も簡明・直接的に示すことができる。古来軟質米と称せられた品種が本質的に軟かい部分をもつた米であり、酒造関係者に軟質米と呼ばれる大粒酒造米は最も芯の軟かい米であり、これら経験にもとづく呼称は必ずしも故なきものでないと考えられる。またこのように品種の特性として澱粉充実の様相を異にすることは、米としての諸性質に関連を有し米質研究上注目すべき事項であろう。

なお、この調査はすべて水分含量 14% 前後の完全米について室温 12°C 附近で行なつたものである。また外国品種中には乳白米のはなはだ多いものがあるが、本調査は乳白米は除き完全米のみについて行なつ

Fig. 5. Effect of temperature on the hardness.

た。

3) 米粒の水分含量と硬度

Fig. 4 に示すように各品種とも水分含量の多いほど硬度は急速に小さくなる。また水分含量の増加により軟かい部分が硬い部分より一層軟くなる傾向がみられるが、小麦で粉質部が硝子質部より水分含量の増加による比重の減少が大きいこと¹⁾と同様で、軟かい部分が吸湿、膨張が大きいと考えられる。なお本法では水分含量 20% 以上になるとダイヤモンド圧子の痕跡が崩れ測定困難である。したがつて本法では水分含量 12~14% 程度が測定しやすいようである。

4) 測定時の温度と硬度

測定時の気温（米粒の温度も同じとみなされる）と硬度との関係は Fig. 5 のように、各品種とも温度が高いほど軟くなるが、品種間に温度による変異に差が認められる。Zenith のような硬質米では温度による変化が比較的小さく、中京旭・農林 18 号の準硬質米では比較的低温（12～18°C）での変化は小さいが 25° になると変化が大きく、準軟質米ササシグレ・Caddy では低温での変化が大きく 25° での変化は比較的小さい。最も軟質な山田錦ではいずれの温度段階でも変化が概して大きい傾向がみられる。この点は米粒の比重の変化とも関係し、おそらく米粒中心部附近の空隙率などに起因するものでないかと想像される。

5) 稔実の様相と硬度

(1) 完全米の質と硬度 完全米のうちで、よく充実した米と充実のやや不良な米とを比較すると (Fig. 6, 1) 主として米粒の外側部で差が著しく、米粒の部分比重の比較とよく一致し、不良な米は明らかに登熟中期以降に充実が劣ることを示している。

(2) 腹白米の硬度 (Fig. 2) 腹白米は完全米と比較して白色不透明部において著しく硬度が劣るが、他の部分ではほとんど差がなく、腹白部以外は順調に充実しており完全米に劣るものではない。なお外国品種のなかには乳白的な腹白（白色不透明部が米粒の比較的内方におよんでいるもの）が多く、この場合は充実の劣る部分が大きく品質上も問題になる、

(3) 心白米の硬度 (Fig. 6, 3) 心白米は完全米に比し心白部において著しく劣り、特に著しい場合は粉状で測定困難である。しかし他の部位ではむしろ充実良好で硬度が勝る傾向があることが厚さ線の比較で推察されるが、部分比重より推定した点⁵⁾を明示するものである。なお心白米で中心点附近の透明なもの（米粒横断面で白色不透明部が中心点で2分されているもの）はその部分の硬度は完全米と大差なく、中心点附近の不透明なもの（横断面で白色不透明部が中心部を通り1線になつているもの）も図のように中心点附近は他の心白部より著しく硬い傾向がある。これらのことは心白形成がもともと中心点を境として背側と腹側の2つの線分上に起こりやすいものであることを示すものといえよう。

(4) 早期米の硬度 藤坂5号について青森産玄米と愛知早期米とを比較すると (Fig. 6, 4) 早期米は特に背腹線が硬くしたがって厚さ線でも中心点附近で硬度勝りII b型の硬度分布からII a型の硬度分布となり、早期栽培に

Fig. 6. Relations between some kernel qualities and the hardness.

より準硬質米化することを示している。しかるにもともと準硬質米であり早期栽培に適するとみられる越路早生 (Fig. 6, 5) では愛知産早期米も新潟産米に比しほとんど硬度の変化が認められず登熟上に何等変りがないものと考えられる。以上の点は部分比重から考察した既報⁹⁾の結果をより端的に示すものである。なお藤坂5号の厚さ線で外側部で早期が劣る傾向がある

Fig. 7. Hardness distribution on transection of milk-white kernel (var. Sasashigure)

ことは早期米の品質低下をあらわしている。

(5) **乳白米の硬度** 品種ササシグレの典型的な輪状乳白米(横断面で輪状の白色不透明部のあるもの)(Fig. 7)と完全米(Fig. 1)の硬度分布を比較すると、輪状の白色不透明部の硬度が明らかに劣り、その部附近の充実が不良であることを明示している。

結 言

米粒の充実度を比較するため、米粒各部位の硬度を測定し、品種による差異、米粒の水分含量および温度による変異あるいは登熟様相による差異など基礎的な問題を検討し、その結果著者が先に指摘した澱粉細胞組織や米粒の部分比重の結果とよく一致するばかりでなく、なお一層的確簡明に表現することができることが明らかとなった。したがって米の硬度分布を測定することにより米粒の登熟経過中の充実様相を明らかにすることができ、また各品種の米あるいは各品質の米についてそれぞれの米としての性格や品質を知るための重要な手がかりを得ることができるものと考えられる。

