

「アラキドン酸」による食品の美味しさ向上効果

山口 進*

Susumu Yamaguchi

油脂自体は匂いや味を感じないにもかかわらず、油脂を添加あるいは油で調理した食品は、味わいが格段に増すことは経験的によく知られている。その逆に低カロリー化等を目的とした油脂量を減らした食品に物足りなさが感じられることは、食品の美味しさに油脂が重要な役割を担っていることを示している。食用油脂としては、ラードやタローなど原料を動物に由来するものや、サラダ油として知られる大豆油やキャノーラ油、綿実油など植物に由来するものが主に使用されており、その原料の違いによって特有の風味を有することから、調理人によって油脂それぞれの風味や物性の特性をうまく利用して調理に利用している。我々は食品の美味しさに係わる各種油脂の特性を検討する中で、長鎖高度不飽和脂肪酸の1つであるアラキドン酸に食品の美味しさを向上させる効果があることを確認した。このアラキドン酸による食品の美味しさに及ぼすメカニズムを検証する中で、油脂の酸化により生成する物質が食品の味の感じ方に味覚を介して影響を及ぼしていることを示唆する結果が得られた。本稿ではこれらの研究成果について紹介したい。

1. アラキドン酸について

アラキドン酸(以下 AA)は油脂を構成する脂肪酸の一種で20個の炭素と4つの二重結合を有し(図1)、通常の植物油脂には含まれず、肉類や卵、魚介類等の脂質中に含まれていることで知られている。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⁾。同じ高度不飽和脂肪酸であるエイコサペンタエン酸(EPA)やドコサヘキサエン酸(DHA)は魚油をその主な供給源として古くから利用されてきた

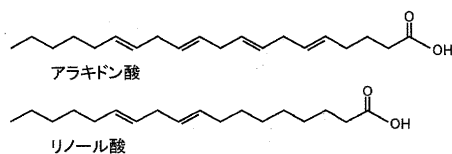


図1. アラキドン酸とリノール酸の構造

が、AAに関しては動植物由来の実質的な供給源はなかった。近年、AAの供給源として微生物発酵によるAAを豊富に含んだ油脂の製造方法が確立され²⁾、「アラキドン酸含有油脂」として実用化されるに至っている。従来、AAの食品への主な利用例としてはAAが母乳に含まれ、乳幼児の発育に重要な栄養成分であることから乳児用粉ミルクへの配合が主な利用用途であり、上述の微生物由来のAA含有油脂は欧米等でその原料として広く利用されている。しかし、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はこれまで行われていなかった。

2. アラキドン酸による食品の美味しさに及ぼす影響

1) アラキドン酸含有油脂で調理した食品の美味しさ

AA含有油脂を調理する際に使用することによって食品をより美味しくすることができた。1%に満たない量のAA含有油脂を添加した植物油脂で調理した炒め物(炒飯)や揚げ物(牛肉コロッケ)および汁物(野菜スープ)の食味性を植物油脂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図2³⁾に示した。AA含有油脂を添加した植物油脂で調理した炒飯や野菜スープは、AA無添加の通常植物油脂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を添加した植物油脂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³⁾。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⁴⁾、AAを添加した油脂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、従来の植物油脂にはみられなかった機能が付与された。

2) 比内地鶏の美味しさにおけるアラキドン酸の影響

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⁵⁾。RikimaruとTakahashi⁶⁾は比内地鶏の美味しさを研究する中で、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

* 株式会社J-オイルミルズ 油脂開発研究所
(J-Oil Mills, Inc. Oils and Fats R&D Laboratories)

