

粳形態によるGABA富化特性

呂 慶云¹・後藤清和²・西津貴久²・鄭 軍³

¹岐阜大学大学院連合農学研究科 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1

²岐阜大学応用生物科学部 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1

³㈱サタケ 〒739-8602 東広島市西条西本町2-30

GABA Enriching Characteristics of Rough Rice Grain

QingYun LU¹, Kiyokazu GOTO², Takahisa NISHIZU², Jun ZHENG³

¹The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

²Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

³Satake Corporation, Higashi-hiroshima, Hiroshima, 739-8602, Japan

Abstract

GABA (γ -aminobutyric acid) is a functional constituent, which has a variety of functions such as blood pressure reduction, diabetes prevention, and sleep improvement. Absorption of water by rice grain activates various enzymes for the generation of GABA. The rapid water absorption into rough rice during the soaking process results in a high percentage of fissuring.

In this report, in order to restrict the fissuring, GABA enriching characteristics were investigated using rice grains in its paddy form. As a result, we could achieve a high quality GABA enriched brown rice. GABA content after the enriching process can be estimated by the multiple regression analysis using the soaking and enriching conditions. The most significant condition is the enriching time.

Key Words : enriching time, fissuring, GABA, high quality, rough rice

緒 言

近年、様々な機能性成分が食品に求められている。米は主食穀物として重要な食品であるが、そこにもGABA (γ -aminobutyric acid) なる成分が見出されて、発芽玄米として商品化されている。これは、玄米を発芽させたり、発芽条件に置いたりすることにより、粒中にGABAを生成し、その含有量を増加させたものである。

通常の製造過程としては、玄米を水に浸漬し、1～2日間そのままの状態で置くか、あるいは浸漬後、水分が25～30%w.b.となった段階で材料を水から取り出して、乾燥を抑制できる条件下で1～2日間置くという方法がとられている¹⁾²⁾。GABA富化という目的のみを考えると、これらの方法で十分と考えられるが、食材としては問題を有している。つまり、乾燥した玄米を水に浸漬する段

階において、急激な吸湿のために100%近くの粒に胴割れが生ずる。そのため、乾燥前に蒸煮工程を加えることにより、粒表面のデンプンを α 化させ、冷却して固まらせることで碎米化を防ぐ方法が採られることが多い³⁾。その後、乾燥し、塊となった粒群がほぐされて製品となる。

本研究では、「GABA富化玄米」に胴割れや碎米の発生が多いという欠点を改善するための方策として、GABA富化過程を収穫後の生粳状態で行う方法⁴⁾⁵⁾を検討した。収穫直後に生粳を浸漬する作業手順が合理的であるが、やむを得ず時間を要する場合は、品質劣化を引き起こさない含水率域まで乾燥したうえで貯留する必要がある。粳形態でのGABA富化特性に関する報告はないが、乾燥した粒が水に浸漬される工程がないので、胴割れの発生が抑制され高品質な「GABA富化玄米」を製

² Corresponding author, e-mail address: goto@gifu-u.ac.jp

造できる可能性がある。

実験方法および材料

1. 実験材料

平成20年度岐阜県産の「ハツシモ」の生籾および乾燥籾を実験材料とした。

2. 実験手順

米粒を発芽条件に置いてGABAを富化する過程としては、粒を連続的に水中に浸漬する方式（連続方式）と、一定時間の浸漬の後、水を切り、乾燥を抑制するために密閉容器に移す方式（水上げ方式）があるが、本研究においては後者を採用した。試料50gを所定の水温および時間で浸漬過程に置き、その後、水を切って密閉容器（100×150×50 mmのプラスチック製容器）に移し、所定の温度と時間でGABAの富化過程を設定した。

3. 実験条件

(1) 高含水率籾による実験

収穫直後の高含水率籾によりGABA富化を行うと、乾燥工程の重複が避けられ、また、胴割れの抑制効果も期待できる。実験条件を第1表に示す。収穫後の生籾を陰干しにより3段階の含水率（21, 26, 32% w.b.）に調整して実験材料とした。浸漬過程の水温を30℃、時間を3, 24時間とし、それぞれについてGABA富化温度を30℃、時間を24時間として実験を行った。富化後は、籾含水率13.5% w.b.を目標に約30℃で通風乾燥を行い、脱ぶしてからGABA含有量および胴割れ率を測定した。

