

柔らかいメチル化ペクチンが花粉管の通り道を作る
～植物の種子ができるための重要な仕組みを解明～

研究成果のポイント

1. 花粉管の通り道である雌しべの伝達組織が、細胞壁を構成する多糖類であるペクチンのメチル化調節により形成される仕組みを、初めて明らかにしました。
2. 単子葉植物では、葉にはペクチンがほとんど含まれていませんが、花、特に雌しべには非常に多くのペクチンが含まれており、花粉管の通り道である雌しべの伝達組織は、柔らかい特性を持つペクチンが豊富であることを発見しました。
3. メチル化ペクチンが合成できなくなったイネの雌しべでは、花粉管の通り道に異常が生じ、種子を作ることができなくなりました。
4. 本研究成果は、植物の雌性不稔化や遺伝子組換え作物、ゲノム編集作物の遺伝子拡散防止など、品種改良への応用が期待されます。

国立大学法人筑波大学 生命環境系の岩井宏暁准教授は、花粉管の通り道である雌しべの伝達組織が、細胞壁の主成分であるペクチンのメチル化調節によって形成される仕組みを明らかにしました。

被子植物の受精の過程では、雌しべの柱頭に受粉した花粉が発芽し、発芽した花粉から花粉管が、雌しべの中を伸長して、精細胞が卵細胞のもとへ運ばれることが必須です。この花粉管が伸長する通り道となっているのが、雌しべの伝達組織です。現在までに、この組織にペクチンが含まれていることは報告されていましたが、それがどのような役割を果たしているかについては、わかっていませんでした。またそのペクチンがどのような特性を持っているかも謎でした。そこで本研究では、単子葉植物のイネの花の細胞壁およびペクチンと、そのメチル化制御に着目し、花粉管の通り道の形成にメチル化ペクチンが必須であることを明らかにしました。

本研究ではまず、単子葉植物の葉にはペクチンがほとんど含まれていないことが知られていましたが、花、特に雌しべには非常に多くのペクチンが含まれていることを発見しました。ペクチンは、メチル化した状態では柔らかいゾル状ですが、メチル基が外された(脱メチル化した)状態では、カルシウムと結合して流動性のないゲル状になります。一方、本研究で着目した酵素、ペクチンメチルトランスフェラーゼは、メチル化ペクチンを合成し、細胞壁を柔らかい状態に保つ働きがあります。この酵素の遺伝子 *OsPMT16* が欠損した変異体では、花粉管の通り道である雌しべの伝達組織がほとんど形成されず、そのために種子を形成することができませんでした。このことから、花粉管の通り道はメチル化ペクチンが豊富に存在し非常に柔らかい特性を持っていること、またその合成が、花粉管の通り道である花柱の伝達組織の形成に必須であることがわかりました。本研究成果は、雌性不稔化により柑橘類などの種子をなくすような新たな品種改良や、遺伝子組換え作物、ゲノム編集作物の遺伝子拡散防止への応用が期待できます。

本研究の成果は、2020年4月24日付「Frontiers in Plant Science」で公開されました。

研究の背景

被子植物は花粉を介した有性生殖を行います。雌しべの柱頭に受粉した花粉は、柱頭から水や養分を吸収し、花粉管という細長い管状の構造を発芽・伸長させます。花粉管は花柱の伝達組織内を伸長し、胚珠へ到達します。この花柱の伝達組織が、胚珠へ向う狭い花粉管の通り道であることが知られています(図1)。しかしながら、この通り道を構成する細胞壁の特性がどのようなものかは、よくわかっていませんでした。特に単子葉植物については、全く報告がありませんでした。そこで本研究では、雌しべの細胞壁の成分について生化学的な分析を行い、メチル化ペクチンが、花粉管の通り道である雌しべの花柱伝達組織の重要な主成分であることを突き止め、また、その合成遺伝子を欠損した変異体を調査することで、花粉管の通り道が作られる仕組みを明らかにしました。このプロセスは植物の生殖にとどまらず、穀物となる種子の形成や異種間のかげ合わせによる作物の育種など、人の生活にも深く関わる重要な現象です。

