



生物科学研究所

令和 7 年度研究年報



岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

Research Institute for Biological Sciences, Okayama

序

私が初めて巻頭言を書かせていただいたのは、令和元年の研究年報でした。図らずも令和になってから、この項を担当しております。この7年間を振り返ってみると、世界的には、令和元年から2年度にかけてはコロナ禍、令和3年度の2月にはロシアによるウクライナ侵攻が始まり現在も膠着状態、令和5年10月にはテロを発端としたイスラエルによるガザ地区侵攻が始まり、ようやく落ち着いて戦闘状態が収まったかと思うと、今年2月に、イスラエル・アメリカ連合軍によるイラン空爆があり、その影響でホルムズ海峡の実質的封鎖が現在も続いていて、中東からの原油の供給が見通せない状況です。令和に入ってから、今まで通用してきた国際ルールがひっくり返されて、力による変更が当たり前のような世界に変わりつつあります。研究の日常においても、ニトリルグローブや真空ポンプのオイルの入手が困難な状況で、朝ドラ主題歌の一節に、「日に日に世の中悪くなる 気のせいかそうじゃない そんなじゃダメだと焦ったり 生活しなきゃと坐ったり・・・」とありますが、正にそのような状況で、以前のような平穏な環境には戻れないと思わざるを得ない不安な日々を送っております。

令和7年度の行事として、昨年11月に、国際交流センターにて、2年ぶりにおかやまバイオアクティブ研究会との共催の形式で **RIBS** バイオサイエンスシンポジウム『機能性研究で “アップ「地域遺伝資源」”！』を開催しました。70名を超える参加者があり、会場では興味深い研究発表と活発な討論が行われ、有意義な時間を共有する場を設けることができました。

令和7年度の研究年報記載の成果については、本編を参照して頂きたいのですが、「ブドウ花粉稔性の有無を支配する遺伝子変異の探索とマーカー作成研究」、「モモのゲノム編集の実現性調査」、「月桃を用いた抗ウイルス資材の創製」、「バイオスティミュラントによる気候変動適応技術の開発」、「少花粉ヒノキ育苗時の超緩効性肥料量とグルタチオン施用履歴との関係」、「姫とうがらし（赤姫）の色づきに寄与する環境要因」、「土居分小菜（どいぶんこな）を特徴づける生育特性および機能性代謝物」、「モモせん孔細菌病防除技術の開発」等について新たな知見を得ております。これらにつきましては、学会発表等で発表し、成果の公表に努めており、現在論文作成中のものもあり、岡山県主導の成果として社会に還元する努力を続けてまいる所存であります。

令和7年度は、第6期五か年研究計画の4年目にあたります。地域産業の発展に資するため、より一層本県農林水産業に貢献できるよう、所員一同日々懸命に努力しております。県民の皆様に一層支持される研究所を目指してまいりますので、今後とも関係各位の格段のご支援をお願い申し上げます。

令和8年5月

岡山県農林水産総合センター
生物科学研究所 所長 畑 中 唯 史

目 次

研究所の概要

研究方針	1
組織図	2
職員名簿	3
外部評価委員会委員	4
第6期5ヵ年研究計画【研究計画表】	5
主な行事	6
主な視察・来訪者	1 1

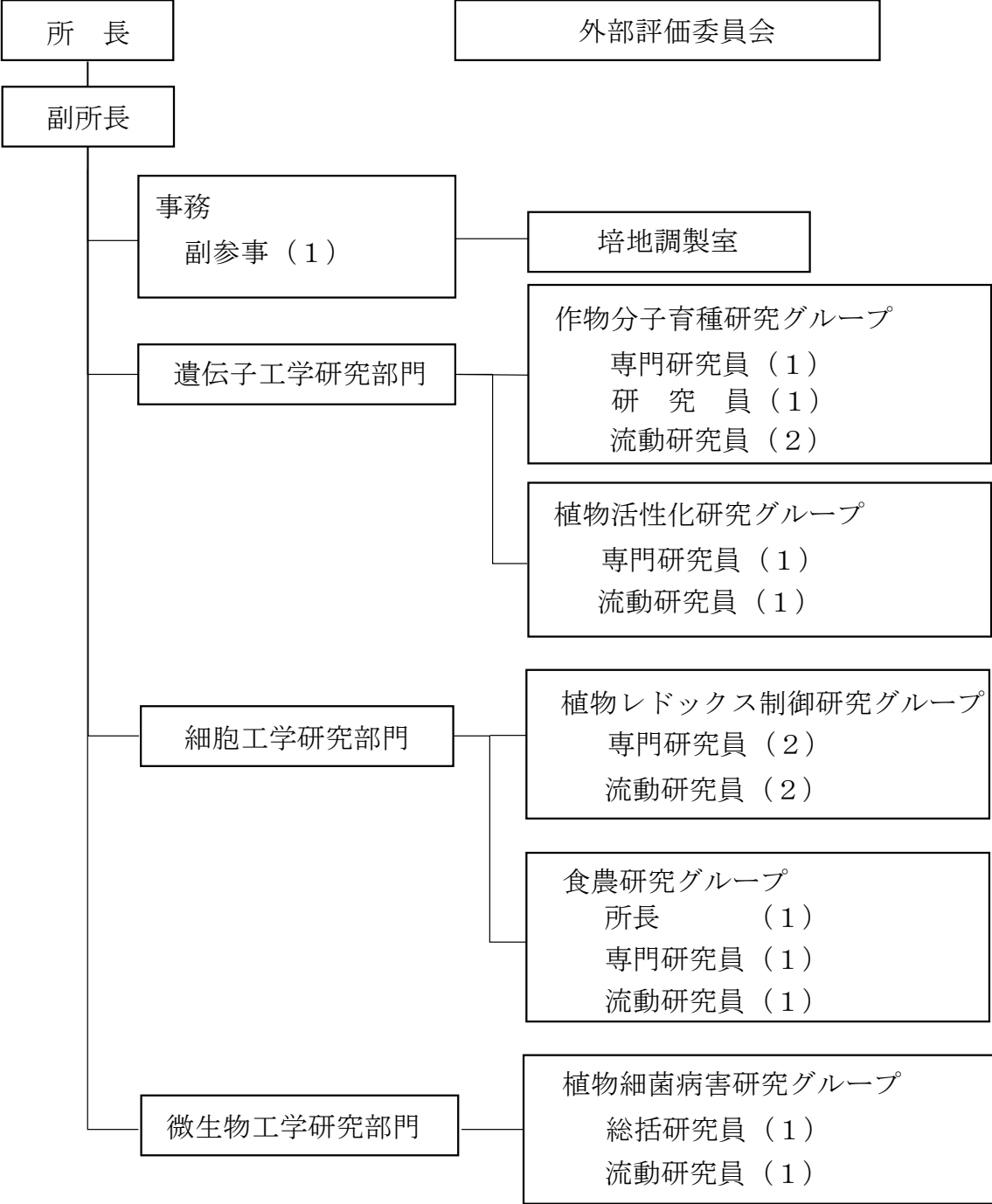
研究の概要

作物分子育種研究グループ	1 3
植物活性化研究グループ	2 2
植物レドックス制御研究グループ	4 4
食農研究グループ	5 8
植物細菌病害研究グループ	8 4

研 究 方 針

- バイオテクノロジー新技術の開発に資する基礎・基盤研究及び環境保全への貢献
- バイオテクノロジーに関する技術交流・情報の提供
- 農産物の岡山県ブランド化に寄与するバイオテクノロジー新技術の開発
- 産学官連携による地域貢献及び国際貢献
- 知的財産権取得の推進及び技術移転による科学技術への貢献

組 織 図 (令和8年3月31日現在)



所長	1	研究員	1
副所長	1	流動研究員（非常勤）	7
副参事	1	研究補助員等	6
総括研究員	1		
専門研究員	5	計	23

生物科学研究所職員名簿（令和8年3月31日現在）

職 名	氏 名	氏 名
所 長	畑 中	唯 史
副 所 長	中 野	浩 人
副 参 事	木 村	正 志
総括研究員	向 原	隆 文
専門研究員	小 田	賢 司
専門研究員	西 川	正 信
専門研究員	小 川	健 一
専門研究員	鳴 坂	義 弘
専門研究員	逸 見	健 司
研 究 員	中 津	有紀子
流動研究員	鳴 坂	真 理
流動研究員	野 田	壮一郎
流動研究員	望 月	智 史
流動研究員	深 松	陽 介
流動研究員	楊	靈 麗
流動研究員	嘉 美	千 歳
流動研究員	田 村	勝 徳

外部評価委員会委員名簿

神 崎	浩	国立大学法人岡山大学環境生命自然科学学域・教授
伊 藤	弘 士	全国農業協同組合連合会岡山県本部・副本部長
藤 原	加 奈	株式会社フジワテクノアート・代表取締役副社長
馬	建 鋒	国立大学法人岡山大学資源植物科学研究所・教授
矢 吹	香 月	岡山県消費生活センター・岡山県消費者教育コーディネーター
川 上	祐 生	公立大学法人岡山県立大学保健福祉学部・准教授

第6期5カ年研究計画

(令和4年度～令和8年度)

課題名	担当研究グループ
県産果物のブランド力を強化する次世代育種技術の開発研究	作物分子育種 研究グループ
持続的な農業生産に向けた環境保全型農業生産システムの開発	植物活性化 研究グループ
持続可能な農林業を支える種子選抜・肥培管理技術の開発 持続可能な飼料・食品産業を支える発酵技術開発	植物レドックス制御 研究グループ
県産農作物の機能性評価による高付加価値化の推進	食農 研究グループ
県主要農作物における細菌病害防除技術の開発研究	植物細菌病害 研究グループ

主な行事

令和7年4月14日 遺伝子組み換え実験講習会 ならびに 研究倫理講習会



令和7年4月24日 生物科学研究所における若手研修会（32名参加）



令和7年5月15日 生物科学研究所における所長会議



夏の体験教室（遺伝子にふれてみよう。高校生対象）開催

日時：令和7年8月5日（火）10時00分～17時00分

参加者：高校生5名 + 保護者2名参加



令和7年11月14日 RIBS バイオサイエンスシンポジウム

おかやまバイオアクティブ研究会 第67回シンポジウム

機能性研究で“アップ「地域遺伝資源」”！

＊開会（13:00 - 13:10）

おかやまバイオアクティブ研究会 会長

岡山県立大学保健福祉学部 栄養学科 教授 山本 登志子 氏

シンポジウム実行委員長

岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所・専門研究員 逸見 健司 氏

＊講演Ⅰ（13:10 - 13:45）

「県在来野菜の機能性探索」

講師 岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所

専門研究員 逸見 健司 氏

＊講演Ⅱ（13:45 - 14:20）

「備前黒皮かぼちゃ 復活と普及の取り組み」

講師 備前黒皮かぼちゃ振興協議会

（株式会社大町）

会長 安達 勇治 氏

＊第33回学生プレゼンテーション（14:20 - 15:25）

（司会進行）岡山大学資源植物科学研究所 准教授 谷 明生 氏

＊休憩（15:25 - 15:30）

＊講演Ⅲ（15:30 - 16:15）

「食品成分イソチオシアネートの反応性と機能性」

講師 岡山大学大学院環境生命自然科学研究科

准教授 中村 俊之 氏

＊講演Ⅳ（16:15 - 17:00）

「ナス機能性表示食品の開発と現状」

講師 信州大学学術研究院農学系

准教授 中村 浩蔵 氏

＊学生プレゼンテーション表彰式・閉会（17:00 - 17:20）



おかやまバイオアクティブ研究会との共催

（国際交流センター：73名参加）

令和8年2月19日 プログレスレポート開催
プログラム

細胞工学研究部門

植物レドックス制御研究グループ

「シロイヌナズナ NodGS 変異体および過剰発現体における硝酸イオン・アンモニウムイオンの取り込みの変化」

野田 壮一郎 …… 13:00～13:30

「グルタチオンとマグネシウムの併用施用は相乗的に植物成長調整効果を示す」

望月 智史 …… 13:30～14:00

食農研究グループ

「県在来野菜の味や色の特徴に応じた機能性探索」

楊 霊麗 …… 14:00～14:30

遺伝子工学研究部門

植物活性化研究グループ

「防御機構の活性化による植物保護技術の開発～抗ウイルス剤およびバイオスティミュラントの開発と活用～」

鳴坂 真理 …… 14:30～15:00

<休憩……15:00～15:10>

作物分子育種研究グループ

「モモの熟期を決める分子機構の解析」

深松 陽介 …… 15:10～15:40

「モモの効率的なゲノム編集体の作製技術」

田村 勝徳 …… 15:40～16:10

「ブドウ育種の効率化を目指した無花粉選抜マーカーの開発」

中津 有紀子 …… 16:10～16:40

微生物工学部門

植物細菌病害研究グループ

「モモせん孔細菌病防除技術の開発研究」

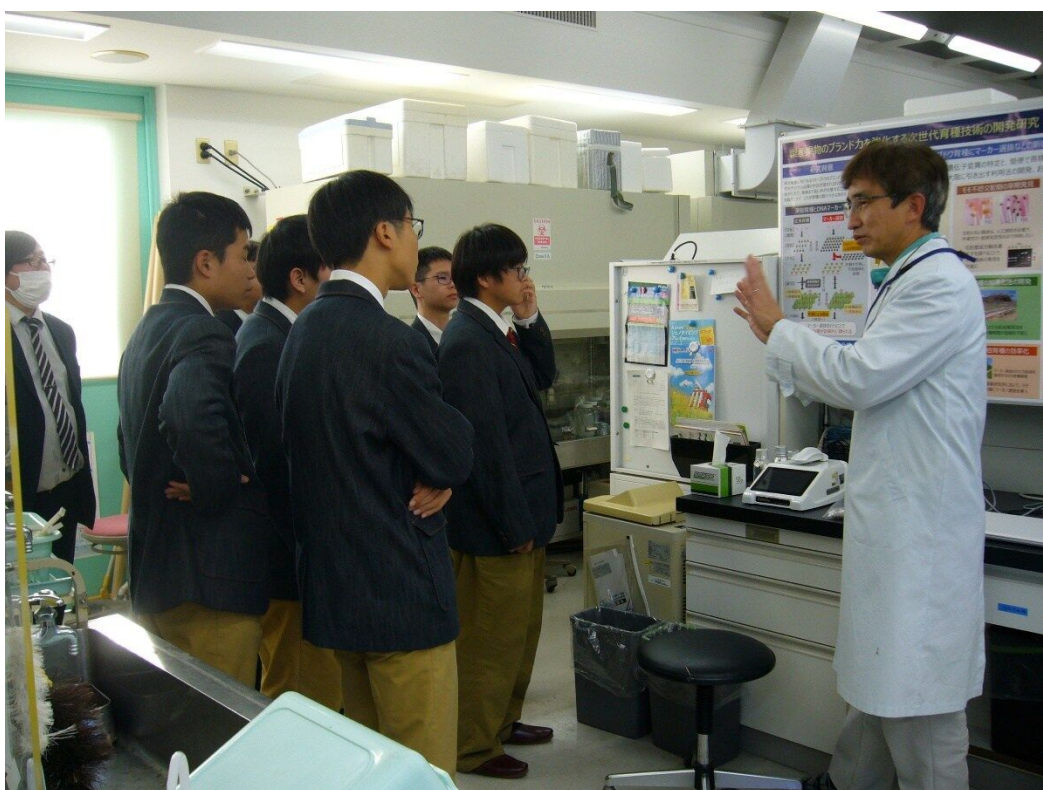
嘉美 千歳 …… 16:40～17:10

主な視察・来訪者

令和7年5月22日 岡山大学農学部植物コース3年生来所（学生34名参加）



令和7年12月10日 関西高校1年生来所（学生6名参加）



その他、民間企業、研究機関などからの視察・来訪者

計 220 名

作物分子育種研究グループ

総括研究員	小田 賢司 (グループ長)
研究員	中津 有紀子
流動研究員	深松 陽介
流動研究員	田村 勝徳

課題名

県産果物のブランド力を強化する次世代育種技術の開発研究

[概要]

岡山は果樹栽培が盛んな地域であり、「くだもの王国」とも称される。中でもブドウとモモは、米に次いで生産額が県内第2位、第3位を占める主要農作物である。県産のブドウやモモは、生産量の多さに加えて品質にも優れ、消費者から高い評価を受け、市場でも高値で取引される傾向にある。こうしたブドウやモモの高いブランド力を今後も維持していくことは、県農業の振興にとって極めて重要である。ブランドとは消費者の中に形成されるイメージであり、多様な要素から成り立つが、農作物においては品種がその中核を担うことが多い。そのため、優れた県オリジナル品種の育成は、ブランド力の向上にとって極めて重要であるといえる。

しかしながら、植物体のサイズが大きく、着果までに長い年月を要するモモやブドウの場合、一般的な交雑育種の手法では、育種目標に沿った望ましい品種を効率よく作出することが難しく、現代の多様で変わりやすいニーズに迅速に対応できているとはいえない。このため、果実形質に関する選抜を圃場定植前に実施できるマーカー支援選抜を岡山の果樹育種に導入することで、効率的な新品種育成を実現することを目指し、作物分子育種研究グループでは、岡山県の農業研究所果樹研究室と共同で、選抜用 DNA マーカーの独自開発と育種現場での実践に取り組んできた。前期5カ年計画までは研究対象をモモに限定していたが、令和4年度から開始した第6期5カ年計画ではブドウも研究対象に加えつつ、高品質で差別化できる品種や将来の課題を解決する品種育成を目標に、分子育種技術の活用により岡山の果樹育種力をさらに向上させることを目指して研究に取り組んでいる。研究内容は、単なるマーカー開発に向けた遺伝子研究だけでなく、マーカー支援選抜を育種現場で実践していくための指導と課題解消や、マーカーの有効活用に必要な周辺技術の開発、マーカー支援選抜以外の分子育種法の研究も進めており、現代の育種法を岡山のモモ、ブドウ育種に最大限有効に活用することを目指している。

