

花粉の形成には花粉母細胞の細胞壁ペクチンの調節が必須である

ペクチンは植物の細胞壁を構成する多糖成分です。花粉の形成には、花粉母細胞の時期の細胞壁において、ペクチンの量が適切に保たれ、正常な細胞接着を維持することが重要であることを示しました。

ペクチンは植物の細胞壁を構成する多糖成分（いわゆる食物繊維）で、一般的にはジャムの成分として知られています。ペクチンのメチル化の制御や分解は植物の発生に欠かせないと考えられていますが、そのメカニズムはまだ十分に解明されていません。花粉の発生過程についても同様で、極めて初期の過程におけるペクチンの機能に関する研究はほとんどありませんでした。

本研究では、花粉形成の最も初期段階である花粉母細胞において、その細胞壁を構成するペクチンの分解と合成の調節が、花粉の発生に重要であることを示しました。

本研究チームは、ペクチンのメチル基を分解する酵素（ペクチンメチルエステラーゼ、PME）を過剰発現したイネを作成し、野生型のイネと成長段階を比較しました。その結果、花を咲かせる前の栄養成長段階では、正常に生育し、野生型との違いはありませんでした。しかし、花を咲かせた後の比較では、雌しべは正常だったものの、花粉をつくる雄しべの葯（やく）の中に花粉はほとんど存在していませんでした。

どうしてこのようになるのかを調べるため、花粉の発生過程を、最も初期段階である花粉母細胞の時期から観察しました。花粉の発生過程では、花粉母細胞が減数分裂して花粉四分子となり、これらが体細胞分裂して花粉が形成されます。しかし、PME 過剰発現イネでは、花粉母細胞の後期段階から細胞同士が異常にくっついた様子が観察され、その後の花粉四分子、花粉の形成は起きませんでした。そこで、ペクチンの分布を免疫組織化学染色で確認したところ、初期の花粉母細胞の細胞壁で、ペクチン量が維持できていない様子が観察できました。正常な細胞接着に必要なペクチンの量が維持できないことが原因で、異常に花粉母細胞同士が結合し、その後の花粉形成を阻害したものと考えられました。

以上より、花粉の形成には、花粉母細胞の時期の細胞壁においてペクチン量が適切に保たれ、正常な細胞接着を維持することが重要であることが示されました。

研究代表者

筑波大学生命環境系

岩井 宏暁 准教授

研究の背景

花粉の形成は、非常に複雑な細胞壁の変化を伴いながら進行します。その始まりとなる花粉母細胞は減数分裂をしますが、非常に微小な細胞であるため、その細胞壁の性質はよく分かっていません。しかし、ペクチン^{注1)}の分解に関わる酵素が欠損した変異体では、花粉が四つ連結した状態で形成されるなど、ペクチンの調節が花粉形成に重要な役割を持つと考えられてきました。花粉の形成については、育種など農業分野や花粉症治療など医療分野でも非常に注目度が高く、世界中で研究が進められています。

本研究チームは今回、ペクチンのメチル化レベルの変化がペクチンの合成と分解に関わることに注目し、ペクチンを脱メチル化する酵素と花粉形成との関係について調べました。

研究内容と成果

本研究チームは、ペクチンのメチル化レベルを低下させるペクチンメチルエステラーゼ^{注2)}過剰発現イネを用いて、花粉母細胞のペクチンのメチル化とその量の調節が、花粉形成に必須であることを世界で初めて示しました。これにより、花粉を形成するためには、花粉母細胞の時期の細胞壁のペクチンを正常に保つことで、正常な細胞接着を維持することが重要であることが示されました。

研究チームは、ペクチンのメチル基を分解するペクチンメチルエステラーゼを過剰発現するイネ (*OsPME-FOX*) を作成し、その表現型を観察しました。

OsPME-FOX では、ペクチンメチルエステラーゼの遺伝子発現と酵素活性が5倍に上昇しており、酵素のターゲットであるペクチンのメチル化レベルは野生型と比べて30%以下に低下し、ペクチン量全体も同約60%にまで減少していました。また、花を咲かせる前の栄養成長段階では、野生型と違いはなく正常に生育しましたが、花を咲かせた後は、雄しべの葯の中に花粉がほとんど存在していませんでした。一方、雌しべは正常に生育しました。

