

メディアミルクセミナー

主催:社団法人 日本酪農乳業協会 <http://www.j-milk.jp/>

セミナー事務局 (株)トークス内 〒102-0074 東京都千代田区九段南4-8-8日本YWCA会館
TEL(03)3261-7715・FAX(03)3261-7174

No.28

油脂のおいしさの科学

～食品をおいしくする脂肪の役割～

京都大学 農学研究科 食品生物科学専攻栄養化学 伏木 亨先生

乳脂肪を含め、油脂のおいしさは誰もが経験的に知っています。しかし、京都大学 農学研究科 食品生物科学専攻 食品健康科学講座 栄養化学分野教授の伏木亨先生によると、油脂をなぜおいしいと感じるのか、その全容はまだわかっていないとのこと。伏木先生が自身の研究を中心に油脂のおいしさの秘密を語ってくださいました。



プロフィール

伏木 亨 (ふしき・とる)

京都大学大学院 農学研究科 食品生物科学専攻栄養化学 教授。農学博士。1980年、京都大学大学院農学研究科博士課程修了。米イーストカロライナ大学医学部への留学、京都大学農学研究科助教などを経て、1994年より現職。食品・栄養化学、自律神経と食品・香辛料、運動と栄養の研究に取り組む。公益社団法人日本栄養・食糧学会評議員、日本味と匂学会運営委員、日本香辛料学会会長を務める。著書は「おいしさを科学する」(筑摩書房)、「コクと旨味の秘密」(新潮社)ほか多数。

油脂をおいしく感じる仕組みはまだよくわからない

「油脂はおいしい」ということは、みなさん実感されることと思います。実際、食品会社が商品のリニューアルなどで油脂を減らすと「コクが減った」という指摘が来ることがよくあります。ただ、なぜ油脂がおいしいのかはわかっていません。

牛乳は、3.6%程度の濃度で油脂が含まれている飲み物です。牛乳に含まれる乳脂肪は直径3～10ミクロンの脂肪球を脂肪球膜に包んだものです。この乳脂肪のおいしさは、食感から来るのか、独特の乳の香りとして嗅覚を刺激するのか、味わいがあるのか、エネルギーを充足することで満足感を与え、おいしいと感じさせるのか、今日はそのあたりのヒントになるお話をしたいと思います。

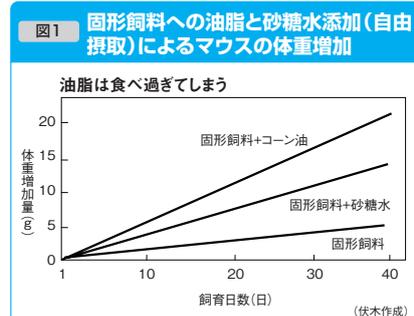
油脂はほんとうにおいしいのかは、動物実験で明らかにされています。図1はマウスの食餌に関する実験です。通常のエサである固形飼料で飼育すると1カ月で5g体重が増え、それ以上は増えないのですが、固形飼料に砂糖水を加えたとき、コーン油を加えたときには食べる量が増え、体重が増えていきます。油脂のおいしさには勝てないということです。

1970年代、私が学生だったころは、油脂のおいしさを表現するとすれば“柔らかい食感”のみでした。マグロのトロを想像していただくとわかると思います。

実は純粋で新鮮な油脂には味にもおいしくなく、あるのはトロとした舌触りだけです。それなのに料理に入るとおいしくなるというパラドックスがあります。古典的には“味覚”という言葉は味やにおいを指すので、油脂は味覚を刺激しているのではないということになります。また、スープのように液状のものに油脂を入れてもおいしいので、油脂のおいしさは柔らかい食感だけでは説明しきれません。

そこで、私は油脂のおいしさは味覚ではなくて、何か化学的な相互作用で脳を興奮させているのではないかと仮説を立てました。この仮説を証明するには、

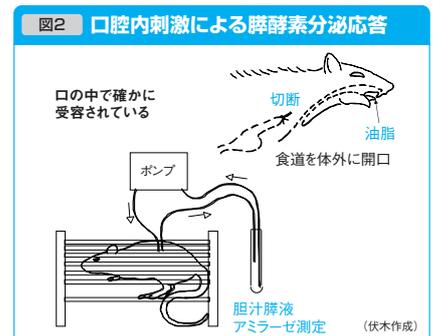
- ①舌が油脂を化学的に認識しているか (油脂が舌に受容されているか)
- ②油脂の受容体の探索
- ③油脂の摂取信号の脳への伝達を示す
- ④脳で興奮が起こっていることを示す
- ⑤動物行動学的な面からの興奮の観察を調べる必要があります。



