

イネ科植物における防御物質の解明



天然物化学分野
チーム ムギ・チーム イネ

プロジェクトメンバー
(グループリーダー)

○農学部 生命環境農学科

教授 石原 亨

宇部 尚樹 (現 乾地研・特命助教)

村田 晃一、假谷 佳祐

(協力研究者)

農学部 生命環境農学科

講師 上野 琴巳、准教授 藪田 行哲

研究概要

オオムギやイネなど主要作物における化学防御のメカニズムとその進化を解明

- イネ科植物は、病原菌感染に対して様々な低分子抗菌性物質を介した防御機構を有しています。しかし、その進化や種内変異については、ほとんど明らかにされていませんでした。
- 本研究では、同一属内での防御物質の種類の違いや、同一種内での蓄積量の変異を手がかりに、オオムギやイネにおける化学防御のメカニズムとその進化を解明しました。

1. オオムギ属植物における防御物質の進化

オオムギ属は、コムギやライムギと同じイネ科イチゴツナギ亜科に属し、大きく、H、Xa、Xu、およびIの4つのクレードに分けられます。

このなかでIクレードの属する種のいくつかは、コムギやライムギと同じベンゾキサジノン類を防御物質とすることがわかっていました。一方でHクレードに属する栽培オオムギは、ホルダチン類という独自の防御物質をもっています(図1)。ホルダチン類が進化の過程でいつ獲得されたのかを明らかにするため、多くのオオムギ属植物の防御物質を調べました。

IおよびXaクレード属する種は、ベンゾキサジノン類を蓄積していました。一方で、Xuクレードに属する種は、ベンゾキサジノン類もホルダチンも蓄積していませんでした。

そこで、Xuクレードに含まれるホルデウム・ムリナムから防御物質を単離しました。この物質をムリナミド類と名付け、構造を調べたところ、ホルダチンとよく似ていることがわかりました(図2)。

以上の結果、オオムギ属ではHやXuクレードの祖先がHやIクレードの祖先から分岐する段階で、新たな防御物質を獲得したことが明らかになりました(図3)。これは、オオムギ属の進化の過程で防御物質のリプレースが生じたことを示し、植物の代謝経路の進化を明らかにする上で重要な発見です(文献1)。

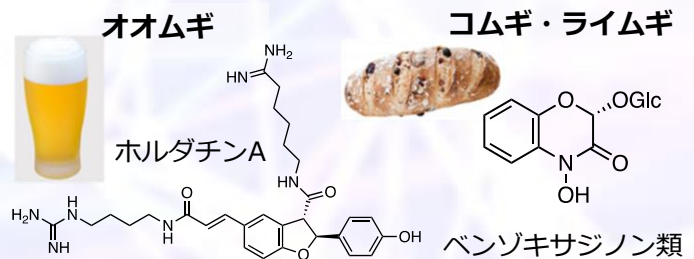


図1 オオムギと、コムギ、ライムギの防御物質

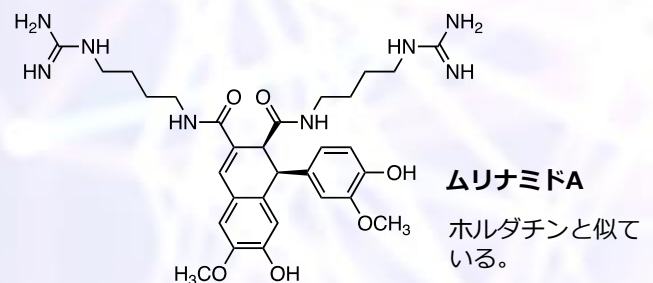


図2 新たに発見したホルデウム・ムリナムの防御物質

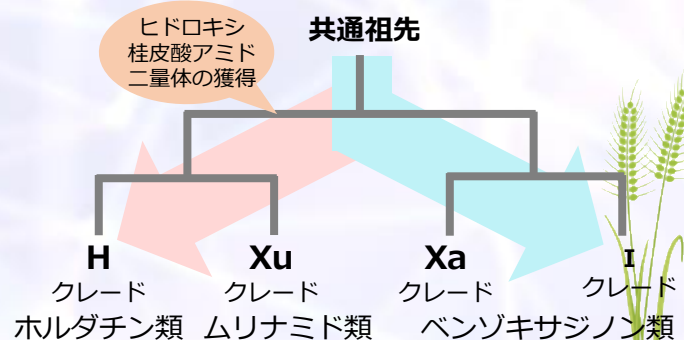


図3 オオムギ属における防御物質の進化

2. イネのファイトアレキシンの蓄積に関する種内多様性

ファイトアレキシンとは、植物が病原菌の感染を受けると蓄積する抗菌性化合物です。イネは、20種ものファイトアレキシンを蓄積します。イネの品種や栽培地域によって、ファイトアレキシンの種類に違いがあるかも？と考え、世界各地のイネにおけるファイトアレキシンの多様性を調べました。

世界各地のイネの品種約70種を分析したところ、サクラネチンというファイトアレキシンを高濃度に蓄積する品種とほとんど蓄積しない品種があることがわかりました(図4、5)。さらに、サクラネチンを蓄積しない品種の多くは、生合成経路上で一つ前の化合物であるナリンゲニンを蓄積していました。

サクラネチンを蓄積しない原因を突き詰めると、ナリンゲニンからサクラネチンをつくる酵素の遺伝子に突然変異が生じ、この酵素が働かなくなったためでした。このような突然変異はイネの進化の過程で2回生じたようです。

