

塩水浸漬で発酵させた玄米の不快臭低減と機能性増強効果の研究

豊泉友康

静岡県農林技術研究所 加工技術科

概要

1. 目的

玄米には高血圧予防に有用な γ -アミノ酪酸(GABA)やオリザノール等の抗酸化物質が多く含まれるが、水浸漬を用いた加工処理をすることで、更にこれらの含量を高めることが可能である。そのため、超高齢社会において消費者からの関心が高い高血圧予防に有用な機能性食品となっている。しかしながら、加工処理により不快臭が発生し、玄米の風味が低下するという課題がある。

そこで、本研究は、塩を活用し、玄米素材の風味を損なわず、機能性を最大限に活かす新たな加工技術開発へと展開するため、不快臭が低減する塩水の有効濃度の検証(実験 1)、GABA 含量と抗酸化能が増加・増強する塩水の有効濃度の検証(実験 2)、不快臭が低減し、かつ機能性が増強する最適濃度の解明(実験 3)を目的とした。

2. 研究方法

実験 1 では、コシヒカリの玄米を 0 から 30 w/v%の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した。その後、浸漬液の塩分濃度、濁度および官能特性と、玄米の含水率および玄米に付着する臭い成分の組成を評価した。また実験 2 では、玄米を次亜塩素酸で殺菌後に、0 から 30 w/v%の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した。その後、アミノ酸組成含量、水溶性・親油性抗酸化能(水溶性:H-ORAC 法・DPPH 法、親油性:L-ORAC 法)および総ポリフェノール(TP)含量を評価した。更に実験 3 では、玄米を、0, 1 および 5 w/v%の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した後、炊飯し、官能特性を評価した。加えて、コシヒカリ、キヌヒカリおよびカミアカリの玄米を殺菌後に、0, 1 および 5 w/v%の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置し、アミノ酸組成含量、水溶性抗酸化能、TP 含量を評価した。

3. 結果および結論

実験 1 の結果、塩分濃度は処理前後で同等であった。濁度および含水率は、それぞれ 5 w/v%以上で大きな低下および 10 w/v%以上で有意な低下を示した。官能特性として、0 から 1 w/v%区では不快臭や浸漬液の白濁等が確認され、5 w/v%以上では不快臭が低減することが確認された。また、16 種の臭いに関連する成分は、5 w/v%処理濃度以上から大きな減少を示した。

実験 2 の結果、GABA やアラニン等の含量は、1 w/v%処理で最大値を示し、それ以上の濃度では大きく減少した。一方、グルタミン酸含量は塩水濃度の高まりと共に減少した。H-ORAC 値は、0 w/v%区と比較して、いずれの区でも有意に増加したが、L-ORAC 値は有意な変化が観察されなかった。DPPH 活性および TP 含量は、塩水濃度依存的に増加し、5 w/v%以上の区では、0 w/v%区と比較して、有意に増加した。

実験 3 の結果、5 w/v%区の炊飯玄米は、総合評価および食べた際の香りが、0 w/v%区と比較して、それぞれ有意に高く評価された。また、1 w/v%処理したコシヒカリおよびキヌヒカリの GABA 含量は、0 w/v%区と比較して多かったが、カミアカリでは両区で減少した。一方、水溶性抗酸化能は、コシヒカリでは、塩水処理により増加したが、キヌヒカリおよびカミアカリでは変化は認められなかった。

以上からコシヒカリの玄米の加工条件として、不快臭が低減する塩水の有効濃度は 5 w/v% 以上、GABA 含量と抗酸化能が増加・増強する塩水の有効濃度は 0.5 から 1 w/v%、不快臭が低減し、かつ機能性が増強される最適濃度は 5 w/v% であることが明らかとなった。また、塩水処理による機能性増強効果は、品種間で差があることが示唆された。

1. 研究目的

近年、塩ストレスを果菜類の栽培期間中や豆類の収穫後に加えることで、素材のもつ機能性成分を数倍も高め、食品としての価値を高める研究が盛んである。例えば、トマトや大豆では、塩ストレスにより、グルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) が活性化し γ -アミノ酪酸 (GABA) 量が 3 倍以上に増加することや、抗酸化能が増強する報告がある。一方で、高齢者は総人口の 28% を占め、脳血管や高血圧性疾患の割合が最も高く、食による予防への意識が社会的に高まっている (H29 高齢社会白書)。そのため、若者と比べ喫食量の少ない高齢者に対し、血圧上昇の抑制や血管膜で起こる強い酸化ストレスを低減する機能 (抗酸化) を強化した食品の効率的な活用が望まれる。このような背景の下、玄米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などの有用成分を多く含有し、かつ喫食頻度が高いことから、予防において注目される食品である。

玄米は一般野菜より数倍も高い GABA 含量を有し、水浸漬での嫌気発酵 (30°C) により、急速に細胞内へ Ca^{2+} が流入し、GAD が活性化され、その含量が更に 20 倍以上も高まる報告もある。このような食品加工によって機能性が高まる一方で、不快臭の揮発成分となるジアセチルや有機酸類が増加する¹⁾。この要因として申請者は、細菌の急激な増殖が影響することを予備試験で確認している。

