発芽玄米・発芽大麦混合利用による粉末の製造とその高血圧抑制効果[†]安井裕次[§], 鈴木啓太郎*, 岡留博司*, 奥西智哉*, 橋本勝彦, 大坪研一*

吉村穀粉株式会社

* 独立行政法人食品総合研究所

Preparation of Co-extruded Flours Using Germinated Brown Rice and Barley
and its Antihypertensive Effect

(Research on development for applications of germinated brown rice Part II)

Yuji Yasui[§], Keitaro Suzuki*, Hiroshi Okadome*, Tomoya Okunishi*,
Katsuhiko Hashimoto and Ken'ichi Ohtsubo*

Yoshimura Kokufun Co.Ltd., 2-1501, Fushiya, Nakagawa, Nagoya, Aichi 454-0996

* National Food Research Institute, 2-1-12, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

A mixture of germinated brown rice and germinated barley (A) and a mixture of germinated brown rice, germinated barley and beer yeast (B) were puffed using a twin-screw extruder to develop high bio-functional powders. Through extrusion under high-temperature and high-pressure, fine granular distribution of the extrudates and suppression of bacterial growth were available. An increase of fatty acidity during storage was inhibited and digestibility was enhanced. The extrudates A and B contained phytic acid, inositol, ferulic acid, and dietary fibers more than the germinated brown rice. In a feeding test using SHR rats, antihypertensive effects were shown in the extrudates B. As for a panel test of bread which contained 30% of the combined extrudate powder, extrudate A bread was significantly superior to the bread of 100% of flour in texture ($P < 0.05$) and sweetness ($P < 0.05$) of the products. Compared with germinated brown rice, the bio-functionality was significantly strengthened in the mixtures A and B.

(Received Mar. 29, 2004 ; Accepted Aug. 6, 2004)

我が国の米の1人当たりの消費量は、昭和37年をピークに以降一貫して減少している。具体的には、37年度には1人当たり年間118キログラムの米を消費していたが、平成14年度には、その半分近くの62キログラムにまで減少している。消費減少の要因としては、近年、食生活が多様化するとともに、食の欧米化が進んでいるためと推測される。その結果、栄養バランスが崩れることにより、生活習慣病が増大する傾向にある。そのため、米を中心とした日本型食生活の良さを見直すことが今まで以上に重要となっている。現在では、近畿、東海、関東、東北等、全国各地で米粉食品の利用推進協議会が設立され、米の用途拡大、新しい加工技術の開発が期待されている。

最近、新しい加工技術の開発により、高い機能性をもつ発芽玄米の消費が増加している。米胚芽を水に浸漬して発芽させることにより、酵素が一斉に活性化し、胚芽部分の

γ -アミノ酪酸 (γ -aminobutyric acid, 以下GABAと記述する) 含有量が高まり¹⁾、玄米の約2倍、白米の約10倍以上となる。GABAは、高血圧症予防、中性脂肪の増加の抑制、精神安定作用等の効果²⁾³⁾があるとされ、機能性成分として注目されている。しかし、発芽玄米には、菌の付着や米飯の外観、食感が硬いという物性上の欠点などが問題になる場合がある。

一方、大麦は、食物繊維を多く含み、その含有量は白米の約19倍⁴⁾である。一般には穀物が含む食物繊維は、不溶性の割合が高く、水溶性の割合が低いが、大麦の場合、両方をバランス良く含んでいる。水溶性食物繊維は、コレステロール⁵⁾や血糖値を下げる作用があるため、糖尿病や動脈硬化症、胆石症などの予防に効果があり、不溶性食物繊維は便の量を増やして便秘や大腸ガンを予防するなど、生活習慣病にさまざまな作用と効果のあることが報告されている。

ビール酵母は長年にわたる機能性研究により、ビタミンB1、B2、B6など、人体の生理機能を調整するビタミンB群や、成長に欠かせない必須アミノ酸、ミネラル、食物繊維

[†] 発芽玄米の新用途開発に関する研究 (第2報) (前報, 文献7))

〒454-0996 愛知県名古屋市中川区伏屋2-1501

* 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

[§] 連絡先 (Corresponding author), TEL : 052-301-7676

維に富むことが明らかにされた。生理機能に関する研究では、動物試験と臨床試験により栄養補給、胃腸機能の改善、貧血の改善、肝機能の改善、糖尿病、高脂血症の治療効果等が明らかにされてきた。また、ビール酵母を継続的に摂取することにより、血液中のインシュリン濃度が適正に保たれ、肥満予防効果があると報告されていることから⁶⁾、機能性食品の原料として注目が高まっている。

本研究の目的は、米および大麦を発芽させ、増加した機能性成分を互いに補い合いながら、さらに強化成分として粉末ビール酵母を加えて高温高压加工（膨化処理）を行うことにより、生理機能性、消化性および衛生性に優れた、多目的食品素材の製造技術を開発することにある。

