

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450079

研究課題名(和文) コメと人の安全・健康のためのイネのヨウ素吸収・移行の機構解明

研究課題名(英文) Mechanisms of iodine uptake and translocation in rice plant for contributing to the health of human and rice plant

研究代表者

関本 均 (Sekimoto, Hitoshi)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：10261819

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：作物にヨウ素を富化して人間の健康に貢献するために、未解明であるイネのヨウ素吸収・移行のメカニズムとその関連遺伝子について検討した。イネ根にはI03-還元活性(ヨウ素酸(I03-)からヨウ化物(I-)への還元能)があり、I03-から還元されたI-を吸収するだけでなく、I-は根の内部でI03-に酸化されることが示された。また、ヨウ素蓄積、ヨウ素酸吸収・移行抑制のヨウ素過剰耐性変異体が選抜された。さらに、ヨウ素の吸収・輸送に関わる遺伝子を探索・機能解析したところ、イネのMajor Facilitator Superfamily (MFS)から、細胞内のI-の局在に関与する候補遺伝子があがった。

研究成果の概要(英文)：To enrich iodine concentration of the crops, and to contribute to the reduction of the radiation damage by promotion of iodine intake for human health, the physiological and genetic researches into the absorption and transportation of iodine in plants. As a result, the rice root had I03- reduction activity (iodate (I03-) to iodide (I-)), and the activity changed by I03- and I-treatment. It was suggested that the rice root uptake I- which was reduced from I03-, I- in the root is oxidized to I03- as well.

A few mutant tolerant to excess iodine was selected. In addition, after searching for a gene and making a functional analysis on absorption and translocation of iodine in rice plant, a candidate gene concerning nitrate transport, will be associated with localization of I- in root cells.

研究分野：植物栄養・土壌学

キーワード：ヨウ素 トランスポーター

1. 研究開始当初の背景

イネの(安定)ヨウ素の吸収・移行は、ヨウ素過剰害としての開田赤枯れ病が古くから知られているものの、植物はヨウ素を必須としないため、それらは、ほとんど明らかになっていない。一方、ヨウ素は人の必須元素であり、ヨウ素欠乏は甲状腺肥大などの疾患を引き起こすため、ヨウ素の生物学的な研究は医学系が先行しているが、植物のヨウ素栄養は未知である。

原発事故によって、放射性ヨウ素による人と作物の被曝が問題になった。半減期8日の<sup>131</sup>Iでも、その汚染程度が高ければ、人や作物に対する影響は大きい。人の被曝軽減のために、安定ヨウ素剤を服用するが、食事からの安定ヨウ素の継続的な摂取が有効であるといわれている。一方では、人の(安定)ヨウ素の欠乏は世界の3大栄養疾患の一つであり、その対策として、作物へのヨウ素富化が有効である。

このように、イネの(安定)ヨウ素の吸収・移行の機構解明は、コメの放射性ヨウ素汚染の軽減とそれを摂取する人の被曝軽減(コメと人の安全)に貢献すると同時に、コメのヨウ素富化を図れば、人のヨウ素欠乏改善(人の健康)に貢献する。

2. 研究の目的

本研究ではイネのヨウ素の吸収・移行の機構解明を行い、イネにおける放射性ヨウ素汚染の軽減のためのヨウ素の動態に関する知見を得るとともに、高ヨウ素含有米を作出して、世界に先駆けて、“人とコメ”の安全と健康に貢献することを目的とした。

そこで、ヨウ素トランスポーターの単離・同定・発現制御機構、ヨウ素の化学形態と植物体内移行との関係、ヨウ素酸還元機構などを解明し、最終的には高ヨウ素含有米を作出する基盤を作り、“コメと人”の安全と健康に貢献する。

3. 研究の方法

(1) イネにおけるヨウ素吸収、移行のメカニズムと代謝に関する生理学的な解析

(2) ヨウ素吸収の分子機構の解明

①イネ突然変異体を用いたヨウ素過剰耐性システムのスクリーニング

②ヨウ素に応答する、ヨウ素過剰耐性関連遺伝子の探索、

これらの研究を通じて、高等植物におけるヨウ素吸収・移行メカニズムの詳細を明らかにしてモデル化する。

4. 研究成果

(1) イネにおけるヨウ素吸収、移行のメカニズムと代謝について生理学的な解析

イネの根には  $\text{IO}_3^-$ 還元活性(ヨウ素酸( $\text{IO}_3^-$ )からヨウ化物( $\text{I}^-$ )への還元能)があり、この活性は  $\text{IO}_3^-$ や  $\text{I}^-$ 処理によって変化し、その応答に品種間差があること、さらに、導管液の化学形態分析によって、 $\text{IO}_3^-$ から還元された  $\text{I}^-$ を吸収するだけでなく、 $\text{I}^-$ は根の内部で  $\text{IO}_3^-$ に酸化されることが示された。また、ヨウ素過剰耐性弱(強)では根の  $\text{IO}_3^-$ 還元活性は高い(低い)という対応関係があったことから、根の  $\text{IO}_3^-$ 還元活性の違いが、ヨウ素過剰耐性の品種による違いをもたらしていることが示唆された。

