

香気成分が苦味の感受性に与える影響について

神山 伸^{†*}、須崎奈美[†]、田山 舞[†]、曾根英行^{**}

味覚と嗅覚の受容は異なる経路で脳へと伝達される一方、嗅覚の存在によって味の感じ方が変わることが知られているが、香気成分が味成分の受容そのものに与える影響については明確にされていない。本研究では、ラットを用いた飲水選択嗜好実験を行い、香気成分の添加により苦味溶液の選択率に変化がみられるかどうかを確認することにより、香気成分が苦味の感受性に与える影響について検討した。濃度の異なる塩酸キニーネ水溶液を用いた4瓶選択嗜好実験では、通常水群、香気水群（苦味溶液に10 ppmの酪酸ブチルを添加）ともに苦味濃度が増加するほど嗜好率が低下したが、香気水群では0.001 mMの苦味溶液で嗜好率が有意に増加した（ $p<0.01$ ）。一方、不快臭を示すヘキサナールを用いた場合では、個体差が大きく有意差は認められなかった。ヒトを用いた官能検査では、10 ppmの酪酸ブチル、ヘキサナール、イソバレルアルデヒドのいずれの添加でも、0.01mM 塩酸キニーネ水溶液の苦味を増加させた。これらの結果から、酪酸ブチルのような香気成分は苦味の感受性を変化させることが示唆され、香気成分の添加により苦味を修飾できる可能性が示された。

キーワード：味覚、嗅覚、香気成分、苦味、相互作用

はじめに

食べ物のおいしさは味覚のみが決めているのではなく、「匂い」を感じる嗅覚や、触覚や聴覚、視覚などの感覚、環境や体調などさまざまな因子が影響しており、それらを複合的に判断することにより感じている。人間の感覚は、それぞれの感覚器官で捉えられた感覚情報が、各感覚神経を通じて大脳の各感覚野に送られ、その対応する脳部位で処理され感知される。一方で、その感覚は相互に作用しており、味とにおいにおいてもそれぞれの情報は少なくとも一部は脳内で共通した部位で処理されて、統合した感覚として捉えられる¹⁾。実際、風邪をひいた時にいつもと味が違うと感じたり、鼻をつまんだりした時に食べ物の味を感じなかったりするように、人間が食べ物を食べた時の「味」は嗅覚によって大きく影響を受けている。においと味が一体となって感じられる感覚は風味（フレーバー）とよばれている。

香りには食品などを鼻先でにおいを嗅いだときに感じられる鼻先香（立ち鼻香、オルトナザール香）と、食品を口に入れて噛んだときに、香りの成分がのどの奥から鼻に抜けて感じられる口中香（咀嚼香、レトロナザール香）があるが、いずれにおいても匂いを感じる部位は嗅上皮（鼻腔の上部にある嗅粘膜の上皮）にあり、非常に多くのにおい物質に応じる嗅細胞によって感知されている²⁾。におい物質は嗅腺から分泌される粘液に溶けることによって嗅細胞の樹状突起先端にある嗅毛の受容体を刺激し、嗅神経をとおして大脳辺縁系の嗅覚野に伝えられ嗅覚として感知される。におい物質は揮発性であり、きわめて閾値が低いために非常に微量でも感知される。

こどもがピーマンを嫌いな理由としてその「苦み」がよくあげられるが、実際はその「青臭さ」が嫌われていることが多い。この青臭さは「青葉アルデヒド」のような香気成分によるものだが、この青臭さが単独で嫌われているの

新潟県立大学人間生活学部健康栄養学科

責任著者 連絡先：*kammy@unii.ac.jp **sone@unii.ac.jp [†]共同筆頭著者

利益相反：なし

か、それとも匂いがピーマンの苦みの感覚自体を変化させているのかについては明確ではない。辛味や炭酸刺激のような一部の体性感覚は、味覚や嗅覚のような化学感覚を修飾することが報告されている³⁾。以前の研究で筆者らは、雪室貯蔵したコーヒーは通常貯蔵のものに比べて苦みや渋みが減っていると感じられるものの、実際には味成分は変化しておらず、アルデヒド類を中心とする不快臭である「オフフレーバー」が減少することにより、味の変化として感じられることを報告した⁴⁾。この場合でも、香りの変化が味の変化として感じられているのであるが、香気自体が味の感受性を変化させているのか、あるいは脳での感じ方が変化しているのかについては明確ではない。

