沖縄豆腐の品質について

－保温中における経時変化－

望月智代、豊川哲也、松本亜里奈*

60℃で保温した沖縄豆腐の品質の変化を明らかにするため、工業技術センターにて製造したモデル豆腐および市販豆腐を用いて、所定時間ごとの物性（弾性率、破断応力）、離水率、食味に関する検討を行った。分散分析により、保温時間は弾性率と破断応力に有意に影響を与えることが認められたが、多重比較検定により各水準間の有意差は確認されなかった。離水率では保温時間の経過により離水が進行し、食味では２種類の豆腐で類似した経時変化を示した。具体的には、保温初期はえぐ味が感じられ、柔らかくまとまりがない食感を示し、保温２時間で塩味や甘味が生じてまとまりや弾力のある食感となり、えぐ味の低下が見られた。保温４時間経過すると塩味と甘味が低下し、７時間では豆臭が生じた。

１　はじめに

HACCP義務化に伴い、温かい状態で販売する沖縄豆腐いわゆる「あちこーこー豆腐」の衛生管理指標として、セレウス菌を制御することが明示された[1)]。セレウス菌は耐熱性芽胞を形成することが知られており、豆腐製造の「豆乳の加熱工程」や「一般的な豆腐の加熱条件」では殺菌できず、発芽後は55℃以下で増殖し３時間後には食中毒を起こすレベルの菌数に達する[2)]。これに基づき、あちこーこー豆腐の流通販売方法では豆腐の温度が55℃を下回った場合は３時間以内に喫食、または速やかに冷却し冷蔵保管することが新しい目安として示されている[1)]。これを受け、県内では55℃以上で保温したまま流通販売を行う豆腐製造者が一部で見られるようになった。しかし、これまでに行われてこなかった方法であるために、保温による品質低下を懸念する意見が業界より寄せられた。そこで本研究では、沖縄豆腐を60℃で保温した場合における品質の経時変化を確認した。

２　実験方法

2-1　豆乳の調製

原料大豆には2022年産のアメリカ産白目大豆を用いた。大豆を水道水で洗浄後、あらかじめ14℃に冷却した大豆重量の３倍量の水に16時間浸漬した。水切り後、生大豆1 kg当たり2.4 kgの水とともに、グラインダーで磨砕し呉を調製した。その後、圧搾器でおからを分離して得た生絞り豆乳を-20℃で冷凍保存した。

2-2　豆腐の製造

図１に本試験における豆腐の製造工程を示す。豆腐の試作に用いる型箱（木製、幅14 cm × 奥行14 cm × 高さ12 cm）およびさらし布は、使用前に煮沸殺菌したものを用いた。半解凍の豆乳を鍋に入れて湯煎により解凍後、90℃付近まで加熱したのち、熱水を加えてBrix 7に調整した。その後70℃まで冷却し、豆乳重量の5%量の凝固剤を添加して10分間静置した。凝固剤は、4%塩化マグネシウム、5%塩化ナトリウムの溶液を用いた。10分静置後、湯を除去しながら、凝固を進行させた。凝固途中に凝固物をヘラで２回～３回崩して湯の排出を促した。凝固剤添加から20分～30分後、さらし布を敷いた型箱への凝固物の盛り入れ、圧縮および脱水の操作を３回繰り返し実施した。圧縮は0.025 kg/cm^{2}の圧力をかけて行った。盛り入れ終了後は0.025 kg/cm^{2}の圧力で圧縮・脱水を30分間行い、型箱から出したものをモデル豆腐とした。

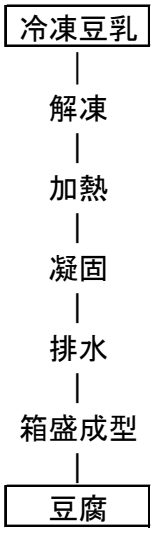


図１　豆腐の製造工程

2-3　保温試験

モデル豆腐および県内豆腐製造業者にて製造されたあちこーこー豆腐（以下、市販豆腐）を試料として用いた。それぞれの豆腐を6.5 cm × 6.5 cm × 5 cmのサイズに切り分けて密閉容器に入れ恒温機にて60℃保温した。製造直後を保温０時間とし、所定時間毎に各種測定を実施した。

2-4　物性測定

保温豆腐を2 cm角に切断したのち、レオメーター（CREEPMETER RE2-33005、株式会社山電）にて圧縮

*現保健医療介護部　八重山保健所

試験を行い、弾性率および破断応力を測定した。測定条件を表１に示した。

表１　圧縮試験の測定条件

ロードセル	20N
アンプ倍率	0.1
格納ピッチ[sec]	0.03
測定歪率[%]	99
測定速度[mm/sec]	1
接触面直径[mm]	5
使用治具	No.5

