

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02976

研究課題名（和文）カンキツ果実における「回青」現象の発生機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of mechanism of 're-greening' phenomenon in citrus fruit

研究代表者

加藤 雅也 (Kato, Masaya)

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：10432197

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、樹上の果実および培養したフラベドに光照射および植物ホルモンを処理し、「回青」現象の調節機構を明らかにした。青色光照射およびジベレリン（GA）処理はクロロフィル合成遺伝子の発現レベルを増大させ、分解に関わる遺伝子の発現レベルを減少させることにより、クロロフィルの蓄積を促進した。一方、赤色光照射、アブシシン酸（ABA）および低窒素処理はクロロフィル合成遺伝子の発現を減少させ、分解に関わる遺伝子の発現を増加させることにより、クロロフィルの蓄積を抑制した。以上より、回青において青色光照射およびGAは正にはたらき、赤色光照射、ABAおよび低窒素は負にはたらきことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で明らかにしたカンキツ果実特有の「回青」現象の発生メカニズムはカンキツ果実の成熟過程における着色機構の全容の解明に寄与し、果実着色に関わる光照射、植物ホルモンおよび栄養元素の役割の解明に貢献する。また、回青の発生の鍵転写因子候補の特定はDNAマーカーを利用した回青が発生しにくい新品種の育成に繋がる。さらに、果実の着色技術を開発することで、カンキツ果実の市場価値の向上やロスの減少に直結する。

研究成果の概要（英文）：In this study, to elucidate the regulatory mechanism of regreening phenomenon in citrus fruit, light irradiation and plant hormones were treated on the fruits on the tree and the cultured flavedos. The results showed that blue light irradiation and Gibberellic acid (GA) treatments promoted the chlorophyll accumulation by increasing the expression level of chlorophyll biosynthetic genes and decreasing the expression level of chlorophyll degradation genes. Whereas, red light, abscisic acid (ABA) and low nitrogen treatments inhibited the chlorophyll accumulation by decreasing the expression levels of chlorophyll biosynthetic genes and increasing the expression levels of chlorophyll degradation genes. These results indicate that the regreening of citrus fruit is positively regulated by blue light and GA, while negatively regulated by red light, ABA and low nitrogen.

研究分野：園芸科学

キーワード：カンキツ 回青 カロテノイド クロロフィル フラベド

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

「回青」現象とは、樹上で一旦成熟した橙色のカンキツ果実が緑色の果実へと戻る現象である(図1)。つまり、カンキツの果皮(フラベド)においてカロテノイドが分解し、クロロフィルが新たに生合成される現象と考えられる。これまでカンキツ果実の果皮において、成熟とは逆に進行する回青現象はバレンシアオレンジや「不知火」(デコポン)等の中晩柑において起きる現象であることが分かっている。また、ウンシュウミカン果実の着色不良については気温の上昇、樹体温、地温といった要因により起きることが報告されている。これまで筆者らは、カロテノイド含量・組成が多様なカンキツ果実を研究材料として、カロテノイドの蓄積メカニズムおよび含量の調節、高含有化に関する研究を行ってきた。培養した砂じょう(果肉)を用いた研究については、赤色 LED による光照射では砂じょうは正常に成熟するが、青色 LED による光照射では成熟に逆行し、砂じょうにクロロフィルが蓄積することを見出した。このように、筆者らはカンキツ果実の主要な色素であるカロテノイド代謝について先駆的に研究を行ってきた。しかし、これまでカンキツ果実における「回青」と「成熟」の関係について、カロテノイド代謝とクロロフィル代謝といった果実の成熟生理の面では詳細に研究されていない。また、この回青現象がどのような要因により引き起こされるのかといった発生機構は科学的に研究されていない。



図1 「回青」を発生した果実

筆者らは、2018 年からカンキツ果実の着色機構を解明するために、フラベド(果皮)の培養系を確立した。年ごとに気象条件が異なる圃場レベルから研究をスタートするよりも、培養系を用いて研究を行う方が精度が高く、回青の発生要因を的確に把握できると考える。培養したフラベドに青色 LED 光照射処理を行ったところ、ウンシュウミカンではカロテノイドの蓄積が促進されたが、バレンシアオレンジではカロテノイドの蓄積が促進されなかった。さらに、バレンシアオレンジのフラベドは橙色から緑色へ変わり、クロロフィルの蓄積が認められた。これらの結果は、樹上のウンシュウミカンよりもバレンシアオレンジの方が回青現象が発生しやすいこととよく一致した。したがって、この培養系を利用してカンキツ果実の回青現象の分子機構を解明できると考え、本研究を着想した。

