

米胚芽発酵ギャバ (GABA) エキス末入りパンの作製

池脇 香織^{§*} 中村 雅彦^{**} 石附 亨^{**} 樋口 元剛^{**}
小川 敬之^{*} 山田 弘幸^{***} 永井 みどり^{****} 小緑 英行^{****}

Preparation of functional breads containing γ -aminobutyric acid (GABA)
produced by fermented rice germ

Kaori IKEWAKI^{§*} Masahiko NAKAMURA^{**} Toru ISHIZUKI^{**} Gengou HIGUCHI^{**}
Noriyuki OGAWA^{*} Hiroyuki YAMADA^{***} Midori NAGAI^{****} Hideyuki KOMIDORI^{****}

Abstract

In this study, in order to promote intake of γ -aminobutyric acid (GABA) routinely and continuously, we prepared several functional breads containing different percentages (0%, 1%, 2% or 3%) of GABA, designated as *Taimatsu* GABA (T-GABA), produced by fermented rice germ, which has been shown to have various physiological actions. The dough containing T-GABA (1%) showed greater expansion as compared with that containing T-GABA (0%, 2% or 3%). The quantity of wet-type gluten decreased in a T-GABA percentage-dependent manner. The stickiness of wet-type gluten containing T-GABA (1%, 2% or 3%) was decreased as compared with that of the control bread (T-GABA; 0%). Although the weight of the bread containing GABA (1%, 2% or 3%) was not altered as compared with that of the control bread (T-GABA; 0%) after baking, the height of the bread containing T-GABA (3%) was the lowest. In the sensory evaluation, referees judged the bread containing T-GABA (1%) as showing a slightly better level of taste, feeling of softness, crust, crumb and fragrance as compared with that of the control bread (T-GABA; 0%). Together, these findings indicate that breads containing T-GABA are of functionally high quality and value, and we propose to introduce these breads into some long-term care health facilities.

Key words : bread, dough, GABA, gluten

キーワード : パン 生地 ギャバ グルテン

[§]延岡学園高等学校 〒882-0001 宮崎県延岡市大峽町 7820

^{*}九州保健福祉大学 保健科学部 作業療法学科 〒882-8508 宮崎県延岡市吉野町 1714-1

^{**}たいまつ食品株式会社 〒959-1794 新潟県五泉市村松 1345

^{***}九州保健福祉大学 保健科学部 言語聴覚療法学科 〒882-8508 宮崎県延岡市吉野町 1714-1

^{****}介護老人保健施設 グリーンケア学園木花 〒889-2151 宮崎県宮崎市熊野 470-2

[§]Department of Cooking, Nobeoka Gakuen High School
7820 Okaimachi, Nobeoka-shi, Miyazaki, 882-0001, Japan

^{*}Department of Occupational Therapy, Kyushu University of Health and Welfare School
of Health Science, 1714-1 Yoshino-machi, Nobeoka-shi, Miyazaki, 882-8508, Japan

^{**}Taimatsu Foods Corporation
1345 Muramatsu, Gosenshi, Niigata, 959-1794, Japan

^{***}Department of Speech Therapy, Kyushu University of Health and Welfare School of Health Science
1714-1 Yoshino-machi, Nobeoka-shi, Miyazaki, 882-8508, Japan

^{****}Long-Term Care Health Facilities, Green Care Gakuen Kibana
470-2 Kumano, Miyazaki-shi, Miyazaki, 889-2151, Japan

はじめに

ギャバ (γ -aminobutyric acid: GABA) は、アミノ酸の一種で動植物を問わず自然界に広く分布している物質である。特に、人をはじめとする哺乳動物の脳(海馬・小脳) および脊髄に多く存在し、主に抑制性の神経伝達物質として機能している。シナプスでは、シナプス前膜から放出され、後膜の GABA レセプターに結合して機能を発揮する。脳内の GABA はグルタミン酸の α 位のカルボキシル基が酵素反応により除かれることによって生成される^{1,2)}。

