

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K02368

研究課題名（和文）食材への適切な味付けに向けた味質混合による味認識機序の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanism of mixed taste recognition for appropriate flavoring

研究代表者

日下部 裕子（Kusakabe, Yuko）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品研究部門・グループ長補佐

研究者番号：90353937

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、苦い野菜に調味料を添加して食べやすくするといった、味付けによる嗜好の変化に生理学的な根拠を示すことを目的とし、味付けが味の強さ、食品成分の消化吸収やストレス応答にどのように影響するかを解明を試みた。受容体レベルでは、モモや乳製品の香り成分であるラクトン類の中に、唐辛子の成分であるカプサイシンやワサビの成分であるアリルイソチオシアネートの辛味を低減させる効果があることを見出した。また、人試験により、酸味に甘味やうま味を添加した場合に酸味が引き起こすストレスが低減する傾向を観察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

味に関する研究は、生理学的な感覚研究と調理科学的な研究の間に大きなギャップが存在している。生理学的な味覚研究では、単独の味の研究が多く、味を混合する研究は限られている。また、味と香りの混合研究も少ない。そこで、本研究では受容体から人まで幅広く味を混合した研究を行った。本研究のようなアプローチは、生理学と調理科学を繋げ、多角的な視点から科学的根拠に基づいた味付けにつながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to provide a physiological basis for changes in taste preference due to flavoring, such as the addition of flavors to bitter vegetables to make them more palatable, and to elucidate how flavoring affects taste intensity, digestion and absorption of food components, and stress responses. At the receptor level, we found that some lactones, aroma components of peaches and dairy products, were effective in reducing the pungency of capsaicin, a component of chili peppers, and allyl isothiocyanate, a component of horseradish. In addition, through human studies, we observed that adding sweet and umami tastes to sour tastes tends to reduce the stress caused by sour tastes.

研究分野：食品科学

キーワード：味覚 フレーバー 受容体

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 味覚の研究は感覚研究の一つとして行われてきたが、食品素材への「味付け」という観点からの研究は多くない。「味付け」は、食品素材そのものの味に加えて、さらに別の味を付与する行為である。よって、「味付け」の理解には、味質の混合の研究が必須となる。しかしながら、味覚の研究は、単独の味質の研究を中心に行われてきた。研究開始当初までに、味質ごとに受容する細胞や神経が別々であることが示され、一つの味神経が一種類の基本味情報だけを伝達するというラベルド - ラインモデルが主流となった。その背景から考えると、味同士の混合が引き起こす味の増強や抑制は、別々の情報伝達間の相互作用であると考えられる。しかしながら、単独の味刺激の情報伝達がやっと明らかになってきた段階で、味の混合についてのメカニズムに関する情報は限られている<sup>1)</sup>。

(2) 心地よい味付けが体に良いかどうかを示す知見は少ない。味刺激は味覚反射と呼ばれる感情を介さない反射を引き起こす<sup>2)</sup>。味覚反射は消化に関する生理応答で、味刺激によって唾液分泌、胃蠕動運動を促進させることが観察されている。これらの実験は、特定の味でのみ行われることが多く、嗜好の関与が不明なことが多い。味刺激による特定の食品成分の吸収への作用については、ほとんど明らかにされていない。また、食品の消化吸収効率に関する研究は、吸収を抑える効果についての知見が多く、促進についての知見は少ない。さらに、以上の知見は、マウスとヒトの研究が別個で行われており、そのギャップを埋める研究が必要になっていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、苦い野菜に調味料を添加することで食べやすくするといった、味付けの長所の科学的根拠を示すことを目的とした。味質としては、学術的な裏付けが豊富な甘味を用いて、低嗜好の味である酸味や苦味への甘味の混合による味の認識過程や嗜好の変化の検討、甘味の付与による食品機能性成分の吸収効率変化の検討を行った。また、食品成分の混合としては、スパイスや薬味といった辛味のような刺激性の高い食品成分の混合も世界中で行われているが、これらの混合が辛味をどのように調節するかについては明らかにされていない。刺激性の高い成分に関する研究は人やマウスでは難しいため、培養細胞を用いた実験を行うこととした。以上の研究には、単独の味質の研究が中心であった味覚研究を、味の混合の作用機序へと展開する目的と、味の混合研究を受容体分子から官能評価や生理応答といったヒト試験まで展開することにより、多角的に摂食行為に近い状態の感覚情報伝達の理解を目指す目的がある。