実験方法

1. 試料の発芽処理

米は平成 15 年岐阜県産ハツシモ、大麦は平成 15 年に四国研究センター（裸麦育種研究室）で生産されたダイシモチを供試した。玄米 2.5 kg および大麦 1.5 kg をそれぞれ 0.1% 次亜塩素酸ナトリウム水溶液にて 30 分間浸漬殺菌した。水で十分洗浄した後、30℃ に制御した 120 L の水に浸漬した。浸漬水は玄米、大麦ともに 24 時間に 1 回全量交換を行った。発芽処理時間は玄米、大麦ともに 72 時間浸漬したものを使用した。

2. 水分調整

発芽処理後の玄米および大麦を十分に水で洗浄後、15℃ に設定をした環境試験室（三洋電機メディカシステムズ株式会社）にて乾燥を行い、水分含量は 10% から 13% の範囲で調整を行なった。試料の水分測定は、ハロゲン水分計（METTLER TOLEDO, HR73）により計測を行なった。

3. 試料調製

膨化処理に供試する試料として、水分調整を行った発芽玄米と発芽大麦および乾燥粉末ビール酵母（武田キリン株式会社製）を用いた。発芽玄米、はだか麦の加工特性の研究より良好な膨化物が得られたとの報告⁷⁾⁸⁾ および発芽玄米の GABA、イノシトール等、発芽大麦の食物繊維、総フェルラ酸等により両者を混合することによる生理機能性の強化を目的とし、発芽玄米、発芽大麦を 5:5 と配合した試料（以下、混合 A と記述する）と、発芽玄米にビール酵母を 10% 配合した試験⁷⁾ およびハトムギにビール酵母を 10%、15% 配合した予備試験⁹⁾ により、膨化性を損なわない結果を得ることが出来たため、発芽玄米、発芽大麦、乾燥粉末ビール酵母を 4.25:4.25:1.5 に配合した試料（以下、混合 B と記述する）の 2 種類を混合膨化原料として調製を行なった。

4. 膨化処理

膨化処理は 2 軸エクストルーダー（日本製鋼株式会社製、TEX30FC-18.5）にて実施した。本装置は内径 30 mm、長径比 L/D=18.5 の仕様で、径 4 mm のダイを使用した。

ハツシモ精米（搗精歩合 90%）、玄米、発芽玄米および混合 A、混合 B の 5 種類を原料として試験を行った。各原料は粉碎を行わず粒のまま投入した。膨化処理の操作条件は、バレル温度 150℃、スクリー回転速度 140 rpm、原料供給速度 100 g/min、圧力は 4.2 MPa で行なった。

5. 粉末試料の調製

精米、玄米等の原料および各膨化物の粉碎は、粉碎機（UDY, SFC-S1）により 1.0 mm スクリーンを用いて行なった。

6. 破断強度

各膨化物の強度試験をテンシプレッサー（タケトモ電機、TTP-50BX II）を用いて行なった。膨化試料を約 4.0 cm 長にカットし、厚み方向の硬さを評価した。ロードセルの負荷を 490.3 N（50 kgf）、V 型プランジャーを用いて圧縮速度は 2.0 cm/min とした。

7. 粒度分布

粉末の粒度分布は粒度分布測定装置（Coulter, LS）を用い、ドライモジュールにより乾式測定を行った。

8. 菌数の測定

検体の調製は粉末試料 10 g に滅菌水 100 mL を加え、1 分間攪拌したものを測定に用いた。

一般生菌数：標準寒天培地（日水製薬株式会社）23.5 g を精製水 1 000 mL に加温溶解し、121℃、15 分間高压蒸気殺菌を行ない、これを約 50℃ で保ち、検体を入れたシャーレに 20 mL 注入し、検体と混和、凝固させた。36℃、48 時間培養し、発現したコロニーの数をカウントした。

大腸菌群：デソキシコレート培地（日水製薬株式会社）45.0 g を精製水 1 000 mL に加温溶解し、検体を入れたシャーレに約 20 mL 分注し、検体と混和、凝固させた。36℃、24 時間培養し、コロニーの出現の有無を検討した。

9. 粘度測定

豊島らの方法¹⁰⁾ で、粘度特性試験を行った。ラピッド・ビスコ・アナライザ RVA（Newport Scientific 社）により粘度曲線として求めた。使用試料量は、3.5 g（水分含量 14% 換算）で、水 25 mL を添加して試験を行った。測定時間は、18.8 分間とした。温度条件は、初期温度を 30℃ にて 1 分間保持、加熱条件は、30~93℃ まで、3.9 分間とし、93℃ にて 7 分間保持した。冷却条件は、93~30℃ まで 3.9 分間、最終温度では、30℃ で 3 分間保持と設定した。

10. 人工消化試験¹¹⁾

粉末試料 5 g に 40℃ の水を加えて全量を 100 g とし、よく混合したものを試料とした。試料 100 g を 3 mol/L 塩酸にて pH 2.0 に調整し、ウォーターバス中で 37℃ に予熱後、ペプシン溶液（100 mg/10 mL）2.5 mL を加え、37℃ で 30 分間インキュベートした。次に、3 mol/L 水酸化ナトリウムで pH 7.1 に調整し、37℃ に予熱後パンクレアチン溶液（30 mg/mL、遠心分離後の上澄み液）2.5 mL を加えた。パンクレアチン添加前および添加後 5、15、30、60 分に反

