

高機能性を有した  
次世代の主食の開発

前田 聡

新潟大学大学院自然科学研究科

生命・食料科学専攻

# 目次

## 第 1 章 序論

1.1	世界の米.....	1
1.2	日本人と米.....	3
1.3	日本人と小麦.....	4
1.4	米の化学成分と食味.....	6
1.5	新形質米の開発.....	8
1.6	炊飯米の特性の改善.....	11
1.7	圧力のはたらき.....	12
1.8	タンパク質を多く含む食品への圧力の利用.....	14
1.9	澱粉を多く含む食品への圧力の利用.....	14
1.10	味噌のはたらき.....	15
1.11	本研究の目的.....	16
1.12	本研究の概要.....	18

## 第 2 章 高圧処理を利用した、低アレルギー化小麦の開発

2.1	はじめに.....	20
2.2	試料および実験方法.....	21
2.2.1	実験試料.....	21
2.2.2	最適な抽出方法の検討.....	21
2.2.3	最適な高圧処理条件の検討.....	22
2.2.4	高圧処理の有用性の確認.....	22
2.2.5	全タンパク質による抗原抗体反応試験.....	22
2.3	結果.....	23
2.3.1	最適な抽出方法.....	23
2.3.2	最適な高圧処理条件.....	23
2.3.3	高圧処理の有用性について.....	24
2.3.4	全タンパク質による抗原抗体反応試験.....	24
2.4	考察.....	24

### 第3章 超硬質米を利用した、次世代の主食の開発

(味噌浸漬処理と高圧処理の有用性について)

3.1	はじめに.....	33
3.2	様々な浸漬を行った炊飯米の分析.....	34
3.2.1	実験試料.....	34
3.2.2	試料の調製.....	34
3.2.3	味噌浸漬処理.....	35
3.2.4	高圧処理.....	35
3.2.5	炊飯方法.....	36
3.2.6	粉末試料の調製.....	36
3.2.7	$\alpha$ -アミラーゼ活性.....	36
3.2.8	難消化性澱粉含有量の測定.....	37
3.2.9	グルコース含有量の測定.....	37
3.2.10	DPPH ラジカル消去能の測定.....	37
3.2.11	食物繊維含有量の測定.....	38
3.2.12	グルタミン酸含有量の測定.....	38
3.2.13	ポリフェノール含有量の測定.....	39
3.2.14	炊飯米の物性の測定.....	39
3.2.15	結晶質高アミロース米の物性の測定.....	39
3.2.16	味噌浸漬処理と高圧処理による影響の調査.....	40
3.2.17	官能検査.....	40
3.3	実験結果.....	40
3.3.1	$\alpha$ -アミラーゼ活性.....	40
3.3.2	難消化性澱粉含有量.....	41
3.3.3	グルコース含有量.....	41
3.3.4	DPPH ラジカル消去能.....	42
3.3.5	食物繊維含有量.....	42
3.3.6	グルタミン酸含有量.....	43
3.3.7	ポリフェノール含有量.....	43

3.3.8	物性.....	44
3.3.9	物性と化学成分との相関関係.....	46
3.3.10	結晶質高アミロース米の物性.....	47
3.3.11	味噌浸漬処理と高圧処理による影響.....	47
3.3.12	官能検査.....	48
3.4	考察.....	48

#### 第4章 超硬質米を利用した、次世代の主食の開発 (製品実現に向けて)

4.1	はじめに.....	72
4.2	試料および実験方法.....	72
4.2.1	実験試料.....	72
4.2.2	試料の調製.....	72
4.2.3	化学成分の測定.....	73
4.2.4	炊飯米の物性の測定.....	73
4.2.5	動物試験.....	73
4.2.6	衛生検査.....	74
4.3	実験結果.....	74
4.3.1	難消化性澱粉含有量.....	74
4.3.2	グルコース含有量.....	75
4.3.3	DPPH ラジカル消去能.....	75
4.3.4	食物繊維含有量.....	76
4.3.5	グルタミン酸含有量.....	76
4.3.6	ポリフェノール含有量.....	77
4.3.7	物性.....	77
4.3.8	ラットの食後の血糖値の変化.....	78
4.3.9	炊飯米の物性と化学成分および血糖値の相関関係.....	79
4.3.10	衛生試験.....	79
4.4	考察.....	80
4.4.1	ブレンド米の機能性成分および物性.....	80

4.4.2	食後の血糖値の変化.....	81
4.4.3	製品実現に向けて.....	83
第5章	総括.....	104
	引用文献.....	110
	謝辞.....	119

# 第 1 章 序論

## 1.1 世界の米

米は、小麦、とうもろこしと並ぶ世界の三大穀物である。世界における穀物の総生産量は、2015/16 年度で 24 億トン以上となる見込みである<sup>1)</sup>。米は、作付面積では小麦に続き 2 位であるが、収量性が高く、穀物の中で収量は最も高い<sup>2) 3)</sup>。また米は、主食として世界の過半数の人々の主なエネルギー源とタンパク質源となっており、世界で最も重要な穀物となっている。

米国農務省によると、世界の米の生産量は精米ベースで年間約 4 億 8 千万トンであり、その大半がアジアを中心とした国々で生産されている。中国の米生産量は年間約 1 億 5 千万トンで、これは世界の米生産量の約 30%にあたる。次いでインド、インドネシアと続いており、上位 3 カ国だけで世界の米生産量の約 60%となる<sup>4)</sup>。

稲と稲作の起源については、インド起源説、中国起源説、東南アジア起源説、雲南・北ミャンマー・アッサム起源説、揚子江中下流域起源説などの諸説があり、いまだ解明されてはいない<sup>5)</sup>。しかし、7 千年から 9 千年以上も前にさかのぼるとされている。また、稲の先祖種は熱帯アジアの湿地に広く分布する *Oryza rufipogon* GRIFF. であると考えられており、これらの野生種を祖先として、アジア稲 (*Oryza sativa* L.) とアフリカ稲 (*Oryza glaberrima* STEUD.) が誕生した。アジア稲は他の農作物と同様に、野生の植物を人間が改良したもので、分化と伝播を繰り返しながら世界中に広まった。一方、アフリカ稲はアジア稲と外見はよく似ているが、かなり遠縁であり、アジア稲の普及により栽培面積が減少している。

アジア稲は、形態や生理的性質、DNA などの分類に基づいて、ジャポニカ（日本型）とインディカ（インド型）という 2 つの品種群に分類される。ジャポニカは軟らかくて、米飯の粘りが強く、インディカは硬くて、米飯の粘りが弱いという特徴を持つ。

世界で栽培される米には、その地域の気候条件、栽培環境、用途に応じて様々なものがあり、その総数は 5 万種とも 10 万種ともいわれている。例えば、陸稲品種は干ばつにそなえて太くて長い根をもつ。熱帯大河流域では、毎年定期的に水位が上がるため、茎を徐々に伸ばし、5m にも達する深水イネ品種が選出されてきた。

中国では、揚子江を境に南側ではインディカが、北側ではジャポニカが栽培されている。東南アジアでは、陸稲栽培と水田稲作の二重構造である。陸稲品種の多くは草丈が高く分けつが少なく、非脱粒性で 1 穂が大きい。モチ品種が多く含まれていることも特徴である。大河流域では広大な規模の水田が展開され、水稻品種としてインディカが多収実績をあげている。インドなど南アジアは古くから稲作が開始された地帯で、様々な品種群が分化しているが、主力品種はインディカである。ヨーロッパでは地中海沿岸と東ヨーロッパ、ロシアで稲作が行われている。エジプトでは古くからジャポニカが栽培されている。アメリカでは、カルフォルニアで系譜的に日本品種に近いものが栽培されている。

一方で、日本のような高緯度地域では、その気候風土に適したジャポニカが定着した。日本の米は、世界の米と比べると実に変化が少ない。その理由として、ジャポニカだけが栽培されていること、日本では良質米に対する要望が多く、育種の過程で強く選抜されてきたことが挙げられる。

## 1.2 日本人と米

米は日本人にとって主食であり、自給生産する唯一の穀物である。年間に精米ベースで約 780 万トンを生産しており、世界第 10 位の生産量である<sup>4)</sup>。また、その生産量の約 90%は米飯として消費され、残りの 10%は加工用途として利用されている<sup>6)</sup>。

日本人は幼い頃から、それぞれの家庭で米飯を食べ、その経験の積み重ねから、米飯に対するそれぞれの好みを持っている。そのため、米飯のおいしさについてのイメージは各人異なるが、それでも、日本人は一般に、軟らかくて粘りの強い米を好む傾向がある。炊飯米のおいしさは、人間の「視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚」という五感に訴えるものであり、白飯の場合には「色が白く、つやがあり、粒の形がよい（視覚）、噛むときにほとんど音がしない（聴覚）、風味がある（嗅覚）、いくら噛んでも味が変わらず、多少油っこい感じと、なんとなく甘い感じがするが無味に近い（味覚）、暖かく、米粒が滑らかで柔軟、粘りと弾力がある（触覚）」米飯が好まれる<sup>7)</sup>。

日本で稲作が始まったのは弥生時代とされているが、その頃から明治時代まで、米不足の時代は長く続いた。大正時代には不足分は輸入米により補っていたが、昭和 14 年に第二次世界大戦が始まると米不足は再び激しくなった。政府は米を配給制にして確保しようとしたが、戦争末期にはそれも出来なくなった。このように、米（主食）をお腹いっぱい食べたいという強い憧れを誰もが長い間抱いていた。すなわち、米不足の時代には、米（主食）が食事の中心であった。しかし、日本における米の消費量は昭和 37 年度の 118.3 kg/人をピークとして減少傾向にあり、平成 26 年度にはピーク時の半分以下の 55.2 kg/人にまで減少している<sup>8)</sup>。また、生産量も平成 3 年度には最盛期の 2/3 に



まで減少し、以降も減少傾向にある。これは国民の所得の増加により、様々な食物が食卓に上るようになり、豊かな食生活を送ることが可能になったこと、すなわち、副食（おかず）の充実により、食事における副食の割合を増加させ、その代わりに主食の割合を減少させるという方向性が生まれたことが、原因のひとつであると考えられる。このように、時代の変化とともに、主食に求められる役割も変わってきており、今後も主食の方向性は変化していくことが予想される。

近年では、社会全体の健康に対する意識が高まり、世界的な経済環境の不況下においても、健康にかかわる食品や補助食品などの市場規模は増加している<sup>9)</sup>。その背景には、高齢者の人口割合の増加に伴う高齢社会の到来や、豊かな食生活を送ることが可能になったことによる、高血圧や肥満、糖尿病などの生活習慣病の増加が関与している。そして、それらに伴う介護費用や国民医療費の増加が、社会経済の大きな負担になっており、将来の不安につながっている。現在、人々は食品に疾病予防等の機能を望むようになり、企業もまた、消費者が望んでいる健康機能を有する食品を市場に送り出そうと思考し、有用な機能性を見出し、付加価値を高めた食品を開発することに注力している。また、平成 27 年 4 月からは、「機能性表示食品」制度が新たに始まっている。消費者の多様な要望に応える、食品の機能性を高める研究開発は今後益々重要になり、主食である米についてもそれは同様であると考えられる。

### 1.3 日本人と小麦

主食として世界中に広く普及している小麦と、日本人の関わりについても触れておく。日本人は弥生式文化の中末期には、麦を何らかの

形で食していたことが明らかとなっている。「うどん」や「そうめん」などの麺類は飛鳥朝時代には中国から伝来したと推定されている。また、同じく中国から伝来した「唐菓子」は、日本の風土や人々の嗜好に合うように変化していき、鎌倉時代に「まんじゅう」が、江戸時代に「小麦粉煎餅」が生まれた。「カステラ」「ポーロ」などの「南蛮菓子」は室町時代に伝来したキリスト教とともに日本に入ってきた。「パン」も同様に、室町時代に南蛮人宣教師により伝えられたが、一般に普及しはじめたのは、外国人と接する機会の多くなった明治時代以降である。そして、戦後の食料不足時代の配給や、学校給食に用いられたことで、パンという主食が本格的に日本人の生活の中に入ってきた。昭和 30 年以降の生活全体の洋風化に伴い、パンを中心とした小麦粉食品の消費が大きく伸びた<sup>10)</sup>。平成 26 年度の日本における小麦の消費量は 32.9 kg/人であり、穀類全体の約 37%を占めている<sup>8)</sup>。

一方、穀類の中でも小麦は食物アレルギーの原因食品として、小児、成人ともに頻度の高い食品である。食物の摂取と運動の組み合わせで誘導されるアナフィラキシーは、非常に重篤な症状を示すことが知られている。甲殻類、セロリ、ヘーゼルナッツ、落花生、エンドウ、大豆、バナナなど、様々な食品の関与が報告されているが、中でも小麦は最も頻度の高い食品と報告されている<sup>11) 12) 13) 14)</sup>。

現在では、日本人の 3 人に 1 人が何らかのアレルギーを持っているといわれており、大きな問題となっている。食物アレルギー患者は食事の際、アレルギーの原因となる物質（アレルゲン）を除去しなければならず、それを含む食品を摂取できない。この問題を解決するために、様々な企業がアレルゲンタンパク質を除去した、低アレルゲン化食品の研究開発を進めている。

#### 1.4 米の化学成分と食味

炊飯米の総合的おいしさを決める際の評価基準を調査すると、硬さ、水っぽさ、粘り等の物理的な特性に対しての関心が高い<sup>15)</sup>。また、米の食味の約70%が、精白米のアミログラム特性値の中の糊化温度とブレイクダウン、炊飯米の粘性と弾性、炊飯における加熱吸水率および膨張容積で推定できると言われている<sup>16)</sup>。

炊飯米の物性を左右するのは、米の成分および炊飯方法である。米の成分は、品種、産地、気象条件、栽培方法、貯蔵条件等、諸要因により変動する。五訂増補食品成分表<sup>17)</sup>による米の成分を、表1-1に示した。以下に、これらの各成分の特徴と、炊飯米の特性、食味との関わりについて述べる。

炭水化物は米の成分の約75%を占める主要成分で、糖質と食物繊維とに分類される。米の炭水化物の大部分は、単糖類であるグルコース（ブドウ糖）が数百～数万個以上結合した多糖類である澱粉である。澱粉は $\alpha$ -1,4結合によって、グルコースが直鎖状に連なったアミロースと、 $\alpha$ -1,4結合による直鎖部分の途中から $\alpha$ -1,6結合による分岐が生じて樹枝状を呈するアミロペクチンの2成分から構成されている。米は澱粉特性からウルチ米とモチ米とに分類され、モチ米澱粉はアミロペクチンのみから、ウルチ米澱粉はアミロースとアミロペクチンから構成されている。アミロース含量は、炊飯米の食味に影響を与える大きな因子とされており、一般的にアミロース含量の高い米は、炊飯した場合、体積増加が多く、硬く、粘りの少ない米飯となる。一方、アミロース含量の低い米は、やわらかくて粘りのある米飯となる<sup>18)</sup><sup>19)</sup><sup>20)</sup>。日本の一般的なウルチ米のアミロース含量は、15～23%のものが多く、世界的にはより幅広い変異米（8～34%）が存在している。

タンパク質は、玄米において 5~17%、平均で 10.6%である。日本の米のような水稻穀粒の場合は、玄米で 6.8%、精白米で 6.1%のタンパク質が含まれている<sup>17)</sup>。溶解性で分類すると、希酸、希アルカリ可溶性のグルテリンが約 80%を占め、塩可溶性のグロブリンが約 12%、水溶性のアルブミンが約 5%、アルコール可溶性のプロラミンが約 3%を占める<sup>21)</sup>。一般に、穀類のタンパク質は動物タンパク質と比較して、必須アミノ酸のひとつであるリジン含量が少ない点が栄養上の問題とされている。例えば、小麦やトウモロコシ等は主要タンパク質がプロラミンであり、リジン含量が少ない。一方で、米は主要タンパク質がグルテリンであるため、アミノ酸スコアが小麦粉やトウモロコシと比較して高く、穀類タンパク質としては、アミノ酸組成の良いタンパク質である。しかし、炊飯米の食味はタンパク質含量と負の相関があり、タンパク質含量が高い米ほど、硬くて粘りの少ない米になることが知られている<sup>20) 22)</sup>。これは、日本の炊飯方式が炊き干し法であるため、少量の水を澱粉とタンパク質が取り合うことになり、タンパク質含量の高い米では澱粉の吸水、糊化が妨げられるためと考えられている。

脂質は、玄米で約 2.7%、精白米で約 0.9%含まれている。胚芽、糊粉層、サブアリーロン層（糊粉層と澱粉層の境界部分）に多く含まれており、細胞内では直径 0.7~3.0  $\mu\text{m}$  の脂肪球として存在している。また、一部は澱粉結合脂質として存在している。米の脂質の大部分は中性脂肪であり、グリセリン、オレイン酸、リノール酸等の各種高級脂肪酸が 3 つエステル結合したトリグリセライドである。米の脂質は、古米臭の生成と澱粉の糊化、日本酒の香りなどに関係すると言われていた。精米や高温処理などによって物理的損傷を受ける、もしくは貯蔵中に酵素分解などによる生物的損傷を受けると、脂質と分解酵素が接触し、グリセリンと脂肪酸とに分解される。遊離脂肪酸が澱粉のら

せん構造と結合することによって、炊飯時の吸水、膨潤、糊化を妨げ、古米の飯を硬くし、古米臭の原因となることが報告されている<sup>23)</sup>。また、酸化されて生じた脂質過酸化物およびその分解物であるカルボニル化合物は、澱粉の周囲でより強固な網状構造を形成させ、澱粉の膨潤を抑え、炊飯米の物性の劣化に関与することが報告されている<sup>24) 25) 26)</sup>。新米においても、澱粉結合脂質の多い米は粘りが少なく、硬くなると報告されている<sup>26) 27)</sup>。

米に含まれる無機元素としては、玄米や精白米ではリンが最も多く、カリウム、マグネシウム、ケイ素等も多く含まれている。これらは糊粉層に多く含まれ、特にアリュースン顆粒に共存している。また、玄米においてマグネシウム含量/カリウム含量の高い米の食味が好まれることが報告されている<sup>28)</sup>。

米の細胞壁は、含量は少ないが、組織構造を維持するという点で重要である。澱粉のかたまりでもある米粒が、粒を保ちながら均一に炊飯されるのは、細胞壁による組織構造を有しているためである<sup>29)</sup>。古米の飯が硬くて粘らないのは、古米化の過程で胚乳細胞壁に架橋構造が形成されて澱粉の膨潤を妨げるためであり、酵素処理により胚乳細胞壁を部分分解することで、米飯物性の軟化と膨張容積の増加が引き起こされることが報告されている<sup>30)</sup>。

## 1.5 新形質米の開発

先に述べたように、食の多様化により、米の消費量は減少傾向にある。これに対応し、主食用以外の用途に米を利用することで米の消費を拡大させる目的で、農林水産省では平成元年から6年まで「需要拡大のための新形質水田の開発」（略称「新形質米プロジェクト」）、「スー

パーライスプロジェクト) を実施しており、平成 7 年から 12 年までは「画期的新品種の創出らによる次世代稲作技術構築のための基盤的総合研究」、平成 13 年から 14 年までは「食料自給率向上のための 21 世紀の土地利用型農業確率を目指した品種育成と安定生産技術の総合的開発 (5 系)」、平成 15 年からは「新鮮でおいしい「ブランド・ニッポン」農作物提供のための総合研究 (5 系)」と引き継がれ、その中で、低アミロース米、高アミロース米、糖質米、低グルテリン米といった新形質米が作出されてきた<sup>31)</sup> <sup>32)</sup> <sup>33)</sup>。

各々の特徴として、低アミロース米はモチ米とウルチ米の中間的な性質を示し、アミロース含有量は 5~15% と定義されている。米飯が軟らかく粘りも強く、食味のやや劣る多収米にブレンドすると食味の向上が認められ<sup>34)</sup>、水溶性全糖が過剰にならず良好に膨化することが認められている<sup>35)</sup>。また、耐老化性に優れており、アミロース含量の低いタイプは特に優れていることが報告されている<sup>36)</sup>。最近需要が増加している調理済み米飯や弁当類は、全体で約 2 兆円の市場と言われているが、それらの多くは炊飯から時間が経過してから食べられるものである。その場合、冷えても軟らかくて粘りがあるという低アミロース米の特性はきわめて重要となる。一方で、米菓に加工した際は高い膨化性を示すために、ソフト型せんべいに適している<sup>37)</sup>。エクストルーダーによるライススナックの製造や、膨化米の製造にも適正があることも報告されている<sup>35)</sup>。例として「ミルキークイーン」が挙げられ、消費者に広く受け入れられている。

高アミロース米は、アミロース含有量が 25% 以上の米を指し、炊飯すると硬くて粘りの少ない米飯になる。冷えると特に硬くなりやすく、通常の家庭用炊飯には適していないが、レトルト粥のように高温加熱後も米粒がしっかりと残ることが望まれる用途には適している。例と

して「越のかおり」「こしのめんじまん」などが挙げられる。これらの米は製麺性に優れていることが報告されている<sup>38)</sup>。

糖質米は、光合成産物の一部が澱粉にならずに植物グリコーゲンや少糖類の形で存在する米である。その特徴は、玄米の粒厚が薄い、水溶性多糖（フィトグリコーゲン）を多く含む、コシヒカリに比べて、糊化温度および糊化熱量が低く老化しにくい、発芽時のγ-アミノ酪酸（GABA）の含有量が、コシヒカリの3倍もある、という点などがある。例として「あゆのひかり」が挙げられる。さらに、コシヒカリに比べて食後の血糖値上昇が緩やかである傾向を示し、インスリンの分泌も抑制するので、糖尿病の一次予防として有用である<sup>39)</sup>。また、難消化性構造を有し、高い消化抑制効果があると報告されている<sup>40)</sup>。

低グリテリン米の特徴は、タンパク質の1つである易消化性のグルテリンが少なく、難消化性のプロラミンが多く含まれていることである。例として「春陽」がある。腎臓病患者のようにタンパク質の摂取を抑えている人々にとって利用価値の高い米として注目されている<sup>41) 42)</sup>。

また、農林水産省は「超硬質米プロジェクト」も行い、その中で、超硬質米「EM10」等が育成された。当初育成された超硬質米は、気温が高いところでの栽培に適しており、北陸地方などの気温の低いところでの栽培には適していなかった。そこで、北陸研究センターでは、北陸地方の気候に適した超硬質米品種として、「あゆのひかり」と「研系2064」を交配させ、「北陸粉243号（品種名：こなゆきの舞）」を作出した。超硬質米は澱粉合成酵素のひとつである澱粉枝作り酵素IIbの活性がないか、きわめて弱いことによって、澱粉のアミロペクチンの短鎖が少なくなり、中長鎖の多くなった米である。超硬質米の米粒は、多くが稲種子の澱粉の充実が不十分なため、米粒内部に微細な気

泡を有し、粒全体あるいは一部が白濁している「粉状質米」であり、乳白色を呈する。特徴としては、見かけのアミロース含有量、糊化温度、 $\alpha$ -アミラーゼ活性、難消化性澱粉含有量が高く、糊化度が低いことが挙げられる。また、米飯としては極めて硬く、粘着性が無いために食味が極不良であるが、超硬質米から調製した $\alpha$ 化澱粉を小麦粉に加えて製造したパンは、摂食後 60 分で有意にインスリン分泌増加が抑制されたことが報告されている<sup>43)</sup>。このことから、超硬質米は、糖尿病予防のような機能性に関しては極めて有望である。

## 1.6 炊飯米の特性の改善

一般に、インディカ米や古米は、そのまま炊飯すると硬くて粘りのない炊飯米となる。軟らかく粘りの強い炊飯米を良食味として評価する日本人には、これらの炊飯米は嗜好的に合致し難い。そこで、これらの炊飯米の特性を改善する方法が研究されてきた。

インディカ米の炊飯米が硬くて粘りが無い要因として、炊飯米の糊化度が低く、熱水可溶性デンプンの生成量が少ないことが報告されている<sup>44)</sup>。また、平田等<sup>45)</sup>は、インディカ米が硬いのは、膨張力とその膨張を抑制している細胞壁が大きく影響していると報じている。畑江等<sup>46)</sup>は、タイ米の食味に対する調味料添加の影響を、米飯の物性および官能検査の面から検討し、その中で食酢は炊飯米の粘りおよび粒同士の接着性を増加させ、硬さを低下、透明感を向上させることを示した。この効果は、食酢を添加して炊飯する場合のみでなく、食酢液中に米を浸漬し、その後に水で通常の炊飯を行った場合にも見られた。また、江間等<sup>47)</sup><sup>48)</sup>は、古米に夏みかん果汁や食酢を添加した場合、炊飯米の硬さが低下し、粘りとつやが増大すること、炊飯米周辺



部の付着物が増加することを認めた。

また、炊飯米の軟化のもうひとつの方法として、酵素処理が挙げられる。胚乳細胞壁を酵素処理で部分分解すると、炊飯米が軟らかくなり、粘りが増すことが報告されている<sup>49)</sup>。また、プロテアーゼの一種であるアクチナーゼで米を処理すると、炊飯米に光沢と粘りが付与されることも報告されている<sup>50)</sup>。さらに、デンプン結合タンパク質が多いインディカ米に対するアクチナーゼ処理効果も報告されている<sup>51)</sup>。

上記の方法は、いずれも何らかの添加を行う処理である。米に試薬等の添加を行わずに、炊飯米の物性が改良される処理として、米への高圧処理が挙げられる。浸漬米に高圧処理を施し、炊飯を行った場合に、その炊飯米は粘りが増加することが報告されている<sup>52)</sup>。このことは、古米やインディカ米に対しても同様の効果が見られる<sup>51)</sup>。また、古米化により強固になった胚乳細胞壁が、加圧処理によって部分的に破壊され、そのことが物性改善に寄与することが報告されている<sup>50)</sup>。山崎等<sup>52)</sup>も、胚乳細胞が崩壊し、デンプン粒子の内部にまで水が浸入することによって、糊化が促進された炊飯米になることを報告している。

## 1.7 圧力のはたらき

水は0℃で固体（氷）になり、100℃で気体（水蒸気）になる。しかし、この相転移はあくまでも大気圧下（1気圧）での話であり、圧力の変化に伴い、その温度は変化する。このように、温度と圧力は、自然界に二つしか無い状態変換因子で、それぞれ独立に物質の状態を変化させることが出来る。しかし、人類は紀元前から火や熱を利用してきたにもかかわらず、圧力の利用の歴史は非常に浅い。例えば、人類

は永い歴史の間、食品の調理・加工・保蔵のために熱を利用してきた。煮炊きはもとより、殺菌には熱を用い、反対に冷蔵や冷凍には熱を奪う操作を用いてきた。一方で、食品に高い圧力（高圧）を利用する研究が始まったのは、1900年代に入ってからのことである。これは、地球上に存在する静水圧が、1万メートルの海底において、100 MPa程度であり、高圧は熱の利用ほど手軽に用いることが出来なかったためと考えられる。

高圧の研究は、1912年のP.W.Bridmanによる、卵白における圧力変性の報告が始まりである<sup>53)</sup>。日本において高圧を食品分野に利用する研究は、1988年に林<sup>54)</sup>により食品への高圧利用が提唱され、取り組みが始まった。当初は主としてタンパク質や酵素の圧力変性に関する研究や、微生物の殺菌への研究がなされていたが、研究が進むにつれて、細胞や生体分子レベルでの基礎研究やバイオテクノロジー、生物物理学、医学や薬学への分野へとひろがりを見せている。食品への応用では、微生物制御とともに、タンパク質の変性、酵素の失活や反応の制御、脂質の乳化、含有気体の排除、液体の含浸、組織の結着や破壊などの現象を利用した、新しい食感を有する製品の開発も進められた<sup>55)</sup>。現在では、高圧処理によって食品中の内部組織構造や膜構造が破壊される結果として、除圧後に成分の変化や酵素活性の変化が起こるとの報告が増えている<sup>52) 56) 57)</sup>。また、米や小麦の低アレルギー食品の開発にも利用されている。

微生物の殺菌においても、新しい発見が見られている。食品への高圧利用研究が始まった当初においては、高圧のみによる殺菌では、無菌化食品の製造は無理があることが示された。また、高圧と温度を併用した場合でも、芽胞を有する耐熱性菌に有効な圧力、温度は非常に高く、高圧殺菌に期待された、食品物性を損ねない非加熱殺菌は困難

であることが示された。早川は高圧力下から瞬間的に除圧を行うことで、耐熱性芽胞菌が物理的な破壊により死滅することを報告したが、工業的に使用可能な装置の実用化は未だ成されていない。しかし近年、前処理として高圧処理を行い、その後に加熱処理を行うことで、耐熱性芽胞が顕著に減少し、微生物的な安全性を十分に確保できることが発見された<sup>59)</sup>。耐熱性芽胞の殺菌は、これまでの高圧処理に対する見解を払拭するものであり、あらゆる無菌化食品への適用が期待されるものである。

#### 1.8 タンパク質を多く含む食品への圧力の利用

タンパク質の水溶液に圧力を加えると、体積の減少する方向へタンパク質の立体構造が変化する。圧力の増加に伴い、可逆的変性から不可逆的変性、さらには凝固やゲル化を起こす。この圧力変性は、タンパク質の三次構造を形成している非共有結合が、圧力の影響を受けて崩れることによって生じる。一方、タンパク質の共有結合は加熱による影響をうけるため、加圧処理は加熱処理と異なり、食品の変質、劣化、栄養素の破壊、異臭の発生などが無いことが、加圧処理食品の安全性の根拠となっている<sup>55)</sup>。加圧処理のタンパク質食品の利用としては、鶏卵の卵白や卵黄の物性変化<sup>60) 61)</sup>、魚肉すり身のゲル化<sup>62) 63)</sup>、高圧加工ハムの製造<sup>64) 65)</sup>などが報告されており、従来の加熱処理加工と比較し、いずれも弾力性や破断強度などの変化をもたらしている。

