



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	米の搗精と精白米の品質および食味：（第2報）搗精特性
Author(s)	川村, 周三; KAWAMURA, Syuso
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 17(1), 25-49
Issue Date	1990-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12118
Type	departmental bulletin paper
File Information	17(1)_p25-49.pdf



米の搗精と精白米の品質および食味

(第2報) 搗精特性

川村 周三

(北海道大学農学部農畜産加工機械学教室)

(平成元年 10月7日受理)

Rice Milling, and Quality and Taste of Milled Rice

(Part 2) Milling Characteristics

Shuso KAWAMURA

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

I. 緒 言

搗精特性とは精米機の消費電力量, 搗精時間, 搗精による温度上昇, 搗精により発生する精白米中の異物や砕粒, 搗精歩留(見掛搗精歩留), 真搗精歩留(搗精度)および完全粒歩留などによって表される精米機の特長である。

本報では実験に用いた小型精米機および実用大型精米機の搗精特性を明らかにする。そのうえで搗精前の玄米条件すなわち, 玄米の貯蔵による古米化や玄米温度および玄米水分などが搗精特性に与える影響について定量的に明らかにする。

II. 実験用精米機ならびに実用精米機の搗精特性

II-A. 目 的

一般に米の搗精に関する実験では小型の実験用精米機が使用されるが, この実験用精米機は大型の実用精米機と構造ならびに使用条件が幾分異なる。そのため実験用精米機と実用精米機との搗精特性について明確にしておくことが必要である。従来このことに関する研究は柳瀬ら^{56,57)}による報告のみである。

第1報¹²⁾で述べたように, 大型精米工場の実用精米機は研削式精米機と摩擦式精米機とを組み合わせた装置が多い。そのため本研究では実験用精米機として小型の研削式精米機と摩擦式精米機とを選んだ。

本章の目的は実験に用いた精米機の搗精特性について明らかにし, さらに本研究により得たデータに普遍性を持たせるために, 実験用精米機と実用精米機との搗精特性について比較検討することである。

II-B. 実験方法

1. 供試精米機

a. 実用精米機 (Commercial rice mill)

実用精米機としてホクレン札幌ライスステーション大曲工場に設置されている佐竹製作所製コンバース式精米装置 CP4C 型を選んだ。本精米装置は, 1 番機として所要動力が 15 kW, 回転数が 1100 rpm の噴風研削式精米機, 2, 3, 4 番機としてそれぞれ 18 kW, 700 rpm, 15 kW, 670 rpm, 11 kW, 670 rpm の噴風摩擦式精米機により構成されており, 1 時間当たり玄米で 4 トンの処理能力を持っている。

いずれの精米機も送風機を用いて回転する軸から円周方向に空気を噴出させ, 米粒を冷却し穀温上昇を押さえるとともに, 米粒およびスクリーンからの糠離れを促すための送風機能を持っている。

b. 実験用精米機 (Laboratory rice mill)

1) 研削式精米機 (Abrasive type mill) 実験に用いた研削式精米機は佐竹製作所製試験用搗精機 TM-05 型である。本機には実用研削式精米機とは搗精能力の他, 構造的に異なる部分がある。すなわち本機は標準で玄米 150~200 g を 1 回分とするバッチ式であり, 分銅抵抗を持たないため搗精中の米粒に圧力はかからず, また送風機能も持っていない

い。

本機の所要動力は0.4 kWであり、金剛砂ロールは30, 40, 60メッシュにそれぞれ交換可能である。さらにブリーとベルトの交換によりロール回転数を820~1520 rpmまで8段階に調節可能である。

予備実験の結果から、標準的な搗精性能を発揮する本機の使用条件として試料玄米は200 g、金剛砂ロールの粒度は40メッシュ、ロール回転数は1230 rpmを選んだ。

2) 摩擦式精米機 (Friction type mill) 実験に用いた摩擦式精米機は佐竹製作所製モータワンパスMCM-250型である。本機は実用摩擦式精米機と搗精能力および送風機能を除いて同様な構造を持っている。

本機の所要動力は0.25 kWであり、ロール回転数は1500 rpmである。本機の処理能力は1時間当たり玄米で20~25 kgである。玄米ホップ下部には流量調節シャッタがあり、精白米排出口の2個の分銅とともに搗精負荷の調節が可能となっている。流量調節シャッタは5段階の調節が可能であり、全開した場合の開口面積は4.0 cm²、最も閉じた場合の開口面積は1.2 cm²である。

分銅調節位置は12段階の調節が可能であり、最も先端の(分銅抵抗が最も大きい)位置を12、最も根元に近い(分銅抵抗が最も小さい)位置を1としている。例えば分銅調節位置の1と3とに2個の分銅をセットした場合、精白米排出口の抵抗板にかかる圧力は11.0 gf/cm²、同じく1と12とでは22.6 gf/cm²、10と12とでは34.2 gf/cm²である。

実験は供試玄米を研削式精米機と同一の200 gとし、標準的な搗精性能を発揮する本機の使用条件として、流量調節シャッタは全開、分銅調節位置は1と12を選んだ。

本機は本来、1回通しの家庭用精米機として市販されているものであるが、小型でかつ搗精特性が大型機と比較的良く一致するため^{50,57)}、精米工場において原料玄米の加工特性を知るための試験用精米機として備えられている²⁹⁾。

2. 供試試料

実用精米機において供試した試料は、1982年北海道深川産「イシカリ」2等級玄米を中心に数品種が混米された玄米であり、搗精後の製品は標準価格米となった。搗精前の玄米温度は22℃、玄米水分は16.4%であった。

実験用精米機において供試した玄米は1979年北海道栗沢産「イシカリ」であり、搗精前の玄米温度は20℃、玄米水分は16.8%であった。

3. 搗精実験

本研究において行った搗精実験の標準的な手順と測定項目とを以下に示す。

a. 供試玄米の調整

実験目的に応じて、搗精前の玄米に対してあらかじめ水分、温度、貯蔵期間や貯蔵条件の調整、設定および測定を行う。

b. 搗精時の環境調整

搗精時の精米機および実験室の温度の調整や測定を行う。すなわち設定した玄米温度と搗精を行う精米機および実験室の温度とに差が生じないように、実験室内の温度を必要に応じて調節した。

また搗精により精米機温度が上昇し¹⁰⁾、精米機のロール温度が搗精特性に大きな影響を与える⁵⁴⁾ことから、これを防止するために搗精実験を行う間隔を30分程度として、その間に精米機温度を室温に戻すように努めた。精米機周辺の温度や湿度はアスマン温湿度計により測定した。

c. 搗精特性測定

1) 搗精時間 (Milling time) 搗精に要した時間をストップウォッチを用いて測定した。ある歩留に搗精するまでに要した時間により、それぞれの実験の搗精能率の相対的な比較を行った。すなわち異なる条件で行った搗精実験において、同一歩留を得るまでに要した時間が短いものを他に対して搗精能率が良いと判断した。

2) 消費電力量 (Electric energy consumption) 実験用精米機では横河電機製作所製単相指示電力計を用いて消費電力を測定し、これと搗精時間とから消費電力量を算出した。

実用精米機では三相交流200 Vの電動機を用いているため、JIS・C4201により力率を83%とし電圧と電流とから消費電力を求め、これと搗精時間とから消費電力量を算出した。なお実用上の理解に便利のため、消費電力量は精米機無負荷時すなわち空転時の消費電力量を差し引き、玄米60 kg当たり換算して表した。

ある歩留に搗精するまでに要した消費電力量によりそれぞれの実験の搗精効率の相対的な比較を行った。すなわち異なる条件で行った搗精実験において、同一歩留を得るまでに要した消費電力量が少な

いものを他に対して搗精効率が良いと判断した。

3) 精白米温度 (Milled rice temperature) 搗精直後の精白米約 180 g の中央に熱電対を差し込み温度を測定し、温度が平衡状態となった時にこれを精白米温度とした。

4) 搗精歩留 (Milling yield) 搗精前の玄米重量に対する搗精後の精白米重量の割合を搗精歩留とした。これは食糧庁の言う⁶⁾見掛搗精歩留と同一であり、一般には単に歩留とも言われ、搗精による重量減少割合 (Weight loss by milling) を意味する。搗精歩留は次式により求めた。

搗精歩留 (見掛搗精歩留)

$$= \text{精白米重量} \div \text{玄米重量} \times 100(\%)$$

5) 異物および砕粒 (Broken kernel) 農産物規格規定によれば「精白米の異物とはその大きさが完全粒の 1/4 未満の精米粒および穀粒を除いた他のものをいい、砕粒とはその大きさが完全粒の 2/3 から 1/4 までの粒をいう」と定義されている。

実際には異物は目幅が 1.7 mm の縦目節を用いて選別することとされており、本研究では東京試験機製作所製縦目節振盪機を用いた。さらに砕粒は異物を除いた試料から佐竹製作所製インデントシリンダ型テストライスグレーダを用いて選別した。予備実験により手選別した砕粒割合と最も近い値を示す条件として、ホップ角度は 30 度、選別時間は 60 秒を求め、これをライスグレーダの使用条件として決定した。本研究では上記の異物および砕粒を合わせて砕粒と呼んだ。

6) 搗精度 (Degree of millig) 搗精度は玄米からの糠層除去の程度 (Degree of bran removal) を示すものであり、測定法としては食糧庁の定めた配給精米標準品を基準として肉眼で判定する方法⁶⁾、NMG 染色法による方法^{27,44)} などがある。しかし標準品が入手困難であり、また測定法が煩雑で客観性に欠ける¹⁹⁾ ことから、本研究では真搗精歩留 (Real milling yield) をもって搗精度とした。真搗精歩留は次式により求めた。

真搗精歩留 (搗精度)

$$= \text{精白米千粒量} \div \text{玄米千粒重} \times 100(\%)$$

7) 完全粒歩留 (Whole kernel yield, Head rice yield) 完全粒歩留は玄米重量に対する砕粒を除去した完全粒精白米重量の割合で表され、これは次式により求めた。

完全粒歩留

$$= (\text{精白米重量} - \text{砕粒重量}) \div \text{玄米重量} \times 100(\%)$$

搗精の程度を表現するには、以上に述べた搗精歩留と真搗精歩留および完全粒歩留とがある。搗精特性すなわち精米機の成した仕事や仕事の内容については、搗精による穀粒の重量減少 (搗精歩留) や搗精による砕粒の発生 (完全粒歩留) を基準に考察を進める必要がある。一方、精白米の物理化学特性すなわち品質や食味については、同程度の糠除去率 (真搗精歩留) を持つ精白米に関して考察を進める必要がある。

一般に精米工場では真搗精歩留の測定は行われることが少なく、搗精歩留または砕粒選別後の製品歩留をいわゆる歩留として表し、採算上この歩留の向上が大きな問題となる。この製品歩留が本来の意味での Head rice yield であるが、本研究では製品歩留と完全粒歩留とを同一とみなした。

II-C. 実験結果および考察

1. 真搗精歩留と搗精歩留

Fig. 1 に真搗精歩留と搗精歩留との関係について表した。真搗精歩留と搗精歩留とは、測定した範囲内では直線関係にあると見なされた。研削式精米機および摩擦式精米機それぞれの真搗精歩留と搗精歩留との回帰式を、最小二乗法により求め以下に示した。

$$\text{研削式精米機: } Y = 1.03 X - 2.24 \quad r = 0.994^{**}$$

$$\text{摩擦式精米機: } Y = 1.26 X - 25.21 \quad r = 0.975^{**}$$

ここに X は真搗精歩留、Y は搗精歩留、r は相関係数、** は危険率 1% において有意な相関関係があることを示す。

この回帰式は実測値と非常に良く一致した。

研削式精米機の回帰式は傾きが 1.03 であり、真搗精歩留と搗精歩留とはほぼ同一である。摩擦式精米機の回帰式は傾きが 1.26 であり、搗精歩留は真搗精歩留より 0.5~1.5% 低い値を示した。しかもその差は真搗精歩留が低下するにともない増加し、真搗精歩留 91.0% に対して搗精歩留は 89.5% であった。

一方、実用精米機の真搗精歩留と搗精歩留との関係は、Fig. 1 に示したように、摩擦式精米機の回帰式上に位置した。実用精米機は研削式精米機を 1 番機として、摩擦式精米機を 2, 3, 4 番機として組み合わせたコンパス式精米装置であるため、搗精終了

後の精白米は摩擦式精米機の影響を大きく受け、真搗精歩留と搗精歩留との関係も実験用摩擦式精米機の回帰式上に位置したと考えられる。これにより真搗精歩留と搗精歩留に関して、実用精米機と実験用摩擦式精米機とは同様な特性を持つものと判断できる。

真搗精歩留と搗精歩留との差は搗精時に糠とともに搗精室スクリーンから除去される微砕粒によって生じると考えられる。したがってこの差は後に述べる搗精による砕粒の発生と関係がある。すなわち砕粒発生の少ない研削式精米機では糠中に混入する微砕粒も少ないため、真搗精歩留と搗精歩留とはほぼ同じ値を示す。一方、研削式精米機より砕粒の発生が多く、真搗精歩留が低下するにともない砕粒の発生がさらに増加する摩擦式精米機では、糠中に混入する微砕粒が多いため、その微砕粒の増加に応じて搗精歩留が真搗精歩留より低い値を示すこととなる。