研究内容と成果

本研究では、イネの花、特に雌しべに非常に多くのペクチンが含まれていることを発見しました。また、雌しべの中でも、花粉管の通り道である花柱の伝達組織にはメチル化ペクチンが豊富に存在し、そのために非常に柔らかい特性を持っていることを見出しました。これにより、花粉管はスムーズに花柱の伝達組織内を伸長することができると考えられます。ペクチンは、メチル化した状態では柔らかいゾル状ですが、メチル基が外された脱メチル化した状態ではカルシウムと結合して、流動性のない(硬い)ゲル状になります。一方、本研究で着目したペクチンメチルトランスフェラーゼは、メチル化ペクチンを合成し、細胞壁を柔らかい状態に保つ働きのある酵素です(図2)。この酵素の遺伝子 *OsPMT16* が欠損した変異体では、花粉管の通り道である雌しべの伝達組織がほとんど形成されず、それが原因で種子を形成することができませんでした(図3)。

以上のことから、花粉管の通り道である花柱の伝達組織には、非常に柔らかい特性を持つメチル化ペクチンが豊富に存在していること、またその合成が、花柱の伝達組織の形成に必須であることが明らかとなりました。

今後の展開

本研究成果は、雌性不稔化により柑橘類などの種子をなくすような新たな品種改良や、遺伝子組換え作物、ゲノム編集作物の遺伝子拡散防止への応用が期待できます。

参考図

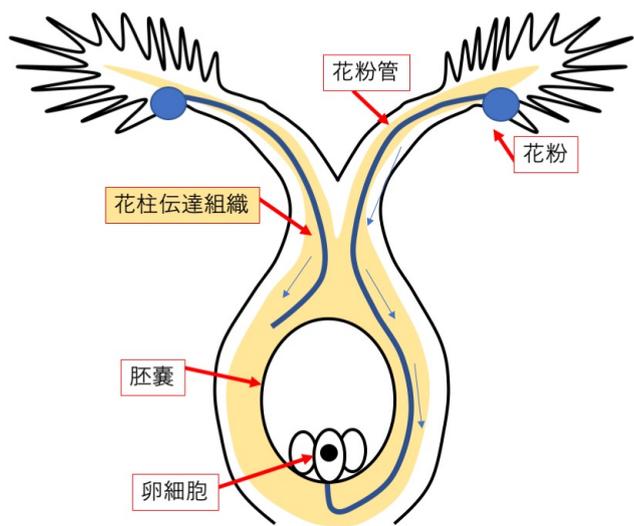


図1:イネの雌しべと受粉、受精

雌しべの柱頭についた花粉は、花粉管を伸ばして柱頭の中に入りこみます。さらに通り道である花柱伝達組織の中を下に伸びて胚嚢に到達します。花粉管の中の精細胞は卵細胞と受精し種子を形成します。

