アラキドン酸による食品の美味しさ向上効果

Arachidonic Acid Enhance Taste and Palatability of Foods

山口 進

株式会社 J-オイルミルズ 油脂開発研究所

〒230-0053

横浜市鶴見区大黒町 7-41

Susumu Yamaguchi

J-OIL MILLS, INC. Oils and Fats R&D

Laboratories

7-41, Daikoku-cho, Tsurumi-ku, Yokohama-city,

230-0053 Japan

論文要旨：最近のいくつかの研究はアラキドン酸（AA）が食品の美味しさを向上させる効果があることを示唆している。少量の AA 含有油脂を植物油脂に添加し、コロッケや炒飯、野菜スープの調理油として使用したところ、それらの食品は通常の植物油脂で調理した時と比べ、うま味やコク味や後味が向上した。また、鶏肉の味はその鶏に AA を給餌することによって改良できる。鶏肉中の AA 含量はその鶏に給餌する餌中の AA 含量に比例して増加し、餌によって AA 含量が異なるように調製した鶏肉を官能評価したところ AA 含量の高い鶏肉は低いものより、うま味やコク味が高まった。このような AA による食品の美味しさ向上効果のメカニズムを考察するため、本総説では AA が味覚感知に影響を及ぼすことを示す研究例をいくつか紹介した。その1つとして、マウスを用いた実験により AA 酸化生成物がうま味成分であるグルタミン酸ナトリウムや甘味成分であるショ糖に対する味覚感受性を増強したことが示されている。これらの研究成果は油脂や脂肪酸が食品の味を感じる上で果たす役割の理解や、より美味しい食品の開発への応用に有用であると考ええる。

Abstract: Recent studies suggest that arachidonic acid is useful to make taste of foods better. The addition of small amount of AA-enriched oil to vegetable oil used for cooking enhanced the umami, kokumi, aftertaste and palatability of such food as croquettes, fried rice and vegetable soup cooked with the oil. Taste of chicken meat can be improved by the amount of dietary AA supplementation. AA content in chicken meat increased linearly with increasing dietary AA content. Sensory evaluation showed that umami and kokumi of the chicken meats with high level of AA content prepared by the dietary AA supplementation scored higher than those with low level of AA. In order to consider the mechanism of AA on food palatability, some studies about effects of AA on gustatory sensation was introduced in this review. As an example, mouse behavioral studies indicated that the decomposed products from oxidized AA affected mouse taste perception to monosodium glutamate, a classic umami taste, and sucrose, a classic sweet taste, via the gustatory sensation. These studies would be useful to understand the roles of oils or fatty acid in taste of foods and be applied to development of more palatable foods.

Key words: Arachidonic acid, taste perception, kokumi, cooking oil, feed supplement

アラキドン酸（AA）は20個の炭素と4つの二重結合を有する脂肪酸で、生体内においては、エネルギー源として役立つだけでなく、細胞膜を構成するリン脂質、コレステロールエステル、ワックスエステル、リポタンパク質などの成分として存在し、またプロスタグランジンやロイコトリエンなど生理活性物質の前駆体であるこ

とから、その機能に注目した多くの生理学、栄養学的研究等が報告されている¹⁾。また食品成分としても知られ、通常の植物油脂には含まれていないものの、卵黄や魚介類、肉類やレバーなどに多く含まれており、例えば食品100g中で鶏卵卵黄中には約430mg、本マグロの脂身には約160mg、鶏皮付きもも肉で約80mg、豚もも肉脂身には約200mgのAAが含まれている²⁾。食品中に含まれる油脂成分は味や香り等の面でその食品の美味しさ

