

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：83804

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13043

研究課題名（和文）玄米の機能性が維持・増強される最適加工条件の解明とその応用に関する研究

研究課題名（英文）Study of optimum cooking conditions for maintaining and enhancing the functionality of germinated brown rice and its application

研究代表者

豊泉 友康 (Toyoizumi, Tomoyasu)

静岡県農林技術研究所・静岡県農林技術研究所・主任研究員

研究者番号：60598960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、発芽玄米摂取による高血圧予防に貢献する加工法と新しい食用玄米システムの提案を目指したものである。研究の結果、コシヒカリの発芽玄米において、115℃加熱がGABA含量の加工損失を小さくし、かつ抗酸化能を高めることを明らかにした。また、この加工条件は、玄米の品種・系統間で異なる反応性を示し、S1200-4は、GABA含量、抗酸化能および総ポリフェノール含量が高まり、有用な系統であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な疾患との関連がある高血圧症の患者数は、年々増加している。この予防には、血圧上昇の抑制に関連する機能を強化した食品の利用が注目される。一方で、超高齢社会の現在、高齢者は1回の喫食量が少ないため、効率的な栄養補給が必要となる。これら背景のもと、本研究では、コシヒカリ発芽玄米のGABA含量の加工損失を小さくし、かつ抗酸化能を高める加熱温度とその増加機序の一部を解明した。更に、発芽処理した巨大胚芽の系統（S1200-4）を本条件で加熱することで、機序は明らかではないが、抗酸化能に加えてGABA含量も高められた。今後、これら条件の活用により、少量の喫食で高血圧予防が期待される食品開発が可能である。

研究成果の概要（英文）：Herein we propose a cooking method and a useful new germinated brown rice (GBR) that contributes to the prevention of hypertension. Heating at 115 °C was found to be a useful condition to reduce the processing loss of gamma-aminobutyric acid (GABA) content and enhance the antioxidant capacity of the GBR of Koshihikari. A large difference was observed in the effect of enhancing the functionality of different brown rice varieties and strains. Among these, S1200-4 was useful as a raw material because it showed high GABA content, high total polyphenol content, and high hydrophilic antioxidant capacity after germination and cooking.

研究分野：食品加工

キーワード：発芽玄米 加工法 -アミノ酪酸（GABA） 水溶性・脂溶性抗酸化能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省の患者調査によると、様々な疾患と関連の高い生活習慣病の中で、高血圧症の患者数が増加し、平成 26 年には 1,010 万 800 人に達している。この予防のためには、塩分摂取量の削減に加え、血圧上昇を抑制する機能を強化した食品の利用が注目されている。また、高血圧症の患者は、強い酸化ストレスを受けていることが臨床試験で明らかにされており、抗酸化物質の摂取も予防の観点から有効と考えられる¹⁾。このような背景において、日本における食品の中では、ノルアドレナリン分泌に作用し血圧上昇を抑制する GABA や、強い抗酸化能を示すオリザノール等を多く含有し、かつ喫食頻度の高い米への関心が高く、それらの機能を強化した食品開発が求められている。

国内における米の品種には、様々な栽培や加工特性を有するものとして 839 種あり(平成 28 年)、当所でも γ -アミノ酪酸 (GABA) 含量を増加させた品種を開発中である。GABA が多い胚芽部には、オリザノール、フェルラ酸等の強い抗酸化能を示すフェノール性化合物含量も多く、従って、機能性を期待する上では、玄米の活用が精白米 (胚芽部を削ったもの) よりも有効と考えられる。

機能強化された玄米中の GABA 含量は、一般野菜 19 種と比べ²⁾、数百倍の 45 mg/100 g と顕著に高い。更に、玄米は嫌気条件下で発芽させると、急速に細胞内へ Ca^{2+} が流入し、グルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) が活性化され³⁾、その含量が 30 倍も高まる。また、この発芽処理は、タンパク質の加水分解を促進し、内部組織を軟化させるため、精白米と同様の軟らかい炊飯状態を実現でき、従来の玄米の欠点 (硬さ) を改善できる。しかし、30 以上で発芽させた玄米は、GABA の増加率が高くなる一方で、微生物による不快臭も発生しやすいため、洗浄の工程が必要となる課題がある。そのため、玄米の特性を最大限活かす食品素材を開発するためには、不快臭を抑えられる低温条件下 (13 から 20) での発芽処理時間と、GABA 合成量との関係やその作用機序を解明することが最初の課題である。

