



| | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title | 米の搗精と精白米の品質および食味：（第4報）最適搗精方法と最適玄米条件 |
| Author(s) | 川村, 周三; KAWAMURA, Syuso |
| Citation | 北海道大学農学部邦文紀要, 17(4), 517-530 |
| Issue Date | 1991-10-05 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/12144 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 17(4)_p517-530.pdf |



米の搗精と精白米の品質および食味*

(第4報) 最適搗精方法と最適玄米条件

川村 周三

(北海道大学農学部農畜産加工機械学教室)

(平成3年6月28日受理)

Rice Milling and the Quality and Taste of Milled Rice

(Part 4) Optimum technique for milling and optimum brown rice condition before milling

Shuso KAWAMURA

(Department of Agricultural Process Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

I. 緒言

既報^{7,8)}では精米機の搗精特性を明らかにし、古米、玄米温度、玄米水分などの搗精前の玄米条件が搗精特性に与える影響について明らかにした。さらに精米機の搗精方法や玄米温度と精白米水分が精白米の品質および食味に及ぼす影響について述べた。

本報ではこれらの結果をもとに、玄米条件と搗精特性との関係や精白米の物理化学特性と食味との関係を明確にする。そのうえで精米機の搗精方法が搗精特性と精白米の品質および食味に与える影響をまとめ、最適搗精方法について述べる。さらに搗精特性と精白米の品質および食味から総合的に判断した米の搗精における最適な玄米温度と玄米水分の条件を明らかにする。

II. 玄米条件と搗精特性との関係

2報⁷⁾で搗精前の玄米条件として古米化の程度、玄米温度および玄米水分の三項目について取り上げた。その結果、玄米条件が搗精特性に与える影響は玄米条件の変化にともなう玄米剛度の変化に起因していると明らかにした。

ここでは古米、玄米温度、玄米水分と玄米剛度との関係、さらに玄米剛度と搗精特性とくに消費電力

量、搗精時間および搗精による碎粒発生との関係について定量的に明確にし、搗精特性から考慮した最適玄米剛度の範囲を求める。

II-A. 玄米条件と玄米剛度

1. 古米化と玄米剛度

Fig. 1 に2年7カ月間にわたり貯蔵を行った玄米の貯蔵期間中の挫折剛度と圧砕剛度の変化を示した。ここに示したように、玄米の貯蔵により剛度はわずかに低下し、2年7カ月間の貯蔵後に挫折剛度および圧砕剛度はそれぞれ0.5 kgf 減少した。

この供試玄米はポリエチレン容器に密封貯蔵したものであり、貯蔵期間中の玄米水分に特徴的な変化は認められなかった。したがって剛度低下は古米化に起因すると考えられる。

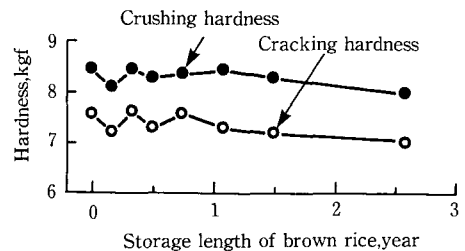


Fig. 1. Effect of storage time on hardness of brown rice.

Moisture content of brown rice during storage was between 14.5% and 14.2%.

* 本論文は北海道大学審査学位論文の一部である。

2. 玄米温度と玄米剛度

Fig. 2 に玄米温度が玄米剛度に与える影響について図示した。ここに示したように、玄米温度が-5℃から30℃の範囲内で玄米温度と玄米剛度とは負の直線関係にあり、玄米温度の低下とともに玄米剛度は増加した。

玄米温度と圧砕剛度との関係は次の回帰式で表される。

$$Y = -0.10X + 9.52 \dots\dots\dots(1)$$

$$r = 0.997^{**} \quad r(2,1\%) = 0.990$$

ここに Y は玄米圧砕剛度 (kgf), X は玄米温度 (°C) である。

式(1)から玄米温度 10℃の変化により圧砕剛度が 1 kgf 変化することを知った。

3. 玄米水分と玄米剛度

Fig. 3 に玄米水分が玄米剛度に与える影響について図示した。ここに示したように、玄米水分が12%から17%の範囲内で玄米水分と玄米剛度とは負の直線関係にあり、玄米水分の低下とともに玄米剛度は増加した。

玄米水分と圧砕剛度との関係は次の回帰式で表される。

$$Y = -0.99X + 23.26 \dots\dots\dots(2)$$

$$r = 0.981^{**} \quad r(8,1\%) = 0.765$$

ここに Y は玄米圧砕剛度 (kgf), X は玄米水分 (% w. b., 10g, 粒, 135℃, 24時間法) である。

式(2)から玄米水分 1%の変化により圧砕剛度が 1 kgf 変化することを知った。

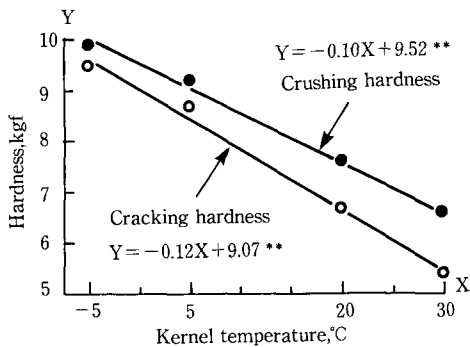


Fig. 2. Effect of kernel temperature on hardness of brown rice. Moisture content of brown rice was 15.9%. ** indicates the significance at the 1% level.

4. 米粒内硬度分布

Fig. 4 に玄米の古米化, 玄米温度, 玄米水分が玄米剛度に与える影響を長戸^{14,15)}の米粒内硬度分布のモデルを利用して模式的に表現した。長戸¹⁴⁾はビッカ

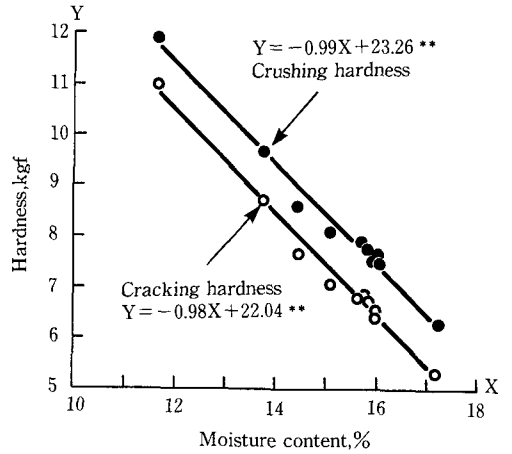


Fig. 3. Effect of moisture content on hardness of brown rice. Brown rice temperature was 20°C. ** indicates the significance at the 1% level.