油脂は舌の奥の方で認識され、脳に信号が伝わる

まず、舌が油脂を化学的に認識しているか(油脂が舌に受容されているか)を調べました。

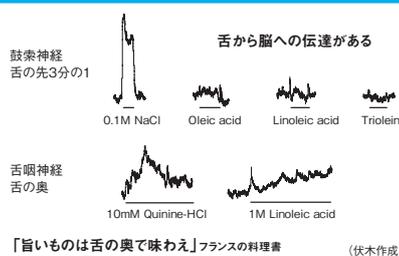
イヌにエサを与えてベルを鳴らすと、やがてベルの音だけで唾液や腺液が出る反射が起こる“パブロフのイヌの実験”をご存じでしょう。これは口や脳から唾液腺、腺臓へ神経がつながっていて、反射が起こることを示した実験です。私たちはこの実験を応用して、食道をカットしたラットに油脂を与え、腺臓から小腸に向かって消化酵素が出るかどうかを見ました(図2)。消化酵素が出れば、口から脳、脳から腺臓へ神経の伝達があったことになります。まず砂糖で試してみると、やはり消化酵素が上がり、この実験系が使えることが明らかになりました。そして、油脂で行うと消化酵素のアミラーゼ、リパーゼ、ラクターゼと胆汁、腺液がすべて上がりました。やはり



舌に油脂を化学受容する仕組みがあったのです。

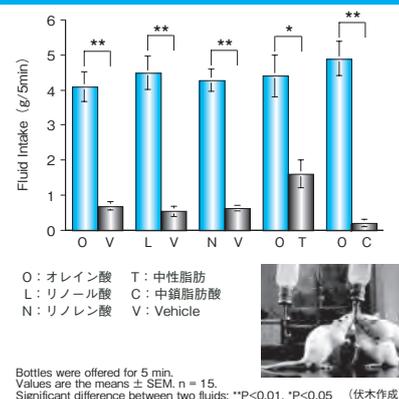
次に口で化学受容された油の情報が脳に伝わるかどうか調べました(図3)。味の情報が脳に伝わる神経経路には、大きく分けて、舌の前側3分の1くらいをカバーする鼓索神経と舌の奥の方をカバーする舌咽神経の2系統あります。鼓索神経を切断し、電極を付けて興奮を見ると、鼓索神経はどんな油を与えても応答しませんでした。一方、舌咽神経はリノール酸を1滴垂らすだけで信号が出ました。油脂は舌の真ん中から奥の方で受容され、信号を脳に伝えていました。フランスの料理書に「旨いものは舌の奥で味わえ」とありますが、実際に舌の奥から油脂の情報が伝わっているのは偶然ではないのかもしれない。

図3 ラット味覚神経応答



さらに口の中で油脂がどのようにキャッチされているかを知るために、2つの液体の瓶を置いて好みを詳しく調べる実験を行いました(図4)。使ったのは、水と食品に含まれている代表的な脂肪酸であるリノール酸・オレイン酸・リノレン酸で、この3つの脂肪酸はグリセリンと結合すると中性脂肪になります。中性脂肪は体の脂肪の98%を構成しています。実験の結果、水と脂肪酸では脂肪酸を好み、中性脂肪よりも脂肪酸を好みました。

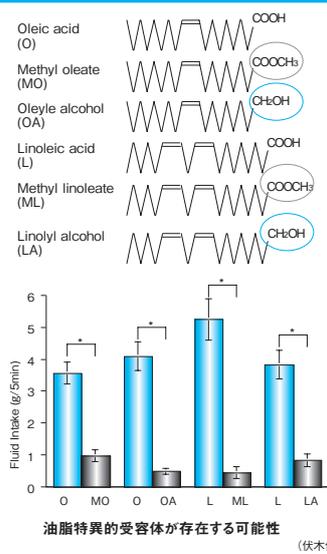
図4 実験動物は長鎖脂肪酸を選ぶ(2瓶選択実験)