炊飯後の玄米の官能特性、呈味成分の変化や、炊飯前の機能性に関する報告はいくつかあるが、発芽させた玄米を炊飯した際の機能性変動に注目した研究はない。炊飯の工程は、「煮る(糖化)」、蒸す、焼く」の 3 段階から成り、この間に、玄米中のアミノ酸や抗酸化成分は分解や酸化反応を受けると推察される。最近では、電子炊飯器の性能が向上し、130 での加圧加熱 (蒸し工程) や 200 以上 (焼き工程) の加熱が家庭でも可能で、特に後者は釜炊き特有の香ばしさに関連するメイラード反応物の生成を促進する。この反応物の一つであるメラノイジンは、抗酸化性が非常に高く、機能性増強において期待できる。その一方で、100 以上の高温では、分解反応や重合反応を受けやすいアミノ酸 (GABA 等)、ポリフェノール類とビタミン類の機能は、失われる可能性がある。それ故、実際の調理工程に基づき「蒸し」または「焼き」工程を考慮した発芽玄米の機能性変動要因を解明し、機能性を維持・増強する加熱条件の最適化を目指す。

当所で開発中の血糖値上昇の抑制が期待できるアミロースの多い玄米系統は、GABA 含量が増加した既存の玄米品種と同等含量を有すことを予備試験で見出している。しかし、発芽による GABA 増加効果は、基質となるグルタミン酸等のアミノ酸含量や、その律速酵素である GAD の活性に依存するため、系統間の差が大きく、各系統における発芽処理の適応性の評価が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、上述の課題を解決し、発芽玄米摂取による高血圧予防に貢献する加工法と新しい食用玄米系統の提案へ繋げるために、玄米の GABA 含量が増加される最適な低温発芽処理条件の解明(実験 1)、発芽玄米の GABA 含量と抗酸化能が維持・増強される最適な加熱処理条件の解明(実

験 2) および機能性が維持・増強される最適条件と当所独自の玄米系統を用いた素材開発 (実験 3) を目的とした。

3. 研究の方法

実験 1 では、コシヒカリの玄米を 10 から 20 (以下、低温区) で 7 日間処理し、臭いに関連する官能特性、GABA および 16 種のアミノ酸含量および臭い成分の組成を評価した。なお、比較対照として 30 区も設定した。

実験 2 では、加熱温度の影響評価のため、30 ・24 時間浸漬処理したコシヒカリの玄米を 105 から 135 範囲で 40 分間加圧加熱した後、凍結乾燥させ、GABA を含めた 16 種のアミノ酸含量、水溶性・脂溶性抗酸化能 (水溶性 : H-ORAC 法、脂溶性 : L-ORAC 法) 、色 (明度 : L*、赤み : a*、黄み : b*) 、グルコース含量、総ポリフェノール (TP) 含量を評価した。加えて、時間影響の評価のため、105 一定で 40 から 90 分加圧加熱処理した後、凍結乾燥させ、上述と同様の指標を用いて評価した。

実験 3 では、静岡県農林技術研究所の水田圃場にて 2019 年の 6 月に播種し、9 月に収穫したコシヒカリ、キヌヒカリ、カミアカリおよび GABA やその基質含量の多い巨大胚芽の系統 3 種 (S1226、S1200-4 および S1200-6) を供した。これら玄米は、浸漬液中で 30 ・24 時間発芽処理した後 (発芽玄米区) GABA を含めた 16 種のアミノ酸含量を、玄米区と比較評価した。更に、24 時間浸漬処理した玄米は、実験 2 で明らかにした最適加熱温度 (115) で 40 分間加圧加熱し、実験 2 と同様の指標を用いて、105 区と比較評価した。