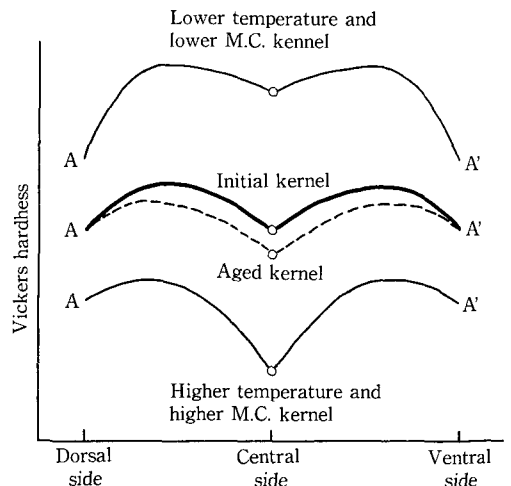
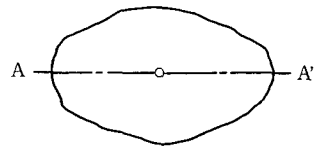


Fig. 4. The response model of hardness to changes in storage time, moisture content and temperature of brown rice kernel.

カーズ硬度計を用いて米粒内の硬度分布を詳細に測定し、*Japonica*種の軟質米の背腹横断面の硬度は一般的にFig.4の太い実線で示したようにM字型となることを報告している。

2報⁷⁾で明らかにしたように、古米化による剛度減少は糠層ではなく主として胚乳部にて生じる。したがって、太い実線で示した米に対して、それが古米化すると破線で示したような米粒内硬度分布となると考えられる。

一方、玄米温度や玄米水分が搗精特性に与える影響は搗精歩留の低下にともない一層顕著となる。すなわち、これらが玄米剛度に与える影響は糠層より胚乳部においてより大きい。したがって、玄米温度と玄米水分の低下にともなう玄米剛度の上昇、または玄米温度と玄米水分の上昇にともなう玄米剛度の低下は、細い実線で図示したような、糠層の剛度変化に対して胚乳部の剛度変化が相対的に大きい硬度分布となると考えられる。

本研究と同様に、白倉¹⁸⁾は玄米水分増加の影響が糠層よりも胚乳部においてより大きく生じることを指摘している。

5. 玄米の温度および水分と玄米剛度

古米化による玄米剛度の減少は玄米の温度や水分による剛度変化に比較してわずかなものであり、しかも剛度減少は主として胚乳部にて生じる。したがって古米化は飯用米の搗精特性には影響を与えないと判断された。搗精前の玄米条件の中で搗精特性に影響を与えるのは玄米温度と玄米水分であり、これらの影響を玄米剛度に置き換えるならば同質のものであると考えられる。

そこでFig.5に、本研究で供試した20点の玄米について玄米剛度と玄米温度および玄米水分との重相関分析を行い、その回帰平面を示した。Fig.5によれば玄米剛度と玄米温度および玄米水分との関係は非常に有意な回帰性を持ち、例えば玄米の温度と水分が低い場合に剛度が高くなることが示された。

玄米の温度と水分から圧砕剛度への回帰式は次のとおりである。

$$Z = -0.10X - 0.98Y + 24.93 \dots\dots(3)$$

$$R = 0.934^{**} \quad R(17,1\%) = 0.575$$

ここにZは玄米圧砕剛度(kgf)、Xは玄米温度(°C)、Yは玄米水分(% w.b., 10g, 粒, 135°C, 24時間法)である。

式(3)においても式(1)や式(2)と同様に、玄米温度

10°Cの変化もしくは玄米水分1%の変化は圧砕剛度1kgfの変化となることが確認された。

II-B. 玄米剛度と搗精特性

1. 玄米剛度と消費電力量

玄米温度と玄米水分が搗精特性に与える影響は玄米剛度に置換することが可能である。そこでFig.6に玄米圧砕剛度と、研削式精米機または摩擦式精米機を用いて搗精歩留を92.5%にまで搗精するに要した消費電力量との関係について図示した。

圧砕剛度と消費電力量は研削式精米機で非常に有意な一次回帰性が認められ、摩擦式精米機で一次回帰、二次回帰および全回帰においてそれぞれ非常に有意な回帰性が認められた。それぞれの回帰式は次のとおりである。

研削式精米機

$$Y = 0.063X + 0.265 \dots\dots(4)$$

摩擦式精米機

$$Y = 0.059X^2 - 0.743X + 2.887 \dots\dots(5)$$

ここにYは精米機の消費電力量(kWh/60kg・brown rice)、Xは玄米圧砕剛度(kgf)である。

2. 玄米剛度と搗精時間

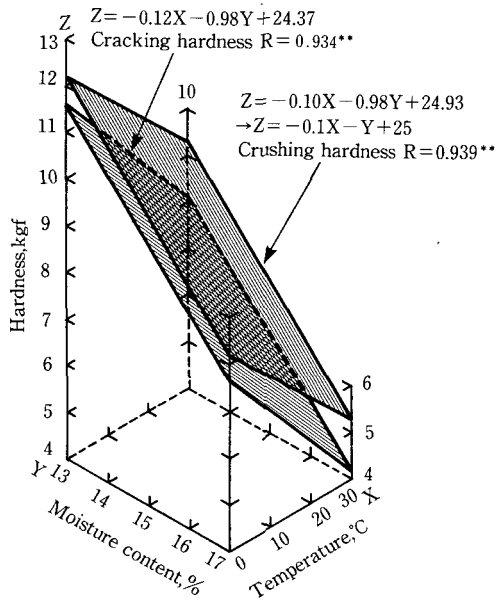


Fig. 5. Regression planes among hardness, moisture content and kernel temperature of brown rice. ** indicates the significance at the 1% level.

Fig. 7 に圧砕剛度と搗精時間との関係を図示した。圧砕剛度と搗精時間との関係は非常に有意な回帰性が認められ、それぞれの回帰式は次のとおりである。

研削式精米機

$$Y=11.3 X-9.3 \dots\dots\dots(6)$$

摩擦式精米機

$$Y=9.4 X^2-126.6 X+470.0 \dots\dots\dots(7)$$

ここに Y は搗精時間 (Second), X は玄米圧砕剛度 (kgf) である。

圧砕剛度と消費電力量や搗精時間との関係が研削式精米機では一次式に、摩擦式精米機では二次式に回帰されたのは、両精米機の搗精作用の違いに起因するものである。すなわち、米粒相互の摩擦作用により糠層の剝離を行う摩擦式精米機は剛度変化の影響を強く受けるのに対し、金剛砂ロールにより米粒表面を研削除去する研削式精米機は剛度変化の影響を受けにくいと考えられる。

2報⁷⁾で明らかにしたように、実験に用いた摩擦式精米機の搗精特性は実用大型精米機の搗精特性と類似していた。したがって、実用精米機においても玄米剛度が上昇するにともない消費電力量や搗精時間が剛度の二乗に比例して増加し、搗精効率や搗精能率が大きく低下すると考えられる。