本研究では、他の味覚に比べて閾値が低く、「不快味」として捉えられやすい苦味に着目し、この苦味の感受性が香気成分の存在により変わるかどうかを確認するため、ラットを用いた選択嗜好実験を行うことにより、香気成分が苦味の感受性に与える影響について検討した。

方法

実験動物

SD 系ラット（日本エスエルシー株式会社）、オス、4 週齢（実験時 6 週齢あるいは 8 週齢）、10 匹を用いた。餌としては市販の固形試料（CLEA Rodent Diet CE-2、日本クレア株式会社）を自由摂食により十分に与えた。動物実験は、新潟県立大学の動物実験委員会の承認を受け、動物実験ガイドラインを遵守して行った。

官能検査による苦味の評価

新潟県立大学の学生 12 名（20～24 歳の男女）を被験者として官能検査を行った。苦味溶液として 0.01mM 塩酸キニーネ水溶液を用いた。香気成分としては、酪酸ブチル（Butyl Acetate、和光純薬）、ヘキサナール（1-hexanal、東京化成）、イソバレルアルデヒド（isovaleraldehyde、東京化成）、青葉アルデヒド（trans-2-hexenal、東京化成）をそれぞれ 10 ppm となるよう添加し、苦味溶液に香気を添加していないものを「においなしの苦水」、香気を添加したものを「におい

ありの苦水」として、溶液それぞれをおよそ 20 mL ずつプラスチックカップに入れて配布し、比較法により評価を行った。「においあり」それぞれを「においなし」と比較して苦味をどう感じるかについて、においなしを基準の 0 点として -2～+2 点の 5 点評価法で評価した。点数の平均値について、Kruskal-Wallis 法による一元配置分散分析および Steel-Dwass 法による多重検定を行い、危険率 5% で有意差ありと判断した。

酪酸ブチルの 4 瓶選択嗜好実験

体重に基づき、6 週齢の Sprague Dawley (SD) 系ラット 10 匹を 5 匹ずつ通常水群と香気水群の 2 群に分けた。

苦味溶液として塩酸キニーネ水溶液（0、0.001、0.01、0.1mM）を用い、通常水群は苦味溶液、香気水群は苦味溶液に酪酸ブチルを 10 ppm となるように添加したものをを用いた。それぞれの溶液を給水瓶に 100 mL ずつ用意し、4 瓶を同時にケージのふたに差し込んで呈示して自由に選択飲水させた。8 日間実験を行い、2 日ごとにそれぞれの溶液の飲水量を計測して、それを合計することにより累積飲水量を算出した。また、全濃度の溶液の合計飲水量から各濃度の溶液の飲水量について、選択嗜好率を算出した。溶液は 2 日ごとに調製し直し、場所による偏好を避けるために個体ごとに異なる位置に異なる濃度の給水瓶を呈示して、2 日ごとに場所を入れ替えた。5 匹の平均値について、二元配置分散分析および student の検定を行い、危険率 5% で有意差ありと判断した。

ヘキサナールの 4 瓶選択嗜好実験

酪酸ブチルにおける 4 瓶選択嗜好実験と同様にして行った。8 週齢の SD 系ラット 10 匹を 5 匹ずつ通常水群と香気水群の 2 群に分け、苦味溶液として塩酸キニーネ水溶液（0、0.001、0.01、0.1mM）を用い、香気水群は苦味溶液にヘキサナールを 10 ppm となるように添加したものをを用いた。それぞれの溶液を給水瓶に 100 mL ずつ用意し、4 瓶を同時にケージのふたに差し込んで呈示して自由に選択飲水させた。酪酸ブチルにおける実験と同様に 8 日間実験を行い、2 日ごとにそれぞれの溶液の飲水量を計測して、

