

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08332

研究課題名(和文) 薬用植物の機能性含硫黄成分の生合成機構の解明と応用

研究課題名(英文) Basic and applied studies of the biosynthetic machinery for the synthesis of sulfur-containing bioactive compounds in medicinal plants

研究代表者

吉本 尚子 (Yoshimoto, Naoko)

千葉大学・大学院薬学研究院・講師

研究者番号：10415333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：システインスルホキシド誘導体(CSOs)は、ヒガンバナ科のネギ属やツルバギア属、ノウゼンカズラ科のニンニクカズラ属などに属する植物に含まれる、癌や循環器系疾患の予防や改善に役立つ含硫黄成分である。これら植物が有するCSOs生合成系の分子レベルでの理解は、将来的なCSOsや関連する有用物質の生物生産系の開発に役立つ。本研究は、これら植物の部位別トランスクリプトームデータとCSOs関連含硫黄化合物の含有プロファイルの生物情報学的解析に基づき、CSOs生合成に関わる酵素遺伝子群を探索した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は最先端のポストゲノムアプローチ、すなわち、ディープ・トランスクリプトームと含硫黄化合物プロファイルのデータを生物情報学的に統合解析し、遺伝子-代謝物ネットワークを明らかにすることで、植物の機能性含硫黄成分の生合成に関わる遺伝子群の同定を試みたことに特色がある。本研究は、植物が持つ機能性含硫黄成分生合成の分子基盤を明らかにするものであり、将来的に合成生物学的アプローチによって有用物質生産系を構築し重要遺伝子資源を有効利用するための知見を得るものである。

研究成果の概要(英文)：S-Alk(en)ylcysteine sulfoxides (CSOs) are sulfur-containing health-beneficial products characteristically found in plants that belong to the genus *Allium*, *Tulbaghia*, and *Mansoa*. In this study, we identified some enzymatic genes involved in the biosynthesis of CSOs from these plants, using transcriptome- and metabolome-based approaches.

研究分野：生合成

キーワード：植物 生合成 含硫黄成分 トランスクリプトーム 天然薬用資源

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

システインスルホキシド誘導体 (CSOs) はネギ属やツルバギア属、ニンニクカズラ属等の植物が生産する含硫黄成分であり、植物組織の損傷に伴い酵素的および非酵素的な反応を経て多様な硫黄化合物群に変換される。こうして生じた硫黄化合物群や、CSOs やその生合成中間体が、抗微生物活性、発癌抑制活性、免疫賦活作用、降圧作用、血小板凝集抑制活性、コレステロールおよびトリグリセリド低下作用等、重要な薬理活性を示すことが明らかにされている。実際、ネギ属を代表する植物であるニンニクは、古くから強壯作用や駆虫作用を示す薬用植物 (生薬名: 大蒜) として世界中で使用されており、また、1990 年代には米国国立癌研究所の研究により癌予防に最も有効な食用の植物であると報告されている。

このように薬理的、予防医学的見地から重要な CSOs だが、その生合成に関わる酵素の分子実体の多くは未だ不明である。20 世紀後半に行われたトレーサー実験の結果から、ネギ属植物では含硫黄トリペプチドであるグルタチオンが複数の酵素反応を受けて CSOs に変換されると推定された (引用文献)。グルタチオンは、植物が共通にもつ硫黄同化系とグルタチオン合成経路を介して生合成される。これに対し、グルタチオン以降の生合成経路は CSOs 生産植物に特異的に存在しており、有用遺伝子資源活用の観点から、この生合成系に関わる酵素群の分子レベルでの解明が期待されている。