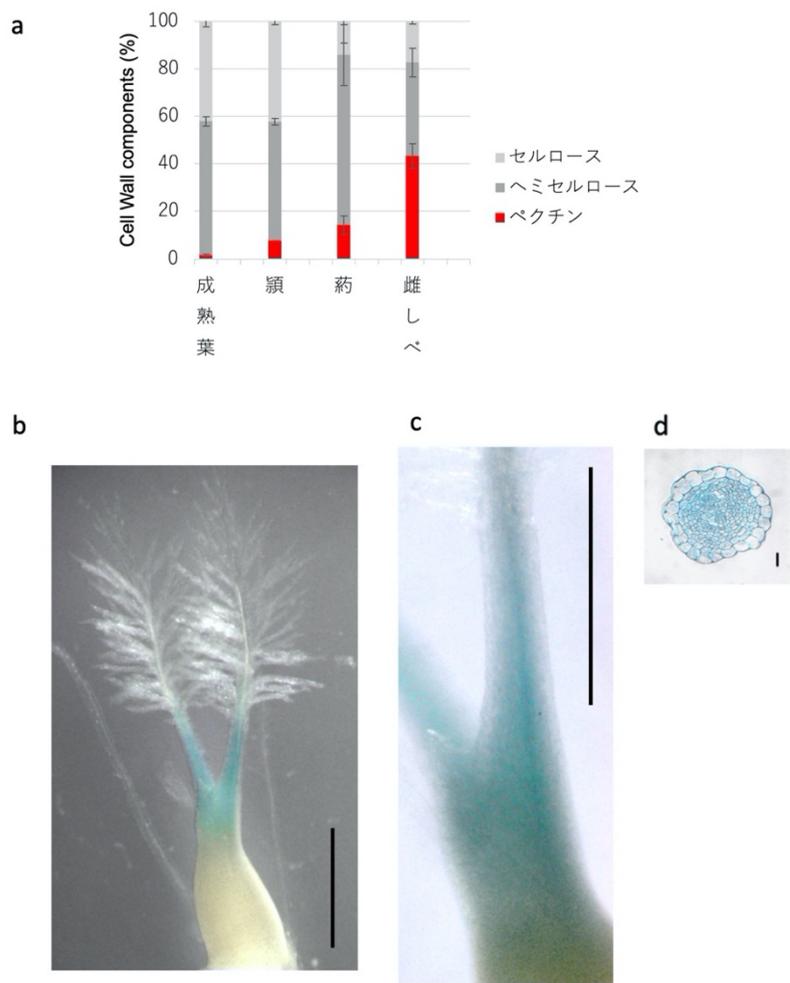


図2:イネの各器官の細胞壁組成とプロモーター-GUS^{注1)}を用いたメチル化ペクチン合成遺伝子 *OsPMT16* の遺伝子発現結果。

a: 雌しべの細胞壁は、他の器官に比べペクチンが非常に多く、全細胞壁中の約45%を占めていました。b: プロモーター-GUSを用いたイネの雌しべにおける *OsPMT16* の遺伝子発現(低倍率)。青い領域が、メチル化ペクチン合成遺伝子である *OsPMT16* が働いている領域です。c: b の高倍率画像、d: 雌しべの輪切り切片。花粉管の通り道である雌しべ花柱の伝達組織でメチル化ペクチン合成遺伝子である *OsPMT16* が働いていることがわかります。スケールバーは、b,c が 1 mm, d が 10 μ m。