連絡者：山口 進
E-mail: susumu.yamaguchi@j-oil.com

に寄与していることが知られており、AA も種々の食材中に含まれる食経験のある成分として、食品中でその味や風味に何らかの関与を示すことが考えられるが、美味しさの観点で AA に着目した研究はこれまで行われていなかった。その原因の1つとして AA を豊富に含む動植物由来の実質的な供給源がなかったことが考えられるが、近年、その供給源として微生物発酵によって、AA を構成脂肪酸として約 40% 以上含み、通常の食用油脂と同様のトリアシルグリセロールの形として成る「アラキドン酸含有油脂」として実用化されるに至ったことで AA が食品素材としても利用が可能なものとなった³⁾。そこで我々は美味しさの観点で AA に着目し、その機能解析や利用に関する研究を行った。また AA やその関連物質が食品の味を感じる上で重要な役割を果たすことを示す研究がいくつか成されているので合わせてここで紹介したい。

1 アラキドン酸による食品の美味しさへの関与

1・1 アラキドン酸添加植物油で調理した食品の美味しさ

我々は AA 含有油脂の食品への利用を検討する中で、AA 含有油脂を調理油に添加して使用することで食品をより美味しく出来ることを見出した。1%に満たない量の AA 含有油脂を添加した植物油で調理した炒め物(炒飯)や揚げ物(牛肉コロッケ)および汁物(野菜スープ)の食味性を植物油のみで調理した時と官能評価で比較した。その結果として炒飯と野菜スープについて Fig. 1⁴⁾に示した。AA 含有油脂を添加した植物油で調理した炒飯や野菜スープは、AA 無添加植物油で調理した時と比べ、その「香り」には大きな差異はなかったものの、「味の濃厚さ」「うま味」「後味」等といった「味」の強度が有意に強まり、「全体的なおいしさ」も向上した。また、牛肉コロッケでも同様に AA を添加した植物油で調理することによって「うま味」や「味の濃厚さ」が向上した⁴⁾。従来、油種を変えることで調理した食品の香りや風味に特徴が現れることはよく知られているが⁵⁾、AA を添加した植物油で調理された食品は香りよりもうま味や後味といった味としての感じ方に大きな差が生じ、通常の植物油にはみられなかった機能が付与された。

一般に「肉類類を揚げた後の油で他の食材を調理すると美味しくなる」と言われている。この原因として AA を植物油に添加し調理油として使用することで食品の味が向上したことから、揚げ油として用いた植物油に肉類から溶出した AA が美味しさ向上に関与していると考え、検証のための実験を行った⁴⁾。コーン油 400 g

n=32, * p<0.05 ** p<0.01

n=40, * p<0.05 ** p<0.01

Fig. 1 AA 添加油脂で調理した食品の官能評価⁴⁾ AA 含有油無添加油を標準とした 5 段階評価法
炒飯 (上段) と野菜スープ (下段)

で豚肉 800 g を揚げたところ、揚げ後の油量は増加しており、豚肉から揚げ油であるコーン油に脂肪分の溶出が起こっていることが考えられた。用いた豚肉 800 g には総量として 0.28 g の AA が含まれていたが、豚肉を揚げた後の揚げ油中には 0.13 g (揚げ油中 0.03%) の AA が検出され、豚肉中の約 50% の AA が揚げ油であるコーン油に溶出したものとされた。この豚肉を揚げたコーン油を用いてもやし炒めを調理し官能評価を実施した結果、通常のコーン油で調理したもやし炒めを標準とした場合、豚肉を揚げたコーン油で調理したもやし炒めの各項目の評点平均値は、「味の濃厚さ」、「塩味」、「うま味」、「後味」が有意に強く感じられ、また「全体的な美味しさ」も高まることが確認された (Fig. 2)⁴⁾。このことから豚肉などの動物性食品を揚げた後の油の美味しさは、その一因に AA が関与していることが考えられた。

1・2 比内地鶏の美味しさに関与するアラキドン酸

最近、日本三大地鶏の1つ秋田県の比内地鶏の美味しさに関する研究成果として、AA がその美味しさに関与していることが示されている。従来、鶏肉ではグルタミン酸などの遊離アミノ酸やイノシン酸などの核酸等のうま味を呈する成分が味の形成に重要であると考えられてきた⁶⁾。Rikimaru と Takahashi⁷⁾ は比内地鶏の美味しさ

