

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04807

研究課題名(和文)細胞横断型植物二次代謝機構における細胞分化過程の解明

研究課題名(英文) Studies on the differentiation of various cells, which are working in specialized metabolism of the plant.

研究代表者

三村 徹郎 (Mimura, Tetsuro)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：20174120

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：植物が示す二次代謝には、一連の化学反応が一つの細胞内で完結せず、複数の細胞間を中間代謝産物が複雑に移動して進行する細胞横断型のものが知られている。本研究では、ニチニチソウを用い、各種細胞の代謝分化の全体像を明らかにすることを目的とした。1) 茎や葉における代謝産物の細胞間分布の詳細を明らかにした。異形細胞や乳管細胞が分化してくる時期や、葉における二次代謝産物の分布変動を明らかにした。2) 各種細胞の代謝分化を明らかにするために、遺伝子発現の解析を進めた。3) ニチニチソウ培養細胞は、二次代謝産物を蓄積することが無いが、一方で関連酵素遺伝子がすべて発現していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固着生活を送る植物は、その場の環境に適応するために様々な生理機能を発達させており、その一つが二次代謝である。二次代謝産物は、受粉の媒介に必要な昆虫の誘引、植食動物の忌避など重要な役割を持つ。その生理活性は、人間にも効果を示すものがあり、本研究で扱うニチニチソウ(*Catharanthus roseus*)は、抗がん剤として利用される化合物を多数合成する。ニチニチソウ代謝産物の生合成経路は詳細に研究されているが、その代謝が植物体内でどのように制御されているかは、未だほとんど知られていない。それらを明らかにすることは、植物の代謝過程の解明としてばかりでなく、人間に有用な物質の産生にも寄与できる。

研究成果の概要(英文)：The secondary metabolism of plants is known to be a trans-cellular type in which a series of chemical reactions are not completed within a single cell, but proceed by the complex movement of intermediate metabolites between multiple cells. In this study, we aimed to elucidate the whole picture of metabolic differentiation of various cells in this metabolism: 1) we elucidated the details of the intercellular distribution of metabolites in stems and leaves, 2) gene expression was analyzed to clarify the metabolic differentiation of various cells, and 3) we found that cultured cells do not accumulate secondary metabolites, but express all related enzymatic genes.

研究分野：植物細胞生理学

キーワード：二次代謝 ニチニチソウ 異形細胞 モノテルペノイドインドールアルカロイド メタボローム

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物は、昆虫や草食動物あるいは病原体の攻撃から自らを守るための防御物質として、多彩な二次代謝産物を合成、利用している。これらの二次代謝産物は、動物への強い生理活性を持つことで植物を外敵から守るとともに、同じ動物である人類にとっても嗜好品や医薬品として長く利用されてきた。その代表は、ニコチン、カフェイン、あるいはモルヒネなどである。

-ニチニチソウにおける二次代謝過程-

本申請における研究材料のニチニチソウは、抗がん剤として強い薬理作用を持つピンブラスチンやピンクリスチンといった多数のモノテルペノイドインドールアルカロイド(MIA)を合成することで著名な薬用植物であり、既にその生合成機構も詳細に検討されている。この二次代謝産物の生合成でなによりも重要なことは、一連の化学反応が一つの細胞内で完結せず、葉肉細胞で始まった代謝が表皮細胞に引き継がれ、異なる組織細胞を中間代謝産物が移動していき、最後に異形細胞や乳管細胞と呼ばれる、特殊に分化した細胞の液胞に蓄積されるといふ、複数の細胞間を複雑に横断して進行するとされていることである(図1)。一次代謝と呼ばれる呼吸や光合成、タンパク質、脂質などの同化・異化代謝が一つの細胞内で完結することと大きく異なっている。このような二次代謝の細胞間分化は、モルヒネを生産するケシでも知られており、ある種の二次代謝の大きな特徴の一つである。一連の代謝反応系を司る酵素遺伝子の発現場所を、in situ hybridization やプロテオーム解析で同定することから、この代謝細胞分化が推定されてきた。

