

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔平成31（2019）年度研究進捗評価用〕

平成28（2016）年度採択分

令和元（2019）年5月10日現在

**研究課題名（和文）作物のミネラル輸送システムの統合解析**

研究課題名（英文）Integrated analysis of mineral transport system in crops

課題番号：16H06296

研究代表者

**馬 建鋒** (MA JIAN FENG)

岡山大学・資源植物科学研究所・教授



研究の概要：

植物が生きていくためには、土壌から生育に欠かせない14種類の必須ミネラルを吸収し、根から地上部に転流した後、各器官へ過不足なく分配する必要がある。一方、植物は土壌中の有害なミネラルも吸収してしまい、食物連鎖を経て我々の健康に甚大な影響を与える。カドミウムによるイタイイタイ病やヒ素の慢性中毒はその典型的な例である。したがって、植物におけるミネラル輸送システムの理解は作物の生産性の向上だけではなく、作物の安全性を高めるためにも非常に重要な課題である。本研究は作物(主にイネとソバ)におけるミネラルの吸収、転流、分配及び再分配などに必要な様々な輸送体(トランスポーター)を同定し、それらの輸送体の機能と構造を明らかにすることを目的としている。またこれらの知見に基づいて数理モデルによる個体レベルの輸送システムの統合的解明を目指す。

研究分野：植物栄養生理学

キーワード：ミネラル、輸送体、結晶構造、モデリング、作物

1. 研究開始当初の背景

(1) これまでにモデル植物の研究から、多数のミネラル輸送体が単離／推定されているが、それらの具体的な機能や役割が解明された例は依然として少ない。また植物の種類によって養分の要求性やミネラル耐性などは大きく異なり、本研究が研究対象とする作物がモデル植物と異なる輸送システムや制御機構を持っている可能性もある。

(2) ミネラル輸送体の結晶構造についての知見が少ない。またミネラル輸送システムを全体的に理解するモデルが構築されていない。

2. 研究の目的

(1) 作物(主にイネとソバ)におけるミネラルの吸収、転流、分配及び再分配などに必要な様々な輸送体(トランスポーター)を同定し、それらの輸送体の機能と構造を明らかにする

(2) 同定されたミネラル輸送体の結晶構造を解明する。また輸送体の機能と構造の知見に基づいて数理モデルによる個体レベルの輸送システムの統合的解明を目指す。

3. 研究の方法

(1) ミネラル集積の品種間差や突然変異体などを用いて、吸収、転流、分配及び再分配にかかわる各種ミネラルの新規輸送体を単離する。また遺伝子の発現パターンや輸送体の組織・細胞・細胞内局在などを調べ、これら輸送体の機能とミネラル輸送における役割について遺伝子破壊株などを用いて解明する。ミネラルの欠乏や過剰に対するミネラル輸送体の応答を遺伝子レベルおよびタンパク質レベルで調べ、ミネラル輸送体の制御機構を解明する。

(2) ミネラル輸送体を培養細胞などに大量発現し、精製・結晶化してX線結晶構造解析によって輸送体の構造を原子レベルで明らかにする。得られた結晶構造に基づいて変異導入と機能解析を行い、輸送体が輸送基質を特異的に認識して輸送する機構を解明する。最終的に得られた実験情報に基づいて輸送システムの数理モデルを構築する。

4. これまでの成果

(1) イネからミネラルの吸収、分配、無毒化に関わる幾つか重要な遺伝子を同定した。イネのリンの種子への分配に関わる新規リン酸

#### 〔4. これまでの成果（続き）〕

輸送体遺伝子 SPDT、ホウ素の分配に関わる輸送体 OsNIP3;1、銅の蓄積に関与する輸送体 OsHMA4、鉄の分配に必要な輸送体 OsFRDL1 などの機能を解明した(図)。またケイ素輸送体遺伝子の発現調節機構、アルミニウム耐性遺伝子の発現調節機構を明らかにした。さらにソバのアルミニウム耐性・集積に関わる輸送体遺伝子の機能を解明した。

