

トレハロースによる金時豆の煮崩れ防止効果

Effect of Trehalose on Preventing Crumbling of Boiled Red Kidney Beans

上中登紀子*[§] 升井洋至* 花崎憲子*

Tokiko Uenaka

Hironori Masui

Noriko Hanasaki

The effect of trehalose on preventing crumbling was investigated when boiling red kidney beans (*kintokimame*). Superfine sugar was used as a sweetening control. The beans were immersed in hot water for 2 hr, trehalose or sugar was added, and the beans were boiled with an IH cooking heater for 40 min. The crumbled state, rupture property and sugar concentration of the beans cooled for 1 hr after boiling were then measured. The beans boiled with trehalose tended to soften earlier than those boiled with sugar; the former tended to crumble much less than the latter. The rupture properties of the beans boiled with trehalose suggested that they had been softened by the water retentivity of trehalose. There was no difference in the sugar concentration and tissue microstructure of beans boiled with either trehalose or sugar.

キーワード：トレハロース trehalose；金時豆 red kidney bean；煮豆 boiled beans；物性 physical properties；保水性 water retentivity；IH 調理 IH cooking

緒 言

実験方法

食の多様化にともない、調理時には種々の甘味料が用いられている。トレハロースは、グルコース 2 分子が $\alpha, \alpha-1, 1$ 結合した二糖類で、動植物や微生物を含めて幅広く自然界に存在している¹⁾。トレハロースは非還元性のため加熱調理時のメイラード反応による着色がほとんどなく、変色が少ない。また、トレハロースは酸にも安定であり、食品中の種々の成分を安定化する作用や品質低下の原因となる脂質や炭水化物の変質を抑制する作用を有する。特に、水和活性は強く、食品中の水分活性を低下させ保湿性を高め、食品の保存性を向上させることや、凍結・冷蔵時に起こる離水を防止する機能も知られている²⁾。これらの機能を有しているためトレハロースは、最近では甘味料以外の目的でも様々な食品に利用されている。

トレハロースの豆類への利用に関しては、老化防止の面から蒸ししょうかん³⁾などに使用されている。このように豆類加工食品について利用されているトレハロースの機能性に関する報告は行われているが、煮豆に関する研究は皆無である。そこで、トレハロースが煮豆に及ぼす効果について、煮豆の煮崩れ防止と食感の観点から検討することを目的とした。本研究では、上白糖を用いた煮豆を対照として、トレハロースを用いた煮豆の煮崩れ防止効果や食感を比較検討し、新たな知見を得たので報告する。

1. 試料

試料は、2008 年収穫の北海道産大正金時を用いた。試料はポリエチレン製の密閉容器に入れて 4℃ にて保存し、標準的な重量範囲のものを適宜使用した。上白糖は三井製糖製を、トレハロースは林原商事製を用いた。

2. 煮豆の調製方法

煮豆の調製方法は、中里らの「いんげん豆の煮方」⁴⁾に準じた。無傷で標準的な重量範囲の豆 100 g (127~132 粒) を蒸留水で洗浄後、ステンレス製の鍋 (直径 20 cm, 厚さ 6.5 mm) に入れ、豆重量の 6 倍量の熱湯 (95~100℃) を注ぎ、鍋蓋をして、25℃ の室温にて 2 時間浸漬した。浸漬後、豆重量と等量のトレハロースまたは上白糖を加え、IH クッキングヒーター (KZ-KG22B, ナショナル (現パナソニック) 製) で沸騰までは火力 5 (1 kW), 沸騰後は火力 2 (370 W) で 40 分間加熱した。加熱後、IH クッキングヒーターより鍋をおろし、室温 (25℃) で 1 時間放冷し測定試料とした。

3. 煮豆の煮崩れ状態

煮豆を種皮の亀裂状態から判断して次のように 4 段階に分類した。①種皮に亀裂がない豆 (以下腹切れなし)、②種皮の亀裂が豆の幅の 1/2 未満の豆 (以下亀裂 1/2 未満)、③種皮の亀裂が豆の幅の 1/2 以上の豆 (以下亀裂 1/2 以上)、④種皮に大きく亀裂が入り子葉が見えている豆 (以下煮崩れ) に分類した。

4. 煮熟中の煮豆の重量増加率

豆 100 g を 8 等分してガーゼに包んだ状態で煮豆を調製し、加熱 10 分ごとに 2 包取り出し、素早く濾紙上に豆をのせ 5 分放置後、余分な水分を取り除き重量を測定し、煮豆の重量増加率を算出した。