一方、申請者らのグループでは数年来、モデル植物シロイヌナズナを主な材料として、硫黄同化に関わる酵素や輸送体の同定や機能解析、制御機構の解析を進めてきた。これらの研究は、オミクス解析と生物情報学的解析を駆使することで効率的に進めることができた。そこで最近申請者らは、ネギ属植物の公開 EST 配列群や、ネギ属植物ニンニクのディープ・トランスクリプトームおよび含硫黄代謝物プロファイルのデータマイニングを試み、ニンニクの代表的な CSOs であるアリインの生合成に関わる脱グルタミル化酵素遺伝子 (*AsGGT1*, *AsGGT2*, *AsGGT3*) と S-酸化酵素遺伝子 (*AsFMO1*) の同定と機能解明に成功した (引用文献)。この成果は、モデル植物のみならず薬用植物ニンニクの機能性含硫黄成分の生合成系においても、オミクスデータの統合解析が酵素遺伝子の同定に効力を発揮することを示唆している。同様のオミクス統合解析手法を適用することで、ニンニクや、ニンニクとは進化系統学的に離れたツルバギア属植物やニンニクカズラ属植物の機能性含硫黄成分生合成機構の分子レベルでの全容解明が期待できる。得られた成果は、植物の含硫黄成分生合成能の獲得の進化機構の解明や、異種生物における含硫黄成分の生合成システム構築に展開できると予想できる。

2. 研究の目的

本研究は、様々な薬理活性を示す含硫黄代謝物群を生産する天然薬用植物資源 (ネギ属、ツルバギア属、ニンニクカズラ属植物等) における機能性含硫黄成分の生合成に関わると考えられる酵素遺伝子群を明らかにすることと、その知見の応用に基づく機能性含硫黄成分の生合成システムの異種生物での構築を目的として、これらの薬用植物の組織別ディープ・トランスクリプトームと含硫黄代謝物プロファイルの統合解析に基づく機能性含硫黄成分の生合成酵素遺伝子の候補の探索と、分子生物学的・生化学的手法による候補遺伝子がコードするタンパク質の機能解析を行った。

3. 研究の方法

CSOs 等の機能性含硫黄成分を生産する薬用植物 [ネギ属ニンニク (*Allium sativum*)、ツルバギア属ツルバギア・ピオラセア (*Tulbaghia violacea*)、ニンニクカズラ属ニンニクカズラ (*Mansoa alliacea*)] の部位別ディープ・トランスクリプトームデータについて機能アノテーション解析を行い、機能性含硫黄成分の生合成への関与が推定される遺伝子配列群を抽出した。抽出された配列群の遺伝子発現プロファイルのデータを、機能性含硫黄成分とその生合成中間体の含有量プロファイルデータと Confeito アルゴリズム (引用文献) を用いて統合解析することで、機能性含硫黄成分の蓄積と相関して発現する遺伝子配列を機能性含硫黄成分の生合成酵素遺伝子の有力候補として絞り込んだ。絞り込んだ遺伝子配列群は、その配列情報をもとに設計したプライマーを用いて RACE 法や RT-PCR 法を行うことで、コード領域全長を含む cDNA をクローニングした。また、ニンニクと同じくネギ属に属するタマネギ (*Allium cepa*) の公開 RNA-seq 配列情報の生物情報学的解析に基づき、ニンニクの脱グルタミル化酵素遺伝子や S-酸化酵素遺伝子と配列相同性が高い遺伝子を探索し、その配列情報をもとにコード領域全長を含む cDNA をクローニングした。これらの CSOs 生合成候補遺伝子がコードするタンパク質を大腸菌や酵母等の異種生物で発現させ、*in vitro* 酵素反応や推定基質フィーディング実験によって機能を解析した。推定生成物の定性定量分析は、HPLC や LC-MS を用いて行った。