[背景と目的]

岡山のモモは「岡山白桃」というブランドでよく知られており、透き通るような白い果皮と、とろけるような緻密な果肉が最大の特徴である。口に含めば滴るほどジューシーな果汁と芳醇な香りが広がり、まさに至福の味わいと高い評価を得ている。また、岡山のブドウは、一粒一粒が大きく、糖度が極めて高い高級品として認知されている。黒ブドウの主力品種であるピオーネは全国一の生産量を誇り、近年は「晴王」のブランド名で販売されるシャイン・マスカットの生産も著しく増加している。豊かな芳香を放ちブドウの女王とも呼ばれるマスカット・オブ・アレキサンドリアは、栽培の9割以上が岡山県で行われている。

こうした主力果樹のモモ、ブドウについては、生産者や流通関係者、消費者から、ブランド力のより一層の強化のため、さらに優れた形質をもつ岡山オリジナルの新品種を求める声が強い。県の農業研究所では、そのような要望に応えるため、古くから積極的に品種改良に取り組んできた。例えば、モモでは明治時代後期から研究を開始し、近年はおかやま夢白桃、岡山 PEH7 号（白皇[®]）、岡山 PEH8 号（白露[®]）など多くの品種を育成している。しかし、岡山以外の主要産地でも、近年は独自品種の開発が活発化しており、品種開発競争は年々激しさを増している。

品種の特徴は、同じ畑で育てても違いが現れることから分かるように、主に内在因子である遺伝子の違いによって決まる。近年は分子生物学の発展により、遺伝子に関する知識や解析技術が大きく進歩した。研究対象もモデル生物から栽培作物へと広がり、果樹についてもゲノム（遺伝子全体）の情報が次々と明らかになっている。こうした研究成果を背景に、「分子育種」と呼ばれる新しい育種法が登場している。その代表例がマーカー支援選抜（Marker-Assisted Selection）である。従来は見た目や性質を比較して優れた個体を選抜していたが、この方法では、DNA の違いを調べることで、有望な個体を早い段階で見極めることが可能である。DNA は環境や生育状況の影響を受けないため、栽培条件や成長段階に左右されずに選抜できる。例えば果実の性質を評価する場合でも、結実を待つ必要はなく、若い苗の葉をわずかに採取するだけで判断できる。このように、苗の段階で選抜を行えるため、手間のかかる成木への栽培数を増やすことなく、多くの個体から選抜することができ、果樹育種においてとりわけ有効な手法として期待されている。しかし、果樹の品目ごとの・育種目標に沿った・高精度で・簡便なマーカーが十分に整備されておらず、マーカー支援選抜は期待ほどには効果を発揮しにくい状況である。

そこで、このような状況を打破するため、我々は、15 年ほど前から岡山県農業研究所と共同研究を始め、モモの果皮色、果肉色、花粉稔性といった農業上の重要形質の違いが生まれる分子機構を解析し、形質を予測する DNA マーカーを独自に開発して、モモ新品種育成のより一層の効率化を進めてきた。また、単にマーカー開発を進めるだけでなく、最近では、マーカー選抜をより有効に活用するための周辺技術の開発や、他の分子育種技術の開発研究にも取り組んでいる（図 1）。さらに、5 年ほど前から、ブドウの育種選抜用 DNA マーカーの開発も合わせて取り組んでいる。

ブドウ花粉稔性の有無を支配する遺伝子変異の探索とマーカー作成研究

ブドウの品種育成は 15 年以上を要する長期プロセスであるが、近年、市場における競争力強化に資する岡山県オリジナル新品種の育成が喫緊の課題とされている。そこで、育種の効率化のため、マーカー支援選抜の手法を岡山県のブドウ育種に積極的に導入している。マーカー選抜で効率よく育種を進めていくには、その前提として多数の実生苗の安定的確保が重要である。このため、育種親には「種が入りやすい性質」が望まれる。その一方、消費者や市場が求める新品種は「種なし」であることが必須となっており、ブドウのマーカー育種では種の入り方に関し、親と子で真逆の性質が求められるというジレンマを抱えている。通常、種なしブドウの栽培では無種子化・果粒肥大を目的としたホルモン処理を行うが、種が入りやすい性質のため、たとえホルモン処理をしても種が残り、品種化できない系統が多いのが育種の現状である。図 2 に示す交配系統 G20-2 の場合、半分以上の交配樹で種子が多く残ってしまう。残り半分は種が入りにくい優れた形質をもつが、そのうちの 7 割以上を雄性不稔の個体が占めている。このことは、不稔形質を交配後の子孫に持たせれば、育種親の「種が入りやすい性質」を打ち消すことができることを示唆している。

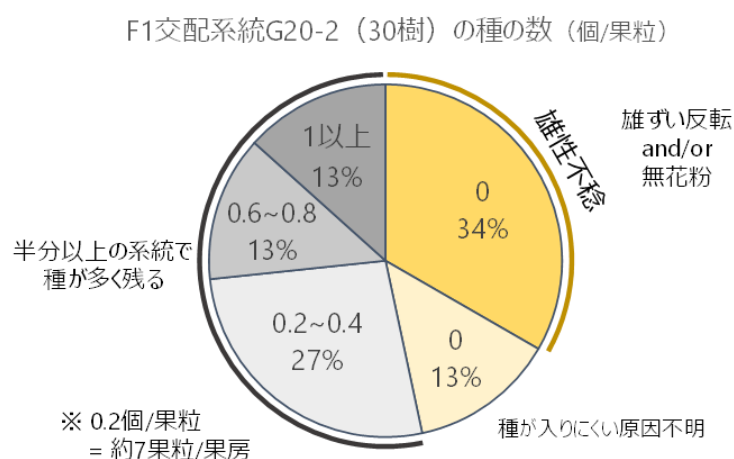


図 2. ブドウ交配系統 G20-2 の F1 個体 30 樹の果粒に含まれる種の数

すなわち、マーカー選抜の段階で雄性不稔の個体を選抜することがジレンマの打開策になるという戦略が考えられることから、雄性不稔変異の識別マーカーの作成に取り組むこととした。ブドウの雄性不稔形質は、雄ずいの形態異常が起こるいわゆる雄ずい反転と呼ばれるものがよく知られている。雄ずい反転型の雄性不稔については多くの研究が報告されており、花粉管が発芽するための溝が花粉にないこと、その原因は *VviINP1* 遺伝子の第 2 エクソン中の 8 塩基の欠失が原因であることが明らかにされている (Massonnet et al., 2020)。そこで、この欠失変異を検出する PCR のプライマーセットを設計した。育種現場ではマーカー選抜作業の手間をできるだけ減らすことが求められることから、別の形質である果皮色の選抜マーカーと同時に判定できるよう工夫した (図 3)。

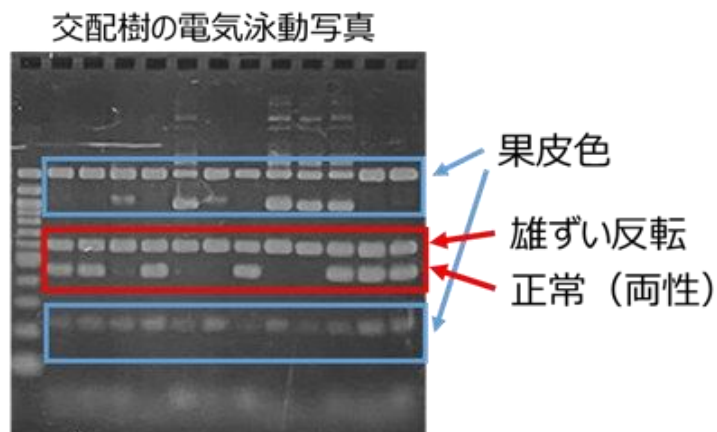


図 3. 雄ずい反転と果皮色の 2 種類の形質を同時識別するマーカーの様子

さらに、交配樹の花粉稔性を注意深く観察したところ、複数の交配集団で花粉をほとんど形成できない無花粉型とでも呼ぶべき雄性不稔が頻出することを見出した(図4)。このような不稔形質はブドウでは報告がない。花粉稔性は植物の生殖を支える根幹的な能力であり、シロイヌナズナやイネ等のモデル植物で研究が進められている。しかし、関与する遺伝子は植物種間で異なっていることがあるなど、未だ説明すべき点が多く残されている。特に果樹では、果実生産や交雑育種で稔性は極めて重要であるものの、実験材料としては扱いにくいことから研究が大幅に遅れているのが現状である。そこで、新たに見出した無花粉型雄性不稔について研究を行い、これまで未知のブドウの花粉稔性遺伝子を明らかにするとともに、育種に活用できる DNA マーカーの開発に着手することとした。



図 4. 無花粉の岡山ブドウ 22 号 (A) と有花粉のシャインマスカット (B)

この研究では、交配集団を用いたバルク分離解析法による連鎖解析、葯の経時的顕微鏡観察や網羅的遺伝子発現解析といった複数の実験法を組み合わせ実施した。研究内容の詳細については、まず学術論文として報告する予定である。本研究で作成した雄性

不稔マーカーは、県農業研究所でのブドウ育種に直ちに導入することで活用を図っていきたいと考えている。

モモのゲノム編集の周辺技術の開発

ブドウは品種によって果実の色、形、大きさ、香りが劇的に異なり、それぞれがきわめて個性的である。その多様さゆえに消費者の認知度も非常に高く、シャイン・マスカットやピオーネといった特定の品種に対し強いこだわりや好みをもつ人も多い。一方でモモは、収穫時期には幅があるものの、見た目や味の差が小さく、一見しただけでは品種を判別できない場合も少なくない。消費者の品種に対する認知度も、ブドウほど高くないように見受けられる。モモの品種間に形質差が少ない理由は、品種育成の歴史に因るところが大きい。明治8年に清国から導入された上海水蜜桃の偶発実生として白桃という品種が明治末に見出されたが、現在流通している近代品種のほぼすべてはこの白桃に由来しており、いわば白桃の子孫にあたる近縁関係にある。極めて限られた系統の中で交配が行われているため、遺伝的多様性が乏しく、各品種が似通った特徴を持つのだと考えられる。もし、このような状況を打破し、これまでのモモに見られない形質のモモ新品種をいろいろ育成することができれば、消費者に多様な選択肢を提供でき、モモの消費拡大につながるのではないかと期待される。

乏しい遺伝的多様性に対する対策として、近代品種以外の品種を育種親に用いた交雑育種や、放射線や突然変異剤でゲノムに人為的変異を加える変異育種が考えられる。ただ、前者の方法を採用したくとも、育種親に使えるような近代品種以外の品種を豊富に有しているわけではない。原産地の中国を中心に、海外には非常に多様な品種が存在するものの、生物多様性条約の絡みで海外からの導入は極めて難しい。さらに、近代品種以外の品種を掛け合わせると、概して食味がひどく悪くなるといった品質の著しい低下が起こるという大きな問題も抱えている。このように課題は多いが、新しい遺伝資源の探索や栽培法の開発に少しずつ取り組み、モモの多様性拡大への道を探っている所である。一方、後者の方法は、望むような形質を有する個体が生まれる確率は大変低いと、変異個体の大規模な集団をまず作成する必要がある。しかし、栽培に手間がかかる果樹は大規模集団の作成が難しい。このため、現状実施のハードルは高く、有力なアプローチにはなりにくいと考えている。

近年、ゲノム編集という技術が開発された。これは、狙った標的遺伝子のみを人為的に破壊するという技術で、新しい変異導入法である。遺伝子の機能解析に大変有効であるほか、育種に応用することで、これまでにない形質をもった農作物も作り出すことができる。すでに、国内でも GABA 高蓄積トマトや可食部増量マダイ、高成長トラフグが作り出され、販売されている。現在、岡山県では、このゲノム編集技術をモモの品種育成に活用することは考えていない。また、そもそもモモのゲノム編集は大変難しく、これまで成功の報告もない。それでも、この新しい技術は、我々が取り組んでいるモモの遺伝子解析に大変強力なツールになることもあり、モモで実現できそうか必要なステ

ップの難易度を調べてみることにした。

植物のゲノム編集は、植物組織の細胞に遺伝子破壊を行う遺伝子（最近では CRISPR-Cas9 が多い）を導入して標的遺伝子を破壊し、そこから個体を再生させる手法が一般的である。それには、適切な遺伝子操作技術および組織培養技術が必要になる。そこで、モモで遺伝子操作実験をいくつか試みた。アグロバクテリウムを介した GFP 遺伝子や抗生物質耐性遺伝子の導入実験を行ったところ、期待された蛍光や薬剤耐性の形質が認められ、モモゲノムに外来遺伝子を導入することができた（図 6A,B）。また、CRISPR-Cas9 による内在遺伝子の破壊を試みたところ、ターゲット部位の PCR 産物が制限酵素で切断されるはずが、切断されないものが現れるようになり、遺伝子破壊が起きたと考えられた（図 6C）。さらに、PCR 産物の塩基配列を調べることで、確かに遺伝子破壊が起きていることを確認した。

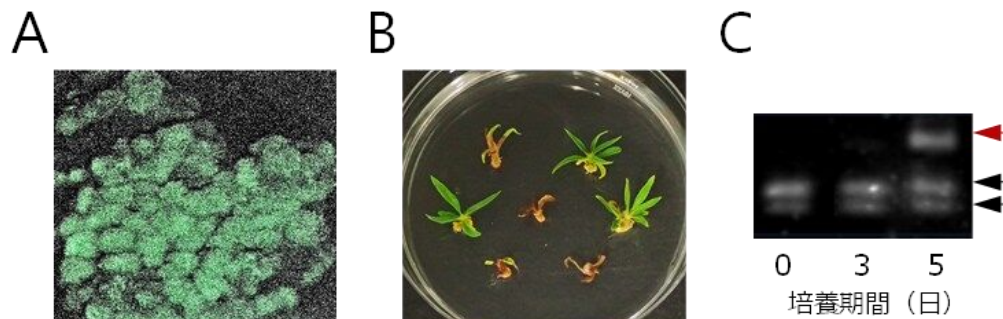


図 6. モモの遺伝子操作 (A) GFP 遺伝子の導入、(B) 抗生物質耐性遺伝子の導入、(C) CRISPR-Cas9 による内在遺伝子の破壊

組織培養については、組織片からのカルス誘導や組織再分化の実験を試みた。実験は、種子の子葉胚、胚軸片あるいは新梢の托葉基部の部分などを用いて行った。その結果、カルスは高い効率で誘導でき（図 7A）、条件によっては緑色のカルスも得られた。不定芽は、カルスほどの高効率ではないものの、誘導できた（図 7B）。その一方、不定根誘導は極めて難しかったが、ホルモン関連試薬をいろいろ試してみた結果、必ずしも高効率とは言えず、少し時間もかかるものの、誘導することができるようになった（図 7C）。詳しい内容については、学術論文として発表したいと考えている。

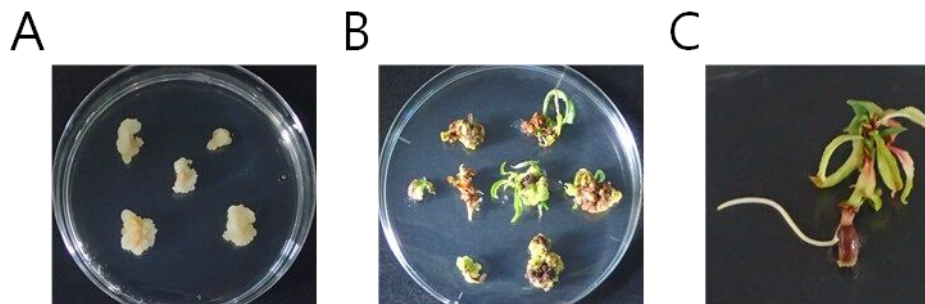


図 7. モモの組織培養 (A) カルスの誘導、(B) 不定芽の誘導、(C) 不定根の誘導

令和 7 年度の活動

1. 報文(総説・原著論文等)

なし

2. 学会・シンポジウム・講演会等での発表 (*P はポスター発表、*招は招待講演)

○田村勝徳、深松陽介、小田賢司

モモのアグロバクテリウム-托葉基部接種法による効率的な形質転換体の形成
第 67 回日本植物生理学会年会、令和 8 年 3 月 13～15 日 (東京)

小田賢司 (*招)

岡山県におけるモモの品種育成技術の開発
NPO 法人中四国アグリテック「果樹作物における品種育成と DNA 検査技術に関する最新知見」、令和 7 年 11 月 13 日 (岡山)

3. 知的財産権

なし

4. 共同研究・協力連携先

岡山県農林水産総合センター農業研究所、岡山大学、京都大学

5. 外部資金獲得状況

- 科学研究費補助金・基盤 C (代表 小田賢司)
- 科学研究費補助金・基盤 A (分担 小田賢司)
- 岡山県外部知見活用型・産学官連携研究事業 (代表 小田賢司)
- 岡山県気候変動対策等研究・普及事業 (代表 中津有紀子)
- ウェスコ学術振興財団研究活動助成事業 (代表 田村勝徳)

6. その他

岡山県立大学連携大学院 教授（客員、兼任）（小田賢司）

植物活性化研究グループ

専門研究員	鳴坂 義弘（グループ長）
流動研究員	鳴坂 真理
研究補助員	今井 由理子
研究補助員	難波 千鶴
研究補助員	小倉 美智子（12月～）

課題名

持続的な農業生産に向けた環境保全型農業生産システムの開発

[背景と目的]

令和7年度は、第6期五カ年計画の4年目にあたり、これまでに蓄積した研究成果および評価系を基盤として、技術の高度化と実証段階への展開を進める段階にある。本研究の「背景と目的」の詳細については令和4年度年報に記載しているため、適宜参照されたい。