#### 1.9 澱粉を多く含む食品への圧力の利用

澱粉の懸濁液を 300 MPa 以上の圧力で加圧した場合、偏光十字が消

失し、粒径の増大が見られるようになる。小麦澱粉は 300～400 MPa、トウモロコシ澱粉は 400～500 MPa の処理により、アミラーゼに分解されやすい澱粉に変化する。いずれの澱粉も、温度を 25℃から 60℃まで変化させ加圧すると、温度が高いときほど低い圧力でアミラーゼ消化性が向上する<sup>66)</sup>。また、示差走査熱量分析と X 線解析により、加圧処理による糊加熱の減少と結晶化度の低下が認められている。これは、高圧により、澱粉の立体構造が崩れ、加熱による糊化現象と類似した現象が生じたことを示している。しかし、加圧処理した澱粉をそのまま食べても芯があり、加熱糊化澱粉と物性は大きく異なる。加圧処理炊飯米は、米内部への水の侵入が深く<sup>52)</sup>、糊化度が高く<sup>67)</sup>、炊飯米物性におけるバランス度が向上することが報告されている<sup>52)</sup>。また、古米に 100 MPa で 10 分間の圧力処理を行うことで、新米と同程度のバランス度を示す炊飯米になることが報告されている<sup>50)</sup>。古米では硬さが増加するが、加圧により硬さが軽減し、バランス度が向上したものである。これらは、生の米粒に対する高圧処理の履歴が、その後の炊飯にも影響し、炊飯米の食感の向上に役立つことを示している。

#### 1.10 味噌のはたらき

味噌は蒸煮した大豆に麴と酵母を加え、発酵させることで作られる調味料である。麴は米、大麦、大豆に菌を培養させて作られる。味噌は長い間、蛋白質、ビタミン、ミネラル、食物繊維といった重要な栄養成分の摂取源として、日本人の健康に寄与してきた。百瀬等<sup>68)</sup>は、様々な味噌による食後血糖値の制御効果を報告している。また、いくつかの味噌はグリセミック指数 (GI) を低下させる効果があることも示されている。三浦等<sup>69)</sup>は、味噌の茶色い色素 (メラノイジン) は

ヒトの唾液において、 $\alpha$ -アミラーゼのはたらきを阻害する効果があることを報告している。大豆は昔から栄養食品として利用されているが、抗酸化作用を持つ様々なポリフェノールを持つということもまた報告されている<sup>70)</sup>。江崎等<sup>71)</sup>は、発酵させた大豆から強い抗酸化物質(8-ヒドロキシダイゼイン、8-ヒドロキシゲニステイン、6-ヒドロキシダイゼイン)を単離・同定した。

超硬質米を5%の大麦麴味噌懸濁液に浸漬したところ、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が上昇したことが報告されている<sup>72)</sup>。また、炊飯米においては、グルコース、グルタミン酸、ポリフェノール含有量が水に浸漬した場合と比較して増加し、物性も軟らかくなり、粘りが強くなった。難消化性澱粉含有量は水に浸漬した場合より低くなったが、それでもなお、高い難消化性澱粉含有量を維持していた。

このように、超硬質米に味噌浸漬を行うことで、食味を改良しながら、機能性の高い米飯を製造出来る可能性が示唆された。

#### 1.11 本研究の目的

先に述べた通りに、日本における米の消費量は減少傾向にあるが、米は依然として日本における主食である。一方、時代の変化とともに主食に求められる方向性も変化している。昨今の健康志向の高まりから、これからの時代に求められる主食の方向性を考えたとき、単なる食事としてだけでなく、「食べることで健康の維持・増進が可能となる主食」の需要が、今後益々高まっていくことが予想される。ただし、主食の方向性がどのように変化しようとも、絶対的に求められるものは「おいしさ」であることは疑いようがない。

これまで、単一の加工処理や生化学的処理によって、米飯の食味を

向上させたり、衛生性を向上させたり、あるいは機能性を向上させたりする技術については報告があるが、食味を向上させながら、同時に機能性をも向上させるという、複合効果の得られる炊飯技術は報告されていない。

本研究では、北陸研究センターにて作出された、北陸地方の気候に適した超硬質米品種「北陸粉 243 号」を試料として用いた。北陸粉 243 号は、米飯としては極めて硬く、粘着性が無いために食味が極不良であるが、難消化性澱粉含有量が高く、糖尿病予防のような機能性に関しては非常に有望な品種である。その高い難消化性澱粉含有量を維持したまま、食味・食感の改善を行うことを目的とし、炊飯米の特性を改善させる高压処理の物理的効果と、超硬質米の食味を改善させる味噌浸漬処理の生化学的効果を併用した、炊飯米の新しい製造方法の研究開発を行った。本研究により、「高機能性を有した、良食味の米飯」という、次世代の主食の方向性のひとつを示すことが出来るものと期待される。

また、主食として世界中に広く普及している小麦についても、アレルギー患者の増加が大きな社会問題となっている。日本では、小麦は卵、牛乳、落花生、そば、えび、かにと並んで七大アレルギーとされており、アレルギー患者の数は今後も増加することが予想される。筆者は過去に、アレルギー原因物質（アレルギー）を低減化した小麦の研究開発に携わっていた。このような低アレルギー化食品も、これからの時代に求められる「食べることで健康の維持・増進が可能となる主食」のひとつと考える。

## 1.12 本研究の概要

本論文は、5章により構成されている。

第1章の序論では、米の起源や品種、日本人と米や小麦の関わり、米の成分と食味、新形質米の開発背景と現状、炊飯米の特性の改善法、圧力処理の成り立ちと食品加工への応用、味噌のはたらきについて挙げ、次世代の主食を開発するという、本論文の目的および意義について述べた。

第2章では、次世代の主食の研究のひとつとして、主食として世界中に広く普及している小麦の低アレルギー化について、著者が過去に携わった研究を紹介した。アレルギー患者は食事の際に原因物質（アレルギー）を除去しなければならず、それを含む食品を摂取できない。この問題を解決するひとつの途として、高圧処理を用いて、効率的に低アレルギー化を行った小麦の研究開発を行った。

第3章では、日本人の主食である米について、これからの時代に求められると推測される「食べることで健康の維持・増進が可能となり、かつ良食味である米飯」について、超硬質米品種「北陸粉243号」を用いて、味噌浸漬処理と高圧処理の複合処理にて、研究開発を行った。

第4章では、第3章で得られた結果を基に、無菌包装米飯に加工することを目的として、研究開発を行った。加えて、開発した炊飯米の機能性を、動物試験により確認した。

第5章では、以上の内容を総括した。

表 1-1. 米の成分分析表（100 g あたり）

	単位	玄米	精白米	
エネルギー	kcal	350	356	
水分	g	15.5	15.5	
タンパク質	g	6.8	6.1	
脂質	g	2.7	0.9	
炭水化物	g	73.8	77.1	
灰分	g	1.2	0.4	
無機質	ナトリウム	mg	1	1
	カリウム	mg	230	88
	カルシウム	mg	9	5
	マグネシウム	mg	110	23
	リン	mg	290	94
	鉄	mg	2.1	0.8
	亜鉛	mg	1.8	1.4
	銅	mg	0.3	0.2
	マンガン	mg	2.1	0.8
	ビタミン	A	$\mu$ g	2
D		$\mu$ g	0	0
E		mg	1.4	0.1
K		$\mu$ g	0	0
B1		mg	0.4	0.1
B2		mg	0	0
ナイアシン		mg	6.3	1.2
B6		mg	0.5	0.1
B12		$\mu$ g	0	0
葉酸		$\mu$ g	27	12
パントテン酸		mg	1.4	0.7
C	mg	0	0	
脂肪酸	飽和	g	0.6	0.3
	一価不飽和	g	0.8	0.2
	多価不飽和	g	0.9	0.3
コレステロール	mg	0	0	
食物繊維	g	3.0	0.5	

（精白米：歩留まり 90－92%）



## 第2章 高圧処理を利用した、低アレルギー化小麦の開発

### 2.1 はじめに

現在、食物アレルギー患者の増加が大きな社会問題となっている。患者は食事の際、アレルギーの原因となる物質（アレルギー）を除去しなければならず、それを含む食品を摂取できない。この問題を解決するひとつの途は、低アレルギー化食品を開発することである。

小麦は、卵、牛乳、落花生、そば、えび、かにと並んで七大アレルギーとされている。食物アレルギーに起因するアトピー性皮膚炎患者を調査した結果、小麦や米に感受性を示す患者が予想以上に多いことが分かっている<sup>73)</sup>。また穀物アレルギー患者は加齢とともに増加することも明らかになっている<sup>74)</sup>。小麦を摂取した際に起こるアレルギー症状は、①アトピー性皮膚炎を主徴とするいわゆる食餌性アレルギー、②baker's asthma（製粉あるいは製パン業者にしばしばみられる喘息）、③セリアック病（グルテン感受性腸炎）に分類される<sup>75)</sup>。ここでは日本において特に患者数が多い、小麦感受性の食物アレルギーを焦点とする。

アレルギーは通常、特有のタンパク質性の成分である。小麦タンパク質は塩可溶性タンパク質（アルブミン、グロブリン）および、塩不溶性タンパク質（グルテニン、グリアジン）に大別される。同じイネ科植物である米のアレルギーと同様に、グロブリン画分が主要な小麦アレルギーのひとつであると考えられている<sup>76)</sup>。

低アレルギー化小麦製品は数社から発売されているが、アレルギーの低減化が十分でない、高価である、扱い難いなどの問題点がある。越後製菓株式会社では、米の低アレルギー化について独自の製法を開

発した<sup>77)</sup>。その手法を活かし、小麦のアレルゲン成分を、高圧処理を利用して、麦粒を破壊することなく抽出・除去した低アレルゲン化小麦について、研究開発を行った。

## 2.2 試料および実験方法

### 2.2.1 実験試料

試料は、菓子や麺など幅広い用途で使用可能であり、硬質小麦と比較してタンパク質が少ない軟質小麦を選択した。その中でも容易に入手可能であった、皮を削った丸粒小麦（ウエスタンホワイト種）を購入し、実験に用いた。

### 2.2.2 最適な抽出方法の検討

試料を適宜洗浄した後、アレルゲン抽出液と共に軟質性樹脂袋に入れ、抽出処理を行った。抽出液は、小麦のタンパク質を溶解抽出する目的で、アルコール類、有機酸溶液、アルカリ性溶液およびタンパク質分解酵素溶液を選択した。越後製菓株式会社で行っている米のアレルゲン抽出方法は有機酸溶液を用いるものであるが、この方法を基にして、表 2-1 のように 4 種類を組み合わせ、抽出処理を行った。なお、越後製菓株式会社独自の製法であるため、抽出液、抽出方法の詳細は非公開とする。

上記方法で得られた試料を乾燥し、サイクロテックミル（Tecator 製 CYCLOTEC1093 Sample mill）で粉碎した後、1M NaCl 溶液を加え、塩可溶性タンパク質を抽出した。PIERCE 社製の BCA キットを用いて、塩可溶性タンパク質含有量を測定し、その値を用いて低減率を確認し、最適な抽出方法を検討した。

### 2.2.3 最適な高圧処理条件の検討

2.2.2 で得られた最適な抽出方法を基に、最適な高圧処理条件を検討した。試料を適宜洗浄し、タンパク質分解酵素溶液を抽出液として加えた後、100 MPa、300 MPa、400 MPa、2 分間の高圧処理を行い、アレルギー抽出処理を行った。抽出中に経時的に試料を採取し、2.2.3 と同様に塩可溶性タンパク質含有量を測定した。その値から、最適な高圧処理条件を求めた。なお、比較のために高圧無処理の試料も調製し、同様の操作を行った。

### 2.2.4 高圧処理の有用性の確認

2.2.2 および 2.2.3 で得られた最適条件を組み合わせ、アレルギー抽出処理を行い、高圧処理の有用性を確認した。試料を適宜洗浄し、アルコール類を抽出液として加え、1 日抽出した。その後、試料を一部採取し、2.2.3 と同様に塩可溶性タンパク質含有量を測定した。残りの試料は、抽出液をタンパク質分解酵素溶液に交換し、400 MPa、2 分間の高圧処理を行った後、アレルギー抽出処理を継続した。タンパク質分解酵素溶液中での抽出中に経時的に試料を採取し、同様に塩可溶性タンパク質含有量を測定した。なお、比較のために、高圧無処理の試料も調製し、同様の操作を行った。

### 2.2.5 全タンパク質による抗原抗体反応試験

2.2.4 で得られた小麦について、6 M 尿素, 0.1M PBS buffer (pH 7.4) を用いて、塩不溶性タンパク質も抽出した試料を調製し、抗原抗体反応試験 (RAST-inhibition 法) により、小麦アレルギー患者血清との反応性を検証した。RAST の測定にはファルマシア・アップジョン(株)

製のユニキャップ 100 を用い、CAP は小麦 (f4) を使用した。IgE 抗体は、定法によって測定された RAST スコア 2 以上の小麦アレルギー患者の血清を用いた。アレルゲンエキスの調製、添加したアレルゲンエキスに対する免疫反応の抑制率の測定等は阿部らの方法<sup>78)</sup>に従った。なお、比較のために、低アレルゲン化無処理小麦、2.2.2 で得られた最適な抽出方法により低アレルゲン化処理を行ったが、高压無処理の小麦、市販の低アレルゲン化小麦 (表皮から 30% を切削した小麦) を用いて、同様の操作を行った。さらに、各低アレルゲン化小麦の反応性の評価のために、低アレルゲン化無処理の試料を 10 分の 1 倍、100 分の 1 倍、1 千分の 1 倍、1 万分の 1 倍、10 万分の 1 倍に希釈し、同様の操作を行った。

## 2.3 結果

### 2.3.1 最適な抽出方法

各抽出方法による、小麦の塩可溶性タンパク質含有量の低減率および抑制率を表 2-2 に示した。

アルコール類とタンパク質分解酵素溶液を併用する抽出方法が、塩可溶性タンパク質の低減率は 96.7% となり、他条件と比較して最も効果が高かった。

### 2.3.2 最適な高压処理条件

各高压処理後に、タンパク質分解酵素溶液で抽出を行った小麦の塩可溶性タンパク質含有量の経時的な変化を図 2-1 に示した。

高压処理を行った小麦においては、高压無処理の小麦と比べて低減化速度の上昇が見られた。特に、400 MPa、10 分間の高压処理条件に

において、最も差が見られた。一方で、タンパク質分解酵素溶液のみによる抽出では、アルコール類との併用による抽出よりも抽出能力が低かった。

### 2.3.3 高圧処理の有用性について

2.3.1 および 2.3.2 で得られた最適条件にて抽出処理を行った小麦の塩可溶性タンパク質の低減率の変化を図 2-2 に示した。なお、アルコール類で 1 日抽出した後に採取した試料を 0 時間と設定した。

高圧処理を行った場合は、タンパク質分解酵素溶液での抽出処理 24 時間後から、高圧無処理の場合よりも塩可溶性タンパク質の低減率が上回り、抽出処理 48 時間後の塩可溶性タンパク質の低減率は、高圧無処理で抽出処理 72 時間後の低減率と同等以上だった。一方で、2.3.1 で得られた低減率に達することは出来なかった。

### 2.3.4 全タンパク質による抗原抗体反応試験

塩不溶性タンパク質も抽出した試料について、抗原抗体反応試験の結果を図 2-3 に示した。

低アレルゲン化無処理小麦より抽出した試料の各希釈率による抑制率と、無希釈の各低アレルゲン化小麦の抑制率との比較を行ったところ、高圧処理を行った低アレルゲン化小麦の抑制率は、低アレルゲン化無処理小麦を 10 万分の 1 に希釈したものと同等となり、他の低アレルゲン化処理小麦と比較して、低い値となった。

## 2.4 考察

低アレルゲン化小麦製品は数社から発売されているが、単純に表皮

を切削したものか、小麦を製粉し、食塩水や酵素水溶液中に浸漬して、アレルギータンパク質を抽出もしくは分解した小麦粉製品が一般的である。しかし、表皮を切削したものは低アレルギー化が不十分であり、小麦粉製品は、小麦粉が流出して歩留まりが悪く、製品は高価になるといった問題がある。

本研究では、越後製菓株式会社独自の米の低アレルギー化の手法を活かし、小麦のアレルギー成分の一つである塩可溶性タンパク質について、高圧処理を用いて麦粒を破壊することなく、抽出処理を行った。

抽出方法については、表 2-2 に示したように、アルコール類とタンパク質分解酵素溶液を併用する抽出方法が、塩可溶性タンパク質の低減率は最も高い効果を示した。また、有機酸溶液単独の場合と、有機酸溶液とアルコール類を併用した場合を比較すると、後者が低減率は高くなっており、アルコール類で前処理を行うことの有効性が示唆された。

高圧処理については、図 2-1 に示したように、抽出前に高圧処理を行った場合においては、高圧無処理の場合と比較して低減化速度の上昇が見られ、特に 400 MPa の高圧処理を行った場合において、最も差が見られた。また、図 2-2 に示したように、前処理として 400 MPa の高圧処理を行うことで、抽出処理時間を 1 日以上短縮可能である可能性が示された。精白米に高圧処理を施すことで、細胞組織が破壊されることが報告されている<sup>79)</sup>。小麦においても、同様に組織破壊が起こり、アレルギー抽出が容易となり、低減化速度の上昇に繋がったものと推測される。一方で、最終的な塩可溶性タンパク質の低減率は表 2-2 で示した値に達しなかったことについては、抽出処理中に複数回サンプリングを行ったことによる何らかの影響が考えられたが、その原因を明らかにすることは出来なかった。

ここまでは塩可溶性タンパク質含有量を低アレルギー性の指標としてきたが、低アレルギー商品のアレルギー性を評価する上で最も重要な事は、アレルギー患者の抗体との反応性である。また、塩不溶性タンパク質をアレルギーとする小麦アレルギー患者も存在することから、塩不溶性タンパク質も抽出した試料を用いて、抗原抗体反応試験を行った結果、図 2-3 に示したように、高圧処理を利用した低アレルギー化小麦は、抑制率が低アレルギー化無処理小麦を 10 万分の 1 に希釈したものと同等であった。すなわち、希釈倍率分の 1（逆数）に抗原が減少していることになり、市販の低アレルギー化小麦と比較して格段に低い結果となった。越後製菓株式会社で製造している、塩可溶性タンパク質含有量を低減化させた米飯の抗原は、一般の米飯と比較して 1 万分の 1 である。このことから、低アレルギー商品として十分な効果が得られることが期待された。

また、麦粒を破壊しないために、粉に挽いて小麦粉として利用することも出来る一方で、シリアルなど小麦を丸粒のまま利用する製品に加工することも出来、非常に用途の広い低アレルギー化小麦を得ることが可能となった。さらに、市販の低アレルギー化小麦と異なり、粉碎処理が不要であり、高圧処理を利用し抽出時間を短縮化することで、低アレルギー化処理に必要なエネルギーの節約に繋がる。これにより、作業の効率化、生産サイクルの加速化が可能となることが示された。

本研究によって得られた低アレルギー化小麦は、図 2-4 に示したように、すでにパン、クッキー、クラッカーとして加工して商品化されている。食物アレルギー患者が除去食物療法をする際に、「周りの人と同じものが食べられない」ことが、非常に大きなストレスとなる。一般的な商品と外観が同様な低アレルギー化商品は、患者およびその家族の精神的な配慮に役立つものと期待される。

表 2-1. アレルゲン抽出方法

	抽出方法
1	有機酸溶液に3日間浸漬後、流水洗浄
2	アルコール類に1日、 有機酸溶液に2日間浸漬後、流水洗浄
3	アルカリ性溶液に1日、 有機酸溶液に2日間浸漬後、流水洗浄
4	アルコール類に1日、 タンパク質分解酵素溶液に3日間浸漬後、流水洗浄



表 2-2. 各抽出方法による塩可溶性タンパク質含有量の低減率

	塩可溶性タンパク質 含有量 (mg/1g小麦)	低減率 (%)
無処理	41.8	—
1	10.5	74.9
2	5.2	87.6
3	7.9	81.0
4	1.4	96.7

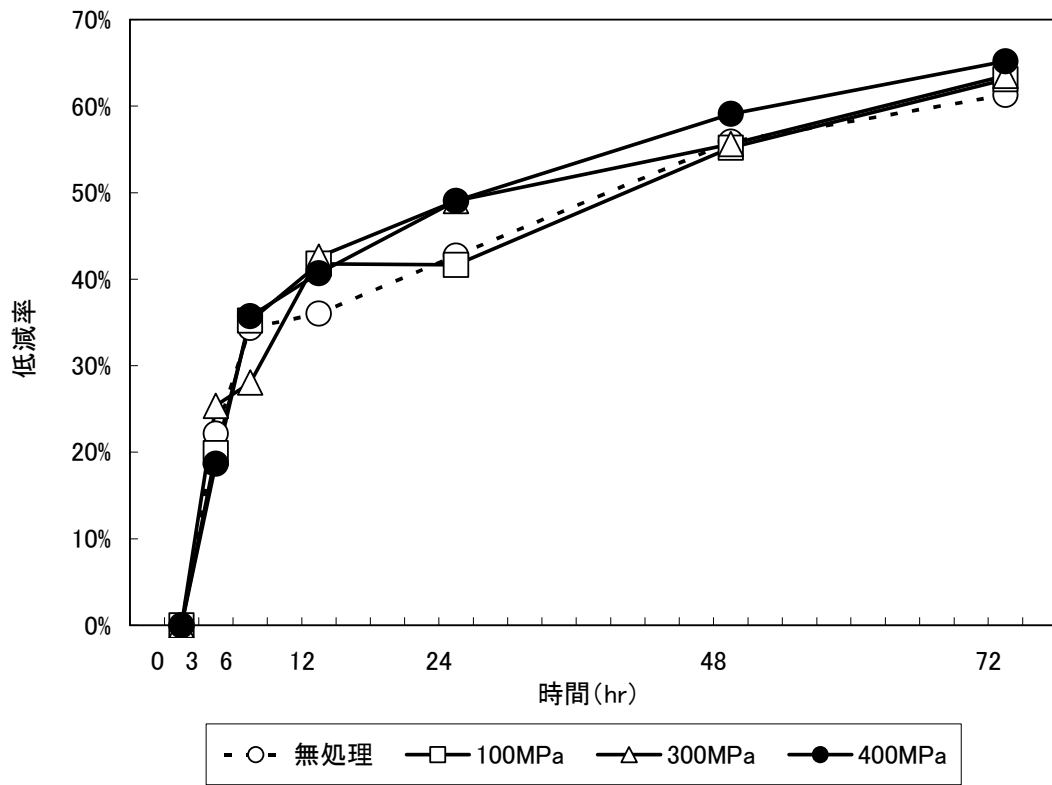


図 2-1. 高圧処理による塩可溶性タンパク質含有量低減率の変化

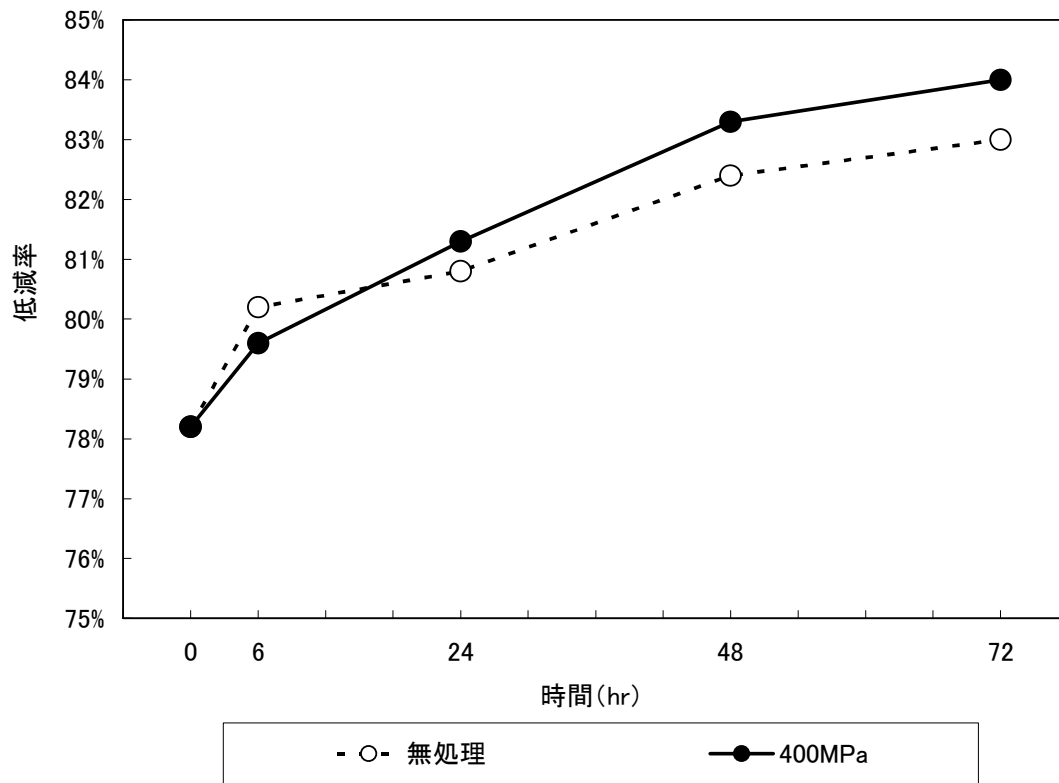


図 2-2. 高圧処理の有無による塩可溶性タンパク質含有量低減率の変化

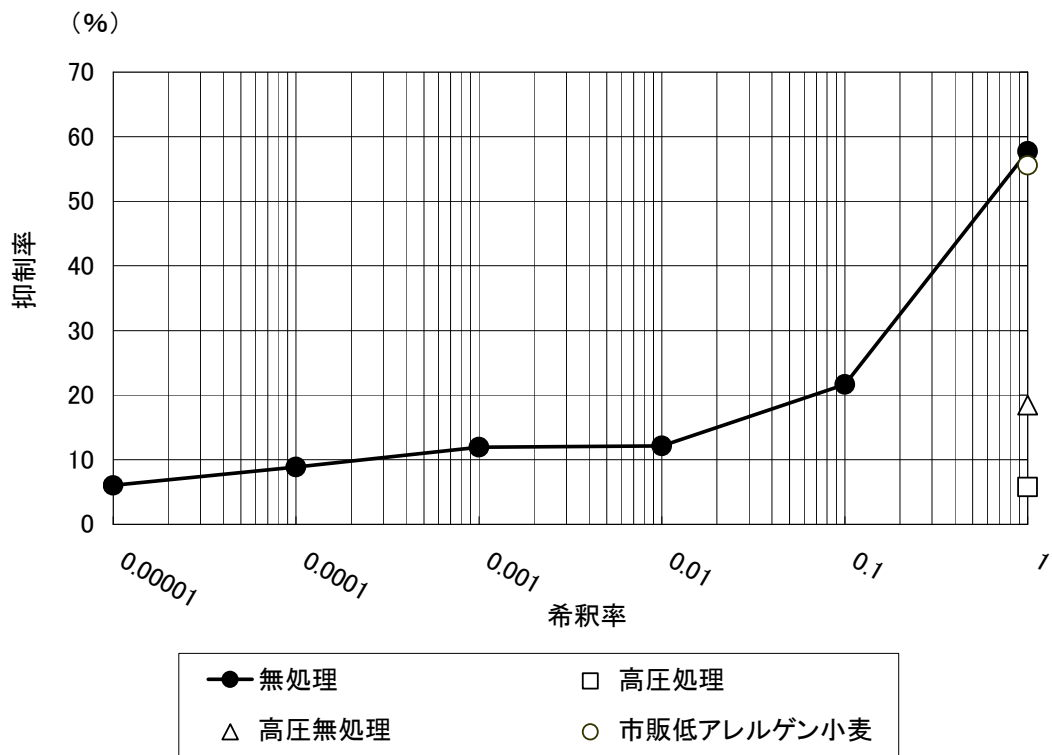


図 2-3. 抗原抗体反応試験



図 2-4. 本研究より生まれた低アレルギー化小麦商品

## 第3章 超硬質米を利用した、次世代の主食の開発 (味噌浸漬処理と高圧処理の有用性について)

### 3.1 はじめに

近年、社会全体の健康に対する意識が高まり、健康にかかわる食品や補助食品などの市場規模は増加している<sup>9)</sup>。その背景には、豊かな食生活を送ることが可能になったことによる、高血圧や肥満、糖尿病などの生活習慣病の増加などが関与している。

一方、米は日本人にとって主食であり、自給生産する唯一の穀物である。しかし、日本における米の消費量は昭和37年度をピークとして減少傾向にあり、平成26年度にはピーク時の半分以下にまで減少している<sup>8)</sup>。国内の食料消費が、国産でどの程度賄えているかを示す指標である食料自給率は、平成26年度で39% (カロリーベース) であり、先進国の中で最低の水準となっている<sup>80)</sup>。これまで、農林水産省の主導のもと、米の消費を拡大させる目的で、様々な新形質米が作出されてきた。この取り組みの中で生まれた「超硬質米」は、澱粉合成酵素のひとつである澱粉枝作り酵素 IIb の活性がないか、きわめて弱いことによって、澱粉のアミロペクチンの短鎖が少なくなり、中長鎖の多くなった米である。米飯としては極めて硬く、粘着性が無いために食味が極不良であるが、パンや麺として加工することで、糖尿病予防効果が期待できることが分かっている<sup>43)</sup>。しかし、機能性を維持したまま、日本人の主食である米飯として加工することが可能となれば、今後益々増加することが予想される高血圧や肥満、糖尿病などの生活習慣病の予防や、日本の食料自給率の向上に役立つことが予想される。

本章では、超硬質米「北陸粉243号 (品種名：こなゆきの舞)」を用

いて、様々な浸漬処理を行った炊飯米について、機能性成分、物性等を測定した。味噌の $\alpha$ -アミラーゼ活性は非常に高く、味噌浸漬処理を行った超硬質米は、難消化性澱粉含有量は若干低下し、グルコース含有量、DPPH ラジカル消去能、グルタミン酸含有量、ポリフェノール含有量は上昇し、硬さは減少し、粘りは増加することが報告されている<sup>72)</sup>が、本試料において、各浸漬処理によるこれらの変動を確認した。その結果から、機能性を損なうことなく、米飯として良食味となる炊飯方法を検討した。

## 3.2 試料および実験方法

### 3.2.1 実験試料

試料は、独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農研センター 北陸研究センターより、粉状質のアミロペクチン長鎖型超硬質米「北陸粉 243 号（品種名：こなゆきの舞）」および、比較対象用として一般良食味米である「コシヒカリ」を分譲していただき、実験に用いた。

味噌浸漬処理に使用する味噌は、食塩含有量を低減する目的で、無塩発酵米麴味噌（石山味噌醤油株式会社製）を実験に用いた。

また、本研究の試料として北陸粉 243 号を用いることの意義を確認するために、結晶質の高アミロース米である「こしのめんじまん（品種名）」を比較対象用として、一部実験に用いた。

