

米飯の物理特性の解析と米粒の
新しい改変技術に関する研究

新井 映子

米飯の物理特性の解析と米粒の
新しい改変技術に関する研究

新井 映子

目 次

	(ページ)
《序 論》	1
掲載論文	6
ジャボニカ種うるち米の品種名	7
《本 論》	8
I 米飯適性と炊飯特性の解析	8
1. 緒言	8
2. 実験材料および方法	8
(1)材料	8
1)米飯適性が低い米の調製	8
2)米飯適性が高い米の調製	9
(2)官能評価	9
(3)タンパク質量	9
(4)アミロース量	9
(5)炊飯	9
(6)米飯糊化度	9
(7)米飯光沢	10
(8)熱水可溶性でんぷん量	10
(9)米飯テクスチャー	10
3. 結果	10
(1)ジャボニカ種(ゆきひかり)の炊飯特性	10
(2)インディカ種米の炊飯特性	11
(3)ジャボニカ種古米(アキヒカリ)の炊飯特性	12
4. 考察	12
5. 要約	14
I の表	15
II 炊飯特性改変技術の開発	21
§ 1 硬さの改変	21
1. 緒言	21
2. 実験材料および方法	22
(1)材料	22

1) 供試米	22
2) 酵素	22
a. 多糖分解酵素	22
b. 脂質分解酵素	22
c. タンパク質分解酵素	22
(2) 高圧処理	22
(3) 酵素処理	23
(4) 炊飯	23
(5) 吸水率	23
(6) 米飯テクスチャー	23
(7) 米飯光沢	23
(8) 官能評価	23
(9) 走査型電子顕微鏡による組織観察	23
3. 結果	24
(1) 高圧処理による改良	24
(2) 酵素処理による改良	25
4. 考察	26
§ 2 粘りおよび光沢の改変	29
1. 緒言	29
2. 実験材料および方法	29
(1) 材料	29
1) 供試米	29
2) プロテアーゼおよびプロテアーゼ特異的インヒビター	29
a. プロテアーゼ	30
b. プロテアーゼ特異的インヒビター	30
3) 界面活性剤	30
(2) 酵素処理および炊飯	30
(3) 遊離でんぷん量	30
(4) 塩溶性タンパク質の抽出および定量	30
(5) でんぷん画分の調製	31
(6) 米飯テクスチャー	31
(7) 米飯光沢	31
(8) 高速液体クロマトグラフィー	31
(9) イオン強度	31
(10) 円偏光二色性スペクトル	32
(11) 電気泳動	32
(12) でんぷん糊化度	32
(13) アミログラフ特性値	32
(14) 粘性特性値	32

3. 結果	33
(1)塩溶性タンパク質の除去が米飯の粘り発現にあたる影響	33
1)ジャポニカ種古米	33
2)インディカ種米	34
(2)でんぷん結合タンパク質の除去がでんぷんの糊化度および粘り特性にあたる影響	35
1)ジャポニカ種古米	35
2)インディカ種米	36
(3)インディカ種米飯の粘り改変方法	37
1)粘りの発現	37
2)テクスチャー特性保持	38
4. 考察	39
§ 3 古米臭の低減化	41
1. 緒言	41
2. 実験材料および方法	41
(1)材料	41
(2)酵素処理	41
(3)ペプチド量	41
(4)炊飯	42
(5)米飯ヘッドスペース分析	42
(6)カラムクロマトグラフィー	42
(7)表面疎水性度	42
(8)1-ヘキサノールの吸着モデル実験	43
1)反応生成物のCNBr-活性化Sepharose 4Bへの固定化	43
2)1-ヘキサノールの結合体への吸着	43
3)1-ヘキサノールの定量	43
3. 結果	43
4. 考察	45
§ 4 II の要約	46
II の図および表	47
III 炊飯特性改変技術の実用化	69
§ 1 一般炊飯用としてのプロテアーゼ処理米の砕粒化防止加工	69
1. 緒言	69
2. 実験材料および方法	69
(1)材料	69

(2) プロテアーゼ処理米の調製	69
(3) 米粒の硬さ	70
(4) 炊飯	70
(5) 米飯テクスチャー	70
(6) 官能評価	70
3. 結果	70
4. 考察	71
§ 2 大量炊飯用としての米飯食味改変剤の開発	73
1. 緒言	73
2. 実験材料および方法	73
(1) 材料	73
1) 供試米	73
2) プロテアーゼおよび添加物	73
(2) 食味値	73
(3) 炊飯	73
(4) 米飯テクスチャー	74
(5) 米飯糊化度	74
(6) 官能評価	74
3. 結果	74
(1) 米飯食味改変剤の開発	74
1) プロテアーゼの選定と配合量	74
2) pH調製剤の選定と配合量	75
3) でんぶんの選定	75
4) 配合割合	76
(2) 米飯食味改変剤の処理効果	76
1) 供試米の食味値および米飯テクスチャー特性	76
2) 処理条件の検討	76
3) 米飯テクスチャーの改変効果	76
4) 糊化度の向上効果	77
5) 米飯食味の改変効果	77
4. 考察	77
§ 3 IIIの要約	79
IIIの図および表	80
(結 論)	101
(総 括)	103

謝 辭

106

引用文献

107

序 論

米は、アジア・モンスーン地帯を中心として世界各国で栽培されており、とくに、世界人口の約57%（1989年）を占めるアジアの人々にとっては、摂取カロリーの過半とタンパク質の相当部分を供給する重要な食品である。日本においては近年その消費が減少傾向にあるとはいえ、年間生産量は1025万トン（1989年）に達しており、われわれ日本人にとって最も重要なカロリー源（1日当り供給熱量の26.7%、1987年）であることに変わりはない。

日本人の主食である米について、栄養学的見地から、米を構成する炭水化物、脂質、タンパク質およびビタミンなどの諸成分について多数の研究が行われてきた。これらの諸成分は単に栄養的に重要であるのみならず、米飯の食味に与える影響についても重要な背景をなすことが多い。そこで、以下にそれらの概要を含ませる。

玄米には約72%、精白米には約77%の炭水化物が含まれており、その主体はでんぷんである。でんぷんはアミロースとアミロペクチンより構成され、その比率は品種によって異なる。もち米はアミロペクチンのみで構成されるが、うるち米には20~40%程度のアミロースが含まれている。とくに、うるち米に含まれるアミロースはアミロペクチンより少量であるにも関わらず、米粉や米飯の物理的特性に対して、支配的影響力を示す（Sandhya Rani および Bhattacharya, 1985）。さらに、アミロース含量が米飯の食味に与える影響についても研究が進められており、米飯の硬さはアミロース含量と正の相関を、粘りは負の相関を持つことが報告されている（Julianoら, 1965; 1981）。

玄米に含まれる脂質は約2%であり、精白米では1%以下に過ぎない。精白米の脂肪酸組成はパルミチン酸、リノール酸、オレイン酸が主であり、なかでもパルミチン酸の割合が高い（Choudhury および Juliano, 1980）。古米化過程において、米のリパーゼ作用によって脂質から脂肪酸が遊離され（渋谷ら, 1977; Bollingら, 1978）、それが古米臭の本体であるカルボニル化合物の前駆体となる（Yasumatsuら, 1966a）。また、古米の米飯ヘッドスペース成分として、アルカナール、ケトンおよびアルコールなど約40種類の成分が同定されている（Tsugitaら, 1980; 1983）。

米は他の穀物に比してタンパク質含量が高く、単にカロリー源としてのみならず、日本人のタンパク質供給源（1日当りタンパク質供給量の15.5%、1987年）としても重要な食品である。米のタンパク

質は玄米に7～8%、精白米に6～7%程度含まれており、溶解性の違いによってアルブミン（水と塩溶液可溶）、グロブリン（塩溶液可溶）、プロラミン（含水アルコール可溶）およびグルテリン（アルカリ可溶）に4分類される。タンパク質含量と米飯食味との関係については多くの研究があり、タンパク質含量が増加するに伴って米飯食味は低下すると言われている（Julianoら、1965；石間ら、1974）。また、近年、米アレルギー患者の増加に伴い米のアレルゲンが検討され、グロブリン画分に抗原性が認められること（Shibasakiら、1979；Matsudaら、1988；1991）や、グロブリン画分を分解除去して低アレルゲン化米を製造する方法（Watanabeら1990a；1990b）が報告されている。さらに、米に含まれる酵素のアミラーゼ（AkazawaおよびMiyata、1982；MacGergor、1983）、プロテアーゼ（Curzら、1970；HoriguchiおよびKitagishi、1976）、リパーゼ（ShastriおよびRaghavendraRad、1975；渋谷ら、1975；ChoudhuryおよびJuliano、1980）およびリポキシゲナーゼ（ShastriおよびRaghavendraRad、1975；Yamamotoら、1980）についても、古米化に伴う変化と関連付けて研究が進められている。

米に含まれるおもなビタミンは、鈴木梅太郎博士が世界に魁て発見したB₁であり、B₂およびナイアシンも含まれるが、ビタミンA、CおよびDは存在しない。ビタミンB₁については多くの栄養学的研究がなされている（Wangら、1950；竹生ら、1953）が、B₁のほとんどは糠層および胚芽部分に局在するため、多くは搗精段階で消失し（食糧研究所、1969）、精白米には微量しか含まれない。そこで、ビタミンB₁強化米（満田、1950）や胚芽精米（香川、1978）が製造されている。

以上述べてきたように、米は日本人の栄養にきわめて重要な役割を担っている。日本は第二次世界大戦後しばらくの期間食糧不足の時代が続き、米も食味の良否を問う以前に、生産量の確保が最優先事項であった。その後、栽培技術の進歩や品種改良などの成果が実り、1966年産米より生産量が消費量を上回るようになって、米の需給にゆとりがでてきた。ところが、その後、数年を経ずして米が一気に生産過剰となり、その対策のひとつとして、1969年に自主流通米制度が発足した。それに伴い米の「産地品種銘柄」が指定されるようになり、1969年には23品種、25県の延べ53であった水稲うるち玄米の産地品種銘柄が、1987年には56品種、42道府県の延べ135産地

品種銘柄へと増加した。この間、自主流通米の購入割合は増加の一途をたどり、1986年には政府米（標準価格米）の年間購入割合は約9%にまで減少した。このような状況のもとに、販売される精白米の種類および価格が多様化してくると、消費者は米を購入する際の選択基準を、価格の高低から食味の良否へと変化させるようになった。

米には炊飯したときに強く粘りが出るものと、炊飯方法に留意しても粘りが出ないものがある。近年、日本ではコシヒカリに代表されるように、炊飯したときに光沢があって粘りの強い品種が、米飯適性の優れた良食味米として好まれる傾向にある。現在、コシヒカリ、ササニシキおよび日本晴が3大銘柄米とされ、これら3品種で水稲作付け面積の37%（1989年）を占めている。一方、これらの米に変わるような新品种の育成も盛んで、1984年より秋田県で生産されているあきたこまちや、福井県、茨城県で奨励品種に採用されているキヌヒカリなどが、近年、急速に作付け面積を伸ばしている。

品種改良以外の点からも、食味のよい米を生産するための研究が行われており、pre-harvest 要因として気象条件（愛知県農業総合試験場、1988）、産地（岡本ら、1986）、栽培・収穫法（竹生ら、1965；鯨、1990）などの、post-harvest 要因として水分（反田、1966）、乾燥・貯蔵法（森高ら、1972a；Banks および Annis、1980）、精米法（Kennedy ら、1974a；1974b；Araullio ら、1976）および洗米・炊飯法（Cheighら、1977；堤および下村、1978；早川および伊賀上、1979；貝沼、1979）などの成果が多数報告されている。

良食味米のコシヒカリやササニシキは、いもち病などに対する耐病性が低く、また、施肥量を多くすると稈が伸びすぎて成熟前に倒伏する場合が多々ある。従って、これらの品種のみを作付けすることは、年間一定の収穫量を確保するためには危険が伴う。そこで、多くの生産者は良食味品種のほかに、食味は劣るが耐病性や耐倒伏性に優れ、生産量の高い品種も同時に栽培している。北海道のように稈の登熟期に気温があまり高くならないような地域では、気温の高い地域で生育した米よりも多量のアミロースが蓄積するために、米の食味が劣る（武田および佐々木、1988）。これらの事情により、現実には、必ずしも食味のよい米だけが生産されているわけではない。

新米のときには良食味の米も、翌年の梅雨期を越して保蔵すると古米化が進行し、米飯に粘りがなくなって品質が低下する（渋谷ら、1974；鶴田ら、1977；Villarealら、1976；Bollingら、1978；Perez および Juliano、1981）。日本には現在200万トン以上（1987年）の在庫米（過剰米）があるといわれ、それらが古米化した状態で保存されていると推察される。

近い将来、ガットのウルグアイラウンドにおける農業交渉の合意が成立した場合には、米の輸入自由化により、ジャポニカ種米より粘りの少ないインディカ種米が、多量輸入される可能性がある。これらの米は、ピラフなどの特定用途に使用すると、粘らない特性が生かされて高品質の製品となる。しかし、日本における米の主な利用法は米飯（白飯）にすることである。そのまま炊飯したのでは日本人の好む米飯にはならないインディカ種米は、利用価値が低いと言わざるを得ない。

以上述べたように、日本における米の生産および流通事情は、現在、大きな転換期を迎えている。このような社会的背景に立脚して、食味の劣る米、すなわち遺伝的要因や環境条件によって新米でも粘りの少ない米、保蔵期間中に古米化して粘りを失った米のように、米飯としての適性が低い米の米飯食味を向上させる技術を開発し、その技術を一般炊飯用および外食産業における大量炊飯用に実用化することは、それがもたらす経済効果をも含めて、非常に大きな意味をもつものとする。現在までに、米の炊飯特性改変法として還元剤（森高ら、1972b）、不揮発性酸（佐竹ら、1980）、界面活性剤（Kim、1986）および多糖分解酵素（安松ら、1966b；Shibuya および Iwasaki、1984）などの使用が報告されている。しかし、これらの中から、方法の中で、実用レベルで利用されているものは数少ない。

本研究は、米飯適性が低い米の炊飯特性を改変するにあたり、はじめに、これらの米飯に共通する特性を明らかにした。続いて、米飯適性が低い米の米飯の硬さ、粘り、光沢および香りを積極的に改善する技術を開発した。さらに、開発した技術を実用化に移すために、2種類の方法を考案した。

第I章では、米飯適性の低い米に共通の米飯特性には、「硬い」、「粘らない」、「光沢がない」の3つの特徴があることを明らかにした。第II章では、米飯適性の低い米の炊飯特性改変法として、硬さの改変に有効な高圧処理および多糖分解酵素（セルラーゼおよび

ベクトリアーゼ) 処理技術と, 粘りおよび光沢の発現に有効なプロテアーゼ (アクチナーゼ) 処理技術を開発し, それらの作用機構を明らかにした。さらに, プロテアーゼ処理に伴う古米臭の低減化機構についても明らかにした。第三章では, 開発した技術を実用化するために, プロテアーゼ処理米の砕粒化防止加工技術の開発および業務用の米飯食味改変剤の開発を行った。

1-2-1 研究内容

K. NISHIDA, H. ARAI, & M. KANEKO, AND H. TOKUO, IMPROVING THE COOKING PROPERTIES OF JAPANESE RICE BY TECHNOLOGICAL AND CHEMICAL TREATMENT. *Journal of Food Science*, 49, 1122-1124 (1984).

1-2-2 米の品質改良

K. ARAI, K. NISHIDA, AND H. NISHIDA, CHEMICAL IMPROVEMENT OF THE COOKING QUALITY OF JAPANESE RICE BY A NEW KIND OF PROTEINASE TREATMENT. *Journal of Food Science*, 49, 1121-1122 (1984).

1-2-3 食味改良剤の開発

食味改良剤, 粘り増進剤, 粘り増進剤と食味改良剤の複合剤, 粘り増進剤と食味改良剤の複合剤の開発。食味改良剤。- (特許庁)

1-2-4 研究内容

K. ARAI AND H. NISHIDA, A WATER SOLUBLE PREPARATION OF THE IMPROVEMENT OF COOKED RICE BY PROTEINASE TREATMENT OF JAPANESE RICE. *Journal of Food Science*, 49, 1123-1124 (1984).

1-2-5 研究内容

食味改良剤, 粘り増進剤, 粘り増進剤, 粘り増進剤と食味改良剤の複合剤の開発。食味改良剤, 粘り増進剤。- (特許庁)

掲載論文

本論文の内容は、下記の学術雑誌に掲載された。

I の内容

E. Arai and M. Watanabe, Low-gelatinizability of Starch as a Factor Affecting the Quality of Cooked Rice.
澱粉科学, (印刷中)

II-S 1 の内容

M. Watanabe, E. Arai, K. Honma, and S. Fuke, Improving the Cooking Properties of Aged Rice Grains by Pressurization and Enzymatic Treatment.
Agric. Biol. Chem., **55**, 2725-2731(1991).

II-S 2 の内容の一部

E. Arai, K. Aoyama, and M. Watanabe, Enzymatic Improvement of the Cooking Quality of Aged Rice: A main Mode of Protease Action.
Biosci. Biotech. Biochem., **57**, 911-914(1993).

II-S 2 の内容の一部

新井映子, 渡辺道子, 高圧処理および酵素処理によるインディカ種米米飯のテクスチャー変化, 日食工誌, (投稿中)

II-S 3 の内容

E. Arai and M. Watanabe, A Major Mode Involved in the Improvement of Cooked Rice Flavor by Protease Treatment of Aged Rice Grains. Biosci. Biotech. Biochem., (印刷中)

III-S 1 の内容

青山かえで, 新井映子, 渡辺道子, 福家眞也, 酵素処理米の碎粒化防止加工による品質改良, 日食工誌, **39**, 629-631(1992).

ジャポニカ種うるち米の品種名

本論文で用いたジャポニカ種うるち米の品種名は、下記の通りである。

食糧庁の方式に従い、農林水産省の品種改良事業で育成された品種名をカタカナ表記、道府県の農業試験場で育成された奨励品種名を漢字・ひらがな表記とした。

あきたこまち

アキヒカリ

キヌヒカリ

コガネバレ

コシヒカリ

ササニシキ

サトホナミ

タマミノリ

中生新千本

チヨニシキ

月の光

トドロキワセ

新潟早生

日本晴

ハツシモ

ヒノヒカリ

フクヒカリ

星の光

松山三井

ミネニシキ

ゆきひかり

レイホウ

1 米飯適性と炊飯特性の解析

1.1 概要

一般に米飯の食味は米の品種や栽培方法、管理状態に大きく左右される。従って、米飯の食味を向上させるには、品種改良、栽培管理の最適化、加工処理の最適化が重要である。本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。具体的には、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

本 論

本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。具体的には、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。具体的には、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

2. 実験材料と方法

2.1 実験材料

本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。具体的には、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。具体的には、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

本研究では、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。具体的には、米飯の食味を向上させるための最適な加工処理方法を明らかにすることを目的とする。

I 米飯適性と炊飯特性の解析

1. 緒言

米飯はそれ自体の香味が淡泊なために、世界各国の料理とよく調和する。そのため、米飯を主食とする日本人の食生活は、世界に類を見ないほど豊かで多様であり、栄養素のバランスも優れている。

米飯の食味は、米飯を口に入れたときに感じる粘りや硬さなどの物理的性質（テクスチャーまたは食感と呼ばれる）と、香りや旨味を構成する化学成分によって影響を受ける。近年、米の胚乳細胞表層部には、呈味に関与するアミノ酸（三枝ら、1993）や糖類（田島ら、1992）が、閾値以上存在すると報告された。しかし、米飯食味の良否に大きな影響をおよぼす要因はそれらの呈味成分ではなく、米飯のテクスチャー、とくに、粘りであると広く認識されている（竹生ら、1983）。

日本で米飯適性に問題があるとされる米は、品種的に粘らないものと、保蔵中に古米化して粘らなくなったものの2つに大別できる。本章では、前者の例としてゆきひかり（ジャポニカ種）とインディカ種米、後者の例としてアキヒカリ古米（ジャポニカ種）を用いて、米飯の官能評価、成分分析および米飯特性値の測定を行い、米飯適性が低いとされる米および米飯が適性の高い米および米飯に比べて、どのような共通性を有するのかを明らかにした。

2. 実験材料および方法

(1) 材料

1) 米飯適性が低い米の調製

1991年北海道産ゆきひかり玄米を精米歩合92%に搗精後、水分蒸発を防ぐ目的でポリプロピレンコーティングアルミナ袋に封入して冷蔵保蔵した。

インディカ種米として、1991年タイ産の3品種を使用した。以後、これらをインディカA、インディカB、インディカCと称する。供試米は、入手後直ちにポリプロピレンコーティングアルミナ袋に封入し、冷蔵保蔵した。

1990年広島県産アキヒカリ玄米（新米）を、Tsugitaら（1983）の方法に準じて古米化させた。すなわち、精米歩合92%に搗精した米

をポリプロピレンコーティングアルミナ袋に封入し、40℃の恒温器中で1カ月間保存して古米化させた。以後、これを人工古米と称する。自然古米として、空調設備のない倉庫内に、精白米の状態で1年間保存した1989年広島県産アキヒカリを使用した。

(2) 米飯適性が高い米の調製

1991年新潟県産のコシヒカリ玄米および1990年広島県産アキヒカリ玄米を精米歩合92%に搗精後、1)と同様に冷蔵保蔵した。

(2) 官能評価

10名で構成された消費者パネルを用いた。官能評価は食糧庁の「食味試験実施要領」(食糧研究所, 1961)に準拠して行った。評価する特性は米飯の光沢, 香り, 味, 硬さ, 粘りおよび総合評価の6特性とした。基準米飯の評価値を0とし, 試料米飯の特性を+5から-5の尺度で評価した。

(3) タンパク質量

NCアナライザー(住化分析サービス, スミグラフNC-90A)で得られた窒素量に, 5.95を乗じた値をタンパク質量とした。

(4) アミロース量

基準試料にアミロース量既知のうち米(コシヒカリ)およびもち米(満月)を使用して, オートアナライザー(Bran & Lubbe, I1)で測定した。

(5) 炊飯

米(145 g)に水(200 ml)を加え, 緩やかに攪拌して洗液を捨てた。同様の操作をさらに2回繰り返して洗米した。洗米後の米に乾燥重量の1.5倍量になるように水を加え, 25℃で1時間浸漬した。炊飯には電気炊飯器(松下電器, SR-3F)を使用した。米145 gを炊飯するために要する通電時間は平均18分間で, その後12分間蒸らし操作を行った。

(6) 米飯糊化度

炊飯直後の米飯(20 g)を採取し, 冷エタノール(100 ml)中で粉砕し, 遠心分離(3,500×g, 5分間)して沈澱を得た。同様の操作をさらに2回繰り返して脱水粉末試料とした。脱水粉末試料(80 mg)に水(8 ml)を加えてホモジナイズし, そのうちの2 mlを25 mlに定容して懸濁液試料とした。他の2 mlを水酸化ナトリウム(終濃度, 0.9N)溶液を加えて完全糊化試料とした後, 酢酸で中和して25 mlに定容した(松永と貝沼, 1981; 松永ら, 1985)。貝沼ら(1981)の方法に

従って、各試料(2 ml)の β -アミラーゼとプルラーナーゼによる分解性を測定し、その比から米飯の糊化度を算出した。

(7)米飯光沢

光沢計(日本電色工業, VSG-1D)を用いた。測定条件は以下の通りである。試料, 米飯20 g(品温約30°C); 投光スリット, 20°; 受光スリット, 20°; 入射角, 75°; 反射角, 75°; 感度, 170%。

(8)熱水可溶性でんぷん量

炊飯直後の米飯(20 g)に沸騰水(200 ml)を加え、緩やかに攪拌して熱水可溶性物質を抽出した。抽出液をガラスフィルター(柴田, 11G3)で吸引口過して米飯粒を除去し、ロ液(1 ml)に含まれる遊離還元糖量を、Somogyi(1952)およびNelson(1944)の方法によって定量した。ロ液の一部(1 ml)をトリフルオロ酢酸(終濃度, 2N)で110°C, 4時間水解した後50倍に希釈し、同様の方法で全糖を定量した。全糖量と遊離還元糖量の差に0.90(Fraser および Hoodless, 1963)を乗じて、熱水可溶性でんぷん量とした。