応液 1 mL を試験管に採取し、直ちに沸騰湯浴中に 10 分間つけて反応を停止させた。エタノールを終濃度 50% となるように加えて、18 時間冷蔵庫に保存した。保存後、遠心分離を行い、上澄み液を適度に希釈して、その中に含まれる還元糖をソモギ-ネルソン法によりグルコースとして測定し、希釈倍率を乗じて粉末試料 1 g から生成される還元糖量を求めた。

11. 保存試験（貯蔵試験）

温度 28℃、湿度 75% に所定期間貯蔵した玄米粉および膨化粉末の脂肪酸度を、大坪らの比色法¹²⁾に準拠して測定した。

12. 遊離アミノ酸分析

各試料の遊離アミノ酸含量の測定は、試料 0.5 g に 4% スルホサリチル酸水溶液 2.5 mL、エタノール 2.5 mL をそれぞれ加え、2 分間攪拌した後、遠心分離を行った。その上澄み液を 0.2 μm のフィルターを通し抽出液とした。抽出液をアミノ酸自動分析計（日立、L-8500A）により測定を行った。

13. 成分分析

粉末試料の水分含量は加熱乾燥法（135℃、1 時間）、タンパク質含量は燃焼法（窒素・蛋白質分析装置、LECO 社 FP-528 型）により測定を行った。窒素-たんぱく質換算係数は 5.95、大麦は 5.83 を用いた。脂質は酸分解法、灰分は直接灰化法、糖質は水分、タンパク質、脂質、灰分および食物繊維を 100 より減じて求める減算法、フィチン酸はバナドモリブデン酸吸光光度法、イノシトールは微生物定量法、オリザノール及び総フェルラ酸は高速液体クロマトグラフ法、食物繊維は酵素-重量法により測定した。

14. 動物試験および飼育条件

(1) 血圧試験

6 週齢の高血圧自然発症ラット、雄を実験に供試した。投与飼料は、膨化精米粉、膨化発芽玄米粉、混合膨化粉 B をそれぞれ正常食（AIN-76）に 20% 置換したものとした。

動物入荷後、1 週間正常食（AIN-76）で予備飼育の後、試験対象物投与前日に体重および血圧測定を行い、各々有意差の無いように膨化精米粉群 6 匹、膨化玄米粉群 6 匹、混合膨化粉 B 群 6 匹に分けて行なった。血圧測定は、ラットをホルダーに固定し、38℃±1℃ に保温した状態で tail cuff 法により尾動脈収縮期血圧を測定した。室温 23±2℃、湿度は 55±10%、12 時間の明暗サイクルの環境下で個別のステンレス製代謝ケージを用い 28 日間飼育した。飼料および水は自由摂取とし、投与期間中は、7 日毎に体重、摂餌量を測定し、0、14、28 日目に血圧測定を行った。血圧測定は、群分け時と同様の測定法を用いた。

(2) 肥満試験

5 週齢の SD ラット、雌を実験に供試した。投与飼料は、血圧試験と同様のものを使用し、各群 6 匹で行った。

動物入荷後、予備飼育、群分けの後、卵巣摘出手術

（OVX）を行なった。OVX 処置後 1 週間後から各膨化粉末置換 20% の飼料を投与した。投与期間中 7 日毎、体重、摂餌量の測定を行った。28 日間の投与終了後、解剖を行ない、体脂肪重量（後腹壁脂肪、腸管膜脂肪、腎周囲脂肪、卵巣周囲脂肪）を測定した。

15. パンおよび和菓子の試作

パンの試作では、全量小麦粉を用いたパンの製法を基準として、各膨化粉末、玄米、発芽玄米、混合 A、混合 B をそれぞれ 30% 配合した 4 種類のパンを以下のように調製した。小麦粉または配合粉 290 g に上白糖 16 g、脱脂粉乳 6 g、食塩 5 g、無塩マーガリン 20 g、ドライイースト 3 g、水 231 mL を加え混合し、パン自動焼成機（象印マホービン株式会社、自動ホームベーカリー、パンくらぶ BB-GA 15）にて行なった。

和菓子の試作では、小麦まんじゅう粉（吉村穀粉株式会社）を基準とし、玄米、発芽玄米、混合 A、混合 B の各膨化粉末をそれぞれ 20% 配合し、以下のように調製した。小麦まんじゅう粉または各膨化粉末配合粉 100 g に上白糖 70 g を加え良く混合し、水 44 mL を加え再度混合した。その後、30 分間冷蔵庫にて生地をねかし、餡 30 g、生地 15 g で包あんし、8 分間蒸した。

16. 官能検査

試作した各種パンおよび和菓子を評点法により官能検査を行なった。検査項目は外観、生地の色、食感、香り、甘さ、総合評価の 6 項目について評価を行なった。小麦粉 100% のパン、和菓子では、小麦まんじゅう粉を基準とし、甘さの評価については、強い-弱いについて、他の項目については良い-悪いの評価をそれぞれ-3 から +3 の範囲で評価を行なった。パンのパネルは男女計 17 名、和菓子のパネルを男女計 14 名で行った。