それを合計することにより累積飲水量を算出した。5 匹の平均値について、二元配置分散分析および student の検定を行い、危険率 5%で有意差ありと判断した。

結果

官能検査による香気成分が苦味感受性に及ぼす影響の評価

苦味として、味覚研究で苦味標準物質として広く使用されている塩酸キニーネを用いた。小規模人数による予備実験により、閾値以上でかつ拒否感を覚えない程度の苦味である 0.01 mM (0.004%) を苦味溶液の濃度として選定した。香気成分としては、好ましい香気としてフルーツ様の香気を示す酪酸ブチルに加え、不快臭として「古米臭」やオフフレーバーの代表であるヘキサナール (1-hexanal)、清酒の老香やムレ香の代表であり、漬物様の匂いのするイソバレルアルデヒド (イソ吉草酸アルデヒド、3-methylbutyraldehyde、3-methylbutanal と呼ぶ)、青臭さの原因である青葉アルデヒド (trans-2-hexenal) を用いた。

においなしの苦味溶液を基準として、それぞれの香気成分入りの苦味溶液の苦味を評価した結果を図 1 に示した。においなし (0 点) に対

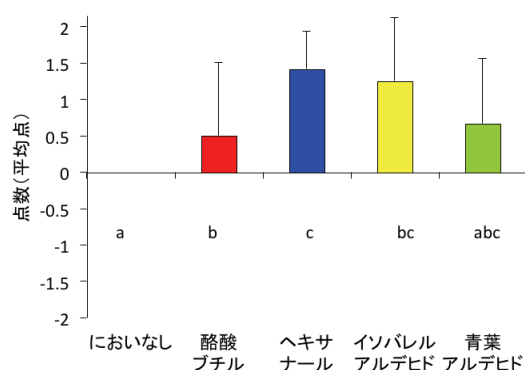


図 1. 香気成分が苦味の感受性に及ぼす影響
においなしの苦味溶液を基準として、それぞれの香気成分入りの苦味溶液の苦味を官能検査により 5 段階評価した評点について、その平均値 (及びその標準偏差) をグラフに表した。グラフ下の異なる文字は有意差 ($p < 0.05$) を表す。

し、酪酸ブチルを添加した溶液の評価平均点は 0.50 点であり、ヘキサナールは 1.42 点、イソバレルアルデヒドは 1.25 点、青葉アルデヒドは 0.67 点であり、どの香気成分もにおいなしに比べて苦味の点数が増加していた。Kruskal-Wallis の検定により、香気間における点数の平均値に有意差がみられ ($p < 0.001$)、また、Steel-Dwass の検定により、においなしに対して青葉アルデヒドを除く香気で点数の平均値に有意差がみられ ($p < 0.05$)、苦味が強く感じられたことが示された。さらに、酪酸ブチルに比べてヘキサナールは有意に点数が高く、苦味をより強く感じさせる可能性が示された。

したがって、ヒトにおいてこれらの香気成分は苦味の感受性を増加させる可能性が示された。

酪酸ブチルがラットの苦味感受性に及ぼす影響

ヒトでは苦味や香気に対する閾値や嗜好が個人によって異なるため、ラットを用いた飲水選択嗜好実験を行うことにより検討した。選択嗜好実験としては、4 つの瓶の溶液を自由に選択摂取させて飲水量を計測することにより選択嗜好率を測定する 4 瓶選択実験を用いて行った。

ラットもヒトと同様に塩酸キニーネを苦味として感じており、嫌悪閾値は 0.01 mM 前後とヒトの閾値と似ている。ただし、ラットにおける香気成分の嗜好に関する情報は少なく、ヒトと同じであるかは明確ではない。前述の実験で用いた 4 種の香気のうち、人にとって好ましい香気である酪酸ブチルと、ヒトにとって不快臭でありもっとも苦味の増強効果の強かったヘキサナールの 2 つについてラットが忌避あるいは嗜好性を示すかどうかを確認するために、蒸留水及びそれぞれの香気を 0~10 ppm となるように添加した蒸留水の 4 瓶を用いて、4 日間の選択実験を行った。その結果、酪酸ブチル、ヘキサナール、ともに、それぞれの溶液で飲水量に有意差は見られず、この濃度における香気水は明確な嗜好あるいは忌避を示さないことが示された (データは掲載せず)。

