

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：23303

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04891

研究課題名(和文) 植物におけるニコチアナミン分泌の分子機構とその役割の解明

研究課題名(英文) Molecular mechanism of nicotianamine secretion and its role in plants.

研究代表者

西澤 直子(Nishizawa, Naoko)

石川県立大学・生物資源環境学部・学長

研究者番号：70156066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：ニコチアナミンは全ての植物に存在し、鉄や亜鉛など植物の必須元素の体内移行に重要な役割を果たすキレート物質である。本研究では、細胞内で生合成されたニコチアナミンが細胞外に分泌されるときに働く分泌膜輸送体を新規に重金属集積植物から単離同定し、その機能を明らかにした。またイネのニコチアナミン分泌膜輸送体の生物学的機能を調査した。重金属集積植物から単離したニコチアナミン分泌輸送体は、土壤中の亜鉛過剰耐性に寄与することが示された。重金属汚染土壌を植物によって浄化する手法にも利用可能であると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イネ科植物はムギネ酸類を根から分泌し、土壤中の鉄を可溶化して吸収する。ムギネ酸類の生合成中間体であり、金属元素のキレーターであるニコチアナミンは植物体内で働き根圏には分泌されないとされてきた。重金属集積植物からニコチアナミン分泌膜輸送体を単離したことにより、ニコチアナミンも根圏に分泌され、過剰金属元素の無毒化に寄与している可能性が示された。根圏の過剰金属の無毒化に働くニコチアナミンの新たな機能が明らかとなり、植物栄養学分野に新しい展開をもたらした。またイネにおけるニコチアナミン分泌の機能とその果たす役割が明らかになり、必須栄養金属の代謝に新分野を切り開くこととなった。

研究成果の概要(英文)：Nicotianamine is a chelating substance that is present in all plants and plays an important role in the translocation of essential elements such as iron and zinc in plant body. In this study, we identified new efflux transporter of nicotianamine from a heavy metal-accumulating plant *Arabidopsis halleri* to secrete nicotianamine into the rhizosphere. This efflux transporter was shown to contribute to the tolerance for excess zinc in the soil. It is expected that it can be used as a method for cleaning up heavy metal-contaminated soil with plants.

研究分野：農学(農芸化学、植物栄養学、植物分子生物学)

キーワード：ニコチアナミン ニコチアナミン分泌膜輸送体 重金属耐性植物 植物の金属栄養 イネ *Arabidopsis halleri*

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

ニコチアナミンは二価金属のキレーターであり、すべての高等植物に存在する。

イネ科植物の根から分泌され、土壌からの鉄獲得に働く三価鉄キレーター、ムギネ酸類の生合成中間体でもある。我々は、世界に先駆けてニコチアナミン合成酵素遺伝子をオオムギから単離し、さらにイネ、トウモロコシ、またイネ科植物以外でもシロイヌナズナやタバコからも複数の遺伝子を単離した。これらの遺伝子を操作して様々な形質転換植物を作成し、この化合物の生理機能を解析した。その結果、高等植物においてニコチアナミンが鉄や亜鉛などの金属栄養素の体内輸送において必須であること、植物の成長過程のすべてにおいて、特に正常な花の形成や種子の稔実において不可欠の物質であり、多面的な機能を有することを明らかにした。またニコチアナミンの合成量を増加させた植物では、種子中の鉄や亜鉛含量が増加することや、根圏の重金属過剰に対して強い耐性を示すことも明らかにした。

一方、ドイツのグループが、シロイヌナズナの近縁種であり鉱山跡地に生育する重金属高集積植物の *A.halleri* では、ニコチアナミン合成酵素遺伝子の発現が上昇しており、体内ニコチアナミン量が増加することによって亜鉛過剰耐性となることを報告した。さらに、台湾のグループは、*A.halleri* では、亜鉛過剰により合成量が増加したニコチアナミンが根圏に分泌され、根圏の過剰の亜鉛をキレートして「亜鉛・ニコチアナミン」複合体として無毒化し、亜鉛過剰耐性となることを提唱した。「ニコチアナミンは根圏には分泌されない」という定説を打ち破り、ニコチアナミンが根圏の過剰亜鉛の無毒化に寄与することを立証するためには、*A.halleri* のニコチアナミン分泌膜輸送体の同定とその解析が必要であった。