食品の貯蔵性を高める上で重要な食塩は、食品中の微生物に対し、浸透圧で脱水し死滅または増殖を抑える働きがある。そのため、微生物制御の観点から塩水浸漬の有効濃度の検証は必要となるが、玄米の発酵の際に塩を活用することで、上述の不快臭の低減ができる。また、この際に、水浸漬単独による発酵と比べ、GABA および抗酸化能が高まる可能性もあるが、基礎的知見がない。

そこで、本研究は、上述の課題を解決するため、不快臭が低減する塩水の有効濃度の検証 (実験 1)、GABA 含量と抗酸化能が増加・増強する塩水の有効濃度の検証

(実験 2)、不快臭が低減し、かつ機能性が増強する最適濃度の解明 (実験 3) を目的とした。

2. 研究方法

(1) 供試試料

実験 1, 2 および 3 (官能検査のみ) では、2018 年の 10 月に購入した静岡県産のコシヒカリの玄米を供した。実験 3 のアミノ酸、抗酸化能および総ポリフェノール (TP) の分析実験では、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、キヌヒカリおよびカミアカリの玄米を供した。

(2) 試料調製

実験 1: 不快臭が低減する塩水の有効濃度

塩水処理による不快臭低減効果を検証するため、玄米 (コシヒカリ) は、水道水 (磐田市水) で洗浄後、0 (基準)、0.5, 1, 5, 10, 20 および 30 w/v% の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した (図 1)。その後、(3) の①から⑤の方法により、浸漬液の塩分濃度、濁度および官能特性と、浸漬液を除いた玄米の含水率および付着する臭い成分の組成を評価した。なお、官能特性評価を除き、各区 5 反復実施した。

実験 2: GABA 含量と抗酸化能が増加・増強する塩水の有効濃度の検証

機能性の増加・増強効果を検証するため、玄米 (コシヒカリ) は 0.1 w/v% の次亜塩素酸で 10 分間殺菌処理後、0 (基準)、0.5, 1, 5, 10, 20 および 30 w/v% の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した。水道水で数回洗浄した後、粉碎・粉末化した。粉末試料のアミノ酸組成含量、抗酸化能および TP 含量は、(3) の⑥から⑧の方法により評価した。なお、各区 5 反復実施した。

実験 3: 不快臭が低減し、かつ機能性が増強される最適濃度の解明

① 炊飯玄米の官能特性

玄米 (コシヒカリ) は、水道水で洗浄後、0 (基準)、1 および 5 w/v% の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した。

その後、水道水で洗浄し、105°C・40 分間で加圧加熱し、(3)の⑨の方法により、官能特性を評価した。

② 玄米の品種の違いによる機能性の増強効果

玄米の品種の違いによる機能性の増強効果を評価するため、コシヒカリ、キヌヒカリおよびカミアカリの玄米は 0.1 w/v%の次亜塩素酸で10分間殺菌処理後、0(基準)、1および5 w/v%の食塩水に浸漬させ、30°C・24 時間静置した。その後は、上述の実験 2 と同様に処理・評価した。なお、各区 5 反復実施した。

(3)分析方法

① 塩分濃度の測定

浸漬液中の塩分濃度は、デジタル塩分計 PAL-SALT (ATAGO)を用いて測定した。

② 濁度の測定

濁度は、マイクロプレートリーダー(TECAN)を用いて、600 nm の吸光度(OD600)を測定した。

③ 含水率

粉末中の含水率は、加熱乾燥式水分計(ML-50, A&D)を用いて測定した。なお、含水率は、⑥、⑦および⑧の定量の際に補正で用いた。

④ 浸漬液の官能特性の評価

3 桁の番号でブラインド化した試料は、3 人(男性:2 人、女性 1 人)のパネリストに提示し、嗅いだ際において、および外観の特長を自由記述させた。なお、パネルは食品の官能検査を専門的に実施するパネリストからなり、検査は換気システムのある実験室にて行った。

⑤ 臭い成分の測定

玄米に付着した細菌や真菌由来となる臭い成分を定量するため、2 g の玄米を 20 mL のバイアル瓶内に入れた後、瓶内のヘッドスペースガスを固相マイクロ抽出ファイバー(50/30 μm DVB/CAR/PDMS, Stableflex 2 cm, SUPELCO)に 20 分間吸着させ、質量分析計を接続したガスクロマトグラフ(GC/MS, Agilent Technologies)に注入し測定した。キャリアーガスにはヘリウムを用いた。カラムは、DB-5msUI(30 m × 0.25 mm, Film thickness 1.0 μm, Agilent Technologies)を使用した。分析条件はスプリットレスとし、カラムオープンの温度は、初期温度 40°Cで3分間保持後に 250°Cまで 10°C/分で昇温し、250°Cで3分間保持とした。なお、検出されたピークの同定は、マスデータベース(NIST)の保持時間を参考に行った。また、ピーク

