

Process for Producing Brown Rice with Increased Accumulation of GABA Using High-pressure Treatment and Properties of GABA-increased Brown Rice

(Received September 24, 2004 ; Accepted November 15, 2005)

Akihiko Sasagawa,^{1,*} Yumiko Naiki,² Seiichi Nagashima,²
 Miho Yamakura,² Akira Yamazaki² and Akifumi Yamada¹

¹Nagaoka University of Technology (1603-1, Kamitomioka-machi, Nagaoka 940-2188, Japan)

²Research Institute, Echigoseika Co., Ltd. (1003-1, Takanashi-machi, Ojiya 947-0193, Japan)

Abstract: Brown rice is commonly considered to have an effect on various diseases including life-style related diseases. Pre-germinated brown rice is characterized by its easier cooking properties and better taste after cooking when compared with normal brown rice. Because of the rich content of gamma-aminobutyric acid (GABA) in brown rice, which can prevent the increase of blood pressure, the market for brown rice is now growing. However, the taste of the cooked pre-germinated brown rice is still unsatisfactory because of the peculiar smell. We performed a study aimed at establishing a processing method for obtaining a brown rice product with more GABA accumulation than in the commercially available brown rice products by introducing a high-pressure treatment. The result was that the content of GABA in the obtained brown rice is higher than that in the commercially available brown rice products and the functional components such as ferulic acids and oryzanol are also retained. Further, such brown rice with increased GABA accumulation was found to be digested more quickly than the commercially available brown rice products when those cooked rice products were evaluated by the artificial digestion method. The GABA-increased brown rice was also found to compare favorably with commercially available normal brown rice in terms of taste after cooking.

Key words: GABA, brown rice, high-pressure treatment

圧力処理を利用した GABA 富化玄米の製造とその特徴

笹川秋彦^{1,*}, 内木由美子², 長島誠一², 山倉美穂², 山崎 彬², 山田明文¹

¹長岡技術科学大学大学院 (940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)

²越後製菓株式会社総合研究所 (947-0193 小千谷市高梨町 1003-1)

一般に、玄米には便秘解消、コレステロール低下、がん予防、ダイエット、血圧降下、ボケ予防、美肌効果、美髪効果、自然治癒力、血管・内臓の若返り促進など、生活習慣病を含めたさまざまな効果があるといわれている¹⁾、しかし、森山ら¹⁾は、2712人を対象に玄米に対する意識調査を行ったところ、「玄米が体に良い」と意識しながらも「おいしくない」ということを理由に、日常は「精白米」を食べている人がほとんどであるという結論に達している。

一方、発芽玄米は、玄米に比較して炊飯が容易で、食べやすいという特徴があり、血圧上昇を抑制する作用のあるγ-アミノ酪酸 (GABA) や便通に効果のある食物繊維が多く含まれており、発芽玄米の市場は拡大傾向にある²⁾。なお、発芽玄米は酵素活性が高い時期に生化学反応を停止させ、生成した機能性成分や栄養分等を米粒内に留めたものであるが、精白米に比べ、硬さ、粘り、臭い、食感等がやや劣るとの指摘がある³⁾。また、発芽工程では、30°Cで約48時間程度の浸漬を必要とするため^{2,4)}、除菌または殺菌を目的とした微生物の制御法が検討されている⁴⁾。

GABAは血圧降下作用のほかに、脳の新陳代謝促進作用、精神安定作用、腎機能改善作用に効果がある物質としても近年注目され始めている⁵⁾。GABAを増強した食品として、茶葉を嫌氣的に処理した「ギャバロン茶」が市販されている⁶⁾。また、乳酸菌により乳タンパク質中のグルタミン酸からGABAを生成させたはっ酵乳製品⁷⁾等があり、さらにカボチャにグルタミン酸を添加したGABA高含有素材の製造法とその生理効果の確認がなされている⁸⁾。また、コメ胚芽中のGABA蓄積に及ぼす有機溶媒脱脂の影響も検討され、脱脂後の水浸漬操作により、多量のGABA蓄積が期待できることを見出し⁸⁾、GABA富化コメ胚芽が製品化された⁹⁾。

発芽処理によりGABA含量を高めた発芽玄米が数社から市販されている¹⁰⁾が、上述したように、食味が若干劣るとの指摘がある。そこで、杵淵ら^{11,12)}は、玄米に400 MPaの圧力処理を施すことで、吸水が早く、一般生菌数が10 cfu/g、GABAの蓄積量が原料玄米の約2倍である加工玄米を得ることに成功している。しかし、この加工法は浸漬水にGABAが溶出するため、浸漬水と玄米と一緒に乾燥させなければならないこと、および発芽玄米に比べてGABAの蓄積量が少ないことが短所として挙げられる。

*Corresponding author (Tel. +81-258-83-3288, Fax. +81-258-83-4479, E-mail: kenkyu@echigoseika.co.jp).