## 2. 研究の目的

我々はイネとオオムギからニコチアナミンの構造類縁体であるムギネ酸類を分泌する膜輸送体遺伝子を単離同定し、その過程でイネからニコチアナミン分泌膜輸送体遺伝子 (*ENA1,2*) も同定している。本研究は、台湾グループと共同して *A.halleri* のニコチアナミン分泌膜輸送体遺伝子を同定し、その発現様式を解析、またこの遺伝子を操作することによって、*A.halleri* の亜鉛過剰耐性機構におけるニコチアナミン分泌の役割を明らかにすることを第一の目的とする。

また、既に同定しているイネのニコチアナミン分泌膜輸送体について解析を進め、その生物学的機能を明らかにすることを目指す。イネのニコチアナミン分泌膜輸送体 *ENA1* は、アフリカツメガエル卵母細胞においてそのニコチアナミン分泌機能が立証されたが、イネ植物体における機能については解析が進んでいなかったため、これを明らかにすることを目的とした。イネの3種のニコチアナミン合成酵素遺伝子 (*NAS*) のうち、*NAS1* と *NAS2* は鉄欠乏によって発現が強く誘導され、鉄獲得のためのムギネ酸類生合成に寄与する。*ENA1* も鉄欠乏によって発現が誘導され、鉄欠乏応答を負に制御するユビキチンリガーゼ *HRZ* によって負に制御されていることから、イネの鉄獲得に寄与することが想定されるので、その役割を明らかにする。

## 3. 研究の方法

重金属集積植物の *A.halleri* の遺伝子群から、亜鉛過剰条件によって発現が高まるイネニコチアナミン分泌膜輸送体遺伝子のホモログを中心に候補遺伝子を絞り込む。絞り込んだ遺伝子について、<sup>14</sup>C 標識ニコチアナミンとアフリカツメガエル卵母細胞を用いた実験系によって、その候補遺伝子がコードするタンパク質がニコチアナミン分泌機能を持つかどうかを検定して分泌膜輸送体遺伝子を同定する。ニコチアナミン分泌膜輸送体遺伝子が同定できたら、その発現様式を解析する。

イネの3種のニコチアナミン合成酵素遺伝子 (*NAS*) のうち *NAS1*、*NAS2* は鉄欠乏によって強く誘導され、鉄獲得のためのムギネ酸類生合成に寄与する。*ENA1* も鉄欠乏によって誘導されるため、鉄獲得に寄与することが想定されるので、その役割を明らかにする。まず *ENA1* がど

の生体膜に存在するか、GFP との融合タンパク質を用いてタンパク質産物の細胞内局在を明らかにする。またどの組織で発現するかをプロモーターGUS 解析により明らかにする。さらに *ENA1* 発現抑制イネや発現過剰イネを作出し、鉄十分条件および鉄欠乏条件で水耕栽培して *ENA1* の必須元素代謝における機能を明らかにする。

#### 4 . 研究成果

1 ) 培地の亜鉛過剰により発現が上昇する *A. halleri* 遺伝子群をマイクロアレイ解析と、qRT-PCR によって同定した。また、シロイヌナズナの液胞膜に存在し、ニコチアナミンを液胞内に取り込む機能を持つと報告されている膜輸送体 *ZIF1* の *A. halleri* ホモログも同時に検索した。このトランスクリプトーム解析の結果から、*A. halleri* のニコチアナミン分泌膜輸送体の候補遺伝子としてリストアップされた遺伝子と、イネのニコチアナミン分泌輸送体 *ENA1* の *A. halleri* ホモログ、シロイヌナズナ *ZIF1* ホモログのそれぞれについて、<sup>14</sup>C 標識ニコチアナミンを用いて、アフリカツメガエル卵母細胞実験系においてニコチアナミン分泌機能を検証した。その結果、候補遺伝子のコードするタンパク質の中から、*A. halleri* のニコチアナミン分泌膜輸送体と想定されるタンパク質を同定することができた。このタンパク質について、GFP との融合タンパク質を発現させて細胞内局在解析を行ったところ、このニコチアナミン膜輸送体タンパク質は細胞膜でも液胞膜でもないオルガネラに局在した。しかし、エンドサイトーシス機能欠損変異体シロイヌナズナを用いて GFP との融合タンパク質を発現させたところ、細胞膜にのみ局在することが明らかになった。すなわち、*A. halleri* のニコチアナミン分泌膜輸送体タンパク質は、細胞膜と細胞内小胞との間をリサイクリングしている可能性が示された。

