

植物の根における窒素栄養取込み効率を制御するホルモンを発見 －窒素飢餓に強い作物の作出への応用に期待－

【概要】

名古屋大学 大学院理学研究科 生命理学専攻の松林嘉克教授と田畑亮研究員、住田久美子研究員、篠原秀文助教らの研究グループは、植物の根における窒素栄養取り込み量を全身的に制御する新しいホルモン「CEP」を発見するとともに、その作用のしくみを明らかにしました。

植物が根から吸収する無機養分のうち最も大切な元素のひとつは窒素です。根は地中から窒素を主に硝酸イオンとして吸収し、成長に必要なタンパク質などをつくりだしています。しかし、自然界の土壌中の硝酸イオンの分布は、植物自身による取り込みや雨水による流出などのために極めて不均一であることから、個体全体としての硝酸イオン取り込み量を最適に保つには、個々の根がおかれた環境に応じて取り込み効率を変化させる必要があります。今回、松林教授らは、根の片方が窒素飢餓を感知するとペプチド性のホルモン分子「CEP」を生産し、それらが道管を移行して地上部で受容体に認識されることを介して、植物体全体に窒素飢餓を知らせていることを発見しました。この作用によってもう片方の根での硝酸イオン取り込み量が増大し、局所的な窒素の不足分が補填されていました。逆にこのシステムを失った植物では、硝酸イオン取り込み能力が低下し、葉が黄色くなって草丈も小さくなりました。この発見は、変動する窒素環境に対する植物の巧みな適応能力の一端を明らかにするとともに、窒素飢餓に強い作物の作出にも応用が期待できるものです。

この成果は平成 26 年 10 月 17 日（金）に米国科学誌「Science（サイエンス）」で発表されます。



【研究の背景と内容】

アミノ酸が 10 数個つながってできた小さなペプチド群が、植物の成長の様々な段階でホルモンとして重要な働きをしている事例の報告が増えつつあります。このタイプの短鎖ペプチドホルモンの生産過程や構造にはいくつかの特徴があるため（図 1）、研究

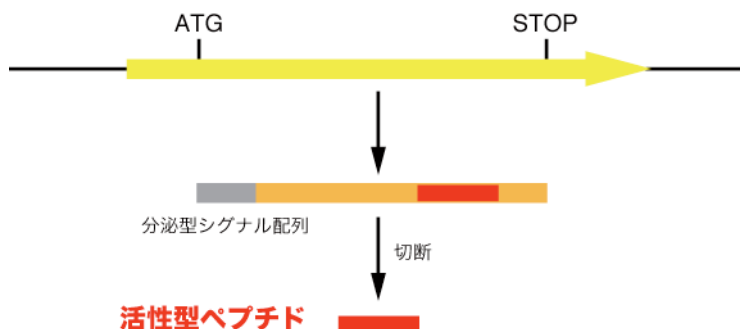


図 1. 短鎖ペプチドホルモンの生産過程

グループは、ゲノムが解読されているシロイヌナズナの遺伝子情報を参考にして、類似の過程で生産される可能性のあるペプチド群を選び出しました。そのひとつが CEP（C-terminally Encoded Peptide）ファミリーであり、シロイヌナズナに少なくとも 11 個の遺伝子が見出されました（図 2）。CEP の多くは根で特異的に発現していました。本研究グループが CEP をペプチドホルモン候補として解析し始めたのは 2008 年のことです。遺伝子が多数存在しているために、すべてを欠損させた植物をつくることができず、当初は機能がよく分かりませんでした。

Asp Phe Arg Hyp Thr Asn Pro Gly Asn Ser Hyp Gly Val Gly His

図 2. CEP1 の構造

そこで発想を転換し、CEP を認識する受容体分子を見つけ出すことを試みました。うまく受容体が見つければ、その欠損株の解析から CEP ファミリーペプチドの機能を明らかにすることができます。短鎖ペプチドの受容体として機能する分子がいくつか含まれる LRR 型受容体キナーゼファミリーに対して、網羅的な結合実験を行なった結果、それらのうち 2 つが CEP の受容体（CEPR と命名）として機能していることが明らかになりました。この 2 つの CEPR を両方とも欠損させた植物体は、窒素欠乏時にしばしば観察される側根の伸長や、葉の黄化、植物体の矮小化などの形態変化を示したことから、CEP が窒素応答に関与している可能性が示唆されました（図 3）。

この結果に基づき、CEP ファミリーペプチドが窒素応答のどのような過程に関与しているかをさらに調べた結果、根の片方が窒素飢餓になった際に、もう片方の根で窒素の取り込みを促進して補填するしくみ（全体的窒素要求シグナリングと呼ばれる）に関わる遺伝子群の発現が、CEP によって制御されていることが示されました。全体的窒

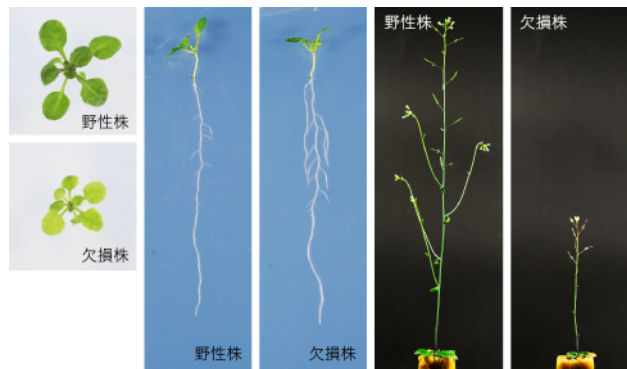


図 3. CEP 受容体 2 重欠損株の表現型

素要求シグナリングは、自然界において土壌中の硝酸イオンの分布が不均一な場合でも、個体全体としての硝酸イオン取り込み量を最適に保つために植物が進化させたしくみです。詳細な解析から、CEP の機能と作用のしくみを以下のように結論づけました（図 4）。

- ①根の片方が窒素飢餓を感知すると、根における CEP ファミリーペプチドの発現レベルが急上昇し、道管を通して地上部へ CEP が送られる。
- ②地上部へ到達した CEP は、葉などの維管束（葉脈部分）で発現している受容体、CEPR によって認識され、全身に窒素飢餓を伝える 2 次シグナルが生産される。
- ③2 次シグナルは、（おそらく篩管を通して）根に移行し、まだ硝酸イオンが残されている環境にある根に働きかけて NRT2.1 などの硝酸イオン取り込み輸送体の発現を上昇させる。これにより、局所的な窒素飢餓による不足分を補っている。
- ④このしくみによって、植物は変動する窒素環境に対して巧みに適応することができる。

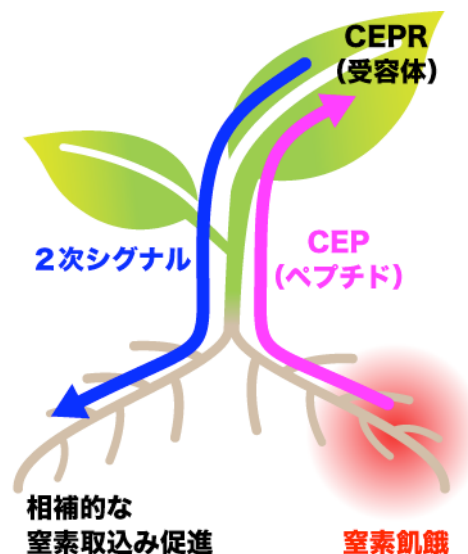


図 4. ペプチドホルモン CEP を介した全身的窒素要求シグナリング

【成果の意義】

今回のダイナミックなシグナル経路の発見は、動き回らず一見静的に見える植物における環境適応能力の驚くべき巧みさや賢さの一端を示しています。

窒素は、その供給が植物の生育や収量に大きく影響します。そのため、農業の現場では、しばしば過剰な窒素肥料の投与が行なわれ、環境問題や食料価格の高騰などの原因となっています。今回発見されたシグナル経路は、植物の窒素取り込みの根幹に関わるしくみと考えられます。このシグナル経路を強化することで、より効率よく窒素栄養を取り込み、最小限の肥料で生育できる作物の作出が可能になるかもしれません。

また、根における硝酸イオン取り込み効率の調節が、地上部から制御されているという事実は、例えば、葉にかけるだけで根での硝酸イオン取り込みを促進するような薬剤の開発が原理的に可能であることを示しており、植物成長の化学制御にも新しい概念をもたらすものです。

【論文名】

Perception of root-derived peptides by shoot LRR-RKs mediates systemic N-demand signaling

根由来のペプチドの地上部における受容が全身的な窒素要求シグナリングを調節している
Ryo Tabata, Kumiko Sumida, Tomoaki Yoshii, Kentaro Ohyama, Hidefumi Shinohara and Yoshikatsu Matsubayashi*

【研究費】

本研究は科研費・基盤研究（S）による支援を受けました。

課題名：翻訳後修飾ペプチドを介した植物形態形成の分子機構

研究代表者：松林嘉克

課題番号：25221105

研究期間：2013年5月31日～2018年3月31日