国内の食市場は、人口減少および高齢化の進行により縮小傾向が継続している。一方、世界的には人口増加と経済成長を背景に食市場の拡大が見込まれており、グローバル市場への対応は我が国農林水産業の持続的成長に不可欠である。岡山県においても、「第4次晴れの国おかやま生き生きプラン」に基づき、生産性向上、販路拡大、担い手の育成を通じた農林水産業の発展と所得向上が求められており、県産農産物の高付加価値化および輸出拡大は重要な戦略となっている。

しかしながら、県内では生産者の減少と高齢化が進行し、農地管理の困難化や労働力不足といった構造的課題が一層顕在化している。これらの課題に対応するためには、スマート農業技術の導入による省力化・効率化に加え、環境負荷を低減しつつ安定生産を可能とする新たな栽培技術の確立が不可欠である。

さらに、改正「食料・農業・農村基本法」や「みどりの食料システム戦略」に示されるように、環境と調和のとれた持続可能な食料システムへの転換が強く求められており、化学農薬や化学肥料の使用低減と両立する生産技術の開発が急務となっている。

岡山県においては、気候変動の影響が年々顕在化しており、トマトにおける高温障害（着色不良・裂果）、イチゴの花芽分化遅延、ブドウの着色不良、モモの暖冬影響など、主要作物において品質低下および収量不安定化が既に生じている。岡山地方気象台の予測では、21世紀末までに年平均気温が約4℃上昇し、猛暑日や集中豪雨の増加、降水の極端化が進行するとされており、これらの複合ストレスへの対応は喫緊の課題である（図1）。

このような背景のもと、本研究グループでは、環境負荷低減と生産安定を両立する技術として、植物由来成分を活用したバイオスティミュラント（BS）を中核とした減農薬栽培技術の開発を推進している。特に、高温・乾燥等の環境ストレスに対する耐性付与

および作物生理の安定化に着目し、その作用機構の解明と評価手法の確立を進めている。

これにより、岡山県産農産物の品質向上およびブランド価値の強化に寄与するとともに、「くだもの王国おかやま」いちごプロジェクト等と連携した生産振興、安全・安心な農産物の安定供給体制の構築を図る。また、本課題は県の温暖化対策関連事業とも連携し、気候変動に起因する生産リスクの低減と収益性向上に資する実用技術の確立を目的とする。

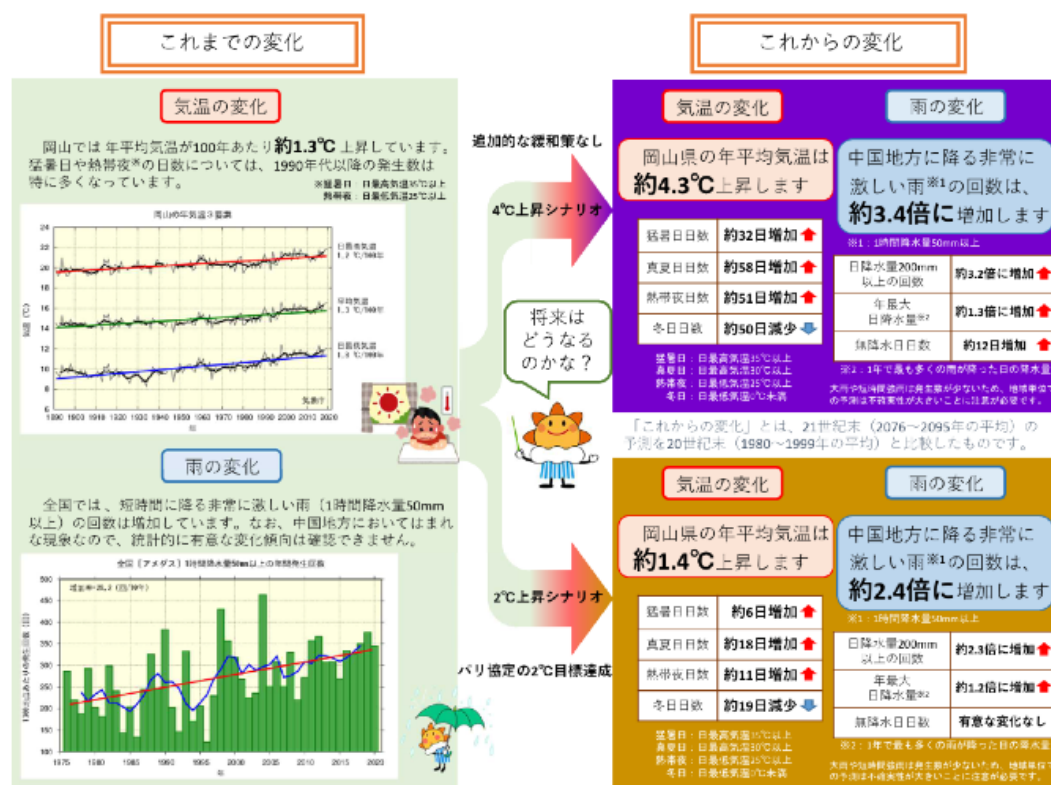


図 1. 岡山地方気象台 岡山県の 21 世紀末の気候

【目標】

- ・改正「食料・農業・農村基本法」および地域戦略と整合した形で、化学農薬依存からの脱却を志向し、環境負荷の低い減農薬・省資材型栽培技術を確立することで、持続可能な食料生産体系の構築に寄与する。
- ・高温、乾燥、過湿等の複合的な気候ストレスに対応可能なバイオスティミュラントおよび栽培管理技術を開発し、農業生産の安定化と収量・品質の維持向上を実現する。
- ・「くだもの王国おかやま」いちごプロジェクト等と連携し、地域特産作物の高付加価値化とブランド力強化に資する技術基盤を構築する。
- ・スマート農業技術および生理診断技術（非破壊計測等）を活用し、作物のストレス状態を可視化・定量化することで、科学的根拠に基づく生産管理体系を確立する。
- ・消費者ニーズに対応した安全・安心な農産物の安定供給を実現するとともに、収益性の高い持続的農業モデルの構築により、地域農業の競争力強化に貢献する。
- ・研究成果の社会実装を見据え、資材開発から評価法、普及までを一体化した技術体系

を確立し、産学官連携による実用化・事業化を推進する。

本研究は、気候変動時代に対応した実装型農業技術の確立を通じて、岡山県農業の持続的発展に貢献するものである。

[今年度の成果]

岡山県農業は、もはや県内の技術や知見のみで成立するものではなく、全国的・国際的な連携のもとで持続的発展を図る段階にある。このような認識のもと、当研究グループは、国内外の研究機関、企業、農業従事者および関係行政機関と連携し、農業を取り巻く複雑かつ高度化する課題に対応するため、基礎から応用、さらには社会実装を見据えた研究開発を一体的に推進してきた。

その結果、第6期五カ年計画の第4年度にあたる令和7年度においては、これまでに構築してきた研究基盤および評価系を活用し、研究成果の高度化と実用展開を着実に進展させた。具体的には、学術論文等4報（通算37報、うち原著論文2報〔通算8報〕、総説2報〔通算10報〕、マニュアル〔通算2報〕、著書〔通算4報〕、その他報文〔通算13報〕）を公表するとともに、発明届（通算7件）、特許出願（通算3件）、特許登録3件（通算7件）、特許実施許諾4件を達成した。さらに、学会発表11件（通算56件）、フェア出展1件（通算3件）、受賞（通算1件）、新聞等メディア掲載1件（通算4件）、商品化1件（通算2件）、外部資金の獲得9件（継続を含む通算35件）といった多面的な成果を挙げ、第6期計画の目標達成に大きく寄与するとともに、研究成果の対外発信および社会実装を着実に推進した。

特に本年度は、バイオスティミュラントを中核とした環境ストレス緩和技術について、作用評価および適用条件の最適化を進めるとともに、現地適用を見据えた技術体系の構築に着手し、基礎研究から実用化への橋渡しとなる重要な段階に到達した。

また、地球規模の気候変動に伴い、新規病害虫の侵入や既存病害の拡大など、県境を越えたリスクへの対応が不可欠となっている。このような状況を踏まえ、当研究グループは、農林水産省「知」の集積と活用の中核となる「植物の活性化による革新的農産物生産技術研究開発プラットフォーム」の運営を担い、国の競争的資金を複数獲得しつつ、産学官連携によるオールジャパン体制の研究推進基盤を構築した。

これらの取組により、環境負荷低減と生産安定を両立する持続可能な農業技術の創出に向けて、県内にとどまらず全国レベルでの課題解決に資する成果を着実に蓄積している。

(1) 環境低負荷型病害防除技術の開発（抗ウイルス資材の創製）

①新規抗ウイルス剤の開発の意義

近年、地球温暖化に伴う気温上昇や降水パターンの変化は、農業生産に深刻な影響を及ぼしている。特に植物ウイルス病においては、媒介昆虫の生息域拡大や発生時期の変化により、これまで発生が確認されていなかった病害の新規発生や、南方系ウイルスの北上・定着が現実的なリスクとして顕在化しつつある。このような状況下では、従来の

防除体系のみでは対応が困難となることが想定され、将来的な病害発生を見据えた先導的研究の重要性が一層高まっている。このような背景から、安全性が高く環境負荷の低い新規抗ウイルス資材の開発が求められており、特に植物由来天然成分を活用した防除技術が有望視されている。中でも、ショウガ科植物である月桃 (*Alpinia zerumbet*) は、ポリフェノールを豊富に含むことが知られており、当研究グループのこれまでの研究により抗ウイルス活性が示唆されていることから、本資源の応用展開が強く期待される。さらに、外部評価委員からは、月桃由来成分が有する抗ウイルス活性について、植物ウイルスにとどまらずヒト感染ウイルス、特に新型コロナウイルス等への応用可能性に関する重要な指摘がなされた。これに対し、当研究グループはこれまでに、月桃由来のプロアントシアニジンが植物ウイルスの感染抑制効果を示すことに加え、インフルエンザウイルスやコロナウイルスに対する不活化作用を見出しており、ウイルス種を越えた広域的な抗ウイルス活性を有する可能性が示唆されている。

したがって、本研究では、月桃を単なる地域資源としてではなく、「分野横断型の抗ウイルス基盤資源」として位置付け、農業分野における植物ウイルス防除技術の確立を主軸としつつ、得られた作用機構および活性評価系を基盤として、ヒト感染ウイルスへの応用可能性の検証も視野に入れた研究展開を行う。すなわち、本研究は、気候変動下における農業生産の安定化に資するのみならず、将来的には感染症対策を含む公衆衛生分野への展開も見据えた、新たな抗ウイルス資材の創出を目指すものであり、農業と医療・衛生の境界領域に新たな価値を創出する挑戦的研究として位置付けられる。

また、本研究で得られた知見については、企業との連携のもと、具体的な応用展開に向けた技術開発も進めており、農業分野にとどまらず関連分野への応用可能性が示されつつある。

世界の農業生産は依然として植物に大きく依存しており、植物を各種病原体から保護することは安定した食料供給の根幹を成すものである。国際的な推計によれば、真菌、細菌、ウイルスなどの植物病原体による病害により、全世界の農業生産の約 15% が損失し、年間の経済的被害は約 2,200 億ドルに達するとされている。特に、防除措置を講じない場合には作物収量が最大 70% 減少する可能性があるとされており、植物病害の防除は増収に匹敵する重要な技術である。

これまで、糸状菌および細菌による病害に対しては、抗生物質や各種合成殺菌剤が広く利用されてきたが、薬剤耐性の発達が持続的利用の大きな制約となっている。一方、植物ウイルス病に対しては、決定的な化学的防除手段が存在せず、媒介昆虫の防除等に依存した予防的対策が中心である。このような背景から、安全性が高く、耐性リスクの低い新規抗ウイルス技術の開発が強く求められている。

ここで特に重要なのは、本研究を岡山県において実施する意義である。岡山県では、高温化や気象の極端化に伴い、作物の生理状態の変化および媒介昆虫の発生動態の変化が生じており、将来的には新規ウイルス病の発生リスクの増大が予測される。すなわち、岡山県は「現在の被害対応」だけでなく、「近未来の病害発生を先取りして検証できる中間気候帯」としての特性を有している。このような地域において先行的に研究を行う

ことは、全国的な病害拡大に対する予測・対策技術の確立に直結する。

このため、岡山県農林水産総合センター生物科学研究所においては、現時点の病害対策にとどまらず、近未来に顕在化する可能性のある病害に先行的に対応する研究を推進することが重要な使命である。また、この視点は、環境ストレス耐性を付与するバイオスティミュラントの開発にも共通しており、気候変動適応型農業技術の基盤構築に直結するものである。

このような課題に対し、当研究グループは、月桃由来のプロアントシアニジンおよび特定の金属キレート化合物が、植物ウイルスの感染抑制に寄与する可能性を世界に先駆けて見出した。これらの天然由来成分は、植物の生理機能を調節する作用を有するとともに、環境負荷が低く、耐性獲得リスクが小さいという特長を有しており、次世代型の抗ウイルス資材として極めて有望である。

本研究は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センターによるオープンイノベーション研究・実用化推進事業（JPJ011937）「新たな農資源ゲットウを利用した新規抗植物ウイルス剤の創製」（2023～2025 年度）において実施しており、基礎から応用、さらには実用化を見据えた研究を一体的に推進している（図2）。



図2. 月桃の産業利用

今後は、作用機構の解明、評価体系の高度化、現地試験による有効性検証を進めるとともに、植物ウイルス病防除剤としての製品化を加速させる。さらに、環境負荷低減と

生産安定を両立する持続可能な技術として、農業分野のみならず関連分野への展開も視野に入れた社会実装をめざす。

②新たな農資源「月桃」の産業利用に向けたゲノム解析およびサプライチェーン構築

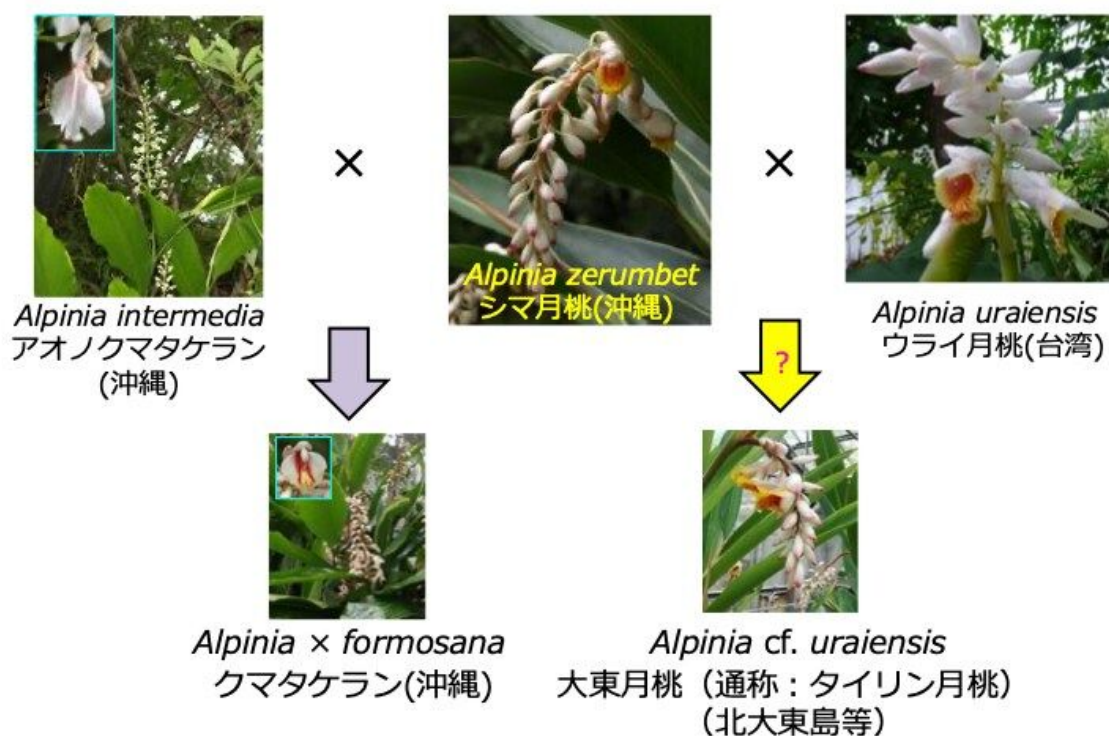


図 3. 南西諸島および台湾に自生する月桃及びその近縁種

月桃 (*Alpinia zerumbet*) は、鹿児島県南部を北限として沖縄、台湾、東南アジアに広く分布するショウガ科植物であり、茶、薬用、香料、食品包装材などとして古くから利用されてきた。近年では、水蒸気蒸留による精油利用やポリフェノールを中心とした機能性成分の活用が進み、新たな農業資源として注目されている。

一方で、月桃およびその近縁種は形態的に極めて類似しており、従来の形態観察に基づく分類では種の同定が困難であった。このため、育種や機能性評価、さらには抗ウイルス資材としての利用を進める上で、遺伝的背景の解明と客観的な識別技術の確立が不可欠であった (図 3)。

そこで本研究では、令和 3～7 年度の共同研究 (岡山大学資源植物科学研究所共同研究課題 Nos. R344, R436, R534, R738, R838 および、オープンイノベーション研究・実用化推進事業 (JPJ011937)) により、南西諸島に自生する月桃および近縁種 (シマ月桃、大東月桃 (タイリン月桃)、クマタケラン、アオノクマタケラン、ウライ月桃等) を対象として、次世代シーケンサーを用いた網羅的ゲノム解析および分子マーカー解析を実施した。

その結果、random amplified polymorphic DNA (RAPD) 解析 (図 4)、high-resolution melting (HRM) 解析 (図 5)、genotyping by random amplicon sequencing-direct (GRAS-Di)