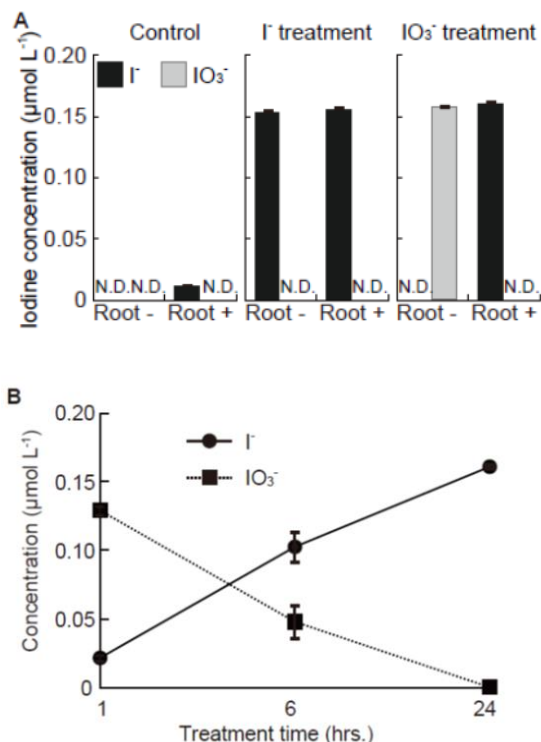


図1 イネの根は  $\text{IO}_3^-$ を  $\text{I}^-$ への還元する

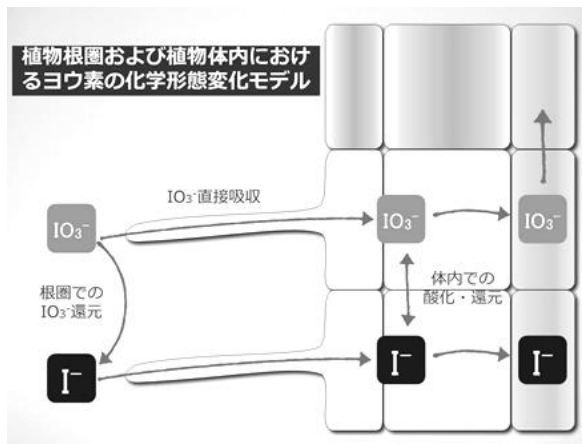


図2 植物根圏および植物体内におけるヨウ素の化学形態変化モデル

## (2) ヨウ素吸収の分子機構の解明

### ① イネ突然変異体を用いたヨウ素過剰耐性系統のスクリーニング

・台中を母本とした変異体を用いて、ヨウ素過剰条件下で他の個体と異なる応答を示す変異体を選抜した。472 系統をヨウ素過剰条件下で、一次・二次・三次選抜を行い、ヨウ素過剰耐性を示した 3 系統を選抜し、解析を行った。

系統 1, 2 は、台中と比較して有意に高い生育量を示し、特に系統 2 では、収量も高く、3 系統の中で最も高い過剰耐性を示した。地上部ヨウ素濃度には、有意な差は認められなかったため、系統 2 はヨウ素害を受けにくいこと、系統 2 のヨウ素過剰耐性の要因は、ヨウ素還元活性に起因するものではなく、ヨウ素害を受けにくい化学形態で、組織中にヨウ素を蓄積していること、 $\text{IO}_3^-$  の吸収・移行に関連した変異体であることが示唆された。



図 3 台中 (左) とヨウ素過剰耐性系統 2 (右)

・台中を母本とした変異体に代えて、日本晴 MN U 処理変異体をヨウ素過剰条件下で栽培して、973 系統からヨウ素過剰耐性をイネ変異系統を 7 系統選抜した。

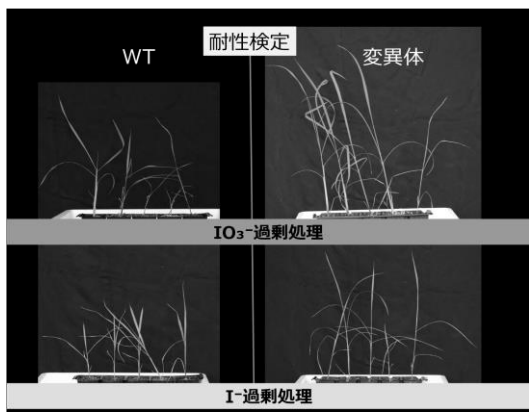


図 4 日本晴 (左) とヨウ素過剰耐性系統 (右)

この選抜した 7 系統のうち、ヨウ素の吸収・移行関連遺伝子に変異がある可能性の高い 1 系統について、変異している遺伝子を特定することを目的としてヨウ素過剰耐性の要因を解析した。生理学的実験から、この変異系統はヨウ素酸イオンの輸送が抑制されていることが示唆され、低濃度のヨウ素酸イオン ( $\text{IO}_3^-$ ) に応答する高親和性のヨウ素酸吸収・移行に関する遺伝子、またはその機能が欠損していると考えられた。