### 3.2.2 試料の調製

北陸粉 243 号およびコシヒカリの玄米を山本製作所製の試験搗精用研削式精米機により、精米歩留まり 90～91%に搗精した。

なお、こしのめんじまんも同様に搗精した。

### 3.2.3 味噌浸漬処理

上記のとおり調製した北陸粉 243 号を適宜洗米した後、精白米重量（乾燥重量）に対する浸漬液の量を 1.4 倍に設定し、浸漬処理を行った。なお、コシヒカリの場合は、1.3 倍に設定した。

無塩味噌懸濁液の濃度は、味噌に含まれるアミノ酸などの呈味成分による食味改善効果および、味噌のアミラーゼなどによる米飯物性の改善効果が十分に得られ、かつ味噌による着色および呈味性付与効果が強くなりすぎない範囲で、0.1%と 0.5%を選定した。また、比較対象用サンプルは純水に浸漬した。浸漬条件は 15℃で 60 分間、または 50℃で 30 分間とした。味噌浸漬処理の後に高圧処理を行うサンプルの浸漬条件は、越後製菓株式会社の米飯製造での条件に合わせて、55℃、30 分間とした。

また、比較用として、55℃、30 分間、純水に浸漬した米飯、同条件で浸漬後に高圧処理を行った米飯、5.0%無塩味噌懸濁液に浸漬し、高圧処理を行った米飯を調製し、一部実験に用いた。

なお、無塩味噌懸濁液とは、無塩味噌を水（水道水、純水など）に懸濁させたものを指す。

### 3.2.4 高圧処理

上記のとおり、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬処理を行った北陸粉 243 号について、高圧処理を行った。圧力処理装置は、石川島播磨重工業製の食品用高圧特機（最高圧力 1.5 GPa、容量 0.3–7.0 L）を使用した。圧力条件は、最終的な実用化を考慮して、越後製菓株式会社の米飯製造で実績のある 200 MPa とし、加圧保持時間を 200 MPa に



到達してから 2 分間とした。昇圧および減圧の時間はいずれも 2 分間とした。加圧時の温度を 55℃とした。

また、炊飯の前処理である高圧処理に対する一般的な比較例として、蒸気処理を行った。浸漬前に金属製のせいろの下釜に水を加え、上釜に飼料米を置き、電磁誘導加熱(IH)ヒーター(Panasonic 製 KZ-PH31)を用い、スイッチ「弱」(260 W)で 10 分間蒸した。(品温 80℃)その後、純水を用いて 15℃、60 分間の浸漬処理を行った。

### 3.2.5 炊飯方法

上記のとおり前処理を行った後、電気炊飯器(シャープ製 KSHAS)によって炊飯を行った。また、高圧処理を行った試料精米については、越後製菓株式会社での米飯製造条件を再現し、専用の米飯容器にて、101℃、30 分間の蒸気炊飯を行った。

### 3.2.6 粉末試料の調製

化学分析に用いる米粉サンプルは、炊飯米を-80℃で保管した後、EYELA 東京理科学器株式会社製凍結乾燥機 (FD-1) を用いて凍結乾燥し、SFC-S1 サイクロンミル (UDYCORPORATION) により、1 mm スクリーンを用いて、粉砕して得た。

また、 $\alpha$ -アミラーゼ活性測定用の米粉サンプルは、炊飯前の各種試料米を同様に凍結乾燥後に粉砕して得た。

### 3.2.7 $\alpha$ -アミラーゼ活性

Megazyme 社製測定キットを用いて、精白米の米粉について、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の測定を行った。精白米の米粉 1.5 g に抽出バッファー 1 ml を加え、pH 5.4、40℃で 20 分間抽出した。それを遠心分離(1000

×g、10 分間) し、上清を酵素抽出液とした。

40°Cで 5 分間予熱した抽出液 0.1 ml と基質 0.1 ml を、40°Cで 20 分間反応させた後、反応停止薬 1.5 ml を加えて、400 nm の吸光度を測定した。測定は 3 連で行い、その平均値を求めた。

### 3.2.8 難消化性澱粉含有量の測定

難消化性澱粉含有量を AOAC 法に従って、resistant starch assay kit (Megazyme 製) を用いて測定した。それぞれのサンプル 100 g を 37°Cで 6 時間、パンクレアチンおよびアミノグルコシターゼ中で消化させ、分光光度計で 510 nm の波長を測定した。測定は 3 連で行い、その平均値を求めた。

炊飯米は、凍結乾燥後に粉砕して、サンプルとした。

### 3.2.9 グルコース含有量の測定

米粉サンプル 0.1 g に 60%エタノールを 1 ml 加え、20°Cで 1 時間回転抽出を行った。抽出液を 1500 ×g で 15 分間遠心分離し、上清を測定用サンプルとした。測定は、glucose assay kit (Roche 製) を用いて、NADPH の enzyme assay 法に基づいて行った。測定は 3 連で行い、その平均値を求めた。

### 3.2.10 DPPH ラジカル消去能の測定

須田等<sup>81)</sup>の方法を参考にして、炊飯米の抗酸化性を測定した。凍結乾燥した後に粉砕して得た米粉 0.1 g に 60%エタノール 2ml を添加し、室温で 30 分間震とうした後、遠心分離 (3000 ×g、10 分間) した。遠心後上清とバッファーを以下のように混合した。

・上清 0.5 ml + バッファー A 0.5 ml

・ 上清 0.5 ml + バッファー B 0.5 ml

※ バッファー A : 0.4 mM DPPH (2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl):  
0.2 M MES (2-(N-morpholino) ethanesulfonic acid at pH 6.0):  
20 % ethyl alcohol = 1:1:1)

※ バッファー B : 99.5 % ethyl alcohol: 0.2 M MES at pH 6.0: 20%  
ethyl alcohol = 1:1:1)

暗室にて室温で 20 分間放置した後、520 nm の吸光度を測定した。  
(検量線は Trolox (0.042 mM) を基に引いた)

なお、吸光度に相当する DPPH ラジカル消去活性は、バッファー A  
を用いた場合の吸光度と、バッファー B を用いた場合の吸光度の差か  
ら算出した。測定は 3 連で行い、その平均値を求めた。

### 3.2.11 食物繊維含有量の測定

食物繊維の含有量は AOAC 法に従い total dietary fiber assay kit  
(Megazyme 製) を用いて測定した。それぞれのサンプル 1 g を  $\alpha$ -アミ  
ラーゼ、プロテアーゼ、アミログルコシダーゼで消化し、95%エタノ  
ールを加えた後ろ過し、沈殿物を回収した。総食物繊維量は沈殿物の  
総重量からタンパク質と灰分 (ash) を差し引いて算出した。測定は 3  
連で行い、その平均値を求めた。

### 3.2.12 グルタミン酸含有量の測定

グルタミン酸の含量量は F-kit (Roche Diagnostics 製) を用いて測  
定した。それぞれのサンプル 1 g を 1 ml の純水中で、室温にて 30 分  
間攪拌した。分光光度計で 510 nm の波長を測定し、ホルマザン生成  
量として、グルタミン酸の含有量を測定した。測定は 3 連で行い、そ  
の平均値を求めた。

### 3.2.13 ポリフェノール含有量の測定

炊飯米に含まれるポリフェノール含有量を、Folin-Ciocalteu 法<sup>82)</sup>を用いて測定した。炊飯米を凍結乾燥した後に粉碎して得た米粉 0.1 g に 80%エタノール 4 ml を添加し、室温で 30 分間振とうした後、遠心分離 (3000 ×g、10 分間) した。

遠心分離後の上清 1 ml に Folin-Ciocalteu 溶液 1 ml を加えて混合し、室温で 3 分間静置した後、炭酸ナトリウム 5 ml を添加し、50°C で 5 分間静置した。その後、10°C で 1 時間静置して冷却し、765 nm における吸光度を測定して算出した (検量線は没食子酸 (gallic acid; 0.1 mg/ml) を基に引いた)。測定は 3 連で行い、その平均値を求めた。

### 3.2.14 炊飯米の物性の測定

調製した炊飯米を 25°C で 2 時間保温した後、岡留等<sup>83)</sup>の方法により物性を測定した。測定機器として、タケトモ電子製 MyBOY システムテンシプレッサーを用いて、低圧縮試験 (圧縮率 25%) と高圧縮試験 (圧縮率 90%) を行い、測定数 20 粒の米飯表層および米飯粒全体の物性を測定した。解析はテンシプレッサー付属のソフトウェアを用いて行った。

### 3.2.15 結晶質高アミロース米の物性の測定

北陸粉 243 号との比較のため、結晶質の高アミロース米である「このめんじまん (品種名)」を試料として、0.1% および 0.5% 無塩味噌懸濁液に浸漬した後に高圧処理を行い、炊飯を行った後に、3.2.13 と同様に物性を測定した。

### 3.2.16 味噌浸漬処理と高圧処理による影響の調査

北陸粉 243 号に対する味噌浸漬処理および高圧処理による影響を調べるために、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した後、200 MPa、2 分間の高圧処理を行い、炊飯した米飯を調製した。また、比較対象用として、味噌浸漬処理を行わず、高圧処理のみを行って炊飯した米飯、高圧処理を行わず、味噌浸漬処理のみを行って炊飯した米飯、および味噌浸漬処理も高圧処理も行わない米飯を調製し、難消化性澱粉含有量および測定数 20 粒の物性を測定した。

### 3.2.17 官能検査

北陸粉 243 号に対する味噌浸漬処理および高圧処理による食味の改善効果を調べるために、水に浸漬した場合と 0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した場合、浸漬後の高圧処理（200 MPa）の有無、の各種条件で米飯を調製し、10 名のパネリストによる官能検査（試食試験）を実施した。食味の評価は、5（きわめて優れている）、4（優れている）、3（普通）、2（やや劣る）、1（きわめて劣る）の 5 段階にて評価した。

また、無塩味噌懸濁液の濃度による比較のために、5.0%無塩味噌懸濁液に浸漬し、高圧処理を行った米飯を調製し、同様の検査を行った。

## 3.3 実験結果

### 3.3.1 $\alpha$ -アミラーゼ活性

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件における炊飯前の  $\alpha$ -アミラーゼ活性の測定結果を、図 3-1 に示した。

15°C、60 分間、純水に浸漬した北陸粉 243 号とコシヒカリを比較した場合、北陸粉 243 号の方が  $\alpha$ -アミラーゼ活性は高かった。（0.08

CU/g > 0.01 CU/g) 50℃、30 分間の浸漬を行った場合は、15℃、60 分間の浸漬を行った場合と比較して、 $\alpha$ -アミラーゼ活性は低下する傾向が見られた。味噌浸漬処理を行った場合は、味噌浸漬処理を行わなかった場合と比較して、 $\alpha$ -アミラーゼ活性は上昇する傾向が見られ、味噌の添加量の増加に伴い、 $\alpha$ -アミラーゼ活性も上昇した。

一方、高圧処理や湿熱処理を行った場合においては、不活性化を示した。また、コシヒカリにおいても、概ね同様の結果を示した。

### 3.3.2 難消化性澱粉含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件における難消化性澱粉含有量の測定結果を、表 3-1 および図 3-2 に示した。

15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、0.1% および 0.5% の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号は、浸漬温度、浸漬時間に関係なく、難消化性澱粉含有量は低下していた。また、50℃、30 分間、純水で浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号の難消化性澱粉含有量は、最も低い値を示した。一方で、0.5% の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の難消化性澱粉含有量は、最も高い値を示した。また、前処理として湿熱処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の難消化性澱粉含有量は、同様に高い値を示した。なお、コシヒカリの炊飯米の難消化性澱粉含有量は浸漬条件にかかわらず、一様に低い値を示した。

### 3.3.3 グルコース含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件におけるグルコース含有量の測定結果を、表 3-1 および図 3-3 に示した。

15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較し

て、無塩味噌懸濁液に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号は、どの浸漬温度、浸漬時間でも、グルコース含有量が上昇した。また、味噌の添加量の増加に伴い、グルコース含有量も上昇した。一方で、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米のグルコース含有量は、ほとんど変化していなかった。

なお、コシヒカリの炊飯米のグルコース含有量は、北陸粉 243 号の炊飯米と概ね同様の結果を示した。しかし、湿熱処理を行った場合においては、北陸粉 243 号では上昇したのに対し、コシヒカリではほとんど変化しないという、大きく異なる結果が見られた。

#### 3.3.4 DPPH ラジカル消去能

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件における DPPH ラジカル消去能の測定結果を、表 3-1 および図 3-4 に示した。

15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、前処理として湿熱処理を行った北陸粉 234 号の炊飯米の DPPH ラジカル消去能は、1.85 倍に上昇した。また、無塩味噌懸濁液に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号は、どの浸漬温度、浸漬時間でも、DPPH ラジカル消去能が上昇した。一方で、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の DPPH ラジカル消去能は、ほとんど変化していなかった。なお、コシヒカリの炊飯米の DPPH ラジカル消去能は、浸漬条件による変化は特に見られなかった。

#### 3.3.5 食物繊維含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件における食物繊維含有量の測定結果を、表 3-1 および図 3-5 に示した。

15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較し

て、無塩味噌懸濁液に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号は、どの浸漬温度、浸漬時間でも、食物繊維含有量が上昇した。また、味噌の添加量の増加に伴い、食物繊維含有量も上昇した。特に、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の食物繊維含有量は、最も高い値を示した（2.9 倍）。一方で、前処理として湿熱処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の食物繊維含有量は、ほとんど変化していなかった。なお、コシヒカリの炊飯米の食物繊維含有量は、北陸粉 243 号の炊飯米と同様の傾向を示した。

### 3.3.6 グルタミン酸含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件におけるグルタミン酸含有量の測定結果を、表 3-1 および図 3-6 に示した。

15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、無塩味噌懸濁液に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号は、どの浸漬温度、浸漬時間でも、グルタミン酸含有量が上昇した。また、浸漬温度が高い方が、グルタミン酸含有量は上昇する傾向を示したが、高圧処理の有無による変化は特に見られなかった。一方で、無塩味噌懸濁液ではなく、純水に浸漬した場合は、浸漬温度が高い方が、逆にグルタミン酸含有量は低下した。また、前処理として湿熱処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米のグルタミン酸含有量は、最も高い値を示したが（2.8 倍）、コシヒカリにおいては、湿熱処理が特別に高い値を示す傾向は見られなかった。

### 3.3.7 ポリフェノール含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリの、各種浸漬条件におけるポリフェノール含有量の測定結果を、表 3-1 および図 3-7 に示した。



15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、浸漬温度、浸漬時間、味噌浸漬処理の有無にかかわらず、ポリフェノール含有量の変化は見られなかった。唯一、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米のポリフェノール含有量は、有意に高い値を示した（1.2 倍）。なお、コシヒカリの炊飯米のポリフェノール含有量は、北陸粉 243 号の炊飯米と概ね同様の傾向を示した。

### 3.3.8 物性

テンシプレスラーを用いて、低圧縮試験（圧縮率 25%）と高圧縮試験（圧縮率 90%）を行い、測定数 20 粒の米飯表層および米飯粒全体の物性を測定した結果を、表 3-2 および図 3-8～3-13 に示した。

表 3-2 および図 3-8 に示したように、表層の硬さ（H1）は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、前処理として湿熱処理を行った場合において、1.5 倍に増加した。0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った場合においても、若干の増加が見られた（1.1 倍）。一方、味噌浸漬処理を行わずに、50℃、30 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号においては、若干減少した（0.9 倍）。なお、コシヒカリにおいても、概ね同様の結果を示した。

表 3-2 および図 3-9 に示したように、全体の硬さ（H2）は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、前処理として湿熱処理を行った場合において、1.2 倍に増加した。一方、それ以外の条件においては、減少する傾向が見られた。味噌浸漬処理を行わずに、50℃、30 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号において、最も低い値を示した（0.9 倍）。また、無塩米麹味噌水溶

液に浸漬した場合は 0.92～0.97 倍、高圧処理によっては 0.96 倍に減少した。なお、コシヒカリにおいては、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した場合と比較して、全体的に増加する傾向が見られた。

表 3-2 および図 3-10 に示したように、表層の粘り (-H1) は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、無塩味噌懸濁液に浸漬することによって、1.25 倍～1.41 倍に増加した。また、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った場合においては、1.1 倍に増加した。一方、前処理として湿熱処理を行った場合においては、0.95 倍に減少した。なお、コシヒカリにおいては、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した場合と比較して、全体的に増加する傾向が見られた。

表 3-2 および図 3-11 に示したように、全体の粘り (-H2) は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した場合と比較して、無塩味噌懸濁液に浸漬することによって、1.11～1.49 倍に増加した。味噌浸漬処理を行わずに、50℃、30 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号においては、1.2 倍に増加した。また、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った場合において、最も高い値を示した (1.99 倍)。一方、前処理として湿熱処理を行った場合においては、0.76 倍に減少した。なお、コシヒカリにおいては、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した場合と比較して、湿熱処理および高圧処理を行った場合において、減少した。

表 3-2 および図 3-12 に示したように、表層のバランス度 (表層の粘り/表層の硬さ) は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、前処理として湿熱処理を行った場合を除いて、全体的に増加する傾向が見られたが、大きな変化は無かった。なお、コシヒカリにおいても、概ね同様の結果を示した。

表 3-2 および図 3-13 に示したように、全体のバランス度（全体の粘り/全体の硬さ）は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った場合において、最も高い値を示した（5.5 倍）。また、無塩味噌懸濁液に浸漬することによって、1.25～3.25 倍、味噌浸漬処理を行わずに、50℃、30 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号においては、3.25 倍に増加した。一方、前処理として湿熱処理を行った場合においては、0.75 倍に減少した。なお、コシヒカリにおいては、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した場合と比較して、湿熱処理および高圧処理を行った場合において、減少した。

### 3.3.9 物性と化学成分との相関関係

炊飯米の物性と化学成分の相関関係を表 3-3 に示した。

難消化性澱粉含有量は、グルタミン酸含有量、ポリフェノール含有量と高い正の相関があった。一方、表層の粘り、全体の粘り、表層のバランス度とは高い負の相関があった。

グルコース含有量は、グルタミン酸含有量、DPPH ラジカル消去能と高い正の相関があった。一方、DPPH ラジカル消去能は、グルタミン酸含有量と高い正の相関があり、全体の粘りと高い負の相関があった。

グルタミン酸含有量は、ポリフェノール含有量と高い正の相関があり、表層の粘り、表層のバランス度、全体の粘りと高い負の相関があった。

ポリフェノール含有量は、表層の粘りと高い負の相関があった。

### 3.3.10 結晶質高アミロース米の物性

テンシプレッサーを用いて、結晶質の高アミロース米である「こしのめんじまん」の低圧縮試験(圧縮率 25%)と高圧縮試験(圧縮率 90%)を行い、測定数 20 粒の米飯表層および米飯粒全体の物性を測定した結果を、表 3-4 に示した。

こしのめんじまんの場合は、どの浸漬条件においても、全体の硬さが 2000 gw/cm<sup>2</sup> 以上ときわめて強く、表層のバランス度や、全体のバランス度の改善も見られなかった。

### 3.3.11 味噌浸漬処理と高圧処理による影響

北陸粉 243 号に味噌浸漬処理と高圧処理を行った炊飯米、高圧処理のみを行った炊飯米、味噌浸漬処理のみを行った炊飯米、味噌浸漬処理も高圧処理も行わなかった炊飯米の難消化性澱粉含有量および、測定数 20 粒の米飯表層および米飯粒全体の物性を測定した結果を、表 3-5 に示した。

難消化性澱粉含有量は、15℃、60 分間、純水に浸漬した後に炊飯した北陸粉 243 号と比較して、味噌浸漬処理と高圧処理を行った場合が最も高い値を示した。物性については、味噌浸漬処理のみを行った場合は、表層の硬さが減少し、全体の粘りも増加したが、全体の硬さおよび表層の粘りは、あまり変化が見られなかった。一方、高圧処理のみを行った場合は、全体の硬さは増加し、粘りの減少が見られたが、表層の硬さはあまり変化が見られなかった。味噌浸漬処理と高圧処理を行った場合は、表層の粘りが増加し、米飯全体の硬さが顕著に減少し、全体の粘りは顕著に増加した。

### 3.3.12 官能検査

北陸粉 243 号を水に浸漬した場合と 0.5%および 5.0%無塩味噌懸濁液に浸漬した場合、浸漬後の高圧処理（200 MPa）の有無、の各種条件で調製した炊飯米の官能検査の結果を表 3-6 に示した。

味噌浸漬処理および高圧処理を行わなかった北陸粉 243 号は、良食味米であるコシヒカリと比較して、米飯が硬く、粘りが弱く、えぐ味を有するなど、著しく食味が劣っていた。一方、味噌浸漬処理を行った場合は、えぐ味が改善され、高圧処理を行った場合は、硬さや粘りなどの食感が向上した。味噌の添加量が増えた場合は、味噌による着色および呈味性付与効果が強くなりすぎたため、低い評価となった。味噌浸漬処理と高圧処理を複合処理した場合において、食味・食感が改良され、バランスの良い米飯となった。

## 3.4 考察

北陸粉 243 号は、コシヒカリと比較して、難消化性澱粉含有量が多かった。澱粉は、その構造によってアミロースとアミロペクチンに分類される。アミロースは分子量が小さく、直鎖状であり、アミロペクチンは分子量が大きく、枝分かれの多い構造をしている。北陸粉 243 号は、*ae* 変異体米の一種である EM10 と同様に<sup>84)</sup>、枝分かれ酵素である IIb 酵素が欠損している。そのため、アミロペクチン分子は短鎖が少なく、長鎖が多い。一方、コシヒカリのアミロペクチンは、長鎖がごく僅かである。

難消化性澱粉は、小腸では消化されず、大腸内で腸内発酵を促し、腸内環境を整えるはたらきがあると考えられている。Yang 等<sup>85)</sup> は、変異体米には、難消化性澱粉が多く含まれていることを報告している。

また、ジャポニカ米品種はインディカ米品種と比較して、特に難消化性澱粉含有量が少ない<sup>86)</sup>。

アミロースは、炊飯米の物性や糊化特性に、特に影響を与える要因のひとつである<sup>87)</sup>。一般的に、アミロース含有量の多い澱粉は、自然と高い難消化性を示す。一方で、アミロペクチンの鎖の長さも、アミロースと同様に、米の物性に影響を与える<sup>84) 88) 89) 90)</sup>。先に述べたように、北陸粉 243 号のアミロペクチン分子は長鎖が多く、このことが、北陸粉 243 号の難消化性澱粉含有量が多い原因となっている。また、難消化性澱粉含有量が多い米は、消化が遅いことが報告されている<sup>91)</sup>。

表 3-1 および図 3-2 に示したように、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の難消化性澱粉含有量は、純水に浸漬し、高圧処理を行わなかった場合と比較して、高い値を示した。無塩味噌懸濁液に浸漬したが、高圧処理を行わなかった場合は、純水に浸漬した場合と比較して、難消化性澱粉含有量は若干低い値を示した。このことから、北陸粉 243 号に、味噌浸漬処理と高圧処理を併用した場合において、難消化性澱粉含有量の高い炊飯米が得られることが示された。

グルコース含有量は、表 3-1 および図 3-3 に示したように、味噌の添加量の増加に伴い、上昇する傾向が見られた。無塩味噌の $\alpha$ -アミラーゼ活性は非常に高いことが報告されている<sup>72)</sup>。また、図 3-1 に示したように、米の品種にかかわらず、味噌浸漬処理を行った場合には、純水に浸漬した場合と比較して、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が上昇した。よって、味噌浸漬処理を行った場合において、グルコース含有量が上昇した理由は、無塩味噌の持つ高い $\alpha$ -アミラーゼ活性によるものと推測された。一方で、味噌浸漬処理と高圧処理を併用した場合や、湿熱処理を行った場合においては、 $\alpha$ -アミラーゼは不活性化した。特に、味噌

浸漬処理と高圧処理を併用した場合には、炊飯米のグルコース含有量に変動は見られなかった。このことから、北陸粉 243 号に味噌浸漬処理と高圧処理を併用して製造した炊飯米は、低 GI 食品として期待出来ることが示された。

また、表 3-1 および図 3-5～3-7 に示したように、純水に浸漬した場合と比較して、食物繊維含有量、グルタミン酸含有量、ポリフェノール含有量が上昇する傾向が見られた理由についても、味噌浸漬処理を行ったことに起因しているものと推測された。竹内等<sup>70)</sup>は、味噌はサポニン、イソフラボン、メラノイジン、トコフェロール（ビタミン E）などの抗酸化物質を含んでいることを報告している。また、江崎等<sup>92)</sup>は、味噌はメラノイジン、アンジオテンシン変換酵素阻害ペプチド、イソフラボンなどの、様々な機能性成分を含むことを報告している。人間の食事において、ポリフェノールは最も豊富に摂取できる抗酸化性物質である<sup>93)</sup>。食事によるポリフェノールの摂取は、糖尿病や循環器系の病気の発症率の低下と関連性が確認されており<sup>94) 95)</sup>、高圧処理を行った炊飯米において、ポリフェノール含有量が増加していることは、非常に興味深く、意味のある点である。

また、表 3-2 および図 3-8～3-11 に示したように、北陸粉 243 号は、コシヒカリと比較して、硬く粘りのない米であるが、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米においては、米粒の表層の硬さ（H1）はやや硬くなっているものの、全体の粘り（-H2）が劇的に改善され、コシヒカリと同等の値を示した。その結果、全体の硬さと全体の粘りのバランス度（-H2/H2）が改善され、コシヒカリと同等の値を示した。

高圧処理の利用は、酵素処理と同様に米の調理特性を変化させる。そのために、高圧処理は、インディカ米品種のような、硬く粘りのな

い米から、日本人にも受け入れられる、おいしい米飯を製造するのに利用することができる。山倉等は、400 MPa、10 分間の高圧処理を行った炊飯米のおいしさが改善されたことを報告している<sup>96)</sup>。

本研究の結果より、味噌浸漬処理と高圧処理を併用した場合においては、米飯表層の硬さが増加することにより難消化性を維持しつつ、米飯全体の粘りが著しく増加することによって、食感を良好に出来ることが明らかとなった。

一方で、前処理として北陸粉 243 号に湿熱処理を行った場合においては、難消化性澱粉含有量は変化しないが、グルコース含有量、DPPH ラジカル消去能、グルタミン酸含有量が特に上昇しており、興味深い結果が得られた。DPPH ラジカル消去能の上昇については、湿熱処理により褐変が起こり、メラノイジン含有量が上昇したことに起因するものと推測されたが、その他の成分の上昇については本研究では解明出来なかった。しかし、米飯の物性においては、米粒は硬くなり、粘りは減少し、バランス度の改善も見られなかった。そのため、湿熱処理は食感の改善には寄与しないことが分かり、本研究で求めている炊飯米の製造には適さないものと判断した。

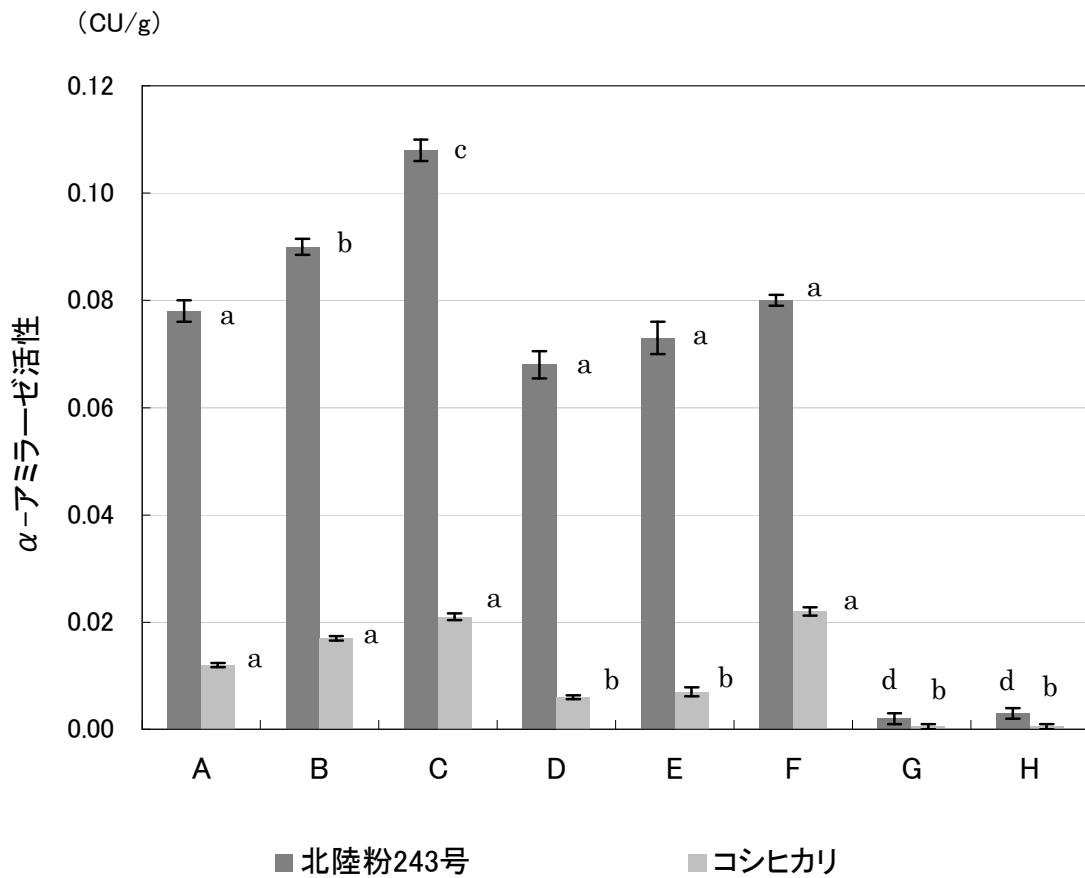
なお、表 3-4 に示したように、結晶質の高アミロース米である「このめんじまん」において、味噌浸漬処理と高圧処理を行った場合は、北陸粉 243 号のような、顕著な米飯物性改良効果は見られなかった。これは、粉状質である北陸粉 243 号に対し、結晶質の高アミロース米では、無塩味噌懸濁液の米粒内部への浸透が不十分であったためと考えられた。これにより、味噌浸漬処理と高圧処理の効果を最大限に活かすことが可能な米の品種は、北陸粉 243 号のような、粉状質の品種であることが示された。

さらに、表 3-5 に示したように、北陸粉 243 号に、味噌浸漬処理と



高圧処理をそれぞれ単独で行った場合でも、米飯物性改良効果は若干見られるものの、両処理を併用した場合において、物性改善効果がより強く見られることが明らかとなった。食味においても、表 3-6 に示したように、両処理を併用した場合において評価が高かった。

