

## 餅と市販飲料の口内調味による苦味の発生

近藤 高史<sup>1,2)</sup>、天野 莉那<sup>1)</sup>、武藤 悠作<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 近畿大学農学部食品栄養学科食品化学研究室

<sup>2)</sup> 近畿大学アグリ技術革新研究所

## Generation of bitterness by oral seasoning of rice cake with commercial beverages

Takashi KONDOH<sup>1,2)</sup>, Rina AMANO<sup>1)</sup>, Yusaku MUTO<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Laboratory of Food Chemistry, Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Agriculture, Kindai University, 3327-204 Nakamachi, Nara 631-8505, Japan*

<sup>2)</sup> *Agricultural Technology and Innovation Research Institute, Kindai University, 3327-204 Nakamachi, Nara 631-8505, Japan*

### Synopsis

Some commercial beverages turn the sweet taste of rice cakes into bitter taste when we put them in the mouth. Here we investigated the mechanisms of bitterness generation by sensory evaluations. Eight healthy university students were recruited as subjects. After chewing about 13 g of rice cakes, a commercial sweet beverage (beverage A) was put together in the mouth. Bitterness scores for baked and boiled rice cakes were defined as 2 and 4, respectively. As a result, many commercial beverages (pH 3.5), but not water and barley tea (neutral pH), produced bitter taste similar to that of beverage A. Adjusting the pH of beverage A to 5.0 and 7.0 reduced bitterness significantly. Similar results were obtained with 0.2% lactic acid, tartaric acid, citric acid, and phosphoric acid (pH 3.5, 5.0, 7.0). Instead of rice cake, the rice produced reduced bitterness with the combination of beverage A. These results suggested that chemicals that elicit bitter taste under acidic conditions, but not neutral ones, may be released into the oral cavity (saliva) by chewing rice cakes.

Keywords: rice cake, taste modulation, bitter taste, commercial beverage, sensory evaluation

## 1. 緒言

味覚変調とは、異種の味を連続して摂取したときに、本来の味とは異なる味に感じられる現象のことをいう。その例として、食品学や栄養学の教科書には、酸味、苦味、濃い塩味を体験した後の水が甘く感じる現象<sup>1)</sup>、および酸味を甘味に変化させる（甘味誘導する）現象<sup>2)</sup>が記載されている。甘味誘導は、ミラクリンやクルクリン（ネオクリン）によって誘導される<sup>3-8)</sup>。

一方、味覚変調とは異なるが、味覚を抑制する化合物も知られている。たとえば、甘味は、ギムネマ酸、ジジフィン、ラクチゾールなどによって抑制される<sup>9-11)</sup>。ギムネマ酸は、ヒトの甘味を抑制するが、ラットやマウスの甘味は抑制しない。逆に、グルマリンはヒトの甘味を抑制しないが、ラットやマウスの甘味を抑制する。また、苦味の抑制は、エリオジクチオール、ホモエリオジクチオール、ホモエリオジクチオールナトリウム、ステルビン<sup>12,13)</sup>、オレイン酸<sup>14)</sup>、ホスファチジン酸やタンニン酸<sup>15)</sup>、ホスファチジン酸とβ-ラクトグロブリンで構成されたリポタンパク質<sup>16)</sup>など幅広い化合物によって生じる。

日本の伝統食品である餅そのものはわずかに甘いですが、ある市販飲料と一緒に食べると苦味を生じることが、一部の人に経験的に知られている。甘いものが苦いものに変化することから、味覚変調の一種であると考えられる。しかし、その現象について科学的に検証された研究成果はない。そこで、本研究では、少人数の大学生を対象として、官能評価法を用い、餅の苦味発生現象を再現できるか調べ、そのメカニズムを検討した。

## 2. 材料および方法

### 2.1. 被験者

近畿大学農学部食品栄養学科の健康な 4 年生 8 名 (21-22 歳 ; 男性 3 名、女性 5 名) を用いた。本研究は、近畿大学農学部生命倫理委員会の承認 (承認番号 2023-06A) を得てから、「ヘルシンキ宣言」の方針に沿って実施した。被験者には、あらかじめ研究の目的を説明し、研究参加に関して書面で同意書を提出することにより、インフォームド・コンセントを得た。本研究を開始する前に、あらかじめ被験者に餅と市販飲料 A を提供し、それらの組合せにより苦味を感じることを確認した (後述参照)。

### 2.2. 食品 (餅、レトルトごはん、および市販飲料)

市販の切り餅 (サトウ食品株式会社 ; 1 個あたり 50 g) およびレトルトごはん (サトウ食品株式会社 ; 200g 入り) を用いた。切り餅の原材料は水稲もち米 (国内産 100%) のみであり、栄養成分表示 (餅 1 個 50 g あたり) は、エネルギー 114 kcal、たんぱく質 2.1 g、脂質 0.3 g、炭水化物 25.7 g、ナトリウム 0 mg (食塩相当量 0 g) であった。レトルトごはんの原材料はうるち米 (国内産) のみであり、栄養成分表示 (1 食 (200g) あたり) は、エネルギー 284 kcal、たんぱく質 6.2 g、脂質 0 g、炭水化物 63.4 g、ナトリウム 0 mg (食塩相当量 0 g) であった。いずれの食品も、原材料以外の成分 (砂糖、食品添加物など) を使用した旨の食品成分表示はなかった。