そこで、花粉の発生過程を、最も初期段階である花粉母細胞の時期から観察したところ、後期の花粉母細胞段階から細胞同士が異常にくっついた様子が観察され、その後の花粉四分子、花粉の形成は起きませんでした (参考図上)。メチル化ペクチン、脱メチル化ペクチンの分布を免疫組織化学染色で確認したところ、初期の花粉母細胞段階でメチル化ペクチンがほとんどなくなっており、脱メチル化ペクチンも量を維持できず、ペクチン量全体が花粉母細胞の細胞壁で少なくなっている様子が観察されました。正常な細胞接着に必要なペクチンの量が維持できないことが原因となり、異常に花粉母細胞同士が結合し、その後の花粉形成を阻害したものと考えられました (参考図下)。

以上により、花粉を形成するためには、花粉母細胞の時期のペクチンを正常に保つことで、正常な細胞接着を維持することが重要であることが示されました。

今後の展開

本研究チームは、花粉の形成がペクチンメチル化レベルによってどのように制御できるかについて、そしてペクチンのメチル化の維持が植物の生育にどのように重要な働きを持っているかについて明らかにするべく、さらに研究を進めています。今後は、ペクチンメチルエステラーゼを調節する薬剤を用い、花粉の形成の制御ができるかにも注目し、その原理を明らかにしていきます。これらの研究を通して、花粉の形成を制御できる方法を見つけられれば、花粉症の原因となるスギなどの花粉形成を制御する技術の開発に貢献することが期待されます。ペクチンは、花の他にも、根に多く含まれています。これまでほとんど分かっていなかった、ペクチンのメチル化を維持する仕組みについてより深く理解することで、ペクチンが根の成長をどのように制御しているかも明らかとすることを目指しています。

参考図

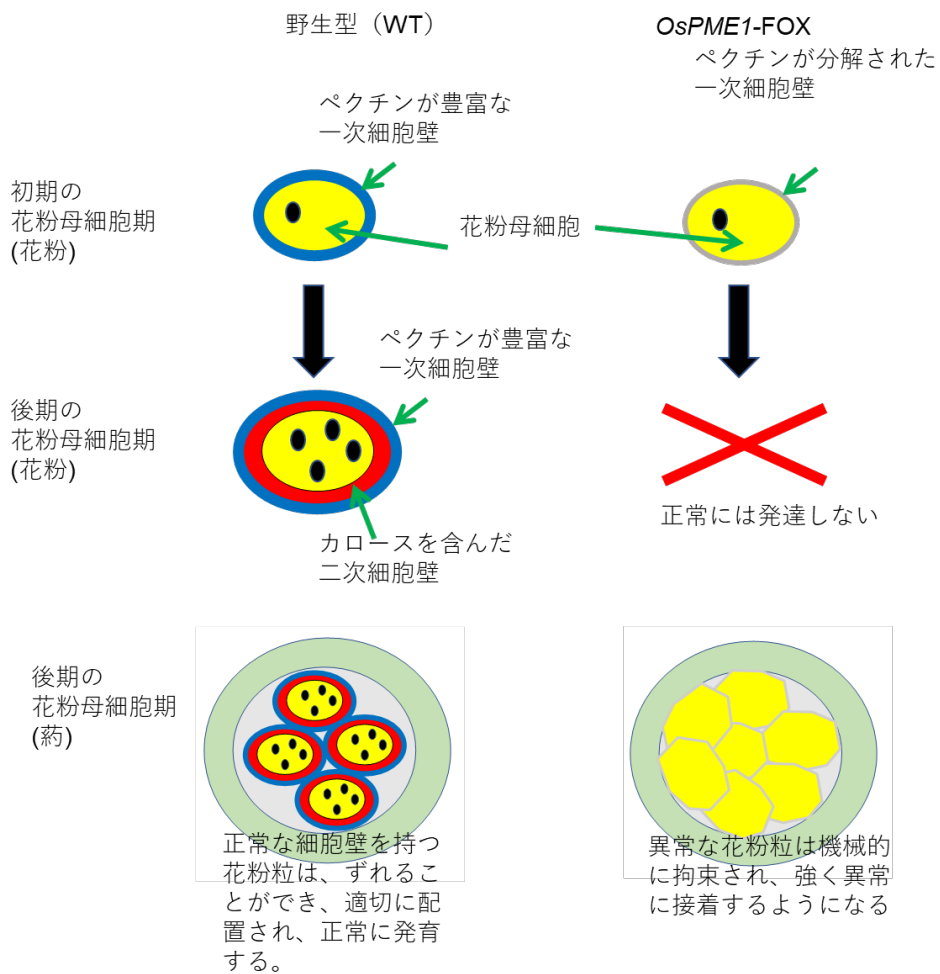
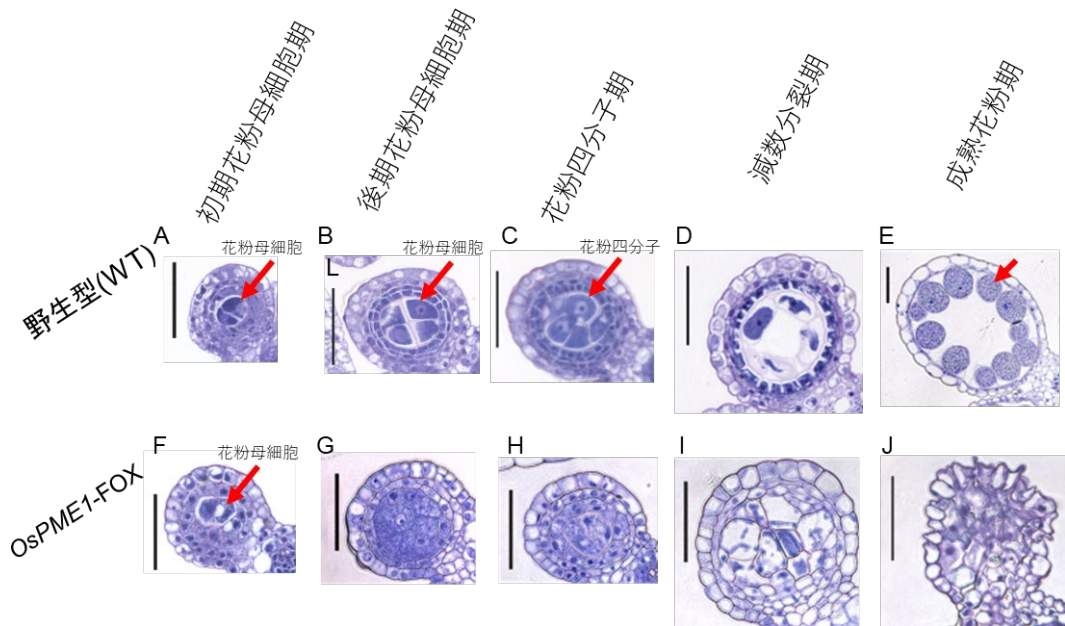


