

3種類のUFB水による餅の変化

岩手県立一関第一高等学校理数科3年
化学2班 阿部夏妃 松本恋菜 南浦果歩

要約

私たちは、3種類のUFB水で作った餅の硬度の違いを明らかにするために、餅の硬度を力センサで計測し、ヘンリー係数とゼータ電位を用いて餅との相互作用を調べた。この結果、CO₂を含むUFBで作った餅がより長く柔らかさを維持できることを科学的な根拠を用いて証明できた。

<キーワード> UFB 餅 ヘンリー係数

ABSTRACT

We looked up rice cakes made from 3 kinds of UFB water to reveal the difference of hardness and effect of UFB. After that we measured the hardness of made rice cake by using pressure sensor and looked up the interaction with rice cake by using Henry's coefficient and Zeta potential. As a result we could prove that rice cake made of UFB that include CO₂ can maintain softness more longer with scientific evidence.

<keyword> UFB rice cake Henry's coefficient

1 研究の背景

ウルトラファインバブル(UFB)水とは、大きさが数十nm~1μmの気泡が分散した水である。通常の気泡は、浮力の影響を受けて急速に浮上し、水面で破裂するためすぐに消えてしまう。しかし、UFBは通常の気泡に比べ極めて微小であり、浮力よりもブラウン運動の影響が大きくなる。UFBはブラウン運動をして液中に留まるため、数週間から数か月の長期間残存する。この仕組みを生かし、UFBは、食品加工関連では鮮度保持、酸化防止、風味、触感、香りの付与など、美容関連では温泉(気泡風呂)、洗顔、頭皮洗浄、ナノテク化粧水など、様々な分野で活用されている。

・研究動機

UFBが私たちの地元である岩手県一関市の特産品である餅にも使われていることを知り、興味を持った。UFBを利用した餅は通常の餅に比べてより長く柔らかさを維持できるという先行研究を見て、UFBはどのようにして餅の柔らかさを維持するのか、その仕組みを調べようと考えた。

・先行研究

UFBの特徴を利用し、大林ら(2019)はUFB水を含んだ餅を作ることで砂糖類や酵

素などを使用せずに、常温保存した場合のみではなく解凍後もつきたての柔らかさを維持した餅を作ることに成功した。

先行研究より、UFB水で作った餅は、混捏後72時間経ってもつきたての柔らかさを維持すること、1度冷凍しても、解凍後の餅は3日間柔らかさを維持すること、CO₂を含んだUFB水で作った餅が一番柔らかさを維持することが分かった。

2 研究の目的

本研究の目的は、3種類のUFB水で作った餅の恒温25℃における硬度の違いを比較し、UFBが餅の柔らかさを維持する仕組みについて考察することである。また、冷凍後解凍した餅の硬度についても、同様に比較する。

・仮説

気体によって原子半径が異なるため、UFBの含有気体によって餅の硬度の変化に差がみられると考えた。また、餅は冷凍するとデンプンの構造が縮むため、解凍しただけでは元の柔らかさには戻らないと考えた。

3 実験方法

(1) 研究対象

研究には、餅米とUFB水を用いた。餅米の

産地は一関市で、品種はこがね餅である。

UFB は、サイクロン式 UFB 発生装置 (Techno Art UFB-U シリーズ 循環方式) を用いて発生させた。

使用した機器等は、ナリカイージセンサー、力センサ、恒温器である。

恒温器の温度は 25℃ に設定した。

(2) 観察・実験・調査の手順

餅米を UFB 水または水に 1 時間つけた後、電子レンジで 170W で 6 分、500W で 6 分蒸す。これをすりこ木とすり鉢で 1200 回つき、UFB 水または水にさらした後で、更に 50 回つく。型にいれ、餅に力センサを押し当て、厚みに対して 50% に達する力 [N] を計測する。

・実験 1

餅は脱酸素剤を入れ、簡易的な窒素充填後に密封して恒温器 (25℃) で保存し、餅をついた直後から 5 日後まで同じ餅を用いて計測する。

・実験 2

餅をついた直後につきたてを計測し冷凍した後恒温器で解凍する。解凍後を 1 日後とし 4 日後まで計測する。

(3) データ処理の方法

水中の UFB 含有量を求めるために、ヘンリー係数×表面積という式とゼータ電位を用いた。

ヘンリー係数 $1/k$ はヘンリーの法則を展開して P/C と求められる。 P は UFB 生成時に加えた圧力で C は 30℃ での気体の水への溶解度である。ヘンリー係数と気泡の表面積の積を求めて気体の溶解度を求める。その際、気体の溶解度が大きいほどヘンリー係数の値は小さくなるため、この値が小さいほど気泡が多く存在しているとみなす。