面積の算出は、同定するピークのトータルイオンクロマトをピークごとに定めて行った。

⑥ アミノ酸含量の測定

分離・定量できた GABA を含めた 16 種のアミノ酸含量は、既報に従い²⁾、AccQ・Tag 法で蛍光誘導体化した後に、蛍光検出器を接続した高速液体クロマトグラフで測定した。

⑦ 抗酸化能の測定

親水性の抗酸化能は、既報に従い²⁾、DPPH ラジカル捕捉法および親水性の酸素ラジカル吸収能(H-ORAC)法で評価した。一方、親油性の抗酸化能は、親油性の酸素ラジカル吸収能(L-ORAC)法で評価した。DPPH 活性および ORAC 値は、Trolox 標準品との直接比較により数値化して、乾燥重量(g)当たりの Trolox 当量(μmol)で表した。なお、H-ORAC 値および L-ORAC 値の和を Total-ORAC 値とした。

⑧ TP 含量の測定

TP 含量は、既報に従い²⁾、フォーリン・チオカルト比色法で定量した。含量は、没食子酸の標準品との直接比較により数値化し、乾燥重量(g)当たりの没食子酸当量(mg)で表した。

⑨ 炊飯玄米の官能特性の評価

パネルは、食品の官能検査を専門的に実施する 18 人(男性:7 人、女性:11 人)で、塩水処理濃度 0 w/v%区を基準とし、1 または 5 w/v%区の総合評価、嗅いだ際の臭い、塩味および食べた際の香りを、それぞれ 5 段階で比較した。なお、総合評価、嗅いだ際の臭いおよび食べた際の香りは、1 点:悪い、2 点:やや悪い、3 点:同程度、4 点:やや良い、5 点:良い、の基準で評価した。一方、塩味は、1 点:弱い、2 点:やや弱い、3 点:同程度、4 点:やや強い、5 点:強い、の基準で評価した。なお、検査は換気システムのある実験室にて行った。

⑩ 統計解析

各区の含水率、アミノ酸含量、抗酸化能および TP 含量の平均値について、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。各区の官能特性の平均値について、分散性を評価した後、有意水準 5%で Welch's t 検定(両側)をした。各指標間の関連性は、主成分分析により評価した。

3. 研究結果

(1) 不快臭が低減する塩水の有効濃度の検証

24 時間処理した浸水液中の塩分濃度(表 1)は、処理前区と同等の値を示した。また、24 時間処理後の浸漬液の濁度(表 1 および図 1)は、0 から 1 w/v% の塩水処理区で同等を示したが、5 w/v% 以上では低下した。

塩水処理後の玄米の含水率(表 2)は、塩水濃度依存的に減少した。また、10 w/v% 以上の処理区では、0 w/v% 区と比較して有意に低下した。

官能検査(表 3)の結果、0, 0.5 および 1 w/v% 区では、刺激臭、不快臭や浸漬液の白濁が認められた。一方、5 w/v% 以上では、不快臭の低減やアルコール臭の増強が認められた。

16 種の臭い成分のピーク面積値を比較した結果、いずれの成分も、5 w/v% 処理濃度以上から大きな減少が認められた。特に、1-Propanol, Ethyl Acetate, 1-Butanol, Acetoin, 3-Methyl-1-butanol および 2-Methyl-1-butanol は 5 w/v% 以上から大きな減少を示した(表 4)。

(2) GABA 含量と抗酸化能が増加・増強する塩水の有効濃度の検証

アミノ酸分析の結果(図 2), GABA, アラニン(Ala) およびアルギニン(Arg) 含量は、1 w/v% 処理で最大値を示し、その後大きく減少した。また、10 w/v% 以上の区の GABA および Ala 含量は、0 w/v% 区と比較して有意に減少した。Arg 含量は、5 w/v% 以上の区で有意に減少した。

アスパラギン酸(Asp) およびアスパラギン(Asn) 含量は、塩水濃度依存的に緩やかに増加し、Asp 含量では 30 w/v% 区で、Asn 含量では 5 w/v% 区以上で有意差が認められた。一方、グルタミン酸(Glu) 含量は塩水濃度の高まりと共に減少し、10 w/v% 区以上では有意な差を示した。これらを除く 10 種のアミノ酸の含量は、GABA, Ala および Arg と似た挙動を示した。

H-ORAC および Total-ORAC 値(図 3)は、0 w/v% 区と比較して、いずれの区でも有意に増加した。一方で、L-ORAC 値は、有意な変化は確認されなかった。

DPPH 活性および TP 含量(図 3)は、塩水濃度依存的に増加した。また、5, 10, 20 および 30 w/v% 区の DPPH 活性および TP 含量は、0 w/v% 区と比較して、有意に増加した。

