

根寄生雑草選択的な除草剤の開発に向けて



研究ノート

岡澤 敦司*

Metabolic analysis toward development of a herbicide selective to root parasitic weeds

Key Words : metabolomics, nojirimycin, planteose, root parasitic weeds

はじめに

国内ではあまり知られていないが、アフリカや地中海沿岸の乾燥地で根寄生雑草が猛威を振るっている。特にアフリカでは、ストライガ属 (*Striga* sp.) の根寄生雑草によって年間 1000 億円以上の農業被害が生じている。ハマウツボ属 (*Orobanche* sp.) の根寄生雑草は、主に地中海沿岸でトマト、ニンジン、ナタネ、ヒマワリなどの野菜や油糧作物に大きな被害をもたらしており、やはり問題となっている (図 1) ⁽¹⁾。依然、アフリカにおける農業被害は現地での飢餓に直結することから、経済的な理由からだけでなく、人道的にもその解決策が求められている。

植物学の観点から考えると、寄生植物は特殊に進

化した興味深い植物種と言える。例えば、ハマウツボ属の植物は生育に必要な栄養を全て宿主から収奪し、光合成を行わない。これに関連し、光合成関連の遺伝子に大きな変異が生じており、偽遺伝子化している例が知られている ⁽²⁾。さらに、ハマウツボ属やセウツボ (*Orobanche minor*) の光環境に対する応答は寄生に適するように変化していることも示されている ⁽³⁾。ハマウツボ科の根寄生植物はその発芽も特徴的である。これらの種子は 0.2 mm 程度と非常に小さく、貯蔵物質に乏しいことがわかっている。従って、発芽後直ちに宿主に寄生しないと枯死してしまう。このような無駄な発芽を防ぐためには、宿主が近くに存在していることを認識する必要



図 1 ハマウツボ科根寄生雑草による農業被害
左の写真はスーダンのソルガム畑で、ストライガ属の根寄生雑草によって壊滅状態となっている。右の写真はイスラエルのニンジン畑で、光合成を行わず葉をもたないハマウツボ属の根寄生雑草が群生している。



* Atsushi OKAZAWA

1970年9月生
京都大学大学院農学研究科農芸化学専攻
修士課程 (1995年)
現在、大阪府立大学 大学院生命環境科学
研究科応用生命科学専攻 准教授
博士(農学) 生物有機化学, 植物代謝工
学

TEL : 072-254-7341

FAX : 072-254-7341

E-mail : okazawa@plant.osakafu-u.ac.jp

があるが、これらの寄生植物の種子は宿主の根から放出される化学シグナルを感知することでその認識を可能としている。この化学シグナルは、ストライガ属の発芽を誘導する物質としてストリゴラクトンと名付けられたが、その後、普遍的な植物ホルモンであることが明らかにされた ⁽⁴⁾。このようにストリゴラクトン依存的に発芽する植物は、これまでのところハマウツボ科の根寄生植物種以外に知られて

いない。

近年、減農薬が声高に叫ばれているが、作物保護において、低分子の除草剤の利用は依然有効な手段である。根寄生雑草の防除においても既存の除草剤が利用され、ある程度の効果を上げている。しかし、寄生が地下で確立した後は、宿主と根寄生雑草の維管束が連結してしまうことから、雑草のみを選択的に枯死させることは困難となる。根寄生雑草に選択的な除草剤を開発するためには、根寄生雑草にのみ存在し、かつ、その生育に必須である酵素などを標的に設定すれば良いと考えられる。さらに、除草のタイミングとしては、寄生の成立前の方が望ましい。そこで筆者らは、根寄生雑草に特有の発芽過程に着目し、選択的除草剤の標的となる代謝経路の探索を行った。

根寄生雑草ヤセウツボの発芽におけるメタボロームの変化

選択的除草剤の新規標的の探索にあたって、代謝の変化を俯瞰的に把握できるメタボロミクスを端緒とするのが妥当と考えた。大阪大学大学院工学研究科生命先端工学専攻の福崎英一郎教授の研究グループにご協力いただき、同研究室で確立された手法を用いてヤセウツボの発芽におけるメタボロームの変化を調べた。(余談ではあるが、帰化植物であるヤセウツボは、特定外来生物に指定されており、関東を中心にその分布域を拡大中である。これまで関西ではその存在があまり確認されていなかったが、昨年、筆者は茨木市でその存在を確認した。) その結果、ストリゴラクトンの受容後、発芽が進行するとともに、エネルギー産生を駆動するTCA回路中の代謝物が増加するといった、通常の植物の種子発芽でも確認される代謝変動に加えて、構造未同定の三糖が顕著に減少することが確認された。そこで、この三糖を単離精製し、NMRなどによって構造を決定したところ、この三糖がプランテオースであることが明らかとなった(図2)⁽⁵⁾。プランテオースは、スクロース中のフルクトースの6位にガラクトースの1位が α 結合したガラクトシルスクロースである。これまでに、数種の植物の種子中に蓄積していることが知られていたが⁽⁶⁾、ハマウツボ科の植物種でその存在が確認されたのは本研究が初である。メタボローム解析の結果、ヤセウツボの発芽種子ではプ

