



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	米の搗精と精白米の品質及び食味に関する研究
Author(s)	川村, 周三
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第2248号
Issue Date	1986-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/32753
Type	doctoral thesis
File Information	2248.pdf



米の搗精と精白米の品質
及び食味に関する研究

Studies on Rice Milling, and
Quality and Taste of Milled Rice.

川村周三

Shuso Kavamura

目次

第1章 緒言	1
1-1. 動力精米機の歴史	1
1-2. 精米工場の現況	2
1-3. 搗精及び食味に関する研究	2
1-4. 本研究の目的	3
第2章 精米工場における基礎調査	5
2-1. 調査目的	5
2-2. 調査対象精米工場及び調査項目	5
(1) 調査対象精米工場	5
(2) 精米機の仕様	6
(3) 調査方法	7
2-3. 調査結果及び考察	8
(1) 玄米温度	8
(2) 玄米水分	9
(3) 精白米温度	11
(4) 精白米水分	13
2-4. 要約	14
第3章 搗精特性に関する実験	15
第1節 実験用精米機ならびに実用精米機の搗精特性	15
3-1-1. 実験目的	15
3-1-2. 実験方法	16
(1) 供試精米機	16
(2) 供試試料	19
(3) 搗精実験	19
3-1-3. 実験結果及び考察	23
(1) 搗精度と搗精歩留	23
(2) 消費電力量	25
(3) 異物・碎粒割合	26
(4) 精白米温度	27
3-1-4. 要約	28
第2節 玄米貯蔵条件・貯蔵期間による玄米物理化学特性の変化と 搗精特性への影響	30
3-2-1. 実験目的	30

3-2-2. 実験方法	30
(1) 供試試料及び貯蔵方法	30
(2) 玄米物理化学特性の測定	31
(3) 搗精実験	35
3-2-3. 実験結果及び考察	35
(1) 貯蔵中の玄米温度	35
(2) 貯蔵中における玄米物理化学特性の変化	37
(3) 貯蔵玄米の搗精特性	43
3-2-4. 要約	49
 第3節 玄米温度が搗精特性に与える影響	50
3-3-1. 実験目的	50
3-3-2. 実験方法	50
(1) 供試試料	50
(2) 搗精実験	51
3-3-3. 実験結果及び考察	52
(1) 供試玄米の物理化学特性	52
(2) 摩擦式精米機の搗精特性	53
(3) 研削式精米機の搗精特性	58
(4) 玄米温度が搗精特性に与える影響	59
3-3-4. 要約	60
 第4節 玄米水分が搗精特性に与える影響	61
3-4-1. 実験目的	61
3-4-2. 実験方法	61
(1) 供試試料	61
(2) 搗精実験	62
3-4-3. 実験結果及び考察	63
(1) 供試玄米の物理化学特性	63
(2) 摩擦式精米機の搗精特性	64
(3) 研削式精米機の搗精特性	71
(4) 玄米水分が搗精特性に与える影響	72
3-4-4. 要約	72
 第4章 精白米の品質及び食味に関する実験	74
 第1節 実験用精米機ならびに実用精米機による精白米の 品質及び食味	75
4-1-1. 実験目的	75

4-1-2. 実験方法	75
(1) 供試精米機	75
(2) 供試試料	76
(3) 精白米の品質測定	76
(4) 食味試験	82
4-1-3. 実験結果及び考察	88
(1) 搗精度と搗精歩留	88
(2) 精白米の品質	88
(3) 食味評価	96
(4) 実験用精米機ならびに実用精米機による精白米の品質 及び食味の類似性	100
4-1-4. 要約	100
第2節 搗精方法が精白米の品質及び食味に与える影響	102
4-2-1. 実験目的	102
4-2-2. 実験方法	102
(1) 供試試料	102
(2) 搗精作用割合	103
(3) 搗精方法	104
(4) 精白米の品質測定及び食味試験の実施	104
4-2-3. 実験結果及び考察	104
(1) 研削式精米機の搗精作用割合	104
(2) 精白米の品質	105
(3) 食味評価	113
(4) 最適な研削式精米機の搗精作用割合	116
4-2-4. 要約	116
第3節 搗精前の玄米温度が精白米の品質及び食味に与える影響	118
4-3-1. 実験目的	118
4-3-2. 実験方法	118
(1) 供試試料	118
(2) 搗精方法	119
(3) 精白米の品質測定及び食味試験の実施	119
4-3-3. 実験結果及び考察	119
(1) 搗精特性	119
(2) 精白米の品質	121
(3) 食味評価	122
(4) 搗精前の最適玄米温度	124
4-3-4. 要約	125

第4節 精白米水分が精白米の品質及び食味に与える影響	126
4-4-1. 実験目的	126
4-4-2. 実験方法	126
(1) 供試試料	126
(2) 精白米の品質測定及び食味試験の実施	127
4-4-3. 実験結果及び考察	128
(1) 精白米の品質	128
(2) 食味評価	131
(3) 搗精前の最適玄米水分	136
4-4-4. 要約	138
第5章 米の搗精の合理化に関する考察	139
第1節 玄米条件と搗精特性との関係	139
5-1-1. 目的	139
5-1-2. 結果及び考察	140
(1) 玄米条件と玄米剛度	140
(2) 玄米剛度と搗精特性	145
(3) 最適玄米剛度	150
5-1-3. 要約	150
第2節 精白米の物理化学特性と食味との関係	151
5-2-1. 目的	151
5-2-2. 結果及び考察	151
(1) 精白米の物理化学特性と食味との単純相関分析	151
(2) 精白米の物理化学特性と食味との重相関分析	155
5-2-3. 要約	157
第3節 合理的搗精法	159
5-3-1. 合理的な搗精方法	159
5-3-2. 搗精前の最適玄米温度と玄米水分	162
第6章 総括	165
引用文献	174
S u m m a r y	183

第 1 章 緒 言

1-1. 動力精米機の歴史

我が国における動力精米機の開発は、明治29年にさかのぼる¹¹²⁾。これは、それまで水力または人力にたよっていた臼と杵による精米加工に、動力を導入したものである。しかし、搗き臼による搗精は能率が低いために、アメリカで発明されたエンゲルバーグ動力摩擦式精米機が明治30年に我が国に輸入された⁹³⁾。このエンゲルバーグ精米機は、現在の横型摩擦式精米機の原型となるものである¹⁰⁰⁾。その後まもなく横型摩擦式精米機の国産品も生産されはじめ、改良を重ねつつ、昭和初期までに搗き臼精米機にとって替わった。

一方、研削式精米機は19世紀後半にヨーロッパにおいて開発されたと言われており、これは比較的低速回転の縦型であった⁹⁵⁾。我が国では、高速回転の縦型研削式精米機が明治41年に国産化されており、それ以後さらに研究が進められ、昭和8年前後には酒造用精米に使用されるようになった¹⁰⁰⁾。

精米機は、基本的に上記の二種類に分類され¹²⁵⁾、これらの精米機はそれぞれ異なる搗精作用を持っている。すなわち、研削式精米機が高速で回転する金剛砂ロールの研削及び切削作用により米粒表面を除去するのに対して、摩擦式精米機は米粒に圧力を加え、米粒相互間の摩擦及び擦離作用により糠層及び胚芽を剥離するものである^{41, 70)}。

酒造用精米ならびに精麦に用いられていた研削式精米機が、飯用米に用いられるようになったのは、昭和36年に横型の研削式精米機と摩擦式精米機とを組み合わせた、いわゆるコンパス式精米装置が出現してからである⁹⁵⁾。このコンパス式精米装置は、1番機として研削式精米機を、2, 3, 4番機として摩擦式精米機とを組み合わせ、これらを直列に配置して米を一回通過させるのみで搗精を行う方式である^{47, 157)}。さらに、それぞれの精米機は、ファンを用いて回転軸から円周方向に空気を噴出させ、搗精による温度上昇を抑制するとともに、米粒からの糠離れを促す噴風機能を合わせ持っている。

1-2. 精米工場の現況

従来からの我が国の精米施設は、その多くが米穀配給業務の付属部門として、いわゆる店頭精米の形態をとり、昭和38年当時、動力が10馬力未満の精米機を持つ施設が94%を占めていた¹⁴⁷⁾。そこで食糧庁は、消費者に対する良質精白米の確保と主食である米穀の安定供給のため、昭和38年、39年の両年にわたり50馬力以上の精米機を設置しようとする工場に対して助成措置を行った。さらに食糧庁は、大消費地の精米工場の近代化を積極的に推進し米穀流通機構の改善を計ることを目的に、昭和42年から46年までの5年間に、200馬力以上の精米機を持つ精米工場の設置に対して助成措置を実施した。

その結果、精米機所要動力が50馬力(36.8kW)以上の精米工場は、昭和59年現在で全国に624工場となり、我が国の精白米販売量の58%を供給している。これらの工場の内訳は精米機所要動力が50~100馬力の工場が65.9%、100~200馬力の工場が21.6%、200馬力以上の工場が12.5%である¹⁴³⁾。

コンパス式精米装置は集約された構造で設置面積が小さく、搗精能力が大きいという特徴を持っていることから⁹⁵⁾、これらの精米工場の90%で用いられている。

日本精米工業会では、このように精米機所要動力が50馬力以上で、かつ搗精前後の精選別設備を持つ精米施設をとくに大型精米工場と呼び、在来の店頭精米工場と区別している。

このような精米施設の大型化、近代化とともに、昭和45年から、搗精の前処理として玄米の温度及び水分を調整する、いわゆる玄米調質操作が実用化されており、昭和59年現在で、160カ所の大型精米工場において玄米調質装置が稼働している^{34, 95)}。

1-3. 搗精及び食味に関する研究

米の搗精に関する研究は長い歴史を持ち、昭和15年には、現在の精米機の原型を研究開発した佐竹¹¹²⁾の著書がある。さらに翌年出版された二瓶⁹³⁾の著書には、米の諸性質、精米機の分類と搗精作用及び使用法、精白米の品質判定法などについて論じられている。その後、谷ら^{119, 134, 135, 136, 137, 138)}が我国産米の搗精歩留と玄米の性状およ

び精白米の品質と等級について報告している。また、川村³⁹⁾は搗精時の米粒にかかる圧力の研究を、並河⁹²⁾は研削式精米機の研究を行い、松田⁷⁰⁾は精米機の搗精特性について調査研究している。

しかしながら、精米施設の近代化が押し進められて以降、急速に普及したコンパス式精米装置の搗精特性や搗精方法に関する研究は少なく^{95, 96)}、玄米調質操作が普及しつつあるにもかかわらず、玄米の温度や水分が搗精特性に与える影響を定量的に調査した例はわずかである^{95, 128)}。

我が国における一人当たり一年間の精白米の消費量は、昭和37年の118.3kgをピークに減少傾向にあり、昭和58年では75.7kgとなった¹⁵⁰⁾。しかしながら、これは、日本人の米に対する嗜好離れを示すものではなく、食品が多様化し食事の副食が豊かとなったことにより、食生活が小量多食へと変化したことを示すものである。そのため、近年、米に対する消費者の関心は量から質へと変わりつつあり、とくに食味についての関心が高まりつつある。

米の食味を左右する要因は、農林省食糧研究所（現農林水産省食品総合研究所）によれば¹⁰⁴⁾、①品種、②産地、③気候、④栽培方法、⑤農薬、⑥収穫、⑦乾燥、⑧貯蔵、⑨燻蒸、⑩搗精、⑪浸漬、⑫炊飯器、⑬蒸らしなどが挙げられている。これらの要因のうち、米の品種、産地、気候、栽培条件などが食味に与える影響については、従来から数多くの研究で取り上げられて来た^{10, 13, 45, 55, 66, 121, 122, 170, 173, 174)}。しかしながら、搗精と食味とを関連づけて論じた報告はわずかである⁸¹⁾。

1-4. 本研究の目的

前述したように、精米工場は大型化、近代化されつつあるものの、搗精と精白米の品質及び食味とを対比して検討された最適搗精方法や、搗精のための最適玄米温度、水分条件等に関する技術については、いまだに明確にされていない。このような現況に鑑み、筆者は米の搗精の合理化を目的に、搗精と精白米の品質及び食味に関する研究に着手した。

本研究は、まず、大型精米工場における搗精の実態を知るために、4カ所の工場で基

礎調査を行った。そして、コンパス式精米装置を構成する研削式精米機及び摩擦式精米機の搗精特性を明らかにし、同時に実験に用いたこれらの精米機と実用大型精米機との搗精特性を比較検討した。その上で、搗精前の玄米条件として玄米の貯蔵による古米化、玄米温度、水分などを取り上げ、これらが搗精特性に与える影響を調べた。

つぎに、搗精作用の異なる研削式精米機及び摩擦式精米機とによる精白米の品質及び食味について、物理化学特性の測定と官能検査とを通して明らかにし、これらを組み合わせた際の搗精方法について検討した。そして、搗精前の玄米温度や精白米の水分が精白米の品質及び食味に及ぼす影響を究明した。

最後に、本研究で得た結果をもとに、搗精と精白米の品質及び食味から総合的に考察し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温度、玄米水分とについて検討を加え、合理的に搗精を行うための基礎資料を提示した。

本研究を実施するに当たり、終始懇篤な御指導を賜り、本論文の主査として多くの御助言をいただいた北海道大学農学部教授 池内 義則 博士に心から深謝する次第である。さらに、本論文全般にわたって副査として御校閲をいただき、極めて有益な御助言を賜った同学部教授 南部 悟 博士ならびに堂腰 純 博士に心からの謝意を表す。また、本研究の御指導と御助言ならびに副査として本論文に貴重な御指摘を数多く下さった同学部助教授 伊藤 和彦 博士に深く感謝の意を表す。

実験の実施ならびに論文のとりまとめにおいて多くの御協力をいただいた同学部助手 松田 従三 博士、及び卒業論文として本研究と同内容の課題を選択し、ともに協力して実験を行った同学部農畜産加工機械学教室の多くの卒業生のみなさんに、心から感謝の意を表す。また、日頃から親身な御援助をいただいた、同教室事務官 町野 英子 氏ならびに大学院生のみなさんに感謝の意を表す。

さらに、精米工場における調査を快諾され、長期間にわたる調査に御協力いただいたホクレン札幌ライスステーション、(株)北海道中央食糧、小樽米穀(株)には心からの謝意を表す。

第2章 精米工場における基礎調査

2-1. 調査目的

精米工場では、冬期の低温時に搗精が困難であることや、玄米水分のばらつきにより均質な搗精を行いつらく、とくに低水分玄米は搗精が困難であることが指摘されている⁹⁵⁾。そこで本研究を行うにあたり、大型精米工場における原料玄米の温度、水分および搗精時の温度、水分についての状況を知り、よって研究室における実験の資料として、また考察の参考とする目的で、基礎調査を4年間にわたり継続した。

2-2. 調査対象精米工場及び調査方法

(1) 調査対象精米工場

調査対象精米工場として、札幌市周辺に位置する次の4カ所の大型精米工場を選択した。

① ホクレン札幌ライスステーション菊水工場

当工場は、精米工場とこれに隣接する原料玄米貯蔵倉庫（貯蔵能力は玄米で30000俵）により構成されている。精米装置は佐竹製作所製コンパス式精米装置CP4A型（所要動力80馬力）が2組設置されている。これにより当精米工場は、1日当たり玄米で約1000俵（60トン）の処理能力を持っている。

なお、当精米工場は昭和56年8月に操業を打ち切り、その業務を次に述べる大曲工場に引き継いだ。

② ホクレン札幌ライスステーション大曲工場

当工場は、コングスキルド社製の木製サイロ24基（1基当たり貯留能力30トン）を玄米貯蔵サイロとして持ち、同時にこれを用いて玄米調質を行っている。精米装置は佐竹製作所製コンパス式精米装置CP4C型（80馬力）が1組と、CP6B型（150馬力）が2組設置されている。これにより当精米工場は、1日当たり玄米で約2500俵（150トン）の処理能力を持っている。

③ 北海道中央食糧精米工場

当工場は、コングスビルド社製の木製サイロ8基により玄米調質を行っている。精米装置は佐竹製作所製コンパス式精米装置CP6A型(150馬力)が2組設置されている。これにより当精米工場は、1日当たり玄米で約2000俵(120トン)の処理能力を持っている。

④ 小樽米穀精米工場

当工場は、のむら産業株式会社製の調質装置により玄米調質を行っている。精米装置は佐竹製作所製コンパス式精米装置CP4A型(80馬力)が2組設置されている。これにより当精米工場は、1日当たり玄米で約1000俵(60トン)の処理能力を持っている。

(2) 精米機の仕様

Table 1に、上記精米工場で用いられているコンパス式精米装置(Compass rice milling unit)の仕様を示した。

Table 1. Specifications of commercial rice milling system
(Compass rice milling unit).

	Model CP4 A, B and C type			Model CP6 A and B type		
	Power HP	kW	rpm	Power HP	kW	rpm
1st (Abrasive type) mill	15	11	900	30	22	870
1st (Abrasive type) mill*	20*	15*	1100*	30	22	1100*
2nd (Friction type) mill	25	18	700	50	37	680
3rd (Friction type) mill	20	15	670	40	29	620
4th (Friction type) mill	15	11	670	30	22	620
Total power, HP	75	55		150	110	
Total power, HP*	80*	59*		150	110	
Processing capacity, Ton/Hour(brown rice)	from 4 to 4.5			from 6 to 8		

* indicates special model for a cold district such as Hokkaido.

Table 1 に示したように、コンパス式精米装置にはCP4型とCP6型とがある。所要動力はそれぞれ75馬力、150馬力であり、後者は前者の約2倍の処理能力を持っている。CP4型またはCP6型におけるA,B,Cのタイプは、玄米ホッパなどの付帯設備が異なるのみで、精米機本体は同一のものである。

表中において*で示したものは、北海道のような寒冷地向けに作られた機種である。すなわち、寒冷地では冬期間は玄米温度が低下し搗精能力が低下することから、この対応のため、1番機の回転数を高くし、所要動力を増加させて搗精を行おうとするものである。なお、CP6型ではモータの容量が大きいため、このままの動力で回転数を高くすることが可能である。

(3) 調査方法

調査は搗精前の原料玄米の穀温及び水分について、また搗精中の精白米の穀温及び水分について行った。

① 玄米温度

玄米温度は、精米機張り込み前または玄米調質前の玄米について20点以上を測定した。すなわち、玄米貯蔵倉庫内の玄米、トラックにより輸送された直後の玄米、玄米張り込み口にて麻袋またはフレキシブルコンテナより取り出された玄米の温度を測定し、同時に外気温度及び倉庫内温度を測定した。

温度測定には、横河電機製作所製ポケットサーモメータTYPE2541（精度0.1℃）を用いた。

② 玄米水分

玄米水分は、玄米温度測定と同時に玄米を採取し、20点以上について測定した。

水分測定法は、農業機械学会の提唱する方法^{154, 156)}（10g, 粒, 135℃, 24時間法）に従った。すなわち、試料10g±1gを粒のままアルミ秤量缶に採取し1mgの精度の天秤で精秤し、135℃±2℃に設定したオーブン内で24時間乾燥して水分を算出し、湿量基準で表した。

③ 精白米温度

精白米温度は、コンパス式精米装置を構成する4台の精米機の精白米排出口から流れ

出る精白米の中に、ポケットサーモメータの温度センサーを置き測定した。

④ 精白米水分

精白米水分は、同じく4台の精米機の精白米排出口から流れ出る精白米をそれぞれ4点ずつサンプリングし、10g, 粒, 135℃, 24時間法により求めた。

なお、本研究において、玄米及び精白米の水分は原則としてこの方法により測定を行い、湿量基準で表した。これ以外の測定法により求められた水分値には、その測定法を付記して表した。

2-3. 調査結果及び考察

(1) 玄米温度

Table 2に精米工場において測定した玄米温度を示した。

Table 2によれば、調査した範囲内で、玄米温度は冬期には最低-3.0℃となり、夏期には最高26.2℃に達することを知った。これにより年間を通しての玄米温度差は、約30℃であることが認められた。

このような玄米温度の変動は、精米機張り込み前の玄米温度が輸送中や貯蔵中に外気温度からの影響を大きく受けることを示している。本調査において、冬期の低温玄米は搗精が困難であり、精米工場始業時には玄米、精米機、工場内が低温のために、とくに搗精を行いつらいという話を聞いた。

Table 2. Brown rice temperature measured at two rice milling plants, °C.

	Dec.21	Mar.15	May 7	Jan.8	Mar.7	Jul.21	Mar.5	Jul.16
Survey date	1978	1979	1979	1980	1980	1980	1982	1982
Survey place	HRSK	HRSK	HRSK	HRSK	HRSK	HRSK	HRSO	HRSO
Open air temperature	-4.5	-1.1	14.3	-7.7	5.9	24.1	1.1	19.2
Storehouse temp.	6.0	3.1	12.6	1.6	4.7	22.1	--	--
Ave. of kernel temp.	2.6	3.1	11.1	1.0	3.3	21.3	1.8	23.2
Standard deviation	1.87	1.54	0.37	2.20	0.56	0.51	1.62	1.85
Max. of kernel temp.	4.9	7.0	11.8	3.2	4.4	22.4	4.1	26.2
Min. of kernel temp.	-0.9	0.5	10.4	-3.0	2.3	20.7	0.1	21.0

HRSK=Hokuren Sapporo Rice Station at Kikusui, HRSO=Hokuren Sapporo Rice Station at Oomagari.

(2) 玄米水分

米の水分測定法は、本研究で用いた方法の他に、10g,粒,105℃,24時間法、5g,粉碎,105℃,5時間法及び電気抵抗式水分計を用いる方法などがある。食糧事務所や精米工場では簡易法として電気抵抗式水分計、例えばケット科学研究所製デジタル米麦水分計PB-1Dなどを用いる場合が多い²⁸⁾。そこで調査に先立ち、本研究で採用した10g,粒,135℃,24時間法と、他の2種類の水分測定法とによって測定した水分値の関係を調べ、異なる測定法で求めた水分値の比較の参考とした。

Fig. 1 に、10g,粒,135℃,24時間法、10g,粒,105℃,24時間法及び上記の電気抵抗式デジタル米麦水分計を用いた方法で、それぞれ求めた水分値の関係を示した。また、それぞれのデータから最小二乗法により直線回帰式を求めた。

この回帰式は実測値とよく一致しており、これによれば、135℃法により求めた玄米水分値から約1.7%または約1.1%を差し引くことにより、それぞれ105℃法、ケット水分計により測定した玄米水分値に換算できることが認められた。なお、135℃法により得た玄米水分値から1.0%を差し引くことにより、食糧庁が実施している5g,粉碎,105℃,5時間法による水分値に換算できることが確かめられている¹⁵⁴⁾。

Table 3 に精米工場において測定した玄米水分を示した。

調査した範囲内で玄米の最高水分は、1978年北海道産「ともゆたか」2等玄米及び1979年青森県産「ムツホナミ」1等玄米の16.8%であり、最低水分は1978年北海道産「イシカリ」1等玄米の14.7%であり、それらの水分差は2.1%であった。また、1979年8月18日のホクレンライスステーション菊水工場における調査例が示すように、1978年北海道産「ユーカラ」2等玄米は同一生産年、産地でありながら水分差は1.6%であった。

日本精米工業会が1976年宮城県産「ササニシキ」の玄米水分について調査した例⁹⁶⁾では、平均水分が14.6%（ケット水分計による測定値）、最低水分が13.4%、最高水分が16.0%であり、その差は2.6%であった。

酒造用玄米に関する水分調査では¹⁸¹⁾、最高水分は1976年産「トヨニシキ」3等玄米の16.4%（2g,粉碎,135℃,3時間法による測定値）、最低水分は1978年産「日本晴」1等玄米の13.4%であり、その水分差は3.0%であったと報告されている。

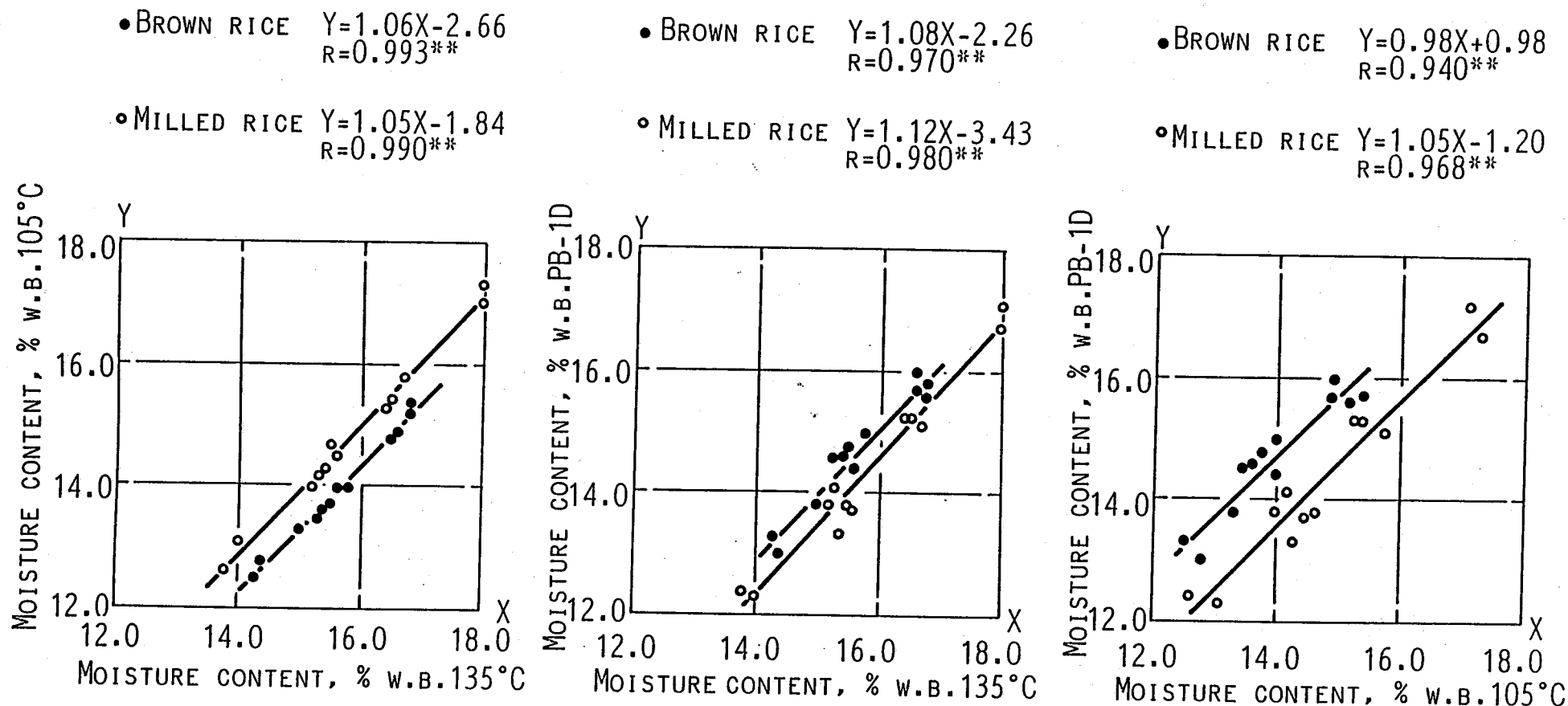


Fig. 1. Regression lines between three methods for measuring moisture content.
Method 135°C; Moisture content was determined in accordance with SAMJ(The Society of Agricultural Machinery, Japan) method (1975) by drying whole kernel of about 10g($\pm$ 1g) for 24 hour in an oven at 135°C($\pm$ 2°C).

Method 105°C; Moisture content was determined by drying whole kernel of about 10g($\pm$ 1g) for 24 hour in an oven at 105°C($\pm$ 1°C).

Method PB-1D; Moisture content was determined by using a digital moisture meter made by Kett Laboratory Co. Ltd..

** indicates the significance at the 1% level. $r(10,1\%)=0.708$

近年、穀物乾燥機は自動制御が進み、電気抵抗式や誘電率式の自動水分計の精度は設定値の1%以内とされている^{7, 38)}。しかしながら、実際には、乾燥終了後の玄米水分はかなりのばらつきを示していることを知った。

水分の異なる玄米を同時に搗精することは、むら搗きの原因となり、これは精白米の外観を悪化させる一因となる。

Table 3. Brown rice moisture contents measured at three rice milling plants, % w.b. 135°C.

	Nov.14	Mar.1	Jul.3	Aug.18	Feb.7	Jul.21	Jul.16
Survey date	1978	1979	1979	1979	1980	1980	1982
Survey place	HRSK	HRSK	OTB	HRSK	HRSK	HRSK	HRSO
Average of M.C.	15.7	15.2	16.0	15.9	16.3	15.6	16.1
Standard deviation	0.53	0.20	0.66	0.40	0.33	0.45	0.25
Maximum of M.C.	16.8	15.9	16.3	16.5	16.8	16.5	16.4
Production place	Hokkaido	Toyama	Yamagata	Hokkaido	Aomori	Miyagi	Akita
Crop year	1978	1978	1978	1978	1979	1979	1981
Rice variety	Tomo-yutaka	Koshi-hikari	Sasa-nishiki	Yuu-kara	Mutsu-honami	Sasa-nishiki	Sasa-nishiki
Rice grade	2	1	1	2	1	1	2
Minimum of M.C.	14.7	15.3	15.4	14.9	15.7	15.0	15.5
Production place	Hokkaido				Hokkaido		Hokkaido
Crop year	1978	Same	Same	Same	1979	Same	1981
Rice variety	Ishi-kari	as above	as above	as above	Ishi-kari	as above	Yuu-kara
Rice grade	1				2		1

HRSK=Hokuren Sapporo Rice Station at Kikusui, OTB=OTaru Beikoku, HRSO=Hokuren Sapporo Rice Station at Oomagari.

(3) 精白米温度

Table 4 に搗精中の精白米の温度を示した。

玄米調質を行わない場合の搗精終了直後の精白米温度は、玄米温度の影響を受けて変化した。冬期間に0℃近くの玄米を搗精すると、穀温は約30℃上昇し精白米温度は30℃近くとなった。一方、夏期間に30℃近くの玄米を搗精すると、穀温は約20℃上昇し精白

米温度は50℃近くとなった。しかし、玄米調質を行った場合には、玄米温度は年間を通してほぼ一定であり、搗精終了時の精白米温度は35℃から40℃となり、季節による変動はほとんど認められなかった。

1982年7月16日の調査例のように、21.9℃の調質玄米を搗精すると、穀温は16.7℃上昇して精白米温度が38.6℃となった。同様に1980年7月21日の例のように、21.8℃の無調質玄米を搗精すると、穀温は22.9℃上昇して精白米温度が44.7℃となった。これらの例から、調質玄米は、同一穀温の無調質玄米に比べて、穀温上昇が小さいことが認められた。これは、玄米の調質により穀温とともに水分も調整されるため搗精が容易となり、搗精による発熱が抑制されたことによるものである。

精白米温度の調査から、玄米の調質により年間を通して均質な搗精を行うことが可能となることが確認された。

Table 4. Milled rice temperature of various milling stages measured at four rice milling plants, °C.

	Dec.21	Jul.3	Jul.3	Aug.18	Jul.21	Mar.6	Mar.5	Jul.16	Dec.9
Survey date	1978	1979	1979	1979	1980	1981	1982	1982	1982
Survey place	HRSK	HRSK	OTB	HRSK	HRSK	HRSK	HRSO	HRSO	HCS
Open air temp.	-4.5	16.0	--	28.5	24.1	-3.2	1.1	19.2	--
Milling plant temp.	23.0	18.6	19.0	27.0	25.5	18.3	20.0	24.0	24.0
Brown rice temp.	0.9	19.8	25.5	29.7	21.8	2.2	20.8	21.9	22.7
Temp.after 1st mill	12.6	26.9	29.3	36.2	30.9	11.5	26.3	27.0	26.2
Temp.after 2nd mill	21.1	32.8	34.3	40.3	37.5	18.8	32.3	32.9	33.8
Temp.after 3rd mill	27.1	37.5	37.4	44.5	42.2	25.5	35.9	36.0	37.0
Temp.after 4th mill	30.9	42.0	40.6	51.6	44.7	30.2	37.5	38.6	37.7
Risen temperature	30.0	22.2	15.1	21.9	22.9	28.0	16.7	16.7	15.0
Rice conditioning	No	No	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes

Risen temperature is calculated by difference between brown rice temperature and temperature after 4th mill.

HRSK=Hokuren Sapporo Rice Station at Kikusui, OTB=OTaru Beikoku, HRSO=Hokuren Sapporo Rice Station at Oomagari, HCS=Hokkaido Chuuo Shokuryo.

(4) 精白米水分

Table 5 に搗精中の精白米の水分を示した。

搗精終了直後の精白米水分は、調査した範囲内では、最高が16.6%であり最低が15.8%であり、その差は 0.8%であった。この精白米の水分差は、原料玄米のそれと比較すると小さい。これは、搗精前の混米または玄米調質等により水分差が小さくなったと考えられる。

調質を行った玄米を搗精した場合、水分減少量は0.3~0.4%であった。一方、無調質の玄米を搗精した場合、水分減少量は0.0~0.2%であった。これは、調質により添加された水分は、米粒の糠層、胚芽などの外周部に多く存在し、そのため搗精による水分減少量が大きくなったと思われる。

Table 5. Milled rice moisture content of various milling stages measured at four rice milling plants, % w.b. 135°C.

	Mar.1	May 7	Jun.11	Jul.3	Jul.3	Jul.4	Mar.6	Jul.16	Dec.9
Survey date	1979	1979	1979	1979	1979	1979	1981	1982	1982
Survey place	HRSK	HRSK	HRSK	HRSK	OTB	HCS	HRSK	HRSO	HCS
Brown rice M.C.	—	—	—	15.9	16.8	16.4	16.4	16.4	16.7
M.C.after 1st mill	16.3	16.2	16.1	15.9	16.9	16.3	16.6	16.6	16.8
M.C.after 2nd mill	16.3	16.1	16.0	15.9	16.8	16.3	16.6	16.5	16.8
M.C.after 3rd mill	16.3	16.1	16.0	15.9	16.6	16.1	16.6	16.3	16.6
M.C.after 4th mill	16.2	16.1	15.9	15.8	16.5	16.0	16.6	16.3	16.6
M.C. reduction	0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.3	0.0	0.3	0.3
Rice conditioning	No	No	No	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes

Moisture content reduction was calculated by difference between M.C. after 1st mill and M.C. after 4th mill.

HRSK=Hokuren Sapporo Rice Station at Kikusui, OTB=OTaru Beikoku, HRSO=Hokuren Sapporo Rice Station at Oomagari, HCS=Hokkaido Chuuo Shokuryo.

2-4. 要約

大型精米工場における搗精前及び搗精時の状況を知り、よって研究室における実験の基礎資料とするために、原料玄米の温度、水分ならびに精白米の温度、水分に関する調査を行った。その結果、次のことが確認された。

- (1) 搗精前の玄米温度は冬期間には氷点下、夏期間には30℃近くとなり、季節による変動が約30℃であった。
- (2) 原料玄米の水分は、調査した範囲内では最低水分が14.7%、最高水分が16.8%であり、水分差は2.1%であった。
- (3) 玄米から精白米への穀温上昇は、無調質玄米を搗精した場合、季節によって異なり、調査した例では、冬期間には穀温が0℃から30℃へと上昇し、夏期間には30℃から50℃へと上昇した。しかし、調質玄米の搗精による穀温上昇は季節による変動はなく、穀温はおよそ22℃から38℃へと上昇した。
- (4) 搗精後の精白米水分差は、原料玄米水分差に比較して小さかった。搗精による水分減少量は、調質玄米で約0.3%であり無調質玄米で約0.1%であった。

第3章 搗精特性に関する実験

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・碎粒、搗精歩留（見掛搗精歩留）、搗精度（真搗精歩留）及び完全粒歩留などによって表される精米機の特性である。

本章では、実験に用いた小型精米機と実用大型精米機の搗精特性を明らかにし、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、玄米温度及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ことを目的に、実験を実施した。

第3章 第1節

実験用精米機ならびに 実用精米機の搗精特性

3-1-1. 実験目的

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^{164, 165)}による報告のみである。

既述したように、大型精米工場の実用精米機は、研削式精米機及び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及び摩擦式精米機とを選んだ。

本節の目的は、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。

3-1-2. 実験方法

(1) 供試精米機

① 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パス式精米装置CP4C型を選んだ。本精米装置は、1番機として所要動力が15kW、回転数が1100rpmの噴風研削式精米機、2,3,4番機としてそれぞれ18kW,700rpm、15kW,670rpm、11kW,670rpm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。

Fig. 2は実用精米機として用いられている噴風研削式精米機を、Fig. 3は同じく噴風摩擦式精米機の断面図を示した。

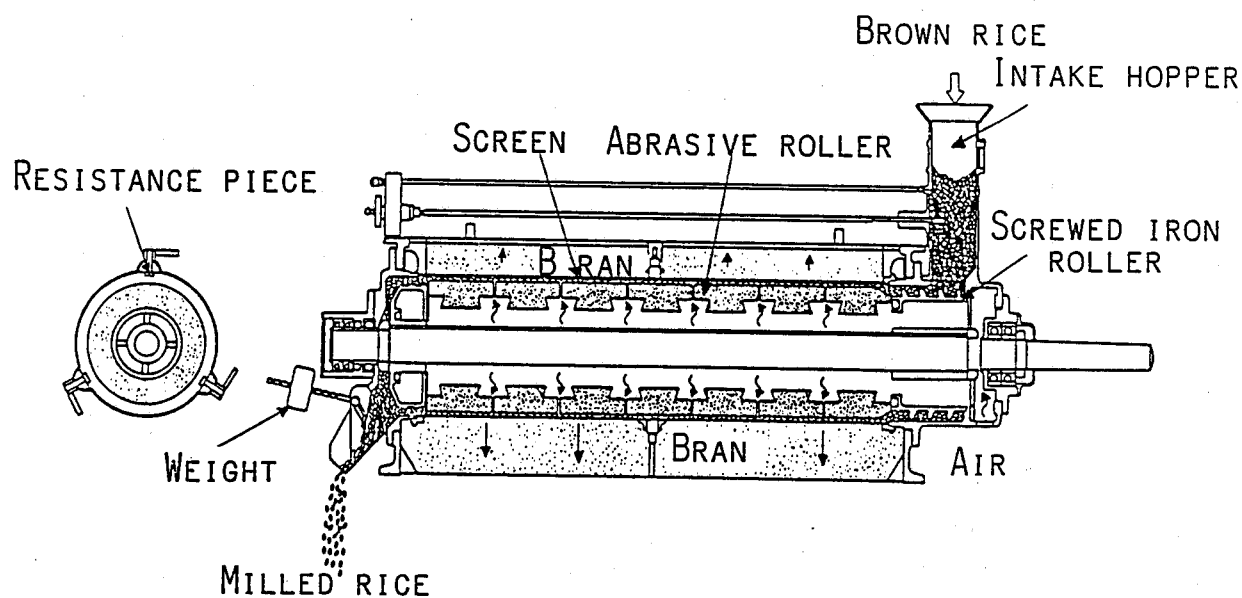


Fig. 2. Abrasive type commercial rice mill.

Fig. 2 及び Fig. 3 において、ホッパから供給された玄米はスクリーローラにより排出口へ圧送される。一方、排出口には分銅抵抗がかけられ、搗精室内の米粒へ圧力を加える。研削式精米機は、搗精室を形成するスクリーンは円柱形で、内部に米粒を攪拌するための突起を持っている。摩擦式精米機は、スクリーンは六角柱で搗精ローラは排出口から見て時計回りに回転する。

両精米機ともファン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、米粒及びスクリーンからの糠離れを促す噴風機能を持っている。

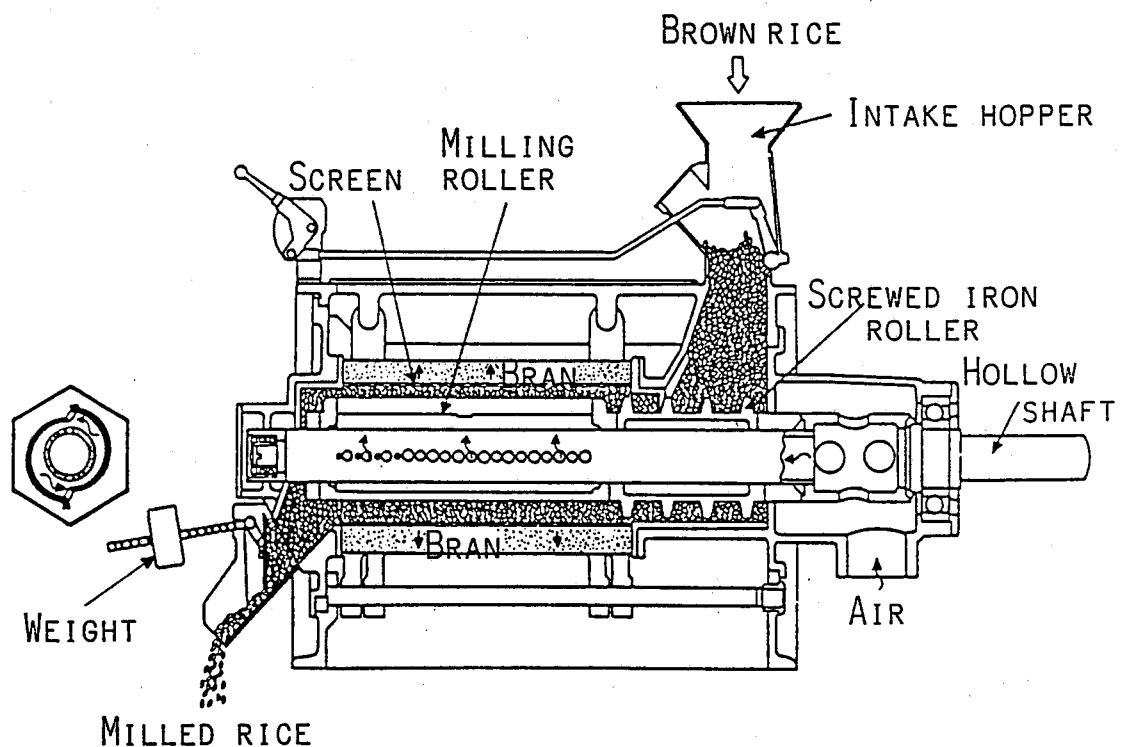


Fig. 3. Friction type commercial rice mill.

② 実験用精米機 (Laboratory rice mill)

i 研削式精米機 (Abrasive type mill)

Fig. 4 に実験に用いた研削式精米機 (佐竹製作所製試験用搗精機 TM-05 型) を図示した。本精米機の所要動力は 0.4kW であり、金剛砂ロールは 30, 36, 40, 60 メッシュにそれぞれ交換可能である。さらに、プー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。

本精米機には、Fig. 2 に示した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、本精米機は標準で玄米 150~200 g を 1 回分とするパッチ式であり、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。

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 200g、金剛砂ロールの粒度は 40 メッシュ、ロール回転数は 1230rpm を選んだ。

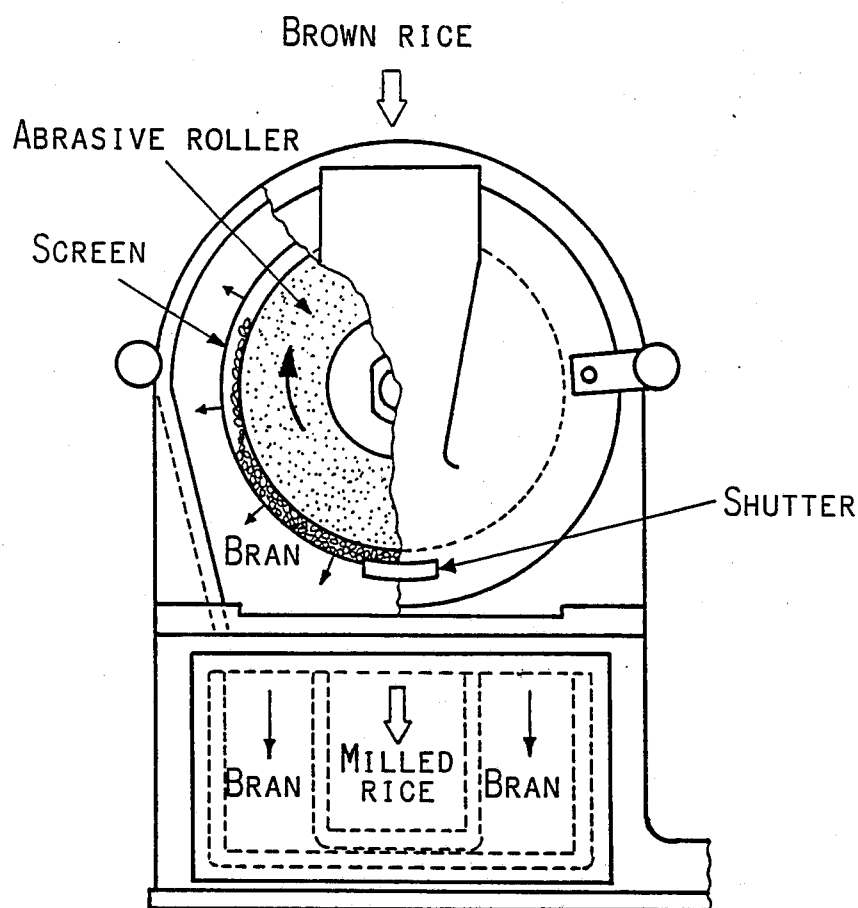


Fig. 4. Abrasive type laboratory rice mill.

ii 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プスMCM-250型である。本精米機は、Fig. 3に示した実用摩擦式精米機と、搗精能力及び送風機能とを除いて同様な構造を持っている。

本機の所要動力は0.25kWであり、ロール回転数は1500rpmである。本機の処理能力は1時間当たり玄米で20~25kgである。玄米ホッパ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4.0cm²、最も閉じた場合の開口面積は1.2cm²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、最も支点（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11.0gf/cm²、同じく1と12とでは22.6gf/cm²、10と12とでは34.2gf/cm²である。

実験は、供試玄米を研削式精米機と同一の200g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に良く一致するため^{152, 165)}、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⁹⁵⁾。

(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

Fig. 5に、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示した。

① 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玄米水分、玄米温度、玄米貯蔵期間や貯蔵条件の調整、設定及び測定を行う。

玄米水分は10g,粒,135℃,24時間法により測定し、湿量基準で表した。

② 搗精時の環境調整

搗精時の精米機及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及び実験室の温度とに差が生じないように、搗精を行う季節や時刻を選定し、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⁴²⁾、精米機のロール温度が搗精特性に大きな影響を与える¹⁶²⁾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。

③ 搗精特性測定

i 搗精時間 (Milling time)

搗精に要した時間をストップウォッチ用いて測定し、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。

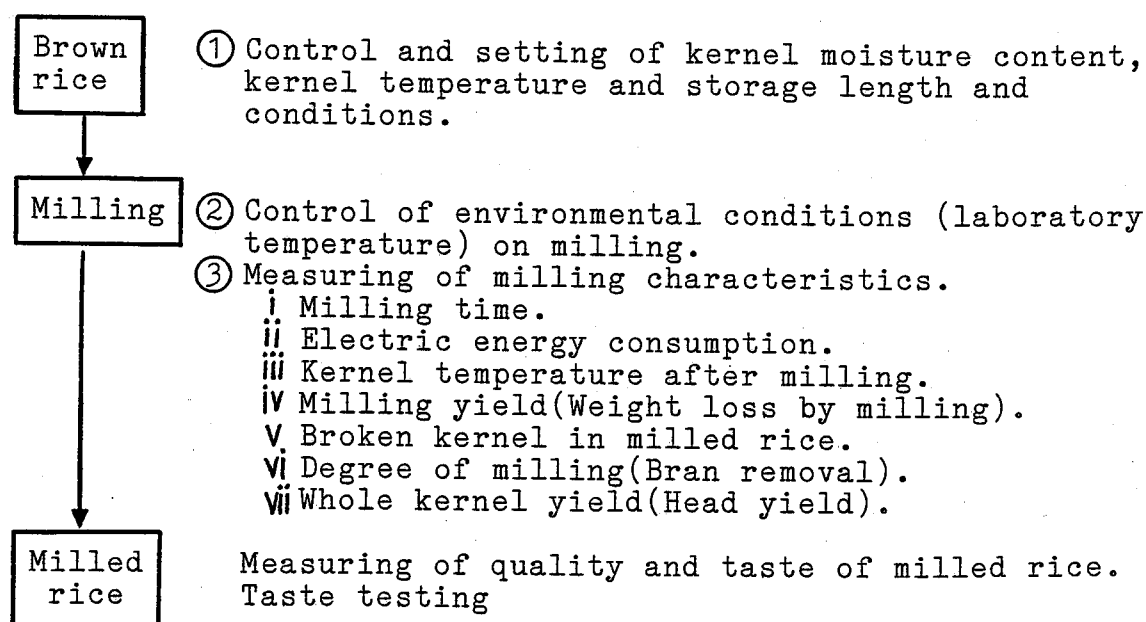


Fig. 5. Schematic flowchart for procedure of milling experiment.

ii 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、これと搗精時間から消費電力量を算出した。

実用精米機では、三相交流200Vの電動機を用いているため、JIS・C4201により力率を83%とし、次式により消費電力を求め、これと米の流量から消費電力量を算出した。

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta$$

ここに、Pは三相消費電力、Vは電圧、Iは電流、 $\cos \theta$ は力率=0.83である。

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60kgあたりに換算して表した。

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、同一搗精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。

iii 精白米温度 (Milled rice temperature)

搗精直後の精白米約180g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。

iv 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²⁶⁾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。

$$\text{搗精歩留 (見掛搗精歩留)} = \text{精白米重量} \div \text{玄米重量} \times 100 \quad [\%]$$

v 異物及び碎粒 (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 $\frac{1}{4}$ 未満の精米粒および穀粒を除いた他のものをいい、碎粒とはその大きさが完全粒の $\frac{1}{4}$ から $\frac{1}{2}$ 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1.7mmの縦目篩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篩振盪機を用いた。さらに碎粒は、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、手選別した碎粒割合と最も近い値を示す条件として、ホッパ角度は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。

vi 搗精度 (Degree of millig)

搗精度は、玄米からの糠層除去の程度 (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²⁸⁾、NMG染色法による方法^{99, 133)}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⁷⁶⁾ことから、本研究では真搗精歩留をもって搗精度とした。搗精度は次式により求めた。

$$\text{搗精度 (真搗精歩留)} = \text{精白米千粒重} \div \text{玄米千粒重} \times 100 \quad [\%]$$

vii 完全粒歩留 (Whole kernel yield or Head yield)

完全粒歩留は、玄米重量に対する異物・碎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。

$$\text{完全粒歩留} = (\text{精白米重量} - \text{異物・碎粒重量}) \div \text{玄米重量} \times 100 \quad [\%]$$

搗精の程度を表現するには、以上に述べた搗精歩留、搗精度及び完全粒歩留がある。これらの三種類の搗精程度の表現法は、実験の目的により使い分けることが望ましい。

すなわち、精米機や異なる玄米の搗精特性を判断するには、搗精歩留及び完全粒歩留が、また精白米の物理化学特性をそれぞれ比較するには、搗精度を基準として考察することが適していると考えられる。