Fig. 6 と Fig. 7 によれば、圧砕剛度がおよそ 8 kgf 以上で摩擦式精米機の消費電力量や搗精時間が急増する。そこで搗精に適する玄米圧砕剛度は 8 kgf が最高限界であると判断された。

3. 玄米剛度と砕粒割合

圧砕剛度が低い場合に搗精効率や搗精能率は向上するが、逆に搗精による砕粒発生が懸念される。そこで Fig. 8 に玄米圧砕剛度と、搗精歩留 91% における研削式精米機または摩擦式精米機による精白米中

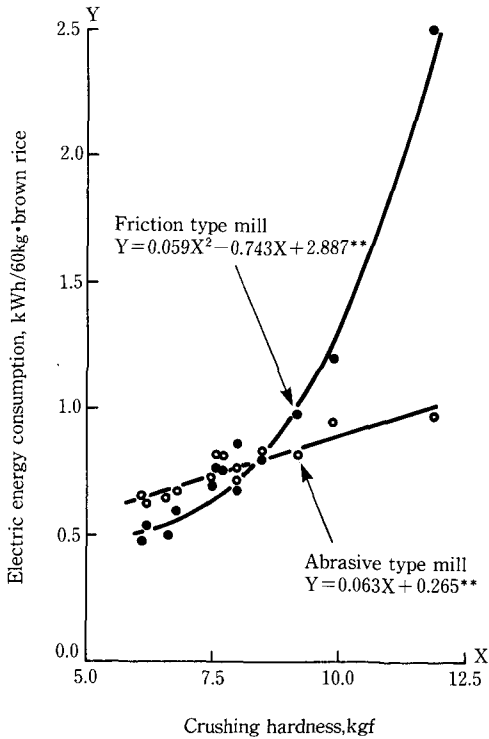


Fig. 6. Relation between crushing hardness of brown rice and electric energy consumption of the two type rice mills. ** indicates the significance at the 1% level.

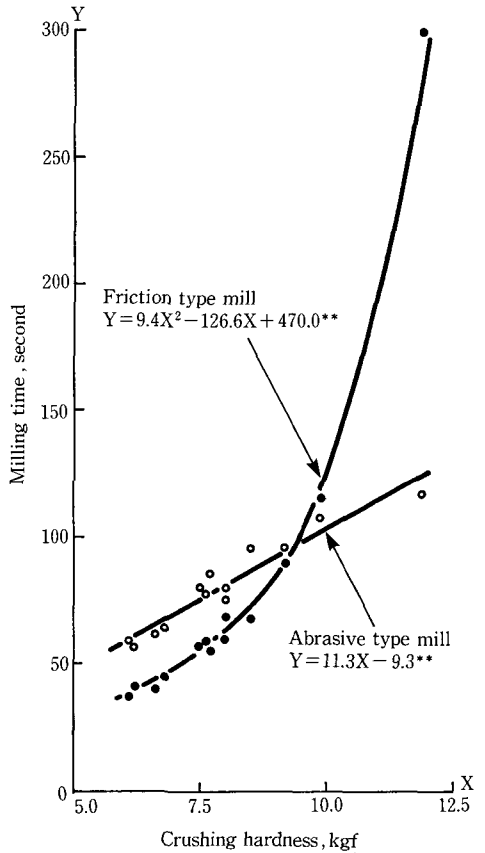


Fig. 7. Relation between crushing hardness of brown rice and milling time of the two type rice mills. ** indicates the significance at the 1% level.

の砕粒割合とについて示した。

研削式精米機では圧砕剛度変化にともなう砕粒割合の変化が小さいため有意な回帰性は認められなかった。摩擦式精米機では次の非常に有意な二次回帰式が求められた。

$$Y=0.41X^2-8.40X+45.22 \dots\dots\dots(8)$$

ここに Y は砕粒割合(%), X は玄米圧砕剛度(kgf)である。

式(8)から摩擦式精米機では玄米剛度の低下にともない搗精による砕粒発生が剛度の二乗に逆比例して増加することを知った。

農産物規格規程では市販精米の一等標準品の砕粒割合の最高限度を5%としている。そこで搗精による砕粒発生について5%を目安とすると、これはFig. 8によれば圧砕剛度が7~7.5 kgfである。さらに圧砕剛度が7 kgf 以下において砕粒発生が急増することから、搗精に適する玄米圧砕剛度は7 kgf が最低限界であると判断された。

II-C. 最適玄米剛度

搗精前の玄米剛度は、これが高すぎる場合には精米機の消費電力量が増加し、搗精時間が長くなり、搗精効率や搗精率が低下する。一方、剛度が低すぎ

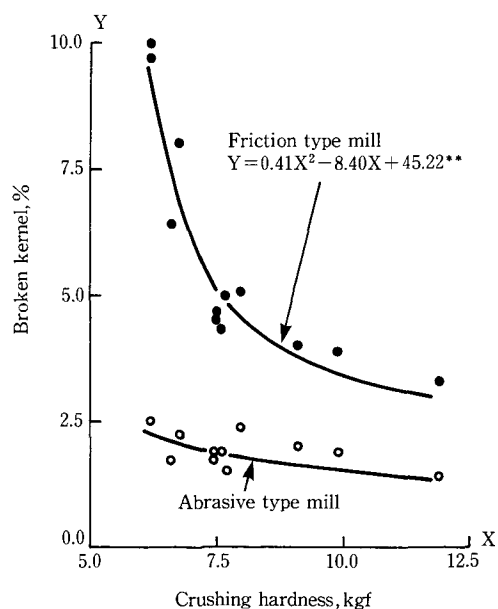


Fig. 8. Relation between crushing hardness of brown rice and broken kernel in milled rice by the two type rice mills. ** indicates the significance at the 1% level.