* 武庫川女子大学

(Mukogawa Women's University)

[§] 連絡先 武庫川女子大学生生活環境学部

〒663-8558 西宮市池開町 6-46

TEL 0798(45)9746 FAX 0798(45)9746

5. 煮豆の破断試験

「腹切れなし」の煮豆を試料として、クリープメーター (RE3305, 山電製) で定速圧縮破断試験を行った。プランジャーはくさび形 (No. 49) を用い、最大荷重 20 N, 圧縮速度 1.0 mm/sec, 歪率 90% とし、破断応力, 破断エネルギー, 破断歪率を求めた。なお, 破断試験直前に煮豆の種皮をカミソリで取り除いた子葉のみの豆 (種皮なし) についても同一条件で破断試験を行った。

6. 煮豆の水分率

腹切れなしの煮豆約 10 g を秤量缶に入れ, -80°C の冷凍庫で凍結後, 凍結乾燥機で乾燥した。凍結乾燥後の重量を測定し, 煮豆の水分率を求めた。

7. 煮豆および煮汁の糖度

「腹切れなし」の煮豆約 5 g に煮豆と等重量の水を加えて乳鉢ですりつぶし, ろ過した。得られたろ液について屈折糖度計 (アタゴ製) で糖度を測定し, 得られた値の 2 倍の数値を煮豆の糖度とした。煮汁については, 1 mm 角の網目のザルにてこしたろ液をそのまま測定した。

8. 豆の吸水率

豆 100 g を熱湯で 2 時間浸漬した後の豆重量を測定して, 豆の吸水率を求めた。

9. 電子顕微鏡による煮豆の組織観察

煮豆を凍結乾燥後, カミソリで煮豆を縦に切断し, イオンスパッタにより Au-Pd 蒸着した試料について走査型電子顕微鏡 (S-530 形, 日立製) を用いて加速電圧 20 kV で組織観察した。

10. 統計処理

2 群間の比較に Student の t 検定を用いた。対照に対して危険率 5% 未満を有意差とした。

結果および考察

1. 煮崩れ状態

煮豆の煮崩れ状態を 4 段階に分類した結果を表 1 に示した。「亀裂 1/2 未満」の煮豆の占める割合は, トレハロース使用で約 35%, 上白糖使用は約 24% であり, 両者の間に有意差が認められた。一方, 「煮崩れ」の煮豆については, 有意差は認められなかった。しかし, トレハロース使用は上白糖使用に比べて, 低値を示した。「亀裂 1/2 未満」の割合が上白糖群で低値であるのは, 金時豆内部への上白糖水溶液の浸透がトレハロース水溶液に比べて遅いことが示唆される。煮熟中の煮豆の重量増加率変化を図 1 に示した。煮熟 30 分からトレハロースの煮豆が, 上白糖の煮豆に比べて重量増加率が高くなったことから, トレハロース使用の方が早く柔らかくなるものと推察される。また, トレハロース使用の「煮崩れ」の割合が上白糖使用に比べて低値を示したのは, トレハロースの強い水和力が水分を保持したためと推定される。これらのことから, トレハロースを使用して煮豆を調製すると, 上白糖よりも早く柔らかくな

表 1. 煮豆の煮崩れ状態 (%)

	腹切れなし	1/2 未満	1/2 以上	煮崩れ
上白糖	21.4 $\pm$ 2.7	23.9 $\pm$ 3.0	32.1 $\pm$ 1.3	22.6 $\pm$ 4.4
トレハロース	19.3 $\pm$ 4.5	34.5 $\pm$ 4.5	30.3 $\pm$ 4.4	15.8 $\pm$ 6.7