### 2. 研究の目的

本研究課題の目的は、カンキツ果実特有の回青現象の発生メカニズムを明らかにすることにより、カンキツ果実の成熟過程における着色機構の全容を解明することである。カンキツにおける回青現象を明らかにするために、本研究では培養したフラベド(果皮)を用いて回青を引き起こす要因を明らかにする。また、回青が認められるフラベド組織とそれが認められないフラベド組織におけるカロテノイド代謝およびクロロフィル代謝を中心に比較して調査することにより、回青現象の色素形成における特徴を明らかにする。さらに、培養したフラベド組織において、回青が認められる処理についてマイクロアレイによる網羅的な遺伝子発現解析を行い、回青に関わる転写調節遺伝子を探索し、同定する。

### 3. 研究の方法

本研究では、樹上の果実と培養したフラベドを用いて次の調査を行った。

#### (1) 回青発生過程におけるカンキツ果実の二次代謝産物および栄養成分の蓄積変化の調査

樹上で回青が発生された果実を用いて、カロテノイド、クロロフィル、糖、有機酸、フラボノイドおよびビタミンC等の代謝変動を調査した。さらに、リアルタイム PCR によりこれらの代謝に関する遺伝子の発現パターンを解析した。

#### (2) 回青発生過程のフラベド組織における電子顕微鏡を用いたクロモプラスト(有色体)からクロロプラスト(葉緑体)への形態変化の観察

樹上で回青が発生された果実のフラベド組織についてクロロプラストが認められるか調査した。また、確認されたクロロプラストは回青現象により、クロモプラストがクロロプラストへ転換したのか、あるいはクロモプラストが一旦消失し、新たなクロロプラストが形成されたのかを観察および調査した。カロテノイドやクロロフィルが局在するプラスチドを観察することにより、形態学的な面から回青現象を捉えた。

#### (3) 培養したフラベド組織を用いた様々な波長(色)の光、植物ホルモン、窒素等の要因が回青に及ぼす影響の調査

フラベドに植物ホルモン(アブシシン酸(ABA)およびジベレリン(GA))、光照射(赤色および青色LED)、窒素(N100%、N50%)等を処理し、回青現象が認められるか視覚的に確認し、カロテノイド含量・組成およびクロロフィル含量をHPLC等により測定した。また、カロテノイドおよびクロロフィル生合成に関わる遺伝子の発現解析をリアルタイム PCR により行った。

#### (4) マイクロアレイ解析による網羅的な遺伝子発現解析を用いた回青に関わる転写調節遺伝子の単離

青色光照射を行った照射区および暗黒下の対照区で培養したバレンシアオレンジのフラベド

を用いて、マイクロアレイ解析により回青の発生に伴う様々な代謝反応を調査した。マイクロアレイによる網羅的な遺伝子発現解析から探索した回青に関わる転写調節遺伝子を単離し、リアルタイム PCR により発現解析を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) カンキツ果実における青色 LED 光照射が回青の発生に及ぼす影響

バレンシアオレンジのフラベドを、MS 培地に植え付け、青色 LED 光照射を行った照射区および暗黒下の対照区で培養した。培養に伴い青色 LED 光照射区では、フラベドが橙色から緑色に変化した。一方、対照区では色の変化が見られず、橙色を呈したままだった。培養 2 週および 4 週において総カロテノイド含量は、対照区と照射区で大きな差は認められなかった。しかし、照射区では対照区と比較して、緑色果実に多く存在する Lutein 等の含量が高く、橙色の果実に多く存在する 9-*cis*-Violaxanthin の含量は低かった。クロロフィル含量は、培養 2 週および 4 週において照射区で増大が認められた (図 2)。遺伝子の発現の結果より、クロロフィルの蓄積が認められた青色 LED 光照射区では、培養 2 週において Lutein および  $\beta$ -Carotene の生合成に関わる遺伝子、9-*cis*-Violaxanthin の分解に関わる遺伝子および Violaxanthin の還元に関わる *CitVDE* の遺伝子発現レベルが対照区と比較して高かったことが示された (図 3)。また、培養 4 週では、ほとんどの遺伝子の発現変動は培養 2 週と同様の傾向を示した。クロロフィル含量は、培養 2 週および 4 週において青色 LED 光照射区で増大が認められ、クロロフィル生合成に関わる一部の遺伝子の発現レベルが対照区と比較して高かった (図 2, 図 3; Ma et al., 2021)。