第1表 高含水率籾および通常籾による実験条件

	高含水率籾実験	通常籾実験
含水率	21, 26, 32 %w.b.	13.5 %w.b.
浸漬時間	3, 24 h	1, 2*, 3 日
浸漬温度	30℃	5, 15*, 25℃
富化温度	30℃	20, 25, 30*℃
富化時間	24h	0, 1*, 2, 3 日

* 各条件の標準値

(2) 通常籾による実験

GABA富化の処理条件として、浸漬過程の温度および時間、富化過程の温度および時間をそれぞれ3～4段階に設定して、それらの効果を検討した。この実験に関する処理条件を第1表に示す。一つの処理条件を変化させてその影響を検討する場合、他の処理条件を固定する必要がある。それぞれの標準値と称する。各処理条件における標準値を表中に示した。なお、GABA富化後は、籾含水率13.5% w.b.を目標に常温通風乾燥を行い、その後各種測定を行った。

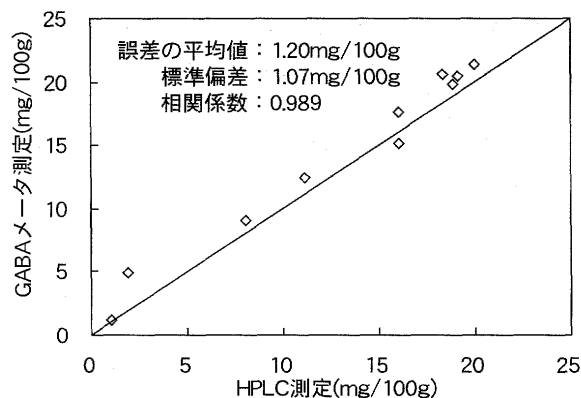
4. 測定項目

「通常籾による実験」でGABAが富化された高含水率籾について発芽率を測定した。次に、30℃での通風乾燥を行って約13.5%w.b.の乾籾とし、富化時損失率を求めた。さらに、インペラ式籾すり機で脱ぶし、乾玄米としてからGABA含有量と胴割れ率を測定した。

(1) GABA含有量

GABA含有量は蛍光反応法による測定を行った。粉碎した米粉2.00gとトリクロロ酢酸溶液を試験管に入れて、振とう機（株式会社サタケ製；RTS-1A）で30分間振とうしGABAを抽出する。抽出液2mlをエッペンチューブに入れて遠心分離器（株式会社トミー精工製；PMC-060）で10分間遠心を行い、上澄液をアミノ酸抽出液とする。その後カラム（VARIAN社製；BOND ELUT LRC-SCX, 500MG）と食塩水を用いて分画された溶液を「GABA溶液」とする。ホウ酸溶液を6ml、GABA溶液を2ml、蛍光溶液を0.4ml試験管に入れて混合する。混合された液をGABA測定装置（株式会社サタケ製；GABAメータ）で分光測定する。

一般にGABA含有量はHPLC法により測定される。HPLCにより得られたGABA含有量を真値として、GABAメータによる測定値の関係を第1図に示す。真値に対する測定値の誤差の平均値および標準偏差はそれぞれ1.20mg/100g、1.07mg/100gであり、相関係数が0.989である。GABAメータは適正な測定精度を有するものと判断した。



第1図 GABAメータによる測定精度

(2) 胴割れ率

浸漬過程での米粒の急激な吸湿は内部胴割れの原因となる。高品質の「GABA富化玄米」の製造を目的とする本研究にとって製品の胴割れ率は重要な品質指標である。玄米の胴割れ率を光学式の穀粒判定機（株式会社サタケ製、RGQI10A）により測定した。本装置は迅速な処理が可能であり、今回は1実験区について1,000粒を測定した。