これら3つの脂肪酸は炭素鎖長がある程度長い長鎖脂肪酸であることが共通で、

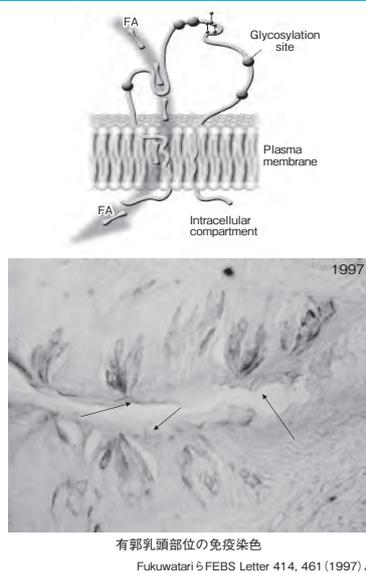
しかも末端にカルボキシル基(COOH)を持っています。カルボキシル基がメチル化される(CH₃が付く)とおいしさがなくなり、ラットは脂肪と認識しなくなります(図5)。このような特徴はラットの舌に油脂の分子が脂肪酸の形で認識されるためのきちんとしたセンサー(油脂受容体)があることを示しています。

図5 末端がアルコールやメチル化された脂肪酸を飲まない



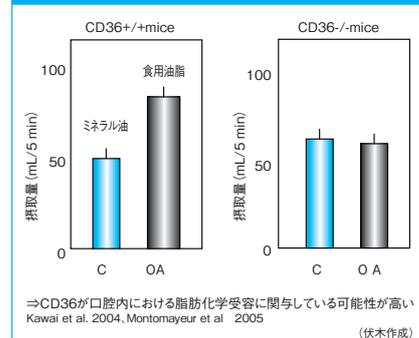
ただ、実際に油脂受容体はあるのかは決着していません。私たちは油脂受容体の候補として2つの物質を提示しました。1つは味を感じる細胞の表面にあり、脂肪酸と結合するタンパク質であるCD36です(図6)。舌には味を感じる味蕾細胞が集まった部分に溝があり、食べ物は溝に入って、味を感じる細胞と結合します。味蕾細胞

図6 油脂受容体候補 ラット舌上皮組織におけるCD36の発現



の集まりの先端を、CD36を感知する抗体で染めると茶色に染まります。つまり、食べ物が来る側に脂肪酸と結合するタンパク質があるということです。味蕾細胞だけを染めてもCD36があります。また、野生のマウスは食用の油脂を好みますが、遺伝子改変でCD36を発現しなくなるノックアウトマウスでは食用の油脂と食用でない油脂の両方を好きで区別が付きません(図7)。CD36は油脂の受容に関与している可能性が考えられます。

図7 CD36ノックアウトマウスは脂肪嗜好低下



もう1つは、味蕾細胞の細胞膜上にあるタンパク質GPR120です(図8、9)。小腸で見つかったGPR120は味蕾細胞の表面にもあり、甘みやうまみの受容体と同様、細胞膜を7回貫通した構造で、油脂と結合します。GPR120分子を実験的に味蕾細胞に多く発現させて、味蕾細胞が脂肪を感じると細胞内にカルシウムイオンの濃度が上がるようにしておくと、リノール酸・オレイン酸・リノレン酸で応答が上がるので、食物の油を認識しているように見えます。

ただ、CD36もGPR120もノックアウトマウスで完全に脂肪の嗜好性がなくなるわけではないので、恐らく多くの油脂受容体が油脂全体をカバーしているのだろうというのが私たちの結論です。油脂受容体の特定にはまだ時間がかかります。

図8 味蕾におけるGPR120の発現

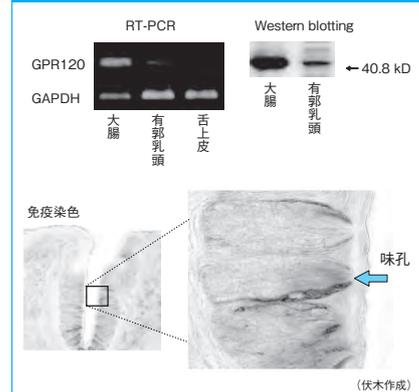
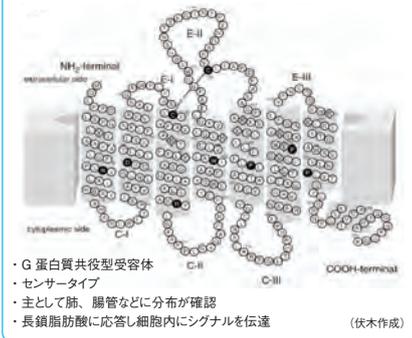