なぜならば、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) や搗精による異物・碎粒の発生 (完全粒歩留) を基準に考察を進める必要があり、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 (搗精度) を持つ精白米に関して考察を進める必要があるからである。

一般に精米工場では、搗精度の測定は行われることが少なく、搗精歩留または異物・碎粒選別後の製品歩留 (これが本来の意味でのHead rice yieldであるが、本研究では製品歩留=完全粒歩留とする。) 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。

3-1-3. 実験結果及び考察

(1) 搗精度と搗精歩留

Fig. 6 に搗精度と搗精歩留との関係について表した。

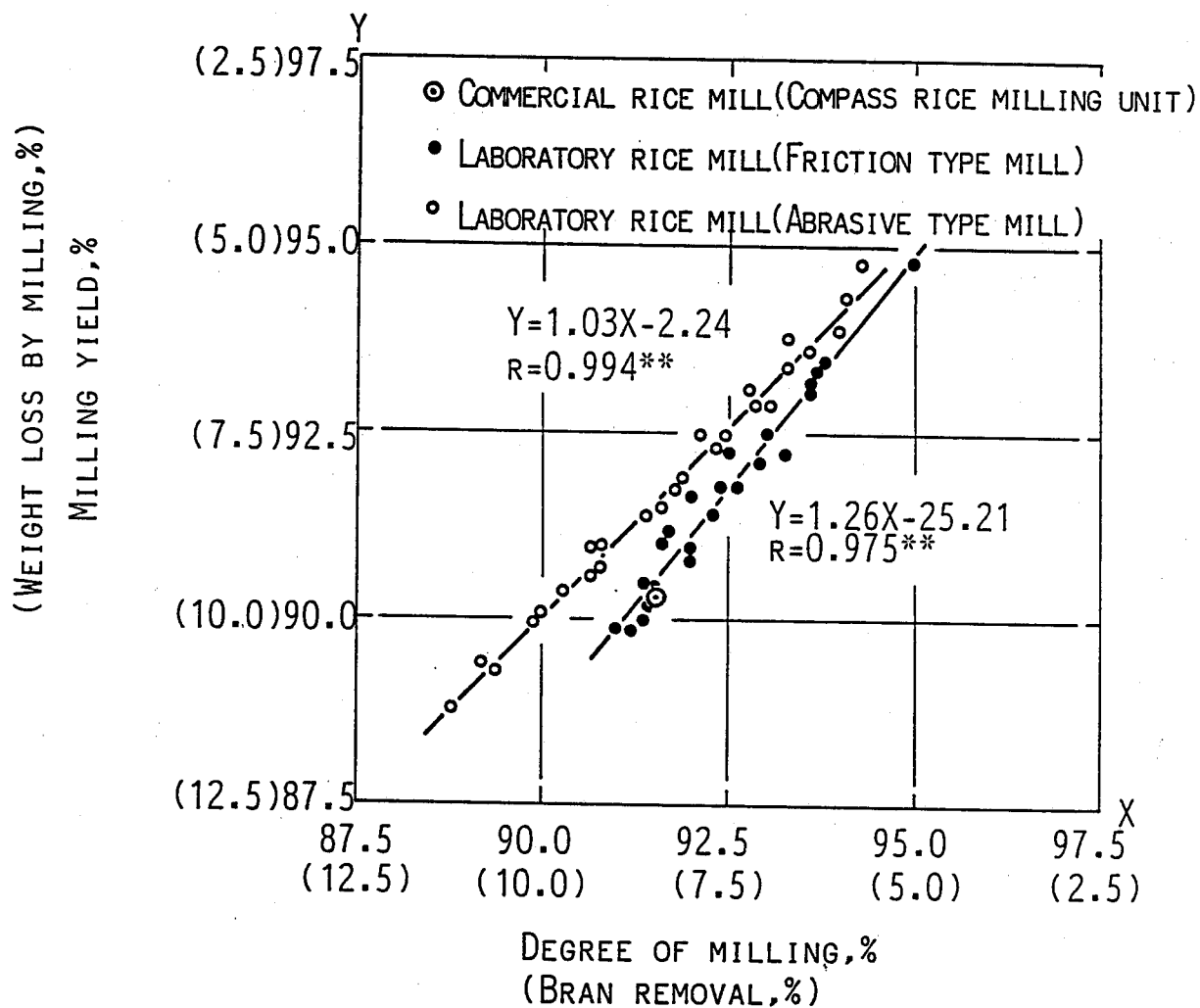


Fig. 6. Regression lines between degree of milling and milling yield for the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

** indicates the significance at the 1% level.
 $r(24, 1\%)=0.496$

搗精度と搗精歩留とは、測定した範囲内では直線関係にあると見なされ、研削式精米機及び摩擦式精米機それぞれの搗精度と搗精歩留との回帰式を、最小二乗法により求めると、

研削式精米機では

$$Y = 1.03X - 2.24 \quad r = 0.994^{**}$$

摩擦式精米機では

$$Y = 1.26X - 25.21 \quad r = 0.975^{**}$$

ここに、 X は搗精度、 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。

となり、これ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、搗精度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、搗精歩留は搗精度より0.5~1.5%低い値を示した。しかもその差は搗精度が低下するにともない増加し、搗精度91.0%に対して搗精歩留は89.5%とであった。

一方、実用精米機の搗精度と搗精歩留との関係は、Fig. 6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、搗精度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、搗精度と搗精歩留とに関して、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。

搗精度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。従って、この差は後に述べる搗精による異物・砕粒の発生と関係がある。すなわち、異物・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、搗精度と搗精歩留とはほぼ同じ値を示す。一方、研削式精米機より異物・砕粒の発生が多く、搗精度が低下するにともない異物・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、その微砕粒の割合に応じて搗精歩留が搗精度より低い値を示すこととなる。

(2) 消費電力量

Fig. 7 に精米機の消費電力量と搗精度との関係を示した。

Fig. 7 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搗精度が低下する。一方、摩擦式精米機では、搗精初期には急速に搗精度が低下するが、搗精が進むにともない搗精度の低下は漸減し、消費電力量増加に対し搗精度が90～91%でその低下がわずか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.¹¹⁵⁾ も、本研究と同様な結果を得ており、摩擦式精米機では搗精度低下に限界が生じ、研削式精米機では限界は生じないと報告している。

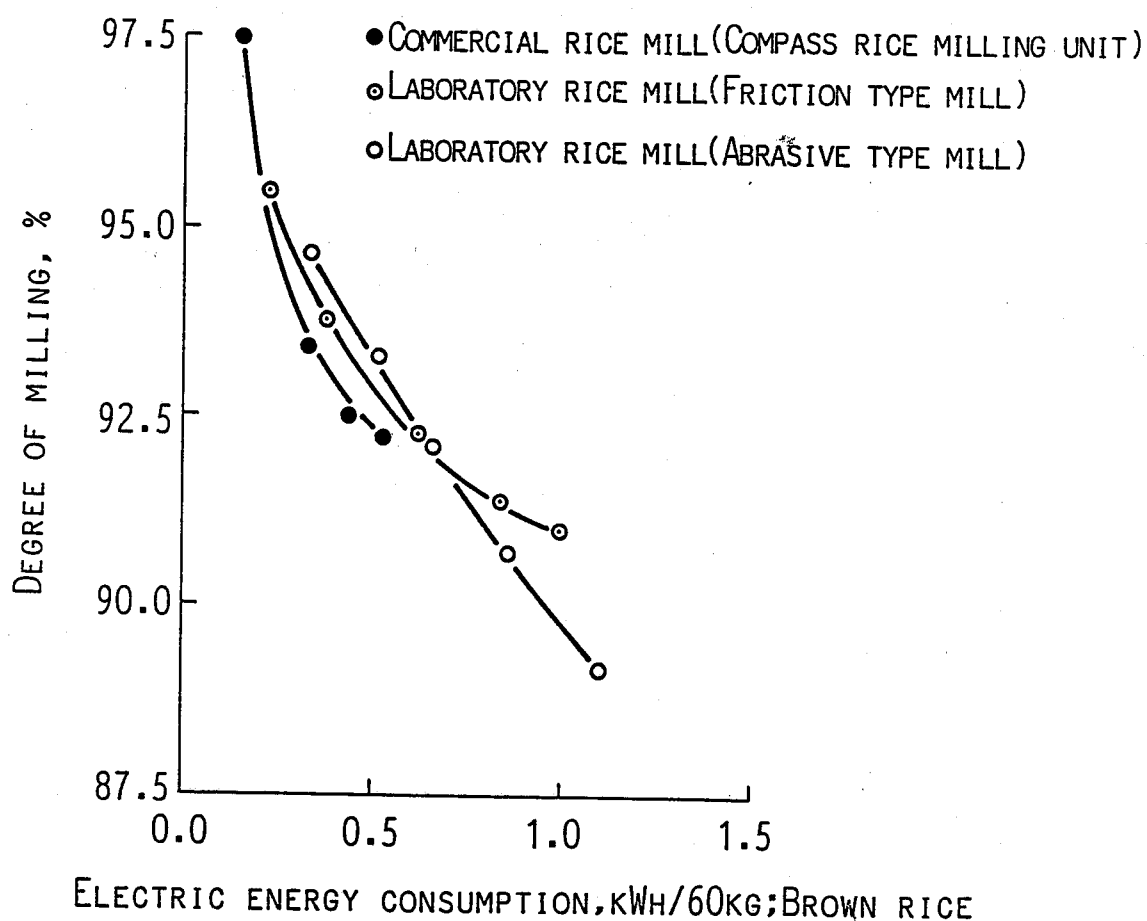


Fig. 7. Electric energy consumption during milling for the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

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⁸⁵⁾。このため、米粒相互の摩擦、擦離作用により搗精を行う摩擦式精米機では、軟らかい糠層の剥離は容易であるが、搗精が胚乳部に近づくにともない硬度が増加するため、搗精度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%¹⁰⁴⁾であるので、搗精度が90～91%で搗精度の低下がほぼ停止する。

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、搗精度がほぼ直線的に低下する。この搗精度の直線的減少は搗精度が約80%まで続き、それ以降は徐々に搗精度の低下がゆるやかとなることが報告されている¹⁷⁷⁾。

実用精米機における消費電力量と搗精度との関係は、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) 異物・碎粒割合

Fig. 8 に、供試精米機により搗精した精白米中の異物・碎粒割合を示した。

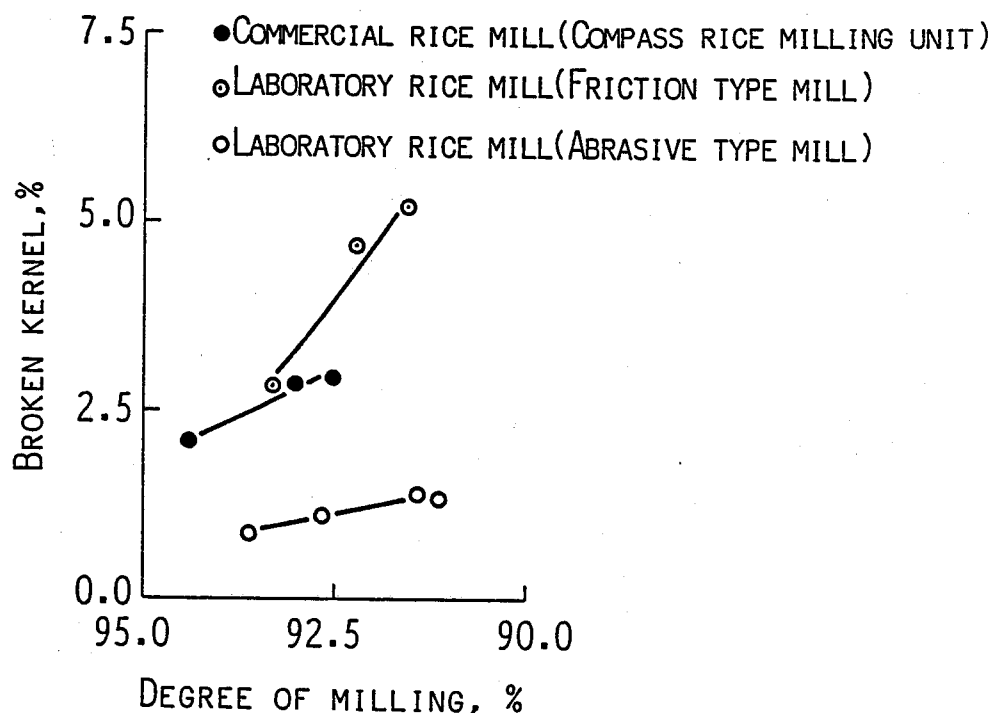


Fig. 8. Broken kernel of milled rice milled on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

Fig. 8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、異物・碎粒の発生が少なく、摩擦式精米機は米粒に圧力を加えて米粒相互の摩擦、擦離作用により搗精を行うため、異物・碎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異物・碎粒割合が2.8%から5.1%へと急激に増加しており、これが、すでにFig. 6で示したように、搗精歩留が搗精度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異物・碎粒割合は、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. 9に搗精直後の精白米温度を示した。

搗精による穀温上昇は、Fig. 9に示したように、研削式精米機と摩擦式精米機とでは大きく異なり、同一搗精度で比較すると、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。

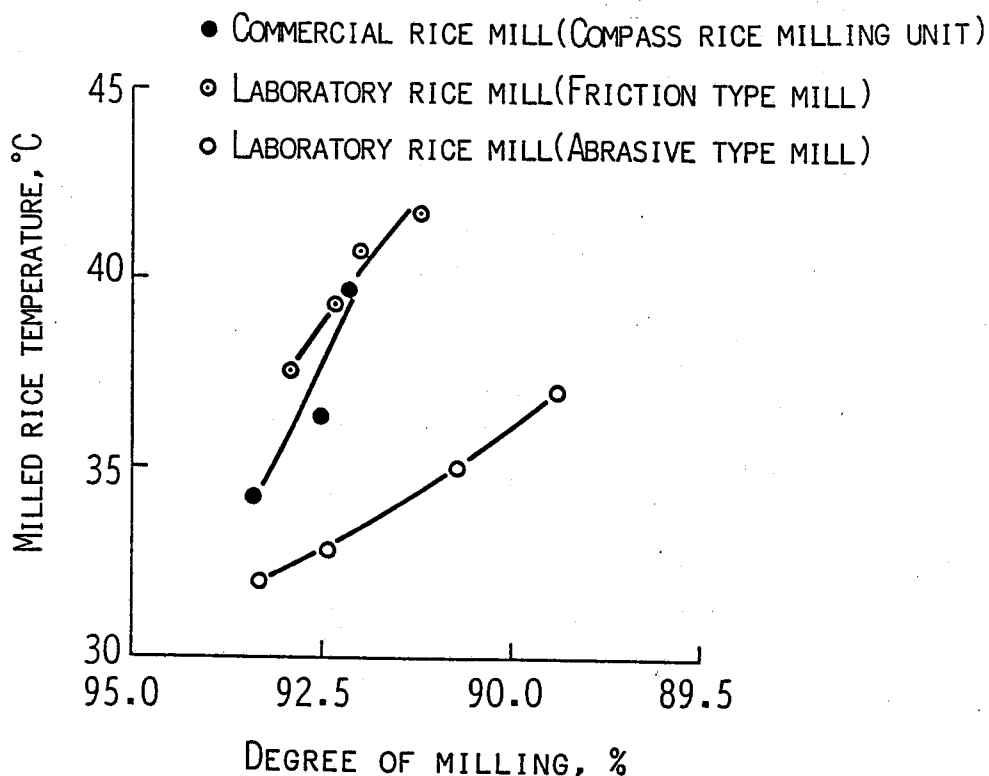


Fig. 9. Milled rice temperature just after milling for the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

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。

噴風機能による米粒の冷却効果を持つ実用精米機が、噴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。

3-1-4. 要約

異なる搗精作用を持つ二機種の実験用小型精米機（研削式精米機及び摩擦式精米機）の搗精特性を明らかにし、さらに、本研究により得たデータを実用大型精米機（コンパス式精米装置）にも応用するため、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を行った。その結果、次のことが確認された。

- (1) 搗精度と搗精歩留との関係は、研削式精米機及び摩擦式精米機とも直線回帰された。研削式精米機では搗精度と搗精歩留はほぼ同一であり、摩擦式精米機では搗精歩留が搗精度より0.5～1.5%低い値を示した。
- (2) 消費電力量の増加とともに、研削式精米機では搗精度がほぼ直線的に低下し、摩擦式精米機では搗精初期に搗精度が急速に低下するが、搗精が進むにつれて搗精度の低下がゆるやかとなった。
- (3) 研削式精米機による精白米中の異物・砕粒割合は、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、異物・砕粒割合は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、かつ同一搗精度で比較すると、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及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及び擦離作用により米粒表面の糠層を剥離させるという、それぞれの搗精作用の違いに起因している。

- (6) 実用大型精米機の搗精特性は、実験に用いた小型摩擦式精米機の搗精特性と類似していることが確認された。

第3章 第2節

玄米貯蔵条件・貯蔵期間による玄米 物理化学特性の変化と搗精特性への影響

3-2-1. 実験目的

我が国では、9月から10月にかけて収穫された米は、乾燥及びもみすりを経て玄米の状態で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^{31, 90, 104)}。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¹²⁹⁾、上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。

米の貯蔵条件・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^{110, 116, 146, 160, 182)}、貯蔵性に関しては、玄米よりもみの貯蔵性が良く、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^{69, 104)}。

しかしながら、米の貯蔵条件・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¹⁷⁷⁾。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。

3-2-2. 実験方法

(1) 供試試料及び貯蔵方法

供試試料は1979年北海道厚田産「イシカリ」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。

① 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。

② 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。

③ 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¹⁰⁴⁾。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、川村ら⁴²⁾の方法に準じて行った。

Fig.10にその測定項目と手順とを示した。

① 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。

② 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。

③ 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。

④ 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¹⁸⁾, MILLER et al.⁷⁶⁾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の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。

本研究に用いたC-1型白度計は、本来、でんぷんや小麦粉などの粉末試料の白度を計測する目的の装置であり、米粒専用のC-3型に比較し試料皿の受光面積が小さく、粒状の米を計測する際の誤差が懸念された。

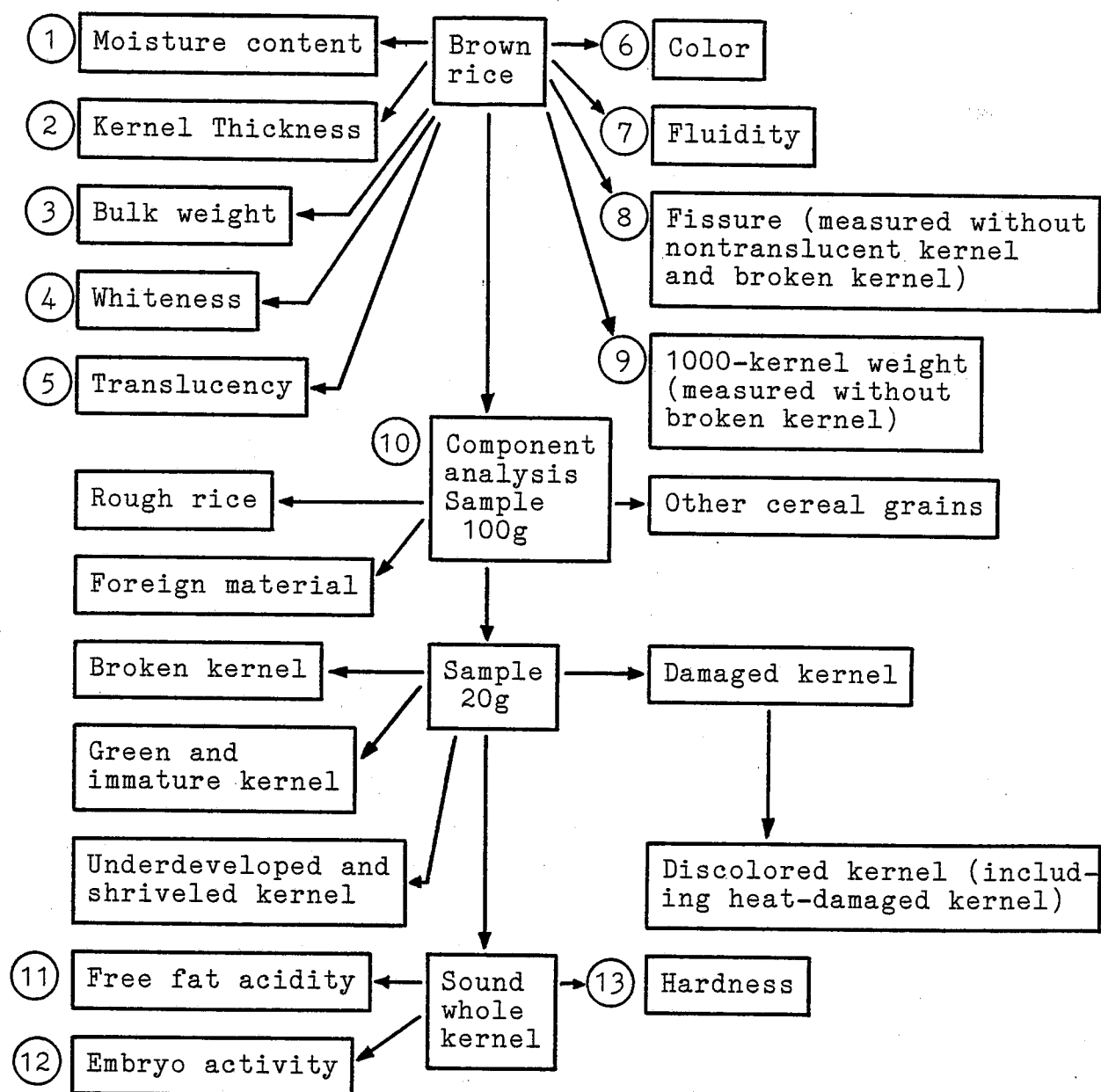


Fig. 10. Schematic flowchart for procedure of measuring of physicochemical properties of brown rice.

そこで本測定では、反復回数を12回と増すことにより誤差の影響を少なくするように配慮し、比較用の標準白度として磁器板を用い反射率を86.0%に調整した。その結果、C-1型とC-3型のキャリブレーションカーブは

$$C3 = 0.93 \times C1 + 2.52 \quad r = 0.998^{**} \quad r(11,1\%) = 0.683$$

となった。これにより米の白度測定の範囲内では、C-1型による測定値をC-3型による測定値と同じと見なしても差し支えないことを知った。

⑤ 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。

⑥ 色調 (Color)

日本電色工業製デジタルカラストジオ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）及び ΔE （色差値）を次式により求めた。

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

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

⑦ 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⁹⁴⁾。そこで Irani-Callisの用いた漏斗⁹⁴⁾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。

従ってこの方法では、流下時間が短いと流動性が良いと判断できる。

⑧ 胴割率 (Fissure)

農業機械学会の「米の胴割れ測定方法の基準」¹⁵⁵⁾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、死米など不透明な米粒及び碎粒は除外して測定した。

⑨ 千粒重 (1000-kernel weight)

砕粒を除く玄米1000粒の重量を測定し、これを5回反復した。

⑩ 組成分析 (Component analysis)

農産物規格規程に従い、玄米100gを手選別により、もみ (Rough rice) , 異物 (Foreign material) , 異種穀粒 (other cereal grains) , 砕粒 (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。

⑪ 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., p20, 1957) により測定した。

すなわち、粉碎した玄米10.00gにベンゼン50mlを加えて30分間振盪した後、その濾液を0.0178N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100g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。

⑫ 胚の活性度 (Embryo activity)

胚のコハク酸脱水酵素の還元力を測定し、その活性度を判定するために、玄米の整粒200粒に0.25%濃度のTZ (Triphenyl tetrazolium chloride) 試薬20mlを加えたシャーレを5個用意し、これを25℃の定温器中に24時間保った後、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。

$$\text{TZ値} = (\text{呈色指数} \times \text{呈色粒数}) \div \text{供試粒数} \times 100 \quad [\%]$$

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1/2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¹⁰⁴⁾。

⑬ 剛度 (Hardness)

剛度は、未熟米、死米、被害粒でなく胴割れのない整粒100粒に対し、木屋式穀粒硬度計にて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、続いて荷重を増加させ、米粒内部組織が破砕されるに至った時の荷重を圧砕剛度として測定した。

玄米剛度は玄米温度や水分により変動するため^{44, 126)}、必要に応じて玄米温度や水

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カ月の貯蔵終了後に行った。実験は第3章第1節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℃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℃、湿度が50～65% R.H.であった。

3-2-3. 実験結果及び考察

(1) 貯蔵中の玄米温度

Fig. 1 1 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及び外気温度とを示した。

本倉庫は本来、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℃にまで低下しており、高温期には22～24℃にまで上昇している。

玄米の低温倉庫は年間を通じて15℃以下の条件を、準低温倉庫は同じく20℃以下の条件を保持できる倉庫とされている¹⁴⁴⁾。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℃以上となったのは31カ月の貯蔵期間の内5.9ヵ月間(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及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℃、2～4℃であった。

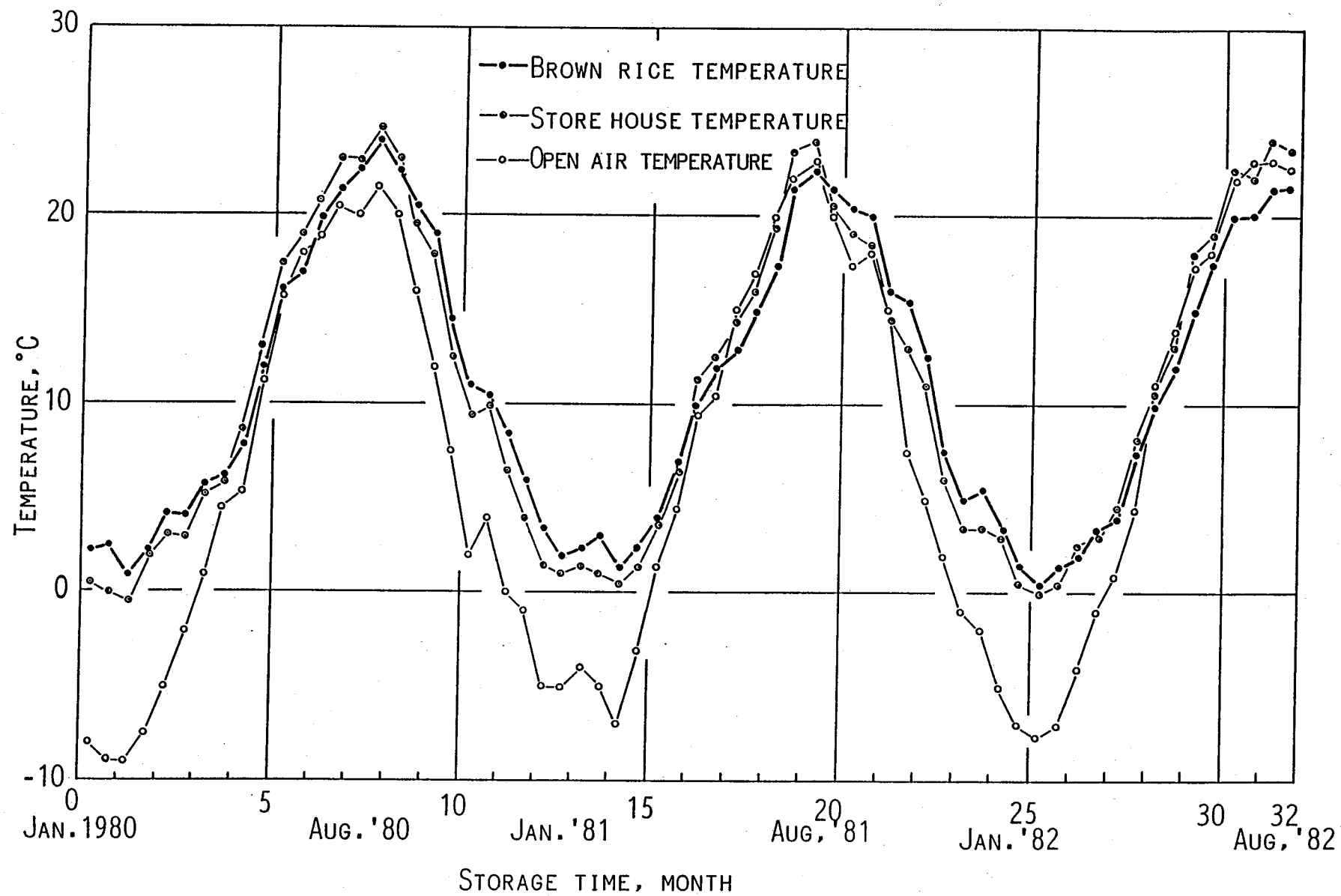


Fig. 11. Brown rice temperature during storage in the store house.

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プリングしたため、コクゾウ、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。従って、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

① 脂肪酸度と胚の活性度

Fig. 12 に、供試試料の脂肪酸度と胚の活性度とについて示した。

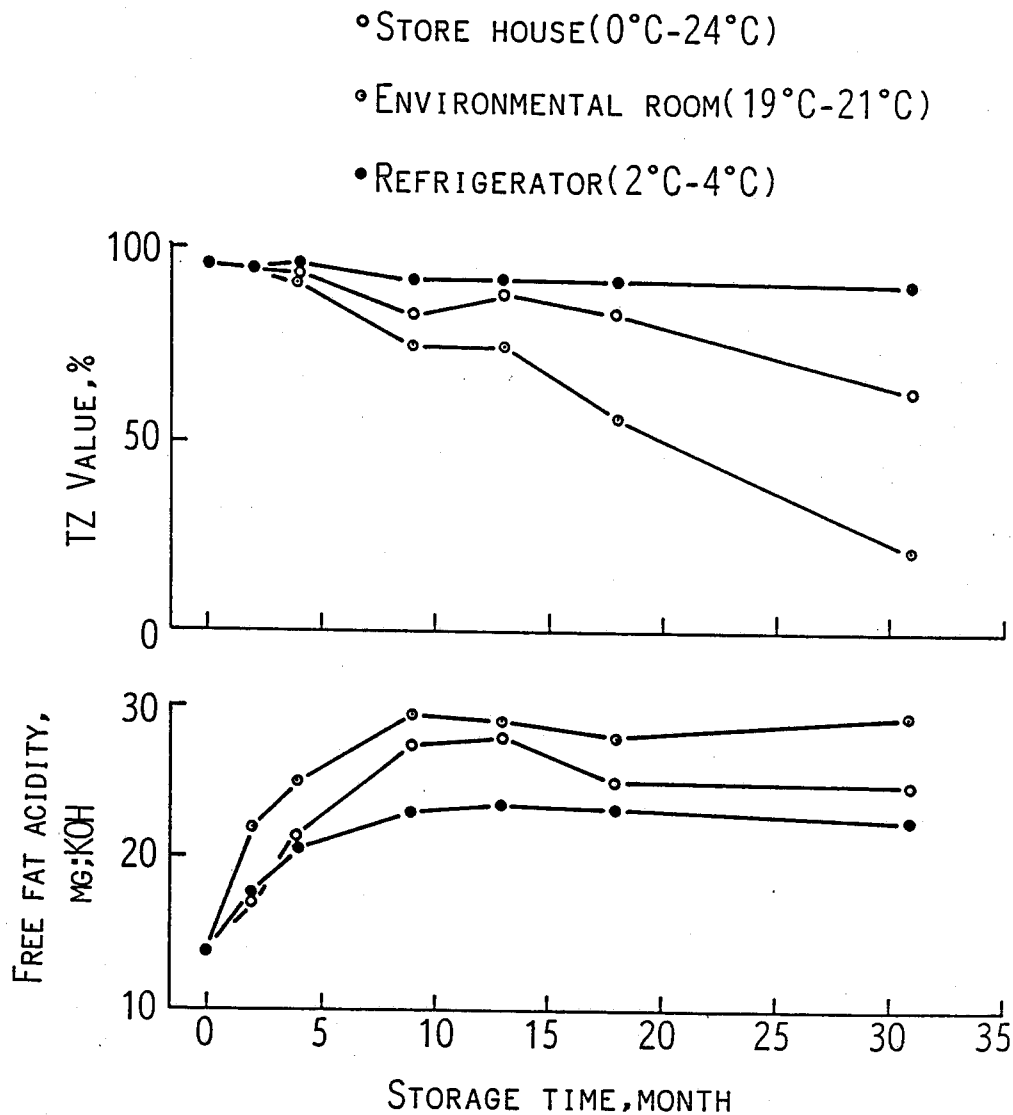


Fig. 12. Changes in free fat acidity and TZ value of brown rice during prolonged storage under three different conditions.

Fig. 1 2によれば、貯蔵開始時には試料の脂肪酸度は13.8mg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24.8mg、恒温室貯蔵の玄米が29.5mg、冷蔵庫貯蔵の玄米が22.6mg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⁸⁹⁾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。従って、本実験において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¹⁴⁰⁾は10℃以下の貯蔵条件において、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。

脂肪酸度による品質劣化の目安は、20mg以上で変質の注意信号、25mg以上で変質の徴候を示す¹⁴⁴⁾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カ月貯蔵後に90.8%を保持していた。一方、倉庫貯蔵及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カ月後にそれぞれ62.8%、21.6%となった。

一般の常温貯蔵では、もみ収穫の翌年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¹⁴⁶⁾。従って、恒温室貯蔵では7カ月間、倉庫貯蔵では20カ月間、冷蔵庫貯蔵では31カ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。

② 玄米水分

Table 6は三種類の条件で貯蔵した玄米の、Table 7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 6によれば、玄米水分は貯蔵開始時に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、貯蔵により玄米水分が減少したか否かは明らかでない。

Table 6. 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	x	22.05	22.07	22.01	22.09	22.04
	REF	21.93	x	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	x	x	65.5	57.4	57.5	56.2	60.3
	ER	x	x	63.1	58.7	59.3	62.3	62.2
	REF	x	x	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./150g	SH	x	x	9.99	8.42	8.10	8.01	8.15
	ER	x	x	9.05	8.34	8.09	8.09	7.86
	REF	x	x	9.96	9.25	8.89	8.96	8.44

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

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^{14, 77, 180, 182)}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^{140, 148, 108, 153)}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。

従って、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。

③ 白度と透光度

玄米白度は貯蔵により12.2%から約2%増加している。これは、玄米の果皮が貯蔵中に部分的に剥離した、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ものである。

同様に、肌ずれ米の増加により米粒中の光の透過率が妨げられ、透光度が貯蔵により減少することが認められた。

④ 容積重と流動性

Table 6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830g/Lから約20g/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められなかった。また、Table 7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、従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。

玄米の流動性については、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。

⑤ 玄米剛度

Table 7に倉庫貯蔵した玄米の剛度変化を示した。

Table 7によると、玄米の挫折剛度と圧碎剛度とはいずれも2年7カ月の貯蔵により約0.5kgf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」⁹⁵⁾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⁴⁴⁾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^{31, 83, 90)}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¹⁶⁸⁾ものの、玄米剛度の測定に影響を与えるほど機械的な硬度増加につながるものとは思われない。

⑥ 玄米の組成

Table 7に供試玄米の組成分析結果を示した。

Table 7. 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 & 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, %							
$T \leq 1.8, \text{mm}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
$1.8 < T \leq 1.9$	2.1	2.0	1.9	2.0	2.2	2.1	2.1
$1.9 < T \leq 2.0$	13.7	12.8	11.4	12.3	12.9	11.9	12.9
$2.0 < T \leq 2.1$	38.4	35.3	32.7	35.4	36.0	33.8	36.5
$2.1 < T \leq 2.2$	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

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、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と考えられる。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。

供試玄米の整粒及び青米・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、整粒及び青米・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と思われる。既述したように、この肌ずれ米の増加が玄米の白度、透光度などに影響を与えている。

(3) 貯蔵玄米の搗精特性

① 供試玄米の物理化学特性

Table 8 に搗精実験に用いた供試玄米の物理化学特性について示した。

TZ 値及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変質すなわち、古米化が最も進んだのは恒温室貯蔵（玄米温度変化は19～21℃）の玄米であり、次に倉庫貯蔵（0～24℃）の玄米であり、冷蔵庫貯蔵（2～4℃）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は、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。

Table 8. Physicochemical properties of brown rice stored in three different storage conditions and times.

Storage condition	Storage time Month	Moisture content % w.b. 135°C	Kernel temperature before milling °C	Hardness	
				Cracking hardness kgf	Crushing hardness kgf
Initial	0	14.5	20	7.6	8.5
SH	31	14.2	20	7.0	8.0
ER	31	14.3	20	7.0	8.2
REF	31	14.4	20	7.0	7.8

Storage condition	Fissure		TZ value %	Free fat acidity mg;KOH
	Serious fissure %	Slight fissure %		
Initial	3.0	4.3	96.5	13.8
SH	1.3	5.0	62.8	24.8
ER	1.5	4.5	21.6	29.5
REF	1.7	4.7	90.8	22.6

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

② 搗精実験結果

i 摩擦式精米機の搗精特性

Fig. 13 に、摩擦式精米機の搗精時間と搗精歩留及び消費電力量と搗精歩留との関係について示した。

Fig. 13 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を分散分析法により貯蔵条件・貯蔵期間が搗精特性に与える影響について検定した結果、危険率 1 % において貯蔵条件・貯蔵期間は搗精特性に影響しないと判定された。

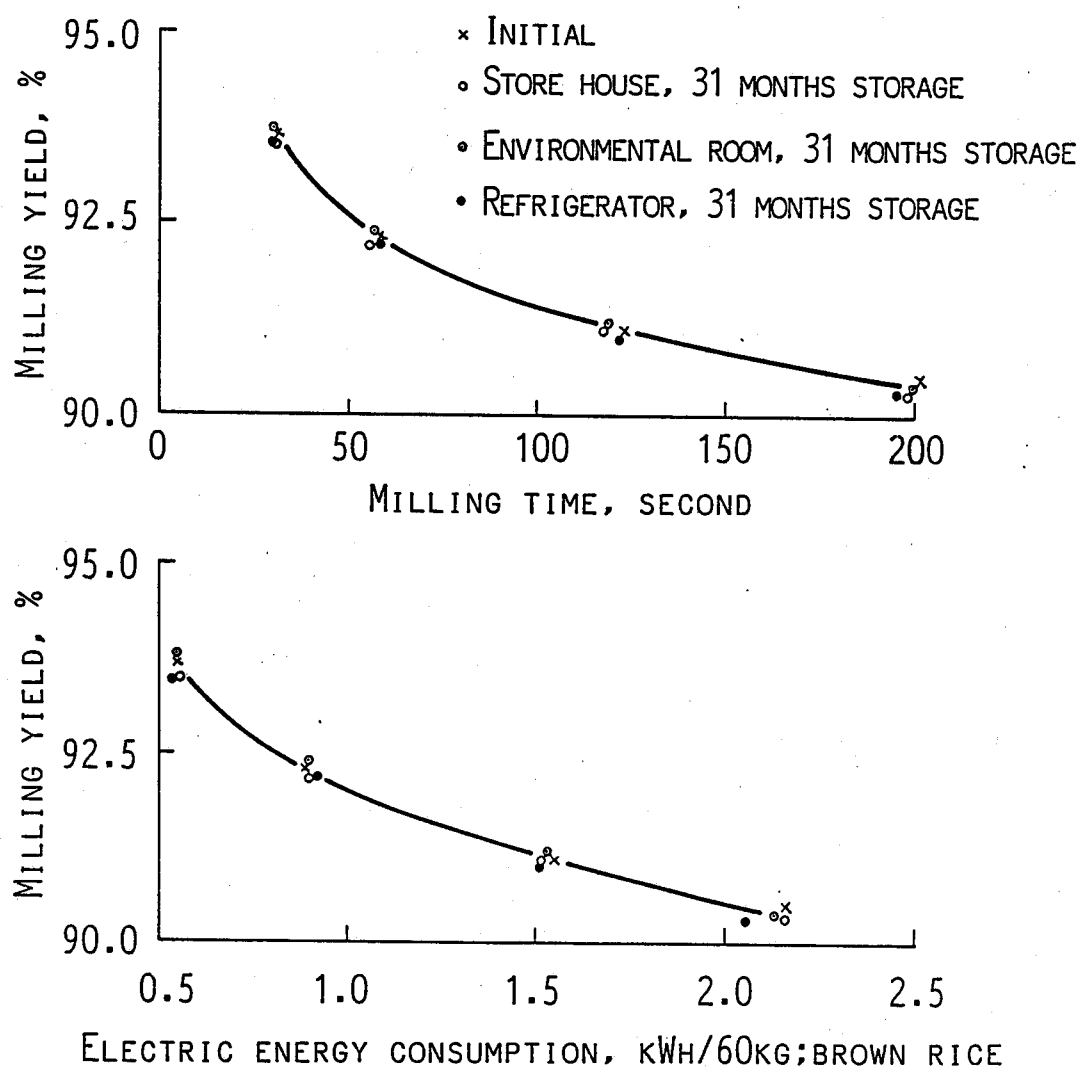


Fig. 13. Milling yield of brown rice stored in different storage conditions and times as related to milling time and electric energy consumption of the friction type mill.

ii 研削式精米機の搗精特性

Fig.14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.14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・貯蔵期間による搗精特性への影響は確認できなかった。

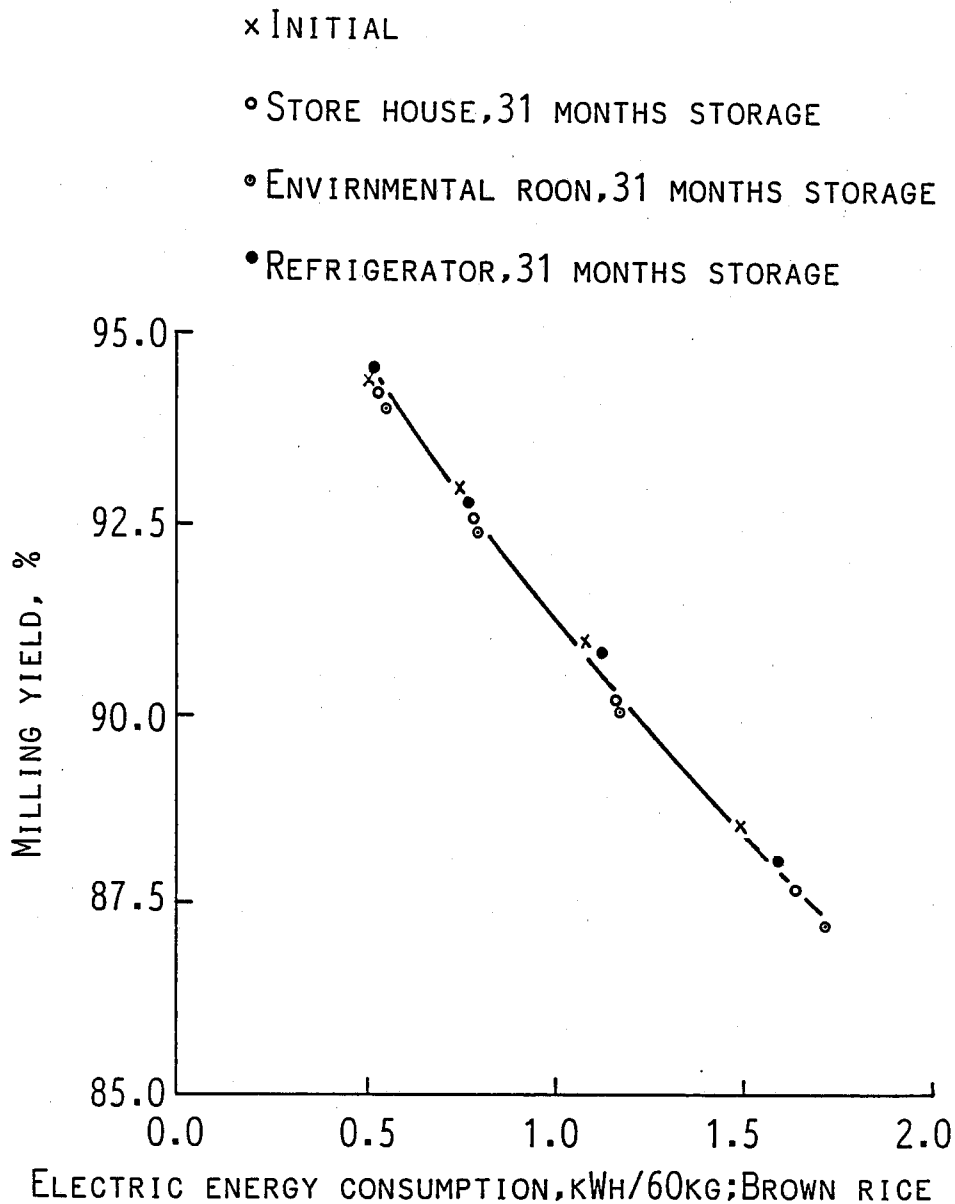


Fig. 14. Milling yield of brown rice stored in different storage conditions and times as related to electric energy consumption of the abrasive type mill.

Fig.15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.15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・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%は搗精度では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。従って、Fig.15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て生ずるものと考えられる。

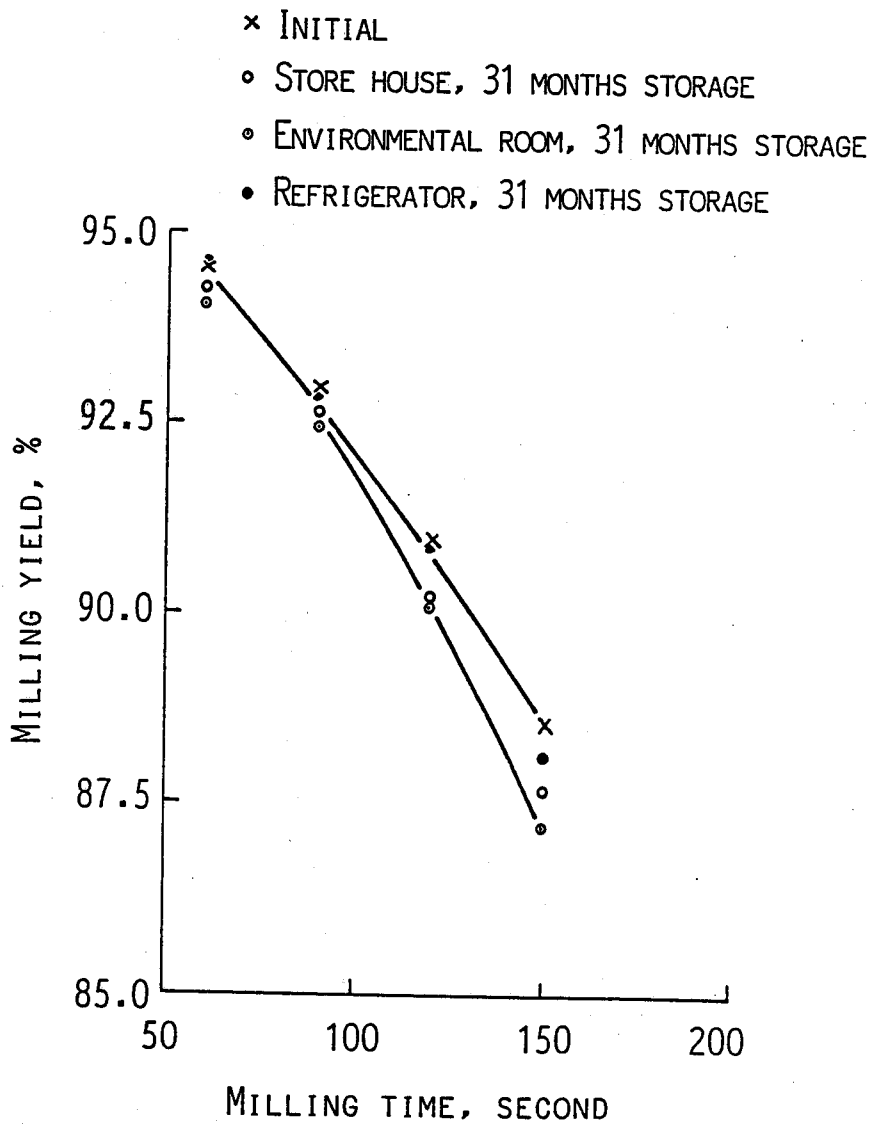


Fig. 15. Milling yield of brown rice stored in different storage conditions and times as related to milling time of the abrasive type mill.

先にFig. 13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、これは搗精度では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¹⁰⁰⁾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%以下でその差が大となる例¹⁷⁾が報告されている。

コンパ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く、一般に、飯用米の搗精歩留は89~91%であり⁹⁶⁾、従って搗精度は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思われる。

iii 碎粒発生

Fig. 16に、摩擦式精米機による精白米の碎粒割合について示した。

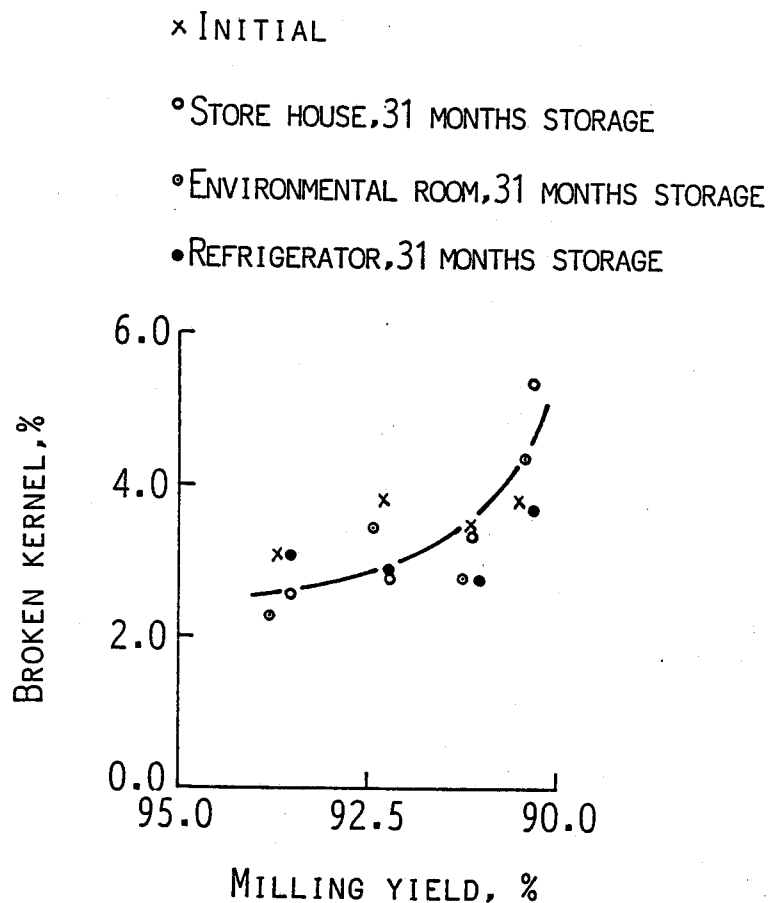


Fig. 16. Broken kernel of milled rice milled from brown rice stored in different storage conditions and times as related to milling yield of the friction type mill.