(3) 発芽率

GABAが富化されるためには、米粒内への水分の浸潤と適度な温度が必要である。その条件により促される発芽が胚乳部成分の損耗をもたらす、「GABA富化玄米」

糊形態によるGABA富化特性

としての商品価値が低下する。そのため、GABA 富化過程における発芽率を目視により 200 粒を供試して測定した。

(4) 富化時損失率

粉を水中に浸漬したとき、発芽の進行により胚乳部成分が消費される。これらは米粒質量の減少に繋がり、品質および食味にも悪影響を与えられる。したがって、処理過程の前後における含水率と千粒重の変化により、乾物の減少割合を求めて富化時損失率を得た。含水率は絶乾法（135℃－24 時間－10g 粒法）で測定し、標準法（105℃－5 時間－5g 粉碎法）に換算した。

実験結果および考察

1. 糊含水率の影響

生粉を調製して得られた 3 段階（32, 26, 21%w.b.）の高含水率の粉に対して、浸漬温度 30℃で 3 時間および 24 時間の浸漬を行った。その後水上げを行い密閉容器に入れ、30℃の定温庫内で 24 時間 GABA 富化を行い、次の測定を行った。

(1) GABA 含有量

乾燥、脱ぶの後、得られた「GABA 富化玄米」の GABA 含有量を GABA メータにより測定した結果を第 2 表に示す。粉による処理でも GABA の生成が得られることがわかる。浸漬時間が短い場合（3 時間）は、含水率が低いと GABA 含有量が低くなる傾向が明らかである。これは、米粒の水吸収量の差によるものであり、浸漬時間が 1 日以上になると、含水率の影響はなくなる。

第 2 表 粉初期含水率による GABA 含有量と胴割れ率

粉初期含水率(%w.b.)	浸漬時間(h)	GABA 含有量(mg/100g)	胴割れ率(%)
21	3	9.2	0.1
	24	21.1	0.1
26	3	16.6	0.0
	24	21.2	0.2
32	3	23.2	0.0
	24	24.0	0.0
乾燥した玄米		10.6	51.6

(2) 胴割れの発生

得られた「GABA 富化玄米」について、穀粒判定機により胴割れ率を測定した結果も第 2 表に示した。穀粒判定機は一般に重胴割れを認識するように設定されている。表より、いずれの含水率あるいは浸漬時間においても胴割れ率は最大 0.2% であり、高含水率粉を水に浸漬しても胴割れ粒はほとんど認識されなかった。同時に実験を行った乾玄米を浸漬した場合の胴割れ率は 51.6% であり、両者の差は明白である。つまり、通常行われている乾玄米による GABA 富化に比べて粉による富化は胴割れ率がきわめて低い高品質な「GABA 富化玄米」を得ること

ができる。

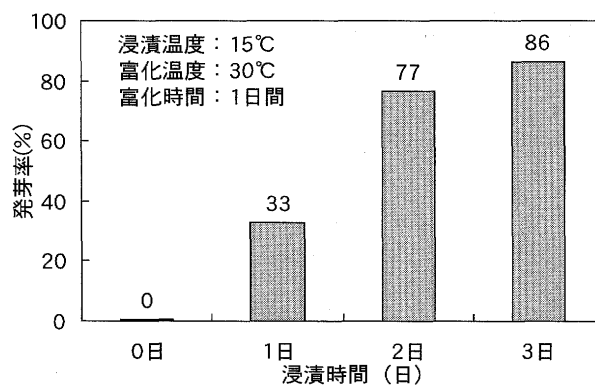
2. 処理条件の影響

(1) 浸漬時間の影響

浸漬時間以外の処理条件（浸漬温度、富化温度、富化時間）を標準値に固定して浸漬時間の影響を検討した。

(7) 発芽率

浸漬時間を 0～3 日とし、その後、各処理条件を標準値として GABA を富化させた粉の発芽率を第 2 図に示す。浸漬時間が 0 日（浸漬なし）の試料は水分が吸収されておらず、発芽の条件が満たされていないため発芽率は 0% である。1 日以上浸漬時間の場合、その時間が長いほど発芽率が高くなる。発芽率は 100% を超えることはないため、増加は飽和の傾向を示す。一般に、処理過程における発芽率が高いほど GABA 含有量が高くなるとされており、浸漬時間が長いほど含有量が多くなると思われる。



