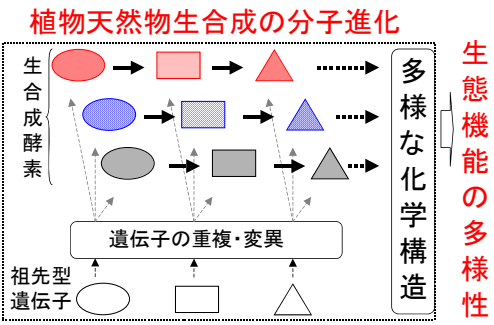


ディビジョン番号	7
ディビジョン名	天然物化学・生命科学

大項目	2. 生物系天然物化学
中項目	2-6. 生物多様性に関わる化学と生化学
小項目	2-6-2. 植物天然物の構造と機能の多様性と進化

概要

植物天然物の生合成酵素をコードする遺伝子の多くはファミリーを形成しており、共通祖先遺伝子の重複によって生産物の多様性を進化させてきた。酵素タンパク質のわずかなアミノ酸置換により反応特異性が変化したり、一次代謝系からリクルートされたタンパク質が二次代謝に関わるようになった例もある。植物成分の構造多様性は生態系での機能の多様性を反映しており、進化過程は植物ゲノム中の生合成遺伝子構造にも刻印されている。



現状と最前線

総計数十万種にもものぼるといわれる植物天然物の構造多様性の「至近要因」は、それを生み出す生合成酵素・遺伝子の多様性にある。近年、生合成の基本単位の生成やその延長反応を行う酵素のほとんど、および多くの骨格を構築する環化酵素や修飾酵素をコードする遺伝子がクローニングされ、配列情報より類似の反応を行う酵素をコードする遺伝子の多くが共通祖先の重複によって進化したファミリーを形成していることが明らかになった。テルペン環化酵素やフラボノイド・リグナン合成系の数々の酵素のタンパク質の結晶構造が解明され、それに基づいた部位特異的変異導入研究が行われている。その結果わずかなアミノ酸残基の置換によって、モノテルペン骨格のヒドロキシル化やフェノール性水酸基へのメチル基導入の位置特異性の変化、P450のイソフラボノイド骨格構築酵素 (IFS) からフラボン合成酵素への転換、セスキテルペン環化酵素による生成物の骨格変換など、反応特異性の変化が報告され、代謝多様性の進化機構に示唆を与えている。また加水分解酵素カルボキシペプチダーゼ/エステラーゼや真核生物転写因子の翻訳後修飾に関わる deoxyhypusine synthase など一次代謝の酵素ホモログが、それぞれフェニルプロパノイドのアシル転移酵素/イソフラボン骨格形成脱水酵素やピロリチジンアルカロイドの初発酵素 homospermidine synthase など二次代謝の酵素として働くことが見いだされ、一次代謝からのリクルートが二次代謝の幅を拡げたと推察されている。

遺伝子重複による新機能の獲得という進化様式に基づいて、系統関係の予測から新規酵素の候補が推定され、マメ科イソフラバン型ファイトアレキシン合成の最終段階へのリグナン系還元酵素ホモログの関与や、植物におけるラノステロール合成酵素の存在が発見された。

植物天然物の多様性の「究極要因」は競争的な生態系での生理機能に求められ、多くの植物天然物にファイトアレキシン、アレロパシー物質、昆虫や動物からの忌避物質など生体防御機能が想定されている。またマメ科根粒菌の共生窒素固定では、宿主フラボノイドと細菌のリポキトオリゴ糖 Nod factor の構造が、種特異性の決定に重要である。対微生物防御と共生における植物天然物の役割に関する RNAi を利用した新しいアプローチとして、IFS を抑制したダイズが病害菌に感受性となった実験例、フラボノイドの特定経路を遮断したマメ科植物の根粒菌の着生解析より（イソ）フラボノイドの根粒形成における機能を議論した例がある。植物のリン栄養摂取に重要である菌根菌と植物の共生は、マメ科根粒菌共生と一部シグナル伝達系を共有する。最近菌根菌との共生のトリガーとなる植物因子として、寄生植物ストライガに対するシグナル物質と共通のセスキテルペン型化合物 strigolactone 類が同定され、生態機能物質として注目の的となった。菌根菌側の共生因子の同定が期待されるとともに、生態系での植物成分の働きの多様性に関する新発見が期待される。

植物成分の多様性が成立した「系統進化要因」のゲノム科学的な研究が行われている。すなわち多重遺伝子族を形成するフラボノイドやトリテルペノイド系のパラログ遺伝子のクラスター状の構造が、モデルマメ科植物ミヤコグサなどのゲノム中に非常に高頻度で見いだされ、重複による遺伝子機能の多様化がゲノム構造からも支持される。モデル植物の網羅的な遺伝子発現と代謝物の統合解析による新規生合成遺伝子の発見も成されている。

（文献）Ober, D. (2005) Seeing double: gene duplication and diversification in plant secondary metabolism. Trends Plant Sci., 10: 444-449.

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

モデル植物代謝系のファミリー遺伝子（P450, 環化, 還元, 配糖化酵素）機能のできるだけ網羅的な解析と、非モデル植物の生態機能成分生合成研究への応用。微生物共生のシグナル分子と受容体タンパク質の相互作用機構の分子レベルでの解明。

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

ゲノム構造, 外部条件や生育・器官の情報より, 全ての代謝物の構造と生産量をアウトプットさせる二次代謝のシステム生物学の実現と, 代謝工学や持続可能な農業への応用。

キーワード

植物天然物, 分子進化, 生態機能, 遺伝子重複, ゲノム

（執筆者： 綾部 真一 ）