

イネの鉄過剰：生理的応答と分子メカニズム

Iron toxicity in rice : Physiological responses and molecular mechanisms

メイ サン アウン ますだ ひろし

May Sann Aung · 増田 寛志

石川県立大学 生物資源工学研究所 植物細胞工学研究室

アグリバイオ®

2018年第2巻第8号(通巻第22号)7月臨時増刊号 p.91 ~ p.92

北隆館



イネの鉄過剰：生理的応答と分子メカニズム

Iron toxicity in rice: Physiological responses and molecular mechanisms

メイサンアウン ますだひろし
May Sann Aung・増田 寛志

石川県立大学 生物資源工学研究所 植物細胞工学研究室

Key words : 鉄過剰, イネ, マイクロアレイ, 環境ストレス

酸性土壌における天水稲作では、鉄過剰症は大きな問題である。しかしながら「イネが鉄過剰にどのように分子レベルで応答するのか」の詳細は未だ不明である。我々は、イネを様々なレベルの鉄過剰条件下で栽培し、その生理的応答を調べた。また、遺伝子発現を網羅的に解析し、鉄過剰耐性に関与する遺伝子の候補を見出した。

はじめに

鉄は、すべての生物にとって必須元素である。しかし同時に、鉄は過剰に存在すると酸化ストレスにより細胞に障害を与えるという正と負の2面性を持っている。中国南部や東南アジアなど稲作が盛んな地域、あるいはブラジルやアフリカにおいても土壌の性質によっては、イネの鉄過剰症が起りやすい。特に、世界の土壌の約30%を占める酸性土壌における天水稲作では大きな問題となる。鉄過剰によりイネの収量が1割から5割低下し、まったく収穫できないこともある。それにも関わらず、イネの様々な組織における異なるレベルの鉄過剰条件下での生理的応答、遺伝子応答や分子レベルでの防御機構はほとんど知られていない。これらを理解することは、鉄過剰に耐性のある作物を育種するために非常に重要である。そこで我々は、イネの鉄過剰応答の分子機構解明を目指した。

1. 様々なレベルの鉄過剰処理におけるイネの生理的応答の解析¹⁾

まず、鉄を通常の濃度と、10倍、20倍、30倍、50倍、70倍、100倍、150倍、200倍、300倍、または500倍加える鉄過剰ストレス処理を行い、イネ(品種:月の光)の水耕栽培試験を実施した。その結果、鉄濃度を10倍、20倍で栽培しても、イネの生育に悪影響は見られなかった。しかし30倍にすると、鉄過剰による古葉の褐色化(Bronzing)が見られるようになり、鉄の濃度が上がるほど葉の褐色化が深刻になった。20倍が、イネの鉄過剰における閾値であると推測された。鉄濃度が150倍になると、新葉にも褐色化が見られた。150倍付近が鉄過剰の致死量であることが判明した。

鉄濃度20倍までは根の鉄濃度が増加し続ける一方、それ以上の鉄濃度で栽培しても、根の鉄濃度に変化が見られなかったことから、根には一定以上の鉄を吸収・蓄積しないような防御メカニズムがある

May Sann Aung・Hiroshi Masuda: Laboratory of Plant Cell Technology, Research Institute for Bioresources and Biotechnology, Ishikawa Prefectural University

と推測された。また、鉄過剰ストレスが高まるほど、新葉より古葉の鉄濃度の比率が高まることから、鉄過剰時には新葉になるべく過剰な鉄を輸送しないような機構を持つと考えられた。また、イネが枯死する前に必ず新葉の鉄過剰による褐色化が見られること、新葉が元気であれば古葉が枯死してもイネ自体は生存できることから、新葉を鉄過剰から保護することが、イネの鉄過剰防御において非常に重要であることが示唆された。

2. 鉄過剰処理による遺伝子発現応答の網羅的解析¹⁾

次に、マイクロアレイ法により、様々な鉄過剰条件下でのイネの各部位（根、根と葉の間の基底部、茎、新葉、古葉）の網羅的な遺伝子発現解析を行った。その結果、発現が変化する遺伝子が多数確認され、イネの鉄過剰耐性に関わる遺伝子の候補が見つかった。候補遺伝子の中から、既知の知見をもとに、イネが鉄過剰ストレスを避ける分子メカニズムを次のように推定した。(1) 鉄過剰ストレスにより鉄の吸収に関わる遺伝子の発現が顕著に抑制され、根からの鉄の吸収が抑制される。(2) 鉄の体内輸送に関わるキレート化合物であるニコチアナミンの合成酵素遺伝子 (*OsNAS3*) の発現が顕著に上がることから、ニコチアナミンが鉄過剰時の鉄の無毒化や輸送に関わりうる。(3) 鉄貯蔵タンパク質であるフェリチン遺伝子や、液胞への鉄の輸送体遺伝子 (*OsVIT2*) の発現が上昇し、過剰な鉄をフェリチンや液胞内へ隔離する。(4) 鉄過剰条件では、鉄と競合する亜鉛が欠乏状態になるため、亜鉛の土壌からの吸収や体内輸送に関わる亜鉛輸送体遺伝子の発現が上昇し、不足する亜鉛を補おうとする。

3. *OsHRZ* の鉄過剰における機能の解明²⁾

イネのユビキチンリガーゼ遺伝子、*OsHRZ* が鉄過剰条件下であらゆる組織において発現していること

が分かった¹⁾。*OsHRZ* は、イネの鉄欠乏応答と鉄蓄積を負に制御する因子であることが知られている³⁾。そこで、この遺伝子に着目し、*OsHRZ* の発現抑制体を30倍濃度の鉄過剰処理条件下で栽培し、生育、葉の鉄過剰症状、金属含有量、遺伝子発現を測定・分析し、野生株と比較した。*OsHRZ* 遺伝子の発現抑制株では、鉄過剰処理における生育と葉の鉄過剰症状が悪化した。また、発現抑制体では、鉄過剰条件にも関わらず鉄吸収関連遺伝子の発現が抑制されず、葉の鉄濃度が5倍から10倍に増加した。このことから、*OsHRZ* は、鉄過剰条件下においても鉄の吸収を抑制し、細胞の鉄過剰害を防護するなど、植物体内の鉄の恒常性を保つために機能する重要なタンパク質であることが示された。

おわりに

イネの鉄過剰に対する生理的応答と、鉄過剰の回避に関わる候補遺伝子を発見した。鉄過剰耐性イネの育種や、鉄過剰を回避するイネの栽培方法を確立するなど、鉄過剰症が生じやすい土壌においてイネの生産性を高める上で大変有用な知見になることが期待できる。

文 献

- 1) Aung, M. S., Masuda, H., Kobayashi, T., Nishizawa, N.K. (2018a) : Soil Sci Plant Nutr 64: 370-385.
- 2) Aung, M. S., Kobayashi, T., Masuda, H., Nishizawa, N.K. (2018b) : Physiol Plant DOI: 10.1111/ppl.12698 (in press).
- 3) Kobayashi T, Nagasaka S, Senoura T, *et al.* (2013) : Nat Commun 4:2792.

May Sann Aung

石川県立大学 生物資源工学研究所
植物細胞工学研究室 特別研究員

1996年 ミャンマー・イエジン農業大学卒業
ミャンマー農政省に国家公務員として勤務（～2007年）
（その間タイのコンケン大学で修士号（農学）を取得）

2010年 東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程修了（農学修士）

'13年 同 博士課程修了（農学博士）
石川県立大学 特別研究員（～現在まで）
（その間2014年から2016年はJSPS 外国人特別研究員）