また、飲料として、9 種類の市販飲料を使用した (表 1、表 2)。市販飲料 A~F は弱酸性飲料 (pH は約 3.5) であり、市販飲料 G~I は中性飲料であった。市販飲料 A の pH を 5.0 または 7.0 に調整する実験では、pH メーター (D-52; Horiba、京都) を用いて、1 N NaOH により調整した。

### 2.3. 試薬

L-乳酸、L(+)-酒石酸、クエン酸、およびリン酸 (いずれも富士フィルム和光純薬) を用いた。試薬を国産蒸留水 (アクアリッチウォーター、共栄製薬株式会社) に溶解または希釈し、0.2% 溶液を調製した。pH (3.5, 5.0, 7.0) は、1 N NaOH を用いて調整した。

### 2.4. 官能評価法

実験直前に切り餅を 4 分割し (1 個あたり 12~13 g)、2 種類の方法 (茹で、焼き) で調理した。茹で餅は、餅を沸騰したお湯に入れ、柔らかくなるまで数分間茹でた。焼き餅は、250°C に設定したトースターで、焦げ目が付かない程度に 3~4 分間焼いた。苦味の評価は、調理したての餅を被験者に提供し、餅を口内に入れてよく噛み、飲み込まずに続けてテスト溶液 (約 30 ml) を口内に含む (口内調味する) ことにより行った。被験者には、実験開始前の少なくとも 90 分間、水を除く飲食を控えるよう指示した。

予備検討の結果、茹で餅の方が、焼き餅よりも市販飲料 A との組合せで生じる苦味が強  
いことが判明した。そこで、苦味をまったく感じない場合（苦味なし）をスコア 0、焼き餅  
と市販飲料 A の組合せで生じる苦味強度をスコア 2、茹で餅と市販飲料 A の組合せで生じ  
る苦味強度をスコア 4 と定義し、それぞれの間をスコア 1 または 3、さらにスコア 4 よりも  
苦い場合をスコア 5 と定義して 6 段階評価した（図 1）。茹で餅／焼き餅と市販飲料 A との  
組合せで生じる苦味強度を確認し、記憶に留めた後に、1 重盲験でテスト溶液の評価を行っ  
た。テスト溶液は、PET 製プラスチックカップ（60 ml；サンナップ株式会社）に入れて、  
室温で提供した。ひとつの評価が終わったら、口内調味した餅とテスト溶液を飲み込み、口  
を水で 2 回以上ゆすいだ。テストとテストの間隔は、2 分間以上空けた。

なお、レトルトごはんを用いた試験では、1 パック 200g 入りのご飯を 500W の電子レ  
ンジに入れて 2 分間加熱調理した後に、1 試験あたり約 13g を秤量し、餅と同様に評価し  
た。

## 2.5. データ解析

得られた結果を、平均値±標準偏差で示した。単純主効果（飲料/溶液の種類、調理方法  
または pH）の有意差は、IBM SPSS Statics 29.0（日本アイ・ビー・エム株式会社、東京）を  
用い、反復測定二元配置分散分析により検定した。スコアが有意であった場合の事後比較  
（多重比較）は、Bonferroni test を用いて検定した。また、苦味がスコア 0、2、あるいは 4  
と比べて有意か否かは、one-sample *t*-test を用いて検定した。 $P < .05$  を統計学的に有意差あ  
りと判定した。

表 1 実験に用いた市販飲料の品名、原材料名、および添加物

市販飲料 No.	品名	原材料名	添加物
A	清涼飲料水	果糖ぶどう糖液糖、食塩	クエン酸、香料、クエン酸Na、塩化K、硫酸Mg、乳酸Ca、酸化防止剤（ビタミンC）、甘味料（スクラロース）、イソロイシン、バリン、ロイシン
B	清涼飲料水	果糖、塩化Na L-カルニチンL-酒石酸塩	香料、クエン酸、クエン酸Na、甘味料（アセスルファムK、スクラロース）、塩化K、硫酸Mg、乳酸Ca、酸化防止剤（ビタミンC）
C	清涼飲料水	砂糖、果糖ぶどう糖液糖、果汁、食塩	酸味料、香料、塩化K、乳酸Ca、調味料（アミノ酸）、塩化Mg、酸化防止剤（ビタミンC）
D	10%混合果汁入り飲料	果実（ぶどう、グレープフルーツ、ライチ）、砂糖類（果糖ぶどう糖液糖、果糖）、食塩	酸味料、香料
E	30%混合果汁入り飲料	果実（オレンジ、マンダリンオレンジ）、糖類（果糖ぶどう糖液糖、砂糖）	酸味料、香料、ビタミンC
F	清涼飲料水	果糖ぶどう糖液糖、脱脂粉乳、乳酸菌飲料	酸味料、香料、安定剤（大豆多糖類）
G	麦茶（清涼飲料水）	大麦、飲用海洋深層水 麦芽	ビタミンC
H	ナチュラルミネラルウォーター	水（鉱水）	なし
I	蒸留水	水	なし

