

窒素ガスウルトラファインバブル水を用いた緑茶飲料の 高品質化

上村 聡*, 佐合 徹*, 田口裕美*

Improve the Quality for Green Tea Beverages Using Nitrogen Gas Ultra Fine Bubble Water

Sou UEMURA, Toru SAGO and Hiromi TAGUCHI

We report on the application of our knowledgeable ultra-fine bubble (referred to as UFB) technology to improve the quality for green tea beverages. Green tea was extracted using ultrafine bubble water, subjected to processing and preservation tests, and compared to extraction with distilled water. After heat sterilization at 80 °C for 30 minutes, the evaluation by L*a*b* color model showed that the color difference was 10.3 when distilled water was used, but was reduced to 5.96 when N₂ UFB water was used. The remaining percentage of epigallocatechin and epigallocatechin gallate was about 15-20 % higher in the N₂ UFB-treatment. These results suggest that the N₂ UFB water inhibited the oxidation of catechins and reduced browning.

Keywords: Ultra Fine Bubble, Nitrogen Gas, Green Tea, Catechin, Additives

1. はじめに

「伊勢茶」や「鈴鹿茶」,「亀山茶」は三重県産緑茶のブランドである。三重県の生産量は全国第3位で¹⁾, その多くは緑茶飲料に加工される²⁾。三重県産の茶葉を売りにしたペットボトル入り飲料も多く上市されているが, これら緑茶飲料には, 酸化されやすく, 褐変しやすいという性質があり^{3,4)}, 褐変防止のために多くの商品にはアスコルビン酸等の酸化防止剤が添加されている^{5,6)}。つまり, 緑茶飲料はカテキン類の酸化を抑制し, 褐色化を抑えることができると, 高品質化につながる。

アスコルビン酸はビタミンCとも呼ばれ, 青果物や茶葉にも含まれているが, 「添加物」, 「酸化防止剤」といった響きから, 消費者からは敬遠される傾向にある。このようなニーズにより, 緑茶飲料の製造事業者も酸化防止剤を削減するという課題があり, 窒素充填等により対策しているが, 事

業者は新しい技術を求めている。そこで, この課題解決のため, 本研究では 1 μm 以下の微小な気泡であるウルトラファインバブル (UFB) 技術を緑茶飲料の製造に応用し高品質化を目指すこととした。

ウルトラファインバブル (UFB) とは ISO で規格化された, 1 μm 以下の微小な気泡であり, 目に見える気泡とは異なる物理的性質を持つ⁷⁾。マイクロサイズ以上の気泡はゆっくりと浮上するが, ナノサイズの気泡はブラウン運動により浮上する事なく不規則に運動し, 数ヶ月以上にわたって準安定的に存在する。また, UFB を含む水 (UFB 水) の特徴として, 通常の水に比べて表面張力が約 30 % 低く, 浸透・洗浄効果があるとされている⁸⁾。このような性質から, UFB は切削加工・洗浄等の工業的分野で利用が進んでいるが, 食品分野での研究報告は少なく, 活用例はごくわずかである。

本研究では UFB 技術を緑茶の抽出に活用した実験の結果について報告する。

* 食と医薬品研究課

2. 実験方法

2.1 UFB 水の調整

UFB 水は、UFB 発生装置（IDEC 株式会社製、FZ1N-10）を用いて調整した。蒸留水 20 L を冷却しながら 20 °C 以下に保ちつつ、流速 16.7 L/min で 60 分間循環させた。その間、窒素ガスポンプを UFB 発生装置に接続し、窒素を 2.5 L/min で送気し、UFB 水を調整した。調整した UFB 水は、ナノ粒子測定システム（日本カンタム・デザイン株式会社製、NanoSight NS300）にて粒子の個数濃度、平均径を測定した。また、溶存酸素濃度をポータブル溶存酸素計（東亜 DKK, DO-31P）にて測定した。

2.2 緑茶の抽出

三重県農業研究所茶業・花植木研究室 茶業研究課にて刈り取り・加工された茶葉を使用した。品種は“やぶきた”を使用し、2022 年 5 月に生産された 1 番茶のかぶせ茶を供試した。茶葉は目開き 4 mm の篩にて粗いものを除去し、目開き 1.4 mm の篩にて微塵を除去した。窒素ガス UFB（以下、N₂UFB）処理区として、抽出は容量 1000 mL のビーカーに茶葉 20 g と 10 °C の N₂UFB 水 1000 mL を入れ、10 °C の恒温槽で 3 時間静置した。また、対照区（コントロール用）として、UFB 発生装置を通していない 10 °C の蒸留水を用いて同様の方法で茶を抽出した。