本研究では、圧力処理を利用した既報^{11,12)}の加工法を改良し、玄米を発芽させずに GABA の蓄積量を増加させる「GABA 富化加工法」を確立し、若干の知見を得たので報告する。

実験方法

1. 試料米

原料米には平成 14 年新潟県産コシヒカリの玄米を用いた。無搗精の場合はそのまま使用し、搗精する場合は精米機 (株)山本製作所、山本タテ型精米機ライスパル VP-222 N) を用いて、搗精歩留まりを 99% に調製した (1% 搗精, 99% 精白)。以下、研削玄米と称す。また、古米の影響を確認する場合には、平成 12 年新潟県産コシヒカリの玄米を用いた。

2. 試料の調製

玄米 300 g を軽く洗米してザルで水切りし、同量の水と共に軟質樹脂袋 (ポリプロピレン製) に封入した後、所定の温度 (25°C および 40°C) に保ちながら圧力処理を施した。圧力処理後、軟質樹脂袋に封入した状態で 1 時間の浸漬を行い、その後ザルにあげて水切りをし、所定の温度に保持した飽和湿度下の恒温槽内で、玄米の表面が濡れた状態を保ちながら静置した。所定の静置時間が経過した後の試料米を、ただちに 100°C で 10 分間の蒸煮処理を行い、酵素を失活させた。その後に通風乾燥を行い、試料とした。また、無浸漬で無加圧の研削玄米を対照区とした。また、所定の温度で 1 時間の浸漬を行い、圧力処理を施さない玄米を無加圧区とした。

3. 圧力処理

圧力処理装置は、石川島播磨重工業(株)製の食品用高压特機を使用した。圧力処理下の温度調整には、圧力容器に循環式恒温槽を用いて、所定の温度に保った。圧力の保持時間は、設定圧力に到達してから所定の時間を保持した。昇圧および減圧の設定時間はそれぞれ 2 分とした。

4. 水分測定

試料の水分量は五訂日本食品標準成分表に記載の定法に従い、米をアルミ秤量缶に入れ、常圧 135°C で恒量に達するまで乾燥して水分を求めた¹³⁾。

5. 成分分析

2. で調製した試料米を、小型粉碎機 (Tecater 社 CY-CLOTEC 1093 sample mill) で 40 mesh 以下に粉碎した。この粉末試料 3 g に 10% スルホサリチル酸溶液 25 mL を加え、20 分間攪拌した。その後、3 N 水酸化ナトリウム溶液で pH 2.2 に調整し、クエン酸ナトリウム緩衝液 (pH 2.2) で 50 mL に定容した。遠心分離を行い (3000 rpm, 10 分間)、上清をメンブランフィルター (0.45 μm) に通して分析用の試料溶液とした¹⁴⁾。浸漬水へ溶出した GABA の定量には、採取した浸漬水を沸騰湯浴中で 10 分間煮沸した後遠心分離を行い、得られた上清をクエン酸ナトリウム緩衝液 (pH 2.2) で 100 倍希釈し、メンブランフィルター

に通して分析用の試料溶液とした。遊離アミノ酸分析は、高速アミノ酸分析計 (株)島津製作所、高速液体クロマトグラフ C-R 7A/CL 10 アミノ酸分析システム) を用いて行った。カラムは Shim-Pack Amino-Na, 移動相はアミノ酸移動相キット Na 型, 反応液はアミノ酸反応液 OPA キット (株)島津製作所) を用い、流速 0.4 mL/min とした。分析結果より乾物試料 100 g 当たりの GABA および遊離アミノ酸含有量を求めた。総フェルラ酸およびオリザノールの測定は、蒸煮処理を行った玄米を高速液体クロマトグラフ法により定量した¹⁰⁾。

6. GABA 富化玄米の作製

研削玄米 (3 kg) を、洗米してザルで水切りし、同量の水とともにポリプロピレン製の袋に封入した。(株)神戸製鋼所製の食品工業用連続高压処理装置 (処理容器の直径 φ420 mm, 深さ 940 mm, 容積 130 L)^{15,16)} を用い、5 分間の圧力処理 (200 MPa, 25°C) を施した後、恒温槽 (25°C) 内で 1 時間の浸漬を行った。浸漬後に、ザルを用いて試料米と浸漬水を分離し、25°C の飽和湿度下の恒温槽内で 18 時間静置した。その後、酵素を失活させるため、100°C で 10 分間の蒸煮処理を行い、通風乾燥して得られた研削玄米を、GABA 富化玄米とした。

7. 人工消化試験

新原ら¹⁷⁾の方法に従い、無搗精の玄米、6. で調製した GABA 富化玄米、市販品 A (新潟県産コシヒカリ, 加工玄米)、市販品 B (ほしのゆめ, 発芽玄米) を用いて人工消化試験を行った。なお、市販品 A は、搗精歩留まりを 99% に調製した研削玄米であり、吸水後に蒸煮し、乾燥処理を行っており、発芽処理は施していない。