表 1：呈味刺激の組合せ

### 3. 研究の方法

(1) 酸味と甘味の混合による味の感じ方の変化および生理応答変化の解析

C57BL6 マウスを 1 群 4 匹で 8 群にわけ、うち 3 群は水、酸味、甘味刺激のいずれかを 1 時間半行い、残り 5 群は水、酸味、甘味刺激のいずれかを 1 時間半行ったのち、酸味、甘味刺激あるいは酸味と甘味の混合刺激を 1 時間半行った。刺激の組み合わせを表に示す。味を提示した後、速やかに脳を摘出してショ糖に浸漬したのちパラホルムアルデヒドにて固定した。固定後に凍結連続切片を作製し、c-Fos 抗体による抗体染色を行った。

	1 回目刺激	2 回目刺激
1	水	なし
2	水	酸味
3	水	甘味
4	水	酸味+甘味
5	酸味	なし
6	酸味	酸味+甘味
7	甘味	なし
8	甘味	酸味+甘味

(2) 味と香りの混合による生理応答変化の解析

23 人(男性 9 人、女性 14 人、平均年齢 26.2 才)の被験者による官能評価とストレス応答評価を行った。味と香りを添加した溶液には、甘味料はショ糖(200 mM)とスクラロース(0.5 mM)の 2 種類、酸味はクエン酸(100 mM)、塩味は食塩(150 mM)、うま味はグルタミン酸ナトリウム(MSG)(100 mM)、香料(コズ、小豆、カツオ)は 100 ppm を用いた。1 mL の溶液をスポイトにより舌の中央にたらし、口を閉じて 1 分間そのままの状態にしたのち、飲み込んだ。飲み込んだ直後から分泌した唾液を 1 分間カップに集め、重量を測定した。一つの溶液による試験を行った後で口をゆすぎ、味や香りの感覚がなくなるのを確認したのち、次の試験を行った。溶液重量測定後の唾液はチューブに集め、遠心して上清をアミラーゼ活性測定に用いた。アミラーゼ活性は比色定量法により計測した。

(3) 苦味物質・食品機能性成分と甘味の混合

C57BL6 マウスを用い、苦味をもつ機能性成分であるエピガロカテキンガレート溶液(3 mM)摂取群、エピガロカテキンガレート溶液(3 mM)+スクラロース 0.5 mM 摂取群、水摂取群の血中抗酸化能を比較することにより、苦味に甘味を添加した時の機能性成分吸収効率を比較した。各群について溶液を 1.5 mL 摂取させ、呈示開始から 1 時間後に、心採血し、血清を用いて Orac 値を計測した。

#### (4) 香気成分の混合による辛味の制御

唐辛子の辛味成分であるカプサイシンなどに対する辛味受容体 TRPV1 遺伝子あるいはワサビの辛味成分であるアリルイソチオシアネートに対する辛味受容体 TRPA1 遺伝子を導入した培養細胞 HEK293 を用いて香気成分添加による TRPV1 あるいは TRPA1 の応答の強さを辛味の強さとして評価した。応答の強さは蛍光指示薬 Fluo-8NW および蛍光プレートリーダー Flexstation3 を用いた Ca イメージング法によって評価した。

### 4. 研究成果

#### (1) 酸味と甘味の混合による味の感じ方の変化および生理応答変化の解析

C57BL6 マウスを用い、表 1 の組合せで味を提示した 4 群のマウスの脳において、神経活動の指標である c-Fos 陽性細胞の検出を試みた。水以外の味刺激について陽性細胞が観察される脳の領域に味の特異性があることを見出すことができなかった。