表 2 市販飲料の栄養成分表示 (100 ml あたり) および pH

市販飲料 No.	エネルギー kcal	たんぱく質 g	脂質 g	炭水化物 g	食塩相当量 g	その他 mg	pH
A	19	0	0	4.7	0.1	K 8 Mg 1.2 イソロイシン 1 バリン 1 ロイシン 0.5	3.48
B	0	0	0	0.7	0.1	K 9 Mg 1.2 L-カルニチン 100	3.58
C	25	0	0	6.2	0.12	K 20 Ca 2 Mg 0.6	3.59
D	34	0	0	8.4	0.11		3.58
E	44	0	0	10.7	0.05		3.58
F	46	0.3	0	11	0.04		3.51
G	0	0	0	0	0.03	Mg 0.5 Zn 0~0.01 K 12 P 1.3 Mn 0~0.01	6.69
H	0	0	0	0	0.002	Ca 0.1~2.4 Mg 0.02~1.1 K 0.04~0.7	6.61
I	0	0	0	0	0		6.25

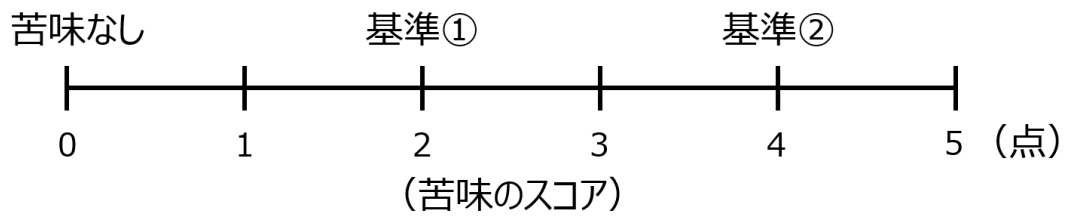


図 1 苦味スコア

基準①は、焼き餅と市販飲料 A の組合せによって発生する苦味強度 (スコア 2)、基準②は茹で餅と市販飲料 A の組合せによって発生する苦味強度 (スコア 4) と定義した。

### 3. 結果

#### 3.1. 餅と市販飲料の口内調味による苦味の発生

市販飲料 B~F において、茹で餅との組合せにより平均スコア 2.8~4.0 の苦味が発生し、焼き餅との組合せにより平均スコア 1.9~2.1 の苦味が発生した (図 2)。一方、飲料 G (麦茶)、H (ミネラルウォーター)、および I (蒸留水) では、餅の料理方法 (茹で/焼き) に関わらず、苦味がまったく生じなかった。苦味を生じた飲料 B~F について二元配置分散分析を行った結果、単純主効果である調理方法 ( $F(1,7) = 23.66, P < .01$ ) にのみ有意差が認められ、飲料の種類 ( $F(4,28) = 1.023, P > .05$ ) およびそれらの交互作用 ( $F(4,28) = 1.400, P > .05$ ) に有意差はなかった。すなわち、飲料 A~F は、飲料の種類によらず、茹で餅との組合せの方が、焼き餅との組合せよりも強い苦味を生じることが示された。

