

## 総 説

# 香辛料辛味成分の機能に関する栄養生化学的研究†

河 田 照 雄

京都大学農学部食品工学科

## Nutritional and Biochemical Functionalities of Pungent Principle of Spices

Teruo KAWADA

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606

### 1. はじめに

ヒトをヒトたらしめる食行動はいかなるものであろうか。それは第一に「美味しく」食べる工夫をこらすことにはかならないのではないだろうか。その英知の一つが香辛料であろう。ヒトが香辛料を使用した歴史は古く、原始狩猟時代にさかのぼるといわれている。その当時は食品に風味を賦与して味覚を高めるといふより、むしろ肉類や魚介類の品質劣化の遅延や腐敗防止の目的で香辛料が用いられていた。現在では、世界中で 350 種類以上、日本でも 100 種類を越える香辛料が用いられている。

香辛料は、また味覚、嗅覚、視覚、痛覚、温覚などさまざまな感覚神経の刺激を介して、食味を向上させる<sup>1)</sup>。とりわけ香辛料の辛味成分は、単調な食品の風味に変化を与えて食欲増進をもたらすもので、現代の加工食品ならびに調理にはなくてはならない重要な調味料となってきた。そのうちの代表的な香辛料の辛味成分の名称と化学構造を表 1 に示した。これらの辛味の特性は、一律ではなく、ホットな感じからシャープな感じまで微妙に異なっている。そして、それらに関する研究も数多く報告されているが、香辛料に関するこれまでの科学的知見は、歴史的・食文化的知見を除くと、香味や辛味の本体の天然有機化学的知見および生薬学的知見が主であって、摂取された香辛料の吸収・代謝やそれらの摂取による栄養生化学的影響などについては、ほとんど知られていなかった。

しかしながら、香辛料、とりわけその辛味成分は、現在多数の各種加工食品に必須のものとして用いられてお

り、われわれは意識するか否かにかかわらず、香辛料辛味成分を日常的に食品の一成成分として摂取している。したがって、香辛料辛味成分に関する栄養生化学的視点からの基礎研究が必要であると筆者らは考えた。そこで、まず、辛味香辛料の代表的なものとして、おもにトウガラシをとり上げ、辛味成分摂取時の吸収と体内動態、さらには、それらの摂取による栄養生化学的影響について系統的に研究を進めてきた。その研究の過程でトウガラシ辛味成分のもつ新しい「食品機能特性」としてエネルギー代謝亢進作用を見だし、さらにその詳細な発現機構を解明することができた。以下にこれらの研究の成績について述べるとともにそれらに深く関連する新しい栄養学上の話題についても紹介したい。

### 2. トウガラシ辛味成分の化学特性と機能特性

トウガラシの果実から単離・構造決定された辛味成分は、現在までに 14 種類にも達しており、カプサイシンノイドと総称されている<sup>2)</sup>。これらの辛味成分のうち、5 種類のは、従来から知られていたものであり、慣用名もつけられている。そのうちカプサイシンとジヒドロカプサイシンが通常のトウガラシ果実では、辛味成分の 80 から 90% 以上を占める。一方、残りの 9 種類の辛味成分は、超微量分析法が進歩した結果、最近になって発見されたものであり、その存在量はきわめて微量である。しかし、ノナン酸パニルアミドのように、その化学合成品が医薬品として多量に使用されているものもある。辛味の度合も各同族体間で一律ではなく、辛味成分の構成脂肪酸残基が分岐鎖の場合には、炭素数 10 個をピークとし、また直鎖の場合には、炭素数 9 個をピークとする辛味度と化学構造との相関関係が明らかにされている<sup>3)</sup>。また、トウガラシの辛味そのものは、一般的には

† 本総説は平成 3 年度日本栄養・食糧学会奨励賞の受賞対象となったものである。

〒606 京都市左京区北白川追分町

表 1. おもな香辛料の辛味成分の名称と化学構造<sup>2)</sup>

化合物の種類	化合物名	構造式	植物名
アミド類	カプサイシン	 $\text{H}_3\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{HO})-\text{CH}_2-\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH} \begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$ (トランス)	トウガラシ
	ピペリン	 $\text{H}_3\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-\text{N} \begin{matrix} \text{C}_5\text{H}_{10} \end{matrix}$ (トランス, トランス)	コショウ
	$\alpha$ -サンショオール	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}-$ $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCONHCH}_2-\text{CH} \begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$ (トランス, トランス, シス, トランス)	サンショウ
バニリルケトン類	ジゲロン	 $\text{H}_3\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{HO})-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_3$	ショウガ
	[6]-ショーガオール	 $\text{H}_3\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{HO})-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ (トランス)	ショウガ
	[6]-ジゲロール	 $\text{H}_3\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_3(\text{HO})-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_2\text{CH} \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{CH}_3 \end{matrix} (\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	ショウガ
イソチオシアネート類	アリールカラシ油	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{NCS}$	クロカラシ, サンショウ, ダイコン
サルファイド類	ジアリルジサルファイド	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{SSCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	ネギ, ニンニク
	ジアリルサルファイド	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{SCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	タマネギ
	ジプロピルジサルファイド	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SSCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	タマネギ

カロテノイドに由来する赤色と誤解されている場合もあるようであるが、実際は白色の粉末で、針状または盤状結晶を形成しうるものである。トウガラシの辛味成分は、たとえばラー油の例からもわかるように、油になじみやすく脂溶性が強く、常温の水にはほとんど溶解しない。