実験結果および考察

1. 膨化原料の水分調整

発芽玄米および発芽大麦は発芽処理時における浸漬のため、水分含量が高くなる。このため、水分調整を行った。ハトムギ¹³⁾やソルガム¹⁴⁾は 15% 以下の水分で良好な膨化性を示したと報告されており、本実験においても 10% から 13% の範囲で調整を行なった。水分調整時温度については、鈴木らの報告⁷⁾より、100℃、40℃、15℃では、水分調整時温度の差により、GABA 含量が異なり 15℃が最も多かった。また、乾燥温度 100℃では粒子表面の多くが黒褐色や茶褐色に変色し、40℃の条件では発酵臭が感知されたことから、本実験においても発芽玄米および発芽大麦を 15℃にて水分調整を行った。

2. 膨化物の特性

(1) 外観および水分

図 1 に玄米、発芽玄米、混合 A（発芽玄米・発芽大麦）、混合 B（発芽玄米・発芽大麦・ビール酵母）を原料とした

図 1 膨化物の外観

各膨化物の外観を示した。また、表 1 に各膨化物の一般成分および特性の測定結果を示した。各膨化物の水分は 5% から 8% の範囲であった。処理温度 150℃ での押し出しにより、玄米では直径 11.0 mm、発芽玄米は直径 10.5 mm、混合 A は直径 9.7 mm、混合 B では直径 6.7 mm となった。二軸エクストルーダーにより、膨化物を得るには、処理温度が大きな要因の 1 つとして上げられる¹⁵⁾。本実験では良好な膨化物を試作することが出来た。

(2) 破断強度

表 1 に破断強度の測定結果を示した。発芽玄米、混合 A が同値で 5.6 kgf と高く、ビール酵母を添加した混合 B は 3.8 kgf と最も低い値となった。混合 B の膨化物は、ビール酵母を 15% 配合しているために、澱粉含量が低下しており、これによって、もろくなったものと考えられる。玄米、発芽玄米、混合 A はスナック食品様食感でそのまま食することも可能と思われる。5 種類の膨化物中では、混合 B が香ばしいかおりが強かった。この要因として、混合 B は他の膨化物と比較して、遊離アミノ酸や食物繊維が増加しているため、アミノカルボニル反応等により、焼成が進みやすい性質のものと考えられる。

3. 膨化粉末

(1) 粒度分布

大麦の胚乳部には、澱粉粒を取り囲むように食物繊維に覆われており、微粉化が困難とされている。大麦の粒度分布は 10~35 μ m 前後の画分と 80~300 μ m の 2 つの異なる群から構成され、一様な分布ではなかった。10~35 μ m 前後の画分は澱粉粒子で、80~300 μ m は粉碎されなかった細胞片画分であると報告されている¹⁶⁾。図 2 に玄米、発芽玄米、混合 A、混合 B、それぞれの膨化前、膨化後の粒度分布の測定結果を示した。膨化前の発芽玄米の平均粒径は 124.5 μ m であるのに対し、膨化後では 117.6 μ m であった。また、混合 B では膨化前の平均粒径は 107.6 μ m に対し、膨化後では 97.7 μ m と膨化粉末の中では、最も細かく粉碎された。膨化前と膨化後の各膨化粉末の粒度分布を比較すると玄米、発芽玄米、混合 A、混合 B とともに粗い粒径の体積が減少し、粒径の細かい部分へと移行し、微粉化してい

表 1 膨化物の一般成分および特性

	玄米	発芽玄米	混合 A	混合 B
水分含量 (g/100 g)	5.5	8.1	7.2	6.1
タンパク質 (g/100 g)	6.7	6.6	9.6	15.4
脂質 (g/100 g)	3.3	3.6	3.3	3.1
灰分 (g/100 g)	2.9	1.6	1.3	1.3
糖質 (g/100 g)	78.1	74.9	66.5	62.8
食物繊維 (g/100 g)	3.5	5.2	12.1	11.3
直径 (mm)	11.0	10.5	9.7	6.7
破断強度 (kgf)	4.0	5.6	5.6	3.8

水分含量；加熱乾燥法により測定

タンパク質；燃焼法

脂質；酸分解法

灰分；直接灰化法

糖質；水分、タンパク質、脂質、灰分および食物繊維を 100 より減じて求める減算法。

食物繊維；酵素-重量法

直径；膨化製品の直径

破断強度；テンシプレッサーにより測定

た。

(2) 粘度特性

膨化前および膨化後の粘度曲線を図 3 に示す。大麦の粘度が低いのは、モチ性品種のためと推測される。膨化後は、5 種類の試料ともに、ほとんど粘度の上昇を示さなかった。これは、澱粉が膨化処理によってほぼ完全に糊化し、大部分が可溶化しているためと思われる。鈴木ら⁷⁾の結果とも一致している。

(3) 消化試験

図 4 に膨化前試料（米、大麦）および膨化試料の消化試験の測定結果を示す。本試験に供試した発芽玄米は、玄米よりも精米に近い消化性を示している。これは、発芽処理を施すことにより、外皮が柔らかくなり、澱粉が少糖類に分解されるため発芽玄米は玄米に比べ消化性が良くなるものと考えられる。また、大麦もモチ性裸麦のため、消化性がよく、発芽処理を施すことにより発芽玄米と同様に消化性が向上しているものと推測される。各膨化試料は、精米よりもさらに消化性が良くなっていることが明らかになっ

