

植物に由来する他感物質などの生理活性二次代謝物質の植物化学調節剤としての利用

農業環境技術研究所 生物環境安全部化学生態ユニット 藤井 義晴

はじめに

特定の植物に含まれる固有の物質を二次代謝物質という。アルカロイド、テルペノイド、フラボノイド、色素、フェノール類等が含まれる。これらの物質は、アミノ酸、タンパク質、糖、脂質、核酸など、多くの生物に共通に存在し、その生命維持に必要な不可欠の要素を一次代謝物質と呼ぶのに対し、生命維持にとっては重要でない（二次的な物質）という意味であった。このような物質は、ほとんどが植物に含まれ、すでに1万種類以上が知られている。多くのものは、特定の時期に特定の組織で生産され、ときには大量に蓄積する。このような物質の存在意義は、これまで、老廃物であるとか、貯蔵物質であるとされてきたが、わざわざエネルギーをかけて生産する物質であり、貯蔵物質とするには複雑な物質が多いことから、疑問視されている。そこで、これらの物質は、昆虫や他の生物との相互作用において一定の役割を果たしているとする、「生化学的共進化」あるいはアレロパシー仮説が有力になっている。

すなわち、植物は、進化の途上で偶然ある生合成経路に変化をきたし、特異な成分が生成した。この成分が、昆虫や微生物や他の植物との競争や協同、あるいは環境との相互作用の上で有利に働き、結果的にその植物が生き残り、子孫が繁栄することになった結果、特定の植物

に、特定の二次代謝物質が特異的に含まれるようになった。すなわち、このような二次代謝物質は、外敵に対する自衛のための物質であったり、種の存続のための誘因物質であるとする仮説である。生物圏における物質循環の主役は、食物連鎖の結果できあがった生物群集であるが、このような生物群集は、アレロケミカルやフェロモンのような物質を用いて群集の防衛をはかったり、密度や秩序の維持をはかっていると考えられる。そこで、どのような植物に他感物質が多いかを論じたあと、その利用について概説する。

1. 他感物質などの特異な二次代謝物質は特定の植物に含まれる

1-1) 古い植物に含まれる：

一属一種として知られる植物には、特定の二次代謝物質（毒素）が含まれることが多い。例えば、イチョウ (*Ginkgo biloba*) は中生代（一億年以上前）に栄えた最も古い植物の生き残りであり、一属一種であるが、葉に植物生育阻害活性を含み、果肉にはかぶれ成分（ピロポール、Bilobol）を含んでいる。そのため、イチョウには病害虫が殆どみられない。また、スギ科には9属あるが、いずれも一属一種である。たとえばスギ (*Cryptomeria japonica*) は日本と中国の一部に自生するのみであるが、白亜期に栄えた

古い残存植物であるとされている。メタセコイア (*Metasequoia glyptostroboides*) は生きた化石として有名である。農環研では、これらの葉に、強い植物生長阻害物質が含まれることを明らかにした。イチイ (*Taxus cuspidate*) も起源を石炭期にさかのぼる古い植物であるが、抗ガン物質や特異なアルカロイドを含むことで有名である。ソテツ (*Cycas revolute*) は最も原始的な種子植物でシダ植物に近いとされるが、やはり一属一種であり、有毒成分 (サイカシン, Cycasin) が含まれている。このように、古い植物、化石植物が生き残る要因のひとつに、含まれる有毒成分の化学生態的な役割が推定される。1-2) 成長の遅い植物、弱い植物に含まれる

ナギ (*Podocarpus nagi*) は生長が遅い植物であるが、暖地の山中や神社の境内などで純林となり、林床に他の植物が少ない特異な群落を作ることによって知られる。大阪市立大学の目 (さかん) らのグループはこの植物からナギラクトンという植物生長阻害物質を発見している。最近、ナギラクトンとその誘導体には抗癌作用があることが報告されている (図-1)。

アカテツ科のアジャップ (*Baillonella toxisperma*) (現地名毒の木) は西アフリカに生える

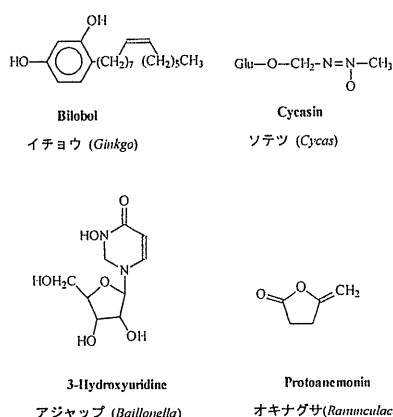


図-1 古い植物、生長の遅い植物に含まれる他感物質とその候補物質

生長が遅い樹木であるが、競争が激しい熱帯多雨林の中で純群落を形成して次第に勢力を広げていく。京都大学の大東らはこの植物から、新たな核酸系の植物生育阻害物質 (3-ヒドロキシウリジン, 3-Hydroxyuridine) を同定している。