図9 もうひとつの受容体候補 GPR120



油脂を摂ると快感物質が出て、脳が興奮する

次に、油脂が脳を興奮させるかどうかを動物の行動実験で調べました(図10)。やみつきになるおいしさを評価する“条件付け場所嗜好性実験”で、白箱と黒箱が連結されている単純な装置に赤外線当て、マウスがどちらの箱に何秒いるかを調べます。1日目に白箱に油脂を入れ、翌日には黒箱に水、翌日はまた白箱に油脂と同じことを3回繰り返すと、ネズミは白箱は油脂、黒箱は水と学習します。4日目に何も無い白箱と黒箱で観察すると白箱の油脂に執着して、滞在時間が長くなります。この実験では、コーン油、サラダ油、大豆油、綿実油、オリーブ油と油脂の種類を問わず、最終日の白箱の滞在時間が上がりました(図11)。確かに脳が興奮している可能性が考えられます。

図10 やみつきになるおいしさを評価する。条件付け場所嗜好性試験(CPP法)

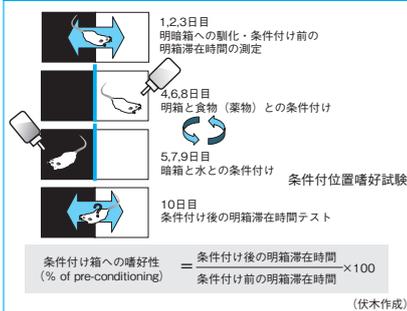
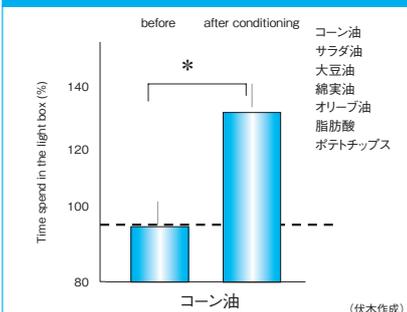
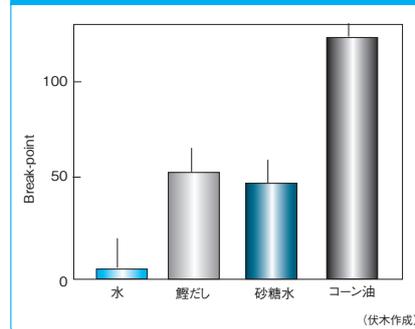


図11 3日で食用油脂にやみつきになる



また、レバーを押すとシャッターが開いて、油脂などのおいしい液体が1滴だけ出るような装置でもマウスの行動を観察しました。マウスは1滴では満足できないので、何度もレバーを押します。最初は1回か2回でシャッターが開き、その後、2回、4回、8回、16回と押さないとシャッターが開かなくて、ハードルを高くします。10分間で押した回数をブレイクポイントとすると、コーン油は約150回、20%砂糖水は約50回、饅だしは約60回になりました(図12)。

図12 限界までのレバー押し回数(Break-point)



1950年代にカナダの研究者たちがラットの頭に電極を入れて脳の働きを調べていたとき、中脳の腹側被蓋野から大脳皮質につながる神経の束に電極を入れるとラットが自分の頭を刺激して止めなくなることがわかり、この部分が快感を出していると考えられるようになりました。今では快感の手前の期待感を出しているといわれています。おいしい食べ物もここを刺激すると思われれます。この部分に関し、快感やおいしさを感じたときに出るドーパミン(オピオイド)の受容体を薬品を用いてブロックすると油脂への執着がなくなること(図13)。コーン油を与えると、同じく快感物質といわれるβ-エンドルフィン濃度が脳脊髄液や血液中で上がること(図14)からも、おいしさが脳の快感とつながっているのは間違いありません。