これら飲料の pH を測定した結果、飲料 A~F は 3.4~3.6 (弱酸性) であったが、G~I は 6.2~6.6 (中性) であった (表 1)。

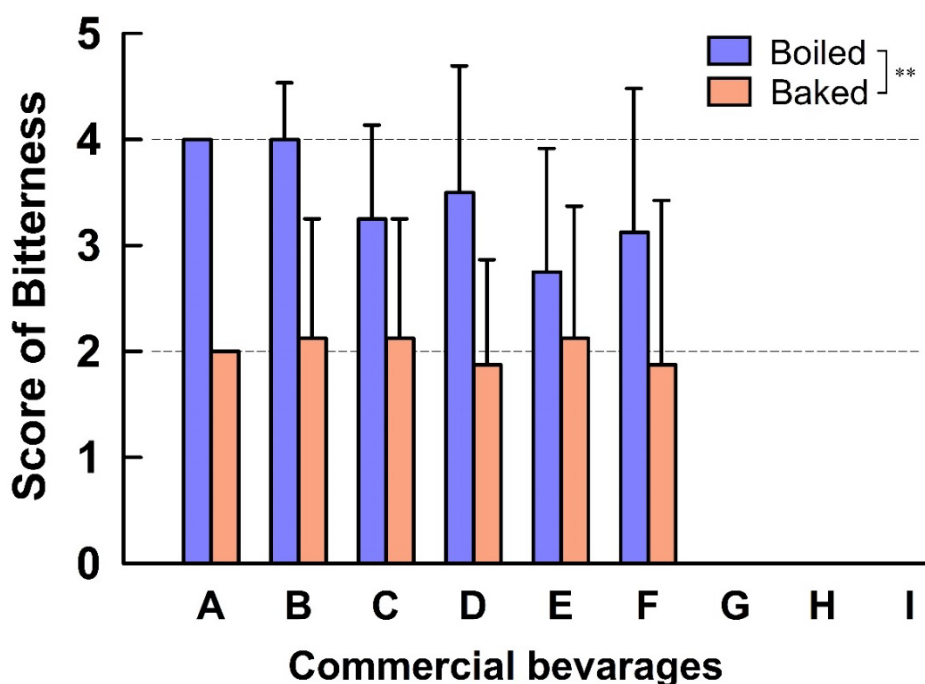


図 2 餅と市販飲料 A~I の口内調味による苦味の発生

餅は 2 種類の方法 (茹で、焼き) で調理した。\*\* $P < .01$ , 単純主効果 (調理方法) における苦味スコアの有意差 (二元配置分散分析)。 $N = 8$ 。



### 3.2. pH 変化の影響

餅と口内調味することにより苦味を発生した市販飲料 A~F は、いずれも pH 3.5 付近の弱酸性飲料であった。そこで、苦味発生に pH が関与する可能性を検証する目的で、飲料 A の pH を上昇させた結果、pH 5.0 ではスコア 0 と比べて有意な苦味を生じたものの (茹で餅が  $P < .05$ 、焼き餅が  $P < .01$ )、pH 3.5 に比べて苦味スコアが低下し、pH 7.0 では有意な苦味を生じなかった (図 3a)。二元配置分散分析の結果、pH ( $F(2,14) = 63.892, P < .001$ )、調理方法 ( $F(1,7) = 37.01, P < .001$ ) および交互作用 ( $F(2,14) = 15.602, P < .01$ ) に有意差が認められた (表 3)。

そこで、4 種類の 0.2%有機酸 (乳酸、酒石酸、クエン酸、リン酸) を用いて、3 種類の pH で同様の実験を行った結果、飲料 A と同様の結果が得られた (図 3b-e、表 3)。すなわち、いずれの有機酸を用いても、pH 上昇に伴い苦味スコアが低下し、pH 7.0 では有意な苦味を生じなかった。したがって、飲料 A との組合せによる苦味発生は、各種有機酸の単純水溶液を用いて再現できることが明らかになった。

