

長期冷凍納豆の品質評価

野口 友嗣*

1. はじめに

納豆の輸出金額は2025年に32.8億円(前年比48.2%増加)に達し、海外への販路拡大が顕著である¹⁾。納豆は冷凍状態で輸送されるが、輸送環境や輸出先での取り扱いによっては、品質劣化が生じて商品価値が低下する可能性がある。また、コールドチェーンが確立された国では、納豆を自国で製造する事業者の台頭も予想される。国産大豆の輸出促進を図るため、輸出時に想定される長期間冷凍環境下での納豆の品質を把握することは重要である。

2. 目的

本研究では、最大で540日間冷凍した納豆の品質を評価することで、輸出時に想定される長期間冷凍環境下での納豆の品質を把握することを目的とした。

3. 研究内容

3.1 材料

納豆の製造に用いる原料大豆は小粒ユキシズカ(令和6年、北海道産)を用いた。納豆菌は当センターが保有する namegata-2-2 株および X 株を使用した。

3.2 納豆の製造

原料大豆 1 kg を充分量の水道水に20℃で16時間浸漬後、加圧釜を用いて1.8気圧で25分間蒸煮した。蒸煮大豆に納豆菌を 1.0×10^3 個/煮豆1gの割合で添加し、40gずつポリスチレンペーパー(PSP)容器に充填した。恒温器内に半製品を入れ39℃(相対湿度98%)で18時間、20℃(相対湿度50%)で2時間発酵後、5℃で一晩熟成させた。

3.3 納豆の保存と分析

3.2で製造した納豆を-20℃で冷凍した後、製造直後(冷凍なし)、冷凍30日後、90日後、180日後、270日後、360日後および540日後に取り出して解凍し、以降の分析に供した。

なお、本研究では納豆菌の種類、解凍温度および解凍時間により表1のとおり4試験区を設定した。

表1 試験区の詳細

試験区	納豆菌の種類	解凍温度 (℃)	解凍時間 (hr)
1	namegata-2-2 株	5	12
2	namegata-2-2 株	20	3
3	X 株	5	12
4	X 株	20	3

3.4 分析方法

3.4.1 破断応力

1パックにつき皮剥け・潰れのない納豆20粒を選び、テンシプレッサーTTP-50BX II(有限会社タケトモ電機製)を用いて、直径25mmの円柱型プランジャー、破断速度1.0mm/秒、圧縮率70%、1バイト測定モードにおける短軸方向の破断応力を測定した。

3.4.2 色差

既報²⁾を参考にして納豆をラップフィルムに挟み軽く押しつぶした後、色差計SE2000(日本電色工業株式会社製)を用いて1パックにつき5粒のL*値、a*値、b*値を測定した。

3.4.3 アンモニア態窒素含有量

既報³⁾に従って実施した。はじめに30メッシュの裏ごし器を用いて納豆を裏ごし後、150mgを秤量した。秤量した納豆をイオン交換水で50mLに定容後、ラボアッセイ™アンモニア(富士フィルム和光純薬社製)を用いて測定した。このとき測定には紫外・可視分光光度計Ultrospec 2100 pro(Biochrom株式会社製)を用いた。

3.4.4 ポリガンマグルタミン酸(γPGA)含有量

既報³⁾に従って、γPGAを含む納豆粘性物質の重量から全糖量を差し引くことで算出した。このとき納豆粘性物質の減圧乾燥には真空乾燥器V-40D(株式会社東洋製作所製)、全糖量の測定には紫外・可視分光光度計Ultrospec 2100 proを用いた。

3.5 統計解析

製造直後を基準としたDunnett検定を行い、危険率5%未満を有意差ありとした。

4. 研究結果と考察

4.1 破断応力

各試験区における納豆の破断応力を示す(図1)。製造直後から変動はあるものの、試験区3を除き、製造直後の納豆と冷凍540日後の納豆の破断応力に統計的有意差はみられなかった。試験区3のみ冷凍540日後の納豆の破断応力が大きくなった理由としては、解凍中に生じるタンパク質の変性や細胞破壊の影響をより強く受けた可能性がある。

*フード・ケミカルグループ

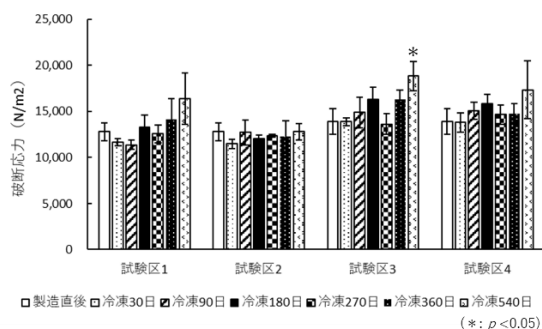


図1 破断応力の変化

4.2 色差

各試験区における納豆のL*値、a*値、b*値を示す(表2)。試験区1を除き、製造直後の場合より冷凍540日後の納豆でb*値が上昇し、黄色味が強くなった。この原因として、冷凍保存中に大豆由来の脂質が酸化したことやメイラード反応等の非酵素的褐変が生じたことなどが考えられる。