以上の各区のアミノ酸含量、抗酸化能、色、グルコースおよび TP 含量の平均値は、統計解析ソフト (SPSS) を用いて、分散性を評価した後、有意水準 5% で Dunnet 検定 (両側) により多重比較した。また各指標間の関連性は、主成分分析により評価した。

4. 研究成果

(1) 実験 1

低温区では 30 区と比較して、アセトインやヘキサナール由来と考えられる臭いの発生が官能で低減した。一方で、低温区は、いずれの処理時間においても GABA の基質であるグルタミン酸 (Glu) の残存量が多く、GAD を介する GABA 含量の増加効果は小さかった。また、予備的に実施した 5 w/v% 塩水と組み合わせた発芽処理は、低温区よりも不快臭の発生が低減し、かつ短時間で GABA 含量の生成を高めたため、別の競争的資金を獲得し、更にその機序等を解明した⁴⁾。

(2) 実験 2

加熱温度の影響を評価した結果、GABA 含量は 105 区が最も保持され、それ以上の温度区では減少傾向を示した。この傾向は、アスパラギン (Asn) 、グルタミン (Gln) 、バリン (Val) 、メチオニン (Met) およびリジン (Lys) においても同様だった。水溶性抗酸化能 (H-ORAC 値) は 115 、脂溶性抗酸化能 (L-ORAC 値) は 135 、総合抗酸化能 (Total-ORAC 値) は 115 で最大値を示し、いずれも非加熱区 (0 区) よりも有意に増加した (図 1) 。また、粉末試

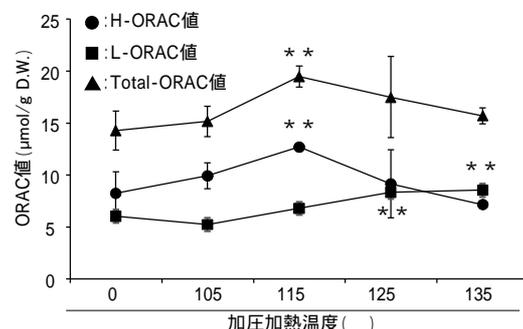


図 1 加熱温度の違いによる抗酸化能の変動

** : 非加熱区 (0) と比較して有意な変化が認められた。

料の褐変程度を評価した結果、L^{*}値は温度依存的に減少し、a^{*}および b^{*}値は増加を示した。更にメイラード反応の基質となるグルコース含量は、非加熱区と比較して、いずれの加熱温度区でも有意に減少した。加熱時間を評価した結果、いずれの指標においても、加熱時間(40 から 90 分)の違いによる有意差は認められなかった。

得られた多変量を主成分分析し可視化した結果、GABA 含量の維持には低温、脂溶性抗酸化能増強には高い加熱温度が必要であることを確認した。また、TP 含量と、H-ORAC 値および L-ORAC 値との間には有意な相関はなかったが、L-ORAC 値と、メイラード反応に起因する色の变化(L^{*}、a^{*}および b^{*}値)およびその基質となるアミノ酸・グルコース含量との間に有意な相関が認められた。

以上から、コシヒカリの発芽玄米において、115 加熱区は、GABA 含量の維持に加え、Total-ORAC 値が最も高まったため有用な加工条件と判断した。

(3) 実験 3

6 種の玄米の品種・系統を 30 ・24 時間発芽処理した結果、S1200-4 の GABA 含量が、処理後に 697 μg/g D.W.と最も高値を示した(図 2)。また、発芽による Glu 含量の消費率および GABA 含量の相対増加率の結果からコシヒカリ、キヌヒカリおよび S1226 は、GABA 生成能が高いことが推察された。更に、これら発芽玄米を最適加熱温度で処理した結果(図 3)、コシヒカリ、キヌヒカリおよび S1200-6 の GABA 含量は、105 区と比較し、実験 2 の結果と同様減少したが、残りの巨大胚芽の品種・系統では 115 の方が増加した。この内、S1200-4 の GABA 含量が最大値を示した。一方、コシヒカリ、S1226、S1200-4 および S1200-6 の 115 区における H-ORAC 値は、105 区と比較して高値を示し、この内 S1226 は 1.8 倍と大きく増加した。