表 1 塩水処理による塩分濃度および濁度変化の比較

塩水処理濃度 (w/v%)	浸漬液の塩分濃度(SALT%)		濁度(OD600)
	処理前	処理後	
0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.36 ± 0.07
0.5	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.34 ± 0.03
1	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	0.35 ± 0.02
5	4.8 ± 0.0	4.8 ± 0.1	0.19 ± 0.02
10	9.6 ± 0.0	9.3 ± 0.1	0.12 ± 0.02
20	20.7 ± 0.0	20.0 ± 0.5	0.10 ± 0.01
30	30.0 ± 0.0	30.1 ± 1.1	0.09 ± 0.01

各値は、5 反復の平均値 ± 標準偏差を示す。

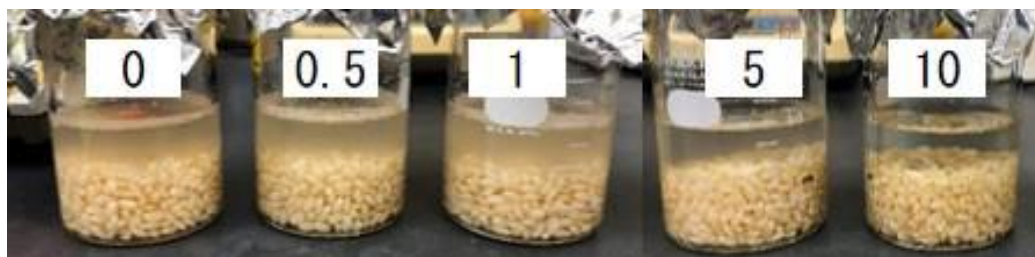


図 1 24 時間塩水処理後の浸漬液の外観
図は 0 から 10 w/v% で 24 時間処理した際の浸漬液の外観である。

表2 塩水濃度の違いが玄米の含水率に及ぼす影響

塩水濃度 (w/v%)	含水率 (%)
0	32.5 ± 1.0
0.5	31.9 ± 0.4
1	31.8 ± 1.5
5	31.3 ± 0.4
10	29.8 ± 0.5 **
20	27.2 ± 0.7 **
30	25.2 ± 0.9 **

各値は、5反復の平均値±標準偏差を示す。
**は、0 w/v%区と比較して、1%水準で有意な差が認められた(Dunnett's 検定、両側)。

表3 塩水濃度の違いによる官能特性の変動

		塩水濃度				
0 w/v%	0.5 w/v%	1 w/v%	5 w/v%	10 w/v%	20 w/v%	30 w/v%
強い発泡	強い発泡	発泡	少し発泡	発泡なし	発泡なし	発泡なし
白濁	白濁	白濁	少し透き通る	透き通った感じ	透き通る	透き通る
腐敗臭	臭いの強度が強い	臭いの強度が強い	青臭い	不快感が弱い	弱い糠臭さ	アルコール臭
おかゆの強いにおい	重さを感じるにおい	青みを感じるにおい	すえたにおい	すえたにおい	アルコール臭	有機溶媒的
大豆を漬け過ぎたにおい	不快臭	すっぱさを感じる	弱い不快臭	強い糠臭さ	有機溶媒的	—
刺激臭	すっぱさを感じる	すっきりとした香り	生ぼっさ	有機溶媒的	—	—
—	刺激臭	刺激臭	糠のにおい	アルコール臭	—	—
—	—	—	甘ったるい	—	—	—
—	—	—	バター臭	—	—	—

表4 塩水濃度の違いによる臭い成分変動

化合物	塩水濃度						
	0 w/v%	0.5 w/v%	1 w/v%	5 w/v%	10 w/v%	20 w/v%	30 w/v%
Ethanol	299 ± 10	277 ± 17	245 ± 19	154 ± 17	69 ± 4	27 ± 1	14 ± 1
1-Propanol	2 ± 1	1 ± 0	2 ± 1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ethyl Acetate	6 ± 2	7 ± 0	7 ± 0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1-Butanol	9 ± 2	9 ± 1	7 ± 1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acetoin	150 ± 61	213 ± 26	242 ± 23	27 ± 14	N.D.	N.D.	N.D.
3-Methyl-1-butanol	9 ± 2	13 ± 4	11 ± 2	2 ± 0	N.D.	N.D.	N.D.
2-Methyl-1-butanol	10 ± 4	8 ± 1	7 ± 1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1-Hexanol	136 ± 10	127 ± 9	90 ± 12	30 ± 7	39 ± 2	37 ± 1	43 ± 4

