

大豆飲料製造におけるファインバブル技術の利用

佐合 徹*, 山崎栄次*

Application of Fine Bubble Technology to Soy Drink

Toru SAGO and Eiji YAMAZAKI

The purpose of this study is to establish a methodology of producing high quality soy drinks with the application of fine bubble technology. Soy drink is the suspension of soy bean powder and soy milk is extracted from soy beans. Flow behaviors and a hexanal were measured in this work: the flow behavior is associated with protein aggregation and the hexanal exhibits a kind of immaturity peculiar to soy beans of soy drink and soy milk. As a result of a fine bubble treatment, both of the viscosity at 10°C and the hexanal concentration were decreased. It shows a potential of fine bubble technology for improving the quality of soy drinks.

Key words: Fine Bubble, Viscosity, Hexanal, Drink, Soy Bean

1. はじめに

ファインバブルとは、液体の中にナノメートルサイズからマイクロメートルサイズで存在する気泡群である。ファインバブルは、泡表面がマイナスに帯電していること、および泡の中に空気だけでなく不活性ガスなど様々な気体を含むことができることが特徴である。近年、ファインバブルの利用は広がりを見せており、例えば、食品分野ではファインバブルによる脂肪の分離浮上促進効果を活用した食用油分離¹⁾、クリーム製造中の窒素ファインバブルを用いた酸化抑制²⁾、窒素等のファインバブルによる酸化防止効果を活用した清酒の貯蔵劣化抑制³⁾に活用されている。また、食品分野以外でも、環境分野でのファインバブルによる有機物の吸着効果を利用した排水処理⁴⁾、農業分野での酸素ファインバブルによる成長促進効果を利用した水耕栽培⁵⁾、水産分野でのオゾンファインバブルによる殺菌効果を利用したカキ養殖⁶⁾など、多方面で利用されており、国際標準規格化も進められている^{7,8)}。

大豆飲料は、大豆の微粉碎物を分散させた飲料である。また、豆乳は、熱水等により大豆からタンパク質や脂肪等の成分を溶出させ、繊維質を除去して得られた乳状の飲料である。このような大豆飲料と豆乳（以下、大豆飲料等）は、消費者の健康志向により老若男女を問わず人気がある飲料の一つである。特に、大豆飲料は食物繊維を多く含み栄養価が高いため注目されているが、粘度が高いことによる飲みにくさ、青臭さが問題になっており、それらの改善が求められている。

本報では、大豆飲料等の粘度に関する流動特性の低減、および大豆特有の青臭さを呈するヘキサナールの抑制に対してファインバブルが有効であることが明らかとなったので報告する。

2. 実験方法

2.1 材料

ファインバブルの効果を検討する試料として、大豆飲料（まるごと豆乳，ミナミ産業（株）製）および豆乳（オーガニック豆乳，イオン（株）製）を用いた。

* 食と医薬品研究課

2. 2 ファインバブル処理

ファインバブルの処理は、マイクロバブル発生器（泡多郎 A-PW-04, ニッタ（株）製）を用いた。この装置は、気液混相流を巡回させ吐出することでファインバブルを発生させる。ファインバブルのガス種は空気（自然吸気）、または窒素（窒素ボンベ使用）とし、それぞれを空気ファインバブル、窒素ファインバブルという。男成の実験⁹⁾を参考に、ノズル1基あたりの吸気量は、約12 mL/min、試料の循環速度は、3 L/minとした。この装置を用いて、10 °C以下に保ちながら、大豆飲料または豆乳3 Lを1, 3, 5, および10分間循環させてファインバブルを注入し続けた。ファインバブル処理品は密閉容器に入れて、10 °C以下の保管庫にて1および2週間保存した。

2. 3 粘度

ファインバブルを処理した直後、1週間後、および2週間後の大豆飲料等の粘度に関わる流動特性を、動的粘弾性測定装置（AR-G2, TA Instruments製）を用いて測定した。試料2 mLを試料台の上ののせ、60 mm コーンプレート（角度2°）で挟み、品温10 °C、せん断速度1~100 (1/s)まで変化させて粘度に関する流動特性を測定した。

