



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

報道の解禁日(日本時間)
(テレビ, ラジオ, インターネット) : 2024年8月23日(金) 18時
(新聞) : 2024年8月24日(土) 付朝刊

2024年8月19日

報道機関 各位

植物も食いだめをしないと自然界では生きていけない！ ～植物が空腹を感じるしくみを解明、農業分野への応用に期待～

【本研究のポイント】

- ・植物は葉の窒素需要(空腹や満腹)に応じて、根からの窒素吸収量を調節している。
- ・本研究では、根において葉由来の空腹／満腹シグナルと結合して窒素吸収に必要な遺伝子群の発現を制御するタンパク質 TGA1 および TGA4 を発見した。TGA1/4 を欠損した植物は、土壤中の窒素栄養量が経時的に変動する環境では、葉の窒素需要の増大に応じた根からの吸収促進ができないために正常に成長できなかった。
- ・本成果は、窒素吸収能力を最適化した作物の作出につながると期待される。

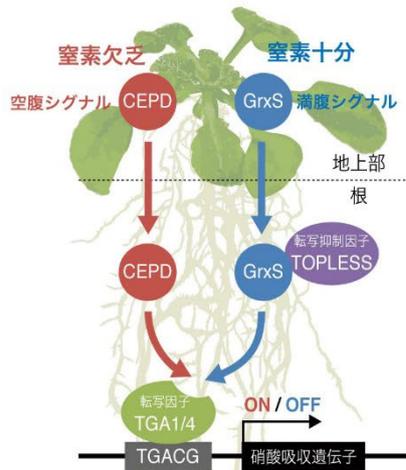
【研究概要】

名古屋大学大学院理学研究科の小林 竜太郎 博士前期課程学生(当時)と大久保 祐里 助教、大西(小川) 真理 助教、松林 嘉克 教授らの研究グループは、植物が葉の窒素需要(空腹や満腹)に応じて根における窒素栄養の吸収量を調節するしくみを解明しました。

窒素は植物の成長に最も重要な栄養素のひとつで、主に硝酸イオンを根から吸収していますが、その吸収は、葉からのシグナルによって調節されています。本研究では、葉の窒素需要を根に知らせるシグナルとして、既に発見していた空腹シグナルに加えて、満腹シグナルが存在することを発見しました。

さらに本研究では、根において空腹シグナルおよび満腹シグナルと結合して窒素吸収に必要な遺伝子群の発現を制御するタンパク質 TGA1 および TGA4 を発見しました。TGA1/4 は転写因子^{注1)}として働き、TGA1/4 に対して空腹シグナルが結合すると窒素吸収遺伝子の発現を促進し、満腹シグナルが結合すると発現を抑制することを突き止めました。転写因子 TGA1/4 を欠損した植物は土壤の窒素量が変動する環境に適応できず、葉が小さくなるなど正常に生育できないことが分かりました。

これらの結果は、刻々と変動する土壤窒素栄養環境への植物の適応のしくみを理解する上で重要な手がかりとなり、今後の農業分野への応用も期待されます。本研究成果は、2024年8月23日18時(日本時間)付のイギリス科学雑誌「Nature Communications」オンライン版に掲載されます。



植物は葉の窒素需要（空腹・満腹）を、空腹シグナル CEPD や満腹シグナル GrxS を介して根に伝えて、根からの窒素吸収量を調節している。このしくみを失った植物は、窒素量が経時的に変動する環境（18 時間窒素欠乏 / 6 時間窒素投与を 7 日間繰り返す）では正常に生育できない。

【研究背景と内容】

窒素は植物の成長に最も重要な栄養素のひとつであり、主に硝酸イオンを窒素栄養として根から吸収しています。吸収された硝酸イオンは、葉でアンモニウムイオンに還元された後にアミノ酸に取り込まれ、タンパク質合成の材料となります。しかし、硝酸イオンは水とともに土壤中を移動するため、植物が利用できる硝酸イオン量は土壌の水分量の変動に大きく影響を受けます。そのため、植物は葉の窒素需要(空腹度)に応じて根における硝酸イオンの吸収を調節するしくみを持っています。

シロイヌナズナを用いたこれまでの我々の研究で、葉が窒素不足を感知した際には、葉で空腹シグナル CEPD がつくられ、篩管(しかん)を通して根に移行して硝酸イオン吸収遺伝子群の発現を促進することが分かっていたが、このシグナルが根でどのように働いているのかは未知のままでした。

CEPD は約 100 アミノ酸からなる小さなタンパク質であるため、CEPD 単体ではなく他のタンパク質と協働して硝酸吸収遺伝子群の発現を促進すると予想しました。そこで根で CEPD と相互作用するタンパク質を探したと