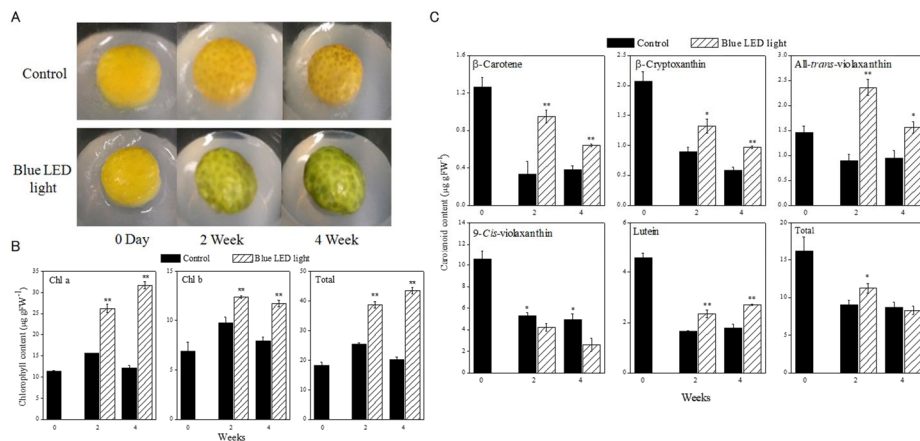


図2 バレンシアオレンジ培養フラベドにおける外観変化(A)、クロロフィル含量(B)およびカロテノイド含量(C)に及ぼす青色LED光照射の影響

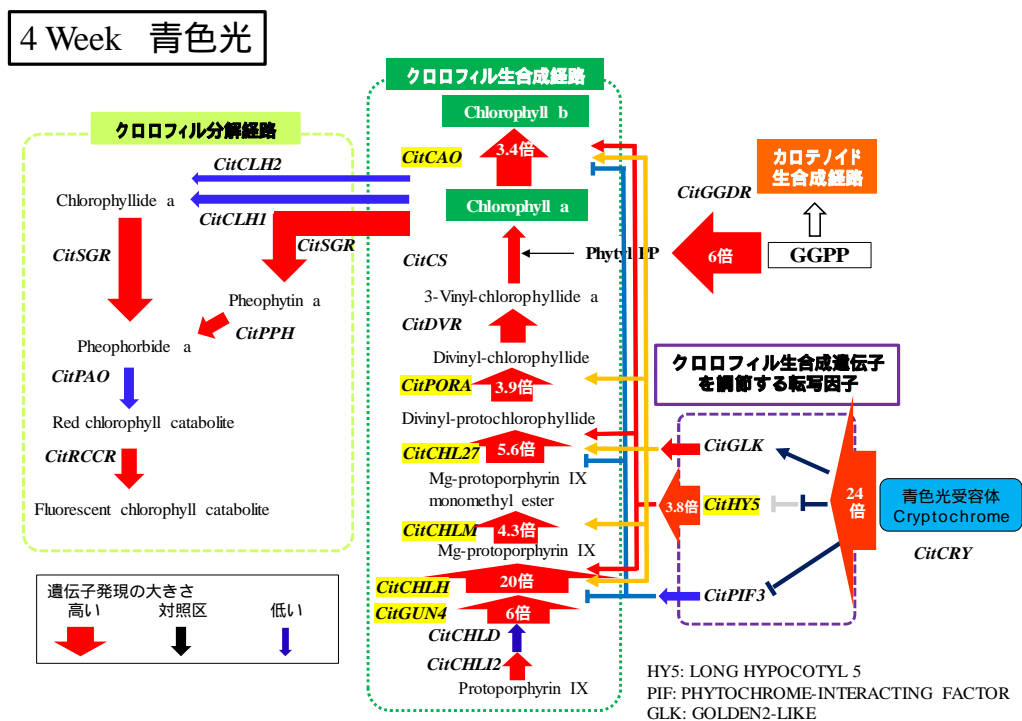


図3 バレンシアオレンジ培養フラベドにおけるクロロフィル含量代謝に関わる遺伝子の発現変動に及ぼす青色LED光照射の影響

また、青色光照射を行った照射区および暗黒下の対照区で培養したバレンシアオレンジのフ



ラベドを用いて、マイクロアレイ解析により回青の発生に伴う様々な代謝反応を調査した。その結果、クロロフィル合成遺伝子 *CitHEMA1*, *CitCHLM*, *CitCHLH*, *CitCHL27*, *CitPORA* および *CitCAO* の発現がすべての培養期間において照射区で対照区と比較して高いレベルを示し、クロロフィル合成を調節する転写因子である *CitHY5* の発現も同様に高いレベルを示した (図3)。さらに、青色光受容体 *CitCRY*, 集光性クロロフィルタンパク質をコードする *CitLHCa*, *CitLHcb* およびピルビン酸からグルタミン合成に向かう遺伝子 *CitPPDK* の発現が照射区において対照区と比較して高いレベルを示したが、スクロース合成遺伝子 *CitSS* の発現がすべての培養期間において照射区で対照区と比較して低いレベルを示した (Ma et al., 2021, 2022; Mochizuki et al., 2022; Nakata et al., 2022)。