(9)米飯テクスチャー

Okabe(1979)の方法に準じて、テクスチュロメーター(General Foods, GTX-2)による3粒法で米飯テクスチャーを測定した。測定項目は硬さ、粘りおよび粘り/硬さとした。測定条件は以下の通りである。試料, 米飯3粒(品温約30°C); プランジャー, ルサイト製円筒(直径18 mm); クリアランス, 0.2 mm; 咀嚼速度, 6回/分; 電圧, 1 V; 記録紙速度, 750 mm/分。

3. 結果

(1)ジャポニカ種米(ゆきひかり)の炊飯特性

はじめに、遺伝的要因のために新米の状態でも米飯適性が低いと評価されるジャポニカ種のゆきひかりについて、その炊飯特性を米飯適性が高いと評価されるコシヒカリと比較した。

表I-1にゆきひかり米飯の官能スコアを示す。ゆきひかり米飯では全特性の官能スコア平均値が負となり、コシヒカリ米飯よりも食味が劣ると評価された。とくに、粘り、硬さおよび光沢の官能スコアが低く、これらの官能特性が総合評価に影響をあたえていると推察された。一方、香りおよび味については、他の特性ほど低スコアにならなかつたことから、米飯の香りと味が米飯適性の低い米の米飯食味にあたる影響は、粘り、硬さおよび光沢よりも小さいこと

が示唆された。

表 I-2 にゆきひかりとコシヒカリの成分および米飯特性値を示す。成分として米飯適性に影響をあたえるといわれているタンパク質 (Juliano ら, 1965; 石間ら, 1974) およびアミロース (Juliano, 1981; Sandhya Rani および Bhattacharya, 1985; Morrison および Nasir Azudin, 1987) 含量を, 米飯特性値として米飯糊化度, 米飯光沢, 熱水可溶性でんぷん量および米飯テクスチャー特性値 (硬さ, 粘りおよび粘り/硬さ) を選んだ。ゆきひかりは, コシヒカリよりタンパク質およびアミロース含量がともに高かった。ゆきひかり米飯の特徴をコシヒカリ米飯との比較で述べると, 米飯糊化度, 米飯光沢および熱水可溶性でんぷん量が有意に低かった。ゆきひかりの米飯テクスチャー特性値は, コシヒカリ米飯より粘りが弱く, 硬さが大であり, 粘り/硬さも有意に低かった。

(2) インディカ種米の炊飯特性

粘りがほとんどなく硬いインディカ種米の米飯は, 粘りが強くやわらかい米飯を好む日本人には, 米飯適性が著しく低いと評価される。インディカ種米の成分および炊飯特性を, ジャポニカ種のなかでは米飯適性が低いと評価されるゆきひかりと比較した。

表 I-3 にゆきひかり米飯を基準試料に用いたインディカ種米米飯の官能スコアを示す。インディカ種米は, いずれの米飯も全特性の官能スコア平均値が負となり, 米飯適性が低いとされるジャポニカ種米よりも, さらに低食味であると評価された。とくに, 粘り, 硬さおよび光沢の官能スコアが低く, これらの官能特性が, インディカ種米米飯の総合評価に強く影響していることが示唆された。しかし, 香りおよび味については, 粘り, 硬さおよび光沢ほど低スコアにならなかつたことから, インディカ種米の米飯食味にあたえる香りと味の影響は, さほど大きくないと推察された。

表 I-4 にインディカ種米の成分および米飯特性値を示す。インディカ種米のタンパク質含量は, いずれの供試米もゆきひかり (表 I-2 参照) より低かった。インディカ A のアミロース含量はゆきひかりより低かったが, インディカ B および C では高かった。インディカ種米の米飯糊化度および米飯光沢は, いずれの供試米もゆきひかり米飯より低く, 熱水可溶性でんぷん量も少なかった。インディカ種米の米飯テクスチャー特性値は, いずれの供試米米飯もゆきひか

り米飯より粘りが弱く、硬さが大であった。粘り／硬さは、いずれの供試米米飯も0.1以下であり、ゆきひかり米飯より著しく低かった。

(3) ジャポニカ種（アキヒカリ）古米の炊飯特性

遺伝的要因以外で米飯適性が低いと評価されるジャポニカ種の古米について、その炊飯特性を新米と比較した。

表I-5にアキヒカリの新米米飯を基準試料に用いたアキヒカリ自然古米と人工古米の米飯官能スコアを示す。自然古米および人工古米の米飯では、全特性の官能スコア平均値が負となり、新米米飯より食味が劣ると評価された。とくに、光沢、香りおよび粘りの官能スコアが低く、古米米飯ではこれらの官能特性が総合評価に強く影響していることが示唆された。一方、味についての評価は、古米米飯と新米米飯とでは、大きな差は認められなかった。

表I-6にアキヒカリ古米および新米の成分と米飯特性値を示す。タンパク質およびアミロース含量は、同一品種のため、古米と新米との間に差は認められなかった。自然古米および人工古米とともに新米より米飯糊化度が低く、米飯光沢が小さかった。両古米米飯の熱水可溶性でんぷん量は、新米米飯の半分以下であった。米飯テクスチャー特性値は、両古米の米飯ともに、新米米飯に比べて粘りが弱く、硬さが大で、粘り／硬さは有意に低かった。

4. 考察

米飯適性が低い米の炊飯特性改変に先立ち、これらの米に共通する炊飯特性を明らかにしておく必要があると考え、遺伝的に米飯適性が低いジャポニカ種のゆきひかり、インディカ種米3品種および保蔵期間中に米飯適性が低下したアキヒカリ古米について官能評価、成分分析および米飯特性値の測定を行った。

官能検査の結果から、食味が劣ると評価された米飯適性が低い米の米飯は、適性が高い米の米飯と比べて硬くて、粘りがなく、光沢がないことが明らかとなった。これらの評価は、米飯テクスチャーおよび米飯光沢の機器測定値ともよく一致した。古米の米飯では、これらの特性のほかに、古米臭による香りの悪さも食味に影響していることが明らかとなった。しかし、米飯の味については、いずれの供試米でも、官能評価にそれほど大きな影響をあたえていないことが確認された。これらの結果から、米飯特性のうちで、硬さ、粘

りおよび光沢が米飯の品質を決める重要なパラメータとなると結論できる。古米の場合には、この3つのパラメータに加えて、香りを考慮しなければならない。

Okabe (1979) は、粘り／硬さの値から、米飯を評価できると述べている。粘り／硬さは、確かに、米飯の硬さと粘りを同時に評価できるパラメータとして有効であると考えられ、データ蓄積量が多い。本研究でも、このパラメータを採用した。しかし、実際にはこのパラメータだけでは不十分で、これに光沢と香りを考慮して、はじめに米飯評価は完全なものとなることを提唱したい。

米飯の硬さは、前述のように、米のタンパク質含量およびアミロース含量に影響されることが知られているが、どちらの要因が強く影響するのかは定かではない。米飯の硬さは米粒全体の特性を反映するため、その要因を明確に説明することは難しい。本研究でも、供試米のタンパク質およびアミロース含量を測定したが、古米と新米では両者の含量は変わらないにもかかわらず、米飯の硬さ異なった。従って、米飯適性が低い米の米飯が硬い要因としては、タンパク質やアミロースの含量のほかに、他の要因も関与していると考えられた。米飯適性が低い米の米飯は、いずれも米飯糊化度が基準試料より低かったために、糊化度の低さが米飯の硬さに影響をあたえていることが示唆された。現在までに、米飯の硬さは米粒のタンパク質含量 (Juliano ら, 1965; 石間ら, 1974)、アミロース含量 (Juliano ら, 1981) および胚乳細胞壁の強度 (松田および長南, 1990) と相関するといわれてきたが、米飯の硬さを決定する直接の要因は、米飯の糊化度であろう。おそらく、タンパク質と細胞壁は、でんぷんを物理的に微小空間に閉じ込めることによって膨潤を阻止しているのであろうし、アミロースは老化しやすいために、温度が低下してくると、膨潤した状態を保てなくなるのであろう。本研究は、米飯の硬さに関する要因はでんぷんの膨潤度の低さであり、やわらかい米飯を得るためには、でんぷんを閉じ込めている微小空間を破壊または拡大すればよいという新しい仮説を提唱する。

一方、米飯の粘りは表面特性であるため、粘る米飯と粘らない米飯の違いは、比較的説明がしやすい。従来より、よく粘る米飯の表面には糊状層が多いといわれている。近年、松田ら (1989) によって米飯表面の電子顕微鏡観察が進められ、粘りの強い米飯の表面には $0.4 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 程度の穴が無数に混在した網目構造が認められると報

告され、この網目構造は高度に糊化したでんぷん糊からなると推定されている。米飯適性が高いコシヒカリ米飯からは多量の熱水可溶性でんぷんが抽出されたが、ゆきひかり米飯ではその量が3/4程度であった。古米米飯は新米米飯よりも、熱水可溶性でんぷん量が1/2程度に減少していた。粘りがほとんどないインディカ種米飯では、熱水可溶性でんぷん量も極めて少なかった。以上の結果から、米飯適性が低い米は炊飯過程で生成される熱水可溶性でんぷん量が少ないために、米飯表面を被覆するでんぷん糊が少なくなり、その結果、米飯に粘りが発現しないと考察した。でんぷん糊は米粒表面に等方性の被膜を形成するために、光の乱反射を抑制して米飯に光沢をあたえるはずである。しかし、米飯適性が低い米の米飯ではこの被膜が形成されにくいために、光沢もでにくいものと思われる。これらの結果から、米飯に粘りと光沢をあたえるには、米粒表面のでんぷん粒を適度に米粒外に遊離させ、炊飯過程ででんぷんを十分に糊化させて、飯粒を覆えばよいと結論する。

5. 要約

本章では、米飯適性が低い米の米飯に共通する炊飯特性には「硬い」、「粘りが無い」および「光沢が無い」の3つの要因があることを明らかにした。古米米飯ではこれらのほかに、「香りが悪い」ことを明らかにした。さらに、硬さの特性が悪い要因として、米飯糊化度が低いことを、また、粘りおよび光沢特性が悪い要因として、熱水可溶性でんぷんの生成量が少ないことを明らかにした。これらの結果から、やわらかい米飯を得るためには、米粒全体にわたってでんぷんをとじこめている微小空間を破壊または拡大する処理を施せばよく、粘りと光沢を発現させるためには、米粒表面のでんぷんを適度に遊離させ、それを十分糊化させればよいと考察した。

表 I-1 米飯適性が低いジャポニカ
種米^aの米飯官能スコア^b

		供 試 米
特 性		ゆきひかり
		av. \pm s. e.
光 沢 ^c		-1.45 \pm 0.51
香 り ^d		-0.24 \pm 0.36
味 ^e		-0.77 \pm 0.48
硬 さ ^f		-1.28 \pm 0.87
粘 り ^g		-1.52 \pm 0.50
総合評価 ^h		-1.41 \pm 0.52

- ^a ゆきひかりを供試米とした。
^b コシヒカリを基準試料とした。
^c 基準試料と比べて非常に光沢がある(+5点)から非常に光沢がない(-5点)までの評定尺度法。
^d 基準試料と比べて非常によい(+5点)から非常に悪い(-5点)までの評定尺度法。
^e 基準試料と比べて非常にやわらかい(+5点)から非常に硬い(-5点)までの評定尺度法。
^f 基準試料と比べて非常に粘りがある(+5点)から非常に粘りがないまでの評定尺度法。
^g 基準試料と比べて非常に好ましい(+5点)から非常に好ましくない(-5点)までの評定尺度法。

表 I-2 米飯適性が低いジャポニカ種米^aの成分および米飯特性値

成 分	供 試 米	
	ゆきひかり	コシヒカリ ^b
タンパク質 ^c (g)	8.2	5.7
アミロース ^c (g)	20.0	17.2
米飯特性値	av. ± s.e.	av. ± s.e.
米飯糊化度 (%)	94.2 ± 0.1***	97.1 ± 0.3
米飯光沢 (%)	20.1 ± 0.7**	24.1 ± 0.6
熱水可溶性でんぷん ^d (g)	6.2 ± 0.5*	8.3 ± 0.4
米飯テクスチャー特性値		
硬 さ (kg)	2.52 ± 0.05***	2.28 ± 0.01
粘 り (kg)	0.43 ± 0.02***	0.68 ± 0.02
粘り/硬さ	0.17 ± 0.01***	0.28 ± 0.02

^a ゆきひかりを供試米とした。

^b 統計解析の基準とした。5%、1%および0.1%水準で基準(コシヒカリ)値に対して有意差が認められたものを*、**および***で表した。

^c 米100 gより。

^d 米飯100 gより。

表 I-3 インディカ種米の米飯官能スコア^a

特 性 ^b	供 試 米		
	インディカ A	インディカ B	インディカ C
	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
光 沢	-2.71±0.29	-3.17±0.20	-4.07±0.22
香 味	-1.96±0.89	-2.09±0.29	-2.29±0.34
硬 さ	-1.75±0.41	-2.01±0.49	-2.70±0.49
粘 り	-2.12±0.52	-3.74±0.16	-4.64±0.11
総 合 評 価	-2.55±0.36	-3.46±0.30	-4.46±0.24
	-1.70±0.23	-3.32±0.31	-4.37±0.29

^a ゆきひかり（ジャポニカ種）を統計解析の基準試料とした。

^b 表 I-1 を参照。

表 I-4 インディカ種米の成分および米飯特性値

成分	インディカ種供試米		
	A	B	C
タンパク質 ^a (g)	7.1	6.6	6.2
アミロース ^a (g)	17.2	28.7	37.1
炊飯特性値 ^b	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
米飯糊化度(%)	96.3 ± 0.2***	86.9 ± 0.2***	79.8 ± 0.2***
米飯光沢(%)	17.9 ± 1.1'	15.9 ± 0.6***	13.9 ± 0.8***
熱水可溶性でんぷん ^c (g)	3.5 ± 0.3**	2.8 ± 0.4**	1.9 ± 0.2**
米飯テクスチャー特性値 ^b			
硬さ(kg)	3.08 ± 0.05***	3.47 ± 0.05***	3.95 ± 0.05***
粘り(kg)	0.27 ± 0.03***	0.16 ± 0.02***	0.04 ± 0.01***
粘り/硬さ	0.09 ± 0.01***	0.05 ± 0.01***	0.01 ± 0.01***

^a 米100 gより.

^b ゆきひかり(ジャポニカ種)を統計解析の基準試料とした。5%、1%および0.1%水準で基準値(ゆきひかり、表 I-2 参照)に対して有意差が認められたものを', **および***で表した。

^c 米飯100 gより.

表 I-5 ジャポニカ種古米^aの米飯官能スコア^b

特 性 ^c	供 試 米	
	自然古米	人工古米
	av. \pm s. e.	av. \pm s. e.
光 沢	-2.26 \pm 0.50	-3.64 \pm 0.33
香 味	-2.78 \pm 0.57	-2.80 \pm 0.27
硬 さ	-0.98 \pm 0.42	-1.02 \pm 0.37
粘 り	-1.26 \pm 0.39	-1.66 \pm 0.42
粘 り	-2.12 \pm 0.48	-3.20 \pm 0.30
総合評価	-2.86 \pm 0.49	-3.36 \pm 0.46

^a アキヒカリを供試米とした。

^b 新米を基準試料とした。

^c 表 I-1 を参照。

II 穀類特性改良技術の開発

表 I-6 ジャポニカ種古米^aの成分および米飯特性値

	供 試 米		
	自然古米	人工古米	新 米 ^b
成 分			
タンパク質 ^c (g)	6.8	7.0	6.6
アミロース ^c (g)	20.0	20.4	19.6
米飯特性値	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
米飯糊化度(%)	93.4 ± 0.5 [*]	91.1 ± 0.3 ^{**}	96.8 ± 0.2
米飯光沢(%)	15.3 ± 0.5 ^{***}	14.2 ± 0.8 ^{***}	23.4 ± 0.4
熱水可溶性でんぷん ^d (g)	4.0 ± 0.4 ^{***}	3.7 ± 0.5 ^{***}	7.9 ± 0.3
米飯テクスチャー特性値			
硬 さ(kg)	2.71 ± 0.04 ^{***}	3.08 ± 0.05 ^{***}	2.18 ± 0.06
粘 り(kg)	0.35 ± 0.03 ^{***}	0.28 ± 0.01 ^{***}	0.49 ± 0.02
粘 り/硬 さ	0.13 ± 0.01 ^{***}	0.09 ± 0.01 ^{***}	0.23 ± 0.01

^a アキヒカリを供試米とした。

^b 統計解析の基準とした。5%, 1%および0.1%水準で基準(新米)値に対して有意差が認められたものを^{*}, ^{**}および^{***}で表した。

^c 米100 gより。

^d 米飯100 gより。

II 炊飯特性改変技術の開発

前章で得られた結果に基づき、本章では、米飯適性が低い米の米飯の硬さ、粘りおよび光沢を積極的に改変するための技術を開発し、さらに、古米米飯における古米臭低減化の方法について検討を行った。IIでは、供試米にジャポニカ種のアキヒカリ古米とインディカ種米3品種を選定した。アキヒカリは、ジャポニカ種の中では標準的食味の米と評価される。アキヒカリ古米の炊飯特性が改変できれば、米飯適性の高い良食味米の古米については改変が容易であり、同様に、インディカ種米の食味改変に成功すれば、ゆきひかりのようなジャポニカ種で米飯適性が低い米の改変は容易と考えられる。本章は、米飯をやわらかくし、粘りと光沢を発現し、古米臭を除去する方法を開発し、その機構を説明することを目的とする。

§ 1 硬さの改変

1. 緒言

前章では、米飯適性が低い米に共通する特性のひとつに米飯が硬いことを、硬さに関連する主要因として米飯糊化度が低いことを明らかにした。

米のでんぶんは、細胞壁で仕切られた胚乳細胞のアミロプラスト中に複粒の形態で存在する(Buttrose, 1962; Juliano および Bechtel, 1985a)。炊飯過程で米のでんぶんは糊化膨潤するが、でんぶんの周囲には種々の壁や膜が存在しており、でんぶんの自由な膨潤を制約している。そのため、でんぶんは水の供給が十分に行われても、でんぶん糊のようにもとの体積の数百倍の膨潤度を示すことはない。その意味で、米を炊飯したときの膨化度や米飯テクチャーは、でんぶんの潜在的な膨潤力と、でんぶんの周囲にあってその膨潤を制約している要因とのバランスにより、大きく影響を受けていると考えられる。

胚乳細胞壁や細胞膜およびアミロプラスト包膜が遺伝的に強固な品種では、炊飯過程ででんぶんの糊化膨潤が抑制されるため、硬くて粘りのない米飯になることが推察される。Fry (1986)は貯蔵過程で米が古米化するに伴い、胚乳細胞壁に架橋構造が形成されるため

に強度が増して、でんぶんの糊化膨潤が抑制されるようになると報告している。これらの要因により、ジャボニカ種古米やインディカ種米などの米飯適性が低い米では、米飯適性が高い米に比べて米飯が硬くなると推察される。

本節では、胚乳細胞壁、細胞膜およびアミロプラスト包膜の一部を破壊することによって、でんぶんの糊化膨潤の程度を向上させれば、米飯適性が低い米の米飯をやわらかくできるというアイディアのもとに、供試米に高圧処理または酵素処理を行い、やわらかい米飯をあたえる条件を解明することを目的とした。

2. 実験材料および方法

(1) 材料

1) 供試米

I-2-(1)に記載したジャボニカ種アキヒカリの自然古米および人工古米、タイ産インディカ種米のインディカA、インディカBおよびインディカCを使用した。

2) 酵素

a. 多糖分解酵素

セルラーゼ・オノヅカ3S (ヤクルト, 3,000単位/g 固形分, 以後セルラーゼと略す) およびペクトリアーゼ (盛進製薬, 113単位/g 固形分) を使用した。これらの酵素はいずれも食品工業用途のものである。

b. 脂質分解酵素

リパーゼ (Sigma Chemical, 9.5単位/mg 固形分) を使用した。本酵素は試薬用標品である。

c. タンパク質分解酵素

アクチナーゼA S (科研製薬, 250,000単位/g 固形分, 以後アクチナーゼと略す) およびトランスグルタミナーゼ (味の素, 3単位/mg 固形分) を使用した。これらの酵素はいずれも食品工業用途のものである。

(2) 高圧処理

供試米 (145 g) に水 (145 ml) を加えてプラスチック袋に封入し, 20°C で20分間浸漬した。米を封入した袋を高圧発生装置 (三菱重工業, MPP-7000) に入れ, 所定圧力 (結果に記載) で所定時間 (結果に記載) 加圧した。加圧終了後, 直ちに常圧に戻した。供試米の温

度は加圧中20℃に維持した。加圧処理米はステンレス製のふるいを通して浸漬液を除去した後、水(200 ml)で3回洗米してから炊飯した。

(3) 酵素処理

酵素(使用量は結果に記載)水溶液(200 ml)に供試米(145 g)を入れ、多糖分解酵素は50℃で、脂質およびタンパク質分解酵素は37℃で、それぞれ1時間処理した。処理米はステンレス製のふるいを通して処理液を除去した後、水(200 ml)で3回洗米してから炊飯した。

(4) 炊飯

米に乾物重量の1.5倍量の水または沸騰水を加え、電器炊飯器(松下電器, SR-3F)で炊飯した。以後、水を加えて炊飯する方法を普通炊飯法、沸騰水を加えて炊飯する方法を湯炊き炊飯法と称する。通電時間は平均18分間で、その後12分間蒸らし操作を行った。

(5) 吸水量

水浸漬米および高圧または酵素処理米をステンレス製のざるに入れて軽く振り、米粒表面に付着した水を除去した後、重量を測定した。炊飯直後の米飯も重量を測定した。吸水量は米の乾物重量に対する重量増加率(対米重量%)として表示した。

(6) 米飯テクスチャー

テクスチュロメーター(General Foods, GTX-2)を用いる3粒法で測定した。測定項目は硬さ、粘りおよび粘り/硬さである。測定条件はI-2-(9)と同様である。

(7) 米飯光沢

光沢計(日本電色工業, VSG-1D)で測定した。測定条件はI-2-(7)と同様である。

(8) 官能評価

10名からなる消費者パネルを用いた。評価特性は米飯の光沢、香り、硬さ、粘りおよび総合評価の5特性とした。Iの結果より、米飯の味は総合評価に大きく影響しなかったことから、評価特性より削除した。基準試料には無加圧米米飯または酵素無処理米米飯を使用した。評価方法はI-2-(10)と同様である。

(9) 走査型電子顕微鏡による米飯組織の観察

自然古米を高圧処理、アクチナーゼおよびセルラーゼ処理して炊飯した。無処理米も同様に炊飯した。米飯を自然乾燥し、乾燥米飯の断面を走査型電子顕微鏡(日立, S-510)により、600倍の倍率

で観察した。

3. 結果

(1) 高圧処理

高圧処理は生体高分子に圧力変性を引き起こす。その結果、高分子成分は構造変化を起こして生体膜が損傷する。加圧状態から常圧に戻すときに急激に減圧した場合にも、生体膜は損傷する（月向，1990）。どちらが有効に作用するかは不明であるが、高圧処理は米の胚乳細胞壁、細胞膜およびアミロプラスト包膜の破壊に有効な手段であると考えられる。はじめに、ジャポニカ種古米に高圧処理を行い、米飯の硬さの改変を試みた。

うるち米の浸漬による炊飯前吸水量は、通常30%前後である（貝沼，1979）。加圧をゼロ（1気圧，無加圧）から500 MPaまで変化させて10分間処理を行った結果、300 MPa以下の処理では、吸水量は無加圧の場合とほぼ同様であった。しかし、圧力が400 MPa以上になると、吸水量は30%を越えた。前者では普通炊飯が可能であったが、後者では湯炊き炊飯を用いなければ炊飯が困難であった。

表II-1に高圧処理した古米の吸水量および米飯テクスチャー特性値を示す。自然古米および人工古米ともに、いずれの圧力で処理した場合にも、米飯の硬さは無加圧米飯より低下した。硬さは、圧力が高くなるに伴い低下する傾向にあった。なお、高圧処理時間を10分間から30分間に延長して効果を比較したところ、時間延長による顕著な効果は認められなかったことから、処理時間は10分間で十分であると判断した。

高圧処理は粘りの発現にも有効であった。とくに、自然古米では100 MPa処理米飯の粘りが大きく増加し、粘り/硬さが新米に近い0.23にまで向上した。しかし、200 MPa以上の高圧処理では粘りが100 MPaの場合より減少し、粘り/硬さも低下した。人工古米では、高圧処理米飯は無加圧米飯より粘りがわずかに増加したものの、粘りの顕著な改変効果は認められなかった。