抽出後、目開き 75 μm のステンレス製メッシュでろ過し、緑茶抽出液を得た。

2.3 緑茶の保存試験

50 ml のガラス瓶に得た緑茶抽出液を満量入れ、80 °C で 30 分間湯浴して殺菌した。放冷後、恒温機（ナガノサイエンス製、LH43-12P）にて 30 °C で 4 日間、保存試験に供した。

2.4 測色

緑茶抽出液を分光測色計（コニカミノルタジャパン株式会社製、CM-5）にて計測した。測定は厚さ 20 mm のガラスセルを用いて透過で行い、L*a*b*表色系にて評価した。色差 ΔE はそれぞれ抽出直後の緑茶抽出液の L*a*b*の平均値を基準とし、次の式によって算出した。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

2.5 カテキン類、カフェインの分析

カテキン類、カフェインは HPLC（株式会社島津製作所製、LC-20A）を用いて分析した。分析は島津製作所製技術レポート⁹⁾を参考にして表 1 の条件とし、カテキン類は(-)-エピガロカテキン（EGC）、(-)-エピガロカテキンガレート（EGCG）の 2 種を定量した。

3. 結果と考察

3.1 UFB 水の物性

本研究で用いた UFB 水の濃度は $1.0 \times 10^9 \pm 6.4 \times 10^6$ cells / mL (\pm Standard Error) であった。また、平均径は 117 ± 0.3 nm (\pm SE) であった。対照区の蒸留水の UFB 濃度は $3.2 \times 10^7 \pm 1.7 \times 10^6$ cells / mL、平均径は 230 ± 28.1 nm であった。

3.2 茶抽出液の色彩に対する N₂ UFB の効果

N₂UFB 水で抽出した緑茶抽出液、蒸留水で抽出した緑茶抽出液ともに黄緑色を呈し、目視では差がなく、L*a*b*値にも差がなかった。その抽出液を 2.3 の方法で加熱殺菌後に保存し、色差計にて評価した結果を表 2 に示す。対照区では抽出直後との色差が 10.4 であったのに対し、N₂UFB 処理区では 5.96 と変色が抑制された。加熱殺菌後は、図 1 のように目視でも対象区が黄色に変化したが、N₂UFB 水で抽出した緑茶抽出液は黄緑色を残しており、明らかに色の変化が小さかった。さらに、保存 4 日後の試料でもその傾向は継続し、N₂UFB 水で抽出した緑茶抽出液は、保存期間中も変化が抑えられた。

橋本らは茶飲料缶詰の殺菌に際し、褐変への影響はヘッドスペースの有無よりも溶存酸素のほうが大きかったと報告している¹⁰⁾。本研究では、N₂UFB 水の溶存酸素濃度が 2.88 mg/L であり、蒸留水の 7.77 mg/L より少なかったことが褐変の防止に繋がったと考えられた。

3.3 カテキン類、カフェインへの N₂ UFB 水の影響

カテキン類、カフェインの分析結果を図 2a から図 2c に示す。抽出直後の EGC の濃度は N₂UFB 処理区において 178.3 ± 1.74 μg/mL、対照区で 169.2

表 1 HPLC のカテキン類, カフェインの分析条件

system	: LC-20A (株式会社島津製作所製)
column	: Shim-pack GISS C18 (150 mm × 4.6 mm I.D., 3 μm)
mobile phase	: A) 0.2 % Phosphoric acid in H ₂ O B) Methanol/Acetonitrile = 15:5 (v/v) A:B = 85:15 (v/v)
flow rate	: 0.6 mL/min
column temp	: 40 °C
injection volume	: 10 μL
detection	: PDA 242 nm (EGC), 272 nm (EGCG, Caffeine)

表 2 色差の変化 (N=5, 土標準誤差)

試料名	抽出直後	熱殺菌後	1 日後	2 日後	3 日後	4 日後
蒸留水	0.0	10.4±0.33	10.2±0.16	9.88±0.11	10.9±0.39	11.5±0.30
N ₂ UFB	0.0	5.96±0.35	6.20±0.44	7.37±0.50	7.32±0.82	6.17±0.96