GABA は脳内では抑制性の神経伝達物質として機能するため、精神安定、脳機能改善の作用があると考えられている。さらに最近では、GABA が血圧の調整、脂質異常の調整、動脈硬化の抑制、内臓の機能改善など、メタボリック症候群や生活習慣病の改善にも有益であることが明らかになってきた³⁾。

GABA は、さまざまな食品に含まれている。特に、発芽玄米の GABA 量は白米の約 10 倍、玄米の約 3 倍含まれている。発芽玄米は非常に多くの GABA を含んでいるため毎日の食事で効果的に摂取できる。

我々は、たいまつ米胚芽発酵 GABA エキス末 (T-GABA) を開発した⁴⁾。先行研究から、T-GABA は、血圧上昇抑制作用、アンジオテンシン変換酵素阻害作用、高コレステロール血症抑制作用があることが証明されている³⁾。また、最近では GABA および T-GABA に生体免疫力を増強させる作用があることも明らかになってきた^{5,6)}。

本研究は、さまざまな生理作用をもつ T-GABA を日常的に、さらには継続的に摂取するために、T-GABA 入り(添加)パンの作製を試みた。特に、T-GABA 添加後の生地(ドウ)の膨張、グルテンの重量と弾力性、焼成後の重量と高さ、焼成後の官能試験(評価)など、T-GABA 入りパン作製の基礎的研究を行ったので報告する。

材料と方法

1. たいまつ米胚芽発酵 GABA エキス末

たいまつ食品株式会社(新潟県五泉市)と共同で開発した米胚芽発酵 GABA エキス末(たいまつ GABA) (T-GABA) を用いた。

2. T-GABA 入りパンの作製

パンの種類としては、食事用の小型パン(食卓パン)であるロールパン(ソフトタイプ)を選んだ。材料は、小麦粉(100%)、イースト(2%)、砂糖(10%)、食塩(1.5%)、スキムミルク(5%)、バター(12%)、水(65%)を基本配合とした。製法は、ジャパンホームベーキングスクール(Japan Home Baking School: JHBS)の手法(ニーディング:15分、一次発酵:40分、分割・丸めおよびベンチタイム:15分、成形・仕上げ発酵:30~35分、焼成:180°Cで10~12分)に従った。特に、成形、ガス抜きには手技に差が出ないように、丸めは7回転とした。その後、生地をカップケーキ用の型(90mm x 35mm)に入れ、発酵および焼成を行った。T-GABA は、小麦粉 100% に対して 1%、2%、3% の割合で添加した。対照群は T-GABA を添加しない T-GABA (0%) を設けた。

3. 生地膨張の測定

基本材料の配合に T-GABA 添加群と対照群(未添加群)を設け、レディースミキサー(大正電気 KN-200)で15分間ミキシングした。その後、それぞれの生地を 100 g ずつ分割し、500 mL のビーカーに入れた。これを電子発酵器(大正電気 SK-30)(30°Cに設定)に入れ、時間経過(0分、30分、60分、90分、120分)ごとにビーカー内の生地の発酵状態を観察し、膨張の高さを計測した。実験は3回行った。

4. ウエット型およびドライ型グルテンの重量測定

ウエット型グルテンは、発酵後の生地を水で静かにこねながら、でんぶんを洗い出した。その後、粘弾性グルテンの水分をできる限り切り、重量を測定した。ドライ型グルテンは、ウエット型グルテンを 180°C、15分間焼成し乾燥させた後、重量を測定した。実験は3回行った。

5. ウエット型グルテンの進展性の測定

グルテンの伸展性を測定するために、ウエット型グルテンを 5cm の棒状に成形した。ゆっくり生地を引き伸ばし、グルテンが切れるまでの距離を測定した。実験は3回行った。

6. 焼成後の重量測定と高さの測定

焼成後(焼成前は 50g)の重量の変化を測定した。また、焼成後のパンを正確に2つに切りその高さを測定した。実験は3回行った。

7. 官能試験 (評価)