る場合には砕粒発生が増加し搗精による損失が増大する。

本研究の結果から消費電力量や搗精時間および搗精による砕粒発生を考慮して、玄米圧砕剛度が7~8 kgf の範囲が最適な玄米剛度であると考えられた。

III. 精白米の物理化学特性と食味との関係

食味は米の品質として最も重要な要素であり、その評価方法は本研究でも実施したように官能検査が基本となっている。しかし、官能検査による食味評価は多くの人々の協力を必要とし手順も煩雑なことから、米の物理化学特性の測定により食味を推定しようとする試みが多く行われている^{1,2,4,10,11,12,13,20}。その結果、食味評価の指標となる物理化学特性がいくつか指摘されているが、これらを用いても米の食味の70~80%しか推定できない^{2,4,20}のが現状である。

そこで本研究で測定した精白米の物理化学特性と食味評価とを解析検討し、これによって食味をさらに的確に推定する。

III-A. 精白米の物理化学特性と食味との単純相関分析

Table 1 に本研究に用いた21 試料の食味評価と精白米の物理化学特性との単純相関係数を示した。

表中において、危険率5%, 1%または0.1%でそれぞれ有意な相関関係があると判定されたものは相関係数の右肩に記号*(†), *(††)または***を付けて示した。また有意な相関関係が認められなかったものは「X」で示した。

Table 1 に示された統計的に有意な相関関係には内容的につながりのある相関関係の他に、内容的にはつながりがなく偶然に生じた相関関係もある。そこで精白米の物理化学特性と食味評価とについて意味のある相関関係を取り上げて、それらのつながりを以下に述べるようにとらえた。

1. 水分

精白米の水分と炊飯米の硬さとは負の相関関係にあり、水分の低い精白米を炊飯すると米飯は硬くなる。

2. 透光度

透光度は肉眼で米粒を観察した際の透明感や表面の滑らかさと一致している。透光度が高い精白米は外観が良く、さらに炊飯米の外観が良い。透光度の高い精白米は糠の除去が充分なされており、そのた

Table 1. Simple correlation coefficient between taste evaluations and physicochemical properties of milled rice.

| | Appearance | | Aroma | Hardness | Cohesiveness | Overall flavor |
|---------------------------|-------------|-------------|----------|----------|--------------|----------------|
| | Milled rice | Cooked rice | | | | |
| Moisture content | × | × | × | -0.54* | × | × |
| Translucency | 0.77*** | 0.75*** | 0.75*** | × | 0.70*** | 0.80*** |
| whiteness | × | × | × | × | × | × |
| Lightness | × | × | × | × | × | × |
| Hunter whiteness | × | × | × | × | × | × |
| [a] value | -0.94†† | -0.94†† | -0.86† | × | -0.90†† | -0.93†† |
| [b] value | -0.95†† | -0.94†† | -0.89†† | × | -0.91†† | -0.95†† |
| Unstripped embryo rate | -0.88*** | -0.90*** | -0.84** | -0.47* | -0.74*** | -0.87*** |
| Fluidity | × | × | × | × | × | × |
| Bulk weight | 0.80*** | 0.71*** | 0.75*** | 0.53* | 0.67*** | 0.76*** |
| Free fat acidity | -0.87*** | -0.82*** | -0.81*** | × | -0.69*** | -0.84*** |
| Water absorption ratio | × | × | × | × | × | × |
| Water uptake ratio | × | × | × | × | × | × |
| Volume expansion ratio | 0.51* | 0.51* | × | × | × | 0.49* |
| Starch-iodine blue value | 0.77*** | 0.68*** | 0.76*** | × | 0.58** | 0.72*** |
| Extracted solids | -0.80*** | -0.86*** | -0.77*** | × | -0.72*** | -0.79*** |
| PH | × | × | × | × | × | × |
| Appearance of milled rice | | 0.95*** | 0.97*** | × | 0.88*** | 0.98*** |
| Appearance of cooked rice | | | 0.93*** | 0.48* | 0.88*** | 0.96*** |
| Aroma | | | | × | 0.85*** | 0.95*** |
| Hardness | | | | | × | × |
| Cohesiveness | | | | | | 0.94*** |

$r(19, 5\%)=0.43^*$, $r(19, 1\%)=0.55^{**}$, $r(19, 0.1\%)=0.67^{***}$, $r(5, 5\%)=0.76^\dagger$, $r(5, 1\%)=0.88^{\dagger\dagger}$

*(\dagger), **($\dagger\dagger$) and *** indicate the significance at the 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

× indicates the nonsignificant correlation.

め炊飯米の糠臭が少ないことから香りが良い。したがって、透光度の高い精白米は総合評価が高い。

3. 白度, 明るさ, ハンター白度

白度, 明るさ, ハンター白度は食味評価のいずれの項目とも有意な相関関係が認められない。これらのことは, とくに本研究におけるように搗精が精白米の品質および食味に与える影響を調査する際には, 白度より透光度が重要な測定項目であることを示唆している。

4. a 値, b 値

Lab 色立体における a 値と b 値は精白米や炊飯米の外観と負の相関関係にあった。a と b が高いことは赤と黄色が強いことを示しており, これは糠の色を意味する。すなわち, a と b が高い精白米は糠の除去が充分ではなく, そのため精白米や炊飯米の外

観と香りが劣り, したがって総合評価が低い。

5. 胚芽残存率

胚芽残存率の高い精白米は外観が劣り, 同時にこれを炊飯した場合にも外観が劣り, そのため総合評価が低い。

6. 流動性

精白米の流動性はいずれの食味評価とも相関関係は認められない。

7. 容積重

容積重は精白米外観, 炊飯米外観, 香り, 硬さ, 粘り, 総合評価のいずれの項目とも正の相関関係が認められ, とくに硬さとの関係を除いて, 危険率 0.1% で非常に有意である。

一般に容積重の大きい米は米粒の実りが良く, 貯蔵性も良いとされる¹⁶⁾。本研究の範囲では精白米の

容積重が食味評価とどのような直接の因果関係を持つかは明らかでないが、結果として容積重と食味評価とに非常に有意な正の相関関係があったことは注目し得ると考えられる。

8. 脂肪酸度

脂肪酸は米粒表面の残留糠や付着糠に起因しており、さらに古米臭の原因ともなる。そのため精白米や炊飯米の外観および香りと負の相関関係を持つ。また脂肪酸はアミロースと結合して炊飯時のでんぶんの膨潤を抑制し²²⁾ 米飯の粘りを減少させる。したがって、脂肪酸度は総合評価と負の相関関係となる。

9. 浸漬吸収率, 加熱吸水率, PH

炊飯特性における浸漬吸収率, 加熱吸水率, PH は食味評価との有意な相関関係はない。

10. 体積膨張率

体積膨張率の高い炊飯米はふっくらと炊き上がり総合評価が良い。

11. 吸光度

ヨード・でんぶん反応による吸光度の高い精白米は、炊飯液へのでんぶんの溶出量が多いため粘りが強くなり総合評価が高い。

12. 溶出固形物

本研究では溶出固形物は主として炊飯液中の遊離糠の量を表している⁹⁾。そのため溶出固形物の多い場合には精白米や炊飯米の外観と香りが劣り、したがって総合評価が低い。

III-B. 精白米の物理化学特性と食味との重相関分析

精白米の物理化学特性と食味との重相関分析を行うために、各食味評価項目と関係の深い物理化学特性を取り上げる。

1. 精白米外観と炊飯米外観

精白米外観は炊飯米外観と非常に有意な相関関係がある。さらに外観の良い米の総合評価は高い。このことは試食を行わずに米の食味を評価できる可能性があることを示唆している。すなわち我々は日常食事をする際、食べる前に最初の情報としてその外観を肉眼で判断しており「外観の良いものはおいしい」という先入観を持つと思われる。したがって、米の食味評価に関しても炊飯米外観さらには炊飯前の精白米外観が重要な要素となりうる。