しかし、これまで実際の代謝産物がどこに局在するかを生合成系全体に渡って調べた研究はなく、さらにこれらの細胞間を物質がどのように移動していくのか、それぞれの細胞での合成、蓄積がどのように制御されて、植物体全体での二次代謝が成立しているのかは全く判っていなかった。

2. 研究の目的

我々は、この二次代謝の細胞分化過程を明らかにするために、新規メタボローム手法を応用することで、ニチニチソウの茎における物質局在の全体像を明らかにすることに成功した。これまでに1)代謝物質の組織分布を明らかにする質量顕微鏡解析(図2)

2)代謝分化に関わる各種細胞の一細胞メタボローム解析(図3)により中間代謝産物の分布が教科書レベルでの理解と大きく異なることを初めて明らかにした。さらに、実際の代謝過程がどのように制御されているのかを解明するために、分化した細胞におけるRNA-seq解析を行った。また、各種細胞の単離方法の確立、それぞれの細胞代謝で重要な働きをする液胞、葉緑体、核などのオルガネラ単離を目指している。

本研究では、植物の生活において、また人間社会においても重要な働きをする二次代謝産物の細胞横断型生合成機構におい



図1: ニチニチソウ葉組織の蛍光顕微鏡像-白黒(左、I:異形細胞、L:乳管細胞)と細胞間二次代謝の模式図(右)。異形細胞や乳管細胞では、紫外線励起により青色蛍光を発するアルカロイド化合物の蓄積を観察することができる。この白黒写真では、青色蛍光が細胞全体にグレーの染色で示されている。その周りの葉肉細胞では、葉緑体の赤い蛍光が点状に観察される。

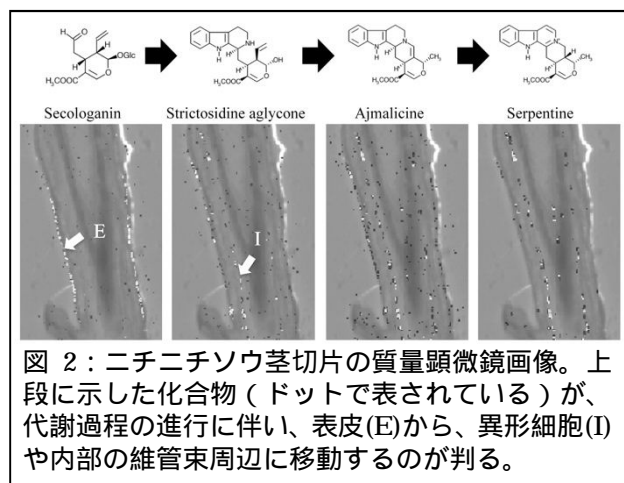


図2: ニチニチソウ茎切片の質量顕微鏡画像。上段に示した化合物(ドットで表されている)が、代謝過程の進行に伴い、表皮(E)から、異形細胞(I)や内部の維管束周辺に移動するのが判る。

て、各種細胞の代謝分化の全体像を、細胞生物学的観点から明らかにすることを目的とした。本研究では、以下の4つの課題の解明を目指した。

1) 二次代謝過程の再検討：各種組織細胞で行われている二次代謝過程を、遺伝子発現、酵素分布、代謝産物分布の三つから再検討する。また、葉、茎、根といった異なる器官で、同じ細胞種でも異なる代謝分化が生じていることも見出している。それぞれの器官の代謝分化の全体像を明らかにする。

2) 中間代謝産物の細胞間移動機構の解明：異種細胞間の代謝産物の移動は、原形質連絡による細胞内空間での物質移動か、膜輸送を介して進むことが想定される。これまでの研究から膜輸送の関与が想定されることから、膜輸送体について遺伝子発現解析から検討する。

3) 細胞代謝分化過程の分子解析：細胞単離の過程で、二次代謝誘導が生じることを見出している。また、発芽個体の連続観察から、異形細胞や乳管細胞の分化過程が観察可能なことを見出した。これらの系と分子遺伝学的解析を組み合わせ、細胞代謝分化の分子過程を明らかにする。