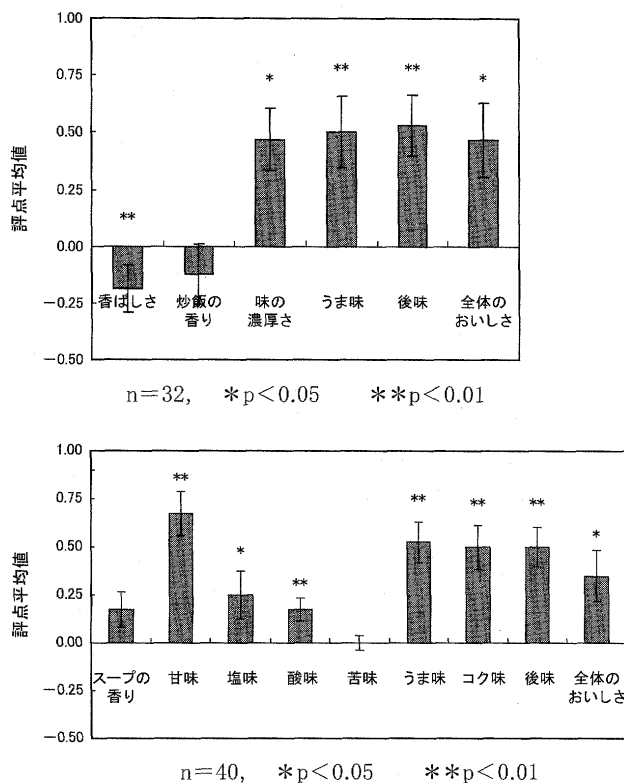


図2. AA添加油脂で調理した食品の官能評価
AA含有油無添加油を標準とした5段階評価法
炒飯(上段)と野菜スープ(下段)

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がプ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、その肉の味を比較することを検討した。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)を添加した餌をそれぞれ給餌し、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等量であるものの、AAを多く含有する鶏肉を得ることができた(表1)。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。図3にコーン油給餌区とAA含有油脂給餌区で得た比内地鶏肉の官能評価結果を示した。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、有意に「うま味」や「コク」、「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⁷⁾。評価したスープについて、含まれる塩分、グルタミン酸およびイノシン酸含量を測定したところ、塩分とグルタミン酸含量は3試験区間で差が見られなかった(表1)。イノシン酸含量はAA含有油脂給餌区で若干高かったがイノシン酸とグルタミン酸の相互作用を考慮したうま味強度⁸⁾を計算した結果、各区のうま味強度差は1%以下となり、一般に言われているうま味強度の弁別域(21%)を大きく下回るものとなった。このことは、官能評価で検出されたAA含有油脂給餌区の鶏肉が他油種の給餌区よりもうま味が強まった現象はグルタミン酸やイノシン酸といったうま味成分で説明することは困難であると考えた⁷⁾。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、また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。

3. アラキドン酸の美味しさ発現機構

このようにAAを添加した油脂で調理した食品やAAを多く含む比内地鶏は、うま味や後味などの“味”の感じ方を強め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^{9,10)}、植物油脂に少量の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。それではAAはなぜ食品の味を強め、その美味しさに関与する効果があるのであろうか。その手掛かりとなるような研

表1. 各油脂を添加した飼料で飼育した比内地鶏肉の成分分析結果

項目	パーム油区	コーン油区	アラキドン酸含有油区
水分(%)	74.1±2.9	71.0±0.7	71.7±0.4
粗脂肪(%)	7.3±0.6	7.5±0.8	6.5±0.5
塩分(%)	0.79±0.0	0.81±0.0	0.80±0.0
グルタミン酸含量(mg/100 ml)	119.0±1.1	123.0±0.8	116.0±2.7
イノシン酸含量(μg/100 ml)	547.0±3.9	546.0±2.0	560.0±2.1
アラキドン酸含量(mg/g)	0.92±0.03 ^b	0.81±0.05 ^b	2.16±0.19 ^a

異符号間に有意差あり(p<0.05)