藤巻ら⁹⁾も本研究と同様に炊飯米の外観(光沢)が総合評価の判定に利用できるとし、試食を行わず能率的に食味評価ができる可能性があることを指摘し

ている。

本研究において精白米外観と密接なつながりを持つ物理化学特性は透光度である。白度, 明るさ, ハンター白度は精白米外観との相関関係は認められなかった。胚芽は胚乳部に比較して黄色味が強いことから、胚芽残存率の高い精白米もその外観に悪影響を与えた。

肉眼で測定を行う胚芽残存率に比較して透光度は計測器を用いて客観的かつ能率的に測定を行える。したがって透光度は精白米外観や炊飯米外観の判定、さらには総合評価の判定に有効な測定法となる可能性が高い。

2. 香り

炊飯米の香りは硫化水素, アンモニアおよびカルボニル化合物が必須成分とみなされる¹⁹⁾。とくに遊離脂肪酸が酸化分解されて生成されるカルボニル化合物の一種であるペンタナール, ヘキサナールは古米臭の主原因である²³⁾。また糠の存在そのものも糠臭として香りの評価を低下させ、総合評価を低下させる原因となる。

本研究で実施した物理化学特性測定の中では脂肪酸度と炊飯液中の遊離糠の量を表す溶出固形物とが米飯の香りに影響のある測定項目である。

3. 硬さ

炊飯米の硬さは食味評価項目や精白米の物理化学特性との相関関係がほとんど認められない。これは米飯の硬さは外観, 香り, 粘りに比べて個人の好みによる差異が大きく、その上、軟らかすぎる米飯も硬すぎる米飯もいずれも低い評価を受けることから、線形回帰されにくいことに起因している。

4. 粘り

炊飯米の粘りは総合評価と強い相関関係があり、粘りのある米飯が好まれる。このように米の食味評価の要因として粘りが非常に重要な役割を持つことは、本研究と同様に多くの研究者^{3,9,10,17,21)}が指摘している。

本研究で測定した精白米の物理化学特性の中では、脂肪酸度とヨード・でんぶん反応による吸光度とが粘りと強いつながりを持つと考えられる。

5. 精白米の物理化学特性と食味との重相関分析

以上に述べたように、食味に影響を与える物理化学特性は透光度, 胚芽残存率, 脂肪酸度, 吸光度および溶出固形物であることが分かった。また本研究の範囲内では食味との直接の因果関係は明らかでない。

Table 2. Simple correlation coefficient, multiple correlation coefficient and contributory rate between taste evaluations and meaningfully correlative physicochemical properties of milled rice.

| | Appearance | | Aroma | Hardness | Cohesiveness | Overall flavor |
|----------------------------------|-------------|-------------|----------|----------|--------------|----------------|
| | Milled rice | Cooked rice | | | | |
| Translucency | 0.77*** | 0.75*** | × | × | × | 0.80*** |
| Unstripped embryo rate | -0.88*** | -0.90*** | × | × | × | -0.87*** |
| Bulk weight | × | × | × | × | × | 0.76*** |
| Free fat acidity | × | × | -0.81*** | × | -0.69*** | -0.84*** |
| Starch-iodine blue value | × | × | × | × | 0.58** | 0.72*** |
| Extracted solids | × | × | -0.77*** | × | × | -0.79*** |
| Multiple correlation coefficient | 0.88††† | 0.96††† | 0.87††† | × | 0.70††† | 0.97††† |
| Contributory rate, % | 78 | 81 | 76 | × | 48 | 94 |

$r(19, 1\%)=0.55^{**}$, $r(19, 0.1\%)=0.67^{***}$, $R(18, 0.1\%)=0.66^{\dagger\dagger\dagger}$, $R(14, 0.1\%)=0.74^{\dagger\dagger\dagger}$

** and ***(††, †††) indicate the significance at the 1% and 0.1% level, respectively.

× indicates the nonsignificant correlation or nonmeaningfully significant correlation.

いが、容積重が食味と強い相関関係を持っていた。

そこでこれらの6項目と食味評価との重相関分析を行った。Table 2に上記6項目と各食味評価との重相関係数と寄与率を示した。

精白米外観や炊飯米外観と透光度および胚芽存率との重相関係数はほぼ等しく、それぞれ0.88, 0.90であり、寄与率は78%, 81%であった。香りと脂肪酸度および溶出固形物との重相関係数と寄与率は0.87, 76%であり、同様に粘りと脂肪酸度および吸光度とは0.70, 48%であった。

総合評価と透光度、胚芽残存率、容積重、脂肪酸度、吸光度および溶出固形物の6項目との重相関係数は0.97であり、その寄与率は94%であった。このことは上記の6特性により食味の総合評価を94%まで推定できることを示している。

谷ら²⁰⁾ 遠藤ら⁴⁾ 竹生ら²⁾ が行った同様な研究では総合評価に対する寄与率は70~80%であり、本研究のそれより低い値にとどまっている。その原因は上記の研究例において取り上げた物理化学特性が主として米飯の粘りや硬さにかかわる項目のみであることによると考えられる。

これらの研究に対して本研究では米飯の外観、香り、粘りにかわる物理化学特性をそれぞれ取り上げて総合評価を推定したために、94%という高い寄与率が得られたと考えられる。このことは谷、竹生ら²⁰⁾ の選択した食味を推定する物理化学特性に対して、さらに外観や香りに関する測定項目を追加す

る必要があることを示唆している。

米の食味を左右する要因は数多くあるが¹⁶⁾、本研究ではこれらの要因の中の搗精に着目して実験研究を行った。すなわち、本研究で供試した玄米は産地や生産年は異なるが、ほとんどが北海道産の「インカリ」である。本研究はこれらの玄米を用いて、搗精作用の異なる精米機により搗精を行う際の搗精方法、搗精前の玄米温度や玄米水分などを変化させ、それらが精白米の物理化学特性や食味などに及ぼす影響について明らかにしたものである。したがって、本研究で得られた精白米の物理化学特性と食味との関係は、搗精方法や搗精前の玄米条件などに関して研究を行おうとする際に、精白米の物理化学特性から食味を推測するために有効であると考えられる。

IV. 最適搗精方法と最適玄米条件

IV-A. 最適搗精方法

Table 3に研削式精米機と摩擦式精米機とを組み合わせ合わせたコンパス式精米方式における搗精方法、すなわちそれぞれの精米機の搗精作用割合が搗精特性と精白米の品質および食味に与える影響について示した。コンパス式精米方式により玄米を同一の真搗精歩留の精白米に搗精する場合に、研削式精米機の搗精作用割合および摩擦式精米機の搗精作用割合を増減させた際の特徴を次のようにまとめた。