これらの香気成分がヒトと同様にラットにおいても苦味の感受性を変化させるかどうかを検討するため、酪酸ブチルが苦味の感受性に与

える影響について、飲水選択嗜好実験を行った。ラットを通常水群と香気水群にわけ、通常水群は苦味溶液（0、0.001、0.01、0.1 mM の塩酸キニーネ水溶液）、香気水群は酪酸ブチルを 10 ppm となるように添加した苦味溶液を用いた 4 瓶選択実験を行った場合の、8 日間の累積飲水量を図 2 に示した。8 日間の全濃度の合計飲水量は日ごとでばらつきはあったものの、通常水群 273.2mL、香気水群 314.0mL と群間に大きな差は見られず（ $p=0.2730$ ）、香気の添加による総飲水量への影響はなかったものと考えられる。濃度別の 8 日間累積飲水量は、両群とも苦味溶液の濃度が増加するにつれて飲水量が低下した。それぞれの溶液の選択嗜好率は図 3 に示した。0.001 mM 苦味溶液の選択嗜好率は香気水群に

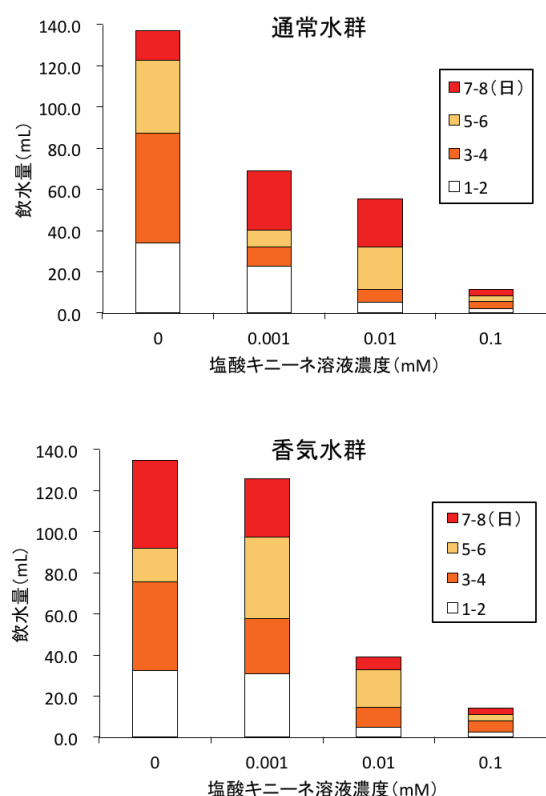


図 2. 通常水群と香気水（酪酸ブチル）群の累積飲水量

4 瓶選択法による選択嗜好実験で、8 日間の実験期間におけるそれぞれの濃度の苦味溶液（塩酸キニーネ）の累積摂取量をグラフに表した。上：通常水群（香気を含まない苦味溶液）、下：香気水群（10 ppm の酪酸ブチルを含む苦味溶液）。

において有意に通常水群よりも高い値を示した（ $p < 0.01$ ）。これらの結果より、酪酸ブチルの添加により苦味溶液を好む、あるいは苦味の感受性が低下する可能性が示された。0.01 mM 以上の苦味溶液において群間で飲水量、選択嗜好率に明らかな差がみられなかったのは、苦味溶液の濃度が高かったために苦味を忌避し、香気の影響が少なかったものと考えられる。

ヘキサナールがラットの苦味感受性に及ぼす影響

ヘキサナールはヒトにおいては不快な香りとされており、本研究におけるヒトでの嗜好実験でも苦味の感受性を変化させ、苦味を強く感じさせる可能性が示された（図 1）。そこで、10 ppm のヘキサナールを添加した苦味溶液を用い、酪酸ブチルと同様にしてラットを用いた飲水選択嗜好実験を行うことにより、ヘキサナールが苦味の感受性に与える影響について検討を行った。