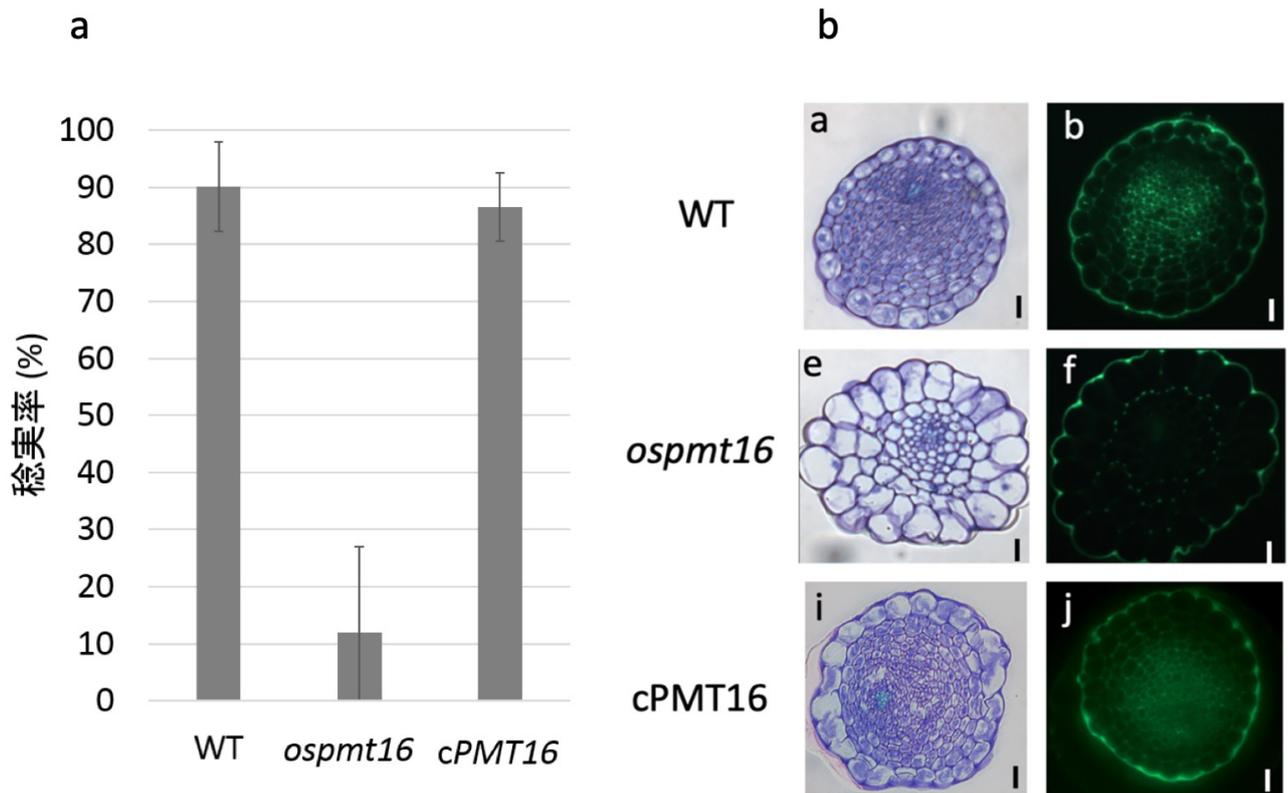


図3:メチル化ペクチン合成遺伝子 *OsPMT16* の欠損変異体の表現型。

a: 稔実率(種子形成率)の結果。b: 雌しべ花柱伝達組織の輪切り切片。左側がトリイズンブルー染色、右側がメチル化ペクチン染色。

野生型(WT)と、欠損変異体に *OsPMT16* を導入した相補体(*cPMT16*)では、高い稔実率(種子形成率)を示しましたが、*OsPMT16* の欠損変異体(*ospmt16*)では、ほとんど種子が形成されませんでした。

WTと相補体 *cPMT16*では、正常に発達し、雌しべ花柱伝達組織に多くのメチル化ペクチンが含まれていましたが、欠損変異体 *ospmt16*では、雌しべ花柱伝達組織が正常に発達しておらず、メチル化ペクチンもほとんど含まれていませんでした。

用語説明

注1) プロモーター-GUS(GUS-レポーター法)

遺伝子の発現を調節している領域であるプロモーター領域の後ろに、大腸菌などの遺伝子であるベータグルクロニダーゼを人工的につないだものを植物に遺伝子組換え技術を使って組み込み、染色を行います。この方法を用いると調査した遺伝子のプロモーターの働く場所を可視化することで、遺伝子がどの組織で特異的に発現しているか調べることが出来ます。

掲載論文

【題名】 Rice putative methyltransferase gene *OsPMT16* is required for pistil development involving pectin modification

(ペクチン修飾に関わるイネのメチル基転移酵素 *OsPMT16* は雌しべの発達に重要である)

【著者名】 Kazuya Hasegawa, Shihomi Kamada, Shohei Takehara, Haruki Takeuchi, Atsuko Nakamura, Shinobu Satoh, Hiroaki Iwai*

【掲載誌】 *Frontiers in Plant Science* (doi: 10.3389/fpls.2020.00475)

問合わせ先

岩井 宏暁(いわい ひろあき)

筑波大学 生命環境系 准教授