北陸粉 243 号は、難消化性澱粉含有量が多く、食感は硬く、粘りがない品種であるため、その炊飯米は日本人の嗜好には合わない。しかし、0.5%の味噌浸漬処理と、200 MPa の高圧処理を併用することにより、機能性を損ねることなく、北陸粉 243 号の物性が改良され、食味に優れた米飯が製造できる可能性が示された。



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

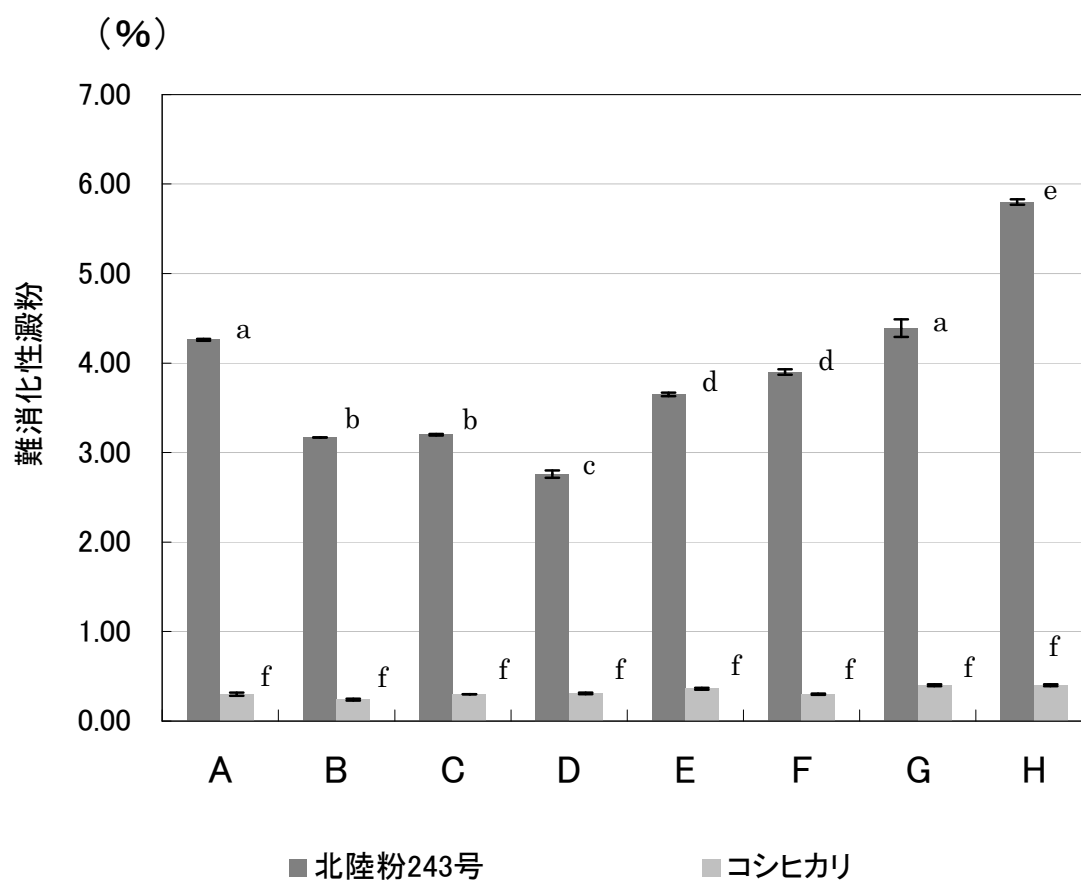
G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-1. 様々な浸漬を行った精白米の  $\alpha$ -アミラーゼ活性

表 3-1. 様々な浸漬を行った炊飯米の化学成分

	難消化性澱粉 (%)		グルコース (g/100g)		DPPH ラジカル消去能 (mg/100g)		食物繊維 (g/100g)		グルタミン酸 (mg/100g)		ポリフェノール (mg/100g)	
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
北陸粉243号												
15℃、60分間 純水に浸漬	4.26	0.01	0.19	0.00	8.09	0.70	0.73	0.04	0.60	0.00	64.15	2.05
15℃、60分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	3.17	0.00	0.26	0.01	9.86	0.26	0.83	0.00	0.65	0.01	65.23	1.53
15℃、60分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	3.20	0.01	0.39	0.01	10.35	0.62	1.25	0.00	0.76	0.00	67.76	1.02
50℃、30分間 純水に浸漬	2.76	0.04	0.20	0.02	7.99	0.22	0.72	0.00	0.46	0.00	63.42	0.00
50℃、30分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	3.65	0.02	0.26	0.01	9.86	0.26	0.85	0.00	0.81	0.02	65.95	0.51
50℃、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	3.90	0.03	0.39	0.01	10.35	0.62	1.26	0.00	0.81	0.02	66.68	0.51
湿熱処理後、15℃、60分間 純水に浸漬	4.39	0.10	0.39	0.01	14.96	1.22	0.83	0.00	1.36	0.06	65.23	0.51
55℃、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	5.80	0.03	0.15	0.01	8.40	0.30	2.10	0.00	0.83	0.05	73.55	1.02
コシヒカリ												
15℃、60分間 純水に浸漬	0.30	0.02	0.16	0.00	8.35	0.18	0.44	0.03	0.26	0.03	51.49	0.51
15℃、60分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	0.24	0.01	0.22	0.01	8.57	0.32	0.70	0.00	0.36	0.03	52.22	1.53
15℃、60分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	0.30	0.00	0.38	0.02	8.51	0.50	1.10	0.00	0.53	0.01	54.38	1.53
50℃、30分間 純水に浸漬	0.31	0.01	0.19	0.00	8.22	0.21	0.46	0.00	0.37	0.06	53.30	2.05
50℃、30分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	0.36	0.01	0.25	0.01	8.57	0.32	0.82	0.00	0.31	0.02	52.58	1.02
50℃、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	0.30	0.01	0.40	0.02	8.51	0.50	1.10	0.00	0.52	0.00	51.85	1.02
湿熱処理後、15℃、60分間 純水に浸漬	0.40	0.01	0.12	0.01	8.70	0.20	0.45	0.00	0.51	0.02	52.36	0.60
55℃、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	0.40	0.01	0.12	0.01	8.70	0.20	1.79	0.00	0.31	0.01	57.20	1.30



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

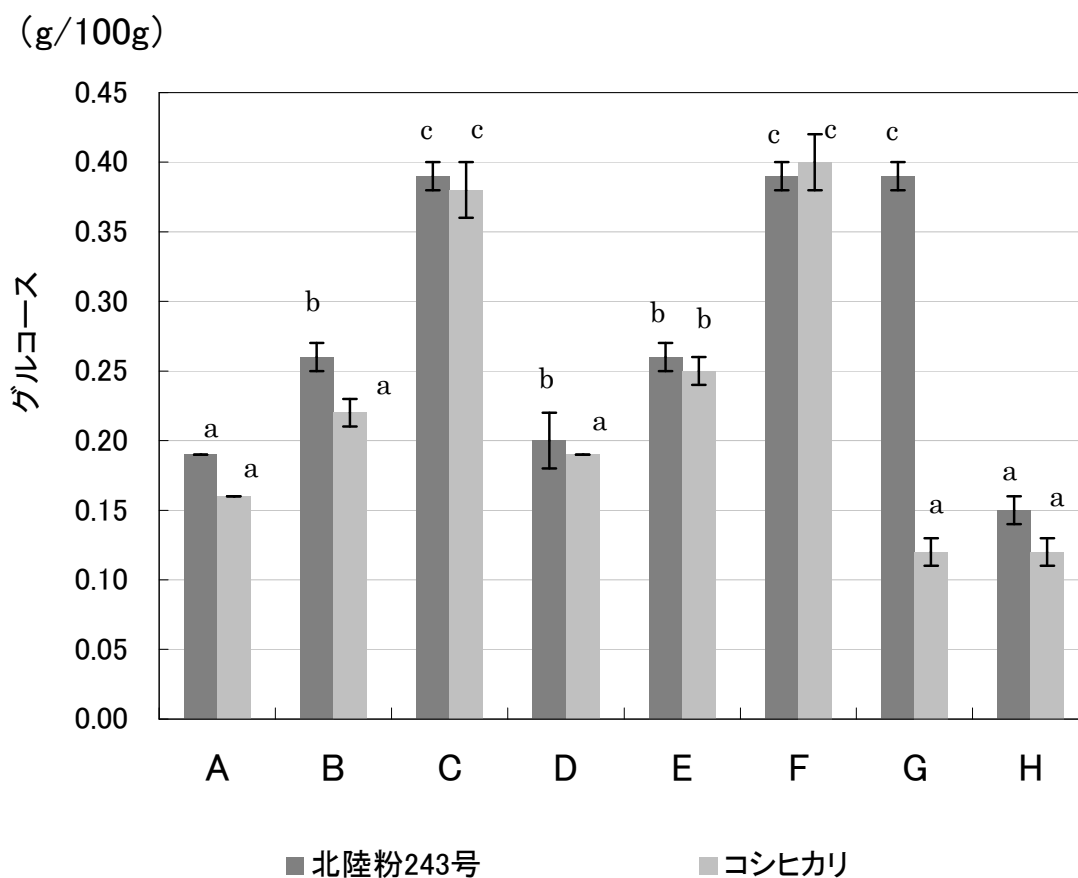
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-2. 様々な浸漬を行った炊飯米の難消化性澱粉含有量



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

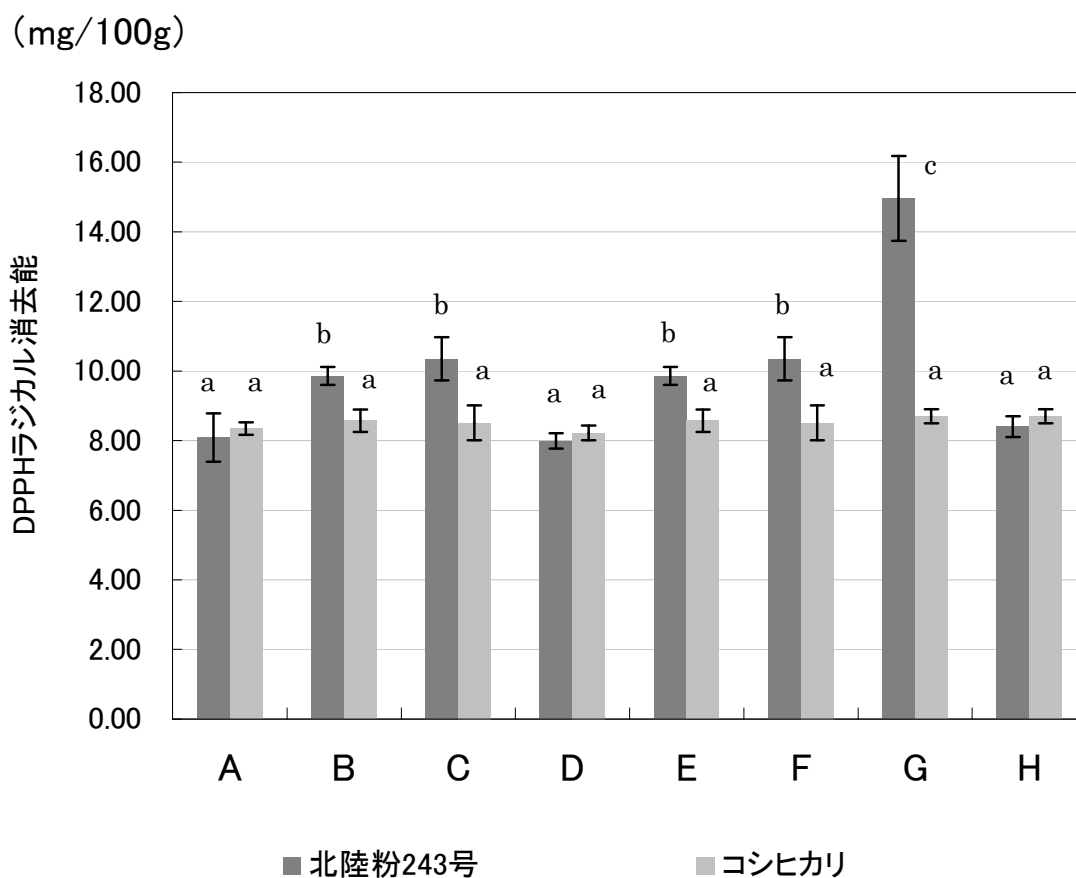
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-3. 様々な浸漬を行った炊飯米のグルコース含有量



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

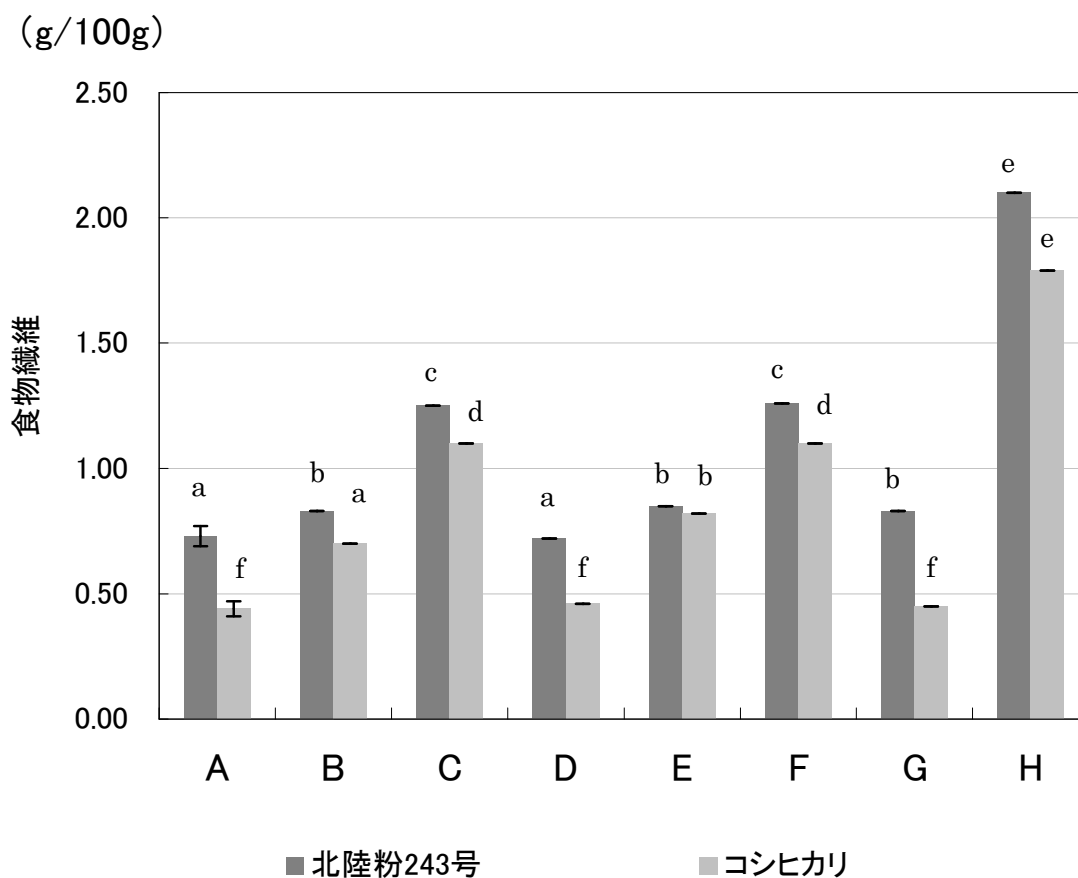
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-4. 様々な浸漬を行った炊飯米の DPPH ラジカル消去能



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

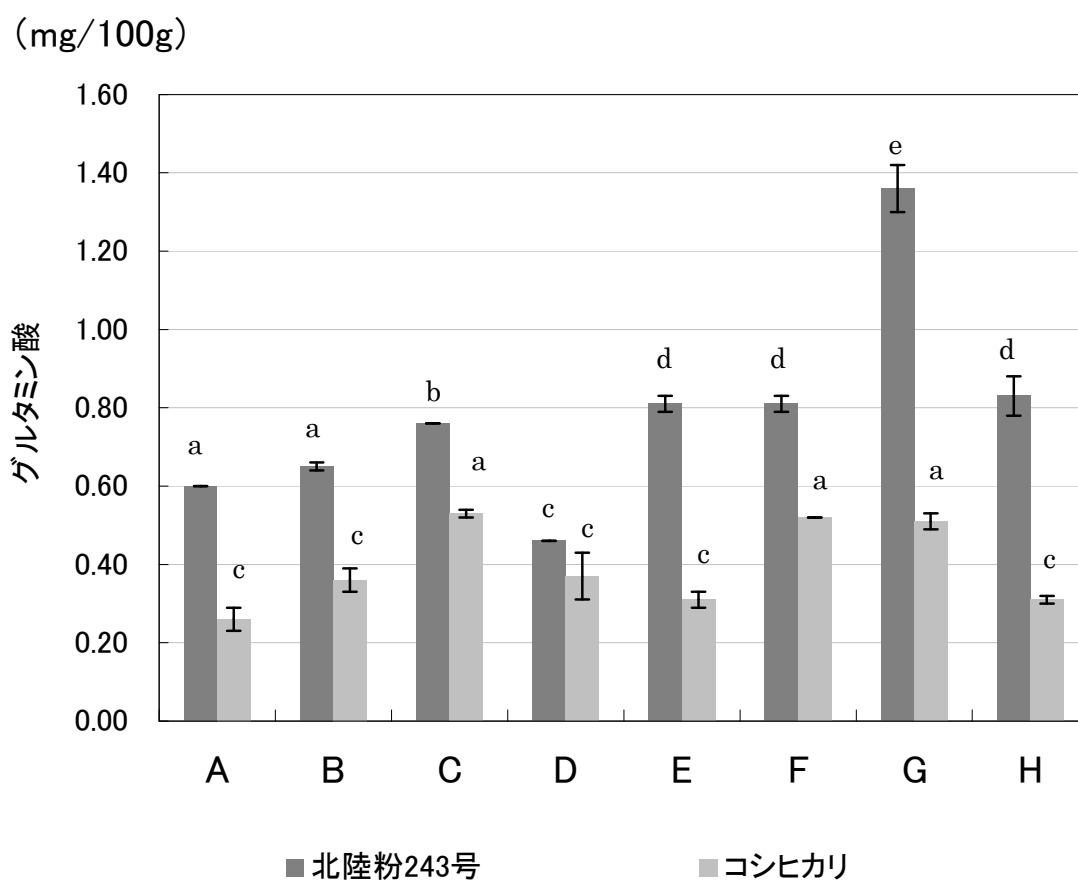
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-5. 様々な浸漬を行った炊飯米の食物繊維含有量



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

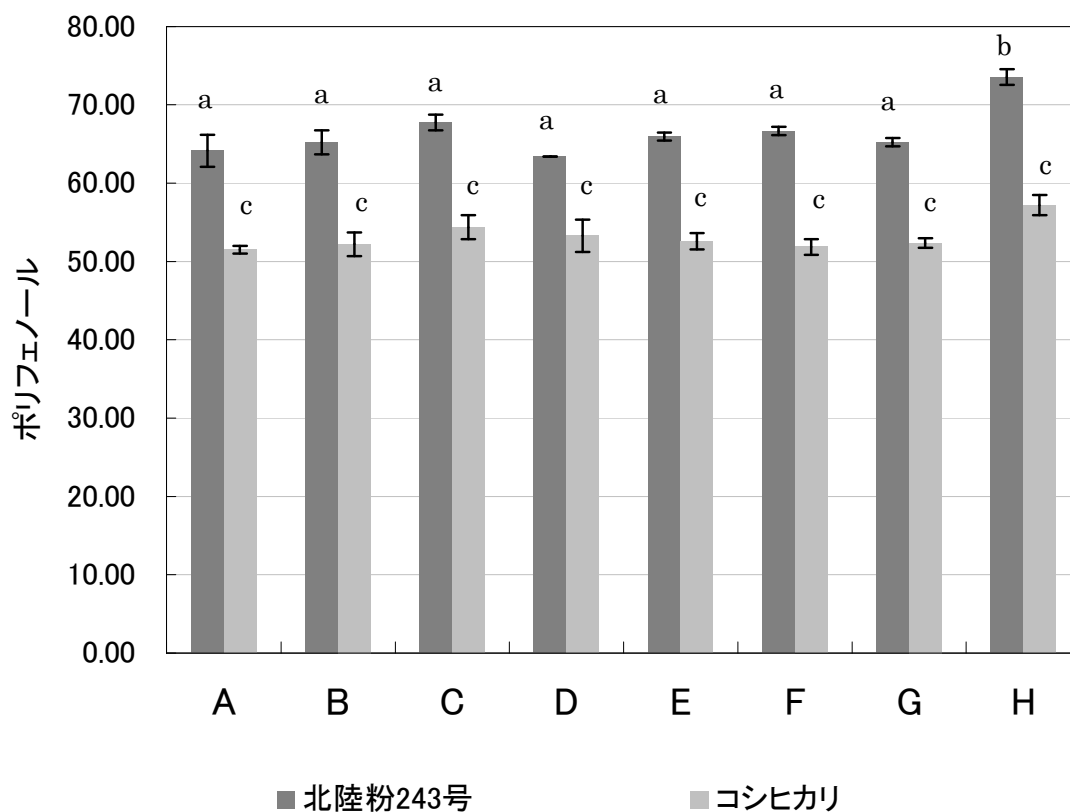
G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-6. 様々な浸漬を行った炊飯米のグルタミン酸含有量



(mg/100g)



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

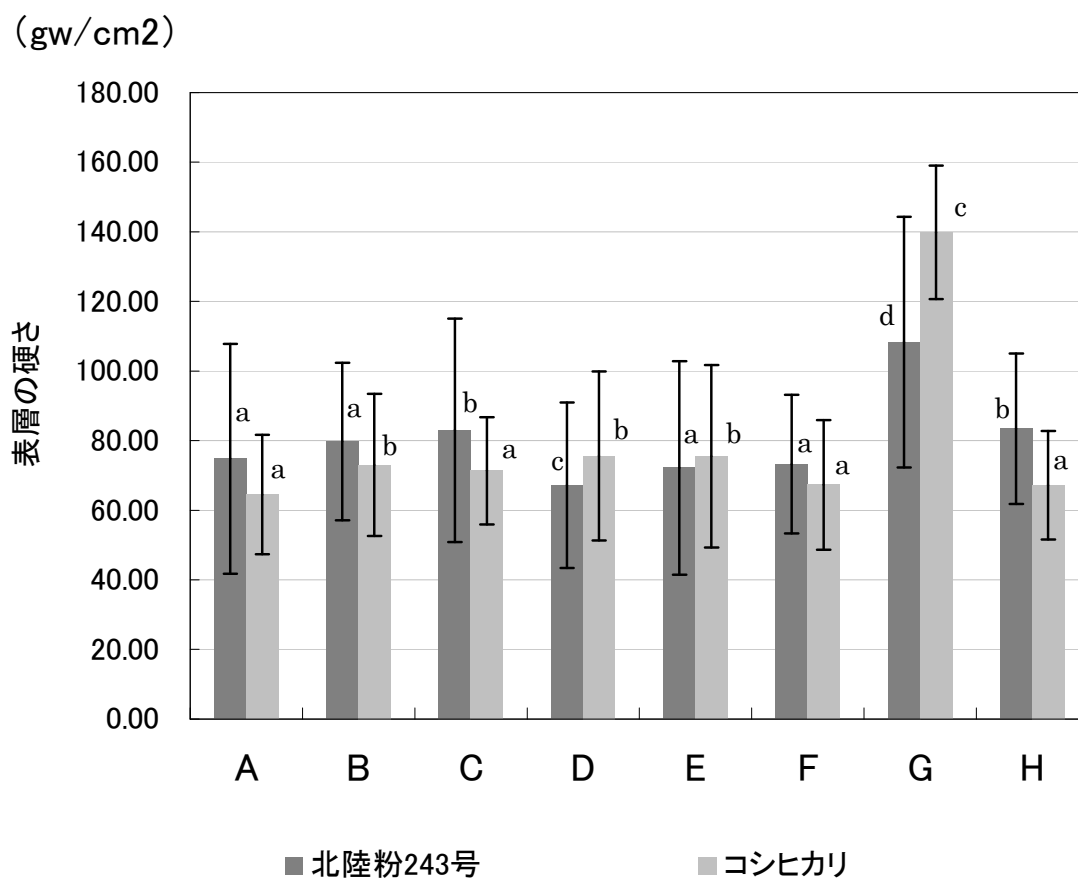
G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-7. 様々な浸漬を行った炊飯米のポリフェノール含有量

表 3-2. 様々な浸漬を行った炊飯米の物性

	表層の硬さ (H1,gw/cm2)		全体の硬さ (H2,gw/cm2)		表層の粘り (-H1,gw/cm2)		全体の粘り (-H2,gw/cm2)		表層の バランス度 (-H1/H1)		全体の バランス度 (-H2/H2)	
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
北陸粉243号												
15°C、60分間 純水に浸漬	74.8	33.0	2023.0	256.1	-4.4	1.8	-200.5	80.6	0.03	0.01	0.04	0.02
15°C、60分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	79.7	22.6	1908.0	178.1	-5.5	1.5	-247.2	73.7	0.07	0.02	0.13	0.04
15°C、60分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	83.0	32.1	1958.0	143.8	-6.2	2.0	-225.4	69.3	0.08	0.03	0.12	0.04
50°C、30分間 純水に浸漬	67.2	23.8	1847.0	142.4	-4.2	1.7	-240.5	85.6	0.06	0.02	0.13	0.05
50°C、30分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	72.2	30.7	1915.0	212.3	-5.3	2.2	-298.6	76.5	0.08	0.02	0.05	0.12
50°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	73.2	19.9	1871.0	153.5	-4.1	1.4	-226.0	97.0	0.06	0.03	0.12	0.06
湿熱処理後、15°C、60分間 純水に浸漬	108.3	36.0	2351.0	257.4	-2.7	1.0	-151.7	67.9	0.03	0.01	0.03	0.01
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	83.4	21.6	1934.0	287.6	-4.9	2.5	-399.4	63.9	0.06	0.03	0.22	0.06
コシヒカリ												
15°C、60分間 純水に浸漬	64.5	17.2	1590.0	204.6	-15.5	3.5	-377.3	63.6	0.25	0.07	0.24	0.03
15°C、60分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	73.0	20.4	1806.0	161.5	-18.0	4.9	-402.6	49.0	0.25	0.06	0.23	0.04
15°C、60分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	71.3	15.4	1867.0	123.7	-20.6	6.1	-399.5	30.1	0.29	0.07	0.22	0.02
50°C、30分間 純水に浸漬	75.6	24.3	1915.0	232.2	-21.0	6.5	-393.5	35.3	0.29	0.07	0.21	0.03
50°C、30分間 0.1%味噌懸濁液に浸漬	75.5	26.2	1793.0	239.5	-19.3	7.3	-395.9	25.3	0.26	0.07	0.22	0.03
50°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	67.3	18.6	1825.0	149.8	-20.9	6.3	-385.8	41.3	0.06	0.06	0.03	0.13
湿熱処理後、15°C、60分間 純水に浸漬	139.8	19.2	2315.0	205.1	-22.6	7.6	-294.7	33.0	0.16	0.04	0.13	0.02
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	67.2	15.6	1771.0	123.5	-19.7	5.3	-370.1	43.0	0.28	0.05	0.12	0.02



A : 15℃、60 分間、純水に浸漬

B : 15℃、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15℃、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50℃、30 分間、純水に浸漬

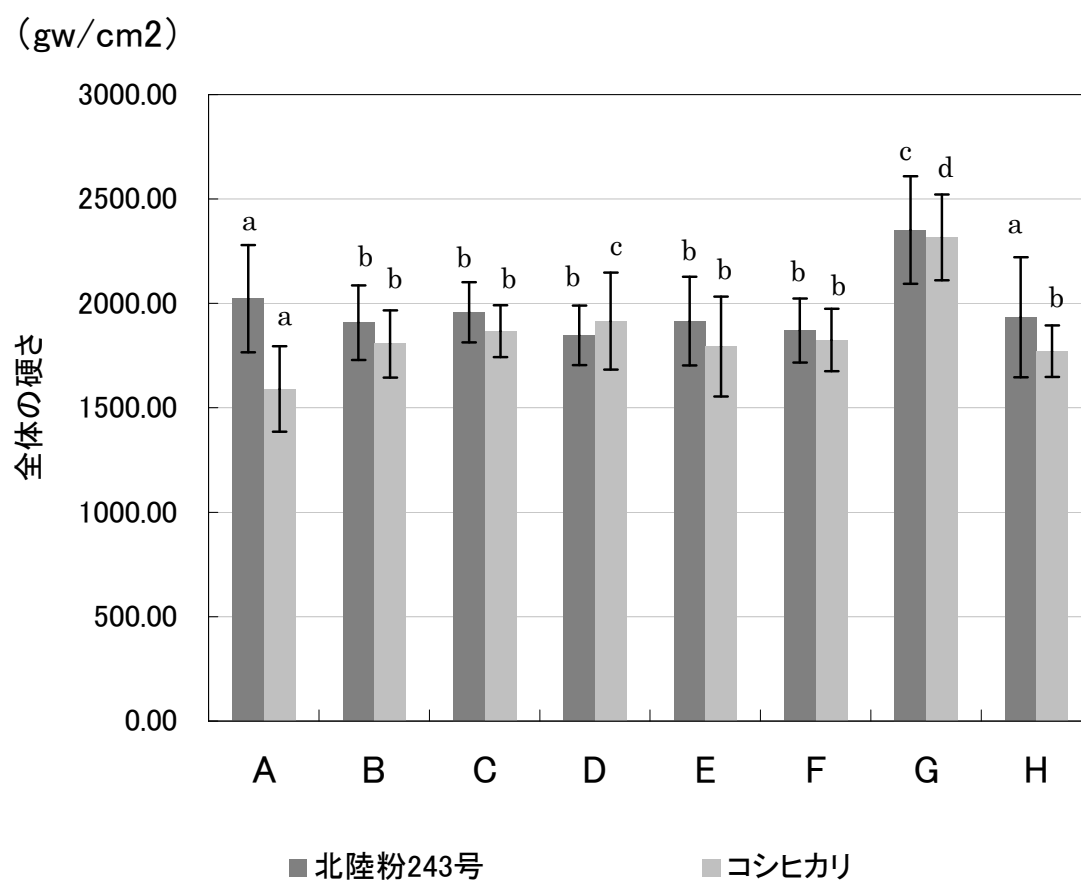
E : 50℃、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50℃、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15℃、60 分間、純水に浸漬