T-GABA 添加群 (T-GABA;1%) と対照群 (T-GABA;0%) を比較した官能試験を行った。評価は、①ソフト感、②クラスト (表皮) の色と張り、③クラム (内相) の色・キメ・気泡、④香り、⑤味の5項目を設けた。判定は5段階評点法 (-2: 悪い、-1: やや悪い、0: 同程度、+1: やや良い、+2: 良い) とした。判定は JHBS の公認教師 (評価者 A・B・C) 3名が判定した。

8. 統計処理

データの数値は、平均±標準偏差 (Mean±SD) で表記した。統計処理は、一元配置分散分析の Dunnett 法を用い、対照群 (T-GABA;0%) と各 T-GABA 添加群 (1%、2%、3%) 間の有意差を検定し、5% 以下 ($P<0.05$) を有意差ありとした。

結果

1. 生地膨張の測定

T-GABA 添加群 (1%、2%、3%) と対照群 (T-GABA;0%) の発酵による生地膨張の測定を行った。図1に示すように、T-GABA 添加後30分から膨張は強くなり、90分をピークに膨張は最高を示した。特に、T-GABA (1%) 添加群では、他の T-GABA 添加群 (2%、3%) および対照群 (T-GABA;0%) と比較して90分で最も強い膨張を示した (図1)。また、90分後の生地の膨張は、T-GABA (1%) と T-GABA (2%) 添加群では対照群 (T-GABA;0%) と比較して統計学的な有意差 (有意に強い) が認められた ($P<0.05$) (表1)。図2に発酵開始90分後のビーカー内での生地の膨張を示した。

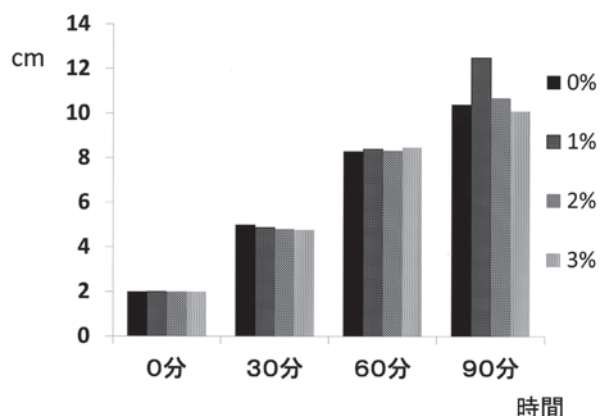


図1 T-GABA 添加後の生地膨張の時間的経過

表1 生地膨張 (発酵開始90分後) の測定

T-GABA (%)	生地膨張 (cm) (平均±標準偏差)
0	10.4±0.153
1	12.3±0.208 *
2	10.8±0.101 *
3	10.1±0.058

* $P<0.05$ (有意に強い) : vs. T-GABA (0%)

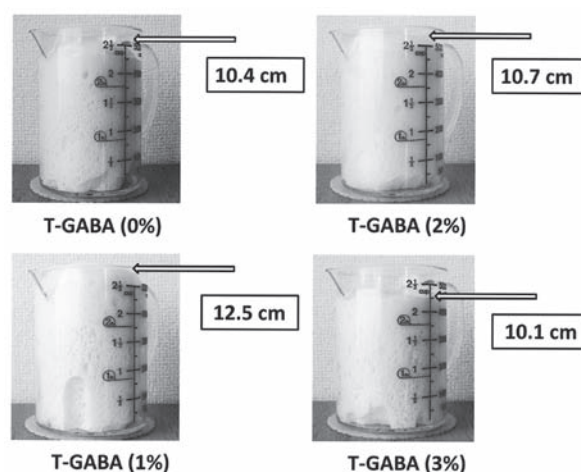


図2 発酵開始90分後のビーカー内での生地の膨張

2. ウエット型およびドライ型グルテンの重量測定

ウエット型およびドライ型グルテンの重量を測定した。表2に示すように、ウエット型グルテンの重量は T-GABA 添加量依存的に減少し、T-GABA (1%、2%、3%) 添加群は対照群 (T-GABA;0%) と比較して統計学的な有意差 (有意に軽い) が認められた ($P<0.05$)。一方、ドライ型グルテンの重量は T-GABA (2%) で対照群 (T-GABA;0%) と比較して統計学的な有意差 (有意に軽い) が認められた ($P<0.05$)。図3にウエット型グルテン (A) とドライ型グルテン (B) の形状を示した。