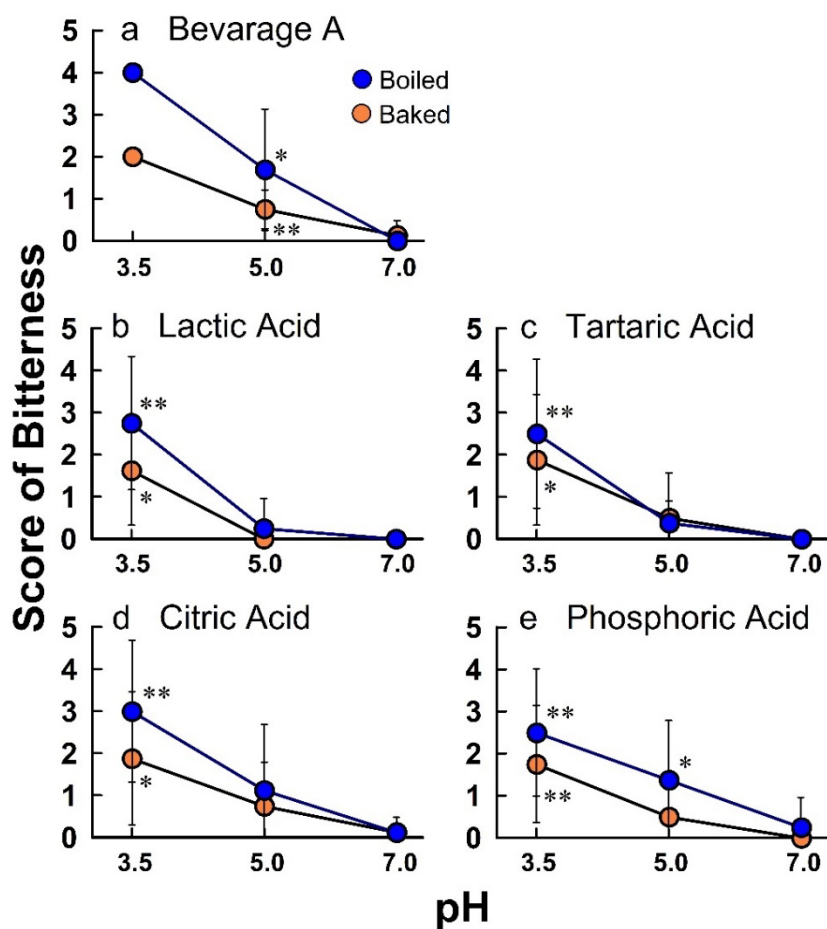


図 3 テスト溶液の pH 変化による苦味の変化

\* $P < .05$  および\*\* $P < .01$ 、スコア 0 との有意差 (one-sample  $t$ -test)。  $N = 8$ 。

表3 図3における反復測定二元配置分散分析結果のまとめ

Column	Test Solution	Cooking	pH	Cooking x pH
a	Bevarage A	$F(1,7)=37.01$ $P < .001$	$F(2,14) = 63.892$ $P < .001$	$F(2,14) = 15.602$ $P = .004$
b	Lactic Acid	$F(1,7)=7.631$ $P = .028$	$F(2,14) = 19.456$ $P < .001$	$F(2,14) = 2.842$ $P = .126$
c	Tartaric Acid	$F(1,7)=.538$ $P = .487$	$F(2,14) = 16.869$ $P = .002$	$F(2,14) = 1.124$ $P = .353$
d	Citric Acid	$F(1,7)=2.447$ $P = .162$	$F(2,14) = 13.332$ $P < .001$	$F(2,14) = 2.151$ $P = .153$
e	Phosphoric Acid	$F(1,7)=13.235$ $P = .008$	$F(2,14) = 9.329$ $P = .003$	$F(2,14) = 1.374$ $P = .286$

### 3.3. レトルトごはんとの組合せによる味覚変調作用

餅と飲料 A との組合せで発生する苦味が餅に特有の現象であるか調べるため、餅の代わりにレトルトごはんを用いた。その結果、レトルトごはんとの組合せによって、茹で餅あるいは焼き餅よりも著しくスコアが低下した ( $0.50 \pm 0.53$ ;  $P < .001$ , one-sample *t*-test) (図 4)。スコア 1 の苦味を感じる被験者とスコア 0 (苦味なし) の被験者が 4 名ずついたことから、苦味なし(スコア 0)との比較を行った結果、有意差が認められた ( $P < .05$ , one-sample *t*-test)。したがって、餅の場合に比べて弱いながらも、レトルトごはンは飲料 A との組合せによりわずかな苦味を生じることが示された。

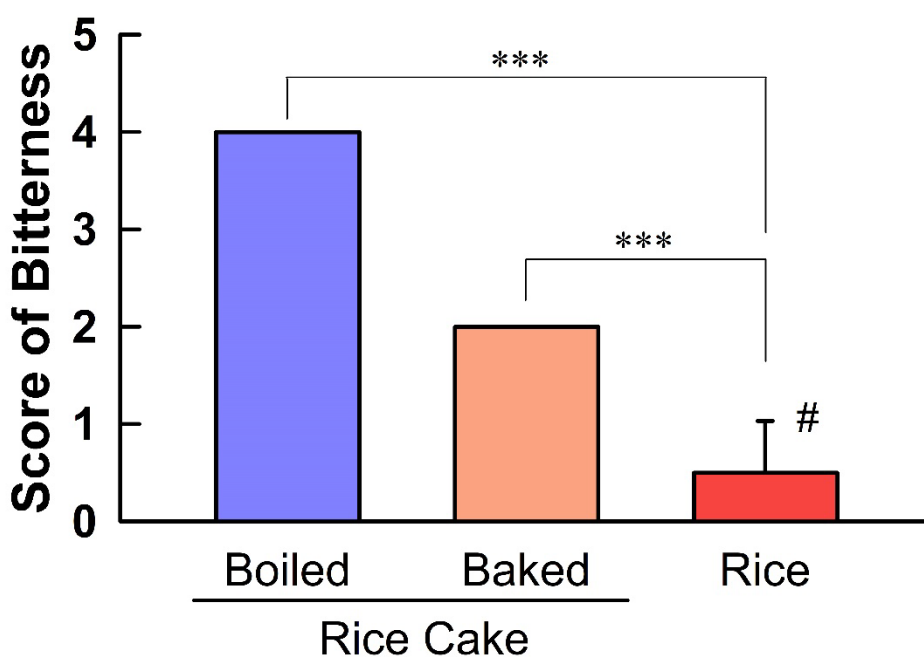


図 4 餅 (茹で/焼き) とレトルトごはんとの比較

\*\*\* $P < .001$ , 茹で餅 (スコア 4) および焼き餅 (スコア 2) との有意差; # $P < .05$ , 苦味なし (スコア 0) との有意差。  $N = 8$ 。