Fig. 2 豚肉揚げ油を用いたもやし炒めの官能評価⁴⁾(標準を用いた5段階評点法)

を研究する中で、同一条件で飼育したブロイラーと比内地鶏について鶏肉の生化学成分を分析したところ、アミノ酸やイノシン酸含量はブロイラーと比内地鶏間で大きな差は見られなかったが、比内地鶏はその粗脂肪中にAAがブロイラーより多く含まれることを確認し、比内地鶏の美味しさへのAAの関与を示唆した。その検証のため、同一の鶏種間でAA含量の異なる個体を調製し、その肉の味を比較した⁸⁾。方法として比内地鶏間で、脂肪酸組成の異なる油脂(AA含有油脂、コーン油、パーム油)を添加した飼料をそれぞれ給餌し、鶏肉中の脂肪酸構成の改変を試みたところ、AA含有油脂を給餌した比内地鶏から抽出した粗脂肪分やグルタミン酸の含量等は他油種を給餌した鶏と同量であるものの、AAを多く含有する鶏肉を得ることができた。得られたAA含量の異なる比内地鶏のもも肉を、肉の食感による影響を排除すべくスープまたはミンチ肉の蒸し肉に調理して官能評価で比較した結果、AA含有油脂の給餌によってAAを多く含んだ比内地鶏肉は、コーン油を給餌した比内地鶏肉と比べ、有意に「うま味」や「コク味」、「甘味」などが強く、「全体的な味」も強くなった。パーム油給餌区に対するAA含有油脂給餌区の評価結果も同様であった⁸⁾。これら結果は比内地鶏の美味しさの要因の一

つとして、AAが関与していることが示唆された。また、この結果はAAを鶏に給餌することでその肉の味を向上できる可能性が示されたことから、最も一般的な食用鶏種として知られているブロイラーにAAを給餌した際の肉の美味しさに与える影響が検証された。AA含有油脂をパーム油で1/2、1/4、1/8の濃度に希釈し、それぞれをブロイラーに給餌したところ、ブロイラー肉中のAA含量は給餌したAA含量に比例して増加した(Table 1)。各濃度のAA油を給餌したブロイラーとコーン油を給餌したブロイラーを、それぞれミンチ肉の蒸し肉にして官能評価で比較した結果、1/2濃度および1/4濃度のAA含有油脂を給餌したブロイラーの味はコーン油を給餌したものより、「香りの強さ」、「うま味」、「コク味」で有意に高い結果となった(Table 2)。この結果から、食用鶏にAAを給餌することで、その肉中のAA含量をコントロールし、味を改良できることが示された⁹⁾。

このようにAAを添加した油脂で調理した食品やAAを多く含む鶏肉は、うま味や後味などの“味”の感じ方が強まることが特徴的である。最近の研究で油脂による食品の美味しさへの関わりは食感や香りの面だけでなく、油脂を構成する脂肪酸が舌等を通じた化学感覚としても感知され、また甘味やうま味といった他の味成分の味覚感知にも影響することが明らかになってきているが^{10, 11)}、植物油に少量のAA含有油脂を添加して調理した場合や、鶏肉の粗脂肪中におけるAA含量の差異といったような、油脂の中にわずかに存在するAAがそれを含む食品に対する味の感じ方に影響する現象はたいへん興味深い。

2 アラキドン酸およびその関連物質の味への作用

ここまでAAが食品中で美味しさの発現に関与することや、AAを食品中に添加することで味の改良が出来ることなど現象面やその利用に関する研究を紹介したが、AAやその関連物質が味の感知に関与する仕組み等

Table 1 AA含有油脂を給餌したブロイラー肉中の脂肪酸含量 (mg/g)