研削式精米機の搗精作用割合を増加させた場合には、以下に示すような利点がある。

Table 3. Effect of milling rate by the abrasive type mill or the friction type mill on milling characteristics and the quality and taste of milled rice.

| | Increase of more milling rate | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | by the abrasive type mill | by the friction type mill |
| Milling characteristics | | |
| Efficiency of time (milling time) | High (Short) | × |
| Efficiency of energy (Electric energy consumption) | High (Little) | × |
| Risen temperature by milling (Heat generation) | Low (Little) | × |
| Effect of changes of physicochemical properties (Kernel temperature or moisture content) of brown rice | Little | × |
| Breakage by milling | | |
| Broken kernel | Few | × |
| Moisture reduction | Low | × |
| Quality of milled rice | | |
| Translucency | × | High |
| Whiteness | × | High |
| Unstripped embryo rate | × | Low |
| Bran residue | × | Little |
| Color | × | Nearly white |
| Bulk weight | × | Large |
| Quality changes during storage (Free fat acidity) | × | Little (Low) |
| Cooking characteristics | | |
| Water absorption ratio | High | × |
| Volume expansion ratio | × | High |
| Starch-iodine blue value | × | High |
| Extracted solids | × | Little |
| Taste evaluations | | |
| Appearance of milled rice | × | Good |
| Appearance of cooked rice | × | Good |
| Aroma | × | Good |
| Cohesiveness | × | High |
| Overall flavor | × | Good |

- ① 搗精能率や搗精効率が高い。(搗精時間が短く、精米機の消費電力量が少ない)
 - ② 穀温上昇(搗精による発熱量)が小さい。
 - ③ 玄米温度や水分など、搗精前の玄米条件の変化の影響が小さい。
 - ④ 搗精による砕粒発生が少なく、水分減少が少ない。
 - ⑤ 精白米の浸漬吸水率が大きい。
- これに対して、摩擦式精米機の搗精作用割合を増

加させた場合には以下に示すような利点がある。

- ① 透光度や白度が高い。
- ② 胚芽残存率が低く、付着糠が少なく、色調は糠の色が減少し白色に近づく。
- ③ 容積重が大きい。
- ④ 精白米の貯蔵における品質劣化が小さい。(脂肪酸度増加が少ない。)
- ⑤ 炊飯特性において体積膨張率が大きく、ヨード・でんぷん反応における吸光度が大きく、溶

出固形物が少ない。

⑥ 食味評価において精白米外観や炊飯米外観が良く、香りが良く、粘りがあり、したがって総合評価が高い。

すなわち、研削式精米機の搗精作用割合を増加させると搗精特性が向上し、逆に摩擦式精米機の搗精作用割合を増加させると精白米の品質および食味が向上する。

大型精米工場におけるコンパス式精米装置の搗精方法は、これらの特性を考慮して搗精作用割合を決定することが望ましい。

例えば、低温の玄米や低水分の玄米などいわゆる搗精の困難な玄米を搗精する際には、研削式精米機の搗精作用割合を増加させる。また古米や品質の劣る玄米または食味評価の劣る品種の玄米などを搗精する際には、食味向上のために真搗精歩留を低下させるいわゆる搗き込みが効果的である。この場合にも研削式精米機の搗精作用割合を増加させることが有効である。

しかしながら、上述したように研削式精米機の搗精作用割合を増加させると精白米の品質および食味が低下する。そこでこれを防止するためには、3報⁹⁾で明らかにしたように、研削式精米機の搗精作用割合は最大35%以下としなければならない。

すなわち、搗精前の玄米条件や玄米の品質および品種などに応じて、また搗精特性を重視するか、精白米の品質および食味を重視するかに応じて、研削式精米機の搗精作用割合を0%から35%の範囲で調整をし、搗精を行うことが最適である。

一方、玄米の温度や水分が低すぎるために研削式精米機の搗精作用割合が35%以内で目的の真搗精歩留にまで搗精を行うことができない場合、搗き込みを行いたい研削式精米機の搗精作用割合が35%以内での搗精が不可能な場合、さらに精白米の品質および食味をより一層向上させたい場合などには搗精前に玄米の温度と水分とを調整する玄米調整操作が必要不可欠となる。

IV-B. 最適玄米条件

前述した式(3)は次のように簡略化できる。

Z = -0.1X - Y + 25(9)

ここにZは玄米圧砕剛度(kgf), Xは玄米温度(°C), Yは玄米水分(% w. b. 10g, 粒, 135°C, 24時間法)である。

以下同様。

搗精特性から求めた最適玄米剛度は圧砕剛度で7~8 kgfの範囲であり、これは次式で表される。

7 ≤ Z ≤ 8(10)

式(9)を式(10)に代入すると次式となる。

7 ≤ -0.1X - Y + 25 ≤ 8(11)

式(11)から次式が求められる。

17 ≤ 0.1X + Y ≤ 18(12)

精白米の品質および食味から求めた搗精前の最適玄米温度ならびに最適玄米水分は、それぞれ15~25°C, 15.5~16.5%の範囲であり⁸⁾、これらは次式で表される。

15 ≤ X ≤ 25(13)

15.5 ≤ Y ≤ 16.5(14)

ゆえに式(12), (13), (14)で示された範囲が搗精特性と精白米の品質および食味から総合的に判断した搗精における最適な玄米条件となる。

Fig. 9に示した三角形ABCの範囲内が搗精前の最適玄米条件である。△ABCの範囲内で搗精を行うとほぼ均一な搗精特性と精白米の品質および食味が実現できる。また、この範囲内で図中に示した矢印の方向に玄米条件を調整することにより次のような特徴が生じる。

- ① 矢印「D」(玄米温度と玄米水分とを低下させる)の方向は完全粒歩留を重視した搗精である。しかし、これが△ABCを越える程過度であると、搗精時間と消費電力量が増加する。
② 矢印「E」(玄米温度を低下させる)の方向は

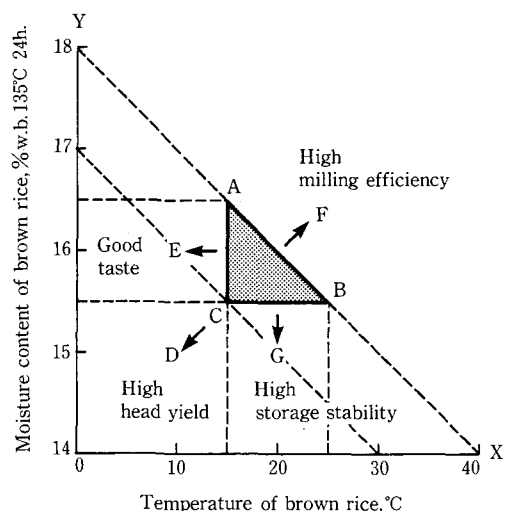


Fig. 9. The optimum temperature and moisture content of brown rice before milling.

