

食品の呈味形成におけるペプチドの働き

—呈味性ペプチドとペプチドの味覚調節作用—

西村 敏 英*

(Nishimura Toshihide)

はじめに

味は、食品のおいしさを決定する重要な要素の1つである。食品の味は、甘味、酸味、塩味、苦味およびうま味の5つの基本味とまろやかさ、持続性、あつみ等で表現される。食品の呈味形成には、その素材となる動物および植物等の生物資源に含まれる糖質、タンパク質、脂肪、ミネラル、有機酸、核酸関連物質、アミノ酸やペプチドなどの非タンパク態窒素化合物が関与している。これらの成分の内、グリシンやグルタミン酸といったアミノ酸、糖、イノシン酸、乳酸やクエン酸等の有機酸などは、それら自身の味や食品の呈味形成における役割が詳細に検討されている。

食品の中には、その味がいくつかの呈味成分で再現できる比較的単純なものもあるが、一般的には多様で複雑なものが多い。これは、生物資源によって呈味成分の組成が異なっていること、あるいは生物の生育条件やと殺時あるいは収穫時の状態によって呈味成分の組成が変動するからである。特に、食品の中でも食肉やチーズといった熟成食品や味噌、醤油、納豆等の醸酵食品では、呈味成分の組成は熟成あるいは醸酵過程によって、と殺あるいは収穫直後とは異なったものとなり、より複雑で、美味なものとなる。最近、これらの食品では、これまで研究されている遊離アミノ酸、イノシン酸、有機酸だけでなく、ペプチドが呈味形成に重要な役割を果たしていると考えられるようになった。

そこで、本総説では、まず味覚について概説した後、食品におけるペプチドの生成機構について説明する。また、呈味性ペプチドに関する知見を紹介すると同時に、ペプチドの味覚調節作用と食品の呈味形成におけ

る働きを解説する。

1. 味覚とその受容機構

食品を口の中に入れたとき、味と香りを同時に感じるが、これらは全く別の感覚である。味は主に不揮発性物質によって舌や口蓋の表面で感じる感覚（味覚）であり、香りは鼻の中を揮発性の香り分子が通過するときに感じる感覚（嗅覚）である。風邪をひいて鼻が詰まっているときに何を食べているかわからないのは食品の香りを感じられないからである。しかし、この時、粉末の風邪薬を苦いと感じられるように、味は鼻が詰まっても感じられる感覚である。我々は味だけを感じたい場合には、鼻をつまめばよい¹⁾。

味は、主に舌表面の有郭乳頭、茸状乳頭、葉状乳頭や軟口蓋、咽頭部に存在する味蕾と呼ばれる部位で感じる(図1)²⁾。各味蕾には、多数の味細胞が存在している。この味細胞の表面には、呈味物質と結合する受容

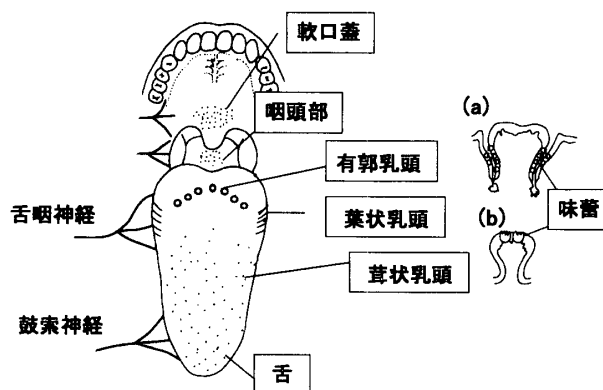


図1. 舌表面に分布する味覚器

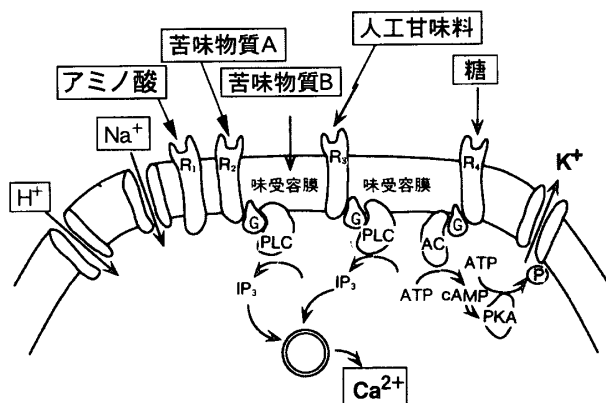
舌前方部の茸状乳頭、舌縁部の葉状乳頭、舌根部の有郭乳頭や咽頭部、口蓋には多くの味蕾が存在する。味蕾は、有郭乳頭では側溝部に、茸状乳頭では突起状の先端に分布する。(文献2から引用)