解析（図 6）を統合することで、形態では識別困難であった各種を高精度に分類可能であることを明らかにした。

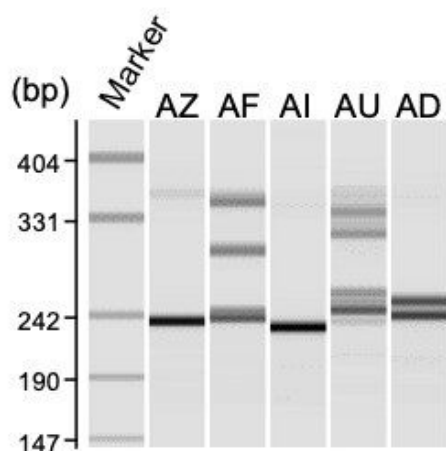


図 4. 月桃系統および近縁種における RAPD 解析
RAPD-PCR 産物は、マイクロチップ電気泳動システム (MCE-202 MultiNA; 株式会社島津製作所) および DNA-500 試薬キット (株式会社島津製作所) を用いて解析した。

AZ: シマ月桃 (*Alpinia zerumbet*)、AF: クマタケラン (*Alpinia ×formosana*)、AI: アオノクマタケラン (*Alpinia intermedia*)、AU: ウライ月桃 (*Alpinia uraiensis*)、AD: 大東 (タイリン) 月桃 (*Alpinia cf. uraiensis*)

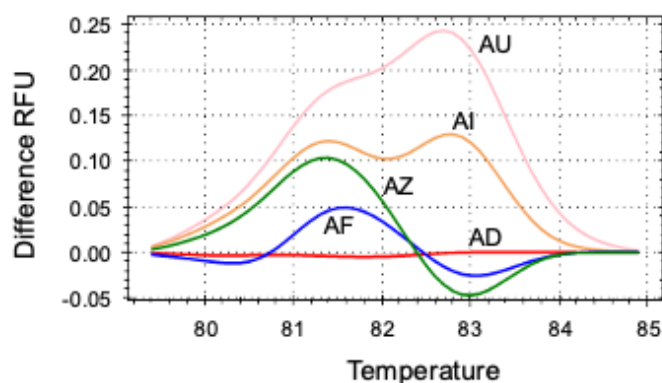


図 5. 月桃系統および近縁種における HRM 解析

ITS 領域を用いて HRM 法により分類した。

AZ: シマ月桃、AF: クマタケラン、AI: アオノクマタケラン、AU: ウライ月桃、AD: 大東 (タイリン) 月桃

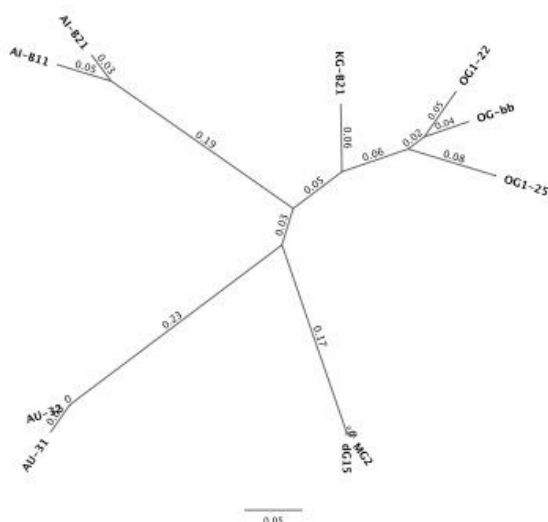


図 6. 月桃系統および近縁種における GRAS-Di 解析

GRAS-Di 解析データは、Geneious prime ver2020.1.1 を使い、Genetic distance model; Jukes-Cantor、Tree build method; Neighbor-Joining により解析した。

OG: シマ月桃、dG, MG: 大東 (タイリン) 月桃、AU: ウライ月桃、KG: クマタケラン、AI: アオノクマタケラン

さらに、葉緑体 DNA および核ゲノム情報に基づく系統解析により、各種の進化的関係および交雑由来が明確となった。特に、クマタケラン (*Alpinia ×formosana*) はシマ月桃 (*Alpinia zerumbet*) とアオノクマタケラン (*Alpinia intermedia*) の交雑種であること、

また大東諸島由来系統（タイリン月桃、*Alpinia cf. uraiensis*）はシマ月桃とウライ月桃（*Alpinia uraiensis*）の交雑に由来することが分子レベルで裏付けられた（図 3）。

GRAS-Di 解析（図 6）では、各種が明確なクラスターを形成するとともに、交雑種が親系統の中間に位置することが確認され、遺伝的構造が可視化された。また、葉緑体 DNA 系統解析（図 7）により母系統の推定が可能となり、さらに 5S rDNA 解析により核ゲノムレベルでの交雑の証拠が得られた。これら複数の解析結果は相互に整合しており、月桃属植物の系統関係と交雑様式を高い信頼性で解明した。

加えて、CENH3 抗体を用いた染色体解析（図 8）により、解析対象とした月桃属植物はいずれも染色体数 $2n=48$ を有することが確認され、種間で染色体数が安定していることが示された。このような細胞遺伝学的特徴は、月桃属において種間交雑が比較的容易に生じる要因の一つであると考えられる。

以上の成果により、これまで曖昧であった月桃および近縁種の分類体系が整理されるとともに、機能性成分の探索および高機能系統の選抜を進めるための基盤が確立された。特に、抗ウイルス活性を有するプロアントシアニジンの含有量や組成は系統間で異なる可能性が高く、本研究で構築した DNA マーカーは、高機能系統の効率的な選抜および安定供給に資する重要な技術である。

さらに、本研究ではこれらの遺伝情報と機能性評価を統合し、抗植物ウイルス活性に優れた系統の選抜および最適化を進めるとともに、原料の安定供給を目的として沖縄県において月桃の栽培を開始し、サプライチェーンの構築に着手した（図 9）。

今後は、月桃を原料とした新規抗ウイルス資材の開発を加速させるとともに、原料生産から製品化までを見据えた一貫した供給体制の確立を目指す。また、本研究で得られた知見は、資源植物の分類・利用にとどまらず、気候変動下における新規農業資源の探索・活用という観点からも重要であり、バイオスティミュラント開発を含めた持続可能な農業技術の基盤形成に寄与するものである。

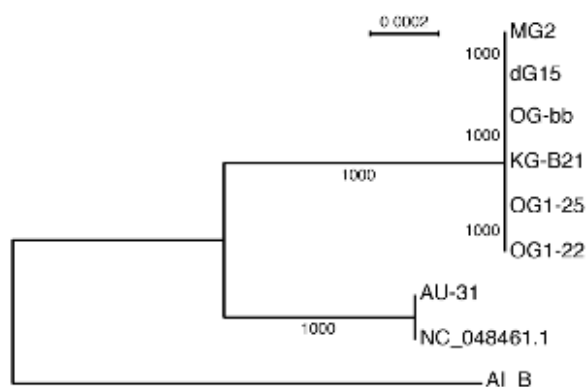


図 7. 葉緑体ゲノムに基づく系統樹解析
月桃系統および近縁種の葉緑体ゲノムを
解読し、系統樹解析を行った。

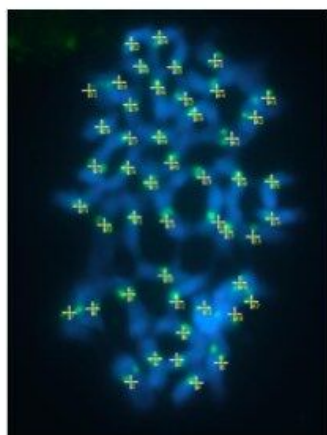


図 8. CENH3 抗体を用いた染色体解析

月桃種の CENH3 抗体を作製し、月桃の染色体数を解析した。月桃の染色体は 48 本であり、他の *Alpinia* 植物との比較により、 $2n=2x=48$ 本の 2 倍体であることが示唆された。

- ・原料の安定供給に向けて沖縄県で月桃の栽培を開始した。
- ・シマ月桃の優良系統 1 株を選抜し、これを岡山県で増殖して定植した（約 1730 株、2 反）。



図 9. 月桃サプライチェーンの構築：原料生産から安定供給までの体系

(2) 減農薬栽培体系の構築と実証（イチゴを中心とした現場展開）

本研究では、減農薬栽培を実現するための新規病害防除技術の開発と現場実装に取り組み、特にイチゴ(晴苺)を中心とした県産農産物のブランド力強化に貢献してきた。令和 4 年度年報に詳細を報告したとおり、その後も継続して実証試験を進めており、令和 7 年度においても技術の高度化および現場適用の検証を実施した。

具体的には、紫外線 (UV-B) 照射による病害防除技術、同技術と天敵を組み合わせた総合的害虫管理 (IPM) 手法、ならびにバイオスティミュラント (BS) 資材による生育促進およびストレス耐性付与効果 (BS 効果については後述) の検証を継続的に実施し、これらを統合した防除体系の実用性評価を行った (図 10)。

その結果、本年度の実証試験においても、イチゴ栽培において問題となる“うどんこ

病”の発生は確認されず、安定した防除効果が再現性をもって確認された。これにより、化学農薬に過度に依存しない持続的な防除体系の有効性が実証されるとともに、減農薬栽培の実現可能性がさらに高まった。

一方で、これまで併用してきたAIセンサーを活用した病害発生予測技術については、連携企業の事業撤退により現時点では運用が困難となった。しかしながら、本研究においては、UV-B照射技術およびIPM、BS資材を組み合わせた防除体系そのものが高い防除効果を有することが確認されており、AI予測に依存しない形でも実用的な防除技術として成立することが明らかとなった。今後は、より汎用性が高く持続可能な管理技術として、現場適用性を重視した体系への再構築を進める。

これらの取り組みは、生物系特定産業技術研究支援センターによる「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代農林水産業創造技術」および「イノベーション創出強化研究推進事業（JPJ007097）」の支援を受けて実施されており、減農薬栽培技術の社会実装に向けた重要な基盤を形成している。

なお、関連する技術の詳細については、以下のマニュアルに示されている。

「AI 発病予測を利用した施設栽培の病害管理技術マニュアル」

<https://www.pref.okayama.jp/page/849437.html>

「紫外光照射を基幹としたイチゴの病虫害防除マニュアル～技術編～」

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130266.html

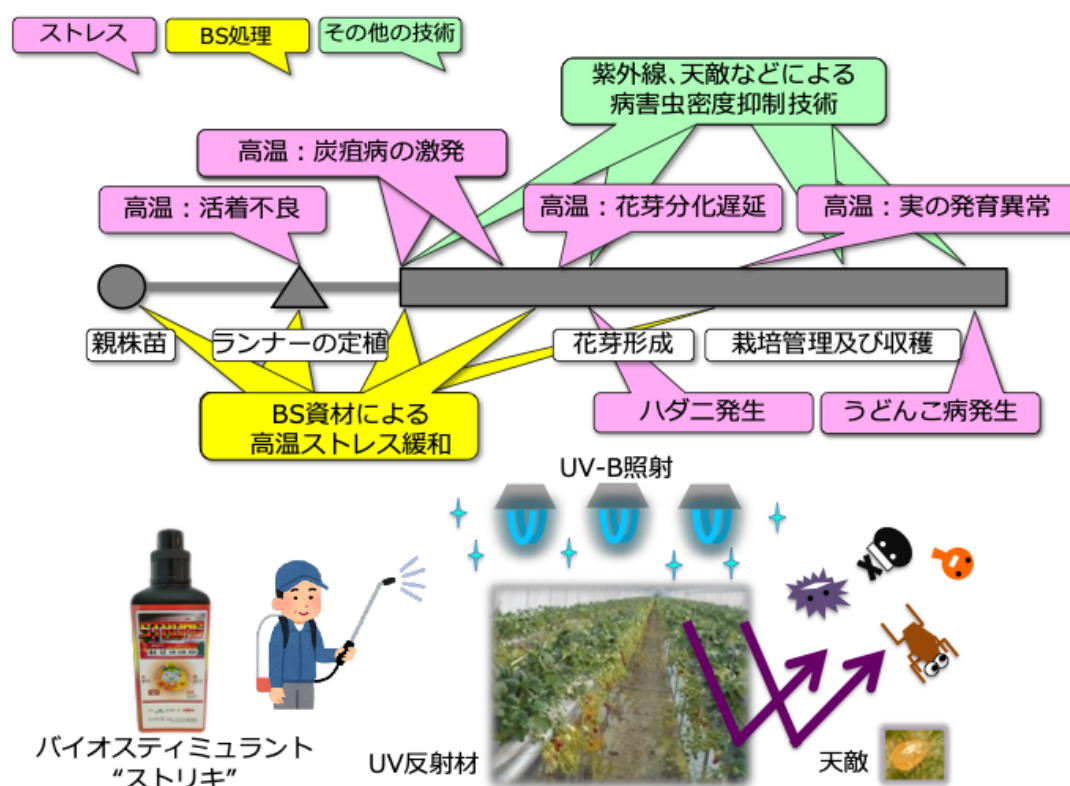


図 10. イチゴの安定生産技術の開発

バイオスティミュラント(BS)の商品化に成功！

液体微量元素複合肥料



“ストリキ”は作物の健全な成長を助ける！



微量元素の作用機作に着目！

マンガン：光合成に関与。防御物質であるフェノール形成

ホウ素：細胞壁や細胞膜の形成と維持

銅：光合成、各種代謝に関与。活性酸素の無毒化。防御物質であるフェノール形成

鉄：光合成、各種代謝に関与。

亜鉛：オーキシンの代謝反応に関与。植物の生長に必須

ベタイン：塩害、乾燥、高低温などの環境ストレスに対する耐性を付与。

図 11. バイオスティミュラントの開発と普及

(3) バイオスティミュラントによる気候変動適応技術の開発と普及

① バイオスティミュラント資材「ストロングリキッド」の収量向上効果

気候変動に伴う高温・乾燥ストレスは、農作物の収量および品質に深刻な影響を及ぼしており、その対策技術の確立が喫緊の課題となっている。特に近年、日中および夜間の高温は、トマトの着色不良や裂果、イチゴの花芽分化遅延などを引き起こし、安定生産の大きな制約要因となっている。

当研究グループはこれまでに、微量元素が植物の防御応答および生育促進に関与することを明らかにし、微量元素複合液肥「ストロングリキッド(ストリキ)」(製造：片倉コープアグリ株式会社、販売：JA)(特許第 6634325 号、特許第 6713117 号、特許第 7506871 号)を開発・実用化してきた(図 11)。また、ミネラルを至適比率で配合することにより、「植物の環境ストレス応答と生産性(生長性)とのトレードオフ(一得一失)」を回避することに成功している。

本年度も、ストリキの新たな適用および施用方法の確立を目的とした試験を継続して実施した。ストリキ処理区と対照区は、ストリキ施用の有無を除き同一条件で栽培を行い、収量および生育に与える影響を評価した。なお、ストリキは窒素、リン酸、カリを含まないため、施肥条件は対照区と同一とした。

イチゴに対しては、ストリキを水で 500 倍に希釈し、葉面および株元に 2~3 週間間隔で散布した。その結果、いずれの品種においても収量の増加が認められた(図 12)。

さらに、品種「よつぼし」を用いた試験では、6月定植後、気温上昇期である7月からストリキを施用したところ、猛暑条件下においても対照区と比較して花芽形成が4～5日早まり、クリスマス出荷に対応可能な収穫時期の前進が確認された（図13）。

イチゴの花芽分化促進技術としては、クラウン部を局所冷却するクラウン冷却法（農業・食品産業技術総合研究機構が開発、2008年に市販化）が知られているが、設備コストや電力消費、管理負担および効果の安定性といった課題が普及の障壁となっている。一方、バイオスティミュラントの施用は低コストかつ導入が容易であり、実用的な代替技術として有望である。

また、給水管理の改善として、ウォータースプレーパイプを導入し、1プランターあたり4つのドリッパーによる少量多頻度灌水を実施した。その結果、施設内湿度の低下が認められ、灰かび病の発生抑制効果が確認された（図14）。

さらに、岡山県の主要作物であるナスに対しても同様の処理を行った結果、収量の増加が確認された（図15）。これまで数年間にわたり試験を継続した結果、イチゴで10～20%、ナスで30～45%の増収効果が安定して認められている。特に直近2年間は猛暑条件であったにもかかわらず、ストリキ処理による増収効果は高く維持されており、本資材が高温ストレス条件下において有効であることが示された。また、効果発現には葉面および株元（根圏）の両方への施用が重要であることが明らかとなった。

以上の結果から、紫外線（UV-B）照射、天敵資材、およびバイオスティミュラントを組み合わせた統合的なイチゴ栽培体系の構築が可能であることが示され（図10）、減農薬かつ高収益を両立する持続可能な農業技術としての実用化が期待される。