4) 代謝に関与するオルガネラの機能解析：ニチニチソウの二次代謝では、一つの細胞内でも異なるオルガネラ間で機能分化が生じていることが示唆されている。その実態を単離オルガネラを用いて明らかにする。特に、代謝と蓄積の両者を担うと考えられる液胞に着目する。

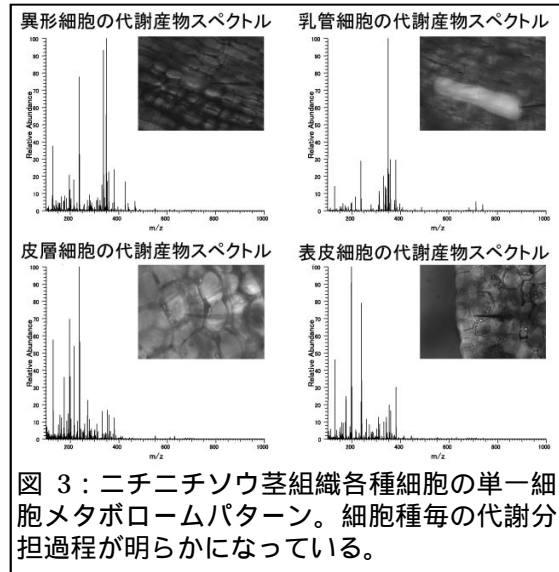


図 3：ニチニチソウ茎組織各種細胞の単一細胞メタボロームパターン。細胞種毎の代謝分担過程が明らかになっている。

3. 研究の方法

実験材料として、薬用植物として著名なニチニチソウを用いる。ニチニチソウは、抗がん剤として働くピンブラスチンやピンクリスチンなど、多様な MIA を生成することは良く知られている。その有用性から、生合成過程については詳細な研究が進められており、主要な酵素群の多くが明らかになっている。既に EST データもゲノムデータも公表されている。一方で、化学反応としての代謝過程の研究は進んでいるが、植物体内での生合成過程がどのように進行するかについては、不明の点が多い。本提案では、代謝的に分化した細胞間で代謝がどのように進行するか、各細胞の代謝分化はどのように制御されているかを明らかにすることを目指す。

MIA の分析には、HPLC/UV、CE/MS、FT-ICR/MS、Orbitrap/MS を使用する。同定に必要な中間代謝産物のうち、購入可能な標準品の収集を終えている。HPLC/UV 測定と、Orbitrap/MS による MS/MS 測定については、これらの標準品と代謝産物(とその分解物)の対応付けを終えている。質量顕微鏡に必要な FT-ICR/MS については産業技術総合研究所の高橋勝利博士と、一細胞メタボロームに必要な Orbitrap/MS については理化学研究所の升島努博士(年度途中でご逝去)、水野初博士(現静岡県立大学)と、既に共同研究を進めた。

1) 植物体葉組織や根組織における代謝産物の同定。

ニチニチソウの茎組織の各種細胞における代謝産物は既に明らかにした。

・ MIA の蓄積が最も活発とされる葉に含まれる代謝産物分布の詳細を明らかにする。ここでは、二次代謝産物の空間分布を明らかにできる「質量顕微鏡」と個々の細胞の代謝分化をより詳細に確認できる「一細胞メタボローム」手法を用いた。

2) 植物体各種組織細胞における遺伝子発現の解析。

日立製作所が開発した極微細組織（数～数十細胞）の採取・遺伝子発現解析手法（Kajiyama et al. 2015）を用いて、茎の異なる代謝分化組織から RNA-seq を行い、それぞれで遺伝子発現パターンが異なることを見出した。さらに、葉や胚を用いて、遺伝子発現の時間変動の解析を進めた。

3) 細胞代謝分化過程の分子解析：

葉の成長に伴った、二次代謝産物の最終蓄積場所として知られる、異型細胞（異形細胞と乳管細胞）の観察を進め、そこに蓄積する二次代謝産物の同定を行った。また、葉の細胞の遺伝子発現を時間変化で追いかけることで、代謝誘導に関わる遺伝子の同定が出来る可能性を探った。