表2 ウエット型およびドライ型グルテンの重量測定

T-GABA(%)	ウエット型グルテン 重量 (g) (平均±標準偏差)	ドライ型グルテン 重量 (g) (平均±標準偏差)
0	25.8±0.30	15.5±1.35
1	24.4±0.70 *	14.7±0.80
2	23.3±0.47 *	13.3±0.62 *
3	21.5±0.55 *	13.7±0.72

* P<0.05 (有意に軽い) : vs. T-GABA (0%)

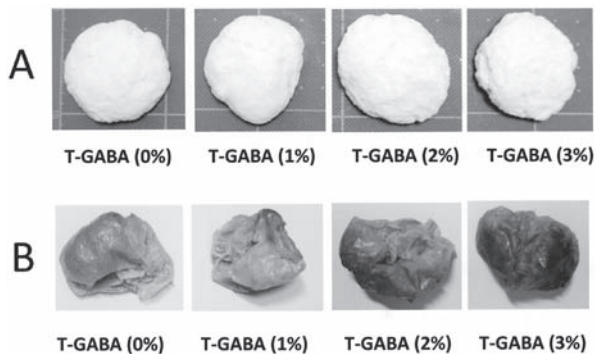


図3 ウエット型グルテン(A)とドライ型グルテン(B)の形状

3. ウエット型グルテンの進展性の測定

ウエット型グルテンの伸展性を測定した。表3に示すように、T-GABA添加群(1%、2%、3%)群は、対照群(T-GABA;0%)と比較して進展性が減少し、統計学的な有意差(有意に短い)が認められた(P<0.05)。

表3 ウエット型グルテンの進展性の測定

T-GABA(%)	進展性 (cm) (平均±標準偏差)
0	21.6±0.82
1	18.7±0.46 *
2	15.3±0.44 *
3	16.2±0.71 *

* P<0.05 (有意に短い) : vs. T-GABA (0%)

4. 焼成後の重量測定と高さの測定

焼成後の重量と高さを測定した。表4に示すように、焼成後の重量は対照群(T-GABA;0%)と比較して変化が認められなかった。一方、高さはT-GABA(3%)添加群では対照群(T-GABA;0%)と比較して、統計学的な有意差(有意に低い)が認められた(P<0.05)。図4に焼成後のパンのクラストとその高さを示した。

表4 焼成後の重量と高さの測定

T-GABA(%)	重量 (g) (平均±標準偏差)	高さ (cm) (平均±標準偏差)
0	43.3±1.67	6.33±0.14
1	45.4±0.79	6.39±0.17
2	45.2±0.51	6.12±0.08
3	44.3±0.61	5.75±0.08 *

* P<0.05 (有意に低い) : vs. T-GABA (0%)

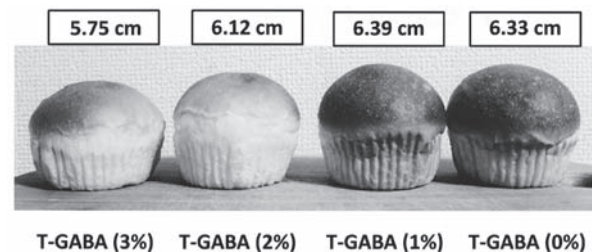


図4 焼成後のパンのクラストと高さ

5. 官能試験(評価)