したがって、培養したバレンシアオレンジのフラベドでは、青色光照射は回青現象を引き起こす要因の1つであり、青色光によりクロロフィルおよびカロテノイド代謝に関わる遺伝子の発現変動が起き、フラベドが回青したと考えられた。

## (2) カンキツ果実における回青の発生に及ぼす植物ホルモンの影響

樹上のバレンシアオレンジ果実に、GA を4月上旬から2週ごとに計3回散布したものをGA処理区とした。GAを散布していない果実を対照区とした。果実の外観は、果頂部側と比較して果梗部側でより濃い緑色を呈し、回青が進んだ(図4)。緑色の果実と橙色の果実の果皮において、電子顕微鏡でクロロプラストを観察した。緑色の果実ではチラコイド膜がはっきりと認められたが、橙色の果実では認められなかった。回青過程において、GAを処理した果実は対照区よりもはるかに早く緑色に変わった。対照区の果実と比較して、GA処理においてクロロフィルの蓄積が誘導され、カロテノイド(-Cryptoxanthin, All-trans-violaxanthin および 9-cis-Violaxanthin)の含量が減少した。遺伝子の発現の結果より、GA処理はクロロフィル合成遺伝子(*CitGGDR*, *CitCHL27*, *CitPORA* および *CitCAO*)の発現レベルを増大させ、分解に関わる遺伝子(*CitCLH1*, *CitSGR*, *CitPPH*, *CitPAO* および *CitRCCR*)の発現レベルを減少させることにより、クロロフィルの蓄積を促進した。また、GA処理はカロテノイド合成遺伝子(*CitPSY*, *CitPDS*, *CitZDS*, *CitLCYb2* および *CitHYb*)の発現レベルを減少させることにより、カロテノイドの蓄積を抑制した(Keawmanee et al., 2022, 2023; Ma et al., 2023; 加藤ら, 2022)。