* 広島大学大学院生物圏科学研究科

体タンパク質あるいは呈味物質が通過するチャンネルタンパク質が存在し、呈味物質による刺激を受容している(図2)。基本味の内、塩味と酸味の受容にはイオンチャンネルが関与し、甘味、苦味及びうま味の受容にはそれぞれの味物質に対する受容体タンパク質が存在するとされている。味物質がイオンチャンネルを通過したり、味物質が受容体タンパク質に結合した時の刺激が神経を介して脳に伝達されて、食品の味を知覚している。

2. 食品におけるペプチドの生成機構

ペプチドは、複数個のアミノ酸がペプチド結合により連結した物質である。アミノ酸を用いて化学的あるいは酵素的に合成することはできるが、食品中に存在するほとんどのペプチドは、タンパク質分解酵素(プロ



R: 受容体タンパク質, G: GTP 結合タンパク質, PLC: ホスホリパーゼ C, AC: アデニル酸シクラーゼ, PKA: タンパク質キナーゼ, P: リン酸

図2. 各味物質に対する受容体

味細胞先端の表面には、味物質と結合する受容体タンパク質や味物質が通過する受容チャンネルが存在する。これら受容体での刺激は種々の伝達機構で脳へ伝えられる。(文献2から引用)

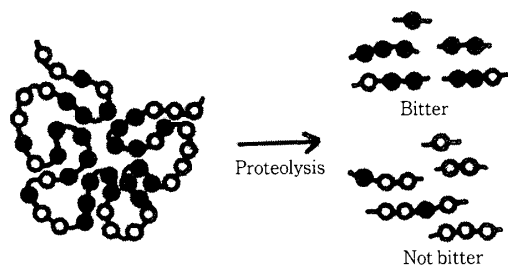


図3. タンパク質のプロテアーゼ処理による苦味ペプチドの生成機構

●は疎水性のアミノ酸を示す。○は親水性あるいは極性を有するアミノ酸を示す。(文献21から引用)

ロテアーゼ) によるタンパク質の断片化によって生ずる(図3)。

新鮮な食品の中には、ペプチドはほとんど存在していないが、食肉やチーズといった熟成食品や味噌、醤油、納豆等の醸酵食品では、貯蔵中あるいは製造時の分解および醸酵過程において多くのペプチドが生ずる。ペプチドはこれらの食品の複雑な味を作りだし、おいしさに貢献している。

1) 熟成食品

ナチュラルチーズの製造には、熟成過程がある。この過程で乳酸菌やかびのプロテアーゼ等によりカゼインが分解され、低分子の呈味成分が形成される³⁾。エメンタルチーズからは、数個~20個のアミノ酸から構成される91個のペプチドが見出されている。これらは、チーズ製造時の熟成中に α_{s1} -, α_{s2} -, β -, κ -カゼインがかび由来のプラスミン、ミルク由来のカテプシンD、あるいは乳酸菌由来のプロティナーゼ等の作用で分解されて生ずると推定されている⁴⁾。熟成中に生成される低分子成分の内、遊離アミノ酸とペプチドがチーズの重要な呈味成分である。遊離アミノ酸とジペプチドは甘味やうま味に寄与し、トリペプチドより大きなペプチドがチーズの苦味形成に関わっている。

食肉を熟成すると、筋肉タンパク質が内在性プロテアーゼであるカテプシンやカルパインにより分解されてペプチドが生成される。と殺直後の食肉は、酸味が強くまた、風味に乏しいことからおいしくないが、熟成に伴いおいしくなることが明らかにされている^{5,6)}。ペプチドはまろやかさの付与等をもたらし、熟成による呈味改善に大きく貢献すると推察されている⁷⁾。

2) 醸酵食品

代表的な醸酵食品やその素材としては、味噌、醤油および納豆がある。味噌の製造には、まず原料である大豆あるいは米麦成分が、添加した麹菌の加水分解酵素で低分子化される分解過程と、その低分子成分を基質として酵母や乳酸菌が醸酵生産物を生成する過程がある。前者の過程で、高分子成分であるタンパク質が低分子化し、うま味やこくが発現に寄与するペプチドや遊離アミノ酸が生成される。味噌を製造する場合には、この過程での最適なタンパク質分解率は25%とされている。分解率が高くなりすぎると味噌としての品質が低下することがわかっている⁸⁾。生成する遊離アミノ酸の中で、重要な呈味成分であるグルタミン酸の遊離割合は、原料中の全グルタミン酸量(グルタミン量も含む)の約20%程度であるのに対して、結合したグルタミン酸の割合は約45%である。また、構成

食品の呈味形成におけるペプチドの働き

アミノ酸が3-20 残基のペプチドが生成されており、これらのペプチドの主要な構成アミノ酸はグルタミン酸、アスパラギン酸およびプロリンであると報告されている。

醤油は、大豆や小麦を原料として味噌の場合と同様に、麹菌酵素による分解過程とそれを基質として起こる醗酵過程を通して製造される。独特の香りと遊離アミノ酸による強いうま味を有している。また、高タンパク質原料を使用すると、ペプチドや遊離アミノ酸含量がさらに多くなり、より複雑な味を有する醗造型うま味調味料が出来上がる。しかし、このような醗造型うま味調味液の製造には時間を要するため、原料にプロテアーゼを直接作用させ、ペプチド高含量の酵素分解型うま味調味液も製造されている。味噌や醤油等のうま味調味液の呈味形成におけるペプチドの役割は十分に解明されていない。