2. 消費電力量

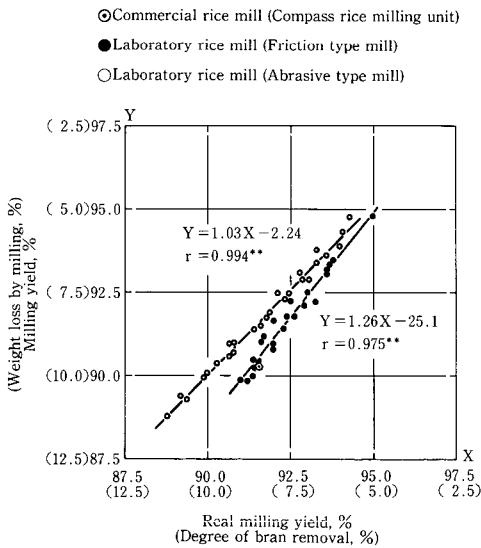


Fig. 1. Regression lines between real milling yield and milling yield by the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills. Real milling yield refers to the percentage of milled rice 1000-kernel weight on a brown rice 1000-kernel weight basis. Milling yield refers to the percentage of milled rice weight including broken kernel on a brown rice weight basis. ** indicates the significance at 1% level. $r(24, 1\%) = 0.496$

Fig. 2 に精米機の消費電力量と真搗精歩留との関係を示した。Fig. 2 によれば、研削式精米機では精米機の消費電力量増加とともにほぼ直線的に真搗精歩留が低下する。一方、摩擦式精米機では搗精初期に急速に真搗精歩留が低下するが、搗精が進むにともない真搗精歩留の低下は漸減し、消費電力量増加に対し真搗精歩留が90~91%でその低下がわずかなることとなることが認められた。

同じ供試精米機を用いて長粒種（インディカ種 Bangara Sanna）について搗精実験を行った SHAMS *et al.*³³⁾ も本研究と同様な結果を得ており、摩擦式精米機では真搗精歩留低下に限界が生じ、研削式精米機では限界は生じないと報告している。

米粒内の硬度分布は米粒表面近くの糠層が軟らかく、その下部の胚乳部になるにともない徐々に硬度が増加する²²⁾。このため米粒相互の摩擦と擦離作用により搗精を行う摩擦式精米機では、軟らかい糠層の剝離は容易であるが、搗精が胚乳部に近づくにともない硬度が増加するため真搗精歩留の低下がゆるやかとなる。さらに作物学的には短粒種（ジャポニカ種）玄米の組成は果種皮（糠層）が5~6%、胚（胚芽）が2~3%、胚乳が91~92%²⁹⁾であるので、真搗精歩留が90~91%で真搗精歩留の低下がほぼ

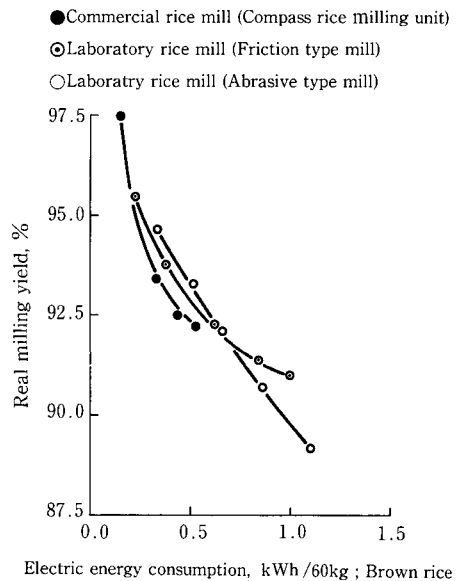


Fig. 2. Electric energy consumption during milling by the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

停止する。

一方、金剛砂ロールにより米粒表面を切削する研削式精米機は胚乳部の硬度増加の影響をほとんど受けなため、真搗精歩留がほぼ直線的に低下する。この真搗精歩留の直線的減少は真搗精歩留が約80%まで続き、それ以降は徐々に真搗精歩留の低下がゆるやかとなることが報告されている⁶⁰⁾。

実用精米機における消費電力量と真搗精歩留との関係は、実験用摩擦式精米機と同様なパターンを示しており、両精米機の特性の類似性が認められた。

3. 砕粒割合

Fig. 3 に供試精米機により搗精した精白米中の砕粒割合を示した。Fig. 3 によれば、研削式精米機は搗精中に米粒に圧力を加えないため砕粒の発生が少なく、摩擦式精米機は米粒に圧力を加えて搗精を行うため砕粒の発生が多いことが認められた。とくに摩擦式精米機は搗精が進むにともない砕粒割合が2.8%から5.1%へと急激に増加しており、これがすでに Fig. 1 で示したように、搗精歩留が真搗精歩留より低い値を示す原因となっている。

実用精米機による精白米の砕粒割合は摩擦式精米機のそれとほぼ同じ値を示しており、実用精米機は研削式精米機より摩擦式精米機に近い特性を持つことが確認された。

4. 精白米温度

Fig. 4 に搗精直後の精白米温度を示した。Fig. 4 に示したように、搗精による穀温上昇は研削式精米機と摩擦式精米機とでは大きく異なり、同一の真搗

精歩留で比較すると摩擦式精米機が研削式精米機より5~8℃高い穀温を示している。これは摩擦式精米機の搗精作用の一つが米粒相互の摩擦であるため、搗精による発熱が研削式精米機に比較して大きいことに起因していると考えられる。

実用精米機による精白米の温度は、搗精初期では研削式精米機のそれに近いが、搗精終了時には摩擦式精米機のそれとほぼ同じ温度となっている。

送風機能による米粒の冷却効果を持つ実用精米機が、送風機能を持たない実験用摩擦式精米機とほぼ同じ精白米温度を示しているのは、実用精米機は連続搗精中の測定値であり精米機本体の温度も精白米温度と同様に上昇しているのに対し、実験用摩擦式精米機では精米機温度は玄米温度と同じ20℃で搗精実験を行っているためと考えられる。

III. 貯蔵条件や貯蔵期間による玄米の物理化学特性の変化と搗精特性への影響

III-A. 目的

我が国では、9月から10月にかけて収穫された米は乾燥および粃すりを経て玄米の状態では貯蔵されるものが大部分である。米を貯蔵すると、生命力の減少とくに発芽力の低下、化学成分の変化とくに遊離脂肪酸の増加、米粒組織の変化とくに澱粉組織の硬化などが認められる^{7,23,29)}。このように貯蔵により米粒の物理化学特性が変化した米を一般に古米と呼び、その変化を古米化と呼んでいる。なお流通上においては最も新しい米穀年度（11月から翌年10

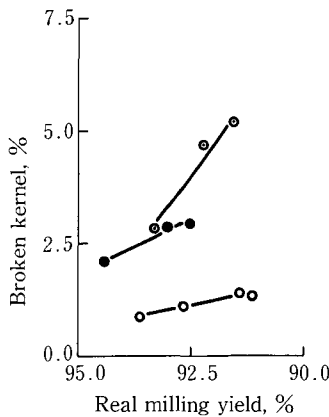


Fig. 3. Broken kernel of milled rice milled by the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills. Symbols are the same as those used in Fig. 2.

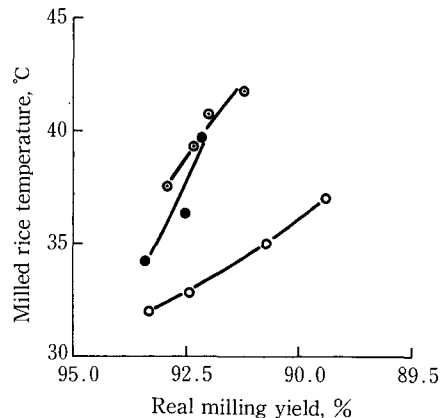


Fig. 4. Milled rice temperature just after milling by the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills. Symbols are the same as those used in Fig. 2.

月まで)の米を新米と呼び、それ以前に生産された米を古米と呼んでおり⁴¹⁾、前述したような品質上の古米とはその定義が異なっている。

貯蔵条件や貯蔵期間が玄米の物理化学特性に与える影響については、すでに数多くの研究が成されており^{32,34,49,53,62)}、貯蔵性に関しては玄米より粳の貯蔵性が良く、玄米の貯蔵では高温高湿条件下で品質変化が著しいとされている^{16,29)}。しかしながら玄米の貯蔵条件や貯蔵期間が搗精特性に与える影響について調査研究した例は少ない⁶⁰⁾。そこで古米化が搗精特性に与える影響を知る目的で、異なる貯蔵条件下で長期間の玄米貯蔵を行い、玄米の物理化学特性の経時変化を調査し、そのうえで貯蔵後の玄米を用いて搗精実験を実施した。

III-B. 実験方法

1. 供試試料および貯蔵方法

供試試料は1979年北海道厚田産「インカリ」2等玄米を用いた。貯蔵は1980年1月から開始し、1982年8月までの2年7カ月間(31カ月間)にわたり下記の三種類の条件下で行った。

a. 倉庫貯蔵 (Store house storage)

実際の玄米貯蔵条件と同一の条件で貯蔵を行うため、ホクレン札幌ライスステーション菊水工場に隣接する玄米貯蔵用常温倉庫(玄米貯蔵能力は3万俵)を選んだ。この倉庫内において玄米30kgをポリエチレン製容器に密封し貯蔵した。

b. 恒温室貯蔵 (Environmental room storage)

倉庫は季節により温度が変化するため、室温付近で温度変化の少ない貯蔵条件として、年間を通じて20℃に温度制御した恒温室を選んだ。この恒温室内において玄米15kgをポリエチレン製容器に密封し貯蔵した。

c. 冷蔵庫貯蔵 (Refrigerator storage)

10℃以下の低温での貯蔵は玄米の品質変化が非常に少ないと言われている²⁹⁾。そこで低温での貯蔵条件として、年間を通じて3℃に温度制御した冷蔵庫を選んだ。この冷蔵庫内において玄米15kgをポリエチレン製容器に密封し貯蔵した。

2. 玄米物理化学特性の測定

本研究における玄米の物理化学特性の測定は既報¹⁰⁾の方法に準じて行った。

a. 水分 (Moisture content)

水分測定法として10g、粒、135℃、24時間法を用い、水分を湿量基準で表した。

b. 粒厚 (Kernel thickness)

東京試験機製作所製縦目篩振盪機を用い、玄米を1.6mm以下から2.2mm以上までの0.1mmごとの粒厚により篩分けし、粒厚分布を求めた。

c. 容積重 (Bulk weight)

木屋製作所製ブラウエル穀粒計を用い玄米1l当たりの重量を求めた。

d. 白度 (Whiteness)

ケット科学研究所製光電管白度計C-1型を用い米粒表面の光の反射率を測定し、これを白度とした。白度は国際基準に従い、マグネシウムリボンの燃焼により生じる酸化マグネシウムの極微粉を付着させた面の光の反射率を100%とし、暗黒状態での反射率を0%として百分率で表した。

江幡⁵⁾、MILLER *et al.*¹⁹⁾は米の光学的計測に際して米質の差異を表すには青色光が適当であるとしている。そこで本研究においても青色フィルターを透過した光(透過光の波長は452nm)を用いて測定を行った。

e. 透光度 (Translucency)

理研計器製ライスメータQS-101D型(玄米用)を用い、米粒中の光の透過率を測定し、これを透光度として表した。なおここに透光度として表した値は光の透過率の相対的な差を示したものであり、上述した白度におけるような絶対基準を持った値ではないことを付記する。

f. 色調 (Color)

日本電色工業製デジタルカラースタジオQS-101D型を用い色立体におけるL(明るさ)、a(赤緑軸)、b(黄青軸)の値を求めた。さらにこれらの値からH(ハンター白度)およびΔE(色差値)を次式により求めた。

$$H = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

g. 流動性 (Fluidity)

粉体や粒体の流動性についての一般的な表現はホッパやオリフィスからの流出速度であるとされている²⁴⁾。そこでIrani-Callisの用いた漏斗²⁴⁾を参考にして内角75度、流出口直径15mm、高さ98mmの内面の滑らかな逆円錐型のステンレス製ホッパを試作し、ここから米粒が自然流下する時間を測定し流動性を表わした。

したがってこの方法では、流下時間が短いと流動性が良いと判断できる。

h. 胴割率 (Fissure)

農業機械学会の「米の胴割れ測定方法の基準」⁵²⁾に従い、米粒透視器を用いて玄米 1000 粒を対象に肉眼で重胴割粒と軽胴割粒とを判別し、胴割率を求めた。なお胴割粒判定に際し、未熟米や死米など不透明な米粒および碎粒は除外して測定した。

i. 千粒重 (1000-kernel weight)

碎粒を除く玄米 1000 粒の重量を測定した。

j. 組成分析 (Component analysis)

農産物規格規程に従い、玄米 100 g を手選別により糲 (Rough rice), 異物 (Foreign material), 異種穀粒 (Other cereal grains), 碎粒 (Broken kernel), 青米・未熟米 (Green and immature kernel), 死米 (Underdeveloped and shriveled kernel), 被害粒 (Damaged kernel), 着色粒 (Discolored kernel), 整粒 (Sound whole kernel) にそれぞれ分類し、その重量割合を表した。

k. 脂肪酸度 (Free fat acidity)

リパーゼ等の脂質加水分解酵素によって生成された遊離脂肪酸の酸度を AACC 迅速法 (Cereal Lab. Method, 6th ed., p 20, 1957) により測定した。