つぎに、100 MPa高圧処理米飯を使用して、高圧処理が米飯の官能評価にあたえる効果を検討した。基準試料には無加圧米飯を使用した。表II-2に高圧処理米飯の官能スコアを示す。100 MPa高圧処理米飯は、自然古米、人工古米ともに、全特性の官能スコア平均値が正となり、無加圧米飯に比べて、硬さ以外の特性も改変

されたと評価された。とくに、自然古米の米飯では光沢、香りおよび粘りのスコアが向上した。

高圧処理による米粒組織の変化を検討するために、100 MPa処理した自然古米の米飯断面を、走査型電子顕微鏡で観察した。図II-1に示すように、高圧処理米飯には、無加圧米飯には認められない胚乳細胞壁の部分的な破壊が観察された。

つぎに、インディカ種米3品種に対して高圧処理を行った。圧力は50~200 MPa、処理時間は10分間とした。表II-3に高圧処理したインディカ種米の米飯テクスチャー特性値を示す。インディカAは50および100 MPaの高圧処理で米飯の硬さが低下し、粘りも増加した。インディカBおよびCでも、高圧処理によって米飯の硬さは低下したが、粘りの増加は認められなかった。データは省略したが、高圧処理したインディカAの米飯は、無加圧米飯と比べて、全特性について官能スコアの向上が認められた。

(2) 酵素処理

植物の生体膜はセルロース、ヘミセルロース、ペクチン、脂質およびタンパク質から構成されている。酵素でこれらの成分を水解することは、胚乳細胞壁、細胞膜およびアミロプラスト膜の部分的破壊に有効であると考えられる。セルラーゼ、ペクトリアーゼ、リパーゼ、アクチナーゼおよびトランスグルタミナーゼをジャボニカ種古米およびインディカ種米に作用させることにより、米飯の硬さの改変を試みた。

表II-4に酵素処理したジャボニカ種古米の米飯テクスチャー特性値を示す。酵素使用量は、食品工業用途では米重量の1/5,000と1/1,000の2段階、試薬用標品では1/50,000と1/10,000の2段階とした。処理時間はすべて1時間とした。酵素処理米の炊飯前後の吸水量は、無処理米と変わらなかった。

セルラーゼ、ペクトリアーゼおよびアクチナーゼ処理した自然古米および人工古米の米飯は、いずれも無処理米飯より硬さが低下した。とくに、両古米ともにアクチナーゼ(酵素量1/1000)処理した米の米飯が、最もやわらかくなった。一方、トランスグルタミナーゼおよびリパーゼ処理では、硬さの改変効果は認められなかった。

セルラーゼ、ペクトリアーゼおよびアクチナーゼ処理(いずれも酵素使用量1/1,000)は、粘りの発現にも有効に作用した。とりわけ、

アクチナーゼ処理は粘りの改変効果が高く、自然古米および人工古米の米飯の粘りが著しく増加した。とくに、自然古米の米飯では、粘り/硬さ(0.28)が新米米飯(表I-6参照)に相当するまでに上昇した。

改変効果が認められたセルラーゼ、ペクトリアーゼおよびアクチナーゼ処理米(自然古米)の米飯について、無処理米米飯を基準試料として官能評価を行った。表2-5に酵素処理米米飯の官能スコアを示す。いずれの酵素処理も、全特性の官能スコア平均値が正となり、無処理米米飯と比べて、硬さ以外の特性も改変されたと評価された。全特性において、アクチナーゼ処理米米飯のスコアが最も高くなり、中でも粘り、硬さ、光沢および総合評価が高スコアとなった。アクチナーゼ処理は、表II-2に示した高圧処理またはセルラーゼおよびペクトリアーゼ処理と比較して、香りの改変効果も高いことが明らかとなった。

酵素処理による米粒組織の変化を検討するために、セルラーゼおよびアクチナーゼ処理米(酵素使用量1/1,000)の米飯断面を、走査型電子顕微鏡により観察した。図II-2に示すように、セルラーゼ処理米米飯では胚乳細胞壁のほとんどが分解されて消失していたが、アクチナーゼ処理米米飯では細胞壁の損傷はほとんど観察されなかった。

つぎに、インディカ種米3品種に対して、ジャポニカ種古米で効果が認められたセルラーゼ、ペクトリアーゼおよびアクチナーゼ処理を行った。酵素使用量は米重量の1/1,000、処理時間は1時間とした。表II-6に酵素処理したインディカ種米の米飯テクスチャー特性値を示す。インディカAは、いずれの酵素処理でも米飯の硬さは低下した。アクチナーゼ処理では、粘りの顕著な増加も認められた。インディカBおよびCも酵素処理によって米飯の硬さは低下したが、粘りの発現はほとんど認められなかった。データは省略したが、酵素処理による硬さの改変効果は、官能評価においても確認された。

4. 考察

胚乳細胞壁や生体膜の部分的破壊手段として、米飯適性が低い米に高圧処理を行ったところ、高圧処理は米飯の硬さの低下に有効に作用した。高圧処理が食品成分に与える影響については、近年、多くの研究が行われており、100 MPa程度の高圧処理ではでんぷん

(林ら, 1987) およびタンパク質 (Zipp および Kauzmann, 1973) の構造には, ほとんど変化をあたえないことが報告されている。従って, 100 MPa の高圧処理で得られた米飯の硬さおよび粘りの改変効果は, でんぷんやタンパク質などの主要成分が高圧によって影響を受けたためではなく, 細胞壁や生体膜の部分的破壊によって, でんぷんの糊化膨潤が促進された結果であると考察される。

近年, Shibuya および Iwasaki (1978; 1990) によって米の胚乳細胞壁の構造が検討され, 米の胚乳細胞壁はペクチン性多糖やヘミセルロースというマトリックス成分に富んだ若い細胞壁によって構成されていることが明らかとされた。セルラーゼやベクトリアーゼなどの多糖分解酵素は胚乳細胞壁の部分的破壊に寄与し, その結果, でんぷんの糊化膨潤が促進されて, 炊飯特性が向上したことは明らかである。他の多糖分解酵素, 例えばエンドキシラーゼでも同様の効果が報告されている (Shibuya および Iwasaki, 1982)。

各種酵素処理の中で, アクチナーゼ処理が米飯の硬さおよび粘りの改変に最も有効に作用した。この事実は, 炊飯特性の改変には, 細胞壁や生体膜の主要構成成分である多糖を水解するよりも, 胚乳内に含まれるタンパク質の水解がより有効に作用することを意味している。この機構については, §2 で検討する。

高圧処理または酵素処理において, 自然古米ではその改変効果が顕著に現れた。しかし, 古米化が進行した人工古米では, 炊飯特性の顕著な改変は困難であった。この結果は, 古米化に伴って胚乳細胞壁の強度が増加したという単独の理由よりも, 古米化による遊離脂肪酸の増加 (Yasumatsu ら, 1964; 渋谷ら, 1977) やタンパク質の変性 (森高および安松, 1972b) などが, 複合的に作用しあった結果であると考えられる。古米の炊飯特性改変にあたっては, 古米化の程度により処理条件を検討する必要がある。

インディカ種米は, 品種によって高圧処理または酵素処理の効果が大きく異なった。インディカAはジャポニカ種の自然古米と同様の処理で, 硬さおよび粘りついて十分な改変効果が得られ, これらの処理でインディカ種米飯が, ジャポニカ種米飯にきわめて類似したテクスチャーをもつように変化した。これらの処理は, インディカBおよびCの米飯の硬さ改変には有効であったが, 粘りの発現にはほとんど効果を示さなかった。

本実験の結果から, 米飯適性が低い米の米飯の硬さ改変には, 高

圧処理またはセルラーゼ、ベクトリアーゼおよびアクチナーゼによる酵素処理が有効であることが判明した。これらの処理が米飯の硬さの低下にあたえた作用機構は、アクチナーゼ処理を除いて、いずれも細胞壁および生体膜の部分破壊によるでんぷんの糊化膨潤の促進であると結論された。

§ 2 粘りおよび光沢の改変

1. 緒言

§ 1において、米飯適性が低い米の米飯の硬さ改変には、高圧処理または酵素処理が有効であることを明らかにした。なかでも、アクチナーゼ処理は米飯を軟化させただけではなく、粘りも著しく増大させた。この結果から、米飯の粘り発現にはタンパク質が関与していると推察された。

ジャポニカ種精白米には7~13%、インディカ種精白米には7~15%のタンパク質が含まれており、でんぷんにつぐ主要成分となっている。タンパク質組成も明らかにされており、グルテリン、グロブリン、アルブミン、プロラミンの順に多く存在する (Juliano および Bechtel, 1985b)。精白米の胚乳細胞に集積するタンパク質はプロテインボディとよばれるタンパク質顆粒に存在し、この顆粒はプロテインボディ I と II に分類される。プロテインボディ I は、直接集積によってプロラミンを蓄積する1~3 μm の微小なタンパク質顆粒である。プロテインボディ II は、グルテリンとグロブリンをブロック状に集合して間接集積する3~5 μm の顆粒である。米飯食味とくに、米飯の硬さに影響をおよぼす成分はプロテインボディ II に存在すると推定されているが、米飯の粘りに影響をあたえるタンパク質成分については、現在までに全く明らかにされていない。

本節では、タンパク質成分が米飯の粘りにあたえる影響をモデル実験によって解明することにより、米飯の粘り発現に寄与したプロテアーゼの作用機構を明らかにするとともに、米飯適性が低い米の米飯に粘りをあたえる技術基盤を確立することを目的とした。

2. 実験材料および方法

(1) 材料

1) 供試米

I-2-(1)に記載したジャポニカ種アキヒカリの自然古米 (以後古米と略す) および新米、タイ産インディカ種米のインディカ A、インディカ B、インディカ C およびジャポニカ種ゆきひかりを使用した。

2) プロテアーゼおよび特異的インヒビター

a. プロテアーゼ

プロテアーゼには、アクチナーゼ E (科研製薬, 1,000 Tyr 単位 / mg 固形分), α -キモトリプシン (Sigma Chemical, 39 単位 / mg 固形分), コラゲナーゼ (和光純薬工業, 219 単位 / mg 固形分), パペイン (Sigma Chemical, 21 単位 / mg 固形分) およびトリプシン (Sigma Chemical, 11,800 単位 / mg 固形分) を使用した。これらのプロテアーゼはいずれも試薬用標品である。

b. プロテアーゼ特異的インヒビター

プロテアーゼ特異的インヒビターには N-tosyl-L-phenylalanine chloromethylketone (TPCK, Sigma Chemical), trans-epoxysuccinyl-L-leucylamido(4-guanidino)-butane (E-64, Sigma Chemical) および N- α -p-tosyl-L-lysine chloromethylketone (TLCK, Sigma Chemical) を使用した。これらのインヒビターはいずれも試薬用標品である。

3) 界面活性剤

食品工業用途のオレイン酸モノグリセリド (花王, 商品名; エキセル 0-95R) を使用した。

(2) 酵素処理および炊飯

酵素または酵素とインヒビターの水溶液 (200 ml, 濃度は結果に記載) に供試米 (145 g) を入れ, 所定温度 (結果に記載) で所定時間 (結果に記載) 処理した。処理米は II-S 1-2-(3) および (4) に記載の方法で洗米して炊飯した。

(3) でんぶん遊離量

酵素または酵素とインヒビターの水溶液 (2000 ml, 濃度は結果に記載) に供試米 (1 kg) を入れ, 所定温度 (結果に記載) で所定時間 (結果に記載) 処理した。処理液をガラスフィルター (柴田, 11G3) で吸引口過してでんぶんの懸濁液を採取し, Somogyi (1952) および Nelson (1944) の方法によって, ロ液 (1 ml) の遊離還元糖を定量した。ロ液 (1 ml) をトリフルオロ酢酸 (終濃度, 2N) で 110°C, 4 時間水解脱した後 50 倍に希釈し, 同様の方法で全糖を定量した。全糖量と遊離還元糖量の差に 0.90 (Fraser および Hoodless, 1963) を乗じてでんぶん遊離量とした。

(4) 塩溶性タンパク質の抽出および定量

古米 (100 g) を円筒口紙に入れ, 所定濃度 (結果に記載) の食塩水 (1,500 ml) を 3 回還流させることによって, 塩溶性タンパク質を抽出した。Protein assay kit (Bio-Rad, Kit I) を用いて, 抽出

されたタンパク質を定量した。

(5) でんぷん画分の調製

山本ら(1981)の方法に従った。48メッシュ以下に粉砕した供試米(100g)に0.2%水酸化ナトリウム溶液(500ml)を加え、冷却下で5時間攪拌した。得られた懸濁液を100および400メッシュのふるいを通して、業通り画分としてでんぷん懸濁液を採取した。懸濁液を遠心分離(2,500×g, 15分間)して、沈殿としてでんぷん画分を採取し、でんぷん画分に付着している水酸化ナトリウムを水洗除去した。水洗後、エタノールで脱水し、40℃で乾燥してから400メッシュのふるいを通した。

(6) 米飯テクスチャー

テクスチュロメーター(General Foods, GTX-2)による3粒法で測定した。測定項目は硬さ、粘りおよび粘り/硬さとした。測定条件はI-2-(9)と同様である。

(7) 米飯光沢

光沢計(日本電色工業, VSG-1D)で測定した。測定条件はI-2-(7)と同様である。

(8) 高速液体クロマトグラフィー

古米の0.05 mM食塩抽出液を透析し、凍結乾燥して乾燥物を得た。乾燥物(20 mg)を50 mMリン酸緩衝液(pH 7.0, 1 ml)に溶解し、トリブシン(0.3 mg)を用いて37℃で6時間水解した。古米(100 g)も同様にトリブシン(100 mg)で水解した。両者の反応生成物を遠心分離して上清を凍結乾燥し、高速液体クロマトグラフィー(以後HPLCと略す)に供した。測定条件は以下の通りである。カラム, Finepak SIL(日本分光); 試料, 2 mg(0.1%トリフルオロ酢酸 20 μl中); 移動相, 0.1%トリフルオロ酢酸-メタノール(グラジエント); 流速, 1 ml/分; 温度, 25℃; 検出, 220 nmにおける吸収。

(9) イオン強度

供試米(100 g)をプラスチック管に入れて脱イオン水(150 ml)を加え、25℃で0.5および30分間浸漬した。浸漬後、浸漬液をメンブレンフィルター(0.45 μm)でろ過して不溶性成分を除去し、浸漬液の無機成分(カルシウム, コバルト, 銅, 鉄, マグネシウム, リン, 硫黄, 珪素および亜鉛)を誘導結合プラズマ(ICP)発光分光装置(セイコー電子, SPS-1200A)で定量した。カリウムおよびナトリウムの定量には、原子吸光分光装置(セイコー電子, SAS-760)を使用した。

浸漬液のイオン強度(μ)の算出は、以下の式によった。

$$\mu = \sum C_i Z_i^2$$

ここで、 C_i はイオンの濃度、 Z_i はイオンの電荷である。

(10)円偏光二色性スペクトル

古米または新米(1 g)から0.05 M食塩水(10 ml)で塩溶性タンパク質を抽出した後、抽出液をAmicon, Centriprep-30で濃縮した。前述の方法で濃縮液のタンパク質を定量し、タンパク質濃度が0.2%になるようにPBS(10 mM Phosphate buffered saline)を加えた。抽出液の円偏光二色性スペクトル(以後CDスペクトルと略す)を旋光分散測定装置(日本分光, ORD/UV-5)で測定した。

(11)電気泳動

でんぶん画分(0.5 g)に40 mMジチオスレイトールを含む2% SDS(Sodium dodecylsulfate, 1 ml)を加え、37°Cで24時間タンパク質を抽出した。抽出液はLaemmli(1970)の方法に従い、12.5%のポリアクリルアミドゲルを用いるSDS電気泳動に供した。分子量マーキーにはウサギ骨格筋フォスフォリラーゼ b(MW, 97k), ウシ血清アルブミン(MW, 67k), オボアルブミン(MW, 43k), ウシカルボニックアンヒドラーゼ(MW, 31k)およびダイズトリプシンインヒビター(MW, 22k)を使用した。クマシーブリリアントブルー(R-250)で染色した。

(12)でんぶん糊化度

でんぶん画分(1 g)を水(100 ml)に懸濁し、穏やかに攪拌しながら70°Cで10分間加熱した。その後、100°Cの水蒸気中で30分間加熱し、でんぶん糊化液とした。I-2-(3)に記載した貝沼ら(1981)の方法に従って、でんぶん糊化液の糊化度を測定した。

(13)アミログラフ特性値

でんぶん画分(40 g)を水(450 ml)に懸濁してアミログラフ(Brabendar, OHG)に供し、ピークとブレイクダウンを測定した。温度履歴の設定は、Halick および Kelly(1959)の方法に準じた。

(14)粘性特性値

でんぶん画分(6 g)を水(200 ml)に懸濁して上述の方法で糊化液とし、回転粘度計(Haake, VT 500)を用いる粘性特性値の測定に供した。測定項目は見かけの粘性率、降伏応力、粘弾性係数および流動性指数である。測定条件は以下の通りである。試料、でんぶん糊化液 50 ml; センサーシステム, MD-DIN; ざり速度, 0-150 sec⁻¹; 試料温度, 30°C。

3. 結果

(1)塩溶性タンパク質の除去が米飯の粘りにあたえる影響

1) ジャポニカ種古米

精白米の表面を顕鏡すると、細胞壁が割れてでんぷん粒が露出している様子が観察される。洗米した米粒でもほぼ同様にでんぷん粒が観察される (Evers および Juliano, 1976) ことから、でんぷんは何らかの成分によって細胞内に固定されていることが示唆される。この成分を溶解してでんぷんを遊離させることができれば、古米米飯は粘るはずである。§1で明らかにしたように、古米米飯はアクチナーゼ処理を施すことによって粘りが発現したことから、でんぷんを固定している成分は、タンパク質と推定される。この推定を検証するために、プロテアーゼ処理過程ででんぷんが遊離する様式を、モデル実験によって解明した。

プロテアーゼ処理した古米から遊離したでんぷん量と、米飯の粘りおよび光沢値を表Ⅱ-7に示す。プロテアーゼの処理条件は、酵素使用量、米重量の1/5000; 処理温度、37℃; 処理時間、30分間とした。アクチナーゼ、 α -キモトリプシン、パペインおよびトリプシン処理は、いずれも古米からのでんぷん遊離量を増加させるとともに、処理米米飯の粘りおよび光沢を増加させた。プロテアーゼ処理によるでんぷん遊離量と処理米米飯の粘りとの間には、正の相関が認められた (相関係数, $r=0.91$)。各プロテアーゼに特異的に作用するインヒビターの存在下 (濃度, 1 mM) では、これらの現象は認められなくなった。以上の結果から、でんぷんを胚乳細胞に固定している成分はタンパク質であり、プロテアーゼ処理によって古米のでんぷん遊離量および処理米米飯の粘りと光沢が増加したのは、タンパク質が水解されたためであることが明らかとなった。

米の主要タンパク質はグルテリンである。Watanabe ら (1990a) は米アレルギー患者用の低アレルギー化米の作製にアクチナーゼを使用し、アクチナーゼにはプロテインボディに存在するグルテリンの水解能力はほとんどないと報告した。従って、プロテアーゼ処理によって水解されたタンパク質は、グルテリン以外のタンパク質であると推定された。トリプシンの基質特異性 (Neurath および Schwert, 1950) およびアルブミンとグロブリンの存在位置 (竹内ら, 1991) から推定して、アルブミンおよびグロブリンがでんぷんの固定に関与していると推察した。

この推察が正しければ、これらのタンパク質を古米から除去することにより、古米米飯に粘りが発現するはずである。濃度の異なる食塩水に古米を浸漬し、抽出される塩溶性タンパク質量と食塩水処理米米飯の粘りおよび光沢値を測定した(表II-8)。1 Mまでは食塩濃度の上昇に伴って抽出されるタンパク質量は増加し、米飯の粘りも増した(相関係数, $r=0.87$)。抽出された塩溶性タンパク質および古米粒にそれぞれトリプシン処理を行い、両者の水解物のHPLCパターンを比較した(図II-3)。両者のパターンはきわめて類似したのとなり、クロマトグラム間のパターン類似率(田村および大沢, 1969)は0.81となった。以上の結果から、でんぷんを細胞内に固定しているタンパク質は、塩溶性タンパク質であると同定した。

塩溶性タンパク質の古米化に伴う変性を検討した。古米100 gを150 mlの0.05 M食塩水に浸漬すると、20 mgの塩溶性タンパク質が溶出した。同様の操作を新米で行ったところ、4倍近い83 mgの塩溶性タンパク質が溶出した。両者のタンパク質のCDスペクトル(図は省略)を測定した結果、222 nmにおける相対θ値は、タンパク質濃度が等しいにもかかわらず、古米では新米の0.66倍となった。この結果から、古米では塩溶性タンパク質の変性が起きているため、タンパク質の溶解性が低下していると推察された。

米の無機成分は、米を水に浸漬している間に浸漬液へと拡散した(表II-9)。拡散量は浸漬時間に依存しており、0.5分間の浸漬では古米、新米ともに、微量の無機成分しか溶出しなかった。この結果は、無機成分のほとんどは洗米過程で溶出しなことを意味する。30分間浸漬した浸漬液には、古米、新米ともに多量の無機成分が溶出した。30分間浸漬液のイオン強度を求めたところ、古米、新米ともにその値は0.1に近いものとなった。この値は、未変性のタンパク質を溶解するのに十分なイオン強度である。CDスペクトルおよびイオン強度の測定結果から、新米では、米に含まれるイオンのみでタンパク質が溶出されるが、古米では、タンパク質が変性しているために米に含まれるイオンのみではそれらが溶出されず、でんぷんの遊離が阻害されると結論した。

2) インドイカ種米

ジャポニカ種古米の実験結果から、でんぷんを胚乳細胞に固定しているタンパク質は、アルブミンおよびグロブリンを主体とする塩溶性タンパク質であることが明らかとなった。インドイカ種米がジ

ジャポニカ種米より粘らない要因として、塩溶性タンパク質の溶解性の低さが示唆される。インディカ種米3品種でんぶん遊離量とタンパク質溶出量をゆきひかり(ジャポニカ種)と比較したところ(表II-10)、1時間浸漬によって遊離したでんぶん量は、インディカ種米では約12 mgであるのに対し、ゆきひかりでは46 mgであった。溶出タンパク質量も、インディカ種米ではゆきひかりの2分の1から3分の1程度であった。しかし、1 M食塩水に1時間浸漬して溶出する塩溶性タンパク質量には、インディカ種米とゆきひかりで大きな差は認められなかった。以上の結果から、インディカ種米は塩溶性タンパク質の低イオン強度での溶解性が低いためにでんぶんが遊離しにくく、米飯が粘らないと推定された。

§1で明らかにしたように、インディカAではアクチナーゼ処理によって米飯に粘りが発現した。しかし、インディカBおよびCでは、同様の処理によってでんぶん遊離量は増加したが(インディカB, 117 mg/100 g; インディカC, 124 mg/100 g)、粘りの発現は認められなかった。以上の結果から、インディカ種米のなかには、でんぶんの遊離量を増加させるだけでは、米飯に粘りが発現しない品種のあることが明らかとなった。

(2) でんぶん結合タンパク質の除去がでんぶんの糊化度および粘性特性に与える影響

1) ジャポニカ種古米

古米では、でんぶん遊離量が増加するに伴って米飯の粘りおよび光沢が増加した。でんぶんを米に添加して炊飯すると、古米飯に粘りおよび光沢が発現するはずである。無処理古米およびアクチナーゼ処理古米からそれぞれでんぶんを調製し、古米に添加して炊飯した(古米100 gにでんぶん7.5 gを添加)結果、でんぶん添加によって古米飯の光沢、粘りおよび粘り/硬さの値は増加した(表II-11)。とくに、アクチナーゼ処理古米のでんぶんを添加した米飯では、無処理古米のでんぶんを添加した米飯より、光沢およびテクスチャー特性値が有意に増加した。

Sano(1984)は、米でんぶんには60 kDのでんぶん結合タンパク質が結合していると報告している。古米から調製したでんぶんプロテアーゼ処理を施してでんぶん結合タンパク質を水解除去し、糊化液の特性を無処理でんぶん糊化液と比較した。プロテアーゼの処理条