H : 55℃、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-8. 様々な浸漬を行った炊飯米の表層の硬さ



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

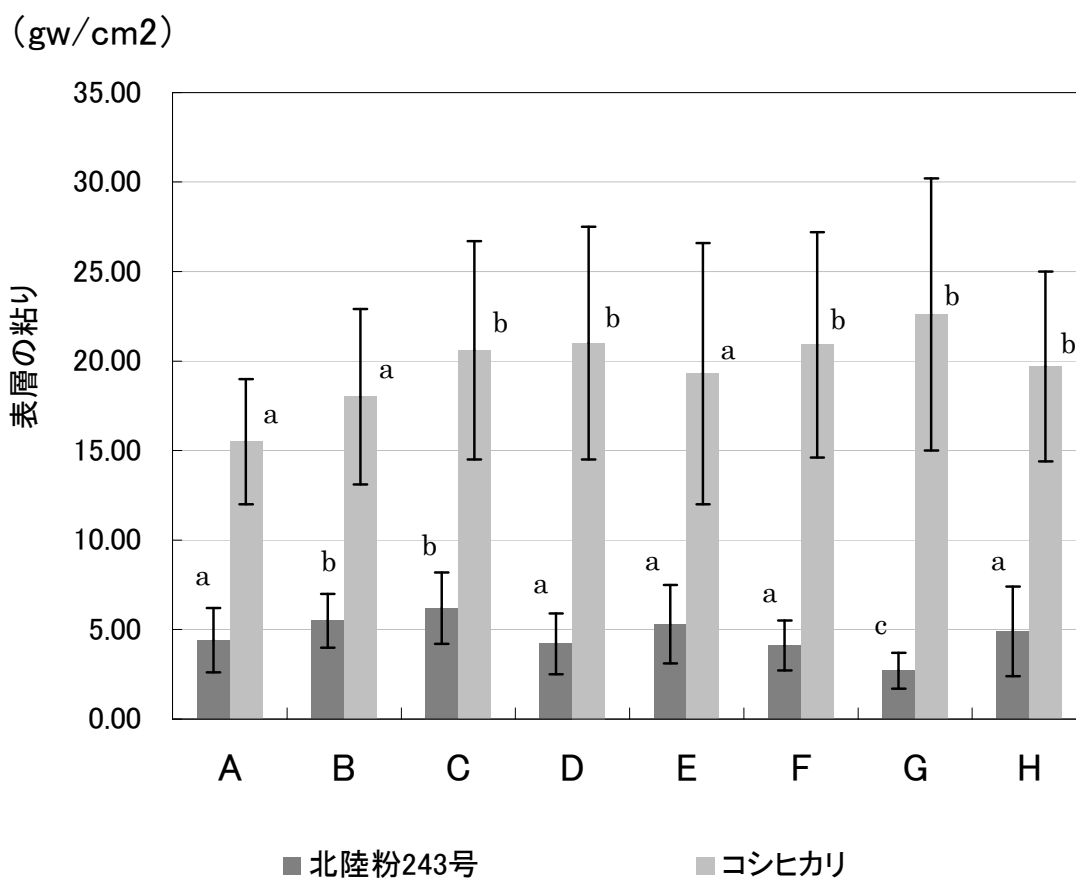
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-9. 様々な浸漬を行った炊飯米の全体の硬さ



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

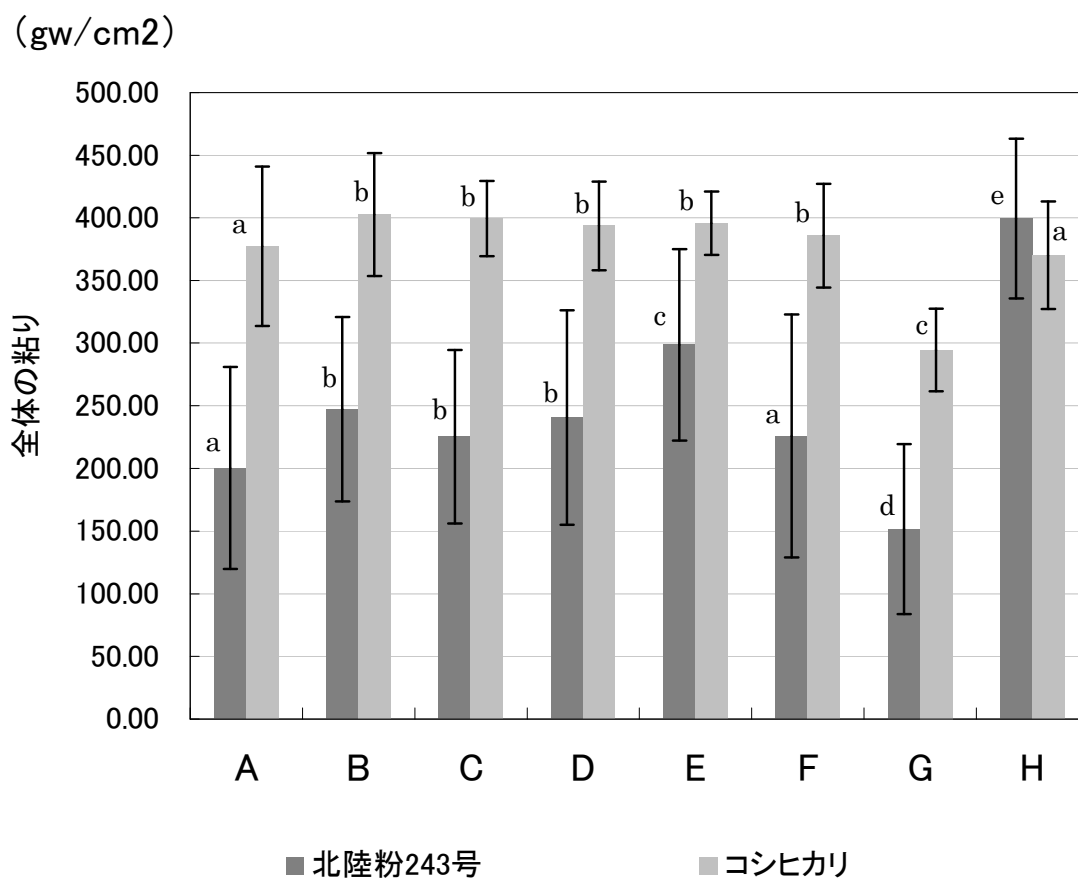
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-10. 様々な浸漬を行った炊飯米の表層の粘り



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

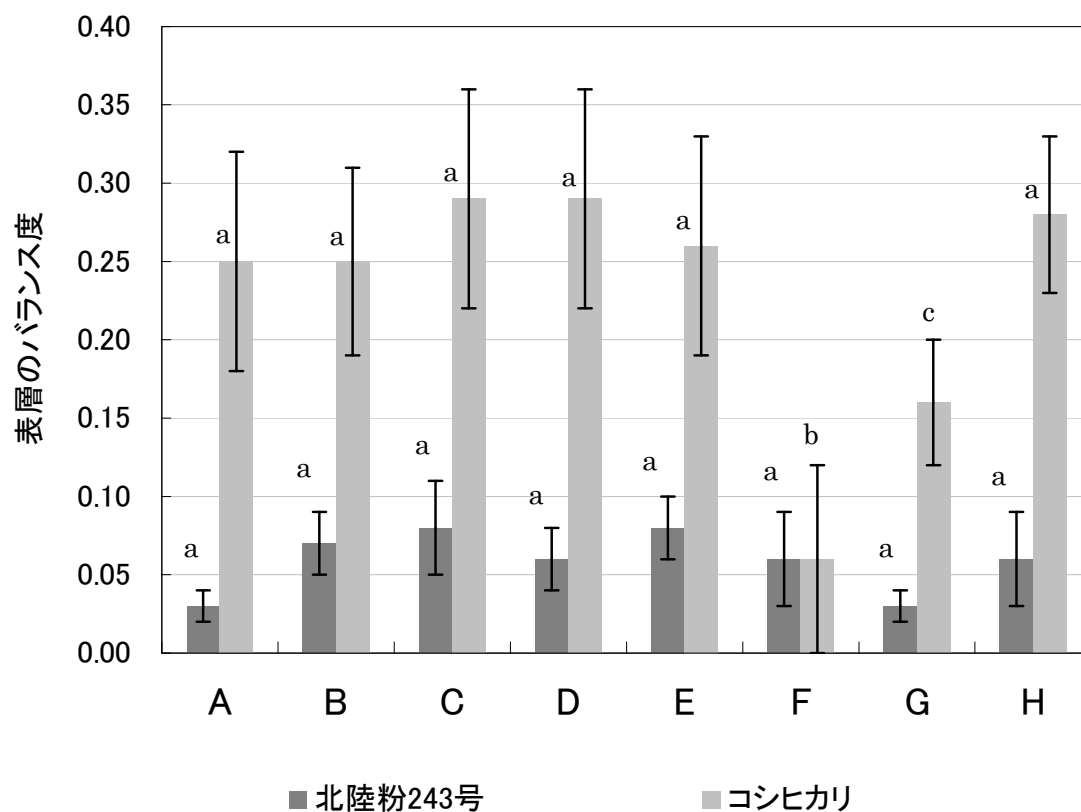
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-11. 様々な浸漬を行った炊飯米の全体の粘り



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

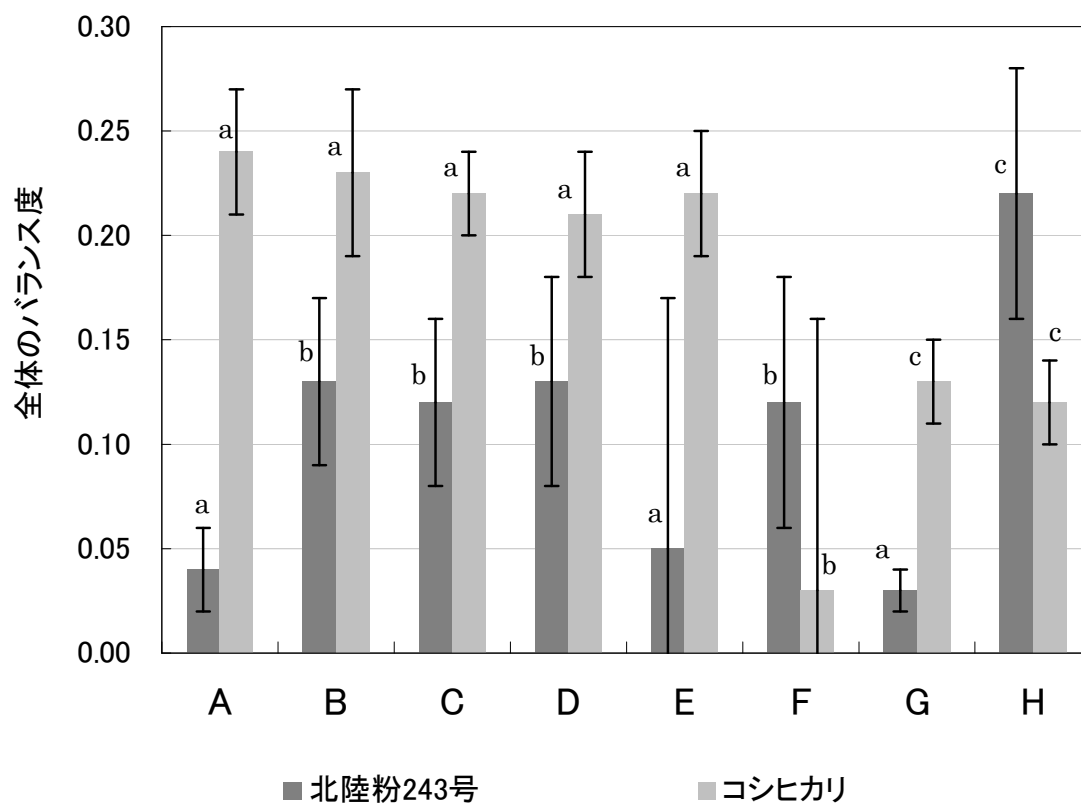
E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-12. 様々な浸漬を行った炊飯米の表層のバランス度



A : 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 15°C、60 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

C : 15°C、60 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

D : 50°C、30 分間、純水に浸漬

E : 50°C、30 分間、0.1%無塩味噌懸濁液に浸漬

F : 50°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬

G : 湿熱処理後、15°C、60 分間、純水に浸漬

H : 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理

図 3-13. 様々な浸漬を行った炊飯米の全体のバランス度



表 3-3. 炊飯米の物性と化学成分との相関関係

	難消化性 澱粉 (%)	グルコース (g/100g)	DPPH ラジカル 消去能 (mg/100g)	食物繊維 (g/100g)	グルタミン酸 (mg/100g)	ポリフェノール (mg/100g)	表層の硬さ (H1)	全体の硬さ (H2)	表層の粘り (-H1)	全体の粘り (-H2)	表層の バランス度 (-H1/H1)	全体の バランス度 (-H2/H2)
難消化性澱粉	1.00											
グルコース含量	0.16	1.00										
DPPHラジカル消去能	0.44	0.54*	1.00									
食物繊維	0.39	0.07	0.02	1.00								
グルタミン酸	0.77**	0.63**	0.75**	0.19	1.00							
ポリフェノール	0.61*	0.49	0.24	0.04	0.77**	1.00						
表層の硬さ(H1)	0.09	-0.12	0.39	-0.21	0.04	-0.38	1.00					
全体の硬さ(H2)	0.37	0.12	0.59*	-0.13	0.39	-0.11	0.87**	1.00				
表層の粘り(-H1)	-0.93**	-0.22	-0.47	-0.21	-0.76**	-0.68**	0.05	-0.23	1.00			
全体の粘り(-H2)	-0.63**	-0.31	-0.63**	0.15	-0.57*	-0.28	-0.33	-0.58*	0.75**	1.00		
表層のバランス度1(-H1/H1)	-0.81**	-0.33	-0.42	-0.17	-0.68**	-0.5	-0.19	-0.44	0.8**	0.73**	1.00	
全体のバランス度1(-H2/H2)	-0.4	-0.36	-0.48	-0.02	-0.44	-0.05	-0.18	-0.49	0.42	0.67**	0.72**	1.00

表 3-4. 結晶質高アミロース米の物性

	表層の硬さ		全体の硬さ		表層の粘り		全体の粘り		表層の バランス度		全体の バランス度	
	(H1,gw/cm2)		(H2,gw/cm2)		(-H1,gw/cm2)		(-H2,gw/cm2)		(-H1/H1)		(-H2/H2)	
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
こしのめんじまん												
15°C、60分間 純水に浸漬	89.4	18.6	2370.0	295.6	-8.2	4.4	-198.8	49.6	0.09	0.05	0.09	0.03
55°C、30分間、0.1%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	90.9	27.2	2190.0	211.9	-7.9	3.5	-218.4	45.6	0.09	0.03	0.10	0.03
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	98.2	34.3	2407.0	363.5	-10.5	5.3	-205.3	54.0	0.11	0.04	0.09	0.03
北陸粉243号(比較)												
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	83.4	21.6	1934.0	287.6	-4.9	2.5	-399.4	63.9	0.06	0.03	0.22	0.06

表 3-5. 味噌浸漬処理と高圧処理による影響

	難消化性澱粉 (%)		表層の硬さ (H1,gw/cm2)		全体の硬さ (H2,gw/cm2)		表層の粘り (-H1,gw/cm2)		全体の粘り (-H2,gw/cm2)		表層のバランス度 (-H1/H1)		全体のバランス度 (-H2/H2)	
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
	北陸粉243号													
15°C、60分間 純水に浸漬	3.52	0.01	141.90	44.35	2443.00	327.50	-2.92	1.06	-82.18	59.80	0.02	0.01	0.04	0.03
55°C、30分間、0.5%味噌懸濁液に浸漬	3.82	0.02	126.90	42.82	2310.00	337.10	-3.57	1.27	-165.90	107.30	0.03	0.01	0.08	0.05
55°C、30分間 純水に浸漬後に高圧処理	5.34	0.03	144.20	43.95	2162.00	363.50	-5.06	1.38	-263.20	97.27	0.04	0.02	0.13	0.13
55°C、30分間、0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	6.27	0.03	119.80	29.54	1857.00	272.10	-4.66	1.06	-279.10	66.33	0.04	0.02	0.15	0.04

表 3-6. 官能検査の結果

	外観	食感	味	総合
北陸粉243号				
55°C、30分間 純水に浸漬	2.3	2.1	2.1	2.1
55°C、30分間 純水に浸漬後に高圧処理	3.2	3.3	2.3	3.1
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	3.1	2.9	4.4	3.4
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	4.3	4.4	4.6	4.5
55°C、30分間 5.0%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	2.2	2.8	3.7	2.9
コシヒカリ				
55°C、30分間 純水に浸漬	4.2	4.3	4.4	4.3
55°C、30分間 純水に浸漬後に高圧処理	4.8	4.6	4.3	4.6
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	4.7	4.6	4.8	4.7
55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	4.9	4.8	4.9	4.9
55°C、30分間 5.0%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	2.2	3.4	3.1	3.2

## 第4章 超硬質米を利用した、次世代の主食の開発 (製品実現に向けて)

### 4.1 はじめに

第3章において、超硬質米「北陸粉243号」を用いて、0.5%の味噌浸漬処理と、200 MPaの高圧処理を併用することにより、機能性を損ねることなく、北陸粉243号の物性が改良され、食味に優れた米飯が製造できる可能性が示された。

本章では、以上の結果を基に、無菌包装米飯に加工することを目的として、研究を行った。更なる良食味化を求めて、北陸粉243号に良食味米であるコシヒカリを、重量比2:1でブレンドしたものを検体として加え、機能性成分および物性の測定、動物試験による食後血糖上昇抑制効果の確認を行い、その有効性を検討した。その後、越後製菓株式会社の米飯製造ラインにて無菌包装米飯の試作を行い、衛生試験により保存性を確認した。

### 4.2 試料および実験方法

#### 4.2.1 実験試料

3.2.1と同様の「北陸粉243号」「コシヒカリ」および無塩発酵米麹味噌を、実験に用いた。

#### 4.2.2 試料の調製

3.2.2と同様に、北陸粉243号およびコシヒカリの玄米を山本製作所製の試験搗精用研削式精米機により、精米歩留まり90~91%に搗精した。

製品化を考慮し、十分な機能性を残したまま、食味をさらに向上させた米飯の製造方法を検討する目的で、北陸粉243号とコシヒカリを重量比2:1でブレンドした。その後、3.2.3と同様に、味噌浸漬処理

を行った。無塩味噌懸濁液の濃度は、0.5%、1.0%、2.0%に設定した。浸漬条件は、越後製菓株式会社の米飯製造での条件に合わせて、55℃、30分間とした。浸漬後は3.2.4と同様に、200 MPa、2分間の高圧処理を行い、101℃、30分間の蒸気炊飯を行った。

また、純水に15℃、60分間浸漬した後に炊飯した北陸粉243号およびコシヒカリを、一般的な炊飯方法による炊飯米として分析に用いた。同様に、北陸粉243号のみで、0.5%無塩味噌懸濁液に55℃、30分間浸漬した後に、200 MPa、2分間の高圧処理を行った炊飯米を調製し、ブレンド米との比較用として分析に用いた。

化学分析および動物試験に用いる米粉サンプルは、3.2.6と同様に、炊飯米を-80℃で保管した後、EYELA 東京理科学器株式会社製凍結乾燥機（FD-1）を用いて凍結乾燥し、SFC-S1 サイクロンミル（UDYCORPORATION）により、1 mm スクリーンを用いて粉砕した。

#### 4.2.3 化学成分の測定

3.2.8～3.2.13と同様に、難消化性澱粉含有量、グルコース含有量、DPPH ラジカル消去能、食物繊維含有量、グルタミン酸含有量、ポリフェノール含有量を測定した。

なお、化学成分の分析値については、ブレンド米以外は、3.2.8～3.2.12で得られた値を使用した。

#### 4.2.4 炊飯米の物性の測定

調製した炊飯米を25℃で2時間保温した後、喫食の状況に近づけるために、10 gの塊を用いて、小田原等<sup>97)</sup>の方法により物性を測定した。測定機器として、タケトモ電子製 MyBOY システムテンシプレッサーを用いた。測定は5回繰り返して行い、その平均値を求めた。

#### 4.2.5 動物試験

5週齢のSDラット（Sprague-Dawley rat）を日本 SLC 株式会社より購入した。ラットを12時間で昼夜が変わる、23～24℃で空調管理

した部屋で飼育した。

市販の餌（オリエンタル酵母工業株式会社製）を 7 日間与えた後、ラットを 6 匹ずつ 5 グループに分けた。

馬鈴薯澱粉（200 mg/ml/乾物換算）を 95℃、5 分間、オートクレーブにかけた後、4.2.2 および 4.2.4 で調製した炊飯米の米粉サンプル（200 mg/ml/乾物換算）と 1：1 の割合で混合した。この混合物を、ラットに経口投与（20 mg/kg）した。

血糖値を、食後 30 分、60 分、90 分、120 分に、Accu-Chek Aviva（Roche Diagnostics 製）を用いて測定した。加えて、AUC（血糖値-時間曲線下面積）を測定した。

#### 4.2.6 衛生検査

0.5%無塩味噌懸濁液に 55℃、30 分間浸漬した後、200 MPa、2 分間の高圧処理を行い、炊飯した米飯を、越後製菓株式会社の米飯製造ラインにて、脱酸素剤を封入して密閉包装した。この試料を用いて、食品衛生検査指針に基づき、一般生菌数および大腸菌群の測定を行った。

炊飯米 5 g に、生理食塩水を加えて攪拌した。必要に応じて希釈し、一般生菌は標準寒天培地を用いて、大腸菌群はデソキシコーレイト寒天培地を用いて混釈法により固定した。培養後、生育した集落数を colony forming unit/g (CFU/g)として測定した。また、包装後、35℃の部屋で 30 日間保管したものおよび、常温で 330 日間保管したものについても、同様の検査を行った。

### 4.3 実験結果

#### 4.3.1 難消化性澱粉含有量

北陸粉 243 号、コシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2：1）の、各種浸漬条件における難消化性澱粉含有量の測定結果を、表 4-1 および図 4-1 に示した。

0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の難消化性澱粉含有量は、北陸粉 243 号を無処理のまま炊飯した場合と比較して上昇したが、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米の場合は、無処理の北陸粉 243 号 (4.26%) と比較して、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 3.52%、1.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 3.85%、2.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 3.60%と、味噌の添加量の違いにかかわらず、一様に低い値を示した。

#### 4.3.2 グルコース含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米 (重量比 2 : 1) の、各種浸漬条件におけるグルコース含有量の測定結果を、表 4-1 および図 4-2 に示した。

0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米のグルコース含有量は、北陸粉 243 号を無処理のまま炊飯した場合と比較して変化しなかったが、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米の場合は、無処理の北陸粉 243 号 (0.19 g/100g) と比較して、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 0.93 g/100g、1.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 1.11 g/100g、2.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 1.51 g/100g と、味噌の添加量の増加に伴い、グルコース含有量の上昇の程度も大きくなった。

#### 4.3.3 DPPH ラジカル消去能

北陸粉 243 号およびコシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米 (重量比 2 : 1) の、各種浸漬条件における DPPH ラジカル消去能の測定結果を、表 4-1 および図 4-3 に示した。

0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の DPPH ラジカル消去能は、北陸粉 243 号を無処理のまま炊飯した場合 (8.09 mg/100g) と比較して変化しなかったが、北陸粉 243 号とコシヒカリとブレンド米でも、0.5%の無塩味噌懸濁液に



浸漬した場合は、同様に変化しなかった。一方で、1.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 13.80 mg/100g、2.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 18.71 mg/100g と、味噌の添加量の増加に伴い、DPPH ラジカル消去能の上昇の程度は大きくなった。

#### 4.3.4 食物繊維含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）の、各種浸漬条件における食物繊維含有量の測定結果を、表 4-1 および図 4-4 に示した。

0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高压処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米の食物繊維含有量は、北陸粉 243 号を無処理のまま炊飯した場合（0.73 g/100g）と比較して上昇したが、北陸粉 243 号とコシヒカリとブレンド米でも、同様の結果が見られた。また、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 2.00 g/100g、1.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 2.60 g/100g、2.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 3.20 g/100g と、味噌の添加量の増加に伴い、食物繊維含有量の上昇の程度も大きくなった。

#### 4.3.5 グルタミン酸含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）の、各種浸漬条件におけるグルタミン酸含有量の測定結果を、表 4-1 および図 4-5 に示した。

0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高压処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米のグルタミン酸含有量は、北陸粉 243 号を無処理のまま炊飯した場合（0.60 mg/100g）と比較して上昇したが、北陸粉 243 号とコシヒカリとブレンド米でも、同様の結果が見られた。また、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 0.74 mg/100g、1.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 1.27 mg/100g、2.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 1.70 mg/100g と、味噌の添加量の増加に伴い、食物繊維含有量の上昇の程度も大きくなった。

#### 4.3.6 ポリフェノール含有量

北陸粉 243 号およびコシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）の、各種浸漬条件におけるポリフェノール含有量の測定結果を、表 4-1 および図 4-6 に示した。

0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米のポリフェノール含有量は、北陸粉 243 号を無処理のまま炊飯した場合（64.15 mg/100g）と比較して上昇したが、北陸粉 243 号とコシヒカリとブレンド米では、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は変化しなかった。一方で、1.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 70.29 mg/100g、2.0%の無塩味噌懸濁液に浸漬した場合は 76.44 mg/100g と、味噌の添加量の増加に伴い、ポリフェノール含有量の上昇の程度は大きくなった。

#### 4.3.7 物性

北陸粉 243 号およびコシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）の、各種浸漬条件における炊飯米 10 g の物性を、テンシプレッサーを用いて測定した結果を、表 4-2 および図 4-7~4-10 に示した。

表 4-2 および図 4-7 に示したように、硬さ（Hardness）は、無処理のまま炊飯した北陸粉 243 号では、同条件で炊飯したコシヒカリと比較して、1.52 倍と高い値を示した。0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号においては、無処理の試料と比較して若干低い値を示したが、ほとんど変わらなかった。北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）においては、コシヒカリと同等の値を示した。2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬した場合においては、最も低い値を示した。

表 4-2 および図 4-8 に示したように、噛みごたえ（Toughness）は、無処理のまま炊飯した北陸粉 243 号では、同条件で炊飯したコシヒカリと比較して、1.29 倍と高い値を示した。0.5%の無塩味噌懸濁液に浸

漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号においては、コシヒカリと同等の値を示した。北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）においては、コシヒカリよりも低い値を示した。2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬した場合においては、最も低い値を示した。

表 4-2 および図 4-9 に示したように、付着性（Adhesion）は、無処理のまま炊飯した北陸粉 243 号では、同条件で炊飯したコシヒカリと比較して、0.31 倍と極めて低い値を示した。0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号においては、無処理の試料と比較して若干高い値を示したが、ほとんど変わらなかった。北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）においては、コシヒカリほどの値ではないものの、北陸粉 243 号よりも高い値を示し、特に、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した場合において、最も高い値を示した。

表 4-2 および図 4-10 に示したように、粘り（Stickiness）は、無処理のまま炊飯した北陸粉 243 号では、同条件で炊飯したコシヒカリと比較して、0.31 倍と極めて低い値を示した。0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号および、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米においては、コシヒカリほどの値ではないものの、北陸粉 243 号よりも高い値を示した。1.0%、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬したブレンド米においては、北陸粉 243 号と比較して若干高い値を示したが、ほとんど変わらなかった。

#### 4.3.8 ラットの食後の血糖値の変化

北陸粉 243 号、コシヒカリおよび、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米（重量比 2 : 1）を、各種浸漬条件で調製した炊飯米を摂取したラットの、食後 30 分の血糖値を図 4-11 に、食後 60 分の血糖値を図 4-12 に、食後 90 分の血糖値を図 4-13 に、食後 120 分の血糖値を図 4-14 に示した。また、食後 30 分～食後 120 分の血糖値の経時的な変化を図 4-15 に示した。

各試料間で、食後 30 分および、60 分の血糖値には、大きな違いは

見られなかった。食後 90 分では、0.5%無塩味噌懸濁液に 55℃、30 分間浸漬した後に高圧処理を行い、炊飯した北陸粉 243 号を摂取したラットの血糖値は、コシヒカリを摂取したラットの血糖値と比較して、特に低い値を示した。

ラットの食後 120 分の血糖値の曲線下面積（AUC : Area Under the Curve : 血糖変化量）を、図 4-16 に示した。

食後 120 分の AUC は、0.5%無塩味噌懸濁液に 55℃、30 分間浸漬した後に、高圧処理を行い、炊飯した北陸粉 243 号を摂取したラットにおいて、コシヒカリを摂取したラット、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米を摂取したラットと比較して、特に低い値を示した。

一方、北陸粉 243 号とコシヒカリのブレンド米では、血糖値の上昇に対する影響は特に見られなかった。

#### 4.3.9 炊飯米の物性と化学成分および血糖値の相関関係

炊飯米の物性と化学成分および血糖値の相関関係を、表 4-3 に示した。

食後 30 分の血糖値は、硬さ（Hardness）および噛みごたえ（Toughness）と、高い負の相関があった。食後 60 分の血糖値は、食後 90 分の血糖値と高い正の相関があった。食後 90 分の血糖値は、血糖値の曲線下面積（AUC）と高い正の相関があり、難消化性澱粉含有量と高い負の相関があった。食後 120 分の血糖値は、噛みごたえ（Toughness）と高い正の相関があり、食物繊維含有量と高い負の相関があった。難消化性澱粉含有量は、付着性（Adhesion）および粘り（Stickness）と高い負の相関があった。ポリフェノール含有量は、食物繊維含有量および DPPH ラジカル消去能と高い正の相関があった。

#### 4.3.10 衛生試験

0.5%無塩味噌懸濁液に 55℃、30 分間浸漬した後、200 MPa、2 分間の高圧処理を行った炊飯米の、試作包装米飯の外観写真を、図 4-17 に示した。

また、衛生試験での一般生菌および大腸菌群の検査結果を表 4-4 に示した。製造直後の試料、35℃の部屋で 30 日間保管した試料、常温で 330 日間保管した試料のいずれも、一般生菌および大腸菌群は検出されなかった。

#### 4.4 考察

##### 4.4.1 ブレンド米の機能性成分および物性

表 4-1 および図 4-1~4-6 に示したように、北陸粉 243 号とコシヒカリを重量比 2:1 でブレンドし、味噌浸漬処理および高圧処理を行った場合においては、炊飯米の難消化性澱粉含有量は、味噌の添加量の違いにかかわらず、一様に低い値を示した。また、味噌の添加量の違いによる、大きな差も見られなかった。コシヒカリをブレンドしたことで、難消化性澱粉含有量が低下したものと考えられた。その一方で、グルコース含有量は、コシヒカリをブレンドしたことで、味噌浸漬処理の特徴である上昇が見られた。このことから、低 GI 食品としての機能性が損なわれていることが考えられた。