4. 研究成果

(1) ニンニクの CSOs 生合成におけるグルタチオン抱合体の合成に関わる酵素をコードする遺伝子の探索

既知のグルタチオン S-酸化酵素 (GST) の遺伝子と配列相同性が高いニンニクの 96 コンティグから、我々の先行研究で同定している CSOs 生合成に関わる酵素遺伝子である *AsGGT1* (引用文献) と共発現し、かつ CSOs の一種であるメチンと共蓄積する 5 コンティグを抽出した。対応する 5 遺伝子をクローニングし、*AsGSTF1*、*AsGSTU1*、*AsGSTU2*、*AsGSTT1*、*AsDHR1* と命名した。*AsGSTF1*、*AsGSTU1*、*AsGSTU2* は植物特異的 GST クラスに分類されたことから、植物二次代謝に関わる可能性が高いと考えられた。大腸菌を宿主として N 末に His タグを付加した *AsGSTF1*、*AsGSTU1*、*AsGSTU2* を発現させ、*in vitro* 酵素反応を行った。酵素反応液を HPLC や LC-MS で分析したが、推定アリイン生合成中間体 S-2-カルボキシプロピルグルタチオンおよび推定メチン生合成中間体 S-メチルグルタチオンの生成は確認できなかった。現在、*in vitro* 酵素反応に用いた S-2-カルボキシプロピル基ドナー基質や S-メチル基ドナー基質が適切ではない可能性や、組換えタンパク質のタグや宿主ベクター系が適切ではない可能性を考えている。

(2) ニンニクの CSOs 生合成における脱グリシル化酵素をコードする遺伝子の探索

グルタチオン抱合体の脱グリシル化を触媒することが知られている他植物由来の既知酵素の遺伝子と配列相同性が高い 3 コンティグを抽出した。対応する 2 遺伝子をクローニングし、*AsPCS1*、*AsPCS2* と命名した。これらの遺伝子の mRNA 発現量は組織に関わらずほぼ一定であり、CSOs 生合成に関わる既知酵素遺伝子の mRNA 発現量や CSOs 蓄積量との相関は見られなかった。しかし、前述の他植物由来の既知酵素の遺伝子は組織に関わらず恒常的に発現し、コードするタンパク質の活性は翻訳後制御されることが知られていることから、*AsPCS1* と *AsPCS2* についても同様の活性制御を受けると考え、機能解析を行った。大腸菌を宿主として *AsPCS1* と *AsPCS2* の組換えタンパク質を発現させ、*in vitro* 酵素反応を行った。酵素反応液を HPLC により分析した結果、*AsPCS1* と *AsPCS2* のいずれも推定アリイン生合成中間体 S-2-カルボキシプロピルグルタチオンおよび推定メチン生合成中間体 S-メチルグルタチオンの脱グリシル化を触媒することが示された。

(3) ニンニクの CSOs 生合成における生合成中間体 -グルタミル-S-2-カルボキシプロピルシステインの -グルタミル-S-アシルシステインまたは -グルタミル-S-1-プロペニルシステインへの変換に関わる酵素をコードする遺伝子の探索

植物二次代謝において酸化反応を触媒する代表的な酵素 (シトクロム P450、フラビン含有モノオキシゲナーゼ、2-オキソグルタル酸依存性ジオキシゲナーゼ) の遺伝子と配列相同性が高い約 750 コンティグから、*AsGGT1* と共発現し、かつ CSOs の一種であるメチンと共蓄積する 5 つのコンティグを抽出した。対応する 5 遺伝子をクローニングし、*AsCYP71A1*、*AsCYP71A9*、*AsCYP89A2*、*AsFM01*;1、*AsFM03*;2 と命名した。*AsCYP71A9* がコードする推定アミノ酸配列には、酸化活性に必要なモチーフ配列が含まれていなかったことから、その後の機能解析は行わなかった。

