



2023年7月6日

農研機構

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

国立大学法人筑波大学

国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

国立研究開発法人理化学研究所

特殊なデンプンでナトリウムを吸着・無害化するヒナアズキ ーナトリウム蓄積の害から葉を守る特殊な耐塩性機構の正体ー

農研機構、量子科学技術研究開発機構、筑波大学、東京大学、理化学研究所からなる研究グループは、アズキの近縁種であるヒナアズキが、葉に特殊なデンプンを蓄積し、ナトリウムを吸着させ隔離することで無害化できることを明らかにしました。新たに解明したこの耐塩性機構は、一般的な耐塩性植物が持つ葉へのナトリウム流入抑制とは異なることから、今後の耐塩性作物の開発への適用が期待されます。

多くの植物では、ナトリウムが葉に流入して蓄積すると、光合成を阻害し葉に深刻な障害(塩害)をもたらします。利用可能な淡水資源が世界的に減少しつつある現在、ナトリウム濃度の高い塩水でも栽培可能な、塩害に強い耐塩性作物の開発が求められていますが、そのためには耐塩性機構の解明が不可欠です。

一般的な耐塩性植物は、葉へのナトリウム流入を抑制する機構が発達しています。以前、農研機構と量子科学技術研究開発機構(QST)は、アズキの近縁種の耐塩性植物には、これとは異なる独自の耐塩性機構を獲得した種が複数存在することを明らかにしました。

(2023年3月8日農研機構プレスリリース)

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/ngrc/157576.html

その中でもヒナアズキは、葉にナトリウムを蓄積するユニークな性質を持っており、今回、農研機構、量子科学技術研究開発機構(QST)、筑波大学、東京大学、理化学研究所(理研)からなる本研究グループは、その耐塩性機構について詳細な調査を行いました。

その結果、ヒナアズキの葉では、葉緑体に多くのデンプン顆粒を形成し、そのデンプン顆粒の特殊な能力によって流入したナトリウムを吸着することで、光合成の阻害等のナトリウムの悪影響を抑制することが示唆されました。このように、ヒナアズキは、多くの耐塩性植物が持つ葉へのナトリウム流入抑制とは異なる耐塩性機構を持つことが明らかとなりました。

今後、ヒナアズキの特殊なデンプン顆粒形成に関連する遺伝子の同定を進めます。これによりヒナアズキの特殊な耐塩性機構をその他の耐塩性機構と組み合わせることで、世界的な淡水資源の枯渇問題に対応する、さらに塩害に強い作物の開発への応用が期待されます。

<関連情報>

予算：科学技術振興機構さきがけ「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」JPMJPR11B6

予算：日本学術振興機構科学研究費助成事業「Vigna 属耐塩性野生種の Na 吸収に関するイメージングおよび全遺伝子発現解析」18H02182

予算：内閣府ムーンショット型研究開発制度「サイバーフィジカルシステムを利用した作物強靱化による食料リスクゼロの実現」JPJ009237

問い合わせ先など

研究推進責任者：農研機構基盤技術研究本部遺伝資源研究センター センター長

杉浦 誠

研究担当者：同 植物資源ユニット 上級研究員

内藤 健

QST 高崎量子応用研究所量子バイオ基盤研究部 研究員 野田 祐作

筑波大学生命環境系 准教授

古川 純

東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

田野井 慶太郎

理化学研究所環境資源科学研究センター 上級技師

豊岡 公德

広報担当者：農研機構基盤技術研究本部遺伝資源研究センター

ジーンバンク事業技術室

江花 薫子

プレス用 e-mail grc-koho@naro.affrc.go.jp

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 経営企画部 広報課

TEL 043-206-3026

プレス用 e-mail info@qst.go.jp

国立大学法人筑波大学 広報局

TEL 029-853-2040

プレス用 e-mail kohositu@un.tsukuba.ac.jp

国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部

総務課広報情報担当

TEL 03-5841-8179

プレス用 e-mail koho.a@gs.mail.u-tokyo.ac.jp

国立研究開発法人理化学研究所 広報室

TEL 050-3495-0247

プレス用 e-mail ex-press@ml.riken.jp

本資料は農政クラブ、農林記者会、農業技術クラブ、筑波研究学園都市記者会、高崎記者クラブ、刀水クラブ、文部科学記者会、科学記者会に配付しています。

※農研機構（のうけんきこう）は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。新聞、TV 等の報道でも当機構の名称としては「農研機構」のご使用をお願い申し上げます。