	コーン油	1/8AAO	1/4AAO	1/2AAO
パルミチン酸 (C16:0)	14.12±0.83	13.46±0.59	11.91±1.62	13.04±1.57
ステアリン酸 (C18:0)	3.75±0.21	3.51±0.18	3.38±0.43	3.79±0.27
オレイン酸 (C18:1n-9)	28.48±2.26	26.47±1.30	22.96±3.28	24.65±3.10
リノール酸 (C18:2n-6)	11.11±0.89	8.58±0.58	7.90±1.23	8.75±0.81
α-リノレン酸 (C18:3n-3)	0.65±0.06	0.59±0.05	0.54±0.10	0.61±0.06
アラキドン酸 (C20:4n-6)	0.57±0.05 ^b	0.76±0.03 ^b	0.98±0.05 ^{ab}	1.37±0.10 ^a
ドコサヘキサエン酸 (C22:6n-3)	0.13±0.01	0.15±0.00	0.16±0.01	0.15±0.01

1/8 AAO, 1/4 AAO, 1/2 AAO=AA含有油脂をパーム油でそれぞれ1/8, 1/4, 1/2濃度に希釈したもの
異符号間で統計的な有意差有り (abp<0.05)

Takahashiら⁹⁾より改変

Table 2 AA 含有油脂を給餌したブロイラー蒸し肉の官能評価結果

評価項目	評価の組み合わせ ¹					
	CO -1/8 AAO ²	CO -1/4 AAO ³	CO -1/2 AAO ⁴	1/4AAO -1/2 AAO ⁵	1/8AAO -1/2 AAO ⁶	1/8AAO -1/4 AAO ⁷
香りの強さ	0.63	0.63*	0.88*	0.25	0.13	0.25
全体的な味の強さ	0.25	0.63	1.00*	0.50*	0.38	0.00
甘味	0.50	0.38	0.38	0.25	0.25	0.13
酸味	0.13	0.38	0.00	0.50*	0.13	0.00
うま味	0.50	0.63*	0.88**	0.13	0.25	0.00
コク味	0.63	0.75*	0.50*	0.38	0.25	0.38
後味	0.50	0.75*	0.75*	0.25	0.13	0.50

¹ CO = コーン油; 1/8 AAO, 1/4 AAO, 1/2 AAO = AA 含有油脂をパーム油でそれぞれ 1/8, 1/4, 1/2 濃度に希釈したもの

² コーン油を標準とした時の 5 段階評価法における 1/8 AAO の評点平均値

³ コーン油を標準とした時の 5 段階評価法における 1/4 AAO の評点平均値

⁴ コーン油を標準とした時の 5 段階評価法における 1/2 AAO の評点平均値

⁵ 1/4AAO を標準とした時の 5 段階評価法における 1/2 AAO の評点平均値

⁶ 1/8AAO を標準とした時の 5 段階評価法における 1/2 AAO の評点平均値

⁷ 1/8AAO を標準とした時の 5 段階評価法における 1/4 AAO の評点平均値

* p<0.05 and ** p<0.01.

Takahashi ら⁹⁾ より改変

を示す研究がいくつか成されている。これらの研究成果は AA による食品の美味しさ向上のメカニズムを理解する上で重要な手掛かりを与えてくれることが考えられ、ここでそれらの研究について紹介したい。

2・1 アラキドン酸による味覚情報の細胞内伝達作用

甘味、うま味、苦味といった基本味物質は舌上にある味細胞で感知され、その情報は味細胞内を伝達され、神経そして脳へと伝わって行く。AA はその味覚感知情報の細胞内伝達に関与する TRPM5 と呼ばれるイオンチャネルを活性化することが示唆されており¹²⁾、AA を添加した食品の味がより強く感じられる効果は、食品に含まれる基本味物質等を舌上の味細胞が味覚感知するメカニズムに AA が作用することによって引き起こされる可能性が考えられる。