4) 代謝に関与するオルガネラの機能解析：ニチニチソウの二次代謝では、一つの細胞内でも異なるオルガネラ間で機能分化が生じていることが示唆されている。その実態を単離オルガネラを用いて明らかにすることを目指した。特に、代謝と蓄積の両者を担うと考えられる液胞と核に着目した。これには、オルガネラ単離が容易な培養細胞系を用いた。

4. 研究成果

1. 植物体葉組織における代謝産物の同定。

我々は、この二次代謝の細胞分化過程を明らかにするために、新規メタボローム手法を応用することで、ニチニチソウの茎とさらに細胞が小さい葉における物質局在の全体像を明らかにすることに成功した（図4）。これまでに1）

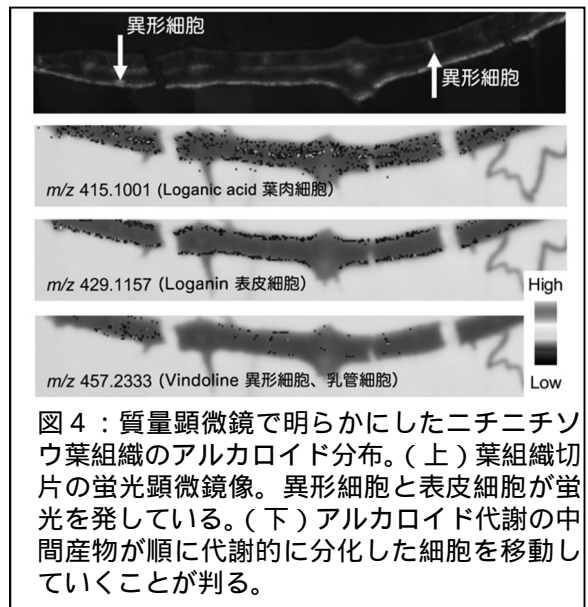
代謝物質の組織分布を明らかにする質量顕微鏡解析、2）代謝分化に関わる各種細胞の一細胞メタボローム解析、により中間代謝産物の分布が教科書レベルでの理解と大きく異なることを明らかにした。

2. 細胞代謝分化過程の分子解析。

実際の代謝過程がどのように制御されているのかを解明するために、分化した組織の RNA-seq 解析を進めた。また、ニチニチソウ種子を EMS 処理することで、二次代謝過程に変異を示す変異体の探索を行っている。

3. 葉の展開に伴う、異形細胞、乳管細胞の分化状態の解析。

1) 細胞横断型二次代謝を活発に行っている葉組織において、葉齢が進むとともに、異形細胞、乳管細胞の液胞内蓄積産物が変化することを見出した（図5）。葉の成長に伴い、二次代謝産物の最終蓄積場所として知られる、異型細胞（異形細胞と乳管細胞）の観察を進め、そこに蓄積する二次代謝産物の同定を行う。また、葉の細胞の遺伝子発現を時間変化で追いかけることで、代謝誘導に関わる遺伝子の同定が出来る可能性を探っている。



2) 胚発生過程に着目した、細胞代謝分化過程の分子解析：受粉後の胚発生過程で、異形細胞が分化してくる様子を蛍光顕微鏡観察と蛍光スペクトル解析から明らかにした(図6)。発芽個体の蛍光観察から、極く初期の展開葉や形成直後の側根において、二次代謝産物を蓄積する異形細胞や乳管細胞の分化が、蛍光実体顕微鏡を用いて容易に観察できることを見出した。