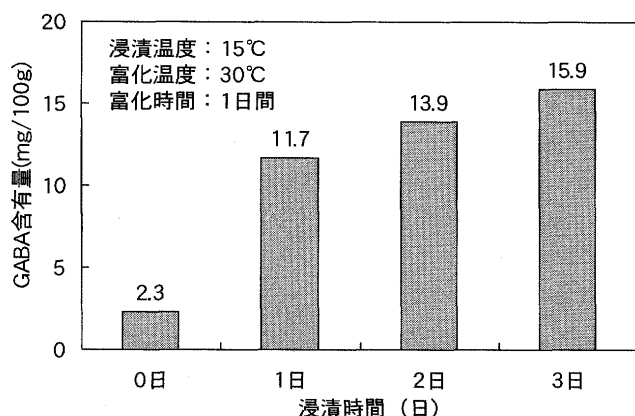
第 2 図 各浸漬時間の発芽率

(イ) GABA 含有量

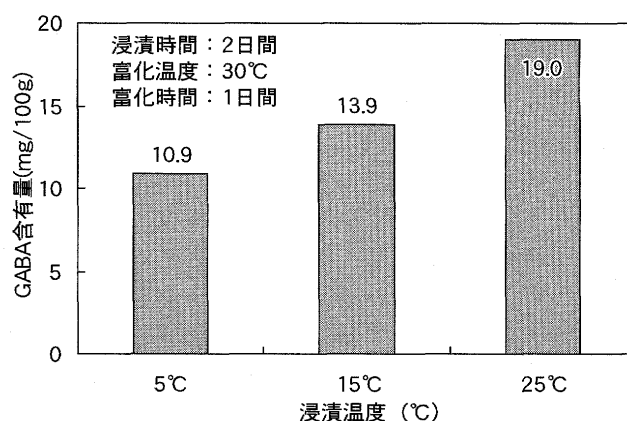
浸漬時間を変化させて、富化した場合の GABA 含有量を第 3 図に示す。浸漬時間が 0 日の場合、発芽条件を満たさないで富化過程で GABA が増加することはない。したがって、測定された GABA 含有量は、粉が収穫された当初から存在した値である。浸漬時間は粉への水の吸収量に影響を与えるため、その時間が長くなると GABA 含有量は増加する。しかし、浸漬時間が 1 日以上になると、その吸収量が飽和状態に近づくため、GABA 含有量の差は小さくなる。

(ウ) 富化時損失率

米粒が発芽する際には胚乳部成分が損耗する。浸漬時間と「GABA 富化玄米」の富化時損失率の関係を第 4 図に示す。発芽率が 100% で飽和するのに対して、富化時損失率はその制限がないため、GABA 含有量との関係を検討するために適していると考えられる。浸漬時間が 0 日の場合は含水率の増加はなく、発芽も起こらないので、それに伴う富化時損失率は全く見られない。浸漬時間が