本研究開始時には、推定アリイン生合成中間体 -グルタミル-S-2-カルボキシプロピルシステイン (GS2CPC) は酸化酵素による酸化的脱炭酸反応を受けて、-グルタミル-S-アシルシステイン (GSAC) またはイソアリイン生合成中間体 -グルタミル-S-1-プロペニルシステイン (GS1PC) に変換されると考えていた。しかし、酵母や大腸菌で発現させた *AsCYP71A1*、*AsCYP89A2*、*AsFM01*;1、*AsFM03*;2 は推定アリイン生合成中間体 -グルタミル-S-2-カルボキシプロピルシステイン (GS2CPC) の酸化的脱炭酸反応を触媒しなかった。そこで、GS2CPC から GSAC や GS1PC への変換は、脱水素反応と脱炭酸反応の 2 段階で進むと予想したが、*AsCYP71A1*、*AsCYP89A2*、*AsFM01*;1、*AsFM03*;2 は GS2CPC の脱水素反応も触媒しなかった。現在、植物内では GS2CPC が脱炭酸されて生じる -グルタミル-S-プロピルシステイン (GSPC) が、*AsCYP71A1*、*AsCYP89A2*、*AsFM01*;1、*AsFM03*;2 等の酸化酵素により脱水素されて GSAC または GS1PC に変換される可能性を考えている。

(4) タマネギの CSOs 生合成において脱グルタミル化反応や S-酸化反応に関わる酵素をコードする遺伝子の探索

タマネギの公開 RNA-seq データの生物情報学的解析により、ニンニクの CSOs 生合成における脱グルタミル化酵素 (引用文献) や S-酸化酵素 (引用文献) をコードする遺伝子と配列相同性が高い配列を探索し、その配列情報をもとに遺伝子クローニングを行い、3 種の脱グルタミル化酵素遺伝子候補は *AcGGT1*、*AcGGT2*、*AcGGT3*、1 種の S-酸化酵素遺伝子候補は *AcFM01* と命名した。酵母を宿主としてこれら遺伝子の組換えタンパク質を発現させ、*in vitro* 酵素反応を行った。酵素反応液を HPLC や LC-MS にて分析した結果、*AcGGT1*、*AcGGT2*、*AcGGT3* はタマネギの主要な CSOs であるイソアリインの生合成中間体の脱グルタミル化反応を触媒すること、*AcFM01* はイソアリインの生合成中間体の S-酸化反応を触媒することが示された。

(5) ツルバギア・ピオラセアの CSOs 生合成における S-酸化反応に関わる酵素をコードする遺伝子の探索

ニンニクにおいて CSOs 生合成中間体の S-酸化を触媒する酵素をコードする遺伝子(引用文献)と高い配列相同性を示すツルバギア・ピオラセアの5つのコンティグの配列情報をもとに、対応する2遺伝子をクローニングし、TvFM01、TvFM02と命名した。酵母を宿主としてTvFM01とTvFM02の組換えタンパク質を発現させ、*in vitro* 酵素反応を行った。酵素反応液をLC-MSにて分析した結果、TvFM01とTvFM02のいずれもツルバギア・ピオラセアの主要なCSOsであるマラスミンの推定生合成中間体であるS-(メチルチオメチル)システインに対するS-酸化活性を示すことが示された。

<引用文献>

Jane E. Lancaster, Martin L. Shaw. γ -glutamyl peptides in the biosynthesis of S-alk(en)yl-L-cysteine sulphoxides (flavor precursors) in *Allium*. *Phytochemistry*, 28, 455-460 (1989).

Naoko Yoshimoto, Ayami Yabe, Yuka Sugino, Soichiro Murakami, Niti Sai-Ngam, Shin-ichiro Sumi, Tadimitsu Tsuneyoshi, Kazuki Saito. Garlic γ -glutamyl transpeptidases that catalyze deglutamylation of biosynthetic intermediate of alliin. *Front. Plant. Sci.* 5, 758 (2015).

Naoko Yoshimoto, Misato Onuma, Shinya Mizuno, Yuka Sugino, Ryo Nakabayashi, Shinsuke Imai, Tadimitsu Tsuneyoshi, Shin-ichiro Sumi, Kazuki Saito. Identification of a Flavin-containing S-oxygenating monooxygenase involved in alliin biosynthesis in garlic. *Plant J.*, 83, 941-951 (2015).