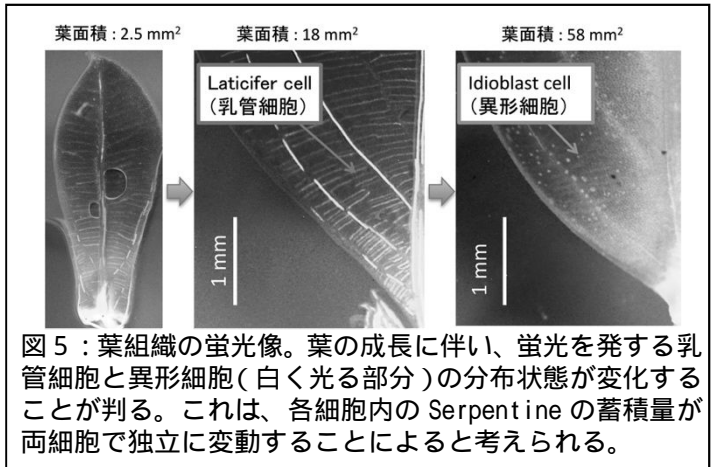


図5：葉組織の蛍光像。葉の成長に伴い、蛍光を発する乳管細胞と異形細胞(白く光る部分)の分布状態が変化することが判る。これは、各細胞内の Serpentine の蓄積量が両細胞で独立に変動することによると考えられる。

4) 代謝に関するオルガネラの機能解析：ニチニチソウの二次代謝では、一つの細胞内でも異なるオルガネラ間で機能分化が生じていることが示唆されている。その実態を単離オルガネラを用いて明らかにする。特に、代謝と蓄積の両者を担うと考えられる液胞と核に着目する。これには、オルガネラ単離が容易な培養細胞系を用いる。

培養細胞系では、アルカロイド合成が起こり難いことはよく知られており、我々の培養細胞系においても検出は出来ていない。しかし一方で、液胞のプロテオーム解析から、ストリクトシジン合成酵素が存在することを見出しており、その他の合成系酵素の発現を調べたところ、ほぼすべての酵素が培養細胞で発現していることが明らかとなった。現在、単離液胞に基質を与えれば、その後のステップが一部進むことを見出した。また液胞の次のステップで関与する核の単離と核のプロテオーム解析も行っており、これらのオルガネラの相互作用が、アルカロイド合成にどのように関与しているかの検討を進めている。