T-GABA添加群(1%)と対照群(T-GABA;0%)を比較した官能試験を行った。評価は、①ソフト感、②クラスト(表皮)の色と張り、③クラム(内相)の色・キメ・気泡、④香り、⑤味の5項目を設けた。判定は5段階評点法(-2: 悪い、-1: やや悪い、0: 同程度、+1: やや良い、+2: 良い)とした。判定はJHBS公認教師の(評価者A・B・C)3名が判定した。表5に示すように、ソフト感に関しては評価者全員が「やや良い」の判定をした。クラスト、クラム、香りについても対照群(T-GABA;0%)と比較して、「同程度」か「やや良い」の判定をした。味に関しては評価者全員が対照群(T-GABA;0%)と比較して「同程度」の判定をした。

表5 官能試験 (評価)

項目	評価者 A	評価者 B	評価者 C
①ソフト感	+1 *	+1	+1
②クラスト (色・張り)	0	0	0
③クラム (色・キメ・気泡)	0	+1	+1
④香り	0	+1	+1
⑤味	0	0	0

* 判定は5段階評点法 (-2: 悪い、-1: やや悪い、0: 同程度、+1: やや良い、+2: 良い) で行った。

考察

我々は、米胚芽発酵 GABA エキス末 (たいまつ GABA : T-GABA) を開発した⁴⁾。先行研究から、T-GABA は、血圧上昇抑制作用、アンジオテンシン変換酵素阻害作用、高コレステロール血症抑制作用があることが証明されている³⁾。また、最近では GABA、さらには T-GABA に生体免疫力を増強させる作用⁵⁾、特にサイトカイン産生増強作用があることも明らかになってきた⁶⁾。本研究は、さまざまな生理作用をもつ T-GABA を日常的に、さらには、継続的に摂取するために T-GABA 入り食卓パン (ロールパン) の作製を試みた。特に、T-GABA 添加後の生地 (ドウ) の膨張、グルテンの重量と弾力性、焼成後の重量と高さ、焼成後の官能評価など、T-GABA 入りパン作製の基礎的実験を行った。

パンを作製するために必要不可欠なものは、小麦粉、イースト、食塩、水の4つで、これに味と風味を良くするために砂糖、油脂、乳製品などを加える。特に、生地の膨張、すなわち「スダチ」の良いパンを作製するにはイースト (糖をアルコールと炭酸ガスに分解) と小麦粉中のグルテンが密接に関与する^{7, 8)}。そこでまず始めに、T-GABA 添加後の生地の膨張を検討した。

小麦粉は水を加えてこね合わせるとゴム状の性質を持つグルテンが形成される。グルテンは、小麦粉中のタンパク質であるグルテニンとグリアジンに水を加え、練り合わせることでできる粘性と弾性を有した物質である。このグルテンがイーストの作り出す炭酸ガスを包み込むと共に、網目状の弾力のある構造を、さらにはクラムに小さな気泡を形成することで生地が膨張する。本実験において、T-GABA (1%、2%、3%) 添

加群および対照群 (T-GABA;0%) は、発酵開始後 30 分から生地の膨張が強くなり、90 分をピークに膨張は最高に達した。そこで、各 T-GABA 添加群と対照群におけるウェット型グルテンの量および伸展性を測定してみた。その結果、T-GABA 添加量依存的にグルテンの量は減少し、また進展性は低下した。すなわち、T-GABA を添加することでグルテンを形成するためのグルテニンとグリアジンの相互作用が弱くなり、グルテンの弾力性および進展性が低下したものと考えられる。しかしながら、T-GABA (1%) 添加群は、他の添加群 (T-GABA;2%、3%) および対照群 (T-GABA;0%) と比較して最も高い膨張を示した。その理由は、T-GABA (1%) 添加群では、イーストによる発酵過程で炭酸ガスが最も多く発生したためと考えられる。さらに、T-GABA (1%) 添加群ではウェット型グルテンの重量は減少し進展性は低下した。おそらく炭酸ガスを包み込むためのグルテンの網目状構造が効果的に形成されたためと推測される。すなわち、T-GABA 添加における生地膨張は T-GABA 添加量とグルテン形成の質的要素、さらには、グルテニンとグリアジンの分子間の距離が密接に関与するものと考えられる。