水分、粗脂肪、アラキドン酸含量は、鶏肉中の濃度

塩分濃度、グルタミン酸濃度、イノシン酸濃度は、官能評価に用いたスープ中の濃度

Kiyoharaら⁷⁾より改変

「アラキドン酸」による食品の美味しさ向上効果

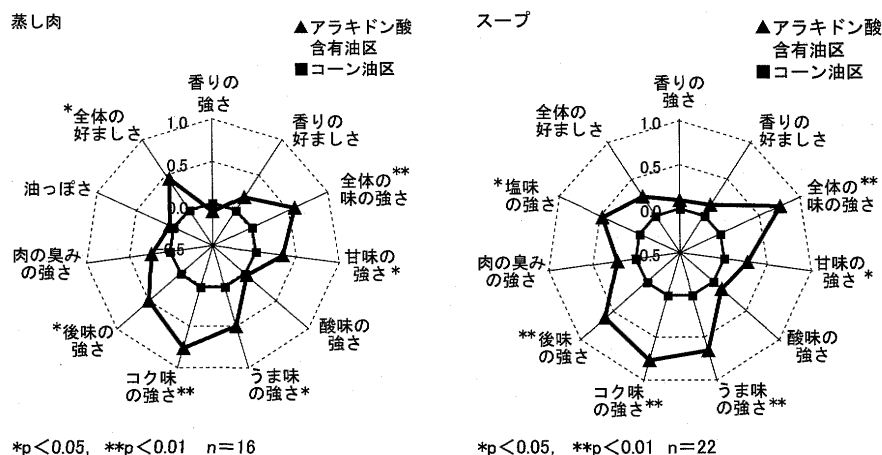


図3. 各油脂を給餌した比内地鶏肉の官能評価
 コーン油給餌区を標準としたアラキドン酸給餌区の5段階評価法
 左: 蒸し肉, 右: スープ

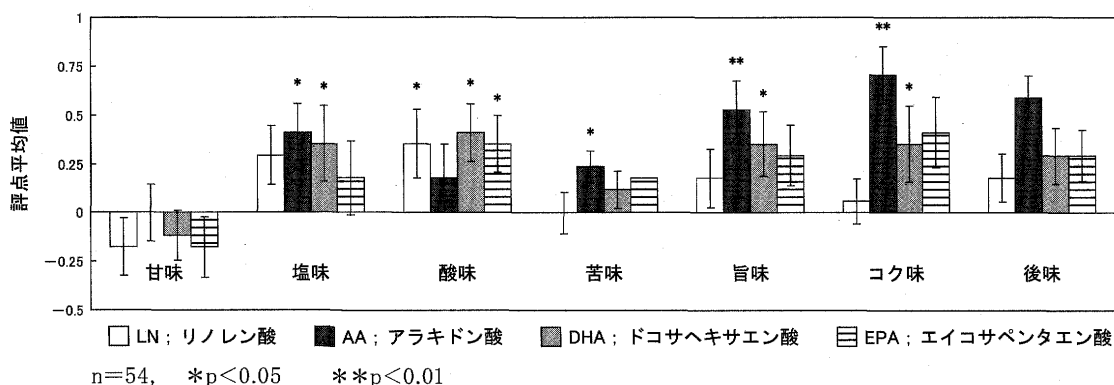


図4. 長鎖高度不飽和脂肪酸酸化物の醤油希釈液への添加効果
 酸化LA水抽出物添加時を標準とした5段階評価法

究としては細胞レベルの実験でAAが甘味、うま味、苦味といった基本味物質に対する味覚感知に関与することが示唆されており¹¹⁾、AAを添加した食品の味がより強く感じられる効果は、食品中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。

4. 油脂の酸化生成物が食品の味に及ぼす影響

油脂は調理時の加熱により構成する脂肪酸が酸化され、様々な成分が生成される¹²⁾。AA含有油脂を添加した油脂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の加熱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。方法として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時間加温し酸化させた。得られた各脂肪酸酸化物に1,000倍量の水を加えて攪拌後、遠心分離によって各脂肪酸から生成した成分を水相部に水抽出物の形で未酸化の脂肪酸と分離し、実験に用いる試料とした。

脂肪酸酸化生成物による食品の味への影響の検証は以下の実験を行った。対象とする食品として醤油の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それぞれの酸化生成物の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水の味強度を対照とし、官能評価で比較した。その結果、図4³⁾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」を強める結果となり、特に酸化AA水抽出物を添加したものは最も顕著に「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0.01MのMSG溶液のうま味は0.01MのMSG単独溶液よりも有意に強いと評価された¹³⁾。このように、脂肪酸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。