その結果、図 4 と図 5 に示したように、濃度別の累積飲水量について通常水群と香気水群の間に差は見られず、選択嗜好率にも差がみられ

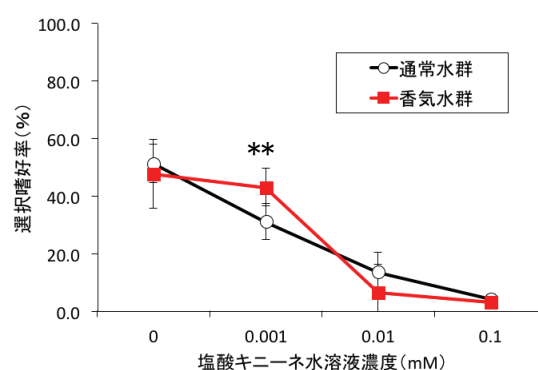


図 3. 通常水群と香気水（酪酸ブチル）群の苦味溶液の選択嗜好率

4 瓶選択法による選択嗜好実験で、8 日間の実験期間におけるそれぞれの濃度の苦味溶液（塩酸キニーネ）の選択嗜好率をグラフに表した。○：通常水群（香気を含まない苦味溶液）、■：香気水群（10 ppm の酪酸ブチルを含む苦味溶液）。**はその濃度における有意差（ $p < 0.01$ ）を表す。

なかった。一方、ヘキサナールの添加により苦味溶液を好むようになる傾向も認められなかった。これらのことから、ラットにおいてはヘキサナールの添加は苦味溶液の飲水量や嗜好に影響を与えない可能性が示され、ヘキサナールは苦味の感受性に影響を与えない可能性が示された。

ただし、酪酸ブチルの実験での通常水群は苦味溶液濃度が増加するほど飲水量が低下したが、本実験では両群とも蒸留水 (0 mM) と 0.001 mM の飲水量が同程度であり、0.001 mM の苦味溶液をはっきりと認識できていなかった可能性が考えられる。週齢の増加による味感受性低下に加え、4 瓶選択法を用いたことにより、0.01 mM 以上の苦味溶液の苦味が強いいため苦味に対する

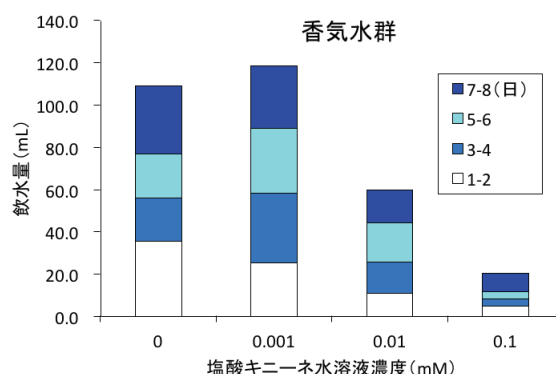
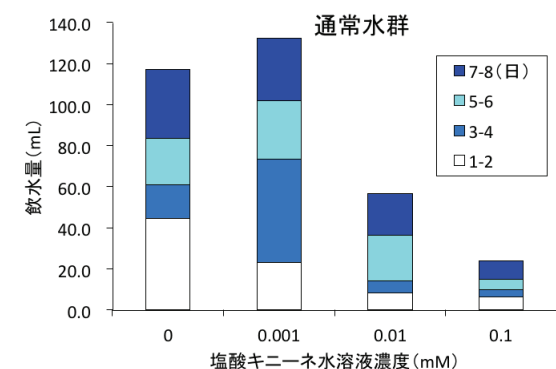


図 4. 通常水群と香気水（ヘキサナール）群の累積飲水量

4 瓶選択法による選択嗜好実験で、8 日間の実験期間におけるそれぞれの濃度の苦味溶液（塩酸キニーネ）の累積摂取量をグラフに表した。上：通常水群（香気を含まない苦味溶液）、下：香気水群（10 ppm のヘキサナールを含む苦味溶液）。

慣れが生じた可能性があり、ヘキサナールがラットの苦味感受性に影響を与えないかどうかについては 2 瓶選択法を用いた検討や行動学的応答、神経生理実験などによる詳細な検討が必要であるものと考えられる。

