

食品の苦味による化学予防効果

アダム・ドロノウスキー (米ワシントン大学教授)

序論

野菜と果物に富む食事は、癌および冠動脈心疾患の発生率の低下と関わりがある²⁶⁾。特に野菜の摂取は肺癌、乳癌および結腸癌の発生率の低下をもたらす^{6,13,26)}。化学予防作用の機序の研究は毎日の食事の中のカロテノイド、ビタミンCおよび他の植物由来化合物の生物活性に着目している。生物活性植物性化学物質は緑色の葉物野菜、柑橘類果実、および大豆、並びにチョコレートや赤ワイン中に存在する物質である。植物由来のフェノール化合物、例えばフラボノイド類、ポリフェノール類およびタンニン抗酸化作用を有し、広いスペクトルの腫瘍プロモーション作用を有する⁶⁾。

抗酸化植物化学物質は、機能性健康食品の開発や慢性疾患の予防において有望な物質である。しかしながら、問題点もある。これらの物質の大部分は苦味を有する。ヒトは、植物由来のアルカロイドや他の毒素の苦味に対し長年にわたり感受性が高く、過度の苦味は感覚的に大きな難点であるばかりでなく、その食品を拒絶する第1の理由ともなっている⁶⁾。その結果、食品産業では、選択的育種 (breeding) や種々の脱苦味工程により植物由来の苦味物質を除去する場合は殆どである。健康のために苦味のある植物化学物質を食品にあえて添加することは消費者の受け入れ易さを低減させる。厄介なことに、一部の人は極めて低濃度の苦味物質に対してさえも急に感受性過敏となる⁶⁾。さらに、一部の苦味物質においては、苦味への感受性は遺伝的に受け継がれる特質なのである。

6-n-プロピルチオウラシルへの遺伝的感受性

フェニルチオカルバミド (PTC) と 6-n-プロピルチオウラシル (PROP) の水溶液は一部の人は苦く感じられるが、その他の人々にとっては無味である¹⁶⁾。初期の研究で PTC/PROP 味覚反応保有者と非保有者との間の差を PTC または PROP の結晶に対する、あるいは PROP 含浸濾紙に対する味覚応答に基づいて識別している¹⁶⁾。遺伝的な無味症を試験するために用いられる PROP 濾紙は、米国遺伝協会 (American Genetic Association) により 1931 年という早い時期に販売されている。初期の研究によれば PROP 味覚感受性は優性遺伝子 (T) として継代され、味覚反応性の両親は味覚反応性の子を持つ^{16,21)}。白人集団における PTC/PROP 味覚反応保有者の比率は 70% と推定され、一方 PROP 味覚反応はアジア人集団ではより一般的であることが分かっている (95%)。女性は男性よりもより PROP 感受性である可能性が高い。PROP 味覚反応は他の苦味物質に対する過敏性¹⁷⁾ および一部の苦味のある食品への嫌悪の増大も伴っている^{14,15,18)}。

この分野での古典的な研究 (総説は文献 12 参照) では、PROP 味覚反応保有者と非反応性者を PROP 検出閾値の 2 層分布に基づいて識別している。PROP の検出閾値を確立する作業は 2 段階を経ている¹⁹⁾。まず、各被験者に対し最低濃度の PROP 溶液 (溶液 1) を提示し、次に、水との味の違いを認識するところまで徐々に濃度を高めていく。次に、2 個の同一のカップを用意し、一方に

は検出濃度の PROP を、他方には脱イオン水を入れる。被験者に 2 つの試料のうちどちらが苦味を感じるか判断させる^{2,9,10}。不正解であった場合は、次に高濃度の PROP (再度脱イオン水と組み合わせる) の試験を行い、正解であった場合は、同じ濃度の PROP の 2 回目の試験を行う。同一濃度で連続 2 回正解した場合に、次に低濃度の PROP に移る。境界点は一連の正解応答が不正解応答に、或いはその逆になる濃度として定義されている。