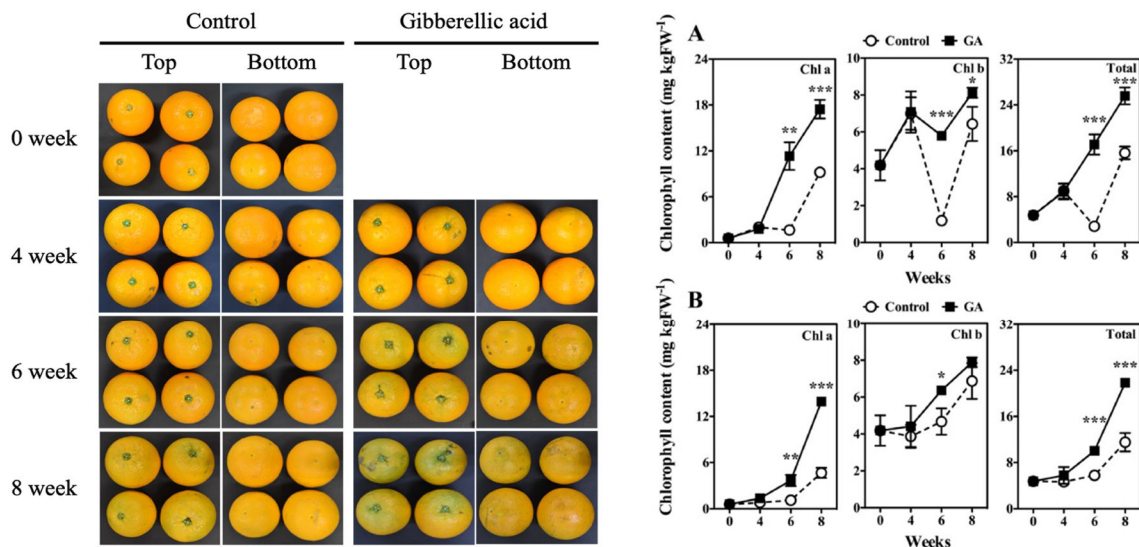


図4 バレンシアオレンジ果実における外観変化(A)、クロロフィル含量(B)に及ぼすジベレリン(GA)散布処理の影響

‘太田ポンカン’のフラベドをMS培地に植え付けたものを対照区として、MS培地にジベレリン(GA)を添加したGA処理区、アブシジン酸(ABA)を添加したABA処理区、ジベレリン合成阻害剤であるPBZを添加したPBZ処理区の4処理区を設定し、青色LED光照射下にて培養した。培養に伴い、いずれの処理区においてもフラベドが橙色から緑色に変化した。対照区と比較して、GA処理区ではより濃い緑色を呈し、PBZ処理区では薄い緑色を呈した。培養2週において、GA処理区では対照区と比較してLutein含量が高く、9-cis-Violaxanthin含量は低かった。また、クロロフィル含量はすべての培養期間において対照区と比較して高かった。一方、PBZ処理区では、培養3週において対照区と比較してLutein含量が低かったが、他のカロテノイド含量は対照区と比較して有意な差が認められなかった。また、クロロフィル含量は培養2週および3週において対照区と比較して有意に低い値を示した。ABA処理はクロロフィル合成遺伝子の発現を減少させ、分解に関わる遺伝子の発現を増加させることにより、クロロフィルの蓄積を抑制した。以上の結果より、GAは青色光とともにクロロフィルおよびカロテノイドの蓄積を調節する要因であり、カンキツ果実の着色に影響を及ぼすことが示唆された。また、回青現象の発生において青色光照射およびGA処理は正にはたらき、一方、ABAは負にはたらくことが明らかとなった(図5)。

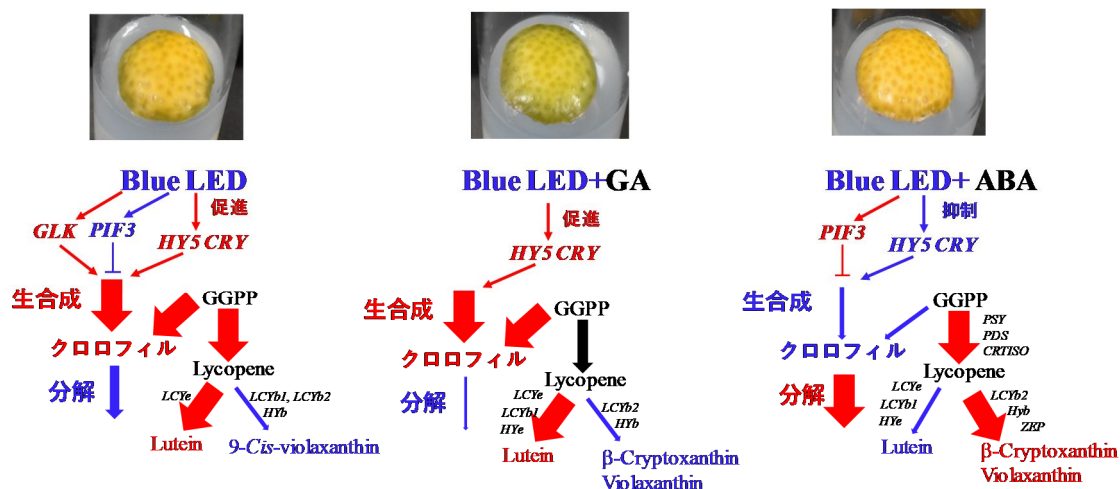


図5 ‘太田ポンカン’ 培養フラベドにおけるクロロフィル含量およびカロテノイド代謝に関わる遺伝子の発現変動に及ぼす植物ホルモン処理の影響

### (3) カンキツ果実における回青の発生に及ぼす窒素の影響

‘太田ポンカン’のフラベドをMS培地に植え付けたN100%区、窒素濃度を半分にしたMS培地に植え付けたN50%区を設定し、青色LED光照射にて培養した。培養に伴い、培養2週および4週のN50%区では、N100%区より薄い緑色を呈した。総カロテノイド含量は、N50%区はN100%区と比較して、培養2週、4週で高い値を示し、特に、*-Xanthophyll*の*-Cryptoxanthin*および*9-cis-Violaxanthin*含量は高い値を示した。遺伝子発現解析を行ったところ、N50%区はN100%区と比較して、培養2週では、*-Xanthophyll*の生合成に関わる*CitPSY*、*CitHYb*、*CitZEP*は高い発現レベルを示し、カロテノイド代謝分解に関わる*CitNCED2*および*CitNCED3*は低い発現レベルを示した。培養4週では、*-Xanthophyll*の生合成に関わる*CitPSY*、*CitPDS*、*CitZISO*、*CitZDS*、*CitHYb*は高い発現レベルを示し、カロテノイド代謝分解に関わる*CitNCED2*は低い発現レベルを示した。また、クロロフィル含量は、N50%区はN100%区と比較して、培養2週では大きな差は認められなかったが、培養4週では低い値を示した。遺伝子発現解析を行ったところ、N50%区はN100%区と比較して、培養4週ではクロロフィル生合成に関わる*CitCS*、*CitCHL27*、*CitPORA*は低い発現レベルを示し、クロロフィル代謝分解に関わる*CitSGR*は顕著に高い発現レベルを示した。

以上の結果より、‘太田ポンカン’のフラベドにおいて、培地中の窒素濃度を低くすることは、*-Xanthophyll*の蓄積を促進し、クロロフィルの蓄積を減少させることから、回青が抑制されることが示唆された。