件は、酵素使用量、でんぶん重量の1/1000；処理温度、37℃；処理時間、1時間とした。

プロテアーゼ処理でんぶんと無処理でんぶんをSDS電気泳動に供した結果（図II-4）、無処理でんぶんおよびトリプシン処理でんぶんには、でんぶん結合タンパク質と推定される60 kDのバンドが検出された。しかし、アクチナーゼおよびパバイン処理でんぶんには、タンパク質バンドは全く検出されなかった。 α -キモトリプシン処理でんぶんには、60 kDタンパク質のバンドがわずかに検出された。以上の結果から、アクチナーゼおよびパバイン処理では、でんぶん結合タンパク質が水解除去されることが判明した。

アクチナーゼ処理でんぶん（でんぶん結合タンパク質が除去されたでんぶん）と無処理でんぶん（でんぶん結合タンパク質が結合したでんぶん）の糊化液を調製し、物理化学的特性を比較した（表II-12）。でんぶん結合タンパク質を除去したでんぶんでは、無処理でんぶんより糊化度が上昇した。アミログラフ特性値ではピークおよびブレイクダウン、粘性特性値では見かけの粘性率（ずり速度10.8 s⁻¹）、降伏応力および粘弾性係数が、それぞれ上昇した。以上の結果から、プロテアーゼ処理によってでんぶん結合タンパク質を水解除去すると、でんぶんの糊化度および粘性特性が向上することが判明した。

2) インディカ種米

でんぶん結合タンパク質はアミロース合成酵素（Hirano および Sano, 1991）であるため、アミロース含量の高いインディカ種米には多量のでんぶん結合タンパク質が含まれる（Hamaker ら, 1991）。さきに、インディカBおよびCでは、プロテアーゼ処理によってでんぶん遊離量を増加させても、米飯に粘りが発現しないことを述べた。インディカBおよびCのでんぶんには、ジャポニカ種米でんぶんよりも多量のでんぶん結合タンパク質が結合しているために、それらがでんぶんの糊化膨潤を阻害していると推察される。インディカBおよびCのでんぶんにアクチナーゼ処理を施してでんぶん結合タンパク質を水解除去し、糊化液の糊化度および粘性特性値を測定した（表II-13）。処理条件はアクチナーゼ使用量を1/100に増量したほかは、前述の古米でんぶんの場合と同様である。

インディカBおよびCの無処理でんぶんには、ゆきひかりでんぶんの1.5～2倍量のでんぶん結合タンパク質が存在した。インディカ

種米無処理でんぶん糊化液の糊化度および粘性特性値は、ゆきひかりでんぶん糊化液より低かった。インディカ種米でんぶんからでんぶん結合タンパク質を除去した結果、処理でんぶん糊化液の糊化度および粘性特性値は、無処理でんぶん糊化液より上昇した。とくに、インディカBの処理でんぶんでは、糊化液の粘性特性値がゆきひかりでんぶんの糊化液に近いものとなった。以上の結果から、インディカ種米でんぶんにはでんぶん結合タンパク質が多量に存在するため、糊化液の糊化度および粘性特性は低い、タンパク質を除去することによって糊化度を上昇させれば、ジャポニカ種米でんぶん糊化液の粘性特性に近づくことが明らかとなった。本実験で得られた知見を基にして、インディカ種米米飯の粘り発現方法について検討した。

(3) インディカ種米米飯の粘り改変方法

1) 粘りの発現

近年、植松ら(1990)によって米のでんぶん結合タンパク質のアミノ酸組成が検討され、グリシン、アスパラギンおよびアラニン残基が多いと報告された。これらアミノ酸残基の割合はジャポニカ種米とインディカ種米でほぼ共通しているが、インディカ種米ではこれらほかに、プロリン残基の割合がジャポニカ種米より高い。プロリン残基がインディカ種米のでんぶん結合タンパク質の構造を複雑化し、その結果、プロテアーゼ処理の効果が発現しにくいことが推察された。インディカBおよびCの米飯に粘りを発現させるためには、でんぶん結合タンパク質を除去して、でんぶんの糊化度および粘性特性を高めることが必要である。でんぶん結合タンパク質を水解・可溶化させる方法として、コラゲナーゼ処理を試行した。

従来、コラゲナーゼは基質特異性がきわめて高く、コラーゲンおよびゼラチン以外のタンパク質は水解しないといわれてきた(Hippelら, 1960)。昨年、鈴木ら(1993)は、グルテンをコラゲナーゼで水解することにより、低アレルゲン化小麦粉の製作に成功した。このことは、コラゲナーゼはコラーゲンおよびゼラチン以外のタンパク質にも作用することを示唆している。この情報に基づいて、インディカ種米でんぶん結合タンパク質の水解にコラゲナーゼの使用を試みた。コラゲナーゼを単独使用(米重量の1/1000)しても、米からのでんぶん遊離量はほとんど増加しなかった。本酵素に

はグロブリンおよびアルブミンのペプチド結合水解作用はないと判断し、アクチナーゼ（米重量の1/1000）を併用した。

アクチナーゼとコラゲナーゼの併用処理が、インディカ種米米飯の粘り発現にあたる効果を表Ⅱ-14に示した。インディカBでは、2時間処理でアクチナーゼ単独使用（米重量の1/1000、表Ⅱ-6）の場合より、処理米米飯の粘りが上昇した。6時間処理では、ゆきひかり米飯に粘りはおよばないものの、硬さの低下により、粘り/硬さの値には有意差が認められなくなった。インディカCでは、6時間処理しても処理米米飯にゆきひかり米飯と同程度の粘りは発現しなかったが、アクチナーゼ単独処理（米重量の1/1000）の場合よりも明らかに粘りが増加した。以上の結果から、コラゲナーゼによるでんぶん結合タンパク質の水解は、インディカ種米米飯のテクスチャー特性改変に有効であることが判明した。

2) テクスチャー特性の保持

うるち米でんぶんは、もち米でんぶんより老化が速い。これは、両でんぶんのアミロース含有量の違いに起因する（鈴木、1993）。インディカ種米はジャポニカ種米よりアミロース含量が高いために、米飯の老化が早く起こると推察される。酵素処理によってインディカ種米米飯のテクスチャー特性を改変しても、老化によって好ましいテクスチャー特性が損なわれるのでは、改変の意味がなくなる。近年、米でんぶんの老化防止には、脂肪酸や糖のモノグリセリド添加が有効であると報告された（勝田ら、1992）。

オレイン酸モノグリセリドの添加が、酵素処理したインディカ種米米飯のテクスチャー特性保持にあたる効果について検討した。インディカBを供試米に使用した。アクチナーゼ-コラゲナーゼ併用処理した酵素処理米に、オレイン酸モノグリセリドを米の10 ppm添加して炊飯し、米飯を25℃の室内に24時間保存して米飯テクスチャー特性値を経時的に測定した（図Ⅱ-5）。オレイン酸モノグリセリドを添加した酵素処理米米飯は、粘りおよび硬さがほとんど変化せず、粘り/硬さの値がよく保持された。しかし、無添加で炊飯した酵素処理米米飯は、経時的に粘りが低下して硬さが増加し、24時間経過後の米飯テクスチャー特性は、酵素処理前の米飯に近いものとなった。以上の結果から、酵素処理米の米飯テクスチャー特性を良好に保持するためには、オレイン酸モノグリセリドのような界面活性剤の添加が有効であると結論した。

4. 考察

通常、炊飯前に米を30分間程度水に浸漬する。この操作は、米粒が水を吸収するために必要な操作であるといわれている。浸漬過程で米粒に取り込まれる水は米重量当り約30%（貝沼，1979）であるのに対し、炊飯過程では120~140%もの水が吸収される（倉沢ら，1959）。また、水が米粒中へ拡散するために、30分間もの長い時間を必要とするとは考えにくい。これらの現象と、塩溶性タンパク質の溶出がでんぶんの遊離に有効に作用するという実験結果から、30分間の浸漬過程は、従来提唱されているような「吸水過程」ではなく、「塩溶性タンパク質の溶出過程」であると提唱したい。

米には無機成分が含まれる。この無機成分が浸漬過程で徐々に溶解して浸漬水のイオン強度を上昇させ、塩溶性タンパク質を可溶化させる。浸漬水のイオン強度を算出すると、30分間浸漬で約0.1にまで上昇しており、グロブリンやアルブミンの溶解が可能である。新米ではタンパク質が未変性のためにこの程度のイオン強度で溶解するが、古米ではタンパク質が変性しているために、米のもつイオンのみでは溶解しにくくなる。その結果、古米ではでんぶんの遊離が阻害されて米飯が粘らなくなるとともに、光沢もなくなる。古米にプロテアーゼ処理を施すと、でんぶんを細胞内に固定している塩溶性タンパク質が可溶化されることにより、でんぶんの遊離量が増加する。プロテアーゼのなかには、でんぶん結合タンパク質を可溶化するものもある。でんぶん結合タンパク質が除去されたでんぶんは非常に高度に糊化するために、高度に糊化したでんぶんが米粒の表面を取り囲むことによって、米飯に強度の粘りと光沢が付与される。この2段階の水解過程が、プロテアーゼ処理による古米米飯の粘りおよび光沢の発現機構であると結論する。

プロテアーゼは、米粒内部まで浸透することができる（Watanabeら，1990a）。内部に浸透したプロテアーゼは、そこに存在するでんぶん結合タンパク質をも可溶化して、でんぶんの糊化膨潤を促進すると考えられる。これが、プロテアーゼ処理した米の米飯がやわらかくなる機構であると結論する。

インディカ種米では、ジャポニカ種米よりでんぶん結合タンパク質が多いために、でんぶんの糊化膨潤が抑制されて、粘りがでにくい。インディカ種米の米飯に粘りを発現させるためには、アクチナーゼ-コラゲナーゼ併用処理によるアルブミンとグロブリンおよび

でんぶん結合タンパク質の水解・可溶化が必要であった。このような処理を行ったインディカ種米米飯には、ジャボニカ種米飯に近い粘りが発現した。従来、インディカ種米は、アミロース含量が高いために米飯が粘らないと考えられてきた (Juliano ら, 1965)。しかし、本研究の結果から、インディカ種米米飯が粘らない要因は、でんぶん結合タンパク質がでんぶんのまわりを包囲しているために、でんぶんの糊化膨潤が抑制されるためであると結論された。

1. 緒言

長期貯蔵で古米化した米には、特有の古米臭が発生する。これは、脂質から遊離したリノール酸などの不飽和脂肪酸（谷ら，1964；渋谷ら，1977；Bollingら，1978）が分解を受けて、低分子量のケトンやアルデヒドなどのカルボニル化合物に変換するために生じる臭いである（Yasumatsuら，1966a；Tsugitaら，1980，1983；Fujio，1991）。

§ 1において、アクチナーゼ処理した古米米飯では、米飯テクスチャー特性の改変のみならず、香りも改変されることが確認された。香り改変の主な要因は、古米臭の低減であるというパネリストの意見から、プロテアーゼ処理によるカルボニル化合物の減少が示唆された。

本節は、アクチナーゼ処理米および無処理米の米飯ヘッドスペース成分を分析することによって両者の違いを明らかにし、アクチナーゼ処理の反応生成物であるペプチドと、古米臭構成成分のひとつである1-ヘキサノールの吸着をモデル実験で検証することにより、プロテアーゼ処理による古米臭低減化機構を解明することを目的とした。

2. 実験材料および方法

(1) 材料

供試米には、I-2-(1)に記載したジャポニカ種アキヒカリの自然古米（以後古米と略す）を使用した。タンパク質分解酵素には、II-§ 1-2-(1)-2)-cに記載したアクチナーゼAS（以後アクチナーゼと略す）を使用した。

(2) 酵素処理

米重量の1/1000のアクチナーゼを溶解した水溶液（200 ml）に供試米（145 g）を入れ、37℃で1時間処理した。処理後、ステンレスのふるいを通して処理米（188 g）と処理液（156 ml）とに分離し、処理米は炊飯に、処理液の一部（108 ml，米100 g相当）はカラムクロマトグラフィーおよび表面疎水性度測定に、それぞれ供した。

(3) ペプチド量

セミマイクロケルダール法で得られた窒素量に6.25を乗じた値をペ

ブチド量とした。

(4)炊飯

アクチナーゼ処理米をII-§1-2-(3)および(4)の方法で、無処理米をI-2-(5)の方法で、それぞれ炊飯した。以後、アクチナーゼ処理米の米飯を酵素処理米米飯、無処理米の米飯を無処理米米飯と称する。

(5)米飯ヘッドスペース分析

Tsugutaら(1983)の方法に準じて行った。炊飯直後の酵素処理米米飯または無処理米米飯(50g)をフラスコ(200ml)に採取し、70℃の水浴中で加温しながら窒素ガスを1時間流通(30ml/分)させて、ヘッドスペース成分をTenax TA(4mm×15cm)に吸着させた。吸着後に水浴を外し、さらに30分間窒素ガスを流通させた。ガスクロマトグラフィーは直接注入法(Tsugitaら, 1979)で行った。分析条件は以下の通りである。ガスクロマトグラフ、島津製作所GC-8A; 検出器、イオン化炎検出器; カラム、シリカ-キャピラリーカラムPEG 20M(ガスクロ工業FS-WCOT, 0.25mm×60m); カラム温度、60~190℃; 昇温速度、4℃/分; 注入部および検出器温度、200℃; キャリアガス、窒素; キャリアガス流速、1.5ml/分。

(6)カラムクロマトグラフィー

処理液(108ml)を凍結乾燥して、50mM炭酸ナトリウム(10%エタノール含有, 2ml)に溶解した。カラムクロマトグラフィーは以下の条件で行った。カラム、3cm×70cm; 溶媒、50mM炭酸ナトリウム(10%エタノール含有); 流速、45ml/時間; 分画、2.25ml/分。分画後、280nmの吸収を測定した。分子量マーカーにはバシトラシン(MW, 1411), トリグリシン(MW, 246), ジグリシン(MW, 132)およびアラニン(MW, 89)を使用した。

(7)表面疎水性度

蛍光標識物質にcis-バリナリン酸(Sklarら, 1977)を使用して, KatoおよびNakai(1980)の方法に準じて測定した。50mM炭酸ナトリウム(10%メタノールおよび0.002%SDSを含有)でタンパク質濃度を0.0065%に調製した酵素処理液(2ml)にcis-バリナリン酸(3.6mM, エタノール中)を加え、バリナリン酸-タンパク質結合体の蛍光強度を蛍光光度計(島津製作所, RF-5000)を用いて励起波長325nm, 検出波長420nmで測定した。基準試料にはウシ血清アルブミンを使用した。結果はウシ血清アルブミン当量で表示した。

(8) 1-ヘキサノールの吸着モデル実験

1) 反応生成物のCNBr-活性化Sephacrose 4Bへの固定化

カラムクロマトグラフィーで得られた反応生成物のA画分(結果に記載)を減圧乾固し、0.1 M炭酸水素ナトリウム(0.5 M食塩含有、5 ml)に溶解した。CNBr-活性化Sephacrose 4B (Sigma Chemical)を1 mM塩酸で洗浄して安定剤を除去し、膨潤させた(乾物1 gより1.83 gの膨潤物が得られた)。反応生成物のCNBr-活性化Sephacrose 4Bへの固定化は、Cuatrecasas (1970)の方法に準じた。A画分(5 ml)に膨潤させたCNBr-活性化Sephacrose 4B(1 g)を入れ、緩やかに攪拌しながら4°Cで1夜固定化させた。固定化後、過剰のペプチドを水洗除去し、1 Mモノエタノールアミンで25°C、2時間処理した。処理後、0.1 M炭酸水素ナトリウム(0.5 M食塩含有)と0.1 M酢酸緩衝液(0.5 M食塩含有、pH 4.0)で交互に洗浄して過剰のエタノールアミンと、Sephacroseに物理的に吸着しているペプチドを除去し、反応生成物とCNBr-活性化Sephacrose 4Bの結合体(以後結合体と略す)を調製した。

2) 1-ヘキサノールの結合体への吸着

初濃度を0.200, 0.225, 0.250, 0.300, 0.400, および0.600 mMの6段階に設定した1-ヘキサノール溶液(0.5 ml)に結合体(0.1 g)を入れ、振とうしながら25°Cで6時間反応させた。反応終了後、遠心分離(1,250×g, 5分間)によって結合体と1-ヘキサノール溶液を分離し、溶液に残存する1-ヘキサノール濃度を定量した。

3) 1-ヘキサノールの定量

Ohtani ら(1990)の方法に準じて、逆相カラムによるHPLCで定量した。HPLCの分析条件は以下の通りである。カラム、ODS-80TS(東ソー)；分析量、20 μl；移動相、70%メタノール；流速、0.5 ml/分；カラム温度、25°C；検出、示差屈折計。初濃度と残存濃度の差を、結合体への1-ヘキサノール吸着量とした。

3. 結果

米飯ヘッドスペース分析の結果、プロテアーゼ処理米飯は無処理米飯に比べて、全ヘッドスペース成分が減少した(図II-6)。両クロマトグラムのパターンは非常に類似しており、クロマトグラム間のパターン類似率(田村および大沢, 1969)は0.93であった。この結果より、両米飯のヘッドスペース成分組成は、きわめて類似

していることが判明した。官能評価において、酵素処理米米飯は無処理米米飯と比べて、古米臭が弱いと評価された。これは、図中に示した1-ヘキサノールやヘキサノールのような古米臭の本体成分 (Yasumatsu ら, 1966a) が、プロテアーゼ処理によって選択的に変化させた結果ではなく、全ヘッドスペース成分が減少したことにより、古米臭が低減化したように評価された結果であると推察された。

プロテアーゼ処理によって、古米米飯の低沸点から高沸点までの全ヘッドスペース成分が均一に減少したことから、この現象は、加熱過程で起こった揮発現象ではないと推定された。ダイズのフレーバー成分であるカルボニル化合物やアルコール類は、ダイズタンパク質と疎水結合することが報告されている (Noguchi ら, 1970; Gremli, 1974)。Franzen および Kinsella (1974) は、揮発性フレーバー成分とタンパク質の結合様式が、疎水結合であると述べている。古米をアクチナーゼ処理すると、処理過程で塩溶性タンパク質が水解されて、種々の鎖長をもつ反応生成物ができる。これらの反応生成物は、未変性のタンパク質より広い表面疎水領域をもつため、米に含まれるヘッドスペース成分は、これらの疎水領域に吸着することが予測される。酵素処理実験では、炊飯前に酵素処理液を除去して米を水洗したために、反応生成物に吸着したフレーバー成分も、このときに除去された可能性がある。この作業仮説を検証するために、反応生成物とヘッドスペース成分のひとつである1-ヘキサノールの吸着を、モデル実験によって検証した。

酵素反応生成物の疎水領域の有無を、カラムクロマトグラフィーと表面疎水性度により検討した。図II-7に反応生成物のゲルろ過パターンを示す。反応生成物は推定分子量1,500以上のA、約250のB、約150のCおよび約120のDの4画分に分離された。各画分の表面疎水性度を測定した結果、A画分のみ表面疎水性が検出され、その値は2.38ウシ血清アルブミン当量であった。無処理米の浸漬液を同様にクロマトグラフィーに供し、A画分に相当する画分の表面疎水性度を測定した結果、その値は0.48ウシ血清アルブミン当量であった。

反応生成物のA画分に疎水領域が確認されたため、A画分をリガンドとしてCNBr-活性化Sephrose 4Bに固定化した。古米100 gより生成したA画分のペプチドは31.5 mgであり、そのうちの15 mgが1 gのCNBr-活性化Sephrose 4B (膨潤物) に固定化された。結合体

(0.1 g)を1-ヘキサノール溶液中で振とうすることにより、ペプチド(1.5 mg)に吸着される1-ヘキサノールを定量した結果、1-ヘキサノールのペプチドへの吸着量と平衡濃度とは直線関係となった(相関係数, $r=0.94$, 図II-8). Langmuir 式(Langmuir, 1918)に従ってペプチド1.5 mgあたりの1-ヘキサノールの飽和吸着量(W_s)と吸着平衡定数(a)を求めた結果, W_s は $0.14 \mu\text{mol}/1.5 \text{mg}$ ペプチド, a は 0.038mM であった.

4. 考察

文献値(Yasumatsu ら, 1966a; Tsugita ら, 1983)をもとに, 古米100 gに含まれるフレーバー成分のmol数を算出すると, $3.30 \mu\text{mol}$ となる. 古米100 gから生成されるA画分の全ペプチド(31.3 mg)が飽和吸着量のフレーバー成分を吸着した場合, 吸着されるフレーバー成分は $2.92 \mu\text{mol}$ となる. 図II-6に示したガスクロマトグラムの面積比より, 酵素処理米米飯では無処理米米飯の約70%のヘッドスペース成分が減少していたため, アクチナーゼ処理によって $2.31 \mu\text{mol}$ の古米フレーバー成分が吸着, 除去されたことになる. この値は, ペプチドの飽和吸着量に近い値であることから, ヘッドスペース成分の約70%が反応生成物のペプチド(推定分子量1,500以上)に疎水結合し, 洗米過程で水洗除去されたものと推察された. 以上の結果から, プロテアーゼ処理の反応生成物に古米のフレーバー成分が結合して水洗除去されたことが, プロテアーゼ処理による古米臭低減化機構であると結論した.

官能評価において, プロテアーゼ処理米米飯を, ごはんとしての香りに乏しいと評価したパネリストがいた. 米の中には, 精白米に10%程度混合して炊飯すると, ピロリドンやアセチルピロリンのようなピロール環をもつ物質のために, 米飯の香りが向上する「香り米」のような品種もある(林および華表, 1974; Yajima ら, 1979). 今後, プロテアーゼ処理米米飯の香りを積極的に向上させるためには, このような米をプロテアーゼ処理米に混合することも考えられる.