トウガラシ辛味成分の示す種々の機能性の例は経験的に古くから知られてきた。そのなかでも食品成分の一つとして辛味成分を摂取した場合に、生体内で発現されることが明らかにされているもの、および生体内で発現されるであろうと強く推定されるものについて表2にまとめてみた。これらの機能の発現にはサブスタンスPをはじめとする神経伝達物質が深く関与しており、近年、神経科学、生理学、栄養学などの多くの分野で研究が進展してきている<sup>20)</sup>。

### 3. 香辛料辛味成分、とくにトウガラシ辛味成分の吸収と生体内代謝

香辛料辛味成分には表1にその一例を示したように、多くの種類が見いだされてきているが、それらを経口的に摂取した場合に、どの程度が吸収されるのかについては、従来ほとんど知られていなかった。また代表的な辛味成分の一つであるトウガラシの辛味成分、カプサイシンおよびその同族体については、Kimら<sup>10)</sup>によれば、きわめてわずかしら吸収されないと報告されていた。しかし、カプサイシン類は脂溶性が強いことや摂取後の迅速な発汗作用の発現などから再検討が必要と考え、筆者らはまず、カプサイシンとジヒドロカプサイシンについて、それらの生体内での吸収・動態について検討するとともに、他の香辛料辛味成分の吸収についても検討を行った。

表 2. トウガラシ辛味成分の生体における機能

発 現 作 用	発現に関与するおもな物質	文献
1. 食欲増進	?	
2. 辛味性	サブスタンス P**	4)
3. 食塩摂取量低下	?	5)
4. 血管拡張・収縮	Ca <sup>2+</sup>	6)
5. 唾液分泌亢進	サブスタンス P	7)
6. 胃酸分泌亢進	?	8)
7. 腸管蠕動運動亢進	サブスタンス P	9)
8. 循環器系コレステロール値低下	?	10)
9. エネルギー代謝亢進	カテコールアミン	11), 12)
10. 生理活性ペプチドの放出亢進***	?	13)

\* これらトウガラシ辛味成分の生体に与える影響は、その用量、投与方法、実験動物によって異なる場合がある。

\*\* 神経伝達物質の一種。\*\*\* サブスタンス P, ソマトスタチン, ニューロテンシン, エンケファリン, コレシトキニン, カルシトニン遺伝子関連ペプチドなど。

まず、トウガラシ辛味成分の吸収についてラットを用いて検討した<sup>15)</sup>。Wistar 系雄ラットに流動食に懸濁したカプサイシンをチューブで胃内に経口投与し、一定時間後ごとの消化管内の残存量から、カプサイシンの吸収量を求めた。その結果、従来ほとんど吸収されないと考えられていたのに反して、辛味成分は胃および小腸でよく吸収され、投与後3時間で投与量の約80%が吸収されることがわかった。この際、管腔内に代謝物はまったく認められなかった。また、*in situ* の吸収実験系においても投与約1時間後の胃、空腸および回腸で、それぞれ投与量の約50, 80, 70%が吸収されることが認められた。さらに、[<sup>3</sup>H]-ジヒドロカプサイシンを用いて検討した結果、辛味成分は非能動的に吸収されて、腸管から腸管静脈（門脈）血中へと移行し、さらに血清中のアルブミンと結合して全身へ運ばれることが明らかとなった。また、腸管における吸収の際、一部は腸管内で初回通過代謝を受け、酸アミド結合が加水分解されることも認められた。

つぎに、トウガラシ辛味成分以外の辛味成分のうち、代表的なコショウの辛味成分ピペリンと、ショウガの辛味成分ジנגロンについても、それらの腸管吸収についてラットの *in situ* 実験系によって調べた。その結果、ピペリンとジングロンは、それぞれ投与量の 86.7±5.0 (SE) %, 96±2.5% が投与1時間で吸収され、カプサイシンと同様、腸管でよく吸収されることが明らかとなった<sup>16)</sup>。さらに、カプサイシンの血中動態を HPLC-電気化学検出器を用いる超微量定量法を開発して検討した。その結果、カプサイシンのラット血中での生物学的半減期は、腹腔内投与で 7.1±1.6 (SE) 分、また静脈内投与では 4.1±0.2 分とかなり速く、カプサイシンは

吸収後速やかに血中から消失することが定量的にはじめて明らかとなった<sup>17)</sup>。

つづいてカプサイシンの生体内代謝経路を調べるためにラットにカプサイシンを経口投与し、その尿中代謝物を TLC および HPLC で分離・精製したのち、GC-MS によって同定した。その結果、尿中にはバニルアミン、バニリン、バニリン酸およびバニルアルコールがそれぞれ遊離型とグルクロン酸抱合体として、また微量のカプサイシンがグルクロン酸抱合体として存在していた。また投与量の約10%のカプサイシンは吸収されずに糞中に排泄されていた。また、ラットにおいては、肝臓、腎臓、肺、小腸、胃、脳など多くの臓器に、カプサイシンの酸アミド結合を加水分解して辛味のないバニルアミンと脂肪酸とを生成する反応を触媒する酵素が存在することも明らかとなった。これらの結果から、筆者らは、酸アミド結合の加水分解反応が、カプサイシンおよびその同族体の生体内代謝の律速段階であり、またその代謝経路は、図1のようであろうと推察した<sup>18)</sup>。なおこのカプサイシン水解酵素のラット肝臓での活性は、日常的なレベルのカプサイシンの連続的な経口摂取によって1週間で顕著に誘導されることが最近明らかとなった<sup>19)</sup>。