オキナグサは、絶滅危惧植物であるが、農環研で植物に含まれるアレロケミカルを探索した結果、この植物に含まれるプロトアネモニン (*Protoanemonin*) が最も強い阻害物質であった。

このように、古い植物、生長が遅い弱い植物が、含まれる二次代謝成分の故に生き残ることがあり、このような場合、生物多様性を高めていると考えられる。生物多様性の高い地域は天然生理活性物質の宝庫であり、中米～南米にかけての地域、中国南部～東南アジア、アフリカの熱帯多雨林などに生育する植物から、生理活性のある二次代謝物質を単離して、農業や医薬品へ利用する研究が注目されている。

1-3) マメ科に多い非タンパク態アミノ酸

草食動物に対する抵抗性物質であったものがアレロパシーを持つに至ったのかどうか不明だが、両方の活性を持つものがあることは事実である。その例として、非タンパク態アミノ酸がある。例えば、必須アミノ酸であるチロシンの類縁体のドーパ、アルギニンのアナログであるカナバニン、プロリンに対するアゼチジン2-カルボン酸、アラニンのアナログであるベータシアノアラニンなどがある。

1-4) 植物にも含まれるエストロジェン等の動物ホルモン

近年、環境ホルモンとして注目されている、女性ホルモン (エストロジェン) 様活性をもつ合成化学物質や非意図的に生成する作用物質が注目されているが、植物にも、このようなエストロジェンと似た構造をもち、同様の作用をす

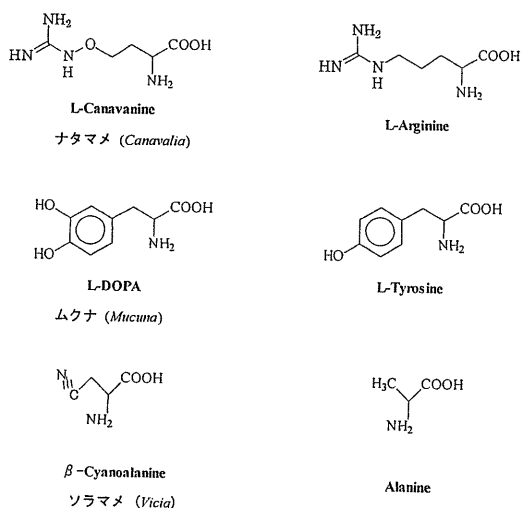


図-2 マメ科植物に含まれる非タンパク態アミノ酸(左)とタンパク態アミノ酸(右)

る物質が含まれている。このような物質は食品として経口摂取されることがあり、植物から環境中に放出される量は少ないものではない。一方、昆虫のホルモンが植物に含まれる例もある。このような物質の役割もまた、化学生態的に植物が動物や昆虫から身を守るための手段として働いているのかもしれない。

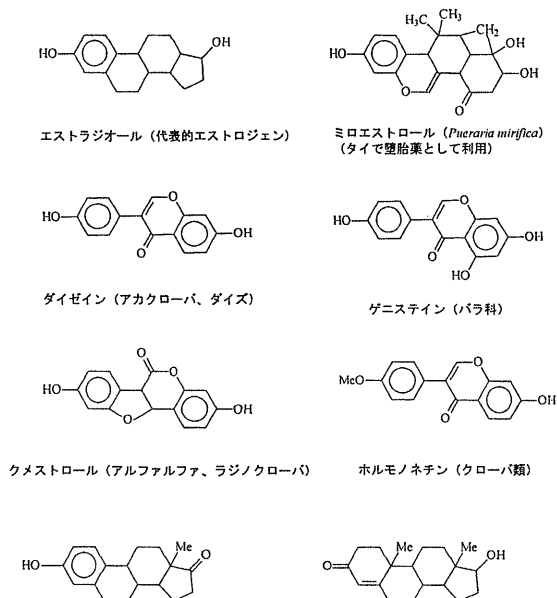


図-3 植物に含まれる環境ホルモン様物質

2. 植物由来の成分を新たな植物調節剤に

植物起源の生理活性物質が利用されているケースは極めて少ないとされるが、皆無ではない。

たとえば、外国では明治製菓が開発した、微生物由来の除草剤であるピアラホスに対する関心が高く、これが世界で唯一実用化された他感物質の事例であると報道されている。また、水田用除草剤であるモゲトンは、クルミの他感物質として同定された、ジグロンと構造が類似しており、偶然にしても、あるいは天然物にヒントを得て開発されたとしても興味ある物質である。また、古く、京都大学の武居らが発見し日本人が構造決定に貢献したことで知られるマメ科の植物に含まれる殺虫成分ロテノンは、現在も農薬として登録されている。