本章では、米飯適性が低い米の米飯の硬さを改変する方法として高圧処理（100 MPa, 10分間）または多糖分解酵素（セルラーゼおよびベクトリアーゼ）処理技術を、粘りおよび光沢を改良する方法としてプロテアーゼ（アクチナーゼ）処理技術を開発した。

高圧処理または多糖分解酵素処理で米飯がやわらかくなるのは、米の胚乳細胞壁が部分的に破壊されるためであった。

プロテアーゼ処理で米飯に粘りおよび光沢が発現するのは、でんぶんを胚乳細胞に固定している塩溶性タンパク質がアクチナーゼによって水解されて、でんぶんを米粒外へ流出させるとともに、でんぶん結合タンパク質が水解・可溶化されて、でんぶんの糊化特性が向上し、高度に糊化したでんぶん糊が、米飯表面を被覆するようになるためであった。さらに、プロテアーゼ処理米では、米飯の硬さも低下した。これは、プロテアーゼが米粒内部にまで浸透して、米粒内部に存在するでんぶん結合タンパク質を可溶化し、でんぶんの糊化度が高まったためと推察した。

古米をプロテアーゼ処理すると、反応生成物として疎水領域を有するペプチドが生成した。このペプチドに米飯フレーバー成分が疎水結合し、炊飯前に酵素処理液を捨てて水洗すると、古米米飯の古米臭は低減した。

各種の処理効果を比較した結果、米飯の軟化、粘りと光沢の付与および古米臭の低減という米飯適性の低い米の炊飯特性改変に要求されるすべての要因を改変できるという点で、アクチナーゼ処理が最も有効であると結論した。

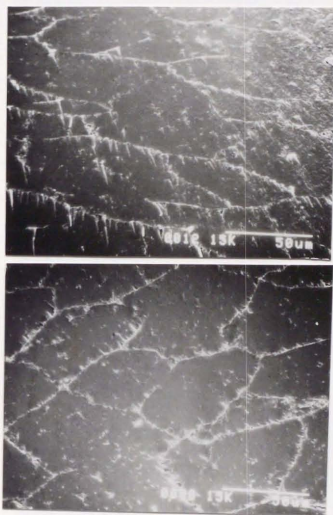
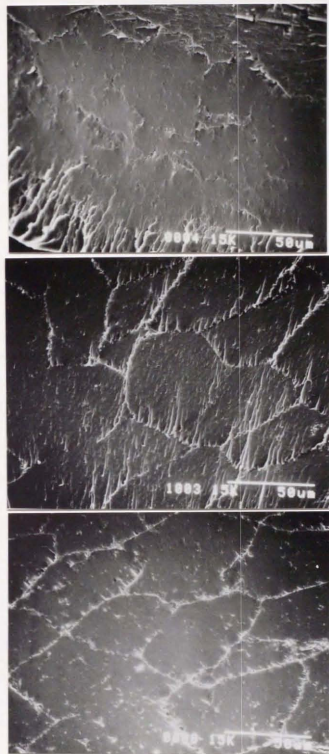


図 II-1 米飯（自然古米）断面の電子顕微鏡写真
上，100 MPaで10分間高圧処理した米
下，無加圧米



図II-2 米飯(自然古米) 断面の電子顕微鏡写真
上, セルラーゼ処理米(酵素/米比, 1/1000; 50°C; 1時間)
中, アクチナーゼ処理米(酵素/米比, 1/1000; 37°C; 1時間)
下, 無処理米

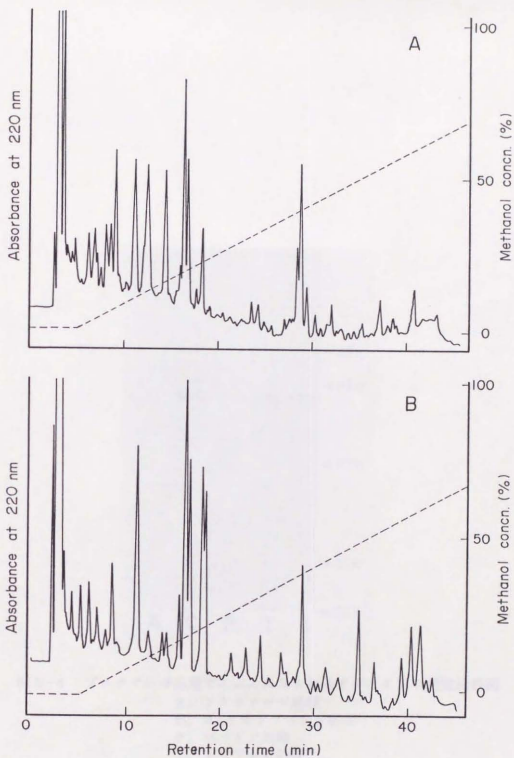


図 II-3 塩溶性タンパク質 (A) および米粒 (B) トリプシン水解物の HPLC パターン

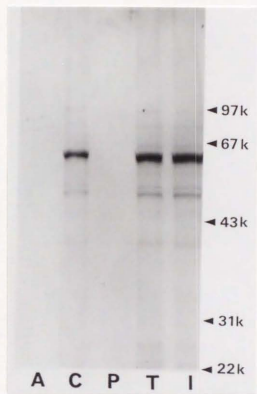


図 II-4 プロテアーゼ処理でんぷんに含まれるタンパク質の電気泳動図

- A, アクチナーゼ処理
- C, α -キモトリプシン処理
- P, パパイン処理
- T, トリプシン処理
- I, 無処理

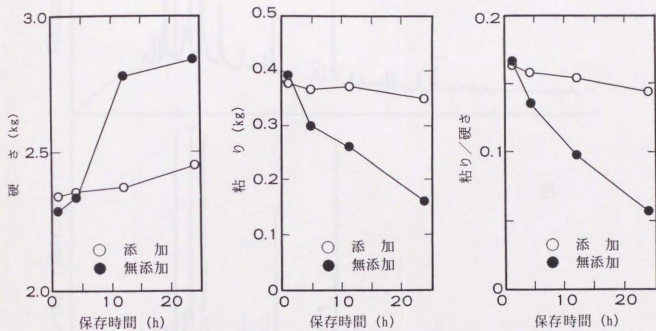


図 II-5 酵素処理したインディカ種米米飯の保存過程におけるテクスチャー特性値の変化にあたる界面活性剤の効果

供試米, インディカ B

酵素処理, アクチナーゼ-コラゲナーゼ併用処理

界面活性剤, オレイン酸モノグリセリド

界面活性剤添加量, 米重量の 10 ppm

保存温度, 25°C

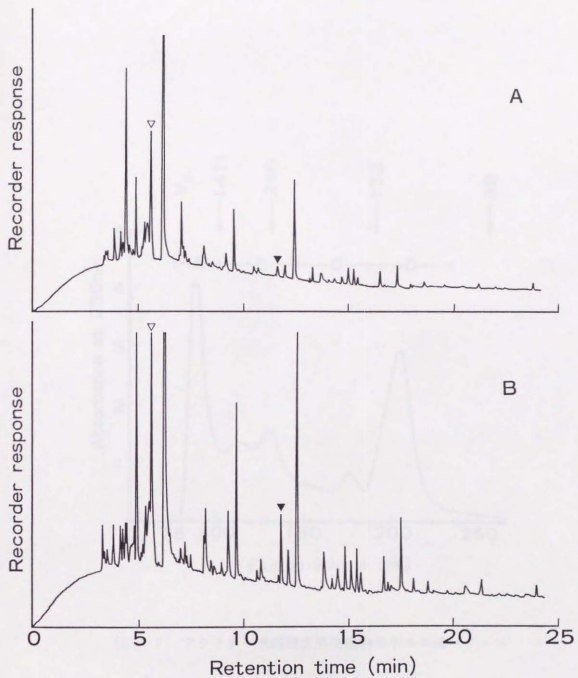
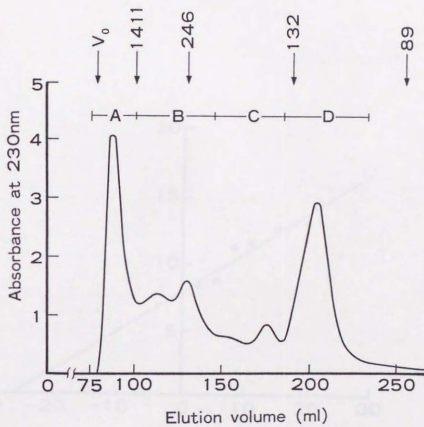


図 II-6 アクチナーゼ処理米 (A) および無処理米 (B) の
 米飯ヘッドスペースガスクロマトグラム
 ▽, ヘキサナール
 ▼, 1-ヘキサノール



図II-7 アクチナーゼ処理反応生成物のゲルろ過パターン

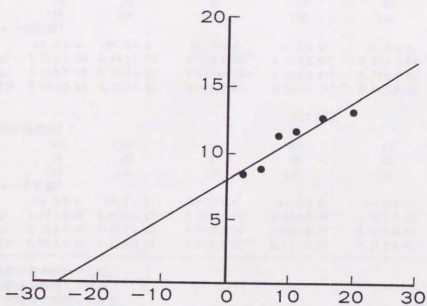


図 II-8 1-ヘキサノールの平衡濃度とペプチドへの吸着量の逆数プロット
 横軸, 1/1-ヘキサノール平衡濃度 (mM^{-1})
 縦軸, 1/1-ヘキサノール吸着量 ($1.5 \text{ mgペプチド}/\mu\text{mol}$)

表II-1 ジャポニカ種古米の吸水量および米飯特性値にあたる高圧処理の効果

特性	圧力 (MPa)						
	0 ^{a, b}	50 ^b	100 ^b	200 ^b	300 ^b	400 ^c	500 ^c
自然古米							
吸水量 (対米重量%) ^d	av.	av.	av.	av.	av.	av.	av.
炊飯前	28	28	28	29	28	30	37
炊飯後	129	130	129	128	126	123	120
テクスチャー特性値 ^e	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
硬さ (kg)	2.71 ± 0.06	2.56 ± 0.09*	2.55 ± 0.06**	2.55 ± 0.07*	2.50 ± 0.04***	2.50 ± 0.09**	2.40 ± 0.04***
粘り (kg)	0.35 ± 0.05	0.44 ± 0.05*	0.57 ± 0.03***	0.46 ± 0.03**	0.47 ± 0.01**	0.45 ± 0.05*	0.44 ± 0.04**
粘り/硬さ	0.13 ± 0.02	0.18 ± 0.02***	0.23 ± 0.01***	0.18 ± 0.01***	0.19 ± 0.01***	0.18 ± 0.03*	0.19 ± 0.03**
人工古米							
吸水量 (対米重量%) ^d	av.	av.	av.	av.	av.	av.	av.
炊飯前	26	27	27	25	28	33	40
炊飯後	129	128	128	127	125	117	109
テクスチャー特性値 ^e	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
硬さ (kg)	3.08 ± 0.08	2.65 ± 0.06***	2.70 ± 0.09**	2.66 ± 0.04***	2.68 ± 0.03***	2.77 ± 0.04***	— ^f
粘り (kg)	0.28 ± 0.02	0.30 ± 0.04	0.36 ± 0.04*	0.36 ± 0.03***	0.36 ± 0.03***	0.33 ± 0.07*	— ^f
粘り/硬さ	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.13 ± 0.02**	0.13 ± 0.02*	0.13 ± 0.01***	0.11 ± 0.01*	— ^f

^a 統計解析の基準試料とした。

^b 普通炊飯法で調製した米飯。

^c 湯炊き炊飯法で調製した米飯。

^d 標準誤差は1以下であった。

^e 5.1および0.1%水準で基準(無加圧米)値に対して有意差が認められたものを、*、**および***で表した。

^f 上層中心部が炊飯不能のため測定値なし。

表II-2 ジャポニカ種古米の米飯官能スコア
にあたる高圧処理^aの効果

特 性	供 試 米	
	自然古米 ^b	人工古米 ^c
	av. \pm s. e.	av. \pm s. e.
光 沢 ^d	2.16 \pm 0.53	1.24 \pm 0.43
香 り ^e	2.18 \pm 0.63	1.30 \pm 0.40
硬 さ ^g	1.26 \pm 0.27	1.26 \pm 0.43
粘 り ^f	2.12 \pm 0.60	1.20 \pm 0.43
総合評価 ^h	1.86 \pm 0.49	1.56 \pm 0.37

^a 20°Cで10分間100 MPaの高圧処理を施した米を炊飯して、官能試験に供した。

^b 無加圧の自然古米を炊飯して基準試料とした。

^c 無加圧の人工古米を炊飯して基準試料とした。

^d 基準試料と比べて非常に光沢がある(+5点)から非常に光沢がない(-5点)までの評定尺度法。

^e 基準試料と比べて非常によい(+5点)から非常に悪い(-5点)までの評定尺度法。

^f 基準試料と比べて非常に粘りがある(+5点)から非常に粘りがない(-5点)までの評定尺度法。

^g 基準試料と比べて非常にやわらかい(+5点)から非常に硬い(-5点)までの評定尺度法。

^h 基準試料と比べて非常に好ましい(+5点)から非常に好ましくない(-5点)までの評定尺度法。

表 II-3 インディカ種米の米飯テクスチャー特性値にあたる高圧処理の効果

供試米	圧力(MPa)	テクスチャー特性値		
		硬 さ(kg)	粘 り(kg)	粘 り/硬さ
		av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
インディカ A	0 ^a	3.08±0.05	0.27±0.03	0.09±0.00
	50	2.23±0.07***	0.42±0.04**	0.19±0.02***
	100	1.94±0.04***	0.39±0.04*	0.20±0.02***
	200	— ^b	— ^b	— ^b
	200 ^c	2.31±0.06***	0.42±0.06*	0.19±0.03*
インディカ B	0 ^a	3.47±0.05	0.16±0.02	0.05±0.01
	50	2.67±0.03***	0.18±0.03	0.07±0.01
	100	2.55±0.08***	0.14±0.03	0.05±0.01
	200	2.50±0.09***	0.14±0.02	0.06±0.01
	200 ^c	2.48±0.07***	0.17±0.02	0.07±0.00
インディカ C	0 ^a	3.95±0.05	0.04±0.01	0.01±0.00
	50	3.46±0.08***	0.04±0.01	0.01±0.00
	100	3.50±0.10***	0.06±0.02	0.01±0.00
	200	3.13±0.07***	0.03±0.02	0.01±0.00
	200 ^c	3.39±0.05***	0.06±0.02	0.02±0.00

^a 統計解析の基準試料とした。5%, 1%および0.1%水準で基準（無加圧米）値に對して有意差が認められたものを*, **および***で表した。

^b 普通炊飯法では炊飯不可能なため測定値なし。

^c 湯炊き炊飯法で米飯を調製した。

表II-4 ジャポニカ種古米の米飯テクスチャー特性値にあたる
酵素処理の効果

酵素	酵素量 ^a	テクスチャー特性値		
		硬 さ(kg)	粘 り(kg)	粘り/硬さ
自然古米				
		av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
無処理 ^b	—	2.71±0.06	0.35±0.05	0.13±0.02
セルラーゼ	1/5000	2.46±0.05***	0.41±0.04	0.16±0.02*
	1/1000	2.47±0.06***	0.51±0.04***	0.21±0.02***
ペクトリアーゼ	1/5000	2.59±0.14	0.40±0.02	0.15±0.02
	1/1000	2.35±0.06***	0.46±0.06**	0.18±0.02***
リパーゼ	1/50000	2.84±0.05*	0.30±0.07	0.11±0.01
	1/10000	2.80±0.03*	0.28±0.06	0.10±0.02
アクチナーゼ	1/5000	2.57±0.06*	0.43±0.06	0.17±0.03*
	1/1000	2.32±0.09***	0.66±0.05***	0.28±0.02***
トランスグル タミナーゼ	1/5000	2.65±0.09	0.33±0.05	0.13±0.03
	1/1000	2.75±0.08	0.37±0.02	0.13±0.01
人工古米				
		av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
無処理 ^b	—	3.08±0.08	0.28±0.02	0.09±0.01
セルラーゼ	1/5000	2.99±0.06	0.29±0.03	0.10±0.01
	1/1000	2.86±0.08**	0.33±0.03*	0.12±0.01**
ペクトリアーゼ	1/5000	2.68±0.08***	0.34±0.07	0.13±0.02**
	1/1000	2.59±0.13***	0.38±0.04**	0.15±0.02***
リパーゼ	1/50000	2.98±0.09*	0.27±0.03	0.09±0.02
	1/10000	2.97±0.08	0.28±0.07	0.09±0.01
アクチナーゼ	1/5000	2.62±0.08***	0.37±0.03***	0.14±0.01***
	1/1000	2.39±0.03***	0.44±0.04***	0.19±0.02***
トランスグル タミナーゼ	1/5000	2.94±0.07	0.25±0.03	0.09±0.01
	1/1000	2.94±0.08	0.26±0.02	0.09±0.01

^a 米重量に対する使用量を示す。

^b 統計解析の基準試料とした。5%, 1%および0.1%水準で基準（無処理米）値に対して有意差が認められたものを*, **および***で表した。

表II-5 ジャポニカ種古米の米飯官能スコア^aにあたえる
酵素処理^bの効果

特 性 ^c	酵 素		
	セルラーゼ	ベクトリアーゼ	アクチナーゼ
	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
光 沢	1.27±0.11	1.10±0.26	4.22±0.41
香 り	1.90±0.27	2.30±0.14	2.92±0.23
硬 さ	2.14±0.33	2.77±0.21	4.24±0.19
粘 り	2.00±0.38	2.41±0.25	4.35±0.25
総合評価	1.74±0.29	2.91±0.38	4.28±0.41

^a 供試米には自然古米を使用した。無処理の自然古米を炊飯して基準試料とした。

^b 米重量の1/1000の酵素を使用して、37℃で1時間処理した米を炊飯し、官能評価に供した。

^c 表II-2を参照。

表II-6 インディカ種米の米飯テクスチャー特性値にあたる酵素処理の効果

供試米	酵 素 ^a	テクスチャー特性値		
		硬 さ (kg)	粘 り (kg)	粘 り/硬 さ
		av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
インディカ A	無処理 ^b	3.08 ± 0.05	0.27 ± 0.03	0.09 ± 0.00
	セルラーゼ	2.79 ± 0.05***	0.42 ± 0.04**	0.15 ± 0.02*
	ペクトリアーゼ	2.81 ± 0.03***	0.50 ± 0.02***	0.18 ± 0.02***
	アクチナーゼ	2.54 ± 0.05***	0.58 ± 0.04***	0.23 ± 0.02***
インディカ B	無処理 ^b	3.47 ± 0.05	0.16 ± 0.02	0.05 ± 0.01
	セルラーゼ	3.01 ± 0.05***	0.18 ± 0.02	0.06 ± 0.02
	ペクトリアーゼ	3.11 ± 0.04***	0.19 ± 0.01	0.06 ± 0.01
	アクチナーゼ	3.13 ± 0.08**	0.20 ± 0.03	0.08 ± 0.02
インディカ C	無処理 ^b	3.95 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.01 ± 0.00
	セルラーゼ	4.02 ± 0.06	0.04 ± 0.01	0.01 ± 0.00
	ペクトリアーゼ	3.95 ± 0.08	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.00
	アクチナーゼ	3.49 ± 0.05***	0.05 ± 0.00	0.01 ± 0.00

^a 酵素量は米重量の1/1000とした。

^b 統計解析の基準試料とした。5%、1%および0.1%水準で基準（無処理米）値に対して有意差が認められたものを*、**および***で表した。

表 II-7 ジャポニカ種古米^aのでんぶん遊離量と米飯特性値にあたるプロテアーゼ処理の効果

特 性	インヒビター	酵 素				無添加 ^b
		アクチナーゼ	α -キモトリ プシン	パバイン	トリプシン	
		av. \pm s. e.	av. \pm s. e.	av. \pm s. e.	av. \pm s. e.	av. \pm s. e.
でんぶん遊離量 ^c (mg)	無	63.8 \pm 9.4***	57.6 \pm 2.8***	63.6 \pm 3.1***	48.3 \pm 2.9***	17.3 \pm 0.9
	有 ^d	19.1 \pm 1.8	20.0 \pm 1.9	18.7 \pm 2.2	18.3 \pm 1.8	—
米飯特性値 ^a						
粘り(kg)	無	0.62 \pm 0.05**	0.55 \pm 0.06**	0.65 \pm 0.10**	0.53 \pm 0.06**	0.35 \pm 0.05
	有 ^d	0.35 \pm 0.06	0.39 \pm 0.03	0.35 \pm 0.04	0.37 \pm 0.08	—
光沢(%)	無	23.5 \pm 1.1**	23.0 \pm 1.5*	23.1 \pm 1.2**	18.7 \pm 0.5	17.6 \pm 0.8
	有 ^d	18.1 \pm 0.8	18.8 \pm 1.2	20.5 \pm 1.1	16.7 \pm 0.6	—

^a アキヒカリ自然古米を供試米とした。

^b 酵素処理と同様の条件で浸漬および炊飯し、統計解析の基準試料とした。5.1および0.1%水準で基準(無添加)

値に対して有意差が認められたものを*, **および***で表した。

^c 米100 gからの測定値。

^d アクチナーゼ, α -キモトリプシン, パバインおよびトリプシンに対して, それぞれ, TLCK と TPCK, TPCK, E-64 および TLCK を使用した。

表 II-8 食塩水抽出が古米^aのタンパク質溶出量および
米飯特性値にあたる影響

食塩濃度 (M)	タンパク質 溶出量 ^b (mg)	米飯特性値	
		粘り(kg)	光沢(%)
	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
0.00 ^c	17±1	0.35±0.05	14.7±0.4
0.05	20±1	0.38±0.03	14.9±0.5
0.10	22±2	0.42±0.02 [*]	15.5±0.7
0.20	32±1	0.44±0.03 [*]	15.4±0.6
0.50	34±1 [*]	0.47±0.04 [*]	15.7±1.3
1.00	54±2 ^{***}	0.56±0.03 ^{**}	22.3±1.4 ^{***}
2.00	52±2 ^{**}	0.52±0.02 [*]	19.2±0.9 ^{**}

^a アキヒカリ自然古米を供試米とした。

^b 米100 gからの測定値。

^c 統計解析の基準試料とした。5%, 1%および0.1%水準で基準(食塩濃度, 0.00M, 水抽出)値に対して有意差が認められたものを^{*}, ^{**}および^{***}で表した。

表II-9 浸漬過程における米からの無機成分の溶出

成分	古米 ^a		新米	
	0.5分浸漬	30分浸漬 ^b	0.5分浸漬	30分浸漬 ^b
	濃度(mM)			
Ca	微量	0.1	微量	1.7
Co	ND ^c	ND	ND	ND
Cu	ND	ND	ND	ND
Fe	ND	ND	ND	0.1
K	ND	4.4	ND	3.9
Mg	微量	1.1	微量	0.9
Na	微量	1.2	微量	0.7
P ^d	微量	3.2	微量	2.2
S ^d	微量	11.4	微量	12.1
Si ^d	微量	0.1	微量	微量
Zn	ND	微量	ND	微量

^a アキヒカリ自然古米を供試米とした。

^b 古米および新米(各100g)から溶出されたタンパク質量は、17および30mgであった。

^c 検出されないことを示す。

^d P, SおよびSiはリン酸塩, 硫酸塩および珪酸塩としてイオン強度を計算した。

表II-10 水浸漬および1M食塩浸漬過程でのインディカ種米
からのでんぷん遊離量およびタンパク質溶出量

供試米	でんぷん遊離 量 ^a (mg)	溶出タンパク質 (mg)	
		水浸漬 ^a	1M食塩浸漬 ^b
	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
インディカA	12.1 ± 0.4***	11 ± 2***	85 ± 2
インディカB	12.3 ± 0.8***	11 ± 2***	84 ± 2
インディカC	13.0 ± 1.0***	12 ± 1***	87 ± 2
ゆきひかり ^c	46.1 ± 0.7	33 ± 1	88 ± 3

^a 25°Cで1時間水浸漬した米(100 g)からの測定値。

^b 25°Cで1時間、1M食塩に浸漬した米(100 g)からの測定値。

^c 統計解析の基準試料とした。5%, 1%および0.1%水準で基準(ゆきひかり)値に対して有意差が認められたものを*, ** および***で表した。

表 II-11 古米^aの米飯特性値にあたえるでんぶん添加炊飯^bの
効果

添加でんぶん	テクスチャー特性値		
	光 沢(%)	粘 り(kg)	粘り/硬さ
	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
処理でんぶん ^c	21.3 ± 0.8***	0.66 ± 0.32***	0.26 ± 0.01***
無処理でんぶん ^d	18.0 ± 0.6**	0.52 ± 0.03***	0.18 ± 0.01***
無 添 加 ^e	14.8 ± 0.9	0.35 ± 0.03	0.13 ± 0.01

^a アキヒカリ自然古米を供試米とした。

^b 古米100 gにでんぶん7.5 gの割合で添加して炊飯した。

^c アクチナーゼ処理古米より調製した。

^d 無処理古米より調製した。

^e 統計解析の基準試料とした。1%および0.1%水準で基準（でんぶん無添加）値に対して有意差が認められたものを**および***で表した。

表 II-12 でんぶん結合タンパク質の除去が古米でんぶん糊化液の糊化度, アミログラフ特性値および粘性特性値にあたる効果

	でんぶん	
	アクチナーゼ処理 ^a	無処理 ^b
糊化度(%)	100.0	97.7
アミログラフ特性値		
ピーク	680	480
ブレイクダウン	360	200
粘性特性値		
見かけの粘性率(Pa·s)	av. ± s. e.	av. ± s. e.
ずり速度 10.8s ⁻¹	0.26 ± 0.01***	0.23 ± 0.01
ずり速度 50.8s ⁻¹	0.10 ± 0.01	0.08 ± 0.01
降伏応力(Pa)	2.05 ± 0.02***	1.76 ± 0.05
粘稠性係数(Pa·s ^{0.5})	1.44 ± 0.01*	1.27 ± 0.02
流動性指数	0.28 ± 0.02	0.31 ± 0.01

^a でんぶん結合タンパク質が除去されたでんぶん。

^b でんぶん結合タンパク質が結合しているでんぶん。
統計解析の基準試料とした。5%および0.1%水準で基準(無処理でんぶん)値に対して有意差が認められたものを*および***で表した。

表 II-13 インディカ種米のでんぶんの性質および糊化でんぶんの粘性特性

	でんぶん				
	インディカ B		インディカ C		ゆきひかり ^a
	処理 ^b	無処理 ^c	処理 ^b	無処理 ^c	無処理 ^c
でんぶん結合タンパク質 ^d (mg)	0	677	0	814	436
糊化度(%)	100.0	87.4	99.1	79.4	92.1
糊化でんぶん粘性特性値					
見かけの粘性率(Pa·s)	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
ずり速度 10.8s ⁻¹	0.33 ± 0.02 ^{ns}	0.16 ± 0.06	0.13 ± 0.02	0.10 ± 0.03	0.35 ± 0.02
ずり速度 20.8s ⁻¹	0.14 ± 0.01	0.08 ± 0.03	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.19 ± 0.01
降伏応力(Pa)	2.18 ± 0.01	1.58 ± 0.06	1.00 ± 0.04	0.55 ± 0.03	2.87 ± 0.07
粘弾性係数(Pa·s ⁿ)	1.97 ± 0.01	1.22 ± 0.06	0.52 ± 0.04	0.37 ± 0.02	2.14 ± 0.02
流動性指数	0.38 ± 0.03	0.45 ± 0.03	0.43 ± 0.03	0.59 ± 0.03	0.23 ± 0.02