2・2 2-arachidonyl glycerol の甘味増強作用

通常の食用油脂の主要構成成分であるトリアシルグリセロールは 1 分子のグリセロールに 3 分子の脂肪酸がエステル結合したものであるが、グリセロールに 1 分子の AA がエステル結合した 2-arachidonyl glycerol (2-AG) は食欲促進作用を有するエンドカンナビノイドの 1 つとして生体内で合成される生理活性物質であり、甘味の感知およびその摂食を調整する上で重要な伝達物質の役割を演じていることが発見された。すなわち、マウスに 2-AG を投与した際の甘味成分に対する味覚神経の応答や甘味成分を含んだ試料に対する摂食行動応答を調べた結果、2-AG の投与により甘味物質に対する応答が増大することが確認され、2-AG が中枢内で食欲増進作用を

働かせ、また味覚器上でも甘味の感じ方を刺激することで、食物の摂取とエネルギー調整の面で重要な役割を担っていることが示されている¹³⁾。

2・3 アラキドン酸酸化生成物が食品の味に及ぼす影響

我々は AA 含有油脂を添加した植物油で調理した食品の味の増強効果は、AA そのものが食品の味に影響するだけでなく、調理時に油脂中の AA が加熱されることによって生じる酸化生成物も食品の味の感じ方に影響するのではないかと推測し検証のための実験を行った。AA と種々の高度不飽和脂肪酸としてリノール酸 (LA)、リノレン酸 (LN)、EPA や DHA を 35℃、24 時間加温して得た酸化不飽和脂肪酸に 1000 倍量の水を加え、未酸化の脂肪酸と分離し、酸化生成物の水抽出物を得た。そして、酸化脂肪酸水抽出物による食品の味への影響を検証した。醤油の 16 倍希釈溶液 (口に含めることができる濃度) を調製し、それに各酸化脂肪酸水抽出物を添加した。LN, AA, EPA, DHA それぞれの酸化脂肪酸水抽出物を添加した 4 種の醤油希釈水に感じる味の強度について酸化 LA 水抽出物を添加した醤油希釈溶液の味強度を対照とし、官能評価で比較した。その結果、Fig. 3⁴⁾ に示したように、いずれの酸化脂肪酸水抽出物も「塩味」や「酸味」などの味質や「コク味」を強める結果となったが、特に酸化 AA 水抽出物を添加したのは最も顕著に「うま味」や「コク味」、「後味」といった味を強く感じさせる効果が確認された。また酸化 AA 水抽出物は、単一の味成分としてうま味を呈する物質の代表であるグルタミン酸ナトリウム (MSG) と混合し

た時のうま味の感じ方への影響を官能評価で確認したところ、酸化AA水抽出物を添加した0.01 MのMSG溶液のうま味は0.01 MのMSG単独溶液よりも有意に強いと評価された¹⁴⁾。このように、脂肪酸の酸化生成物が食品やMSGのような味物質の単一成分に対する味の感じ方に影響することが示唆された。

油脂の酸化生成物は香気成分としても知られ、その成分によってそれぞれ特徴的な香りを発する¹⁵⁾。食品を喫食する際に香りも嗅覚を介して味の感じ方に影響することは知られており¹⁶⁾、従って前述の油脂酸化生成物による食品の味の感じ方への影響は香り成分としての作用が原因の1つと推察されているがAA等の油脂酸化生成物を含んだ食品を喫食した時の味の感じ方は、香りとしてだけではなく、舌を介した味覚として直接的に味の感じ方にも影響しているのではないかと考えた。そこで油脂酸化生成物が味覚に及ぼす影響を検証するため、味覚研究で一般的に行われるマウスを用いた実験手法で検証を行った。その1つとして、マウスは、供された試料に対して嗜好や味覚経験に対応して、摂取や忌避といった行動を示すが、これを定量的に測定する行動学的実験手法による検討を行った。実験は前述の官能評価で酸化AA水抽出物がその味の感じ方を増強したMSGに関して行った。実験に用いたマウスは酸化AA水抽出物が発する香りによる影響を排除すべく嗅覚を麻痺させ、また、MSG溶液を摂取させる毎に塩化リチウムを腹腔内注射することで体調不快感を生じさせ、MSGの味を忌避するように味覚嫌悪学習をさせた。このように調製したマウスを用いてMSG単独溶液とMSG+酸化AA水抽出物それぞれに対する10秒間のリック数を計測することでMSG溶液に対する味覚を介した感じ方を実験した。その結果をFig. 3に示した。マウスはMSG+酸化AA水抽出物に対して、MSG単独溶液の時に比べ、より低濃度のMSG溶液に対してリック数を大きく減少させた。このことは、マウスが酸化AA水抽出物