#### 4. 考察

餅をある市販飲料と組合わせて咀嚼すると、苦味を生じることが経験的に知られている。本研究により、この苦味は、1) 弱酸性飲料 (pH が約 3.5 の飲料) との組合せで生じること、2) 有機酸水溶液 (乳酸、酒石酸、クエン酸、およびリン酸) との組合せでも、弱酸性飲料と同様に生じること、3) 弱酸性飲料/有機酸水溶液の pH を中性にすると苦味が消失する (苦味を感じない) こと、4) 中性飲料との組合せでは苦味を生じないこと、および 5) 餅の代わりにレトルトごはんを用いると、弱い苦味しか感じられないことを明らかにした。したがって、苦味物質は飲料に含まれているのではなく、餅を噛むことによって餅から口内 (唾液中) に放出される可能性が示唆された。

##### 4.1. 市販飲料の口内調味による苦味の発生

餅との組合せにより苦味を感じるか否かは、飲料の種類により異なった。すなわち、中性飲料である麦茶、ミネラルウォーター、あるいは蒸留水との組合せでは、苦味をまったく生じなかったが、酸性飲料との組合せでは、飲料の種類 (スポーツ飲料、柑橘ジュース、発酵乳飲料) に関わらずに苦味を生じた。したがって、特定の商品/飲料にのみ認められる現象ではなく、共通要素があることが明らかになった。苦味を生じた飲料 A~F の pH を測定した結果、3.4~3.6 の狭い範囲内であったため、飲料 A について pH を 5.0 に変化させた結果、苦味スコアが半減し、pH 7.0 ではスコアが 0 (苦味なし) になった。この結果より、飲料の組成 (原材料) よりも pH が大きく関与していると考えられた。そこで、飲料 A の代わりに 4 種類の有機酸溶液との組合せについて調べた結果、飲料 A と同様の pH 依存的変化が認められた。したがって、酸性飲料との組合せによる苦味発生 (味覚変調) は、口腔内の pH 低下で説明できることが示唆された。さらに、餅をレトルトごはんに替えると、著しく苦味が低下した。これらの結果より、苦味物質は飲料に含まれているというよりも、餅に含まれており、餅を噛むことによって口内 (唾液中) に放出される可能性が高いと考えられる。

なお、餅 (主原料はもち米) の代わりにレトルトごはん (主原料はうるち米) を用いると苦味が著しく減少した理由については、含まれる苦味物質の含有量が異なる可能性、苦味物質の化学構造が異なる可能性、苦味物質の存在状態が異なる可能性 (結合型 vs. 遊離型; 細胞内の存在部位の違い) などが考えられる。これらの詳細については、今後の検討課題である。

##### 4.2. 苦味発生メカニズムの推察

同じ餅を用いても、苦味の強さは調理方法によって異なった。すなわち茹で餅の方が焼餅よりも強い苦味を生じた。この現象をどのように説明できるだろうか。ひとつの可能性として、茹でと焼きでは加熱による加水分解の程度が異なることが考えられる。すなわち、餅の中で苦味物質が高分子化合物などに共有結合して存在しており、水分供給量が多い茹で餅の方が、水分供給量が少ない焼餅よりも加水分解が起こりやすい可能性が考えられる (図

5A)。餅を茹でても、苦味物質が餅に残っているのは、餅の粘性が高いため、遊離した苦味物質が餅の内部に保持されているからと考えれば説明がつく。もしこの可能性が正しければ、餅の表面に存在する苦味物質は茹で汁に溶け出ると考えられるため、茹で汁を回収し濃縮して苦味発生を検証すればよいだろう。この点についても、今後の検討課題である。

一方で、中性条件下では苦味を感じず、弱酸性条件下でのみ苦味を感じるメカニズムについては、プロトンが苦味物質に結合することにより電荷が変化し、苦味受容体への結合親和性が増えるためであると考えられる (図 5B)。この際に、プロトンがどのような官能基に結合するかについては、大きく分けて 2 つの可能性がある。1 つは、カルボキシ基のような酸性基にプロトンが結合することによって、マイナス電荷が消失 (疎水性が増加) する可能性である。2 つめは、アミノ基のような塩基性基にプロトンが結合することによってプラス電荷が生じる (親水性が増加する) 可能性である。化合物の構造によっては、両方が同時に生じる可能性もある。両者は、プロトンの結合によって、電荷が消失するか発生するか、あるいは疎水性／親水性が増加するかの大きな違いがある。苦味物質は、一般的に薬物などの脂溶性物質が多いことから、酸性基にプロトンが結合することにより苦味受容体との親和性が増す (苦味が強くなる) 可能性の方が高いと予想されるが、この点についても今後の検討課題である。