#### 4. トウガラシ辛味成分の摂取が脂質代謝に及ぼす影響

トウガラシの辛味成分を摂取すると、体が温かくなったり、発汗することはしばしば体験することである。このような生理現象から、トウガラシの辛味成分は体熱産生に強く関与していることが推察された。そこで筆者らは、辛味成分の摂取によってもし体熱産生が惹起される

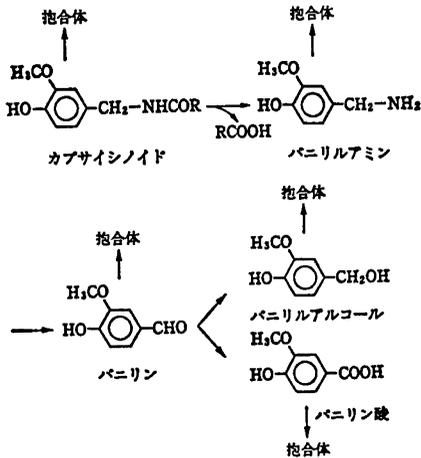


図 1. トウガラシ辛味成分 (カプサイチノイド) のラット体内における推定代謝経路 RCOOH, C<sub>9</sub>~C<sub>11</sub> の分枝鎖脂肪酸。

のであれば、結果として体脂肪の蓄積低下など生物個体全体としてのエネルギー代謝に影響するのではないかと考えて、まず脂質代謝への影響を検討した。

東南アジア地域での平均的な日常摂取レベルのトウガラシ辛味成分 (0.014%) を添加したラードを主成分とする高脂肪食 (脂肪エネルギー比 60%) を、雄ラットに 10 日間、対照群とペアーフィーディングで与え、脂質代謝への影響を詳細に比較検討した<sup>20)</sup>。その結果、対照の高脂肪食群に比べて辛味成分を添加した高脂肪食群では、体重の増加はほぼ同一であったが、腎周囲脂肪組織重量および血清トリグリセリド値に有意な低下が認められた。また、このような影響は、辛味成分の高脂肪食への添加量と負の相関関係にあることが明らかとなった。したがってこのような脂質代謝の促進は、トウガラシ辛味成分の有するエネルギー代謝亢進作用の結果であることが推察されたので、つぎにエネルギー代謝の研究手法を用いて、辛味成分の脂質代謝亢進作用の機構を検討した。

##### 5. トウガラシ辛味成分摂取によるエネルギー代謝亢進の作用機構の解析

上述したトウガラシ辛味成分摂取による脂質代謝亢進の作用機構を解析するために、辛味成分摂取によるエネルギー代謝像 (酸素消費量および呼吸商) の変化を検討した<sup>10)</sup>。その結果、図 2 に示した成績を得た。これらのエネルギー代謝像の変化を、阪大医学部の田中武彦教授らが各種のホルモンを用いて明らかにしておられたエネルギー代謝像の変化とシミュレーションした結果、アド

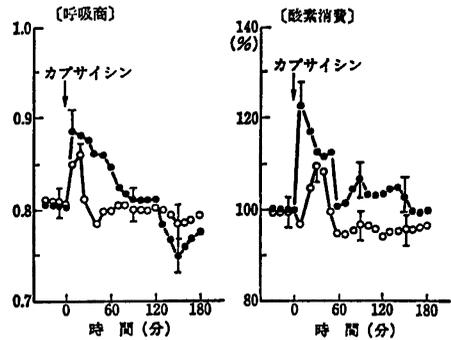


図 2. 呼吸商および酸素消費量に及ぼすトウガラシ辛味成分 (カプサイチン) の影響

カプサイチンは、ラット腹腔内に 3.0 mg/kg (○) または 6.0 mg/kg (●) を投与した。

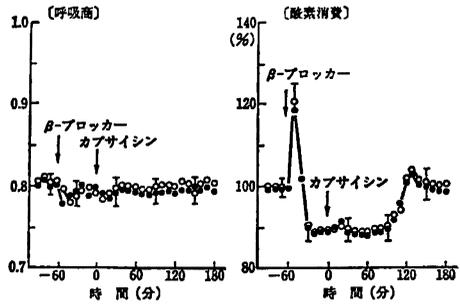


図 3. 呼吸商と酸素消費量に及ぼす  $\beta$ -アドレナリン受容体遮断剤とカプサイチンの影響

-60 分で  $\beta$ -ブロッカー (プロプラノロール, 3.0 mg/kg) のみをラット腹腔内に投与 (○), また -60 分で  $\beta$ -ブロッカー, さらに 0 分でカプサイチン (6.0 mg/kg) を腹腔内に投与 (●) した。

レナリン (エピネフリン) 投与の場合ときわめて類似していることが認められた。そこで、あらかじめラットに  $\beta$ -アドレナリン受容体遮断剤を腹腔内に注入したのち、辛味成分を投与したところ、図 3 に示したように、辛味成分投与時に観察されたエネルギー代謝像の変化はまったくみられなくなった。一方、 $\alpha$ -アドレナリン受容体遮断剤などの他の遮断剤の前処理は、辛味成分の投与によるエネルギー代謝像の変化に影響を与えなかった。また、トウガラシ辛味成分による血清グルコースおよび遊離脂肪酸の増加も、 $\beta$ -アドレナリン受容体遮断剤によって特異的に抑制された。