各値は、検出された成分のピーク面積値(×10⁶)からなり、5反復の平均値±標準偏差を示す。

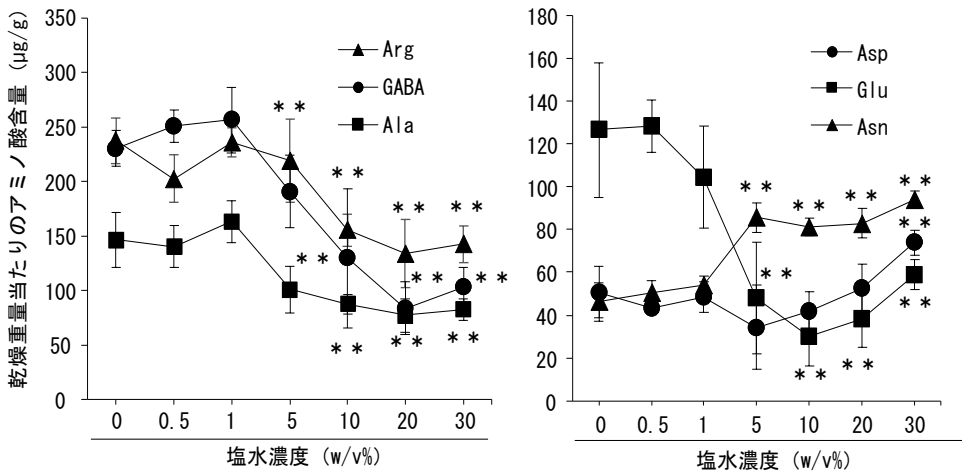


図2 塩水濃度の違いによるアミノ酸含量の変動
各値は、5反復の平均値±標準偏差を示す。

**は、0 w/v%区と比較して、1%水準で有意な差が認められた(Dunnett 検定、両側)。

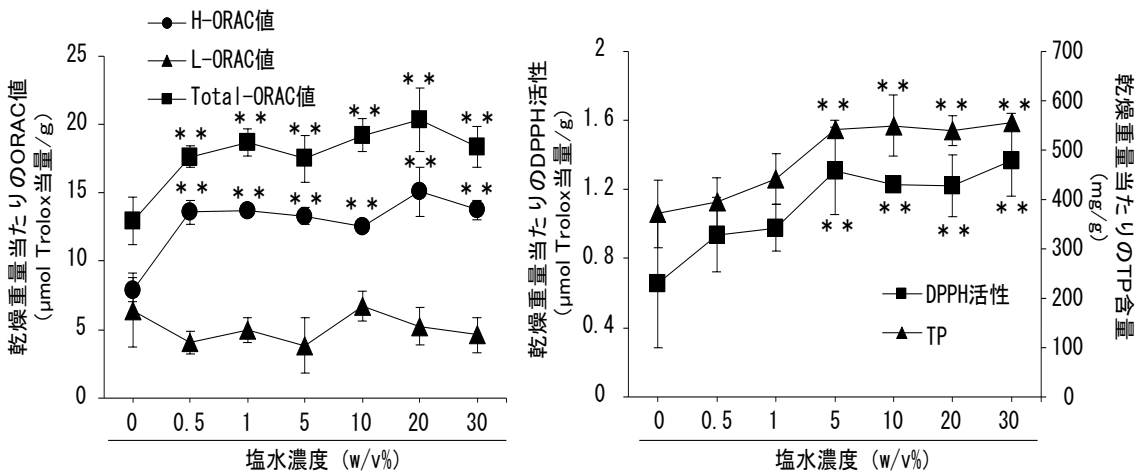


図3 塩水濃度の違いによる抗酸化能および総ポリフェノール(TP)含量の変動
各値は、5反復の平均値±標準偏差を示す。

**は、0 w/v%区と比較して、1%水準で有意な差が認められた(Dunnett 検定、両側)。

(3) 不快臭が低減し、かつ機能性が増強する最適濃度の 解明

① 炊飯後の玄米の官能特性

(1)および(2)の結果について主成分分析した結果、固有値が1.0以上で3成分抽出され、累積寄与率が82.5%であった。また、主成分1は嫌気代謝の促進、第2成分はアミノ酸代謝の促進と解釈できた。得られた主成分得点の平均値は、散布図上で示し(図4)、特性を可視化した。

1および5 w/v%の塩水で24時間処理した玄米を炊飯し、0 w/v%処理区と官能特性を比較した。その結果(図5)、1 w/v%の塩水処理した炊飯玄米の総合評価、嗅いだ際の臭い、塩味および食べた際の香りは、それぞれ0 w/v%区と同等を示した。一方で、5 w/v%区では、総合評価および食べた際の香りが、それぞれ有意に高く評価された。更に塩味は、有意に強く感じると評価された。