開発の社会的背景

世界におよそ3億haある灌漑農地の約半分は塩類集積による塩害の影響を受けており、塩害に極めて弱いイネやダイズなど主要な作物の栽培が困難になっています。また、乾燥地での灌漑農業が拡大した結果、湖沼や地下水などの淡水資源が急速に枯渇に向かっており、乾燥地における塩害のリスクはますます高まっています。このような状況に対して、塩水でも栽培可能な塩害に強い作物の開発が求められており、塩害に強い植物がもつ耐塩性機構を明らかにすることが不可欠となっています。

研究の経緯

農研機構では、多様な遺伝資源¹⁾をジーンバンク²⁾事業で収集・保存し、有用な特徴を調べています。特にアズキの近縁種は多様性の宝庫であり、厳しい環境に適応した種や系統が多数存在します。私たちは、アズキの近縁種が持つ独自の耐塩性機構に注目しています (Noda et al., 2022, 2023年3月8日農研機構プレスリリース

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/ngrc/157576.html)。

今回は、塩害に強いアズキ近縁種のうち、海岸の波打ち際など海水を直接浴びる環境で生育できるヒナアズキに着目しました。ほとんどの植物では、葉に過剰なナトリウムが流入すると致命的な傷害を受けますが、ヒナアズキは葉にナトリウムを蓄積しながら、目立った傷害なしに生育できることがわかっています (図1)。本研究グループは、QST、東京大学、筑波大学が持つ細胞内の元素を可視化する技術と、理研の電子顕微鏡技術を用いて、ヒナアズキの特殊な耐塩性機構を詳細に調査しました。

研究の内容・意義

最初に、葉にナトリウムを蓄積するヒナアズキと塩害に弱いアズキについて、葉の細胞の特徴を、理研が有する走査型電子顕微鏡で観察しました (図2)。ヒナアズキでは、葉の細胞内の葉緑体にデンプン顆粒が形成されていましたが、アズキではほとんど見出されませんでした。

続いて、QSTおよび筑波大学でヒナアズキの葉を24時間遮光し、デンプン顆粒が失われた状態で放射性ナトリウム³⁾を吸収させて元素分布を調べました (図3)。遮光した葉のナトリウムの量は、遮光しなかった葉に比べて顕著に減少し、デンプン顆粒形成とナトリウム蓄積との間に関係があることが示されました。

最後に、100mMの塩水で数日間栽培したヒナアズキの葉の細胞内のナトリウムの分布を東京大学でSEM-EDX⁴⁾という手法を使って画像化したところ、デンプン顆粒の周囲にナトリウムが高密度で存在することが明らかとなり、ナトリウムが吸着されていると考えられました (図4)。

上述の通り、①ヒナアズキの葉の葉緑体には多くのデンプン顆粒が形成されること、②デンプン顆粒の形成を妨げると、葉へのナトリウム流入が顕著に減少すること、③ナトリウムは、葉緑体に形成されたデンプン顆粒の周囲に高密度で分布し、デンプン顆粒に吸着されていると考えられること、が明らかとなりました。更に、葉に多数のデンプン顆粒を形成する別種の植物ではデンプン顆粒にナトリウムは吸着されませんでした。このことから、ヒナアズキのデンプン顆粒はナトリウムを吸着する特殊な能力を持ち、ナトリウムによる害から葉を守っていることが示唆されました。