これらの玄米を、電気炊飯器 (三洋電機(株)マイコンジャー炊飯器 ECJ-10 UF) で炊飯し、室温に静置して 40°C まで冷却した。米 20 g に相当する量の米飯に 40°C の水を加えて全体量を 400 g とし、ミキサー (テスコム社製、フードプロセッサ TK 30) で 1 分間磨砕し、消化試験の試料とした。試料 (200 g) を 3 N 塩酸溶液にて pH 2.0 に調製し、恒温浴槽 (東京理化学器械(株)製 SB-651) 中で 37°C に予熱後、ペプシン溶液 (Sigma-aldrich 社製 P-7000; 100 mg/10 mL) 5 mL を加え、37°C で 30 分間インキュベートした。3 N 水酸化ナトリウム溶液で pH 7.1 に調整し、37°C に予熱後、パンクレアチン溶液 (Sigma-aldrich 社製 P-1750; 360 mg/12 mL, 遠心分離後の上澄み液) 5 mL を加え、37°C で振とうした。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 を目盛り付試験管に採取し、ただちに沸騰湯浴中に 10 分間つけて反応を停止させた後、エタノールを終濃度 80% となるように加え、冷蔵庫に保存した。保存後 80°C の湯浴中で 30 分間加熱して糖を抽出し、水を加えて 10 mL とし、倒立混合後 3500 rpm で 20 分間遠心分離して上清を適度に希釈し、還元糖をソモギー-ネルソン法¹⁸⁾によりマルトースとして測定し、米 1.0 g から生成される還元糖量を求めた。

8. 官能検査

上述の GABA 富化玄米, 市販品 A, 市販品 B および市販品 C (発芽玄米, ミルキークイーン使用) を炊飯し, (財) 日本穀物検定協会の食味試験方法¹⁹⁾ に準じ, パネルとして男女計 12 名で官能検査を行った. 炊飯米の, 外観, 香り, 味, 粘り, 硬さおよび総合評価の 6 項目について比較を行った. 市販品 A を基準とし, 評価は基準米を 0 点として, わずかにちがう (± 1), すこしちがう (± 2), かなりちがう (± 3) の範囲で点数化した. なお, 硬さについては値が大きいほど軟らかいことを表す.

結果と考察

1. 玄米表皮の研削が圧力処理後の処置の GABA 蓄積量に及ぼす影響

浸漬した玄米に圧力処理を施すことにより, GABA の含有量を増加させる試みが報告されている^{8,9)}が, 浸漬水中に GABA が溶出するため, 浸漬液とともに玄米を乾燥させる必要がある. そこで, 本実験では, 玄米表皮の研削と加圧処理, ならびに加圧処理後に水切りし, 飽和湿度下での静置が, 玄米の GABA の蓄積量へ与える影響を調べた.

試料米として, 無搗精の玄米および研削玄米を用い, 圧力処理 (200 MPa, 25°C, 10 分間) 後に 1 時間浸漬 (25°C) を行った. その後, ザルで水切りし飽和湿度下で 18 時間静置 (25°C) した区を設け, GABA の蓄積量を測定し, 結果を Fig. 1 に示した.

圧力処理後の 1 時間浸漬では, 無搗精と比較し, 研削玄米での GABA 蓄積量が少なかった. そこで, 浸漬水へ溶出した GABA の濃度を測定し, 100 g 当たりの玄米から由来した GABA の量に換算した結果, 無搗精が 0.9 mg, 研削玄米が 2.9 mg であった. この結果から, 研削玄米での GABA 蓄積量が少なかった理由として, 玄米の表面を研削することにより, GABA が浸漬水中へ溶出したことが考えられる. 一方, 水切りをし, その後に飽和湿度下で 18 時間静置した場合には, 無搗精の玄米において, GABA の蓄積量は約 1.2 倍量の増加がみられたが, 研削玄

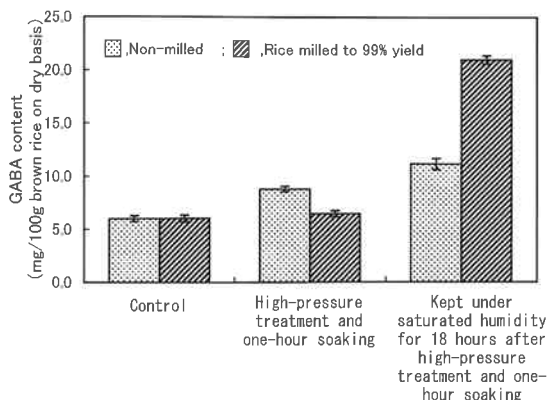


Fig. 1. Change in GABA accumulation in brown rice kept under saturated humidity at 25°C (after high-pressure treatment at 200 MPa for 5 min). ($n=4$).

米のそれは約 3 倍量である, 100 g 当り 21 mg に増加した.

これらの結果から, 表面を研削した玄米を水中で圧力処理し, 継続して 1 時間浸漬した後に水切りし, 飽和湿度下で静置することにより, 玄米中に GABA が蓄積できる可能性を見出した.

2. GABA の蓄積量に関する最適処理条件の検討

1) 飽和湿度の雰囲気下での静置温度

Fig. 2 に, 研削玄米を用い, 25°C および 40°C で圧力処理 (200 MPa, 10 分間) を行った後におおのこの温度で 1 時間の浸漬を行い, 次いで水切り後に各温度の飽和湿度下で静置した試料米における GABA 蓄積量の経時変化を示した.

25°C での圧力処理および静置において, 無加圧区の場合, 12 時間までは GABA 蓄積量の増加がみられ, 以降は減少傾向にあった. 圧力処理を行った場合では, 18 時間までの GABA 蓄積量に増加がみられ, 24 時間の静置では含量が減少していた. また, 静置時間 12 時間以上で, 無加圧区と比較し, 加圧処理区で有意に GABA 蓄積量が多い傾向にあった.