すなわち粉碎した玄米 10.00 g にベンゼン 50 ml を加えて 30 分間振盪した後、その濾液を 0.0178 N アルコール性水酸化カリウムにより滴定し、測定値を乾物 100 g 当たりの水酸化カリウムの mg 数で表し、これを脂肪酸度とした。

l. 胚の活性度 (Embryo activity)

胚のコハク酸脱水素酵素の還元力を測定し、その活性度を判定した。玄米の整粒 200 粒に 0.25% 濃度の TZ (Triphenyl tetrazolium chloride) 試薬 20 ml を加えたシャーレを 5 個用意し、これを 25°C の定温器中に 24 時間保った。その後胚の赤紅色呈色度を観察し、次式により TZ 値 (TZ Value) を求めこれを胚の活性度とした。

TZ 値

$$= (\text{呈色指数} \times \text{呈色粒数}) \div \text{供試粒数} \times 100 (\%)$$

呈色指数は胚 (胚芽) が赤く着色された場合を 1 とし、着色が薄いまたは一部分である場合を 0.5 とした。

この TZ 値は米の発芽率と強い関係があるとされている²⁹⁾。

m. 剛度 (Hardness)

剛度は未熟米、死米、被害粒でなく胴割れない整粒 100 粒について測定した。木屋式穀粒硬度計に

て玄米に緩慢かつ連続的に荷重を加え、最初に亀裂の生じた時の荷重を挫折剛度とした。続いて荷重を増加させ、米粒内部組織が破碎されるに至った時の荷重を圧碎剛度とした。

玄米剛度は玄米の温度や水分により変動するため^{11,39)} 必要に応じて玄米の温度や水分の調整を行い、さらに硬度計と周辺の温度も玄米温度と同一となるように調整を行い測定を実施した。

3. 搗精実験

搗精実験は貯蔵開始時と 2 年 7 カ月間の貯蔵終了後に行った。実験は II 章に示した方法に準じて研削式精米機と摩擦式精米機とを用いて行い、消費電力量、搗精時間、碎粒割合などについて測定した。

搗精実験に際しては玄米温度が搗精特性に与える影響を除くために、温度を 20°C に設定した恒温器内に供試玄米を一晩以上保管し穀温調整を行った。搗精時の実験室内の環境は温度が 21~23°C、湿度が 50~65% R. H. であった。

III-C. 実験結果および考察

1. 貯蔵中の玄米温度

Fig. 5 に玄米貯蔵倉庫に貯蔵した供試玄米の温度と倉庫内温度および外気温度とを示した。

本倉庫は政府指定倉庫であったものであり、外壁の断熱は十分に行われている。しかし作業上の必要性から昼間は倉庫の扉を解放するため、倉庫内温度は外気温度の影響を強く受ける。そのため玄米は貯蔵期間中に三回の低温期と三回の高温期とを経過している。玄米温度は低温期では 0~1°C にまで低下しており、高温期には 22~24°C にまで上昇している。

玄米の低温倉庫は年間を通じて 15°C 以下の条件を、準低温倉庫は同じく 20°C 以下の条件を保持できる倉庫とされている⁴⁹⁾。本倉庫は温度制御を行わない常温倉庫であるが、北海道という自然の低温を利用できる条件にあるため、穀温が 20°C 以上となったのは 31 カ月の貯蔵期間の内 5.9 カ月間 (19%) である。これは我が国南部の温暖地の常温倉庫に比較して好適な貯蔵条件にあったものと思われる。

同時に貯蔵を行った恒温室および冷蔵庫の玄米温度は貯蔵場所の温度とほぼ同一であり、貯蔵期間中を通じてそれぞれ 19~21°C, 2~4°C であった。

本実験では玄米をポリエチレン容器に密封して貯蔵し数カ月ごとの測定時のみに開封して玄米をサン

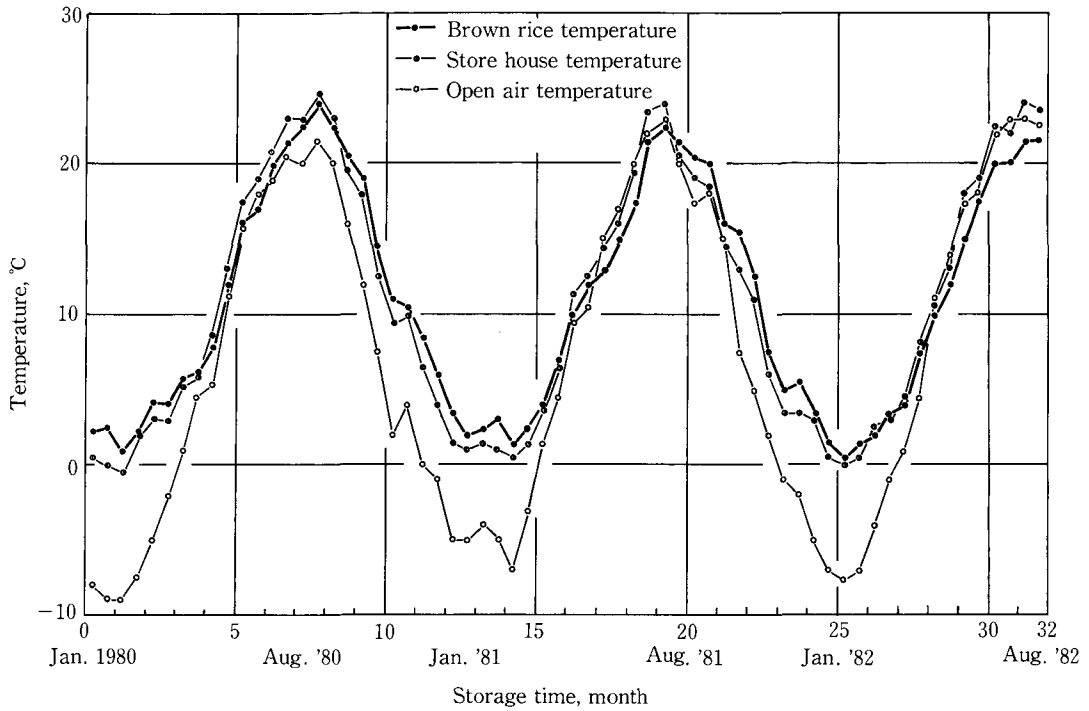


Fig. 5. Brown rice temperature during storage in the store house.

プリングしたため、コクゾウムシやコクガなど害虫の外部からの侵入はなく、これらの発生はいずれの貯蔵条件においても認められなかった。したがって玄米の燻蒸は行っていない。

2. 貯蔵中における玄米物理化学特性の変化
a. 脂肪酸度と胚の活性度

Fig. 6 に供試試料の脂肪酸度と胚の活性度について示した。Fig. 6 によれば貯蔵開始時には試料の脂肪酸度は13.8 mgであったが、いずれの試料においても貯蔵にともない脂肪酸度が増加し、貯蔵終了時には倉庫貯蔵の玄米が24.8 mg、恒温室貯蔵の玄米が29.5 mg、冷蔵庫貯蔵の玄米が22.6 mgとなった。脂肪酸度の増加は貯蔵開始直後に大きく、貯蔵開始後10カ月すなわち供試試料の収穫後約1カ年で脂肪酸度の増加がほぼ平衡状態に達している。

松田ら¹⁶⁾は玄米中の脂質加水分解酵素の活性は1年間で半分以下に、2年間で大部分の活性が失われ、かつ低温条件において活性の低下が急速に進むと報告している。したがって本実験においても脂肪酸度の増加が平衡に達したことは、脂質加水分解酵素の活性の低下に起因していると考えられる。また

谷ら⁴⁶⁾は10°C以下の貯蔵条件においても本実験の結果と同様に玄米脂肪酸度が増加することを確認している。

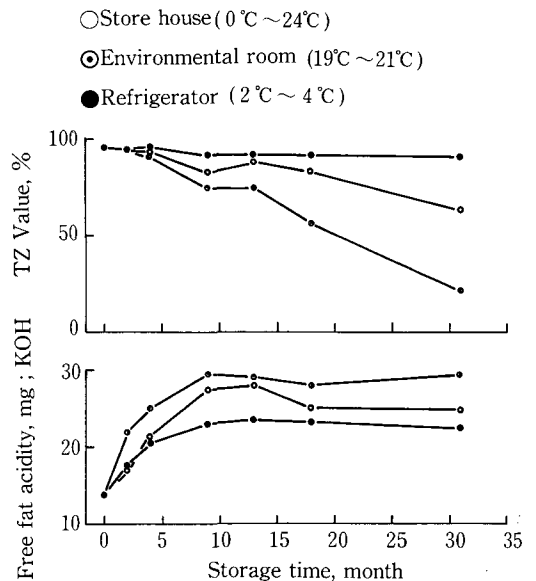


Fig. 6. Changes in free fat acidity and TZ value of brown rice during prolonged storage under three different conditions.

脂肪酸度による品質劣化の目安は20 mg 以上で変質の注意信号、25 mg 以上で変質の徴候を示す²⁹⁾とされている。これによれば20℃の恒温室貯蔵の玄米はかなり古米化が進んでいるものと判断される。

玄米の胚の活性度は貯蔵開始時に96.5%であった。冷蔵庫貯蔵の玄米は貯蔵によるTZ値の低下はわずかであり、2年7ヵ月貯蔵後に90.8%を保持していた。一方、倉庫貯蔵および恒温室貯蔵の玄米は貯蔵とともにTZ値が低下し、2年7ヵ月後にそれぞれ62.8%、21.6%となった。

一般の常温貯蔵では籾収穫の翌年6月から8月に燻蒸を行い、これによって発芽力が低下する。しかし供試玄米では燻蒸を行わなかったため、燻蒸の発芽力への影響はなかった。

TZ値を玄米品質の指標として用いた場合、80%以下で品質劣化が生じたと判断される⁴⁹⁾。したがって恒温室貯蔵では7ヵ月間、倉庫貯蔵では20ヵ月

間、冷蔵庫貯蔵では31ヵ月間以上品質が保持されたと見なされる。

脂肪酸度とTZ値とを合わせて考えると、冷蔵庫貯蔵の玄米は品質劣化がほとんど認められず、いわゆる古米化は進んでいないものと判断された。一方、倉庫貯蔵の玄米は夏期は穀温が20℃以上となり品質劣化が進むものの、冬期は逆に穀温が0℃近くとなり品質劣化が抑制されるため、年間を通じて20℃の恒温室貯蔵の玄米に比較して品質が良好であった。

このことは北海道のような寒冷地では自然の冷気を利用した低温貯蔵が可能であることを示唆しており、今後このような自然の好条件を利用した貯蔵方法が確立されることが望まれる。

b. 玄米水分

Table 1は三種類の条件で貯蔵した玄米の、Table 2は倉庫貯蔵した玄米の物理化学特性の変化を示したものである。Table 1によれば玄米水分は

Table 1. Changes in physicochemical properties of brown rice during prolonged storage under three different conditions.

Measuring date Storage time, month		Jan. 1980 0	Mar. 1980 2	May 1980 4	Oct. 1980 9	Feb. 1981 13	Jul. 1981 18	Aug. 1982 31
Moisture content, % w. b. 135°C	SH	14.5	14.5	14.4	14.2	14.4	14.2	14.2
	ER	14.5	14.6	14.4	14.4	14.5	14.4	14.3
	REF	14.5	14.5	14.5	14.4	14.5	14.5	14.4
1000-Kernel weight, g/1000	SH	21.93	21.96	21.99	22.03	22.07	22.16	22.09
	ER	21.93	×	22.05	22.07	22.01	22.09	22.04
	REF	21.93	×	22.07	22.06	21.93	22.09	21.97
Whiteness, %	SH	12.2	12.9	12.8	12.8	13.2	13.7	14.3
	ER	12.2	12.8	13.0	13.3	13.3	13.3	14.2
	REF	12.2	12.8	12.6	12.7	12.8	12.7	14.0
Translucency	SH	×	×	65.5	57.4	57.5	56.2	60.3
	ER	×	×	63.1	58.7	59.3	62.3	62.2
	REF	×	×	63.8	62.2	62.3	63.3	61.8
Bulk weight, g/l	SH	830	833	830	843	847	850	848
	ER	830	832	839	847	849	849	849
	REF	830	831	830	829	832	827	833
Fluidity, sec./150 g	SH	×	×	9.99	8.42	8.10	8.01	8.15
	ER	×	×	9.05	8.34	8.09	8.09	7.86
	REF	×	×	9.96	9.25	8.89	8.96	8.44

SH=Store House (kernel temperature 0℃~24℃), ER=Environmental Room (19℃~21℃), REF=Refrigerator (2℃~4℃).

貯蔵開始時に14.5%であるが、貯蔵終了時には0.1~0.3%減少している。しかしながら玄米千粒重が貯蔵により減少していないことを考え合わせると、貯蔵により実際に玄米水分が減少したか否かは明らかでない。

本実験と同様な玄米の密封貯蔵において、玄米水分に増減のある例^{4,20,53,62)}が報告されているが、これらのデータは本実験と同じくわずかな水分変化である。一方、貯蔵により玄米水分が明らかに変化している報告^{30,46,49,51)}があるが、これらはいずれも密封貯蔵ではないために周囲の空気の影響を受けて玄米水分が変化したと思われる。

したがって本実験で測定された貯蔵中の玄米の水分変化は、水分測定によるばらつきの範囲内であると考えられ、玄米を密封貯蔵した場合、古米化による玄米水分への影響は認められないものと判断し

た。

c. 白度と透光度

玄米白度は貯蔵により12.2%から約2%増加した。これは玄米の果皮が貯蔵中に部分的に剝離した、いわゆる肌ずれ米が増加したことに起因していると思われる。すなわち肌ずれ米により光の乱反射が増加し、白度が上昇する結果となった。同様に肌ずれの米の増加により米粒中の光の透過が妨げられ、透光度が貯蔵により減少することが認められた。

d. 容積重と流動性

Table 1によれば倉庫貯蔵と恒温室貯蔵の玄米において、容積重が830 g/lから約20 g/l増加していることが認められた。容積重は玄米水分、玄米粒形、米粒表面の摩擦係数などにより影響を受ける。先に述べたように、玄米水分は貯蔵による変化が認

Table 2. Changes in physicochemical properties of brown rice during prolonged storage in the store house.