n=390 平均値 $\pm$ 標準偏差

*: $p < 0.05$

腹切れなし, 1/2 未満, 1/2 以上, 煮崩れの合計を 100% とした場合の比率を%で表した。

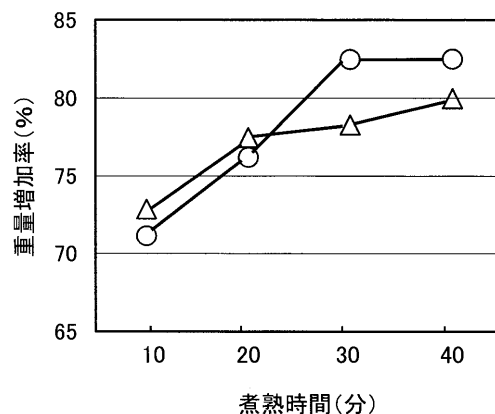


図 1. 煮豆の重量増加率変化

—○— トレハロース —△— 上白糖

るが, 煮崩れしにくい傾向があると示唆される。トレハロースによる煮豆の煮崩れ防止効果の理由については未だ明らかではない。

2. 破断特性

「腹切れなし」の煮豆について定速圧縮破断試験を行った結果を表 2, 表 3 に示した。破断応力は試料の硬さ, 破断エネルギーは試料の破断に至るまでの仕事量, 破断歪率は破断した時点における試料の変形の程度を表わすとされている。

表 2 は煮豆の破断特性の経時的変化を示している。各時間における破断応力は, トレハロース使用の煮豆が上白糖使用の煮豆に比べて低値を示し, 煮熟 20 分後においては有意に低値を示した。これらのことから, トレハロース使用の方が早く柔らかくなる傾向にあると考えられる。

表 3 は煮熟 40 分後 1 時間放置して測定した破断特性である。「種皮あり」の場合は, 破断応力, 破断エネルギー, 破断歪率ともにトレハロース使用と上白糖使用との間に, 有意差は認められなかったが, すべての項目において, トレハロース使用が低値を示した。また, 煮豆における種皮の影響をみるために, 「種皮なし」の煮豆についても同様に破断試験をした結果, トレハロース使用, 上白糖使用のいずれも破断応力は「種皮あり」の約 1/2 の値, 破断エネルギーにおいては「種皮あり」の約 1/3 の値であった。「種皮なし」の煮豆では, 破断エネルギーにおいてトレハロース使用と上白糖使用との間に有意差が認められた。トレハロース使用が低値であったことから, 上白糖使用の煮豆に比べてトレハロース使用によって煮豆は柔らかくなったことが認められた。用いた糖の種類にかかわらず, 煮豆の子

トレハロースによる金時豆の煮崩れ防止効果

表2. 煮豆の経時的破断変化（腹切れなし）

		破断応力 ($\times 10^4$ N/m ²)	破断エネルギー ($\times 10^4$ J/m ³)	破断歪率 (%)
10分	上白糖	13.56 $\pm$ 2.56	15.22 $\pm$ 3.38	33.37 $\pm$ 3.11
	トレハロース	12.59 $\pm$ 3.09	13.77 $\pm$ 3.47	30.42 $\pm$ 3.73
20分	上白糖	13.16 $\pm$ 3.54	14.58 $\pm$ 3.96	32.38 $\pm$ 3.31
	トレハロース	6.90 $\pm$ 0.86	7.51 $\pm$ 1.35	27.21 $\pm$ 3.05
30分	上白糖	5.41 $\pm$ 1.46	5.93 $\pm$ 2.31	29.98 $\pm$ 5.24
	トレハロース	4.74 $\pm$ 1.86	5.55 $\pm$ 2.08	29.47 $\pm$ 6.10
40分	上白糖	4.83 $\pm$ 1.31	6.34 $\pm$ 3.59	30.90 $\pm$ 6.34
	トレハロース	4.51 $\pm$ 1.15	4.34 $\pm$ 0.99	24.68 $\pm$ 3.33
n=10	平均値 $\pm$ 標準偏差		** : p<0.01 * : p<0.05	

表3. 煮豆の破断特性（腹切れなし）

			破断応力 ($\times 10^4$ N/m ²)	破断エネルギー ($\times 10^4$ J/m ³)	破断歪率 (%)
種皮あり	上白糖		38.00±5.99	6.05±2.43	28.37±6.56
	トレハロース		35.55±6.42	4.83±1.53	25.83±4.80
種皮なし	上白糖	]**	19.86±5.18	2.04±0.75	20.30±4.72
	トレハロース		18.90±5.62	1.54±0.64	16.53±2.30
n=20 平均値±標準偏差			** : p<0.01 * : p<0.05		

葉部分は十分柔らかくなっていた。煮豆の硬さには種皮が大きく影響しており、種皮を除去した結果より両者間の差異がより明確になった。

「腹切れなし」の煮豆の水分含量を凍結乾燥法で測定した結果、トレハロース煮豆 56.8%、上白糖煮豆 54.2%とトレハロース煮豆の方が高く、この差異はトレハロースの保水性によるものと推定された。この保水性の差が煮豆の硬さに影響を及ぼしていると考えられる。

