

10. 寄生植物の細胞壁成分を介した自己認識機構の解明

奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授 吉田 聡子

概要

寄生植物は他の植物に寄生して水や栄養を獲得して生育する。しかし、自分自身や近縁の寄生植物に対しては寄生しない。この現象は寄生植物の自己回避現象として知られているが、そのメカニズムは長年不明のままであった。本研究では、ハマウツボ科寄生植物コシオガマの自発的に吸器を形成する変異体 *spontaneous prehaustorium 1 (spoh1)* の解析により、寄生植物の自己回避現象の分子メカニズムを解明した。*spoh1* 変異体では、グルコース転移酵素 UGT72B1 に変異が生じており、UGT72B1 は細胞壁リグニンの代謝経路に由来するフェノール性の吸器誘導物質を基質とすることが明らかとなった。グルコシル化された吸器誘導物質では、吸器誘導活性が著しく減少した。さらに興味深いことに、寄生植物の UGT72B1 は宿主植物の酵素よりも幅広い基質特異性を示した。すなわち、寄生植物は、自身のもつ吸器誘導物質をグルコシル化により不活化させることにより、自身や近縁種への応答を回避していることが明らかとなった。

背景および目的

寄生植物は他の植物に寄生して水や栄養を獲得して生育する。寄生植物の中には、農業作物に寄生して大幅に収量を減らすものが存在し、世界的に大きな農業問題となっている。例えば、ハマウツボ科のストライガ属植物はトウモロコシやソルガム、イネなどの主要穀物に寄生し、年間 1000 億円を超える被害をもたらしている。しかし、寄生植物の寄生器官である吸器の形成は、寄生植物の独立栄養成長から従属栄養成長への転換点として重要なステップであるが、その制御機構は明らかではない。

吸器の形成は、宿主由来のキノンやフェノール類などの吸器誘導物質により誘導される。私たちは、吸器誘導物質が細胞壁成分であるリグニンモノマーに由来することを報告した。リグニンは維管束植物に普遍的に存在するため、寄生植物は非宿主植物を含む多くの植物に対して吸器を形成すると考えられる。しかし、寄生植物は近縁寄生植物や自分自身に対してはほぼ吸器を形成しないことが知られている。このことは、寄生植物が近縁植物を見分け、寄生植物同士または自分自身への寄生を避ける自己回避の仕組みを有していることを示唆するが、その分子メカニズムはこれまで明らかになっていなかった。本研究では、ハマウツボ科のモデル寄生植物であるコシオガマを用いた遺伝学的な解析により、寄生植物が近縁寄生植物を避ける仕組みを解明することを目指した。

方法

植物材料と生育

spoh1 変異体は EMS 処理を行った変異種子プールから、自発的に吸気の初期形態である前駆吸器 (prehaustorium) を作る変異体として単離された。野生型コシオガマと 2 回の戻し交配を行った後の植物を解析に用いた。

自発的吸器形成試験

spoh1 の吸器形成は、寒天培地にスクロースを 2~4%加えた条件でおこなった。スクロースの添加は自発的吸器形成に必須ではないが、吸器形成数を著しく増加させることが明らかとなっている。また、ストライガの吸器誘導は、水耕条件で育てたコシオガマの根の滲出液を、プレコンディショニングをして GR24 によって発芽させたストライガの芽生えに処理し、1 日後に前駆吸器数を数えることにより測定した。

全ゲノムシーケンス解析

野生型と *spoh1* を掛け合わせた F 2 世代の植物から、*spoh1* 表現型を持つものを 80 個体選別し、ゲノム DNA を単離して全ゲノムシーケンス解析をおこなった。候補遺伝子の推定は、CLC genomic workbench を用い、文献 (Cui et al. 2020) の通りにおこなった。

UGT 活性試験

UGT72B1 のコード領域を pDEST15 ベクターにクローニングし、大腸菌で発現させたのちに GST カラムを用いて精製した。精製したタンパク質を文献 (Lin et al. 2016) に従って、基質と反応させ、HPLC または LC-MS を用いて生成物を測定した。