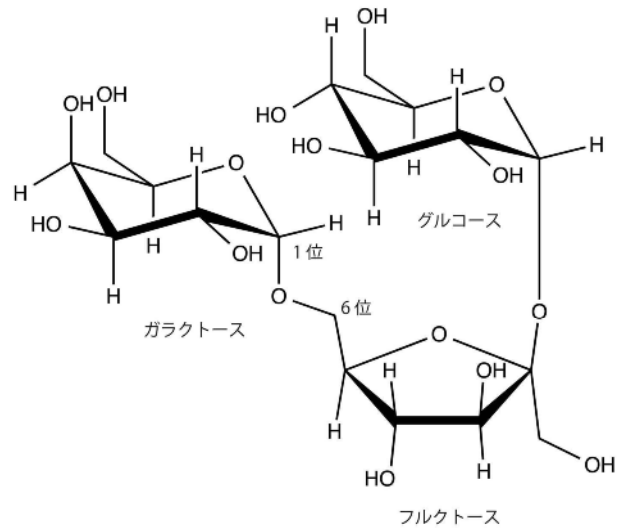


図2 プランテオースの構造
スクロースのフルクトースの6位にガラクトースが α 結合している。

ランテオースが減少するとともに、プランテオースを構成するグルコースやフルクトースが増加していることが示されたことから、プランテオースが発芽に必要なこれら単糖の供給源であることが予想された。

糖質加水分解酵素阻害剤ノジリマイシンによるヤセウツボの発芽抑制

前述のように、ハマウツボ科の根寄生植物の種子には貯蔵物質が乏しく、メタボローム解析の結果からも、発芽中に脂質やタンパク質があまり分解されていないことが示された。従って、発芽に必要なエネルギー源として、主としてプランテオースなどの糖質が使われていると推測された。数種の糖質加水分解酵素を発芽刺激物質と同時に処理したところ、幸運にもノジリマイシン亜硫酸付加物(NJ)が μ Mオーダーで顕著にヤセウツボの発芽を抑制することを発見した。さらに都合の良いことに、NJはヤセウツボの宿主であるムラサキツメクサや、実験植物のシロイヌナズナやトマトの発芽を全く抑制しないことが明らかになった。より近縁のシソ科の植物に対して、高濃度で根の伸長を抑制したが、効果が現れる濃度は、ヤセウツボの発芽を抑制する濃度に対して二桁ほど高かった。また、調べた限りのハマウツボ科根寄生雑草に対しては、顕著な発芽抑制、あるいは、幼根の伸長抑制効果を示した。従って、これまでのところNJはハマウツボ科の根寄生雑草特異的な成長抑制効果を持つといえる⁽⁵⁾。

