

虫に学ぶ新しい植物改変技術：虫こぶ研究から見えてくること

京都府立大学大学院生命環境科学研究科
兼任：京都府農林水産技術センター生物資源研究センター基礎研究部
武田征士

1 はじめに

「虫こぶ（ゴール、gall）」とは、昆虫や線虫、細菌、ウイルス等が植物に作る特殊な組織である。線虫や細菌が作るゴールは腫瘍状になるものが多く、根こぶ線虫や根こぶ病菌など、農業被害をもたらす例が多く知られている。一方で、昆虫によるものは特殊な構造を持つものが多く、ヌルデ（タンニンを多く含む）やマタタビ（マタタビオールを含む）など、産業利用されているものもある。虫こぶ形成昆虫と宿主植物は非常に多様であり、その数は数万～数十万種に及ぶと予想されている。

虫こぶは、本来植物が作る葉や花、果実等とは異なる形態になることから、虫こぶ形成昆虫が植物の発生システムをハイジャックして、自分に都合の良い構造、すなわち食糧と住まいを兼ねた、いわば「お菓子の家」のようなものを作ると考えられている。多様な形態についての博物学的な記載は多くあるものの、形成の分子メカニズムについてはよく分かっていない。我々は「虫こぶ研究チーム」を作り、植物サイド・昆虫サイドの両面から、虫こぶの形態、遺伝子発現、生理側面、代謝解析などの研究を進めている。

2 なぜ今「虫こぶ研究」なのか？

1) 植物に秘められた器官形成能力 新たな植物器官改変技術の開発

虫こぶのほとんどは、普段植物が作る器官や組織とは異なっており、昆虫が植物に秘められた発生システムを引き出して利用していることが示唆される。これまでの植物研究からは見えてこなかった、「昆虫によって引き出される、植物に秘められた器官形成能」を明らかにできる。

2) 新たな植物器官改変技術の開発

これまでの植物改変技術は、細菌が保有する技術を応用したものであった（遺伝子組み換え：アグロバクテリウム、ゲノム編集：細菌の対ウイルス抵抗システム）。これらは外来遺伝子の導入や人為的な変異誘発などにおいて大変有用な技術であるが、社会的な評価は低く、日本では商用栽培が未だ難しい状況になっている。虫こぶは、自然界で起こる「植物形態の改変」であり、これに倣って植物組織の改変技術を確立することで、新たな品種作出等への道が開けると考えている。

3) 機能性成分の生産工場としての利用

ヌルデのタンニン、マタタビのマタタビオールなど、虫こぶの中には特定の成分が高蓄積されるものがある。また、最近では糖やアミノ酸など、一次代謝物なども蓄積されることが分かってきている。このメカニズムを明らかにすることで、虫こぶを「特定の成分を産生・蓄積する組織」として、いわゆる「成分生産の植物工場」と位置付けて利用できる可能性が考えられる。

3 これまでの研究成果

虫こぶの多様性および共通形成システムを調べるため、まず4種類の虫こぶに注目した(図1)。虫こぶの名前は「植物種、作られる器官、こぶ形態の種類、こぶを示すフシ」というルールで付けられている。カンコノキハフクレフシ(ホソガ)、ヒサカキハフクレフシ(ホソガ)、ヌルデミミフシ(アブラムシ)、ヨモギハエボシフシ(タマバエ)の各虫こぶ組織からRNAを抽出し、葉に比較して高発現している遺伝子をRNA-sequenceによって網羅的に調べた。これらの遺伝子を4種の虫こぶで比較したところ、38個の共通遺伝子が見つかった(図2)。これらの中には、細胞分裂制御、細胞壁合成、活性酸素種産生などに関わる遺伝子が含まれていた。また、葉に比べて光合成系の遺伝子発現が減少している一方で、植物ホルモン応答、花器官形成、維管束分化等に関わる遺伝子発現が上昇しており、葉での遺伝子発現プロファイルが、昆虫によって大きく書き換えられていることが示唆された。

ヌルデミミフシについて、植物側のゴール組織、虫こぶ形成昆虫であるヌルデシロアブラムシに含まれる植物ホルモンをそれぞれ定量化したところ、オーキシンやサイトカイニンなどはアブラムシに多く含まれ、虫こぶ側ではアブシジン酸やジャスモン酸、サリチル酸などが多く蓄積されていることが分かった。これは、虫こぶ形成昆虫が植物組織分化を促す植物ホルモンを産生・分泌していることと、虫こぶ側ではストレス応答が起こっているものの、昆虫はこれらを克服して虫こぶ内で生存し続けていることを示唆している。

4 今後の研究展開

虫こぶは、植物器官発生、代謝解析、昆虫との共進化など、基礎学問的な面白さだけでなく、物質生産や新しい植物組織改変など、応用技術への展開を秘めた研究材料である。虫こぶを作る昆虫種と宿主植物種の多さ、あまりに多様な形態などから博物学的な記載に留まっていたこの材料が、近年の次世代シーケンサーの進化と遺伝子情報の充実、非モデル生物研究の展開等から注目されつつある。我々はこの分野において先駆的な研究を展開し、遺伝子組換え、ゲノム編集とはまた異なった植物組織の改変技術を開発し、食料問題や機能性成分産生品種の作出等につなげていきたいと考えている。

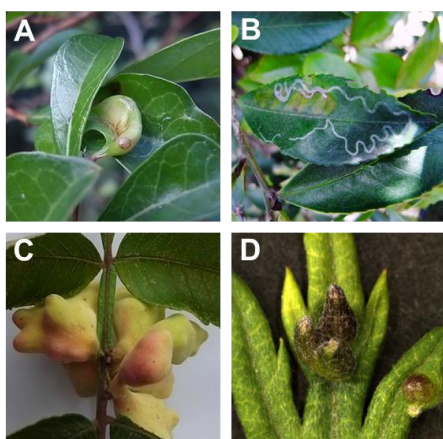


図1 4種の虫こぶ。(A)カンコノキハフクレフシ (B)ヒサカキハフクレフシ (C)ヌルデミミフシ (D)ヨモギハエボシフシ

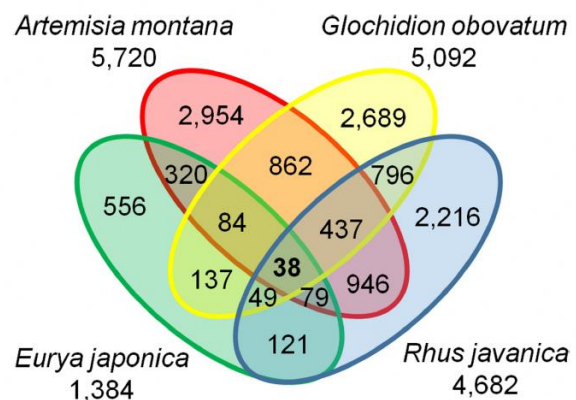


図2 4種の虫こぶのRNA-sequenceの結果。葉よりも発現が上昇した遺伝子について、虫こぶ間で比較した。