② 玄米の品種の違いによる機能性の増強効果

アミノ酸分析の結果(図6), コシヒカリおよびキヌヒカリの GABA 含量は, 1 w/v% 処理で増加し, 5 w/v% で減少した。

一方で, 巨大胚芽であるカミアカリは, これら品種と異なり, 両濃度で減少した。GABA の基質である Glu 含量は,

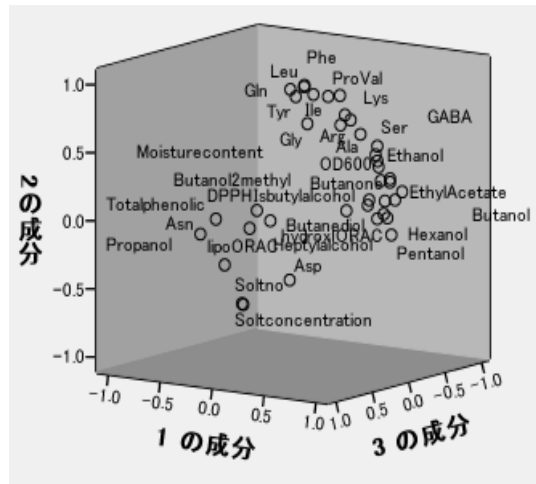


図4 主成分得点の平均値の散布図

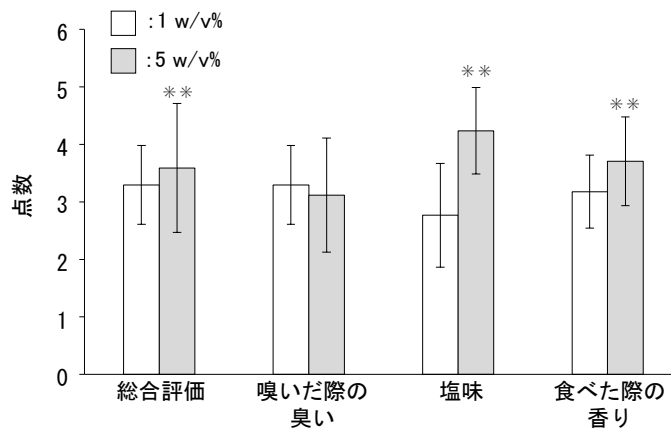


図5 炊飯後の官能特性の比較

各値は, 18 人の平均値±標準偏差を示す。**は, 0 w/v% 区と比較して, 1% 水準で有意な差が認められた (Welch's *t* 検定, 両側)。

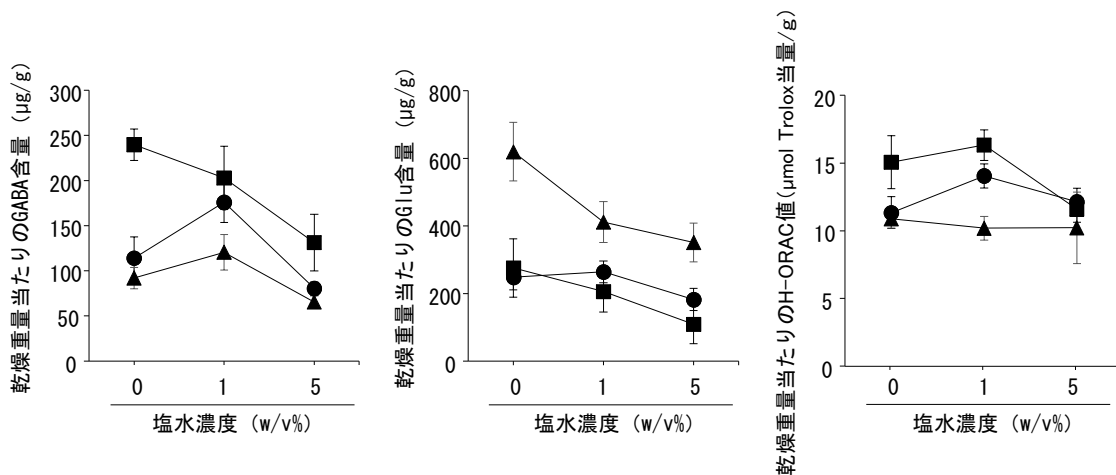


図6 玄米品種の違いによる機能性増強効果の変動

各値は, 5 反復の平均値±標準偏差を示す。●はコシヒカリ, ▲はキヌヒカリ, ■はカミアカリの結果を示す。

コシヒカリおよびキヌヒカリにおいて、塩水濃度依存的に緩やかに減少したが、カミアカリでは大きな減少を示した。その他のアミノ酸は、コシヒカリおよびキヌヒカリと、カミアカリでは異なる挙動を示した。

水溶性抗酸化能の指標である H-ORAC 値(図 6)は、コシヒカリおよびカミアカリにおいて、1 w/v% 処理で増加し、5 w/v% で減少した。一方で、キヌヒカリでは塩水処理による増加効果は認められなかった。TP 含量は、コシヒカリおよびカミアカリでは 1 w/v% 区で増加し、5 w/v% 区では減少した。一方で、キヌヒカリでは、1 w/v% 区よりも 5 w/v% 区が高値を示した。

4. 考 察

玄米を 24 時間塩水に浸漬した結果、処理前後で塩濃度に大きな変化はなかった。一方で、24 時間処理後の粉末の含水率は、濃度依存的に低下したことから浸透圧の変化による水分移動が起こっていると推察される。それ故、本条件下において、玄米の細胞内が浸透圧ストレスを十分受けていると考えられる。