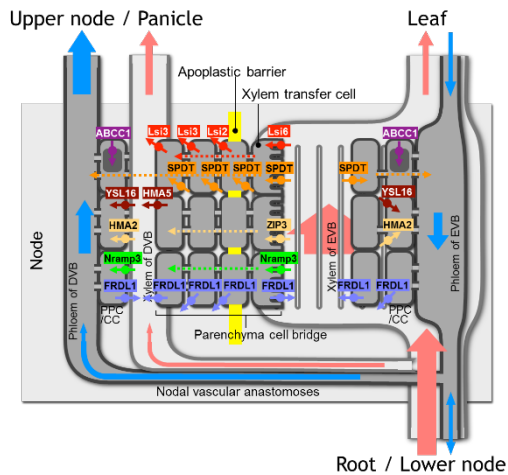


図 これまでに同定されたイネのミネラル分配に関与する輸送体

(2) ケイ素輸送体 Lsi1 の結晶化に成功し、1.8 Å を超える分解能での回折データの取得に成功した。結晶構造解析にも成功し、ケイ素の透過性を与える構造基盤が1番目の膜貫通ヘリックスのC末端側にも存在していることが分かった。

(3) 根におけるケイ素の吸収に関する細胞スケールモデルを3次元化し、輸送体の綿密な3次元配置を再現できるようにした。また、細胞スケールモデルと作物全体スケールのモデルを融合する数理的な手法を考案し、ハイブリッドモデルを開発した。さらに、作物全体スケールで導管・篩管の水とケイ素の動態をシミュレートするモデルを開発した。

#### 5. 今後の計画

(1) ケイ素の輸送に関与する未知な遺伝子やリンの再転流、鉄の分配に関与する輸送体遺伝子などの機能解析を引き続き行う。

(2) ケイ酸輸送体の結晶構造に基づいて昆虫細胞・酵母での機能解析を進め、イネの遺伝子組み換え体も作成する。また Lsi1 の基質特異性についても検討する。他の輸送体も順次結晶化して、立体構造が決定可能な回折データを取得することをめざす。

(3) イネの各成長段階におけるケイ素及びマンガンについての蓄積量に関するデータをミネラル輸送統合モデルに同化し、ミネラル輸送モデルを各成長段階において正確にシミュレートすることができるモデルに改良する。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）  
研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、  
連携研究者(平成29年度(2017年度)まで)は点線を付してください。

(1) 馬 建鋒 日本農学賞・読売農学賞 (2019)

(2) Shao, J. F., Yamaji, N., Liu, X. W., Yokosho, K., Shen, R. F. and Ma, J. F. 2018. Preferential distribution of boron to developing tissues is mediated by the intrinsic protein OsNIP3. *Plant Physiol.* 176: 1739-1750.

(3) Yamaji, N., Takemoto, Y., Miyaji, T., Mitani-Ueno, N., Yoshida, K. T. and Ma, J. F. 2017. Reducing phosphorus accumulation in rice grains with an impaired transporter in the node. *Nature*, 541: 92-95.

(4) Sakurai, G., Yamaji, N., Mitani-Ueno, N., Yokozawa, M., Ono, K. and Ma, J. F. 2017. A model of silicon dynamics in rice: An analysis of the investment efficiency of Si transporters. *Front. Plant Sci.* 8: 1187.

(5) Lei, G. J., Yokosho, K., Yamaji, N., Fujii-Kashino, M. and Ma, J. F. 2017. Functional characterization of two half-size ABC transporter genes in aluminium-accumulating buckwheat. *New Phytol.* 215:1080-1089.

(6) Huang, X. Y., Deng, F., Yamaji, N., Pinson, S. R. M., Fujii-Kashino, M., Danku, J., Douglas, A., Guerinot, M. L., Salt, D. E. and Ma, J. F. 2016. A heavy metal P-type ATPase OsHMA4 prevents copper accumulation in rice grain. *Nat. Commun.* 7:12138 doi: 10.1038/ncomms12138.

ホームページ等

<http://www.rib.okayama-u.ac.jp/plant.stress/index-j.html>