表2 色差の変化

冷凍日数 (日)		試験区1	試験区2	試験区3	試験区4
製造直後	L*	59.4±1.0	59.4±1.0	59.0±1.3	59.0±1.3
	a*	3.4±0.1	3.4±0.1	3.3±0.7	3.3±0.7
	b*	12.3±0.6	12.3±0.6	12.3±0.7	12.3±0.7
30	L*	58.0±1.7	58.2±0.4	56.3±0.9	56.5±0.4
	a*	3.0±0.0	2.1±0.6*	3.3±0.5	3.4±0.1
	b*	12.4±1.9	13.9±1.6	11.6±0.7	14.1±1.0
90	L*	58.8±1.5	57.4±0.9	56.8±0.3	58.3±0.6
	a*	2.4±0.3	2.5±0.4*	2.5±0.7	1.9±0.4*
	b*	16.3±2.7	16.8±0.9*	17.3±2.0*	18.3±1.6*
180	L*	59.3±1.0	59.5±1.3	60.2±1.9	59.8±1.7
	a*	2.8±0.7	2.8±0.4	2.5±0.4	2.0±0.3*
	b*	12.9±1.9	14.2±0.4	12.7±1.1	14.6±1.8
270	L*	59.0±0.9	60.7±1.1	59.8±2.4	59.9±0.4
	a*	3.9±0.3	2.8±0.3	3.1±0.2	2.5±0.4
	b*	11.6±1.4	12.7±2.0	11.7±0.8	13.6±1.2
360	L*	58.4±0.7	56.5±0.9*	56.8±0.9	56.5±1.1
	a*	4.1±0.7	3.1±0.2	3.1±0.1	3.0±0.4
	b*	11.2±3.8	11.5±1.0	12.4±0.9	12.5±1.8
540	L*	57.6±2.7	54.0±1.9*	57.9±0.8	55.8±2.9
	a*	3.0±1.1	3.0±0.2	3.6±1.2	3.0±0.7
	b*	15.5±2.3	16.7±1.3*	17.5±2.7*	18.0±1.8*

(*: $p < 0.05$)

4.3 アンモニア態窒素含有量

各試験区における納豆のアンモニア態窒素含有量を示す(図2)。製造直後のアンモニア態窒素量は120 mg/(100g 納豆)を示し、その後多少の変動はあるものの、すべての試験区で、製造直後の納豆と各冷凍期間の納豆のアンモニア態窒素量に統計的有意差はみられなかった。本研究ではすべての冷凍期間で納豆の官能的に問題になるとされる250 mg/(100g 納豆)未満であったことから、官能上の問題は認められないと考えられる²⁾。

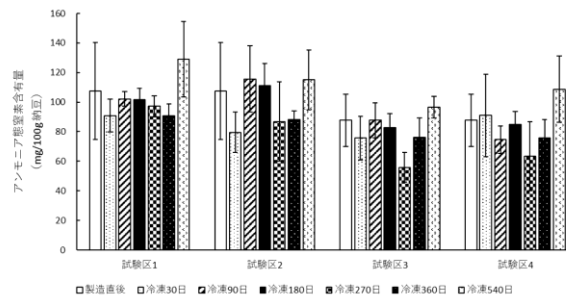


図2 アンモニア態窒素含有量の変化

4.4 γPGA 含有量

各試験区における納豆のγPGA含有量を示す(図3)。納豆のγPGA量は、製造直後から冷凍90日後まで増加後、冷凍180日後以降は概ね製造直後と同等の数値を示した。このとき、すべての試験区で製造直後の納豆と冷凍540日後の納豆との間に統計的有意差はみられなかった。このことから、冷凍30日及び冷凍90日後におけるγPGA含有量が増加した理由として、納豆粘性成分の洗い出し時に破砕物が混入し、見かけ上の納豆粘性成分量が増加したことが考えられる。

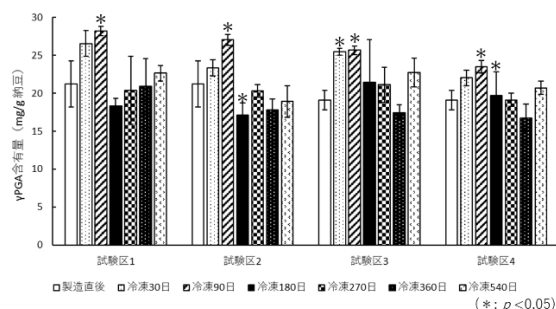


図3 γPGA 含有量の変化

5. まとめと今後の展望

納豆輸出時の品質担保に資するデータを取得するため、最大で540日間冷凍保存した納豆の品質を評価した。その結果、本研究で製造した納豆は、冷凍540日後も製造直後と概ね同等の破断応力、色差、アンモニア態窒素含有量、γPGA含有量を保持することが明らかになった。本研究で納豆の輸出促進に向けた知見が得られたほか、取得したデータは長期保存によるフードロス削減にも活かすことができ、今後の展開が期待される。

6. 参考文献

- 1) 財務省貿易統計 (2026. 3. 17 確認)
- 2) 長谷川裕正、茨城県工業技術センター研究報告、38、26-27、2011
- 3) 久保雄司他、日本食品科学工学会誌、60、577-581、2013