Yoshiyuki Ogata, Nozomu Sakurai, Hideyuki Suzuki, Koh Aoki, Kazuki Saito, Daisuke Shibata. The prediction of local modular structures in a co-expression network based on gene expression datasets. *Genome Inform.*, 23, 117-127 (2009).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mami Yamazaki, Amit Rai, Naoko Yoshimoto, Kazuki Saito	4. 巻 12
2. 論文標題 Perspective: functional genomics towards new biotechnology in medicinal plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Biotechnology Reports	6. 最初と最後の頁 69-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11816-018-0476-9	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 Naoko Yoshimoto, Kazuki Saito	4. 巻 70
2. 論文標題 S-Alk(en)ylcysteine sulfoxides in the genus Allium: proposed biosynthesis, chemical conversion, and bioactivities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 4123-4137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jxb/erz243	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24件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 大岩 優海菜、浅野 雅代、鈴木 秀幸、小寺 幸広、恒吉 唯充、斉藤 和季、吉本 尚子
2. 発表標題 ニンニクのシステインスルホキシド化合物群の生合成におけるフィトケラチン合成酵素の機能解析
3. 学会等名 第36回日本植物細胞分子生物学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上 耀介、斉藤 和季、吉本 尚子
2. 発表標題 タマネギのシステインスルホキシド化合物群の生合成に関わる -グルタミルトランスペプチダーゼの探索
3. 学会等名 第36回日本植物細胞分子生物学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoko Yoshimoto, Ayaka Sano, Masayo Asano, Risako Ishii, Yumina Oiwa, Marina Konno, Hideyuki Suzuki, Yukihiro Kodera, Tadamitsu Tsuneyoshi, Kazuki Saito
2. 発表標題 Transcriptome-based approach for elucidation of secondary sulfur metabolism in garlic
3. 学会等名 11th International Plant Sulfur Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoko Yoshimoto
2. 発表標題 Biosynthesis of sulfur-containing health-beneficial compounds in garlic
3. 学会等名 第10回韓日中合同生薬学シンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉本尚子
2. 発表標題 ネギ属植物における健康機能性硫黄化合物の生合成機構
3. 学会等名 日本薬学会第139年会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大岩優海菜, 浅野雅代, 鈴木秀幸, 小寺幸広, 恒吉唯充, 斉藤和季, 吉本尚子
2. 発表標題 ニンニクのシステインスルホキシド化合物の生合成におけるフィトケラチン合成酵素の機能の解析
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王吉晨, 鈴木秀幸, 斉藤和季, 吉本尚子
2. 発表標題 ツルバギアの含硫二次代謝物生合成への関与が推測されるS-酸化酵素遺伝子の同定
3. 学会等名 日本薬学会第139年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上羽利瑛子, 上山正恵, 森直子, 小沼美沙都, 今井真介, 斉藤和季, 吉本尚子
2. 発表標題 タマネギのイソアリイン生合成におけるフラビン含有モノオキシゲナーゼの機能解析
3. 学会等名 日本薬学会第139年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅野雅代, 鈴木秀幸, 小寺幸広, 恒吉唯充, 斉藤和季, 吉本尚子
2. 発表標題 ニンニクのシステインスルホキシド化合物群の生合成に関わるフィトケラチンシンターゼ遺伝子の単離と機能解析
3. 学会等名 第35回日本植物細胞分子生物学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石井梨紗子, 鈴木秀幸, 小寺幸広, 恒吉唯充, 斉藤和季, 吉本尚子
2. 発表標題 ニンニクのシステインスルホキシド化合物群の生合成に関わるグルタチオンS-転移酵素遺伝子の単離
3. 学会等名 第35回日本植物細胞分子生物学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐野彩夏、紺野真理奈、鈴木秀幸、小寺幸広、恒吉唯充、斉藤和季、吉本尚子
2. 発表標題 ニンニクのシステインスルホキシド化合物群の生合成に關与する酸化酵素遺伝子の探索