### ② ヨウ素に応答する、ヨウ素過剰耐性関連遺伝子の探索

ヨウ化物イオン ( $\text{I}^-$ ) を輸送することが明らかになっている NIS (ヒトやラット) や、AtCLCa (シロイヌナズナ) と相同性を有するイネ遺伝子を BLAST 解析で探索した。また、 $\text{I}^-$  または  $\text{IO}_3^-$  処理によって発現が増加する遺伝子をマイクロアレイ解析や半定量 RT-PCR 解析で探索した。 $\text{I}^-$  または  $\text{IO}_3^-$  トランスポーター候補遺伝子として、機能未知の 5 つの遺伝子や液胞膜に局在する Cl<sup>-</sup> チャネルである 2 つの遺伝子があがった。加えて、硝酸トランスポーター遺伝子が属するイネの Major Facilitator Superfamily (MFS) から候補遺伝子を探索した。半定量 RT-PCR 法での発現解析の結果から、 $\text{I}^-$  処理または  $\text{IO}_3^-$  処理によってイネの地上部や根での発現が上昇した一つの MFS 遺伝子に着目した。候補として挙げられたイネの遺伝子を過剰発現させた組換えシロイヌナズナの実生 (播種 5 日後) を  $\text{I}^-$  : 0.01 mmolL<sup>-1</sup> で 14 日間処理したところ、地上部および地下部の全ヨウ素濃度は WT と同程度であったが、WT に比べ地上部と地下部の新鮮重が約 60% 減少し、根長が約 30% 短くなった。候補遺伝子過剰発現体では  $\text{I}^-$  に対する感受性が WT よりも高くなったことから、候補遺伝子は細胞内の  $\text{I}^-$  の局在に参与する遺伝子である可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① S. Kato, T. Wachi, K. Yoshihira, T. Nakagawa, A. Ishikawa, D. Takagi, A. Tezuka, H. Yoshida, S. Yoshida, H. Sekimoto and M. Takahashi, "Rice (*Oryza sativa* L.) roots have iodate reduction activity in response to iodine," *Frontiers in Plant Science* (査読あり), 4, Article 227 (2013)

[学会発表] (計 7 件)

① S. Kato, T. Wachi, M. Kato, K. Yoshihira, A. Ishikawa, D. Takagi, A. Tezuka, T.

Nakagawa, H. Yoshida, F. Miyazawa, S. Yoshida, H. Sekimoto, M. Takahashi, "Rice plants reduce  $\text{IO}_3^-$  to  $\text{I}^-$  in the rhizosphere, and transport iodine in the form of both  $\text{I}^-$  and  $\text{IO}_3^-$  in xylem, " 第 17 回 International plant nutrition colloquium (国際会議), 2013 年 8 月 20 日, イスタンブール (トルコ)

宇都宮大学・農学部・准教授  
研究者番号: 90345182

②加藤翔太・加藤雅隆・宮澤太志・中川拓也・吉田 聡・高橋美智子・関本 均: イネ導管液中ヨウ素の化学形態分析 日本土壤肥料学会 2013 年度名古屋大会、2013 年 9 月 11 日、名古屋大学 (愛知県名古屋市)

③栗林美早・加藤翔太・下山哲也・中川拓也・吉田 聡・関本 均・Sebastien Thomine Sophie Filler・高橋美智子: シロイヌナズナのトランスポーター AtCLCa のヨウ素輸送とヨウ素応答 日本土壤肥料学会 2013 年度名古屋大会、2013 年 9 月 11 日、名古屋大学 (愛知県名古屋市)

④中川拓也・吉平恵依・加藤翔太・伊藤純一・長戸康朗・吉田 聡・関本 均・高橋美智子: ヨウ素過剰耐性イネ変異体のヨウ素吸収・移行解析 日本土壤肥料学会 2013 年度名古屋大会、2013 年 9 月 11 日、名古屋大学 (愛知県名古屋市)

⑤中川拓也・渡辺健太・猪狩浩明・加藤翔太・吉田 聡・関本 均・高橋美智子: 作物間におけるヨウ素過剰耐性と植物体ヨウ素濃度の比較解析 日本土壤肥料学会 2013 年度名古屋大会、2013 年 9 月 11 日、名古屋大学 (愛知県名古屋市)

⑥加藤翔太・和知孝典・吉平恵依・中川拓也・石川明史・高木大地・手塚彩・吉田英晴・吉田 聡・関本 均・高橋美智子: イネの根によるヨウ素酸還元とそのヨウ素応答 第 16 回ヨウ素学会シンポジウム、2013 年 9 月 18 日、千葉大学 (千葉県千葉市)

⑦加藤翔太・吉田 聡・高橋美智子・関本均: イネのヨウ素吸収・輸送関連遺伝子の探索 日本土壤肥料学会 2015 年度関東支部会、2015 年 11 月 28 日、東洋大学板倉キャンパス (群馬県板倉町)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

関本 均 (Sekimoto Hitoshi)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号: 10261819

### (2) 研究分担者

高橋 美智子 (Takahashi Michiko)