2. 4 ヘキサナール濃度と官能検査

ヘキサナールは、大豆飲料と豆乳の青臭さの原因物質の一つであり、大豆に含まれる脂肪酸であるリノール酸が酸化されて生成される。ヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析装置（HS-GCMS, JMS-T100GCV4G, 日本電子製）を用いて、表1の条件で分析した。また、青臭さ、後味の2項目について、工業研究所職員4名で官能検査を行った。

表1 HS-GCMS 分析条件

試料導入部	
バイアル保温	50 °C
バイアル保温時間	30 min
サンプル量	10 mL
ヘッドスペース採取量	1 mL
GC	
カラム	Stabilwax(Restek) (30m × φ0.25mm, 膜厚0.25 μm)
カラムオープン温度	40°C (2min) → 10°C/min → 220°C (5min)
キャリアガス	ヘリウムガス
ガス流量	1.0mL/min (Constant flow)
MS	
イオン化条件	EI+ 70eV
スキャン質量範囲	m/z 33-300

3. 結果と考察

3. 1 ファインバブルによる大豆飲料等の低粘度化手法の開発

ファインバブルを10分間処理した直後の大豆飲料等の粘度に関する流動特性(図1a, 2a)を示す。ファインバブルを処理すると、大豆飲料等の粘度が概ね半減しており、飲み易くなる傾向がみられた。また、保存2週間後(図1b, 2b)も直後とほぼ同様の結果となった。

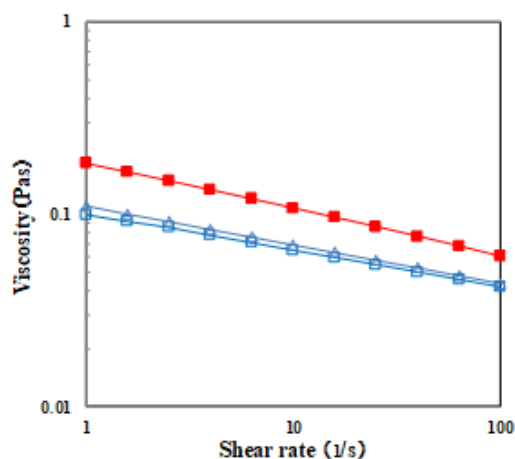


図1a) ファインバブルの利用による大豆飲料の粘度に関する流動特性

(■：大豆飲料, □：窒素ファインバブル10分間注入大豆飲料, △：空気ファインバブル10分間注入大豆飲料)

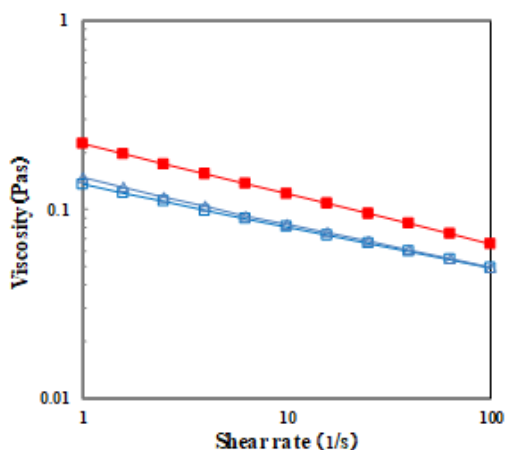


図1b) ファインバブルの利用による大豆飲料の粘度に関する流動特性 (2週間保存後)

(■：大豆飲料, □：窒素ファインバブル10分間注入大豆飲料, △：空気ファインバブル10分間注入大豆飲料)

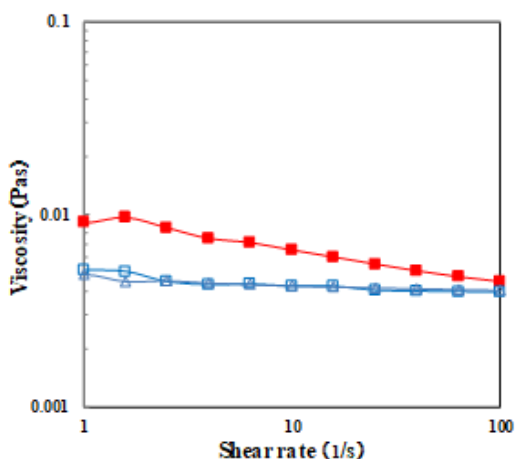


図 2a) ファインバブルの利用が豆乳の粘度に関する流動特性の粘度に及ぼす影響
(■ : 豆乳, □ : 窒素ファインバブル 10 分間注入豆乳, △ : 空気ファインバブル 10 分間注入豆乳)

