



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2025 年 4 月 9 日

報道機関 各位

植物の気孔を開かせる新たな化合物を発見 ～人為的な植物の光合成や収量向上への応用にも期待～

【本研究のポイント】

- ・植物の表皮に存在する気孔は、植物と大気間のガス交換を行う。
- ・本グループでは、新たに気孔を開かせる化合物として、PP242 を発見した。
- ・PP242 は気孔において、気孔閉鎖を引き起こす植物ホルモン・アブシジン酸(ABA)^{注1)}の作用を強く抑制した。
- ・PP242 は ABA 初期シグナル伝達を抑制し、直接の標的として B3 clade Raf-like kinases を阻害することを明らかにした。

【研究概要】

植物は、体表に存在する気孔と呼ばれる孔(あな)を通して、大気と二酸化炭素や水分のやり取りを行います。気孔は環境刺激に応答して開閉することが知られており、その開閉のメカニズムの理解を活かした人為的な気孔開度の調節は、植物の成長促進や乾燥耐性の強化に重要です。

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM[※])および名古屋大学大学院理学研究科の王 愛里 研究当時 博士前期課程学生、木村 陸 研究当時 博士前期課程学生、井上 心平 研究当時 博士前期課程学生、佐藤 太洋 研究当時 博士前期課程学生、林 優紀 助教、佐藤 綾人 特任准教授、高橋 洋平 特任准教授、木下 俊則 教授らの研究グループは、新たに気孔開口を引き起こす化合物として PP242 を同定し、PP242 が気孔閉鎖を誘導する植物ホルモン・アブシジン酸(ABA)の作用を抑制することを明らかにしました。

本研究は、植物の光合成や収量の向上につながる可能性があり、農業分野への貢献が期待されます。本研究成果は、2025 年 1 月 31 日に日本植物生理学会「Plant & Cell Physiology」のオンライン版に掲載されました。

【研究背景と内容】

陸上植物は体表に気孔と呼ばれる無数の小さな孔(あな)を持っています(図1)。気孔は二酸化炭素を取り込み、光合成を行うために不可欠な装置ですが、同時に気孔からの蒸散を介して水分が失われるため、乾燥した環境では過剰な水分損失を防ぐために閉じる仕組みがあります。この気孔の開閉は、環境条件や植物ホルモンによって調節されています(図1)。とくに、乾燥ストレス時に植物内で増加するアブシジン酸(ABA)という植物ホルモンは、気孔を閉じるシグナルを出し、水分の蒸散を抑える役割を担います。研究グループは、これまでに気孔の開閉を人為的に誘導できるユニークな化合物を複数、同定してきました。

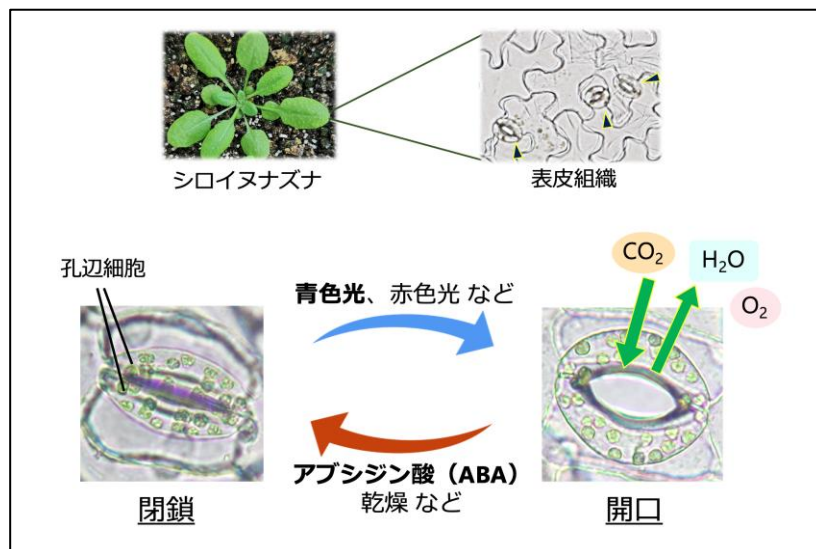


図 1.植物の気孔

ほとんどの陸上植物の体表には一対の孔辺細胞で囲まれた気孔が多数存在する。気孔は光により開き、乾燥を伝える植物ホルモンの ABA によって閉じるというように、環境刺激に応答して自身の開閉を制御する。