主 要 文 献

- 1) CHAMPBELL, J. D., and C. R. JONES: On the Physical Basis of the Response of Endosperm Density to Change in Moisture Content. *Cereal Chem.*, **32**, 325~333, 334~343 (1955).
- 2) KATZ, R., et al: A New Grain Hardness Tester. *Cereal Chem.* **36**, 393~401 (1959).
- 3) 長戸・小林: 米の澱粉細胞組織の発育, 日作紀, **27**, 204~206 (1958)
- 4) 長戸・小林: 米の澱粉細胞組織の品種間差異について, 日作紀, **27**, 443~445 (1959)
- 5) 長戸・江幡: 心白米に関する研究(2), 日作紀, **28**, 46~50 (1959)
- 6) 長戸・江幡・反田: 早期栽培稲の米質に関する研究, 日作紀, **28**, 359~362 (1960)
- 7) 長戸・江幡・河野: 米の品質からみた早期栽培に対する適応性の品種間差異, 日作紀, **29**, 337~340 (1961)
- 8) 長戸: 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究, 日作紀, **21**, 26~27 (1951)
- 9) 長戸・江幡: 畑栽培水稻の米質に関する研究, 日作紀, **30**, 79~82 (1961)

On the Hardness of Rice Endosperm

KAZUO NAGATO

(Faculty of Agriculture, Nagoya University)

Summary

The author has reported on the differences of endosperm tissue and of specific gravity of rice kernel in relation to the grain properties and has suggested that the endosperm density is an important character concerned in the grain property. However, the endosperm density is indicated most precisely by the hardness of endosperm, therefore this work was made to research the point-to-point variation of hardness of a single kernel and to explore the relation between hardness distribution and property of kernel.

1) *Hardness Determination.* Using Shimadzu Micro-Hardness Tester, a preloaded (15 g) diamond pyramid was forced into the even plane of kernel section for 13 seconds and the diagonal of quadrate impression was measured with a microscope, then Vickers hardness was calculated from the formula.

2) *Hardness Distribution on Kernel Section.* Hardness measurements were made on the transection of kernel at intervals of 150 μ in dorso-ventral direction and of 100 μ in lateral direction. According to the results on the section from middle of kernel (Fig. 1), the central point of section is rather soft and the middle region is the hardest and outer region from the middle becomes softer and softer, moreover, the region along the dorso-ventral line is somewhat softer than the adjacent region. This inclination of hardness distribution is essentially same on the sections from apical part and from basal part of kernel, except that every point of basal part is softer to a certain extent in comparison with the corresponding point of other parts.

Hardness distribution on the longisecton is recognized as the longitudinal connection of hardness diagrams of the transections as shown in Fig. 2. According to the facts above mentioned, the hardness distribution on the transection from middle of kernel is representative of hardness distribution of whole kernel and is represented by the hardness distribution along the dorso-ventral line and the

lateral line crossing at the central point of the section.

3) *Varietal Differences in Hardness Distribution.* Diagrams of hardness distribution indicated by hardness along the dorso-ventral line and the lateral line are classified into two types by the hardness of central region (Fig. 3).

Type I. (Hard Type) As shown in Fig. 3(1-6), the central point is the hardest and outer region becomes softer on dorso-ventral and lateral line and the distinct difference can not be found between dorso-ventral line and lateral line. Indica varieties, glutinous varieties and some of upland varieties in Japan belong to this type and kernels of these varieties are assumably the hardest of all varieties.

Type II. As shown in Fig. 3(7-18), the central point is rather soft and the hardest part is the middle between the central point and aleuron layer and the region along dorso-ventral line is more or less softer than other region. Almost all varieties of Japonica are included in this type. With respect to the difference between dorso-ventral line and lateral line, this type may be subdivided into three groups.

Type IIa. (Semi-Hard Type) The difference between dorso-ventral line and lateral line is rather small (Fig. 3, 7-11). Japanese varieties so-called "Kôshitsu-Mai", some varieties of upland rice and some of Japonica varieties in foreign countries belong to this type.

Type IIb. (Semi-Soft Type) The hardness along dorso-ventral line is softer than type II a and the difference between dorso-ventral line and lateral line is larger compared with Type IIa (Fig. 3, 12-16). Japanese varieties so-called "Nanshitsu-Mai" and some varieties of Japonica in foreign countries are included in this type.

Type IIc. (Soft Type) The central point is very soft and dorso-ventral line is markedly softer than the lateral line (Fig. 3, 17-18). The varieties used for brewing in Japan (Saka-Mai) belong to this type and these varieties produce frequently white-core kernels (Fig. 6, 3).

4) *The Response of Hardness to Change in Moisture Content.* (Fig. 4) The higher the moisture content, the softer the endosperm. However, the decrease of hardness on account of moisture increase is larger in the soft region than in the hard region of endosperm.

5) *Effect of Temperature on the Hardness.* (Fig. 5) The higher the temperature, the softer the endosperm. However, in regard to the extent of hardness variation, hard variety (Zenith) is less than soft variety (Yamada-nishiki) in every temperature, whereas, semi-hard variety (Chûkyôasahi or Koshiziwase) is less in low temperature (12-18°) but greater in high temperature (18-25°) than semi-soft variety (Sasashigure or Cody).

6) *Relations between Some Kernel Qualities and Hardness.*

(1) Low quality kernel as compared with high quality kernel is inferior in hardness at the outer region of endosperm tissue as shown in Fig. 6, 1.

(2) In white-belly kernel (Fig. 6, 2) and white-core kernel (Fig. 6, 3), mealy parts are very soft as compared with the vitreous parts in the kernels. Hardness numbers of mealy parts in milk-white kernel (Fig. 7) are smaller than the hardness numbers of corresponding parts in normal kernel (Fig. 1).

(3) On the comparison of the kernels produced in early season cultivation and the kernels produced in normal season cultivation, variety which is more adaptable to early season cultivation (Koshiziwase) does not vary by culture season, while less adaptable variety (Fuzisaka-5) becomes harder at central parts of kernel and hardness distribution becomes type IIa in early season cultivation (Fig. 6, 4-5).