

2024年9月19日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
学校法人帝京大学

植物が自ら傷口を修復する時の細胞増殖の仕組みを解明

植物は、茎などの一部が切断された際に、自らつなげて元通りにする修復能力を持っています。本研究では、このプロセスにおいて、傷口を埋めるために活性化された細胞分裂を適度に制御し、修復を完了させる役割を担う遺伝子 *At2-MMP* を発見しました。

植物の茎を傷つけると、周辺の細胞が増殖し、傷害を受けた組織が修復、癒合することで機能が回復します。この性質は、果菜類や果樹などの接ぎ木として利用されています。しかし、この過程について、細胞増殖の開始に関する研究は多くありますが、増殖のブレーキとなる抑制メカニズムに関する研究は、ほとんどありませんでした。

本研究では、シロイヌナズナを対象に、タンパク質分解酵素の一種 *At2-MMP* が、切断された花茎（花のついた茎）の組織修復プロセス中の細胞増殖の抑制メカニズムに重要であることを示しました。シロイヌナズナの *At2-MMP* 遺伝子が欠損した変異体 (*at2-mmp* 変異体) と野生型について、切断後の組織修復の様子を比較したところ、*at2-mmp* 変異体では、切断部における異常な細胞増殖が促進されていました。

切断された野生型のシロイヌナズナの花茎では、切断後約3日目に髄組織（根や茎の中心部）で細胞増殖が始まりますが、*At2-MMP* の転写産物は、0日目から5日目にかけて徐々に増加し、7日目には減少して組織の修復が完了します。しかし *at2-mmp* 変異体では、異常な細胞分裂が起きていることが画像解析で確認されました。一方、*At2-MMP* 遺伝子を過剰に発現させた場合、野生型と同様に正常な傷の回復が観察されました。以上のことから、*At2-MMP* は組織修復プロセスにおいて、切断部での細胞分裂を抑制し、異常な細胞増殖を防いで組織の修復に寄与していることが示されました。このような機能は、移動できない植物が傷害に対する自己治療力を向上させるために獲得した生存戦略の一つである可能性があります。

研究代表者

筑波大学生命環境系

岩井 宏暁 准教授

帝京大学理工学部バイオサイエンス学科

朝比奈 雅志 教授

研究の背景

植物の茎は、植物体を支えるとともに、根から吸収された水やミネラルを葉や芽などの地上部へ送り、葉で合成された同化産物（光合成によって作られる物質）を根に運ぶ重要な経路として働いています。そのため、茎に傷がつくと、植物にとって致命的です。植物は傷害によって失われた組織を速やかに再生し、分離された組織を癒合させる高い再生力を持っています。この自己治癒力は接ぎ木として利用され、キュウリやトマトなどの果菜類やブドウなどの果樹、サクラなどの園芸品種の生産において、世界中で重要な技術となっています。

一方、この過程では、細胞分裂が活性化され、細胞増殖が起こりますが、その制御機構は不明でした。今回、本研究グループは、細胞増殖を抑制することで異常な細胞分裂を抑制するブレーキ役を演じる酵素 At2MMP を発見しました。

研究内容と成果

本研究では、シロイヌナズナを対象に、マトリックスメタロプロテアーゼ（MMP）^{注1}の一種である酵素 At2-MMP が、切断された花序茎の組織修復プロセスにおいて、細胞増殖の抑制メカニズムに重要であることを示しました。MMP は、生物界に広く分布するタンパク質分解酵素ですが、脊椎動物の MMP についての報告は非常に多い反面、植物の MMP については、その存在は知られているものの、機能については報告がほとんどありませんでした。

シロイヌナズナの *At2-MMP* 遺伝子が欠損した変異体 (*at2-mmp* 変異体) と、野生型のシロイヌナズナについて、切断後の組織修復の様子を比較しました。切断された野生型のシロイヌナズナの花茎では、切断後約 3 日目に髄組織で細胞増殖が始まり、7 日ほどで組織の修復が完了します。この時、シロイヌナズナのゲノムに 5 つ存在するうちの 1 つ At2-MMP の遺伝子発現が、切断後 0 日目から 5 日目にかけて徐々に増加し、7 日目には減少しました（参考図上）。*At2-MMP* は 0~3 日目の初期段階では傷に対して反応し、5~7 日目の後期段階では組織修復に関与する可能性が高いと考えられます。残り 4 つの MMP は、遺伝子発現量も低く切断にも反応しなかったことから、これらは組織修復に関与せず、*At2MMP* だけが重要であると結論付けました。

また、*at2-mmp* 変異体では、切断後の組織修復が 7 日目に完了しても、異常な細胞増殖が生じており、修復がうまくいっていない様子が観察されました（参考図下）。細胞分裂マーカー遺伝子の発現量も増加しており、画像解析でも異常な細胞分裂が起きていることが確認されました。さらに、*At2-MMP* を過剰発現させた場合には、野生型と同様に傷が回復しました。このことは、*At2-MMP* が機能しているときには、細胞増殖が弱まっていることを示しています。つまり、*At2-MMP* は、増殖を促進する因子を分解して細胞増殖を抑制する調節因子であると考えられました。