Saikusa ら²⁰⁾によれば, 胚芽浸漬水中の遊離グルタミン酸は, 20 分程度で急速に減少し, 初期の 1/4 程度に達して一定の値を保つが, GABA は蓄積し続けると報告し, 原因として, タンパク質の分解により, グルタミン酸が供給されることが報告されている. そのため, 酵素活性を促すために, 40°C の処理区を設け, 実験を行った.

40°C での圧力処理および静置において, 無加圧区の場合, 25°C と同様に, 12 時間までは GABA の蓄積がみられたが, 以降は減少傾向にあった. また, 25°C と比較し, 40°C での GABA 蓄積量が多い結果となった. 圧力処理を行った場合においても, 12 時間での GABA 蓄積量が最も多いものであったが, 18 時間後では, 静置 0 時間の含有量 (6.0 mg) 以下に減少した. 25°C での処理と同様に, 無加圧区に対し, 圧力処理区で有意に GABA 蓄積量が多い傾向にあった. なお, 40°C での圧力処理およびその後の静置では, 6 時間が経過したところから臭気を感じた.

これらの結果から, 24 時間までの静置において, GABA の蓄積量には増減があることが認められ, 以降の実験は, 25°C で 18 時間の静置時間で行った.

GABA の蓄積量に増減がみられる原因として, GABA 生成酵素 (GAD) とともに, GABA 分解酵素が働くことによるものと考えられる. 米の内在性酵素である GAD により, グルタミン酸から GABA が生成される一方で, GABA-pyruvate transaminase 等の GABA-アミノ基転移酵素が働き, GABA の分解がおこる^{20,21)}ことが報告されている. したがって, Fig. 2 の結果は, GABA の生成反応と分解反応が混在した, 見かけの GABA 蓄積量であることが示された.

2) 処理圧力および圧力保持時間の検討

Fig. 3 におおのこの圧力処理後 (25°C, 10 分間) に水切

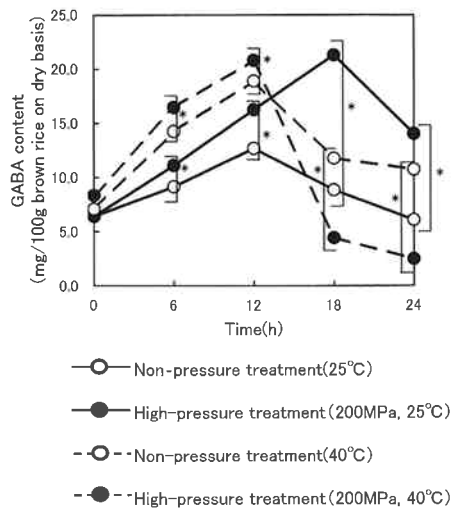


Fig. 2. Change in GABA accumulation in brown rice with time after pressure application. For measurement of the GABA accumulation, high-pressure treated rice samples were prepared as follows.

Brown rice milled to 99% yield was subjected to high-pressure treatment at 200 MPa at 25°C and 40°C for 10 min, and then soaked in water for one hour at the respective temperatures, followed by draining. The brown rice samples thus obtained were placed under saturated humidities at the respective temperatures, which was considered to be the starting point of the measurement (time=0). After the lapse of a predetermined period of time, the samples were taken out and steamed to deactivate the enzyme and then dried to measure the GABA accumulation. *A significant difference was recognized ($p < 0.01$). ($n = 4$).

りを行い、25°Cの飽和湿度下で18時間経過した研削玄米における、GABA蓄積量を示した。対照区での含量が最も低く、無加圧区では浸漬により、GABAの蓄積量が増加がみられた。また、浸漬のみの場合と比較し、圧力処理を施すことにより含量が増加し、200 MPaまでは、圧力に伴ってGABA含量が増加しており、有意差が確認された($p < 0.01$)。これらの結果から、処理圧力の増加に伴い、米粒内の組織レベルでの変化が広範囲に生じ、水を媒介とした米粒中の酵素と基質の会合の機会が増加するため¹⁾、GABAの蓄積量が増加するものと思われた。また、200 MPaと比較し、400 MPaではGABA蓄積量が少なく、50 MPaでの圧力処理と同程度であったが、これはGABAの分解酵素が優勢に働いたためと推測される。

200 MPaでのGABA蓄積量が多かったため、以降の実験には、200 MPaの圧力処理を採用した。また、200 MPaで2分および5分の圧力処理でのGABA蓄積量を確認したところ (Fig. 3), 10分間の圧力処理区との間で有意差はみられなかったため、以降の実験には、5分間の圧力処理時間を採用した。

以上の結果から、研削玄米に、25°Cで200 MPaの圧力処理を5分間施し、継続して25°Cで1時間の浸漬を行った後に水切りし、25°Cの飽和湿度下で18時間静置させることにより、玄米に多くのGABAを蓄積できることが確認された。研削玄米におけるGABAの蓄積量(6.0 mg)と比較し、3倍以上のGABA含量が確認された。以下、玄米中のGABAを富化する加工方法をGABA富化加工