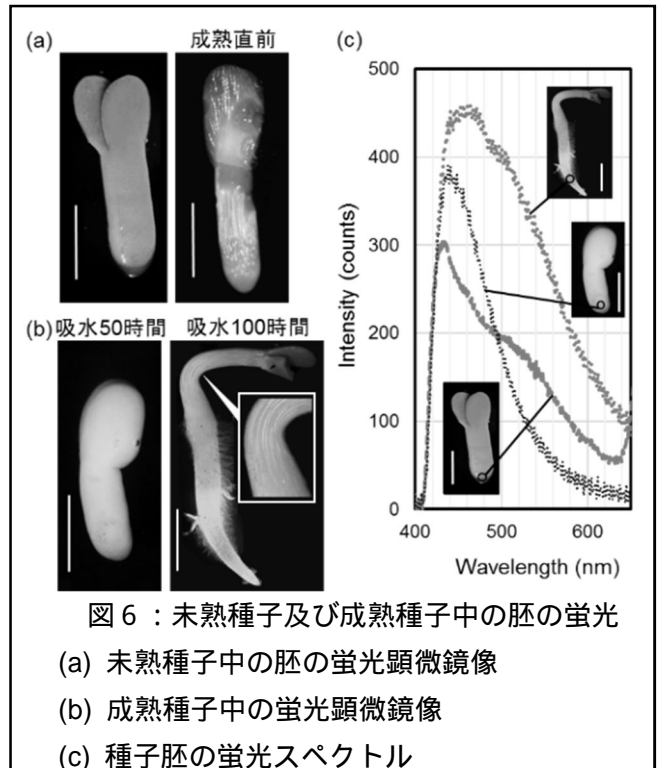


図6：未熟種子及び成熟種子中の胚の蛍光

- (a) 未熟種子中の胚の蛍光顕微鏡像
- (b) 成熟種子中の蛍光顕微鏡像
- (c) 種子胚の蛍光スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sharma Shanti S., Yamamoto Kotaro, Hamaji Kohei, Ohnishi Miwa, Anegawa Aya, Sharma Shashi, Thakur Sveta, Kumar Vijay, Uemura Tomohiro, Nakano Akihiko, Mimura Tetsuro	4. 巻 114
2. 論文標題 Cadmium-induced changes in vacuolar aspects of Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Physiology and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 29 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.plaphy.2017.02.017	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Hayashi Makoto, Tanaka Mina, Yamamoto Saki, Nakagawa Taro, Kanai Masatake, Anegawa Aya, Ohnishi Miwa, Mimura Tetsuro, Nishimura Mikio	4. 巻 58
2. 論文標題 Plastidial Folate Prevents Starch Biosynthesis Triggered by Sugar Influx into Non-Photosynthetic Plastids of Arabidopsis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1328 ~ 1338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1093/pcp/pcx076	査読の有無 有
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 Kurita Yuko, Baba Kei'ichi, Ohnishi Miwa, Matsubara Ryosuke, Kosuge Keiko, Anegawa Aya, Shichijo Chizuko, Ishizaki Kimitsune, Kaneko Yasuko, Hayashi Masahiko, Suzaki Toshinobu, Fukaki Hidehiro, Mimura Tetsuro	4. 巻 58
2. 論文標題 Inositol Hexakis Phosphate is the Seasonal Phosphorus Reservoir in the Deciduous Woody Plant Populus alba L.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1477 ~ 1485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1093/pcp/pcx106	査読の有無 有
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 Ohnishi Miwa, Yoshida Katsuhisa, Mimura Tetsuro	4. 巻 1696
2. 論文標題 Analyzing the Vacuolar Membrane (Tonoplast) Proteome	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Membrane Proteomics. Methods in Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 107 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7411-5_7	査読の有無 有
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 Ohnishi Miwa, Aneqawa Aya, Sugiyama Yuko, Harada Kazuo, Oikawa Akira, Nakayama Yasumune, Matsuda Fumio, Nakamura Yukiko, Sasaki Ryosuke, Shichijo Chizuko, Hatcher Patrick G, Fukaki Hidehiro, Kanaya Shigehiko, Aoki Koh, Yamazaki Mami, Fukusaki Eiichiro, Saito Kazuki, Mimura Tetsuro	4. 巻 59
2. 論文標題 Molecular components of Arabidopsis intact vacuoles clarified with metabolomic and proteomic analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1093/pcp/pcy069	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Yamamoto Kotaro, Takahashi Katsutoshi, Mizuno Hajime, Aneqawa Aya, Ishizaki Kimitsune, Fukaki Hidehiro, Ohnishi Miwa, Yamazaki Mami, Masujima Tsutomu, Mimura Tetsuro	4. 巻 113
2. 論文標題 Cell-specific localization of alkaloids inCatharanthus roseusstem tissue measured with Imaging MS and Single-cell MS	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 3891 ~ 3896
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1073/pnas.1521959113	査読の有無 有
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 Chiang Chih-Pin, Yim Won C., Sun Ying-Hsuan, Ohnishi Miwa, Mimura Tetsuro, Cushman John C., Yen Hungchen E.	4. 巻 7
2. 論文標題 Identification of Ice Plant (Mesembryanthemum crystallinum L.) MicroRNAs Using RNA-Seq and Their Putative Roles in High Salinity Responses in Seedlings	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.3389/fpls.2016.01143	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 該当する