2 ) イネのニコチアナミン分泌膜輸送体 *ENA1* の局在解析のために、GFP-*ENA1* あるいは *ENA1*-GFP の融合タンパク質を発現するイネと酵母を作成した。細胞内の局在解析を進めたところ、GFP の蛍光は主に細胞膜に観察されたが、一部は *A. halleri* のニコチアナミン分泌膜輸送体タンパク質の場合と同様に細胞内小胞にも観察された。プロモーターGUS 解析を用いて、イネのどの組織で発現しているかを調べた結果、*ENA1* の発現は鉄十分条件では主にイネの根の表皮細胞にみられた。しかし、鉄欠乏条件になるとその発現は大幅に上昇し、根端を除く根全体に発現し、根の表皮細胞だけではなく皮層細胞や中心柱組織まで拡大していた。この発現パターンはニコチアナミン合成酵素遺伝子、*NAS1*、*NAS2* の発現とよく一致していた。一方、地上部での発現は低く、基部の一部にのみ発現が観察されたが、葉での発現は見られなかった。また *ENA1* の発現抑制イネと発現過剰イネを形質転換法により作出した。さらにイネ *Tos17* 挿入変異体ライブラリーを探索し、5 種類の *Tos17* 挿入イネ変異体を入手した。これらのイネを鉄十分条件と鉄欠乏条件で水耕栽培し、草丈、根長、クロロフィル含量と金属含量を測定した。しかし *ENA1* の発現抑制イネと発現過剰イネ、*ENA1* 欠損イネとの間に目立った相違は観察されなかった。今後さらに亜鉛過剰条件などについて検討し、イネ *ENA1* の必須元素代謝における機能を明らかにする予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Takaki Yamauchi, Miki Yoshioka, Aya Fukazawa, Hitoshi Mori, Naoko K. Nishizawa, Nobuhiro Tsutsumi, Hirofumi Yoshioka, Mikio Nakazono.	4. 巻 29
2. 論文標題 An NADPH Oxidase RBOH Functions in Rice Roots during Lysigenous Aerenchyma Formation under Oxygen-Deficient Conditions.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Plant Cell	6. 最初と最後の頁 775-790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1105/tpc.16.00976	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tomoko Nozoye, May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 63
2. 論文標題 Bioenergy grass [ <i>Erianthus ravennae</i> (L.) Beauv.] secretes two members of mugineic acid family phytosiderophores which involved in their tolerance to Fe deficiency.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 543-552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2017.1394168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takeshi Senoura, Emi Sakashita, Takanori Kobayashi, Michiko Takahashi, May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 95
2. 論文標題 The iron-chelate transporter OsYSL9 plays a role in iron distribution in developing rice grains.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 375-387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11103-017-0656-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Takanori Kobayashi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 64
2. 論文標題 Physiological and transcriptomic analysis of responses to different levels of iron excess stress in various rice tissues.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 370-385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1443754	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 May Sann Aung, Takanori Kobayashi, Hiroshi Masuda, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 163
2. 論文標題 Rice HRZ ubiquitin ligases are crucial for the response to excess iron.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physiologia Plantarum	6. 最初と最後の頁 282-296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pp1.12698	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Masuda, May Sann Aung, Keisuke Maeda, Takanori Kobayashi, Naoki Takata, Toru Taniguchi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 64
2. 論文標題 Iron-deficiency response and expression of genes related to iron homeostasis in poplars.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 576-588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1480325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takanori Kobayashi, Reiko Nakanishi Itai, Takeshi Senoura, Takaya Oikawa, Yasuhiro Ishimaru, Minoru Ueda, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 91
2. 論文標題 Jasmonate signaling is activated in the very early stages of iron deficiency responses in rice roots.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 533-547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11103-016-0486-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Khurram Bashir, Sultana Rasheed, Takanori Kobayashi, Motoaki Seki, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 7
2. 論文標題 Regulating Subcellular Metal Homeostasis: The Key to Crop Improvement.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2016.01192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Takanori Kobayashi, Yusuke Kakei, Ye Tint Tun, Hiromi Nakanishi, Takashi Yamakawa, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 3
2. 論文標題 Identification of mineral-rich rice varieties in Myanmar.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Myanmar Agricultural Research Journal	6. 最初と最後の頁 14-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Motofumi Suzuki, Tomoko Nozoye, Seiji Nagasaka, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa, Satoshi Mori.	4. 巻 62
2. 論文標題 The detection of endogenous 2'-deoxymugineic acid in olives ( <i>Olea europaea</i> L.) indicates the biosynthesis of mugineic acid family phytosiderophores in non-graminaceous plants.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 481-488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1080/00380768.2016.1230724	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoko Nozoye, Motoyasu Otani, Takeshi Senoura, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 410