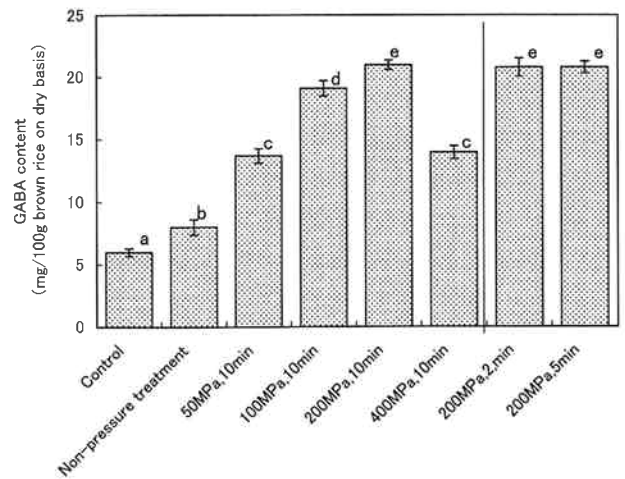


Fig. 3. Effects of pressure treatment conditions on GABA accumulation in brown rice (after being kept under saturated humidity at 25°C for 18 h).

Control: rice milled to 99% yield. Non-pressure treatment: milled brown rice was soaked in water for 1 h, drained, and then kept under saturated humidity at 25°C for 18 h, without application of high-pressure treatment. The values followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.01$). ($n = 4$).

法、加工した玄米をGABA富化玄米と称す。

3. GABA富化玄米の性質

1) GABAおよびその他の生理活性成分

Table 1に、市販品A, B, CおよびGABA富化玄米におけるGABAおよびグルタミン酸の蓄積量を示した。

GABA富化玄米のGABA含量は、発芽処理を施していない市販品Aと比較し、有意に高いものであった($p < 0.01$)。また、旨み成分であるグルタミン酸は、発芽玄米(市販品B, C)およびGABA富化玄米との間で、ほぼ同程度の含量であった。

Table 2に、対照区の玄米とGABA富化玄米の、総フェルラ酸およびオリザノールの蓄積量を示した。総フェルラ酸は、遊離のフェルラ酸とエステル化しているフェルラ酸の双方を定量し、 γ -オリザノール^{1,22,23)}は、オリザノールとして定量した。

総フェルラ酸の場合、対照区の玄米とGABA富化玄米とは、ほぼ同じ含量であり、加工処理後も残存することが示唆された。フェルラ酸は、主として細胞壁中にアラビノキシランとエステル結合して存在しており、種々の抗酸化作用を有していることが知られている²⁴⁾。

オリザノールはGABA富化加工による若干の減少がみられたが、100 g当り約33 mgを含有していた。 γ -オリザノールの機能性としては抗ストレス作用、抗コレステロール作用、皮膚の老化防止など抗酸化作用のあることが知られている¹⁾。動脈硬化の一因と考えられる高コレステロール血症を改善する食品として、 γ -オリザノールを含有する玄米エキスを添加した加工米が開発されている^{1,23,25)}。 γ -オリザノールを100 g当り7.5 mg含有する玄米エキス添加加工米の30日間の摂取試験において、血中の総コレステロール値、LDL-コレステロール値、リン脂質値ならびに β -リポタンパク値が有意に低下したことが報じられて

Table 1. Contents of GABA and glutamic acid in brown rice products.

	(mg/100 g brown rice on dry basis)	
	GABA	Glutamic acid
Control (Rice milled to 99% yield)	6.0±0.29 ^a	21.2±0.39 ^a
Product A (Commercially available normal brown rice)	8.2±0.25 ^b	11.3±0.64 ^b
Product B (Pre-germinated brown rice)	11.8±0.58 ^c	6.9±0.45 ^c
Product C (Pre-germinated brown rice)	6.9±0.51 ^d	7.2±0.35 ^c
GABA-increased brown rice (Our product)	21.0±0.39 ^e	7.3±0.28 ^c

GABA-increased brown rice was prepared as follows. Brown rice milled to 99% yield was subjected to high pressure treatment at 200 MPa at 25°C for 5 min, followed by soaking in water for one hour. Subsequently, the rice was drained and kept under saturated humidity at 25°C for 18 h. After that, the rice was steamed at 100°C for 10 min and then air-dried. The values followed by the same letters in the same amino acid are not significantly different ($p < 0.01$). ($n = 4$).

Table 2. Contents of total ferulic acids and oryzanol in control and GABA-increased brown rice.

	(mg/100 g brown rice on dry basis)	
	Total ferulic acids	Oryzanol
Control	32	39.2
GABA-increased brown rice	32	32.9

いる²⁵⁾. GABA 富化玄米は、オリザノールを 100 g 当り約 33 mg 含むことから、同様の機能を有すると考えられる。

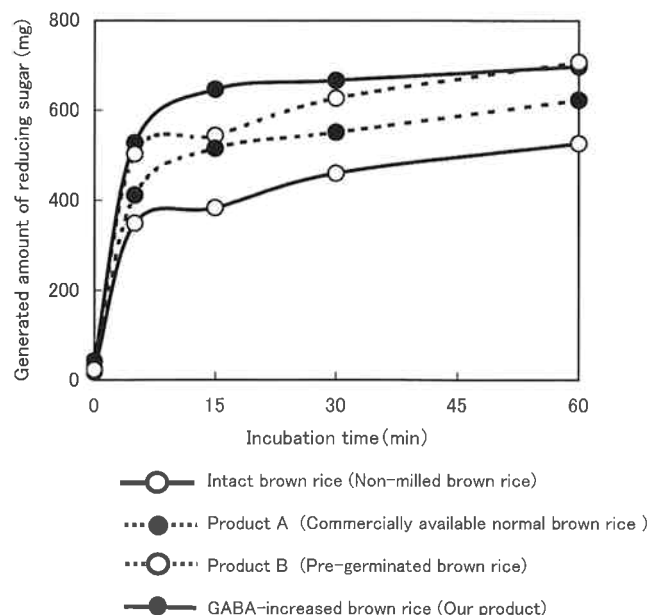
これらの成分分析の結果から、GABA 富化玄米は、GABA が富化している他に、総フェルラ酸やオリザノールなどの機能性成分が保たれていた。