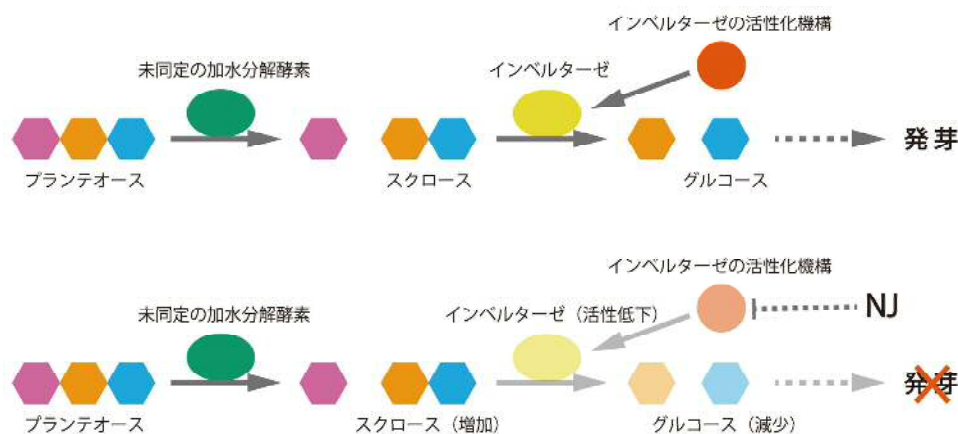


図3 ノジリマイシン亜硫酸付加物 (NJ) によるヤセウツボの発芽抑制
 通常は上図のように、プラントオースからスクロースを経て供給されるグルコースが発芽に用いられる。この際、スクロースの分解を担うインベルターゼが活性化される。下図のように、NJはインベルターゼの活性化機構を阻害することで、間接的にグルコースの減少をもたらすと考えられる。結果的に十分量のグルコースが供給されないため、種子は発芽出来ない。

NJを投与したヤセウツボ種子中では、プラントオースは通常の発芽種子と同様に代謝されていたが、単糖の増加が見られず、スクロースが蓄積していた。従って、NJはスクロースをグルコースとフルクトースに加水分解するインベルターゼを阻害していると予測した。しかし、実際にヤセウツボの発芽種子より調製した粗酵素のインベルターゼ活性に対しては、NJは阻害効果を示さなかった。この結果がNJ処理を行った種子中のスクロースの蓄積と矛盾することから、次にNJを処理した種子より粗酵素を調製したところ、そのインベルターゼ活性が著しく低下していることが明らかとなった。即ち、NJはインベルターゼを直接阻害しているわけではなく、細胞内での転写翻訳などの活性化の過程を直接あるいは間接的に阻害していることが明らかとなった⁽⁵⁾。

図3に本研究で明らかになったNJによるヤセウツボの発芽抑制効果について模式的にまとめた。インベルターゼの活性化機構を含め、NJがどのようにこの効果を発揮しているかは、現時点では明らかになっていないが、この分子機構を明らかにすることで、ハマウツボ科根寄生雑草選択的な除草剤の開発のための真の標的が設定可能となると考えられる。また、NJについて、これまでに知られている糖質加水分解酵素阻害活性以外の生理活性が発見される可能性もあり、現在、その分子機構の解明のため、トランスクリプトミクスなど、他のオミクス研究を進めている。

おわりに

本稿では、国内ではあまり知られていないが、実は地球規模の課題である根寄生雑草の被害に対して、代謝解析を基礎技術としてその解決法を確立しようとする筆者らの試みを紹介した。本研究は、NEDOによる支援のもと、ナイジェリアの国際熱帯農業研究所の村中聡博士（現在JIRCASに所属）と共同で行ったプロジェクトや、JST/JICAの支援のもと、神戸大学大学院農学研究科の杉本幸裕教授をリーダーとして、スーダン科学技術大学と共同で行ったプロジェクトの成果である。この場を借りて、関係各位に心よりお礼申し上げたい。特に、実際に博士課程の研究テーマとして実験に取り組んでくれた若林孝俊博士（現在（株）フジワラテクノアートに勤務）には、感謝の念に堪えない。しかし、根寄生雑草の問題克服という視点で見れば、その第一歩を踏み出したにすぎない。今後、首尾よく防除標的を設定できたとしても、実際に化合物を選抜、設計する段にあたっては企業との共同研究が欠かせないと考えている。アフリカや地中海沿岸の問題を対岸の火事ではなく、地球という運命共同体の問題と捉え、共にその克服を目指そうという気概を持って頂ける企業経営者や研究者の登場を心待ちにしている。

1. Parker C. Parasitic weeds: a world challenge. *Weed Sci.* 60: 269-276, 2012.
2. Wolfe AD, dePamphilis CW. Alternate paths of

- evolution for the photosynthetic gene *rbcL* in four nonphotosynthetic species of *Orobanch*. *Plant Mol Biol.* 33: 965-977, 1997.
3. Takagi K, Okazawa A, Wada Y, et al. Unique phytochrome responses of the holoparasitic plant *Orobanch minor*. *New Phytol.* 182: 965-974, 2009.
 4. Xie X, Yoneyama K, Yoneyama K. The strigolactone story. *Annu Rev Phytopathol.* 48: 93-117, 2010.
 5. Wakabayashi T, Joseph B, Yasumoto S, et al. Planteose as a storage carbohydrate required for early stage of germination of *Orobanch minor* and its metabolism as a possible target for selective control. *J Exp Bot.* 66: 3085-3097, 2015.
 6. Amuti KS, Pollard CJ. Soluble carbohydrates of dry and developing seeds. *Phytochemistry.* 16: 529-532, 1977.