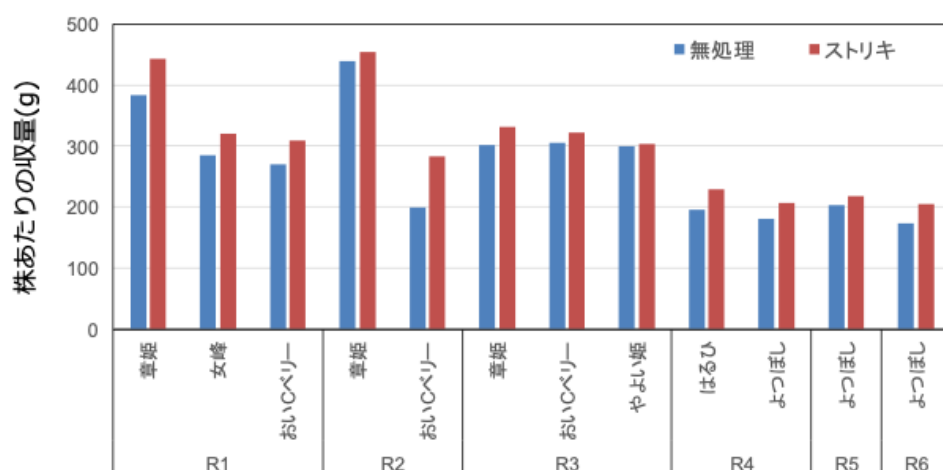
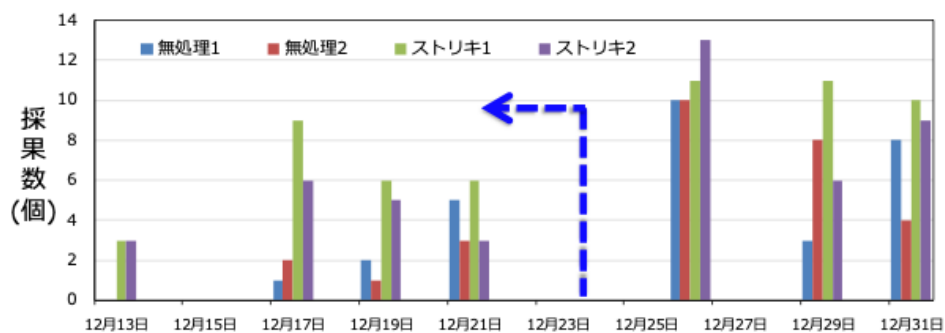
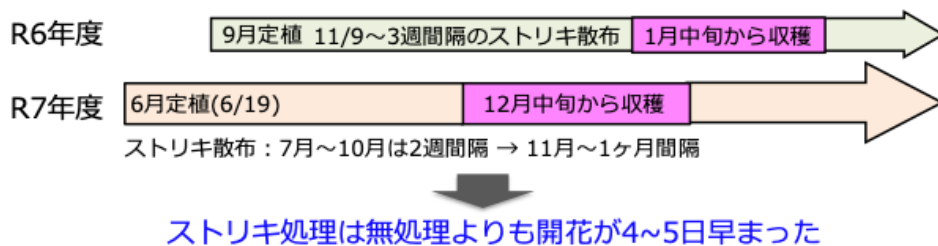


図12. ストリキ処理によるイチゴの収量への影響

12月から2～3週間間隔で、500倍に希釈したストリキ（0.1%界面活性剤添加）を葉面および株元に散布し、一定期間の収量を調査した（各区18～54株、年度により個体数および調査期間は異なる）。



ストリキ処理区は高温ストレスを緩和し、クリスマスの需要が上がる時期への確かな出荷を可能とする

図 13. ストリキ処理による花芽分化促進効果

6 月定植後、7 月より 2 週間間隔、11 月以降は 1 か月間隔でストリキを散布した。処理区では対照区と比較して収穫開始時期の前進が認められた。

ウォータースプレーパイプ



定流量ドリッパー
(33mL/分)



図 14. 給水管理の改善による環境制御効果

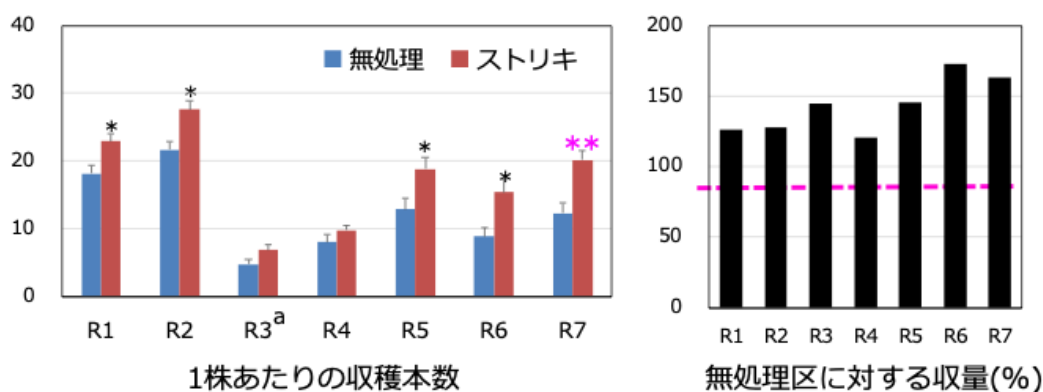


図 15. ストリキ処理によるナスの収量への影響

5 月にナス（品種：千両 2 号）を定植（各区 10～23 株ずつ）した後、6 月～8 月にかけて 1～4 週間間隔で 500 倍に希釈したストリキ（0.1%界面活性剤添加）を茎葉および株元に散布し、一定期間の収量を調査した（年度により、個体数及および調査期間は異なる）。ストリキ処理区の収穫量は対照区の収穫量を 100%とした場合の相対値で示した。

^aR3 は 7 月後半から 8 月の 2 週間のデータを示す

統計解析は Dunnett 検定により行い、* $p<0.05$ 、** $p<0.01$, で有意差あり。

②日本におけるバイオスティミュラントの定義策定と制度整備への貢献

農林水産省は 2021 年 5 月に「みどりの食料システム戦略」を策定し、気候変動や自然災害に強い持続的な農業システムの構築に向けた施策を推進している。さらに、2025 年 5 月には「バイオスティミュラントの表示等に係るガイドライン」が公表され、科学的根拠に基づく資材開発および適正利用の重要性が一層高まるとともに、我が国におけるバイオスティミュラントの普及が加速することが期待されている。

農林水産省「バイオスティミュラントの表示等に係るガイドライン」

<https://www.maff.go.jp/j/syouan/attach/pdf/biostimulant-28.pdf> (2025)

本研究グループのグループ長である鳴坂は、生物刺激制御研究会の世話人代表として、農林水産省が開催した「バイオスティミュラントに係る意見交換会」の委員に選出され、本ガイドラインの策定に貢献した。

本ガイドラインでは、バイオスティミュラントの定義が以下のとおり明確化されている。

「農作物又は土壌に施すことで農作物やその周りの土壌が元々持つ機能を補助する資材であって、バイオスティミュラント自体が持つ栄養成分とは関係なく、土壌中の栄養成分の吸収性、農作物による栄養成分の取込・利用効率及び乾燥・高温・塩害等の非生物的ストレスに対する耐性を改善するものであり、結果として農作物の品質又は収量が向上するものをいう」

また、本ガイドラインでは、バイオスティミュラントと既存の農業資材（農薬、肥料、土壌改良資材）との関係についても明確に整理されている。すなわち、日本国内における生産資材は、農薬取締法、肥料の品質の確保等に関する法律（肥料法）、地力増進法

の各法令により規定されており、これらに該当する資材は、バイオスティミュラントとして扱う場合であっても、従来どおり各法令に基づく登録、届出および表示が必要である。したがって、バイオスティミュラントという概念の導入によって既存法体系が変更されるものではない点に留意する必要がある。各生産資材の関係を図 16 に示した。

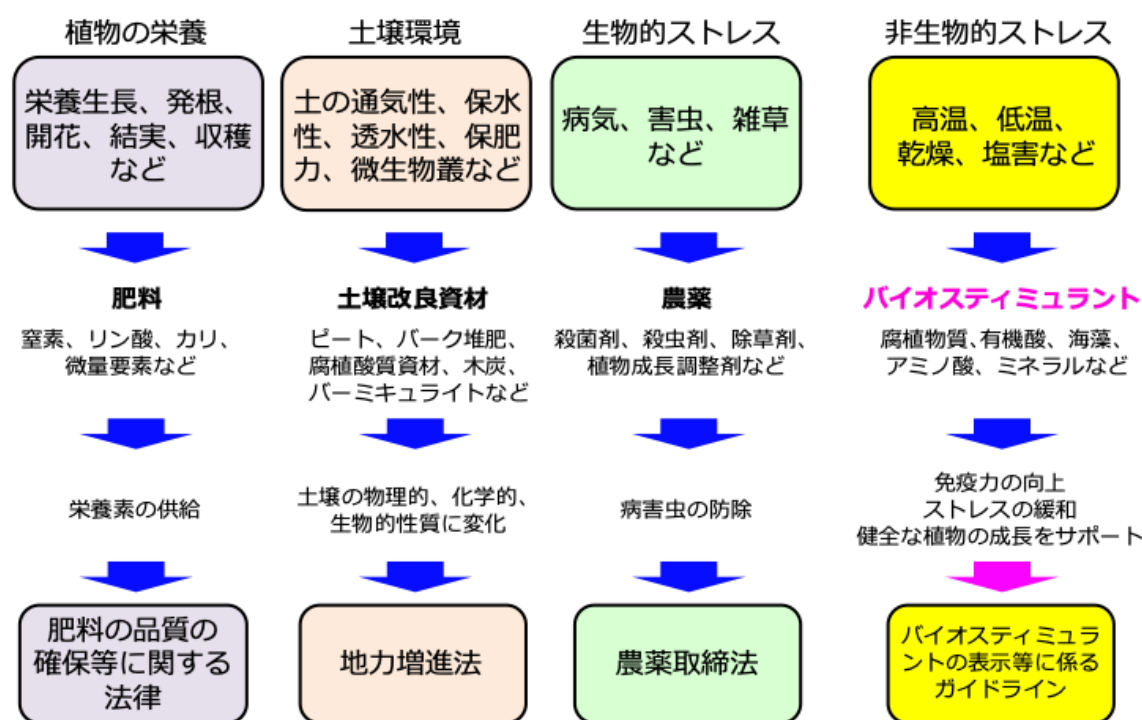


図 16. バイオスティミュラントの位置付け

本ガイドラインの特徴は、①バイオスティミュラントの明確な定義の提示、②農薬・肥料等との位置付けの整理、③科学的根拠に基づく表示基準の明示にある。特に、事業者に対しては以下のような科学的検証が求められている。

- ・ 対照区を設定し、3 反復以上の試験を実施すること
- ・ 収量、生体重、養分吸収量等の定量的評価を行うこと
- ・ 国内において、品目・気候・土壌条件を変えた 2 例以上の試験を実施すること
- ・ 製品の主成分について、3 ロット以上で含有割合を分析すること

これらの基準が示されたことにより、資材の有効性および安全性に関する情報の信頼性が向上し、公的機関による普及活動が推進しやすい環境が整備されたと考えられる。

本ガイドラインは、バイオスティミュラントという新たな資材カテゴリーを社会に普及させるための重要な第一歩である。現時点では法的拘束力を有するものではないが、資材の効果や安全性に関する情報の「見える化」を促進し、業界全体の信頼性向上に資するものである。

今後は、ガイドラインの趣旨を踏まえ、安全性および効果に関する情報を科学的根拠に基づき適切に提示した製品の開発・普及が求められる。また、事業者、使用者、研究者および行政が連携し、知見の共有と適正利用の推進を図ることが重要である。

これらの取り組みを通じて、バイオスティミュラントは持続可能な農業を支える新たな基盤技術として、その価値と役割をさらに高めていくことが期待される。

なお、本ガイドラインの公表を受けて、バイオスティミュラントおよび同ガイドラインの普及を目的とし、本研究グループの代表である鳴坂が中心となり、地方自治体、企業、各種セミナー等において講演活動を実施した。

(4) 「知」の集積と活用[®]の場における研究プラットフォームの運営と成果創出

農林水産省は、農林水産・食品分野に異分野の知識・技術を導入し、革新的技術の創出から事業化・商品化までを一体的に推進する新たな産学官連携の枠組みとして「『知』の集積と活用[®]の場」を構築している (<https://www.knowledge.maff.go.jp>)。

本取り組みの一環として、生物科学研究所を管理運営機関とし、鳴坂が代表プロデューサーを務める「植物の活性化による革新的農産物生産技術研究開発プラットフォーム」は、平成 30 年 2 月に設立され、以下の事業を推進している。

- ・植物の能力を活性化する技術および高機能農作物創製に関する新技術の開発
- ・農産物の生産性向上に資する技術開発
- ・バイオサイクルを活用した環境負荷低減型食料生産システムの構築
- ・開発技術の事業化に向けた研究戦略および研究計画の策定
- ・知的財産情報の調査および知財戦略の立案
- ・研究成果の情報発信および会員拡大
- ・その他、産学官連携協議会の活動への参画

これまでに本プラットフォームを起点として、バイオスティミュラントコンソーシアム、月桃コンソーシアム、植物免疫プライミングコンソーシアム、サトイモ疫病防除技術開発コンソーシアム、ゲノム編集コンソーシアム、抵抗性 RNA 剤研究開発コンソーシアム、作物刺激制御技術開発コンソーシアム等が立ち上がり、国の競争的資金（生研支援センター イノベーション創出強化研究推進事業および、オープンイノベーション研究・実用化推進事業等）の獲得やアグリビジネス創出フェアへの出展など、精力的な活動を展開している。

また、本プラットフォームは、企業とのマッチングや研究課題のブラッシュアップ、外部資金獲得支援等を通じて、研究成果の社会実装を加速する機能を果たしている。

令和 7 年度の主な活動は以下のとおりである。

- ・会員数：42 機関
- ・「知」の集積と活用[®]の場ポスターセッション 2025 において 2 件発表
- ・定時総会、臨時総会、成果報告会、産学官連携協議会セミナーへの参加
- ・社会実装成果事例の提出
- ・生物刺激制御研究会との連携活動
- ・会員によるグラント申請の推薦
- ・関連論文発表および招待講演等

(5) 生物刺激制御研究会の運営と学術・産業連携の推進

近年、農業現場では農薬・肥料・土壌改良資材に次ぐ第4の農業資材として、バイオスティミュラント資材が国内外で注目を集めている。これらの資材は、化学農薬への依存低減や環境保全型農業の推進に寄与するとともに、作物のストレス耐性向上技術として高い潜在性を有する。

このような背景のもと、バイオスティミュラントに関する学術的知見の集積および情報共有を目的として、令和3年1月に「生物刺激制御研究会」を設立した。本研究会は、農学、植物生理学、資材開発、土壌科学等の多様な分野の研究者・技術者・実務者が連携し、科学的根拠に基づく資材の定義、作用機構、活用方法について議論・研究を行う場として運営されている。

本研究会では、バイオスティミュラント資材を「植物の活力を高め、植物が本来有する機能を引き出すことにより、各種ストレスを緩和し健全な生育を促進する資材」と定義し、学術的および実用的観点から研究を推進している。

今後も本研究会は、学術と産業の橋渡しを担う研究ハブとしての機能を強化し、バイオスティミュラント資材の適正利用と社会実装の推進に貢献していく。

なお、活動の詳細については以下のウェブサイトを参照されたい。

<https://bio-stimulant-research.org/>

(6) 今後の展望：気候変動適応型農業技術の統合と社会実装

岡山県における農業生産は、依然として化学農薬および化学肥料への依存度が高く、環境負荷や持続性に対する課題が顕在化している。加えて、気候変動の進行により、高温・乾燥ストレスや新規病害の発生リスクが増大し、従来型の生産体系では対応が困難となりつつある。

本研究グループはこれまで、植物の生理機能を活用した新規防除技術の開発、バイオスティミュラント資材の実用化、ならびに減農薬栽培体系の構築を進めてきた。その結果、イチゴを中心とした実証試験において、農薬使用量の低減と収量・品質の維持・向上を両立する技術体系の確立に成功している。

また、月桃をはじめとする新規農業資源の探索・ゲノム解析・供給体制の構築を進めることで、抗ウイルス資材およびバイオスティミュラントの原料基盤を確立しつつある。これらの成果は、単なる研究開発にとどまらず、実用化・事業化を見据えた段階に到達している。

今後は、これまでに構築した

- ・抗ウイルス資材開発（植物ウイルス対策）
- ・バイオスティミュラント資材（ストレス耐性・収量向上）
- ・減農薬栽培体系（UV-B、天敵、資材統合）
- ・資源植物のサプライチェーン（例：月桃）

を統合し、「気候変動適応型農業技術」として体系化を図る。

さらに、岡山県で得られた成果をモデルケースとして、農林水産省「知」の集積と活

用の場®の枠組みを通じた全国展開を推進し、産学官連携によるオールジャパン体制のもとで社会実装を加速させる。

これにより、環境負荷低減と収益性向上を両立する持続可能な農業生産体系の構築に貢献するとともに、将来的には農業分野と公衆衛生分野を横断する新たな技術領域の創出を目指す。

令和 7 年度の活動

1. 報文（総説・原著論文等）

関根健太郎、呑田佐知、畑中唯史、鳴坂真理、鳴坂義弘

広範な植物においてキュウリモザイクウイルスに対する感染抑制効果を示すゲッ
トウ搾汁液

沖縄農業, 54(1): 25-32 (2024)

概要：月桃搾汁液によるキュウリモザイクウイルスに対する感染抑制効果を発見した。

Kiyotaka Nagaki, Mari Narusaka, Yoshihiro Narusaka

Elucidation of the phylogenetic relationships among *Alpinia* species native to the Nansei Islands, Japan.

Cytologia, 90(1), 29-36 (2025)

概要：ゲノム・葉緑体 DNA・反復配列解析および細胞遺伝学的手法により、月桃近縁種の系統関係と交雑起源を分子レベルで解明した。クマタケランや大東（タイリン）月桃が異種間交雑に由来することを明らかにし、月桃属の進化と資源多様性の理解を深化させた。

Mari Narusaka, Kiyotaka Nagaki, Ken-Taro Sekine, Yoshihiro Narusaka

Molecular identification of *Alpinia* species native to the Nansei Islands.