Measuring date Storage time, month	Jan. 1980 0	Mar. 1980 2	May 1980 4	Oct. 1980 9	Feb. 1981 13	Jul. 1981 18	Aug. 1982 31
Hardness, kgf							
Cracking hardness	7.6	7.2	7.7	7.6	7.3	7.2	7.0
Crushing hardness	8.5	8.1	8.5	8.4	8.5	8.3	8.0
Fissure, %							
Slight fissure	3.0	2.2	2.5	2.4	2.1	2.3	1.3
Serious fissure	4.3	5.2	4.3	5.6	6.1	4.7	5.0
Total fissure	7.3	7.4	6.8	8.0	8.2	7.0	6.3
Component analysis, %							
Sound whole kernel	54.8	51.7	48.8	40.7	40.3	39.5	36.0
Green and immature kernel	29.7	29.8	31.2	32.4	27.3	27.6	23.6
Underdeveloped and shriveled kernel	1.3	1.5	1.7	1.9	1.5	1.7	1.3
Broken kernel	0.5	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7
Damaged kernel	13.5	16.0	17.4	24.1	29.6	30.3	38.0
Discolored kernel	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	0.3	0.4
Kernel thickness, %							
T <= 1.8, mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1.8 < T <= 1.9	2.1	2.0	1.9	2.0	2.2	2.1	2.1
1.9 < T <= 2.0	13.7	12.8	11.4	12.3	12.9	11.9	12.9
2.0 < T <= 2.1	38.4	35.3	32.7	35.4	36.0	33.8	36.5
2.1 < T <= 2.2	41.8	45.4	49.2	45.5	45.0	47.5	43.6
2.2 < T	3.9	4.4	4.7	4.7	3.8	4.6	4.8

められなかった。また Table 2 に示したように粒厚分布は貯蔵による変化が認められず、したがって粒形の変化もないため容積重の増加は米粒の摩擦係数の減少によるものと判断された。

玄米の流動性は貯蔵とともに流出時間が減少することが認められた。これは容積重の場合と同様に玄米の摩擦係数の減少に起因していると考えられる。

e. 玄米剛度

Table 2 によると玄米の挫折剛度と圧砕剛度とは、いずれも2年7カ月の貯蔵により約0.5 kgf 減少していることを知った。この玄米剛度の減少は一般に言われている「古米は米質が脆い」²⁵⁾ということを裏付けるものである。

貯蔵により玄米剛度が増加した報告¹¹⁾があるが、これは密封貯蔵ではないために貯蔵中に玄米水分が減少したことによるものである。一方、多くの研究^{7,21,23)}において、貯蔵により生成された遊離脂肪酸がデンプンのらせん構造に侵入し結晶のミセル構造が強固となり、でんぷんが硬化するとされている。しかしこの硬化は炊飯時にデンプンの膨潤を抑制し、硬く粘りの少ない米飯となることを引き起こす⁵⁹⁾ものの、玄米剛度に影響を与えるほどの機械的な硬度増加につながるものではなかった。

f. 玄米の組成

供試玄米は収穫後の食糧事務所における検査で二等級玄米と格付けされた。しかし Table 2 によれば貯蔵開始時の供試玄米の整粒は54.8%であり、農産物規格規程で示されている二等級玄米の整粒60%以上に達していない。これは本組成分析において、いわゆる活青米を青米・未熟米として整粒から除いたためである。このことを考慮しかつ死米、被害粒、着色粒の割合が規格で示されている20%以下であることを考え合わせると、供試玄米は標準的な二等級玄米と判断される。

供試玄米の整粒および青米・未熟米は貯蔵にともないそれぞれ54.8%から36.0%へ、29.7%から23.6%へと減少した。これは貯蔵により増加した肌ずれ米を被害粒と判定したために被害粒が13.5%から38.0%へと増加し、整粒および青米・未熟米が減少したものである。

肌ずれ米は貯蔵中の糠層の脂質変化などによる化学的原因のため発生したものである。既述したようにこの肌ずれ米の増加が玄米の白度や透光度などに影響を与えている。

3. 貯蔵玄米の搗精特性

a. 供試玄米の物理化学特性

搗精は貯蔵開始時の玄米と2年7カ月の貯蔵終了後の玄米とについてそれぞれ行った。

既述したように、TZ 値および脂肪酸度から判断すると、貯蔵開始時の玄米に比較して貯蔵による古米化が最も進んだのは恒温貯蔵の玄米であり、次に倉庫貯蔵の玄米であり、冷蔵庫貯蔵の玄米は古米化がほとんど進んでいないことが認められた。

玄米水分と胴割率とについて、それぞれ貯蔵による変化は確認できなかった。玄米剛度はいずれの貯蔵条件においてもわずかながら減少した。

b. 搗精実験結果

1) 摩擦式精米機の搗精特性 Fig. 7 に摩擦式精米機の搗精時間と搗精歩留および消費電力量と搗精歩留との関係について示した。Fig. 7 によれば、いずれの関係においても貯蔵開始時の玄米と三種類の条件下で貯蔵した後の玄米との搗精特性の差は認められなかった。これらの四種類の搗精実験データについて、分散分析法により貯蔵条件や貯蔵期間が搗

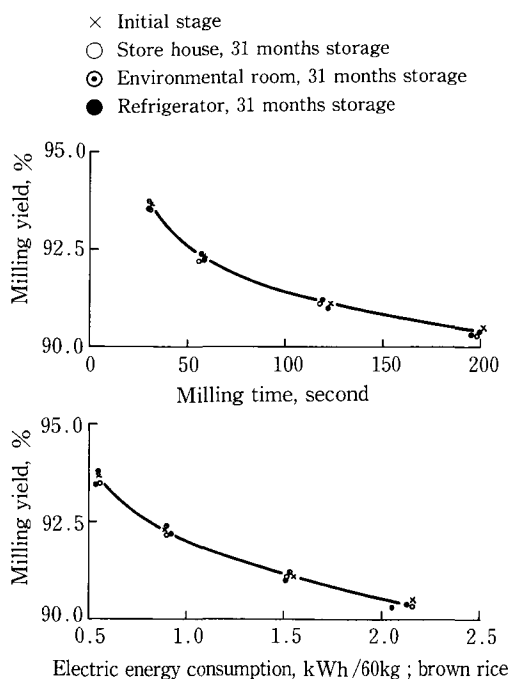


Fig. 7. Milling yield of brown rice stored in different storage conditions and times as related to milling time and electric energy consumption by the friction type mill.

精特性に与える影響について検定した。その結果貯蔵条件や貯蔵期間は搗精特性に影響しないと判定された。

Fig. 8 に摩擦式精米機による精白米の砕粒割合について示した。Fig. 8 によれば各試料間の砕粒割合に差は認められなかった。また砕粒割合は搗精が進むともない増加する傾向にあり、とくに搗精歩留が91%以下において急増することを知った。

2) 研削式精米機の搗精特性 Fig. 9 に研削式精米機の消費電力量と搗精歩留との関係について示した。Fig. 9 においても、摩擦式精米機の場合と同様に玄米の貯蔵条件や貯蔵期間による消費電力量への影響は確認できなかった。

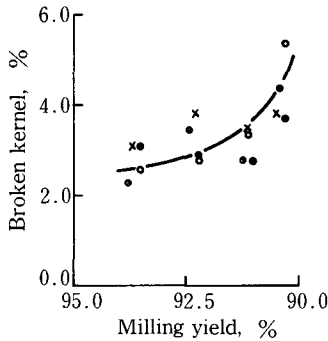


Fig. 8. Broken kernel of milled rice from brown rice stored in different storage conditions and times as related to milling yield by the friction type mill. Symbols are the same as those used in Fig. 7.

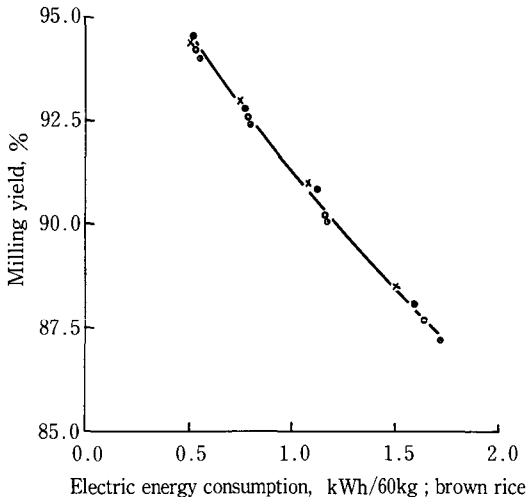


Fig. 9. Milling yield of brown rice stored in different storage conditions and times as related to electric energy consumption by the abrasive type mill. Symbols are the same as those used in Fig. 7.

Fig. 10 に研削式精米機の搗精時間と搗精歩留との関係を示した。Fig. 10 によれば、研削式精米機を用いてそれぞれの供試玄米を同一時間搗精した際の搗精歩留は、搗精歩留が91%以上においては貯蔵条件や貯蔵期間の影響をほとんど受けない。しかしながら搗精歩留が91%以下においては、同一搗精時間で古米の搗精歩留が低いという傾向が認められた。

研削式精米機における搗精歩留91%は真搗精歩留では90.6%である。これは糠層や糊粉層の除去が終了し、胚乳部に搗精が進むところである。したがって Fig. 10 に示した傾向は、古米化により胚乳部が脆弱になったことを示唆している。すなわち古米化による玄米剛度の低下は糠層ではなく主として胚乳部に生ずるものと考えられる。先に Fig. 7 に示した摩擦式精米機においてこのような傾向が認められないのは、摩擦式精米機による搗精歩留の低下が90.3%までであり、これは真搗精歩留では91.5%となり、胚乳部にまで搗精が進んでいないためである。

研削式精米機を用いて搗精歩留を50~70%程度に搗精する²⁸⁾ 酒造用精米では、本研究と同様に同一搗精歩留に搗精するに要する時間は新米より古米が短く、しかも搗精歩留が75%以下でその差が大

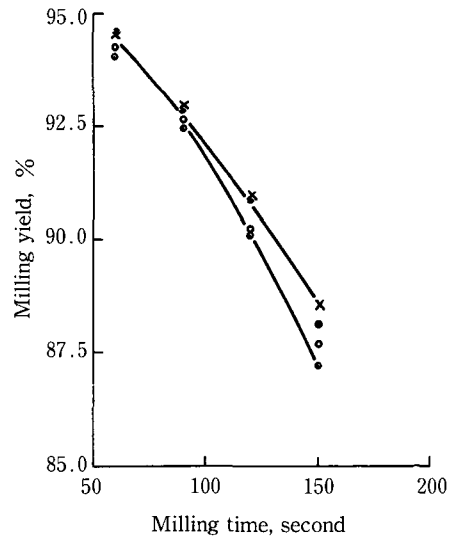


Fig. 10. Milling yield of brown rice stored in different storage conditions and times as related to milling time by the abrasive type mill. Symbols are the same as those used in Fig. 7.

