

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07604

研究課題名(和文) 切り花の品質向上への応用を目指したピリジンジカルボン酸の多面的生理作用の吟味

研究課題名(英文) Investigation into multiple actions of pyridinecarboxylic acids to improve the quality of cut ornamental flowers

研究代表者

佐藤 茂 (Satoh, Shigeru)

龍谷大学・農学部・教授

研究者番号：40108428

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)：本研究では次の項目の研究を行った。(1)ピリジンジカルボン酸(PDCA)類とピリジンカルボン酸(PCA)類の、カーネーションに対する開花促進作用を検討して、3-PCAの作用が最大である、3-PCAは長期低温貯蔵(4、4週間)後の開花率を改善して切り花の観賞価値を高める、ことを明らかにした。(2)PDCA類とPCA類の作物幼苗の根の伸長促進作用を発見し、3-PCAの作用が最大である、長鎖不飽和脂肪酸Na塩との相乗作用により根系形成を著しく促進する、ことを明らかにした。(3)カーネーションのエチレン合成経路の鍵酵素であるACC合成酵素遺伝子の対立遺伝子を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

得られた成果の意義は次のとおりである。カーネーションは、母の日や春秋の彼岸などの物日に集中的に需要が増大する。出荷調整のため、蕾切り・低温貯蔵後の切り花の開花促進剤の開発が要望されている。3-PCAを当該薬剤として開発できる。野菜生産では苗供給と栽培の分業が進行している。苗供給では断根接ぎ木苗等の早期発根が要望されている。現今の発根促進剤は芳香族化合物が主流で毒性面から野菜苗には使用できない。3-PCAと長鎖不飽和脂肪酸Na塩を人畜に無害な処理剤として開発できる。カーネーションACC合成酵素の対立遺伝子の実証は、エチレン合成調節により鮮度保持技術の開発に寄与する重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：In the present study, this researcher conducted investigations in the following three areas. (1) I examined the effects of pyridinedicarboxylic acids (PDCAs) and pyridinecarboxylic acids (PCAs) on flower opening of spray-type carnation, and revealed that 3-PCA exerted the largest promotive action, and promoted flower opening of carnation flowers, which had been stored at cold temperature for a long time, resulting in improving the quality of the flowers. (2) I discovered that PDCAs and PCAs promoted rooting in cuttings of some young vegetable and crop plants, and showed that 3-PCA had the largest activity in the promotion, and had the synergetic action with sodium salts of some long-chain unsaturated fatty acid, causing a remarkable root system formation in the vegetable cuttings. (3) I revealed the allelic nature of the previously shown two variants of carnation ACC synthase genes (DcACS1a and DcACS1b).

研究分野：園芸学

キーワード：3-ピリジンカルボン酸 ピリジンカルボン酸類 ビタミンB3 長鎖不飽和脂肪酸Na塩 ACC合成酵素対立遺伝子 カーネーション 開花促進 根系形成促進

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

園芸花き切り花の品質を決める主要因に、日持ち期間の長さがある。実用的な日持ち期間の長さは、蕾が開き始めてから満開に至るまでの時間と満開の花が老化(萎凋または落花)して観賞価値を失うまでの時間の両方を合わせたものである。老化抑制の目的で、老化にエチレンが主要な役割を果たす花きでは、エチレン生成阻害剤(AOA, DPSS)やエチレン作用阻害剤(STS 剤, 1-MCP)が実用されている。また、導管閉塞の原因になる生け水中の細菌の繁殖を抑える薬剤(殺菌剤)や、呼吸基質を補給する薬剤(スクロース, グルコースなど)、花弁細胞の老化を抑制する植物ホルモン剤(GA, BA など)も実用されている。

近年、切り花を特定の時期(物日)に開花させる技術の開発が求められている。例えば、蕾切り冷蔵保存したカーネーションの母の日直前の一斉開花誘導、葬儀や結婚式、祝賀会での大量の切り花の需要に対応した一斉開花誘導、都市近郊の産直市場における土・日曜の需要増に対応した開花調節などが必要とされる。申請者は、これらの課題を解決する研究が今後重要性を増すと考え、切り花開花促進剤と老化抑制剤の探索を行ってきた。その結果、スプレーカーネーション(以下ではSPカーネーション)を試験材料にして、キシログルカンオリゴ糖とパラチノースの開花促進作用を見出した。また、最近、SPカーネーションの蕾の開花を促進し、開いた花を長持ちさせることにより、総開花率を増加させる新規薬剤ピリジンジカルボン酸(PDCA)を発見した。図1, 2に2,4-PDCAで処理したSPカーネーションの写真と開花の時間経過を示した。5 mM, 4時間のパルス処理によって、開花促進と老化抑制が引き起こされた。



対照                      2 mM PDCA

図1. PDCA処理による開花促進。  
処理開始15日後。

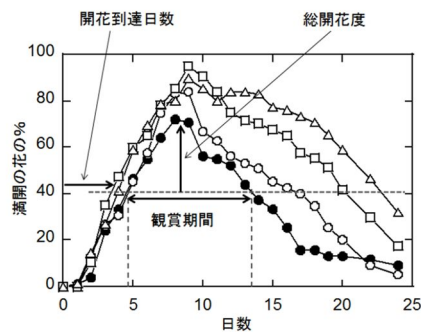


図2. 2,4-PDCA処理による観賞期間  
期間の延長。開花率40%以上が観賞  
価値ありとみなされる。

### 2. 研究の目的

研究代表者は、ピリジンジカルボン酸(PDCA)が、SPカーネーションにおいて、蕾の開花促進と開花後の老化抑制(日持ち期間延長)により総開花率を増加させて観賞価値を高めることを見出した。PDCAには6種類のアイソマーが存在するが、このうち2,3-PDCAと2,4-PDCAの開花促進活性が最も大きく、その程度はほぼ同じであった。PDCAは、他種の園芸花きにおける開花促進作用や、切り花花弁の退色を引き起こすSTS剤に代わる処理剤として期待される。多機能性をもつPDCAの作用機構の全体像は不明である。しかし、同様の作用をもつスクロースなどの糖質に比べ1/100の濃度で有効、かつ安価であり実用化の可能性が高い。本研究では、国内で流通する主要花きの切花の品質向上への応用を目指して、カーネーションをモデル花きに用いて、PDCAの生理作用の特性を検討し、さらに作用機作解明への手掛かりを得る。

### 3. 研究の方法

(1) SPカーネーションの開花と老化に対するPDCAの作用の特性を、切り花の日持ち性を

指標にして解析した。SP カーネーション切り花の観賞期間の延長を指標にして以下の解析を行った。 PDCA アイソマー間の作用の違い， PDCA の連続処理とパルス処理の比較， PDCA の処理濃度， SP カーネーション品種間の PDCA の効果の違い， 国産 SP カーネーションと海外（特に，コロンビア産）産カーネーション品種における作用の比較。

（ 2 ） PDCA のモノカルボン酸アナログであるピリジンカルボン酸(PCA)に試験対象を拡大して， PCA アイソマーおよびアミド誘導体の作用を解析した。

（ 3 ） 研究の初年度（平成 28 年度）に， PDCA が SP カーネーションの開花促進作用を示すだけでなく，「レタス，ニンジン，イネの幼苗の根の伸長を促進し，さらにヤエナリ幼苗の発根を促進する」意外な作用を見出したので，その作用の解析した。試験は発芽後の幼植物の断根苗の発根数と総根長を評価した。

（ 4 ） 開花促進効果の試験材料として使用したカーネーションでは，植物ホルモンのエチレンが老化の主要因子として機能する。本研究で試験材料として用いたコロンビア産のカーネーションにおいて，エチレン生成における鍵酵素であるACC合成酵素の対立遺伝子解明の端緒が得られた。そこで，通常分子遺伝学的手法によって，対立遺伝子の解析を行った。

#### 4．研究成果

本研究によって以下の成果を得た。

（ 1 ）ピリジンジカルボン酸（PDCA）類とピリジンカルボン酸（PCA）類の，カーネーションに対する開花促進作用を検討して， 3-PCAと3-PCA amideの作用が最大である（図3）， 3-PCAは長期低温貯蔵（4 ，4週間）後の開花率を改善して切り花の観賞価値を高める，ことを明らかにした（図4）。

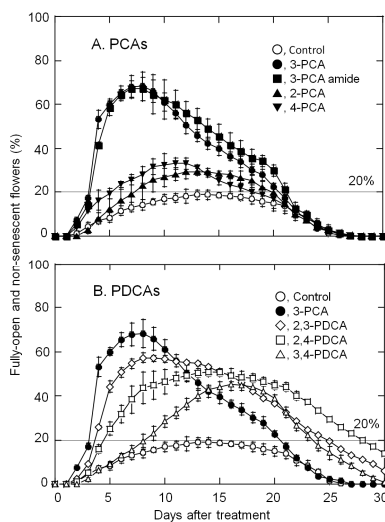


図3

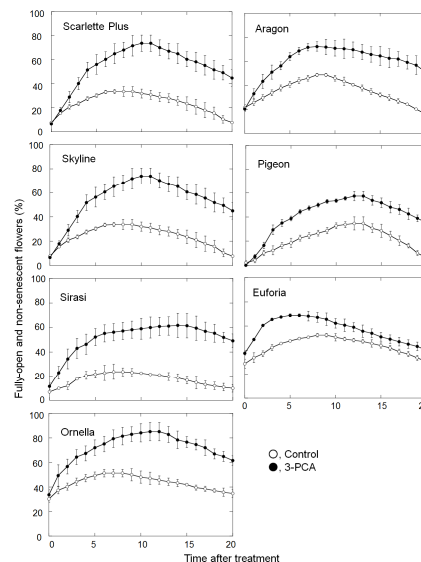


図4

図3．PDCAとPCAアイソマーのSPカーネーションに対する開花促進作用。3-PCAとそのアミドの 3-PCA amide の作用が最も大きかった。

図4．長期低温貯蔵（4 ，4週間）貯蔵した5品種のSPカーネーションに対する3-PCAの開花促進効果。図中にカーネーション品種名を示した。

(2) PDCA類とPCA類が、作物幼苗の根の伸長を促進することを発見し、3-PCAの作用が最大であること、および長鎖不飽和脂肪酸Na塩との相乗作用により根系形成を著しく促進すること、を明らかにした。

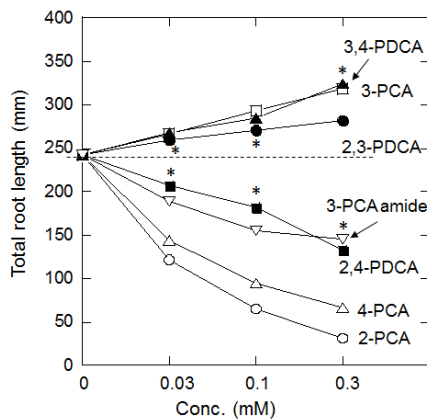


図5

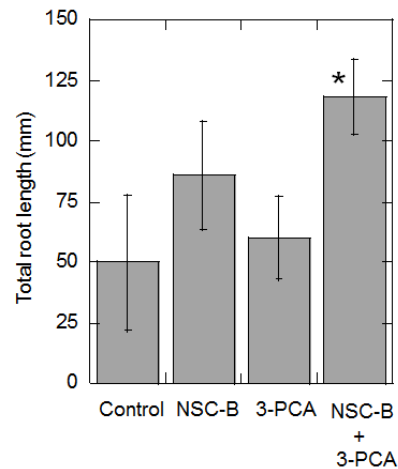


図6

図5. イネ幼苗の根の伸長に対するPCA とPDCAの作用。3-PCAと3,4-PDCAの促進効果が最も大きかった。

図6. ヤエナリ断根幼苗の発根と根の伸長に対する、NSC-B（長鎖不飽和脂肪酸Na塩混合物）と3-PCAの相乗効果。

(3) カーネーションのACC合成酵素対立遺伝子の研究では、今までに未発見であった *DcACS1b* 遺伝子のホモ接合体を発見し、さらにカーネーションと野生種キバナナデシコ (*DkACS1.1* ~ *DkACS1.3* の3種の遺伝子をもつ) の交雑種 (ミニティアラカーネーション) の ACC合成酵素遺伝子の構成を分析して、カーネーションの *DcACS1a* と *DcACS1b* が対立遺伝子であることを実証した。