【新たに発見された化合物「PP242」の効果】

これまでに当研究室では TOR(Target of Rapamycin)^{注2)} 阻害剤の一部が気孔開口を引き起こす作用を持つことを明らかにしています。そこで、TOR キナーゼ阻害剤に着目し、複数の TOR 阻害剤の化合物の中から、気孔開閉に影響を与える化合物を探索しました。その結果、PP242 と呼ばれる化合物が強力な気孔開口促進化合物として機能することが明らかになりました(図2)。

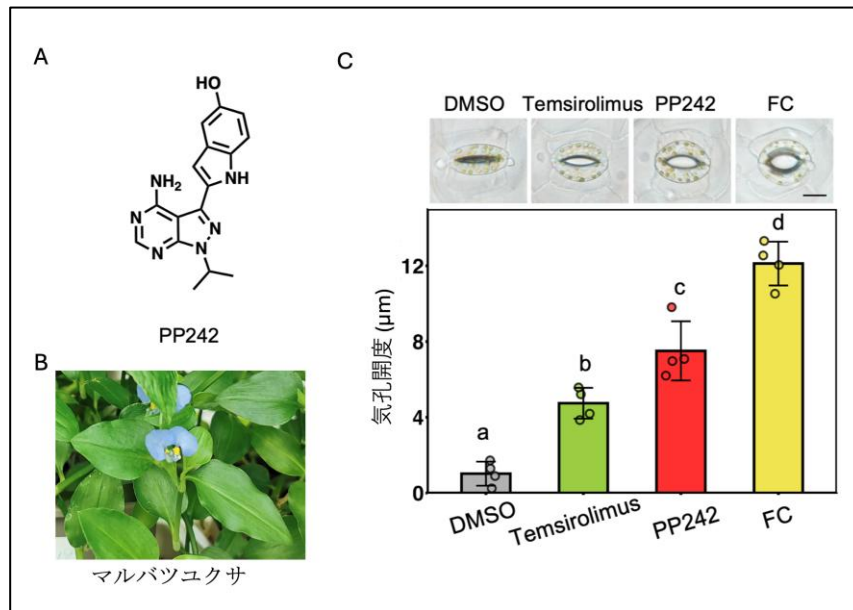


図 2. PP242 は気孔開口を誘導する

A: PP242 の構造的式。B: 気孔開度の測定に用いたマルバツユクサの写真。C: PP242 によるマルバツユクサの気孔開口誘導。一晚暗所においたマルバツユクサから表皮を単離し、各化合物を処理した。DMSO はネガティブコントロール。Temsirolimus は当研究室で過去に同定した、気孔開口を誘導する TOR キナーゼ阻害剤。FC は気孔開口を促進するカビ毒素。

【PP242 は ABA による気孔閉鎖を抑えた】

PP242 が気孔開口を引き起こすメカニズムを探索するため、既に知られている気孔開閉シグナルに着目しました。植物ホルモンであるアブシジン酸 ABA は気孔を閉じることが知られています。そこで、PP242 が ABA シグナル伝達を抑制する可能性を調べるために、PP242 によって開かせた気孔が ABA に応答して閉じるかどうかを調べました。その結果、ABA は PP242 によって開いた気孔には全く効果を示さず、PP242 は ABA の気孔閉鎖の機能を完全に抑制しました(図 3)。

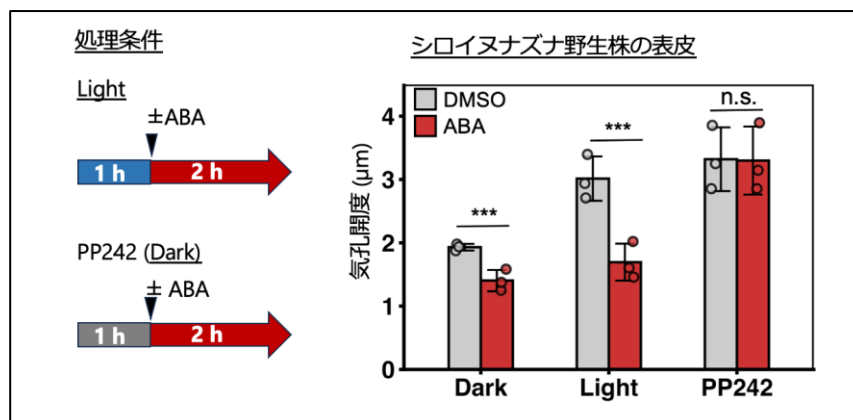


図3. PP242 による ABA 誘導性気孔閉鎖の阻害。

一晚暗馴化させたシロイヌナズナの野生株から得た表皮に化合物を処理または光を照射して気孔を開かせた。続いて、気孔閉鎖を誘導する ABA を加え、気孔閉鎖を誘導した。