DPPH ラジカル消去能は、0.5%の無塩味噌懸濁液に浸漬した後に高圧処理を行った場合は、北陸粉 243 号単体でもコシヒカリとのブレンド米でも特に変化が見られなかった。味噌の添加量が増加した場合には、大幅な上昇を見せた。一方で、表 3-1 および図 3-4 で示したように、北陸粉 243 号に味噌浸漬処理のみを行った場合では、0.1%の無塩味噌懸濁液に浸漬したものでも、DPPH ラジカル消去能は上昇が見られた。このことから、北陸粉 243 号は味噌浸漬処理により DPPH ラジカル消去能が上昇するが、高圧処理を行った場合や、コシヒカリをブレンドした場合には、上昇が阻害されることが示唆された。ただし、DPPH ラジカル消去能は、味噌の添加量を増加することで、高圧処理やブレンドをした場合でも上昇を見せたことから、味噌の添加量の影響が非常に大きいことが推測された。

食物繊維、グルタミン酸は、ブレンドの有無にかかわらず、味噌浸

漬処理を行った場合に上昇した。また、味噌の添加量の増加に伴い、含有量も上昇したため、味噌浸漬処理の影響が大きいことが示された。

ポリフェノール含有量も同様に、味噌の添加量の増加に伴い含有量が上昇したが、同濃度の味噌に浸漬した場合でも、北陸粉 243 号のみの方は上昇したが、ブレンド米では変化が見られなかった。このことから、コシヒカリをブレンドした場合には、ポリフェノール含有量の上昇が阻害されることが示唆された。

また、表 4-2 および図 4-7~4-10 に示したように、10 g の米の物性を測定した結果、北陸粉 243 号に、味噌浸漬処理と高圧処理を併用した炊飯米は、無処理のものと比較して、硬さ (Hardness)、付着性 (Adhesion) はあまり変化がなかったが、噛みごたえ (Toughness) は減少し、粘り (Stickiness) は著しく増加した。このことから、第 3 章で述べたように、味噌浸漬処理と高圧処理を併用することによって、硬さによる難消化性を維持しつつ、米飯の粘りが著しく増加し、食感を良好に出来ることが再度確認できた。一方、コシヒカリとブレンドした場合には、良食味米であるコシヒカリの影響により、硬さ、噛みごたえは大きく減少し、付着性、粘りは増加した。このことから、コシヒカリをブレンドすることによって、さらに米飯物性改良効果があることが明らかとなった。しかし、それによって北陸粉 243 号の持つ機能性が損なわれている可能性が危惧された。

#### 4.4.2 食後の血糖値の変化

食事によって摂取された炭水化物の生理学的な機能性は、大腸での醗酵や、小腸での消化・吸収の程度に高く依存している。

森高等<sup>98)</sup>は、炊飯米を食べた後 120 分の、血糖値の曲線下面積 (AUC) は、寒天を加えることによって、ゆっくりとした上昇となること、また、AUC の最大値も減少することを報告している。飯塚等<sup>99)</sup>は、桑の葉抽出物 (150 mg/kg) によって、GK ラット (Goto-Kakizakir rat) の AUC は顕著に減少することを報告している。また、高アミロースコーンスターチを摂取したグループは、通常のコーンスターチを

摂取したグループと比較して、盲腸の pH が低い値を示したことが報告されている<sup>100)</sup>。

本研究において、図 4-11 に示したように、食後 30 分の血糖値に大きな違いは見られなかったが、その中でも、北陸粉 243 号とコシヒカリをブレンドし、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った炊飯米を摂取した場合には、最も高い値を示した。逆に、無処理の北陸粉 243 号の炊飯米を摂取した場合には、最も低い値を示した。この 2 つの試料だけが、特に違いを示した。表 4-2、図 4-7 および図 4-10 に示したように、無処理の北陸粉 243 号の炊飯米は、最も硬く、粘りが無かった。一方で、北陸粉 243 号とコシヒカリをブレンドし、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った炊飯米は、やわらかく、粘りは強かった。橋本等<sup>101)</sup> は、咀嚼によって、インスリンの分泌が減少し、血糖値の上昇がゆるやかになることを報告している。これらのことから、炊飯米の硬さが、消化の初期段階での血糖値に特に影響があることが明らかとなった。図 4-12 に示したように、食後 60 分の血糖値は、摂取した試料が異なっても、特に違いは見られなかった。図 4-13 および図 4-16 に示したように、食後 90 分の血糖値および、食後 120 分の血糖値の曲線下面積 (AUC) は、北陸粉 243 号を 0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った炊飯米を摂取した場合には、コシヒカリを摂取した場合と比較して、特に低い値を示した。相関関係を調べた結果、90 分後では難消化性澱粉含有量が、120 分後では食物繊維含有量が、血糖値上昇を抑制する有力な要因であることが明らかとなった。対照的に、コシヒカリをブレンドした北陸粉 243 号では、血糖値上昇に対して、目立った効果は見られなかった。

このことから、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米には、適度な硬さがあり、難消化性澱粉含有量、食物繊維含有量が多く、食後の血糖値の急激な上昇を抑制する効果があることが確認された。一方で、コシヒカリをブレンドすることによって、北陸粉 243 号の持つ機能性が損なわれることが明らかと

なり、本研究で求めている炊飯米の製造には不適であると判断した。

#### 4.4.3 製品実現に向けて

図 4-17 に示した試作包装米飯は、電子レンジで 2~3 分間加熱することにより、問題なく復元された。また、表 4-4 に示したように、製造直後および長期保管後の衛生試験において、微生物の検出は見られなかった。

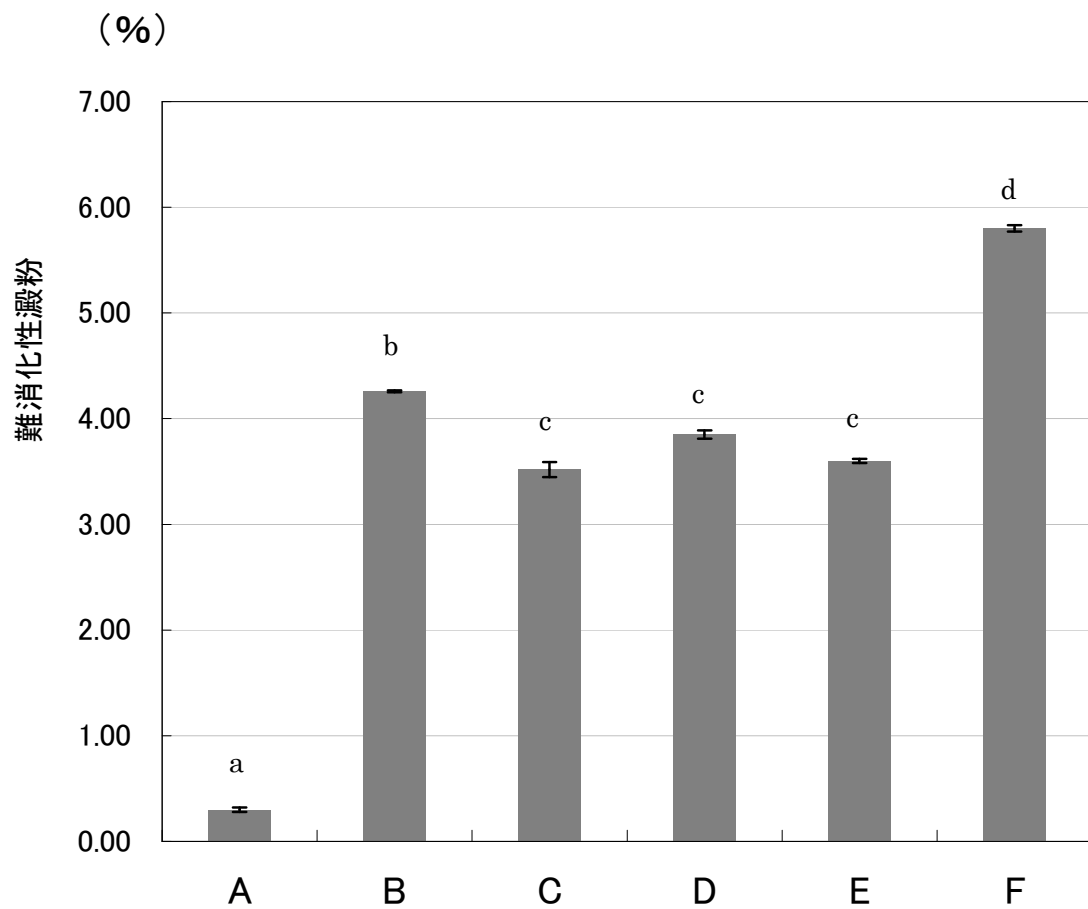
このことから、北陸粉 243 号に味噌浸漬処理と高圧処理を併用することで、微生物的に安全で長期保存が可能な、高機能性を有した良食味の米飯が製造可能となることが明らかとなった。

無菌包装米飯、レトルト米飯、冷凍米飯などの加工米飯の生産量は、平成 22 年度と比較して、平成 26 年度には約 1.5 倍の 34 万 1 千トンとなり、年々増加している<sup>102)</sup>。本研究により生まれた米飯は、無菌包装米飯という、毎日手軽に常食できる形態であり、健康志向を抱く消費者への新規提案商品として、好評を博す期待が持てる商品である。



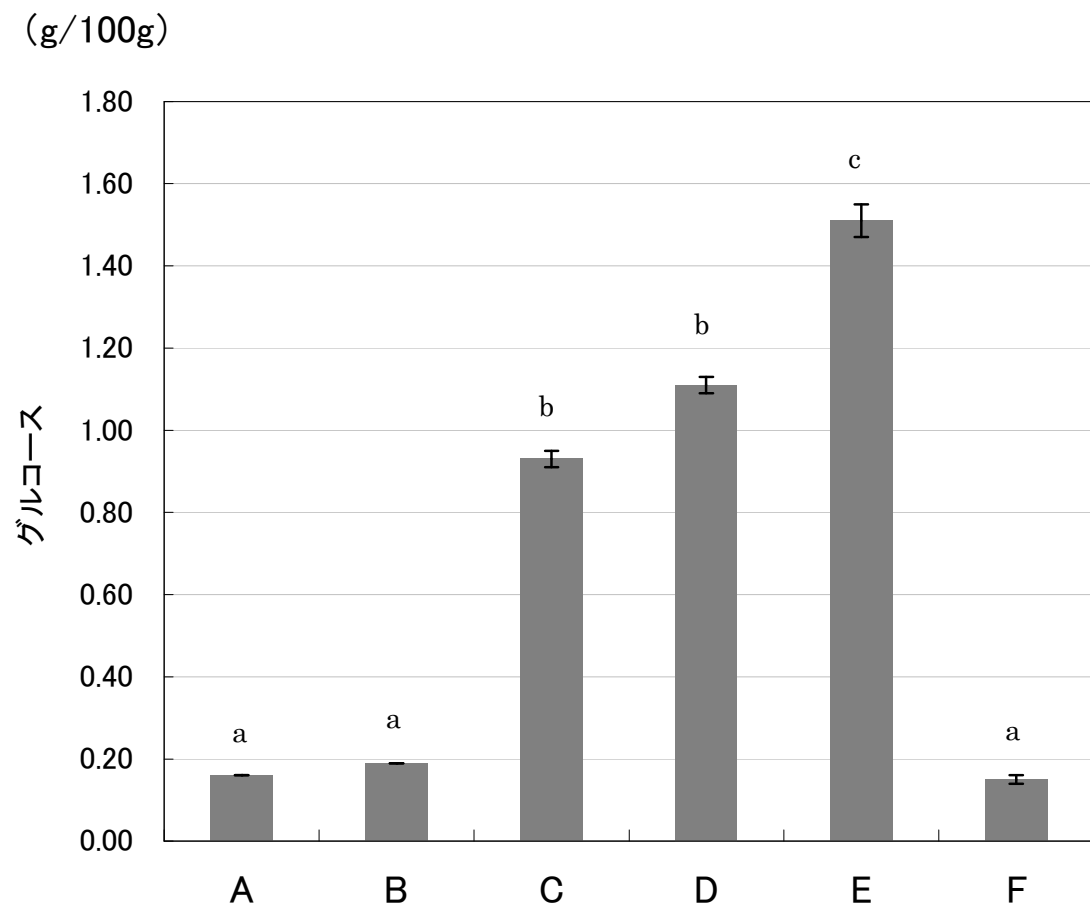
表 4-1. 様々な浸漬を行った炊飯米の化学成分

	難消化性澱粉		グルコース		DPPH ラジカル消去能		食物繊維		グルタミン酸		ポリフェノール	
	(%)		(g/100g)		(mg/100g)		(g/100g)		(mg/100g)		(mg/100g)	
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
コシヒカリ 15°C、60分間 純水に浸漬	0.30	0.02	0.16	0.00	8.35	0.18	0.44	0.03	0.26	0.03	51.49	0.51
北陸粉243号 15°C、60分間 純水に浸漬	4.26	0.01	0.19	0.00	8.09	0.70	0.73	0.04	0.60	0.00	64.15	2.05
北陸粉243号とコシヒカリをブレンド 55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	3.52	0.07	0.93	0.02	7.41	0.17	2.00	0.28	0.74	0.01	64.15	2.05
北陸粉243号とコシヒカリをブレンド 55°C、30分間 1.0%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	3.85	0.04	1.11	0.02	13.80	0.23	2.60	0.31	1.27	0.04	70.29	0.51
北陸粉243号とコシヒカリをブレンド 55°C、30分間 2.0%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	3.60	0.02	1.51	0.04	18.71	0.44	3.20	0.34	1.70	0.04	76.44	1.02
北陸粉243号 55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	5.80	0.03	0.15	0.01	8.40	0.30	2.10	0.00	0.83	0.05	73.55	1.02



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理  
 D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理  
 E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理  
 F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理

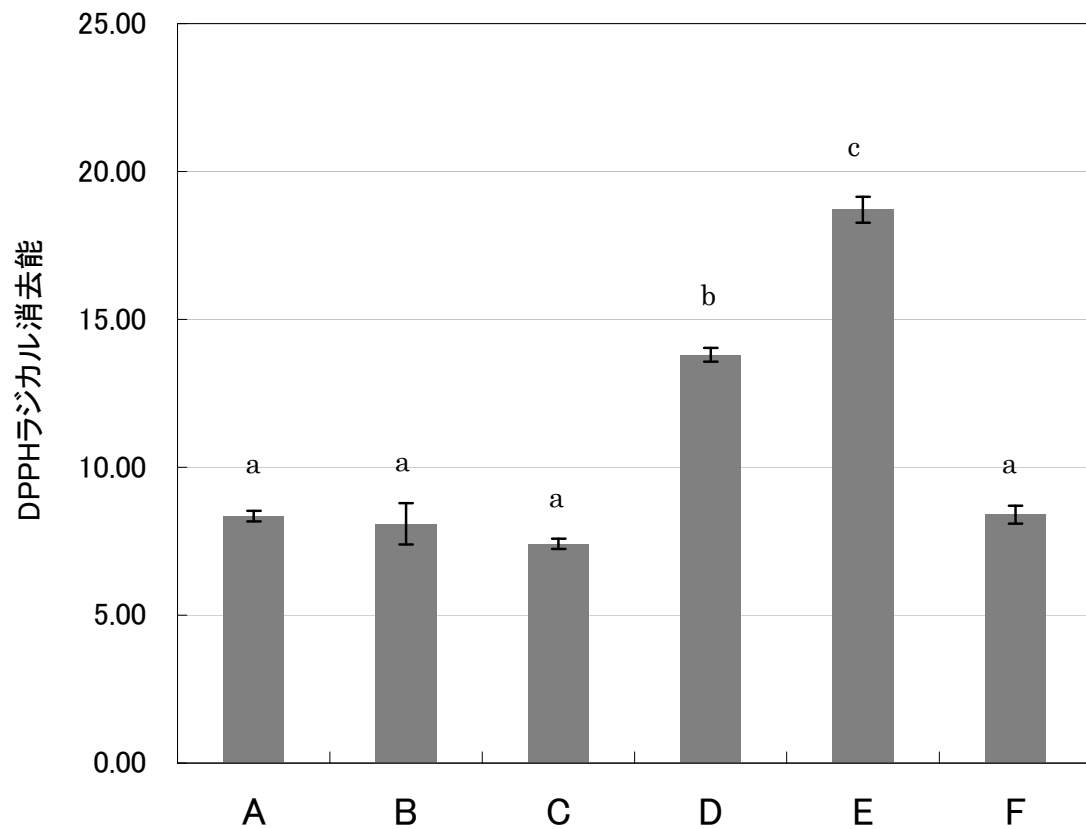
図 4-1. 様々な浸漬を行った炊飯米の難消化性澱粉含有量



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
 D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
 E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
 F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理

図 4-2. 様々な浸漬を行った炊飯米のグルコース含有量

(mg/100g)



A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬

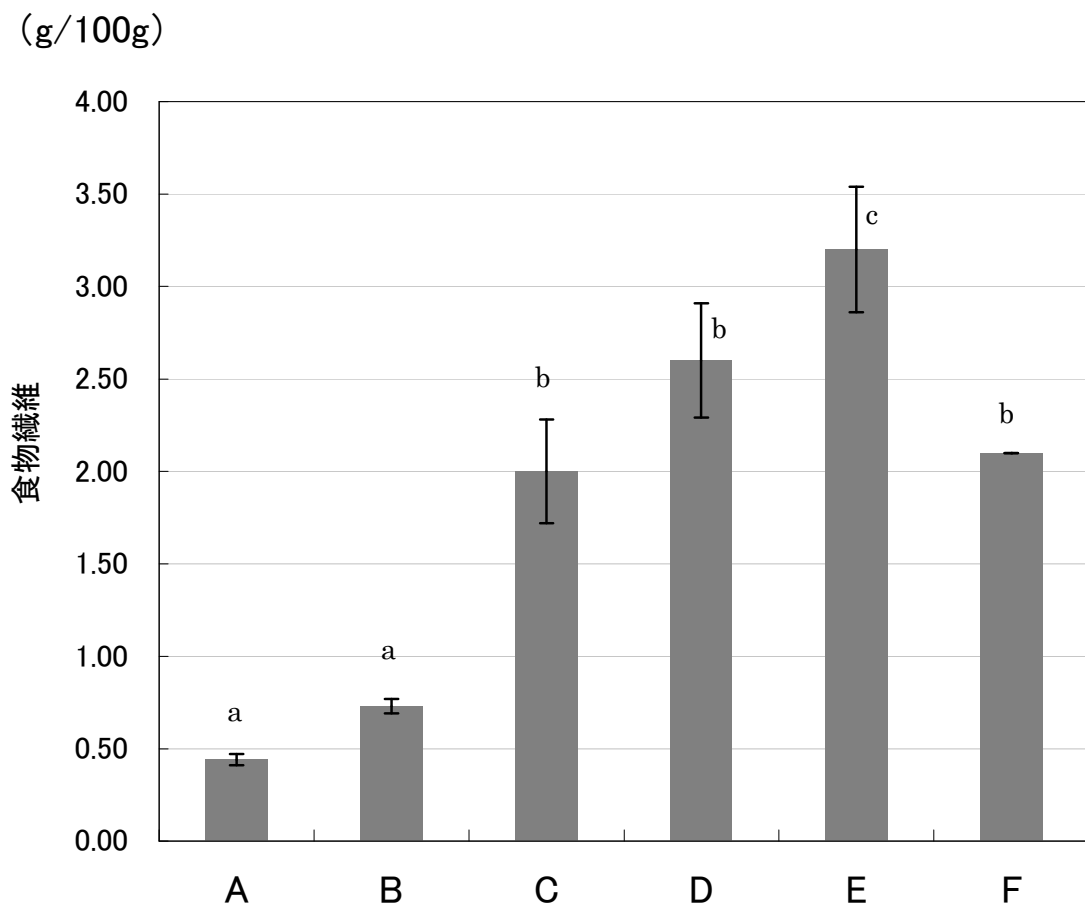
C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

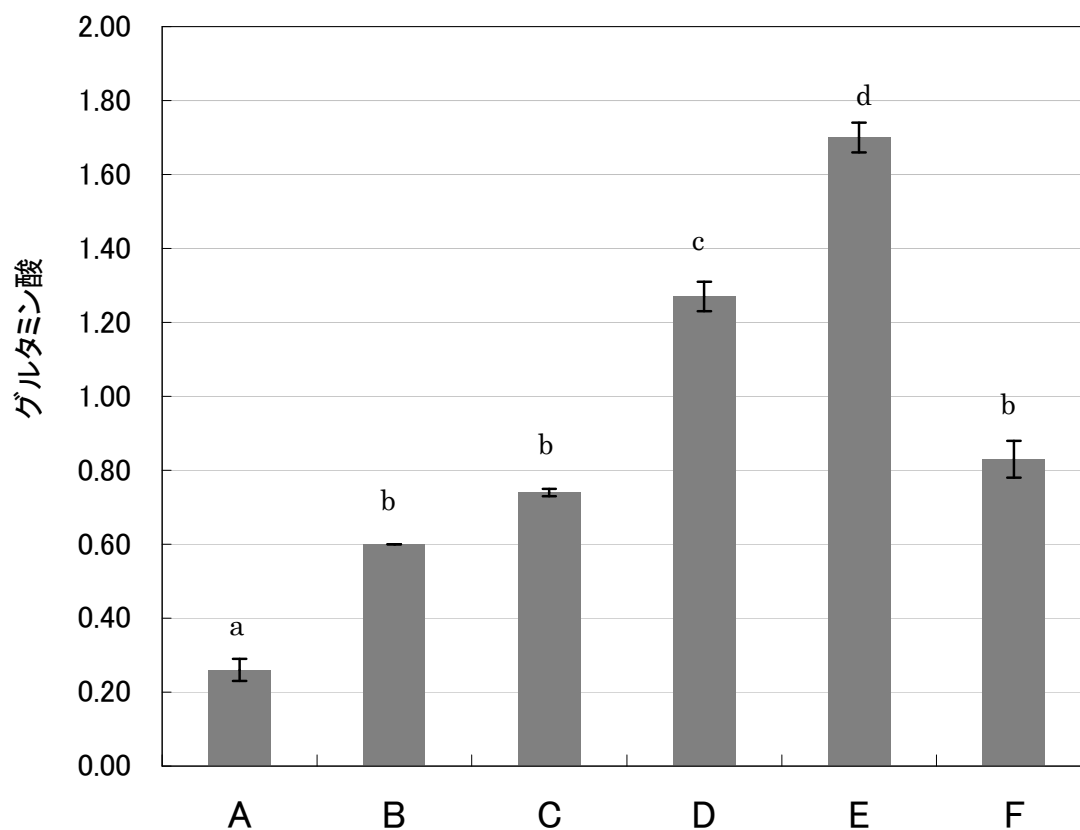
図 4-3. 様々な浸漬を行った炊飯米の DPPH ラジカル消去能



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
 D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
 E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
 F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理

図 4-4. 様々な浸漬を行った炊飯米の食物繊維含有量

(mg/100g)



A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬

C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

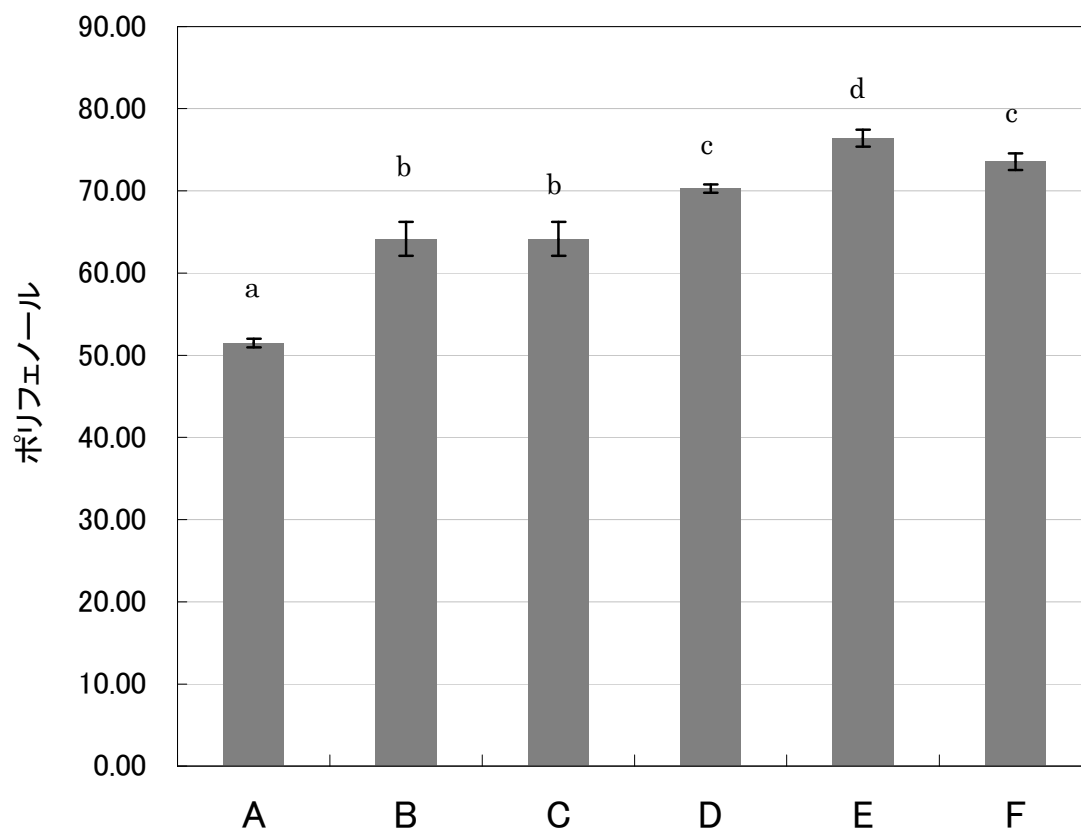
D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

図 4-5. 様々な浸漬を行った炊飯米のグルタミン酸含有量

(mg/100g)



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬  
B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬  
C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理  
F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理

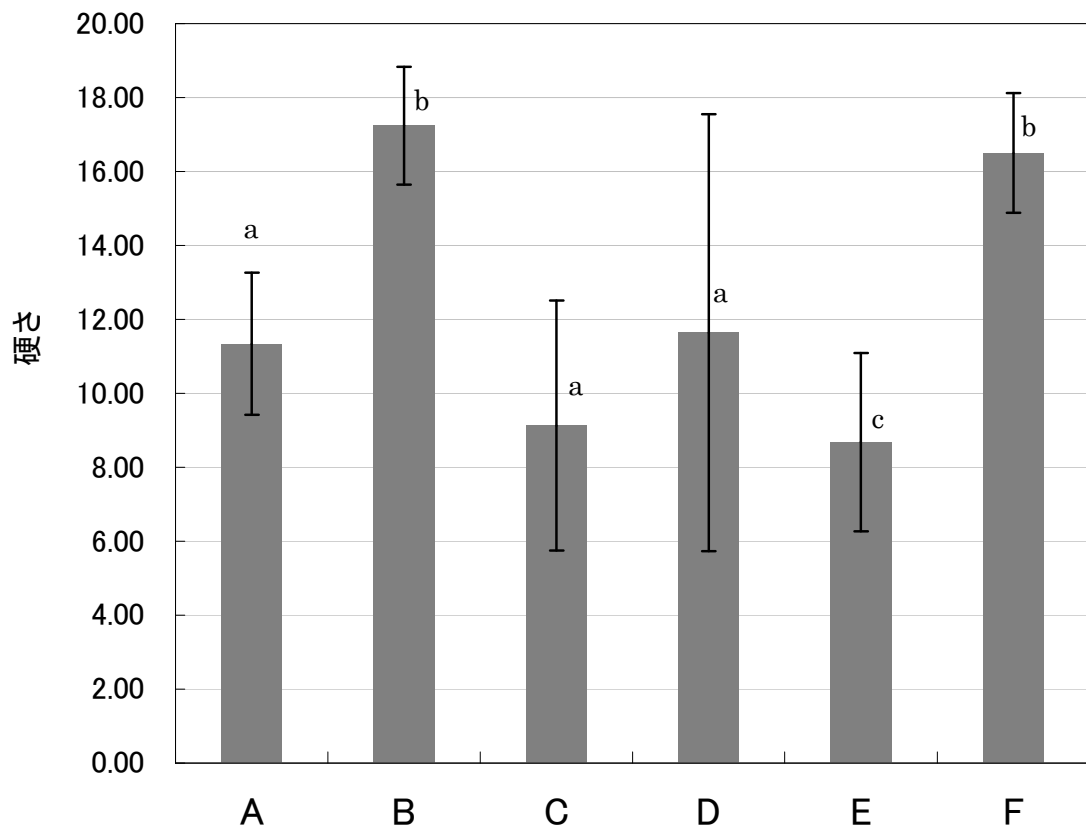
図 4-6. 様々な浸漬を行った炊飯米のポリフェノール含有量

表 4-2. 様々な浸漬を行った炊飯米の物性 (ブレンド米を含む)

	硬さ		噛みごたえ		付着性		粘り	
	(gw/cm <sup>2</sup> )		(gw/cm <sup>2</sup> )		(gw/cm <sup>2</sup> )		(gw/cm <sup>2</sup> )	
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD
コシヒカリ 15°C、60分間 純水に浸漬	11.34	1.92	30.66	3.73	40.30	4.11	46.25	3.02
北陸粉243号 15°C、60分間 純水に浸漬	17.24	1.59	39.99	1.69	12.57	3.50	14.43	1.88
北陸粉243号とコシヒカリをブレンド 55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬	9.13	3.38	21.44	3.28	34.40	7.02	24.18	5.55
北陸粉243号とコシヒカリをブレンド 55°C、30分間 1.0%味噌懸濁液に浸漬	11.64	5.91	23.63	5.04	23.80	10.72	16.71	3.43
北陸粉243号とコシヒカリをブレンド 55°C、30分間 2.0%味噌懸濁液に浸漬	8.68	2.41	20.45	1.28	22.69	8.60	18.13	3.99
北陸粉243号 55°C、30分間 0.5%味噌懸濁液に浸漬後に高圧処理	16.50	1.62	26.24	3.50	12.90	0.71	21.60	1.80



(gw/cm<sup>2</sup>)