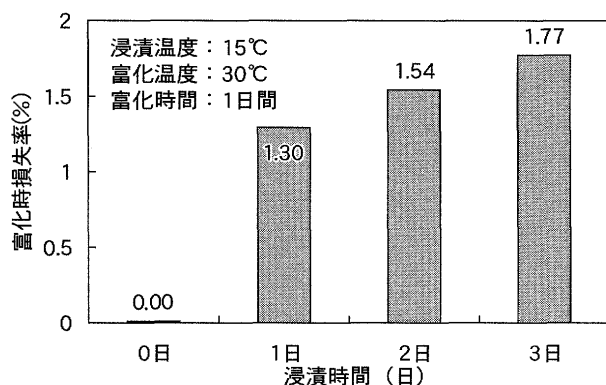


第3図 各浸漬時間のGABA含有量



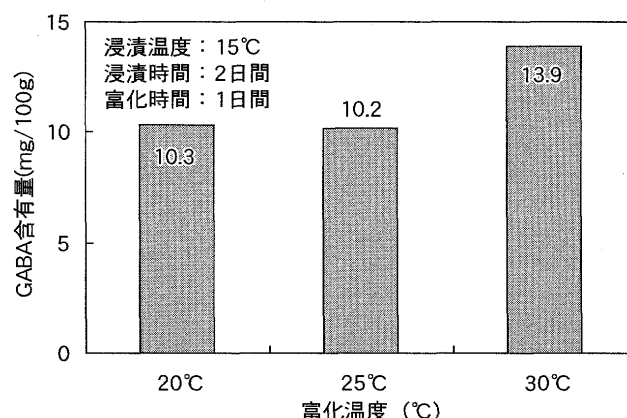
第5図 各浸漬温度のGABA含有量

1～3日の範囲ではその増加に対して「GABA 富化玄米」の富化時損失率はほぼ直線的に上昇する。



第4図 各浸漬時間の富化時損失率

臭気が強くなり、現実的には限界がある。富化温度を20, 25, 30℃とし、他の処理条件を標準値とした場合のGABA含有量を第6図に示す。発芽の特徴と同様に、25℃程度までは、増加率が低く、25℃を超えるとGABA含有量が増加する傾向を示す。なお、富化時損失率についても、GABA含有量と同様に、富化温度が25℃を超えてから増加する傾向が見られた。



第6図 各富化温度のGABA含有量

(2) 浸漬温度の影響

前項では、浸漬時間の影響として発芽率、GABA含有量、富化時損失率を検討したが、それら変化の間には一定の傾向が見られた。よって、ここからは、実験条件の影響としてGABA含有量のみを示すこととする。各指標値間の関係については後述する。

米粒の浸漬中に細菌が繁殖し⁹⁾「GABA 富化玄米」特有の臭気が発生する。浸漬温度が高いほど臭気が強くなるため、温度は低い方がよい。各処理条件を標準値とし、浸漬温度を5, 15, 25℃に設定した場合のGABA含有量を第5図に示す。本実験での範囲では、10℃の変化でGABA含有量は28～37%程度増加し、その効果が大きいことがわかる。浸漬温度を高くするとGABAの増加が得られるが、温度が低くてもある程度のGABA富化は達成される。

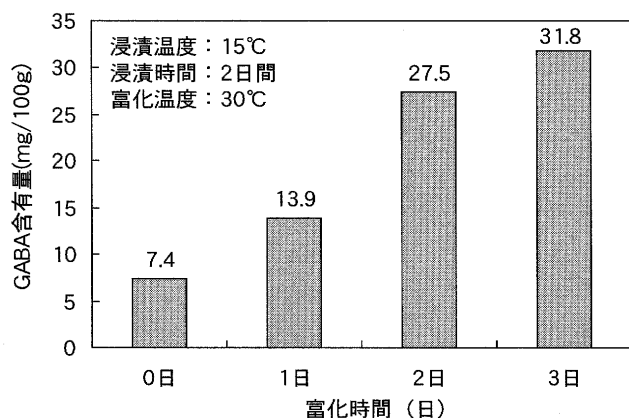
(3) 富化温度の影響

粳の発芽を促すためには25～30℃の定温とすることが多い。発芽とGABA生成には関連があるとすれば、富化温度は高い方が望ましい。しかし、30℃を超えると

(4) 富化時間の影響

生成されたGABAは粒内に蓄積されるため、富化時間の増加とともにGABA含有量は増加する。製造過程や臭気発生を考慮すれば富化時間は2日以下が現実的であるが、ここでは1～3日を設定した。富化時間以外の条件を標準値とした場合のGABA含有量を第7図に示す。富化時間が0日の場合のGABA含有量は、わずかなではあるが浸漬の間に生成したものである。GABA含有量の増加率は、富化時間が1日目から2日目が大きく、3日目には小さくなる。この関係は、「GABA 富化玄米」の製造条件を考察する際に重要である。