ついで、生体内でのアドレナリンの分泌臓器である副腎髓質を摘出したラットを作成し、このラットにトウガラシ辛味成分を投与した。その結果、擬手術を施したラットでは明らかに認められたエネルギー代謝の亢進は、

血清グルコースレベルの変動を指標とした場合、まったく認められなくなった<sup>21)</sup>。これらの実験結果から、トウガラシ辛味成分の投与によって、ラットのエネルギー代謝は亢進すること、およびその作用の発現には副腎から分泌されるアドレナリンが関与していることが明らかと

なった。また、血中に放出されたアドレナリンは標的臓器（肝臓および脂肪組織）上の  $\beta$ -アドレナリンレセプターに作用することが推察された。

このようなトウガラシ辛味成分のエネルギー代謝、すなわち体熱産生の亢進作用は、ラットを用いることにより詳細に明らかとなったが、近年ヒトにおける香辛料辛味成分摂取によるエネルギー代謝の亢進が、英国の Henry と Emery により報告された<sup>12)</sup>。彼らは、香辛料を日常的に用いている男女、12名を被験者として、これらを2群に分け、それぞれに香辛料辛味成分を含む食事と含まない食事を摂取させ、その前後の安静時代謝量 (RMR) を測定した。その結果、辛味成分添加群では無添加群に比べて摂取直後から速やかに代謝量は増大し、3時間後もなおその効果が認められた。食後3時間での代謝率は、辛味成分無添加群では  $128 \pm 7$  (SE) % であったのに対して、添加群では  $153 \pm 8$  % となって辛味成分添加によって約 25% エネルギー代謝量が上昇した。また、エネルギー代謝の増大持続時間が長いことから、辛味成分による影響は、辛味成分の生体への吸収過程および体内動態と深く関連していることが推察された。

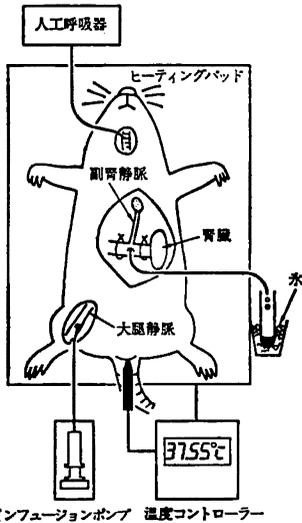


図 4. ラット *in situ* 実験系の模式図

ラットは可能なかぎり生理的条件下に保つために、ウレタンとクロロアロースの混合液で麻酔し、さらに直腸温をモニターしヒーティングパッドを用いて体温を一定に保持しながら、人工呼吸した。その後、副腎静脈にポリエチレン製のカニューレを挿入し、連続的に採血した。

6. トウガラシ辛味成分が副腎からのアドレナリン分泌に及ぼす影響

前節までの実験によって、トウガラシ辛味成分は、ラット副腎からのアドレナリンの分泌を惹起していることが間接的に立証された。そこでさらにより直接的な立証をすべく、ラット副腎静脈血中のアドレナリンの分泌をモニターする実験を行った<sup>22)23)</sup>。その実験系の概略を図4に示した。可能なかぎり生理的条件下に保つために、ウ

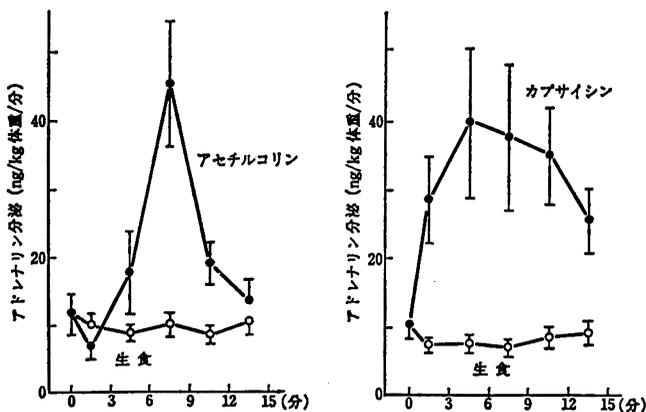


図 5. ラット副腎髄質からのアドレナリン分泌に及ぼすアセチルコリンおよびカプサイシン投与の影響

アセチルコリンクロライド (12.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) またはカプサイシン (200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) をラット大腸静脈から1分間で投与した。

レタンおよびクロロアースで麻酔したラット（直腸温はヒーティングパッドを用いて一定に保持）を人工呼吸しながら、その副腎静脈にポリエチレン製のカニューレを挿入し、連続的に採血した。また、血中のアドレナリンを主とするカテコールアミンは、HPLC-電気化学検出器を用いることにより、精度よく簡便に分別定量可能となった。実験系の有用性をアセチルコリンで確認したのち、トウガラシ辛味成分の静脈投与の影響を検討したところ、すばやい立上りと持続性のあるカテコールアミン（おもにアドレナリン）の分泌亢進が認められた（図 5）。また、この応答には、用量依存性が認められた（図 6）。副腎からのカテコールアミンの分泌は、通常、副腎交感神経の末端から放出されるアセチルコリンにより調節されている。そこで、麻酔下ラットの *in situ* 実験系により、辛味成分の静脈投与による、副腎からのカテコールアミン分泌亢進に対するアセチルコリン受容体拮抗剤の影響を検討したところ、拮抗剤によって抑制されたことから、トウガラシ辛味成分の作用は副腎交感神経経由であることが推察された。そこでさらにこのことを、より