2) 消化性試験

Fig. 4 に各米飯の人工消化試験を行った結果を示した。無搗精の玄米の飯は、酵素を作用後 60 分においても、還元糖の生成量が少なく、消化が遅いことが示唆された。一方、精白米と同様に炊飯できると表示のある、市販品 A の飯は、無搗精の玄米と比較して、消化が速く、還元糖の生成量も多いものであった。

GABA 富化玄米の場合、酵素作用開始 15 分で、還元糖の生成量がほぼ平衡に達し、消化が速いことが示された。発芽玄米 (市販品 B) の飯は、酵素作用開始 5 分までの分解が速く、その後はゆるやかに分解され、60 分後では GABA 富化玄米とほぼ同じ還元糖量を示した。発芽玄米は、玄米を発芽させることにより、 α -および β -アマラーゼなどの酵素が活性化するために、貯蔵物質である澱粉が加水分解されやすくなる。そのため、無処理の玄米の飯と比較し、消化性が改善されることが報告されている²⁵⁾。本実験の結果からも無搗精の玄米の飯と比較し、発芽玄米の飯は消化の良いことが示された。

新原ら¹⁷⁾は、40°C に冷却した調理後の粥と飯を試料とし、水を加えてミキサーで 1 分間摩砕した場合と、摩砕せずに米粒のまま実験に供した場合の消化試験を行っている。その結果、還元糖の生成速度および最終的な生成量に

**Fig. 4.** Digestibility of cooked brown rice products judged from the amount of reducing sugar generated.

The digestibility of cooked brown rice was evaluated as follows: Each brown rice product was cooked using an electric rice cooker, and the cooked rice was mashed with the addition of water. The samples thus obtained were adjusted to pH 2.0 with HCl, and then incubated with the addition of pepsin at 37°C for 30 min. Subsequently, the samples were adjusted to pH 7.1 with NaOH, and incubated with the addition of pancreatin for a predetermined period of time. The amount of reducing sugar generated was measured. ($n = 4$).

粥と米飯の違いがなかった。また、摩砕物と飯粒では明らかに摩砕物の方が消化の速度が速かった。よって、粥の消化が良いといわれるのは、粥の方が咀嚼やぜん動その他腸管の運動による物理的消化を受けやすいためと推察している。

精白米に予備浸漬を行った後に 400 MPa の加圧処理を行った実験において²⁶⁾、加圧処理による米粒内部への強制的な水の浸透に伴い、消化酵素も米粒内部へと浸透する²⁷⁾ことと併せ、細胞壁の損傷がおこることで、消化酵素の働きを受けやすくなる一方で、澱粉の膨潤度が増し、炊飯時の加熱吸収に伴う澱粉粒の糊化が促進し、澱粉が壊れやすくなるとともに糊化度が高くなり、消化しやすい炊飯米になることが報告されている²⁶⁾。

本実験の結果では、無搗精の玄米の消化が最も遅く、加工玄米、発芽玄米、GABA 富化玄米の順に消化が速くなっていた。これらの結果から、GABA 富化玄米は咀嚼後の澱粉分解酵素が働きやすい玄米飯となることが示唆された。

3) 官能検査

Table 3 に、各試料を炊飯した米飯の官能評価の結果を示した。数値は平均値で示した。各評価項目において、発芽処理を施していない市販品 A と比較し、GABA 富化玄米の有意差は認められなかったが、発芽玄米 (市販品 B, C) は、外観、香り、味において劣るために、総合評価では有意に低い結果であった ($p < 0.01$)。

Table 3. Comparison of brown rice products by sensory evaluation.

	Total	Appearance	Smell	Taste	Stickiness	Hardness
Product A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Product B	-0.18*	-0.89*	-0.16*	-1.40*	0.00	0.89*
Product C	-2.33*	0.11	-2.78*	-2.00*	0.44	1.11*
GABA-increased brown rice	0.47	0.14	0.10	0.17	0.02	-0.15

*The significant difference was recognized compared with "Product A" ($p < 0.01$). ($n = 12$).

