

# 健康維持と美味しさを求めるアクティブシニアのための食品開発

食品・環境科 主任研究員 横山 智 栄  
食品・環境科 主任研究員 玉 屋 圭  
食品・環境科 主任研究員 松 本 周 三

長崎県では全国平均より速い速度で高齢化が進行しており、高齢者向けに健康機能性を有する食品開発が望まれている。本研究ではアクティブシニア向けのおやつとして、抗酸化作用のあるセサミンを多く含むごまや抹茶を使用した長崎県の甘い抹茶ごま豆腐に着目した。本研究では保存性を向上させるため、レトルトの強熱にも耐えうる抹茶ごま豆腐の開発を目的として、抹茶の変色に抑制効果のある物質について検討した。また、保存性を向上させるための別の方法として、冷凍処理についても検討した。ごま豆腐を冷凍後自然解凍させると食感の品質が低下することから、自然解凍しても冷凍前の品質を維持できる加工条件について検討した。その結果、レトルト処理に対して完全に変色を抑制できる物質は確認できなかった。一方、冷凍処理においてはトレハロースを添加することで、ごま豆腐の材料であるデンプンの老化が抑制され食感の改善効果が認められた。

## 1. 緒 言

長崎県は高齢化率が全国平均より高く<sup>1)</sup>、高齢化の進行している地域である。高齢者人口のうちの約8割は「アクティブシニア」と呼ばれている元気な高齢者である。この層の市場開拓は食品産業界の課題であり、県内食品製造企業からもアクティブシニア向けの食品開発が強く求められている。

アクティブシニアが健康増進を図るために栄養成分を手軽に摂取する方法として、補助的な食事であるおやつに着目した。長崎県で作られているごま豆腐は甘く、また、ごま豆腐には抗酸化作用のあるセサミンを多く含むことから機能性おやつにもなり得る。近年、抹茶の人気が高まっており、長崎県内でも抹茶を使用した食品の開発を希望する企業は多い。ごま豆腐は冷蔵で4日～10日と保存できる期間が短いため、保存性を高めるために抹茶ごま豆腐をレトルト処理すると緑色から赤褐色に変色し、商品価値が著しく低下することが問題となっていた。

本研究では、常温流通可能な抹茶ごま豆腐を開発するため、加熱により生じる抹茶成分の変動について検討した。併せて、変色の軽減化についても検討した。さらに、常温流通とは別の方法として、ごま豆腐を冷凍することで保存性を向上させ、冷凍解凍後も冷凍前と近い品質が維持できる加工条件について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 熱による抹茶成分の変動の検討

抹茶成分であるクロロフィル類の変化に及ぼす温度

の影響を検討するために、市販の抹茶粉末を純水に懸濁し、一定温度(60℃、80℃、100℃、110℃)で一定時間(0、10分、30分、60分)加熱後、クロロフィル類の分析を行った。

クロロフィル類の分析はKohataらの方法<sup>2)</sup>に準じて行った。すなわち、抹茶粉末100mgを50mLポリプロピレン製遠沈管に正確に採取後、純水5mLを添加し懸濁させる。これにアセトン10mLを加えてホモジナイズした後、遠心分離(1,080×g、5分間)した。上清を50mLメスフラスコに採り、残渣に85vol%アセトン水溶液10mLを加えてホモジナイズした後、遠心分離(1,080×g、5分間)し、上清を50mLメスフラスコに採取した。以上の操作を3回繰り返し、集めた上清を85vol%アセトン水溶液で50mLとした。孔径0.22μmのメンブレンフィルターでろ過後、高速液体クロマトグラフ(HPLC)に10μL注入した。クロロフィル類の抽出方法を図1に示す。

HPLCにはWaters社製のACQUITY UPLCシステム(ACQUITY UPLC フォトダイオードアレイ検出器)を用いた。検出波長は405nmに設定した。分析用カラムには東ソー株式会社製東ソー TSKgel ODS-80TS(150mm×4.6mm内径)、ガードカラムには東ソー株式会社製東ソー TSKguradgel ODS-80TS(150mm×3.2mm内径)を使用した。カラム温度は40℃とした。溶離液は0.005N NaCl含有95%エタノール溶液及び0.005N NaCl含有80%エタノール溶液を用い、流量は0.8mL/分で、リニアグラジエント溶出を行った。グラジエント勾配は以下のとおり設定した。: B 95% (0分)