5. 油脂の酸化生成物が味物質の味覚感知に及ぼす影響

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¹²⁾。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¹⁴⁾、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つと推察される。しかし、我々はAA等の油脂酸化生成物を含んだ食品を試食した時の味の感じ方から、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。しかしヒトでの官能評価では食品の味の感じ方が嗅覚への影響によるのか、味覚に影響しているのかを識別することは難しい。そこで油脂酸化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。マウス等の舌に味成分を供して刺激を与えた時の味覚神経の電気的な応答を測定することは、その味成分を味覚感知した強さを定量的に測定する方法として一般的である¹⁵⁾。この手法を用いて油脂酸化生成物を含んだ試料をマウスの舌に供した際の味覚神経の1つである鼓索神経の応答を測定することにより、油脂酸化生成物が味覚受容に及ぼす影響を解析した。また、味覚神経を介した電気信号としての味情報は中枢で味の質や強さといった感覚に変換され、嗜好や味覚経験に対応した反応や行動として現われるが、これを定量的に測定する方法が行動学的実験手法である^{15,16)}。ここでは嗅覚の麻痺したマウスが油脂酸化生成物を含む試料を舐める回数(リック数)を計測するリッキングテストによって、油脂酸化生成物が味覚を介してどのように食品の味の感じ方に影響するのかを検証した。

1) アラキドン酸化生成物がマウスの味覚感受性に及ぼす影響

前述したようにAAの存在により、その味の感じ方が強まったMSGを味覚で感知する際のAA酸化生成物の影響を検証した。実験に用いたマウスはAA酸化生成物の香りによる影響を排除すべく硫酸亜鉛で鼻腔を灌流することで嗅覚を麻痺させた。また、マウスは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¹⁶⁾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。その結果を図5¹³⁾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。なお、酸化AA水抽出物に対するマウスのリック数は蒸留水と同様であり、酸化AA水抽出物自体をマウスは忌避しなかった。このことは、マウスがAA酸化生成物とMSGの混合時にMSG単独時に比べ

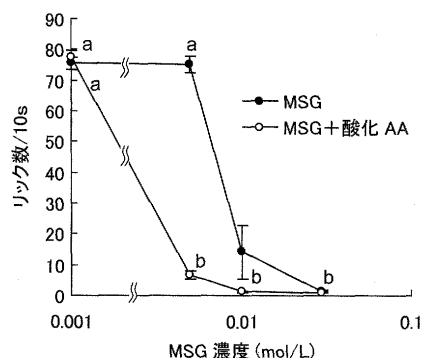


図5. MSG味覚感知に及ぼす酸化AA水抽出物の影響
n=5, aとbを付した値の間に有意差あり。(p<0.01)

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¹³⁾。次に、AA酸化生成物がMSGに対するマウスの味覚神経応答に及ぼす影響を実験した。その結果、酸化AA水抽出物自体をマウスの舌に供した際には鼓索神経の応答はみられなかったが、0.1 M MSG+酸化AA水抽出物を供した際の鼓索神経の応答は0.1 M MSG単独時に比べ有意に増大した¹³⁾。この結果は先のリッキングテストでAA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た結果を支持し、また鼓索神経がAA酸化物によるMSG味覚増強情報を中枢に伝える役割を担っていると推察された。なお、AA酸化生成物の味物質に対する増強効果としては、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する味覚感受性も増強させることが同様の実験で確認されている。これらの結果はAA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を示唆しており、前述のヒトでの官能評価においてAA酸化生成物が醤油溶液やMSG溶液のうま味等の味を強めた要因の1つとしてAA酸化生成物が、香り成分としてだけでなく、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。