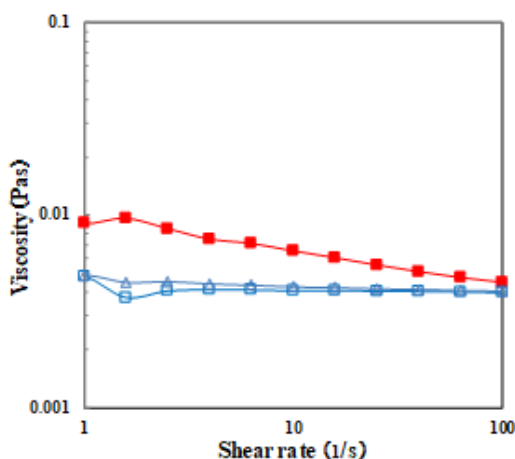


図 2b) ファインバブルの利用が豆乳の粘度に関する流動特性の粘度に及ぼす影響
(2 週間保存後)
(■ : 豆乳, □ : 窒素ファインバブル 10 分間注入豆乳, △ : 空気ファインバブル 10 分間注入豆乳)

大豆飲料等は、大豆タンパク質の凝集・会合が進むことで、粘度が上昇することが知られている¹⁰⁾。ファインバブルによりタンパク質の凝集・会合が解消されて粘度が低下し、さらにその後も、ファインバブルが残存して安定的に凝集・会合を抑制してい

るものと考えられる。大豆飲料等が低粘度であれば、飲みやすさが向上され、さらに、製造ラインでのタンクや配管等の残留ロスの低減、および豆腐を製造する際に加えるにがり等の均一な混合が容易となることが期待できる。特に、処理時間の窒素ファインバブルの大豆飲料での検証結果(図 3)は、1 分では、粘度がある程度低下し、3 分以上あれば、10 分処理後と同様に粘度が低下した。

従来は、加熱処理、酵素処理、および pH 調整することで、大豆タンパク質の凝集を抑制し、大豆飲料等の粘度をさせていたが、ファインバブルの利用により粘度低下が可能と考えられる。

さらに、矢ヶ崎らは、機能性タンパク質を多く含み、豆乳にすると凝集しにくく粘度が低い品種‘ナナホマレ’を育種・開発し、その利用用途を検討している¹¹⁾。新品種の利用とファインバブル処理を組み合わせることで、大豆飲料等のタンパク質の凝集・会合をより安定的に抑制できる可能性があると考えられる。

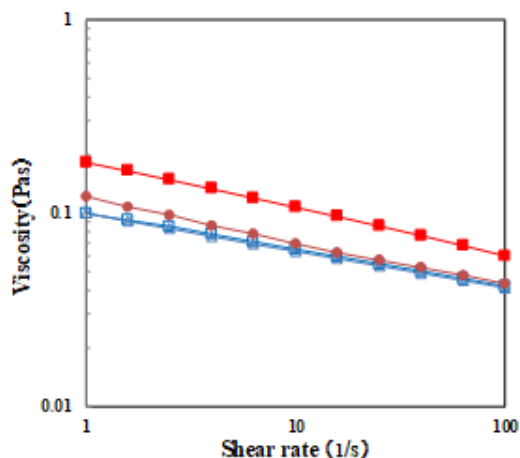


図 3 窒素ファインバブル処理時間による大豆飲料の粘度に関する流動特性
(■ : 大豆飲料, ● : 窒素ファインバブル 1 分間注入大豆飲料, □ : 窒素ファインバブル 3 分間注入大豆飲料, △ : 窒素ファインバブル 10 分間注入大豆飲料)