→5% (10分)→5% (35分)→95% (40分)。

抹茶粉末試料 100 mg を遠沈管に採る

アセトン 10 mL を加えてホモジナイズ後、遠心分離 (1,080×g、5分)

残渣に 85 vol%アセトン水溶液 10 mL を加えてホモジナイズした後、遠心分離 (1,080×g、5分)

3回繰り返す

メスフラスコで 50 mL に定容

ろ過 (0.22 μm)

高速液体クロマトグラフに 10 μL 注入

図1 クロロフィル類の抽出方法

## 2.2 抹茶ごま豆腐の変色抑制効果の確認

抹茶ごま豆腐は以下の配合を基本配合とし、調整した：甘藷デンプン 1g、ねりごま 1g、抹茶 0.05g、純水 10g。変色抑制効果を確認するために、抹茶ごま豆腐の基本配合に対して、塩化マグネシウム（無水）、カゼインナトリウム、アルブミン（卵由来）、たん白粉末（大豆由来）、アスコルビン酸ナトリウム、フェルラ酸、銅クロロフィリンナトリウム、脂肪酸グリセリン及び大豆レシチン（すべて富士フィルム和光純薬）を添加した抹茶ごま豆腐を試作した。添加量は 0.05g とした。

材料を 50 mL ポリプロピレン製チューブに入れ加熱攪拌し、粘性が上昇してからさらに 30 秒間加熱攪拌した。オートクレーブで 120℃で 1 分間加熱し、加熱前後の色の変化を見るため、色差計（CR-13 コニカミノルタ製）を用いて  $L^*a^*b^*$  を測定した。

## 2.3 冷凍抹茶ごま豆腐の品質維持効果の確認

### 2.3.1 増粘多糖類の効果

抹茶ごま豆腐は以下の配合を基本配合とし、調整した：甘藷デンプン 20g、ねりごま 20g、抹茶 1g、ショ糖 10g、純水 149g。抹茶ごま豆腐の基本配合に対して、カッパカラギナン（オルノー®CM、オルガノフードテック株式会社）、イオタカラギナン（オルノー®J、オルガノフードテック株式会社）、キサンタンガム（オルノー®X2、オルガノフードテック株式会

社）、カードラン（CD-99L、オルガノフードテック株式会社）を各試験区 1g 添加した抹茶ごま豆腐を試作した。調製後の試料は 20g ずつポリプロピレン製容器に分注し、100℃で 30 分間加熱殺菌した。試料を放冷後、-20℃で 24 時間凍結した試料を 25℃で自然解凍し、クリープメーター（RE2-33005C 株山電製）を用いて破断強度を測定した。測定条件として、プランジャーは φ16×H250 mm の円柱型を使用し、格納ピッチ 0.1 sec、測定歪率 70%、測定速度 1 mm/sec とした。解析はクリープメーター用自動解析ソフトウェア（破断強度解析 Windows ver.1 株式会社山電製）にて行った。

### 2.3.2 糖の効果

抹茶ごま豆腐は以下の配合を基本配合とし、調整した：甘藷デンプン 20g、ねりごま 20g、抹茶 1g。抹茶ごま豆腐の基本配合に対して、ショ糖（和光純薬）、果糖（和光純薬）またはトレハロース（トレハ®、株式会社林原）を一定割合（5%、15%または 25%）となるよう添加し、総量 200g となるよう純水で調製した抹茶ごま豆腐を試作した。調製後の抹茶ごま豆腐は 22g ずつ容器に分注し、100℃で 30 分間加熱殺菌した。試料を放冷後、-20℃で 24 時間凍結した試料を 25℃で自然解凍し、2.3.1 と同様の方法で破断強度を測定した。

## 3. 結果

### 3.1 加熱による抹茶成分の変動の検討

抹茶懸濁液中のクロロフィル類の量の変化を図 2 に示す。クロロフィル量は a と b とともに加熱温度及び加熱時間とともに減少した。クロロフィル a は 80℃では 30 分後に 80%、110℃では 30 分後にほぼ 100%が消失した。クロロフィル b は 80℃では 30 分後に 50%、110℃では 60 分後に約 96%が消失した。フェオフィチン a 量は 100℃30 分で、フェオフィチン b 量は 80℃10 分で 2 倍量に増加した。