2) ヘキサナールがMSGの味覚感受性に及ぼす影響

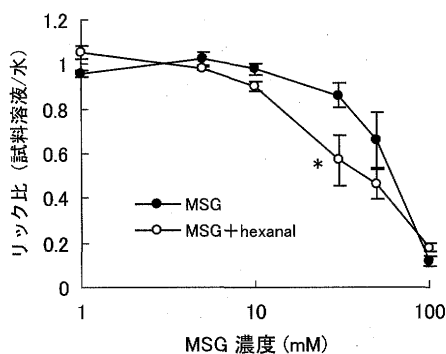
更にAA酸化生成物に含まれる味覚に影響を及ぼす成分について検討した。これまでの実験と同条件で調製したAA酸化生成物中に含まれる成分をGC-MSにより分析したところ、ヘキサナールが最も多く含まれており(表2)¹⁷⁾、実験に用いた酸化AA水抽出物中に含まれるヘキサナールの濃度は100 μMと算出された。そこでヘキサナールによるマウスのMSGに対する味覚感受性への影響を検証すべく、前述と同様の方法でMSG単独もしくはMSG+100 μMヘキサナールに対するマウスのリック数を測定したところ、MSG+100 μMヘキサナールに対して、MSG単独溶液の時に比べてより低濃度のMSG溶液でリック数を大きく減少させ、ヘキサナールがマウスのMSGに対する味覚感受性を増強させることが確認された

「アラキドン酸」による食品の美味しさ向上効果

表2. 酸化AA中に含まれる各成分の含量

成分	mg/200 mg 酸化AA
Hexanal	2.05±0.18
1-Octen-3-ol	0.18±0.01
2,4-Decadienal	1.51±0.07
2-Pentylfuran	tr
trans-2-Octenal	tr
trans-2-Nonenal	tr
AA Etyl ester	176.16±1.56

tr: トレース

Yamaguchiら¹⁷⁾より改変図6. MSG味覚感知に及ぼすヘキサナールの影響
n=9, *p<0.01

(図6)¹⁷⁾。この結果からヘキサナールがAAの酸化生成物中に含まれる味覚感受性に影響を及ぼす成分の1つであると考えられた。

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。AAによる味の向上効果のメカニズムの解明には更なる検討が必要であろう。しかし、香気成分としても知られる油脂の一般的な酸化生成物の1つであるヘキサナールが、それを含む食品の食味性に嗅覚を介した香りとして影響するのみでなく、味覚を通じてその味の感じ方にも影響したことは従来知られていなかった事象である。油脂は酸化されることで多くの成分を生成するが、ヘキサナールの他にも同様の効果を発現する成分があるのか、またヘキサナールがどのようなメカニズムで味覚に作用するか等については今後の研究課題と考える。

5. おわりに

食品の中で油脂が果たす役割は、食感等の物性面での寄与や加熱調理時の熱媒体としての機能が主と考えられてきたが、今回紹介した食品中に微量に添加したAAが、食品の味を感じる上で直接的に味覚に作用し、味の感じ方を増強することが示された知見は油脂を調味的な用途にも積極的に活用できる可能性が示されたと考える。また、検討の中で見出された、油脂の酸化生成物や、その中でも一般

的な成分であるヘキサナールがヒト等にとって嗜好性の高い味質であるMSGのうま味成分に対する味覚感受性を向上させたことは、油脂の酸化生成物がこれまで考えられていたように劣化臭の発現¹²⁾といった食品の美味しさの上ではネガティブな要因であるだけでなく、適量が食品中に含まれる上では食品の美味しさを向上させる役割も果たしている可能性が考えられる。AAによる食品の美味しさ向上機能やそのメカニズムの更なる追求によって、食品の美味しさに果たす油脂の役割を解析する上でも有意義な知見が得られ、また食品をより美味しくする技術の発展につながる事が期待される。