なぜ、サクラネチンではなく、その前駆物質ナリンゲニンを蓄積する系統があるのでしょうか。その秘密はそれぞれの抗菌活性にありました。サクラネチンは糸状菌(カビ)に強い効果があります(図6)。一方で、ナリンゲニンは細菌に強い効果がありました。そのため、カビによる病気が流行っている地域では、サクラネチンを蓄積する品種が、細菌の病気が流行っている地域では、ナリンゲニンを蓄積する品種が選抜されたのかもしれませんが(文献2)。

最近では、サクラネチン以外の様々なファイトアレキシんに種内多様性があることも明らかになりつつあります。

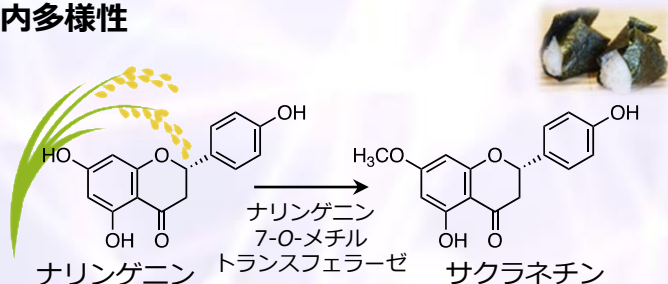


図4 ナリンゲニンとサクラネチン

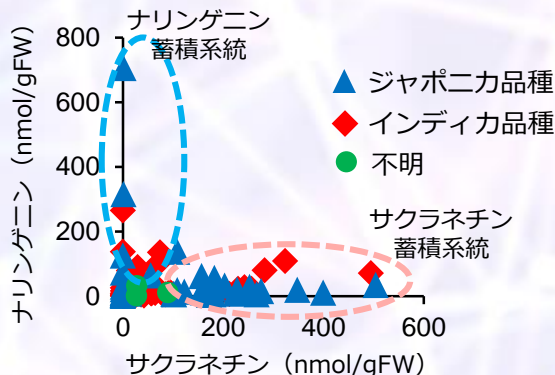


図5 イネにはサクラネチンを蓄積する品種とナリンゲニンを蓄積する品種があった。

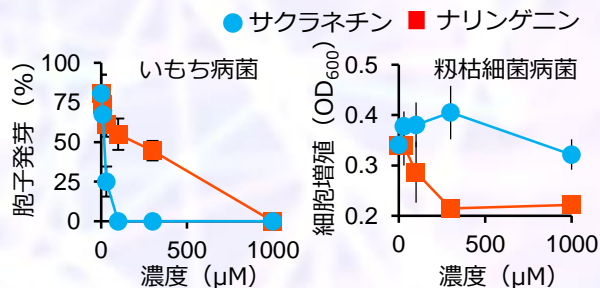


図6 サクラネチンはいもち病菌(カビ)を、ナリンゲニンは籾枯細菌病菌(細菌)を抑制した。

3. オオムギとコムギの新たなファイトアレキシン

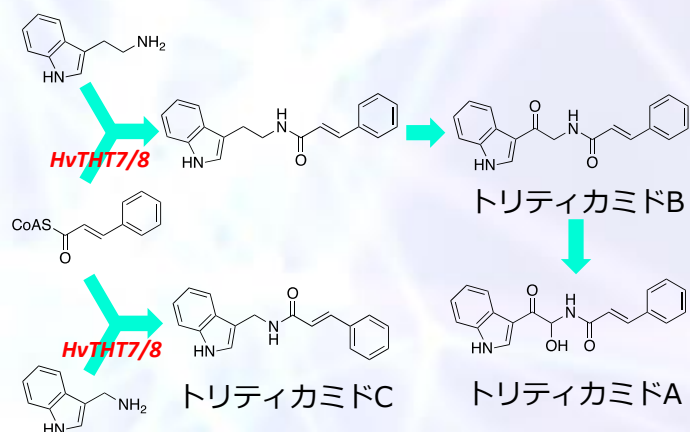


図7 コムギ・オオムギの新たなファイトアレキシン

コムギやオオムギは世界中で栽培され人類を支える穀物です。それにも関わらず、そのファイトアレキシンについては、ほとんど解明されていませんでした。そこで、コムギやオオムギに病原菌を接種し、新たに蓄積してくる抗菌性物質を調べました。

コムギでは2種類の化合物が、オオムギでは3種類の化合物が新たに蓄積してくるようになりました。

これらの化合物いずれも桂皮酸類とインドールアミンが縮合した化合物で、コムギの学名にちなんでトリプチカミドと名付けました(図7)。植物には、まだまだ、未解明の化合物が存在することを示す好例と言えます(文献3)。

- (1) Ube, N., Nishizaka, M., Ichyanagi, T., Ueno, K., Taketa, S., Ishihara, A. Evolutionary changes in defensive specialized metabolism in the genus *Hordeum*. *Phytochemistry*, 141:1-11. 2017. 10.1016/j.phytochem.2017.05.004.
- (2) Murata, K., Kitano, T., Yoshimoto, R., Takata, R., Ube, N., Ueno, K., Ueno, M., Yabuta, Y., Teraishi, M., Holland, C. K., Jander, G., Okumoto, Y., Mori, N., Ishihara, A. Natural variation in the expression and catalytic activity of a naringenin 7-O-methyltransferase influences antifungal defenses in diverse rice cultivars. *Plant J* 101 1103-1117. 2020, 10.1111/tpj.14577.
- (3) Ube, N., Yabuta, Y., Tonooka, T., Ueno, K., Taketa, S., Ishihara, A. Biosynthesis of phenylamide phytoalexins in pathogen-infected barley. *Int J Mol Sci*, 20, 5541. 2019, 10.3390/ijms20225541.