塩水濃度 0 から 1 w/v% 区までは、浸漬液中での高い濁度および強い発泡や、玄米からの不快臭および刺激臭の発生が確認された。更に、官能検査で認知された臭いに関連する成分として Acetoin, 1-Hexanol や 3-Methyl-1-butanol 等の成分が検出された。これら臭い成分の内、Ethanol, Acetoin, 1-Hexanol, 1-butanol は、吉岡らの報告¹⁾でも検出され、本結果と一致している。従って、1 w/v% 処理までは、玄米に付着する微生物の増殖を抑制する効果が小さいと判断できる。一方で、浸漬液中の塩水濃度が 5 w/v% 以上になることで、濁度の低下、発泡の消失、不快臭の低下、微生物由来の臭い成分と報告される Ethyl Acetate, 1-Butanol, Acetoin, 3-Methyl-1-butanol, 2-Methyl-1-butanol および 1-Hexanol^{1, 3)}の面積値の大きな減少が確認された。これらから、5 w/v% 以上では、玄米に付着する微生物が塩の浸透圧で脱水され、増殖抑制または死滅が起こり、不快臭発生が抑制すると考えられる。それ故、玄米の不快臭発生の低減に有効な濃度は 5 w/v% 以上と判断している。

玄米の表面を次亜塩素酸で殺菌後に、塩水による GABA 含量および抗酸化能に対する増加・増強効果を検証した。結果、GABA 含量は、塩水濃度 1 w/v% まで増加

し、それ以上の処理濃度では大幅に減少した。一方で、その基質である Glu 含量は濃度依存的に減少した。そのため、塩水濃度が 1 w/v% までは、嫌気および浸透圧ストレス⁴⁾により GABA 合成が促進され、それ以上の濃度では別の代謝が促進されると考えられる。また、Asp および Asn を除く、Ala や Arg 等のアミノ酸も GABA と同様の傾向を示しており、1 w/v% を境に主な代謝経路が変わった可能性を支持している。水溶性の抗酸化能の指標である H-ORAC 値および DPPH 活性は、塩水処理により高まった。TP 含量も増加したことから、この増加が水溶性抗酸化能の増強に寄与したと推測される。玄米には、フェルラ酸やシナピン酸等のポリフェノールが含まれていることが報告されているため⁵⁾、今後、増強機序の解明のため関与成分の特定が必要である。一方、親油性抗酸化能は増強しなかったため、玄米の特徴的な成分であるトコフェロールやオリザノール含量への増加効果はないものと考えられる。これらから、玄米の塩水処理は、GABA 含量の増加および水溶性抗酸化能の増強効果があり、それぞれ 0.5 から 1 w/v% および 0.5 w/v% 以上での処理が有用と判断できる。

上記から 5 w/v% 塩水処理が、玄米の 24 時間の浸漬時に発生する不快臭を低減し、かつ抗酸化能の増強効果を示す最低有効濃度であった。加えて不快臭の低減効果は期待できないが、1 w/v% 塩水処理は GABA 含量および抗酸化能を高められる利点を確認した。従って、玄米の加工条件として有用となり得る両条件を用いて処理した玄米を、更に炊飯し官能特性を評価した。その結果、5 w/v% 処理した玄米は、0 w/v% 区より塩味が強く、食べた際の香りも良く、総合評価も高かった。浸漬前後での浸漬液中の塩濃度に変化はなかったが、0 w/v% 区より塩味を強く感じていたことから、浸漬液中のナトリウムが玄米の細胞内に移行したと考えられる。また、香りが高く評価された要因としては、塩により微生物の殺菌または増殖抑制が起こり、その結果、不快臭発生の低減に繋がったと推測できる。一方で、1 w/v% 処理では、塩味も含め全ての指標で 0 w/v% と同等の評価を示し、上述の濁度、官能特性および臭い成分組成の結果を支持する結果となった。従って、5 w/v 塩水処理は、炊飯後の風味低下を改善したため、有用な条件といえる。5 w/v 塩水処理による玄米表面の微生物に対する増殖抑制効果は、品種間での差が小さいと

考えられるが、機能性増強効果は内因性酵素との関連から差がある可能性が高い。そこで、3種の玄米品種を用いて、1 w/v%区も併せて感受性を比較したところ、アミノ酸組成では、コシヒカリおよびキヌヒカリと、GABA等が含まれる胚芽部分が大きい巨大胚芽米⁹⁾(カミアカリ)とは異なる挙動を示した。更に、抗酸化能やTP含量も同様に品種間差を示した。今後、GABA合成に関連する酵素やポリフェノールの組成との関連性を検証する必要があると考えている。

以上から、コシヒカリの玄米の加工条件として、不快臭が低減する塩水の有効濃度は5 w/v%以上、GABA含量と抗酸化能が増加・増強する塩水の有効濃度は0.5から1 w/v%、不快臭が低減し、かつ機能性が増強される最適濃度は5 w/v%と結論する。ただ、塩水処理による機能性増強効果は、玄米の品種間で感受性に差があるため、品種ごとで更なる検討が必要である。

5. 文献

- 1) 吉岡 優, 勝野那嘉子, 西津貴久, 発芽玄米の香り特性に関する研究. 美味技術学会誌, 15, 5-14 (2017).
- 2) Toyoizumi T., Ohba S, Takano-Ishikawa Y., Ikegaya A. and Nakajima T., Placental tissue of greenhouse muskmelon (*Cucumis melo* L.) contains more gamma-aminobutyric acid with antioxidant capacity than the fleshed pulp. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 1-10 (2020).