文献

- 1) 万倉三正, 鹿山 光 (1995), AA, EPA, DHAの生理機能と利用, 「AA, EPA, DHA—高度不飽和脂肪酸」, 鹿山 光編, 恒星社厚生閣, 東京, pp 207-224
- 2) 清水 昌, 桜谷英治, 小川 順 (2003), 機能性脂質の微生物生産—アラキドン酸関連高度不飽和脂肪酸含有油脂および共役脂肪酸の生産を中心にして—, オレオサイエンス, **3**, 129-146
- 3) 清原玲子, 山口 進, 潮 秀樹, 下村道子, 市川朝子 (2009), アラキドン酸の油脂調理食品への添加効果, 日本調理科学会誌, **42**, 294-299
- 4) 太田静行, 湯木悦二 (1989), 揚油の種類と特性, 「フライ食品の理論と実際」, 幸書房, 東京, pp 22-38
- 5) S. Fujimura, T. Muramoto, M. Katsukawa, T. Hatano and T. Ishibashi (1994) Chemical analysis and sensory evaluation of free amino acids and 5'-inosinic acid in meat of Hinai-dori, Japanese native chicken: Comparisons with broilers and layer pullets. *Anim. Sci. Technol.* **67**, 541-548
- 6) K. Rikimaru and H. Takahashi (2010), Evaluation of the meat from Hinai-jidori chickens and broilers: Analysis of general biochemical components, free amino acids, inosine 5'-monophosphate, and fatty acids. *J. Appl. Poult. Res.*, **19**, 327-333
- 7) R. Kiyohara, S. Yamaguchi, K. Rikimaru, and H. Takahashi (2011), Supplemental arachidonic acid-enriched oil improves the taste of thigh meat of Hinai-jidori chickens. *J. Appl. Poult. Res.* (in press)
- 8) S. Yamaguchi (1967) The synergistic taste effect of monosodium glutamate and disodium 5'-inosinate. *J. Food Sci.*, **32**, 473-478
- 9) N. A. Khan and P. Besnard: (2009) Oro-sensory perception of dietary lipids: New insights into the fat taste transduction. *Biochem. Biophys. Acta.*, **1791**, 149-155
- 10) 伏木 亨 (2010), 食嗜好とエネルギー消費を基盤とした食品健康科学研究, 日本栄養・食糧学会誌, **63**, 61-68
- 11) H. Oike, M. Wakamori, Y. Mori, H. Nakanishi, R. Taguchi, T. Misaka, I. Matsumoto and K. Abe (2006) Arachidonic acid can function as signaling modulator by activating the TRPM5 cation channel in taste receptor cell. *Biochem. Biophys. Acta.*, **1761**, 1078-1084
- 12) 太田静行 (1985), 油脂の保存中に発現するにおい, 「油脂食品の劣化とその防止」幸書房, 東京, pp 34-72
- 13) 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 (2010), アラキドン酸酸化生成物の

- 哺乳類のMSG味覚感知に及ぼす影響, 美味技術研究会誌, **16**, 17-23
- 14) 坂井信之 (2009), 食における学習性の共感覚, 日本味と匂い学会誌, **16**, 171-178
- 15) 山本 隆, 志村 剛, 裕 哲崇, 八十島安伸, 坂井信之 (1993), 味覚の行動科学的・認知神経科学的実験法について, 大阪大学人間科学部紀要, 179-203
- 16) 乾 賢 (2001), ラットを用いた味覚の行動学的実験法, 日本味と匂い学会誌, **8**, 209-214
- 17) S. Yamaguchi, H. Fujiwara, I. Tashima, D. Iwanaga and H. Ushio (2010) Effect of oxidized arachidonic acid and hexanal on the mouse taste perception of bitterness and umami. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 1884-1890
- 18) D. Iwanaga, M. Tanaka, S. Yamaguchi, R. Nagasaka and H. Ushio. (2008) Mechanism for modification of mammalian taste sensation. 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
- 19) S. Yamaguchi, H. Shiramasa, I. Tashima, N. Matsuzaki, D. Iwanaga, A. Shinoda and H. Ushio. (2008) Effect of oxidized oil on mammalian taste perception. 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
- 20) F. Ullrich and W. Grosch (1987) Identification of the most intense volatile flavour compounds formed during autoxidation of linoleic acid. *Z. Lebensm. Unters Forsch.*, **184**, 277-282