琉球大学農学部学術報告 第 71 号 The Science Bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus (The Sci. Bul. of the Fac. of Agric., Univ. of the Ryukyus), 71, 35-38 (2024)

概要：南西諸島に自生する月桃および近縁種について、RAPD・HRM・GRAS-Di 解析を組み合わせた DNA マーカーにより、高精度な種識別法を確立した。形態では識別困難であった系統を分子レベルで判別可能とし、資源利用・育種の基盤技術を構築した。

鳴坂義弘、鳴坂真理

バイオスティミュラントを活用した革新的作物保護技術の実用化

粉体技術, 第 17 巻, 第 6 号, 50-55 (2025)

概要：気候変動による高温・乾燥ストレスに対し、バイオスティミュラントを活用した作物保護技術の有効性と社会実装の方向性を整理した。農薬・肥料と異なる新規資材としての位置付けと機能を明確化し、持続可能な農業体系への応用可能性を示した。

鳴坂義弘、鳴坂真理

農林水産省による「バイオスティミュラントの表示等に係るガイドライン」の公表について

山陽の農業, 第 167 号, 50-56 (2025)

概要：農林水産省の「バイオスティミュラントの表示等に係るガイドライン」の背景・定義・表示基準を整理し、その実務的意義を解説した。科学的根拠に基づく評価・表示の重要性を示し、バイオスティミュラントの適正普及に向けた指針を提示した。

2. 学会・シンポジウム・講演会等での発表（英文大会名は国際学会）

鳴坂義弘、長岐清孝、関根健太郎、鳴坂真理

南西諸島に自生する月桃および近縁種のゲノム解析と抗ウイルス成分プロアントシアニジンの研究

令和 7 年度日本植物病理学会九州部会、2025 年 11 月 20-21 日(那覇市)

鳴坂真理、安次富厚、花ヶ崎敬資、畑中唯史、山次康幸、関根健太郎、鳴坂義弘

植物ウイルスを防除する月桃由来プロアントシアニジンの解析

令和 7 年度日本植物病理学会九州部会、2025 年 11 月 20-21 日(那覇市)

岩舘康哉、八桁直輝、鳴坂真理、鳴坂義弘

月桃由来プロアントシアニジンのピーマンモザイク病（PMMoV）に対する防除効果

令和 7 年度日本植物病理学会九州部会、2025 年 11 月 20-21 日(那覇市)

健康農水畜産物の研究開発連合プラットフォーム（当グループ参加）

持続可能な健康社会を支える新しい農水畜産連合プラットフォーム

アグリビジネス創出フェア 2025、2025 年 11 月 26-28 日（東京）

植物の活性化による革新的農産物生産技術研究開発プラットフォーム 抵抗性 RNA 剤

研究開発コンソーシアム（鳴坂義弘、鳴坂真理、山次康幸、野村俊之）

キャリア粒子を用いた植物病害制御技術の開発

「知」の集積と活用の方 産学官連携協議会 ポスターセッション 2025、

2026 年 2 月 12 日（東京）

植物の活性化による革新的農産物生産技術研究開発プラットフォーム 月桃コンソー

シアム（鳴坂真理、鳴坂義弘）

未利用植物・月桃がウイルスを止める― 地域資源から生まれる抗ウイルス技術の
社会実装 ―

「知」の集積と活用の中 産学官連携協議会 ポスターセッション 2025、
2026 年 2 月 12 日（東京）

健康農水畜産物の研究開発連合プラットフォーム（当グループ参加）

高機能性農水産物の発掘、機能性検証、社会実装化

「知」の集積と活用の中 産学官連携協議会 ポスターセッション 2025、
2026 年 2 月 12 日（東京）

大矢武志、竹下礼夏、嶋本果穂、鳴坂義弘、鳴坂真理

トマト黄化えそウイルス（TSWV）に対する月桃資材のウイルス感染阻止効果
関東東山病害虫研究会 第 72 回研究発表会・第 73 回総会、2026 年 2 月 26 日
（水戸市）

（招待講演）鳴坂義弘

バイオスティミュラント入門 概要と種類、使用上の注意点について
和歌山県紀の川市 農学部誘致に向けた第 2 回サテライト講義、2026 年 3 月 3 日
（紀の川市）

鳴坂義弘、鳴坂真理、牛島幸一郎、長岐清孝

月桃ゲノム配列を用いたプロアントシアニジン合成関連遺伝子の解析
令和 7 年度 岡山大学資源植物科学研究所「共同研究成果発表会」、2026 年 3 月 3 日
（倉敷市）

（招待講演）鳴坂義弘

バイオスティミュラントの概要と種類、法規制について
北興化学工業株式会社 社内研修、2026 年 3 月 11 日（吉備中央町）

3. 知的財産権

特許登録 3 件、特許実施許諾 4 件

4. 共同研究・協力連携先

農研機構、東京大学、大阪公立大学、岡山大学、京都大学、名古屋大学、理化学研究所
環境資源科学研究センター、理化学研究所バイオリソースセンター、東京工業大学、岡

山県農林水産総合センター農業研究所・農業大学校、都道府県の研究機関（沖縄県農業研究センター、岩手県農業研究センターなど）、「知」の集積と活用の中 植物の活性化による革新的農産物生産技術研究開発プラットフォームのメンバー、全国農業協同組合連合会、その他民間企業8件など

5. 外部資金獲得状況

- ・ 生物系特定産業技術研究支援センター オープンイノベーション研究・実用化推進事業 開発研究ステージ（現場課題解決タイプ）（代表 鳴坂義弘）
- ・ 生物系特定産業技術研究支援センター オープンイノベーション研究・実用化推進事業 基礎研究ステージ（チャレンジタイプ）（中課題担当 鳴坂義弘）
- ・ 科学研究費補助金・基盤C一般 （代表 鳴坂真理）
- ・ 科学研究費補助金・基盤C一般・延長 （代表 鳴坂真理）
- ・ 科学研究費補助金・基盤C一般 （代表 鳴坂義弘）
- ・ ウエスコ公益財団法人ウエスコ学術振興財団 研究活動費助成事業（代表 鳴坂真理）
- ・ 中小企業庁 成長型中小企業等研究開発支援事業（中課題担当 鳴坂義弘）
- ・ 気候変動対策等研究・普及事業（代表 鳴坂義弘）
- ・ 令和7年度岡山大学資源植物科学研究所 共同研究課題（代表 鳴坂義弘）

6. 新聞、テレビ報道

- ・ 生物刺激制御研究会 代表世話人 鳴坂義弘 科学的根拠明示を評価 環境整備の
一歩、歓迎
令和7年8月26日 日本農業新聞

7. その他

岡山県立大学連携大学院 教授（客員、兼任）（鳴坂義弘）

「知」の集積と活用の中 植物の活性化による革新的農産物生産技術研究開発プラットフォーム 代表プロデューサー （鳴坂義弘）

生物刺激制御研究会 代表世話人（鳴坂義弘）、世話人（鳴坂真理）

農林水産省 バイオスティミュラントに係る意見交換会 委員（鳴坂義弘）

植物レドックス制御研究グループ

専門研究員	小川 健一 (グループ長)
専門研究員	西川 正信 (サブグループ長)
流動研究員	野田 壮一郎
流動研究員	望月 智史

課題名

持続可能な農林業を支える種子選抜・肥培管理技術の開発

[背景と目的]

「第4次晴れの国おかやま生き生きプラン」には、SDGsの観点から、生産性の高い農業や持続可能な森林経営の推進、畜産物や水産物の生産振興が求められている。例えば、SDGsの17の目標のうち、目標15「陸の豊かさを守ろう」があり、「**2020年までにあらゆる森林の持続可能な経営の実施を促進し、森林減少を阻止し、劣化した森林を回復し、世界全体で新規植林および再植林を大幅に増加させる**」が掲げられている。しかしながら、国（県）産材の利用の低迷と人手不足・高齢化、造林コストが高止まりする現状で、再造林意欲が低迷している。また、国民病ともいべき花粉症の一対策として少花粉スギやヒノキの開発と植え替えが進められている。しかしながら、少花粉という形質は成長性に関連する形質であるため、通常、従来の系統に比べて成長が劣り、苗生産期間が長くなり、生産歩留まりが低下して、森林経営の持続可能性をさらに低下させる要因になっており、生産の第一段階として優良種子の効率的選抜が必須である。加えて、少花粉スギやヒノキの苗生産では、肥培管理が特に重要になるが、慣行育苗で用いられる化成肥料*の大量使用は、温室効果ガス（GHG）の大量排出に繋がっており、この排出低減が求められている。

*化学肥料には、原料の採掘、精製などの生産過程、また輸送・流通などの過程で大量の化石エネルギーが消費されている。

本課題では、農林水産業の持続可能性に重点を置き、優良種子の効率的選抜とGHG排出抑制・循環的な生産体系で利活用可能な肥料（未利用藻類や浄水ケーキなどを材料にしたもの）を用いた肥培管理技術の開発を行い、県農林水産業の発展を図る。

[今年度の成果]

【下刈り回数の低減の可能性についての評価（少花粉ヒノキ育苗時の超緩効性肥料量とグルタチオン施用履歴との関係）】

これまでの方法により、2020年春にRIBSで育苗した小型プラグ苗を同年5月から岐阜県白鳥林木育種場にてコンテナ育苗し、2021年3月に下呂神割国有林に植栽した結果を示す。

コンテナ育苗時に元肥として超緩効性肥料ハイコントロール700日タイプを用い、そ

の施用量を 50、100、200、400 g/10 L ココピートオールドとした。また、酸化型グルタチオン (GSSG) を 15% 含むカネカペプチド W2 水和剤について、250 倍液、1,000 倍液、無施用の 3 水準で育苗した。

なお、小型プラグを 150 cc マルチキャビティコンテナに移植する際、グルタチオン施用区には 1 穴あたり 0.75 g の 1%GSSG 粒剤を施用した。2021 年 3 月にコンテナ苗を林地に植栽し、対照として裸苗も併せて植栽した。植栽時には、1%GSSG 粒剤を施用した区と施用しない区を設定した。

区画は全 12 区画とし、そのうち 6 区画を植栽時 GSSG 施用区とした。斜面条件の影響が均等となるよう、育苗条件の異なる苗を組み合わせ、各区画内で反復して植栽した。

図 1 には、12 区画すべてに植栽した 534 本について、植栽後の各成長期末における樹高の毎木調査結果を示す。

植栽時には裸苗の方が大きかったが、植栽年の成長期末には、ハイコントロール施用量が多い区、またはグルタチオン施用履歴のある区において、裸苗と同等あるいはそれ以上の生育が認められた。

下刈り回数削減の目標として「早期に樹高 150 cm 以上に到達する施業方法」を検討してきた。その結果、裸苗では植栽後 5 年目にはじめて 75% 以上の個体が 150 cm 以上に到達したのに対し、2024 年夏の時点で、ハイコントロール 200 g 区で育苗時および植栽時にグルタチオン施用した区、ならびにハイコントロール 400 g 区では、75% 以上の個体が 150 cm 以上の樹高に達した。

図 2 に示すとおり、2024 年夏には、W2 水和剤 250 倍液を育苗時に施用し、植栽時にもグルタチオン施用を行った 200 g および 400 g 区のほか、植栽時の施用を行わない場合でもハイコントロール 200 g 区かつ W2 水和剤 250 倍施用区において、75% 以上の個体が 150 cm 以上の樹高を示した。2025 年夏には裸苗においても 75% 以上の個体が 150 cm 以上に達したが、その時点ではハイコントロール 200 g 以上の区では安定して 75% 以上が 150 cm 以上に到達しており、100 g 区においてもほぼ目標に達していた。

これらの結果から、超緩効性肥料ハイコントロール 700 日タイプを元肥として施用することにより、下刈り期間を 1 年短縮できる可能性が示された。さらに、その効果を確実なものとするうえで、グルタチオン施用は有効であると考えられた。本試験条件下では、育苗時および植栽時に適量のグルタチオン施用を行い、ハイコントロールを 200 g 以上施用した場合、植栽後 3 年次までに下刈りを終了できる可能性が高まった（樹高 150 cm を基準とした場合）。

次に、試験地における競合植生高および競合指数との関係について解析した。まず、植栽時の GSSG 粒剤施用が競合植生高に及ぼす影響を解析した（図 3）。試験地では前年に地拵えが行われており、既にな草が繁茂していたが、元肥施用量やグルタチオン粒剤施用の有無にかかわらず、75% 以上の地点で競合植生高は 150 cm を大きく下回っていた。このことから、上記で考察した 3 年よりも早期に下刈りを終了できる可能性が示唆された。

競合植生状態については、2021 年から 2024 年までの推移を調査した（図 4、図 5）。

裸苗においても、植栽時の粒剤施用により競合指数が低下した。これは、カラマツ等で報告されている既往の結果と一致しており、植え穴直下に粒剤を施用することで、雑草よりも植栽木が優先的に肥料効果を受けた可能性が考えられる。同様の効果は、ハイコントロール施用量の少ない区においても認められた。

2022 年夏の段階でも競合指数 0~2 が優勢となる区が存在しており、競合植生が比較的的低く、かつ十分な樹高を確保できている条件下では、さらに早期に下刈りを終了できる可能性が示された。

図 6 には、各処理区における樹高と競合植生高との関係を示す。ハイコントロール 200 g 施用区で粒剤を施用した区では、樹高が安定して高く推移しており、競合指数との関係（図 4）から、W2 水和剤を併用した場合には下刈り終了時期をさらに早められる可能性があると考えられた。

以上を総合すると、超緩効性肥料ハイコントロール 700 日タイプを元肥として使用し、育苗期間を短縮した苗を林地に植栽した場合、岐阜県森林研究所での既往の成果と一致して、下刈り期間を 1 年短縮できる可能性が確認された。さらに、競合植生との関係を考慮すると、本試験地条件では、グルタチオン施用により下刈り終了時期を追加で 1 年早められる可能性が示された。

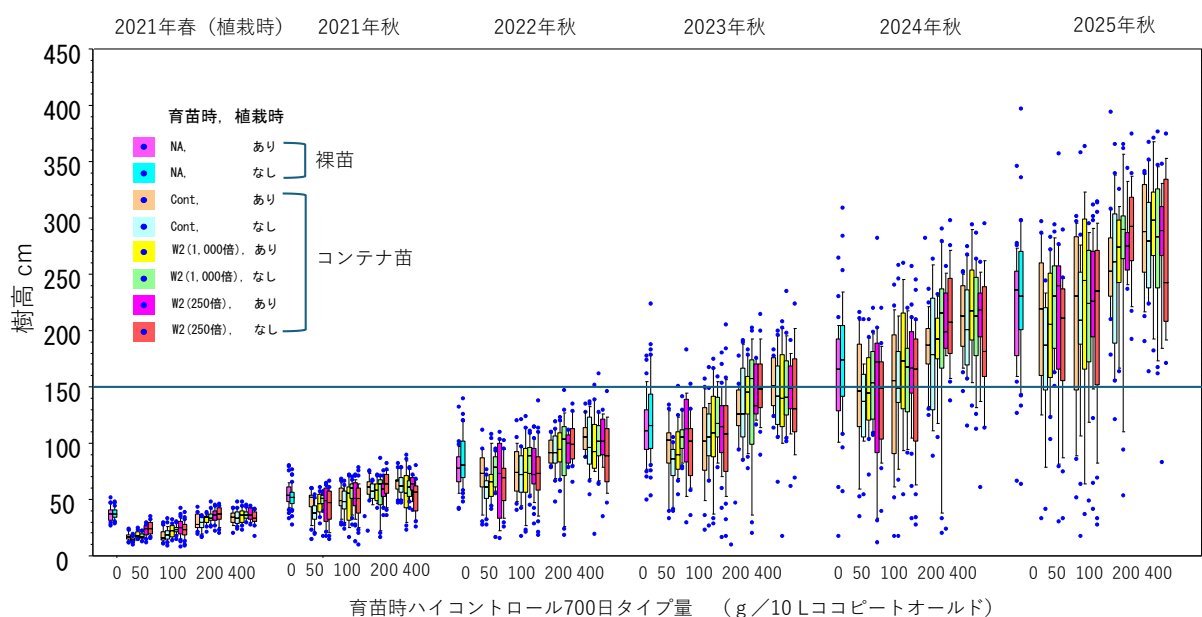


図 1. 植林地（下呂神割国有林）における植栽後の樹高成長の推移

育苗時の W2 (GSSG) 水和剤施用条件、元肥として施用した超緩効性肥料ハイコントロール 700 日タイプの量 (50、100、200、400 g/10 L)、ならびに植栽時の GSSG 粒剤施用の有無が、植栽後の樹高成長に及ぼす影響を示した箱ひげ図である。12 区画に植栽した全 534 本について、各成長期末の樹高を用いた。凡例中の NA は裸苗を示し、以降の図においてハイコントロール量が 0 g の区は裸苗を表す。