1. 著者名 Sharma Shanti S., Dietz Karl-Josef, Mimura Tetsuro	4. 巻 39
2. 論文標題 Vacuolar compartmentalization as indispensable component of heavy metal detoxification in plants	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 1112 ~ 1126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.12706	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Sharma Shanti S., Yamamoto Kotaro, Hamaji Kohei, Ohnishi Miwa, Anegawa Aya, Sharma Shashi, Thakur Sveta, Kumar Vijay, Uemura Tomohiro, Nakano Akihiko, Mimura Tetsuro	4. 巻 114
2. 論文標題 Cadmium-induced changes in vacuolar aspects of Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Physiology and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 29 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.plaphy.2017.02.017	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Ohnishi Miwa, Anegawa Aya, Sugiyama Yuko, Harada Kazuo, Oikawa Akira, Nakayama Yasumune, Matsuda Fumio, Nakamura Yukiko, Sasaki Ryosuke, Shichijo Chizuko, Hatcher Patrick G, Fukaki Hidehiro, Kanaya Shigehiko, Aoki Koh, Yamazaki Mami, Fukusaki Eiichiro, Saito Kazuki, Mimura Tetsuro	4. 巻 2018
2. 論文標題 Molecular components of Arabidopsis intact vacuoles clarified with metabolomic and proteomic analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1353 ~ 1362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy069	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Takami Tsuneaki, Ohnishi Norikazu, Kurita Yuko, Iwamura Shoko, Ohnishi Miwa, Kusaba Makoto, Mimura Tetsuro, Sakamoto Wataru	4. 巻 4
2. 論文標題 Organelle DNA degradation contributes to the efficient use of phosphate in seed plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Plants	6. 最初と最後の頁 1044 ~ 1055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41477-018-0291-x	査読の有無 有
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 Toyokura Koichi, Goh Tatsuaki, Shinohara Hidefumi, Shinoda Akinori, Kondo Yuki, Okamoto Yoshie, Uehara Takeo, Fujimoto Koichi, Okushima Yoko, Ikeyama Yoshifumi, Nakajima Keiji, Mimura Tetsuro, Tasaka Masao, Matsubayashi Yoshikatsu, Fukaki Hidehiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Lateral Inhibition by a Peptide Hormone-Receptor Cascade during Arabidopsis Lateral Root Founder Cell Formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Developmental Cell	6. 最初と最後の頁 64 ~ 75.e5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.devcel.2018.11.031	査読の有無 有
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 Yamamoto Kotaro, Takahashi Katsutoshi, Caputi Lorenzo, Mizuno Hajime, Rodriguez Lopez Carlos E., Iwasaki Tetsushi, Ishizaki Kimitsune, Fukaki Hidehiro, Ohnishi Miwa, Yamazaki Mami, Masujima Tsutomu, O'Connor Sarah E., Mimura Tetsuro	4. 巻 224
2. 論文標題 The complexity of intercellular localisation of alkaloids revealed by single cell metabolomics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 848 ~ 859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.16138	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Goh Tatsuaki, Toyokura Koichi, Yamaguchi Nobutoshi, Okamoto Yoshie, Uehara Takeo, Kaneko Shutaro, Takebayashi Yumiko, Kasahara Hiroyuki, Ikeyama Yoshifumi, Okushima Yoko, Nakajima Keiji, Mimura Tetsuro, Tasaka Masao, Fukaki Hidehiro	4. 巻 224
2. 論文標題 Lateral root initiation requires the sequential induction of transcription factors LBD16 and PUCHI in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 749 ~ 760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.16065	査読の有無 有
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 Hiwatashi Takuma, Li Quan Koh, Yasui Yukiko, Takami Hideyuki, 中略, Fukaki Hidehiro, Mimura Tetsuro, Yamato Katsuyuki T, Toyooka Kiminori, Sawa Shinichiro, Urano Daisuke, Kohchi Takayuki, Ishizaki Kimitsune	4. 巻 29
