

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K05637

研究課題名（和文）植物ホルモンによる収穫後のウンシュウミカンの香りの品質制御機構の解明

研究課題名（英文）Effects of plant hormone treatment on aroma volatiles in Satsuma mandarin (Citrus unshiu Marc.) fruit

研究代表者

松本 光 (Matsumoto, Hikaru)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門・上級研究員

研究者番号：20355407

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ウンシュウミカンに対して9月にジベレリン（GA）とプロヒドロジャスモン（PDJ）を混用処理すると、成熟期において果肉中の香り成分含量と組成が変化し、特にミカンの異臭の原因成分の一つであるジメチルスルフィド（DMS）の集積が抑制されることを明らかにした。このDMSに対する作用はGAに起因し、PDJ単独では効果がないが、PDJはGAの効果をも高める可能性が示唆された。この処理によるDMSの集積抑制効果は成熟期だけでなく貯蔵後も確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウンシュウミカンに対するジベレリンとプロヒドロジャスモンの混用処理は浮皮軽減技術として普及している。この処理をした果実は若く新鮮な風味を保ちやすいことを確認していたが、香り成分に及ぼす影響は未解明だった。本研究から、この処理を行うと果肉中の香り成分含量と組成が変化し、特にミカンの異臭の原因成分の一つであるジメチルスルフィド含量が低く保たれることが明らかとなり、カンキツにおいて植物ホルモン処理が香り成分に影響するという科学的知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：Combined treatment with GA and PDJ is effective at reducing peel puffing in satsuma mandarin (Citrus unshiu Marc.). The present study showed that the treatment affected the content and composition of volatiles in juice sacs of satsuma mandarin fruit and especially reduced the accumulation of dimethyl sulfide, which is one of the key compounds responsible for producing off-flavor of satsuma mandarin fruit. The effect was due to GA, and PDJ had no effect, but PDJ seemed to enhance the effect of GA. This effect was observed not only during maturation but also during storage.

研究分野：収穫後生理

キーワード：カンキツ 植物ホルモン 香り ウンシュウミカン

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ウンシュウミカンにおいて、植物ホルモン剤である GA (ジベレリン) と PDJ (プロヒドロジャスモン) の混用処理は、浮皮軽減技術として広く利用されている (Yamaga and Makita 2023)。ウンシュウミカン果実は新鮮な香りが減少し異臭を生じやすいが、GA と PDJ を混用処理すると、無処理に比べて新鮮な香りが保たれやすく、異臭も発生しにくいことを確認していた。しかし、ウンシュウミカンにおいて、これらの植物ホルモン処理が香気成分に及ぼす影響は明らかではない。

香気成分はカンキツ果実の香りに必須で、多様な成分が含まれる。数ある香気成分の中でもジメチルスルフィド (DMS) は、ウンシュウミカンの加工や貯蔵中に発生する異臭に寄与する重要な成分であることが報告されている (Manabe 1975; Sawamura et al. 1977; Kwak et al. 1990; Cheng et al.)。DMS は前駆体である S-メチルメチオニン (SMM) から生成する。ジュース加工時に果汁を加熱すると、SMM の化学分解が加速して多量の DMS が生成し、異臭が発生する (Sawamura et al. 1978)。また、ミカン果実の貯蔵中にも DMS が蓄積することから、加工時や貯蔵中の DMS の生成をなるべく抑える目的で、果汁からの除去技術や果実の低温貯蔵が検討されてきた (Osajima et al. 1985; Kwak et al. 1990)。このように、ウンシュウミカンの果汁や収穫後果実については DMS の低減対策が検討されてきたが、栽培中に DMS を低減させる方法は研究されてこなかった。

近年、GA や PDJ、サイトカイニン等の植物ホルモン処理は、ブドウ等の果実やマメ類等の香気成分代謝に影響を及ぼし、テルペンやエステル等の香気成分量や組成を変化させて、果実の香りや風味に影響を与えることが報告されている (Wang et al. 2015; Wang et al. 2020; Tyagi et al. 2021)。

これらの知見を考慮すると、ウンシュウミカンにおいても、GA と PDJ を混用処理すると香気成分量や組成が変化する可能性が考えられる。実際、処理果実と無処理果実の香りは異なっており、処理果実は若く新鮮な風味が保たれやすいのに対して、無処理果実は過熟な香りや古臭い風味が出やすい。そのため本研究で、ウンシュウミカンにおいて、これらの植物ホルモン処理が香気成分に及ぼす影響を明らかにすることは新規性があり、新たな科学的知見が得られる。さらに、果実の栽培中に DMS を低減できる方法が明らかになる可能性がある。

2. 研究の目的

ウンシュウミカンにおいて、GA と PDJ の混用処理が果実の成熟期および貯蔵中の香気成分プロファイルに及ぼす影響を調査し、植物ホルモンによるウンシュウミカンの香りの品質制御機構を明らかにする。混用処理が有する 2 種類の香りの品質保持効果 (新鮮な香りの維持、古臭さの抑制) に着目し、GA と PDJ のどちらの薬剤が有効かを特定するほか、処理効果が貯蔵中も持続するかどうかを明らかにする。香気成分の中でも特に DMS はウンシュウミカンの異臭に寄与するため、DMS だけでなく、その前駆体である SMM などのアミノ酸に及ぼす影響も明らかにする。GA と PDJ の混用処理は、浮皮軽減技術として広く利用されているため、この技術が有する新たな科学的知見の獲得を目指す。

3. 研究の方法

(1) GA と PDJ の混用処理が成熟過程における果実の香気成分に及ぼす影響

2015 年は、「興津早生」と「青島温州」に対して GA と PDJ の混合物を 9 月中旬に枝別散布した。「興津早生」に対しては、濃度が異なる 3 種類の処理実験を行った。濃度は以下のとおり：1ppm GA+25ppm PDJ (1-25 処理)、1ppm GA+50ppm PDJ (1-50 処理)、3.3ppm GA+50ppm PDJ (3.3-50 処理)。試験樹はトータル 12 本使用し、各濃度の処理実験に 4 樹を反復として供試した。枝別散布の方法は、1 樹の中から 2 枝を選んで処理枝と無処理枝に設定し、処理枝には単一の濃度の薬剤を散布した。同様に、「青島温州」に対しては、濃度が異なる 2 種類の処理実験を枝別散布で行った。処理濃度は以下のとおり：1ppm GA+50ppm PDJ (1-50 処理)、3.3ppm GA+50ppm PDJ (3.3-50 処理)。

2016 年は、「興津早生」に対して、PDJ を 50 ppm に固定し、GA 濃度を 3 種類 (1、3.3、5 ppm) 設定した。前年と同様に、試験樹はトータル 12 本使用し、各濃度の処理実験に 4 樹を反復として供試した。処理は 9 月中旬に枝別散布で行った。枝別散布の時期は、これまでの研究から、9 月散布がミカンの浮皮軽減に有効であり、かつ着色遅延も許容できる範囲のため、実用面で適していることが明らかにされている (Makita and Yamaga 2004; Sawano 2010; Sato et al. 2015)。そのため本研究では 2 年ともに散布時期を 9 月に設定した。

果実調査と試料採取は、「興津早生」は 10 月下旬～11 月中旬、「青島温州」は 11 月下旬～12 月上旬に、経時的に各処理枝から 2～3 個の果実を採取し、果実品質 (着色、浮皮度、糖度、酸含量、食味評価) および果肉中の香気成分と DMS の前駆体 (SMM とメチオニン) 含量を調査した。

香気成分分析用の果肉試料は、果皮の精油の混入を避けるよう注意して採取した。各処理枝から採取した 2～3 個の果実から砂じょう組織を採取して混合し、液体窒素で直ちに凍結した。凍結砂じょうを磨砕後、SPME バイアルに入れ、内部標準物質と飽和食塩水を加えて直ちに封入して分析用試料とした。香気成分はヘッドスペース SPME 法で抽出し、GC-MS で分析した。SMM とメ

チオニンは80%エタノールで抽出後、LC-MS-MSで分析した。

(2) GA単剤、PDJ単剤、およびGA+PDJ混用処理が成熟過程および貯蔵後の果実の香り成分に及ぼす影響

単剤および混用の処理効果を成熟期間中および貯蔵後に調査した。薬剤濃度はミカンの浮皮軽減として農薬登録のある最大濃度に設定した。「シルバーヒル温州」に対して5ppm GA単剤と50ppm PDJ単剤および2剤混合物(5ppmGA+50ppmPDJ)を9月に枝別散布した。枝別散布は1樹から4枝を選び、無処理区(1枝)と薬剤が異なる3つの処理区(1枝/処理区)を設定し、薬剤を散布した。反復として4樹を供試した。

次に、実用面で汎用されている比較的低濃度での処理効果を、成熟期間中および貯蔵後に調査した。「青島温州」に対して1ppm GA単剤および1ppm GA+50ppm PDJを9月に枝別散布した。枝別散布は1樹から3枝を選び、無処理区(1枝)と薬剤が異なる2つの処理区(1枝/処理区)を設定して行った。反復として4樹を供試した。

果実は各処理枝から2~3個を経時的に採取した。さらに収穫適期である11月下旬~12月に果実を採取して貯蔵し、成熟期間中および貯蔵後の果実品質および果肉中の香り成分レベルを調査した。

4. 研究成果

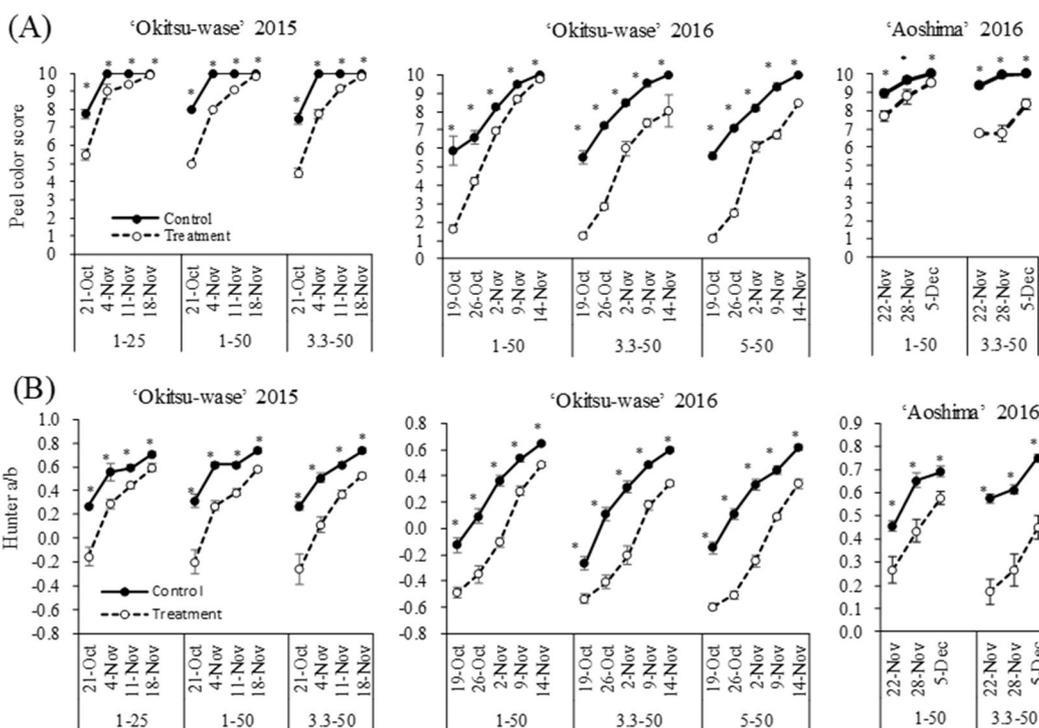
(1) GAとPDJの混用処理が成熟過程における果実品質および香り成分に及ぼす影響

果実の着色、浮皮、糖度と酸含量に及ぼす影響

果実の着色は、達観による着色度と色差計で測定したHunter a/b値で評価した。2015年は、「興津早生」に対して、3種類の処理実験(GA+PDJ: 1-25処理、1-50処理、3.3-50処理)を行った。全ての処理において、処理果実の着色は無処理に比べて低く、着色は約2週間遅延した(第1図)。2016年は、興津早生に対して、PDJ濃度を50ppmに固定し、3種類の濃度のGAを混用(GA+PDJ: 1-50処理、3.3-50処理、5-50処理)して処理実験を行った。「青島温州」に対しては、1-50処理と3.3-50処理を行った。全ての処理において、処理果実の着色は無処理に比べて低く、着色は、1-50処理で約1週間、3.3-50処理と5-50処理は約2週間遅延した(第1図)。

浮皮は、達観による浮皮度(0:無、1:軽、2:中、3:甚)で評価した。「興津早生」では11月下旬になってはじめて無処理区で発生したが、処理区では全く発生しなかった。「青島温州」では、無処理のほうが処理に比べて浮皮度が高かった。糖度と酸含量は、すべての処理において、処理区と無処理区の間で差はなかった。食味は、処理果実は若い風味であるのに対して、無処理は成熟した風味だった。

これまでの研究から、ウンシュウミカンに対するGAとPDJの混用処理は、浮皮を軽減する一方、着色を1~2週間遅延させるが、糖度や酸含量への影響は小さく無視できる程度とされている(Makita and Yamaga 2004; Sawano 2010; Sato et al. 2015)。本実験においても同様の結果が得られており、GA+PDJ処理による処理効果が確認された。

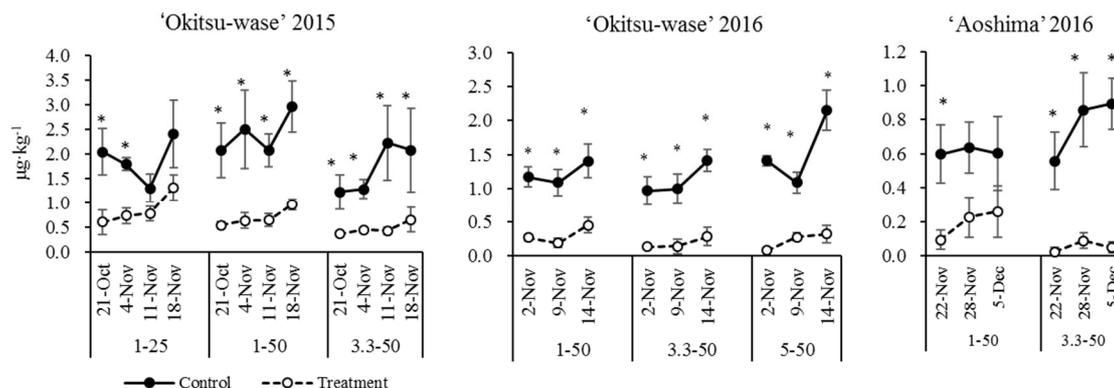


第1図 GAとPDJの混用処理が成熟過程の「興津早生」および「青島温州」果実の着色度およびHunter a/b値に及ぼす影響

誤差線は標準誤差(n=8~12果)を示す *t検定(5%水準)で有意差あり

果肉中香氣成分およびジメチルスルフィド(DMS)含量及ぼす影響

果肉中の香氣成分を分析したところ、果肉中にはテルペン類、アルデヒド、アルコール、エステル類および DMS を含む約 30 種類が検出された。テルペンやエステル類のいくつかの成分は、処理により若干変化したものの、再現性のある変化は乏しかった。これに対して、ミカンの異臭に寄与する成分とされている DMS の含量は、処理により有意に変化し、再現性が高かった(第 2 図)。



第 2 図 GA と PDJ の混用処理が成熟過程の「興津早生」および「青島温州」の果肉中の DMS 含量に及ぼす影響

誤差線は標準誤差 (n=4) を示す
* t 検定 (5%水準) で有意差あり

DMS 含量は処理果実のほうが無処理に比べて低く保たれる傾向を示し、処理濃度によって効果の程度や持続期間に違いがみられた。2015 年の「興津早生」においては、1-50 および 3.3-50 処理では、調査した全ての時期で、処理果実の DMS 含量は無処理に比べて有意に低く、処理果実中の含量は無処理の 1/3~1/5 程度だった。一方、1-25 処理では、処理果実の含量は、11 月上旬までは無処理よりも低かったが、11 月中旬以降、無処理との間で有意差がなくなった。2016 年の「興津早生」では、全ての処理区で処理果実のほうが無処理より含量が低かった。処理果実の含量は、1-50 処理では無処理果の 1/3~1/4 程度、3.3-50 処理では 1/5~1/7 程度、5-50 処理では 1/4~1/17 程度に抑えられていた。「青島温州」では、3.3-50 処理では調査した全ての時期で、処理果実の含量は無処理の 1/10~1/23 程度に抑えられていた。一方、GA が低濃度の 1-50 処理では、11 月中旬までは DMS が低く保たれたが、11 月下旬以降は有意差がなくなった。

以上の結果から、ウンシュウミカンに対して 9 月に GA と PDJ を混用処理すると、果肉中の香氣成分含量と組成に影響し、特に DMS 含量を低く保つことが明らかとなった。この DMS の集積抑制効果は、「興津早生」においては、PDJ 濃度が 50ppm の場合、GA 濃度が 1ppm 以上であれば 11 月中旬まで持続した。しかし PDJ が 25ppm の場合は 11 月上旬までのみ効果が観察された。一方、「青島温州」においては 3.3-50 処理でのみ、収穫適期の 11 月下旬まで効果が見られた。

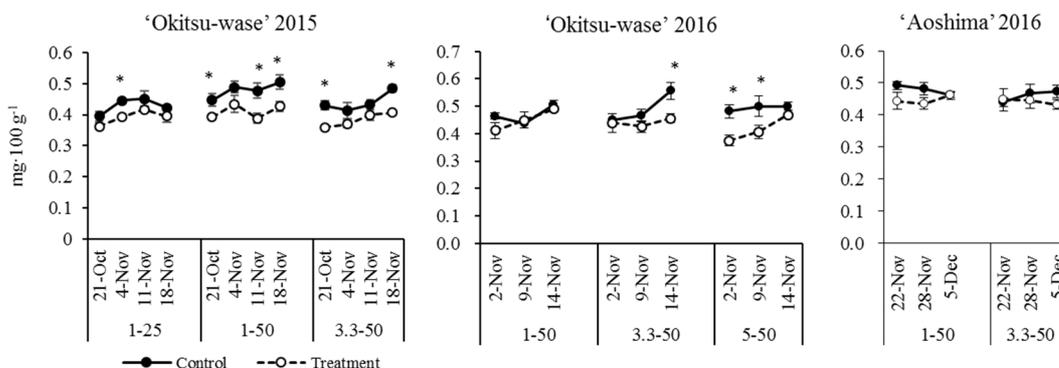
DMS は香氣成分の中でも閾値が低く (0.33 µg/kg : Cheng et al. 2020) 微量でも多くの食品の風味に影響することが知られている。「興津早生」を用いた実験では、処理と無処理果実の DMS 含量には 3~17 倍の差があり、無処理果実の含量は閾値を大きく上回っていた。実際、食味は、処理果実では若い風味であるのに対して、無処理は熟した風味だった。今回の調査では、味に関連する糖度や酸含量に差はなく、DMS 以外の香氣成分量にも明確な差が見られなかったが、DMS 含量には明確な違いがあったことから、DMS 含量の違いが処理による風味の差にある程度、関与している可能性が考えられた。

着色遅延と DMS 含量との関係

GA+PDJ 処理は果皮の着色を遅延させるため、果実の成熟を遅延させると考えられる。そこで、処理による DMS 含量の低下が成熟遅延と関連しているかどうかを検討するため、果皮色が同程度の果実の DMS 含量を比較した。例えば 2016 年の興津早生 (1-50 処理) において、11/9 の処理果実の着色は 11/2 の無処理果実と同等である (第 1 図)。しかし、処理果の DMS 含量は実験期間中、無処理より常に低かった (第 2 図)。すなわち、着色が同程度 (果皮の成熟が同程度) の処理果実と無処理果実を比較しても、処理果実のほうが無処理よりも含量が低かった。このことから、処理による果皮の着色遅延と果肉中の DMS 含量の低さとは直接関連せず、GA+PDJ 処理は成熟期間中、果肉中の DMS 集積を抑制する方向に働いていると考えられた。

DMS の前駆体 S-メチルメチオニン (SMM) およびメチオニン (Met) 含量に及ぼす影響

DMS は前駆体である SMM から生成する。SMM は Met から生成される。そこで GA+PDJ 処理が SMM や Met の含量に及ぼす影響を調査した。興津早生においては、GA+PDJ の処理濃度が高い場合は、処理果実の SMM 含量は無処理よりも低い傾向を示したが、有意差があったのはいくつかの調査日のみだった (第 3 図)。Met 含量も同様の傾向だった。このことから、前駆体である SMM や Met に対する処理効果は DMS に比べると小さいと考えられた。



第 3 図 GA と PDJ の混用処理が成熟過程の「興津早生」および「青島温州」の果肉中の SMM 含量に及ぼす影響

誤差線は標準誤差 (n=4) を示す

* t 検定 (5%水準) で有意差あり

(2) GA 単剤、PDJ 単剤、および GA + PDJ 混用処理が成熟過程および貯蔵後の果実の DMS 含量に及ぼす影響

GA + PDJ 混用処理による DMS 集積抑制効果が GA と PDJ のどちらに起因するのかを明らかにするため、GA と PDJ の単剤およびこれらの混用処理が果肉中の DMS 含量に及ぼす影響を調査した。さらに果実を貯蔵して、貯蔵中の DMS 含量に及ぼす影響を調査した。

「シルバーヒル温州」に対して 5ppm GA 単剤および 5ppm GA+50ppm PDJ を枝別処理すると、成熟期間中、果肉中の DMS レベルは無処理に比べて低く推移した。これに対して 50ppm PDJ 単剤を処理すると、DMS は無処理と同レベルで推移し、PDJ 単剤には DMS の集積抑制効果は見られなかった。次に、GA 濃度を比較的低濃度にした場合の効果を確認するため「青島温州」に対して 1ppm GA 単剤および 1ppm GA+50ppm PDJ を処理して DMS 含量の推移を調べたところ、1ppm GA 単剤では 10 月下旬までは DMS の集積抑制効果が見られたが、11 月中旬以降は無処理と同レベルで推移し、効果がなくなった。一方、1ppm GA+50ppm PDJ の混用処理では 10 月下旬～12 月上旬までの期間中、DMS 含量は無処理に比べて常に低かった。

以上の結果から、GA + PDJ 混用処理による DMS の集積抑制効果は GA によるものであり、PDJ は単剤では効果がない。しかし GA が低濃度場合、PDJ を混用すると GA 単剤に比べて効果の持続期間が長くなる可能性が示唆された。

貯蔵中の効果については、GA 単剤および GA + PDJ を処理した「青島温州」を 3 ヶ月貯蔵すると、全ての処理区において貯蔵中に DMS 含量が増加したものの、GA 単剤および GA + PDJ を処理した果実は無処理に比べて DMS 含量が低かった。このことから、これらの処理は貯蔵果実においても DMS の集積をある程度抑制する可能性が示唆された。

近年、幾つかの青果物において、GA、PDJ、サイトカイニン等の植物ホルモンが、アルデヒドやエステル、テルペン類等の香気成分量と組成に影響することが報告されている。しかし、DMS は強い臭気物質であるにもかかわらず、植物ホルモンが DMS に影響するという報告はほとんど見あたらなかった。本研究から、ウンシュウミカンの浮皮軽減技術として実用化されている GA と PDJ の混用処理を行うと、成熟期において、果肉中の香気成分含量と組成が変化し、特にミカンの異臭の原因成分の一つである DMS の集積が抑制されること、この効果は貯蔵後もある程度見られることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Hikaru Matsumoto, Yoshinori Ikoma	4. 巻 91
2. 論文標題 Effects of Combined Treatment with Gibberellin and Prohydrojasmon on Volatile and Dimethyl Sulfide Content in Juice Sacs of Satsuma Mandarin (Citrus unshiu Marc.) Fruit During Maturation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Horticulture Journal	6. 最初と最後の頁 345-355
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2503/hortj.UTD-364	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2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松本 光、生駒吉識
2. 発表標題 ジベレリンとプロヒドロジェスモンの混用処理が成熟期および貯蔵中のウンシュウミカン果肉中のジメチルスルフィド含量に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和5年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本 光、生駒吉識
2. 発表標題 ジベレリンとプロヒドロジェスモンの混用処理が成熟期のウンシュウミカンの果肉中のジメチルスルフィド含量に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和4年度春季大会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------