結果および考察

本研究では、モデル寄生植物であるコシオガマを用いて、外部からの吸器誘導物質の添加なしでも自発的に前駆吸器(prehaustorium)を形成する突然変異体 *spoh1*(spontaneous prehaustorium 1)を単離した。*spoh1* の前駆吸器形成はシヨ糖の添加により促進され、シヨ糖を含む培地上で *spoh1* では安定的に自発的な前駆吸器を形成したが、同じ条件で野生型 (WT) は前駆吸器を形成しなかった。このことから、シヨ糖の添加が *spoh1* の自発的吸器形成を促進することが示唆された(図 1)。

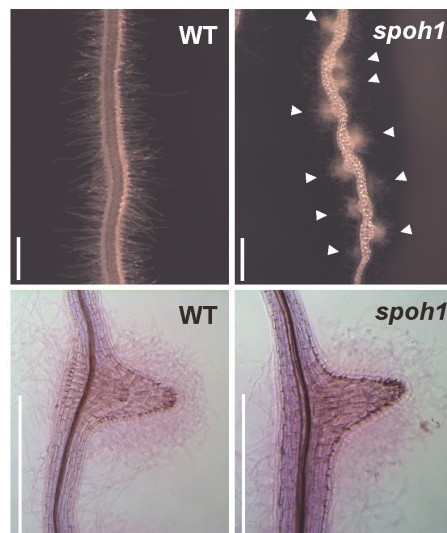


図 1. *spoh1* 変異体の表現型

spoh1 は吸器誘導物質を与えなくても、自発的に前駆吸器を形成する。4%シヨ糖培地で育てた野生型 (WT)及び *spoh1* 変異体 (上)。*spoh1* の自発的な前駆吸器の形態は吸器誘導物質 (DMBQ)で誘導された野生型の前駆吸器と同じである(下)。

シヨ糖添加の有無に関わらず、野生型コシオガマの根の滲出液はストライガの吸器を誘導しなかったのに対し、シヨ糖なしの培地で生育させた *spoh1* の滲出液は約 20%のシヨ糖ありの培地で生育させた *spoh1* の滲出液は、

約 80% のストライガの吸器を誘導した。このことは、*spoh1* の変異により、活性のある吸器誘導物質がコシオガマの根から分泌されていることを示唆している。RNA-seq 解析の結果、*spoh1* では、リグニン合成系の遺伝子が高発現することが示され、*spoh1* はリグニン由来の活性のある吸器誘導物質を高生産していることが示唆された。

全ゲノム解析の結果、*spoh1* は UDP-グルコース転移酵素 UGT72B1 に変異を有していることが明らかとなった。この酵素はリグニン代謝経路由来のフェノール性吸器誘導物質をグルコシル化する。さらに、グルコシル化した吸器誘導物質は不活性化することが示された。すなわち、この酵素が壊れた *spoh1* 変異体では、自身の作り出した吸器誘導物質を不活性化できないため、活性のある吸器誘導物質が分泌され、自分自身や近縁寄生植物であるストライガの前駆吸器形成を誘導することが明らかとなった。

コシオガマの宿主である独立栄養植物のシロイヌナズナも UGT72B1 を持っている。そこで、シロイヌナズナの *ugt72b1* 変異体を調べたところ、吸器誘導活性が増加することがわかった。また逆に UGT72B1 を導入すると吸器誘導活性を低下させることができた。これらの結果から、UGT72B1 は寄生植物と宿主双方において吸器誘導活性を調節する鍵酵素であることが示された。

さらに、酵素活性解析により、コシオガマの UGT72B1 はシロイヌナズナの酵素とは基質特異性が異なり、より幅広い吸器誘導物質をグルコシル化する能力を持つことがわかった。この性質により、寄生植物は自らが産生する吸器誘導物質を網羅的に不活性化し、自己寄生を防いでいると考えられる(図 2)。