Fig. 16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に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。

iv 古米化が搗精特性に与える影響

米の搗精特性すなわち、搗精時間や消費電力量は、長粒種、短粒種などの米粒の粒形、整粒、未熟米、死米割合などの玄米の組成、古米化、玄米温度、玄米水分などに影響される玄米剛度によって決定され则认为られる。本実験では試料として同一品種の玄米を用いたため、玄米の形状及び整粒、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、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と认为られる。

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、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^{95, 96)}。

これは、古米化により米飯の外観、匂い及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⁹⁶⁾、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ため、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。

3-2-4. 要約

米を貯蔵することにより物理化学特性の変化、すなわち、発芽力の低下、遊離脂肪酸の増加、デンプンの硬化及びそれらによって引き起こされる米飯の食味の劣化など、いわゆる古米化が起こる。

本節では、古米化が搗精特性に与える影響を知る目的で、玄米貯蔵倉庫（玄米温度変化は0～24℃）、室温付近の恒温室（19～21℃）、冷蔵庫（2～4℃）の三種類の条件下で2年7カ月間にわたる玄米の貯蔵を行い、貯蔵中の玄米物理化学特性の経時変化を調査し、貯蔵後の玄米を用いて搗精実験を実施した。その結果、次のことが確認された。

- (1) 脂肪酸度と胚の活性度は、2年7カ月の貯蔵終了時に、恒温室貯蔵の玄米がそれぞれ29.5mg, 21.6%、倉庫貯蔵の玄米が24.8mg, 62.8%、冷蔵庫貯蔵の玄米が22.6mg, 90.8%となった。これから、古米化は、恒温室貯蔵の玄米が最も進んでおり、次に倉庫貯蔵の玄米が進んでおり、冷蔵庫貯蔵の玄米はほとんど進んでいないと判断された。
- (2) 古米化が玄米水分に与える影響は認められなかった。
- (3) 貯蔵中に肌ずれ米が増加し、その結果、白度が上昇し透光度が減少した。
- (4) 貯蔵により玄米表面の摩擦係数が減少し、そのため容積重が増加し流動性が良くなった。
- (5) 2年7カ月間の貯蔵により玄米剛度が0.5kgf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。
- (6) 貯蔵開始時の玄米と貯蔵終了時の玄米との搗精特性には差が認められなかった。すなわち、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、消費電力量などに差異は生じなかった。

第3章 第3節

玄米温度が搗精特性に与える影響

3-3-1. 実験目的

第2章の精米工場における基礎調査において、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0～30℃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、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⁴⁴⁾。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¹⁰⁴⁾、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^{95, 128)}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^{34, 95)}にもかかわらず、搗精特性と精白米の品質及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、本節においては、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。

3-3-2. 実験方法

(1) 供試試料

供試試料は1979年北海道栗沢産「イシカリ」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、水分が低いため標準的な搗精歩留(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.に制御した田葉井製作所製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、第3章第2節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

第2章における精米工場での調査で、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0℃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、風選別などの粗選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⁴⁴⁾。

以上のことから、搗精前の玄米温度条件として10℃、20℃及び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碎粒増加の一因となる恐れがある³⁾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℃、50~66% R.H.であった。

搗精実験は、第3章第1節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、搗精度、完全粒歩留、碎粒割合、搗精による穀温上昇などについて測定した。

3-3-3. 実験結果及び考察

(1) 供試玄米の物理化学特性

Table 9 に、供試玄米の水分、剛度、容積重、流動性を示した。

Table 9 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6.9kgf、圧砕剛度が7.9kgfであり、玄米温度が30℃ではそれぞれ5.2kgf、6.2kgf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。

短粒種を供試した長戸⁸⁵⁾及び長粒種米を供試したKUNZE et al.⁵⁴⁾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 9 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。

Table 9. Physicochemical properties of brown rice having three different kernel temperatures.

Kernel temperature before milling °C	Moisture content			Hardness			
	Method 135°C % w.b.	Method 105°C % w.b.	Method PB-1D % w.b.	Cracking hardness kgf	Crushing hardness kgf	Bulk weight g/l	Fluidity s/150g
10	15.6	14.0	14.4	6.9	7.6	826	6.78
20	same as above			5.8	6.8	812	7.21
30	same as above			5.2	6.2	813	7.24

(2) 摩擦式精米機の搗精特性

① 搗精歩留

Fig. 17に、摩擦式精米機の搗精時間、消費電力量と搗精歩留との関係をそれぞれ表した。

Fig. 17に示したように、同一搗精歩留を得るための搗精時間及び消費電力量は、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0.84kWh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1.05kWh、10℃の玄米ではそれぞれ2.09倍の96秒、1.60倍の1.34kWhと増加した。

すなわち、玄米温度低下にともなう玄米剛度上昇のため、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。

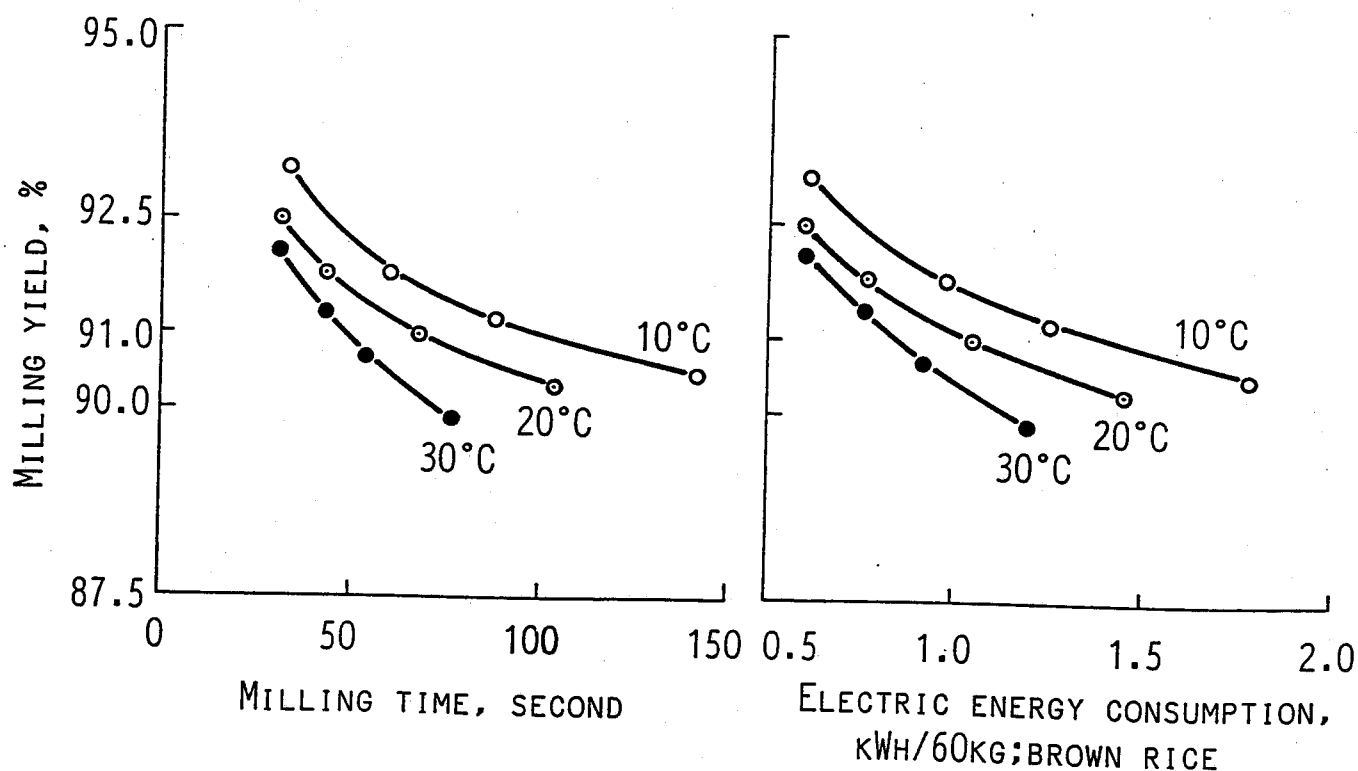


Fig. 17. Milling yield of brown rice having three different kernel temperatures before milling as related to milling time and electric energy consumption of the friction type mill.

② 砕粒発生

Fig. 18 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. 18 に示したように、玄米温度上昇にともない砕粒発生が増加する傾向が認められた。精白米中の砕粒割合は、搗精歩留が91.0%で、10℃の玄米が 7.2%であるのに対し、20℃の玄米では1.19倍の8.6%、30℃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え。しかし、水分変化をともし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⁵⁴⁾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死米、青米、未熟米などは整粒に比べて剛度が低く^{74, 151)}、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⁸⁵⁾ことから、砕粒になりやすいと考えられる。

Henderson¹²⁸⁾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。

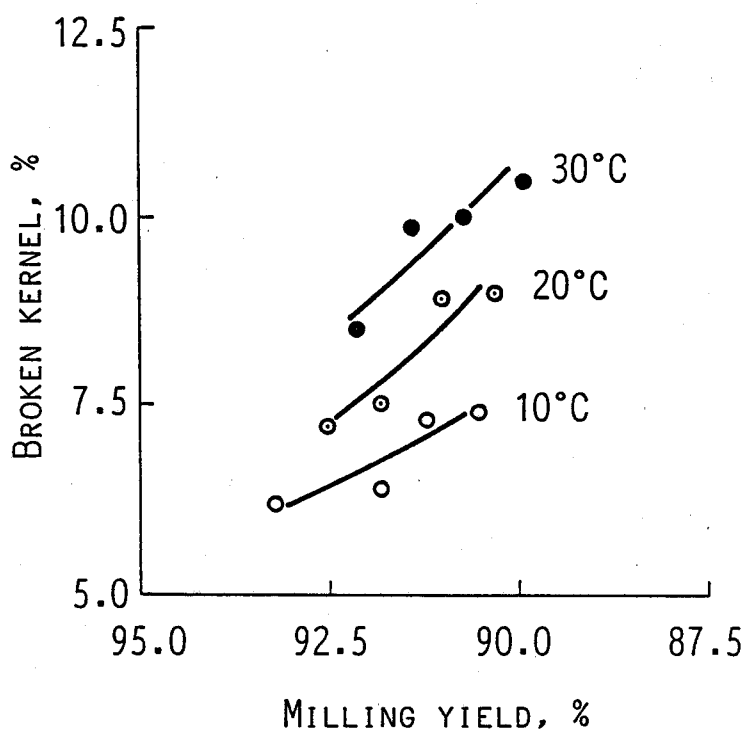


Fig. 18. Relation between broken kernel in milled rice and milling yield of brown rice having three different kernel temperatures milled on the friction type mill.

③ 搗精度

搗精による碎粒発生が多い場合、糠に混入する微碎粒が多くなり見掛上、搗精歩留が減少することがある。そこでFig. 19に、微碎粒の影響を除外し完全粒の糠層剥離の程度を表した、搗精度について示した。

Fig. 19に示したように、同一搗精度を得るための搗精時間及び消費電力量は、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碎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及び搗精効率の向上につながる事が明らかとなった。

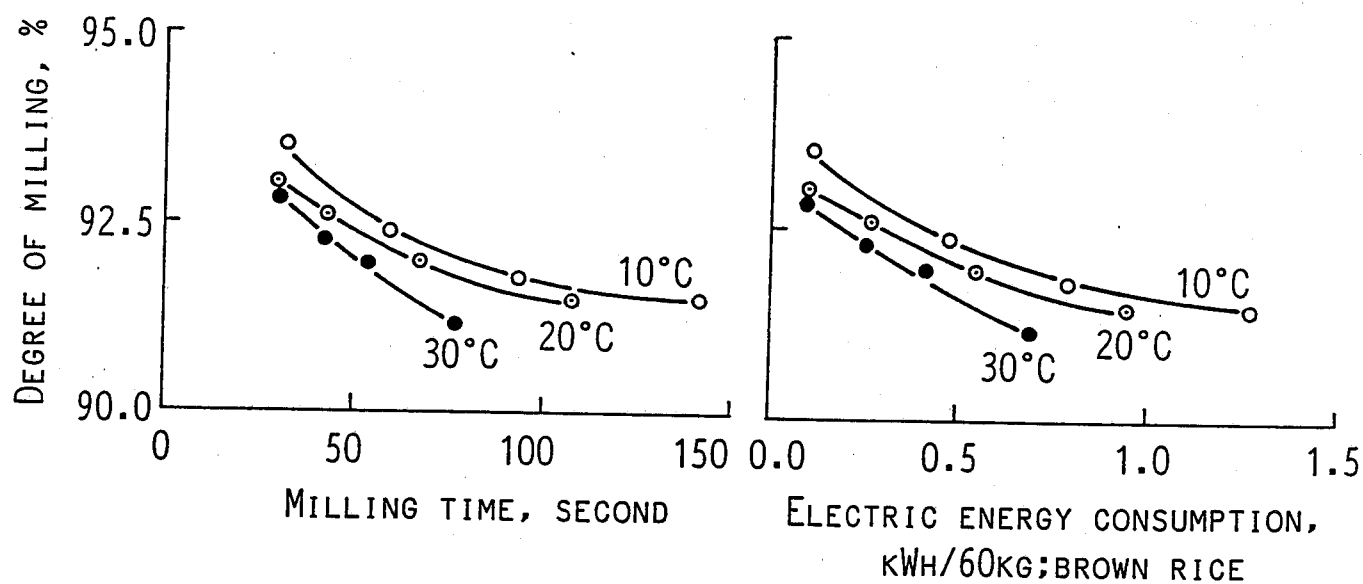


Fig. 19. Degree of milling of brown rice having three different kernel temperatures before milling as related to milling time and electric energy consumption of the friction type mill.

④ 完全粒歩留

Fig. 20 に、摩擦式精米機の搗精歩留と完全粒歩留及び搗精度と完全粒歩留との関係を示した。

Fig. 20 に示したように、同一搗精歩留及び搗精度において、玄米温度が高い場合に完全粒歩留は低下した。搗精歩留が91.0%（搗精度は92.1%）を例にとると、玄米温度が10℃では完全粒歩留が84.6%、20℃では83.3%、30℃では82.0%であった。

すなわち、温度の高い玄米は剛度が低く搗精による砕粒発生が多いことから、完全粒歩留が低下したと考えられる。

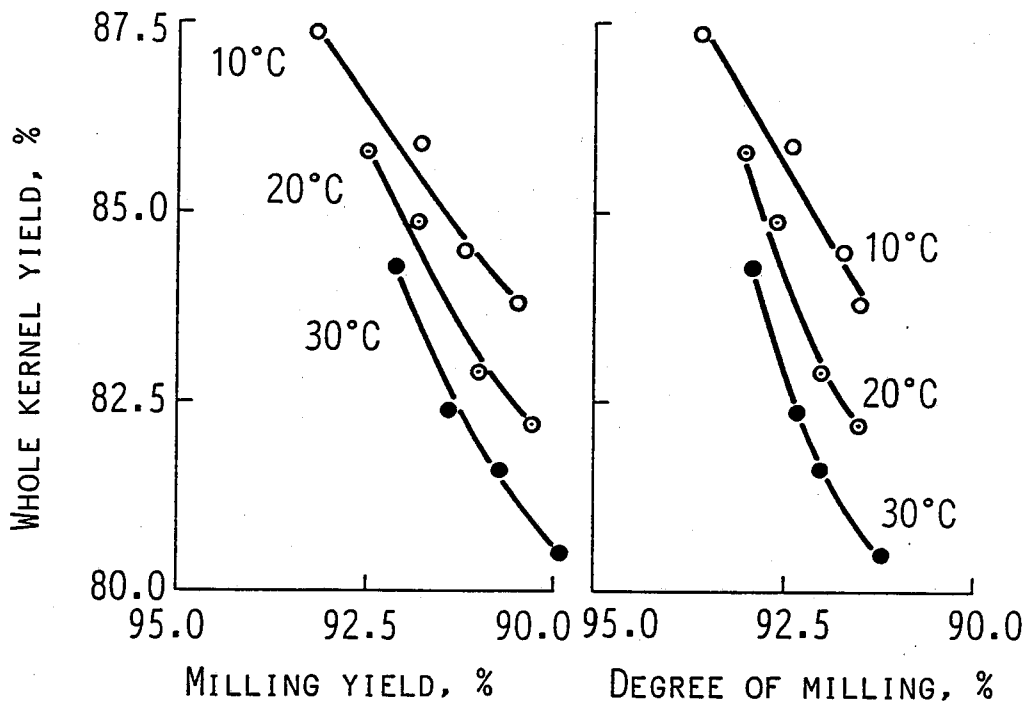


Fig. 20. Whole kernel yield of brown rice having three different kernel temperatures before milling as related to milling yield and degree of milling of the friction type mill.

⑤ 穀温上昇

Fig. 21 に摩擦式精米機の搗精による穀温上昇値を示した。

Fig. 21 に示したように、搗精歩留が91.0%において、10℃の玄米を搗精した場合、搗精により穀温が20.2℃上昇し精白米温度が30.2℃となり、同様に20℃の玄米では穀温

が14.6℃上昇し精白米温度が34.6℃、30℃の玄米では穀温が10.0℃上昇し精白米温度が40.0℃となった。

すなわち、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、第2章の精米工場における基礎調査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及び室内空気温度の影響は同一と見なすことができる。従って、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。

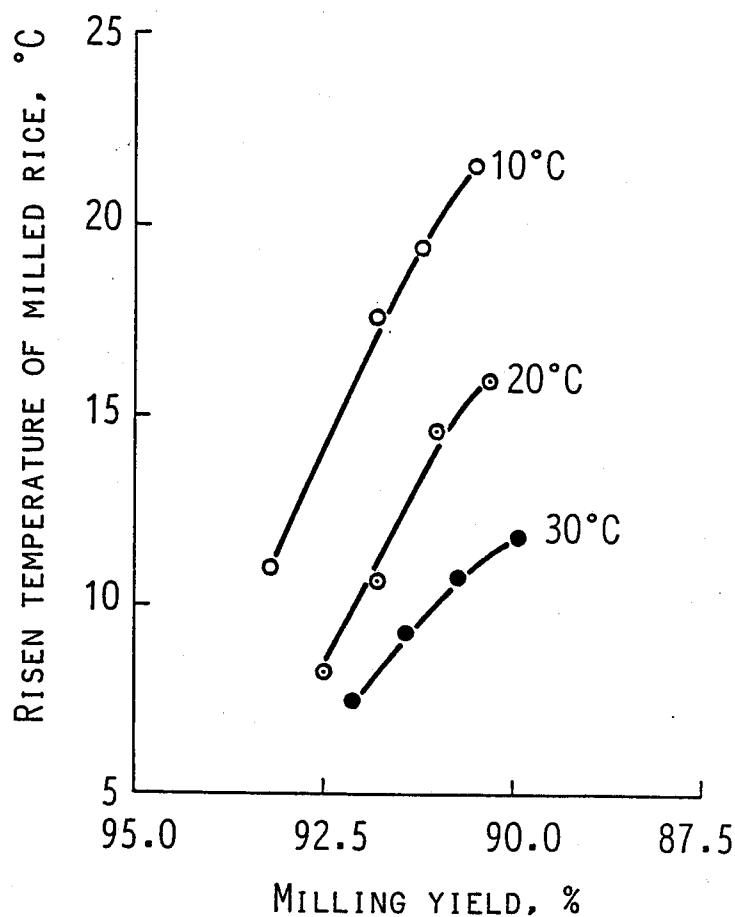


Fig. 21. Relation between risen temperature of milled rice just after milling and milling yield of brown rice having three different kernel temperatures milled on the friction type mill.

(3) 研削式精米機の搗精特性

Fig. 22に研削式精米機の搗精時間、消費電力量と搗精歩留との関係について示した。

Fig. 22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及び消費電力量は増加した。例えば、搗精歩留を91.0%に搗精する場合、30℃の玄米は搗精時間が72秒、消費電力量が0.81kWhであるのに対し、20℃の玄米ではそれぞれ1.14倍の82秒、1.10倍の0.89kWh、10℃の玄米ではそれぞれ1.38倍の99秒、1.27倍の1.03kWh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. 17) 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、 $\frac{1}{4}$ から $\frac{2}{5}$ 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、擦離作用により糠層の剥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、剛度変化の影響が少ないものと考えられる。

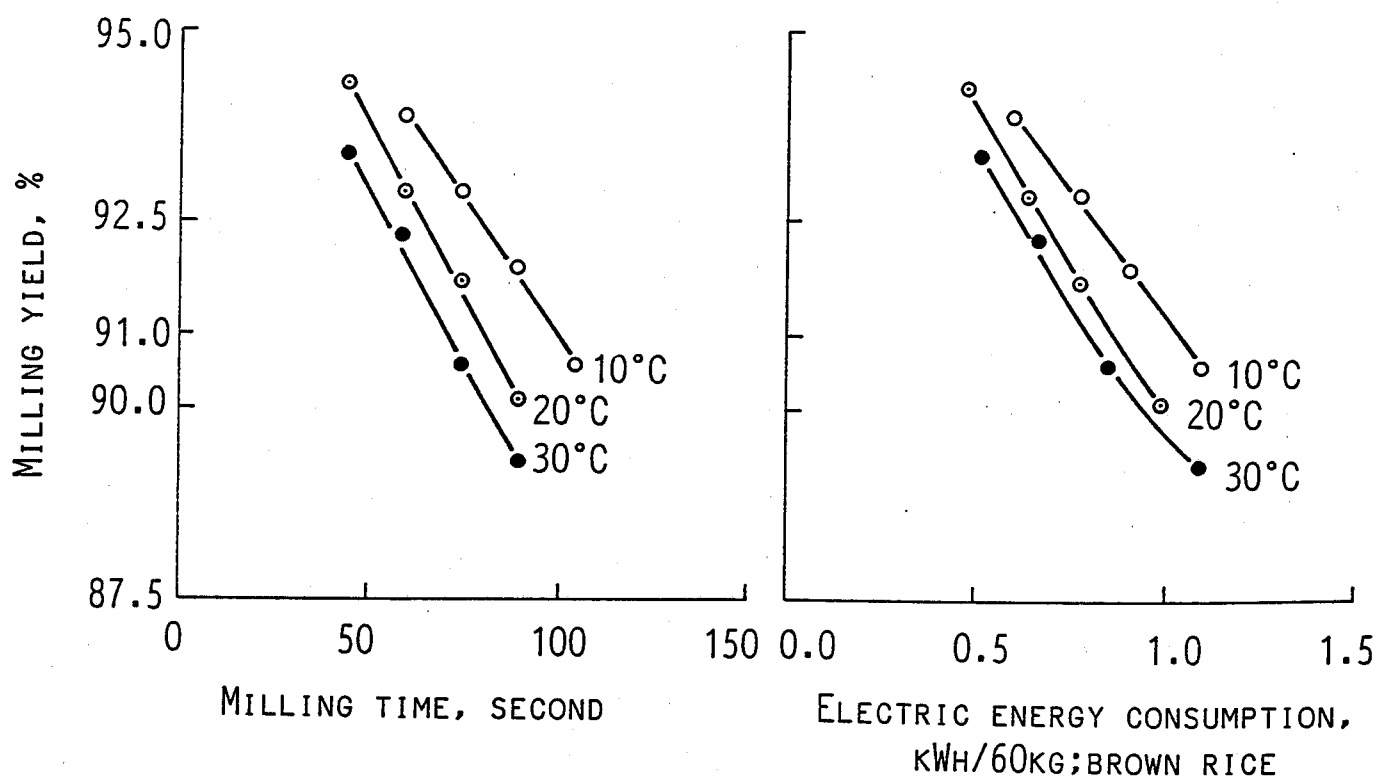


Fig. 22. Milling yield of brown rice having three different kernel temperatures before milling as related to milling time and electric energy consumption of the abrasive type mill.

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

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、よって搗精能率及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。

第3章第2節において、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、例えば、米の作柄が悪く死米、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、本節の結果のみから結論できるものではなく、第4章で述べる精白米の品質及び食味についての実験結果を考慮して、第5章で総合的に検討を行う。

3-3-4. 要約

搗精前の玄米温度が搗精特性に与える影響を知る目的で、温度を10℃、20℃及び30℃に調整した玄米を用いて実験を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- (1) 玄米温度の低下にともない玄米剛度が増加した。古米化による玄米剛度の変化が胚乳部に生じるのに対し、この玄米温度による剛度変化は、糠層及び胚乳部の米粒全体に生じた。
- (2) 温度の低い玄米は温度の高い玄米と比較して、同一搗精歩留に搗精するまでに長い時間を要し、そのため発熱量が多く、穀温上昇幅が大きい。しかし、搗精後の精白米温度の絶対値は小さい。これは第2章の精米工場における調査結果と一致した。
- (3) 玄米温度を上昇させると搗精時間が短縮し、消費電力量が低減し、よって搗精能率及び搗精効率が向上した。一方、玄米温度を低下させると砕粒発生が低減し、よって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、摩擦式精米機より研削式精米機において小さかった。
- (5) 玄米温度が搗精特性に与える影響は、玄米温度変化にともなう玄米剛度変化に起因するものであった。

第3章 第4節

玄米水分が搗精特性に与える影響

3-4-1. 実験目的

玄米水分は米の貯蔵性に大きな影響を及ぼす一因として多くの研究^{12, 31, 143, 146, 166, 178)}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℃, 5時間法, これは135℃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¹⁴⁴⁾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^{51, 126)}があり、飯用米については、白倉^{123, 124, 125)}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^{109, 128)}があるが、搗精効率や搗精能率なども含めて総括的に研究した例はない。

一方で、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¹⁰⁴⁾、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^{34, 95)}。しかしながら、玄米水分と搗精特性や精白米の品質及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。

そこで本節においては、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。

3-4-2. 実験方法

(1) 供試試料

供試試料として、第3章第3節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。

第2章の精米工場における基礎調査で述べたように、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すでに報告した⁴⁴⁾。さらに、柳井¹⁶³⁾は、水分が16.6% (135℃, 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%及び2%上昇させるように調整した。

玄米水分の調整において、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^{9, 54)}。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℃, 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℃)に約1週間静置し水分の均一化を図った。

供試玄米の物理化学特性は、第3章第2節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℃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℃、湿度は46~62% R.H.であった。

搗精実験は、第3章第1節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、搗精度、完全粒歩留、碎粒割合、穀温上昇などについて測定した。

3-4-3. 実験結果及び考察

(1) 供試玄米の物理化学特性

Table 10 に供試玄米の物理化学特性について示した。

第2章にて既述したように、水分測定法により同一試料の水分値に差が生じるため、本研究で用いた10g, 粒, 135℃, 24時間法の他に、10g, 粒, 105℃, 24時間法と電気抵抗式水分計（ケットPB-1D型）とを用いて測定した水分値を、合わせてTable 10 に示した。

これによると、135℃法により測定した水分値から、それぞれ約1.6%または1.2%を差し引くことにより、105℃法またはケット水分計により求めた水分値を算出できることを知った。

Table 10. Physicochemical properties of brown rice having three different moisture contents.

Moisture content			Kernel temp. before milling °C	Hardness		Fissure	
Method 135°C % w.b.	Method 105°C % w.b.	Method PB-1D % w.b.		Cracking hardness kgf	Crashing hardness kgf	Serious fissure %	Slight fissure %
14.4	12.8	13.0	20	6.6	8.0	2.5	18.0
15.6	14.0	14.4	20	5.8	6.8	2.7	20.7
16.8	15.2	15.6	20	5.0	6.1	4.2	25.3

M.C. Method 135°C % w.b.	1000 kernel weight g/1000	Bulk weight g/l	Fluidity s/150g
14.4	22.44	822	6.87
15.6	22.63	812	7.21
16.8	22.91	812	7.16

Method 135°C; Moisture content was determined in accordance with SAMJ(The Society of Agricultural Machinery, Japan) method (1975) by drying whole kernel of about 10g for 24 hour in an oven at 135°C(±2°C).

Method 105°C; Moisture content was determined in accordance with drying whole kernel of about 10g for 24 hour in an oven at 105°C(±1°C).

Method PB-1D; Moisture content was determined in accordance with using a moisture content meter PB-1D made by Kett Laboratory Co. Ltd..

Table 10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、挫折剛度及び圧砕剛度は、水分16.8%の玄米ではそれぞれ5.0kgf, 6.1kgfであり、水分14.4%の玄米ではそれぞれ6.6kgf, 8.0kgf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^{40, 48, 85, 120)}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 10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³⁴⁾が同じ品種の玄米を用い、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、千粒重が小さい，容積重が大きい，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

① 搗精歩留

Fig. 23に、摩擦式精米機を用いて搗精を行った際の搗精時間，消費電力量と搗精歩留との関係について示した。

Fig. 23に示したように、玄米水分の低下にともない、同一搗精歩留を得るための搗精時間，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0.70kWh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1.05kWh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1.74kWh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。

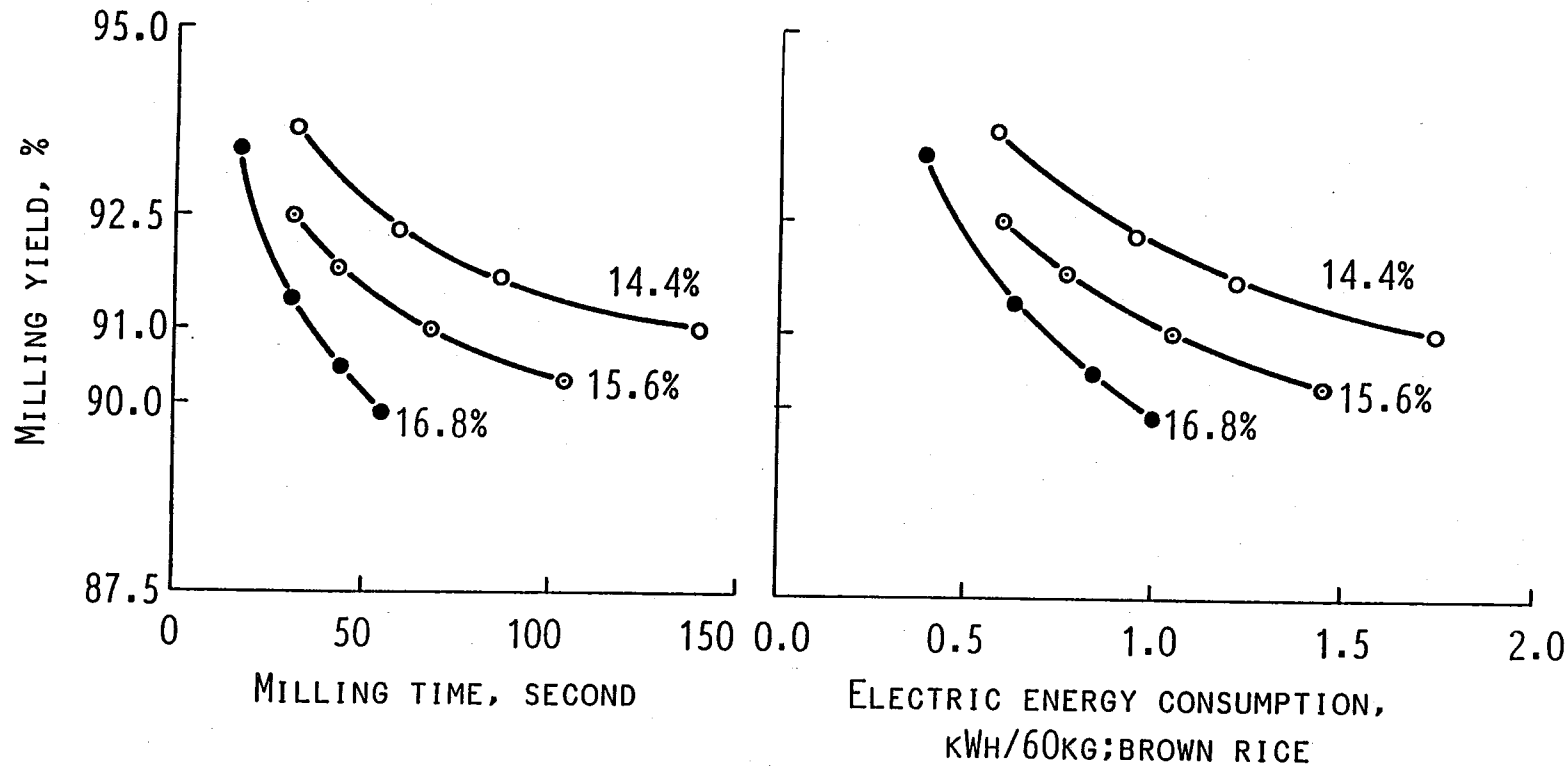


Fig. 23. Milling yield of brown rice having three different moisture contents as related to milling time and electric energy consumption of the friction type mill.

② 砕粒発生

Fig. 24 に摩擦式精米機の砕粒発生について示した。

Fig. 24 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、15.5%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。

第3章第3節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^{75, 130, 131, 138})。従って、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。

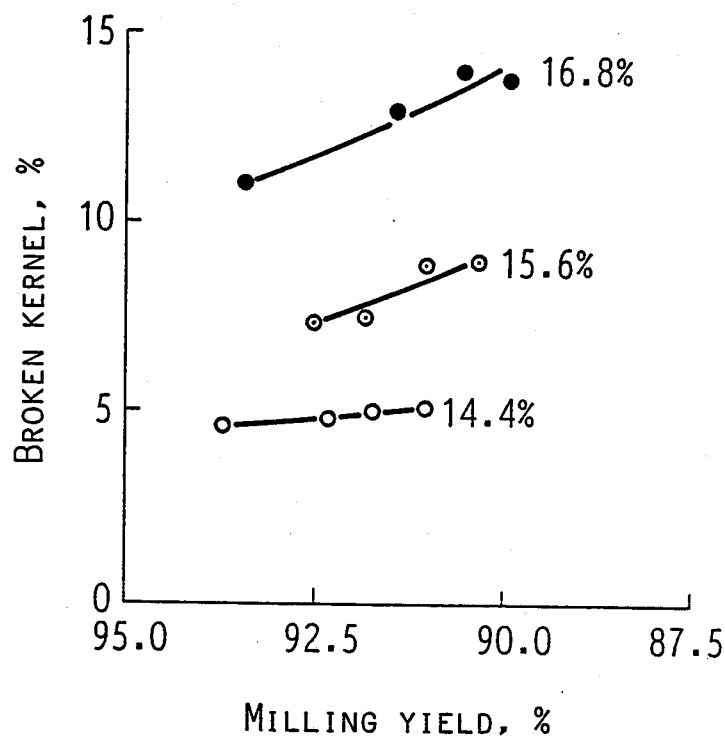


Fig. 24. Relation between broken kernel in milled rice and milling yield of brown rice having three different moisture contents milled on the friction type mill.

そこで、本実験と同一品種の玄米を用い、同一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、胴割率の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。

従って、Fig. 24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が複合されて発生したものであると考えられる。

③ 搗精度

Fig. 25に摩擦式精米機の搗精時間、消費電力量と搗精度との関係について示した。

Fig. 25に示したように、同一搗精度を得るための搗精時間、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。

搗精度は完全粒精白米の糠層剥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。従って、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能率及び搗精効率の向上につながることを知った。

さらにFig. 25の傾向は、第3章第3節において示した、玄米温度が搗精時間、消費電力量と搗精度との関係に与える影響（Fig. 19）と同様であることから、玄米温度及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、玄米温度及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能率に対して影響を与えていると考えられる。

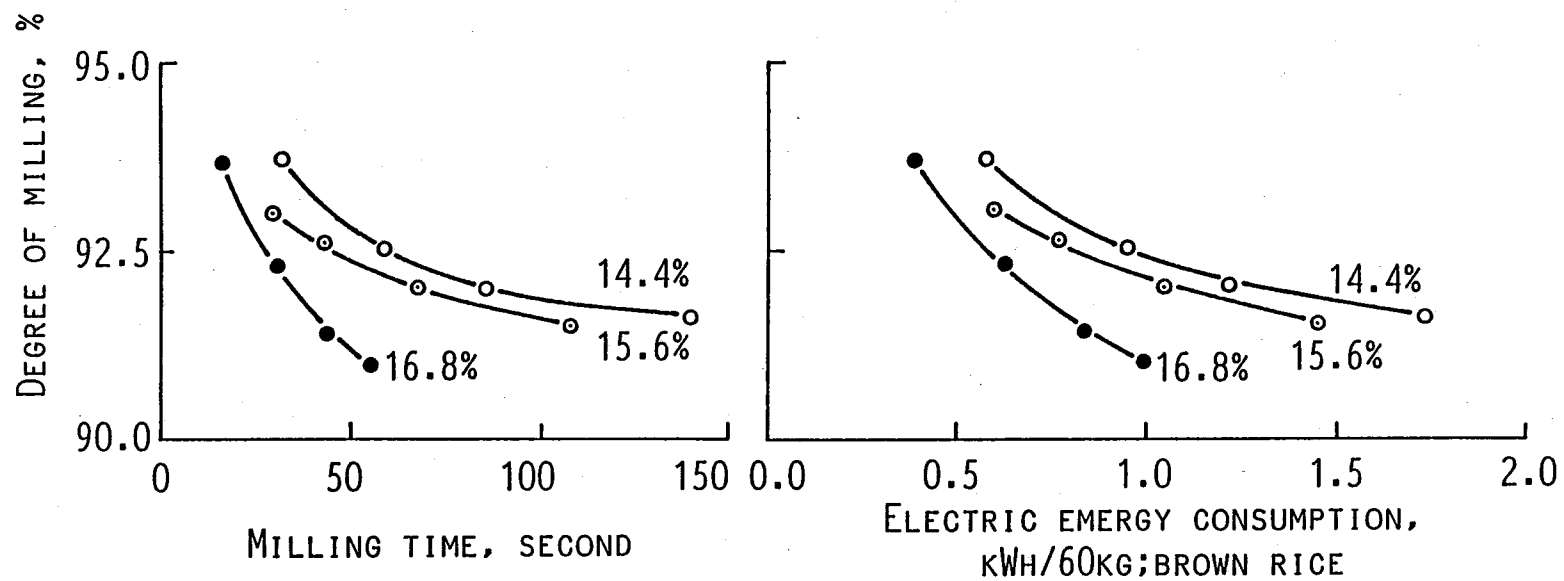


Fig. 25. Degree of milling of brown rice having three different moisture contents as related to milling time and electric energy consumption of the friction type mill.

④ 完全粒歩留

Fig. 26 に、摩擦式精米機の搗精歩留と完全粒歩留及び搗精度と完全粒歩留との関係を示した。

Fig. 26 に示したように、同一搗精歩留及び同一搗精度において、低水分玄米の完全粒歩留が高水分玄米のそれより高い値を示した。これは、水分の低い玄米は剛度が高く搗精による碎粒発生が少ないことから、完全粒歩留が向上したと考えられる。

POMINSKI et al.¹⁰⁹⁾ は、水分が10%から14% (Tag-Heppenstall水分計による) の長粒種米 (Bluebonnet50) を用いて行った実験で、本実験と同様に、水分減少にともない完全粒歩留が増加する結果を得ている。一方、WEBB et al.¹²⁸⁾ は、同一搗精度となるように搗精を行った場合、低水分玄米と高水分玄米との完全粒歩留の差はほとんどないと述べている。これは、WEBB¹²⁸⁾ は、水分が6~10% (水分測定法は不明) という、我が国から見れば極端に低水分の試料を実験に用いたためであり、このような水分の玄米は剛度がきわめて高く、いずれの水分においても精米機の搗精作用の限界に近いため、搗精特性の差異がほとんど生じなかったものと考えられる。

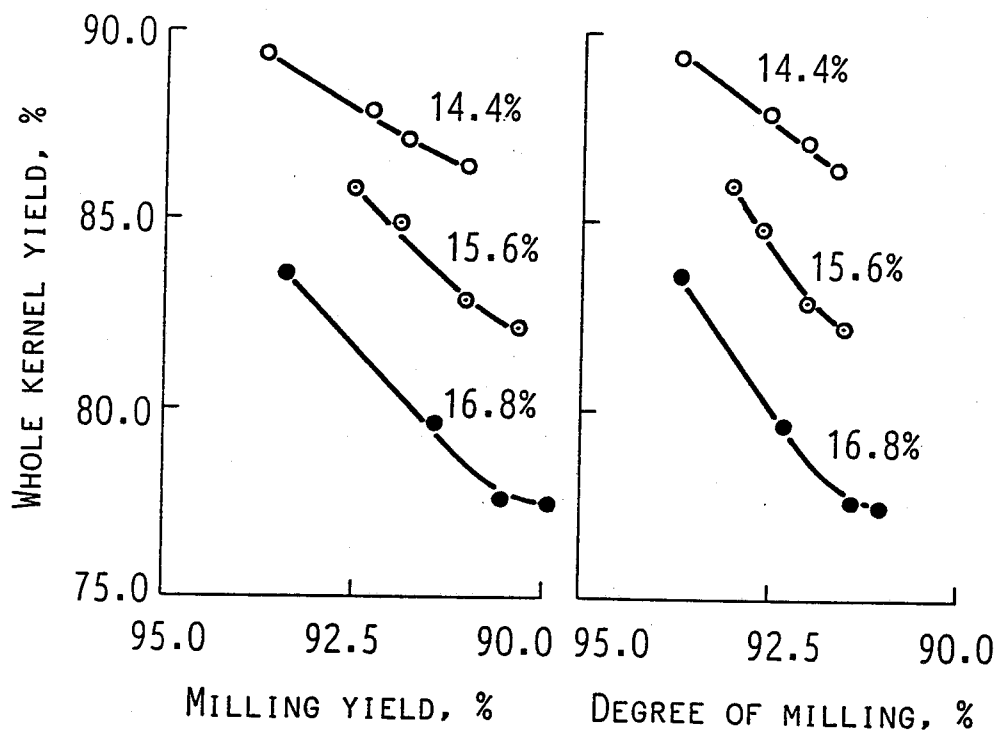


Fig. 26. Whole kernel yield of brown rice having three different moisture contents as related to milling yield and degree of milling of the friction type mill.

⑤ 穀温上昇

Fig. 27に、摩擦式精米機の搗精による穀温上昇値を示した。

Fig. 27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℃上昇して39.6℃となり、同じく水分15.6%の試料では14.6℃上昇して34.6℃となり、水分16.8%の試料では10.5℃上昇して30.5℃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。

第2章に述べた精米工場での調査においても、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、搗精による穀温上昇が抑制される例が認められた。

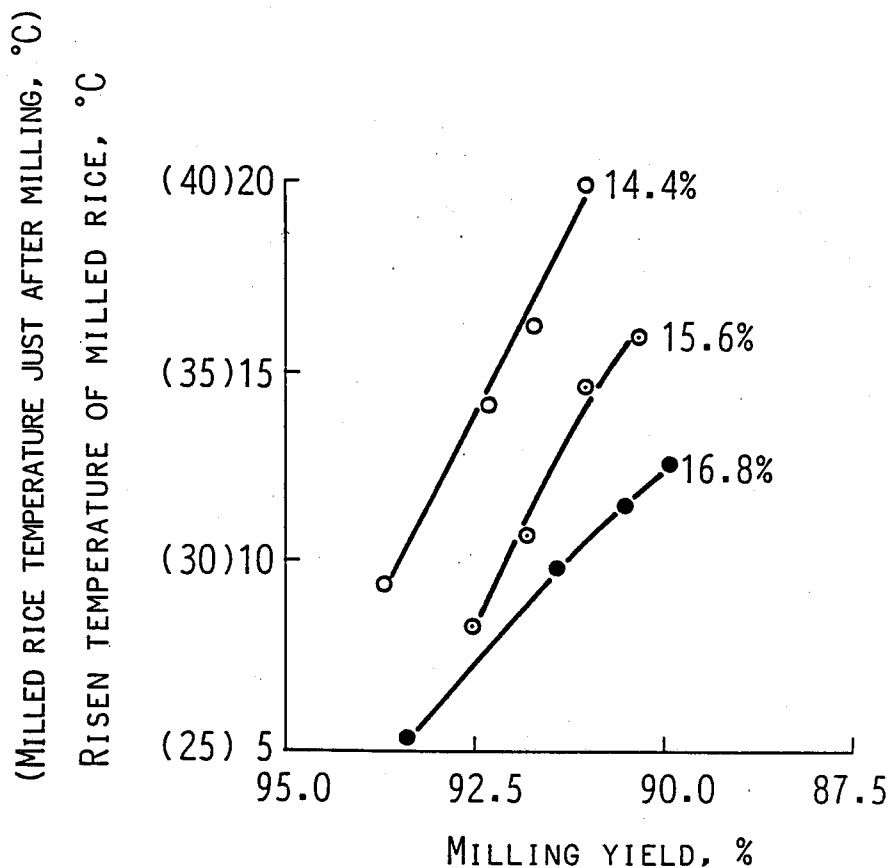


Fig. 27. Relation between risen temperature of milled rice just after milling and milling yield of brown rice having three different moisture contents milled on the friction type mill.
The brown rice temperature before milling was conditioned at 20°C.

(3) 研削式精米機の搗精特性

Fig. 28 に、研削式精米機の搗精時間、消費電力量と搗精歩留との関係について表した。

Fig. 28 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。例えば、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0.68kWh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、1.03倍の0.89kWhに、水分14.4%の玄米では、それぞれ1.25倍の94秒、1.13倍の0.98kWhに増加した。

これは、玄米水分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. 23) 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 $\frac{1}{10}$ から $\frac{1}{20}$ 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そ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。

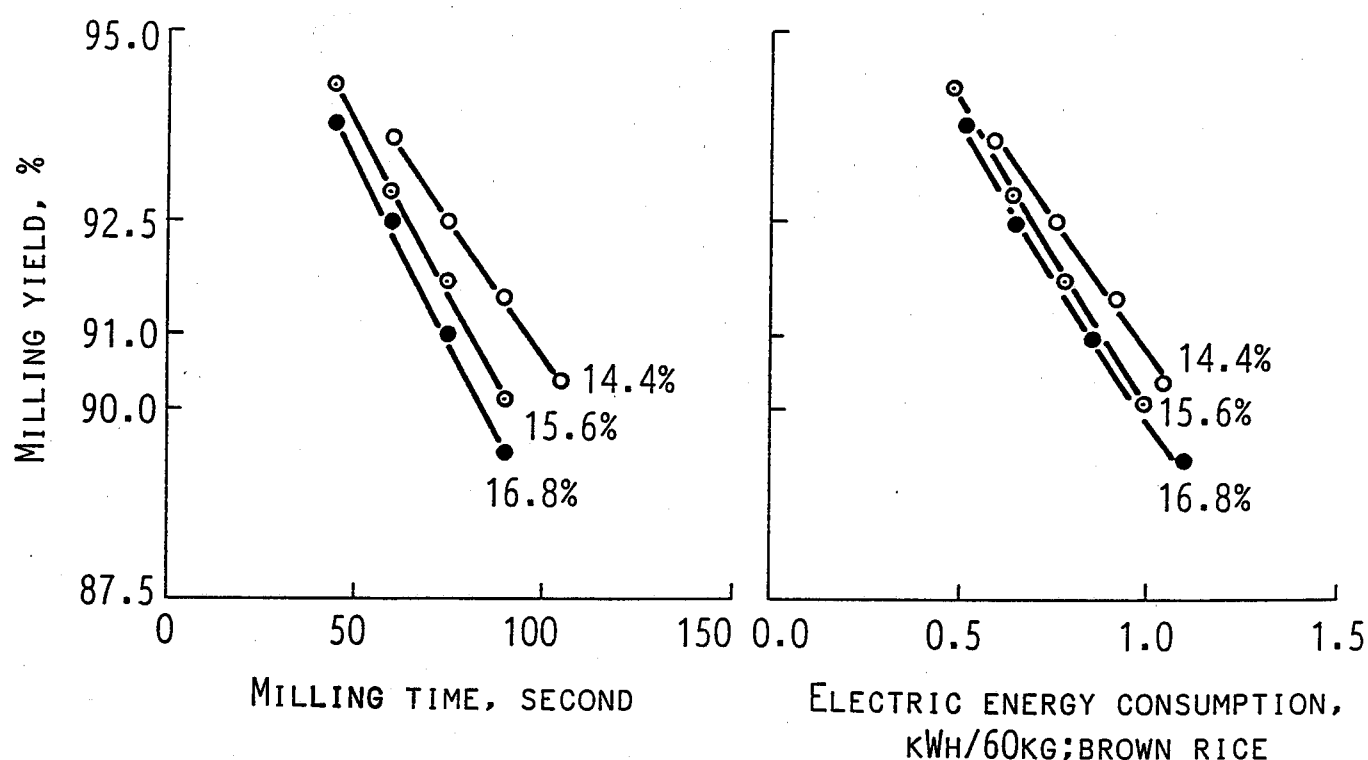


Fig. 28. Milling yield of brown rice having three different moisture contents as related to milling time and electric energy consumption of the abrasive type mill.