糖質の保水性では、エカトリアル配向の水酸基の数が多いほど水和数が高く、トレハロースはエカトリアル配向の水酸基の数が多いため種々の糖質に比較して最も水和力が強い⁵⁾。これは、トレハロース分子の水酸基の構造が水分子と類似しており、水のクラスター（トリジマイト構造）にはまりやすいためと考えられている⁶⁾。このようなトレハロースの安定した水和状態による高い保水性が煮豆を柔らかくする大きな要因であると考えられる。

3. 糖度

煮豆および煮汁の糖度を表4に示した。煮豆の糖度はトレハロースおよび上白糖とも有意差は認められなかった。しかし、煮汁においては両者間に有意差が認められ、トレハロースの方が低値を示した。浸漬時当初の豆の吸水率は両糖とも変わらず、煮熟前の液量も同じであったが、煮熟時の水分蒸発量は上白糖使用に比べてトレハロース使用によって約5%抑制されていた。トレハロースは上白糖に比べて保水性が高いため、煮熟時のトレハロース使用煮汁では水分量が保持され、上白糖と比較して煮汁の量が多くなり、煮汁糖度が低くなったと推定される。よって、トレハロース使用は煮熟時の煮汁量の損失を防ぎ、加熱効率を良くすることが示唆された。

表4. 煮豆および煮汁の糖度 (%)

			煮豆	煮汁
上白糖			16.7 $\pm$ 0.6	24.2 $\pm$ 0.0
	トレハロース		16.6 $\pm$ 0.5	23.2 $\pm$ 0.4
n=3 平均値 $\pm$ 標準偏差			* : p<0.05	

4. SEM 観察

トレハロース使用、上白糖使用による煮豆の組織への影響を比較するために、煮豆の縦断面のSEM観察写真を図2に示した。無糖（水煮）、上白糖使用、トレハロース使用とも、煮豆の子葉部柔組織の細胞は、煮熟により、細胞間に顕著な隙間を生じて軟化の様相を呈していた。無糖に見られる細胞の周りの薄膜状のものは、煮熟時に軟化した細胞壁と考えられるが、トレハロース使用、上白糖使用にはほとんど認められなかった。トレハロース、上白糖を使用した煮豆の組織構造の形態の間には明確な差異は認められなかった。トレハロースにはデンプン老化防止効果が報告されている⁷⁾ので、デンプン粒の状態にも影響を与えると推定したが、SEM像では違いを把握することは不可能であった。したがって、SEM像ではトレハロースと破断特性との関係を明らかにすることはできなかった。

トレハロースの保水性を利用した米におけるデンプン老化防止⁸⁾やタンパク質変性防止⁹⁾が報告されている。本研究では、トレハロースを用いた煮豆の破断特性から、トレハロースの保水性が煮豆を柔らかくする一因と考えられた。また、トレハロースには煮豆の煮崩れ防止効果が示されたが、トレハロースの特性との関係は現時点では明らかではない。トレハロースの甘味度は、上白糖の45%で低い、あと味のすっきりした甘味質であるため、素材の持ち