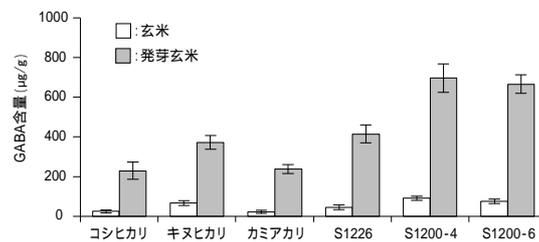


図 2 6 種の品種・系統玄米の発芽処理による GABA 含量の変動

これらから、S1200-4 の巨大胚芽米を用いることは、発芽後および加熱後も GABA 含量が最も高値を示し、抗酸化能も高まり有用な素材であった。

(3) 総括

本研究により、発芽玄米の GABA 含量と抗酸化能が維持・増強される最適な加熱条件が 115 であること、更に、この抗酸化能の増強に糖およびアミノ酸から生成するメイラード反応物が関与することを明らかにした。

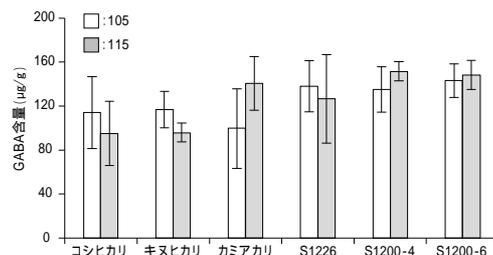


図 3 6 種の品種・系統玄米の加圧加熱処理による GABA 含量の変動

また、発芽処理による GABA 含量の増加効果には、品種・系統間で差があり、この内、S1200-4 で最も GABA 含量が高まることが確認できた。更に、この系統の発芽玄米を最適加熱条件で処理すると、GABA 含量が最も高値を示し、抗酸化能も増強することを見出した。以上の加工条件および系統は、今後、食品現場で利用することで、少量の喫食でも高血圧症予防効果が期待できる素材開発に繋がる。

引用文献

- 1) Njelekela M. *et al.*, Acta tropica 79, 231-239, 2001.

- 2) Oh S.H. *et al.*, *Prev Nutr Food Sci* 8, 75-78, 2003.
- 3) Snedden W.A. *et al.*, *J Biol Chem* 271, 4148-4153, 1996.
- 4) 豊泉友康, ソルトサイエンス研究財団助成研究報告書 2019, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 豊泉友康, 中島輝子, 外山祐介
2. 発表標題 発芽玄米の炊飯温度の違いが抗酸化能とGABA関連物質に及ぼす影響
3. 学会等名 平成31年度 日本食品科学工学会関東支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊泉友康, 小杉 徹, 中島輝子, 外山祐介
2. 発表標題 発芽玄米の炊飯条件の違いがGABA含量および親水性・親油性抗酸化能に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 令和2年度 日本食品科学工学会関東支部大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究成果の概要が静岡県農林技術研究所試験研究成果の概要集に4件掲載された。 豊泉友康, 小杉 徹, 外山祐介, 発芽玄米の炊飯時間の違いがGABA含量および抗酸化能に及ぼす影響, 2020年3月. 外山祐介, 亀山 忠, 豊泉友康, 特産ブランド化が可能な特徴的な品種の育成 (高機能性品種), 2020年3月. 豊泉友康, 中島輝子, 外山祐介, 発芽玄米の炊飯温度の違いが親水性の抗酸化能とGABA含量に及ぼす影響評価. 15-16 (2019年3月) 外山祐介, 亀山 忠, 豊泉友康, 特産ブランド化が可能な特徴的な品種の育成 (高機能性品種), 159-160, 2019年3月.</p>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----