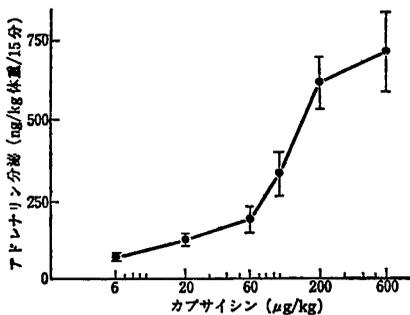


図 6. カプサイシン投与によるラット副腎髄質からのアドレナリン分泌の用量依存性

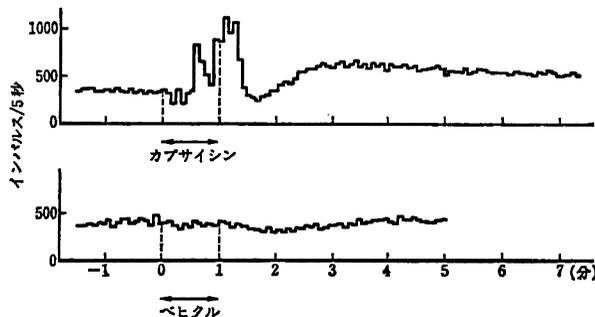


図 7. ラット副腎交感神経遠心性放電活動に及ぼすカプサイシンの影響  
カプサイシン (200 μg/kg) あるいはベヒタル (2% エタノールと 10% Tween 80 を含む生理食塩水) をラット大腿静脈から 1 分間で投与した。

直接的な副腎交感神経活動の測定によって検討した。その結果、辛味成分 (200 μg/kg) の静脈投与によって、投与後 30 秒後に立ち上がり、投与前のレベルの最大 4 倍にまで達する顕著な副腎交感神経遠心性放電活動の亢進が認められた（図 7）。また、この応答にも副腎からのカテコールアミンの分泌亢進作用と同様に用量依存性が観察された。これらの結果から、トウガラシ辛味成分は直接副腎に作用するのではなく、まずサブスタンス P を神経伝達物質とした副腎交感神経を賦活化し、これによって副腎からのカテコールアミン分泌が亢進され、その結果エネルギー代謝、体熱産生が亢進されるという機構が推察された。

#### 7. トウガラシ以外の香辛料の辛味成分による副腎からのアドレナリン分泌亢進

表 1 に示したように、香辛料には種々の辛味成分が存在し、辛味の特性も微妙に異なる。そこでトウガラシ以外の香辛料に含まれる辛味成分でもトウガラシの辛味成分と類似の現象が認められるか否かを、ラット *in situ* 実験系を用いて検討を加え、さらにその発現機構についても考察した。香辛料辛味成分としては、トウガラシのカプサイシンのほかにコショウのピペリン、ショウガのジゲロン、マスタードなどのアリルイソチオシアネート、およびニンニクなどのジアリルジサルファイドを用いた。その結果、ラット副腎髄質からのカテコールアミン、とくにアドレナリンの分泌がカプサイシン以外の辛味成分、ピペリンおよびジゲロンの投与でも顕著に認められた（図 8）。一方、辛味成分のなかでもイオウ原子を含み揮発性の高い辛味成分であるアリルイソチオシアネートとジアリルジサルファイドは、カテコールアミンの分泌をほとんど促さなかった（図 8）。また、コショウやショウガの辛味成分投与によるラット副腎からのアドレナリン分泌応答は、アセチルコリン受容体拮抗剤の

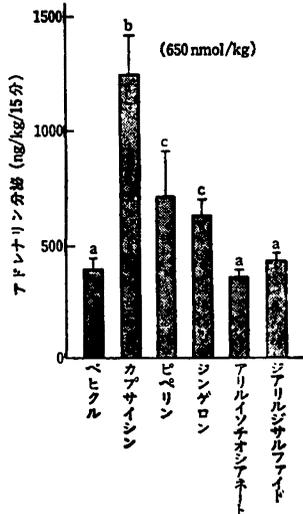


図 8. 各種香辛料辛味成分投与によるラット副腎髄質からのアドレナリン分泌に及ぼす影響

各辛味成分は 650 nmol/kg をラット大腿静脈から1分間で投与し、副腎静脈血を15分間採血した。ベヒクルは図7のものと同組成。

前投与によってほぼ完全に抑制されたことから、これらの辛味成分のカテコールアミン分泌亢進機構には、トウガラシの辛味成分と同様にアセチルコリンの分泌およびその受容体が深く関与していること、すなわち、副腎交感神経系を經由していることが推察された<sup>24)</sup>。

8. 香辛料辛味成分誘発性体熱産生とそのエネルギー代謝系における位置づけ

これまでに述べてきたように香辛料辛味成分の摂取は、明らかに生体のエネルギー代謝、すなわち、酸素消費量の増加を伴う体熱産生の亢進をもたらす。そこで最後に、このような辛味成分誘発性体熱産生 (spice-induced thermogenesis) が、生体のエネルギー代謝系において占める位置ならびに意義について考察してみたい。