一方、グルテン形成には食塩が重要である。小麦粉生地を用いる食品の加工において、食塩は欠かすことの出来ない副材料である。パン作製においては食塩によって塩味が整えられ、イーストの増殖速度が抑制されることで発酵調整が容易になると考えられている⁹⁻¹¹⁾。しかし、食塩の最も重要な効用は生地の物性の改善である。すなわち、食塩を添加することにより生地の弾性 (伸展性) が増し、粘着性 (べたつき) が減少する。これは食塩がグルテンを形成するグルテニンとグリアジン間の相互作用に影響を与えるからである。最近、食塩がグリアジンの性質を変化 (水溶化作用) させ、グルテンタンパク質間の相互作用を強化させる作用 (凝集作用) があることが明らかになってきた^{9, 10, 12)}。

本実験では、食塩量を 1.5% (通常のパン作製では 1.5 ~ 2.0% の食塩を使用) に設定した。食塩量と炭酸ガス発生量の関係は、実験上 2.0% までは大きな差はないが、2.5% を超えると炭酸ガス発生量が著しく阻害される。本実験から、T-GABA (1%) と食塩 (1.5%) が最も生地膨張の良い結果を得た。しかしながら、パンの種類や添加材料によって食塩の量は決まってくるため、地域性、季節、他の配剤との関連性も踏まえて検討することが必要であると考えられる。また、結果には示さないが、発酵開始後 120 分では、T-GABA 添加群および対照群で生地の膨張が弱くなった。おそらく

発酵オーバーでグルテンの弾力性が著しく失われたためと推測される。いづれにしても T-GABA 添加における生地膨張、グルテンの重量と弾力性に関しては今後さまざまな側面から詳細に検討する必要があると考えられる。

次に、焼成後の重量と高さを測定した。その結果、焼成後の重量は全ての群で減少していた。焼成後、冷却と同時に水分が蒸発したためと考えられる。高さに関しては、対照群 (T-GABA;0%) と比較して T-GABA (3%) では統計学的な有意差 (有意に低い) が認められた。これは T-GABA (3%) の添加はイーストによる炭酸ガス発生量の減少、さらにはグルテンの網目状構造の「もろさ」が生じたものと推測される。

最後に、T-GABA 添加群と対照群 (T-GABA;0%) を比較した官能試験 (評価) を行った。本実験では、生地膨張、グルテンの重量および進展性の結果等を総合的に判断して、T-GABA (1%) 添加群と対照群 (T-GABA;0%) を比較検討した。ソフト感に関しては評価者全員が「やや良い」の判定であった。クラスト、クラム、香りについても対照群 (T-GABA;0%) と比較して、「同程度」か「やや良い」の判定であった。味に関しては評価者全員が対照群 (T-GABA;0%) と比較して「同程度」の判定であった。以上の結果より、T-GABA (1%) 添加群では全ての項目において対照群 (T-GABA;0%) と比較して、「同程度」および「やや良い」寄りの高い評価が得られた。よって、T-GABA (1%) 添加 (T-GABA 1% 入り) パンは食品価値の高いパンであると考えられた。また、T-GABA のさまざまな生理作用を考慮すると、T-GABA (1%) 入りパンは栄養価においても機能性のあるパンであると評価できる。

現在、我が国の市場には多種多様のパンあり、その種類はおそらく数百種類と予想されている。また、現在のパンはフレッシュ (新鮮焼き立て) およびヘルシー (健康) が市場開発のコンセプトになっている¹³⁻¹⁵⁾。健康に寄与するパンとしては、健康パン、栄養パン、療養パンがあるが、日本では食の欧米化に伴い健康パンが公衆衛生的観点 (メタボリック症候群および生活習慣病の予防) からその有用性が認識され始めている¹⁶⁾。