A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬

C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

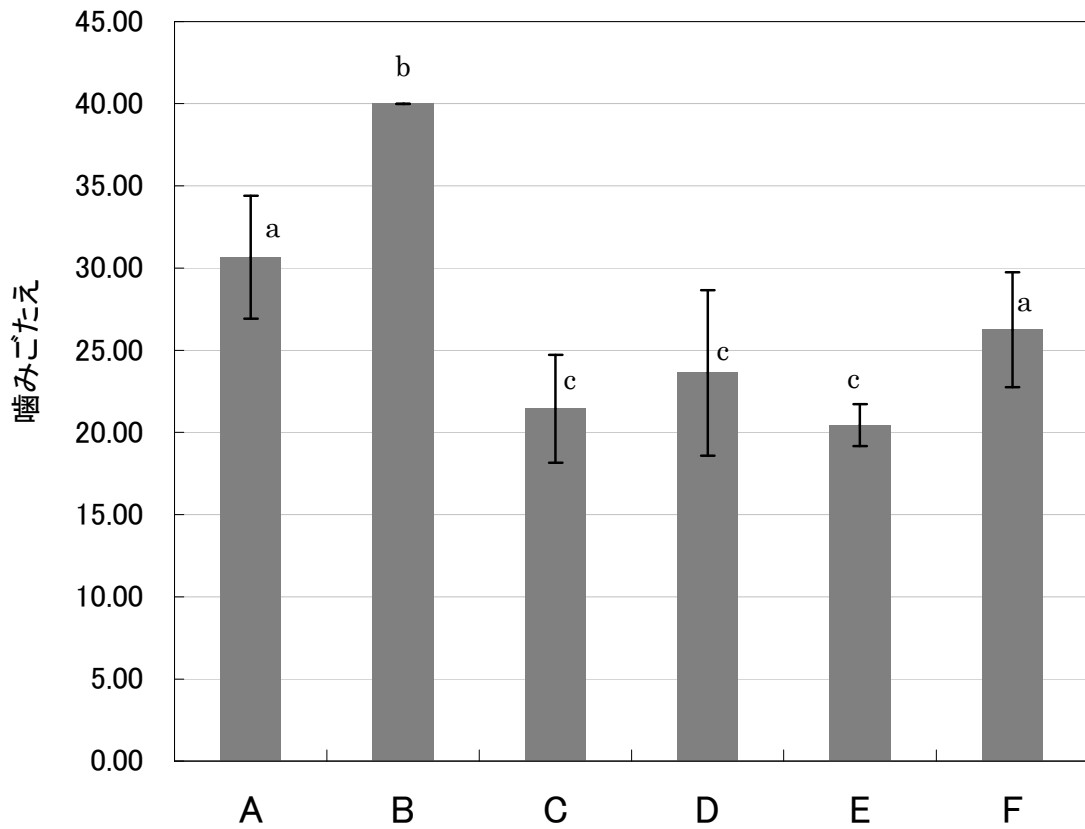
D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

図 4-7. 様々な浸漬を行った炊飯米の硬さ

(gw/cm<sup>2</sup>)



A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬

C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

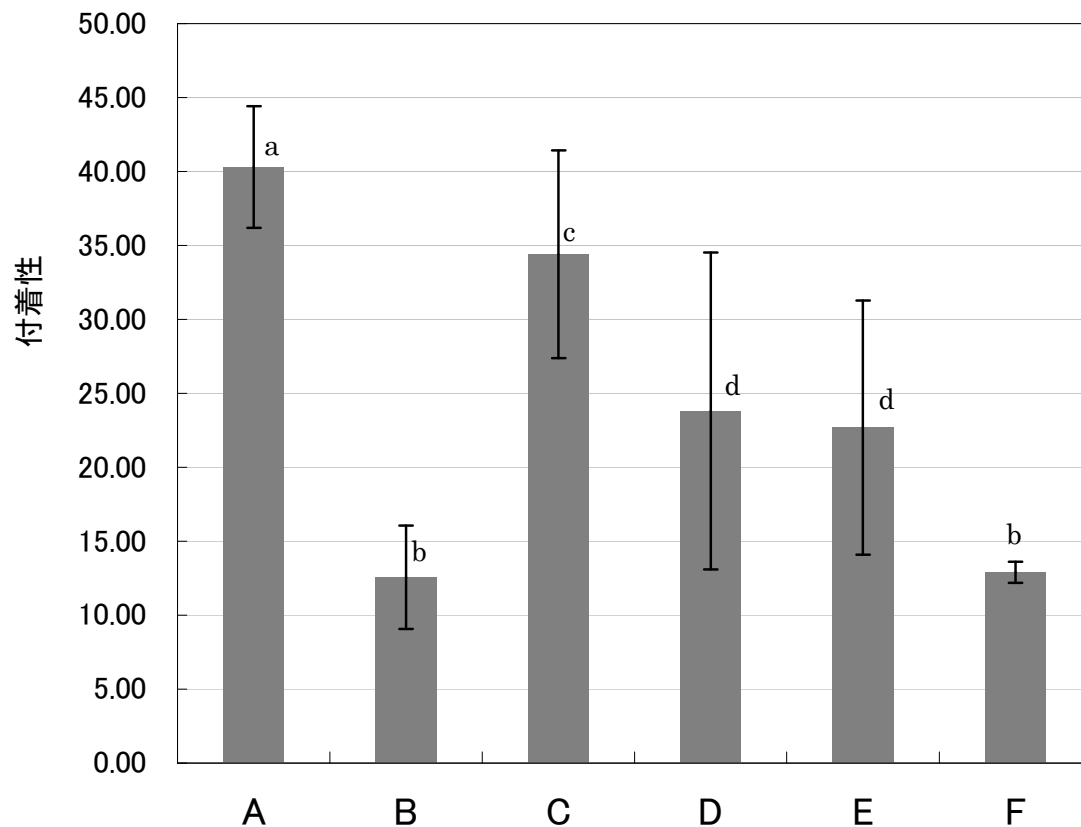
D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

図 4-8. 様々な浸漬を行った炊飯米の噛みごたえ

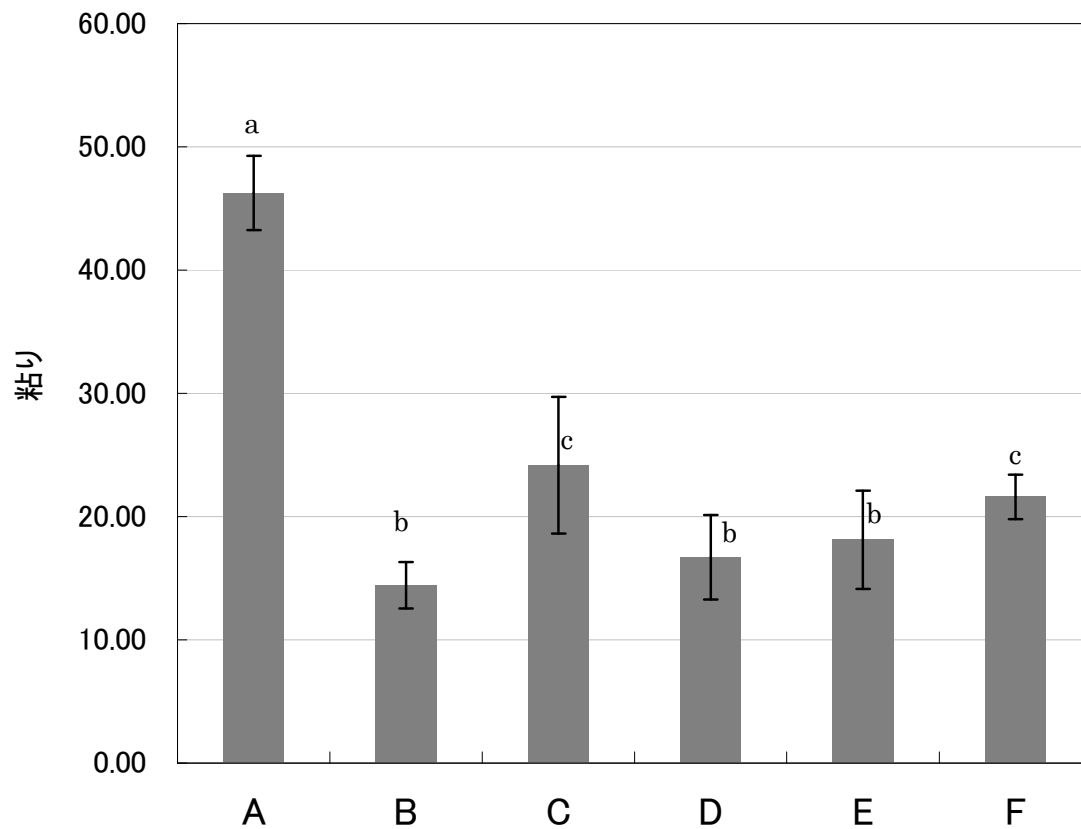
(gw/cm<sup>2</sup>)



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬
- B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬
- C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理
- D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理
- E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理
- F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

図 4-9. 様々な浸漬を行った炊飯米の付着性

(gw/cm<sup>2</sup>)



A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬

B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬

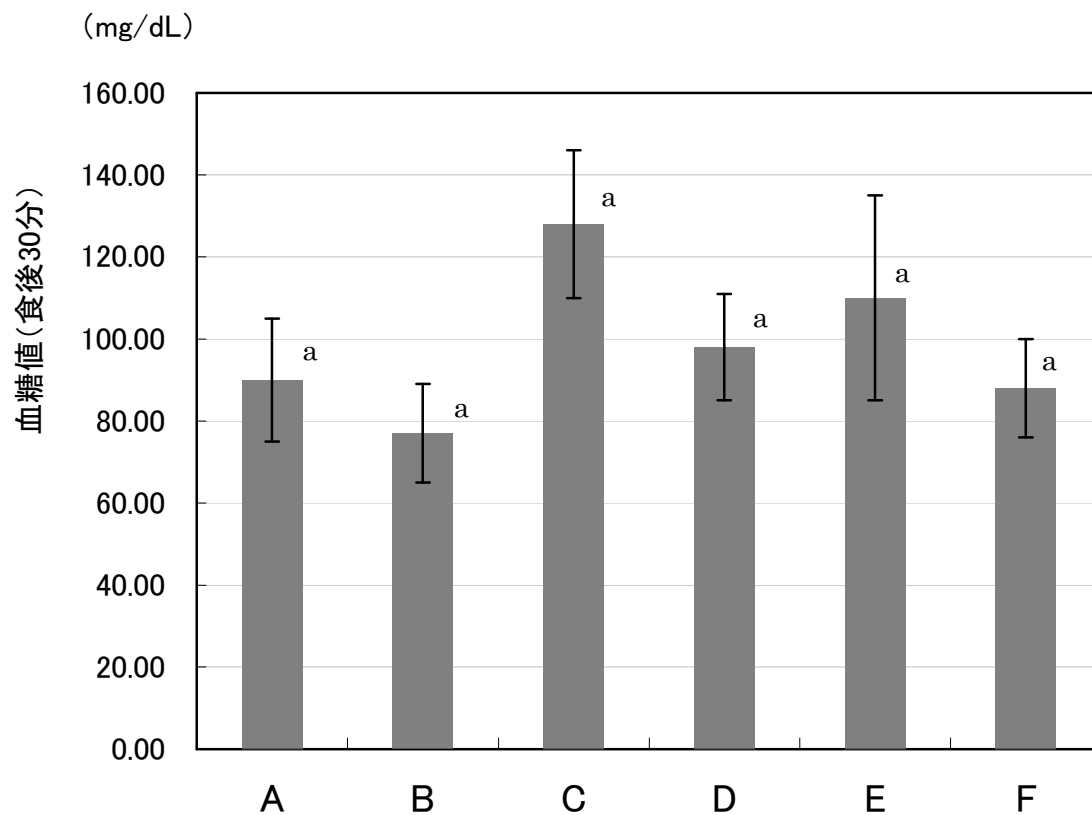
C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

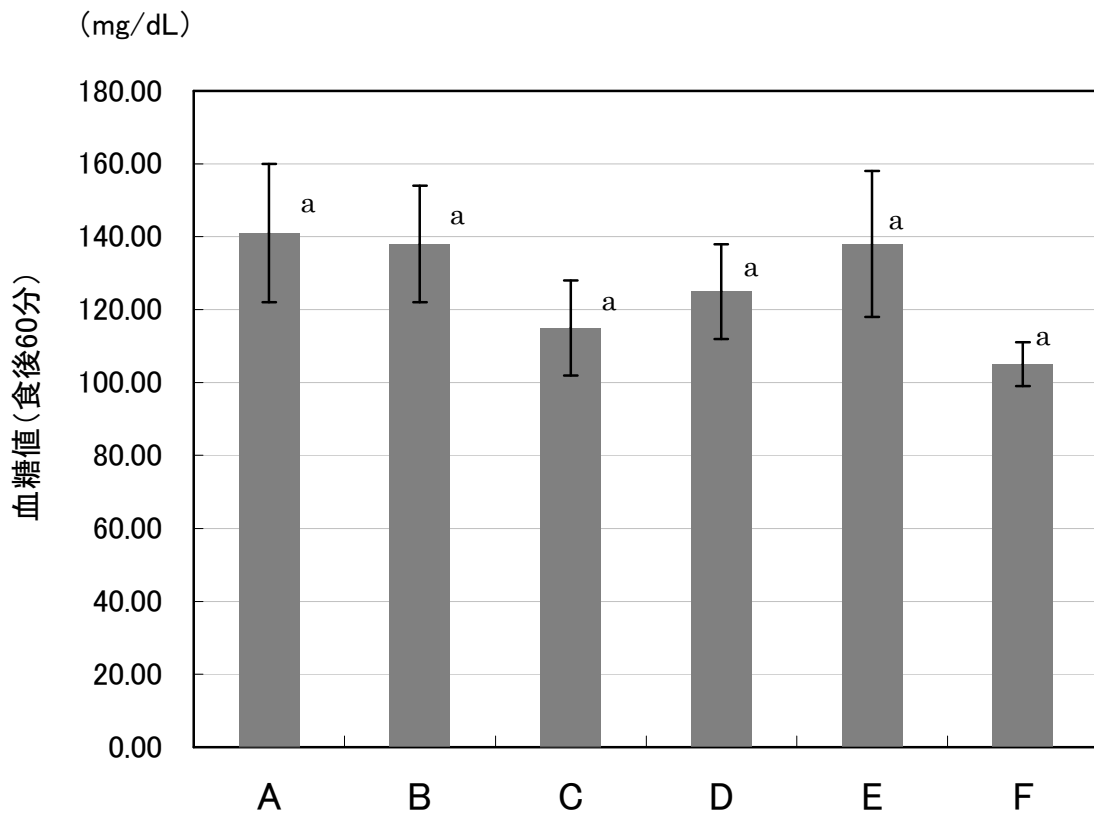
F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

図 4-10. 様々な浸漬を行った炊飯米の粘り



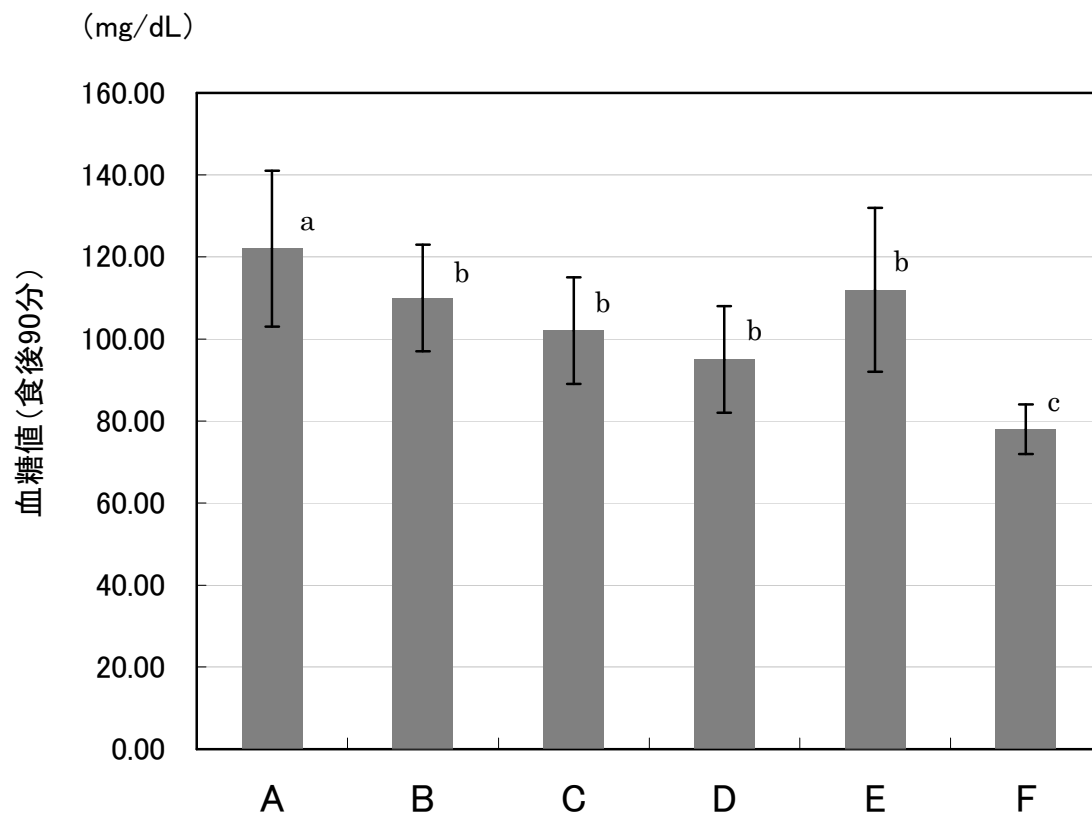
- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬  
 C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理  
 D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理  
 E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理  
 F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理

図 4-11. ラットの食後 30 分の血糖値



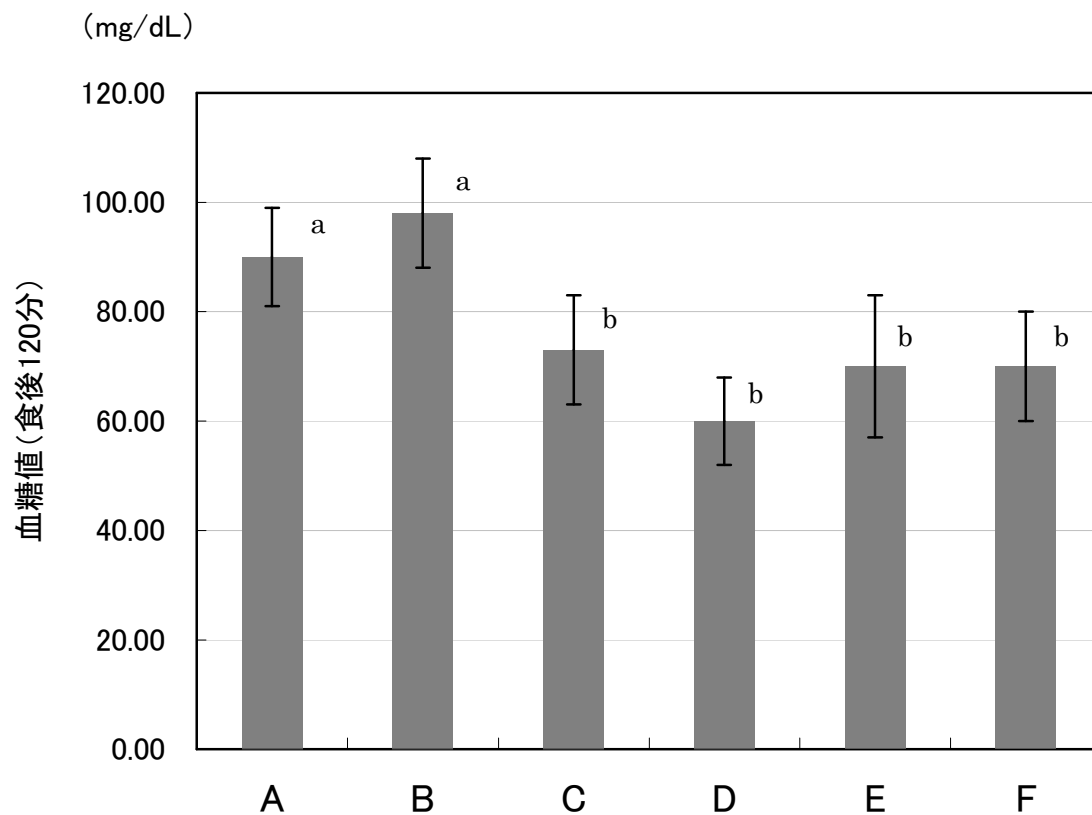
- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬
- B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬
- C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理

図 4-12. ラットの食後 60 分の血糖値



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬
- B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬
- C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理
- D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理
- E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理
- F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
高圧処理

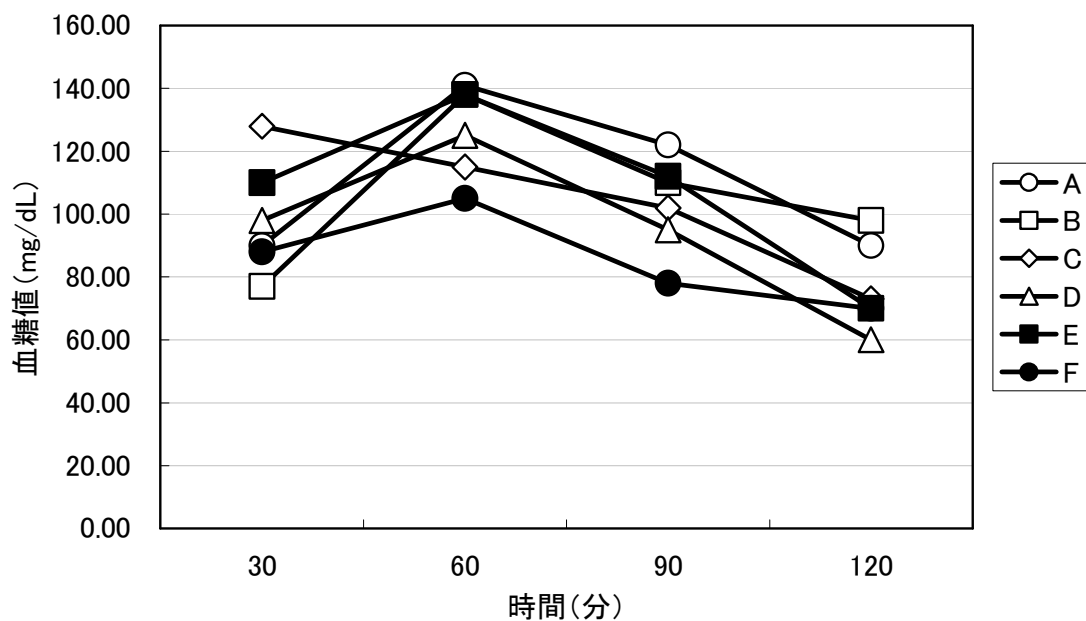
図 4-13. ラットの食後 90 分の血糖値



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬
- B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬
- C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理
- D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理
- E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理
- F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高圧処理

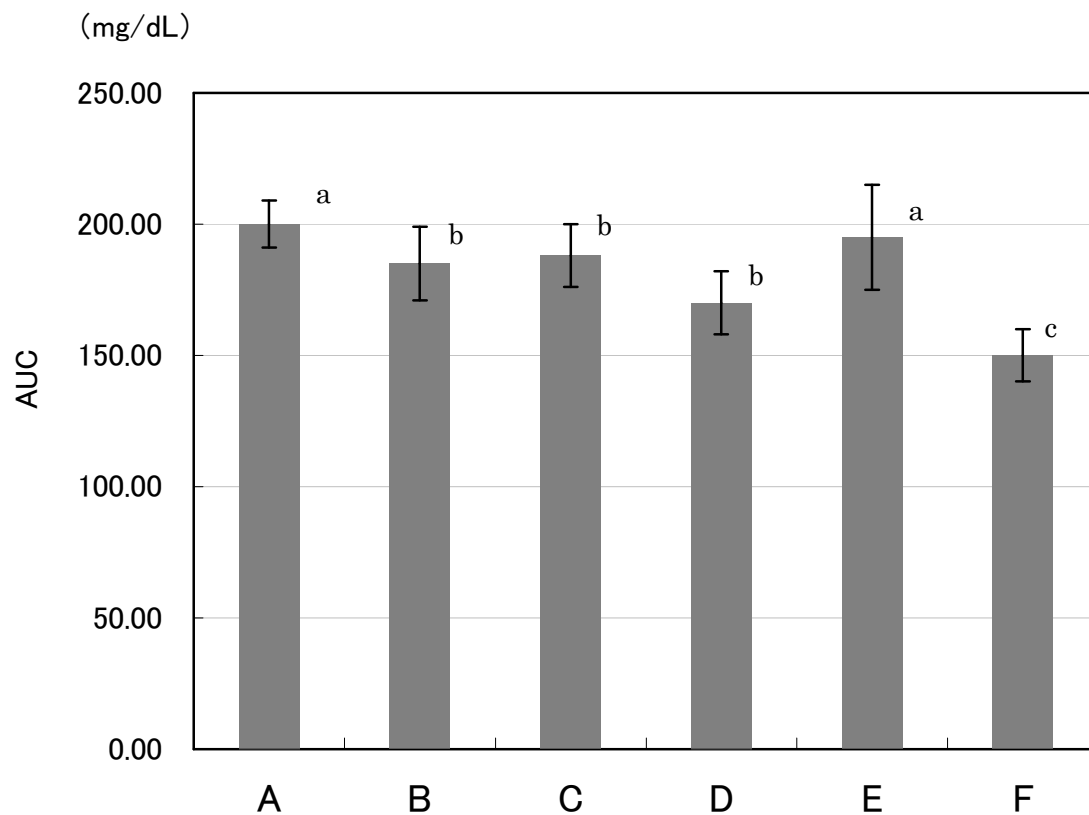
図 4-14. ラットの食後 120 分の血糖値





- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬
- B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬
- C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理

図 4-15. ラットの食後血糖値の変化



- A : コシヒカリ 15°C、60 分間、純水に浸漬
- B : 北陸粉 243 号 15°C、60 分間、純水に浸漬
- C : ブレンド米 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- D : ブレンド米 55°C、30 分間、1.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- E : ブレンド米 55°C、30 分間、2.0%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理
- F : 北陸粉 243 号 55°C、30 分間、0.5%無塩味噌懸濁液に浸漬後に  
 高压処理

図 4-16. ラットの食後 120 分の血糖値の曲線下面積

表 4-3. 炊飯米の物性と化学成分および血糖値の相関関係

	BGL 30min (mg/dL·h)	BGL 60min (mg/dL·h)	BGL 90min (mg/dL·h)	BGL 120min (mg/dL·h)	AUC (mg/dL·h)	硬さ (gw/cm <sup>2</sup> )	噛みごたえ (gw/cm <sup>2</sup> )	付着性 (gw/cm <sup>2</sup> )	ねばり (gw/cm <sup>2</sup> )	難消化性 澱粉 (%)	グルコース (g/100g)	グルタミン酸 (mg/100g)	ポリフェノール (mg/100g)	食物繊維 (g/100g)	DPPH ラジカル 消去能 (mg/100g)
BGL30min	1.00														
BGL60min	-0.29	1.00													
BGL90min	0.06	0.87*	1.00												
BGL120min	-0.48	0.53	0.60	1.00											
AUC	0.33	0.76	0.96**	0.44	1.00										
硬さ	-0.85*	-0.16	-0.41	0.41	-0.61	1.00									
噛みごたえ	-0.81*	0.41	0.26	0.86*	0.04	0.76	1.00								
付着性	0.54	0.23	0.59	0.03	-0.72	-0.31	-0.26	1.00							
ねばり	0.03	0.24	0.50	0.31	-0.25	-0.05	0.07	0.78	1.00						
難消化性澱粉	-0.12	-0.67	-0.86*	-0.38	-0.80	0.50	-0.08	-0.89*	-0.98**	1.00					
グルコース	0.68	-0.04	-0.07	-0.72	0.16	-0.72	-0.81	0.11	-0.26	0.15	1.00				
グルタミン酸	0.30	0.37	0.22	-0.51	0.31	-0.63	-0.60	0.19	0.09	-0.21	0.75	1.00			
ポリフェノール	0.16	-0.39	-0.62	-0.65	-0.49	0.01	-0.48	-0.67	-0.85*	0.80	0.66	0.41	1.00		
食物繊維	0.53	-0.33	-0.43	-0.86*	-0.23	-0.46	-0.82*	-0.22	-0.53	0.47	0.91*	0.67	0.87*	1.00	
DPPHラジカル消去能	-0.20	0.08	-0.29	-0.37	-0.27	0.10	-0.20	-0.64	-0.63	0.52	0.49	0.62	0.83*	0.66	1.00

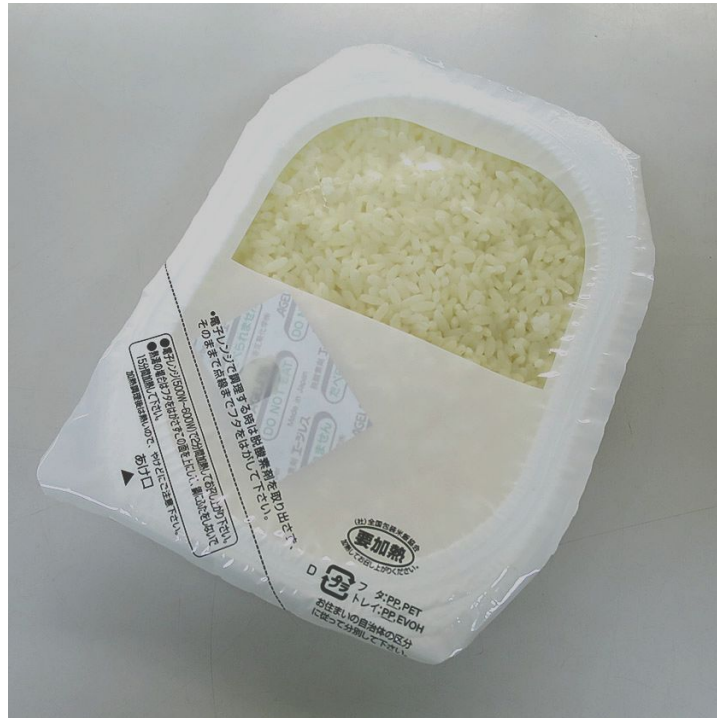


図 4-17. 北陸粉 243 号の炊飯米

表 4-4. 微生物検査結果

	一般生菌 (CFU/g)	大腸菌群 (CFU/g)
北陸粉243号		
炊飯直後	<300	(-)
35°C、30日間保管	<300	(-)
常温、330日間保管	<300	(-)