納豆も味噌と同様に、熟成・醗酵中に大豆タンパク質が納豆菌の酵素によって分解され、低分子化合物が増加する。この時に生ずる呈味成分が、納豆の呈味形成に重要な役割を果たしている。主要な呈味成分の内、遊離アミノ酸の生成は、全窒素中の約10%であり、多くの可溶性窒素成分はペプチドであることが明らかにされている⁹⁾。納豆には特徴的な苦味があるが、その苦味形成にはペプチドが寄与している。

3. 呈味性ペプチド

呈味性ペプチドについては、これまで多くの研究がなされており総説¹⁰⁻¹⁴⁾も多いので、ここでは簡単に解説すると同時に最近の知見を紹介する。

1) 甘味ペプチド¹²⁾

甘味ペプチドには、プロトン供与体(AH)とプロトン受容体(B)に相当する官能基が一定の距離に存在する。そのペプチドが、疎水性官能基からなる“dispersion” site (X)を有すると、さらに強い甘味を呈することも知られている。このような構造を有する化合物は舌上にある甘味受容体タンパク質と結合し、甘味が知覚される。

甘味ペプチドは低カロリーであることから、砂糖の代替物となりうる。生活習慣病の原因となる肥満を予防する、あるいは肥満者や糖尿病患者用の甘味料を開発する上で、甘味ペプチドの開発・実用化は重要な課題である。現在食品素材として使用されている甘味ペプチドとして、アスパルテームがある。アスパルテームは生理活性ペプチド、ガストリンの合成中に偶然発見されたジペプチドの誘導体で、 α -L-アスパルチル-

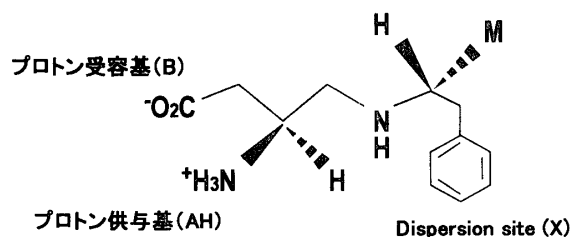


図4. アスパルテームの構造と甘味発現に寄与する官能基

アスパラギン酸の α -アミノ基はプロトン供与基に、 β -カルボキシル基はプロトン受容基に相当する。2番目のアミノ酸以下の部分は“dispersion site”に相当する。Mはメチルエステル基を示す。

L-フェニルアラニンメチルエステルである(図4)。アスパラギン酸の α -アミノ基はAHに、 β -カルボキシル基はBに、フェニルアラニンメチルエステルがXに相当する。アスパルテームは、砂糖の約200倍の強さを持っており、コーヒーや飲料の甘味料として使用されている。しかし、高温での長時間加熱や中性からアルカリ性のpHで不安定であること、またコストが高いことから用途が限られている。その後、アスパルテームに類似した誘導体について、より安定で、甘味の強いペプチドの開発研究がなされてきた。その中に、アスパルテームよりも優れたいくつかの甘味ペプチド誘導体が見いだされた¹⁵⁾が、これらはいずれも天然素材が使用されておらず、安全性に問題があり実用化には至っていない。今後、肥満者や糖尿病患者のために、アスパルテーム以上に安定でかつ甘味の強い安全なペプチドの開発・実用化が期待される。

ポリペプチドであるタンパク質の中で、タウマチン、モネリン、ペントジン、マビンリン、クルクリン、ブラゼイン、リゾチームが甘味を有することが知られている^{16,17)}。これらの多くは、熱に不安定で加熱により変性することが知られている。加熱変性したタンパク質は、甘味を失うことから、甘味発現にはタンパク質の三次構造が重要であると報告されている。

2) 苦味ペプチド^{13,14)}

苦味ペプチドは、タンパク質をタンパク質分解酵素(プロテアーゼ)で加水分解した時に生じることが多い。苦味ペプチドは、構成アミノ酸として疎水性アミノ酸を多く含む。このような性質に基づいて、ペプチドの構成アミノ酸から苦味ペプチドであるか否かを予測する方法がある(表1)¹⁸⁾。構成する各アミノ酸の側鎖の自由エネルギーから求められるQ値(平均疎水性値)が、1400以上だとそのペプチドは苦味を有する可能性があるとして推定される。この法則は、分子質量が

表 1. アミノ酸側鎖の Δg 値と平均
疎水性値 (Q 値) の算出式

アミノ酸	側鎖の Δg 値 (cal/mol)
Gly	0
Ser	40
Thr	440
Asp	540
Glu	550
Ala	730
Arg	730
Met	1,300
Lys	1,500
Val	1,690
Leu	2,420
Pro	2,600
Phe	2,650
Tyr	2,870
Ile	2,970
Trp	3,000