^a 基準試料として用いたジャポニカ種、基準(ゆきひかり)値に対して有意差が認められないものを^{ns}で表した。

^b アクチナーゼ処理によってでんぶん結合タンパク質が除去されたでんぶん。

^c でんぶん結合タンパク質が結合しているでんぶん。

^d でんぶん100 gからの測定値。

Ⅲ 炊飯特長米の品質の実用化

表Ⅱ-14 インディカ種の米飯テクスチャー特性値に
あたえるアクチナーゼ-コラゲナーゼ併用
処理^aの効果^b

供試米	処理時間 (時間)	テクスチャー特性値	
		粘り (kg)	粘り/硬さ
		av. ± s. e.	av. ± s. e.
インディカ B	0 ^c	0.16 ± 0.02	0.05 ± 0.01
	2	0.26 ± 0.03	0.11 ± 0.01
	4	0.33 ± 0.02	0.14 ± 0.01
	6	0.39 ± 0.01	0.17 ± 0.02 ^{ns}
インディカ C	0 ^c	0.04 ± 0.00	0.01 ± 0.00
	2	0.09 ± 0.02	0.03 ± 0.01
	4	0.12 ± 0.01	0.05 ± 0.02
	6	0.14 ± 0.02	0.06 ± 0.02

^a アクチナーゼ量を米重量の1/1000, コラゲナーゼ量

を米重量の1/1000, 処理温度を37°Cとした。

^b 統計解析の基準試料にゆきひかり (粘り, 0.43 ± 0.02;

粘り/硬さ, 0.17 ± 0.01) を使用した。基準 (ゆきひ

かり) 値に対して有意差が認められないものを^{ns}で

表した。

^c 無処理

Ⅲ 炊飯特性改変技術の実用化

前章では、米飯適性が低い米の炊飯特性改変には、プロテアーゼ処理が最も有効であることを明らかにした。本章では、プロテアーゼ処理による炊飯特性改変技術を実用化するために、一般炊飯用と大量炊飯用に、2種類の方法を確立することを目的とする。

§ 1 一般炊飯用としてのプロテアーゼ処理米の砕粒化防止加工

1. 緒言

米飯適性が低い米の炊飯特性改変技術を実用化するための第一の方法として、一般家庭での炊飯用に、あらかじめプロテアーゼ処理した米を流通・販売させる方法が考えられる。ところが、処理段階で一度吸水した米はもろく、破碎しやすいという欠点がある。この欠点は、流通過程で多くの砕粒米を生じる原因となる。そこで、プロテアーゼ処理米の流通にあたっては、処理米に砕粒を起こさない程度の機械的な強度を付与しなければならない。本節では、プロテアーゼ処理米の機械的強度を高めるための方法と、機械的強度を高めたプロテアーゼ処理米の米飯テクスチャー特性を説明することを目的とした。

2. 実験材料および方法

(1) 材料

供試米には、I-2-(1)に記載したジャポニカ種アキヒカリの自然古米（以後古米と略す）を使用した。プロテアーゼには、II-2-(1)-2)-cに記載したアクチナーゼAS（以後アクチナーゼと略す）を使用した。米粒コーティング用には、高分子量ゼラチン（新田ゼラチン、商品名：オセイン）を使用した。

(2) プロテアーゼ処理米の調製

アクチナーゼ使用量を米重量の1/1000、処理温度を37℃、処理時間を1時間とし、II-2-(4)に記載した方法でプロテアーゼ処理米を調製した。処理後、プロテアーゼ処理米を3分割し、その1区分を冷風乾燥して無加工米とした。残りの2区分は、結果に記す蒸煮処理とゼラチンコーティング処理に供した。

(3)米粒の硬さ

テクスチュロメーター (General Foods, GTX-2) で米粒の硬さを測定した。測定条件は以下の通りである。試料、米粒1粒; プランジャー、針型 (直径3 mm); クリアランス、0.5 mm; 咀嚼速度、6回/分; 品温、25℃。

(4)炊飯

I-1-(5)に記載した方法で行った。加水量と浸漬時間は結果に記載した。

(5)米飯テクスチャー

テクスチュロメーター (General Foods, GTX-2) による3粒法で測定した。測定項目は硬さ、粘りおよび粘り/硬さである。測定条件はI-2-(9)と同様である。

(6)官能評価

10名で構成された消費者パネルを用いた。評価する特性は米飯の光沢、香り、硬さ、粘りおよび総合評価の5特性とした。基準試料には無加工米 (結果を参照) 米飯を使用した。評価方法はI-2-(2)と同様である。

3. 結果

プロテアーゼ処理米に機械的強度を付与するために、2種類の方法を考案した。第一は、プロテアーゼ処理米に短時間水蒸気をあてて蒸煮し、米粒表面を糊化させる方法である。第二は、高濃度のゼラチン溶液に酵素処理米を浸漬して、米粒表面をゼラチンコーティングする方法である。

蒸煮処理は、Watanabeら(1990b)の方法に従った。プロテアーゼ処理して水洗した米をステンレスざるに入れて水切りし、10分間水蒸気加熱した後、温風乾燥した。以後、この方法を蒸煮法、この処理で加工した米を蒸煮米と称する。ゼラチンコーティング処理では、プロテアーゼ処理して水洗した米をステンレスざるに入れて水切りし、10%ゼラチン溶液に浸漬した後、エタノール中に米粒を落下させることにより脱水し、冷風乾燥した。以後、この方法をコーティング法、この処理で加工した米をコーティング米と称する。表III-1に無加工米、蒸煮米、コーティング米および原料米の硬さと碎粒率を示す。無加工米は原料米に比べて非常にやわらかいが、蒸煮米およびコーティング米では硬さが増加した。とくに、蒸煮米は原

料米に近い硬さを示した。蒸煮米およびコーティング米は、砕粒化の割合が無加工米の半分以下に減少した。

米粒の砕粒化が防止できても、米飯のテクスチャー特性が損なわれたのでは加工の意味がなくなるため、砕粒化防止加工が米飯テクスチャー特性にあたえる影響を検討した。プロテアーゼ処理過程で、原料米は水に浸漬される。その後、冷風または温風乾燥されるが、乾燥後の吸水量は原料米と異なることが予測される。炊飯にさきだつて、砕粒化防止加工を施した米の吸水状態を検討した。蒸煮米またはコーティング米は、それぞれ浸漬10分間と30分間で、ジャボニカ種米の最大吸水量に相当する30%（貝沼，1979）の水を吸収した。この結果に基づき、炊飯前の米の浸漬時間を蒸煮米では10分間、コーティング米では30分間とした。無加工米は、60分間（プロテアーゼ処理時間に相当する）とした。加水量はいずれの米も原料米重量の1.5倍とした。表Ⅲ-2に蒸煮米、コーティング米および無加工米の米飯テクスチャー特性値を示す。蒸煮米およびコーティング米米飯の粘りと粘り/硬さは、無加工米米飯に比べて有意に劣ることはなかった。粘りに関しては、ゼラチン被膜を形成したコーティング米米飯が、無加工米米飯より有意に大となった。

表Ⅲ-3に蒸煮米およびコーティング米米飯の官能スコアを示す。基準試料には無加工米米飯を使用した。官能評価でも、蒸煮米およびコーティング米米飯は、無加工米米飯に劣らないと評価された。とくに、蒸煮米米飯では香りと硬さ、コーティング米米飯では硬さ、光沢および粘りの評価が無加工米米飯よりも向上した。

4. 考察

米を水に浸漬すると、米粒表面が急激な水分吸収を受けてひずみを生じ、米粒に胴割れと呼ばれる亀裂が起こる。この亀裂は胚乳内部にまでおよび（早川および伊賀上，1979）、再度乾燥させてももとの状態には戻らない。このような理由で、プロテアーゼ処理した米は砕粒化しやすくなる。本節では、砕粒化を防止するために蒸煮処理およびゼラチンコーティング処理を試みた。

蒸煮処理ではでんぷんの部分的糊化により、コーティング処理ではゼラチン被膜の形成により、米粒表面の強度が増して、砕粒の割合が減少したために、両処理とも砕粒化防止に有効な手段であることが判明した。実用的見地から、流通過程で強い力が加わる場合も

あることを考慮して、原料米と同程度の強度を付与することができる蒸煮処理の方が、より適切な加工法であると考えられる。蒸煮処理した米の外観を、図Ⅲ-1に示す。

砕粒化防止加工を施した米の米飯テクスチャー特性値および官能評価の結果より、2種類の加工法はいずれも米飯の嗜好性を損なわないことが判明した。米飯の粘りに関しては、コーティング米米飯が無加工米米飯よりもよく粘った。これは、米粒表面に付着したゼラチンが米飯に粘りを加えたためと考えられる。官能評価において、砕粒が混入しているために米飯の食味が悪いと指摘したパネリストはいなかった。砕粒の混入率と食味との関係については、柳瀬ら(1985)により、新米の場合30%以上の砕粒が混入しないと米飯食味に悪影響は現れないことが報告されている。そのため、砕粒化防止加工を施した米の砕粒率(13~15%)は、米飯食味にほとんど影響をあたえないものと思われる。

以上の結果を総合して、流通に不適であると考えられたプロテアーゼ処理米は、蒸煮やゼラチンコーティングを施すことでプロテアーゼ処理による炊飯特性の改変効果を損なうことなく、流通に適するものになると結論した。

§ 2 大量炊飯用としての米飯食味改変剤の開発

1. 緒言

炊飯特性改変技術を実用化するための第二の方法として、大量炊飯を行う外食産業用に、米飯食味改変剤を開発することが挙げられる。改変剤を使用すれば、炊飯前の米に加えて浸漬するだけの簡単な操作で、米飯適性が低い米の炊飯特性を大きく向上させることができる。有効性が高く低価格の改変剤を開発することができれば、外食産業にとって大きな経済効果が期待できる。

本節は、プロテアーゼをベースとして、炊飯特性の向上に寄与する各種添加物を加えることにより、優れた効果を有する改変剤の開発を試みるとともに、開発した改変剤を品種や産地の異なる多数の米に供試することにより、その有効性を確認することを目的とした。

2. 実験材料および方法

(1) 材料

1) 供試米

表Ⅲ-4に示した25種類の精白米（精米歩合92%，1991年産）を使用した。

2) プロテアーゼおよび添加物

プロテアーゼにはビオブラーゼ（ナガセ生化学工業，600,000単位/g固形分，食品工業用途）を、添加物にはグルコノデルタラクトン（藤沢薬品工業，以後GDLと略す），ポリリン酸（武田薬品工業），L-アスコルビン酸（武田薬品工業），コーンスターチ（数島スターチ），ジャがいもでんぷん（東海澱粉），もち米でんぷん（島田化学工業）および糖脂肪酸エステル（第一工業製薬，商品名：DKエステル-F160），L-グルタミン酸-1-ナトリウム（味の素，以後MSGと略す）および食塩を使用した。

(2) 食味値

供試米を200 μ m以下に粉碎して、食味計（佐竹製作所，TB1C）で測定した。食味値の算出は、以下の食味判定式によった。

$$\text{食味値} = P + Q * (\text{アミロース量}) \alpha * (\text{タンパク質量}) \beta * \\ (\text{水分}) \gamma * (\text{脂肪酸度}) \delta$$

ここで、P, Q, α , β , γ および δ は定数である。

(3) 炊飯

供試米(450 g)に水(600 ml)を加え、I-2-(5)と同様に洗米した。洗米後の米に乾燥重量の1.5倍量になるように水または水と米飯食味改変剤を加え、所定温度(結果に記載)で所定時間(結果に記載)浸漬または処理した。炊飯には電気炊飯器(松下電器, SR-3100)を使用した。米450 gを炊飯するために要する通電時間は約30分間で、その後、15分間蒸らし操作を行った。

(4)米飯テクスチャー

テクスチュロメーター(General Foods, GTX-2)による3粒法で測定した。測定項目は硬さ、粘りおよび粘り/硬さである。測定条件はI-2-(9)と同様である。

(5)米飯糊化度

I-2-(6)に記載した方法で測定した。

(6)官能評価

20名で構成された専門家パネル(米関連事業従事者)を用いた。評価する特性は米飯の外観、香り、味、硬さ、粘りおよび総合評価の6特性とした。基準試料には、米飯食味改変剤処理を行わずに炊飯した米飯を使用した。評価方法はAからEの5段階評点法または-3から+3の7段階評点法による。

3. 結果

(1)米飯食味改変剤の開発

1)プロテアーゼの選定と配合量

米飯食味改変剤(以後改変剤と略す)の開発にあたり、主要成分であるプロテアーゼの選定および配合量を、ハツシモを供試米に用いて検討した。食品工業用途のプロテアーゼ4種類(ビオブラーゼ、デナブシン、デナチウム、パバイン)からスクリーニングした結果、供試米の炊飯特性改変にアクチナーゼと同等の効果が得られたものは、ビオブラーゼであった。本酵素はアクチナーゼよりも安価であるため、プロテアーゼにはビオブラーゼを使用することにした。

ビオブラーゼの米に対する配合量を検討した。図Ⅲ-2にビオブラーゼ配合量と米飯テクスチャーの粘り/硬さを示す。ビオブラーゼ配合量が増加するに伴って粘り/硬さの値は上昇したが、配合量が0.01%を越えると、米飯に異臭あるいは着色が生じた。米重量の0.01%以上のビオブラーゼを配合することは、製品コストにも影響をあたえる。以上の結果から、米飯テクスチャーの改変に十分な効

果が得られ、コスト的にも妥当な配合量として、ビオブラーゼ配合量は米重量の0.01%に設定した。

2) pH調整剤の選定と配合量

浸漬水のpHは、米飯の特性に影響をあたえる(農林省食糧研究所, 1969)。コガネバレとコシヒカリを供試米に使用して、浸漬水のpHが米飯のテクスチャー特性に及ぼす影響を検討した。pH調整剤としてGDL、ポリリン酸およびL-アスコルビン酸の3種類の酸を使用した。予備実験の結果から、酸の配合量は米重量の0.05%とした。

図III-3に浸漬液のpHと米飯テクスチャーの粘り/硬さの上昇度を示す。粘り/硬さの上昇度は、酸類配合によってpHを調整した米飯の測定値と、無調整の米飯の測定値との差として表示した。上昇度は、浸漬液のpHが低下するに伴って増加した。pHが4.0以下になると上昇度は0.3ポイント以上となったが、粘り/硬さは逆に低下し、酸臭や酸味も生じた。そのため、粘り/硬さの上昇度が0.03~0.1ポイントの範囲内になるように、酸の配合量を調整する必要がある。データは省略したが、官能評価の結果より、3種類の酸の中ではGDLの配合が、米飯の香りや味に及ぼす影響が最も少ないと評価された。以上の結果から、改変剤には米重量の0.05%のGDLを配合することにした。

3) でんぷんの選定

前章の§2で明らかにしたように、米飯の粘りおよび光沢を増加させるためには、米飯表面にでんぷん糊の被膜を作ることが必要である。米にでんぷんを配合して炊飯すると、米飯の粘りおよび光沢が増加することも確認された(表II-11)。改変剤処理による米飯の光沢および粘りの改変効果を高めるために、でんぷんの配合を検討した。配合するでんぷんには、コスト的に利用可能なコーンスターチ、ジャガイモでんぷんおよびもち米でんぷんの3種類を選定した。供試米にはチヨニシキを使用した。でんぷん配合量は、予備実験の結果から米重量の0.15%とした。

表III-5にビオブラーゼとGDLにでんぷんを配合して処理した米飯のテクスチャー特性値を示す。いずれのでんぷんを配合した場合にも、米飯の光沢、粘りおよび粘り/硬さは無添加の米飯より有意に上昇した。3種類のでんぷんの間に顕著な効果の違いは認められなかったため、改変剤には最も安価なコーンスターチを米重量の0.15%配合することにした。

4) 配合割合

Watanabe ら(1991a)は、プロテアーゼを米粒内部にまで浸透させるためには界面活性剤の使用が有効であると報告しているため、改変剤にはしょ糖脂肪酸エステル(米重量の0.0003%)を配合することにした。さらに、米飯食味の向上に有効であると考えられるMSG(米重量の0.002%)および食塩(米重量の0.04%)も配合することにした。以上の結果を総合して、最終的な米飯食味改変剤の配合割合を表Ⅲ-6に示すように決定した。

(2) 米飯食味改変剤の処理効果

1) 供試米の食味値および米飯テクスチャー特性

開発した米飯食味改変剤の有効性を検証するために、品種および産地の異なる25種類の供試米を使用した。供試米の食味値および改変剤無処理の米飯テクスチャー特性値を表Ⅲ-7に示す。

供試米の食味値は、80点台(特Aランクの米)1品種、70点台(Aランクの米)11品種、60点台(Bランクの米)9品種および50点台(Cランクの米)4品種であった。米飯テクスチャー特性の粘り/硬さは、0.11~0.25の範囲にあった。食味値と粘り/硬さとの間には、正の相関($r=0.92$)が認められた。

2) 処理条件の検討

米飯食味改変剤の処理条件を決定するために、供試米にチヨニシキを使用して、処理温度と処理時間を検討した。処理温度は30、40および50℃の3段階、処理時間は0、30、60および90分間の4段階とした。処理条件の異なる米の米飯を官能評価した結果(表Ⅲ-8)、50℃で30分以上処理した米の米飯は香りが悪くなること、30℃処理では改変効果が出にくいことが判明した。40℃で120分間処理した米の米飯は、粘り、硬さおよび外観について非常に良好な改変効果が得られた。以上の結果から、米飯食味改変剤の最適処理条件を40℃、120分間と決定した。

3) 米飯テクスチャーの改変効果

米飯食味改変剤による米飯テクスチャーの改変効果を検討した。結果を図Ⅲ-3から図Ⅲ-5に示す。いずれの図も供試米の食味値を横軸に、処理後の米飯テクスチャー特性値の上昇度を縦軸に示した。上昇度は、改変剤処理して炊飯した米飯の特性値と、無処理で炊飯した米飯の特性値との差として表示した。粘りおよび粘り/硬さで

は正の方向へ、硬さでは負の方向へ上昇度が移動した場合に、改変効果が認められたと判定した。

改変剤処理して炊飯した米飯の粘りに関しては、1種類の供試米を除いて、いずれの供試米でも改変効果が認められた。硬さに関しては、約半数の供試米で改変効果が認められたが、残り半数では顕著な効果は確認されなかった。粘り／硬さに関しては、3種類の供試米を除いて、いずれも改変効果が認められた。以上の結果から、米飯食味改変剤処理は供試米の米飯テクスチャー特性の改変、とくに、粘りの改変に有効であることが確認された。

4) 糊化度の向上効果

米飯食味改変剤処理が米飯の糊化度にあたえる効果について検討した。図Ⅲ-6に示したように、改変剤処理して炊飯した米飯の糊化度は、すべての供試米で無処理米の米飯より上昇した。

5) 米飯食味の改変効果

米飯食味改変剤による処理が米飯食味にあたえる効果について、専門家パネルによる官能評価で検討した。結果を図Ⅲ-7から図Ⅲ-12に示す。いずれの図も供試米の食味値を横軸に、処理米米飯の官能スコア（無処理米米飯を0とした場合）を縦軸に示した。いずれの特性も、スコアが正となった場合に改変効果が認められたと判定した。

改変剤処理して炊飯した米飯の粘りは全ての供試米で、外観はほとんどの供試米で改変されたと判定された。硬さおよび味に関しては、改変効果が認められた供試米と認められない供試米とがあり、改変剤処理による効果は一定しなかった。総合評価に関しては、大部分の供試米で改変剤処理米の米飯の方が、好まれるという結果が得られた。香りに関しては、ほとんどの供試米で、食味改変剤処理による効果は確認されなかった。

4. 考察

現在、数社から業務用の米飯食味改変剤が市販されている。これらの改変剤のほとんどは、 α -アミラーゼを主要成分とするもので、アミラーゼの作用によってでんぷんを部分的に水解して米飯でんぷんの糊化度を上昇させることにより、米飯食味の向上を企図するものである。これらの米飯食味改変剤処理により、米飯の硬さはある程度改変できるものの、粘りや光沢の改変に対しては、顕著な効果

は認められていない。ババインをベースとする改変剤もあるが、ババインは反応生成物に苦味ペプチドを生じる場合があるため、過度の使用は返って食味を低下させる恐れがある。

本研究で開発された米飯食味改変剤は、ビオブラーゼを主要成分とする。ビオブラーゼは、アクチナーゼと同様に、炊飯過程ででんぶんの流出を促進するとともに、でんぶんに結合するでんぶん結合タンパク質を水解・可溶化することによって、でんぶんの糊化度を上昇させる。このような2段階のプロテアーゼ作用が、米飯に粘りと光沢を付与することを可能にした。さらに、ビオブラーゼによる処理は、米飯の硬さも低下させ、苦味の発生は認められなかった。これらの効果は、食味値の異なる複数の供試米で確認された。以上述べたように、本改変剤は今までにないタイプの新しい米飯食味改変剤であり、その有効性は現在市販されている改変剤を大きく上回るものであるため、企業によって製品化が進められている。現在、実用化計画は最終の外食産業における試行段階にきており、近く市販される予定である。

前章の§3では、プロテアーゼ処理により、古米米飯の香りが改善されることを明らかにした。しかし、改変剤処理してそのまま炊飯した米飯の官能評価では、香りの評価は向上しなかった。この結果は、前章の§3ではプロテアーゼ処理液を除去して炊飯したのに対し、改変剤処理米では処理液ごと炊飯したためと推察される。今後は、古米臭をはじめとする米飯の悪臭を包接あるいはマスキングする成分を添加し、香りの向上を目指す予定である。

近い将来、アミロースおよびでんぶん結合タンパク質含量の高いインディカ種米が多量輸入される見通しである。前章の§2で明らかにしたように、インディカ種米の米飯に粘りおよび光沢を発現させるためには、でんぶん結合タンパク質を水解・可溶化させる酵素処理条件の設定が必要であった。この知見を基に、インディカ種米用の米飯食味改変剤として、ビオブラーゼにコラゲナーゼなどを添加したものを開発し、外食産業でその効果を検討中である。

§ 3 要 約

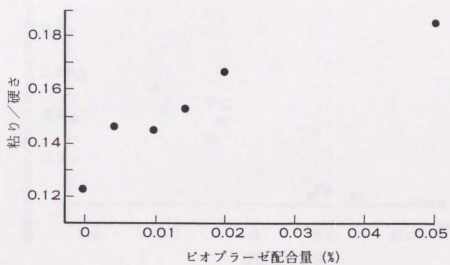
本章では、プロテアーゼ処理による炊飯特性改変技術を実用化するために、2種類の方法を検討した。その第一は、一般消費者向けにプロテアーゼ処理米を流通させるための製造プロセスの確立であり、第二は、外食産業向けの業務用米飯食味改変剤の開発である。

プロテアーゼ処理した米は脆弱化しており、流通過程で砕粒化する。改変効果を損なわずに、砕粒化を防止して流通に耐えるような機械的強度を処理米に付与するためには、蒸煮処理が有効であった。

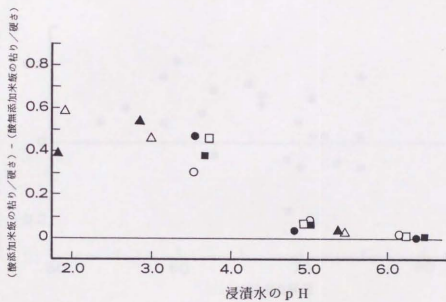
大量炊飯用としての米飯食味改変剤には、プロテアーゼとしてピオブラーゼ、pH調整剤としてグルコノデルトラクトン、光沢および粘り付与成分としてコーンスターチ、界面活性剤としてしょ糖脂肪酸エステルおよび食味向上剤としてL-グルタミン酸-1-ナトリウムおよび食塩を配合した。この米飯食味改変剤を米に加えて40℃で2時間程度保温することにより、品種および保存状態などが異なる各種精白米の炊飯特性を有効に改変することができた。本研究の成果としての米飯食味改変剤は、現在、外食産業で試用されており、近い将来には企業化される予定である。