2-5　離水率の測定

所定時間にて豆腐より浸出した液体を回収し測定した重量を離水重量とした。離水重量と、保温０時間の豆腐重量との比を離水率として算出した。

2-6　統計解析

統計解析にはEXCEL統計ver.7.0（エスミ社）を用い、分散分析およびTukey法による多重比較検定を行った。

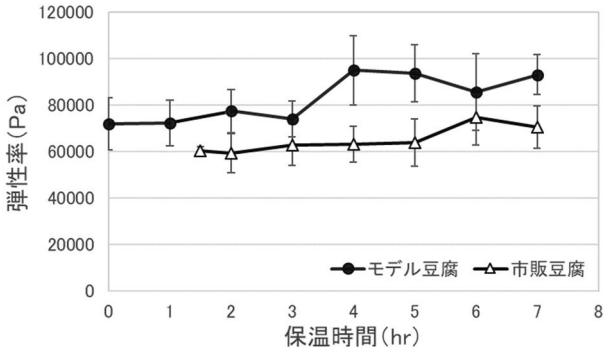
３　実験結果および考察

3-1　弾性率および破断応力

弾性率および破断応力の経時変化を図２、３に、モデル豆腐における弾性率および破断応力の分散分析表を表２、３に示す。

弾性率はモデル豆腐で72000 Pa～95000 Pa、市販豆腐で60000 Pa～75000 Paを示した（図２）。分散分析により、いずれの豆腐においても保温時間は弾性率に有意に影響を与えることが認められた（表２、市販豆腐については未提示）。しかし、多重比較検定により各測定間に有意差は認められなかった（検定結果は未提示）。

破断応力はモデル豆腐で27000 Pa～40000 Pa、市販豆腐で17000 Pa～22000 Paを示した（図３）。弾性率と同様、いずれの豆腐においても保温時間は破断応力に有意に影響を与えることが認められた（表３、市販豆腐については未提示）が、多重比較検定により各測定間に有意差は認められなかった（検定結果は未提示）。



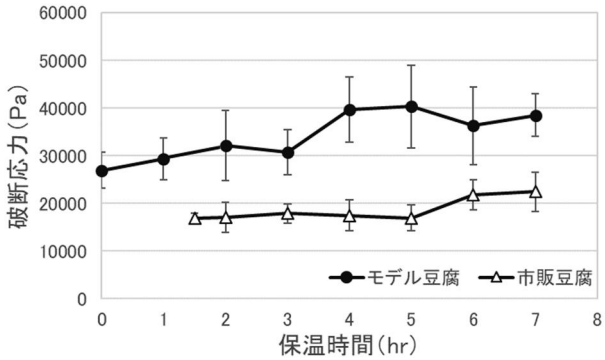
※エラーバーは標準偏差を示す

図２　弾性率の経時変化

表２　モデル豆腐における弾性率の分散分析

n.s.：p値≧0.05、*：p値＜0.05、**：p値＜0.01

要因	自由度	偏差平方和	不偏分散	分散比	p値	判定
全体	48	9.915E+09				
A	7	4.199E+09	6E+08	4.302339	0.001	**
誤差	41	5.716E+09	1.39E+08			



※エラーバーは標準偏差を示す

図３　破断応力の経時変化

表３　モデル豆腐における破断応力の分散分析

n.s.：p値≧0.05、*：p値＜0.05、**：p値＜0.01

要因	自由度	偏差平方和	不偏分散	分散比	p値	判定
全体	48	2.77E+09				
A	7	1.062E+09	1.52E+08	3.642159	0.004	**
誤差	41	1.708E+09	41650634			

3-2　離水率および食味

離水率の経時変化を図４に示す。モデル豆腐では保温３時間で5.2%まで上昇したのち、６時間後まで6.1%～7.8%を推移し、７時間後で9.5%に達した。市販豆腐は保温1.5時間で2.5%を示したのち、５時間後まで3.6%～5.0%を推移し、６時間以降では6.0%以上となった。いずれの豆腐においても、経過時間ごとに離水が進行した。

食味試験の結果を表４に示す。２種類の豆腐における経時変化は類似の傾向を示した。モデル豆腐の保温０時間および市販豆腐の1.5時間の食味は、柔らかくまとまりがない食感で、えぐ味が感じられた。モデル豆腐の保温２時間～３時間および市販豆腐の２時間～５時間で、塩味・甘味が生じ、まとまりや弾力のある食感となり、えぐみは低下する傾向を示した。モデル豆腐の保温４時間～６時間および市販豆腐の６時間では塩味と甘味の低下が見られ、ざらつき、くちゃつき、なめらかなど食感の変化が確認された。市販豆腐の保温７時間は、豆臭が生じ味が重くなった。

木綿や絹ごし豆腐製造では、成型・カット後に水さらし工程が行われるが、この水さらしによりえぐ味に関連する成分を除去し、良好な豆腐の風味を引き出している[3)]。また水さらしを省略したホットパック式豆腐（成型・カット後すぐに包装し急冷した豆腐）は、糖などの未凝固成分が閉じ込められているために濃厚な味わいと

なっている[4]。水さらしをしない沖縄豆腐では、水分や水溶性成分が木綿・絹ごし豆腐よりも多く存在し、製造後は経時的に流出することが考えられる。本研究では食味の経時変化が確認されたことから、食味に関連する成分の流出が示唆された。流出成分の同定や経時変化、豆腐の食味との関連性についてはさらに検討する必要がある。