た。

(4) 菌数検査

表 2 に膨化前・後の一般生菌数および大腸菌群の測定結果を示した。膨化前試料では、玄米、大麦とも発芽処理を行なうことにより、一般生菌数が増加した。他の原料と比較しても発芽玄米の 9.6×10^5 (cfu/g) が最も高かった。大腸菌群では、精米、玄米、大麦とも陽性であった。発芽玄米および発芽大麦が陰性の理由では、発芽処理時に 0.1%

次亜塩素酸ナトリウム水溶液にて浸漬を行なったためと考えられる。各膨化粉末の一般生菌数は、全て 300 未満であり、大腸菌群も全て陰性という結果となり、膨化粉末の安全性を証明する結果を得た。

(5) 保存試験

温度 28℃、湿度 75% に 40 日間貯蔵した玄米粉および膨化粉末の脂肪酸度の変化および水分の変化を図 5 に示す。玄米粉の場合、貯蔵中に脂肪酸度が著しく増加するが、

図 2 膨化粉末の粒度分布

図 3 粘度曲線

図 4 膨化前および膨化後の消化試験

表 2 原料および膨化粉末の菌数測定

試料名	一般生菌数 (cfu/g)	大腸菌群
精米粉	3.8×10^3	+
玄米粉	8.8×10^4	+
発芽玄米粉	9.6×10^5	—
大麦粉	3.2×10^4	+
発芽大麦粉	8.3×10^5	—
粉末ビール酵母	2.5×10^3	—
混合 A	7.3×10^5	—
膨化精米粉	< 300	—
膨化玄米粉	< 300	—
膨化発芽玄米粉	< 300	—
混合膨化粉 A	< 300	—
混合膨化粉 B	< 300	—

一般生菌数；標準寒天培地，36℃，48 時間培養後の生菌数。

大腸菌群；デソキシコレート培地，36℃，培養後のコロニー出現の有無。

各膨化粉末の場合は増加が極めて緩やかである。これは、膨化処理によってリパーゼが失活し、脂質の酵素分解が抑制されたためと考えられる¹⁷⁾。膨化処理により脂肪酸度の増加が抑制されることが判った。水分変化では、膨化粉末は澱粉が糊化しているため吸湿性が強く、その特性に応じた包装および保管が必要と考えられる。

4. 膨化粉末の成分特性

(1) 膨化処理によるγ-アミノ酪酸含量

表 3 に乾物 100 g あたりの膨化前後の GABA 含量を示した。GABA は米胚芽に多く含まれ、血圧降下作用、脳機能改善作用等が報告されている³⁾。本実験に供試した発芽玄米は市販されているものと比較すると、約 5 倍の GABA を含んでいた。発芽玄米の 50.5 mg に対し、混合 A が 53.8 mg、混合 B では 64.9 mg とさらに多く含んでいた。膨化後の GABA 含量は、玄米では 1.62 mg、発芽玄米では 51.7 mg、混合 A および混合 B では 47.8 mg となった。膨化処理による著しい減少の変化は見られず、高含量を保持していた。

(2) フィチン酸およびイノシトール含量

表 4 にフィチン酸およびイノシトール含量の測定結果を示した。フィチン酸には尿路結石、腎結石などの予防、抗がん作用、また、イノシトールには肝脂肪、動脈硬化予防、カルシウム吸収促進効果等が報告されている³⁾。発芽大麦には、フィチン酸が多く含まれている。混合膨化 A には 746 mg、混合膨化 B では 748 mg と発芽玄米 613 mg と比較して 100 mg 以上多く含まれていた。イノシトールでも同様に、発芽玄米の 206 mg と比較して、混合膨化 A では 279 mg、混合膨化 B の 284 mg とさらに多く含まれていた。

(3) オリザノール、フェルラ酸含量

表 4 にオリザノール、フェルラ酸含量の測定結果を示した。オリザノールには自律神経失調症、更年期障害等の医療品原料として、また、皮膚の老化防止等などがあり、最近では、高温での抗酸化作用、血中コレステロールの低下作用を利用した食品の用途が拡大している³⁾。フェルラ酸は老化・発ガンの防止、抗菌作用が報告されている。発芽玄米には、オリザノールが 36.5 mg と多く含まれ、発芽大麦には 1.5 mg しか含まれていない。発芽玄米と膨化発芽玄米との比較では、膨化後では約 40% に減少した。混合膨化 A には 8.7 mg、混合膨化 B では 10.8 mg であった。発芽大麦単体と比較すると多く含まれている。フェルラ酸は、発芽大麦に多く含まれている。膨化発芽玄米の 53 mg に比べて混合膨化 A には 92 mg、混合膨化 B では 83 mg と高い含量を示した。