とMSGの混合時にMSG単独時に比べてより低濃度でMSGの味を味覚感知できたことを示しており、AAの酸化生成物がマウスのMSGに対する味覚感受性を増強させることが示唆された¹⁴⁾。このような酸化AA水抽出物が味物質に対するマウスのリックングに及ぼす影響は、MSGのうま味の他に塩酸キニーネの苦味¹⁷⁾やショ糖の甘味^{18, 19)}といった他の味質に対しても確認され、酸化AA水抽出物がこれらの味覚感受性も増強させることが確認された。また、酸化AA水抽出物を含んだ試料をマウスの舌に供した際の味神経の1つである鼓索神経の電気的な応答を測定することにより、酸化AA水抽出物が味覚受容に及ぼす影響を解析したところ、酸化AA水抽出物自体をマウスの舌に供した際に鼓索神経は応答しなかったものの、0.1 M MSGに対して酸化AA水抽出物の共存時には、MSG単独時の応答より有意に増大し (Fig. 4), 鼓索神経が酸化AA水抽出物によるMSG味覚感受性増強の情報を中枢に伝える役割を担っていると推察された。これらの結果はAAの酸化生成物が、味物質に対する味覚感知にも影響することが示唆され、前述のヒトでの官能評価において酸化AA水抽出物が醤油溶液やMSG溶液のうま味等の味を強めた要因の1つとしてAAの酸化生成物が、香り成分と

Fig. 4 MSG味覚感知に及ぼす酸化AA水抽出物の影響¹⁵⁾
(左) MSG溶液に対するマウスのリックングに及ぼす酸化AA水抽出物の影響 n=5, aとbを付した値の間に有意差あり (p<0.01)
(右) MSG溶液に対するマウス鼓索神経応答に及ぼす酸化AA水抽出物の影響

Fig. 3 高度不飽和脂肪酸酸化物の醤油希釈液への添加効果⁴⁾ 酸化LA水抽出物添加時を標準とした5段階評価法

してだけでなく、その食品に含まれる味物質に対する味覚感知にも影響したと推察された。

更に酸化 AA 水抽出物に含まれる味覚に影響を及ぼす成分について検討した。酸化 AA 水抽出物に含まれる成分を分析したところ、ヘキサナールが最も多く含まれていたことから、MSG 溶液に対するマウスのリッキングに及ぼすヘキサナールの影響を前述と同様の方法で検証した結果、ヘキサナールが酸化 AA 水抽出物に含まれる味覚感受性に影響を及ぼす成分の 1 つであると示唆された¹⁷⁾。ヘキサナールは一般的な植物油脂を構成する脂肪酸の 1 つであるリノール酸等を加熱した際にも生成される²⁰⁾ことから、ヘキサナールによる MSG に対する味覚感受性の増強効果は AA の酸化生成物中でのみに見られる特有の効果ではないかもしれない。しかし、油脂の一般的な酸化生成物の 1 つで臭い成分でもあるヘキサナールが、それを含む食品の食味性に味覚を通じてその味の感じ方にも影響したことは興味深い事象である。