今後の展開

植物の優れた修復能力は古くから知られており、この能力は接ぎ木や農業、園芸など、さまざまな分野で広く利用されています。接ぎ木の成功と健全な成長には、穂木と台木がしっかりと連結することが重要です。今後、*At2-MMP* が働くターゲットとなる細胞分裂促進因子の特定が進めば、接ぎ木の接着効率向上や、自然災害による植物の損傷治療・保護、傷害に強い植物の開発、バイオマス増産など、新たな農業・園芸技術の創出につながると期待されます。

参考図

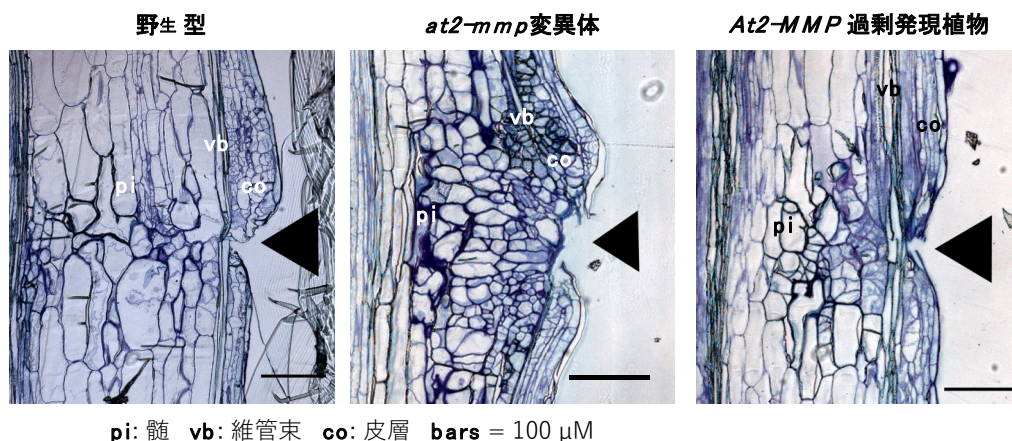
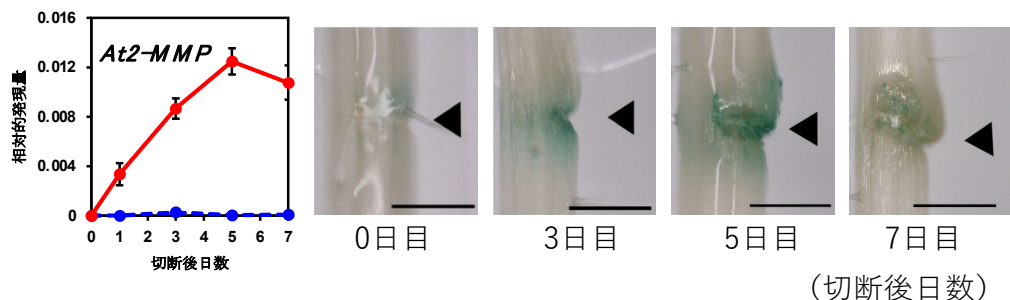


図 本研究の結果

(上図) At2-MMP の遺伝子発現は、切断後 0 日目から 5 日目にかけて徐々に増加し、7 日目には減少していた (左グラフの赤線)。また、At2-MMP が傷口で働いている様子が観察された (矢印で示した青色部分)。

(下図) 切断後 7 日目の観察をした結果、At2-MMP が欠損した変異体 (*at2-mmp* 変異体) では、切断部における異常な細胞増殖が促進されていた。一方、At2-MMP 遺伝子を過剰に発現させた場合、野生型と同様に正常な傷の回復が観察された。

用語解説

注1) マトリックスメタロプロテアーゼ

活性中心に亜鉛イオンを配置しているタンパク質分解酵素の総称。細胞の外に分泌され、タンパク質を分解する機能を持つことが知られている。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト (18075004、24114006、17K08191)、市村新技術財団の第 31 回および第 32 回植物研究助成金、JST SPRING (JPMJSP2124)、および私立大学戦略的研究基盤支援事業、帝京大学先端総研チーム研究助成金 (TeTe20-01)の一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 At2-MMP is required for attenuation of cell proliferation during wound healing in incised *Arabidopsis* inflorescence stems.

(At2-MMP は切断したシロイヌナズナの花茎の組織癒合中の細胞増殖の抑制に必要である)

【著者名】 Afiifah Machfuudzoh, Weerasak Pitaksaringkarn, Ryo Koshiha, Takumi Higaki, Randeep Rakwal, Yusuke Ohba, Masashi Asahina, Shinobu Satoh, Hiroaki Iwai

【掲載誌】 Plant and Cell Physiology

【掲載日】 2024年9月13日（オンライン先行公開）

【DOI】 10.1093/pcp/pcae103

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

TEL: 029-853-7260

Email: iwai.hiroaki.gb@u.tsukuba.ac.jp

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

帝京大学本部広報課

TEL: 03-3964-4162

E-mail: kouhou@teikyo-u.ac.jp