図 本研究の結果と考察 顕微鏡で OsPME1-FOX を観察したところ、花粉が形成されていないこと、後期の花粉母細胞がくっついてしまっていることがわかりました。この花粉母細胞のペクチンが適切に存在しなかったことで、不適切に花粉母細胞が結合してしまい、花粉形成を阻害したものと考えられます。

用語解説

注1) ペクチン

植物の細胞壁の成分の一つであり、ジャムなどの食品の粘度を調整する増粘多糖類としても知られている。植物の細胞がくっついたりずれたりする柔軟な接着をするために重要とされている。

注2) ペクチンメチルエステラーゼ

ペクチンのメチル基を分解する酵素。ペクチンはメチル基がとれた脱メチル化ペクチンとなると、カルシウムと結合し、くっつきやすくずれやすい柔軟な構造を取ることができる。一方で、分解されやすい性質も持つようになる。

研究資金

本研究は、科研費、市村清新技術財団のプロジェクトの一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 Maintenance of Methyl-Esterified Pectin Level in Pollen Mother-Cell Stages Is Required for Microspore Development

(花粉母細胞でのメチルエステル化ペクチンレベルの維持が小孢子形成に必要である)

【著者名】 Kazuya Hasegawa, Ai Ichikawa, Haruki Takeuchi, Atsuko Nakamura, Hiroaki Iwai

【掲載誌】 Plants

【掲載日】 2023年4月20日

【DOI】 <https://doi.org/10.3390/plants12081717>

問合わせ先

【研究に関すること】

岩井 宏暁 (いわい ひろあき)

筑波大学生命環境系 准教授

URL: <https://www.biol.tsukuba.ac.jp/~plphys/iwaihomepage/hiroiwaiindex.html>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp