

植物ホルモン「オーキシン」が植物の中で生合成・不活性化される速度を決定

—植物内でのホルモン量を調節するカギとなるしくみを発見—

ポイント

- 植物ホルモン・オーキシン^(補足1)は、オーキシンにアミノ酸を付加する GH3 とよばれる酵素により、オーキシン-アミノ酸付加体に不活性化される。この GH3 酵素を強力に阻害する酵素阻害剤 KAKEIMIDE を世界に先駆けて創製した。
- GH3 酵素阻害剤 KAKEIMIDE を活用することで、およそ 10 分で、植物内でのオーキシンがすべて入れ替わっていることが明らかとなった。
- オーキシンの生合成・不活性化はきわめて速い過程で行われており、ホルモン量は非常にダイナミックな調節を受けていることが明らかとなった。

要旨

岡山理科大学・福井康祐講師・林謙一郎教授、California 大学, San Diego 校・Yunde Zhao 教授、英国 Warwick 大学・Richard Napier 教授・Washington 大学・Joseph M Jez 教授、東京農工大学・笠原博幸教授からなる国際共同研究グループ（岡山理科大学、東京農工大学、California 大学, Warwick 大学, Washington 大学, 東京農工大学）は、植物ホルモンの 1 種「オーキシン」を不活性化する GH3 酵素の強力な阻害剤の開発に成功しました。本研究成果は、The Proceedings of the National Academy of Sciences, 米国科学アカデミー紀要（PNAS）誌に掲載されました。掲載先の URL は以下の通りです。

<https://doi.org/10.1073/pnas.2206869119>. (*Proc Natl Acad Sci U S A.* 2022;119(32):e2206869119.)

オーキシンの 1 つであるインドール-3-酢酸 (IAA) は、植物内で TAA1 と YUCCA という 2 つのオーキシン合成酵素により、アミノ酸のトリプトファンから合成されます。オーキシンは非常に強いホルモン作用をもつため、合成されたオーキシンがそのままの状態では植物の体の中に残り続けると、植物にとって猛毒となります^(補足2)。したがって、ホルモンとしての役目を終えた後はすみやかに不活性化・分解されることが必要になります。

植物の基本的な成長制御のしくみを理解するうえでオーキシンの不活性化・分解経路の解明は重要であり、長年にわたる植物学の課題の一つでした。^(補足3) アブラナ科の実験植物であるシロイ

又ナスナ^(補足4)においては、IAA にアミノ酸を結合させて不活性化体に変換する 8 種の GH3 酵素が中心的な働きをしています。この GH3 による不活性化と、生合成酵素 YUCCA のバランスで、オーキシンの細胞内の量が調節されると考えられてきました。しかしながら、この不活性化のしくみが、多くの植物に共通して存在するかどうか？また、オーキシンがどのくらい合成されて、どのくらい不活性化されるのか？ これらの重要な問いは、未解決でした。

本研究では、開発がきわめて困難と考えられてきた GH3 酵素の強力な阻害剤を創製し、KAKEIMIDE と名づけました。KAKEIMIDE は、0.34 ナノモルの濃度（およそ 1000 万分の 1 g を水 1L に溶かした濃度）で GH3 酵素を強力に阻害します。この強力な阻害剤を活用して、植物内の GH3 酵素の活性を完全に阻害することに成功しました。また、KAKEIMIDE で、植物のオーキシン不活性化がほぼ完全に止まると、驚いたことに、植物内のオーキシン量は約 10 分間で 2 倍になりました。通常オーキシンの量はほとんど変化しません。このことから植物内のオーキシン量は、そのすべての量がおよそ 10 分で合成されて、不活性化されていくという（植物内のオーキシンはおよそ 10 分ですべて入れ替わる）、結果が示されました。これまで、オーキシンがどのくらいの速さで入れ替わるのか（生合成と不活性化のつり合い）？という、ホルモン作用の基礎となる重要な問いに初めてその答えが示されました。

陸上植物のすべてが、オーキシンをホルモンとして利用しています。植物は、その種によって、形態・生育環境など非常に多様です。KAKEIMIDE は、キク科・アブラナ科・セリ科・ナス科・イネ科などの多様な植物でオーキシンの GH3 酵素による不活性化を阻害しました。また、コケ植物であるヒメツリガネゴケのオーキシン不活性化を阻害しました。これらのことから、ほぼすべての陸上植物では GH3 酵素によるオーキシンの不活性化が重要な代謝経路であることが示されました。

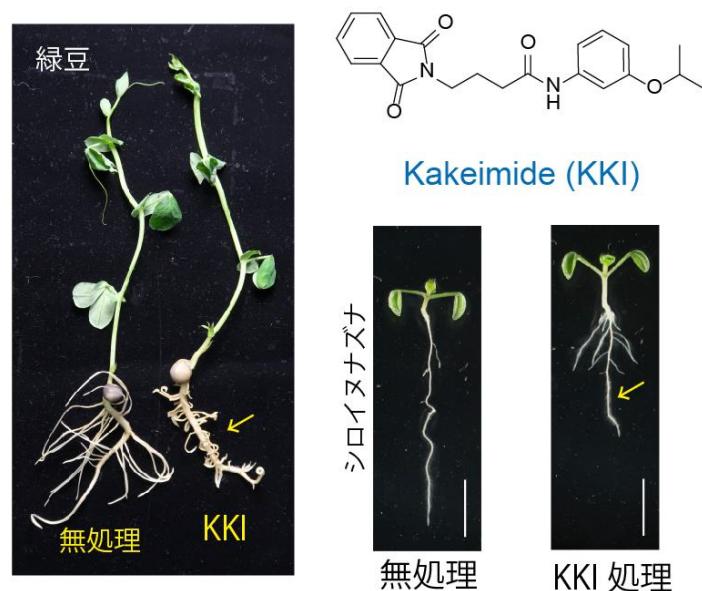


図 オーキシンを不活性化する GH3 酵素の働きを KAKEIMIDE で阻害すると、オーキシンが蓄積して、根の発生が異常に促進される。

今後の期待

KAKEIMIDE を活用することで、これまで不明であった植物種（多くの作物や果樹）などで、ホルモン・オーキシンによる植物の複雑な成長調節メカニズムの解明がさらに進むと考えられます。化学合成されたオーキシンは、成長促進剤、発根促進剤さらに除草剤などの農薬として、農業分野で幅広く利用されています。今回、オーキシンの分解を抑制する化合物が開発されたことから、ホルモン効果の増強剤の開発につながると期待できます。農作物、綿花などの衣料原料、樹木バイオマスなどを増産する新たな研究の道が拓かれると期待できます。

補足説明

1.植物ホルモン 植物の成長を極微量で調節する化学物質の総称。植物ホルモンとして、これまでに、オーキシン、ジベレリン、サイトカイニン、エチレン、ジャスモン酸、アブシジン酸、ブラシノステロイド、ストリゴラクトン、サリチル酸などが発見されている。

2.オーキシン 植物の成長や分化の調節で、中心的な役割をはたす植物ホルモン。植物細胞の伸長や分裂を調節することや、光や重力による植物の屈曲に関与する。オーキシンは微量で劇的なホルモン作用を示す。そのため、過剰なオーキシンは植物の成長調節を乱すことで、最終的には枯死に至る。化学合成されたオーキシン剤が除草剤として幅広く使用されています。

3. オーキシンは、植物内で生合成されて、細胞間を極性輸送され、不活性化・分解される。その結果、細胞間でのオーキシン濃度が調節されて、オーキシンの濃度が高くなる細胞では、オーキシンの効果が強くなり、ホルモン作用が活発となる。

4.シロイヌナズナ アブラナ科シロイヌナズナ属の 1 年草。学名は *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.。モデル実験植物として世界中で幅広く利用されている植物。アブラナ科には、大根、小松菜、キャベツ、白菜、ブロッコリーなどの野菜が属する。

原著論文情報 論文名 Chemical inhibition of auxin inactivation pathway uncovers the roles of metabolic turnover in auxin homeostasis

著者 Kosuke Fukui¹, Kazushi Arai², Yuka Tanaka², Yuki Aoi³, Vandna Kuksha⁴, Joseph M Jez⁴, Martin F Kubes⁵, Richard Napier⁵, Yunde Zhao⁶, Hiroyuki Kasahara^{7,8}, Ken-ichiro Hayashi¹（責任著者）

掲載紙 Proceedings of the National Academy of Sciences 米国科学アカデミー紀要 (PNAS)

研究に関する問い合わせ 岡山理科大学 生命科学部生物科学科 教授 林謙一郎・講師 福井康祐 E-mail: ken-hayashi[at] ous.ac.jp または、fukui[at] ous.ac.jp [at]を@に置き換えてください。