図13 ドーパミン・オピオイド受容体をブロックすると、油脂への執着が消える

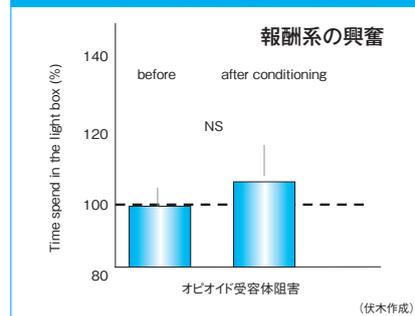
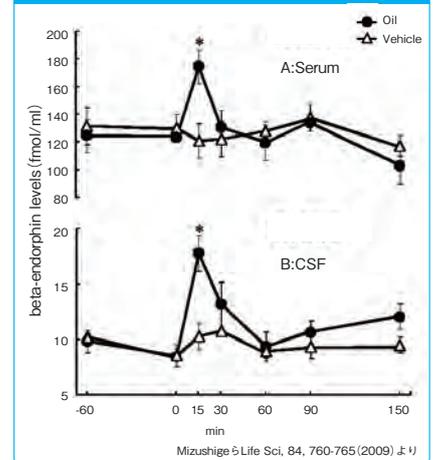


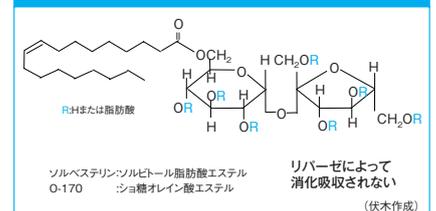
図14 コーンオイル摂取による血中・脳脊髄液中β-エンドルフィン濃度の変化



エネルギーがあることもおいしく感じる条件だった

油脂のエネルギーとおいしさの関係はどうでしょうか。油の分子の周りに脂肪酸を結合させた、消化されない=エネルギーとされないノンカロリーオイル(糖と脂肪酸のエステル)の一部は海外で市販されています(日本では油脂代替物としては認可されていません。ここで用いたソルビトール脂肪酸エステルも糖と脂肪酸のエステルで、市販されていない実験的に作られたものを使用しています)(図15)。コーン油とノンカロリーオイルをマウスに与えると1時間くらいは区別が付かないのですが、3時間5時間と経つうちに、ノンカロリーオイルに見向きもしなくなります(図16、17)。前述の“条件付け場所嗜好性実験”では、ノンカロリーオイルを置いた白箱の滞在時間が延びません。これらは生まれて初めて油脂を食べたマウスの行動で、通常は油脂を食べた3日で油脂にやみつきになりますが、ノンカロリーオイルでは3日間で白箱に執着することがなくなりました。ソルビトール脂肪酸エステルはマウスが好ましく感じて摂取しますが、図10で述べたようなやみつき感を評価する条件付け場所嗜好性試験ではやみつき行動がみられませんでした。これは、エ

図15 エネルギーのない既存の脂肪代替物



エネルギーがないため報酬効果がないと考えられるためです。

図16 しかし、数時間以内にマウスに好まれなくなる エネルギーが必須

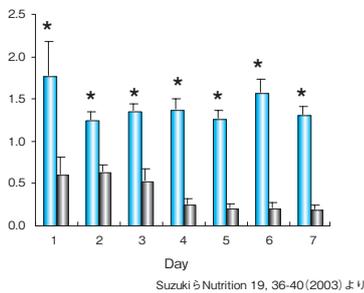
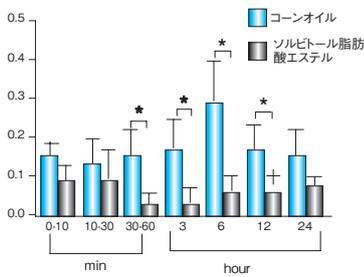
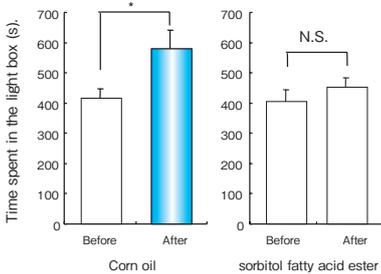


図17 ソルビトール脂肪酸エステルに対して報酬効果はみられない



嗜好性はあっても、カロリーがないと報酬効果は観察されない

Suzuki Nutrition 22, 401-407 (2006) より

別の実験で、マウスがノンカロリーオイルを食べた後に、胃の中にエネルギーのあるコーン油を加えました (図18)。そうするとマウスは今食べたノンカロリーオイルにエネルギーがあったように錯覚します。それを3日間繰り返すと、ノンカロリーオイルに執着