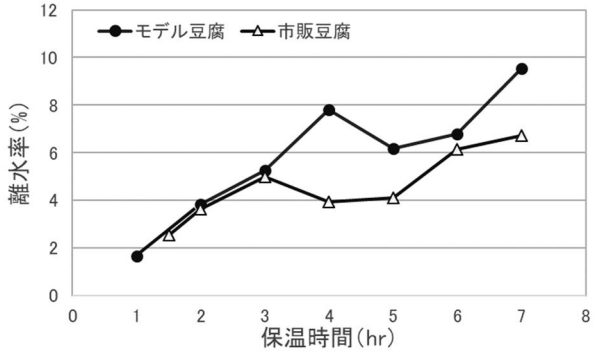


図４　保温による離水率の変化

表４　保温による食味の変化

	モデル豆腐		市販豆腐	
	味	食感	味	食感
0hr	塩味弱い 後味でえぐ味あり 大豆感なし	まとまりがない 歯ごたえなし ぼろっと崩れる	未評価	未評価
1hr （1.5hr）	塩味が出てきた えぐ味あり 豆腐らしい味	まとまりがでてきた	あっさり えぐ味あり	柔らかい
2hr	甘味が出てきた 後味のえぐ味低下	なめらかさあり	塩味が出てきた	弾力が出てきた ねっとり感
3hr	えぐ味弱い	ざらつきあり	味がはっきりしてきた 塩味・甘味あり 大豆のコク えぐ味弱い	まとまりがでてきた
4hr	塩味低下	ざらつきあり	味がややあっさり コクが低下	ざらつきあり
5hr	塩味低下 旨味あり	弾力が出てきた	塩味・甘味あり	なめらかさあり
6hr	えぐ味がなくなった 風味がおだやか	くちゃつき少し	塩味、甘味やや低下	なめらかさあり
7hr	未評価	未評価	味が重くなってきた 豆臭	特になし

４　まとめ

沖縄豆腐を60℃で保温した場合における品質の経時変化を検討したところ、以下のような結果を得た。

①分散分析により、保温時間は弾性率と破断応力に有意に影響を与えることが認められたが、多重比較検定により保温時間ごとの有意差は確認されなかった。

②いずれの豆腐においても、保温時間の経過により離水が進行した。

③食味の経時変化は、２種類の豆腐で類似していた。具体的には、保温初期はえぐ味が感じられ、柔らかくまとまりがない食感を示し、保温２時間で塩味や甘味が生じ、まとまりや弾力のある食感となり、えぐ味の低下が見られた。保温４時間経過すると塩味と甘味が低下し、７時間では豆臭が生じた。

離水により流出する成分と豆腐の食味との関連性はさらなる検討が必要である。

本研究は、企業連携共同研究開発支援事業における研究課題「沖縄豆腐製造における新たな技術開発と品質調査（2023技021）」により実施した。

参考文献

1）厚生労働省：温かい状態で販売する島豆腐小規模製造事業者におけるHACCPの考え方を取り入れた衛生管理のための手引書、https://www.mhlw. go.jp/content/11130500/000768107.pdf、令和2年6月24日公表、（参照日2024年7月1日）

2）独立行政法人日本貿易振興機構（ジェトロ）、239-242、「人向け食品の危害分析およびリスクに応じた予防管理：産業界向けガイダンス」、2019

3）青山隆、p110、「豆腐入門」、株式会社日本食糧新聞社、東京都（2010）

4）青山隆、ｐ87、「豆腐入門」、株式会社日本食糧新聞社、東京都（2010）

On the Quality of Okinawan Tofu
– Change Over Time During Hot Retention –

Tomoyo MOCHIZUKI, Tetsuya TOYOKAWA, Arina MATSUMOTO*

Okinawa Industrial Technology Center

*Okinawa Industrial Technology Center (currently Yaeyama Public Health Center, Okinawa Prefecture)

Our objective was to clarify the quality changes of Okinawan tofu during hot retention at 60°C. Using model tofu manufactured at the Industrial Technology Center and commercially available tofu, we investigated changes in physical properties (modulus of elasticity and rupture stress), water release rate, and taste over a predetermined timeline. A dispersion analysis revealed that the hot retention time significantly affected the modulus of elasticity and the rupture stress. However, a multiple comparison test showed no significant differences between the respective levels. The water release rate increased as the hot retention time elapsed. Both types of tofu showed similar changes in taste over time. Specifically, they had an acrid taste and a soft, inconsistent texture at the start of hot retention. After two hours of hot retention, they gradually became salty and sweet, acquiring a consistent, elastic texture, while the acrid taste diminished. After four hours of hot retention, they tasted less salty and sweet with a bean-like odor emerging after seven hours.

編　集　　沖縄県工業技術センター

発　行　　沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番２

Ｔ Ｅ Ｌ　　(098)929-0111

Ｆ Ａ Ｘ　　(098)929-0115

Ｕ Ｒ Ｌ　　https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。