2. 論文標題 Overexpression of barley nicotianamine synthase 1 confers tolerance in the sweet potato to iron deficiency in calcareous soil.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-016-3134-4	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Masuda, Erika Shimochi, Tatsuro Hamada, Takeshi Senoura, Takanori Kobayashi, May Sann Aung, Yasuhiro Ishimaru, Yuko Ogo, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 12
2. 論文標題 A new transgenic rice line exhibiting enhanced ferric iron reduction and phytosiderophore production confers tolerance to low iron availability in calcareous soil.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0173441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1371/journal.pone.0173441	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Khurram Bashir, Tomoko Nozoye, Seiji Nagasaka, Sultana Rasheed, Nanako Miyauchi, Motoaki Seki, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.	4. 巻 68
2. 論文標題 Paralogs and mutants show that one DMA synthase functions in Fe homeostasis in rice.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 1785-1795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1093/jxb/erx065">https://doi.org/10.1093/jxb/erx065</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計35件(うち招待講演 8件/うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Naoko K. Nishizawa, Takeshi Senoura, Emi Sakashita, Takanori Kobayashi, Michiko Takahashi, Tomoko Nozoye, May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Hiromi Nakanishi
2. 発表標題 Transporters crucial for metal transport and distribution in rice
3. 学会等名 2017 International Symposium on Rice Functional Genomics (ISRFG2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takanori Kobayashi, May Sann Aung, Reiko Nakanishi Itai, Takeshi Senoura, Hiroshi Masuda, Takaya Oikawa, Yasuhiro Ishimaru, Minoru Ueda, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 HRZ ubiquitin ligases negatively regulate rice iron uptake, transport and accumulation under various iron conditions
3. 学会等名 ASPB annual meeting in 2017 (Plant Biology 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoko K. Nishizawa, Takeshi Senoura, Takanori Kobayashi, Emi Sakashita, Hiromi Nakanishi
2. 発表標題 An iron-chelate transporter OsYSL9 is involved in iron distribution in developing rice seeds
3. 学会等名 ASPB annual meeting in 2017 (Plant Biology 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takanori Kobayashi, May Sann Aung, Reiko Nakanishi Itai, Takeshi Senoura, Hiroshi Masuda, Takaya Oikawa, Yasuhiro Ishimaru, Minoru Ueda, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 Rice HRZ ubiquitin ligases are involved in both iron deficiency and excess responses and jasmonate signaling
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoko K. Nishizawa, Takeshi Senoura, Emi Sakashita, Takanori Kobayashi, Michiko Takahashi, May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Hiromi Nakanishi
2. 発表標題 The iron-chelate transporter OsYSL9 is crucial in iron distribution in developing rice grain
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Takanori Kobayashi, Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 Physiological and transcriptomic analysis of iron excess response in various tissues of rice
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Masuda, May Sann Aung, Takanori Kobayashi, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 Iron biofortification in important rice varieties obtained by the introduction of multiple genes or ion-beam irradiation
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Reiko Nakanishi Itai, Naoko K. Nishizawa, Hiromi Nakanishi
2. 発表標題 Fe Acquisition by Mugineic Acid Family Phytosiderophores in Foxtail Millet
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motofumi Suzuki, Tomoko Nozoye, Seiji Nagasaka, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa, Satoshi Mori
2. 発表標題 The metabolome analysis in Fe-deficient olive plants; possible biosynthesis of mugineic acid family phytosiderophores in nongraminaceous plants
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fan Wang, Reiko N. Itai, Takeshi Senoura, Naoko K. Nishizawa, Takashi Yamakawa, Hiromi Nakanishi
2. 発表標題 Characterization of an Fe-deficiency Inducible Protein Kinase Gene (PK) in Rice
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoko Nozoye, Takeshi Senoura, Suyoen Kim, Yuske Kakei, Michiko Takahashi, Motoyasu Otani, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 Barley nicotianamine synthase 1 (HvNAS1) gene is useful candidate to improve nutritional qualities and agricultural productivity in soybean and sweet potato