女性は男性よりも低い PROP 検出閾値を有する傾向が認められている。新しい研究では、味覚反応保有者内における PROP 応答性に広範なばらつきがあることに焦点が当てられている。Bartoshuk ら²は、2 つの劣性対立遺伝子を有する者はノンテイスター (tt) であり、1 つの優性対立遺伝子を有する者はテイスター (Tt) であるかも知れないのに対し、2 つの優性対立遺伝子を有するものは PROP のスーパーテイスター (TT) であると報告している。スーパーテイスターは、PROP 検出閾値ならびに食塩の塩味に対して苦味として知覚される PROP 溶液の比率に基づいて識別されている^{2,10,11}。大部分のスーパーテイスターは女性であった。米国での女性標本における味覚反応レベル別の推定分布率は、ノンテイスターが 25%、テイスターが 50%、スーパーテイスターが 25% であった。テイスターまたはノンテイスターと比較して、スーパーテイスターは平均してより多くの茸状乳頭を有し、乳頭当たりの味蕾が高密度であることが分かっている^{2,3}。

PROP と苦味食品

PROP の検出閾値が低いほど、そして知覚苦味が高いほど、一般的にその苦味に対する嫌悪感が大きくなる。PROP への感受性はかつては苦味のある毒物を検出し、拒絶することができるという進化論的利点を与えるものと考えられていた⁹。恐らくはもっとも頻繁に引用されている、伝説的ともいえる、味覚が原因となった食品の拒絶の事例として、アブラナ科の生野菜のブロッコリ、キャベツおよび芽キャベツ中に存在する苦味のある抗甲状腺化合物を PROP テイスターが忌避したことが報告されている^{5,14}食品の名称のチェックリストに基づいた後の研究においては、PROP テイスターはノンテイスターよりも食品嫌悪感が高度であった^{15,16}。PROP 感受性は、緑色野菜とアブラナ科の野菜(キャベツ、芽キャベツ、ホウレンソウおよびケール)、ダイオウ、ザウワークラウト、ビール、コーヒーおよび種々の味や香りにくせの強いチーズへの嫌悪が多数であることと関連していた¹⁶。

多くの研究が PTC/PROP への共通の応答性を他の苦味への個体応答に関連付けている。特に初期の研究において、PTC テイスターはカフェインの苦味に対してもより高い感受性を示すが、キニーネや尿素の苦味に対してはそうではないことを証明している。我々の研究の 1 つにおいて、女性の PROP テイスターはノンテイスターと比較してコーヒー飲料を好むという報告を検討した。平均年齢 27 歳 (年齢範囲 20~60 歳) で健康状態が良好であり、大学での広告により採用された 159 人の女性非喫煙者を対象とした。被験者の身体測定を行い、平均の肥満指数を計算した (BMI = kg/m²)。被験者はすべて健康診断と人口統計学的アンケート、拘束尺度、および摂食態度試験を受けた。食品嗜好性チェックリスト (FPC) は全食品群から選択した 171 食品に基づくものとした。被験者へは、9 点の快嗜好尺度を用いて各食品項目をどの程度好むか、あるいは嫌うかを示すように指示した。予測された通り、テイスターは、コーヒーおよびエスプレッソに対しては低い嗜好性を報告したが、ココア、紅茶またはアイスティーに対してはそうではなかった。同じ試験において、芽キャベツ、キャベツおよびホウレンソウに対する嗜好性は、ノンテイスターよりもテイスターで低値であった。

表1に示すとおり、PROPへの感受性が高いことは芽キャベツ、キャベツおよびホウレンソウを含むアブラナ科と一部の緑色の葉物野菜の許容性が低いことと有意に相関している。エスプレッソとレギュラーコーヒーへの嗜好性の報告はPROP感受性試験対象で低かった。PROP感受性は甘味デザート類への嗜好性の報告とは無関係であった。一方、砂糖溶液に対する平均の嗜好性が高いことは、種々の甘味デザート類と砂糖入り紅茶への嗜好性が高いことと相関していた。甘味と苦味への感覚的応答は、一部の甘味および苦味を有する食品に対して我々が報告した嗜好性を確かに予測するものであった。