3 おわりに

豚肉を揚げた後のコーン油で調理した食品の美味しさや比内地鶏の美味しさの要因の 1 つが AA であることは、元々食品中に含まれる AA がその食品中で美味しさの発現に関与していることが示されている。また、AA を植物油脂に添加して調理に使用することで食品の味が向上することや、AA を食用鶏に給餌することで鶏肉の味を向上させられることは、AA が食品の美味しさを向上させる調味素材として利用が可能であることが示されている。更に、AA やその関連物質を食品中に少量添加することで、食品のコクや塩味、甘味を増強させたことは、AA やその関連物質が減脂、減塩、減糖等といった健康面をコンセプトとした食品素材として応用できることが見込まれる。AA およびその関連物質による食品の美味しさに関わるメカニズムの更なる追求によって、より美味しく健康的な食品の創出に役立つ有意義な知見が得られ、食品開発技術の発展につながることが期待される。

文 献

- 1) 万倉三正, 鹿山 光, AA, EPA, DHA-高度不飽和脂肪酸(鹿山 光編) pp207-22, 恒星社厚生閣(1995).
- 2) 食品成分研究調査会編, 五訂日本食品成分表, pp372-403, 医歯薬出版株式会社(2001).
- 3) 清水 昌, 桜谷英治, 小川 順, オレオサイエンス, **3**, 129-146 (2003).
- 4) 清原玲子, 山口 進, 潮 秀樹, 下村道子, 市川朝子, 日本調理科学会誌, **42**, 294-299 (2009).
- 5) 太田静行, 湯木悦二, フライ食品の理論と実際, pp22-38, 幸書房(1989).
- 6) Fujimura, S., Muramoto, T., Katsukawa, M., Hatano, T. & Ishibashi, T., *Anim. Sci. Technol.* **67**, 541-548 (1994).
- 7) Rikimaru, K. & Takahashi, H., *J. Appl. Poult. Res.*, **19**, 327-333 (2010).
- 8) Kiyohara, R., Yamaguchi, S., Rikimaru, K. & Takahashi, H., *Poult. Sci.*, **90**, 1817-1822 (2011).
- 9) Takahashi, H., Rikimaru, H., Kiyohara, R. & Yamaguchi, S., *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* (in press) (2012).
- 10) Khan, N. A. & Besnard, P., *Biochem. Biophys. Acta.*, **1791**, 149-155 (2009).
- 11) 伏木 亨, 日本栄養・食糧学会誌, **63**, 61-68 (2010).
- 12) Oike, H., Wakamori, M., Mori, Y., Nakanishi, H., Taguchi, R., Misaka, T., Matsumoto, I. & Abe, K., *Biochem. Biophys. Acta.*, **1761**, 1078-1084 (2006).
- 13) Yoshida, R., Ohkuri, T., Jyotaki, M., Yasuo, T., Horio, N., Yasumatsu, K., Sanematsu, K., Shigemura, N., Yamamoto, T., Margolskee, R. F. & Ninomiya, Y., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **107**, 935-939 (2010).
- 14) 太田静行, 油脂食品の劣化とその防止, pp34-72, 幸書房(1985).
- 15) 山口 進, 清原玲子, 田島郁一, 篠田 明, 岩永大吾, 潮 秀樹, 毛利健太郎, 美味技術研究会誌, **16**, 17-23 (2010).
- 16) 坂井信之, 日本味と匂い学会誌, **16**, 171-178 (2009).
- 17) Yamaguchi, S., Fujiwara, H., Tashima, I., Iwanaga, D. & Ushio, H., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 1884-1890 (2010).
- 18) Iwanaga, D., Tanaka, M., Yamaguchi, S., Nagasaka, R. & Ushio, H., 第31回日本分子生物学会・第81回日本生化学会合同大会, 2P-0971 (2008).
- 19) Yamaguchi, S., Shiramasa, H., Tashima, T., Matsuzaki, N., Iwanaga, D., Shinoda, A. & Ushio, H., 第31回日本分子生物学会・第81回日本生化学会合同大会, 2P-0972 (2008).
- 20) Ullrich, F. & Grosch, W., *Z. Lebensm. Unters Forsch.*, **184**, 277-282 (1987).