### 引用文献

- Ma, G., Zhang, L., Kitaya, Y., Seoka, M., Kudaka, R., Yahata, M., (他5名): Blue LED light induces regreening in the flavedo of Valencia orange in vitro. *Food Chemistry*, 335: 127621, 2021.
- Ma, G., Zhang, L.C., Yahata, M., Yamawaki, K., Shimada, T., Fujii, H., Endo, T., and Kato, M.: Microarray analysis of carotenoid and chlorophyll biosynthetic gene expression in the citrus juice sacs irradiated with blue light. *Acta Horticulturae*, 1337: 195-202, 2022.
- Mochizuki, H., Kitaya, Y., Ma, G., Zhang, L.C., Yahata, M., and Kato, M.: Effect of blue LED light irradiation on chlorophyll metabolism in the flavedo of Valencia orange. *Acta Horticulturae*, 1336:117-124, 2022.
- Nakata, A., Seoka, M., Ma, G., Zhang, L. C., Yahata, M., and Kato, M.: Effect of blue LED light irradiation on flavonoid accumulation in the flavedo of Valencia orange in vitro. *Acta Horticulturae*, 1336:125-132, 2022.
- Keawmanee, N., Ma, G., Zhang, L., Yahata, M., Murakami, K., Yamamoto, M., Kojima N., and Kato, M.: Exogenous gibberellin induced regreening through the regulation of chlorophyll and carotenoid metabolism in Valencia oranges. *Plant Physiology and Biochemistry*, 173: 14-24, 2022.
- Keawmanee, N., Ma, G., Zhang, L., & Kato, M.: Regulation of Chlorophyll and Carotenoid Metabolism in Citrus Fruit During Maturation and Regreening. *Reviews in Agricultural Science*, 11: 203-216, 2023.
- Ma, G., Zhang, L., and Kato, M.: Molecular regulation of carotenoid biosynthesis in citrus juice sacs: New advances. *Scientia Horticulturae*, 309: 111629, 2023.
- 加藤雅也, 馬剛, 張嵐翠: カンキツ果実におけるカロテノイドの調節機構 カロテノイドを蓄積させるための様々な要因とは. *化学と生物*, 60(8): 402-409, 2022.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Deng Zhiwei, Ma Gang, Zhang Lancui, Kurata Daiki, Ikeya Masato, Keawmanee Nichapat, Nonaka Keisuke, Takishita Fumitaka, Kato Masaya | 4. 巻<br>210                   |
| 2. 論文標題<br>Characterization of granulation in citrus “Harumi” fruit during postharvest storage  | 5. 発行年<br>2024年               |
| 3. 雑誌名<br>Postharvest Biology and Technology  | 6. 最初と最後の頁<br>112770 ~ 112770 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.postharvbio.2024.112770   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Keawmanee Nichapat, Ma Gang, Zhang Lancui, Kato Masaya  | 4. 巻<br>11                    |
| 2. 論文標題<br>Regulation of Chlorophyll and Carotenoid Metabolism in Citrus Fruit During Maturation and Regreening                               | 5. 発行年<br>2023年               |
| 3. 雑誌名<br>Reviews in Agricultural Science   | 6. 最初と最後の頁<br>203 ~ 216       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.7831/ras.11.0_203  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Ma Gang, Zhang Lancui, Murakami Kan, Yahata Masaki, Kato Masaya   | 4. 巻<br>92                    |
| 2. 論文標題<br>Effects of Postharvest Treatment with 1-Naphthaleneacetic Acid on Chlorophyll and Carotenoid Metabolism in Citrus Fruit            | 5. 発行年<br>2023年               |
| 3. 雑誌名<br>The Horticulture Journal  | 6. 最初と最後の頁<br>393 ~ 401       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2503/hortj.QH-082  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Mochizuki H., Kitaya Y., Ma G., Zhang L.C., Yahata M., Kato M.  | 4. 巻<br>1336                  |
| 2. 論文標題<br>Effect of blue LED light irradiation on chlorophyll metabolism in the flavedo of Valencia orange                                   | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Acta Horticulturae  | 6. 最初と最後の頁<br>117 ~ 124       |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.17660/ActaHortic.2022.1336.16  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ma G., Zhang L.C., Yahata M., Yamawaki K., Shimada T., Fujii H., Endo T., Kato M.   | 4. 巻<br>1337            |
| 2. 論文標題<br>Microarray analysis of carotenoid and chlorophyll biosynthetic gene expression in the citrus juice sacs irradiated with blue light | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Acta Horticulturae  | 6. 最初と最後の頁<br>195 ~ 202 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.17660/actahortic.2022.1337.26  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Ma Gang, Zhang Lancui, Kato Masaya  | 4. 巻<br>309                   |
| 2. 論文標題<br>Molecular regulation of carotenoid biosynthesis in citrus juice sacs: New advances | 5. 発行年<br>2023年               |