食味を重視した搗精である。しかし、これが過度であると玄米剛度増加のため真搗精歩留を低下させることが困難となり、食味を向上させることができない。

- ③ 矢印「F」(玄米温度と玄米水分を増加させる)の方向は搗精能率と搗精効率を重視した搗精である。しかし、これが過度であると砕粒の発生など搗精による損失が増加する。
- ④ 矢印「G」(玄米水分を低下させる)の方向は精白米の貯蔵性を重視した搗精である。しかし、これが過度であると玄米剛度増加のため真搗精歩留を低下させることが困難となり、食味を向上させることができない。

玄米調質を行う際には△ABCの範囲内に玄米温度と玄米水分を調整することにより、季節にともなう玄米温度の変動や玄米水分のばらつきによる悪影響を受けない均質で高品質の精白米を年間を通じて生産することが可能となる。

さらに△ABCの範囲内に調質を行った玄米をコンパス式精米装置で搗精する際には、前述したように搗精特性を重視するか、精白米の品質および食味を重視するか、また真搗精歩留をどの程度にまで低下させるかなどの要因を考慮して、研削式精米機の搗精作用割合を0%から35%の範囲内で調整し搗精を行うことが重要である。

V. 結 語

米の搗精技術の進歩のためには搗精特性の向上と精白米の品質および食味の向上の二点が重要である。

搗精特性の向上のために研削式精米機と摩擦式精米機とを組み合わせた搗精方式、すなわちコンパス式精米装置が開発された。また精白米の品質および食味の向上のために、搗精前の玄米の温度と水分を調整する玄米調質装置が開発された。しかしながら実際には、搗精特性と精白米の品質および食味に関する総合的な研究のないまま、コンパス式精米装置による搗精や玄米調質が行われているために、これらの設備が十分に生かされていない場合が多い。

本研究において明らかにされたコンパス式精米装置の最適搗精方法と搗精のための最適玄米条件により、搗精技術のより一層の進歩が可能となった。

VI. 要 約

1. 玄米条件と搗精特性との関係

搗精前の玄米条件、すなわち古米化の程度、玄米の温度や水分と搗精特性との関係を定量化し、さらに搗精特性から考慮した最適玄米剛度の範囲を求めた。以下にその結果を示す。

1) 玄米の貯蔵による古米化は搗精特性に影響を与えず、玄米の温度と水分が搗精特性に大きな影響を与えた。玄米の温度と水分が搗精特性に与える影響は、これらの変化にともなう玄米剛度の変化に起因している。玄米の温度と水分は搗精特性に関して同質のものを見なし、玄米剛度に置換することができる。

2) 玄米の温度と水分が低下するにともない、玄米剛度が上昇する。玄米温度10℃または玄米水分1%の変化により、玄米圧砕剛度1kgfの変化が生じた。

3) 研削式精米機の消費電力量と搗精時間は圧砕剛度の増加とともに直線的に増加した。摩擦式精米機の消費電力量と搗精時間は圧砕剛度の二乗に比例して増加した。一方、摩擦式精米機の搗精による砕粒発生は、圧砕剛度の低下にともない剛度の二乗に逆比例して増加した。

4) 精米機の消費電力量や搗精時間および搗精による砕粒発生を考慮した最適玄米剛度は圧砕剛度で7~8kgfの範囲であった。

2. 精白米の物理化学特性と食味との関係

精白米の物理化学特性と食味との関係を解析検討し、物理化学特性により食味を推定することを試みた。以下にその結果を示す。

1) 本研究で測定した精白米の物理化学特性のうち食味総合評価と相関の高い項目は、透光度、色調におけるa値とb値、胚芽残存率、容積重、脂肪酸度、体積膨張率、ヨード・でんぷん反応における吸光度および溶出固形物であった。

2) 食味評価の精白米外観と炊飯米外観に関連のある物理化学特性は、透光度と胚芽残存率であった。同様に香りでは脂肪酸度と溶出固形物、粘りでは脂肪酸度と吸光度であった。また、各食味評価項目と容積重との相関が高かった。これらの6項目と食味総合評価との重相関係数は0.97であり、寄与率は94%であった。

3. 最適搗精方法と最適玄米条件

コンバス式精米方式の搗精方法が搗精特性と精白米の品質および食味に与える影響をまとめ、最適搗精方法を示した。さらに、搗精特性と精白米の品質および食味から総合的に判断した最適玄米条件を明らかにした。以下にその結果を示す。

1) 研削式精米機の搗精作用割合を増加させると搗精特性が向上し、摩擦式精米機の搗精作用割合を増加させると精白米の品質および食味が向上する。

2) 搗精前の玄米の条件や品質および品種などに応じて、また搗精特性を重視するか、精白米の品質および食味を重視するかなどを考慮して、研削式精米機の搗精作用割合を0~35%の範囲内で調整をし、搗精を行うことが最適である。

3) 玄米調質を行う場合、玄米の温度と水分は下記の三式で囲まれる範囲内に調整することが最適である。

$$17 \leq 0.1X + Y \leq 18$$

$$15 \leq X \leq 25$$

$$15.5 \leq Y \leq 16.5$$

ここに、Xは玄米温度(°C)、Yは玄米水分(% w. b. 10g, 粒, 135°C, 24時間法)である。

この範囲内に調質を行った玄米を搗精することにより、季節にともなう玄米温度の変動や玄米水分のばらつきによる悪影響を受けないで、均質で高品質な精白米を年間を通じて生産することが可能である。