4. 米の GABA の蓄積量に及ぼす古米の影響

Fig. 5 に平成 12 年産および平成 14 年産の玄米を用いて、前述の GABA 富化加工法の前後における玄米中の GABA とグルタミン酸の蓄積量を示した。

対照区の玄米において、12 年産の玄米には 14 年産の玄米と比較して、約 2 倍量の GABA が蓄積されており、有意差が確認された ($p < 0.01$)。GABA 富化加工後では 12 年産の玄米と 14 年産の玄米における GABA の蓄積量に有意差はみられなかった。

一方、基質となるグルタミン酸については、12 年産の玄米には 14 年産の玄米と比較し、対照区の段階でやや多く含まれ、有意差が確認されたが、GABA 富化加工後は、両者とも同程度に減少した。これは、グルタミン酸から GABA が生成されるため、GABA 富化加工によりグルタミン酸が減少したと考えられる。12 年産の玄米では、グルタミン酸が 14 年産と同程度に減少するものの、GABA の増加量は 14 年産と比較し、少ないものであった。

Saikusa ら²⁰⁾は、コシヒカリの胚芽を室温で保存することで GABA の蓄積量が増加したことを見出しており、玄米中の 15% の水分により GAD がわずかに働いたことを示していると述べている。また、長期保存したコシヒカリの胚芽は GABA の増加量が少ないことが報告されている²⁰⁾。本実験でも同様の結果が得られ、古米では、GABA の蓄積量は多いが、増加量は少ない結果であった。

要 約

発芽処理を圧力処理に代替し、GABA の蓄積量を増加することのできる、GABA 富化加工法の確立を試みた。得られた結果は以下のとおりである。

1) 玄米の表面を 1% 研削した玄米に、25°C で 200 MPa の圧力処理を 5 分間施し、継続して 1 時間浸漬後に水切りし、25°C の飽和湿度下で 18 時間静置させることにより、原料玄米の GABA の蓄積量 (6.0 mg) と比べて 3 倍以上の GABA を富化することができた。

2) GABA 富化玄米は、市販の加工玄米よりも GABA を多く含み、総フェルラ酸やオリザノールなどの機能性成分も保たれていた。

3) 玄米よりも GABA 富化玄米の方が、消化の速度が速いことから、GABA 富化玄米は咀嚼後の澱粉分解酵素が働きやすい玄米飯であることが示唆された。

4) 官能検査において発芽処理を施していない市販品 A と比較して、GABA 富化玄米では有意差が認められなかったが、市販の発芽玄米は、玄米に比較して外観、香り、味において劣るため、有意に低い結果であった。

従来の GABA 富化玄米を加工する場合には、GABA を含む浸漬水も玄米とともに乾燥させる必要があり、工業的にコスト面と作業面で不具合があると思われたが、本実験により、GABA が浸漬水に溶出することなく、より作業性の向上した、GABA 富化玄米を作製することが可能となった。

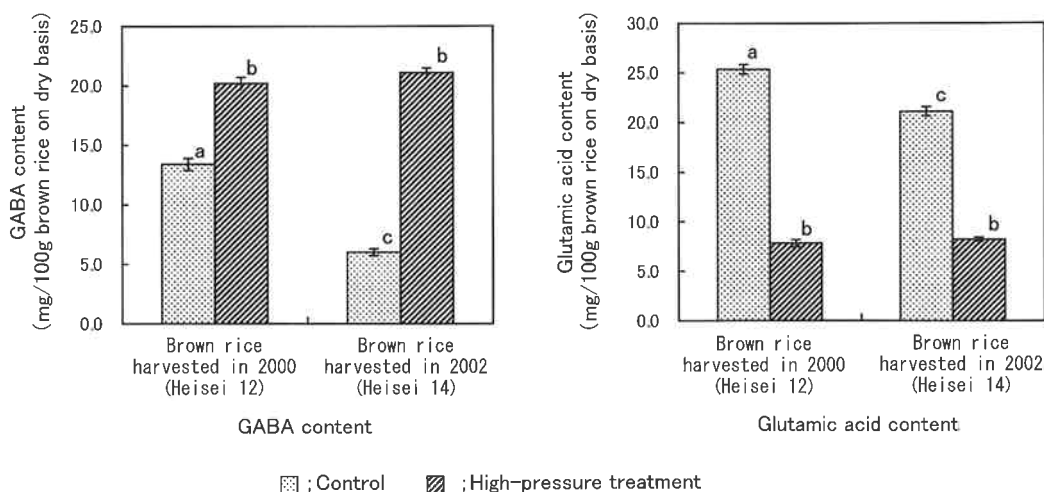


Fig. 5. Effects of storage time of rice on GABA content and glutamic acid content.

The values followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.01$). ($n = 4$).

本研究は、平成14・15年度経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業「高圧処理利用した新機能性食料の開発と産業化」より得られた研究成果の一部である。