#### (2) 酸味と甘味の混合による味の感じ方の変化および生理応答変化の解析

人試験を行って、味と香りの混合によるストレス応答の変化について解析した。ストレス応答は、短期間のストレス変化の指標であるアミラーゼ活性値を用いて評価した。基本味の中では、苦味と酸味刺激がアミラーゼ活性を引き起こすことを以前から観察していた。そこで、酸味刺激に甘味、塩味、うま味、香り（ゆず）を混合してアミラーゼ活性を計測した。その結果、酸味に甘味とうま味を添加すると、有意差はないものの、唾液中のストレスマーカーであるアミラーゼが低下する傾向が観察された（図 1A）。また、香りによるアミラーゼ活性への影響は観察されなかった。同様に甘味、うま味、塩味に香りを添加した場合のアミラーゼ活性を調べたところ、甘味と塩味にミスマッチな香りを添加した場合にアミラーゼ活性が上昇する傾向があることが観察された（図 1B-D）。以上より、食品の主たる味の種類によって、味付けや香りづけが生体に及ぼす影響が異なることが明らかになった。

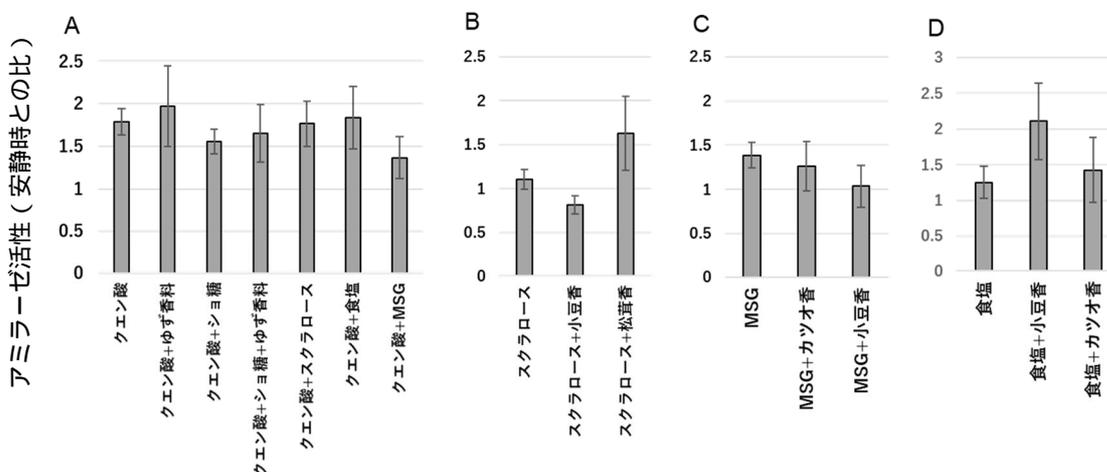


図 1. 味と香りの混合によるストレス応答変化

A 酸味に対する味と香りの添加、B 甘味に対する香りの添加、C うま味に対する香りの添加、D 塩味に対する香りの添加

#### (3) 苦味物質・食品機能性成分と甘味の混合

苦味をもつ機能性成分であるエピガロカテキンガレート溶液に対してスクラロースによる甘味の添加の有無で、血清中の抗酸化成分の濃度に差があるかを解析した。その結果、スクラロースの有無にかかわらず、エピガロカテキンガレートの摂取により血清の抗酸化能の有意な上昇が観察された（図 2）。また、抗酸化能の上昇は、エピガロカテキンガレートの摂取量に依存することが示唆された。よって、甘味の添加は、苦味成分の摂取量を増やすことには効果があるが、消化吸収作用に直接の影響を及ぼす可能性は低いと考えられた。