今後の予定・期待

現在、農研機構では塩害に強いアズキ近縁種のゲノム解析を進めており、各種の特異な耐塩性機構遺伝子の単離を目指しています。そのような遺伝子を明らかにして、複数の耐塩性機構を集積することで、耐塩性の極めて強い作物育種への応用が可能となることが期待できます。

用語の解説

1) 遺伝資源

遺伝の機能的な単位を有する植物、動物、微生物等に由来する素材であって、顕在的または潜在的な価値を有するもの。

2) ジーンバンク

生物多様性の保全のほか、新品種や医薬品の開発等に活用するため、植物、動物、微生物等の遺伝資源を収集し、人工的に管理することで、保存、配布する仕組みまたは施設。
農研機構農業生物資源ジーンバンク：https://www.gene.affrc.go.jp/index_j.php

3) 放射性ナトリウム

放射線を放出するナトリウム。高感度で、物質の動態や局在を調べることができる。自然界のナトリウムの大部分は放射線を放出しないが、本研究では人工的に作り出した放射性ナトリウム ^{22}Na を使い、植物に吸収されたナトリウムがどこに蓄積されるかを調査した。

4) SEM-EDX

走査型電子顕微鏡（SEM）が付属したエネルギー分散型 X 線解析装置（EDX）。EDX は物質に電子線を照射し、そこから返ってくる X 線のスペクトルを検出することで物質内のどこに・どの元素が・どれくらい存在するかを評価できる。SEM と組み合わせることで、細胞内などにおける元素の分布を明らかにすることができる。

発表論文

Starch-dependent sodium allocation in the leaves of *Vigna riukiensis*. Noda Y, Hirose A, Wakazaki M, Sato M, Toyooka K, Kawachi N, Tanoi K, Furukawa J and Naito K. Journal of Plant Research DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-023-01470-8>



図1. 放射性ナトリウムを吸収させたアズキおよびヒナアズキの光学写真
(左) および放射線画像 (右)

塩害に弱いアズキの葉よりもヒナアズキの葉により多くのナトリウムが蓄積する。図中のナトリウム濃度は青で低く、赤で高いことを示す。

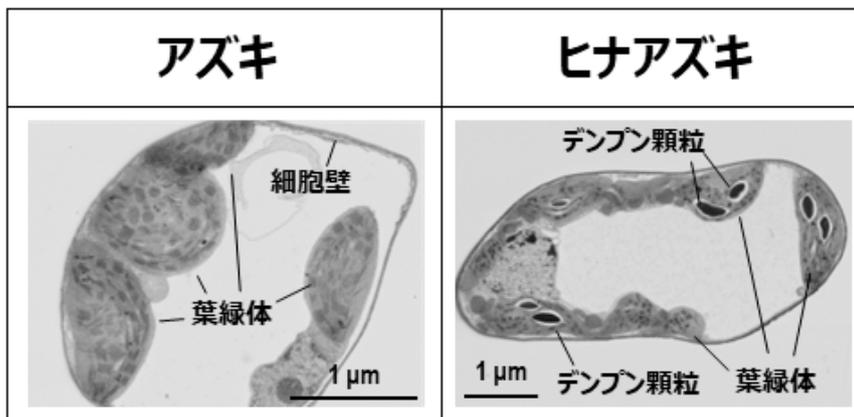


図2. アズキおよびヒナアズキの葉の細胞の走査型電子顕微鏡画像

ヒナアズキの葉緑体の中には大きなデンプン顆粒が形成されるのに対し、アズキの葉緑体の中にはデンプン顆粒が見出されない。

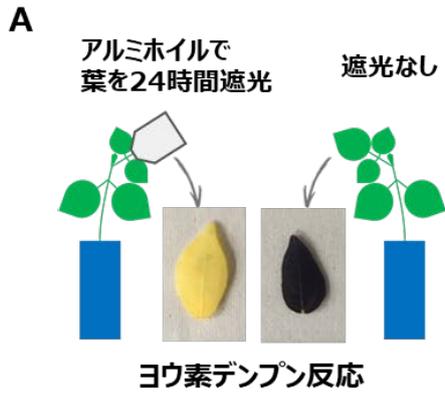


図3. 葉の遮光により消失するナトリウム蓄積およびデンプン

- A. 24時間の遮光で葉からデンプンが消失することをヨウ素デンプン反応で確認した。
 B. ヒナアズキの葉の一部を遮光した状態で放射性ナトリウムを吸収させると、遮光した葉（図中の矢印）にはナトリウムが蓄積しない