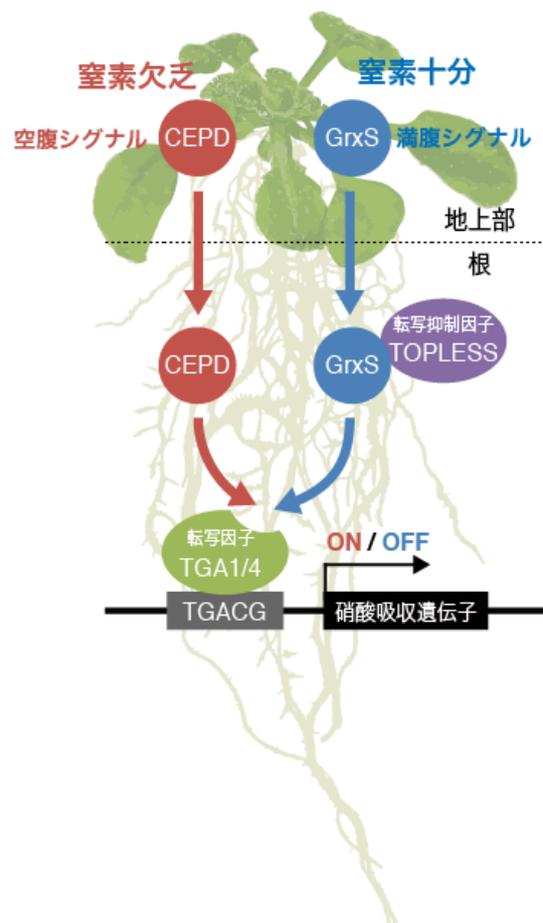


図 1 植物が葉の窒素需要に応じて根からの窒素栄養吸収を調節するしくみ

ころ、転写因子 TGA1 および TGA4 が CEPD と強く結合することを見出しました。

TGA1/4 は硝酸吸収遺伝子群のプロモーター領域^{注 2)}に結合する性質を示したことから、CEPD は TGA1/4 を介してこれらの遺伝子の発現を促進していることが明らかになりました。一方、我々は CEPD とよく似た配列をもつ GrxS ファミリータンパク質が、葉が窒素十分であることを根に伝えて硝酸吸収を抑制する満腹シグナルであることを見出しました。そこで、同様の手法で GrxS と結合するタンパク質を探したところ、転写因子 TGA1/4 および転写抑制因子 TOPLESS と結合することが分かりました。詳しく調べた結果、空腹シグナル CEPD と満腹シグナル GrxS は椅子取りゲームのように転写因子 TGA1/4 を取り合っており、CEPD が結合すると硝酸吸収遺伝子群の発現を促進し、GrxS は転写抑制因子 TOPLESS を TGA1/4 のもとに引き連れてきて硝酸吸収遺伝子群の発現を抑制することが明らかになりました(図 1)。

したがって、転写因子 TGA1/4 をつくることができない植物は、葉が空腹なのか満腹なのかを根に伝えられないと考えられます。そこで、空腹状態と満腹状態が切り替わるように、1 日のうち 18 時間は窒素栄養をまったく与えず(欠乏期)、残りの 6 時間だけ窒素栄養を投与する(投与期)という周期で 7 日間植物を育ててみました。

すると、TGA1/4 を欠損した植物は野生株と比べて地上部が小さくなったり、葉が黄色くなったりといった窒素欠乏特有の症状を示しました(図 2)。野生株では欠乏期のあいだに葉でつくられた空腹シグナル CEPD を根の転写因子 TGA1/4 が受け取ることで、硝酸吸収遺伝子群の発現を誘導して窒素吸収効率を上げておきます。その状態で投与期に移行すると、根の周囲にある硝酸イオンを即座に吸収して窒素欠乏を解消できます。しかし、TGA1/4 を欠損した植物では、この窒素欠乏に応答した硝酸イオンの吸収ができないために、徐々に窒素欠乏が進行したと考えられます。



図 2 TGA1/4 を欠損した植物は窒素量変動する環境(18 時間窒素欠乏、6 時間窒素投与を 7 日間繰り返し)に適応できない

【成果の意義】

雨が降ると土壌中の硝酸イオンは流れ出してしまい濃度が低下します。一方で、日中の太陽光によって土壌の水分蒸発が進むと、植物の根は硝酸イオンを含んだ水分と出会う確率が減少するため、植物の硝酸イオンの吸収量が低下します。このように硝酸イオンの吸収は土壌中の水分量の変動に大きく左右されており、根の周囲で硝酸イオンが利用可能になったらすぐ吸収できるよう準備を整えておくことが生存の鍵を握ります。植物も動物と同じように、食べられるときにたくさん食べておかないと厳しい自然環境で生き残ることができないのです。本研究から、空腹シグナル CEPD と満腹シグナル GrxS、転写因子 TGA1/4 は、植物が変動する窒素環境に適応するために必須のシステムであること

が明らかとなりました。これらの結果は、刻々と変動する土壌窒素栄養環境への植物の適応のしくみを理解する上で重要な手がかりとなり、今後の農業分野への応用も期待されます。

本研究は、令和5年度から始まった科研費・基盤研究(S)(課題番号 23H05477)、令和2年度から始まった学術変革研究(A)(課題番号 20H05907)、令和4年度から始まった特別研究員奨励費(課題番号 22KJ1616)および令和6年度から始まった科研費・若手研究(課題番号 24KJ18137)の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1) 転写因子:

ゲノム DNA 上の特定の配列を認識し、そこに直接結合することで、近くの遺伝子の発現を調節するタンパク質。

注 2) プロモーター領域:

DNA における転写制御を担う領域で、様々な転写因子が結合する。

【論文情報】

雑誌名: Nature Communications

論文タイトル: Integration of shoot-derived polypeptide signals by root TGA transcription factors is essential for survival under fluctuating nitrogen environments

著者: Ryutaro Kobayashi, Yuri Ohkubo, Mai Izumi, Ryosuke Ota, Keiko Yamada, Yoko Hayashi, Yasuko Yamashita, Saki Noda, Mari Ogawa-Ohnishi and Yoshikatsu Matsubayashi

DOI: 10.1038/s41467-024-51091-5



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/>