熱平衡の立場から代謝エネルギーの利用を現したものが図9である。この図で辛味成分誘発性体熱産生と最も関係の深いものがいわゆる食餌誘発性体熱産生 (diet or dietary induced thermogenesis, DIT) である。DITは、食後に観察されるエネルギー消費の増大を指している。これは普通大きく分けて二つの要素から成る。すなわち、不可避体熱産生と任意的体熱産生とである。不可避体熱産生は、栄養素の消化、吸収、および代謝のエネルギー経費に相当し、以前はおもに栄養素の特異的作用 (SDA) と呼ばれてきたものである。一方、任意的体

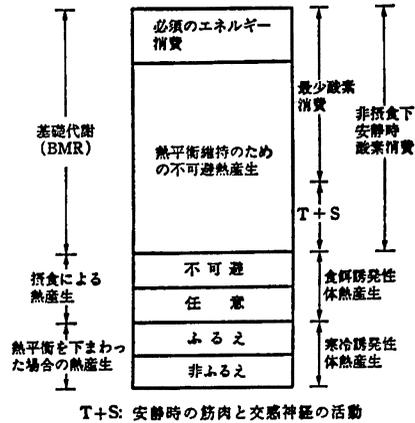


図 9. 熱平衡の立場から表したエネルギー消費の分類

文献 25) から引用した。

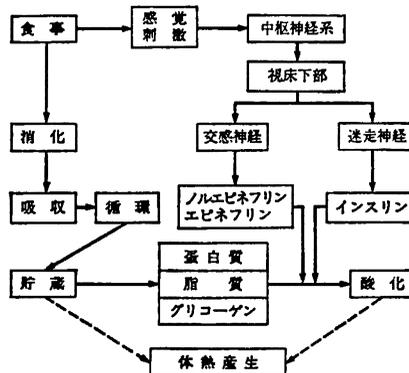


図 10. 食餌誘発性体熱産生の神経系と内分泌系による調節

文献 27) のものを一部改変して引用した。

熱産生は、おもに交感神経系の活動によって調節される体熱産生である<sup>29)</sup>。この任意的体熱産生は、カナダの J. LeBlanc らによって示されているように、たとえば、食餌の「美味しさ (palatability)」や「咀嚼」という食品摂取に付随する要素がシグナルとなり、頭相 (cephalic phase) 刺激を促し、中枢神経系に作用する。その結果、カテコールアミン作動性の体熱産生を惹起する<sup>27)28)</sup>。このように食品摂取に含まれる種々の要素 (情報) は、とくに感覚神経刺激を介して体熱産生、ひいては生体のエネルギー代謝の制御に重要な役割を果たしている<sup>29)~31)</sup>。その機構の概略を図 10 に示した。香辛料辛味成分摂取による体熱産生の亢進現象は、それ自体特別なものではなくて、感覚神経系および中枢神経系の刺激という観点

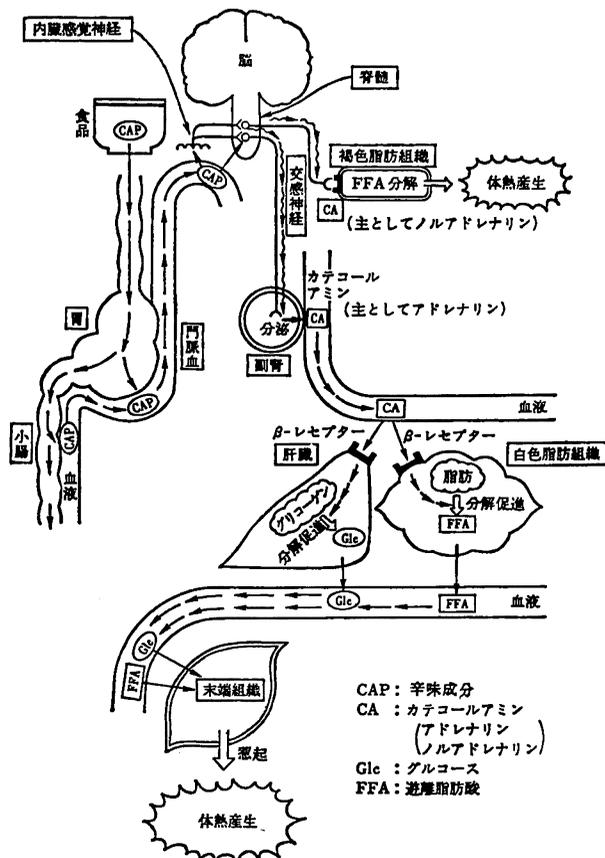


図 11. 香辛料辛味成分によるカテコールアミン分泌を介するエネルギー代謝亢進の作用機構

から、前述の食餌誘発性体熱産生のうち任意的体熱産生の分類に位置づけられるものであろう。ただ、香辛料辛味成分は、体熱産生が口腔内感覚神経刺激のみならず、辛味成分の吸収後における直接的な中枢神経系への作用からも発現している点がきわめて特徴的である。またこのことが大きな持続性のある体熱産生をもたらす要因であり、さらにその活性発現が種々の栄養条件により修飾される可能性も十分考えられる。