となる例⁶⁰⁾が報告されている。

コンバス式精米装置を用いた飯用米の搗精では、研削式精米機は1番機として用いられるため、研削式精米機により搗精歩留を91%以下とすることはない。一般に飯用米の搗精歩留は89~91%であり²⁶⁾、したがって真搗精歩留は91.0~92.5%程度であることから、実用的な範囲内において古米化が搗精時間に及ぼす影響は認められないと考えられる。

3) 古米化が搗精特性に与える影響 搗精特性すなわち搗精時間や精米機の消費電力量は、長粒種や短粒種などの米粒の粒形、整粒割合などの玄米の組成、古米化や玄米の温度と水分などに影響される玄米剛度によって決定されると考えられる。本実験では試料として同一品種の玄米を用いたため、玄米の形状および整粒、未熟米、死米の割合は一定であった。また貯蔵による玄米水分の変化はなく、玄米温度は同一となるように調整して搗精を行ったため、本実験において搗精特性に影響を与える要因は古米化による玄米剛度の変化のみであったと思われる。

しかしながら古米化による玄米剛度の減少はわずかであり、かつそれが飯用米では搗精を行わない胚乳部における変化であるため、本研究では古米化は搗精特性に影響を及ぼさないという結果となった。すなわち貯蔵期間中の外的要因による玄米水分の変化がないものとする、古米化が搗精特性に与える影響は認められず、古米を新米と同じ搗精歩留にまで搗精する場合には搗精時間や消費電力量などに差異は生じないことが明らかとなった。

精米工場では古米の搗精に関して「糠層が硬く搗精が困難である、搗精時間や消費電力量が増加する、砕粒が多い、製品歩留（完全粒歩留）が低い」などが経験的に言われている^{25,26)}。

これは古米化により米飯の外観や匂いおよびテクスチャーが劣化し、しかもその変化は米粒表層付近の糠層で主に生ずることから、古米の食味改善の目的で標準的な精白米より搗精歩留を1~2%低下させ89%程度とする²⁶⁾いわゆる搗き込みを行うことに起因していると考えられる。すなわち古米を搗精する場合に、精米機の流量をしぼる、回転数を上げる、分銅抵抗を増加させるなどの操作により搗き込みを行う。その結果搗精時間や消費電力量が増加することとなる。また古米を搗精することにより砕粒が増加するのではなく、搗き込みを行うことにより

砕粒発生が増加し、その結果完全留歩留が低下するものと考えられる。

IV. 玄米温度が搗精特性に与える影響

IV-A. 目的

精米工場における基礎調査¹²⁾において、搗精前の玄米温度は季節による気温変化の影響を強く受け、およそ-5~30℃の変動があることを明らかにし、北海道のような寒冷地における搗精の困難さについて述べた。また関東や関西地方の大消費地においては、北陸や東北地方で産地貯蔵された玄米を搗精日前夜にトラック輸送する大型精米工場がある¹¹⁾。この場合にも冬期間は温度の低い玄米が精米工場に搬入されている。さらに米の食味保持の目的から準低温貯蔵(20℃以下)や低温貯蔵(15℃以下)の有効性が確認され²⁹⁾実用化されている。

以上のように搗精前の玄米温度は多くの要因に左右され一定ではない。一般に低温玄米は硬く搗精が困難であると言われているが、搗精前の玄米温度が搗精特性にどのような影響を与えるかを調査した例^{25,40)}は少ない。一方で、玄米の温度と水分とを調整する調質操作が大型精米工場において普及しつつある^{9,25)}にもかかわらず、搗精特性と精白米の品質および食味とを考慮した適正な玄米温度条件は明らかにされておらず、試行錯誤により玄米温度の設定を行っているのが現状である。

かかる状況に鑑み、本章においては玄米温度が搗精特性に与える影響を定量的に促えることを目的に、温度を調節した玄米を用いて搗精実験を実施した。

IV-B. 実験方法

1. 供試試料

供試試料は1979年北海道栗沢産「インカリ」を用いた。これは種子用もみとして架干で自然乾燥され、5℃の温度環境にもみ貯蔵されたものである。

供試玄米の初期水分が14.4%であったことから、水分が低いと標準的な搗精歩留(90~91%)にまで搗精できない可能性があると思われた。そこでこれを回避するために、温度を20℃、湿度を80%R.H.に制御した恒温恒湿器内に玄米を7時間入れ、水分を15.6%に調整した。この水分調整における玄米の吸水速度は0.17%/Hourであった。

供試玄米はやや過乾燥であったことから初期胴割率は重胴割率が2.5%、軽胴割率が18.0%と若干高

い値を示していた。これを水分調整したことにより重胴割率が2.7%，軽胴割率が20.7%となった。

供試玄米の物理化学特性は、III章に示した方法に準じ剛度、水分、容積重、流動性などについて測定した。

2. 搗精実験

精米工場での調査¹²⁾で貯蔵倉庫内や張り込み口における玄米温度が冬期間には約-5℃となることを知った。しかしこれらの玄米は搗精される前に粒形選別、比重選別、風選別などの工程を通過するため、玄米温度の上昇が促される。また筆者は玄米温度が-5℃、5℃という低温では、精米機の搗精効率や搗精能率が大きく低下することから、これは実用的な玄米温度ではないと報告した¹¹⁾。以上の理由から搗精前の玄米温度条件として10℃、20℃および30℃を選んだ。

玄米温度の調整は目的の温度に設定した恒温器内にポリエチレン容器に密封した供試玄米を一晩以上保管して行った。さらに玄米と精米機との温度差が搗精中の砕粒増加の一因となる恐れがある¹⁾ことから、これを避けるために実験室内ならびに精米機の温度を設定玄米温度と同一となるように調整し、実験を実施した。

その結果10℃、20℃、30℃の設定玄米温度に対し実験室内の温度と湿度は、それぞれ10~11℃、63~72% R. H.、20~21℃、49~55% R. H.、29~31℃、50~60% R. H.であった。

搗精実験はII章に示した手順に準じて研削式精米機と摩擦式精米機とを用いて行い、搗精時間、消費電力量、搗精歩留、真搗精歩留、完全粒歩留、砕粒割合、搗精による穀温上昇などについて測定した。

IV-C. 実験結果および考察

a. 供試玄米の物理化学特性

Table 3に供試玄米の水分、剛度、容積重、流動性を示した。Table 3に示したように、玄米剛度は

玄米温度が10℃では挫折剛度が6.9 kgf、圧砕剛度が7.9 kgfであり、玄米温度が30℃ではそれぞれ5.2 kgf、6.2 kgfであり、温度の低い玄米は剛度が大きいことが認められた。短粒種米を供試した長戸²²⁾および長粒種米を供試したKUNZE *et al.*¹⁵⁾も本実験と同様に、温度の低い玄米は硬いという結果を得ている。

Table 3によれば30℃の玄米は10℃の玄米より容積重が小さく、流動性が悪いことが認められた。これは高温では玄米の摩擦係数が大きくなることを示している。精米工場において夏期に玄米の流れが悪くなり、バケットエレベーターの運搬能力が低下するのはこのためと考えられる。

2. 摩擦式精米機の搗精特性

a. 搗精歩留

Fig. 11に摩擦式精米機の搗精時間や消費電力量と搗精歩留との関係をそれぞれ表した。Fig. 11に示したように、同一搗精歩留を得るための搗精時間および消費電力量は、玄米温度の低下とともに増加する傾向が認められた。たとえば搗精歩留を91.0%とする場合、30℃の玄米では搗精時間が46秒、消費電力量が0.84 kWhであるのに対し、20℃の玄米ではそれぞれ1.48倍の68秒、1.25倍の1.05 kWh、10℃の玄米ではそれぞれ2.09倍の96秒、1.60倍の1.34 kWhと増加した。

すなわち玄米温度の低下にともなう剛度上昇のため、搗精能率や搗精効率が低下することが明らかとなった。しかもこれらの低下は搗精が進むとともに大きくなった。これが精米工場で「冬期間は低温のため搗精が困難である」と一般に言われることの原因となっている。

b. 砕粒発生

Fig. 12に摩擦式精米機の搗精による砕粒発生について示した。Fig. 12に示したように、玄米温度の上昇にともない砕粒発生が増加する傾向が認めら

Table 3. Physicochemical properties of brown rice with three different kernel temperatures.

Kernel temperature before milling ℃	Moisture content % w. b.	Hardness		Bulk weight g/l	Fluidity s/150 g
		Cracking hardness kgf	Crushing hardness kgf		
10	15.6	6.9	7.6	826	6.78
20	15.6	5.8	6.8	812	7.21
30	15.6	5.2	6.2	813	7.24

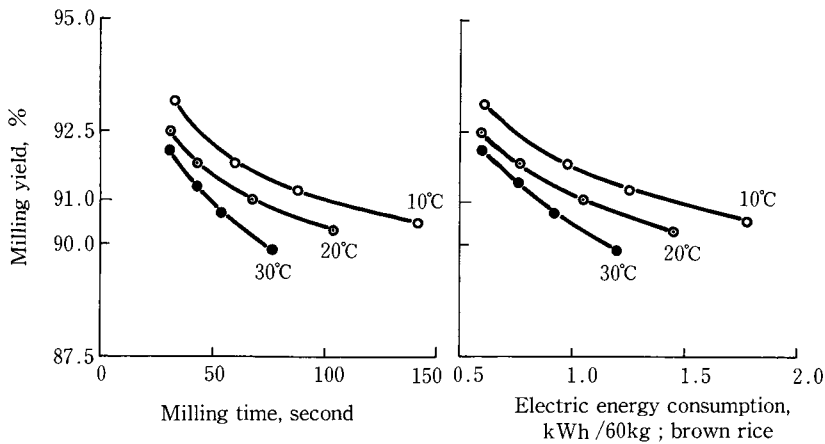


Fig. 11. Milling yield of brown rice with three different kernel temperatures before milling as related to milling time and electric energy consumption by the friction type mill.

れた。精白米中の砕粒割合は搗精歩留が91.0%で、10°Cの玄米が7.2%であるのに対し、20°Cの玄米では1.19倍の8.6%、30°Cの玄米では1.35倍の9.7%であった。

砕粒発生増加の原因として玄米温度の調整による胴割粒の増加や、玄米温度の上昇による剛度低下が考えられる。しかし水分変化をとまなわない密封状態における玄米温度の変化は胴割粒増加を引き起こすことはない¹⁵⁾と言われていることから、玄米温度の上昇による剛度低下が砕粒発生増加の原因と考えられる。とくにでんぷん細胞の充実が十分でない

玄米、青米、未熟米などは整粒に比べて剛度が低く^{17,50)}、さらにそれらの米粒は温度上昇にともなう剛度低下が整粒より大きい²²⁾ことから、砕粒になりやすいと考えられる。

HENDERSON⁴⁰⁾も本実験と同様に、温度の高い玄米を搗精すると砕粒増加につながることを観察している。

c. 真搗精歩留

搗精による砕粒発生が多い場合、糠に混入する微砕粒が多くなり見掛上の搗精歩留が減少することがある。そこで Fig. 13 に微砕粒の影響を除外し完全粒の糠層剝離の程度を表した真搗精歩留について示した。Fig. 13 に示したように、同一の真搗精歩留を得るための搗精時間および消費電力量は、玄米温度上昇にともない減少する傾向が認められた。すなわち玄米温度の上昇にともなう剛度低下による砕粒発生増加の影響を除外したうえで、玄米温度の上昇が搗精能率および搗精効率の向上につながる事が明らかとなった。

d. 穀温上昇

Fig. 14 に摩擦式精米機の搗精による穀温上昇値を示した。Fig. 14 に示したように、搗精歩留が91.0%において、10°Cの玄米を搗精した場合、搗精により穀温が20.2°C上昇し精白米温度が30.2°Cとなり、同様に20°Cの玄米では穀温が14.6°C上昇し精白米温度が34.6°C、30°Cの玄米では穀温が10.0°C上昇し精白米温度が40.0°Cとなった。すな

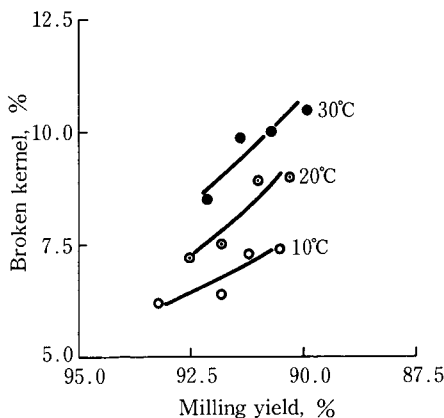


Fig. 12. Relation between broken kernel in milled rice and milling yield of brown rice with three different kernel temperatures milled by the friction type mill.

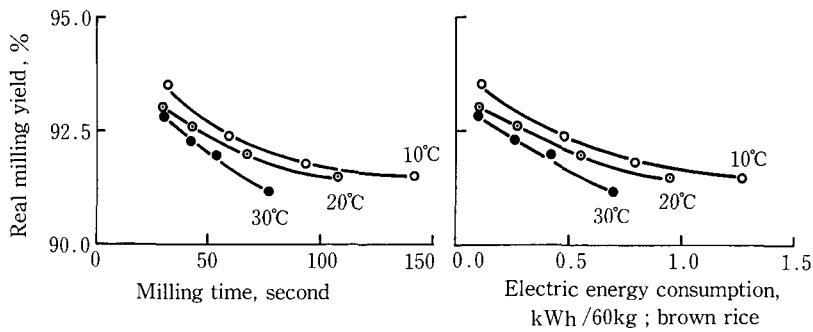


Fig. 13. Real milling yield of brown rice with three different kernel temperatures before milling as related to milling time and electric energy consumption by the friction type mill.