このほかにも、近年、植物から、合成化学物質よりも低濃度で活性のある生理活性物質が統

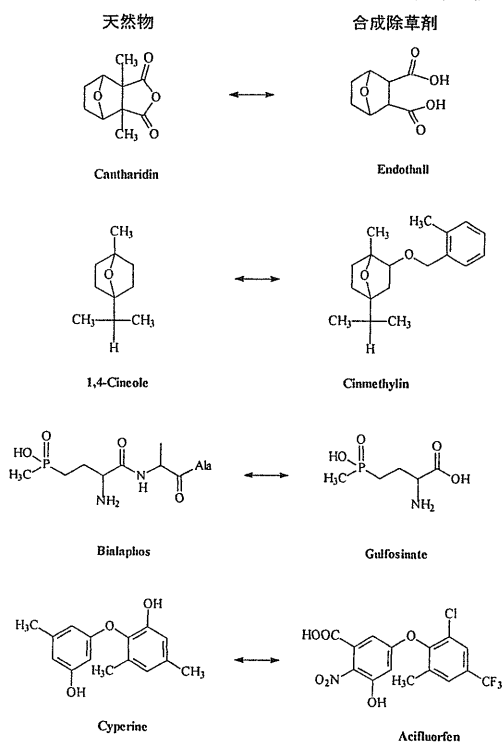


図-4 他感物質等の天然生理活性物質と構造的に類似の市販の除草剤

表-1 これまでに知られている除草剤と天然物の作用機構の比較

アミノ酸生合成系	天然物	合成除草剤
アセト乳酸合成酵素	——	あり(スルフォニルウレア)
アントラニル酸合成酵素	あり	あり
グルタミン合成酵素	あり	——
アスパラギン酸アミノ転移酵素	あり	——
オルニチンカルバミル転移酵素	あり	——
イミダゾールグリセロールリン酸デヒドラターゼ	——	あり
β -シスタチオナーゼ	あり	——
トランスアミナーゼ	あり	あり
光合成系	天然物	合成除草剤
P S II 電子伝達系	あり	あり
C F 1 A T P アーゼ	あり	——
P S I 電子拡散系	——	あり
ヒドロキシフェニルピルビン酸ジオキシゲナーゼ	あり	あり
脂質生合成系	天然物	合成除草剤
アセチル-CoAカルボキシラーゼ	——	あり
アセチル-CoAトランスアシラーゼ	あり	——
ファルネシルピロリン酸合成酵素	——	あり
3-オキソアシル-ACP合成酵素	あり	——
セラミド合成酵素	あり	——
オブツシフォリオール-14- α -メチルデメチラーゼ	——	あり
細胞分裂	天然物	合成除草剤
β -チューブリン集合系	あり	あり
セルロース合成系	——	あり
核酸合成系	天然物	合成除草剤
R N A ポリメラーゼ	あり	——
アデニルサクシネート合成酵素	あり	——
A M P デアミナーゼ	あり	——
イソロイシル-t-R N A 合成酵素	あり	——
色素合成系	天然物	合成除草剤
プロトポルフィリノーゲンオキシダーゼ	——	あり
フィトエンデサチュラーゼ	——	あり
A L A 合成酵素	あり	——
ビタミン合成系	天然物	合成除草剤
デヒドロプロテリン酸合成酵素	——	あり
細胞質膜機能	天然物	合成除草剤
プロトンA T P アーゼ	あり	——
N A D H オキシダーゼ	あり	——

々と発見されている。また、これらを元に合成された農薬もある。たとえば、1,8-cineoleはcinmethylin (シネオールから構造的に似た化合物として合成されたもの。Cinch登録商標)に、cyperineはacifluorfenに、bialaphos (明治製菓によって微生物から見いだされた除草活性を持つ物質で、すでにハービエースなどの商品名で実用化されている)はglufosinateに、cantharidinはendothallに構造が類似しており、類似の作用機構を持つと考えられる(図-4)。天然物の活性は、これまで、除草剤に用いられる合成化学物質に比べて活性が弱いと一般に考えられてきた。しかし、近年、合成除草剤よりも試験管内での活性では上回る活性を持つ天然物が発見されていることから、将来このような物質の利用が期待される。