またごく最近筆者らは、香辛料辛味成分や甘味料などの感覚神経への刺激を介して「美味しさ」をもたらす食品成分(嗜好性成分)の摂取が、体熱産生において重要な役割を果たしていると考えられつつある褐色脂肪組織<sup>323-353</sup> (brown adipose tissue, BAT) 中の機能性タンパク、サーモゲニン(アンカッピングプロテイン, 32-kDa タンパク, GDP 結合タンパクとも呼ばれている)<sup>367-397</sup>の合成を誘導させ、摂食に伴うエネルギー代謝

の亢進と密接に関係することをラットを用いて明らかにした<sup>407</sup>。さらにサーモゲニンは、BAT のみならず正常ヒト成人の汗腺腺管上皮細胞<sup>413</sup>や新生ラット肝および寒冷暴露時の成熟ラット肝<sup>422</sup>においても発現することが示されてきており、香辛料や甘味料などの感覚神経(交感神経)系を刺激する食品成分の摂取とサーモゲニンを介する体熱産生機構との関係についても新しい局面を迎えたいへん興味深いところではあるが、これらの詳細についてはまたの機会に述べてみたい。

これまで得られた知見から香辛料辛味成分摂取による体熱産生の発現機構の概要を模式的に図 11 に要約して示した。

## 9. おわりに

香辛料は名脇役である。主役がいなければ成り立たない存在ではあるのだが、時として主役のお株を奪ってし

まうことさえある。しかし、実はその根底に今回紹介したような生命活動とのダイナミックな深い関わりがあったのである。食品成分と生体との相互作用の解明は、栄養学の最も重要な課題の一つであろう。古くは“欠乏の栄養学”といわれ、どちらかといえば食品成分、すなわち物質そのものに研究の重点が置かれていたと思う。しかし、現在より重要なのは「生体が、いかに摂取した食品成分に“対処”し、自らの生命活動を好ましい状態で維持し得るのか」という生体の側に立った基本命題を明らかにすることであり、そこに栄養学研究の奥深さと今後の展望があると思う。本総説の研究にあたり、この基本命題の一端を香辛料という脇役をとおして垣間見た思いがした。

本総説中の香辛料辛味成分に関する研究は京都大学農学部食品工学科栄養化学研究室において研究室内外の多くの方々との共同研究により行われたものです。本研究を行うにあたり研究の機会を与えていただき、また終始ご指導いただきました京都大学名誉教授、現神戸女子大学家政学部長岩井和夫先生に深く感謝申し上げます。また多くの適切なご助言をいただき、現在も脂質代謝、エネルギー代謝の研究を細胞レベル、遺伝子レベルでご指導いただいている京都大学教授杉本悦郎先生にお礼申し上げます。本総説で引用した研究の共同実験者である鈴木鐵也博士（現北海道大学水産学部）、渡辺達夫、市野（稲角）尚子、高橋正宏、萩原幸一郎、浦元（高石）朋子、井上（桂）啓子、堀（高見）尚代、畝川（山本）美悠紀、宇野（日下田）敬子、坂部真一、青木直人の皆様ならびに栄養化学研究室の伏木亨助教授をはじめ、職員、卒業生、在学生の方々のご多大なご協力を得ましたことを感謝いたします。とくに、現静岡県立大学食品栄養科学部渡辺達夫博士には在学中本研究の主要な多くの実験において全面的に協力していただいたことを感謝いたします。エネルギー代謝の測定、解析に関してご指導いただきました大阪大学医学部教授田中武彦先生と栄養学教室の皆様、副腎交感神経活動の測定、解析に関してご協力、ご助言いただきました東京都老人総合研究所副所長佐藤昭夫先生ならびに生理学部の皆様に心より厚くお礼申し上げます。最後に、つねに暖かくわれわれの研究を励まし続けてくださり、昨年夏、卒然として逝去された樋口雅子博士に本総説を捧げたいと思います。