するようになります。外側からエネルギーを足すと、口で食べた物に執着するのです。

また、胃の中にコーン油の代わりに砂糖やグルコースを入れても、同様に口の中のノンカロリーオイルに執着します (図19)。つまり、口の中は油脂でなくてはならず、その化学受容が認識された信号が保たれていますが、胃の中はエネルギーさえあればいいということがわかりました。ただ、胃に入れる糖質はグルコースやガラクトースはOKですが、フルクトース (果糖) には同じ作用はありませんでした。これは血糖値を上げる作用か、消化酵素が作用するのかわかりません。

図18 口腔内刺激とカロリーの認識とは独立している

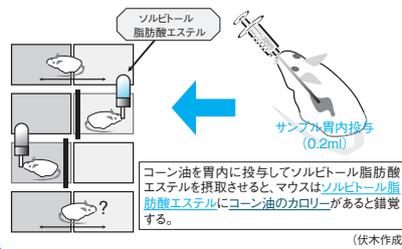
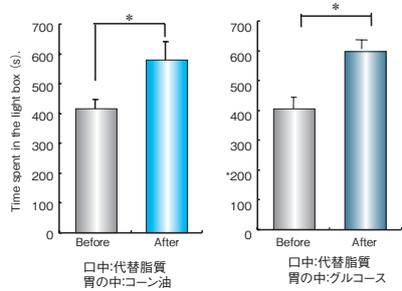


図19 胃の中に高カロリーを挿入すると代替脂質にやみつきになる



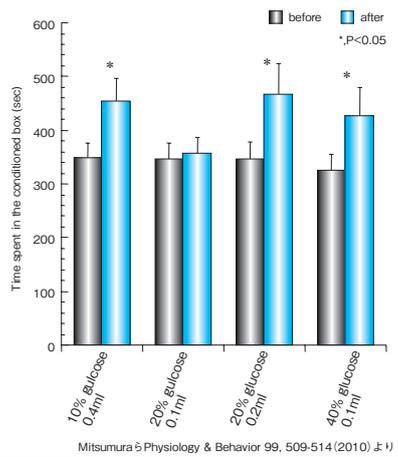
油脂のエネルギー部分は糖質に置き換えが可能である

Suzuki Nutrition 19, 36-40 (2003) より

一方、口から摂るエネルギー量を半分や4分の1にして、2倍や4倍食べさせるといように、トータルのエネルギー量を同じにして食べさせても満足しないことがわかっています。つまり、口の中は量ではなく、

定性的に認識します。ところが、胃の中では油脂でも糖質でも濃度×量のトータルとしてエネルギー量を認識します。例えば、胃に10%のグルコースを0.4cc入れたときや20%のグルコースを0.2cc入れたときには白箱・黒箱の滞在時間に差が出て執着していることがわかりますが、20%のグルコースで0.1 ccだと執着は起こりません (図20)。

図20 エネルギーは総量で認識されている



Mitsumura Physiology & Behavior 99, 509-514 (2010) より

このような結果から、油脂など食べ物のおいしさは口と胃の両方が決めていて、口から摂る分にはごく少量でも十分刺激になり、胃にはエネルギー量が必要だとわかりました。私たちは口に油脂が入ったことは認識しつつも、そのエネルギーの有無はわからないので、少量で十分おいしく感じる可能性が高いと考えられます。油脂のエネルギー量を減らし、その分は糖質やタンパク質に振り向けるといいでしょう。

煮物などの料理や小豆などの餡にほんの少量の油を入れるとぐっと味がよくなり、おかきやあられの少量のサラダオイルもおいしさを与えます。少量の油をうまく使う一方で、砂糖の替わりになる人工甘味料のような、低カロリーでおいしい新しい油脂の設計が今後期待されます。

用語集

* カルボキシル基 (COOH)

1 価の原子団 COOH を指す。この水素原子は水素イオンとして解離し、水素イオンを生じ酸性を示す。分子内にこの基をもつ化合物はカルボン酸と総称される。

* β-エンドルフィン

脳内で働く、神経伝達物質エンドルフィンのひとつ。鎮痛効果や気分の高揚、幸福感などが得られるため、脳内麻薬とも呼ばれる。

* CD36

CD36 (Fatty acid translocator, FAT とも呼ばれる) は Class B スカベンジャー受容体に属する膜貫通型の糖タンパクである。飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸、トロンボスポンジン、酸化 LDL など多様な分子と結合する。

* ノックアウトマウス

特定の遺伝子の機能を失わせた実験用マウス。

* GPR120

たんぱく質の1種で、脂肪酸と結合する作用がある。消化管や味蕾などに発現しており、油脂の利用と関係があると考えられている。