3. 学会等名 XVIII International Plant Nutrition Colloquium (XVIIIth IPNC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 メイ サン アウン・小林高範・増田寛志・西澤直子
2. 発表標題 イネのユビキチンリガーゼHRZは鉄過剰耐性に関与する
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 May Sann Aung・増田寛志・小林高範・西澤直子
2. 発表標題 Selection of iron toxicity-tolerant varieties among popular Myanmar rice
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Khurram Bashir・野副朋子・長坂征治・Sultana Rasheed・宮内菜奈子・関原明・中西啓仁・西澤直子
2. 発表標題 Characterizing the paralogs and mutants of OsDMAS1
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 メイサンアウン・増田寛志・小林高範・西澤直子
2. 発表標題 鉄関連遺伝子 Gmferritin、HvNAS1、OsYSL2、IDS3 を同時導入した高鉄米の作出
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fan Wang・板井玲子・瀬野浦武志・西澤直子・山川隆・中西啓仁
2. 発表標題 Characterization of an Fe-deficiency inducible protein kinase gene (PK) in rice
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 The development of low-cadmium rice
3. 学会等名 台湾国立嘉義大学農学研究科セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 Two metal chelators , phyto siderophore and nicotiananine are crucial to maintain metal homeostasis in crops
3. 学会等名 台湾中央研究院植物微生物学研究所セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoko K. Nishizawa
2. 発表標題 The development of low-cadmium rice
3. 学会等名 台湾国立台湾大学生物資源農学研究科セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoko Nozoye, Takeshi Senoura, Suyeon Kim, Yusuke Kakei, Michiko Takahashi, Motoyasu Otani, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.
2. 発表標題 Overexpression of barley nicotianamine synthase 1 (HvNAS1) confer tolerance to Fe deficiency on calcareous soil in soybean and sweet potato.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takeshi Senoura, Tomoko Nozoye, Emi Sakashita, Hiromi Nakanishi, Takanori Kobayashi, Naoko K. Nishizawa.
2. 発表標題 Efflux or uptake transporters involved in iron transport and distribution in rice plants.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takanori Kobayashi, Reiko Nakanishi Itai, Takeshi Senoura, Takaya Oikawa, Yasuhiro Ishimaru, Minoru Ueda, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.
2. 発表標題 HRZ ubiquitin ligases and jasmonate signaling regulate iron deficiency responses in rice roots.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Motofumi Suzuki, Tomoko Nozoye, Seiji Nagasaka, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa, Satoshi Mori.
2. 発表標題 Detection of endogenous 2'-deoxymugineic acid in olive plant indicates biosynthesis of phytosiderophore in non-graminaeaceous plants.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroshi Masuda, May Sann Aung, Takanori Kobayashi, Hiromi Nakanishi, Naoko K. Nishizawa.
2. 発表標題 Producing high iron rice with important rice varieties.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 May Sann Aung, Hiroshi Masuda, Takanori Kobayashi, Naoko K. Nishizawa.
2. 発表標題 Elucidation of the molecular mechanism of iron excess stress response in rice.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Reiko Nakanishi Itai, Naoko K. Nishizawa, Hiromi Nakanishi.
2. 発表標題 Varieties of mugineic acid family phytosiderophores secreted from Fe-deficient foxtail millet and gene expression related to their biosynthesis.
3. 学会等名 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 西澤直子
2. 発表標題 作物のミネラル獲得戦略を明らかにして環境とヒトの健康に貢献する
3. 学会等名 平成28年度女子栄養大学香友会公開講座 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 瀬野浦武志・坂下絵美・小林高範・May Sann Aung・増田寛志・中西啓仁・西澤直子
2. 発表標題 鉄トランスポーター OsYSL9 の機能解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 結城麟太郎・瀬野浦武志・増田寛志・野副朋子・板井玲子・中西啓仁・小林高範・西澤直子
2. 発表標題 三価鉄還元能とムギネ酸類合成能のさらなる強化による鉄欠乏耐性イネの作出
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増田寛志・May Sann Aung・小林高範・中西啓仁・西澤直子
2. 発表標題 重イオンビーム照射による鉄・亜鉛栄養価の高いコシヒカリの作出
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 May Sann Aung、増田寛志、小林高範、西澤直子
2. 発表標題 Molecular mechanism of iron excess response in various parts of rice.
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 西澤直子
2. 発表標題 植物における鉄の役割 - 植物の鉄吸収メカニズムとその利用
3. 学会等名 2016年WINEP講演会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 メイ サン アウン・小林高範・増田寛志・西澤直子
2. 発表標題 イネのユビキチンリガーゼ HRZ は鉄過剰条件でも重要である
3. 学会等名 第58回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nishizawa, N.K.
2. 発表標題 Transporters crucial for metal transport and distribution in rice.
3. 学会等名 2017 International Symposium on Rice Functional Genomics (ISRFG2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nishizawa, N.K.
2. 発表標題 Characterization of the nicotianamine exporter ENA1 in rice.
3. 学会等名 17th International Symposium on Rice Functional Genomics (ISRFG 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

石川県立大学 生物資源工学研究所 植物細胞工学研究室  
<http://ribb.ishikawa-pu.ac.jp/pct/index.htm>  
石川県立大学 生物資源工学研究所 植物細胞工学研究室ホームページ  
<http://ribb.ishikawa-pu.ac.jp/pct/index.htm>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----