考察

本研究では、香気成分が苦味の感受性に与える影響を明らかにするために、ラットを用いた選択嗜好実験により検討した。ヒトと同様、ラットやマウスにおいても口腔内の味蕾に甘味、酸味、塩味、苦味、うま味に対する受容体が存在しており、それぞれの基本味を認識しているものと考えられている。苦味受容体である T2r ファミリーは 2000 年にヒトとマウスから同定されたが^{5, 6)}、様々な毒性物質に対応するために多数のサブタイプがあり、それぞれ異なる苦味物質に応答している。苦味の標準物質として用いられる塩酸キニーネに関してマウスやラットは強い忌避を示し、単一の T2r 受容体により苦味を感じているものと推察されている。

ラットにおいては、酪酸ブチルの添加により 0.001 mM 苦味溶液の選択嗜好率が上昇しており、酪酸ブチルの存在が苦味の感受性を低下さ

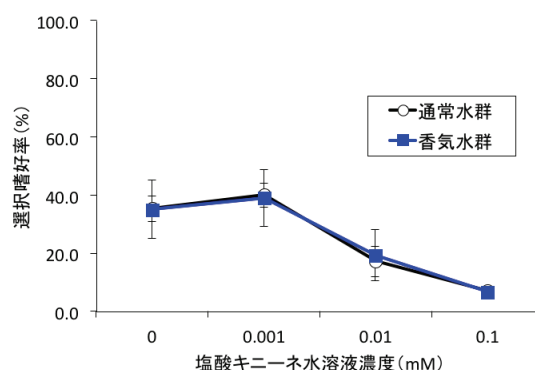


図 5. 通常水群と香気水（ヘキサナール）群の苦味溶液の選択嗜好率

4 瓶選択法による選択嗜好実験で、8 日間の実験期間におけるそれぞれの濃度の苦味溶液（塩酸キニーネ）の選択嗜好率をグラフに表した。○：通常水群（香気を含まない苦味溶液）、■：香気水群（10 ppm のヘキサナールを含む苦味溶液）。

せる可能性が示された。一方、ヘキサナールの添加では苦味の感受性に変化は認められなかった。一方、ヒトにおける官能検査では、酪酸ブチルとヘキサナールの両方で香気成分の添加により苦味が強く感じられることが示された。ヒトとラットでの結果に違いがみられたことから、ヒトとラットでは香気に対する嗜好あるいは忌避の程度が異なる可能性が考えられる。ラットの香気に対する嗜好性はあまり明らかにされておらず、また香気は低濃度ではいいにおいと感じられても高濃度では悪臭と感じられるものが多いことから、用いる香気成分の種類とその濃度については再検討が必要である。また、本研究では、ラットの選択嗜好実験でもヒトを用いた官能検査でも香気成分を溶液に添加したものを使用しており、口中香が鼻腔で受容されることによる苦味への影響について検討している。実際には発声のために食道と気管の一部を共有させているヒトと異なり、ラットを含む多くの動物では嚥下と呼吸を同時に行うことができるため、口中香を感じることが少ないと考えられることから、空中に気化した香り（鼻先香）が苦味へ与える影響についても検討を行う必要があるものと考えられる。

酪酸ブチルにおける 4 瓶選択実験では 0.001 mM の塩酸キニーネ溶液という限られた濃度でのみ嗜好率に差が認められたが、ヘキサナールでは有意差は認められなかった。ここで、この濃度は閾値に近い値であり、個体や週齢によっては認知しにくい濃度である可能性が考えられる。実際、10 週齢のラットを用いて 2 瓶選択法により蒸留水と 0.001 mM との嗜好性をみた場合では、二つの溶液間で嗜好率に有意差は認められなかった（データは掲載せず）。ラットやヒトにおいて、加齢に伴い苦味を含む味覚の閾値が高くなることや、味覚嗜好性が変化することが知られていることから、ヘキサナールにおいては週齢の違いが影響した可能性も考えられ、統一した条件での再実験が必要であるものと考えられる。

本研究では、飲水選択嗜好実験により、溶液の飲水量と嗜好率をみることで、香気成分による苦味の感受性への影響について検討を行った。苦味の感受性は舌上の味蕾での苦味物質の受容