図III-1 蒸煮処理米の外観

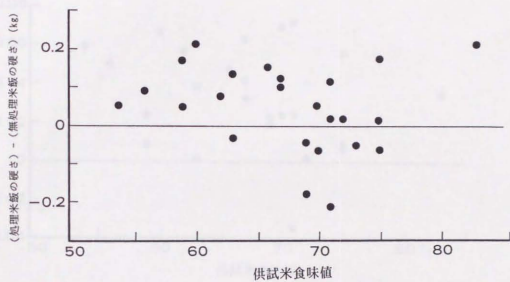


図III-2 配合量が異なるバイオプラザーで処理した米の米飯の粘り/硬さ

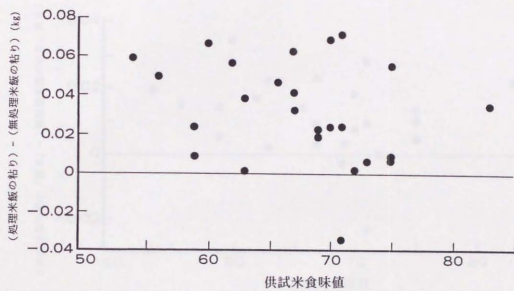


図Ⅲ-3 酸の添加が米飯の粘り/硬さにあたる影響

○●, GDL; △▲, ポリリン酸; □■, アスコルビン酸
 ○△□, コシヒカリ; ●▲■, コガネバレ



図III-4 米飯の硬さにあたえる米飯食味改変剤の効果



図III-5 米飯の粘りにあたえる米飯食味改变剂の効果

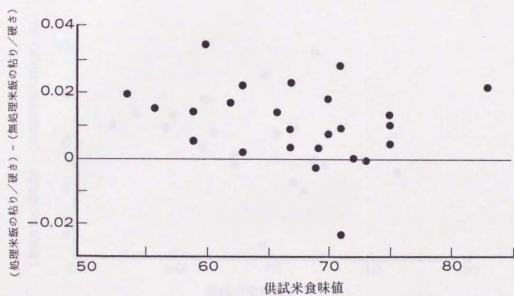
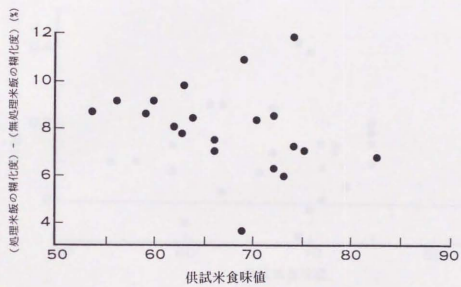
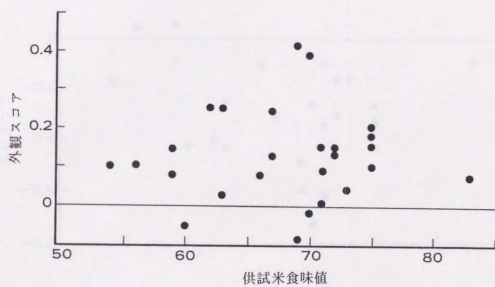


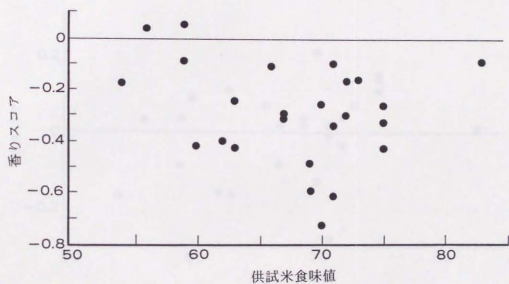
図 III-6 米飯の粘り／硬さにあたえる米飯食味改変剤の効果



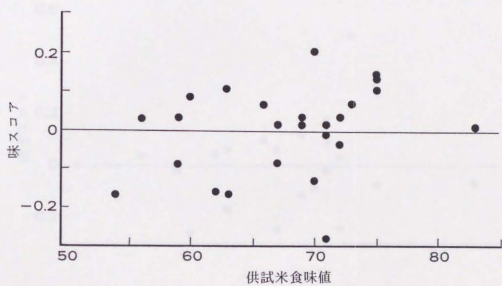
図III-7 米飯の糊化度にあたる米飯食味変更剤の効果



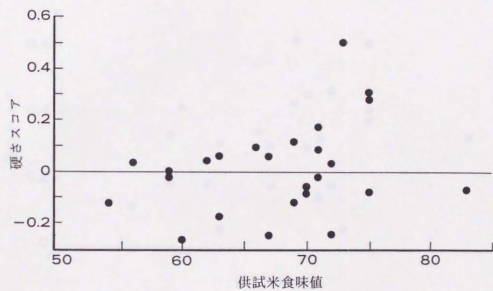
図III-8 外觀の米飯官能スコアにあたる米飯食味改変剤の効果



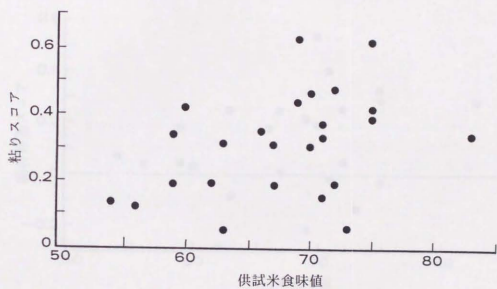
図III-10 香りの米飯官能スコアにあたる米飯食味改変剤の効果



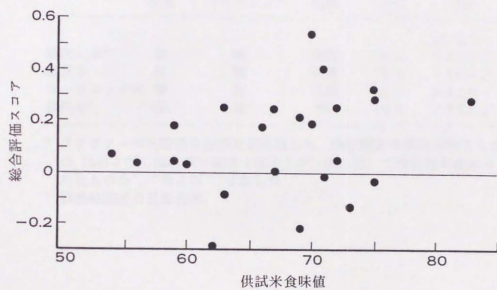
図III-10 味の米飯官能スコアにあたる米飯食味改変剤の効果



図III-11 硬さの米飯官能スコアにあたる米飯食味改変剤の効果



図III-12 粘りの米飯官能スコアにあたる米飯食味改変剤の効果



図III-13 総合評価の米飯官能スコアにあたる米飯食味改変剤の効果

表Ⅲ-1 プロテアーゼ処理米の砕粒率および硬さにあたえる蒸煮およびゼラチンコーティングの効果

供試米	処 理			砕粒率 (%)	硬 さ (kg)
	蒸煮	ゼラチン コーティング			
		乾燥			
無加工米 ^a	無	無	冷風	35.6	av. ± s. e. 3.0 ± 0.1
蒸煮米	有	無	温風	13.4	7.1 ± 0.2**
コーティング米	無	有	冷風	14.6	4.6 ± 0.4*
原料米 ^b	無	無	無	<1.0	7.6 ± 0.1***

^a アクチナーゼ処理米を直接冷風乾燥した。統計解析の基準試料とした。5%, 1%および0.1%水準で基準（無加工米）値に対して有意差が認められたものを*, **および***で表した。

^b 酵素処理前の自然古米。

表Ⅲ-2 砕粒化防止加工米の米飯テクスチャー特性値

供試米	テクスチャー特性値	
	粘り(kg)	粘り/硬さ
	av. ± s. e.	av. ± s. e.
蒸着米	0.60 ± 0.02	0.25 ± 0.01
コーティング米	0.79 ± 0.02**	0.28 ± 0.01
無加工米 ^a	0.66 ± 0.03	0.28 ± 0.01

^a 酵素処理後直ちに炊飯し、統計解析の基準試料とした。1%水準で基準（無加工米）値に対して有意差が認められたものを**で表した。

表Ⅲ-3 砕粒化防止加工米の米飯官能スコア^a

特 性	供 試 米	
	蒸着米	コーティング米
	av. ± s. e.	av. ± s. e.
光 沢 ^b	-1.60 ± 1.14	1.35 ± 1.06
香 り ^c	1.13 ± 1.12	0.74 ± 1.52
硬 さ ^d	1.89 ± 0.75	1.63 ± 1.29
粘 り ^e	-0.31 ± 1.56	1.20 ± 1.12
総合評価 ^f	0.28 ± 1.69	-0.05 ± 1.12

^a 酵素処理後直ちに炊飯した無加工米を基準試料とした。

^b 基準試料と比べて非常に光沢がある(+5点)から非常に光沢がない(-5点)までの評定尺度法。

^c 基準試料と比べて非常に良い(+5点)から非常に悪い(-5点)までの評定尺度法。

^d 基準試料と比べて非常にやわらかい(+5点)から非常に硬い(-5点)までの評定尺度法。

^e 基準試料と比べて非常に粘りがある(+5点)から非常に粘りがない(-5点)までの評定尺度法。

^f 基準試料と比べて非常に好ましい(+5点)から非常に好ましくない(-5点)までの評定尺度法。

表Ⅲ-4 供試米の品種および産地

供試米	品 種	産 地
1	コガネバレ	愛媛
2	越路早生	新潟
3	コシヒカリ	栃木
4	コシヒカリ	栃木
5	コシヒカリ	茨城
6	コシヒカリ	千葉
7	コシヒカリ	新潟
8	コシヒカリ	石川
9	コシヒカリ	長野
10	コシヒカリ	愛媛
11	コシヒカリ	熊本
12	フクヒカリ	岐阜
13	ササニシキ	宮城
14	サトホナミ	宮城
15	タマミノリ	埼玉
16	チヨニシキ	茨城
17	月の光	栃木
18	トドロキワセ	新潟
19	新潟早生	新潟
20	ハツシモ	岐阜
21	ヒノヒカリ	熊本
22	星の光	栃木
23	松山三井	愛媛
24	ミネニシキ	愛媛
25	レイホウ	熊本

表III-5 米飯特性値にあたるでんぶん添加の効果

でんぶん	米飯特性値		
	光 沢(%)	粘 り(kg)	粘り/硬さ
	av. ± s. e.	av. ± s. e.	av. ± s. e.
コーンスターチ	22.1 ± 0.7*	0.53 ± 0.03**	0.24 ± 0.02***
じゃがいもでんぶん	22.8 ± 0.9*	0.55 ± 0.04***	0.26 ± 0.06***
もち米でんぶん	23.5 ± 1.0*	0.53 ± 0.01***	0.26 ± 0.01***
無添加 ^a	20.1 ± 0.5	0.45 ± 0.01	0.19 ± 0.02

^a 統計解析の基準試料とした。5%、1%および0.1%水準で基準（無添加）値に対して有意差が認められたものを*、**および***で表した。

表III-6 米飯食味改変剤の
配合割合^a(%)

ビオブラーゼ	0.01
グルコノデルタ ラクトン	0.05
コーンスターチ	0.15
しょ糖脂肪酸 エステル	0.0003
L-グルタミン酸- 1-ナトリウム	0.002
食 塩	0.04

^a 米重量に対する割合を示す。

表III-7 供試米の食味値および米飯テクスチャー特性値*

供試米	食味値	テクスチャー特性値		
		硬 さ(kg)	粘 り(kg)	粘り/硬さ
		av. \pm s. e.	av. \pm s. e.	av. \pm s. e.
1	62	2.86 \pm 0.05	0.45 \pm 0.02	0.15 \pm 0.03
2	69	2.78 \pm 0.11	0.53 \pm 0.03	0.19 \pm 0.03
3	71	2.96 \pm 0.04	0.51 \pm 0.06	0.17 \pm 0.02
4	69	2.44 \pm 0.09	0.49 \pm 0.02	0.20 \pm 0.04
5	83	2.34 \pm 0.04	0.57 \pm 0.07	0.24 \pm 0.02
6	70	2.67 \pm 0.12	0.47 \pm 0.05	0.17 \pm 0.04
7	73	2.60 \pm 0.08	0.54 \pm 0.03	0.20 \pm 0.02
8	71	3.03 \pm 0.07	0.56 \pm 0.03	0.18 \pm 0.01
9	60	2.45 \pm 0.03	0.40 \pm 0.02	0.16 \pm 0.01
10	69	2.61 \pm 0.09	0.43 \pm 0.04	0.17 \pm 0.03
11	72	3.09 \pm 0.10	0.56 \pm 0.04	0.20 \pm 0.05
12	75	2.59 \pm 0.03	0.55 \pm 0.06	0.21 \pm 0.02
13	75	2.64 \pm 0.06	0.57 \pm 0.02	0.21 \pm 0.01
14	75	2.36 \pm 0.13	0.53 \pm 0.03	0.22 \pm 0.04
15	54	3.04 \pm 0.02	0.30 \pm 0.03	0.10 \pm 0.02
16	66	2.74 \pm 0.04	0.39 \pm 0.08	0.14 \pm 0.03
17	72	2.58 \pm 0.08	0.55 \pm 0.04	0.21 \pm 0.02
18	70	2.70 \pm 0.05	0.47 \pm 0.02	0.17 \pm 0.01
19	67	2.89 \pm 0.07	0.47 \pm 0.05	0.16 \pm 0.02
20	56	3.01 \pm 0.07	0.36 \pm 0.05	0.12 \pm 0.02
21	67	2.81 \pm 0.08	0.53 \pm 0.07	0.19 \pm 0.03
22	71	3.28 \pm 0.03	0.57 \pm 0.03	0.17 \pm 0.01
23	59	3.14 \pm 0.10	0.35 \pm 0.02	0.11 \pm 0.01
24	63	3.25 \pm 0.05	0.48 \pm 0.02	0.14 \pm 0.02
25	59	2.70 \pm 0.03	0.35 \pm 0.06	0.13 \pm 0.02

* 米飯食味改良剤を添加しないで炊飯した米飯の特性値。

表III-8 米飯官能スコア^aにあたる米飯食味改変剤の処理温度および処理時間の影響

処理条件		官能スコア			
温度(°C)	時間(分)	香り ^b	外観 ^b	硬さ ^c	粘り ^d
30	0	C	C	C	C
	30	C	C	C	C
	60	C	C	B	B
	90	C	C	B	B
	120	D	C	A	B
40	0	C	C	C	C
	30	D	B	C	C
	60	A	C	C	C
	90	B	C	C	B
	120	C	B	A	A
50	0	C	B	C	C
	30	D	B	C	B
	60	D	B	C	C
	90	D	B	C	C
	120	D	B	A	A

^a 米飯食味改変剤を加えずに、25°Cで30分間浸漬して炊飯した米飯を基準試料とした。

^b 基準試料と比べてA、とても良い；B、良い；C、変わらない；
d、少し悪い；E、悪いことを示す。

^c 基準試料と比べてA、とてもやわらかい；B、やわらかい；
C、変わらない；D、少し硬い；E、硬いことを示す。

^d 基準試料と比べてA、とてもある；B、ある；C、変わらない；
D、あまりない；E、ないことを示す。

... (faint text) ...

1. ... (faint text) ...

2. ... (faint text) ...

結 論

3. ... (faint text) ...

4. ... (faint text) ...

本研究は、米飯適性が低い米の米飯食味を向上させる技術を開発するとともに、開発した技術を実用化するための方法を確立することを目的とし、以下に述べる結論を得た。

1. 米飯適性が高い米の米飯と比較して、適性が低い米の米飯は、硬い、粘らない、光沢がないという共通特性を有しており、これらの特性のために食味が劣ると評価された。これらの特性のほかに、古米では古米臭も食味に悪影響をあたえた。

2. 米飯適性が低い米の米飯の硬さを改変する方法として、高圧処理（100 MPa, 10分間）または多糖分解酵素（セルラーゼおよびペクチナーゼ）処理が有効であった。これらの処理で米飯がやわらかくなるのは、米の胚乳細胞壁が部分的に破壊されるためであった。

3. 米飯適性が低い米の米飯に粘りおよび光沢を発現させる方法として、プロテアーゼ（アクチナーゼ）処理が有効であった。プロテアーゼ処理すると、でんぷんを胚乳細胞内に固定している塩溶性タンパク質が水解されることによって、でんぷんの米粒外への流出を促進するとともに、でんぷん結合タンパク質が水解・可溶化されて、でんぷんの糊化特性を向上させた。その結果、高度に糊化したでんぷん糊が米飯表面を被覆するようになり、米飯に粘りと光沢が発現した。さらに、プロテアーゼ処理した米では、米飯の硬さも低下した。これは、プロテアーゼが米粒内部にまで浸透して、でんぷん結合タンパク質を水解・可溶化させることにより、炊飯過程ででんぷんが高度に糊化したためと考察した。古米をプロテアーゼ処理すると、反応生成物として疎水領域を有するペプチドが生成した。このペプチドに米飯フレーバー成分が疎水結合し、炊飯前にプロテアーゼ処理液を捨てて水洗すると、古米米飯の古米臭は低減化した。以上の結果から、米飯適性が低い米の炊飯特性改変には、プロテアーゼ処理が最も有効であると結論した。

4. プロテアーゼ処理による炊飯特性改変技術を実用化するために、2つの研究を行った。その第一は、一般消費者向けのプロテアーゼ処理米の製造プロセスの確立であり、第二は、外食産業向けの米飯食味改変剤の開発である。プロテアーゼ処理米は脆弱化しており、

流過程で砕粒化する。処理米に砕粒化を防止して流通に耐えるような機械的強度を付与するためには、蒸煮処理が有効であった。大量炊飯用としての米飯食味改変剤には、プロテアーゼとしてピオブラーゼ、pH調整剤としてグルコノデルタラクトン、粘り付与成分としてコーンスターチ、界面活性剤としてしょ糖脂肪酸エステル、食味向上剤としてL-グルタミン酸-1-ナトリウムおよび食塩を配合した。この食味改変剤を加えて保温するだけで、品種や産地などが異なる各種供試米の炊飯特性が有効に改変された。

關於我國的民主主義革命戰爭，是長期的，也是曲折的。在戰爭過程中，我們必須堅持持久戰的方針，同時，我們必須堅持團結戰線的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持獨立自主的原則，同時，我們必須堅持鞏固後方的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持發展生產的原則，同時，我們必須堅持改善生活的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持教育救國的原則，同時，我們必須堅持科學救國的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持民族團結的原則，同時，我們必須堅持國際團結的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持人民戰爭的原則，同時，我們必須堅持人民戰爭的原則。

總 括

在戰爭過程中，我們必須堅持持久戰的方針，同時，我們必須堅持團結戰線的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持獨立自主的原則，同時，我們必須堅持鞏固後方的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持發展生產的原則，同時，我們必須堅持改善生活的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持教育救國的原則，同時，我們必須堅持科學救國的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持民族團結的原則，同時，我們必須堅持國際團結的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持人民戰爭的原則，同時，我們必須堅持人民戰爭的原則。

關於我國的民主主義革命戰爭，是長期的，也是曲折的。在戰爭過程中，我們必須堅持持久戰的方針，同時，我們必須堅持團結戰線的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持獨立自主的原則，同時，我們必須堅持鞏固後方的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持發展生產的原則，同時，我們必須堅持改善生活的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持教育救國的原則，同時，我們必須堅持科學救國的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持民族團結的原則，同時，我們必須堅持國際團結的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持人民戰爭的原則，同時，我們必須堅持人民戰爭的原則。

在戰爭過程中，我們必須堅持持久戰的方針，同時，我們必須堅持團結戰線的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持獨立自主的原則，同時，我們必須堅持鞏固後方的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持發展生產的原則，同時，我們必須堅持改善生活的方針。在戰爭過程中，我們必須堅持教育救國的原則，同時，我們必須堅持科學救國的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持民族團結的原則，同時，我們必須堅持國際團結的原則。在戰爭過程中，我們必須堅持人民戰爭的原則，同時，我們必須堅持人民戰爭的原則。

米には炊飯したときに強く粘りができるものと、炊飯方法に留意しても粘りがでないものがある。近年、日本では炊飯したときに強く粘りがでてやわらかいコシヒカリのような品種が、米飯適性が優れた良食味米として好まれる傾向にある。しかし、これらの品種は耐病性や耐倒伏性に劣ることから、生産量確保のために、現実には必ずしもこれらの良食味品種だけが生産されているわけではない。また、新米の状態では良食味の米も、保蔵が長期化すると古米化して、米飯食味が劣るようになる。さらに、近い将来、ジャポニカ種米より粘りの少ないインディカ種米が、多量輸入される可能性がある。

本論文は、日本人にとって米飯適性が低いと評価される米、すなわち遺伝的要因や環境条件によって新米でも粘りの少ない米、あるいは保蔵中に古米化して粘りを失った米の炊飯特性を解析することにより、これを改変するための基礎理論を確立し、さらに、改変技術を一般消費者向けまたは外食産業向けに実用化する方法を提唱したものであって、序論に続き、以下の3章から構成される。

第1章は、遺伝的要因によって米飯適性が低いと評価されるジャポニカ種米とインディカ種米および保蔵期間中に米飯適性が低下したジャポニカ種古米について、これらに共通する炊飯特性を解析した経緯が述べられている。米飯適性が低い米の官能評価、成分分析、米飯糊化度、熱水可溶性でんぷん量、米飯テクスチャー特性値の測定を行った結果、これらの米に共通する炊飯特性には、「硬い」、「粘りがない」、「光沢がない」という3つの特徴があることをまず明らかにした。古米では「香りが悪い」ことがこれに付け加わっていた。さらに、硬さの特性が劣る要因として米飯糊化度が低いことを、粘りおよび光沢特性が劣る要因として、熱水可溶性でんぷんの生成量が少ないことを見いだした。これらの結果から、硬い米飯を軟化させるためには、米粒全体にわたってでんぷんを包囲している微小空間を破壊または拡大する処理を米に施して米飯糊化度を向上させればよく、米飯に粘りと光沢を発現させるためには、米粒表面にでんぷんを適度に遊離させてそれを十分糊化させ、米飯表面をそれで被覆すればよいと結論した。

第2章は、米飯適性が低い米の米飯を軟化させる技術および米飯に粘りと光沢を発現させる技術の開発について論じている。はじめに、米飯の硬さを低下させる方法として、米に高圧処理または多糖

分解酵素処理を施した。ジャボニカ種古米およびインディカ種米に高圧（100 MPaで10分間）を負荷すると、その結果米飯の硬さは低下した。セルラーゼおよびベクトリアーゼなどの多糖分解酵素による処理（酵素／米比，1/1000；処理温度，50℃；処理時間，1時間）でも、米飯の硬さは低下した。米飯断面の電子顕微鏡観察から、高圧処理または多糖分解酵素処理による米飯の軟化は、胚乳細胞壁の部分的破壊によるものであることを明らかにした。

米飯に粘りおよび光沢を発現させる方法として、ジャボニカ種古米およびインディカ種米にプロテアーゼ処理（酵素／米比，1/1000；処理温度，37℃；処理時間，1時間）を行った。各種プロテアーゼ処理のなかでは、アクチナーゼ処理が処理米米飯の粘りおよび光沢の発現に最も有効であった。アクチナーゼ処理で米飯に粘りと光沢が発現するのは、でんぷんを胚乳細胞内に固定している塩溶性タンパク質がアクチナーゼによって水解されて、でんぷんを米粒外へ流出させるためであった。さらに、アクチナーゼはでんぷんに結合している推定分子量6万のでんぷん結合タンパク質を水解・可溶化するので、米粒より遊離したでんぷんの糊化度が向上し、高度に糊化したでんぷん糊が米飯表面を被覆するためであった。さらに、米粒内部にまで浸透したアクチナーゼが、でんぷん結合タンパク質を水解・可溶化することによって、米飯の糊化度が上昇し、米飯が軟化すると結論した。

インディカ種米にはジャボニカ種米より多量のでんぷん結合タンパク質が存在する。インディカ種米の米飯特性を改変するためには、でんぷん結合タンパク質の水解・除去が必要であった。でんぷん結合タンパク質の水解には、アクチナーゼにコラゲナーゼ（酵素／米比，1/1000）を併用する処理が有効であることを明らかにした。この併用処理（処理温度，37℃；処理時間，1時間）によって、インディカ種米米飯はジャボニカ種米米飯の特性を有するように改変された。

古米をアクチナーゼ処理すると、処理米米飯の古米臭が低減化した。アクチナーゼ処理の反応生成物として、疎水領域を有する推定分子量1500以上のペプチドが生成した。このペプチドは、米飯フレーバー成分のひとつであるヘキサノールと疎水結合することがモデル実験によって検証された。このことから、アクチナーゼ処理で古米米飯の古米臭が低減化するのには、アクチナーゼの反応生成物であ

るこのベプチドに米飯フレーバー成分が疎水結合し、洗米過程で水洗除去されるためであると結論した。

米飯適性の低い米に対する各種の処理効果を比較した結果、米飯の軟化、粘りと光沢の付与および古米臭の低減化という米飯適性の低い米の炊飯特性改変に要求されるすべての要因を改変できるという点で、プロテアーゼ（アクチナーゼ）処理が最も有効であると結論した。