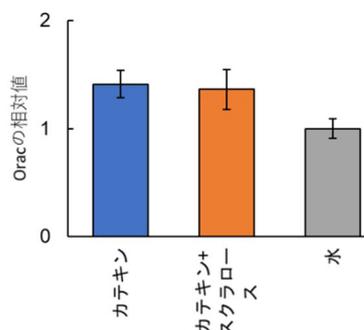


図 2. 苦い機能性成分への甘味の添加による抗酸化能の変化の検討

#### (4) 香気成分の混合による辛味の制御

スパイスの混合による辛味の制御について検討した。モモや乳製品の香気成分である  $\gamma$ 、 $\delta$  ラクトンの中に、カプサイシンの辛味の受容体である TRPV1 受容体を活性化させる成分があることに着目し<sup>3)</sup>、 $\gamma$ 、 $\delta$  ラクトンと辛味成分の混合の効果について解析を行った。混合に先立ち、 $\gamma$ 、 $\delta$  ラクトンがワサビの辛味の受容体である TRPA1 受容体を活性化させるかどうかを調べたところ、 $\gamma$ -octalactone、 $\gamma$ -nonalactone、 $\delta$ -nonalactone が TRPA1 を活性化させることが明らかになった

(図 3A) 次に、カプサイシンやアリルイソチオシアネートと  $\gamma$ 、 $\delta$  ラクトンを混合して TRPV1 や TRPA1 の応答を調べることで、 $\gamma$ 、 $\delta$  ラクトンの辛味に対する効果を検討した。その結果、多くの  $\gamma$ 、 $\delta$  ラクトンが TRPV1 を介する辛味を低減させる効果があるほか、 $\delta$ -dodecalactone が TRPA1 を介する辛味を低減させることを見出した。これらは、ラクトン類の香りにより食品がやさしい味に感じられる原因が、香りだけでなく口腔感覚の刺激緩和にも由来する可能性を示唆している。

次に、濃度容量曲線で効果の評価を試みた。それに先立ち、ショウガの辛味成分ショウガオールとカプサイシンを混合してその効果を調べた。その結果、カプサイシンにショウガオールを混合しても、TRPV1 の応答の最大値は大きくならないことが示された (図 3B)。同様の方法で  $\gamma$ -nonalactone とカプサイシンを混合した場合を評価したところ、 $\gamma$ -nonalactone は、低濃度では辛味を増加させる効果があるが、高濃度では抑制効果に切り替わることが明らかになった (図 3C)。一方、 $\delta$ -dodecalactone にはアリルイソチオシアネートを増強する効果はなく、競合的にアリルイソチオシアネートの辛味を抑制する効果があることが観察された (図 3D)。これらの結果から、辛味成分の混合の効果は、容量応答曲線の特徴から少なくとも3種類に分類できることが明らかになった。辛味の評価は、唐辛子の辛さを評価するスコヴィル値のように一次元的に評価されることが多いが、容量応答曲線を用いることで、より詳細な性質を表すことができることが示された。