Q 値 = $\sum \Delta g / n$ (Δg : ペプチドを構成する各アミノ酸側鎖の自由エネルギー, n : ペプチドを構成するアミノ酸の個数) (文献 18 から引用)

6000 Da 以下のオリゴペプチドに適用されると報告されている。苦味ペプチドの構造的な特徴は、C 末端に疎水性アミノ酸が存在することである。カルボキシペプチダーゼによるペプチドの脱苦味処理は、苦味ペプチドの C 末端に存在する疎水性アミノ酸を遊離させることを目的としている。

チーズでは、トリペプチドより長いオリゴペプチドが苦味発現に寄与するとされている。種々のチーズから、苦味ペプチドとして PFPGPIP, PFPGPIPNS, QDKIHPFAQTQSLVYPFPGIPSLVYPFPGPIPNS が単離されている。これらは、カゼインのアミノ酸配列と一致していることから、チーズの熟成中に、カゼインの分解で生ずると推察される。最近、チェダーチーズを 270 日間熟成し、熟成に伴う苦味ペプチド YQQPVLGPVRGPFPIIV (β -カゼインの断片, β -CN f 193~209) の濃度変化と苦味の強さの変化を調べた結果、180~270 日間の熟成期間において、このペプチドの濃度は苦味強度と高い相関関係のあることが判明した。このペプチドは、チーズの熟成に伴う苦味発現に寄与していると推察された¹⁹⁾。

また、納豆の苦味に寄与するペプチドが調べられている。大豆に納豆菌を作用させたものから苦味ペプチドが単離され、その構造が解析されている²⁰⁾。それは、Ala(A) 1, Asp(D) 1, Glu(E) 1, Thr(T) 1, Pro(P)

2, Ile(I) 3, Val(V) 3, Leu(L) 5 の計 17 個のアミノ酸から構成されている。C 末端には、疎水性アミノ酸から構成される配列、-AVIL が存在している。

食品素材である大豆タンパク質をペプシンで分解したり、カゼインをトリプシンや微生物プロテアーゼで分解した時にも苦味ペプチドが生成されると報告されている。これらの水解物中から、苦味ペプチドが単離され、それらの構造が明らかとなっている^{13,21,22)}。

3) 塩味ペプチド

塩味ペプチドとして、オルニチルタウリン、オルニチル β -アラニン、リジルタウリンが報告されている²³⁾。これらは、単独では塩味を示さないが、塩酸塩になると塩味として最良の味質が得られることが示されている。これらのペプチドの塩味発現機構は明らかにされていない。

塩味ペプチドは、食塩代替物質として高血圧症を予防する上で有望であり、実用化に向けてさらに研究が進められている。これまでに、醤油の食塩の 50% をオルニチルタウリン塩酸塩で置き換えても元の醤油の味質とあまり差がないと報告されている²⁴⁾。このペプチドが安価に調製されるようになれば、食塩代替物質として非常に有望である。

4) 酸味およびうま味ペプチド

グルタミン酸やアスパラギン酸といった酸性アミノ酸から構成されるジあるいはトリペプチドは水溶液中で酸味を呈するが、これを中和するとうま味を呈する。

荒井らは、魚肉タンパク質をプロナーゼで分解した分解物から得られた分子質量 1000 Da 以下の酸性ペプチド画分にうま味を有するペプチドの存在を見出している²⁵⁾。うま味を有する主なペプチドは、ED, TE, ES, EE, EDE, DES, EGS, SEE, EQE である。これらの閾値は 0.3% で、それほど強いうま味を呈するわけではない。しかし、うま味ペプチドには、次章で述べるようにうま味増強作用や苦味抑制作用を有するものがある。

5) その他の呈味性ペプチド

パパイン処理した牛肉から“delicious”な味を呈するオクタペプチド, KGDEESLA が単離されている²⁶⁾。その後の研究で、この化合物の味はうま味と酸味からなる味で、その発現には N 末端の塩基性アミノ酸と中央部分の酸性アミノ酸が重要であることが明らかにされた。また、水溶液中では、酸味と渋味を示すと報告されている²⁷⁾ ことから、このペプチドは中和されるとうま味と酸味からなる“delicious”な味が生ずると考えられる。さらに、pH 6.5 の水溶液中では、食塩との

共存下でうま味が強くなることが示されている²⁸⁾。

牛肉だしは、既知の呈味化合物の配合では再現できない特有の味を有している。特に、こくはだしの呈味形成には重要なものである。牛肉のだしから、こくの形成に重要な成分が各種クロマトグラフィーで精製された。この成分は、牛肉の筋肉タンパク質であるトロポミオシンおよびゼラチン由来の高分子成分であることが明らかにされている²⁹⁾。また、煮干しから抽出された高分子ペプチド画分がこくを呈すると報告されている³⁰⁾。しかし、その構造とこくの発現との関係は、まだ解明されていない。