(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う玄米剛度の変化に起因することが明らかとなった。

すなわち、玄米水分の増加にともなう剛度の低下のため、搗精時間や消費電力量が低減し、よって搗精能率及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う剛度の増加のため、碎粒発生が低減し、よって完全粒歩留が向上する。

玄米水分変化にともなう剛度変化は、古米化による剛度変化が胚乳部に生じることと異なり、玄米温度による剛度変化と同様に、米粒の糠層及び胚乳部全体に生じると考えられた。すなわち、玄米温度及び玄米水分の変化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及び食味も含めて考慮した場合には、玄米温度及び玄米水分の変化を同質のものと考えすることはできないと思われる。これらについては第4章にて究明する。

3-4-4. 要約

玄米水分が搗精特性に与える影響を知る目的で、水分を14.4%、15.6%及び16.8%に調整した玄米を用い実験を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- (1) 玄米水分の減少にともない剛度が増加した。この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、米粒の糠層及び胚乳部全体に生じた。
- (2) 玄米水分を上昇させると搗精時間や消費電力量が低減し、よって搗精能率及び搗精効率が向上した。逆に、玄米水分を低下させると碎粒発生が低減し、よって完全粒歩留が向上した。
- (3) 水分の高い玄米は低い玄米に比較して搗精時間が短く、よって搗精による発熱量が少なく、穀温の上昇が少なかった。

- (4) 玄米水分を増加させた際の搗精による砕粒発生の増加は、剛度低下と水分調整による胴割粒発生とが複合して生じた。
- (5) 玄米水分の変化が搗精特性に与える影響の程度は、摩擦式精米機より研削式精米機において小さかった。
- (6) 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う剛度変化に起因した。このことは、玄米温度が搗精特性に与える影響と同様であることから、搗精特性に与える影響のみに注目すると、玄米水分と玄米温度の変化は同質のものとして、これらを玄米剛度に置換することができると考えられた。

第4章

精白米の品質及び食味に関する実験

第3章にて明らかにした搗精特性は、米の一次加工段階において、とくに米穀加工業者にとって最も関心の集まる、加工利用上での重要な品質要素であった。

本章にて取り上げる、飯用米としての米の最終加工形態である精白米の品質は、米の二次加工段階すなわち、炊飯ならびに調理において食味にかかわる重要な要素であり、消費者に直接手渡される商品として備わるべき形質であると言えることができる。

精白米に備わるべき品質は、外観、貯蔵性、食味などがその要素としてあげられる。

食味については、現在までのところ、多数の人々をパネルに用いた官能検査によって判定されており、物理化学的測定により食味を判断する方法は確立されていない。しかも、米の品質要素のうち消費者が直接評価できるのは食味だけであることから、本研究では精白米品質の最も重要な要素として食味を取り上げた。

従来から、搗精は精白米の食味に大きな影響を与える要因と予想されながらも¹⁰⁴⁾、これに関する研究は少ない¹⁶⁷⁾。そこで本章では、合理的搗精方法を明らかにするための要因として、搗精条件が精白米の品質及び食味に及ぼす影響について明らかにすることとした。

すなわち、本章で言う搗精条件とは、異なる搗精作用を持つ二種類の精米機及びそれらを組み合わせた際の搗精方法、また、搗精前の玄米の温度や水分などを指し、これらが精白米の品質及び食味にどのような影響を与えるかを明らかにしようとするものである。

第4章 第1節

実験用精米機ならびに実用精米機による 精白米の品質及び食味

4-1-1. 実験目的

既述したように、我が国の大型精米工場では、研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせた、いわゆるコンパス式精米装置が多く用いられている。これらの二種類の精米機は異なる搗精作用により搗精を行っているが、これらの精米機により搗精された精白米の品質及び食味について比較した例は見当たらない。

一方、搗精実験では一般に小型の実験用精米機が使用される。そのため、実験用精米機による精白米と実用精米機による精白米の品質及び食味について明らかにする必要があるが、これらについて調査した報告はない。

そこで本節においては、実験に用いた小型の研削式精米機及び摩擦式精米機により、それぞれ搗精された精白米の品質及び食味について明らかにし、そのうえで、これらと実用大型精米機により搗精された精白米とについて比較検討しようとするものである。

また、糠層剥離の程度すなわち、搗精度が精白米の品質及び食味に与える影響についても、同時に明らかにすることを目的としている。

4-1-2. 実験方法

(1) 供試精米機

① 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菊水工場に設置されている、佐竹製作所製コンパス式精米装置CP4A型を選んだ。

② 実験用精米機 (Laboratory rice mill)

第3章第1節に示したように、実験には研削式精米機 (Abrasive type mill) として佐竹製作所製試験用搗精機TM-05型を、摩擦式精米機 (Friction type mill) として同

じく佐竹製作所製モータワンプスMCM-250型を用いた。

(2) 供試試料

試料玄米には1979年北海道当別産「イシカリ」を中心に「ともゆたか」及び「ゆうなみ」を混米した玄米を用いた。

実用精米機による精白米は、上記玄米をホクレン札幌ライスステーション菊水工場で搗精中に採取したものである。この精白米は、のちに標準価格米として市販された。

食味試験ではこの標準価格米を基準米とした。

実験用精米機による精白米は、上記玄米を研究室に持ち帰り、搗精したものである。搗精は第3章第1節に示した精米機使用条件で行った。

供試玄米の初期条件は、水分が16.4%，白度が13.7%，容積重が851g/lであり、搗精前の玄米温度は、実用精米機では3℃，実験用精米機では10℃であった。

(3) 精白米の品質測定

商品としての精白米に備わるべき品質には、外観，貯蔵性，食味がその要素としてあげられることは前記のとおりである。これらの精白米の品質を具体的に明示するために、幾多の種類の品質試験¹⁰⁴⁾が実施されているが、本研究においては、合理的搗精方法を見出すために、搗精方法や搗精前の玄米温度，水分などの特徴が明確に示される項目を選択して実験を行った。

すなわち、精白米の外観を表わす測定項目として、白度，透光度，色調及び胚芽残存率などに注目した。また、精白米の表面状態を推測する手段として、容積重や流動性を計測した。貯蔵性の判定には、脂肪酸度及びカビの発生を調べた。さらに、食味に最も近い物理化学特性として炊飯特性を測定し、そのうえで食味試験を実施し、精白米の品質を最終的に判定した。

Fig. 29に、本研究において行った標準的な精白米品質測定の手順と測定項目とを示した。

なお、胚芽残存率及び炊飯特性を除いた他の測定は、第3章第2節に示した玄米物理化学特性の測定と同様な方法を用いて行った。

① 水分 (Moisture content)

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

以下の測定は、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により異物・碎粒を除去した精白米について行った。

② 千粒重 (1000-kernel weight)

完全粒精白米1000粒の重量を測定し、これを搗精度の算出に用いた。

③ 容積重 (Bulk weight)

木屋製作所製ブラウエル穀粒計を用い、精白米1 Lあたりの重量を求めた。

④ 流動性 (Fluidity)

本測定のために試作した逆円錐型のステンレス製ホッパから、精白米が自然流下する時間により流動性を表した。すなわち、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。

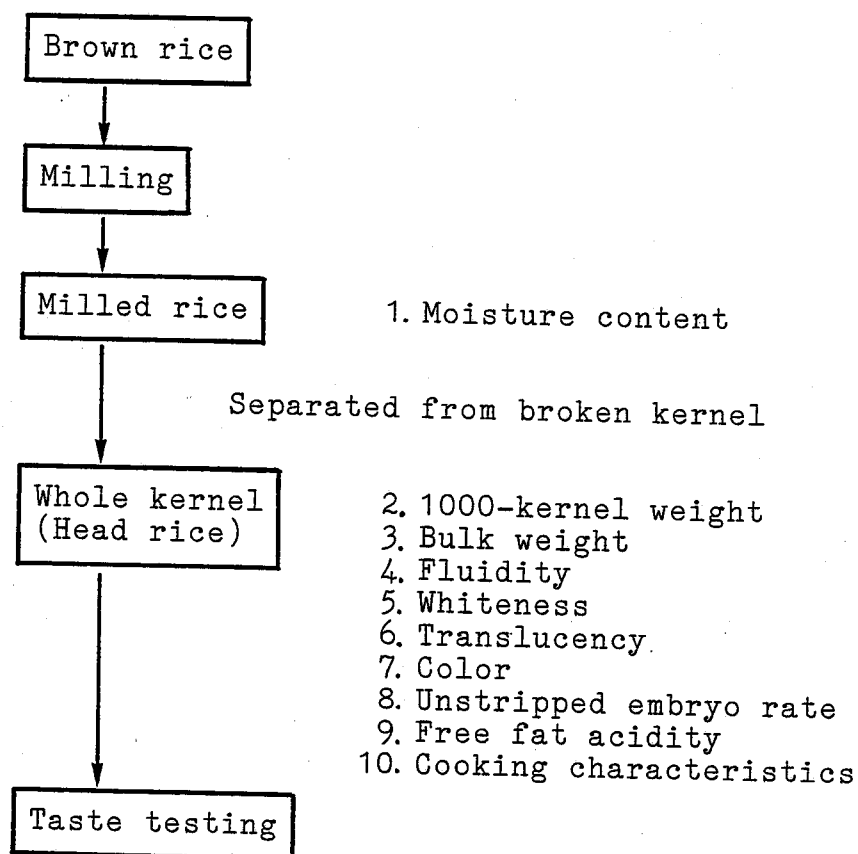


Fig. 29. Schematic flowchart for procedure of measuring milled rice qualities and taste.

⑤ 白度 (Whiteness)

ケット科学研究所製光電管白度計C-1型を用い、青色フィルターを透過した光（透過光の波長は452nm）で精白米表面の光の反射率を測定し、これを白度として表した。

⑥ 透光度 (Translucency)

理研計器製ライスメータQS-101S型（精白米用）を用い、精白米中の光の透過率を測定し、これを透光度として表した。

⑦ 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）， ΔE （色差値）を算出した。

⑧ 胚芽残存率 (Unstripped embryo rate)

食糧庁食糧事務所検査部で行っている胚芽残存率の測定法²⁸⁾に従い、精白米400粒を胚芽全存粒（1粒カウント），半存粒（ $\frac{1}{2}$ 粒カウント）及び無胚芽粒（0粒カウント）に肉眼で分類し、胚芽残存率を算出した。

⑨ 脂肪酸度 (Free fat acidity)

リパーゼ等の脂質加水分解酵素により生成された精白米中の遊離脂肪酸の酸度を、AACC迅速法により測定し、測定値を乾物100gあ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。

⑩ 炊飯特性 (Cooking characteristics)

炊飯特性とは、精白米をその重量の15倍から20倍量の多量の水中で加熱した際の、米粒と炊飯液との状態を測定するものである。

BATCHER, DAWSON et al.^{5, 6)}により開発されたこの方法は、米粒と炊飯液との状態を同時に知ることができることからFAOでも採用されており、我が国へは谷，竹生ら^{10, 139)}が導入した。そして国内，国外で多くの研究者^{2, 11, 17, 26, 36, 57, 58, 87, 118, 140)}により、例えば、炊飯特性の長粒種と短粒種間の差異、または短粒種内の品種間差異、気候・栽培条件による差異、新米と古米との差異について、あるいは炊飯特性とでんぷんのアミロース含量，アミロース鎖長，糊化温度，アミラーゼ酵素活性などとの関係について報告されている。さらに、炊飯特性と食味との関連性が強いことも報告されてい

このように、炊飯特性は米飯の食味に最も近い物理化学的測定法の一つであり、最適搗精方法の検討を行ううえで極めて重要な項目であると考えられる。

本研究で用いた炊飯特性測定法は、BATCHER, DAWSON et al.^{5, 6)}の方法に基づいて、我が国の実情に適合させた農林省食糧研究所（現農林水産省食品総合研究所）の定めた方法¹⁰⁴⁾に準じ、さらに広く特性を知り、かつデータの再現性を高める目的で、一部の測定を追加改良して行った。

Fig. 30 に炊飯特性測定の手順と測定項目とを示した。

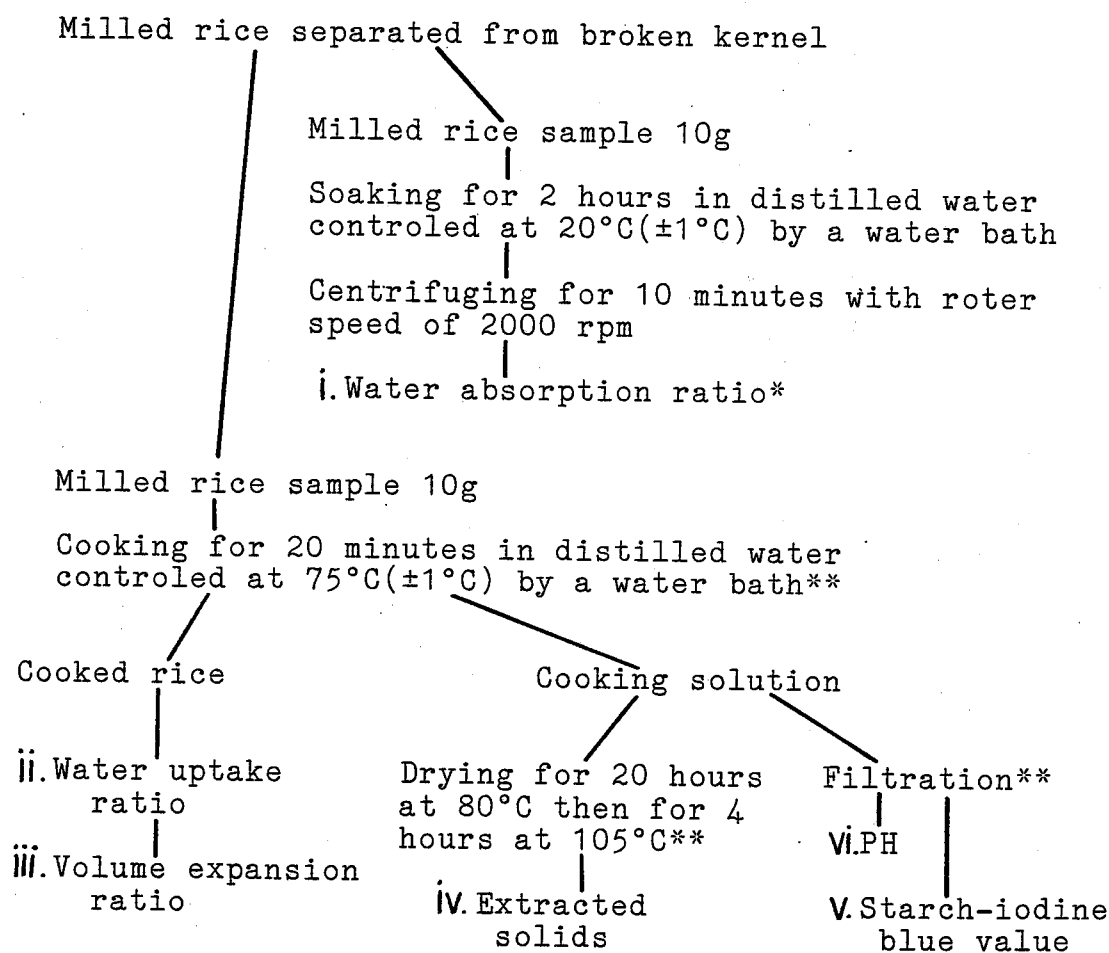


Fig. 30. Schematic flowchart for procedure of measuring cooking characteristics.

* indicates the adopted method in this study.

** indicates the improved method for this study.

i 浸漬吸水率 (Water absorption ratio)

浸漬吸水率は、炊飯前に精白米を水中に浸漬した状態での吸水率である。炊飯前の吸水率が米飯の食味に影響を及ぼす^{72, 73)}ことから、本研究では浸漬吸水率測定を従来の炊飯特性測定に追加して実施した。

浸漬吸水率は、国税庁醸造研究所が制定した統一分析試験法¹⁸⁰⁾の白米吸水性測定法に準じて求めた。すなわち、高さ50mm、直径30mmの多孔底板を持つステンレス製浸漬管に精白米10gを入れ、これをウォーターバスを用いて20℃(±1℃)に温度設定をした蒸留水中に2時間浸漬し、その後、水切りのために久保田製作所製高速遠心分離機KH-180型(ローターはRA-3を使用)を用いて2000rpmで10分間の遠心分離を行い、次式により浸漬吸水率を求めた。

$$\text{浸漬吸水率} = \text{浸漬後精白米重量} \div \text{浸漬前精白米重量} \quad [\text{倍数}]$$

この遠心分離におけるRCF(Relative centrifugal force) × t(Minute)は2590 g・分であり、これは上記の統一分析試験法の基準を満足している。

ii 加熱吸水率 (Water uptake ratio)

従来の炊飯特性測定法では、市販されている電気自動炊飯器を加熱に利用している。しかしながらこの方法では、加熱終了を決定するために用いられている感熱センサーの精度が高くないため、加熱温度のばらつきが予想された。

そこで予備実験として、電気自動炊飯器を用いた炊飯特性測定の再現性について調査した。その結果、炊飯液の温度に最大14℃のばらつきがあり、測定値に測定の繰り返しによる非常に有意な差があることが認められた。

従って、電気自動炊飯器を用いて炊飯特性測定を行うことは、データの再現性を確保できないことから不適当であると判断した。そこで本実験では、温度制御の可能なウォーターバスを加熱に用いた。

加熱温度は、これが高すぎる場合には、米粒が崩壊して¹⁷⁹⁾正確な炊飯特性の測定が困難となる。そこで、加熱温度を変化させて行った予備実験の結果及び幾つかの研究例^{87, 28, 149)}を参考にして、試料間の差異を顕著に表すことのできる加熱温度として75℃を選んだ。

すなわち、高さ80mm、直径40mmの円筒金網かごに精白米10gを入れ、かごの中の精白

米表面を均平にならした後、その高さを金網かご円周上の4カ所でノギスにより測定する。蒸留水170mlを入れ、あらかじめウォーターバスにより蒸留水温を75℃(±1℃)に調整したトールビーカ内に、前記の試料をかごとともに投入し、75℃の水温を保ちつつ正確に20分間加熱炊飯する。20分後にトールビーカをウォーターバスより取り出し、さらにトールビーカよりかごを取り出し、すばやく水切りをした後、次式により加熱吸水率を求めた。炊飯終了から加熱吸水率測定までは約1分間で行った。

$$\text{加熱吸水率} = \text{炊飯米重量} \div \text{精白米重量} \quad [\text{倍数}]$$

iii 体積膨張率 (Volume expansion ratio)

炊飯前と同様に、炊飯米の高さをノギスにより測定し、次式により体積膨張率を算出した。

$$\begin{aligned} \text{体積膨張率} &= \text{炊飯米体積} \div \text{精白米体積} \\ &= \text{炊飯米高さの和} \div \text{精白米高さの和} \quad [\text{倍数}] \end{aligned}$$

なお、75℃で20分間加熱した炊飯米は、米粒中心部はまだ糊化していない、いわゆる「しんがある」状態であった。

iv 炊飯液中の溶出固形物 (Extracted solids)

トールビーカ内に残った炊飯液をメスフラスコに移し、これに蒸留水を加えて200mlに定容する。ここから20mlをアルミはく製容器に採取し、これを炊飯液の突沸を防ぐために80℃に設定したオーブン内に20時間入れ、さらにオーブンの温度を105℃として4時間絶乾したのち固形物重量を計測し、その値を10倍して炊飯液200ml中の溶出固形物重量を求めた。

v 炊飯液のヨード呈色度 (Starch-iodine blue value)

メスフラスコ内に残った炊飯液を濾紙(東洋濾紙No.1)で濾過して浮遊物を除去する。濾液40mlとヨード溶液(2.0g I_2 + 20g KI / 1000ml H_2O) 2mlと1N酢酸1mlとを100mlのメスフラスコ内で酸性状態で反応させた後、これを蒸留水で100mlに定容する。ヨード溶液2mlと1N酢酸1mlとを蒸留水で100mlに希釈したものをブランクとし、日立製作所製分光光度計101型を用いて波長600nmにおける上記試料の吸光度(Absorbance)を測定し、これをヨード呈色度とした。

ヨード・でんぷん反応による呈色は、米でんぷんを構成するアミロース及びアミロペ

クチンのうち、アミロースの直鎖状らせん構造とヨードとの反応により発色するものである^{97, 102)}。一方、もち米でんぷんは、ほとんどアミロペクチンにより構成されており、これが米飯の粘りを発現させている^{29, 37)}。従って、米の品種間差異や栽培条件の差異について調査した数多くの研究^{10, 16, 26, 36, 56, 57, 58, 59, 141)}では、ヨード・でんぷん反応の吸光度と米飯の粘りとは負の相関関係にあり、吸光度が高いほど粘りが少ないと報告されている。

しかしながら、本研究において炊飯特性測定の対象とした試料は、同一品種の玄米を異なる条件で搗精した精白米である。そのため、吸光度は炊飯により米粒から炊飯液中に溶け出したでんぷんの量を測定するものとなる。

あらかじめ行った予備実験で、でんぷん濃度を調整した溶液の吸光度を測定し、キャリブレーションカーブを求めたところ、

$$Y = 6.36X \quad r = 0.996^{**} \quad r(11, 1\%) = 0.683$$

ここに、Yはヨード・でんぷん反応における吸光度、

Xは溶液のでんぷん濃度% (v/v) である。

という非常に強い回帰性のある式が得られた。

従って、本研究では吸光度が高いほど炊飯液へのでんぷんの溶出量が多いこととなる。

vi 炊飯液のPH

炊飯液の濾液のPHを、横河電機製作所製ポケットPHメータ (PH-51型) を用いて測定した。

(4) 食味試験 [官能試験] (Taste testing, Sensory testing)

我が国における米の食味試験は、農林省食糧研究所 (現食品総合研究所) で検討、改良された方法¹⁰³⁾をもとに、1966年に食糧庁が「米の食味試験実施要綱及び同実施要領」を発表し、さらに1968年にこれを「米の食味試験実施要領」と改定し、全国で1年に2回 (1~2月と7~8月) 各都道府県の食糧事務所で実施されている。

そこで本研究においても、この食糧庁の方法^{4, 104)}に準拠して米の食味試験を実施した。

Fig. 3 1 に食味試験の実施手順を示した。

i 試食者 (パネル, Panel) の選定

食味試験による判定結果に普遍性を持たせるためには、パネルの年齢や性別が適当に分散していることが望まれる。米の食味試験実施要領では、パネルは24名とし、年齢構成は20～39才及び40才以上の者をほぼ同数に、かつ男女もほぼ同数にすることとされている。しかしながら、我が国において米は主食であり、成人であれば米の味について広く長い経験を持っている。従って、米の食味試験は嗜好品や新開発食品の食味試験に比較してパネルの性別や年齢差による影響は少ない^{121, 172)}とされている。

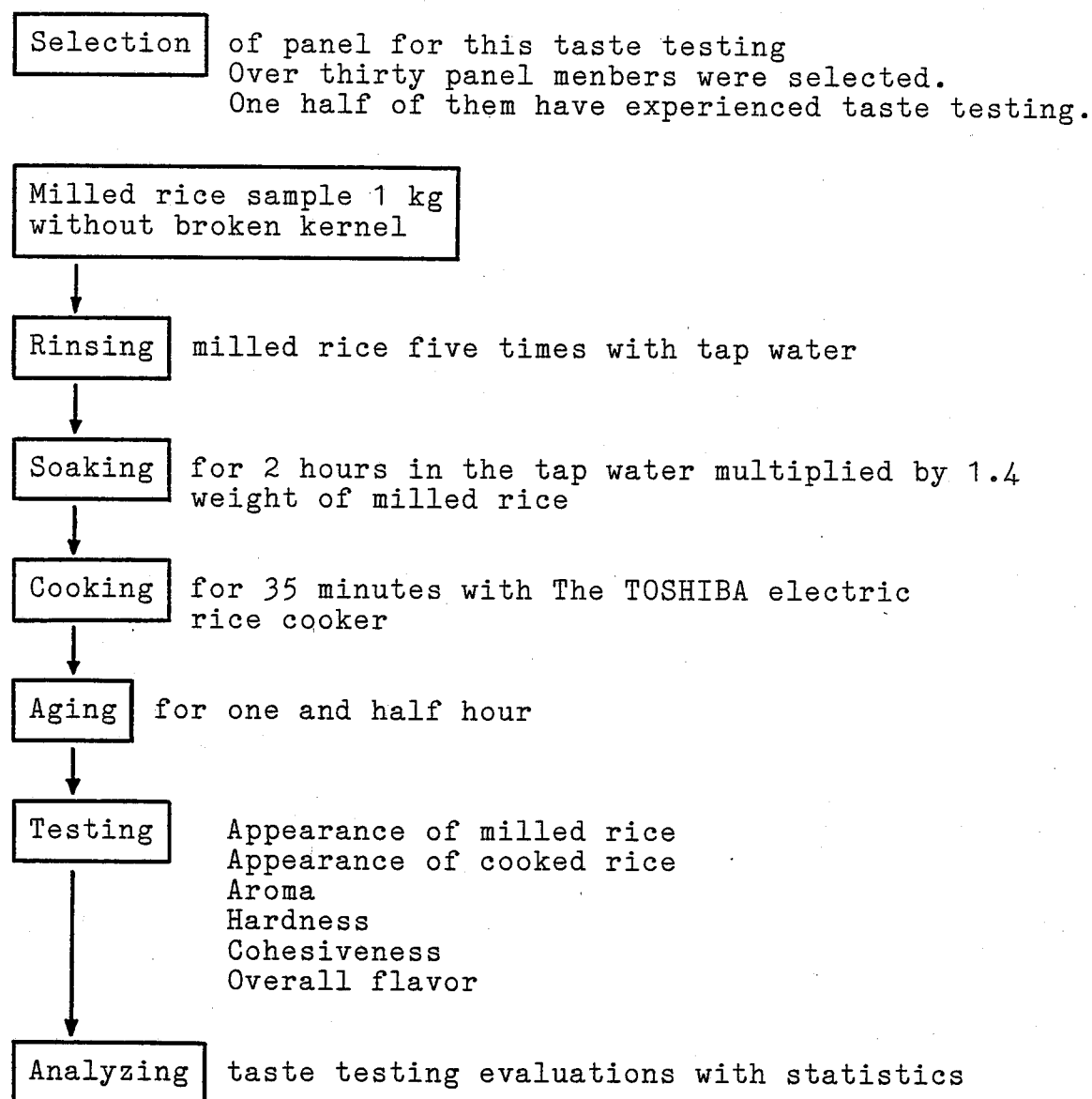


Fig. 31. Schematic flowchart for procedure of taste testing.

米の食味試験のパネル数は、例えば半数の12名構成で、すでに大きな情報の損失が生じ食味評価の精度が著しく低下し¹⁵⁾、逆に、たとえ食味試験の経験に乏しいパネルを用いたとしても、30名以上のパネル数であれば、平均された全体の評価値は安定し再現性がある¹²¹⁾。

これらのことから、本研究の食味試験においては、食味試験に協力的な30名以上の可能な限り多くのパネルを用いることとした。さらにより安定した評価を得るために、パネルのうち食味試験経験者をできる限り多くするように努めた。その結果、本研究で行った食味試験を通じて、信頼性の高い食味評価が得られたものと考えられる。

本節の食味試験におけるパネルは、北海道大学農学部内の教職員及び学生の中から選んだ38名であった。その構成は女性が15名(39%)、40才以上の者が12名(32%)であり、食味試験経験者は18名(47%)であった。

ii 炊飯方法

炊飯方法の差異が炊飯米の食味に与える影響を排除するため、次に示した手順で炊飯を行い試験に供した。

炊飯には東芝製電気炊飯器RC-187F型(1.8L炊き、600W)を8台用意した。あらかじめこの炊飯器を用いて炊飯テストを行った結果、炊飯時間の差は最高4分間であることが分かり、これは食味試験における炊飯器器差の基準(5分間)⁴⁾以内であった。これにより同一の炊飯条件が得られることが確認された。

炊飯量は、パネルに供試するに必要十分な量として精白米1kgを用いた。

洗米は、十分な量的水中で精白米を手で攪拌し水を捨て、これを5回繰り返した。

加水量は、予備試験ならびに他の研究例^{22, 73, 105, 114)}を参考にして、精白米重量の1.4倍の水すなわち、精白米1kgに対して1.4Lの水を加え炊飯した。

浸漬時間は、精白米に十分な吸水をさせるため2時間とし、その後、8台の炊飯器で同時に加熱炊飯を開始した。

炊飯時間はおよそ35分間であり、その後30分間蒸らして米飯を軽く攪拌した。炊飯後ある程度炊飯米を放置することにより、供試試料の差がより明確となる⁴⁸⁾ことから、30分間の蒸らしの後さらに1時間の間隔を置き、試食を開始した。

試食開始時の米飯の温度は、約50℃であった。

iii 食味評価

食味評価は、個人差と季節による評価の変動が少ないとされる相対比較法^{4, 103)}により行った。米の食味試験実施要領には「味（うま味）」という評価項目がある。しかし、味はパネルに総合評価と混同されて評価されることがある¹⁷⁰⁾ことから、本試験では「味」の評価項目を除外し、パネルにうまいか否かについては総合評価にて判定するように前もって知らせた。また、精白米の外観が搗精方法や搗精歩留により異なると予想された^{32, 42)}ため、本試験では、従来からの米の食味評価に精白米外観の評価を加え、これを試食の前に行った。

すなわち、本食味試験では、精白米外観 (Apperance of milled rice) , 炊飯米外観 (Apperance of cooked rice) , 香り (Aroma) , 硬さ (Hardness) , 粘り (Cohesiveness) , 総合評価 (Overall flavor) の6項目について、基準米との相対的な比較により評価した。

試食は、食前1時間から食後2時間までの間はこれを実施しないことが望ましい⁶⁷⁾とされていることから、午後3時から実施した。

前記の要領で選定したパネルを、性別及び年齢にグループ間差異が生じないように注意しながら6グループに分け、各パネルを同グループの2名が隣り合わぬように縦方向に配置した。

試験開始に先立ち、パネルに対してFig. 3 2に示した食味試験実施要領を配付し、あらかじめ試験の目的、進行順序、判定基準及びFig. 3 3に示した食味試験評価記入用紙の記入要領についての説明を行った。ただし、試食する試料についての情報は一切与えなかった。

試食は、白色無地陶器製洋皿（直径23.5cm）の4ヵ所に赤，黄，青，緑のテープを貼り、赤色テープの位置に基準とする米飯を置き、他の3ヵ所には各パネルグループごとに異なった組み合わせの試料を盛り付けて行った。試食に際して、試料ごとに白湯で口をすすぎ、口に入れた米飯はそのまま飲み下すこととした。また試食中において私語，談話及び喫煙などを禁じて静かな環境を保ち、各パネルが試験に集中できるように配慮した。

得られた食味評価は分散分析，相関分析，回帰分析などの統計的手法^{4, 68, 175)}を用いて解析した。

食味試験実施要領

北海道大学農学部農畜産加工機械学教室

実施手順

- (1) 精白米外観の評価 (1回目)
- (2) 試食 (1回目)
- (3) 精白米外観の評価 (2回目)
- (4) 試食 (2回目)

評価判定基準

この食味試験における評価はすべて基準米（赤色）を基準とし、その他の試料（黄，青，緑）がこの基準米より優れているか、同じか、劣っているかを以下の基準により判定してください。

精白米

外観：精白米の白さ，色あい，光沢，つや，透明感により判定する。

炊飯米

外観：炊飯米の白さ，色あい，光沢，つや，ごはんつぶの形状が保たれているか否かにより判定する。

香り：糠の臭いや古米の臭いがするか，ごはんとして好ましい香りがするか否かにより判定する。

硬さ：ごはんを口のなかに入れ，噛む時の歯ごたえにより判定する。

粘り：ごはんを口のなかで噛み，噛み合わせた歯を再び離す際の粘着力により判定する。（もちを食べた時やガムを噛んだ時の粘り）

総合評価：炊飯米の外観，香り，硬さ，粘りなどを総合して評価し，ごはんとして自分が好むか，うまいと思うか否かにより判定する。

- 注意
- ◎ 試食は赤→黄→青→緑（時計まわり）の順序で行ってください。
 - ◎ 各試料ごとに白湯で口をすすいでから試食を行い，口に入れた試料はそのまま飲み下し，余分な試料はそのまま皿に残して下さい。
 - ◎ すべて各自の主観と好みにより判定し，特に他人の判定にはとらわれないようにお願いします。
 - ◎ 判定はあまり考え込まないで第一印象で行ってください。また，違いがわからないというのもそれでりっぱな判定となりますので基準と同じとしてください。

Fig. 32. Information of taste testing to a panel of testers.

食 味 試 験 評 価 記 入 用 紙

パネルグループ, No. () 氏名 () 性別 (男, 女)
 年齢 (1) 29 歳以下 (2) 30 ~ 39 歳 (3) 40 ~ 49 歳 (4) 50 歳以上
 朝食の内容 ① いつもごはん ② ごはんが多い ③ ごはんとパンが半半
 ④ パンが多い ⑤ いつもパン ⑥ その他, 食べない

1 回 目	評 点	精白米 外 観	炊 飯 米				
			外 観	香 り	硬 さ	粘 り	総合評価
基準より 極端に 良い	+ 5						
基準より たいそう 良い	+ 4				かたい	つよい	
基準より かなり 良い	+ 3						
基準より すこし 良い	+ 2						
基準より わずかに 良い	+ 1						
基準と 同じ	0	(※)	(※)	(※)	(※)	(※)	(※)
基準より わずかに 悪い	- 1						
基準より すこし 悪い	- 2						
基準より かなり 悪い	- 3						
基準より たいそう 悪い	- 4				やわらかい	よわい	
基準より 極端に 悪い	- 5						

2 回 目	評 点	精白米 外 観	炊 飯 米				
			外 観	香 り	硬 さ	粘 り	総合評価
基準より 極端に 良い	+ 5						
基準より たいそう 良い	+ 4				かたい	つよい	
基準より かなり 良い	+ 3						
基準より すこし 良い	+ 2						
基準より わずかに 良い	+ 1						
基準と 同じ	0	(※)	(※)	(※)	(※)	(※)	(※)
基準より わずかに 悪い	- 1						
基準より すこし 悪い	- 2						
基準より かなり 悪い	- 3						
基準より たいそう 悪い	- 4				やわらかい	よわい	
基準より 極端に 悪い	- 5						

Fig. 33. Taste testing evaluation form.

4-1-3. 実験結果及び考察

(1) 搗精度と搗精歩留

Table 11 に供試精白米の搗精歩留と搗精度とを示した。

Table 11 によれば、研削式精米機による精白米の搗精歩留と搗精度とはほぼ同一であるが、摩擦式精米機による精白米では、搗精歩留より搗精度が0.5~2%大きかった。

これは、第3章第2節で既に述べたように、搗精中の異物・碎粒発生により糠中に微碎粒が混入するため、とくに摩擦式精米機において、搗精度より搗精歩留が低い値を示したものである。

従って、供試精白米の品質及び食味の比較検討は同一搗精度、すなわち同一糠除去率の精白米において行うこととした。

実用精米機による市販精白米の搗精度は92.5%であった。

Table 11. Milling yield and degree of milling of tested milled rice.

	Abrasive type mill			Friction type mill		
Milling yield, %	93.7	92.7	91.4	92.7	91.2	89.5
Degree of milling, %	93.6	92.6	91.4	93.3	92.2	91.5

(2) 精白米の品質

① 外観の計測

i 白度

Fig. 34 に白度について示した。

Fig. 34 によれば、白度は搗精度の低下にともない増加しているが、同一搗精度において研削式精米機による精白米の白度が摩擦式精米機による精白米のそれより高い値を示した。

これは、研削式精米機による精白米は、金剛砂ロールによる切削の傷により、いわゆるすりガラス状を呈し、そのため米粒表面の光の乱反射が強く、白度計で測定した白度は高い値を示すのに対し、摩擦式精米機による精白米は、米粒相互の研磨作用により表面が滑らかな状態であり、そのために反射光が減少し白度は低い値を示したと考えられる。さらに、研削式精米機による精白米は付着糠が多いことも白度増加の一因と思われる。

実用精米機による精白米の白度は、搗精初期には研削式精米機と摩擦式精米機の間値であるが、コンパス式精米装置の4番機終了後の製品精白米の白度は摩擦式精米機のそれと同じであった。

ii 透光度

Fig. 35 に透光度について示した。

Fig. 35 によれば、摩擦式精米機による精白米の透光度は研削式精米機による精白米のそれより高い値を示し、さらに、実用精米機による精白米の透光度は摩擦式精米機による精白米のそれよりやや高い値を示した。

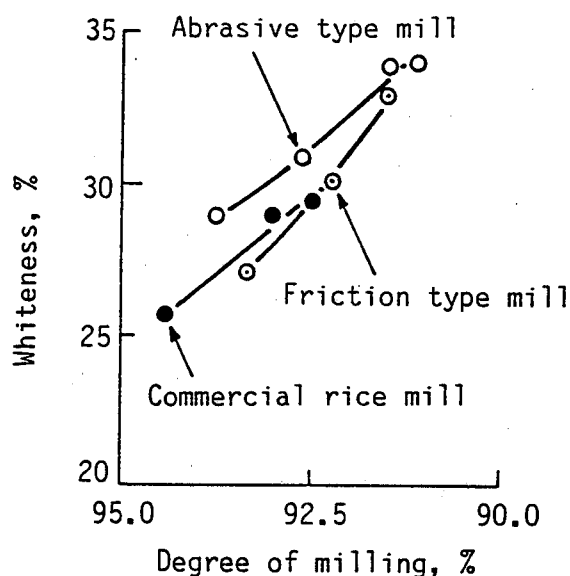


Fig. 34. Whiteness of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

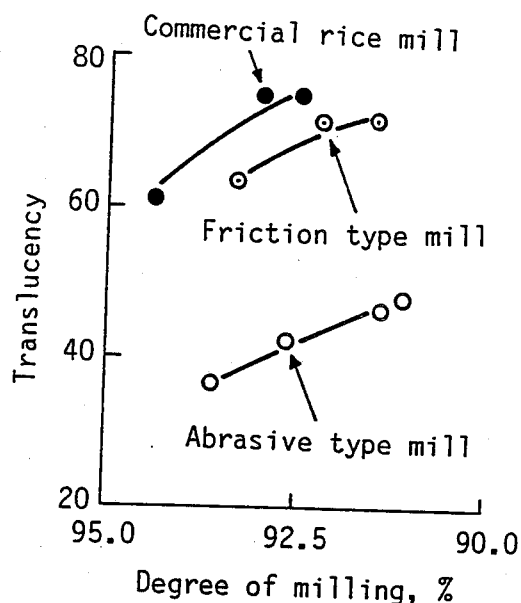


Fig. 35. Translucency of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

研削式精米機または摩擦式精米機によりそれぞれ搗精された精白米を肉眼で観察すると、次のような特徴が認められる。すなわち、前者は米粒表面に研削ロールによる細かな傷が多く、その上、付着糠があるため白くぼやけたすりガラス状で、光沢や透明感がない。これに対し後者は、表面が滑らかで光沢があり、付着糠はなく透明感がある。

食糧事務所検査部によれば²⁵⁾、精白米の外観に関して次にあげるような特質を持つ精白米が良いとしている。すなわち、

- ア．糠層の剥離の良いもの イ．むら搗きでないもの ウ．光沢の良いもの
- エ．付着糠及び遊離糠の少ないもの オ．胚芽残存率の少ないもの
- カ．粒ぞろいの良いもの キ．被害粒（特に着色粒）のないもの
- ク．粉状質粒，心白粒，腹白粒の少ないもの ケ．碎粒の少ないもの
- コ．異物（小碎粒）のないもの、である。

従って、これに照らし合わせると、摩擦式精米機による精白米の外観が好ましいと判断される。このことから、肉眼で見た精白米外観の判定と良く一致する計測値は、白度より透光度であると判断される。

本研究と同様に、多くの研究^{18, 19, 20, 30, 34, 35, 71, 85)}により、米の透過光の測定は外観さらには品質評価との関連が高いことが指摘されている。しかしながら、透過光の測定に関しては、白度におけるような絶対的な基準値や広く普及した測定装置がないことから、各研究者間のデータの直接の比較が困難である。そのため、測定法および測定値の早急な規格化が望まれる。

iii 胚芽残存率

Fig. 3 6 に胚芽残存率を示した。

Fig. 3 6 によれば、搗精度の低下にともない、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米の胚芽残存率はすみやかに低下し、搗精度が92.5%で胚芽残存率は53%となった。これに対して、研削式精米機による精白米の胚芽残存率は低下がゆるやかであり、搗精度が92.5%において97%であった。

摩擦式精米機は米粒に圧力をかけて搗精を行うため、胚芽が他の米粒と接触することにより除去される。一方、研削式精米機は胚芽のある米粒の両端を削ることなく搗精を行う整粒作用を持っており、とくに回転数を低く調整することによりその特徴が顕著に

現れる¹⁴²⁾ことから、胚芽精米の搗精に用いられている。しかしながら、一般の飯用米では胚芽残存率の高い精白米は外観が劣るとされ²⁸⁾ることから、研削式精米機による精白米の胚芽残存率が高いことは外観に悪影響を与えと考えられる。

② 米粒表面の状態

i 容積重

Fig. 37に容積重について示した。

Fig. 37によれば、容積重は、いずれの試料においても、搗精度の低下とともに増加した。また、同一搗精度において、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米の容積重が研削式精米機による精白米のそれより15~20g/l大きかった。

搗精度低下にともなう容積重の増加は、搗精により米粒が小さくなること、及び米粒表面の摩擦係数が減少することが原因であると考えられる。摩擦式精米機による精白米と研削式精米機による精白米との容積重が異なるのは、前者の摩擦係数が後者のそれより小さいことを示している。このことは、前記の白度と透光度において、摩擦式精米機による精白米の外観は滑らかで、研削式精米機による精白米の外観は金剛砂ロールによる傷が多いとしたことと一致する。

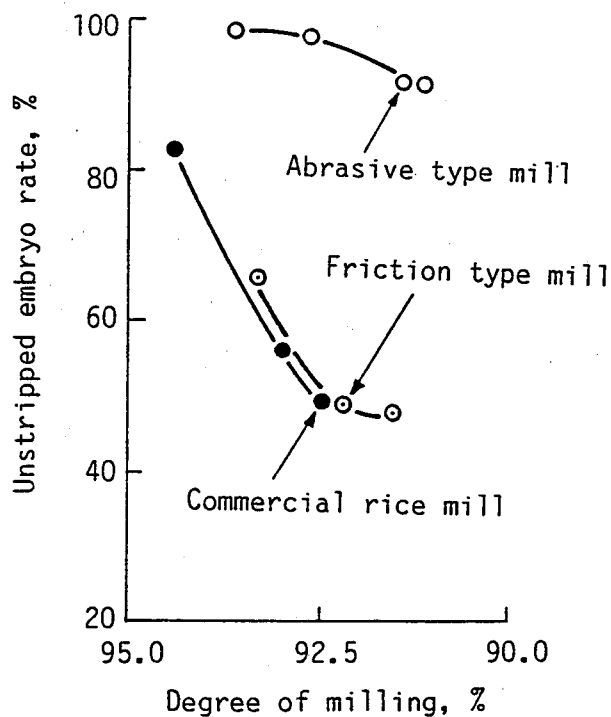


Fig. 36. Unstripped embryo rate of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

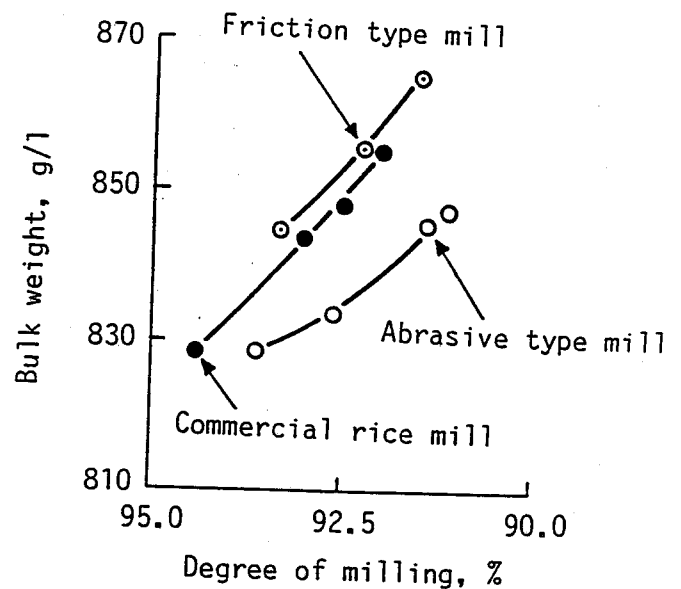


Fig. 37. Bulk weight of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

ii 流動性

Fig. 38 に流動性について示した。

Fig. 38 によれば、流動性は搗精度の低下とともに良くなった。また、各精米機による精白米の流動性の差異は確認できなかった。

③ 貯蔵性

Fig. 39 に脂肪酸度を示した。

Fig. 39 によれば、搗精度の高い精白米は脂肪酸度が高く、さらに同一搗精度において、研削式精米機による精白米の脂肪酸度は摩擦式精米機及び実用精米機による精白米のそれより高かった。

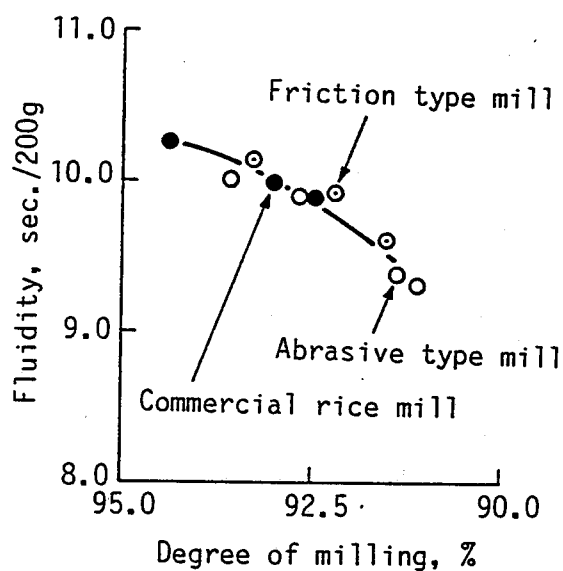


Fig. 38. Fluidity of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

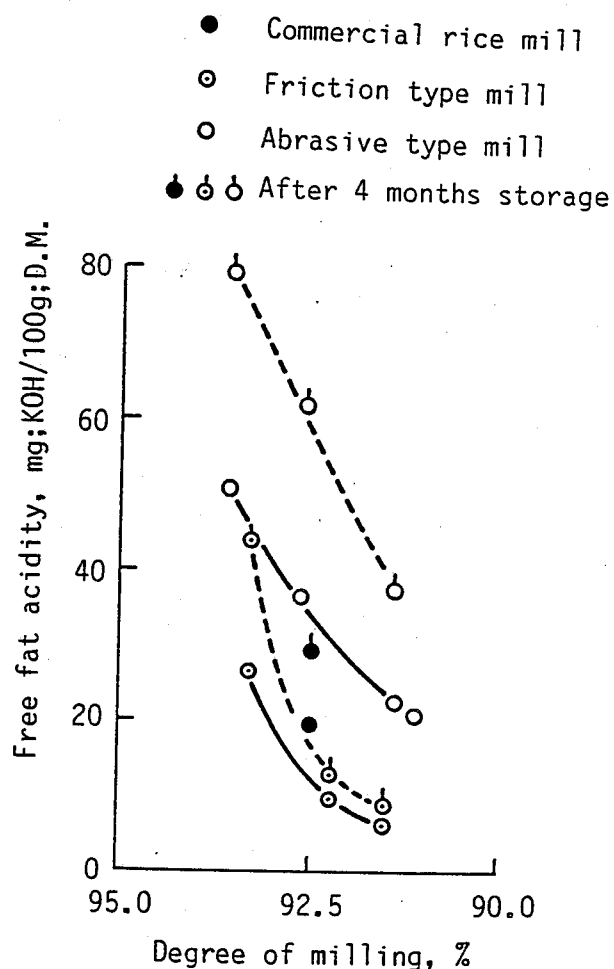


Fig. 39. Fat acidity of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

4 カ月間貯蔵後の脂肪酸度の増加は、搗精度の高い精白米が、また研削式精米機による精白米が大きかった。例えば搗精度92.5%において、摩擦式精米機による精白米の脂肪酸度は14mgから18mgへと1.29倍に増加し、同様に実用精米機による精白米では20mgから29mgへと1.45倍に、研削式精米機による精白米では35mgから61mgへと1.74倍に増加した。精白米の脂肪酸度の増加は、この期間の玄米の脂肪酸度の増加が32mgから34mgへと1.06倍であったのに比較して非常に大きな増加であった。

中性脂質を加水分解し遊離脂肪酸を生成する酵素は、大部分糠層に存在する⁶⁸⁾。従って、精白米の脂肪酸度の増加は主として付着糠及び精白米外周部に残る糠層に起因していると考えられる。

玄米貯蔵に比較して、精白米貯蔵で脂肪酸度が急激に上昇することは、柳井^{158, 161)}及び渋谷ら¹¹⁶⁾も指摘している。

精白米の脂肪酸度が急激に増加することに対し、Fig. 39の、摩擦式精米機により搗精度を91.5%（搗精歩留は89.5%）に搗精した精白米の例が示すように、搗精度を低下させ糠層を剥離し、さらに付着糠を除去することにより、脂肪酸度の増加を抑制することが可能である。糠を充分に除去することにより精白米の貯蔵性が向上することは、山下¹⁵⁸⁾、伊藤³³⁾により本研究と同様に確認されている。

④ 炊飯特性

i 浸漬吸水率

Fig. 40に浸漬吸水率を示した。

Fig. 40によれば、研削式精米機による精白米の浸漬吸水率は、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米のそれより高いことを知った。

これは、研削式精米機による精白米の表面積が研削ロールによる傷のため増加したことに起因していると考えられる。

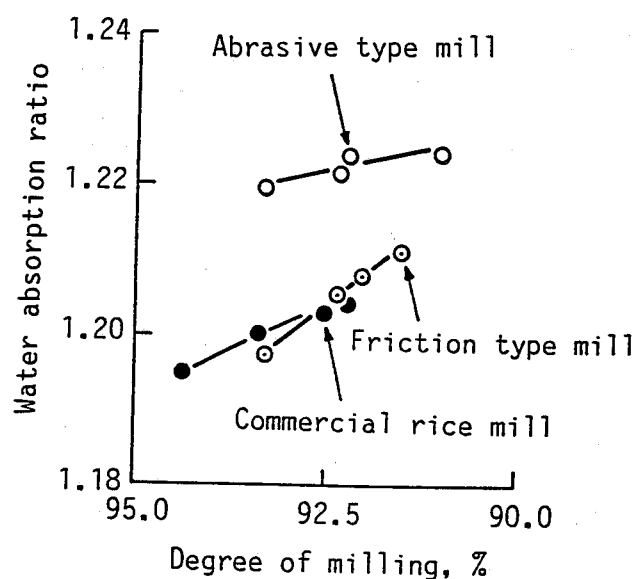


Fig. 40. Water absorption ratio in cooking characteristics of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

ii 加熱吸水率

Fig. 4 1 に加熱吸水率を示した。

Fig. 4 1 に示したように、加熱吸水率は各精米機による差が認められなかった。

これは、精白米を加熱炊飯した場合には、米粒中への水の浸透が急速に進むため、精米機の違いによる吸水率の差が現れなかったと考えられる。

浸漬吸水率及び加熱吸水率は、いずれも搗精度の低下とともに増加した。これは、糠層は胚乳部に比較して脂質が多く疎水性であり¹²⁷⁾、そのため糠層の除去にともない精白米の吸水率が増加したと考えられる。

iii 体積膨張率

Fig. 4 2 に体積膨張率を示した。

Fig. 4 2 に示したように、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米は、研削式精米機による精白米より体積膨張率が大きいことが認められた。

このことは、米飯がふっくらと炊き上がることを示唆している。

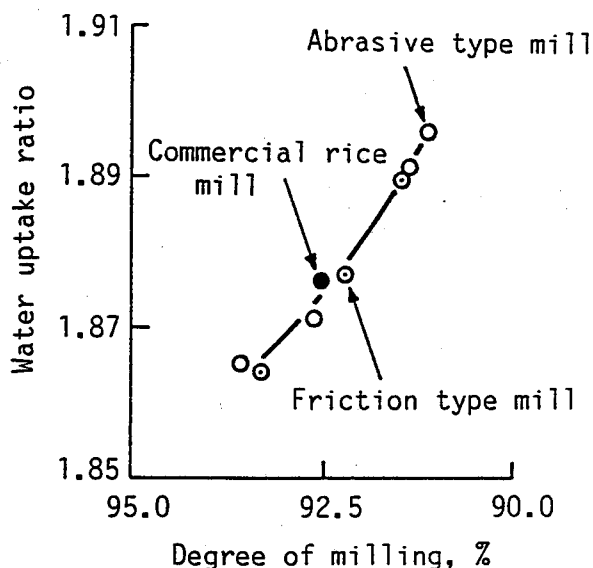


Fig. 41. Water uptake ratio in cooking characteristics of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