わち温度の低い玄米は高い玄米と比較して、穀温上昇は大きいが搗精後の精白米温度の絶対値は低い値である。これは精米工場における基礎調査¹²⁾の結果と同様な傾向を示している。

本実験は玄米温度と実験室内温度とを同一に調整して行ったことから、各玄米温度において穀温上昇に対する精米機温度および室内空気温度の影響は同一と見なすことができる。したがって各穀温上昇値の差はそのまま搗精による発熱量の差と解釈できる。すなわち温度の低い玄米を搗精すると、温度の高い玄米と比較して玄米剛度が大きいために、同一

搗精歩留に搗精するまでに長い時間を要し、そのため摩擦熱の発生が多い。これが温度の低い玄米を搗精した際の搗精効率低下の一因と考えられる。

3. 研削式精米機の搗精特性

Fig. 15 に研削式精米機の搗精時間や消費電力量と搗精歩留との関係について示した。Fig. 15 によれば、研削式精米機においても摩擦式精米機と同様な傾向が認められ、同一搗精歩留にまで搗精を行う場合、玄米温度の低下にともない搗精時間および消費電力量は増加した。たとえば搗精歩留を91.0%に搗精する場合、30°Cの玄米は搗精時間が72秒、消費電力量が0.81 kWhであるのに対し、20°Cの玄米ではそれぞれ1.14倍の82秒、1.10倍の0.89 kWh、10°Cの玄米ではそれぞれ1.38倍の99秒、1.27倍の1.03 kWhに増加した。これは玄米温度の低下にともなう摩擦式精米機の搗精時間や消費電力量の増加 (Fig. 11) と比較して、研削式精米機に対する玄米温度変化の影響の程度が $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ であることを示している。

この違いは研削式精米機と摩擦式精米機との搗精作用が異なることに起因している。すなわち米粒相互の摩擦や擦離作用により糠層の剝離を行う摩擦式精米機は玄米温度変化にともなう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ものと考えられる。

砕粒割合や穀温上昇など研削式精米機他の搗精特性についても、玄米温度変化の影響の程度が摩擦式精米機と比較して小さいことが同様に認められた。

4. 玄米温度が搗精特性に与える影響

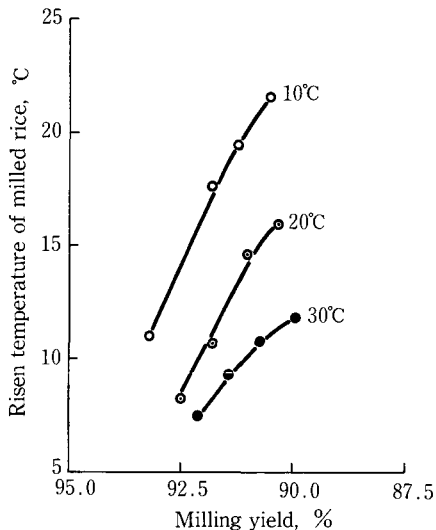


Fig. 14. Relation between risen temperature of milled rice just after milling and milling yield of brown rice with three different kernel temperatures milled by the friction type mill.

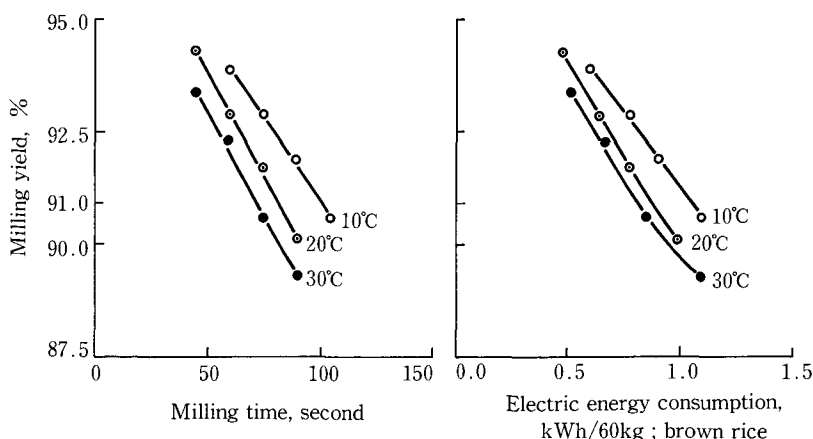


Fig. 15. Milling yield of brown rice with three different kernel temperatures before milling as related to milling time and electric energy consumption by the abrasive type mill.

本実験の結果から、玄米温度が搗精特性に与える影響は、玄米の温度変化にともなう剛度変化に起因することが明らかとなった。すなわち玄米温度を上昇させると剛度が低下するため、搗精時間が短縮し消費電力量が低減し、よって搗精能率および搗精効率が向上する。同時に搗精による発熱量が減少し穀温上昇が抑制される。一方、玄米温度を低下させると玄米剛度が上昇するため砕粒発生が低減し、よって完全留歩留が向上する。

III章において、古米化による玄米剛度の変化は胚乳部において起こり、糠層では変化が認められないと考察した。一方、搗精前の玄米温度が搗精特性に与える影響は、搗精歩留が高い段階すなわち糠層において搗精が行われている段階から認められ、かつ搗精歩留の低下とともに影響が増大している。このことから玄米温度の変化にともなう剛度の変化は糠層でも生じており、かつその変化が胚乳部に近づくにともない増大すると考えられた。

これらの搗精特性を考慮すると、たとえば米の作柄が悪く死米や未熟米などが多い玄米、また胴割粒が多い玄米を搗精する場合には、砕粒発生防止のために玄米温度を低くする。古米の搗精において食味向上のため搗精歩留を低下させる際には、搗精効率や搗精能率の向上のために玄米温度を高くするなど、合理的な搗精を行うために玄米温度を調整することが重要であると考えられる。

搗精のための適切な玄米温度の範囲については本

章の結果のみから結論できるものではなく、統報において精白米の品質および食味についての実験結果を考慮して総合的に検討を行う予定である。

V. 玄米水分が搗精特性に与える影響

V-A. 目的

玄米の水分は貯蔵性に大きな影響を及ぼす一因として多くの研究^{3,7,47,49,58,61})で取り上げられ、品質保持に必要な安全水分限界は14.5% (5g, 粉碎, 105°C, 5時間法, これは本研究で用いた135°C法では15.6%となる)であり、これ以下で長期貯蔵において品質劣化が少ない⁴⁸⁾とされている。

しかし玄米水分と搗精特性とについて研究した報告は少なく、我が国では酒米についての研究例^{4,39)}があり、飯用米については白倉^{36,37,38)}が水分の低い玄米の搗精は能率が低下することを指摘するにとどまっている。国外では玄米水分と完全粒歩留について調査した例^{31,40)}があるが、搗精効率や搗精能率なども含めて総合的に研究した例はない。

一方、水分過少の米は剛度が高く搗精が困難であると一般に言われ²⁹⁾、玄米の温度と水分とを調整する調質操作が大型精米工場に普及しつつある^{8,25)}。しかしながら玄米水分と搗精特性や精白米の品質および食味とを対比して検討された、搗精のための最適玄米水分はまだ明確にされていない。

そこで本章においては玄米水分と搗精特性との関係を定量的に明らかにすることを目的に、水分調整

をほどこした玄米を用いて搗精実験を行った。

V-B. 実験方法

1. 供試試料

供試試料としてIV章で用いた玄米と同じく、種子用もみとして栽培収穫され、架干で自然乾燥された1979年北海道栗沢産「イシカリ」を用いた。供試玄米の初期水分は14.4%であった。

精米工場における基礎調査¹²⁾で述べたように、調査した範囲内では原料玄米水分は最低が14.7%、最高が16.8%であり、それらの水分差が2.1%であった。また筆者は水分が11.7%の玄米を搗精すると、搗精歩留の低下が93%付近で平衡状態となり、これは実用的ではないと既に報告した¹¹⁾。さらに柳井⁵⁾は水分が16.6%(135°C, 3時間法)以上の玄米は貯蔵による糸状菌数の増加が著しいことを報告している。そこで本実験における供試玄米の水分を初期水分より1%および2%上昇させるように調整した。

玄米の水分調整の際、急激な水分変化が胴割粒増加の原因となる危険性がある^{2,15)}。そこで別に行った実験結果から、胴割粒増加の少ない玄米水分の調整条件として温度20°C、湿度80% R. H.を選び、この条件に設定した恒温恒湿器内で玄米をアルミ製トレー上に薄く1~2層に広げて水分の調整を行った。その結果14.4%の玄米水分を7時間で15.6%に、22時間で16.8%に調整することができた。この水分調整における玄米吸水速度はそれぞれ0.17%/Hour, 0.11%/Hourであった。水分調整後の玄米はポリエチレン容器にそれぞれ密封し時々攪拌しながら室内(17~20°C)に約1週間静置し水分の均一化を計った。

供試玄米の物理化学特性はIII章に示した方法に準じ、水分、剛度、胴割粒、千粒重、容積重、流動性などについて測定した。

2. 搗精実験

搗精前の玄米温度は恒温器を用いて20°Cに調整し、精米機ならびに実験室の温度は玄米温度と同じとなるよう調節した。その結果実験室内の温度は19~21°C、湿度は46~62% R. H.であった。

搗精実験はII章に示した手順に準じて行い、搗精時間、消費電力量、搗精歩留、真搗精歩留、完全粒歩留、砕粒割合、穀温上昇などについて測定した。

V-C. 実験結果および考察

1. 供試玄米の物理化学特性

Table 4に供試玄米の物理化学特性について示した。Table 4によれば、玄米剛度は玄米水分の低下とともに増加した。すなわち挫折剛度および圧砕剛度は水分16.8%の玄米ではそれぞれ5.0 kgf, 6.1 kgfであり、水分14.4%の玄米ではそれぞれ6.6 kgf, 8.0 kgfに増加した。玄米水分が米粒の硬さに与える影響について調査した研究^{9,13,22,35)}では、いずれも本実験と同様に玄米水分の低下にともない米粒が硬くなると報告されている。

供試玄米の初期胴割率は、Table 4の玄米水分14.4%の項に示したように重胴割率が2.5%、軽胴割率が18.0%であった。供試玄米はやや過乾燥であったため初期胴割率は若干高い値を示していた。水分を15.6%に調整した玄米の胴割率は重胴割率が2.7%、軽胴割率が20.7%であり、水分を16.8%に調整した玄米ではそれぞれ4.2%、25.3%であった。本実験の玄米水分調整による胴割率増加は伊藤ら⁹⁾が同じ品種の玄米を用いて同一条件で水分調整を行った場合の胴割率増加よりはるかに少ないことから、良好な条件で玄米の水分調整が行えたものと思われる。

玄米の千粒重、容積重、流動性はいずれも玄米水分の影響を受けて変化し、水分の低い玄米は高い玄米と比較して千粒重が小さく、容積重が大きく、流動性が良いという傾向がそれぞれ認められた。

なお水分16.8%の玄米は、ポリエチレン容器に

Table 4. Physicochemical properties of brown rice with three different moisture contents.

Moisture content % w. b.	Kernel temp. before milling °C	Hardness		Fissure		1000 kernel weight g/1000	Bulk weight g/l	Fluidity s/150 g
		Cracking hardness kgf	Crushing hardness kgf	Serious fissure %	Slight fissure %			
14.4	20	6.6	8.0	2.5	18.0	22.44	822	6.87
15.6	20	5.8	6.8	2.7	20.7	22.63	812	7.21
16.8	20	5.0	6.1	4.2	25.3	22.91	812	7.16

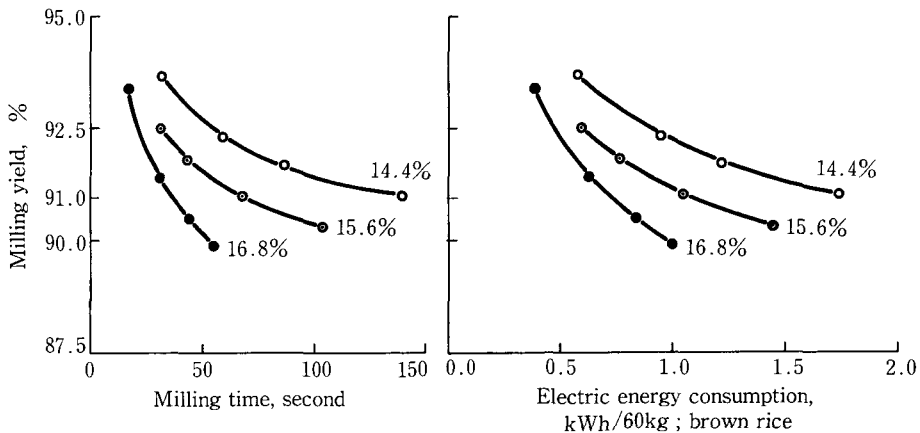


Fig. 16. Milling yield of brown rice with three different moisture contents as related to milling time and electric energy consumption by the friction type mill.

密封した室温（17～23℃）での貯蔵において2カ月後にカビが発生し、貯蔵性が劣ることが確認された。

2. 摩擦式精米機の搗精特性

a. 搗精歩留

Fig. 16 に摩擦式精米機を用いて搗精を行った際の搗精時間や消費電力量と搗精歩留との関係について示した。Fig. 16 に示したように、玄米水分の低下にともない同一の搗精歩留を得るための搗精時間や消費電力量はいずれも増加した。搗精歩留を91.0%に搗精するまでを例に上げると、水分が16.8%の玄米の場合、搗精時間が36秒、消費電力量が0.70 kWhであるのに対し、水分が15.6%の玄米ではそれぞれ1.89倍の68秒、1.50倍の1.05 kWhに、水分が14.4%の玄米ではそれぞれ3.89倍の140秒、2.49倍の1.74 kWhに増加した。

とくに玄米水分14.4%の試料は剛度が高いため、搗精歩留が91%で搗精歩留の低下がほぼ平衡状態となった。すなわち玄米水分の低下にともなう玄米剛度の上昇が、搗精能率や搗精効率の低下を引き起こすことが明らかとなった。しかもこれらの低下の傾向は搗精が進むとともに増大した。

b. 砕粒発生

Fig. 17 に摩擦式精米機の砕粒発生について示した。Fig. 17 に示したように、玄米水分が14.4%の試料を搗精歩留91.0%に搗精すると、精白米中の砕粒割合は5.1%であり、同じく玄米水分が15.6%の試料では1.69倍の8.6%、玄米水分が16.8%の

試料では2.55倍の13.0%であった。すなわち玄米水分が14.4%の試料に対して15.6%の試料では砕粒割合が3.5%増加し、同じく16.8%の試料では7.9%増加した。

IV章において明らかにしたように、剛度の低い玄米は搗精による砕粒発生が多い。一方、玄米の胴割粒が搗精により砕粒になりやすいことも指摘されている^{18,42,43,45}。したがって本実験において高水分玄米の砕粒割合が多い結果となったことは、水分調整による胴割率の増加と切り離して考えることはできない。そこで本実験と同一品種の玄米を用い、同一

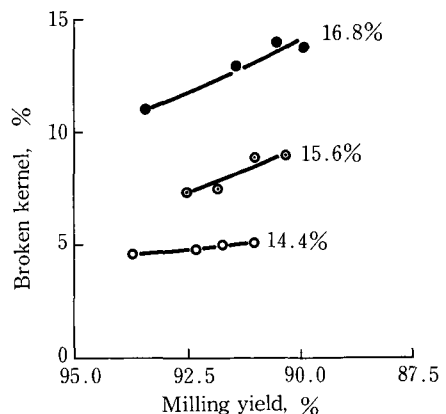


Fig. 17. Relation between broken kernel in milled rice and milling yield of brown rice with three different moisture contents milled by the friction type mill.