### 3.2 抹茶ごま豆腐の変色抑制効果の確認

抹茶ごま豆腐への添加剤による変色抑制効果の結果を図 3 に示す。ほとんどの試験区で  $a^*$  値がマイナス（緑）からプラス（赤）へと転じ、加熱後の試料は赤褐色の入った緑色となった。D アルブミン及び G フェルラ酸試験区は  $a^*$  値がプラス（赤）までは上昇しなかったが、十分に変色を抑制することはできなかった。

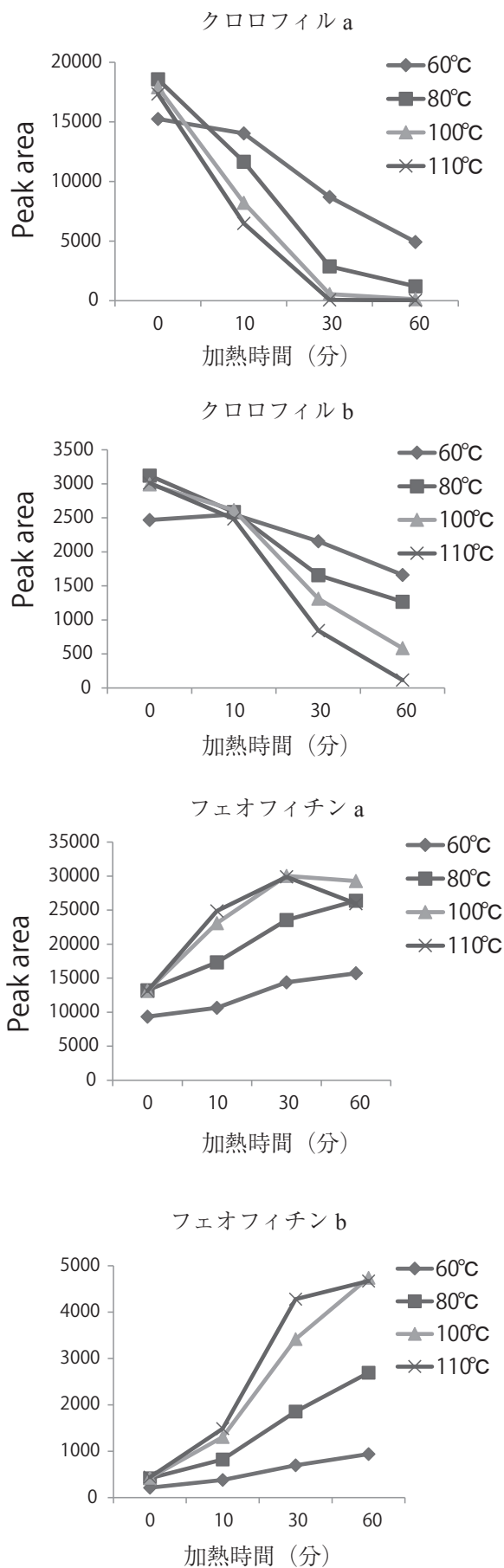
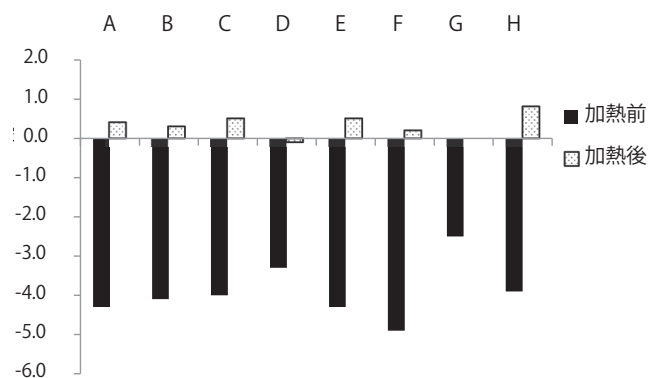


図2 抹茶懸濁液中のクロロフィル類の量変化



A 無添加、B 塩化マグネシウム（無水）、C カゼインナトリウム、D アルブミン（卵由来）、E たん白粉末（大豆由来）、F アスコルビン酸ナトリウム、G フェルラ酸、H 脂肪酸グリセリン及び大豆レシチン