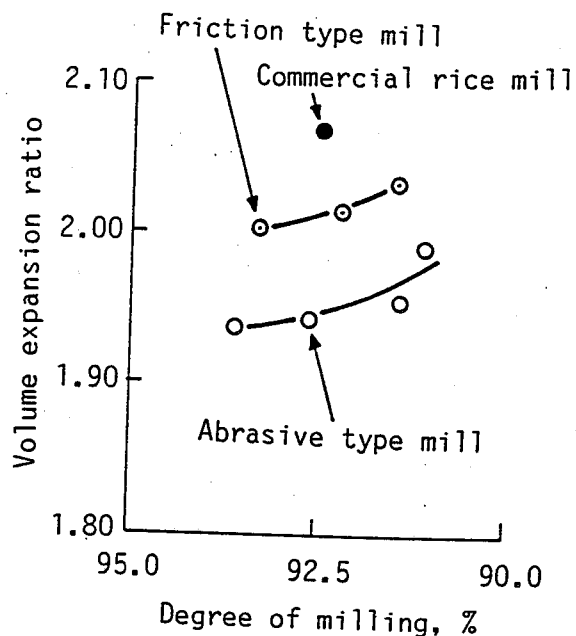


Fig. 42. Volume expansion ratio in cooking characteristics of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

iv 吸光度

Fig. 4 3に吸光度を示した。

Fig. 4 3によれば、摩擦式精米機による精白米の吸光度は研削式精米機による精白米のそれよりも高く、しかも搗精度の低下とともに上昇した。また実用精米機による精白米の吸光度は、前記二者の中間に位置した。

これらのことは、摩擦式精米機により搗精された搗精度の低い精白米を炊飯すると、炊飯液へのでんぷんの溶出が多いことを示している。炊飯液へのでんぷんの溶出が多い場合には米飯に光沢が生じ米粒間の粘着性が大きくなる²⁹⁾とされている。

v 溶出固形物

Fig. 4 4に溶出固形物を示した。

Fig. 4 4によれば、研削式精米機による精白米の溶出固形物が、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米のそれよりも多かった。

吸光度において明らかにしたように、摩擦式精米機による精白米は炊飯液中へのでんぷんの溶出量が多かった。それにもかかわらず研削式精米機による精白米の溶出固形物が少ないのは、精白米の表面に付着糠が多いことに起因していると考えられる。

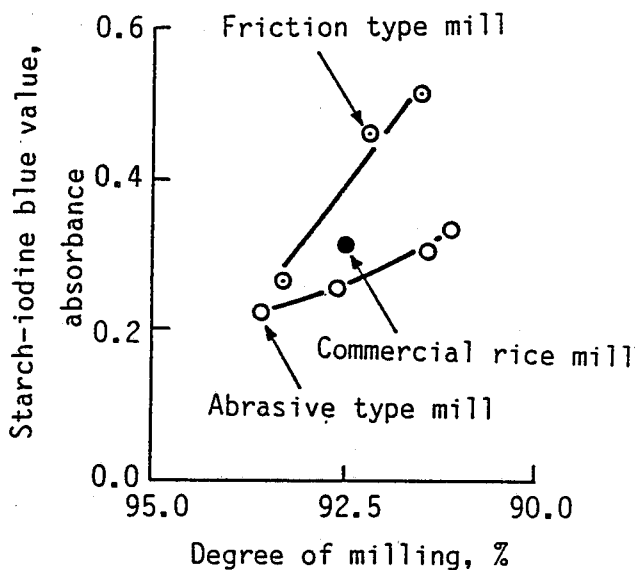


Fig. 43. Starch-iodine blue value in cooking characteristics of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

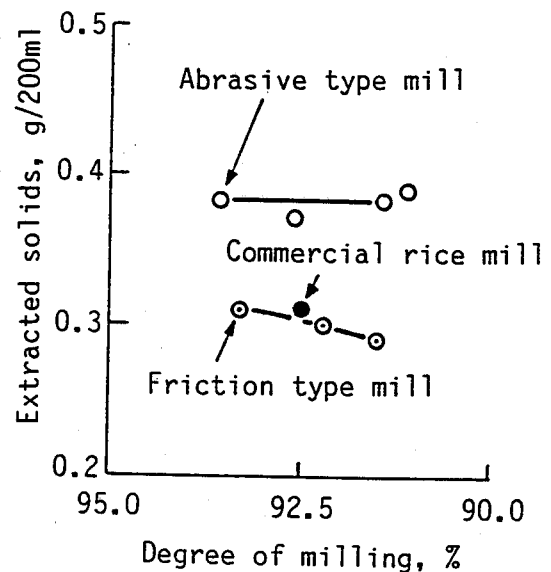


Fig. 44. Extracted solids in cooking characteristics of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

炊飯液を肉眼で観察した結果、摩擦式精米機による精白米の炊飯液は乳白色であるのに対し、研削式精米機による精白米のそれは乳白色であるとともに黄色味を帯びており、炊飯液中に付着糠の混在することが認められた。

溶出固形物は、炊飯液に溶け出したでんぷんの量を表すと考えられている^{58, 89)}。しかし、本研究のように、同一品種で搗精方法の異なる試料について測定した場合には、付着糠の量が溶出でんぷん量より多いため、溶出固形物は主に付着糠の量を表すと考えられる。

(3) 食味評価

i 精白米外観

Fig. 45に、パネルにより判定された精白米の外観について示した。

以下の食味試験結果に関する図中において、記号*と**とは実用精米機による精白米と各試料精白米との間に、それぞれ危険率5%または1%において有意な差があることを示している。また、縦軸の評価項目の**は、横軸の搗精度及び精米機の種類がその項目に対して危険率1%において有意な影響を与えることを示している。

Fig. 45に示したように、パネルは、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米の外観が研削式精米機による精白米のそれより優れていると判断した。さらに、搗精度の低下にともない精白米の外観は向上し、約0.6%の搗精度の差により外観に有意な差が生じた。

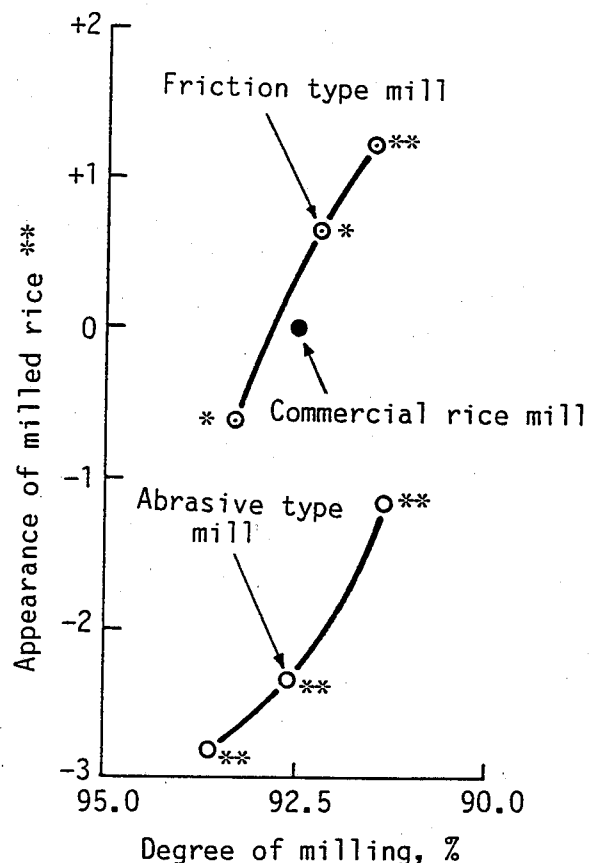


Fig. 45. Appearance of milled rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

先に述べたように、同一搗精度において研削式精米機による精白米は摩擦式精米機による精白米より高い白度を示すが、これらを肉眼で見た外観は前者が米粒表面に研削ローラーによる細かな傷が多く、そのうえ付着糠があり白くぼやけたすりガラス状であるのに対し、後者は表面が滑らかで光沢及び透明感があり、透光度が高かった。従って、パネルは滑らかで光沢があり透明感のある米粒を好むことが確認された。

ii 炊飯米外観

Fig.4 6に、これらの精白米を炊飯した際の外観に対する評価を示した。

Fig.4 6によれば、炊飯米外観も精白米外観と全く同様な傾向を示し、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米の外観が高い評価を受けた。

iii 香り、硬さ及び粘り

Fig.4 7, Fig.4 8及びFig.4 9に香り、硬さ及び粘りについての評価をそれぞれ示した。

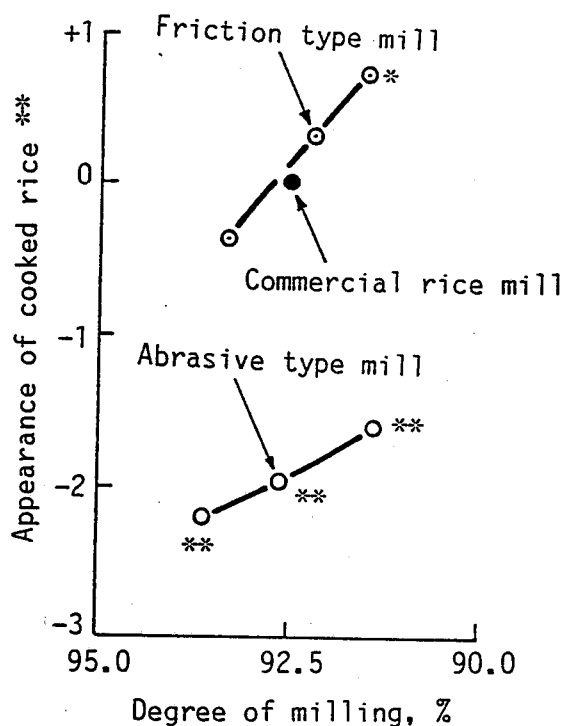


Fig. 46. Appearance of cooked rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

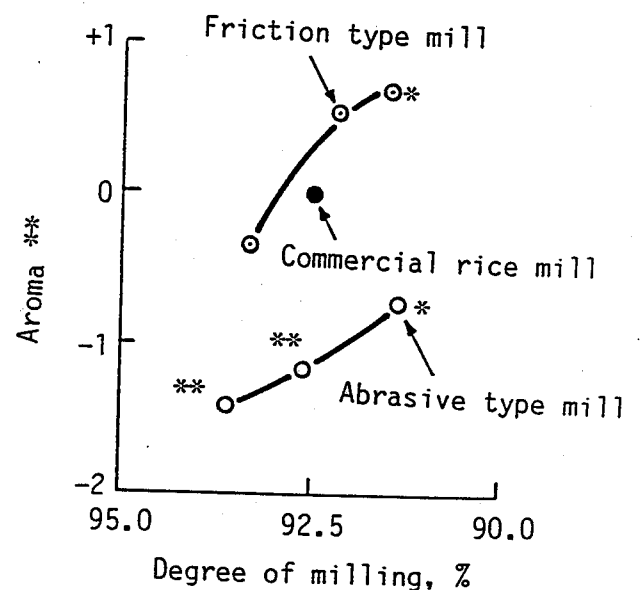


Fig. 47. Aroma of cooked rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

これらの図によれば、摩擦式精米機及び実用精米機による精白米は、研削式精米機による精白米に比べて、香りが良く粘りがあった。同時に、搗精度の低下とともに香りが良くなり、粘りが強くなった。硬さに関しては特徴ある傾向は認められなかった。

古米を炊飯した際の特有な臭いは、カルボニル化合物が主たる原因であり^{1, 24, 171)}、カルボニル化合物は中性脂質の加水分解によって生じた遊離脂肪酸がさらに酸化分解されて生成されるものである¹³²⁾。従って、脂肪酸度の高い米は古米臭が強いと思われる。

研削式精米機による精白米は付着糠が多く、また、搗精度の高い精白米は糠層の除去が完全でないため脂肪酸度が高いことから、古米臭が強く香りが劣ると評価された。

摩擦式精米機による精白米は、炊飯特性において吸光度が高いことから米飯の粘着性が大きくなるとしたが、食味試験においても同様に粘りが強いという評価を受けた。

脂質、タンパク質の米粒内の分布は糠層や胚芽に多く^{27, 108, 148, 176)}、これらの存在は米飯の粘りの発現を抑制することから、搗精度が高く糠層の除去が充分でない精白米は粘りが弱いと評価された。

古米は新米と比較して米飯の粘着性が減少する^{13, 35, 77, 107)}。従って、香り及び粘りに関して、摩擦式精米機による精白米と比較して、研削式精米機による精白米は古米と同様な特徴を持っていると考えられる。

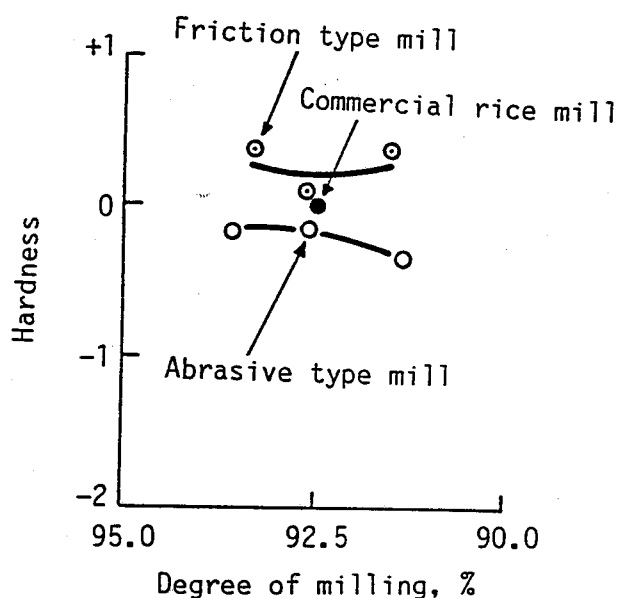


Fig. 48. Hardness of cooked rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

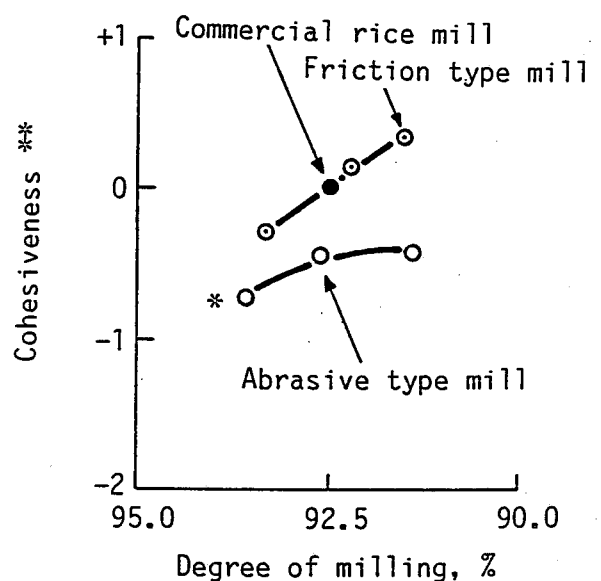


Fig. 49. Cohesiveness of cooked rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

以上の食味評価において、パネルが各試料間の差異を最も大きく識別した項目は精白米外観であり、続いて炊飯米外観、香り、粘りであった。硬さに関しては試料間の差異を識別できなかった。

このことは、異なる搗精方法で搗精を行った場合、米の外観に最も顕著にその影響が生じ、次に香り、粘りに影響が生じることを示している。

iv 総合評価

Fig. 50 に総合評価について示した。

Fig. 50 によれば、パネルは研削式精米機による精白米よりも摩擦式精米機及び実用精米機による精白米を好むことが確認された。さらに、搗精度の低下すなわち、糠層の除去にともない総合評価が向上し、0.7 % の搗精度の差をパネルは有意に識別した。

これは、ROBERTS¹¹⁾ が報告したように、アメリカ人のパネルにより米の食味試験を行った結果、搗精度の94%と90%との差を有意に識別しなかったことを考え合わせると、近年、我が国において米離れが指摘されながらも、今なお食生活における主食は米に非常に収斂しており、多くの日本人が米に対する類似した嗜好性を有すると同時に繊細な味覚を持ち合わせていることを示唆するものであり、非常に興味深いと思われる。

搗精度と食味評価との関係は、搗精度の低下にともない精白米及び炊飯米外観が向上し、香りが良くなり、粘りが増加し、総合評価が高くなった。このことは、古米や品質の劣る玄米、または食味評価の低い品種の玄米などの搗精において、搗精度の低下、いわゆる搗き込みにより食味向上が可能であることを示していると考えられる。

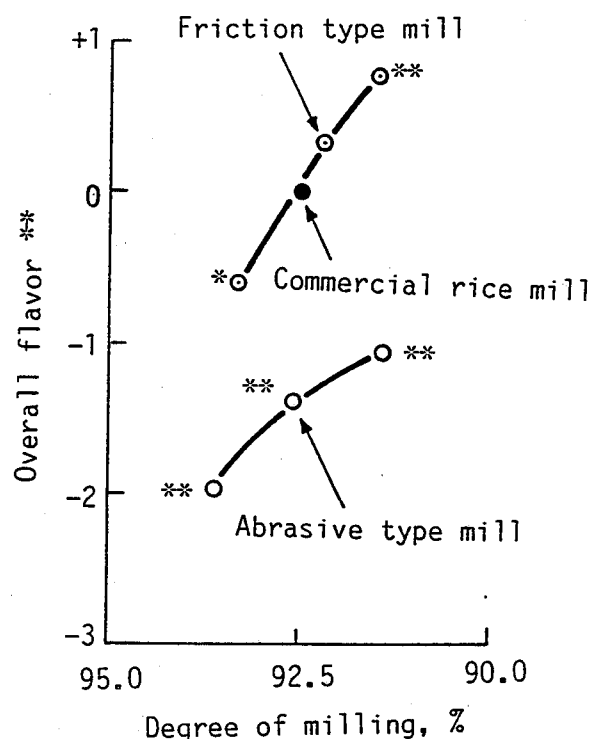


Fig. 50. Overall flavor cooked rice milled to different degree of milling on the commercial rice mill and the two type laboratory rice mills.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

(4) 実験用精米機ならびに実用精米機による精白米の品質及び食味の類似性

本節の各物理化学特性値及び食味試験の結果から、実用精米機による精白米の品質および食味が摩擦式精米機による精白米のそれと類似していることが確認された。これは、実用精米機は1番機として研削式精米機を、2, 3, 4番機として摩擦式精米機とを組み合わせたコンパス式精米装置であるため、実験に用いた小型摩擦式精米機と類似した特性を示したと考えられる。

従って、第3章で明らかにした搗精特性も含め、本研究で得た知見を実用大型精米機に拡大応用することが可能となった。

4-1-4. 要約

異なる搗精作用を持つ二機種の実験用の研削式精米機または摩擦式精米機により、それぞれ搗精された精白米の品質及び食味について明らかにし、さらに、これと実用精米機（コンパス式精米装置）により搗精された精白米とについて比較検討した。同時に糠層剥離の程度すなわち、搗精度が精白米の品質及び食味に与える影響について明らかにした。以下にその結果を示す。

- (1) 同一搗精度で比較して、摩擦式精米機による精白米は研削式精米機による精白米より白度が低く、透光度が高く、胚芽残存率が低い。搗精度の低下にともない、いずれの精白米も白度、透光度は上昇し、胚芽残存率は低減した。
- (2) 摩擦式精米機による精白米は研削式精米機による精白米より容積重が大きい。しかし、流動性は両精米機の差異が認められなかった。容積重から摩擦式精米機による精白米の表面は滑らかで摩擦係数が小さいことが示された。搗精度の低下とともに精白米の容積重は増加し、流動性は良くなった。
- (3) 研削式精米機による精白米は米粒表面に付着糠が多いことから、摩擦式精米機による精白米より脂肪酸度が高く、また搗精度の高い精白米は米粒表層に糠層が残留しているために脂肪酸度が高い。摩擦式精米機により搗精度を91.5%（搗精歩留が89.5%）にまで搗精した精白米は、貯蔵による脂肪酸度の増加がわずかであり貯蔵性が良かった。

- (4) 浸漬吸水率は研削式精米機による精白米が高いが、加熱吸水率では精米機による差が認められなかった。体積膨張率と吸光度は摩擦式精米機による精白米が大きく、このことから、ふっくらと粘りのある米飯となることが予測された。溶出固形物は付着糠の多い研削式精米機による精白米が多かった。
- (5) 研削式精米機による精白米は米粒表面に研削ロールによる細かな傷が多く、付着糠があり白くぼやけたすりガラス状であった。一方、摩擦式精米機による精白米は米粒表面が滑らかで、光沢と透明感があった。
- (6) 食味試験において、摩擦式精米機により搗精された搗精度の低い精白米は、外観が良く、香りが良く、粘りがあり、よって総合評価において高い評価を得た。
- (7) 食味評価において、パネルが各試料間の差異を最も大きく識別した項目は、精白米及び炊飯米の外観であった。すなわち、異なる搗精方法で搗精を行った場合、米の外観において最も顕著にその影響が生じた。
- (8) 搗精度の低下にともない食味評価はより高い評価を受けた。総合評価においてパネルは 0.7% 以上の搗精度の差を有意に識別した。従って、古米、品質の劣る玄米、食味評価の低い品種の玄米などの搗精に際して、搗精度を低下させることが食味向上につながると考えられた。
- (9) 精白米の品質及び食味について総合すると、摩擦式精米機が研削式精米機より優れていることが確認された。
- (10) 実用精米機による精白米の品質および食味は、実験に用いた摩擦式精米機による精白米のそれと類似していることが確認された。

第4章 第2節

搗精方法が精白米の 品質及び食味に与える影響

4-2-1. 実験目的

第4章第1節において、摩擦式精米機は、精白米の品質及び食味に関して、研削式精米機より優れていることを明らかにした。一方、第3章において研削式精米機は、搗精の効率及び能率が良く、搗精による碎粒発生が少なく、玄米温度や玄米水分変化の影響が少ないなど、搗精特性に関して優れていることを明らかにした。従って、両者の短所を補い長所を発揮させる組み合わせ搗精方式（いわゆるコンパス式精米装置）が合理的な搗精方法であると考えられる。

しかしながら、このコンパス式精米装置を用いる際の研削式精米機と摩擦式精米機との使用割合については、いわば経験と勘とにより決定されていると言っても過言ではなく^{47, 95)}、精白米の品質及び食味からコンパス式精米装置における搗精方法を検討した例はない。

そこで本節では、研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせた際の搗精方法が精白米の品質及び食味に与える影響を調査し、よって合理的搗精を行うための基礎資料を得ようとするものである。

4-2-2. 実験方法

(1) 供試試料

試料玄米は、ホクレン札幌ライスステーション大曲工場にて採取した1981年北海道産「イシカリ」2等級玄米を中心に混米された玄米を用いた。この玄米を実験室において、実験用の研削式精米機及び摩擦式精米機とを用いて搗精した精白米を、供試試料とした。

また、玄米採取と同時に、同玄米を上記工場内にてコンパス式精米装置CP4C型により搗精した精白米を採取し、対照試料として供試した。この精白米はのちに標準価格米と

して市販されたものである。食味試験ではこの標準価格米を基準米とした。

供試玄米の初期条件は、水分が16.4%、搗精前の玄米温度はコンパス式精米装置では22℃、実験用精米機では23℃であった。

(2) 搗精作用割合 (Milling rate)

搗精作用割合は、コンパス式精米装置を構成する各精米機に、それぞれどの程度の割合で搗精を行わせるかを表わすために用いられている言葉である⁹⁵⁾。

本研究では、研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせて搗精する際の搗精方法として、研削式精米機による搗精作用割合に着目し、精白米の品質及び食味について検討した。

搗精作用割合についての理解を助けるためにFig. 5 1を用いて説明する。

Fig. 5 1に示したように、搗精度が90% (糠除去率が10%) の精白米において、研削式精米機により搗精度を97% (糠除去率を3%) とするまで搗精を行った場合、この精白米の研削式精米機による搗精作用割合 (Milling rate by abrasive type mill) は

$$(100 - 97) \div (100 - 90) \times 100 = 30\% \text{ であり、}$$

摩擦式精米機による搗精作用割合 (Milling rate by friction type mill) は

$$(97 - 90) \div (100 - 90) \times 100 = 70\% \text{ であると表す。}$$

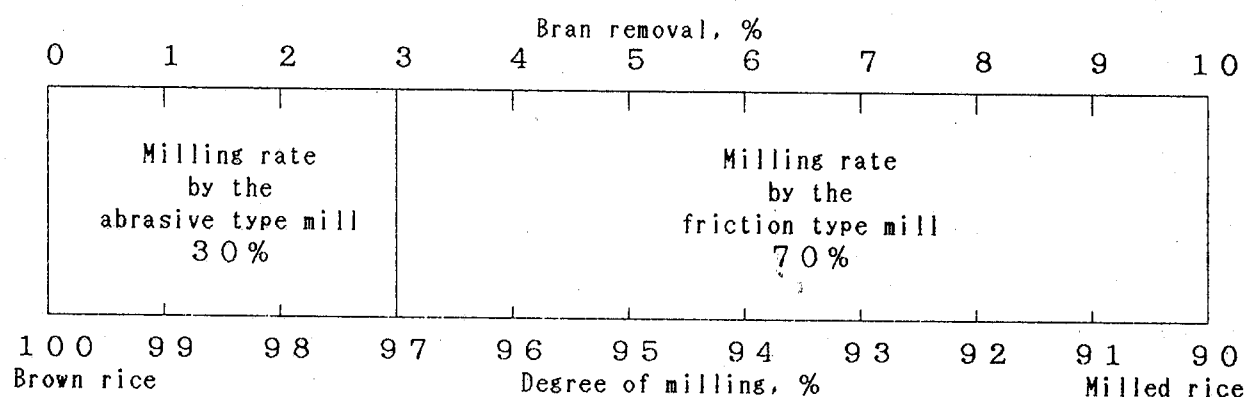


Fig. 51. A model for explanation of milling rate by the abrasive type mill.

(3) 搗精方法

搗精は、第3章第1節に示した精米機使用条件で研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせで行い、所定の搗精度の精白米を得た。

搗精に際して、搗精特性として搗精度、搗精歩留、搗精時間、砕粒割合などを測定した。

(4) 精白米の品質測定及び食味試験の実施

精白米の品質に関する測定は透光度、白度、色調、胚芽残存率、脂肪酸度および炊飯特性について行い、搗精による損失に関する測定として水分減少量や砕粒発生について調べた。最後に、精白米外観、炊飯米外観、香り、硬さ、粘り及び総合評価について食味試験を行った。

精白米の品質測定及び食味試験の実施は、第4章第1節に示した方法に準じて行った。

食味試験におけるパネルは34名であった。その構成は、女性が10名、40才以上が9名であり、パネルの中で食味試験経験者は20名であった。

4-2-3. 実験結果及び考察

(1) 研削式精米機の搗精作用割合

Table 12に供試精白米の研削式精米機の搗精作用割合について示した。

Table 12. Milling rate by the abrasive type mill of tested milled rice.

Abrasive type mill Sec.	Friction type mill Pass	Degree of milling		Milling rate by Abrasive	
		After Abrasive mill %	After Friction mill %	type mill %	Milling yield %
0	9	100.0	92.2	0.0	90.3
7	7	98.7	92.1	16.5	90.6
15	6	97.4	92.0	32.5	90.8
20	4	96.8	92.1	40.5	91.2
30	2	95.7	92.5	57.3	91.8
80	0	92.3	92.3	100.0	92.0
Commercial milled rice		98.1	92.2	24.4	90.3

精米工場において試料玄米と同時に採取した精白米は、1番機の研削式精米機で搗精度98.1%まで搗精され、さらに2, 3, 4番機の摩擦式精米機で搗精度92.2%まで搗精されたものであった。従って、この精白米の研削式精米機の搗精作用割合は24.4%であった。

第4章第1節で明らかにしたように、食味試験の総合評価においてパネルは0.7%以上の搗精度の差を有意に識別できる。そこで本節では、供試精白米の研削式精米機の搗精作用割合が異なり、かつ搗精度が92.2%を中心に0.5%以内となるように、研削式精米機の搗精時間や摩擦式精米機の循環回数を調整して搗精を行った。

その結果、搗精度が92.0~92.5%で研削式精米機の搗精作用割合が0~100%までの6種類の供試精白米を得ることができた。これらの試料の搗精歩留は、研削式精米機の搗精作用割合が大きいもの程高く、90.3~92.0%であった。

(2) 精白米の品質

① 外観の計測

i 透光度

第4章第1節において、透光度が精白米外観を客観的に計測する方法として優れていることを明らかにした。

そこで、Fig. 5 2に研削式精米機の搗精作用割合が精白米の透光度に与える影響について表した。

Fig. 5 2に示したように、研削式精米機の搗精作用割合が40%以下では透光度はほぼ同一の値であるが、これ以上で透光度が低下し、精白米の透明感が失われることを知った。

ii 色調及び白度

Fig. 5 3ならびにFig. 5 4に、L . a . b .色立体における色度a , bについて示した。

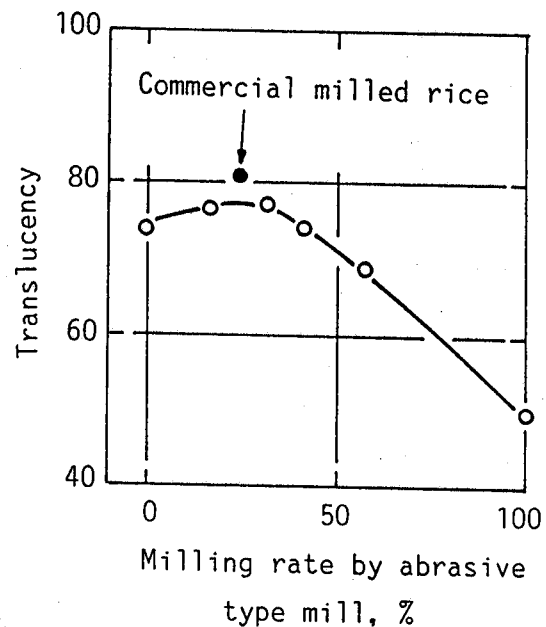


Fig. 52. Effect of milling rate by the abrasive type mill on translucency of milled rice.

色度 a は (+) が赤, (-) が緑の、同じく b は (+) が黄, (-) が青の度合いが増すことを示している。Fig. 5 3, Fig. 5 4 によれば、研削式精米機の搗精作用割合が増加するにともない精白米の色は赤及び黄に近づいた。この変化は糠の色を示しており、研削式精米機の搗精作用割合が増加するとともに付着糠が増加することを定性的に表すことができた。

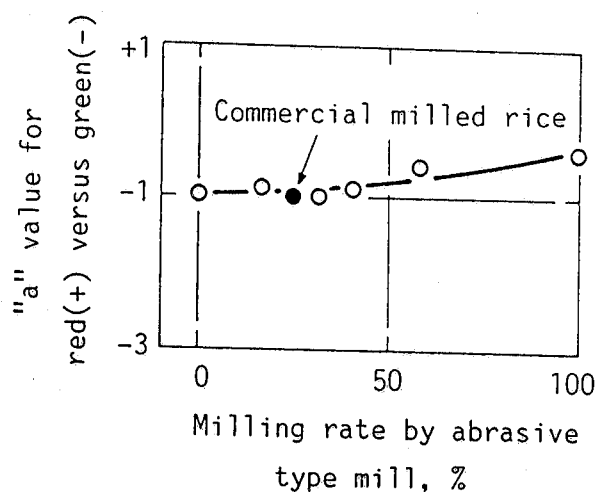


Fig. 53. Effect of milling rate by the abrasive type mill on "a" value for red versus green of milled rice.

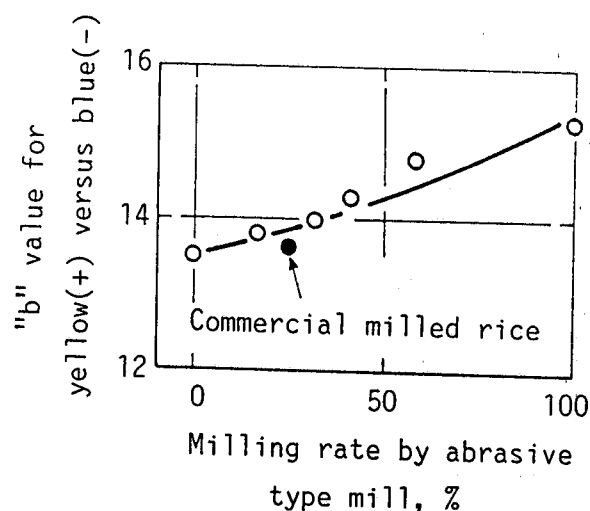


Fig. 54. Effect of milling rate by the abrasive type mill on "b" value for yellow versus blue of milled rice.

Fig. 5 5 に白度について示した。

Fig. 5 5 によれば、白度は研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに低下した。しかし、研削式精米機の搗精作用割合が100%の精白米は0%の精白米とほぼ同じ白度を示した。

これは、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに付着糠の影響で白度が減少する⁹¹⁾ものの、研削式精米機

の搗精作用割合が 100%の精白米では、

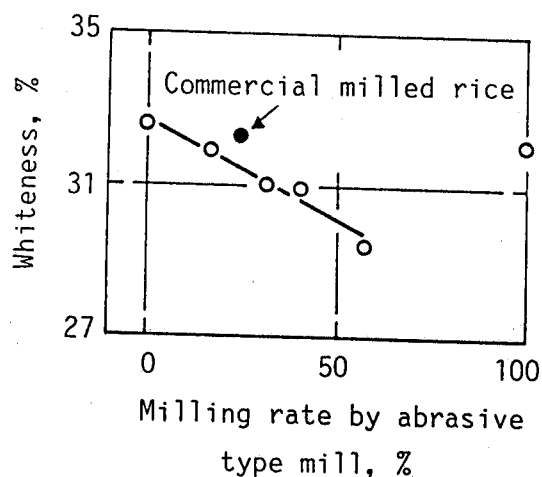


Fig. 55. Effect of milling rate by the abrasive type mill on whiteness of milled rice.

研削ロールによって生じた米粒表面の微細な傷のため白度が再び上昇したと考えられる。

これと同様な現象は、 L, a, b 色立体における明度 L 及び L, a, b 値より算出したハンター白度について示したFig. 56ならびにFig. 57においても、同じく認められた。

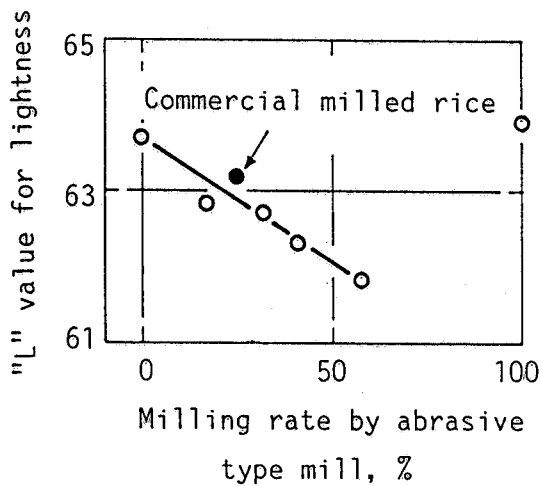


Fig. 56. Effect of milling rate by the abrasive type mill on "L" value for lightness of milled rice.

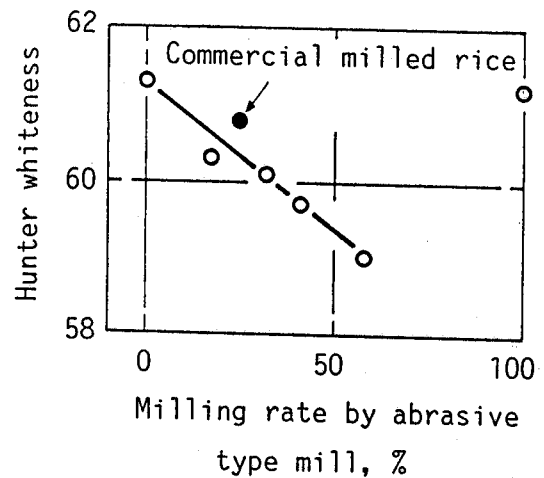


Fig. 57. Effect of milling rate by the abrasive type mill on hunter whiteness of milled rice.

Fig. 58に、研削式精米機の搗精作用割合が0%の精白米を基準として L, a, b 値より算出した色差について示した。Fig. 58によれば、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上で色差が1.5を越えた。

伊藤ら³²⁾は精白米の外観についてパネル試験を行い、色差が1.5を越えとかなりの人が色合いの差異を感知できるとしている。従って、食味試験の外観において有意な差が認められることが予想された。

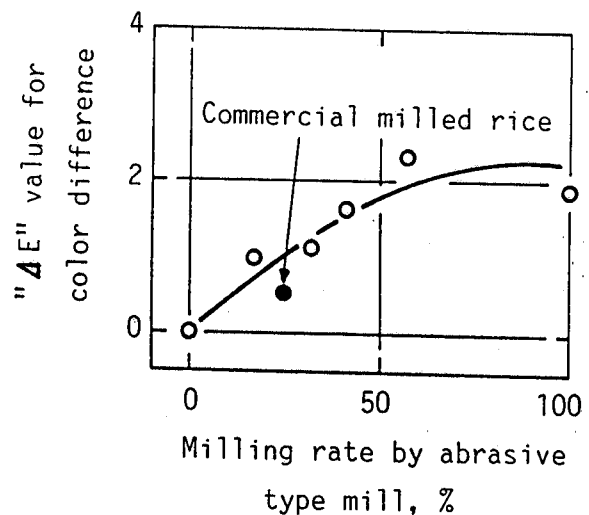


Fig. 58. Effect of milling rate by the abrasive type mill on "ΔE" value for color difference of milled rice.

iii 胚芽残存率

Fig. 59 に胚芽残存率について示した。

Fig. 59 によれば、研削式精米機の搗精作用割合が40%以下で胚芽残存率は一定の45%であるが、これが40%を越えると胚芽残存率が急増し、研削式精米機のみによって搗精された精白米では胚芽残存率が95%であった。

胚芽は胚乳部に比べて黄色味が強く、そのため白度を1.5~2%低下させる⁹¹⁾とともに、肉眼で見た場合に、白い精白米の中に黄色の斑点が散在しているように見えることから、胚芽残存率の高い精白米は外観が劣る²⁸⁾とされている。

以上のごとく、精白米の外観に関する計測から、研削式精米機の搗精作用割合が少ない精白米の外観が優れていることが認められ、さらに研削式精米機の搗精作用割合が40%以上の精白米は食味試験において外観の差を認知できると考えられた。

② 貯蔵性

i 脂肪酸度

Fig. 60 に、搗精後ポリエチレン容器に密封し室温(20~24℃)で1カ月間貯蔵した精白米の脂肪酸度を示した。

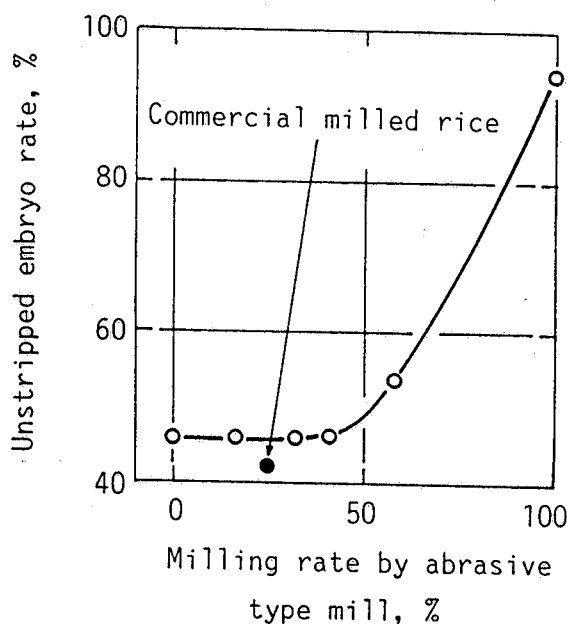


Fig. 59. Effect of milling rate by the abrasive type mill on unstripped embryo rate of milled rice.

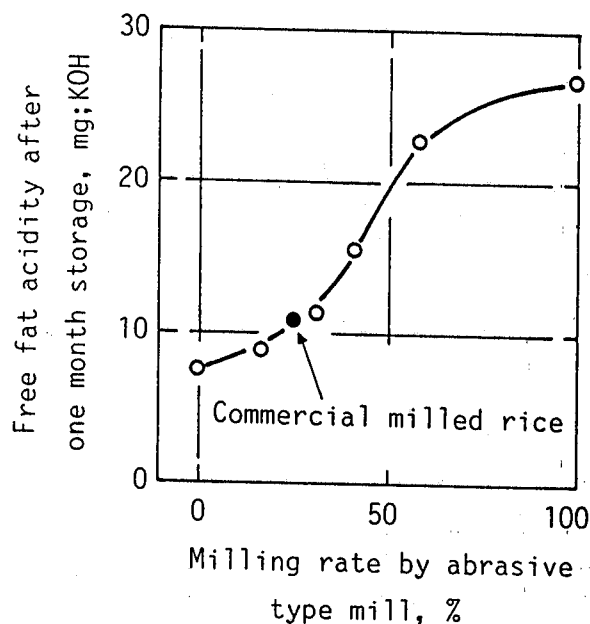


Fig. 60. Effect of milling rate by the abrasive type mill on free fat acidity of milled rice after one month storage.

Fig. 60によれば、研削式精米機の搗精作用割合に対する脂肪酸度の変化はS字型曲線を示し、研削式精米機の搗精作用割合が0～30%では増加はゆるやかであるが、30～60%で増加が大きかった。

脂肪酸度増加の原因は付着糠であり、Fig. 60はそのまま付着糠の量を表していると考えられる。

脂肪酸度による品質劣化の目安は、20mgで変質の注意信号とされており、これにあてはめると、研削式精米機の搗精作用割合が50%以上の供試精白米は1カ月以上の貯蔵には適さないと判断された。

ii カビの発生

精白米のカビの発生は、上記室温での2カ月間の貯蔵において、いずれの試料においても認められなかった。

③ 搗精による損失

i 水分減少量

Fig. 61に精白米の水分減少量について示した。水分減少量とは、玄米と精白米との水分差を表したものであり、これは搗精による水分損失を意味する。

Fig. 61によれば、水分減少量は、研削式精米機の搗精作用割合が0%すなわち、摩擦式精米機のみによって搗精した精白米では0.37%であり、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに徐々に漸減し、研削式精米機の搗精作用割合が100%すなわち、研削式精米機のみによって搗精した精白米では0.01%であった。

搗精による水分減少は搗精中の発熱に起因していると考えられる。すなわち、第3章で明らかにしたように、摩擦式精米機は研削式精米機に比較して

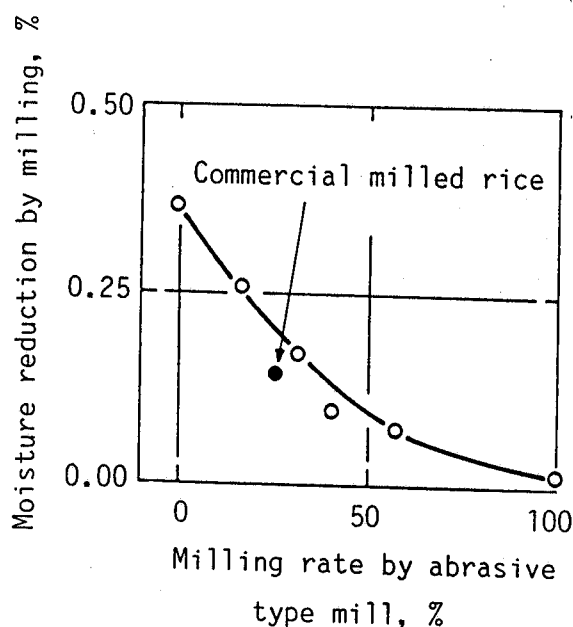


Fig. 61. Effect of milling rate by the abrasive type mill on moisture content reduction calculated by difference between brown rice and milled rice.

搗精による発熱量が大きく、穀温上昇が大きいことから、研削式精米機の搗精作用割合が少ない場合に精白米の水分減少量が大きい値を示したものである。

ii 砕粒発生

Fig. 6 2 に精白米中の砕粒割合を示した。

Fig. 6 2 によれば、搗精による砕粒発生は、研削式精米機の搗精作用割合が増加するにともない3.5%から1.2%へと減少した。

以上のことから、搗精による損失は研削式精米機の搗精作用割合が増加するとともに低減することが明らかとなった。

④ 炊飯特性

i 浸漬吸水率

Fig. 6 3 に浸漬吸水率を示した。

Fig. 6 3 に示したように、浸漬吸水率は研削式精米機の搗精作用割合が50%まではほぼ一定であるが、これを越えると増加する傾向が認められた。

浸漬吸水率は、米粒表面に研削ロールによる傷が多い場合に高い値を示すと考えられる。従って、研削式精米機の搗精作用割合が50%以下であれば、研削式精米機による米粒表面の傷はその後の摩擦式精米機により平滑にすることが可能であると思われる。

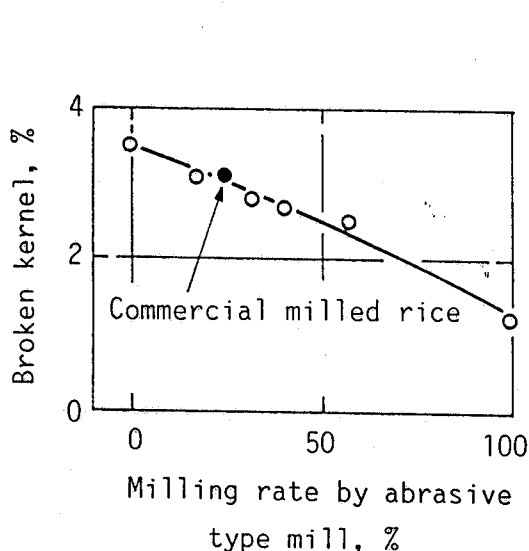


Fig. 62. Effect of milling rate by the abrasive type mill on broken kernel in milled rice.

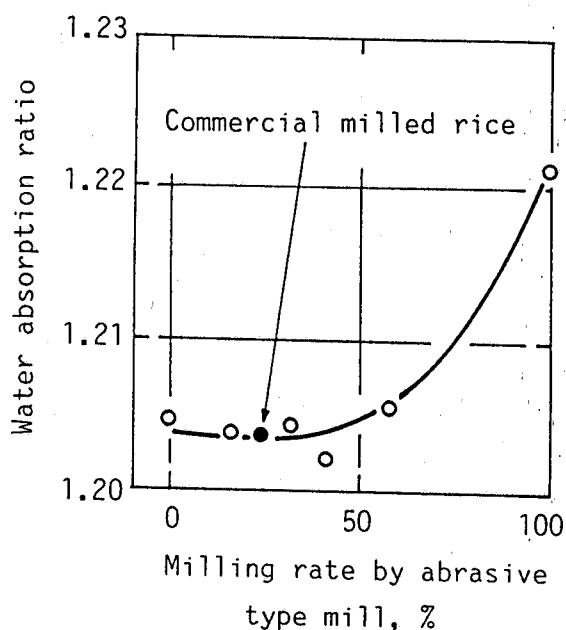


Fig. 63. Effect of milling rate by the abrasive type mill on water absorption ratio of milled rice.

ii 加熱吸水率

Fig. 6 4 に加熱吸水率を示した。

Fig. 6 4 に示したように、加熱吸水率は各試料間のばらつきが大きく、一定の傾向は認められなかった。

iii 体積膨張率

Fig. 6 5 に体積膨張率を示した。

Fig. 6 5 に示したように、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに体積膨張率は減少した。これは、研削式精米機の搗精作用割合の高い精白米は、米飯の膨潤が小さいことを示している。

iv 吸光度

Fig. 6 6 にヨード・でんぷん反応における吸光度を示した。

Fig. 6 6 によれば、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに吸光度は低減した。すなわち、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに炊飯液へのでんぷんの溶出が減少し、そのため米飯の光沢ならびに米粒間の粘着性は減少すると考えられる。

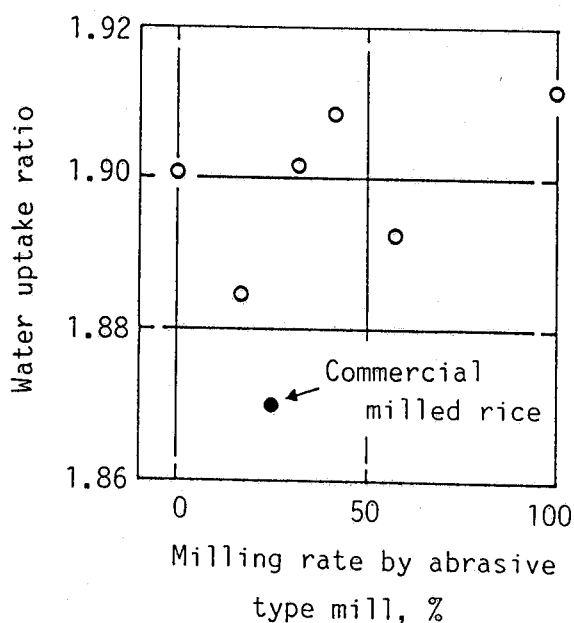


Fig. 64. Effect of milling rate by the abrasive type mill on water uptake ratio of milled rice.

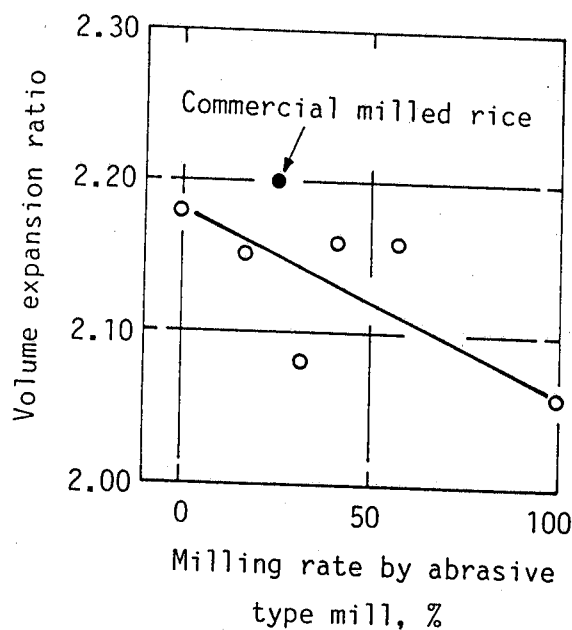


Fig. 65. Effect of milling rate by the abrasive type mill on volume expansion ratio of milled rice.

v 溶出固形物

Fig. 6 7に炊飯液中の溶出固形物を示した。

Fig. 6 7に示したように、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに溶出固形物が増加した。この溶出固形物の増加は、主として精白米の付着糠に起因している。

これにより、色調及び脂肪酸度の結果と同様に、研削式精米機の搗精作用割合の増大にともない付着糠が増加することが認められた。

vi PH

Fig. 6 8に炊飯液のPHを示した。

炊飯液のPHは、Fig. 6 8に示したように、研削式精米機の搗精作用割合とは関係なくほぼ一定であり、弱酸性を示した。

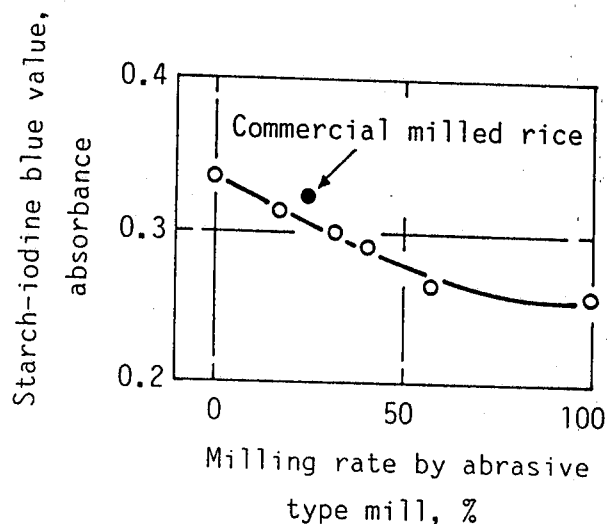


Fig. 66. Effect of milling rate by the abrasive type mill on starch-iodine blue value(absorbance) of milled rice.