(4) 食物繊維

表 4 に食物繊維の総量（水溶性、不溶性）の測定結果を示した。食物繊維は、大腸癌予防、糖尿病予防などの効果が報告されている。発芽大麦の食物繊維は水溶性、不溶性

図 5 貯蔵中の脂肪酸度および水分含量の変化

表 3 膨化前・膨化後の GABA 含量

	GABA 含量 (mg/100 g)	
	膨化前	膨化後
精米	0.6	0.5
玄米	1.1	1.6
発芽玄米	50.5	51.7
混合 A	53.8	47.8
混合 B	64.9	47.8

アミノ酸自動分析計（日立、L-8500A）により測定。

とバランス良く含まれている。総量での比較では発芽玄米の 3 倍以上になる。混合膨化 A では 12.1 g, 混合膨化 B には 11.3 g 含まれており、ともに発芽玄米と比較し、約 2 倍以上多い。また、膨化発芽玄米では、水溶性食物繊維 0.6 g, 不溶性食物繊維 4.6 g に対し、混合膨化 A および混合膨化 B は、水溶性・不溶性とバランス良く含まれている。混合膨化製品は、膨化発芽玄米に比べて食物繊維が強化されていると言える。

5. 動物試験

(1) 高血圧試験

表 5 に体重の推移を示し、図 6 には 0, 14, 28 日目の収縮期血圧測定の結果を示した。試験期間中の高血圧自然発

症ラットの体重推移では、膨化精米粉 20% 置換との比較では膨化発芽玄米粉 20% 置換で 21 日目 ($P < 0.05$), 混合膨化粉 B20% 置換で 7, 14, 21, 28 日目 ($P < 0.05$) に有意に低い値を示した。また、摂餌量には有意差は認められなかった。収縮期血圧測定は、膨化精米粉 20% 置換との比較に対し、28 日目に膨化発芽玄米粉 20% 置換 ($P < 0.05$), 混合膨化粉 B20% 置換 ($P < 0.01$) で有意差を示した。高血圧抑制と関わりがあるとされているコレステロールの上昇抑制作用は、食物繊維の中でも、水溶性食物繊維の穀物ガム質といわれている。とくに大麦の食物繊維には、この穀物ガム質が多く含まれている。混合膨化粉 B20% 置換では、発芽大麦を混合することにより水溶性食物繊維が増加した効果と考えられる。膨化発芽玄米粉および混合膨化粉 B は、高血圧抑制作用を有することが明らかになった。

(2) 肥満試験

表 6 に体重の推移を示し、図 7 に体脂肪量の結果を示した。試験期間中の体重および摂餌量の推移では有意差は認められなかった。体脂肪量では、膨化精米粉 20% 置換と比較し、膨化発芽玄米粉 20% 置換、混合膨化粉 B20% 置換では、有意差は認められなかった。

乾燥ビール酵母を、5% 添加した飼料と通常の飼料で飼

育したマウスの16ヶ月間の比較調査では、雌では試験開始2ヶ月頃より、雄では4ヶ月頃より酵母を与えた群の体重増加が鈍化し、雌においては2ヶ月目から4ヶ月目にかけての内臓脂肪量の急激な増加が酵母の摂取により軽減されたという報告がある⁶⁾。今後は長期にわたる動物評価が必要であると考えられる。

6. 膨化粉末配合のパンおよび菓子

(1) 性 状

図8に試作した食パンの断面図を示した。パンの外観では、膨化発芽玄米および混合膨化Aは小麦粉100%と比較し、若干見劣りするものの良好な結果が得られた。混合膨化Bは、全体のデンプン量の減少により膨らまなかったと推測される。断面の比較では、各膨化粉末配合パンは気泡が多く、生地が粗く感じられた。

(2) 成分分析

表7に食パンの遊離アミノ酸含量の測定結果を示した。

表 4 原料および膨化粉末の機能性成分

	発芽玄米	発芽大麦	膨化精米粉	膨化発芽玄米	混合膨化 A	混合膨化 B
フィチン酸 (mg/100 g)	613	969	32	674	746	748
イノシトール (mg/100 g)	206	378	42	207	279	284
オリザノール (mg/100 g)	36.5	1.5	検出せず	14.2	8.7	10.8
総フェルラ酸 (mg/100 g)	54	130	11	53	92	83
食物繊維総量 (g/100 g)	5.1	19.1	0.8	5.2	12.1	11.3
水溶性食物繊維 (g/100 g)	0.6	6.8	0.5 未満	0.6	3.8	4.0
不溶性食物繊維 (g/100 g)	4.5	12.3	0.8	4.6	8.3	7.3

各種生理機能性成分を本文、13「試料および実験方法」の方法で測定。

混合膨化 A；発芽玄米と発芽大麦を1：1に配合して混合膨化。

混合膨化 B；発芽玄米 4.25，発芽大麦 4.25，ビール酵母 1.5 に配合して混合膨化。

表 5 高血圧試験による体重の推移

(g)

投与日数		0	7	14	21	28
		SD	SD	SD	SD	SD
膨化精米粉 20% 置換	(n=6)	123.2±11.30	216.6±26.49	283.5±14.97	322.6±17.61	340.7±16.07
膨化発芽玄米粉 20% 置換	(n=6)	124.4± 8.08	192.6±14.26	271.3±13.80	308.2±14.99	322.1±17.12
混合膨化粉 B20% 置換	(n=6)	124.6± 9.25	186.3±13.52*	260.4±10.50*	302.6± 6.61*	317.0± 5.99*