図3 抹茶ごま豆腐の色調変化

### 3.3 冷凍抹茶ごま豆腐の品質維持効果の確認

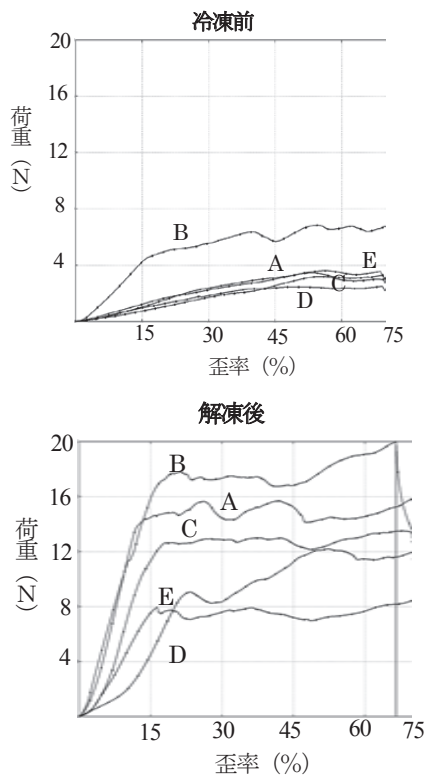
#### 3.3.1 多糖類の効果

増粘多糖類を添加した抹茶ごま豆腐を調製後、100℃で30分間加熱殺菌したときの冷凍前及び解凍後の物性変化を図4に示す。すべての試験区において解凍後の破断強度は増大したが、Eカードラン添加区における歪率20%時の破断強度は他の試験区と比べると低く、柔らかい食感であることが示唆された。

#### 3.3.2 糖の効果

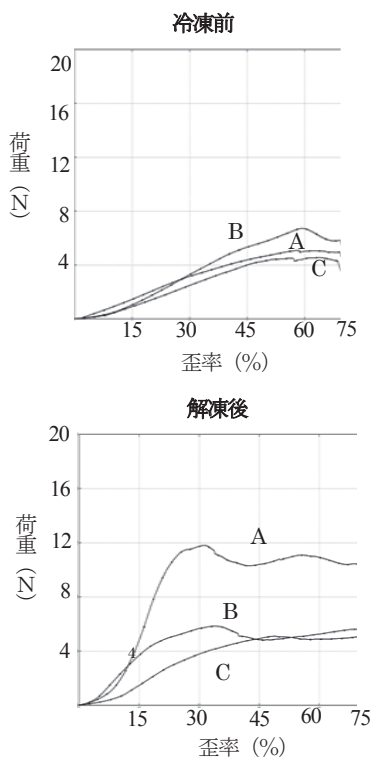
糖を25%添加した抹茶ごま豆腐を調製後、100℃で30分間加熱殺菌したときの冷凍前及び解凍後の物性変化を図5に示す。すべての試験区において解凍後の破断強度は増大した。各歪率（20%及び50%）における破断応力を表1に示す。歪率20%での破断応力は果糖、ショ糖、トレハロースの順に高いが、歪率50%時にはショ糖とトレハロースは同程度の強さとなった。ショ糖添加区では破断初期に最大破断強度に到達したのに対し、トレハロース添加区ではゆるやかに最大破断に到達した。ショ糖添加と比較して、トレハロースを添加するともっちりとした食感となることが示唆された。

トレハロース添加量の違いによる抹茶ごま豆腐の物性変化を図6に示す。添加量が増加するほど破断強度は低下した。ショ糖及び果糖においても、添加量の増加に対して破断強度は低下した（データ省略）。



A 無添加、B カップパカラギナン、C イオタカラギナン、D キサンタンガム、E カードラン

図4 多糖類添加による抹茶ごま豆腐の物性変化



A ショ糖、B 果糖、C トレハロース

図5 糖添加による抹茶ごま豆腐の物性変化

表1 糖を添加した際の各歪率における抹茶ごま豆腐の破断応力 (Pa)

	歪率 20%	歪率 50%
ショ糖	2.34E+04	2.43E+04
果糖	4.42E+04	5.36E+04
トレハロース	1.21E+04	2.51E+04