3. 2 ヘキサナール濃度低減と風味改善の可能性

大豆飲料のヘキサナール濃度を測定したところ、10分間窒素ファインバブル、空気ファインバブルを処理した大豆飲料のヘキサナール濃度は通常の大豆飲料に対してそれぞれ28%、33%であり、いずれも約1/3と大幅に低減した。大豆飲料の青臭さの原因物質の一つとされるヘキサナールは、酸素存在下で酵素反応により生成されるため、窒素ファインバブル処理で酸素濃度が低下し、ヘキサナールの発生が抑制されたと考えられる。また、空気ファインバブルについては、ヘキサナール発生抑制ではなく、むしろ酸化されたことで、ヘキサナールが分解に至った可能性が考えられる。今後の課題として、ガスの種類によってヘキサナールの抑制または分解が起こる可能性があるためガス種を変えたファインバブル処理の検討が必要である。

一方、ファインバブル処理、無処理の豆乳いずれも、ヘキサナールは検出されなかった。関連する酵素遺伝子を欠損させた品種の利用、加熱処理等の前処理などのため、検出されなかったものと推察される。

官能検査の結果、処理前に比べて、空気と窒素ファインバブルを処理すると青臭さが減り、後味が残らない傾向が見られた。特に、窒素ファインバブルを利用すると、青臭さ、後味の減少が顕著であることを確認した。4名中の4名が「窒素ファインバブルを処理すると青臭さが減り、後味が残らない」と回答した。これは、窒素が存在することにより、脂肪が酸化されるのを防いだことで、大豆特有の臭みを抑えられたことと、周りがマイナスに帯電していると言われているファインバブルが反発することにより、タンパク質の凝集が抑えられ、後味の違いを生じさせたことが要因と考えられる。

4. 結論

大豆飲料等の品質に影響する粘度、青臭さを改善することを目的としてファインバブルを用いた実験を行った。その結果、ファインバブル処理すると、粘度が下がること、ヘキサナール濃度を抑えること、および後味が残らないことを確認した。これまで、過剰な加熱、酵素利用、またはpH調整で、粘度、青臭さを抑制し、品質を維持していたが、ファインバブル技術により、物理的、化学的な変化を抑

え、高品質となれば、食品製造事業者の利点となるだけでなく、消費者への新たな訴求点となり得る。実用化を目指して、ファインバブル発生器の能力(泡の平均径、個数濃度)の影響、ガスの種類を検証していく必要がある。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ミナミ産業(株)南川氏、伊藤氏から貴重なご助言を賜りましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 寺坂宏一：“ファインバブル技術のトレンドと課題”. 化学工学会誌, 78(9), p580-584 (2014)
- 2) 小松恵徳ほか：“ナノろ過処理・脱酸素加熱殺菌クリームの特性”. 日本食品科学工学会誌, 56(9), p490-494 (2009)
- 3) F. Kobayashi et al.: “Quality evaluation of sake treated with a two-stage system of low pressure carbon dioxide microbubbles”. J. Agric. Food. Chem., 62(48), p11722-11729 (2014)
- 4) K. Terasaka et al.: “Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge”. Chem. Eng. Sci., 66(14), p3172-3179 (2011)
- 5) 水口義久ほか：“マイクロバブルを用いたトマトの水耕栽培に関する研究”. 日本機械学会第24回バイオフィロンティア講演会講演論文集, p3-4 (2013)
- 6) 大成博文ほか：“マイクロバブル技術によるカキ養殖効果”. 水工学論文集, 46, p1163-1168 (2002)
- 7) ISO 20298-1: “Fine bubble technology -sampling and sample preparation for measurement- ultrafine bubble dispersion in water”. (一財)日本規格協会 (2018)
- 8) ISO 21255: “Fine bubble technology -storage and transportation of ultrafine bubble dispersion in water”. (一財)日本規格協会 (2018)
- 9) 男成妥夫：“オゾンマイクロバブルと超音波照射による洗浄”. 分離技術, 40(3), p12-17 (2010)

- 10) 増田亮一：“研究小集会「大豆」開催の趣旨 大豆の育成”．北陸作物学会誌, 45, p61-64 (2010)
乳コロイド系の制御がもたらす豆乳・豆腐の新用途”．日本食品科学工学会誌, 64(4), p218-219 (2017) (本研究は, 法人県民税の超過課税を財源としています.)
- 11) 矢ヶ崎和弘ほか：“ダイズ新品種「ななほまれ」