糊形態によるGABA富化特性

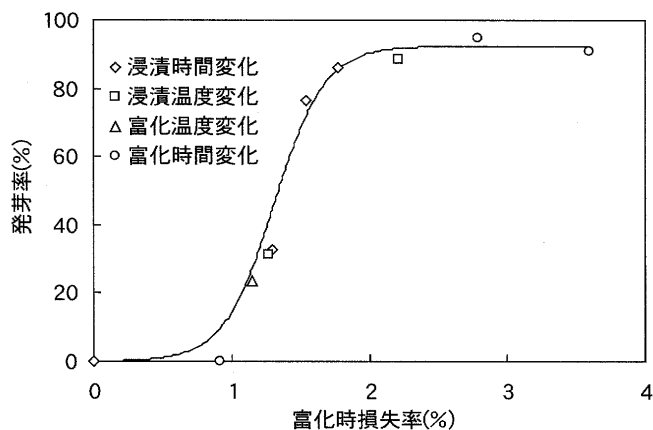


第7図 各富化時間のGABA含有量

3. 富化時の成分損失

(1) 発芽率と富化時損失率との関係

発芽が進行すれば、胚乳部成分が消費される。発芽率と富化時損失率との関係を第8図に示す。糊が発芽する条件が整っても、目視で発芽が視認されるまでに最低1日を要するが、その間にも胚乳部成分は消費されている。また、発芽率は最大値が100%であり、芽や根の長さを考慮することができない。そのため、発芽率が低い部分と高い部分において富化時損失率に対する変化率が小さくなり、S字形の曲線を示す。浸漬および富化条件に関係なく、発芽率と富化時損失率は一定の関係を示す。

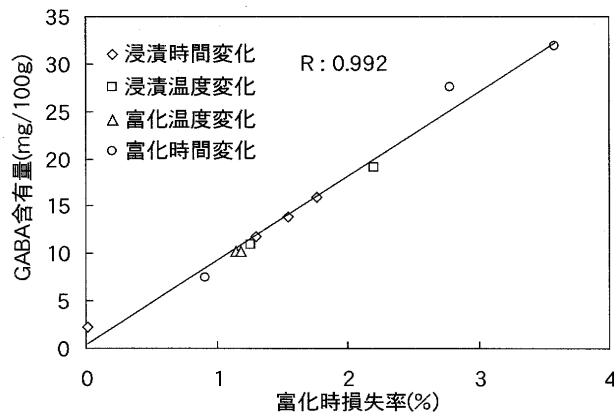


第8図 富化時損失率と発芽率の関係

(2) GABA含有量と富化時損失率との関係

富化時損失率とGABA含有量との関係を第9図に示す。両者には直線関係 ($R=0.992$) があり、GABA含有量は富化時損失率と直接的な関係があることがわかる。すべての実験条件において同一の直線関係であり、これは一定のGABA含有量を得るためには一定の損失を避けることができないことを意味している。したがって、「GABA富化玄米」を製造する場合、質量減や食味の低下を考慮

して、富化時損失率の最大許容値を設定する必要がある。その値に相当するGABA含有量は決まってしまうが、胴割れ率が低く、臭気の少ない高品質な製品の製造を実現する条件を見いだすことが重要である。



第9図 富化時損失率とGABA含有量の関係

4. GABA含有量の予測

ここまで、すべての処理条件、つまり浸漬過程の時間と温度、および富化過程の時間と温度は互いに無関係である。また、ここまでGABA含有量はそれら条件の増加に対して非減少の関係にあることがわかった。そこで、全条件を説明変数として単純な重回帰式によるGABA含有量の近似を試みたり。実験は直交表に従ってはいないが、得られた実験結果で分析した結果、第3表に示す統計値および(1)式を得た。

$$G = 2.10 \times Ts + 0.405 \times \theta_s + 0.503 \times \theta_e + 9.55 \times Te - 20.4 \quad (1)$$

G: GABA含有量 (mg/100g)

Ts: 浸漬時間 (d), $1 \leq Ts \leq 3$

θ_s : 浸漬温度 ($^{\circ}\text{C}$), $5 \leq \theta_s \leq 25$

θ_e : 富化温度 ($^{\circ}\text{C}$), $20 \leq \theta_e \leq 30$

Te: 富化時間 (d), $1 \leq Te \leq 3$

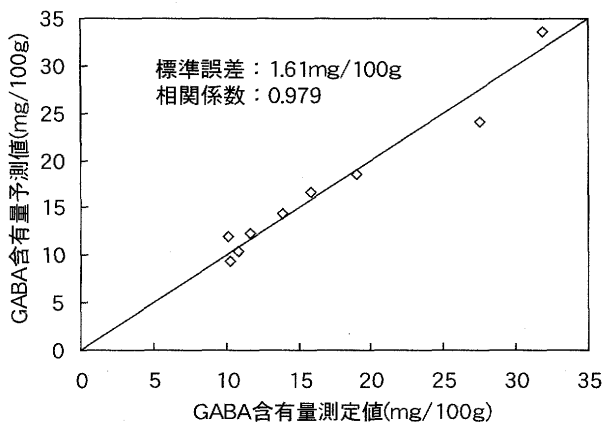
第3表 GABA含有量の重回帰分析

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	偏相関係数	P値
浸漬時間	2.10	0.133	0.546	0.262
浸漬温度	0.405	0.256	0.783	0.066
富化温度	0.503	0.225	0.730	0.099
富化時間	9.55	0.854	0.971	0.001
定数項	-20.4			0.056