3. 植物由来の物質から新たな作用機構を見出す

天然物には、これまでに知られている除草剤の作用経路以外の作用経路を持つものがある(表-1)。植物に特異的な生化学経路を阻害する天然物を利用すれば、更に安全性の高い除草剤を開発できるかもしれない。

4. 世界の動向と将来

現在の農業では、一般的には合成除草剤などの農薬の使用が不可欠である。しかし、近年になって、環境ホルモンなどとして知られる合成物質の環境や人間への影響や、これまで十分検討されてこなかった毒性や環境に及ぼす影響に関する消費者の関心が高まってきた。世界中の多くの国で、このような合成化学物質に関する再評価や規制が実施されている。アメリカ合衆国では、1996年に、「Food Quality Protection Act (FQPA), 食品の品質保護法」が制定され、カナダやその他の多くの国で同様の法律が制定

されている。この法律を受けて、アメリカ合衆国政府は、農務省の研究機関内に、天然物研究開発センターを新設した。この研究所は、これまで農務省の雑草研究の拠点の一つであった南部地域研究所を母胎に、天然物の研究拠点の一つであったミシシッピ州立大学に総工費1600万ドルをかけて建設されたという。ヨーロッパ、特にドイツでは、マックスプランク化学生態研究所が1998年に新設されて、100以上の研究員がいると聞いている。日本でも、2001年4月の国立研究機関の再編にともない、農業環境技術研究所内に、他感物質研究室が改組されて化学生態研究ユニットができる予定である。

植物毒素が、これを生成する植物自身に利益を与える一方で、植物が生産する二次代謝物質による、他の植物や動物の促進作用や有益作用も報告されている。生物間相互作用における天然の化学物質の役割についてはまだ分からないことが多い。幸い、近年の分析機器の発達によって、超微量の化学物質を単離同定できるようになってきた。遺伝子の理解も進んで、シロイヌナズナやイネやヒトのゲノム構造が解析されようとしている。ヒトのような高等動物では、精神的な面での相互のコミュニケーションが大きいが、このような手段を持たない昆虫や微生物や植物では、化学物質による生物間の相互作用が極めて重要である。今後、さらに生化学・分子生物学の手法を化学生態学に取り入れて、生物間相互作用に関与する物質が解明され、新たな植物化学調節剤として農業に役立つことが期待される。

参考資料

- 1) 沼田 真: 化学と生物 15, 412~418(1977)
- 2) ハルボーン著, 深海 浩, 高橋英一訳: 化

- 学生態学, 文英堂(1981)
- 3) Harborne, J.B. (1990) Bioactive Compounds from Plants, Ciba Foundation Symposium 154, 126~139
- 4) 古前 恒, 林 七雄: 身近な生物間の化学的交渉—化学生態学入門—, 三共出版 (1985)
- 5) ライス著, 八巻敏雄, 安田 環, 藤井義晴 訳: アレロパシー, 学会出版センター(1991)
- 6) 藤井義晴: 化学と生物 28, 471~478(1990)
- 7) 藤井義晴: 農業および園芸, 65, 835~840, 同, 945~948(1990)
- 8) 藤井義晴: 農業環境技術研究所報告 10, 115-218 (1994)
- 9) 藤井義晴: 農業技術, 50:199~204 (1995)
- 10) 藤井義晴: アレロパシー—他感物質の作用と利用—, 農文協 (2000)
- 11) 小清水弘一(1988): 「新編生理活性天然物質」柴田承二編, 医歯薬出版99~101(1998)
- 12) 水谷純也(1988); 高等植物における防御機構, 農化誌, 62, 983-985 (1988)

これから コレ!



ラウンドアップ ハイロード

スギナも
根まで
枯らす

雨に
強い

使い方、
高い安全性は
今までどおり

効果アップのひみつ

新・特許製剤により、活性成分の吸収量をアップ。吸収の速さもアップしたので、これまでと同じ使い方でも、むずかしい雑草にもよく効きます。さらに、散布後の雨にも強くなりました。

散布後3時間以上たったら大丈夫!

きちんと枯らすポイント

ラウンドアップハイロードは、一年生雑草には100倍、多年生雑草には50倍、スギナには25倍で散布してください。

●ラベルの記載以外には使用しないでください。●使用前にはラベルをよく読んでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

日本モンサント株式会社 〒108-0073 東京都港区三田3-13-16 三田43森ビル ®:モンサントカンパニー登録商標