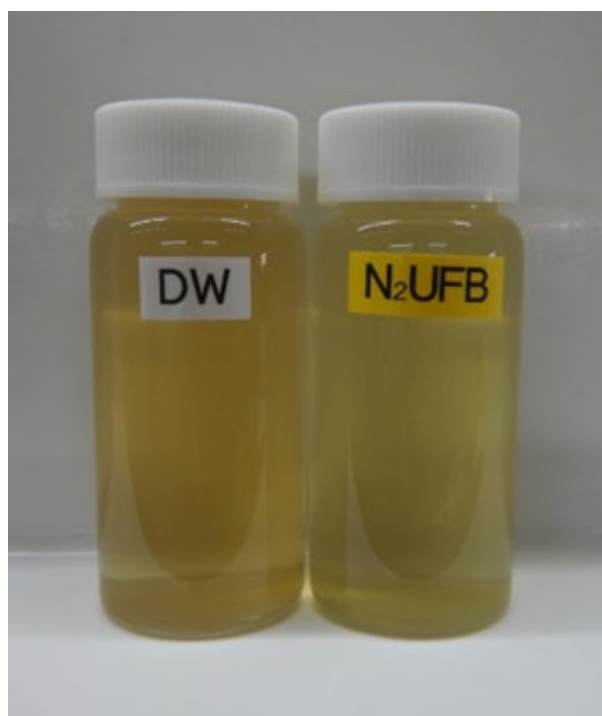


図 1 熱殺菌後の緑茶抽出液の比較

左 : 対照区 右 : N₂ UFB 処理区

±1.58 μg/ml であった。熱殺菌後にはそれぞれ、 134.6 ± 1.31 μg/ml, 115.9 ± 1.70 μg/ml となり、N₂ UFB 処理区の EGC の残存率は 75.5 %, 対照区は 68.5 % となり、N₂ UFB 処理区で EGC の減少が抑

制された。保存により、EGC の濃度は減少し、4 日後には N₂ UFB 処理区で残存率は 69.9 %, 対照区は 56.8 % となり、N₂ UFB 処理区では対照区と比較して EGC の減少が約 10% 抑制された。EGCG も同様の傾向で、熱殺菌による残存率は N₂ UFB 処理区で 77.8 %, 対照区で 73.4 % であった。保存 4 日後の残存率はそれぞれ 73.4 %, 67.5 % となり、N₂ UFB 処理区のほうが高かった。一般的に緑茶飲料では製造工程、保存中にカテキンが減少する事が知られており^{11,12)}、それを防ぐためにアスコルビン酸等が添加されている。本研究では N₂ UFB 水の使用により、殺菌時において蒸留水よりも EGC で約 30 %, EGCG で約 20 % の減少を抑制する効果を確認した。

一方、カフェインについては抽出直後と比較して、N₂ UFB 処理区の熱殺菌後の残存率が 99.6 %, 4 日後でも 96.0 %, 対照区でも熱殺菌後で 98.8 %, 4 日後に 97.0 % と、ほとんど減少していなかった。

末松ら¹³⁾および渡部ら¹⁴⁾は、加熱や保存によるカフェインの変化は認められなかったと報告しており、本研究でも同様の結果であった。

さらに、EGC, EGCG, カフェイン共に、その濃度は抽出直後において、N₂ UFB 処理区のほうがコントロール区より約 5.3 % 高かった。これは、UFB 水の特徴として、通常の水に比べて表面張力が約

30%低く、浸透・洗浄効果があるとされているが⁸⁾、この効果により、抽出効率が向上したと思われる。

本研究では測定していないが、緑茶のうまみ成分であるテアニン等を含むアミノ酸も抽出効率が向上している可能もある。

最終的に、N₂ UFB 処理区で抽出効率が向上し、カテキン類の減少割合も抑制された事で、保存 4 日後には N₂ UFB 処理区のほうが EGC で 21.1 %, EGCG で 14.1 % 多くなった。緑茶抽出液の褐変はカテキン類の酸化による影響が大きいと報告されている¹¹⁾。本研究の結果から、N₂ UFB 水によりカテキン類の酸化が抑制され、それにより加熱殺菌時や保存期間中の褐変も抑制された可能性が高い。すなわち、N₂ UFB 水により緑茶飲料の高品質化の手段となる可能性が示された。本技術により、機能性成分を維持し、かつ褐変の少ない緑茶飲料を製造できる可能性があるほか、ロングライフ化にも活用できる可能性がある。

実用化に向けて、今後は一般的な添加物であるアスコルビン酸の抗酸化能力との比較をする必要がある。

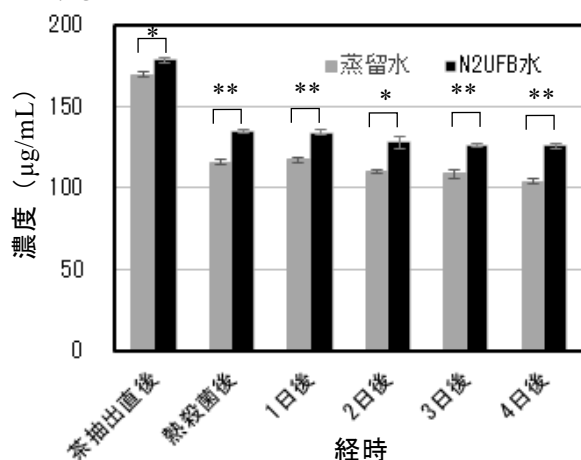


図 2a EGC の濃度変化 (エラーバーは標準誤差を示す。N=5, * $p<0.05$, ** $p<0.001$)