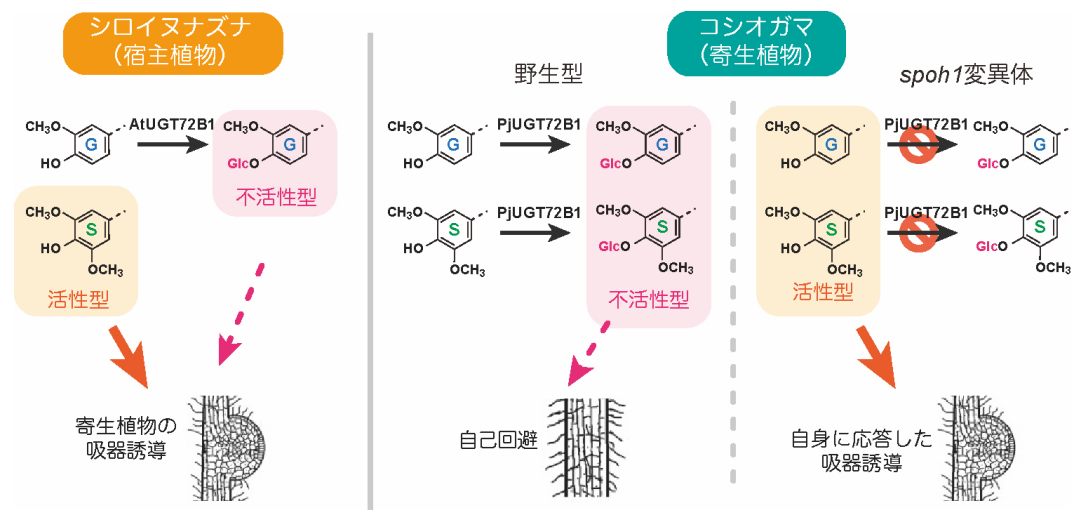


図 2. 寄生植物の自己回避現象のモデル図

(完)

発表論文

- 1) Xiang, L., Cui, S., Saucet, S.B., Takahashi, M., Inaba, S., Xie, B., Schilder, M., Shimada, S., Cui, M., Watabnabe, M., Tobimatsu, Y., Bouwmeester, H.J., Tohge, T., Shirasu, K., Yoshida, S. (2025) Glucosylation of endogenous haustorium-inducing factors underpins kin avoidance in parasitic plants. *Science*, 390, 405-410, 10.1126/science.adx8220
- 2) Suga, S., Inoue, R., Wada, S., Shirano, Y., Aoki, N., Suzuki, T., Laohavisit, A., Sato, A., Yoshida, S. (2026) A quinone signaling inhibitor enables functional dissection of haustorium-inducing factors in Orobanchaceae parasitic plants. *Plant Physiology*, 200, kiaf686, <https://doi.org/10.1093/plphys/kiaf686>
- 3) Cui, M., Shi, D., Yamaji, M., Kumaishi, K., Ichihashi, Y., Kawamura, A., Sugimoto, K., Yoshida, S. (2025) Integration of single nucleus RNA-seq and bulk RNA-seq reveals gene regulatory networks for vascular connection between parasitic plants and host plants. *J Plant Res* 10.1007/s10265-025-01654-4

- 4) Cui, S., Takeda-Kimura, Y., Wakatake, T., Luo, J., Tobimatsu, Y., Yoshida, S. (2025) *Striga hermonthica* induces lignin deposition at the root tip to facilitate prehaustorium formation and obligate parasitism. *Plant Commun* 101294. 10.1016/j.xplc.2025.101294

引用文献

- 1) Cui, S., Kubota, T., Nishiyama, T., Ishida, J.K., Shigenobu, S., Shibata, T.F., Toyoda, A., Hasebe, M., Shirasu, K., Yoshida, S. (2020) Ethylene signaling mediates host invasion by parasitic plants. *Science Advances*, 6, eabc2385 DOI: 10.1126/sciadv.abc2385
- 2) Lin J.-S., Huang, X.-X., Li, Q., Cao, Y., Bao, Y., Meng, X.-F., Li, Y.-J., Fu, C., How, B.-K. (2016) UDP-glycosyltransferase 72B1 catalyzes the glucose conjugation of monolignols and is essential for the normal cell wall lignification in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.*, 88, 26-42