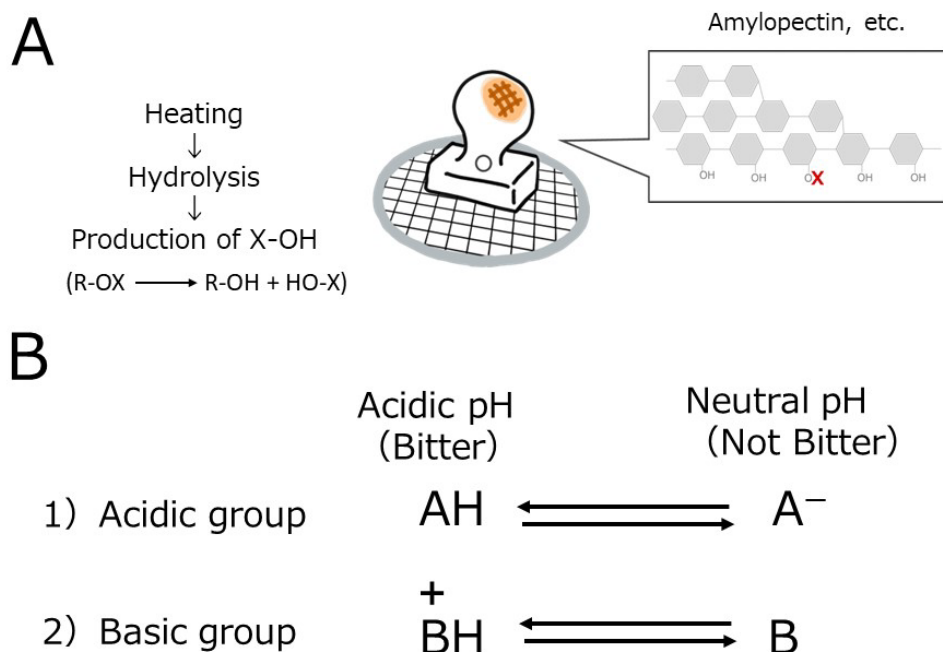


図 5 苦味発生のメカニズム (仮説)

#### 4.3. その他の苦味変調の報告

餅と弱酸性飲料との組合せ以外にも、歯磨きをした後にジュースを飲むと、苦味や収斂味を感じる事が一般的に知られている。歯磨き粉にはラウリル硫酸ナトリウムを主成分とした研磨剤が含まれており、この研磨剤が原因であると言われているが、科学的証拠に乏しい。Taketani ら (2023)<sup>17)</sup> は、ラウリル硫酸ナトリウムが、オレンジジュースに含まれる有機酸の存在下で苦味を生じると発表した。ラウリル硫酸ナトリウムはカフェンの苦味に影響しなかったことから、有機酸に特異的な変化であると思われる。しかし、同じ pH を用いても有機酸の種類によって作用の強さが異なったことから(酢酸>酒石酸>クエン酸;濃度は0.04%)、pH の作用のみでは説明できないと結論づけた。もし、ラウリル硫酸ナトリウムが有機酸の存在下で苦味を発生するのであれば、どのようなメカニズムで説明できるかたいへん興味深い。

#### 4.4. 本研究の限界と将来展望

本研究は、苦味物質を同定するまでに至っていない。HPLC 法などを使って、餅に含まれる苦味物質が何であるかを分析し同定する必要がある。しかし、その目的を達成するためには、苦味物質が餅の中でどのような状態で存在しているか(例えば、遊離型か結合型か)、あるいはどのようにすればその苦味物質を効率よく抽出・濃縮可能か調べる必要がある。餅を粉砕し水洗いしてから再形成して調べれば、ある程度は存在形態を推定できるだろう。さらには、苦味発生の現象が餅(餅米)以外の穀物、芋類、各種でんぷんなどでも生じるのか調べる必要がある。これらの基礎的知見を積み重ねることにより、苦味物質を除去すること、あるいは苦味物質を発生しにくい調理方法を工夫することで、美味しさを損なうことのない食品を作ることが可能になるだろう。本研究は、どのような条件下でも美味しく味わうことができる食品の調理・加工方法の提案に貢献できる可能性を秘めていると考えられる。

## 5. 要約

ある市販飲料を餅と一緒に食べると、苦味を生じることが経験的に知られている。本研究では、官能評価を用いて、この苦味発生のメカニズムを調べた。被験者として健康な大学生 8 名を募集した。約 13 g の餅をよく噛んだ後、餅を飲み込まずに甘い市販飲料（飲料 A）を口の中に入れて口内調味を行った。焼き餅と茹で餅の苦味スコアを、それぞれ 2 および 4 と定義して苦味を評価した結果、pH 3.5 前後の弱酸性飲料が、飲料 A と同様の苦味を発生させた。これらの飲料の pH を上昇させると苦味は著しく低下し、pH 7.0 では苦味が消失した。弱酸性飲料と同様の結果が、0.2%乳酸、酒石酸、クエン酸、およびリン酸でも認められた。一方で、中性飲料との組合せは、苦味を発生しなかった。餅の代わりにレトルトごはんを使うと、苦味は著しく減少した。これらの結果から、酸性条件下でのみ苦味を誘発する物質が、餅を噛むことによって、餅から口腔内（唾液）に放出される可能性が示唆された。