関東経済産業局ならびに財団法人信濃川テクノポリス開発機構からのご支援をいただき、厚くお礼申し上げます。また、米の特性については独立行政法人食品総合研究所の大坪研一先生に、米の食感については新潟大学農学部の鈴木敦士教授、西海理之助教授、グリルド先生に、米の分析については長岡技術科学大学の梅田実助教授、程内和範技官に、米の薬理活性については新潟薬科大学の小西徹也教授に、また、米の微生物については藤井智幸教授、和泉徹研究員にそれぞれご助言、ご指導いただき心より感謝いたします。さらに、研究業務で協力いただいた 越後製菓(株)総合研究所の研究員の方々に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 森山信雄, 篠崎 隆, 金山 功, 矢富伸治: 新規機能性を付加した加工米の開発研究. 農化, **76**, 614-621 (2002).
- 2) 大久長範, 大能俊久, 森 勝美: 発芽玄米と初発芽米の γ -アミノ酪酸含有量. 食科工, **50**, 316-318 (2003).
- 3) 佐竹利子, 福森 武, 劉 厚清, 河野元信, 佐々木泰弘: 高機能性米の調製加工技術の開発 (第1報)—玄米の浸漬条件がGABA成分の生成等に及ぼす影響—. 農業機械学会誌, **66**, 115-121 (2004).
- 4) 鈴木啓太郎, 前川孝昭: 発芽玄米製造時の微生物抑制. 農業施設, **30**, 137-144 (1999).
- 5) 鶴澤昌好, 奥山知子, 村田真由美, 佐藤良二, 大森正司: γ -アミノ酪酸高含有カボチャ加工品製造とそのラット血圧上昇抑制作用. 食科工, **49**, 573-582 (2002).
- 6) 大森正司, 矢野とし子, 岡本順子, 津志田藤二郎, 村井敏信, 樋口 満: 嫌気処理緑茶(ギャバロン茶)による高血圧自然発症ラットの血圧上昇抑制作用. 農化, **61**, 1449-1451 (1996).
- 7) 梶本修身, 平田 洋, 中川聡史, 梶本佳孝, 早川和仁, 木村雅行: GABA含有はっ酵乳製品の正常高値血圧者に対する降圧効果. 食科工, **51**, 79-86 (2004).
- 8) 三枝貴代, 岡田忠司, 村井弘道, 森 隆, 堀野俊郎, 大森正司, 伊藤昌博, 小野田明彦: コメ胚芽中の γ -アミノ酪酸(GABA)蓄積に及ぼす有機溶媒脱脂の影響. 食科工, **48**, 196-201 (2001).
- 9) 中川紀代司, 小野寺明彦: γ -アミノ酪酸(GABA)富化コメ胚芽の開発と応用. 食品と開発, **31**, 43-46 (1996).
- 10) 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).
- 11) 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. 食科工, **46**, 323-328 (1999).
- 12) 杵淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎 彬, 山元皓二: 高圧処理により γ -アミノ酪酸(GABA)を蓄積させた玄米の一般生菌数の変化と加工玄米の性質. 食科工, **46**, 329-333 (1999).
- 13) 五訂日本食品標準成分表の説明. 「科学技術庁資源調査会編く五訂日本食品標準成分表」による五訂食品成分表, 香川芳子監修, 女子栄養大学出版部, 東京, pp. 6-26 (2002).
- 14) 鈴木忠直: アミノ酸組成の定量法. 「新・食品分析法」, (社)日本食品科学工学会, 新・食品分析法編集委員会編, 光琳, 東京, pp. 493-508 (1998).
- 15) 山崎 彬, 杵淵美倭子: 高圧処理による食品加工の研究と米飯開発. 応用糖質科学, **50**, 89-96 (2003).
- 16) 山崎 彬, 笹川秋彦: 加圧食品の開発と産業化への諸問題. 「高圧バイオサイエンスとバイオテクノロジー」, 菅野長右エ門, 林力丸編, さんえい出版, 京都, pp. 227-246 (2000).
- 17) 新原立子, 三好華世: 粥および米飯のテクスチャーと澱粉の消化性. 高知大学教育学部研究報告第3部, 55号, 9-14 (1997).
- 18) 目黒 熙, 西田芳明: 化学的方法による糖の分析, 「新・食品分析法」, 日本食品工業学会編, 光琳, 東京, pp. 531-537 (1996).
- 19) 豊島英親: 米飯の品質に及ぼす要因と食味・特性評価. 「米飯食品事典」, 石谷孝佑, 藤本正一編, サイエンスフォーラム, 東京, pp. 263-280 (1994).
- 20) T. Saikusa, T. Horino and Y. Mori: Accumulation of γ -aminobutyric acid (Gaba) in the rice germ during water soaking. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **58**, 2291-2292 (1994).
- 21) 本橋伸高: GABA. 臨床検査, **38**, 260-261 (1994).
- 22) 鈴木啓太郎, 前川孝昭: 玄米出芽抑制の解析. 農業施設, **30**, 1-10 (1999).
- 23) 金山 功, 福本育夫, 鳥海善貴, 村田幸治, 矢富伸治, 沖田健一, 吉岡牧美, 亀井 勉: 玄米エキス添加加工米による血清コレステロール値への影響. 健康・食品研究, **3**, 45-53 (2000).
- 24) 西沢千恵子, 太田剛雄, 江頭祐嘉合, 真田宏夫: 穀類のフェルラ酸含量. 食科工, **45**, 499-503 (1998).
- 25) 金山 功, 福本育夫, 鳥海善貴, 村田幸治, 矢富伸治, 沖田健一, 吉岡牧美, 亀井 勉: 玄米エキス添加加工米の血清コレステロール値低下作用に関する検討. 健康・食品研究, **3**, 55-64 (2000).
- 26) M. Yamakura, K. Haraguchi, H. Okadome, K. Suzuki, U.T. Tran, A.K. Horigane, M. Yoshida, S. Homma, A. Sasagawa, A. Yamazaki and K. Ohtsubo: Effects of soaking and high-pressure treatment on the qualities of cooked rice. *J. Appl. Glycosci.*, **52**, 85-93 (2005).
- 27) 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).