#### 文 献

- 1) 河田照雄：調味料・香辛料の事典（福嶋博保，小林彰夫編），403（1991），朝倉書店（東京）
- 2) 芝 哲夫：味とにおいの化学（日本化学会編），147（1976），東京大学出版会（東京）
- 3) Suzuki, T. and Iwai, K.: *The Alkaloids*, Vol. 23 (Brossi, A., ed.), 227 (1984), Academic Press (New York)
- 4) Szolcsányi, J. and Jancsó-Gábor, A.: *Arzneim. Forsch.*, 25, 12 (1975)
- 5) Kimura, S. and Lee, C.: *Diet and Obesity* (Bray, G.A., LeBlanc, J., Inoue, S. and Suzuki, M., eds.), 219 (1988), Japan Scientific Societies Press (Tokyo)/S. Karger (Basel)
- 6) Nagy, J.I.: *Handbook of Psychopharmacol.*, Vol. 15 (Iverson, L.L., Iverson, S.P. and Snyder, S.H., eds.), 185 (1982), Plenum Publishing Corp. (New York)
- 7) Dunér-Engström, M., Fredholm, B.B., Larsson, O., Lundberg, J.M. and Sarria, A.: *J. Physiol.*, 373, 87 (1986)
- 8) Limlomwongse, L.C. and Tongyai, S.: *J. Nutr.*, 109, 773 (1979)
- 9) Schulze-Delreu, K.: *Gastroenterology*, 88, 590 (1985)
- 10) Ki, D., Negulesco, J.A. and Murnane, M.: *IRCS Med. Sci.*, 10, 446 (1982)
- 11) Kawada, T., Watanabe, T., Takaishi, T., Tanaka, T. and Iwai, K.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 183, 250 (1986)
- 12) Henry, C.K. and Emery, B.: *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, 40C, 165 (1986)
- 13) Jancsó, G., Hökfelt, T., Lundberg, J.M., Kiraly, E., Halász, N., Nilsson, G., Terenius, L., Rehfeld, J., Steinbusch, H., Verhofstad, A., Elde, R., Said, S. and Brown, M.: *J. Neurocytol.*, 10, 963 (1981)
- 14) Kim, N.D. and Park, C.Y.: *J. Pharm. Soc. Korea*, 25, 101 (1981)
- 15) Kawada, T., Suzuki, T.,<sup>5</sup> Takahashi, M. and Iwai, K.: *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 72, 449 (1984)
- 16) Kawada, T., Sakabe, S.-I., Watanabe, T., Yamamoto, M. and Iwai, K.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 188, 229 (1988)
- 17) Kawada, T., Watanabe, T., Katsura, K., Takami, H. and Iwai, K.: *J. Chromatogr.*, 329, 99 (1985)
- 18) Kawada, T. and Iwai, K.: *Agric. Biol. Chem.*, 49, 441 (1985)
- 19) Oi, Y., Kawada, T., Watanabe, T. and Iwai, K.: *J. Agric. Food Chem.*, 40, 467 (1992)
- 20) Kawada, T., Hagihara, K.-I. and Iwai, K.: *J. Nutr.*, 116, 1272 (1986)
- 21) Watanabe, T., Kawada, T. and Iwai, K.: *Agric. Biol. Chem.*, 51, 75 (1987)
- 22) Watanabe, T., Kawada, T., Yamamoto, M. and Iwai, K.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 142, 259 (1987)
- 23) Watanabe, T., Kawada, T., Kurosawa, M., Sato, A. and Iwai, K.: *Am. J. Physiol.*, 255, E23 (1988)
- 24) Kawada, T., Sakabe, S.-I., Watanabe, T., Yamamoto, M. and Iwai, K.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 188, 229 (1988)
- 25) Girardier, L. and Stock, M.J.: *Mammalian Thermogenesis* (Girardier, L. and Stock, M.J., eds.), 1 (1983), Chapman and Hall (London)
- 26) Bukowiecki, L.J.: *Diet and Obesity* (Bray, G.A., LeBlanc, J., Inoue, S. and Suzuki, M., eds.), 71 (1988), Japan Scientific Societies

- Press (Tokyo)/S. Karger (Basel)
- 27) LeBlanc, J. : Diet and Obesity (Bray, G.A., LeBlanc, J., Inoue, S. and Suzuki, M., eds.), 61 (1988), Japan Scientific Societies Press (Tokyo)/S. Karger (Basel)
  - 28) LeBlanc, J. : Obesity : Dietary Factors and Control (Romsos, D.R., Himms-Hagen, J. and Suzuki, M., eds.), 59 (1991), Japan Scientific Societies Press (Tokyo)/S. Karger (Basel)
  - 29) Jequier, E. : New Possibilities for Weight Reduction (Somogi, J.C. and Wenger, R., eds.), 6 (1986), S. Karger (Basel)
  - 30) Steiniger, J., Karst, H., Noack, R. and Steglich, H.D. : *Ann. Nutr. Metab.*, 31, 117 (1987)
  - 31) 河田照雄 : 農化, 61, 1462 (1987)
  - 32) Cannon, B. and Nedergaard, J. : *Essays Biochem.*, 20, 110 (1985)
  - 33) Minokoshi, Y., Saito, M. and Shimazu, T. : *J. Auto Nerv. Syst.*, 15, 197 (1986)
  - 34) 斉藤昌之, 高橋 章 : 神経と代謝調節 (嶋津 孝, 斉藤昌之編), 198 (1988), 朝倉書店 (東京)
  - 35) Yoshida, T. : Obesity : Dietary Factors and Control (Romsos, D.R., Himms-Hagen, J. and Suzuki, M., eds.), 97 (1991), Japan Scientific Societies Press (Tokyo)/S. Karger (Basel)
  - 36) Heaton, G.H. : *Eur. J. Biochem.*, 82, 515 (1978)
  - 37) Nicholls, D.G. and Locke, R.M. : *Physiol. Rev.* 64, 1 (1984)
  - 38) Riquier, D., Bouillaud, F., Casteilla, L., Cassard, A.M., Raimbault, S., Klaus, S., Champigny, O. and Hentz, E. : Obesity ; Towards a Molecular Approach (Bray, G.A., Ricquier, D. and Spiegelman, B.M., eds.), 107 (1990), Wiley-Liss (New York)
  - 39) Ricquier, D., Casteilla, L. and Bouillaud, F. : *FASEB J.*, 5, 2237 (1991)
  - 40) Kawada, T., Sakabe, S.-I., Aoki, N., Watanabe, T., Higeta, K., Iwai, K. and Sugimoto, E. : *J. Agric. Food Chem.*, 39, 651 (1991)
  - 41) 兩宮康喜, 高井泰彦, 鈴木 実, 広井禎之, 吉田俊秀, 河田照雄, 杉本悦郎 : 第 12 回日本肥満学会プログラム・抄録集, 85 (1991)
  - 42) Shinohara, Y., Shima, A., Kamida, M. and Terada, H. : *FEBS Lett.*, 239, 173 (1991)

(1992年2月14日受理)