- 3) 朴 俊錫, シックハウスと微生物由来揮発性有機化合物 (MVOCs). *エアロゾル研究*, 18, 181-183 (2003).
- 4) Xia Q., Green B.D., Zhu Z., Li Y., Gharibzadeh S.M. T., Roohinejad, S. and Barba F. J. Innovative processing techniques for altering the physicochemical properties of wholegrain brown rice (*Oryza sativa* L.)-opportunities for enhancing food quality and health attributes. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59, 3349-3370 (2019).
- 5) Cho D.H. and Lim S.T., Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chemistry*, 196, 259-271 (2016).
- 6) Choi I.D., Kim D.S., Son J.R., Yang C.I., Chun J.Y. and Kim K.J., Physico-chemical properties of giant embryo brown rice (*Keunnunbyeol*). *Journal of Applied Biological Chemistry*, 49, 95-100 (2006).

6. 謝辞

本研究は、公益財団法人ソルト・サイエンス研究財団2019年度研究助成の支援を受けて行いました。また、GC/MSの分析・解析では、静岡県農林技術研究所 池ヶ谷 篤 博士(現静岡県農林環境専門職大学)にご支援いただきました。更に、玄米試料の提供については、同研究所の外山祐介氏にご支援いただきました。以上について、ここに記して感謝いたします。

Reduction in Unpleasant Odor and Functional Enhancement of Germinated Brown Rice by Saline Immersion

Tomoyasu Toyoizumi

Shizuoka Research Institute of Agriculture and Forestry

Summary

Purpose: This study aimed to determine the effective concentration of saline that causes reduction of the unpleasant odor of brown rice (Experiment 1), the effective concentration of saline that causes an increase in the gamma-aminobutyric acid (GABA) content while enhancing the antioxidant capacity (Experiment 2), and the optimal concentration that leads to unpleasant odor reduction while enhancing the functionality (Experiment 3). The study results will lead to the development of new processing technology to enhance functionality without impairing the flavor of brown rice that utilizes salt.

Methods: In Experiment 1, brown rice, “Koshihikari,” was immersed in 0 to 30 w/v% saline and allowed to stand at 30°C for 24 h. The saline concentration, turbidity, and sensory characteristics of the immersion liquid, the water content of brown rice, and the composition of the odorous component of the brown rice were evaluated. In Experiment 2, brown rice was sterilized with hypochlorous acid, immersed in 0 to 30 w/v% saline and allowed to stand at 30 °C for 24 h. The amino acid content, water-soluble/lipophilic antioxidant capacity (water-soluble: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)/hydroxyl radical antioxidant capacity (H-ORAC) methods, lipophilicity: lipophilic (L)-ORAC method), and total polyphenol (TP) content were evaluated. In Experiment 3, brown rice was immersed in 0, 1, and 5 w/v% saline, allowed to stand at 30 °C for 24 h, and cooked; the sensory characteristics were evaluated. In addition, brown rices, “Koshihikari”, “Kinuhikari,” and “Kamiakari,” were sterilized and immersed in 0, 1, and 5 w/v% saline and allowed to stand at 30 °C for 24 h. The amino acid and TP contents and water-soluble antioxidant capacity were evaluated.

Results and Conclusion: From Experiment 1, the saline concentration was the same before and after the saline treatment. Turbidity and water content considerably decreased after not less than 5 w/v% and not less than 10 w/v% saline treatment, respectively. The sensory characteristics evaluation confirmed unpleasant odor and cloudiness of the immersion liquid after 0, 0.5, and 1 w/v% saline treatment and reduction of the unpleasant odor after ≥ 5 w/v% saline treatment. In addition, 16 odor-related components showed a significant decrease after not less than 5 w/v% saline treatment.

As results of Experiment 2, the contents of GABA, alanine, and other compounds showed a maximum value after 1 w/v% saline treatment and decreased considerably thereafter. However, the glutamic acid content decreased with increasing saline concentration. The H-ORAC value significantly increased for all saline solutions compared with that for 0 w/v%; however, no significant change was observed in the L-ORAC value. The

DPPH activity and TP content increased with saline concentration and significantly increased for the saline solutions of 5 w/v% and more compared with that for 0 w/v%.

Experiment 3 results indicated that brown rice cooked in 5 w/v% saline was significantly higher in overall evaluation and aroma than that in 0 w/v%. In addition, the functionality enhancement effect of the saline treatment was different among the three cultivars.

Thus, our results indicate that the effective saline concentration that causes unpleasant odor reduction is ≥ 5 w/v%, the effective concentration for increasing the GABA content and antioxidant capacity is 0.5 - 1 w/v%, and the optimum concentration for reducing the unpleasant odor and enhancing functionality is 5 w/v% for "Koshihikari". Additionally, the functionality enhancement effect of saline treatment had different sensitivities among the cultivars.