ゼータ電位の粒子バブルはマイナスの電荷を帯びている。さらにその外側は正と負のイオンによって取り巻かれている。そのため、全体としてマイナスの電荷を帯び、コロイド粒子として溶液中に分散している。

ゼータ電位とは、この粒子が液体中を移動するときすべり面 (電気二重層と液体との境界面) で測定される電位である。ゼータ電位は粒子の分散安定性の指標として用いられている。絶対値が小さいほど UFB が凝集するため、UFB の集まりが大きくなると考える。

4 結果と考察

・実験 1

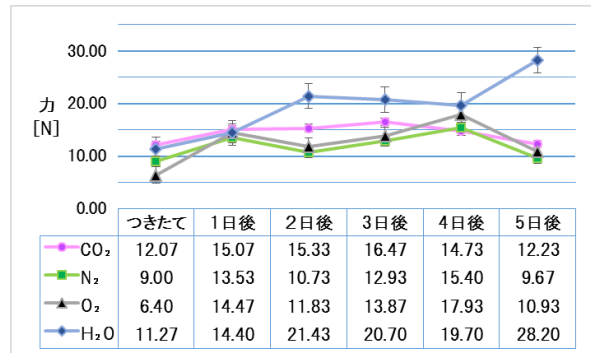


図 1. 恒温器(25℃)で保存した餅

恒温器で保存した場合の餅の硬度を図 1 に表す。

UFB 水で作った餅は、水で作った餅と比べて非常に柔らかい状態を保っている。また、水で作った餅は日にちがたつと硬くなるが、UFB 水で作った餅は 5 日間柔らかさを維持している。UFB の含有気体による餅の硬度の変化に顕著な差は見られなかった。

次に、水中の UFB 含有量を求める。

ヘンリー係数 $\frac{1}{k}$ をヘンリーの法則を展開す

ると、以下のようなになる。

$$\text{ヘンリー係数} \frac{1}{k} \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{mol}} \right]$$

$$n = kPV \quad (k \text{ は定数とする})$$

$$\frac{n}{V} = kP$$

$$C = kP$$

$$P = \frac{1}{kC}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{P}{C}$$

ただし、溶媒 (水) の体積は $V[\text{mol}]$ 、溶解度は $C[\text{mol/L}]$ 、圧力は $P[\text{Pa}]$ とする。

数値を代入しヘンリー係数を求めると、以下のようなになる。

$$\text{CO}_2 \quad \frac{5.0 \times 10^5}{2.864 \times 10^{-2}} = 1.7 \times 10^7 \quad \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{mol}} \right]$$

$$\text{N}_2 \quad \frac{5.0 \times 10^5}{0.5714 \times 10^{-3}} = 8.8 \times 10^8 \quad \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{mol}} \right]$$

$$O_2 \quad \frac{5.0 \times 10^5}{1.125 \times 10^{-3}} = 4.4 \times 10^8 \quad \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{mol}} \right]$$

これらの数値を用いてヘンリー係数と気泡の表面積の積を求めると、以下ようになる。

$$CO_2 \quad 1.75 \times 10^7 \times 4.306 \times 10^{-10} \pi$$

$$= 7.5 \times 10^{-3} \pi \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}} \right]$$

$$N_2 \quad 8.75 \times 10^8 \times 3.733 \times 10^{-10} \pi$$

$$= 0.33 \pi \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}} \right]$$

$$O_2 \quad 4.44 \times 10^8 \times 5.267 \times 10^{-10} \pi$$

$$= 0.23 \pi \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}} \right]$$

計算結果より、CO₂の値が一番小さいため、水中の気泡含有量が一番多いと考えられる。

今回使用したUFB水のゼータ電位は、県南技術センターの方に計測していただいた。

ゼータ電位は以下の通りである。

$$CO_2 \quad -13.48 \quad [\text{mV}]$$

$$O_2 \quad -17.95 \quad [\text{mV}]$$

$$N_2 \quad -17.21 \quad [\text{mV}]$$

CO₂の絶対値が一番小さいため、UFBの集まりが大きく、アミロペクチンの枝が一番縮みにくいとされる。

恒温器で保存した時、水で作った餅は日にちが経過するとともに柔らかさが失われていったが、UFB水で作った餅は日にちが経過しても柔らかさを維持していた。UFBで作った餅と水で作った餅は、つきたてはほぼ差が見られないが、日が経つと大きな差が見られる。私たちはこのような差が生まれたのはUFBの影響だと考えた。