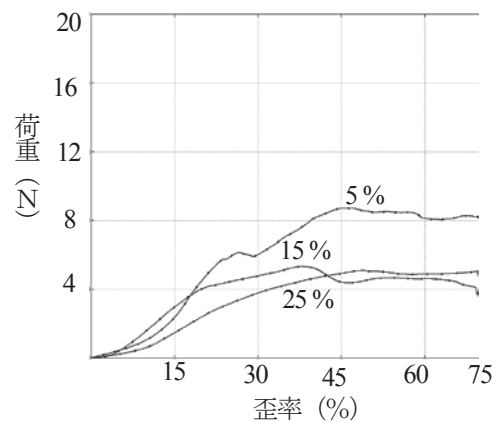


図6 トレハロース添加量の違いによる抹茶ごま豆腐の物性変化

#### 4. 考察

##### 4.1 加熱による抹茶成分の変動の検討

クロロフィル a の構造式を図7に示す。クロロフィルはポルフィリンに各種側鎖が付き、中心にマグネシウムが配位した構造をもつ。加熱によりクロロフィル量が減少し、フェオフィチン量が増加したのは、クロロフィルから中心金属であるマグネシウムが脱離し、フェオフィチンとなることで、クロロフィル量が減少しフェオフィチン量が増加したものと考えられる。

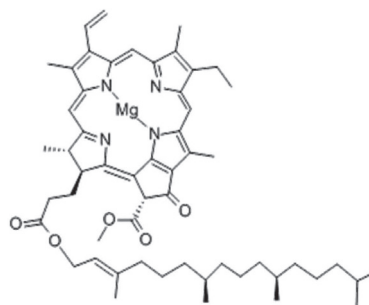


図7 クロロフィル a の構造式

##### 4.2 抹茶ごま豆腐の変色抑制効果の確認

フェルラ酸は食品の退色・変色防止効果を期待された酸化防止剤として食品加工に使用されていることから

ら、抹茶の変色にも効果を示したものと考えられる。アルブミンに若干の変色抑制効果は見られたのは、クロロフィルと結合しクロロフィル結合タンパク質として何らかの作用を示した可能性があるが、作用機序については不明である。

#### 4. 3 冷凍抹茶ごま豆腐の品質維持効果の確認

##### 4. 3. 1 多糖類の効果

ごま豆腐を冷凍解凍処理すると弾力のない硬い食感となる。増粘多糖類には冷凍解凍耐性があると報告<sup>[3]</sup>されている。デンプンの増粘作用を補強することによる物性改善の効果を検討したが、今回はいずれも物性の改善効果は得られなかった。

##### 4. 3. 2 糖の効果

本研究において試作したごま豆腐には、デンプンが使用されている。冷凍解凍時にデンプンの老化が進行することで、食感の低下など品質の劣化が起こる。老化はデンプンの直鎖構造であるアミロース部分の水分子が抜け、アミロースどうしが水素結合により会合することによって起こる。トレハロースはデンプン鎖中に分散している水分子と入れ代わることで、アミロース間の水素結合生成を阻害し、デンプンの老化を抑制するのではないかと考えられている<sup>[4]</sup>。トレハロースを25%添加することで、適度な柔らかさを有しながらデンプンの老化抑制にも効果を示したのではないかと考えられる。

## 5. 結 言

抹茶成分である緑色のクロロフィルは60℃の加熱でも褐色のフェオフィチンへと変化することから、食品を加熱殺菌すると容易に変色することが考えられる。変色防止のために添加剤について検討したが、変色抑制することは困難であった。一方、増粘多糖類や糖を添加し、冷凍解凍によるデンプンの老化抑制効果について検討した結果、トレハロースを添加することでデンプンの老化を抑制でき、解凍後の食感を改善することができた。

## 参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成29年推計）、2017.
- [2] Kohata, K., Hanada, K. and Horie, H: High performance liquid chromatographic determination of

pheoforbide-a and its related chlorophyll derivatives in Tea Leaves. Food Sci. Technol. Int. Tokyo, 4 (1), 80-84, 1998.

- [3] 越智敬志：ハイドロコロイドの食品工業への応用、食品工業 34(14), 18-30, 1991.
- [4] 福田恵温：トレハロースの開発とその応用吉備国際大学研究紀要（医療・自然科学系）第29号、41-49, 2019.