P値: 有意確率

GABA含有量の測定値と予測値との関係を第10図に示す。測定値に対する予測値の残差の標準偏差を標準偏差として求めると1.61mg/100gであり、重相関係数が

0.979である。よって、処理条件から GABA 含有量が精度よく予測できることがわかる。偏相関係数より、富化時間、浸漬温度、富化温度、浸漬時間の順で GABA 含有量との相関が高いことがわかる。また、標準偏回帰係数より、富化時間の影響が他の条件に比べて著しく大きく、次いで浸漬温度と富化温度が同程度であり、浸漬時間は影響が小さいことがわかる。浸漬時間については、それが1日間以上になれば吸水量の変化が小さくなるため、GABA 含有量に対する影響および相関が小さくなるのである。



第10図 GABA含有量の測定値と予測値の相関

結 言

胴割れや碎米の少ない高品質な「GABA 富化玄米」を製造する方策として、粉形態での「水上げ方式」を検討した。富化の条件として、浸漬過程の温度および時間、富化過程の温度および時間を設定した。得られた知見を次に示す。

- (1) 高含水率粉に対して「水上げ方式」を実行したところ、GABA が富化され、胴割れの少ない高品質な製品が得られた。
- (2) 浸漬時間が1日以上になると、水の吸収量が飽和状態に近づくため、GABA 含有量はやや増加するがその差は小さい。
- (3) 浸漬温度を高くすると GABA の増加が得られるが、温度が低くてもある程度の GABA 富化は得られる。
- (4) 富化温度が 25℃程度までは、GABA 含有量の増加率が低く、25℃を超えると GABA 含有量が増加する

傾向を示す。

- (5) GABA 含有量の増加率は、富化時間が1日目から2日目が大きく、3日目には小さくなるので、含有量を考慮する場合、富化時間は2日が適当と判断される。
- (6) 富化時損失率と GABA 含有量との間には直線関係があり、GABA 含有量は富化時損失率と直接的な関係がある。つまり、一定の GABA 含有量を得るためには一定の損失を避けることができない。したがって、両者を総合的に判断して、製品品質の目標値を決定する必要がある。
- (7) 設定した処理条件により GABA 含有量を重回帰分析により精度よく予測が可能であり、富化時間の影響が最大であることがわかった。回帰式により、GABA 富化条件を考察することができる。

キーワード：GABA、胴割れ、粉形態、高品質、富化時間

謝 辞

本実験にあたり、GABA 含有量の測定に関して丁寧に指導していただきました榎サタケ食味分析室の甫出一将氏に謹んで感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 鈴木啓太郎・前川孝昭. 1999. 玄米の出芽制御の解析. 農業施設. 30: 1-10.
- 2) 星川清親. 1962. 解剖図説, 稲の成長. p.18-58. 農山漁村文化協会. 東京.
- 3) 佐竹利子・福森 武・劉 厚清・河野元信・佐々木泰弘. 2004. 高機能性米の調製加工技術の開発(第1報). 農業機械学会誌. 66: 115-121.
- 4) 大久長範・大能俊久・森 勝美. 2003. 発芽玄米と粉発芽玄米の γ -アミノ酪酸および遊離アミノ酸含量. 日本食品科学工学会誌. 50: 316-318.
- 5) 井出教義. 2002. 発芽粉を原料とする玄米. 公開特許 2002-84996.
- 6) 鈴木啓太郎・前川孝昭. 1999. 発芽玄米製造時の微生物制御. 農業施設. 30: 137-144.
- 7) 柳井久江. 2009. 4steps エクセル統計. p.179-191. 星雲社. 東京.

(受付 2009年9月1日, 受理 2009年10月22日)