【PP242 は ABA のシグナル伝達に関連するキナーゼを標的とした】

その後の生化学的な実験から、PP242 は ABA シグナル伝達で重要なサブクラス 3 に属する SnRK2s(SNF1-related protein kinases2) 注³⁾の機能を植物体内で抑制することが明らかとなりました。このことから、PP242 は ABA の初期シグナル伝達に関わることが予想されます。モデル植物のシロイヌナズナにおいて、SnRK2s をリン酸化し活性化するキナーゼタンパク質として、B2 clade Raf-like kinases と B3 clade Raf-like kinases が知られています。PP242 が TOR キナーゼ阻害剤として開発されたことから、PP242 が SnRK2s を含めたこれらのキナーゼに結合し、機能を阻害する可能性があります。そこで、ABA のシグナル伝達に関わるこれらの精製タンパク質と放射性同位体の γ -³²P-ATP を用いてタンパク質リン酸化実験注⁴⁾を行いました。その結果、PP242 は SnRK2s の一種である OST1 のキナーゼ活性を直接は阻害せず、SnRK2s をリン酸化する B3 clade Raf-like kinases を阻害することが明らかとなりました(図 4)。

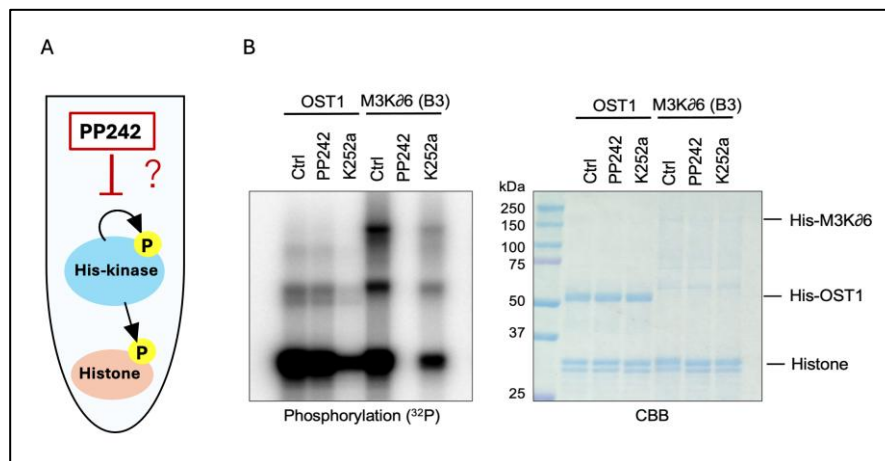


図4. PP242 による B3 clade Raf-like kinases の阻害。

A: タンパク質リン酸化実験の模式図。B: リン酸化のシグナル(左)とタンパク質の量(右)。キナーゼの自己リン酸化およびリン酸基質(ヒストン)のシグナルを検出することで、キナーゼの活性状態を検出できる。

【成果の意義】

本研究では、新たな気孔開口化合物として PP242 を同定し、その主要な作用メカニズムを解明しました(図 5)。しかし、実験結果からは PP242 が B3 clade Raf-like kinases 以外にも標的を持つことが予想されます。PP242 は植物ホルモンの一種である ABA のシグナル伝達経路に作用することから、今後、さらなる PP242 の標的の解明や作用機序の理解を深めることで、ABA のシグナル伝達の深い理解につながることを期待されます。

また、PP242 は基礎研究において気孔開口化合物として用いることができるほか、気孔を開かせる農薬開発の基点となる事が期待されます。気孔開閉は植物の二酸化炭素取

り込み量と水利用効率に密接に関わるため、化合物を用いた人為的な気孔開閉の制御は、これからの変動する気候環境に立ち向かう強力な選択肢となる可能性があります。今後、PP242 は気孔開口促進化合物として、野外での使用を視野に入れた研究・開発が期待されます。