6週齢の高血圧自然発症ラット各6匹での飼育試験結果。

膨化精米に対する有意差*：p<0.05

図 6 収縮期血圧の推移

投与 28 日目による膨化精米に対する有意差 *：p<0.05，**：p<0.01

表 6 肥満試験による体重の推移

(g)

投与日数		0	7	14	21	28
		SD	SD	SD	SD	SD
膨化精米粉 20% 置換	(n=6)	194.6± 8.21	212.7±7.80	230.5±8.13	244.6±8.21	254.1±7.97
膨化発芽玄米粉 20% 置換	(n=6)	197.3±10.18	216.9±8.53	231.9±9.77	249.4±9.81	266.8±8.56
混合膨化粉 B20% 置換	(n=6)	191.0± 7.31	216.1±6.86	230.6±6.58	245.4±7.07	266.8±7.71

5 週齢の SD ラット各 6 匹での飼育試験結果.

図 7 体脂肪の変動

小麦粉

玄米 30% 配合

発芽玄米 30% 配合

混合 A 30% 配合

混合 B 30% 配合

図 8 膨化粉末配合パンの外観

混合膨化 A30% 配合パンと混合膨化 B30% 配合パンは、小麦粉パンおよび膨化玄米 30% 配合パンに比べ GABA が約 3 倍以上の含量で、発芽および混合膨化の効果が確認された。

呈味関連の成分とし、グルタミン酸（旨み）、アスパラギン酸（旨み）、グリシン（甘み）、アラニン（甘み）を測定した。小麦粉パン、膨化玄米 30% 配合パン、膨化発芽玄米 30% 配合パン、混合膨化 A30% 配合パンでは、各呈味成分に大きな変化は現れなかったが、混合膨化 B30% 配合パンでは、各呈味成分の増加が確認され、中でもアラニン（甘み）が多く含まれていた。

(3) 官能検査

図 9 に食パンの官能検査の結果を示した。小麦粉パンとの比較では、発芽玄米 30% 配合パンでは、甘味があり ($P < 0.05$)、食感が良く ($P < 0.05$)、総合評価においても有意に優れていた ($P < 0.05$)。混合膨化 A30% 配合パンでは、

食感 ($P < 0.05$) と甘さ ($P < 0.05$) が有意に優れていた。

混合膨化 A30% 配合パンの外観は若干見劣りするものの、GABA 含量は約 3 倍以上の含量であり、食味、食感はきわめて良好であった。混合膨化 B30% 配合パンは、外観および官能検査の結果、小麦粉パンに比べて劣るものの、GABA 含量では約 3 倍以上、さらに各呈味成分の増加が確認された。これらのことから、混合膨化粉末 A は、一般のパン用粉として充分利用可能と考えられる。混合膨化粉末 B は、一般用では困難であるが、高齢者食、病態食に使用できる可能性があると思われる。

各膨化粉末 30% 配合パンは、小麦粉に比べ柔らかく、しっとりとした食感という評価を得ることが出来た。

図 10 に、和菓子（まんじゅう）の官能検査の結果を示した。混合膨化 B20% 配合の和菓子は、香りが良く ($P < 0.05$)、食感 ($P < 0.05$) で有意に優れていた。

以上の結果より、高温高压加工により微粒粉碎が可能と

表 7 食パンの遊離アミノ酸含量

	小麦粉	膨化玄米	膨化発芽玄米	混合膨化 A	混合膨化 B
GABA	3.1	0.3	11.6	11.1	11.7
グルタミン酸	14.1	13.2	11.6	11.0	39.2
グリシン	3.3	2.9	3.1	3.5	10.6
アラニン	22.5	24.5	26.1	21.5	223.2
アスパラギン酸	2.2	2.7	1.9	2.2	31.7
合計	45.3	43.5	54.3	49.3	316.4

アミノ酸自動分析計（日立、L-8500A）により測定。

図 9 食パンの官能検査結果

図 10 和菓子の官能検査結果

なり、殺菌効果作用、脂肪酸度の増加抑制による品質保持、消化性向上による品質の向上が認められた。また、発芽玄米・発芽大麦・ビール酵母の混合膨化粉末は、玄米および発芽玄米よりも機能性成分が強化され、食味も良好な素材であることが明らかになった。米の用途拡大において、発芽後の混合膨化処理粉砕は有用な製造技術であることが確認された。

本研究により開発された機能性成分に富んだ米・大麦・酵母混合膨化粉末は、高血圧抑制作用が確認され、米・大麦混合膨化粉末の用途として、パン用粉、和菓子用原料粉等に利用が可能と考えられる。

要 約

発芽玄米および発芽大麦を配合した混合 A、また、発芽玄米、発芽大麦さらにビール酵母を加えた混合 B を 2 軸エクストルーダーにより膨化処理を行った。生理機能性および消化性に優れた多目的食品素材の開発を試みた。得られた結果は以下の通りである。

(1) 混合膨化 B の膨化粉末では、粒径が膨化前 107.6 μm に対し、膨化後では 97.7 μm となり、各膨化粉末は粗い粒径の体積が減少し、粒径の細かい部分へと移行した。

(2) 発芽処理工程により、発芽玄米および発芽大麦の一般生菌数が多くなるが、膨化処理により 300 (cfu/g) 未満となり、大腸菌群も検出されなくなった。

(3) 発芽玄米、混合 A、混合 B の膨化粉末は、精米粉よりも消化性が優れていることが確認された。

(4) 膨化処理により、脂質の分解が抑制されることによ

り脂肪酸度が増加しなかった。

(5) 各混合膨化製品は、膨化発芽玄米と比べてフィチン酸、イノシトール、フェルラ酸、食物繊維を多く含有していた。

(6) 高血圧自然発症ラットを用いた血圧試験では、投与日数 28 日目において、膨化精米粉 20% 置換に対し、膨化発芽玄米粉、混合膨化粉 B が有意に低い値を示した。膨化発芽玄米粉、混合膨化粉 B は高血圧抑制作用を持つことが明らかになった。

(7) 官能検査においては、混合膨化 A30% 配合パンは、小麦粉パンと比較し食感 ($P < 0.05$) と甘さ ($P < 0.05$) で有意に優れていた。各膨化粉末 30% 配合パンは、小麦粉に比べ柔らかく、しっとりとした食感という評価を得ることが出来た。また、和菓子の官能検査では、混合膨化 B20% 配合は、小麦まんじゅうとの比較で香り ($P < 0.05$)、食感 ($P < 0.05$) で有意に優れていた。いずれも食品として高い評価が得られた。

本研究は、農林水産省総合食料局「平成 15 年度米加工品新技術研究開発事業」の一部で実施されたものである。

本研究を進めるにあたり、試験用エクストルーダーを使用させて頂きました独立行政法人 食品総合研究所 製造工学研究室室長 五十部誠一郎博士、機能性成分の分析に御協力頂きました財団法人 日本食品分析センターに感謝致します。

文 献

- 1) 三枝貴代, 堀野俊郎, 森 隆, 水浸漬時の米胚芽での γ -アミノ酪酸 (Gaba) の激増, 中国農業試験場研究成果情報 (1993).
- 2) 大坪研一, 穀類中の栄養機能性成分の特長と利用の可能性, FOOD Style 21, **6**, 44-47 (2002).
- 3) 築野卓夫, 米糠・米油の市場動向について, 食品加工技術, **22**, 1-11 (2002).
- 4) 科学技術庁資源調査会, 五訂日本食品標準成分表, 30-31 (2000).
- 5) 高瀬幸子, 栗原長代, 道喜美代, 穀類, 特に大麦の血漿コレステロールに及ぼす影響, 栄養と食料, **23**, 426-429 (1970).
- 6) 安江正明, ビール酵母の肥満予防効 BIOINDUSTRY, **20**, 38-43 (2003).
- 7) 鈴木啓太郎, 岡留博司, 奥西智哉, 中村澄子, 大坪研一, 発芽玄米の2軸エクストルージョンによる食品素材化, 食科工, **50**, 474-482 (2003).
- 8) 進藤三幸, 相原 宏, はだか麦あられの油ちょう膨化特性, はだか麦の利用加工技術の確立研究, 愛媛県工技研究報告, **26**, 43-49 (1988).
- 9) 大坪研一, 岩崎哲也, ハトムギ・酵母混合膨化製品の品質について, 日食工誌, **37**, 144-147 (1990).
- 10) 豊島英親, 岡留博司, 大坪研一, 須藤 充, 堀末 登, 稲津 脩, 成塚彰久, 相崎万裕美, 大川俊彦, 井ノ内直良, 不破英次, ラピッド・ビスコ・アナライザーによる米粉粘度特性の微量迅速測定方法に関する共同試験, 食科工, **44**, 579-584 (1997).
- 11) 新原律子, 三好華世, 粥および米飯のテクスチャーとデンプンの消化性, 高知大学教育学部研究報告第3部, **55**, 1-14 (1997).
- 12) 大坪研一, 柳瀬 肇, 石間紀男, 比色法による米の脂肪酸度測定, 貯蔵による米の品質変化と Duncombe 法を改良して測定した脂肪酸度との関係について, 食品総合研究所研究報告, **51**, 59-65 (1987).
- 13) 大坪研一, 柳瀬 肇, 橋本勝彦, 豊島英親, 戸谷昭夫, ハトムギの膨化性およびその改良, 日食工誌, **31**, 596-603 (1984).
- 14) 大坪研一, 柳本正勝, 柳瀬 肇, ソルガムの膨化とその改良, 日食工誌, **35**, 321-326 (1988).
- 15) 五十部誠一郎, 野口明德, 2軸エクストルーダーによる食品素材の製造, 日食工誌, **34**, 456-461 (1987).
- 16) 金井政人, 楠正 敏, 大麦粉の分級処理による高食物繊維画分の分取条件, 新潟県食品研究所研究報告, **31**, 9-13 (1996).
- 17) 大坪研一, 柳瀬 肇, 膨化ハトムギの性状について, 日食工誌, **32**, 101-107 (1985).

(平成 16 年 3 月 29 日受付, 平成 16 年 8 月 6 日受理)