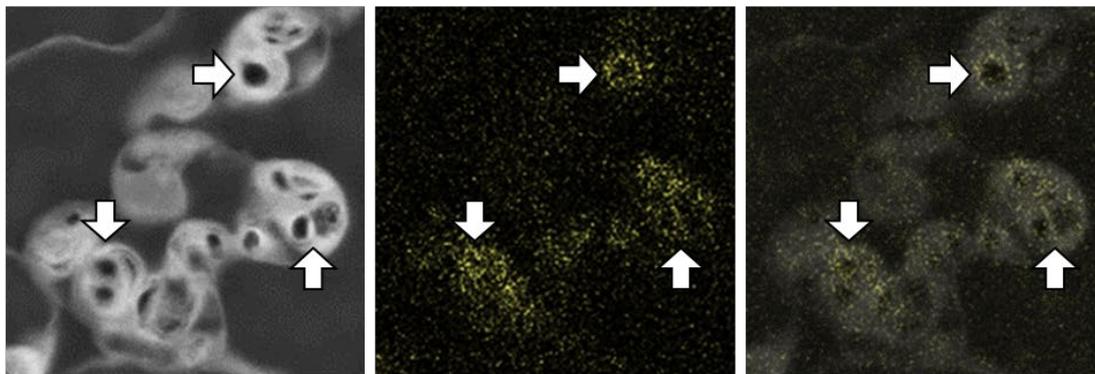
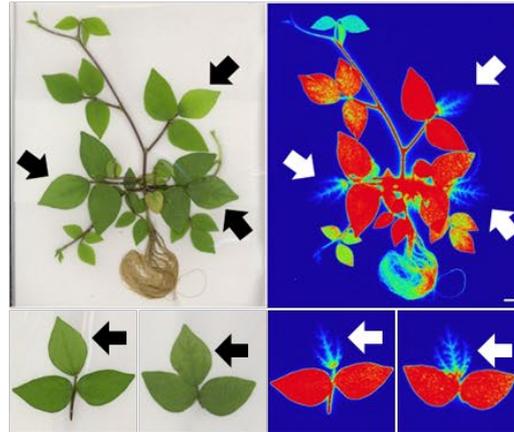
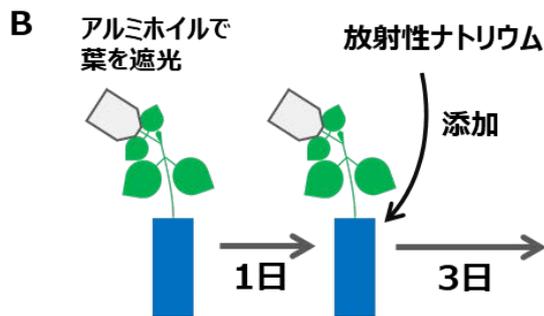


図4. SEM-EDXによるヒナアズキ葉の細胞内のナトリウムの検出

画像中の矢印は大きなデンプン顆粒の位置を示す。

左…葉の細胞の電子顕微鏡画像。白く見えるのが葉緑体で、その中の黒い塊がデンプン顆粒。

中…SEM-EDX法によって検出されたナトリウムの分布。葉緑体が観察された辺りにナトリウムが検出されている。

右…電子顕微鏡画像とSEM-EDX法で取得した画像を重ね合わせたもの。葉緑体の中でもデンプン顆粒の周囲に多くのナトリウムが分布しており、デンプン顆粒の中心にはナトリウムが分布していない。