## 謝 辞

本研究の被験者として協力いただきました近畿大学農学部食品栄養学科の 4 年生に感謝します。また、本研究を開始するにあたり、実験条件検討に多大なる協力をいただきました川越成流および篠原里菜の両氏に感謝します。

本研究の一部は、飯島藤十郎記念食品科学振興財団・2023 年度学術研究助成金（個人研究）の援助を受けて実施しました。

## 6. 引用文献

- 1) 栄養科学イラストレイテッド 食品学I 改訂第2版 食べ物と健康 食品の成分と機能を学ぶ (水品善之、菊崎泰枝、小西洋太郎／編)、羊土社、東京、2021、pp. 111–112.
- 2) 食事・食べ物の基本：健康を支える食事の実践 (管理栄養士養成のための栄養学教育モデル・コア・カリキュラム準拠、第3巻) (石田裕美、柳沢幸江、由田克士／編)、医歯薬出版、東京、2022、pp. 97–98.
- 3) Koizumi A, Tsuchiya A, Nakajima K, Ito K, Terada T, Shimizu-Ibuka A, Briand L, Asakura T, Misaka T, Abe K (2011) Human sweet taste receptor mediates acid-induced sweetness of miraculin. *Proc Natl Acad Sci USA* **108**: 16819–16824.
- 4) Kurihara K, Beidler LM (1968) Taste-modifying protein from miracle fruit. *Science* **161**: 1241–1243.
- 5) Kurihara K, Beidler LM (1969) Mechanism of the action of taste-modifying protein. *Nature* **222**: 1176–1179.
- 6) Misaka T (2013) Molecular mechanisms of the action of miraculin, a taste-modifying protein. *Semin Cell Dev Biol* **24**: 222–225.
- 7) Nakajima K, Morita Y, Koizumi A, Asakura T, Terada T, Ito K, Shimizu-Ibuka A, Maruyama J, Kitamoto K, Misaka T, Abe K (2008) Acid-induced sweetness of neoculin is ascribed to its pH-dependent agonistic-antagonistic interaction with human sweet taste receptor. *FASEB J* **22**: 2323–2330.
- 8) Yamashita H, Theerasilp S, Aiuchi T, Nakaya K, Nakamura Y, Kurihara Y (1990) Purification and complete amino acid sequence of a new type of sweet protein taste-modifying activity, curculin. *J Biol Chem* **265**: 15770–15775.
- 9) Hamano K, Nakagawa Y, Ohtsu Y, Li L, Medina J, Tanaka Y, Masuda K, Komatsu M, Kojima I (2015) Lactisole inhibits the glucose-sensing receptor T1R3 expressed in mouse pancreatic  $\beta$ -cells. *J Endocrinol* **226**: 57–66.
- 10) Jiang P, Cui M, Zhao B, Liu Z, Snyder LA, Bernard LM, Osman R, Margolskee RF, Max M (2005) Lactisole interacts with the transmembrane domains of human T1R3 to inhibit sweet taste. *J Biol Chem* **280**: 15238–15246.
- 11) Kurihara Y (1992) Characteristics of antisweet substances, sweet proteins, and sweetness-inducing proteins. *Crit Rev Food Sci Nutr* **32**: 231–252.
- 12) Ley JP, Krammer G, Reinders G, Gatfield IL, Bertram H-J (2005) Evaluation of bitter masking flavanones from Herba Santa (*Eriodictyon californicum* (H. and A.) Torr., Hydrophyllaceae). *J Agric Food Chem* **53**: 6061–6066.
- 13) Ley JP, Blings M, Paetz S, Krammer GE, Bertram HJ (2006) New bitter-masking compounds: hydroxylated benzoic acid amides of aromatic amines as structural analogues of homoeriodictyol. *J Agric Food Chem* **54**: 8574–8579.



- 14) Homma R, Yamashita H, Funaki J, Ueda R, Sakurai T, Ishimaru Y, Abe K, Asakura T (2012) Identification of bitterness-masking compounds from cheese. *J Agric Food Chem* **60**: 4492–4499.
- 15) Nakamura T, Tanigake A, Miyanaga Y, Ogawa T, Akiyoshi T, Matsuyama K, Uchida T (2002) The effect of various substances on the suppression of the bitterness of quinine-human gustatory sensation, binding, and taste sensor studies. *Chem Pharm Bull (Tokyo)* **50**: 1589–1593.
- 16) Katsuragi Y, Sugiura Y, Lee C, Otsuji K, Kurihara K (1995) Selective inhibition of bitter taste of various drugs by lipoprotein. *Pharm Res* **12**: 658–662.
- 17) Taketani C, Hashizume K, Yoshikawa K (2023) ISP03 An attempt to understand the molecular mechanism underlying toothpaste-mediated taste-modification. The 20th International Symposium on Molecular and Neural mechanisms of Taste and Olfactory Perception. p.25 (abstract).