| 3. 雑誌名<br>Scientia Horticulturae  | 6. 最初と最後の頁<br>111629 ~ 111629 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.scienta.2022.111629                                     | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Keawmanee Nichapat, Ma Gang, Zhang Lancui, Yahata Masaki, Murakami Kan, Yamamoto Masashi, Kojima Nami, Kato Masaya            | 4. 巻<br>173           |
| 2. 論文標題<br>Exogenous gibberellin induced regreening through the regulation of chlorophyll and carotenoid metabolism in Valencia oranges | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Plant Physiology and Biochemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>14 ~ 24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.plaphy.2022.01.021  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Ma Gang, Zhang Lancui, Kitaya Yurika, Seoka Mao, Kudaka Rin, Yahata Masaki, Yamawaki Kazuki, Shimada Takehiko, Fujii Hiroshi, Endo Tomoko, Kato Masaya | 4. 巻<br>335                   |
| 2. 論文標題<br>Blue LED light induces regreening in the flavedo of Valencia orange in vitro  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Food Chemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>127621 ~ 127621 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.foodchem.2020.127621   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Yamamoto Risa, Ma Gang, Zhang Lancui, Hirai Miki, Yahata Masaki, Yamawaki Kazuki, Shimada Takehiko, Fujii Hiroshi, Endo Tomoko, Kato Masaya        | 4. 巻<br>10                |
| 2. 論文標題<br>Effects of Salicylic Acid and Methyl Jasmonate Treatments on Flavonoid and Carotenoid Accumulation in the Juice Sacs of Satsuma Mandarin In Vitro | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>Applied Sciences   | 6. 最初と最後の頁<br>8916 ~ 8916 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/app10248916  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nichapat Keawmanee, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata, Fumitaka Takishita, Masaya Kato                          |
| 2. 発表標題<br>Effect of fruit bagging on chlorophyll and carotenoid accumulation in flavedo of Valencia orange during regreening |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asian Horticultural Congress (AHC2023) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masato Ikeya, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata, Masaya Kato        |
| 2. 発表標題<br>Effect of methyl jasmonate on the coloration of Satsuma mandarin fruit |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asian Horticultural Congress (AHC2023) (国際学会)                  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Mika Kato, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata, Masaya Kato  |
| 2. 発表標題<br>Accumulation of 9-cis-Violaxanthin esters and expression of xanthophyll esterase genes in Valencia orange during the regreening process |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asian Horticultural Congress (AHC2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Saki Mitsukawa, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata, Masaya Kato  |
| 2. 発表標題<br>Accumulation of flavonoid and expression of flavonoid biosynthetic genes in citrus fruit during maturation |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asian Horticultural Congress (AHC2023) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Chisato Torimoto, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata, Masaya Kato   |
| 2. 発表標題<br>Isolation and expression analysis of two novel chalcone synthase genes in different varieties of citrus fruit during maturation |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asian Horticultural Congress (AHC2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Zhiwei Deng, Gang Ma, Lancui Zhang, Daiki Kurata, Keisuke Nonaka, Fumitaka Takishita, Masaya Kato   |
| 2. 発表標題<br>Changes in carotenoid accumulation and the expression of carotenoid metabolic genes during the granulation process in different sizes of 'Harumi' fruit |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asian Horticultural Congress (AHC2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>池谷将斗、馬剛、張嵐翠、八幡昌紀、加藤雅也  |
| 2. 発表標題<br>貯蔵中のウンシュウミカン果実におけるカロテノイドおよびクロロフィル代謝に及ぼすジャスモン酸メチルおよびサリチル酸の樹上散布処理の影響 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和6年度春季大会  |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>光川早紀、馬剛、張嵐翠、八幡昌紀、加藤雅也                         |
| 2. 発表標題<br>カンキツ果実におけるフラボノイド生合成に関わるカルコンシンターゼ遺伝子の発現および機能解析 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和6年度春季大会                                 |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>中川佳音、馬剛、張嵐翠、八幡昌紀、島田武彦、藤井浩、遠藤朋子、加藤雅也                 |