表1 PROP味覚反応と特定の野菜類、飲料およびチョコレートに対する自己申告による嗜好性との Pearson 相関

嗜好性順位	PROP 応答性	
	強度	閾値
野菜類		
芽キャベツ	-0.18*	0.20*
キャベツ (生)	-0.14	0.20*
ホウレンソウ (生)	-0.11	0.18*
菓子類およびデザート類		
チョコレートキャンディ	0.03	-0.13
チョコレートケーキ	0.13	-0.21*
飲料		
コーヒー (レギュラー)	-0.24*	0.27*
エスプレッソコーヒー	-0.26*	0.21*

PROP と抗酸化性植物化学物質

潜在的化学予防活性を有する多くの植物化学物質は苦味を有するか、または苦い野菜や果実中に存在している^{6,12,13}。問題はPROPへの遺伝的な感受性が他の苦味食品への感受性の増大、即ち、嫌悪感の増大を伴うかどうかという点である。もしそうであれば、共通の味覚因子が植物化学物質に富んだ食事の許容性に対する感覚的障壁となっている可能性がある。アブラナ科の植物に由来する苦味イソチオシアネートは、癌抑制の点で化学予防的作用を有する¹³。グレープフルーツジュースの苦味成分であるナリンジンのようなフラボノイドもまた生物学的に活性であると考えられている。大豆中のイソフラボン類、紅茶やワイン中のポリフェノール類、アブラナ科の野菜中のグルコシネート類、およびその他の「機能性食品」中の植物化学物質は全て共通して苦味を有している。

我々の一連の研究ではまずグレープフルーツジュースの主要な苦味成分である生物活性フラボノイドであるナリンジンを検討した¹⁰。ナリンジンはオレンジジュース中には存在しない。我々は123人の女性標本を、検出閾値および食塩溶液の知覚される塩味に対するPROPの知覚される苦味の比率に基づき、PROPのノンテイスター、テイスター、およびスーパーテイスターに分類した。これらの手続きにより、極めて顕著なPROP苦味曲線を有する3つの群を得た。予測された通り、苦味に対して最も感受性の高かった試験対象が最も高い嫌悪を示した。4%砂糖中の苦味ナリンジン溶液の許容性はナリンジン濃度が高くなるに従って低下した。ここでもまたスーパーテイスターでナリンジンの相対嫌悪度が最大であり、グレープフルーツジュースに対する嗜好性順位が最低であった¹⁰。

関連の研究⁹⁾において、PROP 味覚反応レベルの関数としての緑茶の許容性が検討されている。主要な緑茶ポリフェノールである緑茶苦味成分は、エピガロカテキン ガレートである。緑茶の濃度の上昇は、すべての試験対象により漸増する苦味として評価され、PROP テイスターとスーパーテイスターは緑茶に対して最も高い苦味順位を与えており、嫌悪度も最大であった。共通の PROP 味覚反応レベルが食品中の一部の抗酸化性植物化学物質の許容性に影響していると考えられる。

砂糖と脂肪に対する応答

苦味は、砂糖と脂肪を添加することにより極めて効果的に減少する。実際、苦味のある野菜を調理する際の共通の方法には、加熱、油脂またはバター、そして場合により砂糖の添加が関わっている。塩漬けも苦味の知覚を低下させる方法の1つである。

一部の最近の研究では、PROP 味覚反応保有者は甘味と塩味をより強力に知覚することが示唆されている。さらに、PROP 味覚は、カプサイシンおよびアルコールのような三叉神経刺激物への感受性の増大、および、脂肪の質感の口内感覚の増大と関連している。砂糖と脂肪への感覚応答が共通支配下にあるという示唆は、チョコレートが苦味と甘味の組み合わせであり、平滑なココアバターの質感であることを考えると、特に興味深いものである。しかしながら、PROP 味覚と脂肪への感覚応答が関連しているという初期の示唆は後の研究では再現されていない。現在進行中の研究でこの問題を検討中である。

PROP とチョコレート

砂糖、ココアバター、カフェインおよびテオブロミンのほかに、チョコレートは多くの植物由来ポリフェノールの原料である^{125,29)}。フェノール化合物はチョコレートを含む多くの食品や飲料の苦味と渋味の原因である³⁰⁾。単純なフェノール分子から高分子量の重合体まで、食品フェノールには少なくとも 15 タイプがある。フラボノイドは最も重要な群であり、さらに 13 タイプに分類され、5000 種類を超える化合物が文献に報告されている。植物性タンニン³¹⁾はポリフェノールの別名であり、高い分子量を有し、チョコレートと赤ワインの両方に存在する。ココアの苦味は、焙煎中のテオブロミンとジケトピペラジンの相互作用、および、少量のカフェインの存在によるものと考えられる。

過去の研究がカフェインとメチルキサンチンに着目していたのに対し、最近の研究結果ではチョコレートは緑茶や赤ワイン中にも存在するフェノール化合物であるカテキン類も特に多く含むことがわかった^{23,29)}。フェノール類とカテキン類の量はミルクチョコレートよりもブラックチョコレートに多く含まれ、カカオ栽培者および栽培の厳密な方法、発酵および焙煎により異なる。ワインの場合と同様、カテキン類とエピカテキン類が苦味を有する³²⁾。ワインモデルを用いた官能試験によれば、カテキン類は一般的に苦く、渋味があり、口渇感と口腔絞扼感(mouth tightening)をもたらす。

一部の研究者は、渋味を口腔全体で検知できる収斂性 (puckering) の口中感と定義している。これは、大部分は植物性ポリフェノール類と唾液中の蛋白との間の反応によるものである。カテキンを含む低分子量のフェノールは苦味を呈する傾向があるのに対し、タンニン酸のようなより高分子量のポリフェノール類はむしろ渋味が大きくなる。PROP 味覚反応のレベルがビターチョコレート中のカテキン類への個別別応答性に影響するかどうかに関するデータはない。

機能性食品としてのチョコレート

植物性食品中のフェノールおよびポリフェノールは植物を菌類、微生物および寄生虫から保護する作用を有する場合が多い。フェノール化合物は抗酸化剤としての活性のほか、殺菌特性も有する場合が多い。しかしながら、その苦味はヒトの摂取の障壁となっており、フェノール類、カテキン類およびタンニン類の感覚的許容性は低い。

官能試験によれば、苦味の知覚は調理により、あるいは脂肪、砂糖または塩の添加により抑制できていることがわかっている。カカオ、カカオバターおよび砂糖を含むチョコレートは本来苦味、甘味および脂肪の複雑な味覚刺激のバランスを持っている。従って、食事にポリフェノール類や他の抗酸化性植物化学物質を導入するための理想的な担体となる。紅茶を用いた研究によれば、牛乳中の脂肪はカテキンの吸収の妨げとならなかった²⁸⁾。実際、チョコレートは特定の健康上の利益を持つ機能性食品と考えられる。食品の第1の機能は適切な栄養を与えることであり、第2の機能は感覚的要求を満足することであるのに対し、第3の機能は特定の目標設定された健康へ利益をもたらすことである。チョコレートは、これら3つの機能の全てを併せ持ち、喜びと健康の双方を与えるものである²⁹⁾。

References:

- 1) Akella GD, Henderson SA, Drewnowski A. Sensory acceptance of Japanese green tea and soy products is linked to genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil. *Nutr Cancer* 1997; 29: 146-51.
- 2) Bartoshuk LM, Duffy VB, Miller IJ. PTC/PROP tasting: Anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiol Behav* 56: 1165-1171, 1994.
- 3) Bartoshuk LM. The biological basis of food perception and acceptance. *Food Quality and Preference* 4: 21-32, 1993.
- 4) Bonvehi JS, Coll FV. Evaluation of bitterness and astringency of polyphenolic compounds in cocoa powder. *Food Chemistry* 1997; 60: 365-370.
- 5) Boyd WC. Taste reactions to antithyroid substances. *Science*, 112:153, 1950.
- 6) Chung K-T, Wong TY, Wei C-I, Huang Y-W, Lin Y. Tannins and human health: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1998; 38: 421-464.
- 7) Delcour JA, Vandenberghe MM, Corten PF, Dondeyne P. Flavor thresholds of polyphenolics in water. *Am J Enol Vitic* 1984; 35: 134-136.
- 8) Drewnowski A. Taste preferences and food intake. *Ann Rev Nutr* 17; 237-53, 1997.
- 9) Drewnowski A, Henderson SA, Shore AB. Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil (PROP) and hedonic responses to bitter and sweet tastes. *Chem Senses* 22: 27-37, 1997.
- 10) Drewnowski A, Henderson SA, Shore AB. Taste responses to naringin, a flavoid, and the acceptance of grapefruit juice are related to genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil (PROP). *Am J Clin Nutr* 66: 391-7, 1997.
- 11) Drewnowski A, Henderson SA, Shore AB, Barratt-Fornell A. Nontasters, tasters, and supertasters of 6-n-propylthiouracil (PROP) and hedonic response to sweet. *Physiol Behav.* 62; 649-655, 1997.
- 12) Drewnowski A, Rock CL. The influence of genetic taste markers on food acceptance. *MJ Clin Nutr* 52: 506-511, 1995.
- 13) Fenwick GR, Heaney RK, Mulling WJ. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 18; 123-201, 1983.
- 14) Fischer R, Griffin F, Kaplan AR. Taste thresholds, cigarette smoking and food dislikes. *Medicina Experimentalis* 9; 151-167, 1963.
- 15) Forrai G, Bankovi G. Taste perception for phenylthiocarbamide and food choice-A Hungarian twin study. *Acta Physiologica Hungarica*, 64: 33-40, 1984.
- 16) Fox AF. The relationship between chemical constitution and taste. *Proc Natl Acad Sci USA* 18: 115-120, 1932.
- 17) Gent JF, Bartoshuk LM. Sweetness of sucrose, neohesperidin dihydrochalcone, and saccharin is related to the genetic ability to taste the bitter substance 6-n-propylthiouracil. *Chemical Senses* 7: 265-272, 1983.
- 18) Glanville EV, Kaplan AR. Food preference and sensitivity of taste for bitter compounds. *Nature*, 205; 851-853, 1965.
- 19) Harris H, Kalmus H. The measurement of taste sensitivity to phenylthiourea (PTC). *Annals of Eugenics* 15; 24-31, 1949.
- 20) Hoskin JC. Sensory properties of chocolate and their development. *Am J Clin Nutr* 1994; 60:1068S-1070S.
- 21) Kalmus H. Genetics of taste. In: Beidler LM (Ed), "Handbook of Sensory Physiology". Pp 165-179. Berlin: Springer-Verlag, 1971.
- 22) Kirshbaum J. Effect on human longevity of added dietary chocolate. *Nutrition* 1998; 14:869.
- 23) Kondo K, Hirano R, Matsumoto A, Igarashi O, Itakura H. Inhibition of LDL oxidation by cocoa. *Lancet* 1996; 348:1514.
- 24) Okushio K, Suzuki M, Matsumoto N, Nanjo F, Hara Y. Identification of (-)-epicatechin metabolites and their metabolic fate in the rat. *Drug Metab Dispos* 1999; 27:309-16.
- 25) Osakabe N, Yamagishi M, Sanbongi C, Natsume M, Takizawa T, Osawa T. The antioxidative substances in cacao liquor. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 1998; 44:313-21.
- 26) Steinmetz KA, Potter JD. Vegetables, fruit, and cancer prevention: a review. *J Am Diet Assoc* 96: 1027-1039, 1996.
- 27) Thorngate JH, Noble AC. Sensory evaluation of bitterness and astringency of 3R(-)-Epicatechin and 3S(+)-Catechin. *J Sci Food Agric* 1995; 67:531-535.
- 28) Van het Hof KH, Kivits GA, Westrate JA, Tijburg LB. Bioavailability of catechins from tea: the effect of milk. *Eur J Clin Nutr* 1998; 52: 356-9.
- 29) Waterhouse AL, Shirley JR, Donovan JL. Antioxidants in chocolate. *Lancet* 1996; 348: 834.