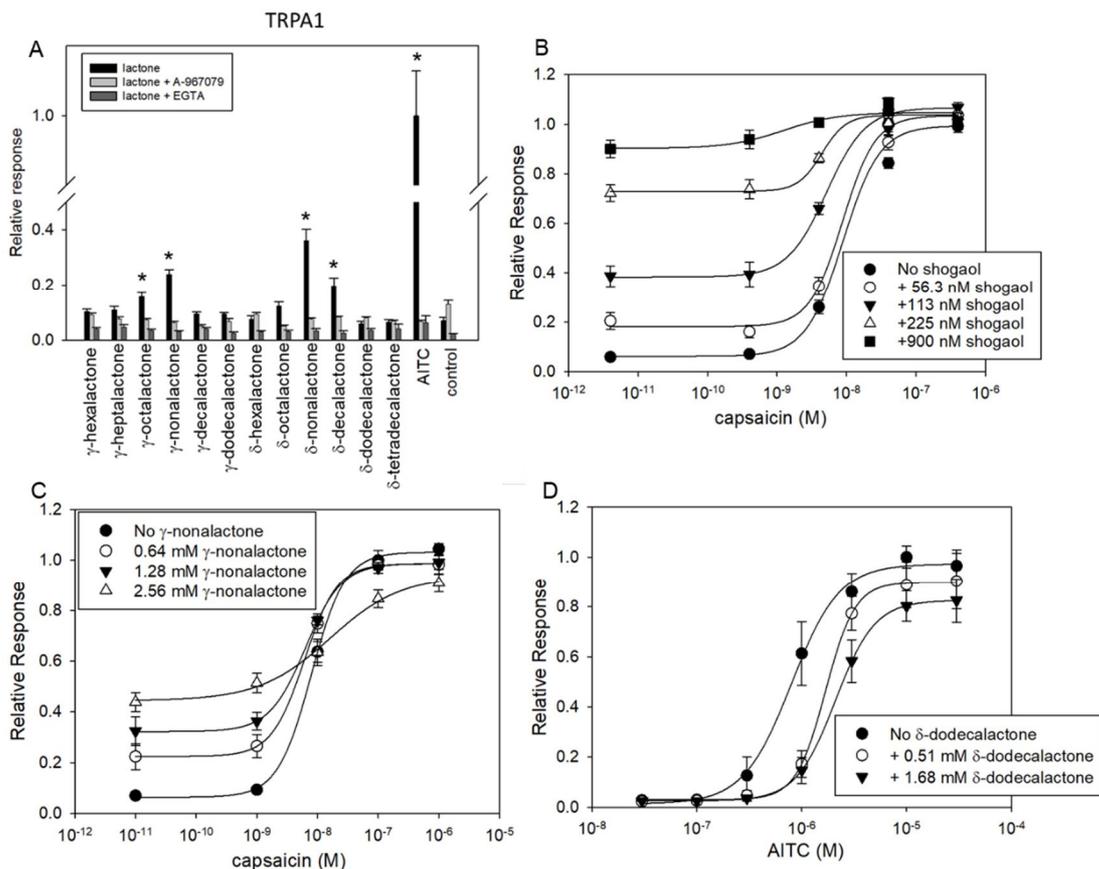


図 3. ラクトン類の辛味受容体 TRPV1, TRPA1 に対する応答解析

A. TRPA1 に対する応答 (ラクトン類の濃度は 2 mM)、B. カプサイシンとショウガオールの混合による TRPV1 の応答変化、C.  $\gamma$ -nonalactone とカプサイシンの混合による TRPV1 の応答変化、D.  $\delta$ -dodecalactone とアリルイソチオシアネートの混合による TRPA1 の応答変化

#### 引用文献

- 1) Tokita et al., J Neurophysiol 108, 2179–2190, 2012
- 2) Pedersen et al., Oral Diseases, 24, 1399–1416, 2018.
- 3) Tobita et al. Biochem Biophys Res Commun, 534, 547–552, 2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kusakabe Yuko, Shindo Yumiko, Kawai Takayuki, Maeda Yamamoto Mari, Wada Yuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Relationships between the response of the sweet taste receptor, salivation toward sweeteners, and sweetness intensity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Science & Nutrition	6. 最初と最後の頁 719 ~ 727
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/fsn3.2036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa Yukino, Kawai Takayuki, Kusakabe Yuko	4. 巻 26
2. 論文標題 Evaluation of Taste Solutions with or without Aromas Based on the Relationship between Individual Resting and Stimulated Salivation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 451 ~ 457
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3136/fstr.26.451	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 日下部 裕子、周 蘭西、金子 秀、小川 雪乃
2. 発表標題 ラクトン類のTRPV1およびTRPA1を介した辛味増強および抑制効果
3. 学会等名 日本味と匂学会第55回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日下部裕子、河合崇行、小川雪乃
2. 発表標題 静止唾液分泌量と刺激時唾液分泌量の関係に基づいた味と香りの評価
3. 学会等名 日本味と匂学会第53回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日下部 裕子、周 蘭西、金子 秀、小川 雪乃
2. 発表標題 ラクトン類が辛味受容チャネルTRPV1およびTRPA1に及ぼす作用
3. 学会等名 日本味と匂学会第54回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西村敏英、黒田素央、日下部裕子、和田有史、笠原千夏、池崎秀和、喜多純一、三浦靖、	4. 発行年 2021年
2. 出版社 恒星社厚生閣	5. 総ページ数 256
3. 書名 食品のコクとは何か おいしさを引き出すコクの科学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------