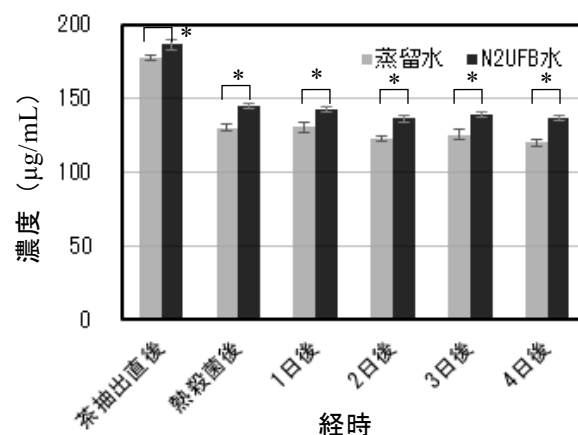


図 2b EGCG の濃度変化 (エラーバーは標準誤差を示す。N=5, * $p<0.05$)

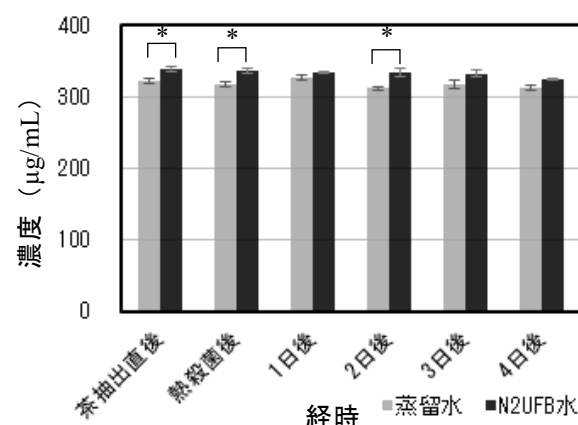


図 2c caffeine の濃度変化 (エラーバーは標準誤差を示す。N=5, * $p<0.05$)

4. 結論

N₂ UFB 水を用いて茶を抽出し、蒸留水で抽出した茶と共に加工・保存試験に供した。その結果、N₂ UFB 処理区は対照区に比べて熱殺菌時に褐変が抑制された。さらに、抽出効率が向上した。また、食品添加物を使う事なく機能性成分でもあるカテキン類の減少を抑制し、4 日までの保存期間中に褐変を防止する事ができた。

参考文献

- 1) 農林水産省統計：“令和 6 年産茶の摘採面積、生葉収穫量及び荒茶生産量（主産県）”。農林水産省（2025）
- 2) 三重県：“伊勢茶振興計画”。三重県。p3-12（2021）

- 3) 坂本 裕：“茶の水色に関与する成分 C-グ
リコシルフラボンの分離と化学構造”．茶業
試験場研究報告, 6, p48 (1970)
 - 4) 田中伸三：“煎茶浸出液の褐変に関与する水
溶性成分について”．茶業研究報告, 55, p80-
82 (1982)
 - 5) 稲垣長典ほか：“アスコルビン酸およびその
関連化合物の食品酸化防止効果にかんする
研究”．Vitamins, 28 (1), p29-32 (1963)
 - 6) 衛藤大青：“市販緑茶飲料中に含まれる還元
型ビタミン C の保存状態における酸化速度
の違い”．別府大学紀要, 30, p93-95 (2011)
 - 7) 牛田照臣ほか：“管内流れにおけるマイクロ
バブル水および複雑流体の摩擦損失低減効
果”．日本レオロジー学会誌, 40 (4), p179-
184 (2007)
 - 8) 寺坂宏一ほか：“ファインバブル入門”．日
刊工業新聞社. p139-144 (2016)
 - 9) 島津製作所 Application News：“L583 茶葉に
含まれるカテキン類の定量分析”．島津製作
所 (2020)
 - 10) 橋本浩二ほか：“茶類飲料缶詰の品質に及ぼ
す殺菌製造条件の影響”．日本食品工業学会
誌, 47 (11), p828-835 (2000)
 - 11) 末松伸一ほか：“茶類飲料缶詰の製造工程に
おける成分変化”．日本食品工業学会誌,
40(3), p181-186 (1993)
 - 12) 渡部伸夫ほか：“茶類飲料におけるカテキン
類およびメチルキサントシン類の加工・貯蔵に
よる変動”．日本食品工業学会誌, 39 (10),
p907-912 (1992)
 - 13) 衣笠仁ほか：“茶飲料の高圧処理による殺菌
効果と成分変化”．日本農芸化学会誌, 66 (4),
p707-712 (1992)
 - 14) 末松伸一ほか：“茶類缶詰飲料の成分変化に
及ぼす pH の影響”．日本食品工業学会誌, 39
(2), p178-183 (1992)
- (本研究は、法人県民税の超過課税を財源として
おります。)