本研究から、T-GABA を添加したパン (T-GABA 入りパン) は加工の観点から食品価値の高いパンであることが明らかになった。一方、パン作製の工程はリハビリテーション、特に作業療法にも応用可能と考えられる。現在、介護老人保健施設グリーンケア学園木花 (宮崎市) に試験的に T-GABA 入りパンを導入して

いるが、今後、T-GABA 入りパンの作製工程を作業療法の一つのプログラムとして導入していく予定である。さらに、T-GABA 入りパンを食べやすく、飲み込みやすい嚥下食として加工していきたいと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたって、官能試験をご担当頂きました Japan Home Baking School (JHBS) 公認教師の井出ノ上一代氏、渡辺勝代氏および安楽香織氏に深謝申し上げます。また、本研究にご協力頂きました管理栄養士の深部寿江氏 (介護老人保健施設グリーンケア学園木花) にお礼を申し上げます。

文献

1. Watanabe, M., Maemura, K., Kanbara, K., et al.: GABA and GABA receptors in the central nervous system and other organs. *Int. Rev. Cytol.* 213:1-47, 2002.
2. Tamayama, T., Maemura, K., Kanbara, K., et al.: Expression of GABA(A) and GABA(B) receptors in rat growth plate chondrocytes: activation of the GABA receptors promotes proliferation of mouse chondrogenic ATDC5 cells. *Mol. Cell Biochem.* 273:117-126, 2005.
3. 中村雅彦, 仲田剛, 佐藤真治: 米胚芽発酵濃縮液の血圧上昇抑制効果. *日本薬学会年会要旨集* 125:155, 2005.
4. 中村雅彦, 仲田剛, 末松孝章, 他: 米胚芽を用いた γ -アミノ酪酸の生成. *日本食品工学会年次大会講演要旨集* 6:76, 2005.
5. Abdou, A.M., Higashiguchi, S., Horie, K., et al.: Relaxation and immunity enhancement effects of gamma-aminobutyric acid (GABA) administration in humans. *BioFactors* 26:201-208, 2006.
6. Ikewaki, N., Ishizuki, T., Nakamura, M., et al.: Enhancement of CD93 expression and interleukin-8 (IL-8) production in the human monocyte-like cell line U937 in response to *Taimatsu* fermented rice germ gamma-aminobutyric acid (GABA). *J. of Kyushu Univ. of Health and Welfare* 11:159-167, 2010.

7. 吉田精一：パン「こつ」の科学（第21版）．柴田書店 2011.
8. 松本博：製パンの科学（Ⅱ）製パン材料の科学．光琳 1992.
9. 裏出令子：グルテンタンパク質のネットワーク形成における食塩の役割．食品と技術 450:1-9,2008.
10. Ukai, T., Matsumura, Y., Urade, R.: Disaggregation and reaggregation of gluten proteins by sodium chloride. *J. Agric. Food Chem.* 56:1122-1130, 2008.
11. 漆原真弓：玄米粉（COCORO）と小麦粉の割合がパンへ及ぼす影響．美作大学・美作大学短期大学部紀要 56:15-21,2011.
12. Anjum, F.M., Khan, M.R., Din, A., et al.: Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits-structure, genetics, and relation to dough elasticity. *J. Food Sci.*72:R56-63, 2007.
13. 栢下 淳：発芽玄米入りパンの官能評価および物性評価．岐阜市立女子短期大学研究紀要 52:143-146,2003.
14. 堀 光代，長野宏子：岐阜県内産小麦粉の製パン性について．岐阜市立女子短期大学研究紀要 54:113-117,2005.
15. 人見哲子，矢野裕之：グルテンフリー米粉パンの紹介と開発の経緯．食品と容器 52:368-373,2011.
16. Cook, N.R., Cutler, J.A., Obarzanek, E., et al.: Long term effects of dietary sodium reduction on cardiovascular disease outcomes: observational follow-up of the trials of hypertension prevention (TOHP). *Br.Med.J.* 334:885-888, 2007.