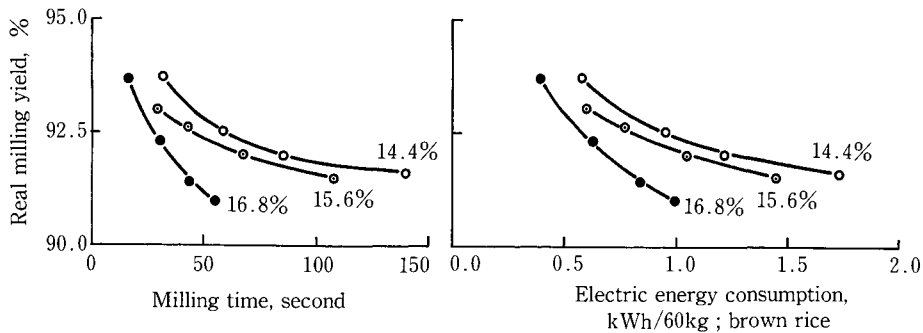


Fig. 18. Real milling yield of brown rice with three different moisture contents as related to milling time and electric energy consumption by the friction type mill.

水分で胴割率のみ異なる試料について、別に搗精実験を行った結果から胴割率と増加のみによる碎粒割合の増加を求めると、玄米水分が14.4%の試料に対して15.6%の試料では碎粒割合が0.5%増加し、同じく16.8%の試料では4%増加することが確認された。

したがって Fig. 17 に示した玄米水分の増加にともなう碎粒割合の増加は、水分調整による胴割粒の増加と水分増加による剛度の減少とが複合されて発生したものであると考えられる。

c. 真搗精歩留

Fig. 18 に摩擦式精米機の搗精時間や消費電力量と真搗精歩留との関係について示した。Fig. 18 に示したように、同一の真搗精歩留を得るための搗精時間や消費電力量は玄米水分の低下にともない増加する傾向にあった。

真搗精歩留は完全粒精白米の糠層剝離の程度を表した値であり、搗精による碎粒発生の多少の影響を受けない。したがって碎粒発生の影響を除外したうえで、玄米水分を増加させることが搗精効率および搗精効率の向上につながることを知った。

さらに Fig. 18 の傾向はIV章において示した玄米温度が搗精時間や消費電力量と真搗精歩留との関係に与える影響 (Fig. 13) と同様である。したがって玄米温度および玄米水分が搗精特性に与える影響は、玄米剛度が搗精特性に与える影響として見なした場合、同質のものであると考えられる。すなわち玄米温度および玄米水分の変化が玄米剛度の変化を引き起こし、これが搗精特性とくに搗精効率や搗精効率に対して影響を与えていると考えられる。

d. 穀温上昇

Fig. 19 に摩擦式精米機の搗精による穀温上昇を示した。Fig. 19 に示したように、水分14.4%の玄米を搗精した場合、搗精歩留91.0%の精白米の温度は玄米温度から19.6°C上昇して39.6°Cとなり、同じく水分15.6%の試料では14.6°C上昇して34.6°Cとなり、水分16.8%の試料では10.5°C上昇して30.5°Cとなった。

これは水分の低い玄米は剛度が高いことから、同一搗精歩留に搗精するまでに長い時間を要し、そのため摩擦熱の発生が多く、穀温上昇が大きくなったと考えられる。

精米工場での調査¹²⁾においても本実験と同様に、玄米調質を行い水分を上昇させた玄米の搗精による

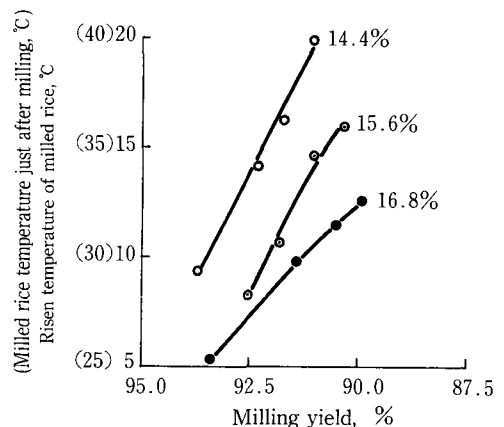


Fig. 19. Relation between risen temperature of milled rice just after milling and milling yield of brown rice with three different moisture contents milled by the friction type mill. The brown rice temperature before milling was conditioned at 20°C.

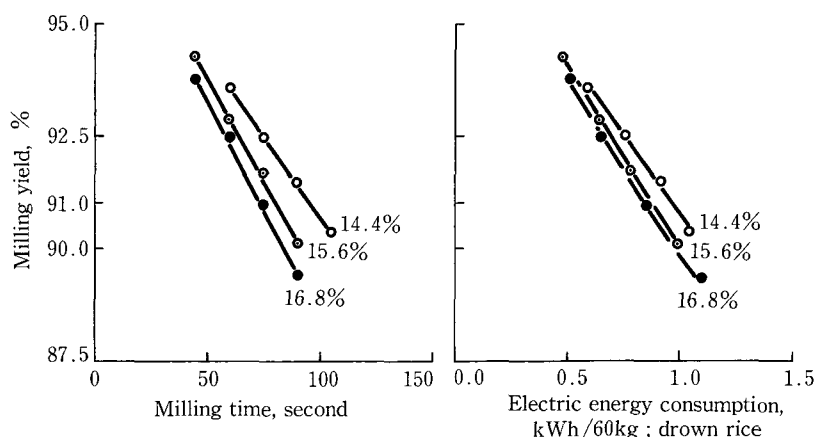


Fig. 20. Milling yield of brown rice with three different moisture contents as related to milling time and electric energy consumption by the abrasive type mill.

穀温上昇が抑制される例が認められた。

3. 研削式精米機の搗精特性

Fig. 20 に研削式精米機の搗精時間や消費電力量と搗精歩留との関係について表した。Fig. 20 によれば、研削式精米機においても摩擦式精米機と同様な傾向が認められ、玄米水分の低下にともない同一の搗精歩留を得るための搗精時間と消費電力量はいずれも増加した。たとえば搗精歩留を 91.0% に搗精する場合、水分 16.8% の玄米では搗精時間が 75 秒、消費電力量が 0.68 kWh であるのに対し、水分 15.6% の玄米ではそれぞれ 1.09 倍の 82 秒、1.31 倍の 0.89 kWh に、水分 14.4% の玄米ではそれぞれ 1.25 倍の 94 秒、1.44 倍の 0.98 kWh に増加した。

これは玄米水分の低下にともない摩擦式精米機の搗精時間や消費電力量の増加 (Fig. 16) に比較すると、研削式精米機に対する玄米水分変化の影響の程度が $\frac{1}{10}$ ~ $\frac{1}{2}$ であることを示している。

砕粒割合や穀温上昇など研削式精米機の他の搗精特性についても、玄米水分変化の影響の程度が摩擦式精米機と比較して小さいことが同様に認められた。

4. 玄米水分が搗精特性に与える影響

本実験の結果から、玄米水分が搗精特性に与える影響は玄米水分の変化にともない玄米剛度の変化に起因することが明らかになった。すなわち玄米水分の増加にともない剛度の低下のため、搗精時間や消費電力量が低減し、よって搗精能率および搗精効率

が向上する。同時に搗精による発熱量が減少し穀温上昇が抑制される。逆に玄米水分の低下にともない剛度の増加のため砕粒発生が低減し、よって完全粒歩留が向上する。

玄米の水分変化にともない剛度変化は、古米化による剛度変化が胚乳部に生じることとは異なり、玄米温度による剛度変化と同様に米粒の糠層および胚乳部全体に生じると考えられた。すなわち玄米温度および玄米水分の変化が搗精特性に与える影響は、同質のものとして玄米剛度が搗精特性に与える影響に置き換えることが可能であることが分かった。

しかしながら本実験では、水分 16.8% の玄米は 2 カ月間の貯蔵後にカビの発生が認められたことから、これは玄米水分として高すぎるものと判断された。

このように搗精特性以外の玄米の貯蔵性や精白米の品質および食味をも含めて考慮した場合には、玄米温度および玄米水分の影響を同質のものとして捉えることはできないと思われる。

VI. 要 約

1. 実験用精米機ならびに実用精米機の搗精特性異なる搗精作用を持つ研削式精米機および摩擦式精米機の搗精特性を明らかにし、さらに、これと実用精米機との搗精特性について比較検討を行った。以下にその結果を示す。

1) 研削式精米機では真搗精歩留と搗精歩留とはほぼ同一であり、摩擦式精米機では搗精歩留が真搗

精歩留より0.5%から1.5%低い値を示した。

2) 消費電力量の増加とともに、研削式精米機では真搗精歩留がほぼ直線的に低下した。同様に摩擦式精米機では搗精初期に真搗精歩留が急速に低下するが、搗精が進むにつれて真搗精歩留の低下がゆるやかとなった。

3) 精白米中の砕粒割合は、研削式精米機では0.8~1.4%であった。摩擦式精米機では、搗精が進むにともない2.8%から5.1%へと急激に増加した。

4) 精白米温度は搗精が進むにともない上昇し、かつ同一の真搗精歩留で比較すると、摩擦式精米機が研削式精米機より5~8℃高い精白米温度であった。

5) 上述したような研削式精米機と摩擦式精米機との搗精特性の違いは、研削式精米機は回転する金剛砂ロールの研削および切削作用により米粒表面の糠層を除去するのに対し、摩擦式精米機は米粒に圧力を加え米粒相互の摩擦および擦離作用により米粒表面の糠層を剝離させるという、それぞれの搗精作用の違いに起因していると考えられた。

6) 実用精米機の搗精特性は実験に用いた摩擦式精米機の搗精特性と類似していた。

2. 貯蔵条件や貯蔵期間による玄米の物理化学特性の変化と搗精特性への影響

貯蔵による古米化が搗精特性に与える影響を知る目的で、三種類の条件下で2年7カ月間にわたる貯蔵を行い、貯蔵前後の玄米を用いて搗精実験を実施した。以下にその結果を示す。

1) 古米化が玄米水分に与える影響は認められなかった。

2) 2年7カ月間の貯蔵により玄米剛度が0.5 kgf 減少した。この剛度減少は糠層ではなく、主として胚乳部にて生ずると考えられた。

3) 飯用米の搗精において、古米化が搗精特性に与える影響は認められず、古米を新米と同じ搗精歩留に搗精する場合には、搗精時間や消費電力量などに差は生じなかった。

3. 玄米温度が搗精特性に与える影響

玄米温度が搗精特性に与える影響を定量的に捉えることを目的に、温度を10℃、20℃および30℃に調整した玄米を用いて搗精実験を実施した。以下にその結果を示す。

1) 玄米温度の上昇により玄米剛度が減少した。古米化による玄米剛度変化が胚乳部に生じるのに対し、玄米温度による剛度変化は糠層および胚乳部の米粒全体に生じた。

2) 温度の低い玄米は搗精による発熱量が多く穀温上昇が大きい。温度の高い玄米を搗精した場合に比較して搗精後の精白米温度の絶対値は小さかった。

3) 玄米温度の上昇による剛度低下のため、搗精時間や消費電力量が減少し、搗精能率や搗精効率が向上した。逆に、玄米温度の低下による剛度上昇のため、砕粒発生が低減し、完全粒歩留が向上した。

4) 玄米温度の変化が搗精特性に与える影響の程度は、摩擦式精米機よりも研削式精米機において小さかった。

4. 玄米水分が搗精特性に与える影響

玄米水分が搗精特性に与える影響を定量的に知る目的で、水分を14.4%、15.6%および16.8% (10 g, 粒, 135℃, 24時間法) に調整した玄米を用いて搗精実験を行った。以下にその結果を示す。

1) 玄米水分の減少にともない玄米剛度が増加した。玄米水分の変化にともなう剛度変化は、玄米温度の場合と同様に、米粒の糠層および胚乳部全体に生じた。

2) 水分の高い玄米は搗精による発熱量が少なく、穀温上昇が小さかった。

3) 玄米水分の増加による剛度低下のため、搗精時間や消費電力量が低減し、搗精能率や搗精効率が向上した。逆に、玄米水分の減少による剛度増加のため、砕粒発生が低減し、完全粒歩留が向上した。

4) 玄米水分の変化が搗精特性に与える影響の程度は、摩擦式精米機よりも研削式精米機において小さかった。

引用文献

1. AUTREY, H. S. *et al.*: Effects of Milling Conditions on Breakage of Rice Grains. *J. Agri. Food Chem.*, **3**: 593-599. 1955.
2. CHEN, Y. L., KUNZE, O. R.: Effect of Environmental Changes on Rice Yield and Particle Size of Broken Kernels. *Cereal Chem.*, **60**: 238-241. 1983
3. 竹生新治郎, 柳瀬 肇ら: 一時貯留における生モミ