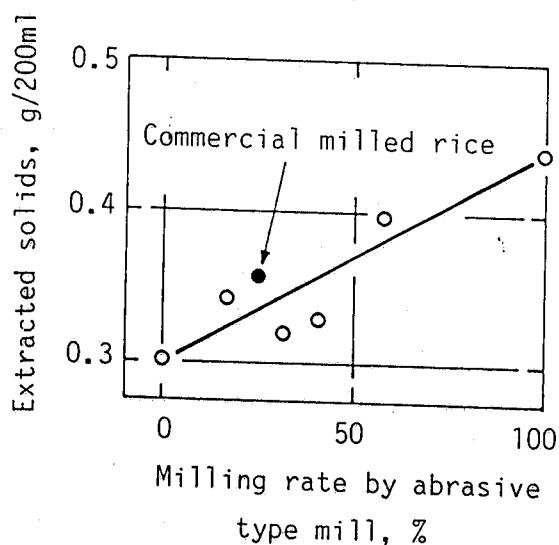


Fig. 67. Effect of milling rate by the abrasive type mill on extracted solids in cooking solution.

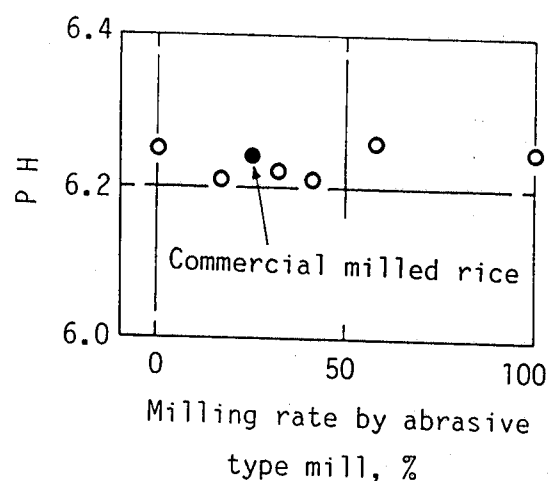


Fig. 68. Effect of milling rate by the abrasive type mill on PH of cooking solution.

(3) 食味評価

i 炊飯米外観

Fig. 69 に精白米の外観について示した。

以下の食味試験に関する図中において、記号 * と ** とは研削式精米機の搗精作用割合が 0 %、すなわち摩擦式精米機のみにより搗精された精白米と他の各試料間とに、それぞれ危険率 5 % または 1 % において有意な差があることを示している。さらに、縦軸の評価項目の ** は、横軸の研削式精米機の搗精作用割合がその評価項目に対し危険率 1 % において有意な影響を与えることを示している。

Fig. 69 によれば、パネルは研削式精米機の搗精作用割合が増加するにともない、精白米外観が大きく劣ると判断した。

ii 精白米外観

Fig. 70 に、これらの精白米を炊飯した際の外観に対する評価を示した。

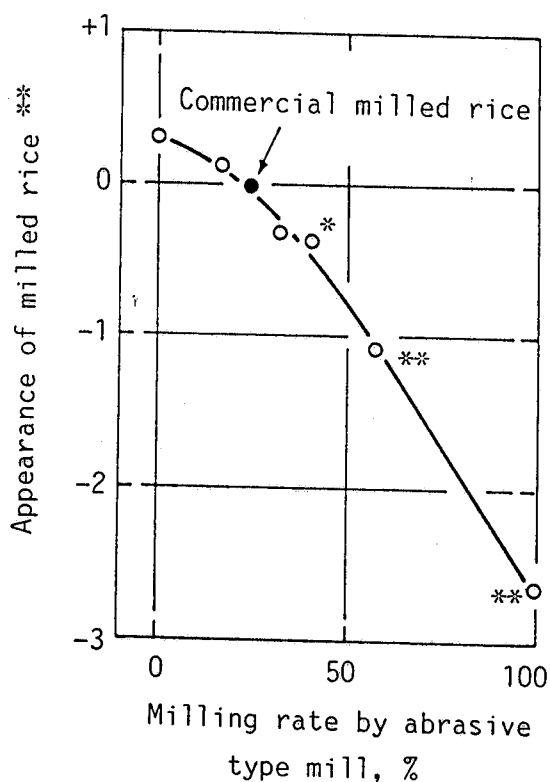


Fig. 69. Effect of milling rate by the abrasive type mill on appearance of milled rice.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

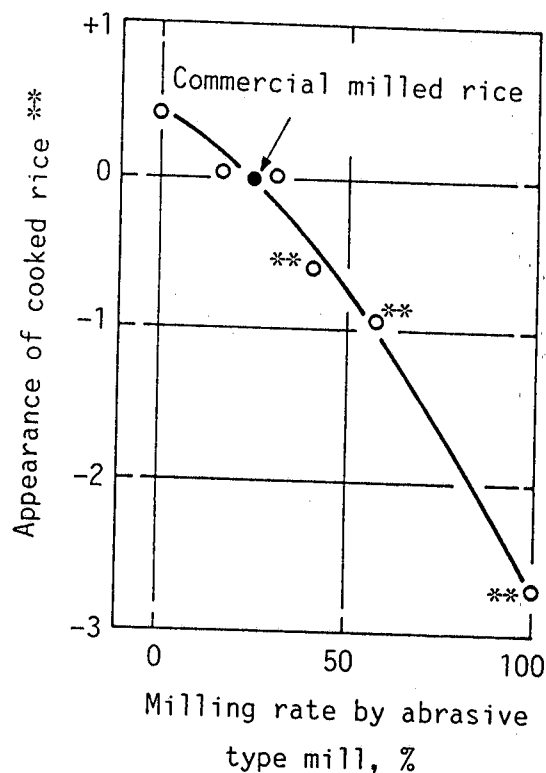


Fig. 70. Effect of milling rate by the abrasive type mill on appearance of cooked rice.

** indicates the significance at the 1% level.

Fig. 70によれば、炊飯米外観も精白米外観と全く同様な傾向を示し、研削式精米機の搗精作用割合が増加するとともに評価が低下した。

精白米及び炊飯米の外観の評価から、パネルは透明感と光沢があり、米粒表面に微細な傷や付着糠がなく、胚芽残存率の低い精白米を高く評価することを知った。

Fig. 69及びFig. 70の結果から、精白米及び炊飯米の外観は、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上の試料は0%の試料に対して有意な差が認められた。これは、色調において、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上の精白米は0%の精白米に対して感知し得る色差を生じたことと一致した。

iii 香り、硬さ及び粘り

Fig. 71, Fig. 72及びFig. 73に、炊飯米の香り、硬さ及び粘りに対する評価をそれぞれ示した。

Fig. 71によれば、香りの評価は研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに劣化し、40%以上で有意な差が生じた。この原因は、研削式精米機の搗精作用割合の高い精白米は付着糠が多く、脂肪酸度が高いために生じる糠臭及び古米臭であると考えられる。

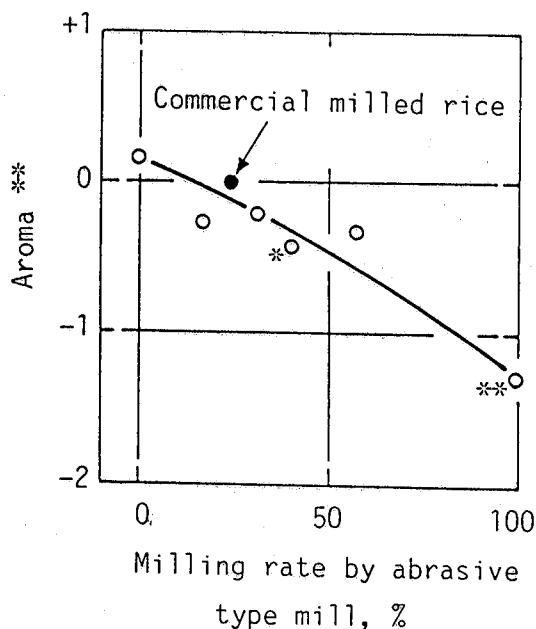


Fig. 71. Effect of milling rate by the abrasive type mill on aroma of cooked rice.

* and ** indicate the significance at the 5% and 1% level, respectively.

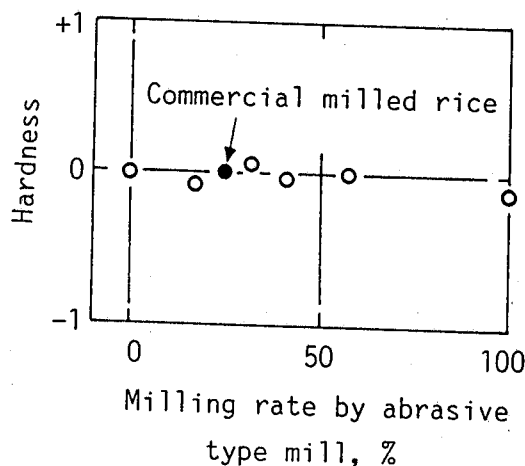


Fig. 72. Effect of milling rate by the abrasive type mill on hardness of cooked rice.

炊飯米の硬さについては、Fig. 7 2 によれば、各試料間に有意な差が認められなかった。

一方、Fig. 7 3 によれば、炊飯米の粘りは研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに弱くなった。これは、炊飯特性において、研削式精米機の搗精作用割合の増加に伴う吸光度が減少することから、米飯の粘着性が減少すると考察したことと一致している。

iv 総合評価

Fig. 7 4 に総合評価について示した。

Fig. 7 4 によれば、パネルは研削式精米機の搗精作用割合の大きい精白米を低く評価し、研削式精米機の搗精作用割合が0 %の試料に対して40 %以上の試料を有意に判別した。

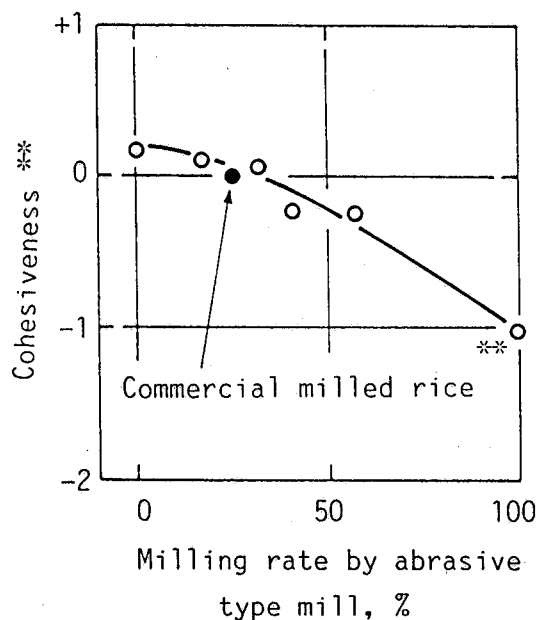


Fig. 73. Effect of milling rate by the abrasive type mill on cohesiveness of cooked rice.

** indicates the significance at the 1% level.

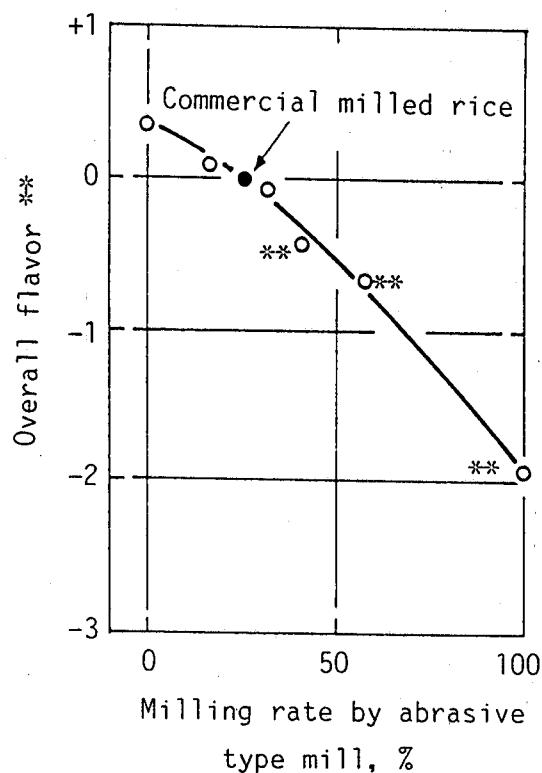


Fig. 74. Effect of milling rate by the abrasive type mill on overall flavor of cooked rice.

** indicates the significance at the 1% level.

(4) 最適な研削式精米機の搗精作用割合

以上の結果から、研削式精米機の搗精作用割合の変化にともない、精白米の品質及び食味の多くの項目において変化が生じることが確認された。

すなわち、研削式精米機の搗精作用割合の増加にともない、搗精による損失は低減するものの、精白米の外観と貯蔵性が劣化し、さらに、食味試験における評価が低下した。

精白米の透光度、胚芽残存率、脂肪酸度などは研削式精米機の搗精作用割合が30~40%以下の範囲で変化が少なく、それ以上において大きな品質低下が認められた。また、食味試験の精白米外観、炊飯米外観、香りならびに総合評価において、研削式精米機の搗精作用割合が0%の精白米に対し、同35%までの精白米は有意な差が認められず、同40%以上ですべて有意な差が認められた。

研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせる搗精を行う際の搗精方法、すなわち研削式精米機の搗精作用割合は、搗精効率、搗精能率、搗精による発熱などの搗精特性に関しては大きいことが望ましい⁴³⁾と考えられる。しかしながら、近年における消費者の米の品質及び食味に対する高い関心を考慮するならば、本節で明らかにしたように、研削式精米機の搗精作用割合は0%から最大35%以内の範囲が適当であると判断された。

本実験において対照試料とした実用精米機による精白米の研削式精米機の搗精作用割合は24.4%であり、これは上記の最適な研削式精米機の搗精作用割合の範囲内であった。

4-2-4. 要約

研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせる搗精を行う、いわゆるコンパス式精米方式の搗精方法として、研削式精米機の搗精作用割合に着目し、これが精白米の品質および食味に与える影響について調査した。それにより、次の結果が得られた。

- (1) 研削式精米機の搗精作用割合が増加するとともに、精白米の透光度、白度、明るさ及びハンター白度が低下し、胚芽残存率が増加し、付着糠の増加により赤味と黄味が増加した。これらはすべて、研削式精米機の搗精作用割合の増加にともない精白米の外観が劣化することを示しており、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上で、その差を認知し得る色差を越えた。

- (2) 脂肪酸度の測定から、研削式精米機の搗精作用割合の増加にともない精白米の貯蔵性が劣ることが確認された。
- (3) 搗精による損失すなわち、水分減少と碎粒発生は研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに低減した。
- (4) 研削式精米機の搗精作用割合の増加にともない、浸漬吸水率及び溶出固形物が増加し、体積膨張率及び吸光度が減少した。
- (5) 研削式精米機の搗精作用割合の大きい精白米は外観が劣り、従って炊飯米外観も同様に劣り、さらに香りが劣り、粘りが少なく、総合評価が低かった。これらの食味評価項目において、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上の試料は0%の試料に対し有意差が生じると判定された。
- (6) 精白米の品質及び食味を考慮すると、研削式精米機の搗精作用割合は0%から最大35%以内の範囲が適当であると考えられた。

第4章 第3節

搗精前の玄米温度が 精白米の品質及び食味に与える影響

4-3-1. 実験目的

第3章第3節において、玄米温度が搗精特性に与える影響について調査した。その結果、玄米温度の変化にともなう玄米剛度の変化が、搗精特性に大きな影響を与えることを明らかにした。

しかしながら、本研究の目的の一つである搗精のための最適な玄米温度条件を明らかにするためには、搗精特性の他に精白米の品質、とくに最も重要な品質要素である食味について検討を加えることが必要である。

従来から、精白米は搗精時の温度が高すぎると食味が低下し、低温で搗精すると食味が良いと一般に言われている。しかし、搗精前の玄米温度と食味とについて調査した例⁸¹⁾は少ない。

そこで本節では、温度を調整した玄米を用いて搗精を行い、搗精前の玄米温度が精白米の品質及び食味に与える影響について明らかにし、搗精のための最適な玄米温度を知る目的で研究を実施した。

4-3-2. 実験方法

(1) 供試試料

供試玄米は1979年北海道栗沢産「イシカリ」であり、これは種子用もみとして、架干で自然乾燥されたものである。もみの人工乾燥による高温の操作が精白米の品質及び食味に影響を与える可能性がある^{88, 122)}ことから、自然乾燥された玄米を供試試料として選択した。この玄米を次に述べる条件で搗精し、供試精白米を得た。

(2) 搗精方法

搗精前の玄米温度として、第3章第3節と同様に、10℃、20℃及び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、精米機及び実験室内の温度を設定玄米温度と同一となるように調整して実験を実施した。その結果、10℃、20℃、30℃の玄米温度に対し実験室内の温度と湿度は、それぞれ9.8℃、52% R.H.、20.0℃、63% R.H.、30.4℃、57% R.H.であった。

第4章第1節にて明らかにしたように、実験用摩擦式精米機による精白米と実用精米機による精白米との品質及び食味が類似していることから、搗精は摩擦式精米機のみを用いて第3章第1節に示した手順に準じて行った。搗精に際して、搗精度、搗精歩留、精米機の循環回数、精白米温度及び砕粒などの搗精特性について測定した。

(3) 精白米の品質測定及び食味試験の実施

精白米の品質に関する測定は、水分、白度、透光度、色調、容積重、流動性、脂肪酸度、カビの発生及び炊飯特性について行い、そのうえで食味試験を行った。これらの精白米の品質測定及び食味試験の実施は、第4章第1節に示した方法に準じて行った。

食味試験におけるパネルは39名であった。パネルの構成は女性が12名、40才以上が11名であり、食味試験経験者は19名であった。

4-3-3. 実験結果及び考察

(1) 搗精特性

Table 1 3 に供試玄米を搗精した際の搗精特性を表した。

三種類の試料の搗精は、その後の精白米の品質及び食味の比較のために、搗精度が同一となるように行った。その結果、搗精度は91.8～92.1%、搗精歩留は90.9～91.2%の範囲であった。搗精度または搗精歩留の変動がそれぞれ最大 0.3%であったことから、精白米の品質及び食味の測定においてこれらの影響は無視できると考えられる。

摩擦式精米機の循環回数は、玄米温度が10℃、20℃及び30℃の試料において、それぞ

れ5回，4回，3回であった。

搗精後の精白米温度は、玄米温度が10℃，20℃，30℃の試料に対して、それぞれ30.0℃，34.0℃，40.5℃であり、搗精による上昇穀温はそれぞれ20.0℃，14.0℃，10.5℃であった。これは、第3章第3節で明らかにしたように、低温の玄米を搗精すると穀温の上昇は大きい、精白米温度の絶対値は低いことと一致している。

精白米中の碎粒割合は搗精前の玄米温度の上昇とともに増加し、それぞれ8.1%，8.8%，10.5%であった。

Table 13. Physicochemical properties of milled rice milled from brown rice having three different kernel temperatures on the friction type mill.

Physicochemical properties of milled rice	Kernel temperature before milling		
	10°C	20°C	30°C
Degree of milling, %	92.1	91.8	92.1
Milling yield, %	91.1	91.2	90.9
Number of passes through friction type mill	5	4	3
Kernel temp. after milling, °C	30.0	34.0	40.5
Risen temperature, °C	20.0	14.0	10.5
Broken kernel, %	8.1	8.8	10.5
Moisture content, % w.b.135°C	15.5	15.4	15.4
Whiteness, %	32.3	32.4	31.3
Translucency	62.3	57.3	55.2
Color			
L;Lightness	63.0	63.3	63.1
a;Red(+) versus green(-)	-0.6	-0.4	-0.3
b;Yellow(+) versus blue(-)	13.4	13.6	14.0
H;Hanter whiteness	60.6	60.8	60.5
ΔE;Color difference	0	0.4	0.6
Bulk weight, g/l	855	852	848
Fluidity, sec./150g	7.13	7.11	7.13
Free fat acidity, mg:KOH	3.5	2.5	7.1
Mold gathering after 3 months storage	No	No	No
Cooking characteristics			
Water absorption ratio	1.22	1.21	1.21
Water uptake ratio	1.90	1.90	1.88
Volume expansion ratio	2.23	2.21	2.10
Starch-iodine blue value	0.40	0.40	0.37
Extracted solids, g/200ml	0.28	0.30	0.31
PH	6.7	6.7	6.7

(2) 精白米の品質

Table 13に精白米の物理化学特性を示した。

① 水分

精白米の水分は15.4~15.5%であった。搗精前の玄米水分は15.6%であり、従って、搗精による水分減少量は0.1~0.2%であった。

② 外観の計測

供試精白米の白度及び透光度は、玄米温度が10℃から30℃へと上昇するにともない、それぞれ32.3%から31.3%へ、62.3から55.2へと低下した。これは、温度の高い玄米は精米機の循環回数が少ないために、同一搗精度の精白米ではあるが除糠が充分でないことに起因していると考えられる。

筆者は、30℃の玄米を搗精すると20℃以下の玄米に比較して、精白米の白度が低いことを報告⁴⁴⁾しており、搗精による穀温の上昇が10℃程度と低い場合には、精白米の白さが冴えず光沢もなく、従って外観が劣るものと思われる。

一方、色調の測定ではL, a, b, Hいずれにおいても、搗精前の玄米温度の影響は認められず、色差は最大で0.6であった。

③ 容積重及び流動性

容積重及び流動性については、各試料間に差異は認められなかった。

④ 貯蔵性

搗精から1週間後に測定した脂肪酸度は、玄米温度が10℃, 20℃, 30℃の玄米を搗精した精白米において、それぞれ3.5mg, 2.5mg, 7.1mgであった。

いずれの試料においても脂肪酸度は低く、品質上の問題はないが、玄米温度が30℃の試料において若干脂肪酸度が高いのは、他の試料より付着糠が多いことによるものであると考えられる。このことは、白度及び透光度での考察と同様に、精米機の循環回数が少ないために除糠が充分でないことを示している。

脂肪酸度が高い試料は、これを炊飯した際の香りが劣ると思われる。

精白米のカビの発生は、室温(17~24℃)での3カ月間の貯蔵において、いずれの試料についても認められなかった。

⑤ 炊飯特性

炊飯特性は、各試料間の差異はわずかではあるが、搗精前の玄米温度が高くなるにともない、浸漬吸水率、加熱吸水率、体積膨張率及び吸光度が減少する傾向を示した。すなわち、これは玄米温度が高い場合には米飯が硬くなり、粘りが少なくなるということを示している。

溶出固形物は、玄米温度が高くなるとともにわずかに大きな値を示した。これは、玄米温度の高い試料は除糠が充分でないことに起因している。

炊飯液のPHは各試料間に差異はなかった。

以上のように、搗精前の玄米温度が精白米の品質に与える影響の程度は、第4章第1節ならびに第2節にて述べた異なる搗精作用、搗精方法、搗精度などのそれに比較するとわずかであるものの、玄米温度が高い場合に精白米の外観や貯蔵性が劣り、さらに、食味評価において米飯の香りが劣り、粘りが少なく、硬いという評価が下される可能性があることが認められた。

(3) 食味評価

Fig. 75 から Fig. 80 に、精白米外観、炊飯米外観、硬さ、粘り、香り及び総合評価の結果をそれぞれ示した。

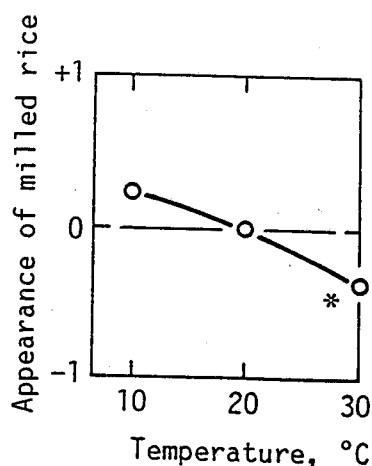


Fig. 75. Effect of brown rice temperature before milling on appearance of milled rice.

* indicates the significance at the 5% level.

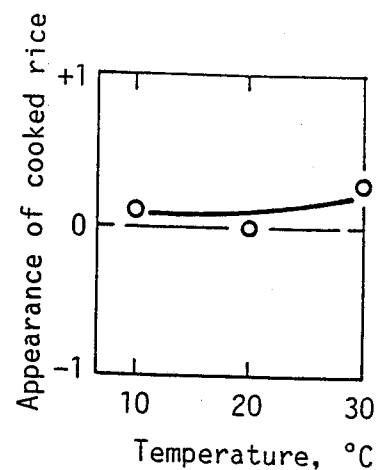


Fig. 76. Effect of brown rice temperature before milling on appearance of cooked rice.

図中において、記号*は玄米温度を10℃として搗精した精白米と他の試料間に、危険率5%において有意な差があることを示している。

各評価項目について一括すると、搗精前の玄米温度が10℃から20℃、30℃へと上昇するにともない、精白米の外観が劣化するが、これを炊飯した際の外観には差がなく、炊飯米の硬さが増加し、粘りが減少し、香りが劣り、総合評価が低下するという傾向が認められた。

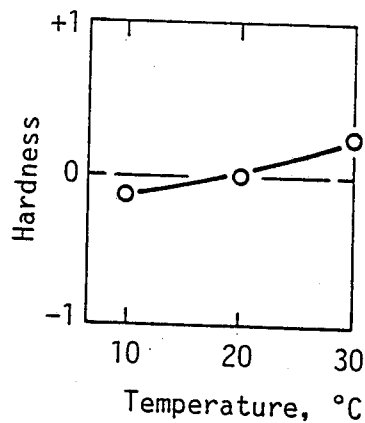


Fig. 77. Effect of brown rice temperature before milling on hardness of cooked rice.

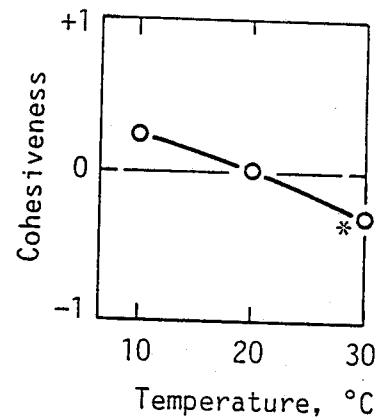


Fig. 78. Effect of brown rice temperature before milling on cohesiveness of cooked rice.

* indicates the significance at the 5% level.

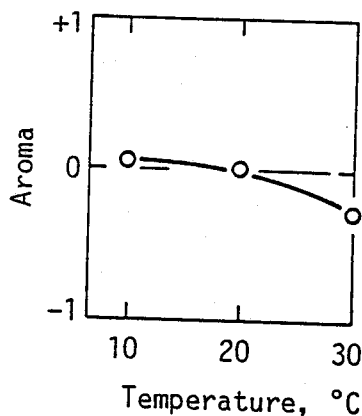


Fig. 79. Effect of brown rice temperature before milling on aroma of cooked rice.

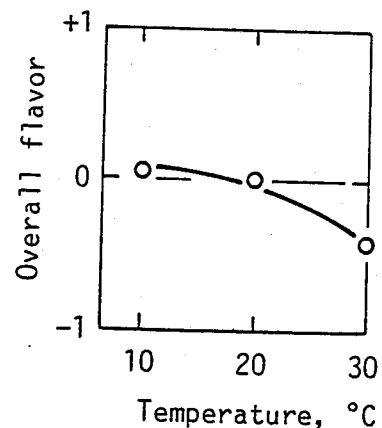


Fig. 80. Effect of brown rice temperature before milling on overall flavor of cooked rice.

温度が30℃の玄米を搗精すると、米飯の香りが劣り、粘りが少なく、硬いということは、精白米の品質測定の結果と一致する。しかしながら、各項目における試料間の評価の差異はわずかであった。統計解析により、搗精前の玄米温度が各評価項目に与える影響はないと判断され、精白米外観と粘りの項目においてのみ、玄米温度30℃の試料が10℃の試料に対して有意差を示した。

搗精前の玄米温度が食味評価に与える影響の程度は、すでに明らかにした異なる搗精作用、搗精方法、搗精度のそれに比較するとわずかであり、本実験で搗精を行った10℃、20℃及び30℃の玄米温度の範囲では、統計的に有意な差が生じるかどうかの境界上にあるものと思われた。

森高ら⁸¹⁾は低温(0~5℃)及び高温(29~35℃)でそれぞれ搗精を行った精白米の食味評価について報告している。森高ら⁸¹⁾の食味試験は、パネルが8~10名と少なくデータの信頼性に欠ける点があり¹⁵⁾、評価のばらつきが大きい、低温で搗精した精白米の外観が良く総合評価が高いという結果を得ていることは、本研究と同様である。

(4) 搗精前の最適玄米温度

本節において明らかにした玄米温度と精白米の品質及び食味とに関する結果から、搗精前の最適玄米温度の範囲を求める。

温度が30℃の玄米を搗精した場合、精白米の外観や貯蔵性が劣り、食味評価が低いことから、搗精前の玄米温度として30℃は高すぎると判断された。

第2章で明らかにしたように、北海道のような寒冷地では、夏期であっても玄米温度が30℃となることはまれである。しかし、我が国南部の温暖地では、玄米温度が30℃以上となる可能性が高いと考えられることから、これを防止する方策をとる必要がある。

調質操作により玄米温度を調整する際には、精白米の品質及び食味を考慮して、玄米の最高温度は25℃までとすることが望ましい。

最低玄米温度については、精白米の品質及び食味のみから考慮すると10℃が好ましいと思われる。しかしながら、第3章第3節で明らかにしたように、低温の玄米を搗精すると搗精効率や搗精能率が低下すること、実際の精米工場において、冬期間の搗精の困難さが問題となっている⁹⁵⁾ことを考え合わせると、10℃の玄米温度で搗精を行うこと

は実用的ではなく、15℃程度以上の玄米温度が望ましい。

すなわち、10℃の玄米を搗精した場合、食味評価は若干向上するが、玄米剛度が増加して搗精効率や搗精能率が低下し、搗精度を低下させることが困難となることから、逆に玄米温度を15℃以上に上昇させた上で、搗精度を低下させる、研削式精米機の搗精作用割合を減少させるなどの方策を講じることが、実用的には食味向上につながるものと思われる。

従って、玄米調質を行う場合には、季節変動のある工場内の温度や湿度と玄米や精白米の温度との差によって生じる米粒表面の結露または急激な乾燥を避けるよう配慮しつつ、15～25℃の範囲内に玄米温度を調整することが最適であると考えられる。

4-3-4. 要約

温度を10℃、20℃及び30℃にそれぞれ調整した玄米を用いて搗精を行い、搗精前の玄米温度が精白米の品質及び食味に与える影響を調査し、最適玄米温度の範囲について検討した。以下にその結果を示す。

- (1) 搗精前の玄米温度が高い場合、温度の低い玄米と比較して、精白米の白度及び透光度が低く外観が劣り、さらに、脂肪酸度が高く貯蔵性が劣る。
- (2) 同じく玄米温度が高い場合、浸漬吸水率、加熱吸水率、体積膨張率及び吸光度が小さく、溶出固形物が多い。
- (3) 温度の低い玄米を搗精すると、高い玄米と比較して、外観や香りが良く、やわらかくて粘りがあり、総合評価が高いという傾向が認められた。
- (4) 10℃から30℃の範囲内で、搗精前の玄米温度が精白米の品質及び食味に与える影響の程度は、第4章第1節及び第2節で明らかにした異なる搗精作用、搗精方法、搗精度などの影響の程度に比較するとわずかであった。
- (5) 30℃の玄米は、精白米外観や貯蔵性の劣化及び食味の低下などが生じる。一方、10℃の玄米は、搗精効率及び搗精能率の低下が生じ、そのため搗精度を低下させることが困難となる。従って、搗精前の最適玄米温度は15～25℃の範囲であると考えられた。

第4章 第4節

精白米水分が精白米の 品質及び食味に及ぼす影響

4-4-1. 実験目的

第3章第4節において、玄米水分が搗精特性に与える影響について調査した。その結果、玄米水分が搗精特性に与える影響は、玄米水分変化にともなう玄米剛度変化に起因していることを明らかにした。

しかしながら、本研究の目的の一つである合理的な搗精を行うための最適な玄米水分を明らかにするためには、搗精特性のみならず精白米の品質及び食味について水分の与える影響を明確にとらえる必要がある。

そこで本節では、水分を調整した精白米を供試試料とし、精白米水分が精白米の品質及び食味に与える影響を明らかにしたうえで、食味評価の高い精白米水分を知り、それによって搗精のための最適玄米水分を求めようとした。

4-4-2. 実験方法

(1) 供試試料

供試試料として、1980年北海道新篠津産「イシカリ」2等級玄米を中心に数種の北海道産玄米をブレンドした玄米を、ホクレン札幌ライスステーション大曲工場において、コンパス式精米装置CP4C型を用いて搗精した精白米を用いた。この精白米は後に標準価格米として市販されたものである。

搗精前の原料玄米の温度及び水分は、それぞれ20.8℃と16.8%であり、搗精後の精白米の温度及び水分は、37.5℃と16.7%であった。従って、搗精による穀温上昇は16.7℃、水分減少量は0.1%であった。

供試精白米の搗精歩留は90.3%であった。

第2章に述べた精米工場における調査によれば、原料玄米の水分は、調査した範囲内

で、14.4～16.8%であり、搗精による水分減少量は0.1～0.4%であった。

過度に低水分の精白米または高水分の精白米は、いずれも食味評価が劣る¹⁷⁴⁾とされている。そこで、上記の精米工場にて採取した精白米をもとに水分調整を行い、水分が14～18%までの4種類の試料を得ることとした。

精白米の水分調整は、初期水分16.7%から水分を減少させる試料については、これを実験室内（室温は16.0～21.8℃，湿度は55～69% R.H.）に薄く1～2層に広げて、ゆるやかに乾燥させた。その結果、6時間後に水分15.5%の精白米を、24時間後に水分14.0%の精白米を得た。これらの試料の乾燥速度は、それぞれ0.20%/hour, 0.11%/hourであった。

また、水分を増加させる試料については、温度20℃，湿度80% R.H.に設定した田葉井製作所製恒温恒湿器内に薄く1～2層に広げて、緩慢に吸湿させた。その結果、11時間後に水分18.0%の精白米を得た。この試料の吸水速度は0.12%/hourであった。

以上の水分調整は、いずれも急激な水分変化を避けるように配慮して行ったことから、精白米のひび割粒の発生¹⁶⁷⁾は確認されなかった。

水分調整後の精白米は、それぞれポリエチレン容器に密封して室温（17～20℃）で3日間放置し、水分の均一化を図ったのち、実験に供した。

(2) 精白米の品質測定及び食味試験の実施

精白米の品質に関する測定は、水分，白度，透光度，容積重，流動性，カビの発生，脂肪酸度及び炊飯特性などについて行い、精白米外観，炊飯米外観，香り，硬さ，粘り及び総合評価について食味試験を実施した。

これらの精白米の品質測定及び食味試験の実施は、第4章第1節に示した方法に準じて行った。

食味試験は精白米の水分調整直後と、貯蔵による食味の変化を知る目的で、室温（17～24℃）で3カ月間貯蔵した後とにそれぞれ行った。それぞれの食味試験におけるパネルは39名と31名であった。パネル構成は、初回では女性が12名，40才以上が11名，食味試験経験者は19名であり、2回目では女性が11名，40才以上が10名，食味試験経験者は19名であった。

4-4-3. 実験結果及び考察

(1) 精白米の品質

Table 14 に、供試精白米の物理化学特性について示した。

Table 14. Physicochemical properties of milled rice having four different moisture contents.

Physicochemical properties of milled rice	Milled rice sample			
	No.1	No.2	No.3	No.4
Moisture content, % w.b.135°C	14.0	15.5	16.7	18.0
Moisture content, % w.b.105°C	13.1	14.7	15.8	17.3
Moisture content, % w.b.PB-1D	12.3	13.8	15.1	16.7
Whiteness, %	29.7	30.5	30.0	30.6
Translucency	64.7	65.3	66.7	67.1
Bulk weight, g/l	861	856	850	839
Fluidity, sec./150g	6.74	7.00	7.02	7.13
Mold gathering				
after 1 month storage	No(-)	No(-)	No(-)	Yes(+)
after 3.5 months storage	No(-)	No(-)	Yes(+)	Yes(+++)
Free fat acidity, mg:KOH				
after 1 week storage	7.4	9.1	9.1	10.3
after 5 months storage	18.4	25.3	x	x
Cooking characteristics				
Water absorption ratio	1.24	1.21	1.20	1.17
Water uptake ratio	2.01	1.95	1.93	1.92
Volume expansion ratio	2.23	2.23	2.19	2.23
Starch-iodine blue value	0.44	0.43	0.42	0.37
Extracted solids, g/200ml	0.35	0.32	0.28	0.27
PH	6.8	6.8	6.8	6.7

Method 135°C; Moisture content was determined in accordance with SAMJ method(1975) by drying whole kernel of about 10g for 24 hour in an oven at 135°C(±2°C).

Method 105°C; Moisture content was determined in accordance with drying whole kernel of about 10g for 24 hour in an oven at 105°C(±1°C).

Method PB-1D; Moisture content was determined in accordance with using a moisture content meter PB-1D made by Kett Laboratory Co. Ltd..

① 水分

第2章にて既述したように、同一試料の水分を異なる方法で測定した場合、測定法により得られた水分値は異なる。そこで、4段階の水分に調整した供試精白米の水分値を本実験で用いている10g,粒,135℃,24hour法その他、10g,粒,105℃,24hour法及び電気抵抗式水分計(ケットPB-1D型)により求めた。

その結果、Table 14に示したように、135℃法により測定した水分値から約0.8%または1.5%をそれぞれ差し引くことにより、105℃法またはケット水分計により求めた水分値を算出できることを知った。

② 外観の計測

供試精白米の白度は、29.7~30.6%の幅があるが、水分変化にともなう一定の傾向は認められなかった。

透光度は、精白米水分低下にともない67.1から64.7へとわずかに減少した。すなわち、本実験の水分範囲では精白米水分の外観に及ぼす影響は小さいが、低水分の精白米の外観が若干劣る傾向が認められた。

水分差のある精白米の外観を観察した例⁵²⁾では、水分が18.7%(135℃,粉碎,3hour)の精白米は10.2%の精白米と比較して、やや透明感があり白く見えると報告されている。

③ 容積重及び流動性

容積重及び流動性は精白米水分によりいずれも変化し、水分減少とともに容積重が大きくなり、流動性が良くなった。

④ 貯蔵性

精白米の貯蔵性には、温度、湿度、貯蔵容器などの貯蔵中の環境、精白米水分、精白米の糠の除去程度、精白米の脂質含量などの要因が関与する^{83,104)}。

本節では、水分調整を行った精白米をポリエチレン容器にそれぞれ密封し、室温(3月から8月にかけての貯蔵のため、温度が17℃から28℃へと徐々に変化した)で貯蔵したことから、精白米水分以外の貯蔵性にかかわる要因は同一であると考えられる。

i カビの発生

貯蔵による各試料のカビの発生は、精白米水分が18.0%の試料は1カ月間貯蔵後にカビの発生が確認され、さらに、2カ月後にはポリエチレン容器内に結露が生じ、米粒が

カビとともに固結した。また精白米水分が16.7%の試料は3.5ヵ月後にカビの発生が確認された。

カビの発生にともない、米粒表面は外観上、いわゆる粉をふいたような状態で白っぽくなり、透明感及び光沢が減少した。このような精白米は、白度が1~2%上昇し、透光度が40~70低下した。

発生したカビの同定は行っていないが、その色と形状から、米に多く発生する *Asp. glaucus* 群及び *Asp. restrictus* 群に属する糸状菌類¹⁵⁹⁾ と思われた。

精米工場での搗精の後、精白米が家庭で消費されるまでの期間は、平均して1ヵ月である¹⁰⁴⁾ と言われている。そのため、精白米の安全貯蔵期間は、夏期の条件において2ヵ月程度必要であると思われる。

精白米水分16.7%の試料は、17~25℃での室内貯蔵で3.5ヵ月後にカビの発生が認められたことにより、さらに気温の高い夏期には、より早いカビの発生が予想される。従って、精白米水分として16.7%は高すぎると判断した。

柳井ら¹⁵⁹⁾ は、ポリエチレン包装した水分16.6% (135℃, 17hour) の精白米は、夏期 (20~30℃) の40日間の貯蔵で、糸状菌数が 2×10^4 /g から 1×10^6 /g へと増加したことから、この試料の貯蔵限界を認めた。また、同じくポリエチレン包装した水分15.0% (105℃, 5hour法、これは本研究で用いている135℃法では16.0%) の精白米は、20℃の条件下で、2ヵ月間の貯蔵において品質劣化はない¹⁰⁴⁾ とされている。

従って、本研究の結果ならびに上記の研究例から、精白米の貯蔵安全水分は最高16.3%程度であり、この水分以下の精白米は、夏期における2ヵ月間の貯蔵に耐えうると判断された。

ii 脂肪酸度

1週間貯蔵後の試料精白米の脂肪酸度は、精白米水分14.0%の試料が7.4mg、同じく18.0%の試料が10.3mgであった。また、5ヵ月間貯蔵後の脂肪酸度は、水分14.0%の試料が18.4mg、同じく15.5%の試料が23.5mgであり、16.7%及び18.0%の試料はカビ発生のため測定は行わなかった。

これらのことから、水分の高い試料は脂肪酸度が貯蔵中に急増するため貯蔵性が劣り、水分の低い精白米であっても貯蔵により脂肪酸度の増加が生ずることが確認された。

⑤ 炊飯特性

浸漬吸水率は、水分14.0%の精白米が1.24、同じく18.0%の精白米が1.17であり、水分の低い精白米の浸漬吸水率が高かった。同時に、低水分精白米は浸漬時に亀裂が発生しやすいことも観察した。

精白米水分と浸漬吸水率とは、極めて有意な負の相関関係にあり^{49, 50, 53, 101}、とくに低水分精白米は浸漬時に亀裂が生じやすく⁵²、これが浸漬吸水率増加の一因である⁸⁴とされている。

加熱吸水率も浸漬吸水率と同様に、低水分の精白米が高水分の精白米に比べて、高い値を示した。

体積膨張率は、精白米水分による特徴的な変化が認められなかった。

炊飯液のヨード・でんぷん反応による吸光度は、精白米水分の低下とともに0.37から0.44へと増加した。

これは、精白米の浸漬において観察された低水分精白米の亀裂発生に起因している。すなわち、亀裂の発生した精白米は表面積が増加したこととなり、でんぷんの溶出が増加し、炊飯液のでんぷん濃度を高める結果となったと考えられる。

溶出固形物は、精白米水分の低下とともに、0.27g/200mlから0.35g/200mlへと増加した。これは、先に述べた吸光度の結果と同様に、水分の低い精白米は吸水による亀裂のため炊飯液中のでんぷん濃度が高いことを示していると考えられる。

溶出固形物は、精白米表面の糠など付着物の量及び炊飯液に溶け出したでんぷんの量を表す。しかし、本実験では同一精白米を水分調整して試料としたため、米粒表面の付着物の量は同じと見なされ、溶出固形物は炊飯液中のでんぷん量を表すこととなったと思われる。

炊飯液のPHは、各試料において差異は認められなかった。

(2) 食味評価

① 水分調整直後の食味評価

Fig. 8 1 から Fig. 8 6 に、精白米の水分調整直後に実施した食味試験における、精白米外観、炊飯米外観、硬さ、粘り、香り及び総合評価についての結果を示した。

図中において、記号*及び**は精白米水分が14.0%の試料と他の試料間に、危険率5%または1%において、有意な差があることを示す。また縦軸の評価項目の*及び**は、横軸の精白米水分がその評価項目に対して、同様に有意な影響を与えることを示す。

i 精白米外観及び炊飯米外観

Fig. 8 1によれば、精白米外観は水分14.0%の試料が劣り、他の3種類の試料はほぼ同程度の外観であった。これは、先に述べた透光度において、低水分の精白米は外観評価が低下するとしたことと一致する。

さらに、これらの精白米を炊飯した際の外観は、Fig. 8 2に示したように、水分14.0%の試料が低く評価され、他の試料と有意差が生じ、かつ、精白米水分により炊飯米外観に有意差が生じると判定された。

水分14.0%の試料の炊飯米外観が精白米外観に比較して一層劣化したのは、精白米を浸漬した際に生じる亀裂に起因している。

すなわち、水分の異なる精白米を同一条件で炊飯した場合の炊き上がりを観察した例¹¹³⁾に示されているように、低水分精白米を浸漬した際の亀裂は米飯の粒形をくずし、いわゆる「花咲米」¹⁶⁷⁾を増加させることから、これの炊飯米外観が低く評価されたと思われる。

九州産の米を用いて食味に及ぼす玄米水分の影響を調査した例¹²¹⁾においても、本研究と同様に、低水分の米は炊飯米外観が劣ると評価される場合が多かった。

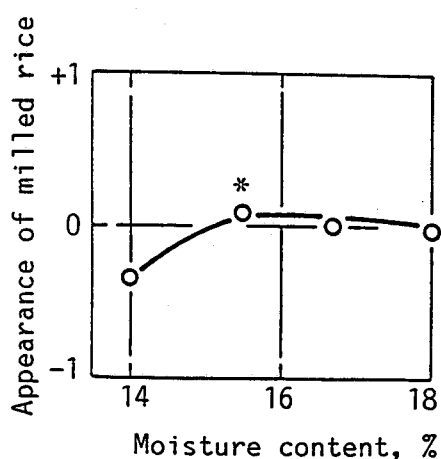


Fig. 81. Effect of milled rice moisture content on appearance of milled rice.
* indicates the significance at the 5% level.

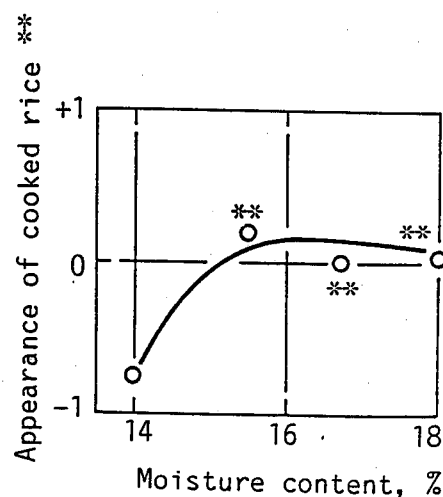


Fig. 82. Effect of milled rice moisture content on appearance of cooked rice.
** indicates the significance at the 1% level.

ii 硬さ

西山ら¹²¹⁾は、炊飯時の米と水との重量比が一定の場合には、低水分の精白米は硬く、高水分の精白米は軟らかく炊き上がると指摘している。そして、この硬さが他の評価項目にも影響を与える恐れがあることから、精白米水分に合わせて加水量を増減し、各試料の硬さをほぼ同一にして食味試験を実施している。

しかしながら、一般家庭で市販精白米を購入する場合、その精白米水分に関する情報はなく、いつもの習慣に従って水加減を行い炊飯すると思われることから、本食味試験では、敢えて水分の異なる精白米に対して加水量を一定として炊飯を行った。

その結果、炊飯米の硬さは、Fig. 83に示したように、精白米水分の低下とともに硬くなると評価され、水分14.0%と18.0%の試料間では有意差が生じた。このことは逆に、米飯の硬さは加水量で調節可能なことを意味しており、炊飯時の水加減の重要性を示していると考えられる。

iii 粘り

炊飯米の粘りは、Fig. 84に示したように、水分14.0%及び18.0%の試料の粘りがいずれも弱いと評価され、精白米水分は米飯の粘りに有意な影響を与えた。

炊飯特性における吸光度ならびに溶出固形物から、精白米水分の減少とともに米飯の粘りは増加すると示された。しかし、官能試験において低水分試料の粘りが少ないという結果になったことは、硬さが粘りに影響を与えていると考えられる。すなわち、水分が低くて硬い米飯は、その噛みごたえから感覚的に付着性が弱く、パネルは粘りが少ないと判定したものと思われる。

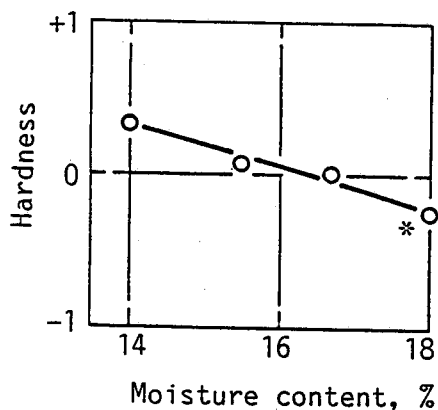


Fig. 83. Effect of milled rice moisture content on hardness of cooked rice.

* indicates the significance at the 5% level.

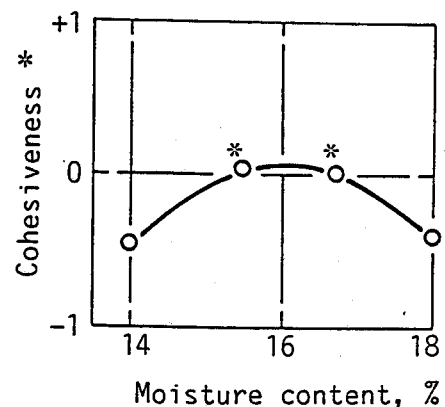


Fig. 84. Effect of milled rice moisture content on cohesiveness of cooked rice.

* indicates the significance at the 5% level.

iv 香り

炊飯米の香りは、Fig. 85に示したように、水分14.0%の試料の香りが他の試料と比較して劣ると判定された。

v 総合評価

総合評価を示したFig. 86によれば、パネルは水分14.0%及び18.0%の試料を低く評価し、同じく15.5%及び16.7%の試料を高く評価した。しかも、水分14.0%の試料に対して、15.5%及び16.7%の試料は有意差があると判定された。

すなわち、精白米水分が高すぎる場合にも、低すぎる場合にも食味は低く評価され、本試験の試料では、米の食味にとって好ましい精白米水分は15.5%から16.7%の範囲であった。

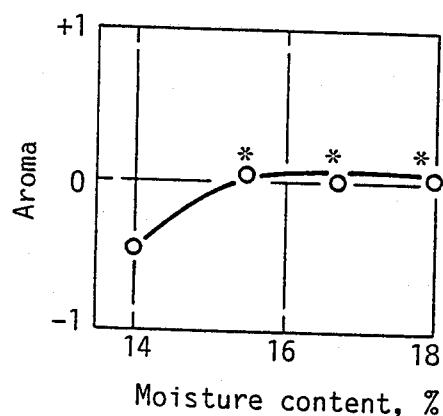


Fig. 85. Effect of milled rice moisture content on aroma of cooked rice.
* indicates the significance at the 5% level.