| 2. 発表標題<br>カンキツ果実におけるフラボノイド代謝分解に関わる -グルコシダーゼの酵素学的性質および遺伝子の発現解析 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和6年度春季大会                                       |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鄧志偉、馬剛、張嵐翠、倉田大輝、野中圭介、瀧下文孝、加藤雅也  |
| 2. 発表標題<br>Effects of polyethylene wrapping on carotenoid accumulation in granulated 'Harumi' fruit during storage |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和6年度春季大会   |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>望月春奈、馬剛、張嵐翠、八幡昌紀、轟泰司、竹内純、加藤雅也                              |
| 2. 発表標題<br>培養したパレンシアオレンジのフラベドにおけるカロテノイドおよびクロロフィル代謝に及ぼすアブシシン酸受容体阻害剤の影響 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和5年度春季大会  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>望月春奈、馬 剛、張 嵐翠、八幡昌紀、島田武彦、藤井 浩、遠藤朋子、加藤雅也     |
| 2. 発表標題<br>植物ホルモンを処理したバレンシアオレンジの培養したフラベドにおけるマイクロアレイ解析 |
| 3. 学会等名<br>芸学会令和4年度秋季大会                               |
| 4. 発表年<br>2022年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Haruna Mochizuki, Yurika Kitaya, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata and Masaya Kato                     |
| 2. 発表標題<br>Effect of blue LED light irradiation on chlorophyll metabolism in the flavedo of Valencia orange in vitro |
| 3. 学会等名<br>V Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems (ISHS) (国際学会)                               |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nichapat Keawmanee, Gang Ma, Lancui Zhang, Masaki Yahata, Masaya Kato          |
| 2. 発表標題<br>Characterization of Pigments Accumulation in Valencia Orange During Regreening |
| 3. 学会等名<br>V Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems (ISHS) (国際学会)    |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Keawmanee Nichapat, 馬剛, 張嵐翠, 八幡昌紀, 加藤雅也   |
| 2. 発表標題<br>Expression analysis of genes involved in carotenoid and chlorophyll biosyntheses in Valencia orange fruit during regreening |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和3年度秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Keawmanee Nichapat, 馬 剛, 張嵐翠, 八幡昌紀, 瀧下文孝, 加藤雅也   |
| 2. 発表標題<br>Effect of fruit bagging with different-color bags on carotenoid accumulation in flavedo of Valencia orange |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和4年度春季大会  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>望月春奈, 馬 剛, 張嵐翠, 八幡昌紀, 加藤雅也                                |
| 2. 発表標題<br>培養した‘太田ボンカン’のフラベドにおけるカロテノイド, クロロフィルおよびジベレリン代謝に及ぼすジベレリンの影響 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和4年度春季大会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>北谷友梨佳, 馬 剛, 張 嵐翠, 八幡昌紀, 山脇和樹, 加藤雅也           |
| 2. 発表標題<br>‘太田ボンカン’のフラベドにおけるカロテノイドおよびクロロフィル代謝に及ぼす光照射の影響 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和2年度春季大会                                |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>北谷友梨佳, 望月春奈, 馬 剛, 張 嵐翠, 八幡昌紀, 山脇和樹, 加藤雅也        |
| 2. 発表標題<br>‘太田ボンカン’のフラベドにおけるカロテノイドおよびクロロフィル代謝に及ぼす植物ホルモンの影響 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和3年度春季大会                                   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>望月春奈, 北谷友梨佳, 馬 剛, 張 嵐翠, 八幡昌紀, 山脇和樹, 加藤雅也        |
| 2. 発表標題<br>バレンシアオレンジのフラベドにおけるカロテノイド及びクロロフィル代謝に及ぼす植物ホルモンの影響 |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和3年度春季大会                                   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Keawmanee Nichapat, 馬 剛, 張嵐翠, 八幡昌紀, 山脇和樹, 加藤雅也                               |
| 2. 発表標題<br>Carotenoid and chlorophyll accumulation in Valencia orange during regreening |
| 3. 学会等名<br>園芸学会令和3年度春季大会  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

〔図書〕 計1件

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>加藤 雅也、馬 剛、張 嵐翠  | 4. 発行年<br>2024年 |
| 2. 出版社<br>シーエムシー出版  | 5. 総ページ数<br>275 |
| 3. 書名<br>カロテノイドの科学 (第17章カンキツ果実における -クリプトキサンチンの生合成機構およびヒトへの機能性 分担) |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                | 備考 |
|-----------|--|--------------------------------------|----|
| 研究<br>分担者 | 張 嵐翠<br><br>(Zhang Lancui)<br><br>(20767371) | 静岡大学・農学部・特任助教<br><br><br><br>(13801) |    |



6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)               | 備考 |
|-------|--|-------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 馬 剛<br><br>(Ma Gang)<br><br>(20767412)           | 静岡大学・農学部・准教授<br><br><br><br>(13801) |    |
| 研究分担者 | 本橋 令子<br><br>(Motohashi Reiko)<br><br>(90332296) | 静岡大学・農学部・教授<br><br><br><br>(13801)  |    |

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 |
|---------|---------|
|         |         |