- の乾燥程度と貯蔵性。日作紀, **34**: 472-477. 1965
4. 竹生新治郎, 鶴田 理: 米の食味改善に関する研究(2-5)低温利用による食味保持効果。農水技術成果, **77**: 77-90. 1974
 5. 江幡守衛: 測光法による米の粒質診断に関する研究(1報)粒質とその光線透過性および反射ならびに米質検定器について。日作紀, **41**: 348-352. 1972
 6. 北海道食糧事務所検査部: 精米の品質と鑑定方法及び計測方法。1-24. 1976
 7. 石橋貞人, 田中俊一郎: 米の品質と乾燥および貯蔵の原理。農機誌, **33**: 312-322. 1971
 8. 伊藤和彦, 川村周三ら: 玄米調質に関する研究(1報)薄い層の調質実験。農機誌, **47**: 169-175. 1985
 9. 川村 登, 堀尾尚志ら: 粳の脱粒性と米粒の引張・圧縮強さについて。農機誌, **30**: 88-92. 1968
 10. 川村周三, 伊藤和彦ら: 研削式および摩擦式精米機の搗精特性に関する基礎的研究。農機北支報, **20**: 96-102. 1979
 11. 川村周三, 伊藤和彦ら: 搗精特性に与える玄米物性の影響。北大農邦文紀, **13**: 467-476. 1983
 12. 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
 13. 小林 一, 三輪精博ら: 粳乾燥中における玄米の乾燥歪と胴割に関する研究(1報)特に米粒の断面積の求め方と圧縮試験。農機誌, **37**: 551-556. 1976
 14. 熊谷知栄子, 坂野大義ら: 水分含量の異なる玄米の精米試験。日醸協誌, **73**: 808-810. 1978
 15. KUNZE, O. R., HALL, C. W.: Moisture Adsorption Characteristics of Brown Rice. Trans. ASAE, **10**: 448-450. 1967
 16. 松田英幸, 平山 修: 米貯蔵時における脂質成分ならびに脂質加水分解酵素活性の変化。日農化誌, **47**: 379-384. 1973
 17. 松永暁子, 石田信昭ら: 炊飯過程における糊化度について。日食工誌, **32**: 797-803. 1985
 18. MATTHEWS, J. *et al.*: Relation Between Head Rice Yields and Defective Kernels in Rough Rice. Rice J., **73**: 6-12. 1970
 19. MILLER, B. S., LEE *et al.*: A Rapid, Objective Method to Measure the Degree of Milling of Rice. Cereal Chem., **56**: 172-180. 1979
 20. 満田久輝, 河合文雄ら: 穀類の水中心貯蔵に関する研究(4報)貯蔵中の米の品質変化。栄養食糧, **24**: 216-226. 1971
 21. 森高真太郎: 精白米の貯蔵中の品質変化。日醸協誌, **73**: 690-696. 1978
 22. 長戸一雄: 米粒の硬度分布に関する研究。日作紀, **31**: 102-107. 1962
 23. 長戸一雄: 米の品質について。日作紀, **42**: 238-257. 1973
 24. 日本計量新報調査部: 粉粒体の計量と制御。日本計量新報社計量百科, **12**: 1-136. 1975
 25. 日本精米工業会: 大型精米技術の進歩(1). 1-233. 1975
 26. 日本精米工業会: 大型精米技術の進歩(2). 1-219. 1980
 27. 野白喜久雄, 熊谷知栄子ら: 酒造原料白米の規格設定に関する研究。醸試報, **147**: 1-9. 1975
 28. 野白喜久雄: 精米。日醸協誌, **70**: 89-93. 1975
 29. 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
 30. 岡崎紘一郎, 山下鏡一: 米の食味改善に関する研究(2-2)東北地域における米の食味改善に関する研究結果。農水技術成果, **77**: 28-43. 1974
 31. POMINSKI, J. *et al.*: Increasing Laboratory Head and Total Yields of Rough Rice by Milling at Low Moisture Levels. Rice J., **64**: 11-15. 1961
 32. POMINSKI, J. *et al.*: Effects of Storage Time after Drying on Laboratory Milling Yields of Southern Rice. Rice J., **68**: 20-23. 1965
 33. SHAMS-UD-DIN, *et al.*: On The Meaning of The Degree of Milling of Rice. J. Food Tech., **13**: 99-105. 1978
 34. 渋谷直人, 岩崎哲也ら: 古米化に関する研究(1報)玄米および白米の貯蔵中の変化について。日食工誌, **21**: 597-603. 1974
 35. 清水 浩, 坂井正孝: 曲げ荷重を用いる米粒の力学的性質の探究。農機誌, **36**: 108-114. 1974
 36. 白倉治一: 米の同質異品種群形成に関する諸要素の研究(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
 37. 白倉治一: 米の同質異品種群形成に関する諸要素の研究(2報)登熟気象条件の差異に伴う新潟県主要品種の玄米加工特性の変化。新潟農試報, **19**: 55-67. 1969
 38. 白倉治一, 竹生新治郎ら: 米の同質異品種群形成に関する諸要素の研究(3報)登熟気象条件の差異に伴う新潟県主要品種の食味特性の変化。新潟農試報, **19**: 68-82. 1969
 39. 曾我英介, 高岡祥夫ら: 酒造米の水分と酒造適性(1報)玄米水分と玄米の性状ならびに精米との関係。日醸協誌, **74**: 121-122. 1979
 40. SPADARO, J. J. *et al.*: Rice: Production and Utilization: Milling Department of Food Sci-

- ence and Technology Uni. of CLA. RICE, 360-402. 1979
41. 杉本貞三, 南沢正敏: 米の新・古判定法. 食糧科学技術, **16**: 14-24. 1973
 42. 鈴木一夫, 寺田 優: もみの乾燥およびとう精に関する研究(1報)乾燥温度の影響について. 石川農短大報, **3**: 21-27. 1974
 43. SWAMY, Y. M., BHATTACHARYA: Breakage of Rice during Milling, II Effect of Kernel Defects and Grain Dimension. J. Food Process Engi., **3**: 29-42. 1979
 44. 谷 達雄, 竹生新治郎ら: 穀粒に対する一新MG染色法について(1報)精麦及び精米への応用. 食糧研報, **6**: 75-78. 1951
 45. 谷 達雄, 鹿野忠雄ら: 我国産米の搗精歩留について(6報)人工乾燥が米の搗精におよぼす影響. 食糧研報, **12**: 65-68. 1957
 46. 谷 達雄, 竹生新治郎ら: 低温貯蔵法における米の化学的品質の変化(その1). 栄養食糧, **16**: 436-442. 1964
 47. 谷 達雄: 大型精米工場の現場から. 農業施設誌, **14**: 2-5. 1984
 48. 手塚新一: 米の貯蔵技術とシステム化への問題点. 食品工業, **19**(2): 20-26. 1976
 49. 鶴田 理, 遠藤 勲ら: 米の形態別長期貯蔵に関する研究. 食総研報, **32**: 11-20. 1977
 50. 山元尹男, 大橋幸雄ら: 米の品質測定に関する研究. 富山農試報, **10**: 1-6. 1979
 51. 山崎信藏, 執行盛之: 米の食味改善に関する研究(2-3)北陸地域における米の食味改善に関する研究結果. 農水技術成果, **77**: 44-53. 1974
 52. 山下律也: 「米の胴割れ測定方法の基準」についての提案. 農機誌, **38**: 253-254. 1976
 53. 柳井昭二, 石谷孝佑ら: 玄米の密封系貯蔵における不活性ガスの影響. 日食工誌, **26**: 25-31. 1979
 54. 柳瀬 肇, 谷 達雄: 早期・早植栽培米の品質に関する研究(2部)早期早植栽培の搗精上の品質特性, 主としてグレンパーラーによる試験について. 食糧研報, **20**: 57-65. 1965
 55. 柳瀬 肇, 柳井昭二: 米の食味改善に関する研究(2-7)密封包装と米の食味. 農水技術成果, **77**: 104-116. 1974
 56. 柳瀬 肇, 谷口嘉広ら: 搗精試験における大型工場機種と小型試験機種の比較(1報)1年古米の搗精品質. 食総研報, **30**: 1-9. 1975
 57. 柳瀬 肇, 大和田隆夫: 搗精試験による大型工場機種と小型試験機器の対比(2報)新米の搗精品質. 食総研報, **35**: 1-7. 1979
 58. 柳瀬 肇, 遠藤 勲ら: もち米の品質, 加工適性に関する研究(1報)もち米の性状, 搗精品質ならびに二, 三の貯蔵性. 食総研報, **38**: 1-9. 1981
 59. YASUMATU, K., MORITAKA, S.: Fatty Acid Compositions of Rice Lipid and their Changes during Storage. Agri. Bio. Chem., **28**: 257-264. 1964
 60. 吉沢 淑, 石川雄章ら: 酒造米に関する研究(1報)精米による米質の変化. 日醸協誌, **68**: 614-617. 1973
 61. 吉沢 淑, 石川雄章ら: 酒造米に関する研究(5報)玄米貯蔵による精白米の性質の変化. 日醸協誌, **69**: 625-626. 1974
 62. 吉沢 淑, 百瀬洋夫ら: 酒造米に関する研究(15報)異なる温度で貯蔵した古米の性質の変化. 日醸協誌, **74**: 632-634. 1979

Summary

1. Comparison of Milling Characteristics of Laboratory and Commercial Rice Mills

The milling characteristics of abrasive type and friction type laboratory rice mills, each with different milling actions, were studied and compared against a commercial rice mill (a compass rice milling unit). The following results were obtained:

(1) With the abrasive type mill, the real milling yield and the milling yield were almost identical. With the friction type mill, the milling yield was 0.5~1.5% lower than that of the real milling yield.

(2) As the electric energy consumption increased, the real milling yield decreased by almost the same ration in the abrasive type mill. In the friction type, the real milling yield drastically decreased in the early stages of milling, but the decrease lessened as the milling progressed.

(3) In the abrasive type mill, the amount of broken kernels contained in milled rice was 0.8~1.4%. In the friction type mill, the amount drastically increased from 2.8 to 5.1% as the milling progressed.

(4) The milled rice temperature rose as the milling advanced. At the same real milling yield, the kernel temperature produced by the friction type mill was 5~8°C higher than that of the abrasive type mill.

(5) The above differences between the milling characteristics of the abrasive type and friction type mills are due to their different milling actions;

i. e., in the abrasive type mill, the bran layer (the surface of a grain of brown rice) is removed by the abrasive and grinding action of the rotating emery roller, on the other hand, in the friction type mill, it is exfoliated by the frictional and shearing action caused among grains of rice subjected to external pressure.

(6) Since milling characteristics of the commercial rice mill are similar to those of the friction type mill used for the experiment, the information obtained in this study can be applied to actual operations.

2. Changes in Physicochemical Properties of Brown Rice and the Effect on Milling Characteristics Caused by Storage Conditions and Storage Length

The effects of aging on milling characteristics were studied by storing brown rice for 2 years and 7 months under three different conditions. The following results were obtained:

(1) Aging had no observable effect on the brown rice moisture content.

(2) After storage, the brown rice hardness decreased by 0.5 kgf. The decrease in hardness was considered to have occurred not in the bran layer but mainly in the endosperm.

(3) In milling cooking rice, no effects of aging on milling characteristics were observed; and in milling aged rice to the same degree as newly harvested rice, there was no difference of milling time or electric energy consumption between them.

3. The Effect of Brown Rice Temperature on Milling Characteristics

To understand quantitatively the effect of brown rice temperature on milling characteristics, a milling experiment was performed with kernel temperatures maintained at 10, 20 and 30°C. The following results were obtained:

(1) Brown rice hardness decreased with the rise in temperature. As previously noted, the effect of aging appeared in the endosperm, but that caused

by the change of temperature appeared in the bran layer as well as in the entire endosperm.

(2) Brown rice with low kernel temperature produced much heat when milled, thus the temperature greatly increased. However the absolute value of the temperature of milled rice after the completion of milling was small.

(3) An increase in brown rice temperature caused a decline of hardness; thus, milling time and electric energy consumption decreased, improving milling efficiency. On the other hand, with a decline in brown rice temperature, the rise hardness produced broken kernels less frequently and the whole kernel yield improved.

(4) The effect of brown rice temperature on milling characteristics of the abrasive type mill was smaller than that of the friction type.

4. The Effect of Brown Rice Moisture Content on Milling Characteristics

The quantitative effect of brown rice moisture content on milling characteristics was studied using brown rice with the moisture content adjusted to 14.4%, 15.6% and 16.8% w. b. (10g, whole grain, 135°C, 24hour method). The following results were obtained:

(1) As the moisture content decreased, the hardness increased. The change of hardness occurred both in the bran layer and in the entire endosperm as in the case of a temperature change.

(2) Brown rice with high moisture content did not produce much heat in milling, thus the kernel temperature did not rise to a considerable degree.

(3) When the hardness declined due to an increase in moisture content, milling time and electric energy consumption decreased, improving milling efficiency. On the other hand, the rise hardness due to the decline of moisture content, produced broken kernels less frequently and the whole kernel yield improved.

(4) The effect of brown rice moisture content on milling characteristics of the abrasive type mill was less than that of the friction type mill.