引用文献

- 茶村修吾, 本田康邦ら: 米の食味と土壌型との関係 (2報)米粒の物理化学的性質と食味との関係. 日作紀, **41**: 244-249. 1972
- 竹生新治郎, 渡辺正造ら: 米の食味と理化学的性質の関連. 澱粉科学, **30**: 333-341. 1983
- 江幡守衛, 平沢恵子: 米飯のテクスチャーに関する研究 (1報) テクスチャーと食味との関係について. 日作紀, **51**: 235-241. 1982
- 遠藤 勲, 竹生新治郎ら: 理化学的測定による米の食味評価. 食総研報, **31**: 1-11. 1976
- 藤巻 宏, 榎淵欽也: 炊飯米の光沢による食味選抜の可能性. 農業園芸, **50**: 253-257. 1975
- 川村周三: 米の搗精と精白米の品質および食味 (1報) 精米工場における基礎調査. 北大農邦文紀, **16**: 375-382. 1989
- 川村周三: 米の搗精と精白米の品質および食味 (2報) 搗精特性. 北大農邦文紀, **17**: 25-49. 1990
- 川村周三: 米の搗精と精白米の品質および食味 (3報) 精白米の品質および食味. 北大農邦文紀, **17**: 228-261. 1991
- 倉沢文夫, 工藤昌利ら: 水稻梗米の食味, 特に粘りに関する研究 (10報) 米飯の食味特性についての1, 2の考察. 新潟大農報, **20**: 101-113. 1968
- 倉沢文夫, 田代芙美子ら: 新潟産水稻梗米の食味に関する研究 (11報) 米飯の食味特性と精白米の理学的性質. 新潟大農報, **21**: 159-169. 1969
- KURASAWA H. *et al.*: Some Physico-Chemical Properties of Non-Waxy Paddy Rice Starch in Niigata (Part 1) Eating and Cooking Qualities of rice. *Agr. Bio. Chem.*, **33**: 798-806. 1969
- KURASAWA H. *et al.*: Some Physico-Chemical Properties of Non-Waxy Paddy Rice Starch in Niigata (Part 2) Correlation of Eating Quality. *Agr. Bio. Chem.*, **36**: 1809-1813. 1972
- 森高真太郎, 山本憲子ら: 穀類に関する研究 (12報) 物理化学特性と食味との相関. 武田研報, **32**: 404-409. 1973
- 長戸一雄: 米粒の硬度分布に関する研究. 日作紀, **31**: 102-107. 1962
- 長戸一雄, 河野恭広: 米の粒質に関する研究 (1報) 米粒の硬度分布と二, 三の形質との関係. 日作紀, **32**: 181-189. 1963
- 農林省食糧研究所: 米の品質と貯蔵, 利用. 食糧技術普及シリーズ, **7**: 1-122. 1969
- 尾崎直臣: 米飯の老化 (2報) 米飯の粘着度の変化. 栄養食糧, **26**: 289-295. 1973
- 白倉治一: 米の同質異品種群形成に関与する諸要素の研究 (1報) 新潟県主要品種の加工特性と食味特性. 新潟農試報, **15**: 15-29. 1965
- 田中治夫: 米飯の香気. 食品工業, **15** (22) 73-76. 1972
- 谷 達雄, 吉川誠次ら: 米の食味評価に関係する理化学的要因(1). 栄養食糧, **22**: 452-461. 1969
- 辻昭二郎: 米飯のテクスチャーの米飯レベルでの2点測定法と食味と関連するパラメーター. 日食工誌, **27**: 265-269. 1980
- YASUMATSU K., MORITAKA S.: Fatty Acid Compositions of Rice Lipid and their Changes during Storage. *Agri. Bio. Chem.*, **28**: 257-264. 1964
- YASUMATSU K. *et al.*: Studies on cereals (Part 5) Stale Flavor of Stored Rice. *Agri. Biol. Chem.*, **30**: 483-486. 1966

Summary

1. Relationship between Brown Rice Condition and Milling Characteristics

The relationship between brown rice condition before milling (i. e., degree of aging, kernel temperature and moisture content) and milling characteristics was analyzed quantitatively. Then the range of the optimum brown rice hardness was calculated with consideration to the milling characteristics.

(1) Aging caused by storage did not affect milling characteristics, but kernel temperature and moisture content had a great influence on the change in brown rice hardness. With regard to milling characteristics, the effects of brown rice temperature and moisture content are combined and represented by brown rice hardness.

(2) With a decrease in kernel temperature and moisture content, brown rice hardness increases. A 10°C change in brown rice temperature or 1% in moisture content caused a change of 1 kgf in brown rice crushing hardness.

(3) Using an abrasive type mill, electric energy consumption and milling time constantly increased as crushing hardness increased. With the friction type mill they increased as the square of crushing hardness. On the other hand, the occurrence of broken kernels caused by friction type milling increased inversely as the square of crushing hardness declined.

(4) Considering the electric energy consumption, milling time and occurrence of broken kernels, the optimum brown rice crushing hardness would be within the range 7~8kgf.

2. Relationship between the Physicochemical Properties of Milled Rice and Taste

The relationship between physicochemical properties of milled rice and taste was analyzed. From the analysis, the taste was experimentally estimated by physicochemical properties. The following results were obtained:

(1) Among the physicochemical properties in the present study, the items closely related to the overall flavor of taste are the following: translucency, "a" value, "b" value, unstripped embryo ratio, bulk weight, free fat acidity, volume expansion rate, starch-iodine blue value and extracted solids.

(2) Translucency and unstripped embryo rate

were the physicochemical properties closely related to the appearance of both milled rice and cooked rice. Free fat acidity and extracted solids were those related to the aroma, and free fat acidity and starch-iodine blue value were those related to the cohesiveness. Bulk weight was a property closely related to each of the above taste evaluating items. The multiple correlation coefficient of these six properties to the overall flavor was 0.97, and the contributory rate was 94%.

3. Optimum Technique for Milling and Optimum Brown Rice Condition before Milling

The effects of the compass rice milling system on milling characteristics and on the quality and taste of milled rice were graded. Then the optimum brown rice temperature and moisture content before milling were determined from the milling characteristics and the quality and taste of milled rice. Based on these results, an examination was performed on how to bring about optimum milling technique.

(1) With an increase in the milling rate by the abrasive type mill in the compass rice milling system, milling characteristics improved. When the milling rate by the friction type mill was increased, the quality and taste improved.

(2) In the compass rice milling system, it is reasonable to adjust the milling rate of the abrasive type mill within the range 0~35% depending on the relative importance of milling characteristics versus quality and taste of milled rice.

(3) When conditioning brown rice, kernel temperature and moisture content should be adjusted to the desired range as calculated by following three equations. By milling brown rice conditioned within this range, suitable milling characteristics and the quality and taste of milled rice can be obtained throughout the year.

$$17 < = 0.1 X + Y < = 18$$

$$15 < = X < = 25$$

$$15.5 < = Y < = 16.5$$

where

X is brown rice temperature (°C) and

Y is brown rice moisture content (% , w. b. 10g, whole grain, 135°C, 24 hour method)

To rationalize rice milling, the purpose of the present study, the important points involve improvement of milling characteristics as well as the qual-

ity and taste of milled rice.

To improve milling characteristics, a milling system consisting of the combination of an abrasive type mill and three friction type mills (i. e., the compass rice milling system) was developed. To improve the quality and taste of milled rice, a rice conditioning technique was developed. However, the equipment is often not employed efficiently

because the compass rice milling system and adjustment of brown rice temperature together with moisture content are performed in the absence of studies related to milling characteristics including the quality and taste of milled rice.

Milling will be progressed to a greater degree by optimizing the compass rice milling method, brown rice temperature and moisture content.