3. 学会等名 第35回日本植物細胞分子生物学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wang Jichen, Hideyuki Suzuki, Kazuki Saito, Naoko Yoshimoto
2. 発表標題 Identification of two genes potentially encoding S-oxygenases in the biosynthesis of S-(methylthiomethyl)cysteine sulfoxide in <i>Tulbaghia violacea</i> Harv.
3. 学会等名 第35回日本植物細胞分子生物学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wang Jichen, Hideyuki Suzuki, Kazuki Saito, Naoko Yoshimoto
2. 発表標題 Molecular cloning of two genes, potentially responsible for the biosynthesis of S-(methylthiomethyl)cysteine sulfoxide in <i>Tulbaghia violacea</i> Harv.
3. 学会等名 日本生薬学会第64回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅野雅代、鈴木秀幸、小寺幸広、恒吉唯充、斉藤和季、吉本尚子
2. 発表標題 ニンニクのフィトケラチン合成酵素のシステインスルホキシド誘導体生合成における機能の解析
3. 学会等名 日本薬学会第138年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉本尚子
2. 発表標題 ニンニクフレーバーの前駆体生成に関与する γ -グルタミルトランスペプチダーゼ
3. 学会等名 日本農芸化学会2018年度大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoko Yoshimoto
2. 発表標題 Identification of enzymes involved in alliin biosynthesis in garlic
3. 学会等名 2019 International Garlic Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 紺野 真理奈、佐野 彩夏、鈴木 秀幸、松友 利暁、中本 雅斗、田村 浩一、斉藤 和季、吉本 尚子
2. 発表標題 ニンニクのアリイン生合成における酸化的脱炭酸酵素の探索
3. 学会等名 第37回日本植物細胞分子生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上羽 利瑛子、上山 正恵、森 直子、小沼 美沙都、今井 真介、斉藤 和季、吉本 尚子
2. 発表標題 ニンニクとタマネギのシステインスルホキシド誘導体群の生合成におけるS-酸化酵素の機能比較
3. 学会等名 第37回日本植物細胞分子生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Jichen, Hideyuki Suzuki, Kazuki Saito, Naoko Yoshimoto
2. 発表標題 Identification of an S-oxygenase involved in the biosynthesis of marasmin, an antibacterial component of the traditional medicinal plant <i>Tulbaghia violacea</i>
3. 学会等名 第56回植物化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木佐貴あゆな、浅野孝、菅野千尋、浅沼眞智子、藤井勲、斉藤和季、吉本尚子
2. 発表標題 ネギ属植物カルスにおける硫黄二次代謝能解析
3. 学会等名 第56回植物化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木佐貴あゆな、浅野孝、菅野千尋、藤井勲、斉藤和季、吉本尚子
2. 発表標題 ネギ属植物カルスにおける硫黄二次代謝能の解析
3. 学会等名 日本生薬学会第66 回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoko Yoshimoto
2. 発表標題 Investigation of the biosynthesis of S-alk(en)ylcysteine sulfoxides in the genus <i>Allium</i>
3. 学会等名 The 7th International Conference on Food Factors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木佐貴あゆな、浅野孝、菅野千尋、浅沼眞智子、藤井勲、斉藤和季、吉本尚子
2. 発表標題 ネギ属植物カルスの誘導とシステインスルホキシド誘導体生合成能の解析
3. 学会等名 第61回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木佐貴あゆな、浅野孝、菅野千尋、浅沼眞智子、藤井勲、斉藤和季、吉本尚子
2. 発表標題 ネギ属植物カルスの誘導と硫黄二次代謝能の解析
3. 学会等名 日本薬学会第140年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Naoko Yoshimoto, Kazuki Saito	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 243
3. 書名 Biosynthesis of S-Alk(en)yl-L-Cysteine Sulfoxides in Allium: Retro Perspective. in "Sulfur Metabolism in Higher Plants - Fundamental, Environmental and Agricultural Aspects"	

〔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