によるが、実際には舌で「苦い」と感じるのではなく、味蕾で受容した情報が脳に伝わることで苦味物質を「苦い」と判断している。脳における嗅覚の処理部位は記憶と関係している海馬や、恐怖や嫌悪感などの感情と関係している扁桃体と近く、においを嗅いだときに過去の記憶が思い出される「ブルースト効果」が知られているように、匂いの感覚は記憶や経験とも強く関連している。飲水量や嗜好率のみの確認では、舌での味の受容や神経応答が変化したのか、脳による匂いの認識が変化したのかについて明確ではない。したがって、味覚神経応答の確認により苦味の味覚受容自体に影響するかどうかについても検討する必要があるものと考えられる。

結語

味覚と嗅覚は相互に影響し合って食べ物のおいしさを構成している。本研究の結果は香気成分が苦味の感受性に影響を及ぼす可能性を示しており、香気の変化により食品の苦味を軽減させることができるものと考えられる。苦味を感じる食べ物は一般的に嗜好性が低く、嫌いな人が多い。そのような食べ物には野菜類が多く、苦みを感じるものが野菜嫌いの一因となっている。香気が存在によって食べ物の苦味が軽減されれば、不快さ（まずさ）を低下させることにつながり、食の幅を広げて食生活をより豊かにすることができるものと考えられる。また、食べ物と同じように、薬剤においてもその苦さは嫌悪されることから、薬剤への香気成分の添加による苦味の軽減も期待される。

食べることは生きることの基本である。食べ物を食べた時においしさ（快い感覚）を感じ、食事がますます楽しいものになることが望まれる。

文献

- 1) 外池光雄. 脳における感覚の統合. *Viva Origino* 2007; 35: 110-115.
- 2) 森高初恵, 佐藤恵美子 (編著). 調理科学 (第2版). 東京: 建帛社, 2013; 7-25.
- 3) 駒井三千夫, 井上貴詞, 長田和実. 口腔・鼻腔の三叉神経を介した刺激性物質の受容機

- 構. におい・かおり環境学会誌 2006; 37: 408-416.
- 4) 曾根英行、押味真里菜、伊藤美咲、他. 雪室貯蔵によるコーヒー豆の香気成分の変化について(雪室を再現したモデル実験による検討). Trace Nutrients Research 2014; 31: 12-16.
- 5) Adler E, Hoon MA, Mueller KL. et al. A novel family of mammalian taste receptors. Cell 2000; 100: 693-702.
- 6) Chandrashekar J, Mueller KL, Hoon MA. et al. T2Rs function as bitter taste receptors. Cell 2000; 100: 703-711.

ABSTRACT

Effect of olfaction on the sensitivity of bitter taste

Shin Kamiyama^{†*}, Nami Suzaki[†], Mai Tayama[†], Hideyuki Sone^{**}

Department of Health and Nutrition, Faculty of Human Life Studies, University of Niigata Prefecture

Correspondence: * kammy@unii.ac.jp, ** sone@unii.ac.jp

[†] These authors contributed equally to this article.

It is known that not only taste but also olfaction (aroma) largely contributes the flavor of food, however, there is insufficient information about the interaction of olfaction and sensitivity of taste. In the present study, we investigated the effect of olfaction on the sensitivity of bitter taste by four-bottle preference test using rats. Ten male Sprague Dawley rats (6-weeks age) were divided into two groups: control and odor groups, and the drinking water of the odor group were added 10 ppm of butyl acetate (fruit-like odor). Rats were provided four bottles of drinking water containing different concentrations of quinine hydrochloride (0, 0.001, 0.01, 0.1 mM), and the preference rates were measured. The positions of the 4 bottles were randomized and switched every 48 h to avoid positional preference. During 8 days of experimental period, the volume of the 0.001 mM quinine hydrochloride consumed by the rats in the odor group was higher than that in the control group ($p<0.01$). In contrast, the addition of 10 ppm of 1-hexanal (off-flavor odor) had no effect on the preference rate of the 0.001 mM quinine hydrochloride by rats. Further, any addition of 10 ppm of butyl acetate, 1-hexanal, or isovaleraldehyde increased the sensitivity of bitter taste of 0.01mM quinine hydrochloride by human sensory evaluation. The results indicate that some odors such as butyl acetate may modify sensitivity of bitter taste in human and rat.

Key Words: taste, olfaction, odorant, bitter, interaction