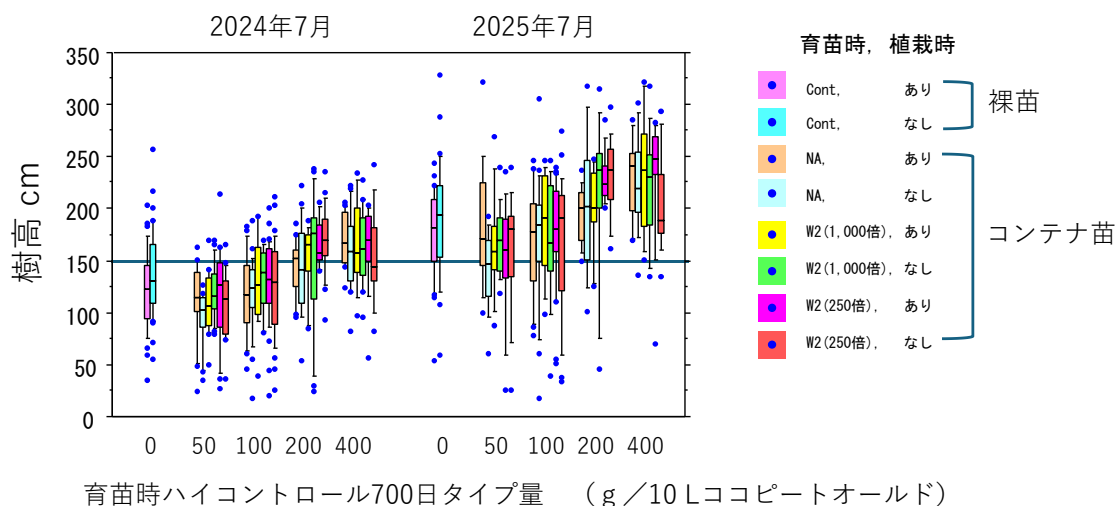
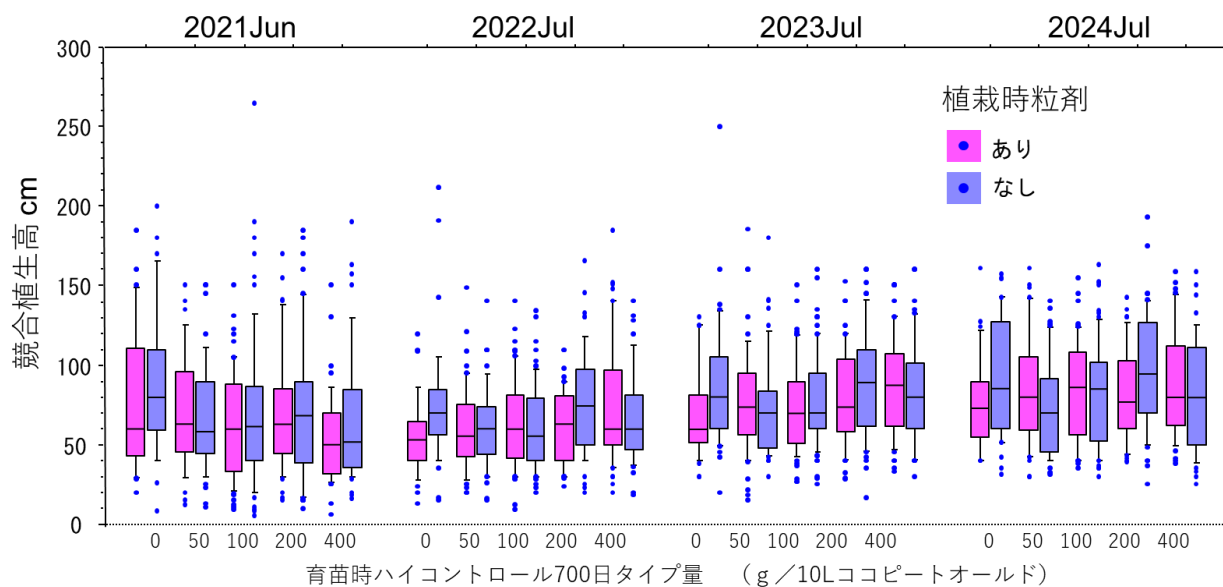


図 2. 目標樹高 150 cm に到達した個体の割合 (2024 年夏および 2025 年夏)

箱ひげ図によって、各処理区において樹高 150 cm 以上に到達した個体の割合を示す。2024 年夏および 2025 年夏の調査結果を比較することにより、育苗時および植栽時のグルタチオン施用とハイコントロール施用量が、目標樹高到達時期に及ぼす影響を示している。



※ハイコントロール0は裸苗であり、他はコンテナ育苗苗である

図 3. 競合植生高の分布

植栽時の GSSG 粒剤施用の有無が、競合植生高に及ぼす影響を示す。調査地点ごとの競合植生高の分布を処理区別に示した。

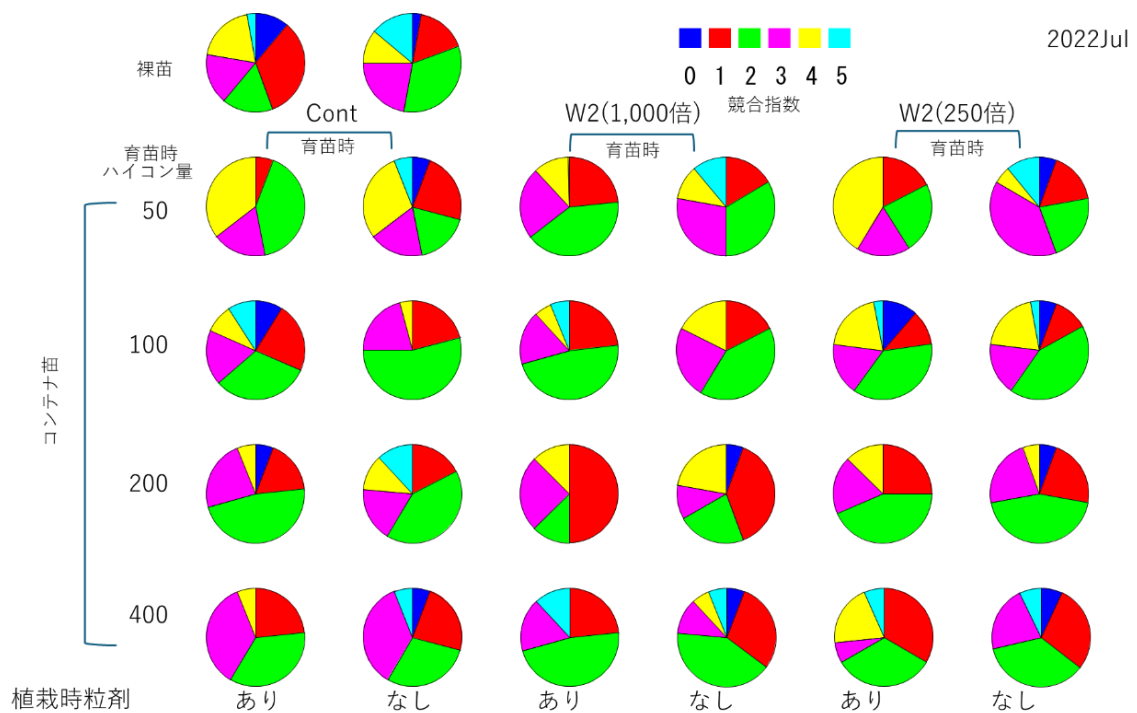
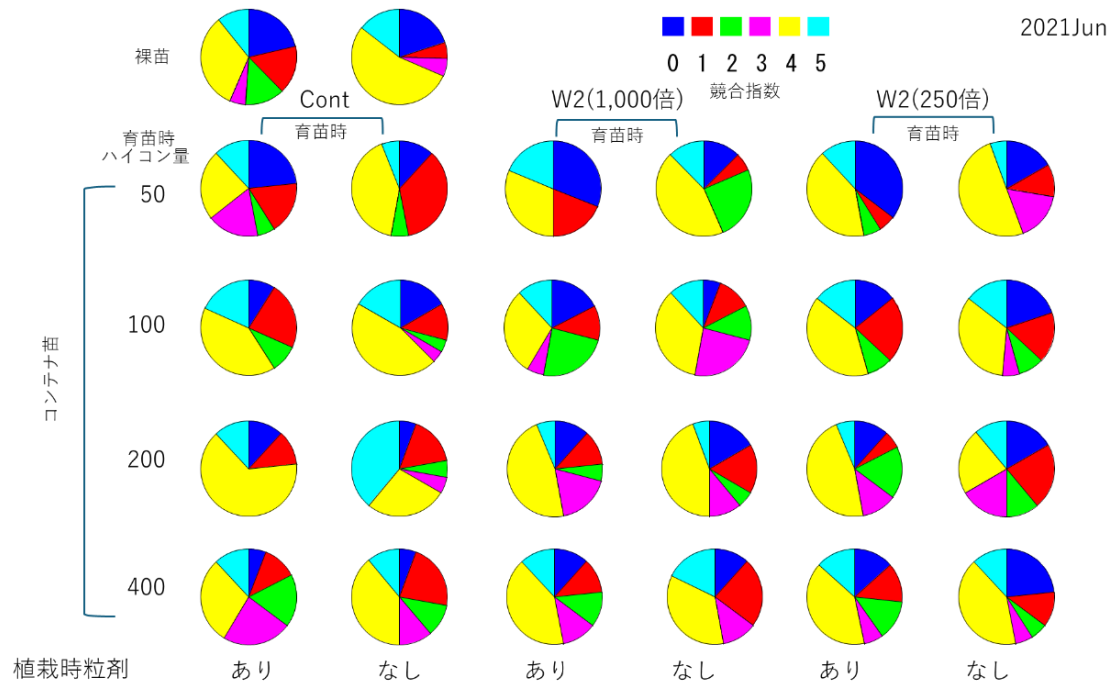


図 4. 競争指数の推移 (2021 年および 2022 年)

各処理区における競争指数の分布を示す。競争指数は値が小さいほど競争が弱い状態を示し、植栽後初期段階におけるグルタチオン粒剤施用および肥料施用条件の影響を比較した。

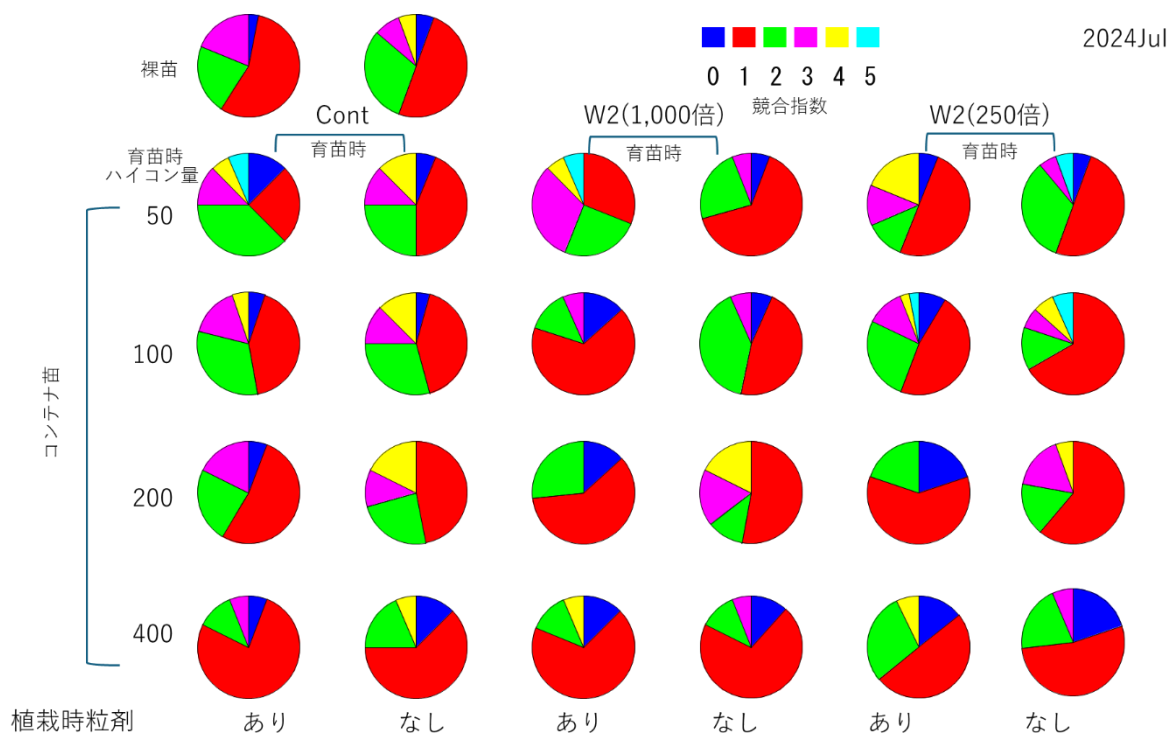
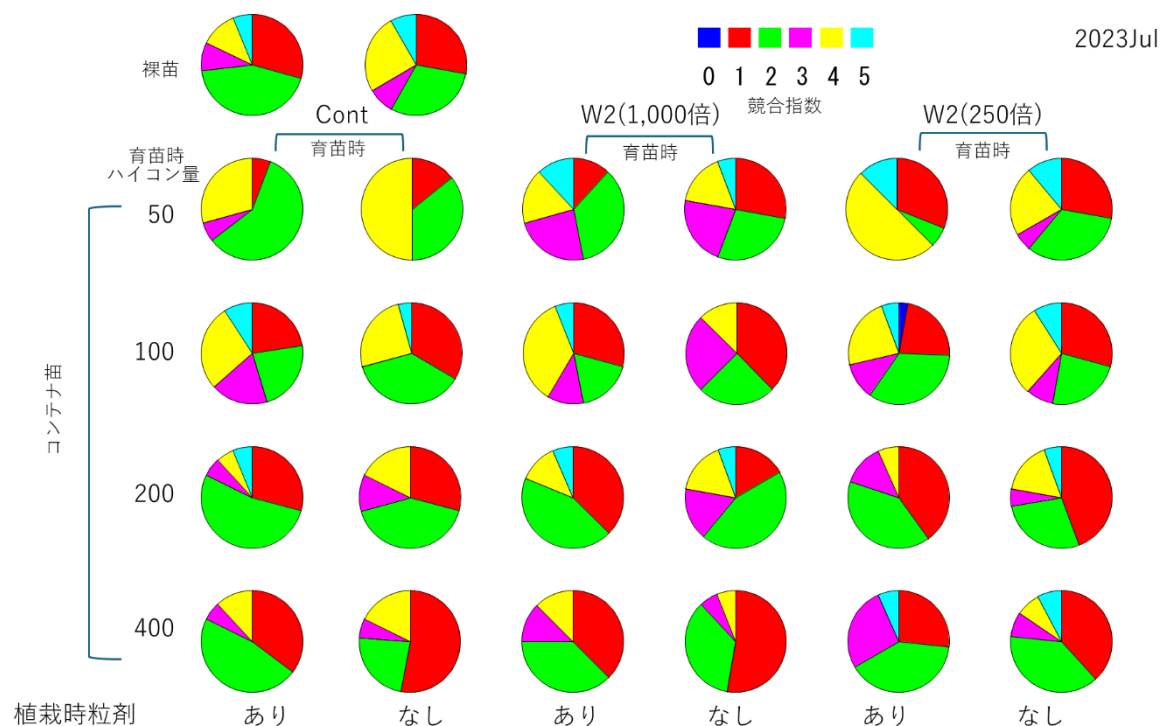


図 5. 競合指数の推移 (2023 年および 2024 年)

図 4 に続き、植栽後年次の経過に伴う競合指数の変化を示す。処理区間の差異および経年的な競合植生の変化を明らかにしている。

【未利用資源を利用した育苗培地の開発】

活用が十分行われていない資材を用いて GSSG の成長促進効果を高める組成についての開発に新たに成功した。特許出願につき、詳細は別途公開する。

課題名

持続可能な飼料・食品産業を支える発酵技術開発

〔背景と目的〕

昨今、高騰する食糧価格の話題を耳にするたび、近い将来、食物に不自由するのではと不安を感じる。水産物に目を向けると、既に食卓に上る養殖魚の生産量は天然魚の捕獲量を上回っている。養殖魚の餌の主要部分はイワシなど、天然の小魚類である。その資源量は、植物プランクトンによる光合成を源泉に日々新生され続けるものの、いずれ需要に供給が追いつかなくなる懸念があり、養殖による生産体制も大きな負の影響を受けるであろう。そこで近年、養殖に供する小魚類を大豆など、光合成に由来する植物性原料に代替する研究開発が盛んである。植物は事実上、再生可能な資源と捉えられるからである。植物由来の飼料に、対象魚の成長に適したアミノ酸組成を持たせることや、消化不良に帰する有害な成分を除くこと、養殖魚にとって必須な栄養素を補うことなどが、開発目標である。

我々は、微生物の力を活用して、発酵により植物由来飼料の品質を改善する方策を整理した。原料はたんぱく質が豊富であること、及び原料に作用させる微生物に食経験があることからして、食用油の生産に伴う副産物であり、価格競争において勝機のある脱脂大豆粕と納豆菌の組み合わせが最善であると考えた。

また、将来的に、多種多様な代謝能力を有する枯草菌の遺伝子資源を活用した納豆菌優良株の育種も考えられる。仮に遺伝子組換え技術を使ったとしても、分類学上同種である枯草菌から納豆菌への有用遺伝子の導入(移植)はナチュラルオカレンスの範疇にあり、いわゆる遺伝子組換え体に該当しない。安全性が担保されることが大前提であるが、枯草菌の遺伝子資源には期待するものが大きいと考えている。

〔今年度の成果〕

タウリンは魚類の成長に必須の栄養素であるが、海水魚、特にその稚魚はタウリンの生合成能力が低く、餌から摂取している(1)。上述の通り、代替飼料に目が向けられるところであるが、原料である植物自体にタウリンを生成し、蓄積する能力を期待することは、既知の知見(2)からして難しい。養殖現場では現在、エネルギーを投入して化学的に合成したタウリンが添加されている。原料に微生物を作用させ、発酵の力で飼料にタウリンを強化できれば、持続可能性の向上に直結することから、その可能性について遺伝子レベルでの検討を行った。

この目的に供する微生物は、養殖魚と最終消費者である人間の両方に対して無害でなければならないので、一般的に安全と認められている生物種、いわゆる GRAS 認証された生物から候補を探すのが適当と考えた。納豆菌が属する、枯草菌グループはそのような候補の一つである。枯草菌の、ある菌株によって発酵作用を受けた豆乳中にタウリンが検出されたとの報告がある(3)。枯草菌グループに属する菌は一般に、大豆のたんぱく質を低分子化する能力が高いなど、飼料の製造に供する上で魅力的であるが、どのようなサブグループに属する菌がタウリンを生合成し得るのか十分に検討されていない。タウリンは、哺乳類、無脊椎動物、藻類、海洋シアノバクテリア、海洋フラボバクテリアなどの生物では、L-システインを経由して

生成される(4)。L-システインは、まずシステインジオキシゲナーゼ(CDO)によってL-システインスルフィン酸に変換され、さらにシステインスルフィン酸脱炭酸酵素(CSAD)によってヒポタウリンに変換され、最終的にタウリンへと酸化される。公開されている納豆菌のゲノム配列情報によると、CDO および CSAD であるらしいとアノテーションされた候補遺伝子が見つかるが、その真正性は未だ確認されていない。

タウリンの生合成に必須な CSAD 遺伝子を同定するため、予め遺伝子操作を施した特殊な大腸菌を宿主に、外来の CSAD 候補遺伝子を導入・発現させ、遺伝子組換えされた大腸菌の変化を観察する手法を開発した。詳細は、発表済みの論文を参照されたい(5)。その概要は、人為的に L-システイン酸を利用できなくすることで、同物質を単一硫黄源とする培養条件下において、L-システイン要求性となる大腸菌を予め作製しておき、この細胞が、評価対象である CSAD 遺伝子の導入を受けた後、L-システイン非要求性に復帰するかを評価するものである。この手法を用いて実際に、ある酵母から見出した CSAD とみられる候補遺伝子が大腸菌内で機能し、L-システイン酸からタウリンを生成することを確認できた。CSAD はグルタミン酸脱炭酸酵素と構造上の類似性が極めて高いため、遺伝子の情報だけで CSAD の真正性を推定することは難しいが、今回、簡便にその真正性を確定する方法論を確立できたと考えている。

また、この手法の開発にあたり、特に、ある生物の全ゲノムライブラリーや、不特定・複数の生物に由来するメタゲノムライブラリーといった、スクリーニングに供試する対象物中に期待する遺伝子の存在確率が低く見込まれる場合においては、偽陽性の出現を抑えるために腐心した。操作を簡便にするために市販の Davis 最小寒天培地を利用したが、このことが結果的に偽陽性の出現を許していた。当初、培地中に未知なる硫黄源の存在が疑われたが、遺伝生理学的な解析により、既知のメカノセンシティブチャネル MscK に新奇な Gain-of-function 型の変異が生じ、異常なゲートの開閉に伴い、Davis 最小培地に比較的高濃度に含まれる硫酸イオンが濃度勾配に従って流入し、硫黄源になることが分かった。本手法では偶然にも、そのような MscK の変異体が選抜される条件が重なっていた。原因が分かったことで、いくつかの改良策を講じることができた。また、本来の研究目的からは外れるが、MscK の機能を理解していくうえで有意義と思われる、この特徴的な表現型に帰す *mscK* の複数の変異アレルの存在や、影響を与えうる ClsA(細胞膜成分であるカルジオリピンの合成酵素)との関わりなど、新たな知見も得られた。

参考文献

1. **Pinto W, Rønnestad I, Dinis MT, Aragão C.** Taurine and fish development: insights for the aquaculture industry. *Adv Exp Med Biol* 2013;776:329–334. doi: 10.1007/978-1-4614-6093-0_30.
2. **Zarei I, Brown DG, Nealon NJ, Ryan EP.** Rice bran metabolome contains amino

acids, vitamins & cofactors, and phytochemicals with medicinal and nutritional properties. *Rice* 2017;10:24. doi: 10.1186/s12284-017-0157-2.