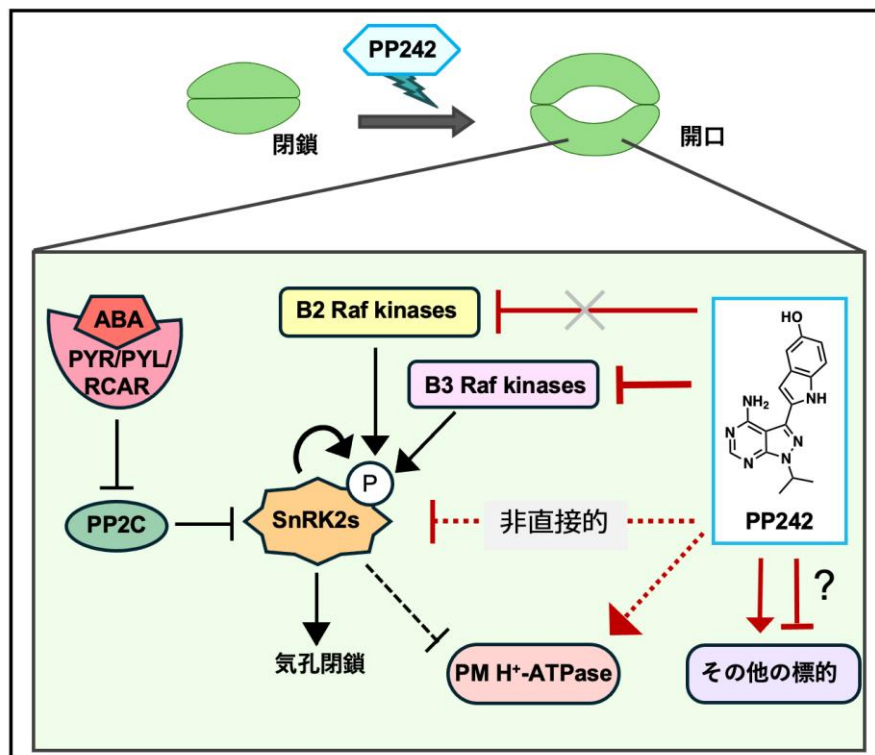


図 5. PP242 の気孔における作用機序の模式図。

本研究は、基盤研究(S)[20H05687]、学術変革領域 A(不均一環境と植物)[20H05910]、科学技術振興機構(JST)さがけ「植物分子の機能と制御」[PMJPR21D8]の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1)アブシジン酸:

植物ホルモンの一種。乾燥ストレス時の植物生理応答を中心的に担い、種子休眠や気孔閉鎖といった乾燥ストレス応答の生理反応を誘導する。

注 2)TOR (Target of Rapamycin):

真核生物に広く保存されている Ser/Thr プロテインキナーゼ。細胞の成長や増殖の制御に関わる。

注 3)SnRK2s (SNF1-related protein kinases 2):

キナーゼの一種であり、サブクラス 1～3 に分類される。特にサブクラス 3 の SnRK2s は ABA シグナル伝達の中心的な機能を担う。SnRK2s は ABA の存在下で活性化し、下流の複数の因子をリン酸化することで ABA のシグナルを伝達する。

注 4)タンパク質リン酸化実験:

キナーゼの自己リン酸化及び他の因子のリン酸化を検出するために、放射性同位体の γ - ^{32}P -ATP を用いる。試験管内でキナーゼと γ - ^{32}P -ATP を反応させた後に、 ^{32}P のシグナルを検出することでキナーゼ活性を観察する。

【論文情報】

雑誌名: Plant & Cell Physiology

論文タイトル: Identification of a novel stomatal opening chemical, PP242, that inhibits early abscisic acid signal transduction in guard cells. (孔辺細胞において初期 ABA シグナル伝達を抑制する、新規気孔開口化合物 PP242 の同定)

著者: Airi Oh, Riku Kimura, Shinpei Inoue, Taiyo Sato, Yuki Hayashi, Ayato Sato, Yohei Takahashi, Toshinori Kinoshita (王愛里, 木村陸, 井上心平, 佐藤太洋, *林優紀, *佐藤綾人, *高橋洋平, *木下俊則)(全て本学関係者、*名古屋大学教員)

DOI: /10.1093/pcp/pcaf013

URL: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaf013>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>



※【WPI-ITbM について】(<http://www.itbm.nagoya-u.ac.jp>)

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM)は、2012 年に文部科学省の世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)の 1 つとして採択されました。

WPI-ITbM では、精緻にデザインされた機能をもつ分子(化合物)を用いて、これまで明らかにされていなかった生命機能の解明を目指すと共に、化学者と生物学者が隣り合わせになって融合研究をおこなうミックス・ラボ、ミックス・オフィスで化学と生物学の融合領域研究を展開しています。「ミックス」をキーワードに、人々の思考、生活、行動を劇的に変えるトランスフォーマティブ分子の発見と開発をおこない、社会が直面する環境問題、食料問題、医療技術の発展といったさまざまな課題に取り組んでいます。これまで 10 年間の取り組みが高く評価され、世界トップレベルの極めて高い研究水準と優れた研究環境にある研究拠点「WPI アカデミー」のメンバーに認定されました。