4. ペプチドの味覚調節作用

タンパク質やペプチドの中には、味の強さを変化させたり、全く別の味に変えてしまうようなものがある。ミラクリンやクルクリンは、酸っぱいものを甘くするタンパク質であり、ある基本味を全く別のものに変化させる作用を有している³¹⁾。一方、オリゴペプチドには、基本味溶液に添加した時、基本味の強さを変化させて、味質を変化させる作用を有することが明らかとなっている。このような作用を「味覚調節作用」と呼ぶことにする。ペプチドの味覚調節作用には、甘味抑制作用、苦味抑制作用、酸味抑制作用、うま味増強作用等の作用が知られている。

1) 甘味抑制作用

グルマリンとよばれるペプチドは、甘味抑制作用を有することが報告されている³¹⁾。グルマリンは、35個のアミノ酸からなるペプチドで、3組のS-S結合が含まれている。このペプチドは、ヒトの甘味は抑制しないが、ラットやマウスの甘味を抑制することが明らかにされている。グルマリンの甘味抑制機構はまだ不明である。

2) 苦味抑制作用

酸性アミノ酸から構成されるうま味ペプチドが、苦味抑制作用を有することが明らかにされている³²⁾。筆者ら³³⁾も、小麦グルテンタンパク質のアクチナーゼ水解物を脱アミド処理した酸性ペプチドの画分が、苦味抑制作用を有することを見出している。このペプチド画分は、苦味溶液の閾値を大きく上昇させることが示された。しかし、ペプチドによる苦味抑制作用の機構は、まだ明らかにされていない。苦味抑制作用を有するリポタンパク質が、苦味受容体の先端の疎水領域に結合し、苦味物質の結合部位をマスクすることによりその作用を発現すると推察されている³⁴⁾ (図5)。酸性ペプチドは、親水性化合物で苦味物質と直接に相互

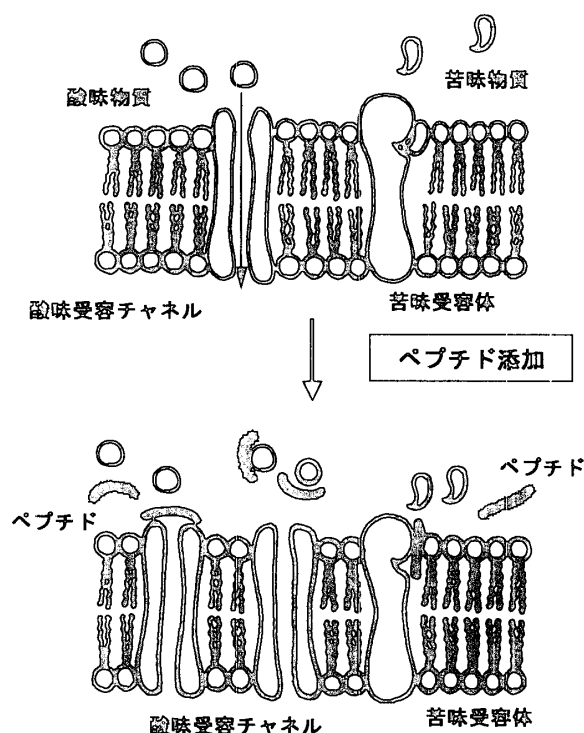


図5. ペプチドの苦味抑制作用並びに酸味抑制作用の機構 (模式図)

作用しないことが明らかにされているので、苦味受容体タンパク質の苦味物質結合部位の近傍に結合し、苦味を抑制しているものと考えられる。今後、ペプチドの苦味抑制作用は解明されるべき興味深い問題である。

3) 酸味抑制作用

近年、ペプチドが酸味抑制作用を有することが明らかとなってきた。牛肉を真空包装して、60℃で加熱するとペプチドが大量に増加する。この加熱牛肉から抽出したペプチド画分を、熟成していない牛肉の加熱スープに添加した結果、酸味を抑制することが明らかとなった(図6)^{35,36)}。真空調理した熟成豚肉にも、酸味抑制作用を有するペプチドが存在している。この熟成豚肉から酸味抑制作用を有するペプチドが単離されている³⁷⁾。この作用を有するペプチドとして、APPPPAEV-HEVHEEVH, APPPPAEVHEVVE, および APPPPAEVHEVVが見出された。これらのペプチドの共通配列 APPPPAEVHEV とその部分配列である APPPP を合成し、基本味溶液への影響を調べた。いずれもそれ自身は無味であったが、APPPPAEVHEV は酸味抑制効果を有し、APPPPP はその効果がないことが判明した。これらの酸味抑制ペプチドは、牛肉や豚肉を熟成したときに増加することが明らかにされている(図7)。熟成していない牛肉の味は、酸味が強くて

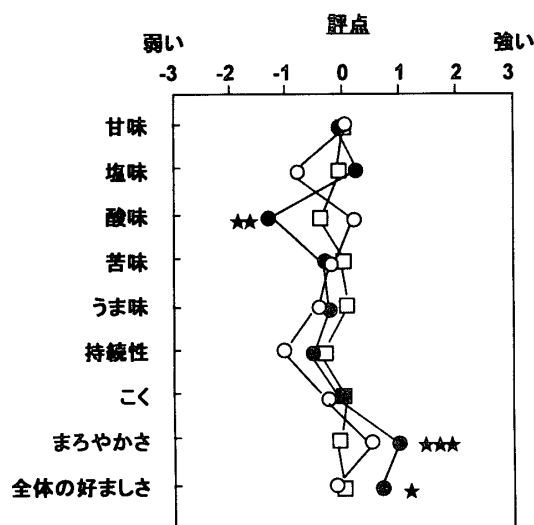


図 6. ペプチドの牛肉スープ基本味に及ぼす影響
未熟成の牛肉から調製した加熱スープに、熟成肉から分画したペプチド (○: 分子量 500~1,000, ●: 1,000~10,000, □: 10,000 以上) を添加し、添加による味の変化を官能検査で調べた。

★★★は、0.1% の危険率で有意差あり。★★は、1% の危険率で有意差あり。★は、5% の危険率で有意差あり。(文献 36 より引用)

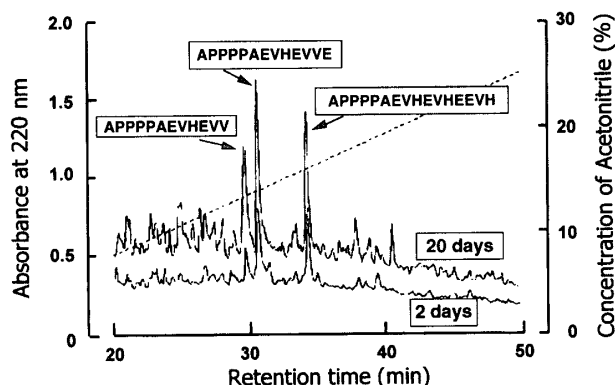


図 7. 熟成前および熟成後の豚肉に含まれるペプチドの HPLC パターン

と殺後 2 日目の豚肉と 20 日まで貯蔵したものを真空調理した後、ペプチドを調製した。分子量 500~1,000 のペプチド画分を ODS カラムによる HPLC で解析した。

おいしくないが、熟成肉では弱くなり、まろやかな味がしておいしくなることが知られている。酸味抑制ペプチドの増加は、熟成に伴うペプチドのまろやかさの付与をもたらす主因の 1 つであると考えられる。

小麦グルテンのプロテアーゼ水解物を脱アミド処理して得られた分子量 500~1000 のペプチド画分にも酸味を抑制する効果があることが見出されている³⁸⁾。このペプチド画分は、酸味溶液の閾値を大幅に上昇させ

ることが明らかとなっている。

ペプチドの酸味抑制効果のメカニズムを解明するため、豚舌の膜画分を用いて、乳酸の膜画分への結合に及ぼすペプチド画分の影響を調べた。ペプチド画分は、乳酸の舌膜画分への結合を抑制することが判明した³⁷⁾。また、味覚センサーを用いてペプチドの酸味抑制効果を調べた結果、ペプチド画分は酸味物質のセンサーへの結合を抑制していることも明らかとなった。これらの結果から、ペプチドの酸味抑制効果に関して、ペプチドが酸味物質と相互作用する、あるいはペプチドが酸味受容体であるチャンネルの先端に結合することにより酸味物質のチャンネル通過を抑制する機構が考えられる (図 5)。

4) うま味増強作用

うま味ペプチドの中で、EE は、イノシン酸と共存するとうま味の相乗効果を示すことが知られている²⁵⁾。さらに、最近、鶏肉タンパク質をプロテアーゼ、ブロメラインで処理した水解物からもうま味増強作用を有するペプチドが単離されている³⁹⁾。いずれも酸性ペプチドで、EE, EV, ADE, AED, DEE, SPE が 0.02 % イノシン酸溶液のうま味を増強すると報告されている。これらのペプチドは、グルタミン酸ナトリウムと同じような機構でうま味の相乗作用を示すと考えられる。

筆者ら^{33,38)} は、小麦グルテンをプロテアーゼ処理および脱アミド処理によりグルタミン酸含量の高いペプチドの調製を試みた。まず、ペプシン、ラビダーゼ、ビオプラナーゼ、パパイン、ブロメラインによる水解物はいずれも強い苦味を呈したが、アクチナーゼ処理して得られたものは、苦味が弱くかつ若干のうま味を有していた。この水解物を脱アミド処理した後、限外ろ過膜を用い分子量の大きさにペプチドを分画した結果、分子量 500~1,000 のペプチド画分が若干のうま味を呈した。このペプチド画分を閾値以下の濃度で基本味への影響を調べた結果、イノシン酸溶液のうま味を増強させることが明らかとなった。このペプチド画分は、イノシン酸溶液のうま味の閾値を低下させることも判明した。この効果を有するペプチドの構造は明らかとなっていないが、鶏肉タンパク質の水解物から得られるような酸性ペプチドであると推察される。最近、スイスのグループも脱アミド処理した小麦グルテンをプロテアーゼ (FlavozymeTM) 処理した水解物は、若干の苦味と強いうま味を呈すると報告している⁴⁰⁾。このようなペプチドによるうま味相乗作用の機構も解明されるべき重要な課題である。

食品の呈味形成におけるペプチドの働き

ペプチドは、美味な食品といわれている醗酵食品や熟成食品の味の形成に重要であると考えられるようになってきた。その中で、呈味性ペプチドが直接に食品の呈味形成に寄与する場合もあるが、遊離アミノ酸、イノシン酸、有機酸などで発現される味を変化させ、より美味で複雑なものにすることがわかってきた。また、このような効果を有するペプチドの構造も少しずつ明らかとなってきた。しかし、現在のところペプチドの呈味効果と構造との相関関係についてすべてが解明されたわけではない。また、その効果の発現機構が十分に明らかにされているとは言えない。今後、ペプチドの構造とそれぞれの呈味性ならびに味覚調節作用の機構との関係が明確にされれば、ペプチドを用いた食品の複雑味の制御が可能になるであろう。

謝辞：本誌への執筆機会を与えて下さった奈良女子大学の的場輝佳先生に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 西村敏英：おいしさの秘密，「海と大地の恵みのサイエンス」宮澤啓輔監修，共立出版，pp.66-69 (2001)
- 2) 栗原堅三：味覚のしくみ，季刊化学総説，**40**，3-17 (1999)
- 3) Kaminogawa, S., Yan, T.R., Azuma, N., and Yamauchi, K.: Identification of Low Molecular Weight Peptides in Gouda-type Cheese and Evidence for the Formation of These Peptides from 23 N-terminal Residues of β -S1-casein by Proteinases of *Streptococcus cremoris* H 61, *J. Food Sci.*, **51**, 1253-1257 (1986)
- 4) Gagnaire, V., Molle, M., Herrouin, M., and Leonil, J.: Peptides Identified during Emmental Cheese Ripening: Origin and Proteolytic Systems Involved, *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 4402-4413 (2001)
- 5) Nishimura, T.: Mechanism involved in the improvement of meat taste during postmortem aging, *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, **4**(4), 241-249 (1998)
- 6) 西村敏英：肉のおいしさ，日本味と匂学会誌，**8**，161-168 (2001)
- 7) 西村敏英・奥村朋之：食肉の熟成に伴う風味向上とその客観的指標の探索，食品工業，**43**(8)，23-30 (2000)
- 8) 海老根英雄：みそ，「食品の熟成」，光琳，1984，p. 255-275
- 9) 太田輝夫：納豆，「食品の熟成」，光琳，1984，p. 276-283
- 10) Nishimura, T. and Kato, H.: Taste of Free Amino Acids and Peptides, *Food Reviews International*, **4**, 175 (1988).
- 11) Kirimura, J., Shimizu, A., Kimizuka, A., Ninomiya, T. and Katsuya, N.: The Contribution of Peptides and Amino Acids to the Taste of Foodstuff, *J. Agric. Food Chem.*, **17**, 689 (1969).
- 12) 網野裕右：甘味ペプチド，季刊化学総説，**40**，20-26 (1999)
- 13) 荒井綜一：苦味物質，“味覚の科学”，朝倉書店，1981，p. 185-196
- 14) 山田恭正，中谷延二：苦味と化学構造，季刊化学総説，**40**，72-83 (1999)
- 15) Yuasa, Y., Nagakura, A. and Turuta, H.: Synthesis and Sweetness Characteristics of L-Aspartyl-D-Alanine Phenyl Esters, *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 5013-5018 (2001)
- 16) 有吉安男：甘味タンパク質，季刊化学総説，**40**，27-34 (1999)
- 17) Masuda, T., Ueno, Y., and Kitabatake, N.: Sweetness and Enzymatic Activity of Lysozyme, *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 4937-4941 (2001)
- 18) Ney, K. H.: Voraussage der bitterkeit von peptide aus deren aminos urezusammensetzung, *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, **147**, 64-71 (1971)
- 19) Soeryapranata, E., Powers, J. R., Fajarrini, F., Weller, K. M., Hill, H. H., Jr., Siems, W. F., III: Relationship between MALDI-TOF Analysis of b-CN f193-209 Concentration and Sensory Evaluation of Bitterness Intensity of Aged Cheddar Cheese, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 4900-4945 (2002)
- 20) 山崎吉郎：納豆中の苦味ペプチド，日本家政学会誌，**38**，93-97 (1987)
- 21) Matoba, T. and Hata, T.: Relationship between Bitterness of Pwptides and their Chemical Structures, *Agric. Biol. Chem.*, **36**, 1423-1431 (1972)
- 22) Kim, M. R., Choi, S. Y., Kim, C. S., Kim, C. W., Utsumi, S., and Lee, C.H.: Amino Acid Sequence Analysis of Bitter Peptides from a Soybean Proglycinin Subunit Synthesized in *Escherichia coli*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **63**, 2069-2074 (1999)
- 23) Tada, M., Shinoda, I. and Okai, H.: L-Ornithyltaurine, a New Salty Peptide, *J. Agric. Food Chem.*, **32**, 992-996 (1984)
- 24) Nakamura, K., Kuramitsu, R., Kataoka, S., Segawa, D., Tahara, K., Tamura, M. and Okai, H.: Convenient Synthesis of L-Ornithyltaurine · HCl and the Effect on Saltiness in a Food Material, *J. Agric. Food Chem.*, **44**, 2481-2485 (1996)
- 25) Noguchi, M., Arai, S., Yamashita, M., Kato, H., and Fujimaki, M.: Isolation and Identification of Acidic Oligopeptides Occurring in a Flavor Potentiating Fraction from a Fish Protein Hydrolysate, *J. Agric. Food Chem.*, **23**, 49 (1975)
- 26) Y. Yamasaki and K. Maekawa: A Peptide with Delicious Taste, *Agric. Biol. Chem.*, **42**, 1761-1765 (1978)

- 27) Hau, J., Cazes, D., and Fay, L. B.: Comprehensive Study of the "Beefy Meaty Peptide", *J. Agric. Food Chem.*, **45**, 1351-1355 (1997)
- 28) Wang, K., Maga, J. A., and Bechtel, P. J.: Taste Properties and Synergisms of Beefy Meaty Peptide, *J. Food Sci.*, **61**, 837-839 (1996)
- 29) 黒田素央, 島 圭吾, 山田典彦, 原田 努: ビーフエキス中の高分子コク味付与成分に関する研究, 日本農芸化学会 1996 年度大会要旨集, pp. 4 (1996)
- 30) 山崎吉郎: 鰹節および煮干しだし汁中の呈味成分の比較, 日本家政学会誌, **45**, 41-45 (1994)
- 31) 栗原良枝: 味を変える物質, 季刊化学総説, **40**, 61-69 (1999)
- 32) Noguchi, M., Yamashita, M., Arai, S., and Fujimaki, M.: On the Bitter-masking Activity of a Glutamic Acid-rich Oligopeptide Fraction, *J. Food Sci.*, **40**, 367-369 (1975)
- 33) 石井克枝, 西村敏英, 小野太恵子, 畑江敬子, 島田淳子: 小麦グルテン酵素水解物中のペプチドの呈味性, 日本家政学会誌, **45**, 615-620 (1994)
- 34) 桂木能久: 苦味マスキング剤, 季刊化学総説, **40**, 84-89 (1999)
- 35) K. Ishii, M. Tsuchida, T. Nishimura, A. Okitani, A. Nakagawa, K. Hatae, & A. Shimada: Changes in the Taste and Taste Components of Beef during Heating at a Low Temperature for a Long Time, *J. Home Econ. Jpn.*, **46**, 229 (1995)
- 36) 石井克枝, 西村敏英, 沖谷明紘, 田村由紀子, 畑江敬子, 島田淳子: 加熱牛肉の呈味形成におけるペプチドの役割, 日本家政学会誌, **46**, 307-312 (1995)
- 37) 奥村朋之, 井手 弘, 西村敏英: 熟成豚肉中に含まれるペプチド画分の呈味向上作用, 第 96 回日本畜産学会大会講演要旨集 (鹿児島), p. 134 (1999)
- 38) 石井克枝, 西村敏英, 畑江敬子, 島田淳子: 小麦グルテンの酵素水解ペプチドの基本味に及ぼす影響, 日本家政学会誌, **45**, 797-801 (1994)
- 39) Maehashi, K., Matsuzaki, M., Yamamoto, Y. and Udaka, S.: Isolation of peptides from an enzymatic hydrolasate of food proteins and characterization of their taste properties, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **63**, 555-559 (1999)
- 40) Schlichtherle-Cerny, H. and Amado, R.: Analysis of Taste-Active Compounds in an Enzymatic Hydrolysate of Deamidated Wheat Gluten, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 1515-1522 (2001)

【ペプチドを構成するアミノ酸の一文字および三文字表記】

A: Ala (アラニン), D: Asp (アスパラギン酸), E: Glu (グルタミン酸), F: Phe (フェニルアラニン), G: Gly (グリシン), H: His (ヒスチジン), I: Ile (イソロイシン), K: Lys (リジン), L: Leu (ロイシン), N: Asn (アスパラギン), P: Pro (プロリン), Q: Gln (グルタミン), R: Arg (アルギニン), S: Ser (セリン), T: Thr (トレオニン), V: Val (バリン), Y: Tyr (チロシン)