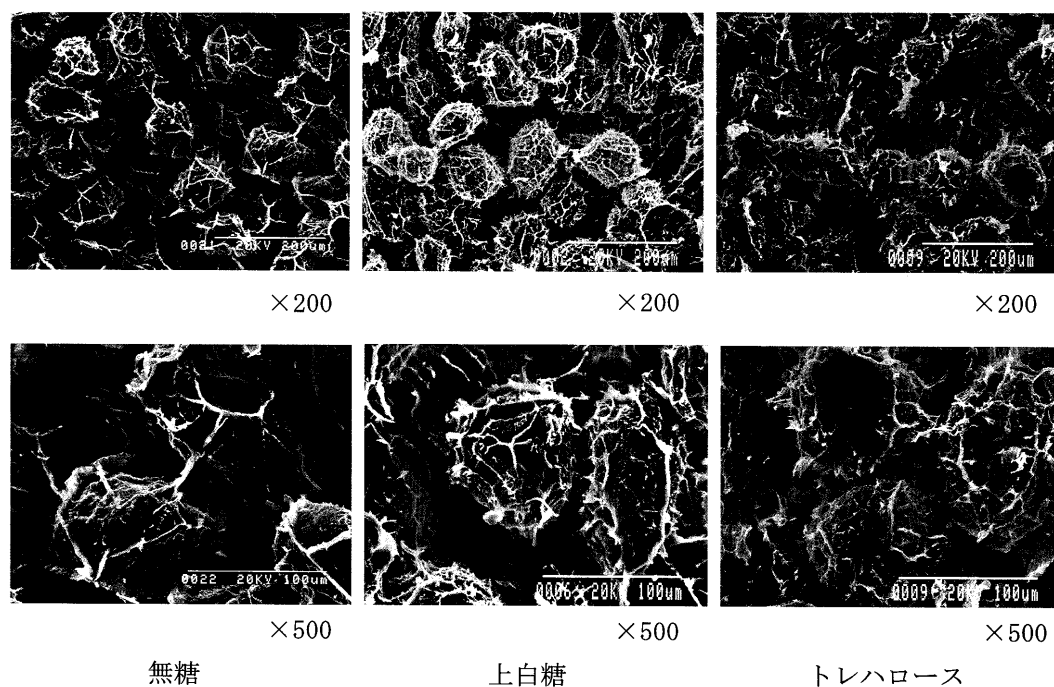


図2. 煮豆の電子顕微鏡写真

味を引き出すことができると考えられる。今後、各種豆類においてトレハロースの特徴を利用することで、豆類加工食品への応用が期待される。

要 約

トレハロースによる金時豆の煮崩れ防止効果および破断特性等について、上白糖を対照として比較検討した。

- 1) トレハロース使用の煮豆は、上白糖使用の煮豆より早く柔らかくなり、煮崩れしにくい傾向があった。
- 2) 煮豆・煮汁の糖度からトレハロースは上白糖よりも保水性が高いことが示された。このようなトレハロースの高い保水性が煮豆の柔らかさに関与すると推定された。
- 3) 子葉の断面のSEM観察において、トレハロース使用の煮豆と上白糖使用の煮豆間には、組織上の差異は見られなかった。

本実験を行うにあたり、試料豆を提供してくださいましたホクレン農業共同組合連合会に深く感謝致します。

文 献

- 1) 齊藤典行 (2006), トレハロースの特性と生理作用, ビタミン, **80**, 345-348
- 2) 久保田倫夫 (2005), トレハロースの新しい機能・特性, *New Food Ind.*, **47**(3), 17-29
- 3) 濱西知子, 松永直子, 平尾和子, 貝沼圭二, 高橋節子 (2002), サゴ澱粉を用いたくず蒸しのかんの調理・加工特性, 日調科誌, **35**, 287-296
- 4) 中里トシ子, 小瀬川継美, 板橋文代 (1970), 乾燥豆類の調理方法について いんげん豆の煮方, 家政誌, **21**, 252-256
- 5) 櫻井実, 井上義夫 (1997), 糖の水和とトレハロースの生理機能, 生物物理, **37**, 326-330
- 6) 櫻井実, 浅川直紀, 井上義夫 (1998), 水和特性から探るトレハロースの生体保護機構, 食品工業, **41**(20), 64-72
- 7) 森脇将光, 澱粉含有食品の老化防止法, 特開平 7-79689, 1995
- 8) 平田健 (2009), 炊飯米のテクスチャーに及ぼすトレハロースの影響, 広島食工技研報, **25**, 1-4
- 9) 與座宏一, 岡部蘭子, 島純 (2008), 米粉利用の現状と課題—米粉パンについて—, 日食工誌, **55**, 444-454

(平成 23 年 3 月 7 日受付, 平成 23 年 10 月 12 日受理)

和文抄録

金時豆を用いて煮豆の煮崩れ防止や破断特性についてトレハロースの効果を調べた。上白糖を甘味料の対照として用いた。豆を熱湯に2時間浸漬後、トレハロースまたは上白糖を使用して、IH クッキングヒーターで40分煮熟した。煮熟後1時間放冷した豆について、煮崩れ状態、破断特性、糖度を測定した。トレハロース使用の煮豆は、上白糖使用の煮豆より早く柔らかくなり、煮崩れしにくい傾向があった。トレハロース使用の煮豆の破断特性はトレハロースの保水性によって煮豆が柔らかくなると示唆した。トレハロースと上白糖の間には煮豆の糖度と組織の微細構造上の差異は何も見られなかった。