## 第5章 総括

日本人は、主食である炊飯米の食味に対して、非常に敏感である。硬さや粘りといった物理的特性は食味を左右し、硬くて粘りの少ない米は、日本人の嗜好には合い難い。一方で、国民の所得の増加により、豊かな食生活を送ることが可能になったことで、副食（おかず）が充実し、主食である米の消費量は年々減少傾向にある。このように、時代の変化とともに、主食に求められる役割も変わってきており、今後も主食の方向性は変化していくことが予想される。

近年、健康に対する意識は増々高まっており、健康にかかわる食品や、補助食品などの市場規模は拡大傾向にある。平成27年4月からは、「機能性表示食品」制度が新たに始まっており、生活者の多様な要望に応える機能性を高める研究開発は、今後益々重要になっていくものと考えられる。

米の消費拡大のために、農林水産省の主導で、低アミロース米、高アミロース米、糖質米、低グルテリン米、超硬質米といった新形質米が作出されてきた。超硬質米である「北陸粉243号（品種名：こなゆきの舞）」は、澱粉合成酵素のひとつである、澱粉枝作り酵素IIbの活性が無いか、きわめて弱いことによって、澱粉のアミロペクチンの短鎖が少なく、中長鎖の多い米である。難消化性澱粉含有量が高く、米飯としては極めて硬く、粘着性が無いために、食味が極不良であるが、糖尿病予防のような機能性に関しては有望である。

硬くて粘りの少ない米の物性を変化させ、食味を改善する方法のひとつとして、高圧処理が挙げられる。また、超硬質米を味噌懸濁液に浸漬することによって、機能性を維持したまま食味が改善されることも分かっている。

前述の通りに、日本における米の消費量は減少傾向にあるが、米は依然として日本における主食である。昨今の健康志向の高まりから、これからの時代に求められる主食の方向性を考えたとき、単なる食事としてではなく、「食べることで健康の維持・増進が可能となるもの」

の需要が今後益々高まっていくことが予想される。ただし、主食の方向性が変化しようとも、絶対的に求められるものは「おいしさ」であることは疑いようがない。

第2章では、次世代の主食の研究のひとつとして、主食として世界中に広く普及している小麦について、著者が過去に携わった研究を紹介した。小麦は卵、牛乳、落花生、そば、えび、かにと並んで七大アレルギーとされ、患者は食事の際に原因物質（アレルギー）を除去しなければならず、それを含む食品を摂取できない。食物アレルギー患者の増加が大きな社会問題となっている現在、この問題を解決するひとつの途として、高圧処理を用いて、効率的に低アレルギー化を行った小麦の研究開発を行った。

アレルギー抽出液、抽出方法を検討し、最適な抽出方法を設定した。また、高圧処理により、小麦の組織破壊を誘引し、小麦のアレルギー物質が容易に抽出できる形質に転換させ、その後に抽出処理を行うことにより、抽出処理時間を1日以上短縮出来る可能性が示された。

本研究で得られた低アレルギー化小麦と、アレルギー患者の抗体との反応性を調べた結果、その抑制率は低アレルギー化無処理の小麦を10万分の1に希釈したものと同等であった。このことから、低アレルギー食品として十分な効果が得られることが示された。

また、高圧処理によって抽出効率を向上させることにより、市販の低アレルギー化小麦製品と異なり、麦粒を破壊しないために、小麦粉としての利用や、小麦を丸粒のまま利用する製品への加工が可能であり、非常に用途の広い低アレルギー化小麦を得ることが可能となった。さらに、粉碎処理が不要であり、高圧処理を利用し抽出時間を短縮化することで、低アレルギー化処理に必要なエネルギーの節約に繋がる。これにより、作業の効率化、生産サイクルの加速化が可能となることが示された。

本研究によって得られた低アレルギー化小麦は、すでに商品化されている。今後益々増加するであろう食物アレルギー患者が除去食物療

法をする際に、「周りの人と同じものが食べられない」ことが、非常に大きなストレスとなる。一般的な商品と外観が同様な低アレルギー化商品は、患者およびその家族の精神的な配慮に役立つものと期待される。

第 3 章では、「北陸粉 243 号」に、炊飯米の特性を改善させる高圧処理の物理的効果と、超硬質米の食味を改善させる味噌浸漬処理の生化学的効果を併用して米飯として加工し、その高い難消化性澱粉含有量を維持したまま、食味・食感の改善を行った、「高機能を有した、良食味の米飯」という、次世代の主食の方向性のひとつを示すことを目的とし、研究開発を行った。

様々な浸漬方法を行い、炊飯した北陸粉 243 号の成分分析を行った結果、北陸粉 243 号を、0.5%の無塩味噌懸濁液に 55℃、30 分間浸漬した後に、200 MPa、2 分間の高圧処理を行った炊飯米においては、難消化性澱粉含有量、食物繊維含有量、グルタミン酸含有量、ポリフェノール含有量が、無処理の北陸粉 243 号よりも上昇した。なお、味噌浸漬処理を行ったが、高圧処理を行わなかった炊飯米においては、無処理の場合と比較して難消化性澱粉含有量は低下した。

一方で、グルコース含有量は、味噌浸漬処理を行うことで上昇する傾向が見られる中で、高圧処理を併用した場合には、無処理の場合と比較して変動が見られなかった。

また、テンシプレッサーを用いて、同様の浸漬を行った炊飯米の物性を測定した。北陸粉 243 号を、0.5%の無塩味噌懸濁液に 55℃、30 分間浸漬した後に、200 MPa、2 分間の高圧処理を行った炊飯米においては、無処理の場合と比較して、表層の硬さ、全体の硬さ、表層の粘りに大きな変動は見られなかったが、全体の粘りが著しく増加し、コシヒカリと同等の値を示した。その結果、全体のバランス度が改善され、コシヒカリと同等の値を示した。

北陸粉 243 号に味噌浸漬処理と高圧処理を併用することにより、難消化性澱粉含有量、食物繊維含有量、グルタミン酸含有量、ポリフェ

ノール含有量が上昇する一方で、グルコース含有量が変動しないことから、低 GI 食品としての機能性を十分に有していること、さらに物性においても、米飯全体の粘りが著しく増加し、全体のバランス度が改善され、食感を良好にしたことから、「高機能を有した、良食味の米飯」の製造が可能となることが示された。

一方で、前処理として湿熱処理を行った場合においては、グルコース含有量、DPPH ラジカル消去能、グルタミン酸含有量が著しく上昇するなど、興味深い結果が得られたが、米飯物性改良効果はまったく見られなかった。

また、米の品種の比較として、結晶質の高アミロース米である「このめんじまん」を用いて、同様の処理を行ったが、北陸粉 243 号を使用した際のような顕著な米飯物性改良効果は見られなかった。

同様に、北陸粉 243 号に味噌浸漬処理と高圧処理をそれぞれ単体で行った場合においても、両方の処理を併用した場合と比較して顕著な米飯物性改良効果は見られなかった。

さらに、食味においても、味噌浸漬処理と高圧処理をそれぞれ単体で行った場合においては、両方の処理を併用した場合と比較して、低い評価となった。また、味噌の添加量を増加した場合でも、低い評価となった。

これらのことから、北陸粉 243 号に 0.5% 無塩味噌懸濁液への浸漬処理と、200 MPa の高圧処理を併用することの有効性が示された。

第 4 章では、製品化を考慮し、食味をさらに向上させ、機能性を維持した米飯の製造方法を検討する目的で、北陸粉 243 号とコシヒカリを重量比 2:1 でブレンドし、同様に味噌浸漬処理及び高圧処理を行った炊飯米を製造し、第 3 章で得た炊飯米との比較のため、成分分析、物性の測定を行った。

難消化性澱粉含有量は、コシヒカリをブレンドすることで低下した。グルコース含有量は、コシヒカリをブレンドすることで、逆に上昇が見られた。また、物性においては、コシヒカリをブレンドすることで、



硬さ、噛みごたえは大きく改善され、付着性、粘りは増加した。これらのことから、コシヒカリをブレンドすることによって、さらなる米飯物性改良効果があることが明らかとなり、良食味の米飯が製造出来ることが推測された。しかし、それによって北陸粉 243 号の持つ機能性が損なわれる可能性が危惧された。

これらの試料をラットに与え、食後の血糖値の変化を調べた。食後 30 分、60 分においては、試料間で大きな変化は見られなかった。食後 90 分の血糖値および、食後 120 分の血糖値の曲線下面積 (AUC) においては、北陸粉 243 号を 0.5% 無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米を摂取した場合に、コシヒカリを摂取した場合と比較して、特に低い値を示した。また、消化の初期段階では炊飯米の硬さが、90 分後では難消化性澱粉含有量が、120 分後では食物繊維含有量が、血糖値上昇を抑制する有力な要因であることが明らかとなった。対照的に、コシヒカリをブレンドした北陸粉 243 号では、血糖値上昇に対して目立った効果は見られなかったため、北陸粉 243 号の持つ機能性が損なわれ、低 GI 食品としては不適であることが示された。

このことから、0.5% 無塩味噌懸濁液に浸漬した後に、高圧処理を行った北陸粉 243 号の炊飯米には、適度な硬さがあり、難消化性澱粉含有量、食物繊維含有量が多く、食後の血糖値の急激な上昇を抑制する効果があることが確認された。

また、製造した試作包装米飯は電子レンジ加熱での復元が可能であり、長期保管後の衛生試験において、微生物の検出は見られなかった。

これらのことから、北陸粉 243 号に 0.5% 無塩味噌懸濁液への浸漬処理と、200 MPa の高圧処理を併用することで、「微生物的に安全で長期保存が可能な、高機能性を有した良食味の米飯製品」の製造が可能となることが示された。

北陸粉 243 号は、硬くて粘りがなく、日本人の嗜好には合い難い。しかし、難消化性澱粉含有量が多く、食後の血糖値上昇に対して、効

果が期待される品種である。

本研究によって、味噌浸漬処理と高圧処理を併用することによって、その高い難消化性澱粉含有量を維持したまま、物性や食味が改善され、微生物的にも安全な、「高機能を有した、良食味の安全な米飯」の製造が可能となることが示された。無菌包装米飯という、毎日手軽に常食できる形態であり、健康志向を抱く消費者への新規提案商品として、好評を博す期待が持てる商品である。

米を主食として日常的に食している人々は、世界人口の約半数とされている。本研究によって生まれた米飯が「これからの時代に求められる主食の方向性のひとつ」であることを私は確信する。

## 引用文献

- 1) 農林水産省ホームページ；世界の穀物需給及び価格の推移  
[http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j\\_zyukyu\\_kakaku/](http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_kakaku/)
- 2) C.J. Bergman, K. R. Bhattacharya and K. Ohtsubo ; Rice end-use quality analysis, Rice Chemistry and Technology, AACC, 15, 415-472 (2004)
- 3) 石谷孝佑、大坪研一；シリーズ《食品の科学》米の科学、朝倉書店 (1995)
- 4) 農林水産省；生産量と消費量で見る世界の米事情、aff、1 (2016)
- 5) 中川原捷洋；稲と稲作のふるさと、古今書院 (1985)
- 6) 食糧庁加工食品課；米麦加工食品等の現状、14 (1998)
- 7) 竹生新治郎；米の食味 稲と米、農研センター・生研機構、130-154 (1988)
- 8) 農林水産省；平成 26 年度食料需給表
- 9) 宮川早苗；健康食品の市場動向と素材・技術研究、食品と開発、46、19-20 (2011)
- 10) 長尾精一編；シリーズ《食品の科学》小麦の科学、朝倉書店 (1995)
- 11) M. T. Guinépain, C. Eloit, M. Raffard, M. J. Brunet-Moret, R. Rassemont and J. Laurent ; Exercise-induced anaphylaxis: useful screening of food sensitization, Ann. Allergy Asthma Immunol., 77, 491-496 (1996)
- 12) H. Kushimoto and T. Aoki ; Masked type I wheat allergy. Relation to exercise-induced anaphylaxis, Arch. Dermatol., 121, 355-360 (1985)
- 13) E. Varjonen, E. Vainio and K. Kalimo ; Life-threatening, recurrent anaphylaxis caused by allergy to gliadin and exercise, Clin. Exp. Allergy, 27, 162-166 (1997)
- 14) M. Dohi, M. Suko, H. Sugiyama, N. Yamashita, K. Tadokoro, F.

- Juji, H. Okudaira, Y. Sano, K. Ito and T. Miyamoto ;  
Food-dependent, exercise-induced anaphylaxis: a study on II  
Japanese cases, *J. Allergy Clin. Immunol.*, 87, 34-40 (1991)
- 15) 中野和子、光武元子、二木栄子 ; 炊飯容量と米飯食味との関連について、*家政学雑誌*、28、27-34 (1977)
  - 16) 農林省食糧研究所 ; 米の品質と貯蔵、41 (1969)
  - 17) 香川芳子 監修 ; 五訂増補食品成分表 2011、女子栄養大学出版部 (2010)
  - 18) B. O. Juliano, L. U. Onate and A. M. Mundo ; Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating quality of milled rice, *Food Technol.*, 19, 1006-1011 (1965)
  - 19) 倉沢文夫 ; コメの味 (II)、遺伝、23、42-48 (1969)
  - 20) 竹生新治郎、渡辺正造、杉本貞三、真部尚武、酒井藤敏、谷口嘉廣 ; 他重回帰分析による米の食味の判定式の設定、*澱粉科学*、32、51-60 (1985)
  - 21) B. O. Juliano ; In "Rice Chemistry and Technology," AACC, MN. 98-141 (1994)
  - 22) 竹生新治郎、渡辺正造、杉本貞三、酒井藤敏、谷口嘉廣 ; 米の食味と理化学的性質の関連、*澱粉科学*、30、333-341 (1983)
  - 23) K. Yasumatsu, S. Moritaka and S. Wada ; Studies on cereals. part V. stale flavor of stored rice. *Agric. Biol. Chem.*, 30, 483-486 (1966)
  - 24) 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、690-696 (1978)
  - 25) 庄司一郎、倉沢文夫 ; 米ならびに米デンプンのアミログラムによる粘度特性について (第 2 報)、*家政学雑誌*、32、167-171 (1981)
  - 26) 玉置雅彦、江幡守衛、田代亨、石川雅士 ; 米の品質形成に関する生理生態学的研究、*日本作物学会紀事*、57 (別 1)、253-254 (1988)
  - 27) 桐渕壽子、久保田紀久枝 ; ウルチ米およびモチ米の脂質成分と熱

- 糊化に伴う粘度との関係について、日本農芸化学会誌、51、621-624 (1977)
- 28) 堀野俊郎、岡本正弘；玄米の窒素ならびにミネラル含量と米飯の食味との統計的関連、中国農研報、10、1-15 (1992)
- 29) 斎藤昭三、馬場 操、佐藤ヨシイ；米飯の物理性に関する研究(第3報)炊飯に対するセルラーゼ剤の影響、新潟食研報、8、92-97 (1964)
- 30) 渋谷直人；米の細胞壁の化学構造と品質、日本食品工業学会誌、37、740-748 (1990)
- 31) 藤巻 宏；スーパーライス計画の全容、食品と開発、24、32-35 (1989)
- 32) 横尾政雄；スーパーライス計画「新形質米」研究の展望、農林水産技術ジャーナル、13、50-57 (1990)
- 33) 農林水産技術会議事務局；需要拡大のための新形質水田作物の開発、1-176 (1999)
- 34) 鈴木啓太郎、岡留博司、中村澄子、大坪研一；茨城県産米「ゆめひたち」の品質特性および低アミロース米とのブレンド効果、日本食品科学工学会誌、53、5、296-304 (2006)
- 35) 大坪研一、中川原捷洋、岩崎哲也；新規育成米の利用特性、日本食品工業学会誌、35、9、587-594 (1988)
- 36) 高見幸司、郡山 剛、大坪研一；低アミロース米飯の低温保存中における硬化性とその評価方法、日本食品科学工学会誌、45、8、469-477 (1998)
- 37) 山田博治；米菓の品質から見た新形質米の評価、農業技術、48、486-490 (1993)
- 38) 三浦清之；「越のかおり」を用いた米麺の開発、食品工業、52、12、36-41 (2009)
- 39) 新井陽一、白幡 登、深澤純一、土田真由子、中島義信、中浦嘉子、堀端哲也、井ノ内直良；糖質米「あゆのひかり」のヒト食後血糖値およびインスリン分泌に及ぼす影響、日本栄養・食糧学会

- 誌、64、4、239-243 (2011)
- 40) 新井陽一、白幡 登、深澤純一、土田真由子、中島義信、中浦嘉子、堀端哲也、井ノ内直良；糖質米「あゆのひかり」の消化性と構造特性、日本食品科学工学会誌、57、10、401-407 (2010)
  - 41) 西村 実；イネ低グルテリン系統 LGC-1 の育成と腎臓疾患患者の食事療法への適用、農業技術、55、10、26-29 (2000)
  - 42) 望月隆弘、原 茂子；保存期慢性腎不全の食事療法における低蛋白米の有用性、日本腎臓学会誌、42、1、24-29 (2000)
  - 43) 大坪研一、中村澄子、宇都宮一典、増田泰伸、辻 啓介；硬質米と糖尿病発症予防、実用化に向けた取り組み、食品工業、53、14、46-51 (2010)
  - 44) E. Arai and M. Watanabe；Gelatinizability of starch as a factor affecting the quality of cooked rice, *Oyo Toshitsu Kagaku*, 41, 193-196 (1994)
  - 45) 平田孝一；外国産米の炊飯特性と炊飯技術、食品加工技術、14、364-371 (1994)
  - 46) 畑江敬子、綾部園子、貝沼やす子、島田淳子；材料添加によるタイ国産米の食味改良効果、調理科学、28、231-236 (1995)
  - 47) 江間章子、貝沼やす子；柑橘果汁の炊飯への利用、調理科学、23、198-205 (1990)
  - 48) 江間章子、貝沼やす子；柑橘果汁の炊飯への利用（第2報）、調理科学、24、89-95 (1991)
  - 49) N. Shibuya and T. Iwasaki；Effect of cell wall degrading enzymes on the cooking properties of milled rice and the texture of cooked rice, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 31, 656-660 (1984)
  - 50) 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)
  - 51) 新井映子、渡辺道子；高压処理または酵素処理によるインディカ

- 種米の米飯テクスチャー改変、日本食品工業学会誌、41、619-626  
(1994)
- 52) 山崎 彬、杵淵美倭子、山本和弘、山田明文；高圧処理を施した  
浸漬米の炊飯後の微細構造と物性、高圧力の科学と技術、5、  
168-178 (1996)
- 53) 神田 剛；産業用高圧装置の現状と食品加工への応用、「加圧食品」、  
林 力丸編、さんえい出版、341-350 (1990)
- 54) 林 力丸；高圧下現象の食品分野への利用、「食品への高圧利用」、  
林 力丸編、さんえい出版、1-29 (1993)
- 55) 山崎 彬；高圧処理法、「新食感事典」、サイエンスフォーラム、  
371-383 (1999)
- 56) 杵淵美倭子、山崎 彬、山元皓二；高圧処理を利用した酵母から  
のトレハロースの抽出、応用糖質科学、42、237-242 (1995)
- 57) 杵淵美倭子、関谷美由紀、山崎 彬、山元皓二；高圧処理を利用  
した玄米中へのγ-アミノ酪酸 (GABA) の蓄積、日本食品科学  
工学会誌、46、45-50 (1999)
- 58) 早川 功；食品産業への圧力利用、日本食品科学工学会誌、47、  
651-659 (2000)
- 59) 小林 篤、川村麻梨子、大原絵里、荻野美由紀、星野 純、山崎  
彬、西海理之；高圧処理の無菌化食品への利用、高圧力の科学と  
技術、24、48-51 (2014)
- 60) 本間一男、芳賀紀之；鶏卵の物性に与える高圧処理の影響、「生物  
と食品の高圧科学」、さんえい出版、325-330 (1993)
- 61) 小谷スミ子、宮本 勲、香西みどり、畑江敬子、島田淳子；高圧  
処理した卵黄の流動性、家政学雑誌、51、905-912 (2000)
- 62) 昌子 有；魚肉の加工・保存への高圧利用、食品加工技術、10、  
42-46 (1990)
- 63) 石川正人、坂井和男、山口孝司、良知昭吾；各種魚肉すり身「加  
圧→加熱」ゲルの物性、「生物と食品の高圧科学」、さんえい出版、  
184-191 (1993)

- 64) 重久 保、大森 丘；畜肉の加工・保存への高圧利用、食品加工技術、10、47-54（1990）
- 65) 野瀬正敏、岩城 朗、服部真之；食肉加工への高圧処理の応用、「高圧バイオサイエンス」、林 力丸編、さんえい出版、272-279（1994）
- 66) 林 力丸；圧力利用の進展-食品からバイオサイエンスへ-、「生物と食品の高圧科学」、林 力丸編、さんえい出版、1-17（1993）
- 67) 杵淵美倭子、渡辺勝也、小宮新一、山崎 彬、山元皓二；圧力処理炊飯米の老化の特徴、応用糖質科学、46、31-38（1999）
- 68) 百瀬晶子、後藤直子、早瀬文孝、五明紀春、三浦理代；味噌の食後血糖に及ぼす影響、日本食品科学工学会誌、57、63-69（2010）
- 69) 三浦理代、五明紀春；唾液 $\alpha$ -アミラーゼ活性測定法の開発およびその褐変食品への応用、日本栄養・食糧学会誌、47、35-41（1994）
- 70) 竹内徳男、稲荷妙子、森本仁美、毛利光之；味噌の DPPH ラジカルに関する研究、岐阜女子大学紀要、33、115-121（2004）
- 71) H. Esaki, H. Onozaki, and Y. Morimitsu；Potent antioxidative isoflavones isolated from soybean fermented with *Aspergillus saitoi*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 62, 740-746（1998）
- 72) S. Nakamura, Y. Nakano, H. Satoh and K. Ohtsubo；Improved palatability and bio-functionality of super-hard rice by soaking in a barley-Koji miso suspension, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 77, 2419-2429（2013）
- 73) 山田一恵、岸本真知子、稲垣義彰、稲本 真、駒田英勝、山田政功、鳥居新平；アトピー性皮膚炎における食餌性アレルギーの検討 とくに穀物アレルギーについて、小児科臨床、38、2545-2552（1985）
- 74) 茂木和之、椿 和文；アレルギー低減化小麦食品の開発とその動向、「低アレルギー食品の開発と展望」、池澤義郎編、シーエムシー出版、153-161（1995）
- 75) 田辺創一、渡辺 純、園山 慶、渡辺道子；難治性の小麦アレルギー



- ギーに挑む アレルゲンの同定から対応食品の開発まで、化学と生物、39、440-447 (2001)
- 76) S. Yokota, K. Tsubaki, H. Shimizu, S. Matsuyama, K. Takahashi and Z. Ikezawa ; *Acta Derm. Venereol.*, 176, 45-48 (1992)
- 77) 笹川秋彦、伊藤満敏、山崎 彬、高中紘一郎 ; 低アレルゲン無菌化包装米飯について、新潟アレルギー研究会誌、11、11-14 (1994)
- 78) 阿部利夫、安藤 保、福田正典、菅野訓子、吉野重美、市村登寿 ; 小児アレルギー疾患における CAP RAST の有用性の検討、日本小児アレルギー学会誌、8、97-101 (1994)
- 79) 笹川秋彦、杵淵美倭子、山崎 彬、山田明文 ; 高圧処理を利用した米菓の製造、「高圧バイオサイエンス」、功刀 滋、嶋田昇二、鈴木敦士、林 力丸編、さんえい出版、336-343 (1994)
- 80) 農林水産省ホームページ ; 食料自給率・食料自給力について  
[http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu\\_ritu/011\\_2.html](http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/011_2.html)
- 81) 須田郁夫、沖 智之、西場洋一、増田真美、小林美緒 ; 沖縄県産果実類・野菜類のポリフェノール含量とラジカル消去活性、日本食品科学工学会誌、52、462-471 (2005)
- 82) O. Folin and W. Denis ; A colorimetric method for the determination of phenols (and phenol derivatives) in purine, *J. Biol. Chem.*, 22, 305-308 (1915)
- 83) H. Okadome, H. Toyoshima and K. Ohtsubo ; Multiple measurements of physical properties of individual cooked rice grains with a single apparatus, *Cereal Chem.*, 76, 855-860 (1999)
- 84) A. Nishi, Y. Nakamura, Y.N. Tanaka and H. Satoh ; Biochemical and genetic analysis of the effects of amylose-extender mutation in rice endsperm, *Plant Physiol.*, 127, 459-472 (2001)
- 85) C. Z. Yang, X. L. Shu, L. L. Zhang, X Wang, H. J. Zhao, C. X. Ma and D. X. Wu ; Starch properties of mutant rice high in resistant starch, *J. Agric Food Chem.*, 54, 523-528 (2006)

- 86) P. Hu, H. Zhao, Z. Duan, Z. Linlin and D. Wu ; Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylase contents, *J. Cereal Sci.*, 40, 231-237 (2004)
- 87) Y. Takeda, S. Hizukuri and B. O. Juliano ; Purification and structure of amylase from rice starch, *Carbohydr. Res.*, 148, 299-308 (1986)
- 88) S. Nakamura, H. Satoh and K. Ohtsubo ; Development of formulae for estimating amylase content, amylopectin chain length distribution, and resistant starch content based on the iodine absorption curve of rice starch, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 79, 443-455 (2015)
- 89) S. Nakamura, H. Satoh and K. Ohtsubo ; Palatable and bio-functional wheat/rice products developed from pre-germinated brown rice of super-hard cultivar EM10, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 74, 1164-1172 (2010)
- 90) S. Nakamura, H. Satoh and K. Ohtsubo ; Characteristics of pregelatinized ae mutant rice flours prepared by boiling after preroasting ; *J. Agric. Food Chem.*, 59, 10665-10676 (2011)
- 91) X. Shu, L. Jia, H. Je, C. Li and D. Wu ; Slow digestion properties of rice different in resistant starch, *J. Agric. Food Chem.*, 57, 7552-7559 (2009)
- 92) 江崎秀男 ; 味噌の機能性成分、*生物工学会誌*、81、531-533 (2003)
- 93) A. S. Scalbert, I. T. Johnson, and M. Saltmarsh ; Polyphenols, antioxidants and beyond, *Am. J. Clin. Nutr.*, 81, 215S-217S (2005)
- 94) A. Scalbert, C. Manach, C. Morand, C. Remesy and L. Jimenez ; Dietary polyphenols and the prevention of diseases, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 45, 287-306 (2005)
- 95) P. Knekt, J. J. Kumpulainen, R. Jarvinen, H. Rissanen, M.

- Heliovaara, A. Reunanen, T. Hakulinen and A. Aromaa ;  
Flavonoid intake and risk of chronic diseases, *Am. J. Clin. Nutr.*, 76, 560-568 (2002)
- 96) M. Yamakura, K. Haraguchi, H. Okadome, K. Suzuki, T. Uyen, A. Horigane, M. Yoshida, S. Homma, A. Sasagawa, A. Yamazaki and K. Ohtsubo ; Effects of soaking and high-pressure treatment on the quality of cooked rice, *J. Appl. Glycosci.*, 52, 85-93 (2005)
- 97) 小田原誠、底押秀康、高橋 鍛、岡留博司、大坪研一 ; すし酢が酢飯の低温保存後のテクスチャーに与える影響、*日本食品科学工学会誌*、51、620-625 (2004)
- 98) 森高初恵、中西由季子、不破眞佐子、谷井涼子 ; 米飯の熱特性、感覚特性とグリセミックインデックスに及ぼす寒天の影響、*日本調理科学会誌*、45、115-122 (2012)
- 99) 飯塚幸澄、櫻井栄一、田中頼久 ; 自然発症糖尿病ラット (GK ラット) に対する桑葉の抗糖尿病作用、*薬学雑誌*、121、365-369 (2001)
- 100) K. Saito, T. Ito, T. Kuribayashi, K. Mochida, T. Nakakuki, M. Shibata and M. Sugawara ; Effect of raw and heat-moisture treated high-amylose corn starch on fermentation by the rat cecal bacteria, *Starch/Starke*, 53, 424-430 (2001)
- 101) 橋本和佳、松田秀人、高田和夫、吉田真琴、高橋健太、滝口俊男、斉藤 滋 ; 咀嚼とインスリン分泌に関する研究ーガム咀嚼後の経口ブドウ糖負荷試験ー、*日本咀嚼学会誌*、14、23-28 (2004)
- 102) 農林水産省 ; 平成 26 年度食品産業動態調査

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始変わらぬご指導をいただき、見守っていただきました、新潟大学大学院自然科学研究科 大坪研一 教授に、謹んで感謝申し上げます。また、多事に渡りご指導いただきました、副指導教員である新潟大学大学院自然研究科 西海理之 准教授、城斗志夫 准教授に、厚く御礼申し上げます。また、本論文を審査頂きました、清野誠喜 教授、元永佳孝 准教授、中井博之 准教授に感謝申し上げます。

多くのご助言と終始あたたかな励ましを賜り、研究を遂行する上で大きな支えとなりました、新潟大学大学院自然科学研究科 中村澄子 特任教授および食品製造学研究室の皆様、謹んで感謝申し上げます。

本研究に使用した北陸粉 243 号などをご提供いただきました、農業・食品産業技術総合研究機構 山口誠之 様、前田英郎 様、味噌浸漬処理に使用した無塩米麴味噌をご提供いただきました、石山味噌醤油株式会社 養田 副社長に、厚く御礼申し上げます。

また、業務と論文の作成において、終始多大なる便宜を図っていただきました、越後製菓株式会社 山崎彬 代表取締役会長に謹んで感謝申し上げます。研究の進行にご協力をいただきました、越後製菓株式会社 小林篤 取締役総合研究所所長、大原絵里 新規事業室室長、総合研究所 風間勇太様をはじめとする皆様、製造ラインでの試験サンプル製造にご協力いただきました、越後製菓株式会社 沼田工場の皆様、通常の業務の中で本研究に時間を割くことにご理解とご協力をいただきました、越後製菓株式会社 片貝工場の皆様に、厚く御礼申し上げます。

最後に、本研究は、以上の皆様をはじめ多くの方々のご支援、ご協力的なしには成し得なかったものであることを記し、末尾ながら、改めて各位に深甚なる謝意を表します。

2016年 3月

前田 聡