第Ⅲ章は、プロテアーゼ処理による炊飯特性改変技術を実用化するために開発した2種類の方法について論じている。実用化研究の第一は、一般消費者向けにプロテアーゼ処理米を流通させるための製造プロセスを確立することである。プロテアーゼ処理米は酵素処理過程で水浸漬するため、再度乾燥しても胴割れを生じて脆弱化している。流通過程で機械的力が加わると簡単に砕粒化し、商品価値がなくなる。改変効果を損なわずに砕粒化を防止して流通に適するようにするためには、プロテアーゼ処理米に10分間程度の蒸煮処理を施して、米粒表面を部分的に糊化させることが有効であることを明らかにした。この処理によって、プロテアーゼ処理米に原料米と同程度の機械的強度を付与することが可能であった。

実用化研究の第二として、外食産業向けに業務用の米飯食味改変剤の開発を行った。米飯食味改変剤には、プロテアーゼとしてアクチナーゼと同等の効果を示すヒオブラーゼを選定し、米重量の0.01%配合した。pH調整剤としてグルコノデルタラクトンを米重量の0.05%配合した。光沢および粘りを付与する成分としてコーンスターチを米重量の0.15%配合した。米飯の食味向上を目的としてL-グルタミン酸ナトリウムおよび食塩をそれぞれ米重量の0.002%および0.04%配合した。酵素の胚乳細胞内への浸透および米飯の老化を防止する目的で、界面活性剤としてL-糖脂脂肪酸エステルを米重量の0.0003%配合した。この米飯食味改変剤を米に加えて40℃で2時間程度保温することによって、品種および保存状態などが異なるジャポニカ種精白米の硬さが低下し、粘りおよび光沢が増加した。これらの改変効果は、官能評価によっても確認された。以上の結果から、本研究で開発された米飯食味改変剤は、米飯適性の低い米の食味向上に有効に作用すると結論した。

謝 辞

本論文は、東京学芸大学教育学部生活科学学科教授渡辺道子博士の指導のもとで作製されたものであります。

本研究は、東京大学農学部農芸化学科教授荒井綜一博士によって示唆され、終始ご懇切なるご指導ご鞭撻を賜りました。

また、農林水産省農業生物資源研究所主任研究員渋谷直人博士、東京学芸大学教育学部生活科学学科教授福家眞也博士、東京学芸大学教育学部化学科助教授二宮修治博士および昭和産業株式会社総合研究所研究員木村宏樹氏には、多大のご支援を仰ぎました。

さらに、共同研究者のキュービー株式会社研究所主任研究員本間一男氏、長谷川香料株式会社川崎研究所研究員青山かえで氏および東京学芸大学生活科学学科食物学研究室の皆様方からは、実験面で幾多の援助を受けました。

成果の実用化にあたっては、株式会社佐竹製作所の多大なご援助を仰ぎました。また、本研究の一部は、佐竹製作所財団によって助成されました。

論文を終えるにあたり、各位に深甚なる謝意を表します。

引用文献

- 愛知県農業総合試験場 (1988). 愛知県産米の品種別品質と気象の条件 (昭和50~62年). 昭和62年度関東東海農業試験研究所研究成績・計画概要集 (作物生産・水稲関係), 1:10-73.
- Akazawa, T. and Miyata, S. (1982). Biosynthesis and secretion of α -amylase and other hydrolases in germinating cereal seeds. in "Essays in Biochemistry", vol. 18, ed. by P. N. Campbell, Biochem. Soc., London, pp.42-76.
- Arallo, E. V., De Padua, D. B., and Graham, M. (1976). Rice Postharvest Technology. Publ. 053e, International Development Research Center, Ottawa, Canada, p.394.
- Banks, H. J. and Annis, P. C. (1980). Conversion of existing grain storage structures for modified atmosphere use. in "Controlled Atmosphere Storage of Grain". ed. by J. Shejbal, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, pp.461-473.
- Bolling, H., Hampel, G., and El Baya, A. W. (1978). Studies on storage of milled rice for a long period. Food Chem., 3:17-22.
- Buttrose, M. S. (1962). Formation of rice starch granules. Naturwiss., 49:307-308.
- Cheigh, H.-S., Ryu, C.-H., Jo, J.-S., and Kwon, T.-W. (1977). Effect of washing on the loss of nutrients of rice. Korean J. Food Sci. Technol., 9:170-174.
- Choudhury, N. H. and Juliano, B. O. (1980). Lipids in developing and mature rice grain. Derivatization of agarose and polyacrylamide beads. Phytochemistry, 19:1063-1069.
- Cuatrecasas, P. (1970). Protein purification by affinity chromatography. J. Biol. Chem., 245:3059-3065.
- Curz, L. J., Cagampan, G. B., and Juliano, B. O. (1970). Biochemical factors affecting protein accumulation in the rice grain. Plant Physiol., 46:743-747.
- Evers, A. D. and Juliano, B. O. (1976). Varietal differences in surface ultrastructure of endosperm cell and starch granules of rice. Stärke, 28:160-166.
- Franzen, K. L. and Kinsella, J. E. (1974). Parameters affecting the binding of volatile flavor compounds in model food systems. I. Proteins. J. Agr. Food Chem., 22:675-678.
- Fraser, J. R. and Hoodless, R. A. (1963). Calcium chloride starch-dispersing media. Analyst, 88:558-560.

- Fry, S. C. (1986). Cross-linking of matrix polymers in the growing cell walls of angiosperms. Ann. Rev. Plant Physiol., 37:740-745.
- Fujio, Y., Wada, K., Furuta, H., Hayakawa, I., and Kawamura, Y. (1991). Changes in the aroma of fresh and stored cooked rice during warm-keeping. 日食工誌, 38:1137-1142.
- 月向邦彦 (1990). 生体高分子の水和と圧力効果, 「高圧食品-研究と開発-」, 林力丸編, さんえい出版, 京都, pp.23-35.
- Gremli, H. A. (1974). Interaction of flavor compounds with soy protein. J. Am. Oil Chemists' Soc., 51:95A-97A.
- Halick, J. V. and Kelly, V. J. (1959). Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. Cereal Chem., 36:91-98.
- Hamaker, B. R., Griffin, V. K., and Moldenhauer, K. A. K. (1991). Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness. J. Food Sci., 56:1327-1329 and 1346.
- 林喜三郎, 華表一夫 (1974). ニオイ米の揮発性カルボニル化合物について 育種, 24(別1):162-163.
- 林力丸, 林田あつ子, 原田努 (1987). 高加圧下現象の食品加工への利用(4): 加圧処理デンプンのアミラーゼ消化性. 澱粉科学, 34:261.
- 反田嘉博 (1966). 米の含水率に関する研究(第1報)米の粒質と水分平衡の関係. 日作紀, 35:38-42.
- 早川利郎, 伊賀上郁夫 (1979). コメの水洗に関する研究: 白米の電顕観察と溶出成分. 農化, 53:321-327.
- Hippel, P. H., Gallop, P. M., Seifter, S., and Cunningham, R. S. (1960) An enzymatic examination of the structure of the collagen macromolecule. J. Am. Chem. Soc., 82:2774-2786.
- Hirano, H. and Sano, Y. (1991). Molecular characterization of the waxy locus of rice (*Oryza sativa*). Plant Cell Physiol. 32:989-997.
- Horiguchi, T. and Kitagishi, K. (1976). Studies on rice seed protease VI. Metal ion activation of rice seed peptidase. Soil Sci. Plant Nutr., 22:73-80.
- 石間紀男, 平宏和, 平春枝, 御子榮穆, 吉川誠次 (1974). 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響. 食総研報, 29:9-15.
- Juliano, B. O., Onata, L. U., and Del Mundo, A. M. (1965). Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technol., 19:116-121.
- Juliano, B. O. (1981). International cooperative testing on the amylose content of milled rice. Starke, 3:157-162.
- Juliano, B. O. and Bechtel, D. B. (1985a). Polysaccharides, proteins.

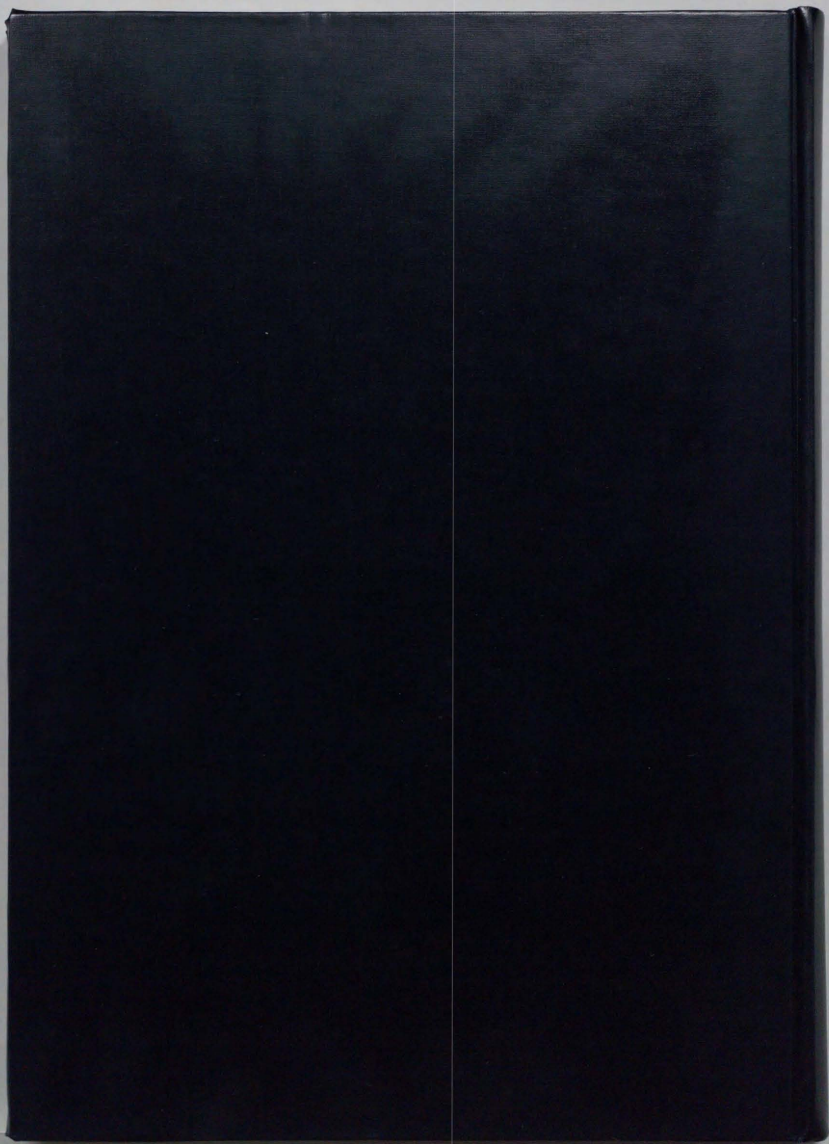
- and lipids of rice. in "Rice: Chemistry and Technology," 2Ed., ed. by Juliano, B. O., The American Association of Cereal Chemists, St. Paul, pp.17-57.
- Juliano, B. O. and Bechtel, D. B. (1985b). The rice grain and its gross composition. in "Rice: Chemistry and Technology," 2Ed., ed. by Juliano, B. O., The American Association of Cereal Chemists, St. Paul, pp.59-160.
- 香川綾 (1978). 「新しい胚芽米」, 女子栄養大学出版部, 東京, p.35, p.89.
- 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一 (1981). β -アミラーゼ-プルランナーゼ (BPA) 系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法. 澱粉科学, 28:235-240.
- 貝沼やす子 (1979). 古米の搗精歩合が炊飯に及ぼす影響について. 家政誌, 30:672-678.
- Kato, A. and Nakai, S. (1980). Hydrophobicity determined by a fluorescence probe method and its correlation with surface properties of proteins. *Biochim. Biophys. Acta*, 624:13-20.
- 勝田啓子, 木下一恵, 西村彰夫, 三浦靖 (1992). 米デンプンゲルの安定性に及ぼす乳化剤の影響 (第1報) ショ糖脂肪酸エステルおよびグリセリンモノ脂肪酸エステル. 日本食品工業学会第39回大会講演集 (東京), p.106.
- Kennedy, B. M., Schelstraete, M., and Del Rosario, A. R. (1974a). Chemical, physical, and nutritional properties of high-protein flours and residual kernel from the overmilling of uncoated milled rice. I. Milling procedure and protein, fat, ash, amylose, and starch content. *Cereal Chem.*, 51:435-448.
- Kennedy, B. M. and Schelstraete, M. (1974b). Chemical, physical, and nutritional properties of high-protein flours and residual kernel from the overmilling of uncoated milled rice. II. Amino acid composition and biological evaluation of the protein. *Cereal Chem.*, 51:448-457.
- Kim, K. O. (1986). The effects of various surfactants on the textural characteristics of Packsulkies. *Nonchong-Han'guk Saenghwal Kwahak Yonjuwon*, 38:231-238.
- 鯨幸夫 (1990). コシヒカリの根系形態に及ぼす栽培条件の影響. 農及園, 60:1193-1195.
- 倉沢文夫, 金井美代, 伊賀上郁夫, 早川利郎 (1959). 新潟産米の米質特食味について. 新潟大農学術報告, 11:159-164.
- Laemli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227:680-685.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem.*, 40:1361-1403.

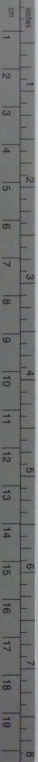
- MacGergor, A. W. (1983). Cereal α -amylase: Synthesis and action pattern. in "Seed Proteins", ed. by J. Mosse' and J. Vaughan., Academic Press, Inc., London, pp.1-34.
- Matsuda, T., Sugiyama, M., Nakamura, R., and Torii, S. (1988). Purification and properties of an allergenic protein in rice grain. Agric. Biol. Chem., 52:1465-1470.
- Matsuda, T., Nomura, R., Sugiyama, M., and Nakamura, R. (1991). Immunochemical studies on rice allergenic proteins. Agric. Biol. Chem., 55:509-513.
- 松田智明, 長南信雄, 土屋哲郎 (1989). 炊飯米の微細構造 I. 食味が異なる品種の飯の表面構造の差異. 日作紀, 58(別1):259-260.
- 松田智明, 長南信雄 (1990). 炊飯米の微細構造 III. 炊飯によって分解しないタンパク顆粒, 胚乳細胞壁およびアミロプラスト包膜について. 日作紀, 59(別1):276-277.
- 松永暁子, 貝沼圭二 (1981). 澱粉質食品の老化に関する研究 (第1報) 米飯の老化について. 家政誌, 32:653-659.
- 松永暁子, 石田信昭, 貝沼圭二 (1985). 炊飯過程における糊化度について. 日食工誌, 32:797-803.
- 満田久輝 (1950). 植物體に於けるビタミンB₁及びCの生成機構と其の活用. 栄養と食糧, 3:7-10.
- 森高真太郎, 沢田幸七, 安松克治 (1972a). 脱脂精白米の貯蔵性について 穀類に関する研究 (第8報). 栄養と食糧, 25:16-20.
- 森高真太郎, 安松克治 (1972b). 精白米のSH基と貯蔵中の品質劣化との関係 穀類に関する研究 (第10報). 栄養と食糧, 25:59-62.
- Morrison, W.R. and Nasir Azudin, M. (1987). Variation in the amylose and lipid contents and some physical properties of rice starches. J. Cereal Sci., 5:35-44.
- Nelson, N. J. (1944). A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. J. Biol. Chem., 153:375-380.
- Noguchi, M., Arai, S., Kato, H., and Fujimaki, M. (1970). Applying proteolytic enzymes on soybean. 2. Effect of aspergillopeptidase A preparation on removal of flavor from soybean products. J. Food Sci., 35:211-214.
- Ohtani, T., Tamura, Y., Kasai, M., Uchida, T., Yanagihara, Y. and Noguchi K. (1990). Characteristics of C₂- and C₃-bonded vinyl alcohol copolymer gels for reversed-phase high-performance liquid chromatography. J. Chromatog., 515:175-182.
- Okabe, M. (1979). Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. J. Texture Studies, 10:131-152.
- 岡本正弘, 堀野俊郎, 新井利直, 坂井真 (1986). コシヒカリの粘りの栽培地間

- 差異とその要因, 育雜, 36(別1):334-335.
- Perez, C.M. and Juliano, B.O. (1981). Texture changes and storage of rice. *J. Texture Studies*, 12:321-333.
- 三枝貴代, 森隆, 堀野俊郎 (1993). コシヒカリ米粒中の遊離アミノ酸の分布と水浸漬時の変動, 日作紀, 62(別1):286-287.
- Sandhya Rani, M.R. and Bhattacharya, K.R. (1985). Rheological properties of rice flour slurries and pastes. *J. Food Sci. Technol.*, 22:322-326.
- Sano, Y. (1984). Differential regulation of waxy gene expression in rice endosperm. *Theor. Appl. Genet.*, 68:467-473.
- 佐竹利彦, 佐竹寛, 保坂幸男 (1990). 米粒用添加剤及びその使用方法. 日特公, 平2-79943.
- Shastry, B. S. and Raghavendra, Rad, M. R. (1975). Studies on lipoxygenase from rice bran. *Cereal Chem.*, 52:597-603.
- Shastry, B. S. and Raghavendra, Rad, M. R. (1975). Chemical studies on rice bran lipase. *Cereal Chem.*, 53:190-200.
- Shibasaki, M., Suzuki, S., Nemoto, H. and Kuroume, T. (1979). Allergenicity and lymphocyte-stimulating property of rice protein. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 64:259-265.
- 渋谷直人, 岩崎哲也, 柳瀬肇, 竹生新治郎 (1974). 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. 日食工誌, 21:597-603.
- 渋谷直人, 岩崎哲也, 竹生新治郎 (1975). 米粒中のリパーゼについて. 食総研報, 30:10-13.
- 渋谷直人, 岩崎哲也, 竹生新治郎 (1977). 古米化に伴う米飯, 糊の物性変化における遊離脂肪酸の役割について 古米化に関する研究 (第2報). 澱粉科学, 24:67-68.
- Shibuya, N. and Iwasaki, T. (1978). Polysaccharides and glycoproteins in the rice endosperm cell wall. *Agric. Biol. Chem.*, 42:2259-2266.
- Shibuya, N. and Iwasaki, T. (1982). Effect of the enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinization properties of aged and unaged rice flours. *Stärke*, 34:300-303.
- Shibuya, N. and Iwasaki, T. (1984). Effect of cell wall degrading enzymes on the cooking properties of milled rice and the texture of cooked rice. 日食工誌, 31:656-660.
- 渋谷直人 (1990). 米の細胞壁の化学構造と品質. 日食工誌, 37:740-748.
- Sklar, L. A., Hudson, B. S., and Simoni, R. D. (1977). Conjugated polyene fatty acids as fluorescent probes: Binding to bovine serum albumin. *Biochemistry*, 16:5100-5108.
- Somogyi, M. (1952). Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.*, 195:19-23.

- 鈴木綾子 (1993). 調理科学における各種澱粉特性の利用. 澱粉科学, 40:233-243.
- 鈴木隆, 戸高綾乃, 池澤善郎, 渡辺道子 (1993). 酵素処理による低アレルギー化小麦粉の作製. 日本農芸化学会1993年度大会講演要旨集 (仙台), p. 30.
- 食糧研究所 (1961). 米の食味試験. 食糧—その科学と技術—, 4:29-38.
- 食糧研究所 (1969). 「米の品質と貯蔵、利用」, pp. 66-67.
- 田島眞, 堀野俊郎, 前田万里, 孫鐘録 (1992). 米粒外層から抽出されるオリゴ糖類. 日食工誌, 39:857-861.
- 武田和義, 佐々木忠雄 (1988). 北海道のイネ品種におけるアミロース含有率の温度反応. 育種, 38:357-362.
- 谷達雄, 竹生新治郎, 岩崎哲也 (1964). 低温貯蔵法における米の化学的品質の変化(その1). 栄養と食糧, 16:436-441.
- 竹内俊治, 松田幹, 中村良, 田中国介 (1991). モノクロナール抗体を用いた米アレルゲン蛋白質の研究. 日本農芸化学会講演要旨集 (京都), p. 245.
- 田村真八郎, 大沢文江 (1969). 食品間のアミノ酸パターンの類似性について. 栄養と食糧, 22:494-496.
- 竹生新治郎, 谷達夫, 桜井芳人 (1953). 穀類のビタミンB₁の蛍光写真による研究(第1報) 国内産米麦粒における分布像について. 農化, 27:363-367.
- 竹生新治郎 (1965). 早期・早植栽培の米の品質. 農業技術, 20:513-517.
- 竹生新治郎, 渡辺正造, 杉本貞三, 酒井藤敏, 谷口嘉廣 (1983). 米の食味と理化学的性質の関連. 澱粉科学, 30:333-341.
- Tsugita, T., Imai, T., Doi, Y., Kurata, T., and Kato, H. (1979). GC and GC-MS analysis of headspace volatiles by Tenax GC trapping techniques. *Agric. Biol. Chem.*, 43:1351-1354.
- Tsugita, T., Kurata, T., and Kato, H. (1980). Volatile components after cooking rice milled to different degrees. *Agric. Biol. Chem.*, 44:835-840.
- Tsugita, T., Ohta, T., and Kato, H. (1983). Cooking flavor and texture of rice stored under different conditions. *Agric. Biol. Chem.*, 47:543-549.
- 鶴田理, 速藤勲, 高橋信吉, 竹生新次郎 (1977). 米の形態別長期貯蔵に関する研究. 食総研報, 32:11-20.
- 堤忠一, 下村千恵子 (1978). 米の搗精および水洗いによる無機成分および蛋白質含有量の変化. 食総研報, 33:12-17.
- 植松美紀, 平野久, 平知明 (1990). *Oryza sativa* と *O. glaberrima* における Wxタンパク質のアミノ酸配列とアミノ酸組成. 育種, 40(別1):508-509.
- Villareal, R. M., Resurreccion, A. P., Suzuki, L. B., and Juliano, B. O. (1976). Changes in physicochemical properties of rice during storage. *Starke*, 28:88-94.

- Wang, Y. L., Yang, K. C., and Cheng, S. M. (1950). Vitamin-B₁ in the rice grain and the distribution of nicotinic acid. Chung Kuo Ko Hsueh, 1:99-107.
- Watanabe, M., Miyakawa, J., Ikezawa, Z., Suzuki, Y., Hirao, T., Yoshizawa, T., and Arai, S. (1990a). Production of hypoallergenic rice by enzymatic decomposition of constituent proteins. J. Food Sci., 55:781-783.
- Watanabe, M., Yoshizawa, T., Miyakawa, J., Ikezawa, Z., Abe, K., Yanagisawa, T., and Arai, S. (1990b). Quality improvement and evaluation of hypoallergenic rice grains. J. Food Sci., 55:1105-1107.
- Yajima, T., Yanai, M., Sakakibara, H., and Hayashi, K. (1979). Volatile flavor components of cooked Kaorimai (Scented Rice, *O. Sativa japonica*) I. Agric. Biol. Chem., 43:2425-2500.
- Yamamoto, A., Fujio, Y., Yasumoto, K., and Mitsuda, H. (1980). Partial purification and study of some properties of rice germ lipoxygenase. Agric. Biol. Chem., 44:443-445.
- 柳瀬肇, 大坪研一, 石間紀男, 佐川博子 (1985). 精米加工と米飯食味の関係 (第2報) 精米品質と官能検査法による米飯の食味. 食総研報, 47:1-10.
- Yasumatsu, K., Moritake, S. and Kakinuma, T. (1964). Effect of the change during storage in lipid composition of rice on its amylogram. Agric. Biol. Chem. 28:265-272.
- Yasumatsu, K., Moritaka, S., and Wada, S. (1966a). Studies on cereals. Part V. Stale flavor of stored rice. Agric. Biol. Chem. 30:483-486.
- 安松克治, 備中住子, 堀四郎, 島菌平雄 (1966b). ひいろたけ酵素の生産と応用 (第4報) 食品への利用, 日食工誌, 13:291-293.
- 山本和夫, 沢田澄恵, 小野垣俊雄 (1981). 米澱粉調製の際のアルカリ溶液の濃度と種類の影響. 澱粉科学, 28:241-244.
- Zipp, A. and Kauzmann, W. (1973). Pressure denaturation of metmyoglobin. Biochemistry, 12:4217-4228.





Kodak Color Control Patches

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



Kodak Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



© Kodak, 2007 TM Kodak