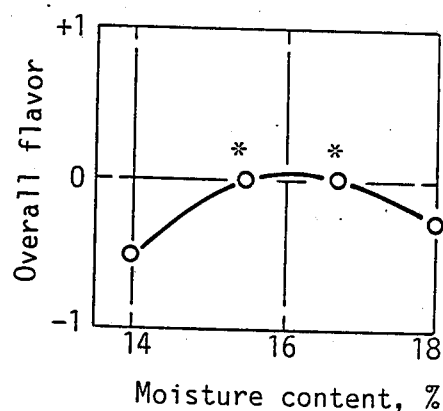


Fig. 86. Effect of milled rice moisture content on overall flavor of cooked rice.
* indicates the significance at the 5% level.

② 3カ月間貯蔵後の食味評価

試料精白米の一部を室温（17～24℃）でポリエチレン容器に3カ月間密封貯蔵し、再び食味試験を行った。なお、水分18.0%の精白米はすでにカビの発生が認められたため、試食には供せず、水分14.0%、15.5%及び16.7%の3試料のみを供試した。

Fig. 8 7 から Fig. 9 2 に、各評価項目の結果を表した。

各食味評価について一括すると、精白米外観は試料の差異は認められなかったが、水分16.7%の試料は14.0%の試料に対して、炊飯米外観が劣化し、軟らかく、粘りが少なく、香りが劣り、その結果、総合評価が低下した。しかし、これらの試料間の差異は大きなものではなく、総合評価のみにおいて、水分14.0%の試料に対して16.7%の試料の有意差が認められた。

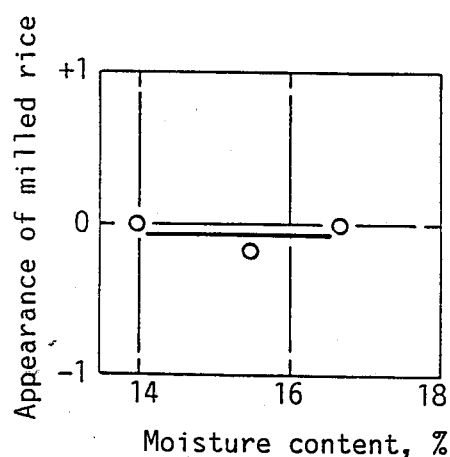


Fig. 87. Effect of moisture content of milled rice after 3 months storage on appearance of milled rice.

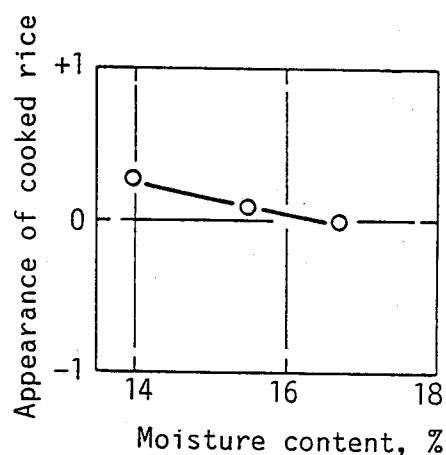


Fig. 88. Effect of moisture content of milled rice after 3 months storage on appearance of cooked rice.

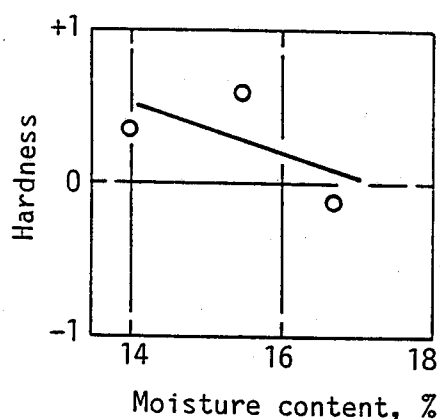


Fig. 89. Effect of moisture content of milled rice after 3 months storage on hardness of cooked rice.

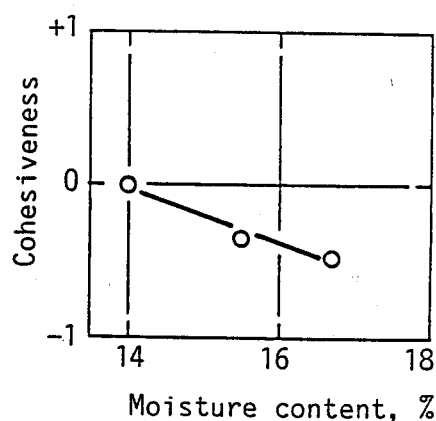


Fig. 90. Effect of moisture content of milled rice after 3 months storage on cohesiveness of cooked rice.

精白米は貯蔵により、外観が劣化し、脂質及びでんぷんの変化により粘りが減少し、いわゆる古米臭のために香りが劣化し、水分や温度条件によってはカビが発生する。これらの原因で、精白米の食味評価は貯蔵により低下することが多くの研究^{78, 79, 80, 83, 116, 117, 161, 169, 170)}で認められている。

供試精白米においても、3カ月間の貯蔵中に上記のような品質劣化が生じていると思われる。とくに精白米水分調整直後の食味試験において、精白米外観，炊飯米外観，粘り，香り及び総合評価の各項目で、水分14.0%の試料より高い評価を得ていた水分16.7%の試料の評価が、3カ月間貯蔵後に逆転したことは、水分の高い精白米は低い精白米より相対的に食味の劣化が速いことを示していると考えられる。

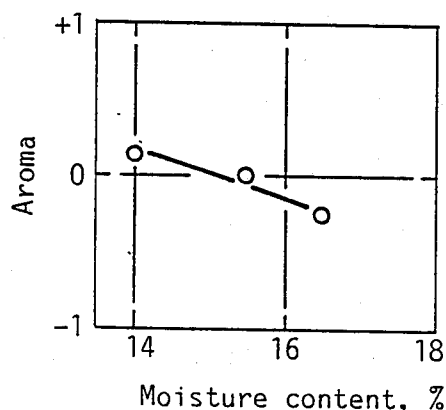


Fig. 91. Effect of moisture content of milled rice after 3 months storage on aroma of cooked rice.

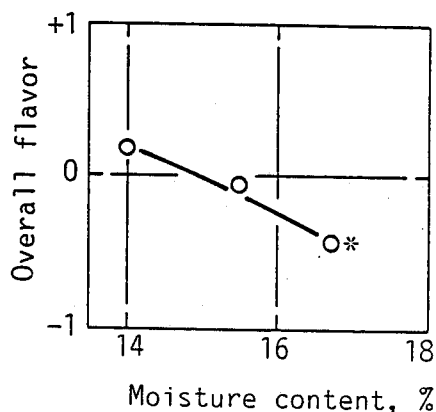


Fig. 92. Effect of moisture content of milled rice after 3 months storage on overall flavor of cooked rice.

* indicates the significance at the 5% level.

(3) 搗精前の最適玄米水分

本節において明らかにした精白米水分と精白米の品質及び食味とに関する結果から最適精白米水分を、さらに、それから搗精前の最適玄米水分を求める。

精白米水分調整直後の食味試験では、水分が15.5～16.7%の試料が高い食味評価を受け、水分14.0%及び18.0%の試料は食味評価が低かった。

しかしながら、3カ月間貯蔵後には、水分の高い試料の品質ならびに食味の低下が、水分の低い試料より相対的に大きく、水分18.0%の試料はカビのため食用にできず、水分16.7%及び15.5%の試料は14.0%の試料より食味評価が劣った。従って、水分の低い精白米は貯蔵性が良いことを考慮して、精白米水分の下限は15.5%の試料よりやや低い15.3%程度が適当であると考えられる。

また、貯蔵による精白米のカビの発生状態から考察したように、一般家庭での夏期における最長2カ月程度の貯蔵を考慮して、精白米水分の上限は16.3%程度が適当であると考えられる

すなわち、精白米の品質及び食味を総合的に考慮した最適精白米水分は、15.3~16.3%の範囲であると判断される。

搗精による玄米から精白米への水分減少量は、精米機周辺の環境条件、玄米水分、玄米温度、玄米調質の有無、研削式精米機の搗精作用割合及び搗精度などにより影響を受ける。本研究における調査ならびに実験の結果から判断すると、搗精による水分減少量は0~0.4%であり、平均して約0.2%である。

従って、搗精前の最適玄米水分は、15.5~16.5%の範囲であると考えられる。

4-4-4. 要約

水分を14.0%, 15.5%, 16.7%及び18.0%に調整した精白米をそれぞれ用い、精白米の品質及び食味を調査し、最適精白米水分を明らかにし、その上で搗精前の最適玄米水分を求めた。以下にその結果をまとめる。

- (1) 精白米水分の低下にともない、精白米の透光度がわずかに低下し、容積重が増加し、流動性が良くなった。
- (2) 精白米水分が18.0%の試料は貯蔵1カ月後にカビが発生し、同じく16.7%の試料は3.5ヵ月後にカビが発生した。同時に、高水分の試料は、貯蔵による脂肪酸度の増加が大きかった。
- (3) 一般家庭における精白米の保管期間を最長2カ月程度とし、とくに夏期における貯蔵性を考慮するならば、精白米の許容最高水分は16.3%程度である。
- (4) 浸漬吸水率及び加熱吸水率は、精白米水分の低下とともに増加した。とくに、低水分精白米の浸漬に際して、米粒に亀裂が生じることが観察された。この亀裂発生のため、炊飯液へのでんぷんの溶出量が増加し、吸光度及び溶出固形物が増加した。
- (5) 精白米水分が低い試料は精白米外観、炊飯米外観が劣り、米飯が硬く、香りが劣った。粘りは、低水分及び高水分の試料がそれぞれ弱かった。総合評価は、水分が15.5%から16.7%の精白米が、14.0%及び18.0%の水分の精白米より高く評価された。
- (6) 高水分の精白米は低水分の精白米に比較して、貯蔵による食味低下が相対的に大きく、3カ月間貯蔵後に食味評価が逆転し、水分14.0%の試料が他の試料に対して高く評価された。
- (7) 精白米の品質及び食味を考慮した最適精白米水分は、15.3~16.3%の範囲である。さらに、搗精による水分減少量が平均0.2%程度であることから、搗精前の最適玄米水分は15.5~16.5%の範囲であると考えられた。

第5章 米の搗精の合理化に関する考察

これまで、米の搗精の合理化を目的に、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調査し、さらに、精米機の搗精方法や玄米温度と玄米水分が、精白米の品質及び食味に及ぼす影響について述べてきた。

本章では、これらの結果を基に、玄米条件と搗精特性との関係、及び精白米の物理化学特性と食味との関係を明確にし、精米機の搗精方法が搗精特性と精白米の品質及び食味とに与える影響をまとめ、さらに搗精特性と精白米の品質及び食味とから判定した、搗精前の最適な玄米温度と玄米水分の条件を明らかにし、これにより合理的な搗精に関する考察を行った。

第5章 第1節

玄米条件と搗精特性との関係

5-1-1. 目的

第3章にて論じたように、本研究では、搗精前の玄米条件として古米化の程度、玄米温度及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ことを明らかにした。

本節では古米、玄米温度及び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、搗精時間及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範囲を求め、米の搗精の合理化のための基礎試料を得ようとした。

5-1-2. 結果及び考察

(1) 玄米条件と玄米剛度

① 古米化と玄米剛度

Fig. 93 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碎剛度との変化を示した。

Fig. 93 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及び圧碎剛度はそれぞれ0.5kgf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変化は認められなかったことから、剛度低下は古米化に起因すると考えられる。

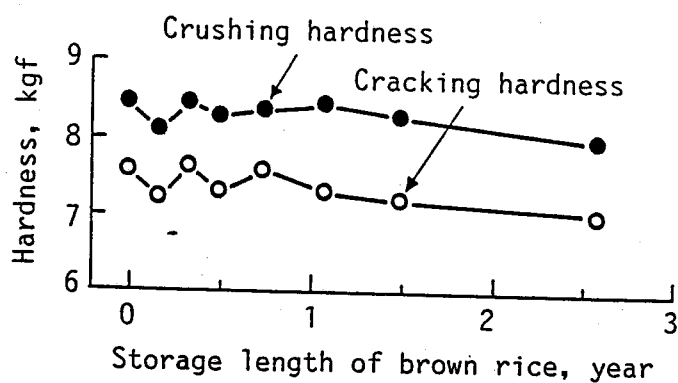


Fig. 93. Effect of storage time on hardness of brown rice.

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

② 玄米温度と玄米剛度

Fig. 9 4 に、玄米温度が玄米剛度に与える影響について図示した。

Fig. 9 4 に示したように、玄米温度が -5°C から 30°C 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、

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

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

ここに Y は玄米圧砕剛度(kgf), X は玄米温度($^{\circ}\text{C}$)である。

という非常に有意な回帰式で表された。

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

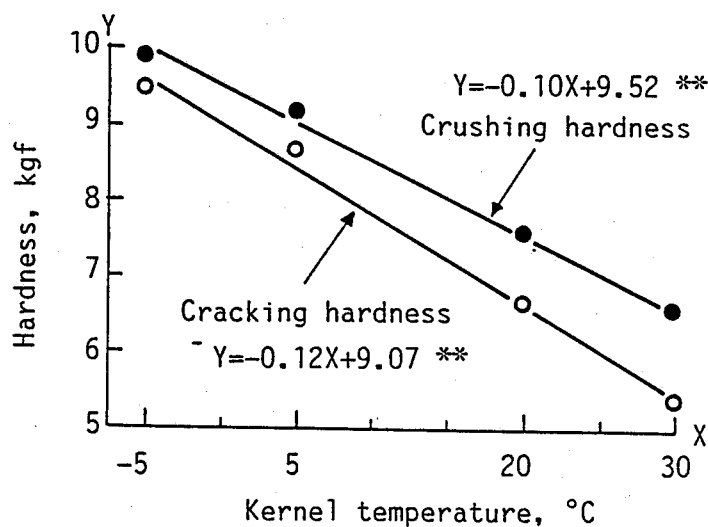


Fig. 94. Effect of kernel temperature on hardness of brown rice.

Moisture content of brown rice was 15.9%.

** indicates the significance at the 1% level.

③ 玄米水分と玄米剛度

Fig. 9 5 に、玄米水分が玄米剛度に与える影響について図示した。

Fig. 9 5 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、

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

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

ここに Y は玄米圧砕剛度(kgf),

X は玄米水分(% w.b., 10g, 粒, 135°C, 24hour 法)である。

という非常に有意な回帰式で表された。

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

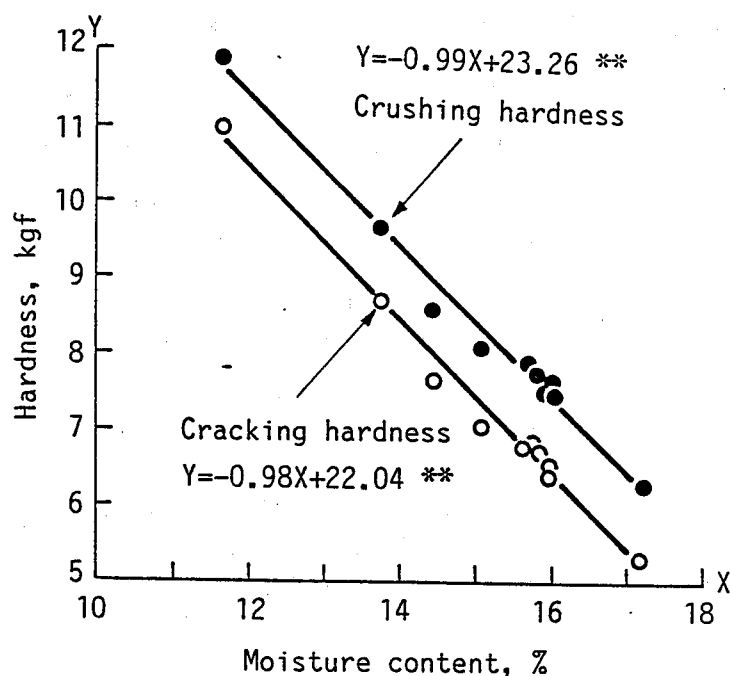


Fig. 95. Effect of moisture content on hardness of brown rice.

Brown rice temperature was 20°C.

** indicates the significance at the 1% level.

④ 米粒内硬度分布

Fig. 9 6 に、玄米の古米化，玄米温度及び玄米水分が玄米剛度に与える変化を、長戸^{85, 86)}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⁸⁵⁾はビッカース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. 9 6 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。

第3章第2節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ずる。従って、太い実線で示した新米に対して、古米は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、第3章第3節ならびに第4節にて示したように、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。従って、玄米温度と玄米水分の低下にともなう玄米剛度の上昇、ならびに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¹²³⁾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。

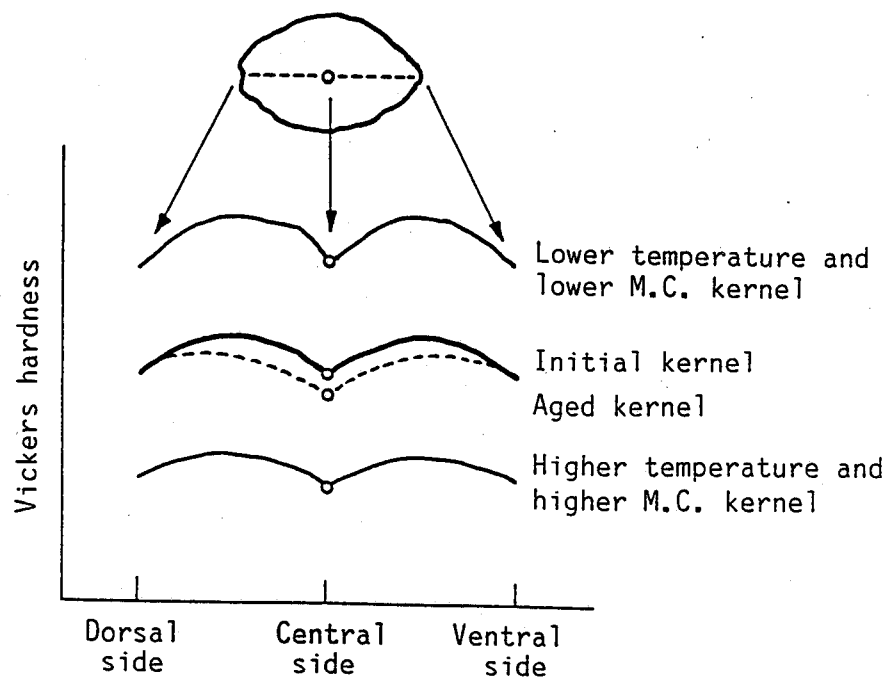


Fig. 96. The response model of hardness to changes in storage time, moisture content and temperature of brown rice kernel.

⑤ 玄米の温度及び水分と玄米剛度

古米化による玄米剛度の減少は、玄米の温度と水分とによる剛度変化に比較してわずかなものであり、しかも剛度現象は主として胚乳部にて生じることから、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。従って、本研究で取り上げ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及び玄米水分であり、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. 9 7に、本研究で調査した20サンプルの玄米について玄米剛度と玄米温度及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. 9 7によれば、玄米剛度と玄米温度及び玄米水分との関係は非常に有意な回帰性を持ち、玄米の温度及び水分が低い場合に剛度が高くなることが示された。

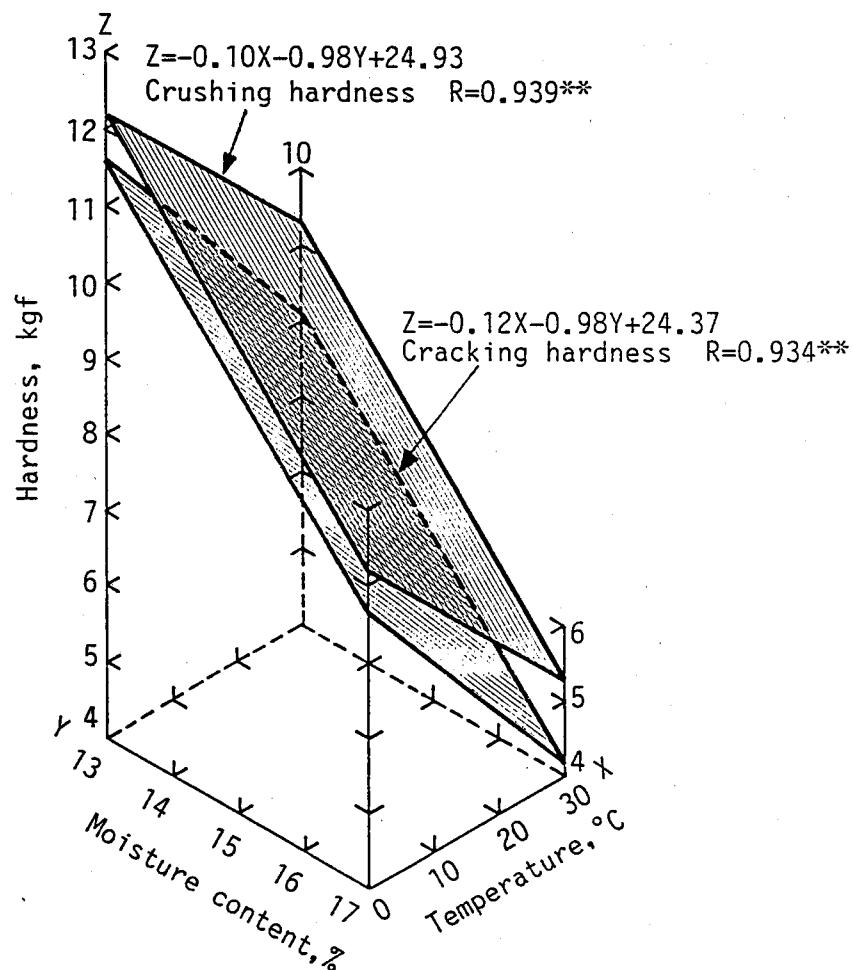


Fig. 97. Regression planes among hardness, moisture content and kernel temperature of brown rice.

** indicates the significance at the 1% level. $R(17, 1\%) = 0.575$

玄米の温度と水分から圧砕剛度への回帰式は、

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

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

ここに Z は玄米圧砕剛度, X は玄米温度, Y は玄米水分である。

であった。式(3)においても、玄米温度10℃の変化または玄米水分1%の変化は圧砕剛度1kgfの変化となることが確認された。

(2) 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と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. 9 8 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。

Fig. 9 8 に示したように、圧砕剛度と消費電力量との関係は、研削式精米機において直線関係が、摩擦式精米機において2次曲線関係があると思われたため、それぞれの回帰性の検定を行い、Table 1 5 ならびにTable 1 6 にその結果を示した。

Table 15. Analysis of variance for regression analysis between crushing hardness of brown rice and electric energy consumption of the abrasive type mill.

Factor	Sum of square	Degree of freedom	Unbiased variance	Unbiased variance ratio	F-Value 1%
Regression variation	0.12	1	0.12	57.12**	9.65
Residual variation	0.02	11	0.00		
Total	0.14	12			

** indicates that the electric energy consumption of the abrasive type mill has a significant regression from the crushing hardness of brown rice at the 1% level.

Table 16. Analysis of variance for regression analysis between crushing hardness of brown rice and electric energy consumption of the friction type mill.

Factor	Sum of square	Degree of freedom	Unbiased variance	Unbiased variance ratio	F-Value 1%
Regression variation of first degree	2.84	1	2.84	321.83**	10.04
Regression variation of second degree	0.42	1	0.42	47.19**	10.04
Total regression variation	3.26	2	1.63	184.51**	7.56
Residual variation	0.08	10	0.01		
Total	3.34	12			

** indicates that the electric energy consumption of the friction type mill has a significant regression from the crushing hardness of brown rice at the 1% level.

Table 15 及び Table 16 によれば、研削式精米機で非常に有意な 1 次回帰性が認められ、摩擦式精米機で 1 次回帰，2 次回帰及び全回帰において、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、研削式精米機では、

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

であり、摩擦式精米機では、

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

ここに Y は精米機の消費電力量(kWh/60kg・Brown Rice) ，

X は玄米圧碎剛度である。

であった。

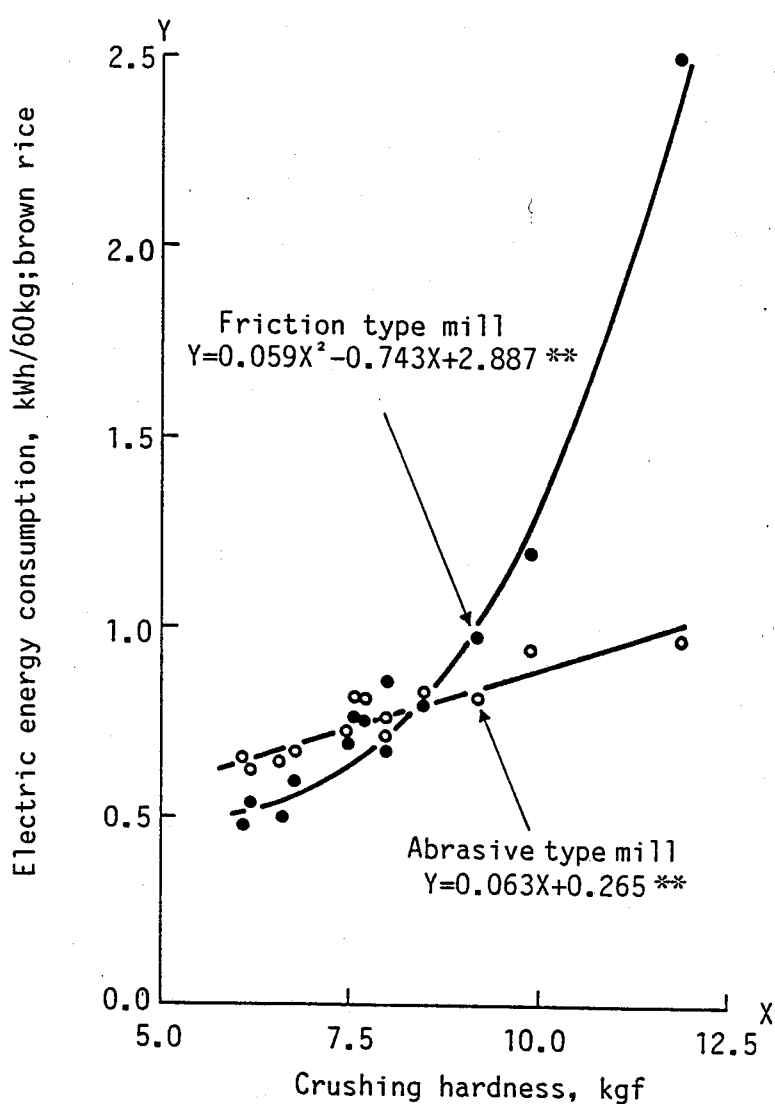


Fig. 98. Relation between crushing hardness of brown rice and electric energy consumption of the two type rice mills.

** indicates the significance at the 1% level.

② 玄米剛度と搗精時間

Fig. 99 に、圧砕剛度と搗精時間について回帰性の検定を行った結果を図示した。

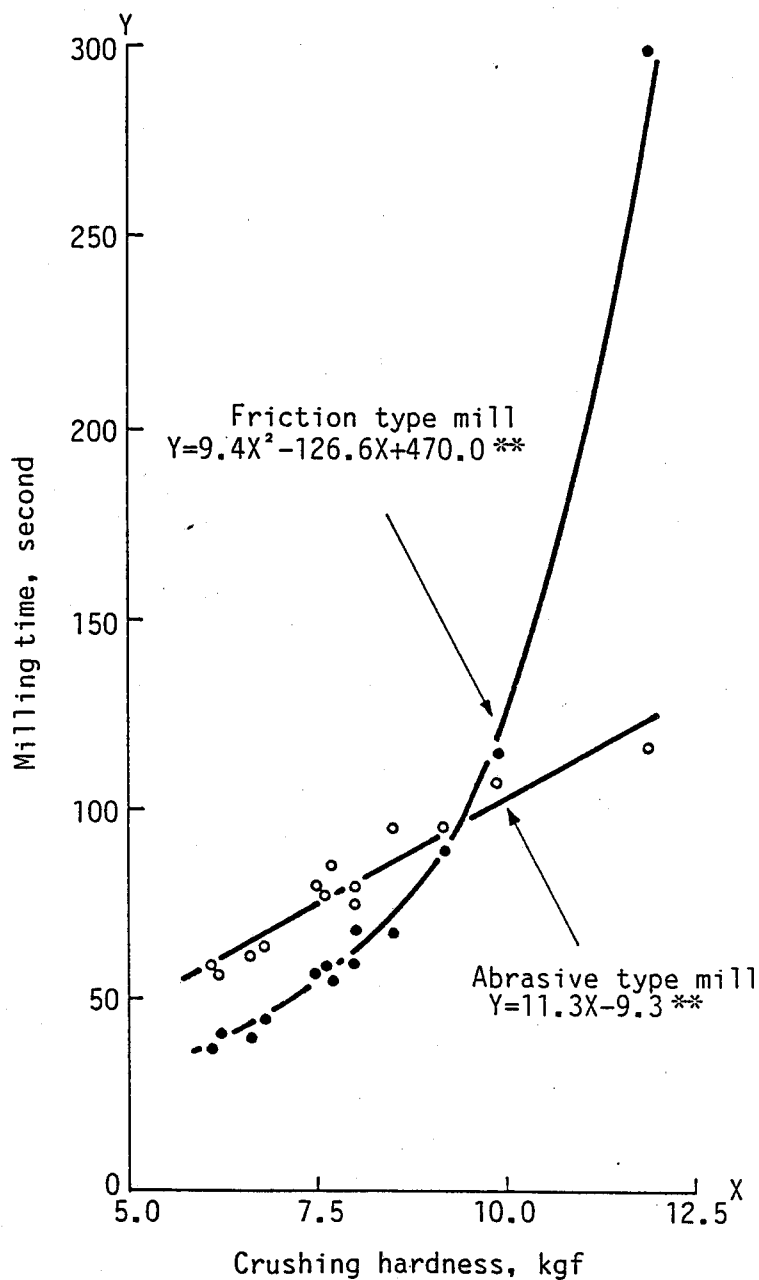


Fig. 99. Relation between crushing hardness of brown rice and milling time of the two type rice mills.

** indicates the significance at the 1% level.

Fig. 9 9 によれば、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、研削式精米機では、

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

であり、摩擦式精米機では、

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

ここに Y は搗精時間 (Second), X は玄米圧砕剛度である。

であることを知った。

圧砕剛度と消費電力量ならびに搗精時間との関係が、研削式精米機では 1 次式に、摩擦式精米機では 2 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と考えられる。

第 3 章第 1 節において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ることが認められた。従って、実用精米機においても、剛度が低い玄米を搗精すると消費電力量が少なく搗精時間が短く、剛度が上昇するにともない消費電力量及び搗精時間が剛度の二乗に比例して増加し、搗精効率及び搗精能率が大きく低下すると考えられる。

Fig. 9 8 及び Fig. 9 9 によれば、圧砕剛度がおよそ 8kgf 以上で摩擦式精米機の消費電力量及び搗精時間が急増することから、搗精に適する玄米圧砕剛度は 8kgf 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、搗精効率及び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. 1 0 0 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の砕粒割合とについて示した。

Fig. 1 0 0 によれば、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動が小さいため、有意な回帰性は認められなかったが、摩擦式精米機では、

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

ここに Y は砕粒割合 (%), X は玄米圧砕剛度である。

という非常に有意な 2 次回帰式が求められた。

式(8)から、玄米剛度の低下にともない、搗精による砕粒発生は剛度の二乗に逆比例して増加することを知った。

農産物規格規程によれば、市販精米の一等標準品の砕粒割合最高限度は5%とされている。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.100によれば、圧砕剛度が7~7.5kgfである。さらに、圧砕剛度が7kgf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7kgfが最低限界であると判断された。

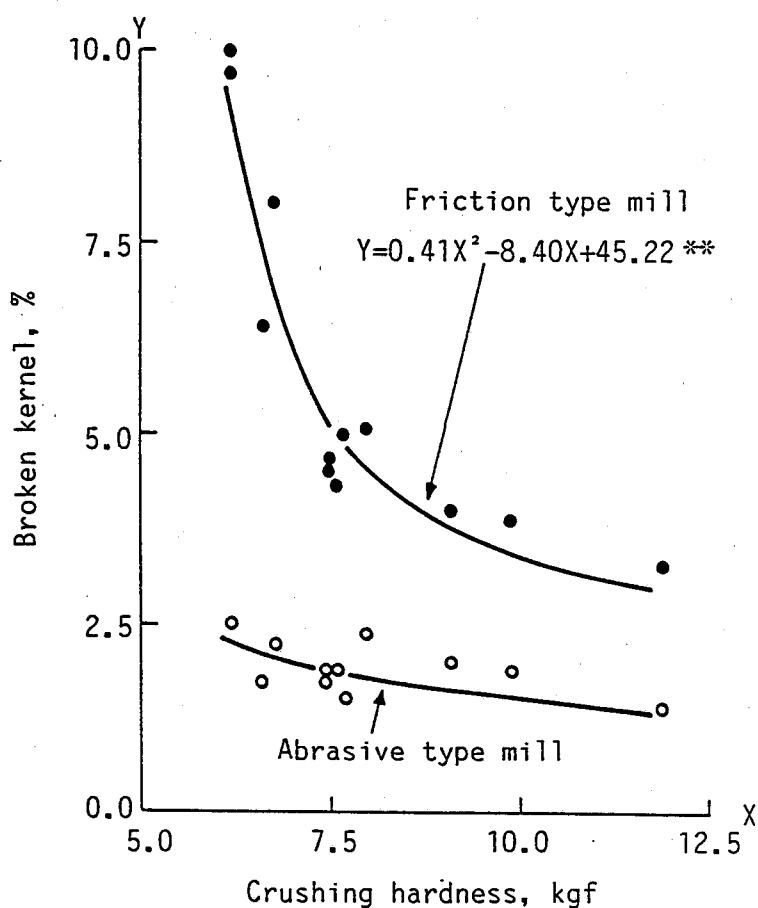


Fig. 100. Relation between crushing hardness of brown rice and broken kernel in milled rice by the two type rice mills.

** indicates the significance at the 1% level.

(3) 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、搗精効率及び搗精能率が低下する。一方、剛度が低すぎる場合には、砕粒発生が増加し、搗精による損失が増大する。

本研究の結果によれば、消費電力量、搗精時間及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。

5-1-3. 要約

搗精前の玄米条件すなわち、古米化の程度、玄米温度及び玄米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範囲を求めた。その結果、以下のことを知った。

- (1) 玄米貯蔵による古米化は搗精特性に影響を与えず、玄米温度及び玄米水分が搗精特性に大きな影響を与えた。
- (2) 玄米の温度と水分と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。搗精特性のみに関して言えば、玄米温度及び玄米水分は同質のものと見なして玄米剛度に置換できる。
- (3) 玄米温度及び玄米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の変化がそれぞれ生じた。
- (4) 研削式精米機の消費電力量及び搗精時間は、圧砕剛度の増加とともに直線的に増加した。一方、摩擦式精米機の消費電力量及び搗精時間は、圧砕剛度の二乗に比例して増加した。
- (5) 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。
- (6) 精米機の消費電力量、搗精時間及び搗精による砕粒発生を考慮した最適玄米剛度は7～8 kgfの範囲であると考えられた。

第5章 第2節

精白米の物理化学特性と食味との関係

5-2-1. 目的

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。しかしながら、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^{8, 16, 23, 61, 62, 63, 82, 141}。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^{16, 23, 141}のが現状である。

そこで本節では、本研究で測定した精白米の物理化学特性ならびに食味評価を解析検討し、これによって食味をさらに的確に推定しようとした。

5-2-2. 結果及び考察

(1) 精白米の物理化学特性と食味との単純相関分析

Table 17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、相関係数とその右肩に記号*, **, 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 17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のみを取り上げて、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

透光度は肉眼で米を観察した際の透明感、滑らかさと一致しており、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、そのため炊飯米の糠臭が少ないことから、香りが良い。従って、透光度の高い精白米は総合評価が高い。

Table 17. Simple correlation coefficient between taste evaluations and physicochemical properties of milled rice.

	Appearance			Hard- ness	Cohesive- ness	Overall flavor
	Milled rice	Cooked rice	Aroma			
Moisture content	x	x	x	-0.54*	x	x
Translucency	0.77***	0.75***	0.75***	x	0.70***	0.80***
Whiteness	x	x	x	x	x	x
Lightness	x	x	x	x	x	x
Hunter whiteness	x	x	x	x	x	x
[a] value	-0.64**	-0.64**	-0.53*	x	-0.58*	-0.61**
[b] value	-0.65**	-0.64**	-0.57**	x	-0.60*	-0.65**
Unstripped embryo rate	-0.88***	-0.90***	-0.84**	-0.47*	-0.74***	-0.87***
Fluidity	x	x	x	x	x	x
Bulk weight	0.80***	0.71***	0.75***	0.53*	0.67***	0.76***
Free fat acidity	-0.87***	-0.82***	-0.81***	x	-0.69***	-0.84***
Water absorption ratio	x	x	x	x	x	x
Water uptake ratio	x	x	x	x	x	x
Volume expansion ratio	0.51*	0.51*	0.42	x	x	0.49*
Starch-iodine blue value	0.77***	0.68***	0.76***	x	0.58**	0.72***
Extracted solids	-0.80***	-0.86***	-0.77***	x	-0.72***	-0.79***
PH	x	x	x	x	x	x
Appearance of milled rice		0.95***	0.97***	x	0.88***	0.98***
Appearance of cooked rice			0.93***	0.48*	0.88***	0.96***
Aroma				x	0.85***	0.95***
Hardness					x	x
Cohesiveness						0.94***

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

*, ** and *** indicate the significance at the 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

x indicates the nonsignificant correlation.

③ 白度，明るさ及びハンター白度

白度，明るさ及びハンター白度は、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及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 値及び b 値

色立体における a 値，b 値は、精白米及び炊飯米の外観と負の相関関係にあった。a，b が高いことは赤及び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，b が高い精白米は糠の除去が充分ではなく、そのため精白米及び炊飯米の外観と香りが劣り、従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。

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因果関係を持つかは明らかにできないが、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、注目に値すると考えられる。

⑧ 脂肪酸度

脂肪酸度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ことから、精白米及び炊飯米の外観，香りと負の相関関係を持つ。また脂肪酸度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¹⁸⁾、米飯の粘りを減少させる。

従って、脂肪酸度は総合評価と負の相関関係となる。

⑨ 浸漬吸水率、加熱吸水率及びPH

炊飯特性における浸漬吸水率、加熱吸水率ならびに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・でんぷん反応による吸光度の高い精白米は、炊飯液へのでんぷ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

溶出固形物は主として炊飯液中の遊離糖の量を表していることから、溶出固形物の多い場合には精白米及び炊飯米の外観と香りが劣り、従って総合評価が低い。

各食味評価項目は、硬さを除いて互いに非常に強い正の相関関係にある。

すなわち、精白米外観の良い米は炊飯米外観が良く、さらに、香りが良く粘りがある米飯は総合評価が高い。これらの食味評価と精白米の物理化学特性との関係は、次のように考察される。

⑬ 精白米外観及び炊飯米外観

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。その上、外観の良い米の総合評価が高いことは、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ものと思われる。従って、米の食味に関しても、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²⁵⁾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り、白度、明るさ及び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強く悪影響を与えた。

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能率的に測定をできることから、精白米外観の判定さらには食味評価の判定に有効な測定法となり得ると考えられる。

⑭ 香り

炊飯米の香りは、硫化水素、アンモニア及びカルボニル化合物が必須成分とみなされ¹³²⁾、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、ヘキサナールが古米臭の主原因である¹⁷¹⁾。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。

そこで、本研究で実施した物理化学特性測定の中では、脂肪酸度と溶出固形物とが米飯の香りに直接影響のある測定項目であると考えられる。

⑮ 硬さ

炊飯米の硬さは、他の食味評価項目ならびに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、米飯の硬さは他の外観、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と思われる。

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^{21, 60, 61, 107, 145)}が指摘している。

本研究で取り上げ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。

(2) 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、食味に強い影響を与えるのは透光度、胚芽残存率、脂肪酸度、吸光度及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はないが、容積重が食味と強い相関関係を持つことを知った。

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 18に、食味評価に強い影響を与える6項目と各食味評価との単純相関係数をかけ、さらに、それぞれの重相関係数ならびに寄与率とを示した。

Table 18によれば、精白米外観ならびに炊飯米外観の透光度、胚芽残存率との重相関係数はほぼ等しく、それぞれ0.88, 0.90となり、寄与率は78%, 81%となった。

香りと脂肪酸度、溶出固形物との重相関係数ならびに寄与率は0.87, 76%であり、同様に粘りと脂肪酸度、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、吸光度及び溶出固形物の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¹⁴⁾, 遠藤ら²⁶⁾, 竹生ら¹⁶⁾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は、主として米飯の粘りや硬さにかかわる項目のみに着目している点にあると考えられる。

Table 18. Simple correlation coefficient, multiple correlation coefficient and contributory rate between taste evaluations and meaningfully correlative physicochemical properties of milled rice.

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

$r(19,1\%)=0.55^{**}$, $r(19,0.1\%)=0.67^{***}$, $R(18,0.1\%)=0.66^{***}$, $R(14,0.1\%)=0.74^{***}$
 ** and *** indicate the significance at the 1% and 0.1% level, respectively.
 x indicates the nonsignificant correlation or nonmeaningfully significant correlation.

これらの研究に対して、本研究では米飯の外観、香りおよび粘りにかか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ことから、94%という高い寄与率が得られたものと考えられる。このことは、谷、竹生ら¹⁴¹⁾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と思われる。

米の食味を左右する要因は数多くあるが¹⁰⁴⁾、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ものの、ほとんどが北海道産の「イシカリ」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。

従って、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の搗精条件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特に有効であると考えられる。

5-2-3. 要約

本研究で測定した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。その結果、以下のことを明らかにした。

- (1) 単純相関分析の結果、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、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及び溶出固形物であった。
- (2) 食味評価の精白米外観及び炊飯米外観と関連の強い物理化学特性は、透光度と胚芽残存率とであり、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とであることを知った。また、各食味評価項目と容積重の相関が高いことが明らかとなった。これら6特性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) 従来からの米の物理化学特性による総合評価推定の寄与率は、70～80%である。
- 寄与率が本研究の場合より低いのは、推定に用いた物理化学特性が、米の粘りと硬さとに関する項目のみであったことに起因していると思われた。これらに対して、本研究で取り上げたような、外観，香りに関する測定項目をさらに追加することにより、従来からの食味評価推定の精度をより高くすることができると考えられる。

第5章 第3節 合理的搗精法

5-3-1. 合理的な搗精方法

Table 19に、研削式精米機と摩擦式精米機とを組み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及び食味とに与える影響について示した。

Table 19に示したように、コンパス式精米方式により玄米を同一搗精度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及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、次のごとくにまとめた。

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。

- ① 搗精能率，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，水分など搗精前の玄米条件の変化の影響が小さい。
- ④ 搗精による碎粒発生が少なく、水分減少量が小さい。
- 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，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 食味において、精白米外觀，炊飯米外觀が良く、香りが良く、粘りがあり、従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及び食味が向上する。

Table 19. Effect of milling rate by abrasive type mill or friction type mill on milling characteristics and quality and taste of milled rice.

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

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、食味向上のために搗精度を低下させる、いわゆる搗き込みが効果的であるが、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、精白米の品質及び食味が低下する。そこで、これを防止するためには、第4章第2節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及び品種などに応じて、また搗精特性を重視するか、精白米の品質及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%の範囲内で調整をし、搗精を行うことが合理的である。

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%以内で目的の搗精度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及び食味をより一層向上させたいなど、これらの場合には、搗精前に玄米の温度と水分とを調整する玄米調質操作が必要不可欠となる。

5-3-2. 搗精前の最適玄米温度と玄米水分

第5章第1節に示した式(3)は次のように簡略化できる。

$$Z = -0.1X - Y + 25 \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここにZは玄米圧砕剛度(kgf), Xは玄米温度(℃),

Yは玄米水分(% w.b. 10g,粒,135℃,24時間)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7~8kgfの範囲であり、これは次式で表される。

$$7 \leq Z \leq 8 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式(9)を式(10)に代入すると次式となる。

$$7 \leq -0.1X - Y + 25 \leq 8 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式(11)から次式が求められる。

$$17 \leq 0.1X + Y \leq 18 \quad \dots\dots\dots (12)$$

精白米の品質及び食味から明らかにした、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℃, 15.5~16.5%の範囲であり、これらは次式で表される。

$$15 \leq X \leq 25 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$15.5 \leq Y \leq 16.5 \quad \dots\dots\dots (14)$$

ゆえに、式(12), (13)及び(14)で示された範囲が、搗精特性と精白米の品質及び食味から判定した、搗精前の最適玄米温度及び玄米水分条件となる。

Fig.101に、これらの最適玄米温度及び玄米水分の範囲を図示した。

Fig.101に示したように、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った場合には、ほぼ均一な搗精特性ならびに精白米の品質及び食味が実現できるが、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、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搗精度を低下させることが困難となり、食味が低下する。
- ③ 矢印「F」(玄米温度と玄米水分とを増加させる)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、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搗精度を低下させることが困難となり、食味が低下する。

玄米調質を行う際には、 ΔABC の範囲内に玄米温度及び玄米水分を調整することにより、季節による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、 ΔABC 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、精白米の品質及び食味を重視するか、また搗精度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%の範囲内で調整をし、搗精を行うことが合理的である。

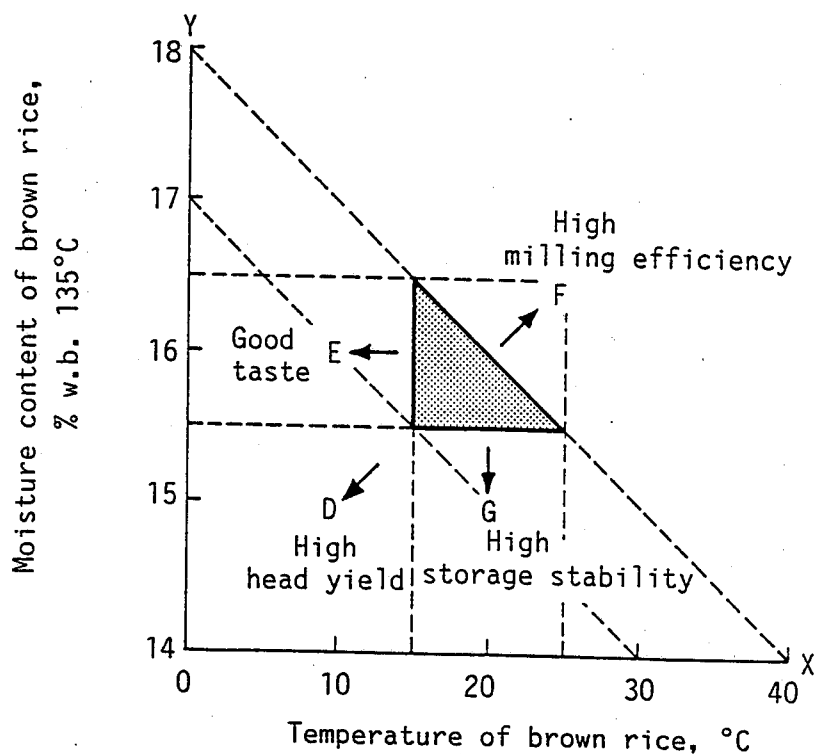


Fig. 101. The optimum temperature and moisture content of brown rice before milling.