2. 論文標題 The RopGEF KARAPPO Is Essential for the Initiation of Vegetative Reproduction in Marchantia polymorpha	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 3525 ~ 3531.e7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2019.08.071	査読の有無 有
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 Ohnishi Miwa, Yoshida Katsuhisa, Mimura Tetsuro	4. 巻 1696
2. 論文標題 Analyzing the Vacuolar Membrane (Tonoplast) Proteome	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Membrane Proteomics	6. 最初と最後の頁 107 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7411-5_7	査読の有無 有
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 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 三村 徹郎
2. 発表標題 駆け巡るリン
3. 学会等名 日本植物学会第81回大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kotaro Yamamoto, Katsutoshi Takahashi, Lorenzo Caputi, Hajime Mizuno, Miwa Ohnishi, Kimitsune Ishizaki, Mami Yamazaki, Hidehiro Fukaki, Sarah E O' Connor and Tetsuro Mimura
2. 発表標題 Idioblast and laticifer cells play important roles in alkaloid biosynthesis in <i>Catharanthus roseus</i>
3. 学会等名 Taiwan Japan Plant Biology 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kotaro Yamamoto, Katsutoshi Takahashi, Lorenzo Caputi, Hajime Mizuno, Miwa Ohnishi, Kimitsune Ishizaki, Mami Yamazaki, Hidehiro Fukaki, Sarah E O' Connor and Tetsuro Mimura
2. 発表標題 Idioblast and laticifer cells play important roles in alkaloid biosynthesis in <i>Catharanthus roseus</i>
3. 学会等名 Bilateral Closure Symposium of GDRJ Integrative Plant Biology Network（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鵜崎真妃、山本浩太郎、高橋勝利、大西美輪、石崎公庸、深城英弘、三村徹
2. 発表標題 ニチニチソウ乳管細胞および異形細胞の分化機構の解明
3. 学会等名 （一社）日本植物生理学会第59回年会（札幌）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuro Mimura; Miwa Ohnishi; Aya Anegawa; Kotaro Yamamoto; Yuko Kurita; Katsuhisa Yoshida
2. 発表標題 Molecular components of vacuoles and their possible functions in plant cells
3. 学会等名 第58回日本植物生理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本 浩太郎; 大西 美輪; 高橋 勝利; 水野 初; 石崎 公庸; 山崎 真巳; 深城 英弘; 升島 努; 三村 徹郎
2. 発表標題 二チニチソウ異形細胞・乳管細胞におけるTIA 代謝機構の解析
3. 学会等名 第58回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大西 美輪; 角浜 憲明; 石崎 公庸; 深城 英弘; 鈴木 祥弘; 三村 徹郎
2. 発表標題 なぜセントポーリアは急激な温度降下に敏感なのか?
3. 学会等名 第58回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本 浩太郎; 高橋 勝利; 水野 初; 大西 美輪; 江崎 剛史; 石崎 公庸; 深城 英弘; 山崎 真巳; 升島 努; 三村 徹郎
2. 発表標題 二チニチソウ異形細胞におけるTIA 代謝分化機構の解析
3. 学会等名 日本植物学会 第80回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鶴崎 真妃, 山本 浩太郎, 高橋 勝利, 棟方 涼介, 大西 美輪, 七條 千津子, 石崎 公庸, 深城 英弘, 三村 徹郎
2. 発表標題 ニチニチソウ乳管細胞・異形細胞の発生・分化・機能の解析
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 UZAKI Mai, YAMAMOTO Kotaro, TAKAHASHI Katsutoshi, OHNISHI Miwa, ISHIZAKI Kimitsune, FUKAKI Hidehiro, MIMURA Tetsuro
2. 発表標題 Analysis of lipids accumulated in laticifer and idioblast cells in <i>Catharanthus roseus</i>
3. 学会等名 International Symposium on Plant Lipids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 UZAKI Mai, K. YAMAMOTO Kotaro, TAKAHASHI Katsutoshi, OHNISHI Miwa, KURITA Yuko, SHICHIJO Chizuko, NAGANO Atsushi, ISHIZAKI Kimitsune, FUKAKI Hidehiro, MIMURA Tetsuro
2. 発表標題 Changes in secondary metabolites related to plant development in <i>Catharanthus roseus</i>
3. 学会等名 4th International Meeting on the Biosynthesis, Function and Synthetic Biology of Isoprenoids (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MIMURA Tetsuro, YAMAMOTO Kotaro, UZAKI Mai, OHNISHI Miwa, MIZUNO Hajime, MASUJIMA Tsutomu, TAKAHASHI Katsutoshi
2. 発表標題 Cell-specific analysis of localization of secondary metabolites in medicinal plant.
3. 学会等名 107TH INDIAN SCIENCE CONGRESS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	高橋 勝利 (Takahashi Katsutoshi)		
研究協力者	升島 努 (Masujima Tsutomu)		
研究協力者	大西 美輪 (Ohnishi Miwa)		
研究協力者	山本 浩太郎 (Yamamoto Kotaro)		
研究協力者	姉川 彩 (Anegawa Aya)		