また、前述の通り、CO₂のヘンリー係数と気泡の表面積の積が3種類の気体の中で最も小さいため、水中の気泡含有量が最も多いと考えたが、実験結果から、3種類の気体の硬度の変化に顕著な差は見られなかった。この理由として、用いたUFB水の量とUFB水につける時間が気体によって少し変わってしまったことが考えられる。

・実験2

解凍後の餅の硬度を図2に表す。図2より冷凍前後では、UFBで作った餅も水で作った餅も同じように硬くなっていることがわかる。UFBの含有気体による餅の硬度の変化に差は見られなかった。

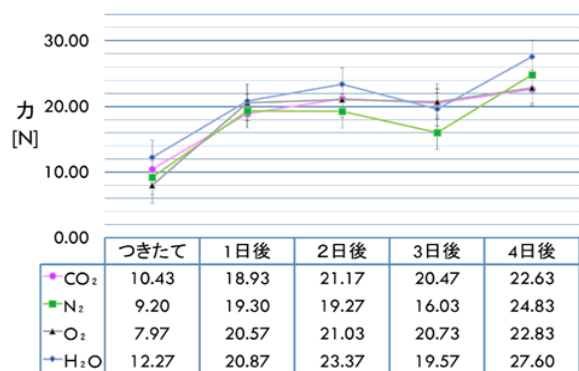


図2.解凍した後の餅の柔らかさの経日変化

・考察

実験1より、恒温器で保存した時、水で作った餅は日にちが経過するとともに柔らかさが失われていったが、UFB水で作った餅は日にちが経過しても柔らかさを維持していた。UFBで作った餅と水で作った餅は、つきたてはほぼ差が見られないが、日が経つと大きな差が見られる。私たちはこのような差が生まれたのはUFBの影響だと考えた。また、前述の通り、CO₂のヘンリー係数と気泡の表面積の積が3種類の気体の中で最も小さいため、水中の気泡含有量が最も多いと考えたが、実験結果から、3種類の気体の硬度の変化に顕著な差は見られなかった。この理由として、用いたUFBの量とUFBにつける時間が気体によって少し変わってしまったことが考えられる。

冷凍後はUFBでつくった餅も、水で作った餅も同じように硬くなった。餅は、水分を失いアミロペクチンの枝が縮むことで硬くなる。UFBで作った餅が柔らかさを維持できるのは、UFBがアミロペクチンの枝の間に入り込むことで縮むのを防ぐからである。今回の実験ですべての餅が硬くなったのは、冷凍による水分量の減少とともに餅の中のUFB量も減少したため、アミロペクチンの枝が縮んだからだと考えられる。この結果は解凍後3日後まで柔らかさが維持されるという先行研究の結果とは異なる。

5 結論

恒温器で保存した実験では、先行研究と同様、日にちが経過しても柔らかさを維持したため、UFBは柔らかさを維持する性質を持つことがわかった。また、CO₂を含むUFBで作った餅がより長く柔らかさを維持できるこ

とについては、科学的な根拠を用いて先行研究の結果の正確さを証明できた。しかし冷凍後に解凍して行った実験では、解凍後も柔らかいという先行研究の結果とは異なり、どの餅も硬くなった。

・今後の展望

今後、実験結果の真因が UFB であることを明らかにし、正確な実験結果を得るため、実験条件を整え、研究を進めていきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご協力いただいた岩手県南技術センターの皆さま、君成田隆房先生、千田哲幸先生、松本菜美子先生ありがとうございました。

参考文献

- ・大林学(2017) : jp6482592b2
餅およびその製造方法
- ・九州経済産業省(2019) : 今注目の“日本発・驚異の微細気泡”をわかりやすく解説フラインバブル活用事例集