本研究で得られた成果の意義は次のように指摘できる。(1) カーネーションは、母の日や春秋の彼岸などの物日に集中的に需要が増大する。出荷調整のため、蕾切り・低温貯蔵後の切り花の開花促進剤の開発が要望されている。3-PCA を当該薬剤として開発できる。野菜生産では苗供給と栽培の分業が進行している。苗供給では断根接ぎ木苗等の早期発根が要望されている。現今の発根促進剤は芳香族化合物が主流で毒性面から野菜苗には使用できないが、3-PCA と長鎖不飽和脂肪酸 Na 塩を人畜に無害な処理剤として開発できる。カーネーション ACC 合成酵素の対立遺伝子の実証は、エチレン生合成調節により鮮度保持技術の開発に寄与する重要な成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Shigeru Satoh, Yoshihiro Nomura, Shigeto Morita, So Sugiyama	4. 巻 18
2. 論文標題 Further characterization of the action of pyridinedicarboxylic acids: multifunctional flower care agents for cut flowers of spray-type carnation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Applied Horticulture	6. 最初と最後の頁 3-6
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 Shigeto Morita, So Sugiyama, Yoshihiro Nomura, Takehiro Masumura, Shigeru Satoh.	4. 巻 86
2. 論文標題 Gibberellin is not associated with the enhancing effect of 2,4-pyridinedicarboxylic acid on flower opening of 'Light Pink Barbara' carnation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 519-527
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi: 10.2503/hortj.OKD-007	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 Shigeru Satoh and, Yoshihiro Nomura	4. 巻 11
2. 論文標題 Promotion of root elongation by pyridinecarboxylic acids known as novel cut flower care agents	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Root	6. 最初と最後の頁 40-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi: 10.3117/plantroot.11.40	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 Nurainee Salaemae, Shigeru Satoh, Wachiraya Imsabai, Seiji Takeda, Samak Kaewsuksaeng	4. 巻 240
2. 論文標題 The combination of EthylBloc Sachet and 2,4-pyridinedicarboxylic acid reduces petal blackening and prolongs vase life of cut flowers of lotus ( <i>Nelumbo nucifera</i> Gaerth) cvs. Sattabongkot and Saddhabutra	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 133-138
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi: 10.1016/j.scienta.2018.04.066	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 Shigeru Satoh, Yoshihiro Nomura, Sayuri Takeuchi, Ryusuke Seo	4. 巻 45
2. 論文標題 Flowering profile and ethylene production of a new carnation subspecies 'Mini-tiara'	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Horticultural Science (Prague)	6. 最初と最後の頁 187-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.17221/38/2017-HORTSCI	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 Shigeru Satoh, Yoshihiro Nomura	4. 巻 88
2. 論文標題 Promotion of flower opening of spray-type carnation cut flowers by 3-pyridinecarboxylic acid, a simple analog of pyridinedicarboxylic acids (PDCAs) including 2,3- and 2,4-PDCAs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 293-298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.2503/hortj.UTD-038	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 Shigeru Satoh, Taira Okubo, Yoshihiro Nomura	4. 巻 13
2. 論文標題 Promotion of adventitious root formation in root-cut mung bean seedlings by a commercial alkaline hydrolysis product of soy oil and its ingredients, unsaturated long-chain fatty acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Root	6. 最初と最後の頁 15-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.3117/plantroot.13.15	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 Shigeru Satoh, Keiko Makino, Keita Shimada, Yoshihiro Nomura	4. 巻 89
2. 論文標題 Failure of 2-pyridinecarboxylic acid, an inhibitor of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, as a universal flower care agent to extend the vase life of cut carnation flowers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 300-305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.2503/hortj.UTD-153	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 Shigeru Satoh, Yoshihiro Nomura, Yusuke Kosugi, Hirotada Tanaka, Sayane Mizukami, Katsuki Watanabe	4. 巻 89
2. 論文標題 Allelic nature of Two variants of carnation 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase genes, DcACS1a and DcACS1b	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Horticulture Journa	6. 最初と最後の頁 311-318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.2503/hortj.UTD-173	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2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 佐藤茂, 小杉祐介, 野村佳宏, 渡辺佳月
2. 発表標題 カーネーションACC合成酵素の対立遺伝子 (DcACS1a, -b) の検証
3. 学会等名 園芸学会平成31 年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 茂, 大久保 平, 野村佳宏
2. 発表標題 3-ピリジンカルボン酸と脂肪酸ナトリウムの相乗効果を利用した根系形成促進
3. 学会等名 第49回根研究集会 (根研究学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Shigeru Satoh, Yusuke Kosugi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer/ Humana Press	5. 総ページ数 分担 (pp. 47-58)
3. 書名 Ethylene Signaling, Methods and Protocol. Methods in Molecular Biology vol. 1573	

1. 著者名 Shigeru Satoh	4. 発行年 2018年
2. 出版社 INTECH Open Science	5. 総ページ数 分担 (pp. 27-42)
3. 書名 Pyridine	

1. 著者名 Shigeru Satoh	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 -
3. 書名 The Carnation Genome	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 根伸長促進剤	発明者 佐藤茂、野村佳宏	権利者 龍谷大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-229009	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 根系形成促進剤	発明者 佐藤茂	権利者 龍谷大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-131369	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----