本研究の目的としてかかげた米の搗精の合理化のためには、搗精特性の向上と精白米の品質及び食味の向上との二点が重要である。

搗精特性の向上のために、研削式精米機及び摩擦式精米機との組み合わせ搗精方式すなわち、コンパス式精米装置が開発された。また、精白米の品質及び食味の向上のために、玄米調質技術が開発された。

しかしながら、搗精特性と精白米の品質及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及び玄米温度と玄米水分との調整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温度及び玄米水分により、なお一層の合理的な搗精技術が進むことを期待するものである。

第6章 総括

従来からの我が国の精米施設は、その多くが米穀配給業務の付属部門として店頭精米の形態をとり、動力が10馬力未満の精米機を持つ小規模な施設が大部分であった。そこで食糧庁は、昭和38～39年及び昭和42～46年にわたり、大型精米工場の設置に対して助成措置を実施した。

その結果、精米機所要動力が50馬力以上の大型精米工場は、昭和59年現在で全国に624工場となった。さらに、精米施設の大型化とともに、搗精の前処理として玄米の温度および水分を調整する玄米調質操作が実用化されており、昭和59年現在で160の大型精米工場で玄米調質装置が稼働している。

これらの大型精米工場の大部分では、研削式精米機1台と摩擦式精米機3台とを組み合わせた、いわゆるコンパス式精米装置を用いて搗精を行っている。

このように、精米工場は大型化、近代化されつつあるものの、精米機の最適搗精方法や搗精のための最適玄米温度、玄米水分条件等に関する技術については、いまだに明確にされていない。

このような現況を背景に、筆者は、搗精特性と精白米の品質及び食味から総合的に考察し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温度及び玄米水分とを究明することを目的に研究を実施し、合理的に搗精を行うための基礎資料を提示した。

6-1. 精米工場における基礎調査

大型精米工場における原料玄米の温度、水分ならびに搗精時の温度、水分などについての状況を知る目的で、これらに関する基礎調査を4年間にわたり継続して行った。以下にその結果を示す。

(1) 搗精前の玄米温度は冬期間には氷点下、夏期間には30℃近くとなった。原料玄米の水分は、調査した範囲内では最低水分が14.7%、最高水分が16.8%であった。

(2) 無調質玄米を搗精すると、玄米から精白米への穀温上昇は季節によって大きく異

なり、調査した例では、冬期間には穀温が0℃から30℃へと上昇し、夏期間には30℃から50℃へと上昇した。しかし、調質玄米の搗精による穀温上昇は季節による変動はなく、穀温はおよそ22℃から38℃へと上昇した。

(3) 搗精による水分減少量は調質玄米で約0.3%、無調質玄米で約0.1%であった。

6-2. 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二機種の実験用の研削式精米機及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（コンパス式精米装置）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) 研削式精米機では搗精度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搗精度より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、研削式精米機では搗精度がほぼ直線的に低下し、摩擦式精米機では搗精初期に搗精度が急速に低下するが、搗精が進むにつれて搗精度の低下がゆるやかとなった。

(3) 精白米中の異物・碎粒割合は、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、かつ同一搗精度で比較すると、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及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及び擦離作用により米粒表面の糠層を剥離させるという、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。

6-3. 玄米貯蔵条件・貯蔵期間による玄米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、玄米貯蔵倉庫（玄米温度変

化は0～24℃), 室温付近の恒温室(19～21℃), 冷蔵庫(2～4℃)の三種類の条件下で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0.5kgf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異は生じなかった。

6-4. 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促えることを目的に、温度を10℃, 20℃及び30℃に調節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、糠層及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、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低減し、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、碎粒発生が低減し、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。

6-5. 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%及び16.8% (10g, 粒, 135℃, 24時間法) に調整した玄米を用い実験を行った。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、米粒の糠層及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、碎粒発生が低減し、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。

6-6. 実験用精米機ならびに実用精米機による精白米の品質及び食味

実験に用いた研削式精米機または摩擦式精米機により、それぞれ搗精された精白米の品質及び食味について明らかにし、さらに、これと実用精米機（コンパス式精米装置）により搗精された精白米とについて比較検討した。同時に、搗精度が精白米の品質及び食味に与える影響について明らかにした。以下にその結果を示す。

(1) 同一搗精度で比較して、摩擦式精米機による精白米は研削式精米機による精白米より白度が低く、透光度が高く、胚芽残存率が低い。搗精度の低下にともない、いずれの精白米も白度、透光度は上昇し、胚芽残存率は低減した。

(2) 摩擦式精米機による精白米は容積重が大きい。しかし、流動性は両精米機の差異が認められなかった。搗精度の低下とともに精白米の容積重は増加し、流動性は良くなった。

(3) 脂肪酸度は研削式精米機による精白米が高く、また搗精度の高い精白米が高く、これらの精白米の貯蔵性が劣ることが認められた。

(4) 浸漬吸水率は研削式精米機による精白米が高いが、加熱吸水率では精米機による差が認められなかった。体積膨張率と吸光度は摩擦式精米機による精白米が大きく、溶出固形物は研削式精米機による精白米が多かった。

(5) 研削式精米機による精白米は米粒表面に研削ロールによる細かな傷が多く、付着

糠があり白くぼやけたすりガラス状であった。一方、摩擦式精米機による精白米は米粒表面が滑らかで、光沢と透明感があった。

(6) 食味試験の結果、摩擦式精米機により搗精された搗精度の低い精白米は、外観が良く、香りが良く、粘りがあり、高い総合評価を得た。これらの評価項目のうち、外観の評価において二機種 of 供試精米機の差異が最も顕著に現れた。

(7) 搗精度の低下にともない食味評価はより高い評価を受けた。従って、古米、品質の劣る玄米、食味評価の低い品種の玄米などの搗精に際して、搗精度を低下させることが食味向上につながると考えられた。

(8) 精白米の品質及び食味について総合すると、摩擦式精米機が研削式精米機より優れていた。

(9) 実用精米機による精白米の品質及び食味は、実験に用いた摩擦式精米機による精白米のそれと類似していた。

6-7. 搗精方法が精白米の品質及び食味に与える影響

研削式精米機及び摩擦式精米機とを組み合わせる搗精を行うコンパス式精米方式の搗精方法として、研削式精米機の搗精作用割合に着目し、これが精白米の品質及び食味に与える影響について調査した。以下にその結果を示す。

(1) 研削式精米機の搗精作用割合が増加するとともに、透光度、白度、明るさ及びハンター白度が低下し、付着糠の増加により赤味と黄味が増加し、胚芽残存率が増加した。これらはすべて精白米の外観が劣化することを示しており、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上で、その差を認知し得る色差を越えた。

(2) 精白米の貯蔵性は、研削式精米機の搗精作用割合の増加にともない低下した。

(3) 搗精による損失すなわち、水分減少と碎粒発生は、研削式精米機の搗精作用割合の増加とともに低減した。

(4) 研削式精米機の搗精作用割合の増加にともない、浸漬吸水率及び溶出固形物が増加し、体積膨張率及び吸光度が減少した。

(5) 研削式精米機の搗精作用割合の大きい精白米は外観が劣り、炊飯米外観も同様に

劣り、香りが劣り、粘りが少なく、総合評価が低かった。これらの食味評価項目において、研削式精米機の搗精作用割合が40%以上の試料は0%の試料に対し有意差が生じた。従って、近年の消費者の米の品質及び食味に対する高い関心を考慮するならば、研削式精米機の搗精作用割合は0~35%以内の範囲が適当であると考えられた。

6-8. 搗精前の玄米温度が精白米の品質及び食味に与える影響

温度を10℃, 20℃及び30℃にそれぞれ調整した玄米を用いて搗精を行い、搗精前の玄米温度が精白米の品質及び食味に与える影響を調査し、最適玄米温度の範囲について検討した。以下にその結果を示す。

- (1) 搗精前の玄米温度が高い場合、温度の低い玄米と比較して、精白米の白度及び透光度が低く外観が劣り、また脂肪酸度が高く貯蔵性が劣った。同じく玄米温度が高い場合、浸漬吸水率、加熱吸水率、体積膨張率及び吸光度が小さく、溶出固形物が多かった。
- (2) 温度の低い玄米を搗精すると、食味は外観と香りが良く、やわらかく、粘りがあり、総合評価が高いという傾向があった。
- (3) 30℃の玄米を搗精すると、精白米外観や貯蔵性の劣化及び食味の低下が生じる。一方、10℃の玄米を搗精すると、搗精効率及び搗精能率の低下が生じ、そのため搗精度を低下させることが困難となる。従って、搗精前の最適玄米温度は15~25℃の範囲であると考えられた。

6-9. 精白米水分が精白米の品質及び食味に及ぼす影響

水分を14.0%, 15.5%, 16.7%及び18.0%に調整した精白米を用い、精白米の品質及び食味を調査し、最適精白米水分を明らかにした。その上で、搗精前の最適玄米水分を求めた。以下にその結果を示す。

- (1) 精白米水分の低下にともない、精白米の透光度が低下し、容積重が増加し、流動性が良くなった。
- (2) 精白米水分が18.0%の試料は、貯蔵1カ月後にカビが発生し、同じく16.7%の試

料は、3.5ヵ月後にカビが発生した。同時に、高水分の試料は、貯蔵による脂肪酸度の増加が大きかった。精白米の許容最高水分は、貯蔵性を考慮すると、16.3%程度であると考えられた。

(3) 浸漬吸水率及び加熱吸水率は、精白米水分の低下とともに増加した。とくに、低水分の精白米の浸漬に際して、米粒に亀裂が生じることが観察された。この亀裂発生のため、炊飯液へのでんぷんの溶出が増加し、吸光度及び溶出固形物が増加した。

(4) 水分が低い試料は精白米外観と炊飯米外観が劣り、米飯が硬く、香りが劣った。粘りは、低水分及び高水分の試料がそれぞれ弱かった。総合評価は、水分が15.5%から16.7%までの精白米が、14.0%及び18.0%の水分の精白米より高く評価された。

(5) 高水分の精白米は低水分の精白米に比較して、貯蔵による食味低下が相対的に大きく、3ヵ月間貯蔵後の食味評価が逆転し、水分14.0%の試料が他の試料に対して高く評価された。

(6) 精白米の品質及び食味を考慮した最適精白米水分は、15.3~16.3%の範囲である。さらに、搗精による水分減少量が平均 0.2%程度であることから、搗精前の最適玄米水分は15.5~16.5%の範囲であると考えられた。

6-10. 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、玄米温度及び玄米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、玄米温度及び玄米水分が搗精特性に大きな影響を与えた。玄米温度と玄米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。搗精特性のみに関して言えば、玄米温度及び玄米水分は同質のものと見なして玄米剛度に置換できると考えられた。

(2) 玄米温度及び玄米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の変化がそれぞれ生じた。

(3) 研削式精米機の消費電力量及び搗精時間は、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及び搗精時間は、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、搗精時間及び搗精による砕粒発生を考慮した最適玄米剛度は7～8 kgfの範囲であると考えられた。

6-11. 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、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及び溶出固形物であった。

(2) 食味評価の精白米外観及び炊飯米外観に関連の強い物理化学特性は、透光度と胚芽残存率であり、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特性と食味評価との重相関係数は0.97であり、寄与率は94%であった。

6-12. 米の搗精の合理化に関する考察

コンパス式精米方式の搗精方法が搗精特性と精白米の品質及び食味とに与える影響をまとめ、さらに、搗精特性と精白米の品質及び食味とから判定した、搗精前の最適な玄米温度と玄米水分の条件を明らかにし、合理的な搗精を行うための考察を行った。以下にその内容を示す。

(1) コンパス式精米方式において、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及び食味が向上する。

(2) コンパス式精米装置で搗精を行う際には、搗精前の玄米条件や玄米の品質及び品

種などに応じて、また、搗精特性を重視するか、精白米の品質及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、搗精を行うことが合理的である。

(3) 玄米調質を行う場合、玄米の温度及び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(℃) ,

Yは玄米水分(% w.b.10g,粒,135℃,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、季節による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、均質で高品質の精白米を年間を通じて生産することが可能となる。

(4) 本研究の目的としてかかげた米の合理的搗精のためには、搗精特性の向上と精白米の品質及び食味の向上と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及び摩擦式精米機との組み合わせ搗精方式すなわち、コンパス式精米装置が開発された。また、精白米の品質及び食味の向上のために、玄米調質技術が開発された。

しかしながら、搗精特性と精白米の品質及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及び玄米温度と玄米水分の調整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温度及び玄米水分により、なお一層の合理的な搗精が可能となると確信される。

引用文献

1. 相坂浩子：米飯の香気。栄養と食糧；30,6 421-424 (1977) 整理No.92
2. 安藤孝雄，市川邦介：酒造米の特性に関する研究 第3報 テクスチュロメーターによる酒造米物性の検討。醗酵工学会誌；51,9 683-691 (1973) 整理No.237
3. AUTREY H.S. et al.: Effects of Milling Conditions on Breakage of Rice Grains. J. Agric. Food Chem.; 3,7 593-599 (1955) 整理No.403
4. 伴 敏三，諏沢健三 等：穀物に関する測定法—炊飯特性，米飯の粘弾性，精米粉のアミログラム，米の食味試験，理化学的測定値による食味の格付基準—。農機試験測定法テキスト；,6 66-90 (1970) 整理No.-51
5. BATCHER O., DEARY et al.: Cooking Quality of 26 Varieties of Milled White Rice. Cereal Chemistry; 34,4 277-285 (1957) 整理No.506
6. BATCHER O., LITTLE et al.: Cooking Quality of White Rice Milled from Rough Rice Dried at Different Temperatures. Cereal Chemistry; 35,6 428-434 (1958) 整理No.507
7. BEKKI E.: Accuracy of Moisture Content Measured Automatically by Dielectric Moisture Meter. Bull.Fac.Agric. Hirosaki Univ.; ,37 40-58 (1982) 整理No.471
8. 茶村修吾，本田康邦 等：米の食味と土壌型との関係 第2報 米粒の物理化学的性質と食味との関係。日本作物学会紀事；41, 244-249 (1972) 整理No.97
9. CHEN Y.L., KUNZE O.R.: Effect of Environmental Changes on Rice Yield and Particle Size of Broken Kernels. Cereal Chemistry; 60,3 238-241 (1983) 整理No.373
10. 竹生新治郎，岩崎哲也 等：米の炊飯嗜好特性に関する研究 第1報 日本米と輸入米との比較。栄養と食糧；13,3 137-140 (1960) 整理No.298
11. 竹生新治郎，岩崎哲也 等：低温貯蔵法における米の化学的品質の変化 (その2)。栄養と食糧；18,3 204-209 (1965) 整理No.73
12. 竹生新治郎，柳瀬 肇 等：一時貯留における生モミの乾燥程度と貯蔵性。日本作物学会紀事；34, 472-477 (1965) 整理No.263
13. 竹生新治郎：特別企画「コメ」コメの味。食の科学；,1 79-86 (1971) 整理No.-10
14. 竹生新治郎，鶴田 理：米の食味改善に関する研究 第2編 第5章 低温利用による食味保持効果。農林水産技術会議研究成果；,77 77-90 (1974) 整理No.-102
15. 竹生新治郎：米の食味改善に関する研究 第2編 第6章 食味評価法に関する研究。農林水産技術会議研究成果；,77 91-103 (1974) 整理No.-103
16. 竹生新治郎，渡辺正造 等：米の食味と理化学的性質の関連。澱粉科学；30,4 333-341 (1983) 整理No.425
17. DESIKACHAR H.R.S. et al.: The Formation of Cracks in Rice During Wetting and Its Effect on the Cooking Characteristics of the Cereal. Cereal Chemistry; 38, 356-364 (1961) 整理No.337
18. 江幡守衛：測光法による米の粒質診断に関する研究 第1報 粒質とその光線透過性および反射性ならびに米質検定器について。日本作物学会紀事；41, 348-352 (1972) 整理No.104

19. 江幡守衛：測光法による米の粒質診断に関する研究 第2報 うるち玄米の検定とくに米穀検査標準品について。日本作物学会紀事；41, 353-358 (1972) 整理No.105
20. 江幡守衛：測光法による米の粒質診断に関する研究 第4報 とう精度ならびに白米粒質の検定。日本作物学会紀事；47,3 400-407 (1978) 整理No.106
21. 江幡守衛, 平沢恵子：米飯のテクスチャーに関する研究 第1報 テクスチャーと食味との関係について。日本作物学会紀事；51,2 235-241 (1982) 整理No.437
22. 江幡守衛, 平沢恵子 等：米飯のテクスチャーに関する研究 第2報 粒形, 成熟度, 粒質の影響。日本作物学会紀事；51,2 242-247 (1982) 整理No.426
23. 遠藤 勲, 竹生新治郎 等：理化学的測定による米の食味評価。食品総合研究所報告；,31 1-11 (1976) 整理No.25
24. 遠藤 勲, 竹生新治郎 等：米飯の揮発性カルボニル化合物の測定。日本食品工業学会誌；24,3 142-144 (1977) 整理No.75
25. 藤巻 宏, 榑淵欽也：炊飯米の光沢による食味選抜の可能性。農業および園芸；50,2 253-257 (1975) 整理No.127
26. HALICK J.V., KELLY V.J.: Gelatinization and Pasting Characteristics of Rice Varieties as Related to Cooking Behavior. Cereal Chemistry; 36, 91-98 (1959) 整理No.335
27. 平山 修, 松田英幸：米の脂質成分と組織内分布。日本農芸化学会誌；47,6 371-377 (1973) 整理No.240
28. 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) 整理No.334
29. 堀内久弥：米デンプンと米質。食糧—その科学と技術—；,12 1-19 (1969) 整理No.-45
30. 細川 明, 松久次雄：透過光と画像情報処理システムによるうるち玄米の品質判定法。農業機械学会誌；40,2 217-224 (1978) 整理No.321
31. 石橋貞人, 田中俊一郎：米の品質と乾燥および貯蔵の原理：解説。農業機械学会誌；33,3 312-322 (1971) 整理No.308
32. 伊藤和彦, 川村周三 等：玄米および精米の白度と色あいについて。農業機械学会北海道支部会報；,20 103-109 (1979) 整理No.0.02
33. 伊藤和彦：無洗米の諸特性。農業機械学会北海道支部会報；,21 67-72 (1980) 整理No.493
34. 伊藤和彦, 川村周三 等：玄米調質に関する研究 第1報 薄い層の調質実験。農業機械学会誌；47,2 169-175 (1985) 整理No.0.09
35. 城島 昇, 吉富 進 等：水稻の品質改善に関する研究 貯蔵による品質食味の変化について。佐賀県農業試験場研究報告；,19 67-77 (1979) 整理No.247
36. JULIANO B.O. et al.: Relation of Starch Composition, Protein content and Gelatinization Temperature to Cooking and Eating Qualities of Milled Rice. Journal of Food Technology; 1,6 1006-1011 (1965) 整理No.286
37. JULIANO B.O.: 米の理化学的性質についての総括的研究。食糧—その科学と技術—；,14 108-125 (1971) 整理No.-48
38. 笠原正行, 猪原明成：米の過乾燥防止に関する研究 第1報 自動水分検知装置の精度。富山県農業試験場研究報告；,12 5-11 (1981) 整理No.430
39. 川村 登：搗精作用の研究。農業機械学会誌；12,3 43-51 (1951) 整理No.233

40. 川村 登, 堀尾尚志 等: 粳の脱粒性と米粒の引張・圧縮強さについて. 農業機械学会誌; 30,2 88-92 (1968) 整理No.306
41. 川村 登, 細川 明 等: 農産機械学. 文永堂; 17-26 (1980) 整理No.-129
42. 川村周三, 伊藤和彦 等: 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. 農業機械学会北海道支部会報; ,20 96-102 (1979) 整理No.0.01
43. 川村周三, 伊藤和彦 等: 研削式精米機および摩擦式精米機を組み合わせた際の搗精特性. 農業機械学会北海道支部会報; ,21 74-79 (1980) 整理No.0.03
44. 川村周三, 伊藤和彦 等: 搗精特性に与える玄米物性の影響. 北海道大学農学部邦文紀要; 13,4 467-476 (1983) 整理No.0.05
45. 木根淵長光, 谷喜久治 等: 米の食味改善に関する研究 第1編 第1章 乾燥方法と食味に関する研究結果. 農林水産技術会議研究成果; ,77 5-7 (1974) 整理No.-95
46. 小林 一, 三輪精博 等: 粳乾燥中における玄米の乾燥歪と胴割に関する研究 第1報 特に米粒の断面積の求め方と圧縮試験. 農業機械学会誌; 37,4 551-556 (1976) 整理No.317
47. 小峰卓一: 特集: 米の調製加工 最近における精米機. 農業機械学会誌; 40,4 589-591 (1978) 整理No.439
48. 小山八十八, 渡辺公吉 等: 北海道産米に対する米質検定方法の適用について 1.米質の形態的検定 2.米質の物理化学的検定 3.食味官能試験. 北農; 38,5 10-41 (1971) 整理No.-54
49. 熊谷知栄子, 黒柳嘉弘 等: 清酒原料白米の吸水に関する研究 第2報 恒湿条件下での白米水分と吸水率の変化. 日本醸造協会雑誌; 71,10 788-791 (1976) 整理No.196
50. 熊谷知栄子, 黒柳嘉弘 等: 酒造場の白米の水分と吸水率についての調査. 日本醸造協会雑誌; 72,1 82-83 (1977) 整理No.204
51. 熊谷知栄子, 坂野大義 等: 水分含量の異なる玄米の精米試験. 日本醸造協会雑誌; 73,10 808-810 (1978) 整理No.226
52. 熊谷知栄子, 大谷正人 等: 水分含量を異にした白米とその浸漬米および蒸米の形状. 日本醸造協会雑誌; 74,12 859-860 (1979) 整理No.221
53. 熊谷知栄子, 萩原康成 等: 酒造原料米の吸水に関する研究 第4報 吸水率と産地および品種の関係. 日本醸造協会雑誌; 75,1 55-60 (1980) 整理No.198
54. KUNZE O.R., HALL C.W.: Moisture Adsorption Characteristics of Brown Rice. Transactions of the ASAE; 10, 448-450 (1967) 整理No.347
55. 倉沢文夫, 金井美代 等: 新潟産米の米質特に食味について 第1報. 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,11 159-164 (1959) 整理No.271
56. 倉沢文夫, 伊賀上郁夫 等: 水稻粳米の食味(特に粘り)に関する研究 第3, 4報 でんぷん-ようど呈色試験による粳米の粘り度の鑑識法. 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,14 93-100 (1962) 整理No.274
57. 倉沢文夫, 伊賀上郁夫 等: 新潟産水稻粳米の食味に関する研究 第5報 米飯の炊飯試験(その3). 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,15 91-100 (1963) 整理No.275
58. 倉沢文夫, 伊賀上郁夫 等: 新潟産水稻粳米の食味に関する研究 第6報 米飯の食味粘着度溶出固形物量ヨウ素呈色値及びアルカリテストとの間の相関分析. 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,15 101-109 (1963) 整理No.276

59. 倉沢文夫, 早川利郎 等: 新潟産水稻粳米の食味(特に粘り)に関する研究 第9報 米飯の炊飯特性と米デンプンのヨウ素呈色値. 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,19 149-156 (1967) 整理No.277
60. 倉沢文夫, 工藤昌利 等: 水稻粳米の食味(特に粘り)に関する研究 第10報 米飯の食味特性についての1,2の考察. 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,20 101-113 (1968) 整理No.278
61. 倉沢文夫, 田代芙美子 等: 新潟産水稻粳米の食味に関する研究 第11報 米飯の食味特性と精白米の理化学的性質. 新潟大学農学部学術報告農林研究; ,21 159-169 (1969)整理No.279
62. KURASAWA H. et al.: Some Physico-Chemical Properties of Non-Waxy Paddy Rice Starch in Niigata (1) Eating and Cooking Qualities of rice. Agr. Biol. Chem.; 33,6 798-806 (1969) 整理No.518
63. KURASAWA H. et al.: Some Physico-Chemical Properties of Non-Waxy Paddy Rice Starch in Niigata (2) Correlation of Eating Quality. Agr. Biol. Chem.; 36,10 1809-1813 (1972) 整理No.519
64. 榑淵欽也: 米穀透明度検定器(試作品)の開発. 農業および園芸; 48,10 1355-1356 (1973) 整理No.14
65. 榑淵欽也, 藤巻 宏: 玄米透明度と米質との関係玄米透明度検定器の有用性の検討. 農業技術; 30,7 304-306 (1975) 整理No.103
66. 榑淵欽也: 特別企画 「コメとめし」コメの味を規定するもの — 生産段階における要因. 食の科学; ,33 31-38 (1976) 整理No.-18
67. LARMOND E.: 食品の官能的評価法(1). 食品工業; 20,10 44-64 (1977) 整理No.-52
68. LARMOND E.: 食品の官能的評価法(2). 食品工業; 20,12 57-65 (1977) 整理No.-53
69. 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. 日本農芸化学会誌; 47,6 379-384 (1973) 整理No.245
70. 松田良一: 精米機の搗精性能に関する実験的研究. 岐阜大学農学部研究報告; ,17 65-159 (1963) 整理No.-105
71. 松久次雄, 細川 明: 画像処理によるうるち玄米の粒質ならびに胴割れの定量的測定法. 農業機械学会誌; 45,3 357-367 (1983) 整理No.444
72. 松元文子: 特別企画「コメ」ご飯の炊き方と保温. 食の科学; ,1 75-78 (1971) 整理No.-9
73. 松元文子, 鈴木やす子: 米の調理に関する研究 第2報 米の浸水の効果及び加熱時間の影響. 家政学雑誌; 22,1 29-34 (1971) 整理No.82
74. 松永暁子, 石田信昭 等: 炊飯過程における糊化度について. 日本食品工業学会誌; 32,11 797-803 (1985) 整理No.129
75. MATTHEWS J. et al.: Relation Between Head Rice Yields and Defective Kernels in Rough Rice. The Rice Journal; 73,10 6-12 (1970) 整理No.362
76. MILLER B.S.,LEE et al.: A Rapid, Objective Method to Measure the Degree of Milling of Rice.. Cereal Chemistry; 56,3 172-180 (1979) 整理No.325
77. 満田久輝, 河合文雄 等: 穀類の水中貯蔵に関する研究 第4報 貯蔵中の米の品質変化. 栄養と食糧; 24,4 216-226 (1971) 整理No.301

78. 森高真太郎, 沢田幸七 等: 穀類に関する研究 第6報 脱脂精白米の品質および貯蔵性について. 栄養と食糧; 24,8 457-460 (1971) 整理No.229
79. 森高真太郎, 沢田幸七 等: 穀類に関する研究 第7報 精白米の脂質含量と貯蔵性の関係. 栄養と食糧; 24,9 474-476 (1971) 整理No.230
80. 森高真太郎, 沢田幸七 等: 穀類に関する研究 第8報 脱脂精白米の貯蔵性について. 栄養と食糧; 25,1 16-20 (1972) 整理No.231
81. 森高真太郎, 山本憲子 等: 穀類に関する研究 第11報 精米温度と食味の関係. 武田研究所報; 32,3 400-403 (1973) 整理No.2
82. 森高真太郎, 山本憲子 等: 穀類に関する研究 第12報 物理化学特性と食味との相関. 武田研究所報; 32,3 404-409 (1973) 整理No.3
83. 森高真太郎: 精白米の貯蔵中の品質変化. 日本醸造協会雑誌; 73,9 690-696 (1978) 整理No.165
84. 永田興四郎, 大島雄 等: 酒造米の水分と酒造適性 第3報 白米の吸水性ならびに蒸米消化性に対する白米水分の影響と品種特性. 日本醸造協会雑誌; 74,3 179-182 (1979) 整理No.219
85. 長戸一雄: 米粒の硬度分布に関する研究. 日本作物学会紀事; 31, 102-107 (1962) 整理No.59
86. 長戸一雄, 河野恭広: 米の粒質に関する研究 第1報 米粒の硬度分布と二, 三の形質との関係. 日本作物学会紀事; 32, 181-189 (1963) 整理No.264
87. 長戸一雄, 岸 洋一: 米の粒質に関する研究 第2報 炊飯特性の品種間差異について. 日本作物学会紀事; 35, 245-256 (1966) 整理No.265
88. 長戸一雄: 米の検査等級と米質との関係. 日本作物学会紀事; 38, 31-37 (1969) 整理No.95
89. 長戸一雄: 貯蔵および乾燥方法が米の炊飯特性に及ぼす影響. 日本作物学会紀事; 40, 299-305 (1971) 整理No.270
90. 長戸一雄: 米の品質について: 総説. 日本作物学会紀事; 42,2 238-257 (1973) 整理No.130
91. 長戸一雄, 鈴木清太 等: 米の白度に関する研究. 日本作物学会紀事; 43,4 550-556 (1974) 整理No.98
92. 並河 清: 研削式精米機の研究. 農業機械学会誌; 21,2 65-69 (1959) 整理No.234
93. 二瓶貞一: 精米と精穀. 地球出版(株); 1-623 (1941) 整理No.-125
94. 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) 整理No.-123
95. 日本精米工業会: 大型精米技術の進歩(1). 1-233 (1975) 整理No.-27
96. 日本精米工業会: 大型精米技術の進歩(2). 1-219 (1980) 整理No.-84
97. 二国二郎: デンプンハンドブック. 朝倉書店; 1-741 (1961) 整理No.-126
98. 西川孝一: 国内産米穀の光線透過度について. 食糧管理月報; 26,11 35-43 (1974) 整理No.121
99. 野白喜久雄, 熊谷知栄子等: 酒造原料白米の規格設定に関する研究. 醸造試験場報告; 1-9 (1975) 整理No.119
100. 野白喜久雄: 精米. 日本醸造協会雑誌; 70,2 89-93 (1975) 整理No.157
101. 野白喜久雄: 白米水分と吸水率. 日本醸造協会雑誌; 71,10 744 749 (1976) 整理No.162
102. 農林省食糧研究所: 米の品質とその理化学的要素. 食糧—その科学と技術—; ,4 13-28 (1961) 整理No.-34
103. 農林省食糧研究所: 米の食味試験. 食糧—その科学と技術—; ,4 29-38 (1961) 整理No.-35

104. 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)整理No.-2
105. 岡田玲子：大量炊飯の調理学的研究 第1報 加水量の決定と温度管理について.
栄養と食糧; 23,5 330-335 (1970) 整理No.89
106. 岡崎絃一郎, 山下鏡一：米の食味改善に関する研究 第2編 第2章東北地域における米の
食味改善に関する研究結果. 農林水産技術会議研究成果; ,77 28-43 (1974) 整理No.-99
107. 尾崎直臣：米飯の老化 第2報 米飯の粘着度の変化. 栄養と食糧; 26,5 289-295
(1973) 整理No.77
108. POMERANZ Y. et al.: NMR-Oil Content as An Index of Degree of Rice Milling.
Cereal Chemistry; 52, 849-853 (1975) 整理No.280
109. POMINSKI J. et al.: Increasing Laboratory Head and Total Yields of Rough Rice by
Milling at Low Moisture Levels. — Effect of Long Grain Rice. The Rice Journal;
64,10 11-15 (1961) 整理No.353
110. POMINSKI J. et al.: Effects of Storage Time after Drying on Laboratory Milling
Yields of Southern Rice.. The Rice Journal; 68,5 20-23 (1965) 整理No.356
111. ROBERTS R.L.: Composition and Taste Evaluation of Rice Milled to Different Degrees.
Journal of Food Science; 44,1 127-129 (1979) 整理No.259
112. 佐竹利市：穀類搗精機の研究. 糧友会; 1-206 (1940) 整理No.-3
113. 佐竹利彦：米に関する水の効用. 1-10 (1979) 整理No.483
114. 関千恵子, 貝沼やす子：清酒添加炊飯について. 家政学雑誌; 23,5 297-303 (1972) 整理No.8
115. SHAMS-UD-DIN MD. et al.: On The Meaning of The Degree of Milling of Rice.
Journal of Food Technology; 13, 99-105 (1978) 整理No.284
116. 渋谷直人, 岩崎哲也 等：古米化に関する研究 第1報 玄米および白米の貯蔵中の変化に
ついて. 日本食品工業学会誌; 21,12 597-603 (1974) 整理No.116
117. 渋谷直人, 岩崎哲也 等：古米化に関する研究 第3報 米の貯蔵にともなう澱粉の性質の
変化について. 澱粉科学; 24,3 55-58 (1977) 整理No.118
118. SHIBUYA N., IWASAKI T.: Effect of Cell Wall Degrading Enzymes on the Cooking
Properties of Milled Rice and the Texture of Cooked Rice. Npn. Shokuhin Kogyo
Gakkaishi ; 31,10 656-660 (1984) 整理No.395
119. 鹿野忠雄, 大高俊昭 等：我国産米の搗精歩留について 第5報 精米における研米の効果
と影響について. 食品総合研究所報告 (食糧研) ; ,11 97-100 (1956) 整理No.50
120. 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. 農業機械学会誌; 36,1
108-114 (1974) 整理No.309
121. 志村英二, 岡田正憲 等：九州地域水稻品種の食味評価に関する研究 1. パネル選定と新
旧品種の食味評価. 九州農業試験場報告; 17,3 251-261 (1974) 整理No.432
122. 志村英二, 岡田正憲 等：九州地域水稻品種の食味評価に関する研究 2. 粉の乾燥法が食
味におよぼす影響の品種間差異. 九州農業試験場報告; 17,3 263-277 (1974) 整理No.433
123. 白倉治一：米の同質異品種群形成に關与する諸要素の研究 第1報 新潟県主要品種の加工
特性と食味特性. 新潟県農業試験場研究報告; ,15 15-29 (1965) 整理No.5153

124. 白倉治一：米の同質異品種群形成に關与する諸要素の研究 第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變化。新潟県農業試験場研究報告；,19 55-67 (1969) 整理No.516
125. 白倉治一, 竹生新治郎 等：米の同質異品種群形成に關与する諸要素の研究 第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變化。新潟県農業試験場研究報告；,19 68-82 (1969) 整理No.517
126. 曾我英介, 高岡祥夫 等：酒造米の水分と酒造適性 第1報 玄米水分と玄米の性状ならびに精米との關係。日本醸造協会雑誌；74,2 121-122 (1979) 整理No.217
127. 曾根敏麿：米飯の物理的性質。食糧—その科学と技術—；,7 14-25 (1964) 整理No.-42
128. SPADARO J.J. et al.: Rice: Production and Utilization; Milling Department of Food Science and Technology Uni. of CLA. RICE; 360-402 (1979) 整理No.328
129. 杉本貞三, 南沢正敏：米の新・古判定法。食糧—その科学と技術—；,16 14-24 (1973) 整理No.-49
130. 鈴木一夫, 寺田 優：もみの乾燥およびとう精に関する研究 第1報 乾燥温度の影響について。石川県農業短期大学研究報告；,3 21-27 (1974) 整理No.115
131. SWAMY Y.M., BHATTACHARYA: Breakage of Rice during Milling (II) Effect of Kernel Defects and Grain Dimension. J. Food Process Engineering; ,3 29-42 (1979) 整理No.404
132. 田中治夫：米飯の香气 米飯香气の生成機構および古米飯のにおいの改良について。食品工業；15,22 73-76 (1972) 整理No.74
133. 谷 達雄, 竹生新治郎 等：穀粒に対する一新M. G染色法について 第1報 精麦及び精米への応用。食品総合研究所報告(食糧研)；,6 75-78 (1951) 整理No.70
134. 谷 達雄, 鹿野忠雄 等：我国産米の搗精歩留について 第1報 搗精歩留に基く銘柄区分の検討。食品総合研究所報告(食糧研)；,7 15-19 (1952) 整理No.46
135. 谷 達雄, 鹿野忠雄 等：我国産米の搗精歩留について 第2報 搗精歩留に基く等級格差の検討。食品総合研究所報告(食糧研)；,7 21-26 (1952) 整理No.47
136. 谷 達雄, 鹿野忠雄 等：我国産米の搗精歩留について 第3報 94%, 92%搗精における歩留差及び搗精歩留の時期的變化。食品総合研究所報告(食糧研)；,7 27-29 (1952) 整理No.48
137. 谷 達雄, 結城正太郎 等：我国産米の搗精歩留について 第4報 搗精歩留と玄米の品質、性状との相関及び搗精歩留の農業地帯別有意性の検討。食品総合研究所報告(食糧研)；,11 92-96 (1956) 整理No.49
138. 谷 達雄, 鹿野忠雄 等：我国産米の搗精歩留について 第6報 人工乾燥が米の搗精におよぼす影響。食品総合研究所報告(食糧研)；,12 65-68 (1957) 整理No.51
139. 谷 達雄：米の品質：総説。栄養と食糧；11,2 45-50 (1958) 整理No.297
140. 谷 達雄, 竹生新治郎 等：低温貯蔵法における米の化学的品質の變化(その1)。栄養と食糧；16,5 436-442 (1964) 整理No.72
141. 谷 達雄, 吉川誠次 等：米の食味評価に關係する理化学的要因(1)。栄養と食糧；22,7 452-461 (1969) 整理No.29
142. 谷 達雄, 柴野正彰 等：特集：米の調製加工 胚芽精米の加工。農業機械学会誌；40,4 598-602 (1978) 整理No.441

143. 谷 達雄：大型精米工場の現場から。農業施設学会誌；14,2 2-5 (1984) 整理No.453
144. 手塚新一：特集 「主要食糧の貯蔵技術と今後の問題点」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) 整理No.-80
145. 辻昭二郎：米飯のテクスチャーの米粒レベルでの2点測定法と食味と関連するパラメーター。日本食品工業学会誌；27,6 265-269 (1980) 整理No.52
146. 鶴田 理, 遠藤 勲 等：米の形態別長期貯蔵に関する研究。食品総合研究所報告；,32 11-20 (1977) 整理No.110
147. 弓削利雄：とう精工場の現況について。食糧管理月報；29,3 21-29 (1977) 整理No.123
148. WATSON C.A. et al.: A Note on Surface Lipid Content and Scanning Electron Microscopy of Milled Rice as Related to Degree of Milling. Cereal Chemistry; 52, 742-747 (1975) 整理No.281
149. WEBB B.D.: Rice: Production and Utilization; Rice Quality and Grades Department of Food Science and Technology Uni. of CLA. RICE; 543-565 (1979) 整理No.333
150. 山路 健, 小山智士 等：図説・日本の農業と食糧。家の光協会；1-246 (1980) 整理No.-130
151. 山元尹男, 大橋幸雄 等：米の品質測定に関する研究 搗精による碎米発生と粒質との関係。富山県農業試験場研究報告；,10 1-6 (1979) 整理No.6
152. 山崎清子, 中里トシ子 等：米粉の調理に関する研究 第2報 パターケーキについて。日本食品工業学会誌；18,11 512-518 (1971) 整理No.28
153. 山崎信蔵, 執行盛之：米の食味改善に関する研究 第2編 第3章北陸地域における米の食味改善に関する研究結果。農林水産技術会議研究成果；,77 44-53 (1974) 整理No.-100
154. 山下律也：「穀物の含水率測定方法基準」についての提案。農業機械学会誌；37,3 445-451 (1975) 整理No.315
155. 山下律也：「米の胴割れ測定方法の基準」についての提案。農業機械学会誌；38,2 253-254 (1976) 整理No.319
156. 山下律也：「穀物の含水率測定方法基準」決定について。農業機械学会誌；38,3 366-366 (1976) 整理No.316
157. 山下律也：特集：米の調製加工 精米施設機械化の現況。農業機械学会誌；40,4 592-597 (1978) 整理No.440
158. 山下律也：米穀の調製加工, 貯蔵法と品質。農業機械学会誌;46,2 253-255 (1984)整理No.445
159. 柳井昭二, 津端征一郎 等：プラスチックフィルムによる包装米の保存性。日本食品工業学会誌；25,10 563-569 (1978) 整理No.65
160. 柳井昭二, 石谷孝佑 等：玄米の密封系貯蔵における不活性ガスの影響。日本食品工業学会誌；26,1 25-31 (1979) 整理No.66
161. 柳井昭二, 石谷孝佑 等：白米の密封系貯蔵における不活性ガスの影響。日本食品工業学会誌；26,3 145-150 (1979) 整理No.67
162. 柳瀬 肇, 谷 達雄：早期・早植栽培米の品質に関する研究 第2部 早期早植栽培米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。食品総合研究所報告(食糧研)；,20 57-65 (1965) 整理No.-92
163. 柳瀬 肇, 柳井昭二：米の食味改善に関する研究 第2編 第7章 密封包装と米の食味。

- 農林水産技術会議研究成果； ,77 104-116 (1974) 整理No.-104
164. 柳瀬 肇, 谷口嘉広 等：搗精試験における大型工場機種と小型試験機種の比較 第1報
1年古米の搗精品質。食品総合研究所報告； ,30 1-9 (1975) 整理No.26
165. 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 第2報 新米
の搗精品質。食品総合研究所報告； ,35 1-7 (1979) 整理No.27
166. 柳瀬 肇, 遠藤 勲 等：もち米の品質, 加工適性に関する研究 第1報 もち米の性状,
搗精品質ならびに二, 三の貯蔵性。食品総合研究所報告； ,38 1-9 (1981) 整理No.244
167. 柳瀬 肇, 大坪研一：精米加工と米飯食味の関係 第1報 精米品質と米飯テクスチャーな
らびに炊飯特性の関係。食品総合研究所報告； ,46 148-161 (1985) 整理No.492
168. YASUMATU K., MOROTAKA S.: Fatty Acid Compositions of Rice Lipid and their Changes
during Storage. Agr. Biol. Chem.; 28,5 257-264 (1964) 整理No.489
169. 安松克治, 森高真太郎 等：穀類に関する研究 第1報 精白米貯蔵時の各種特性の変化。
栄養と食糧； 18,2 123-129 (1965) 整理No.227
170. 安松克治, 森高真太郎 等：穀類に関する研究 第2報 精白米貯蔵中の食味の変化。
栄養と食糧； 18,2 130-133 (1965) 整理No.228
171. YASUMATSU K. et al.: Studies on cereals Part 5. Stale Flavor of Stored Rice.
Agr. Biol. Chem.; 30,5 483-486 (1966) 整理No.490
172. 吉川誠次：食品の物理的性質の官能検査。食糧—その科学と技術—； ,7 119-127
(1964) 整理No.-43
173. 吉川誠次, 西丸震哉 等：早期・早植栽培米の品質に関する研究 第3部 早期・早植栽培
米の食味評価。食品総合研究所報告(食糧研)； ,20 66-77 (1965) 整理No.-93
174. 吉川誠次, 山崎信蔵：米の食味改善に関する研究 第1編 第2章 食味保持と貯蔵方法の
改善に関する研究結果。農林水産技術会議研究成果； ,77 8-10 (1974) 整理No.-96
175. 吉川誠次：食品研究にすぐに役立つ統計処理法 官能検査におけるデータ処理。日本食品工
業学会誌； 32,7 537-543 (1985) 整理No.481
176. 吉沢 淑, 石川雄章 等：清酒醸造における脂質の動向 第1報 酒造米の脂質の精米歩合
による脂肪酸組成の変化。日本農芸化学会誌； 47,11 713-717 (1973) 整理No.239
177. 吉沢 淑, 石川雄章 等：酒造米に関する研究 第1報 精米による米質の変化。日本醸造
協会雑誌； 68,8 614-617 (1973) 整理No.36
178. 吉沢 淑, 石川雄章 等：酒造米に関する研究 第5報 玄米貯蔵による精白米の性質の変
化。日本醸造協会雑誌； 69,9 625-626 (1974) 整理No.40
179. 吉沢 淑, 石川雄章 等：酒造米に関する研究 第10報 白米の高温浸漬について。
日本醸造協会雑誌； 70,12 910-912 (1975) 整理No.185
180. 吉沢 淑：酒造原料米の性質を探る 酒米適性の予報をめざして。日本醸造協会雑誌； 72,5
331-337 (1977) 整理No.163
181. 吉沢 淑, 百瀬洋夫 等：酒米適性についての研究 第14報 同一分析法による昭和51—
53年産白米の性質の変動。日本醸造協会雑誌； 74,8 563-564 (1979) 整理No.214
182. 吉沢 淑, 百瀬洋夫 等：酒造米に関する研究 第15報 異なる温度で貯蔵した古米の性
質の変化。日本醸造協会雑誌； 74,9 632-634 (1979) 整理No.215

STUDIES ON RICE MILLING, AND
QUALITY AND TASTE OF MILLED RICE
SHUSO KAWAMURA

SUMMARY

In the past, most of the milling plants in Japan were installed in retail rice outlets, so milling was performed as part of their distributing service. The milling plants consisted mainly of small rice mills with power less than 10 HP. Subsequently, the Food Agency carried out measures establishing large-scale milling plants during 1963 - 1964 and 1967 - 1971.

By 1984, this resulted in 624 large-scale milling plants (greater than 50 HP) in Japan. Moreover, following the spread of these large-scale milling plants, rice conditioning operations - milling pre-processing of brown rice by adjusting the temperature and moisture content - were put to practical use. In 1984, these conditioning units were being operated in 160 large-scale milling plants. In most of these plants, so-called compass rice milling units - consisting of the combination of one abrasive-type mill and three friction-type mills - were used for milling.

As described above, milling plants have been becoming larger and modernized, but the brown rice temperature and moisture content for compass rice milling units as well as the optimal milling method have yet to be clarified.

Under these conditions, the author has investigated the optimal milling method for the compass rice milling unit as well as the optimal brown rice temperature and moisture content, with due consideration for milling characteristics, and quality and taste of milled rice.

1. Basic Investigation at Milling Plants

Sampling tests have been continuously performed during the past four years to measure the temperature and moisture content of pre-milled brown rice at large-scale milling plants. The following data has been obtained.

- (1) The temperature of brown rice before milling was below 0°C in winter and 30°C in summer, with a moisture content between 14.7% and 16.8%.
- (2) In milling nonconditioned brown rice, the temperature increase during milling (from brown rice to milled rice) showed great differences due to season: in winter, it rose from 0°C to 30°C; and in summer, from 30°C to 50°C. In milling conditioned brown rice, however, the temperature increase did not change with season: it rose from about 22°C to 38°C.
- (3) The moisture reduction caused by milling was around 0.3% in conditioned brown rice and 0.1% in nonconditioned.

2. 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 to a commercial rice mill (a compass rice milling unit). The following results were obtained.

- (1) With the abrasive-type mill, the degree of milling 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 degree of milling.
- (2) As the electric energy consumption increased, the degree of milling decreased by almost the same ratio in the abrasive-type mill. In the friction-type, the degree of milling drastically decreased in the early stage of milling, but decrease lessened as the milling advanced.
- (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 milling advanced.

- (4) The milled rice temperature rose as milling advanced. At the same degree of milling, 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 were similar to these of the friction-type mill used for the experiment, the information obtained in this study can be applied to them.

3. Changes in Physicochemical Properties of Brown Rice and Effect on Milling Characteristics Caused by Storage Condition 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; in a typical store house (the kernel temperature ranging from 0 - 24°C) in a controlled environmental room at room temperature (19 - 21°C), and in a refrigerator (2 - 4°C). 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 on 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 of milling as new rice, there was no difference of milling time or electric energy consumption between them.

4. 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 kept 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 on 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, so the temperature greatly increased. 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 in hardness produced broken kernels less frequently and 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.

5. 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 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 increase.
- (2) Brown rice with high moisture content did not produce much heat in milling, so the kernel temperature did not rise very much.

- (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, a rise in hardness due to a decline of moisture content, produced broken kernels less frequently and 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.

6. Quality and Taste of Rice Milled by Laboratory and Commercial Rice mills

The quality and taste of rice milled by the abrasiv-type mill or the friction-type mill used in the experiment were investigated and compared to that milled by a commercial rice mill(a compass rice milling unit). Moreover the effect of the degree of milling on the quality and taste of milled rice was also investigated. The following results were obtained.

- (1) At the same degree of milling, the rice milled by the friction-type mill showed lower whiteness, higher translucency, and lower unstripped embryo rate than that milled by the abrasiv-type mill. As the degree of milling decreased, both cases of milled rice showed a rise in whiteness and translucency, and a decline in unstripped embryo rate.
- (2) The bulk weight of the rice milled by the friction-type mill was larger than its counterpart. However, no difference was observed in the fluidity of rice milled by either type of mill. With a decline in the degree of milling, the bulk weight of milled rice increased and the fluidity improved.
- (3) The rice milled by the abrasive-type mill and the rice with a high degree of milling had higher free fat acidity.
- (4) Use of the abrasive-type mill produced a higher water absorption ratio than in its counterpart, but there was no difference on water uptake ratio. The friction-type mill produced a higher volume expansion ratio and starch-iodine blue value than the abrasive-type mill, with the latter extracting more solids.

- (5) The abrasive-type milled rice had many scratches caused by the abrasive rollers and residual bran on the surface of each grain of rice, so each grain was white and milky as frosted glass. On the other hand, the surface produced by the friction-type mill was smooth, polished and transparent.
- (6) In taste tests, the friction-type milled rice with lower degree of milling had the best overall flavor, with a good appearance, aroma, and cohesiveness. The most conspicuous difference between both types of rice was in the evaluation of appearance.
- (7) With lower degrees of milling, the rice obtained higher taste evaluations. Therefore, the taste of aged rice, brown rice of lower quality, brown rice with lower taste evaluations can be improved by milling them to a lower degree of milling.
- (8) In quality and taste taken as a whole, the friction-type mill was superior.
- (9) The quality and taste of rice produced by the commercial rice mill were similar to those produced by the friction-type mill used in the experiment. Therefore, the information obtained in the present study can be applied to commercial rice mills.

7. Effect of Milling Method on Quality and Taste

The effect of milling rate on the quality and taste, when using an abrasive-type mill, was investigated to better understand the compass rice milling method which uses a combination of abrasive-type and friction-type mills. From the investigation, the following results were obtained.

- (1) An increase of milling rate by the abrasive-type mill produced the following: translucency, whiteness, lightness and Hunter whiteness decreased; redness and yellowness increased due to the increase of residual bran; and unstripped embryo rate increased. All of these changes contributed to the deterioration of appearance when the milling rate exceeds 40%, all color differences cease.

- (2) The storage stability of milled rice declined with the increase in the milling rate.
- (3) The loss (i.e., the decrease of moisture content and the occurrence of broken kernels) declined with the increase in the milling rate.
- (4) As the milling rate increased, the water absorption ratio and extracted solids increased, and the volume expansion ratio and translucency decreased.
- (5) Rice produced with high milling rate had inferior appearance, resulting in cooked rice of inferior appearance and aroma, and little cohesiveness and poor overall flavor. For each of these quality evaluation items, there was a significant difference between the rice with more than 40% milling rate and that with 0%. Therefore, considering the great interest of consumers recently in the quality and taste of rice, the milling rate should be within the range 0 - 35%.

8. Effect of Brown Rice Temperature before Milling on Quality and Taste

The effect of brown rice temperature before milling on quality and taste was investigated. The optimal range was examined by using kernel temperatures of 10, 20, and 30°C. The following results of the investigation were obtained.

- (1) Higher temperatures before milling resulted in lower translucency, an inferior appearance, higher free fat acidity and worse storage stability. Moreover, it exhibited a lower water absorption ratio, water uptake ratio, volume expansion ratio and higher extracted solids.
- (2) Lower kernel temperatures produced rice whose taste had high overall flavor - it had good appearance and aroma, being soft and cohesive.
- (3) There was a decline in milling efficiency with kernel temperatures of 10°C. The appearance, storage stability, and taste of milled rice deteriorated with kernel temperatures of 30°C. Therefore, the optimal temperature before milling is within the range 15 - 25°C.

9. Effect of Moisture Content of Milled Rice on Quality and Taste

Using milled rice with moisture content adjusted to 14.0%, 15.5%, 16.7%, and 18.0%, the quality and taste were investigated, the optimal milled rice moisture content determined, and finally, the optimal brown rice moisture content before milling was calculated. The following results were obtained.

- (1) With a decrease in the moisture content in milled rice, the translucency declined, the bulk weight increased, and fluidity improved.
- (2) After one month, the growth of mold was observed in milled rice with an 18.0% moisture content; and after three and a half months with 16.7% moisture content. The rate of increase of free fat acidity caused by storage was higher in rice with a high moisture content. Considering storage stability, permissible water content of milled rice is around 16.3%.
- (3) With a decrease of moisture content in milled rice, the water absorption ratio and the water uptake ratio increased. It should be noted that cracks occurred on the grain surface when soaking rice with low moisture content. Due to these cracks, the amount of starch flowing out into the cooking solution increased along with starch-iodine blue value and extracted solids.
- (4) Rice with low moisture content had an inferior appearance both milled and cooked, with the cooked grains hard and without good aroma. Both high and low moisture content rice had low cohesiveness. Overall, rice with 15.5 - 16.7% moisture content received a higher evaluation than that with moisture contents lower than 15.5% or higher than 16.7%.
- (5) The taste deteriorating rate caused by storage was higher in milled rice with high moisture content than with low. After three months, taste evaluations for both types reversed, with the 14.0% moisture content rice evaluated to have the best.

- (6) The optimal moisture content of milled rice, with consideration for quality and taste, is within the range 15.3 - 16.3%. Since the average moisture reduction caused by milling is around 0.2%, the optimal moisture content of brown rice before milling is within the range 15.5 - 16.5%.

10. 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 optimal brown rice hardness was calculated with consideration of the milling characteristics.

- (1) Aging caused by storage did not affect milling characteristics, but kernel temperature and moisture content had a great influence to the change in brown rice hardness. With regard to milling characteristics, the effect 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 the 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 optimal brown rice hardness should be within the range 7 - 8 kgf.

11. 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, 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 rate, 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%.

12. Examination for the Rationalization of Milling

The effects of the compass rice milling system on milling characteristics, and on the quality and taste of milled rice were ranked. Then the optimal brown rice temperature and moisture content before milling were determined from the milling characteristics, and quality and taste of milled rice. Based on these results, an examination was performed on how best to execute rational milling.

- (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 the 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 formulas. By milling brown rice conditioned within this range, suitable milling characteristics, and quality and taste of milled rice can be obtained throughout the year.

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

$$15 \leq X \leq 25$$

$$15.5 \leq Y \leq 16.5$$

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 the improvement of milling characteristics as well as the quality 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 unit) 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 compass rice milling unit and adjustment of brown rice temperature and moisture content are performed in the absence of studies related to milling characteristics, and quality and taste of milled rice.

Milling was rationalized to a greater degree by optimizing the compass rice milling method, brown rice temperature, and moisture content.