3. **Gao YX, Xu B, Fan HR, Zhang MR, Zhang LJ, Lu C, Zhang NN, Fan B, Wang FZ, Li S.** ¹H NMR-based chemometric metabolomics characterization of soymilk fermented by *Bacillus subtilis* BSNK-5. *Food Res Int* 2020;138:109686. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109686.
4. **Agnello G, Chang LL, Lamb CM, Georgiou G, Stone EM.** Discovery of a substrate selectivity motif in amino acid decarboxylases unveils a taurine biosynthesis pathway in prokaryotes. *ACS Chem Biol* 2013;8:2264–2271. doi: 10.1021/cb400335k.
5. **Nishikawa M.** Identification of the *Yarrowia lipolytica* cysteine sulfinic acid decarboxylase gene using a newly developed method with optimized *Escherichia coli* combinations of mutant alleles. *Microbiology* (Reading) 2025;171(11):001620. doi: 10.1099/mic.0.001620.

令和7年度の活動

1. 報文(総説・原著論文等)

Masanobu Nishikawa

Identification of the *Yarrowia lipolytica* cysteine sulfinic acid decarboxylase gene using a newly developed method with optimized *Escherichia coli* combinations of mutant alleles.

Microbiology (Reading). 2025 Nov;171(11):001620. doi:

10.1099/mic.0.001620.

PMID: 41187071

概要：海水魚の持続可能な養殖に向けて、大豆粕などを使った代替飼料が開発中である。補充を要する栄養素の一つ、タウリンは、化学合成品と比べて低コストで環境に優しい発酵生産物が好適かもしれない。タウリン発酵に供する微生物について、生合成経路の鍵となるシステインスルフィン酸脱炭酸酵素 (CSAD) の研究は不可欠であろう。今般、合成生物学的に、タウリンの前駆体である L-システイン酸の脱炭酸後の硫黄を同化する大腸菌の増殖を指標に、CSAD 遺伝子の探索法を考案した。使用する大腸菌には、*cysA* (硫酸/チオ硫酸 ABC トランスポーター) と *ssuD* (FMNH2 依存性アルカンスルホン酸モノオキシゲナーゼ) の両遺伝子、その他の遺伝子に多重欠損変異を導入した。本手法を *Yarrowia lipolytica* 由来のグルタミン酸脱炭酸酵素遺伝子に適用し、コードされる酵素が L-システイン酸や L-システインスルフィン酸をも脱炭酸することを示した。

Kenji Henmi, Taku Mohri, Aya Hatano-Iwasaki and Ken'ichi Ogawa

Oxidized glutathione improves phosphorus acquisition efficiency in plants
Soil Science and Plant Nutrition (in press)

<https://doi.org/10.1080/00380768.2025.2612625>

概要：酸化型グルタチオン (GSSG) 施用により、シロイヌナズナとシュンギクの両種でバイオマス、リン含量、リン吸収効率が増加し、共通するメカニズムが働いていると考えられた。GSSG 施用による成長促進にリン酸輸送体 PHO1 ではなく、そのホモログ PHO1;H1 が関与していた。GSSG がリン吸収効率を高め、リン肥料依存を減らす有望な補助剤であることを示した。

逸見健司、毛利拓、岩崎 (葉田野) 郁、小川健一

酸化型グルタチオンは植物のリン吸収効率を向上させる

日本土壌肥科学雑誌 (印刷中)

概要：日本土壌肥科学雑誌 (Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition) に掲載された上記論文の日本語版 Abstract である。

2. 学会・シンポジウム・講演会等での発表（英文大会名は国際学会、招は招待講演）

小川健一、望月智史、逸見健司

「GSSG施用によるリン吸収効率の向上と成長促進」

第 67 回日本植物生理学会年会（2026 年 3 月 13 日、東京）

望月智史、小川健一

「グルタチオンによる植物成長調節効果に対するマグネシウム肥料の影響」

第 67 回日本植物生理学会年会（2026 年 3 月 13 日、東京）

野田壮一郎、小川健一（P）

「窒素の取り込みに対するシロイヌナズナ *NodGS* 遺伝子の影響」

第 67 回日本植物生理学会年会（2026 年 3 月 13 日—14 日、東京）

3. 職務発明

職務発明認定 1 件（特許出願済）、国際出願 1 件、特許査定されたもののうち 3 社への実施許諾あり（JST と岡山県、JST 単独）

4. 共同研究・協力連携先

岡山県農林水産総合センター内

水産研究所、森林研究所、農業研究所、普及連携部

大学関係

岡山大学、北海道大学、酪農学園大学、秋田県立大学、東北大学、千葉大学、東京農業大学、京都大学、大阪大学、神戸大学、香川大学、九州大学、慶応義塾大学、Mahidol 大学（タイ）、Kasetsart 大学（タイ）、中興大学（台湾）

県外機関等

宇宙航空研究開発機構（JAXA）、日本原子力機構高崎量子応用研究所、国際農林水産業研究センター（JIRCAS）、森林研究・整備森林総合研究所、森林研究・整備森林総合研究所鱗木育種センター、タイ王国農務省ラヨングフィールドクロップセンター（タイ）、Agricultural Genetics Institute（ベトナム）、Vietnam Cassava Association（ベトナム）、Thai Tapioka Developmental Institute（タイ）、Taiwan Agricultural Research Institute（台湾）、北海道、青森県、岩手県、秋田県、山形県、群馬県、富山県、長野県、山梨県、静岡県、岐阜県、大阪府、兵庫県、高知県、徳島県、福岡県、宮

崎県、熊本県、沖縄県などの地方公共団体研究機関、トヨタ自動車株式会社、日本製紙株式会社、住友林業株式会社、株式会社カネカ、ENEOS 株式会社、ENEOS テクノマテリアル株式会社、J リーフ株式会社、三井物産アグロビジネス株式会社、九州計測器株式会社、三菱商事ライフサイエンス株式会社、クニミネ工業株式会社、株式会社 WAKU、株式会社システムズ・エンジニアリング、I H I、興農（台湾）、AMCEL 社（ブラジル）、Bunbury Treefarm Project 社（オーストラリア）等の民間企業、グルタチオン農業の実現を目指す技術開発ネットワーク（農林水産省事業、拠点として40以上の団体・機関と連携）

5. 外部資金獲得状況

なし

6. その他

「グルタチオン農業の実現を目指す技術開発ネットワーク」の拠点として活動

岡山県立大学連携大学院 教授（客員、兼任）（小川健一）

岡山県立大学連携大学院 准教授（客員、兼任）（西川正信）

・技術支援

生産者への説明支援および技術説明会等適宜実施（小川健一）

・出前授業 県立井原高校（小川健一）

食農研究グループ

専門研究員	逸見 健司（グループ長）
所長	畑中 唯史
流動研究員	楊 靈麗

課題名

県産農作物の機能性評価による高付加価値化の推進

【概要】

「第4次晴れの国おかやま生き生きプラン（令和7年3月策定）」では「重点戦略Ⅲ 地域を支える産業の振興」のひとつとして「儲かる農林水産業加速化プログラム」が掲げられており、この中でも「ブランディングの推進」は重点施策として位置づけられている。「おかやま農林水産プラン（令和7年2月策定）」においても、「ブランド力強化」「ブランド確立」が掲げられており、県産農作物への付加価値付けを推進することが求められている。

国連で採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」においても、「（#9）産業と技術革新の基盤をつくろう」という目標が設定されている。この目標も謳っているように、本課題を通して、農業が持続的に安定化した産業となることに貢献する。冒頭の生き生きプランにおいても、SDGsの要素は、地域課題解決にも効果が期待できるとされている。

本課題では、農作物の機能性研究を通して、農作物の機能的な差別化・付加価値付けをはかり、本県農業へ貢献することを目的とする。県産農作物を主な対象として、機能性代謝物や機能的な特性（生体に及ぼす効果を推定する指標）を分析することで、“機能的な優位性”を見出す取り組みを推進する。これは、生産者ニーズでもある農作物の付加価値（ブランド力）向上につながるとともに、6次化産業への波及も期待できる。健康な長寿社会の実現が強く求められており、消費者の立場からみると、生体調節機能（食品の第三次機能）に対する関心や期待は高い。「機能性表示食品制度」の導入（平成27年4月）もそのひとつと考えられる。この制度の導入以来、機能性食品市場は拡大傾向にあるとの調査結果もある（矢野経済研究所、令和8年2月）。節制ではなく、“食べて”健康の維持・増進を図ることが求められている。野菜や果物には、食品の第三次機能に効能をもつ多種多様な「機能性成分」が含まれることから、これらの日常的な摂取が健康の維持・増進に寄与すると考えられる。農作物の機能性研究を通して、「消費者の食や健康」と「生産者のブランド志向」の双方に貢献する成果を目指す（次ページの概念図参照）。



概念図 課題名「県産農作物の機能性評価による高付加価値化の推進」

[背景と目的]

農作物に対する消費者ニーズは、時代とともに変化してきている。食糧難の時代には増産が求められ、生産量がある程度満たされるとおいしさが求められ、飽食ともいわれる近年にあつては、健康な長寿社会への希求とも相まって、生体調節機能に期待や関心が移ってきている。

野菜の主な流通品種は、戦後経済の発展に伴って、安定的な大量生産に適した品種へと転換が進んだ。本課題では、生産のしやすさが求められたあまり、見過ごされがちだった県内の在来品種の機能性に着目した。また、ブドウの果皮やトウガラシの葉など、多くの品種では未利用であるが、食用とされる品種を対象として、その機能性にも着目した。これまでにこれら多くの県特有の農作物で、機能的な成分や特性（ヒト生体への影響を評価する指標）は、ほとんど不明である。

ヒト生体内で有益な生理作用をもつ代謝物の研究は進展しており、情報が蓄積されてきている。カロテノイドやポリフェノールの機能には、生体調節作用や疾病に対する予防や改善効果が知られている（Saini et al. 2022、中村 2023）。カロテノイドには、 β -カロテンや α -カロテンのように、生体内でビタミンAに代謝されるもの（プロビタミンA）がある。カプサンチンにはラットにおいてHDL コレステロール（善玉）を増やす効果が認められている（Aizawa and Inakuma 2009）。このように、個々に特有の機能を有する一方で、共通して抗酸化能（一重項酸素消去能）を有することも知られている（向井と大内 2013）。ポリフェノールでは、ケルセチンに脂肪分解促進活性や血圧低下作用などが知られており、特定保健用食品にもケルセチン配糖体を配合する飲料が登録されている（立石ら 2018）。イソチオシアネートには、抗酸化酵素の誘導による間接的な抗酸化作用、解毒酵素の誘導、抗がん作用、抗菌作用、抗炎症作用など多様な生理機能が知られている。研究事例の多いスルフォラファンにも、多くの慢性疾患に対する防御機構として認識されているヘムオキシゲナーゼなど抗酸化酵素の発現を誘導する機能が認められている（Yadav et al. 2022）。

本課題では、在来品種を含む県産農作物を対象として、代謝物や機能的な特性を分析することで、その機能的な優位性を見出す。上述のような既報から得られる情報も活用して、農作物の特徴づけ、差別化により、付加価値の向上を図ることを目的とする。

[今年度の成果]

1 姫とうがらし（赤姫）の色づきに寄与する環境要因

姫とうがらしは鏡野町奥津地区のトウガラシ在来品種であり、生産管理団体のNP0法人「てっちりこ」によって生産振興や六次産業化がはかられている（新聞報道 2025）。秋に成熟果（赤姫）、初冬に未熟果（青姫）が収穫され、それぞれの用途で出荷されている。成熟果の果皮は、特徴的な濃い赤色を呈しているが、果皮色はカロテノイドに由来すると考えられる。また、カロテノイドは一重項酸素の消去能が高いことが示されている（向井と大内 2013）。これまでに、5種類のトウガラシ一般流通品種（赤品種：鷹の爪、やまと紅、朝天唐辛子、沖縄島とうがらし； 黄品種：黄とうがらし）、および、

同じトウガラシ属で多様な果皮色を有するパプリカ（赤、橙、黄）と比較することで、姫とうがらし（赤姫）の特徴を調べた。姫とうがらしは、調べた9種類の中では、総カロテノイド含量、一重項酸素消去能(SOAC 値)が最も高かった(食農研究グループ 2024)。

生産地では、成熟果は9月から11月の収穫期のうち、終期になるほど色づきが低下する。収穫後の果実は、習慣的に天日干しされており、季節の風物詩にもなっている(図1-1A)。しかし、天日干しには、果皮色を特徴的な赤色へ改善させるだけでなく、総カロテノイド含量と一重項酸素消去能をさらに高める効果も認められた(食農研究グループ 2024、2025)。この一方で、晩秋にはさらに色づきが低下し、生産ロスとなってしまう問題がある(図1-1B)。そこで、効率的な機能性の向上や生産ロスの抑制につながる知見を得るために、果実の色づきに寄与する環境要因について検討した。

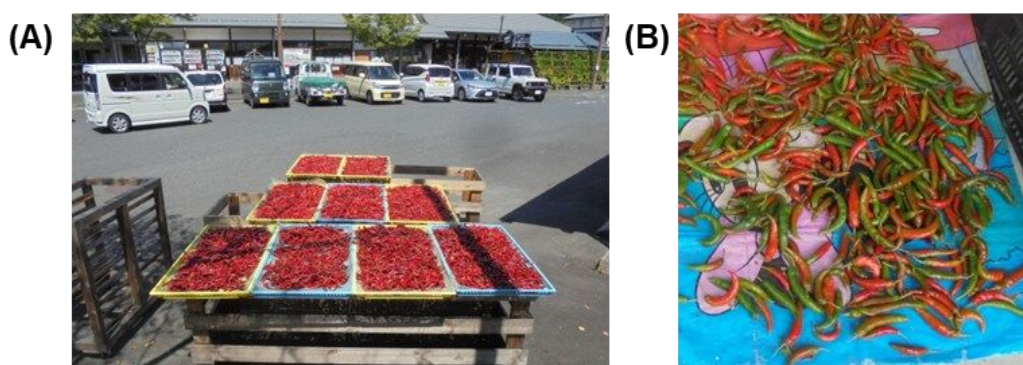


図 1-1 生産地における天日干し作業(A)および晩秋の未熟果(B)

【材料および方法】

姫とうがらしサンプルの調製 姫とうがらしは、NPO 法人てっちりこの契約農家（鏡野町奥津地区）において栽培された。

赤く呈色した成熟果（赤姫）に対する天日干し効果（より呈色する環境要因）の検証のためには、2024 年 10 月 22 日に現地にて成熟果をサンプリングした。生物科学研究所の特定網室内において6日間天日干しまたは遮光干し処理した(図1-2A)。天日干し区の果実は、網室内の窓際に吊し、遮光干し区の果実は、寒冷紗で被覆したトレー内に吊した。処理期間は、生産地での商業生産における最長期間に準じた。処理後に果実を液体窒素で凍結させ、凍結粉碎まで-80℃の冷凍庫にて保管した。凍結した状態の果実を破碎装置 Shake Master（バイオメディカルサイエンス）を用いて粉碎し、凍結乾燥機 FDU-1110（東京理化工機）を用いて乾燥させた。乾燥後の微細粉末をカロテノイドの定量に供した（食農研究グループ 2024）。

呈色し始めた未熟果に対する天日干し効果（呈色する環境要因）の検証のためには、2025 年 10 月 17 日および同 11 月 18 日に現地にて未熟果をサンプリングした。果実の果皮色を測定し、色度 a^* が平均化するように、4 グループに分割した。疑似太陽光の蛍光灯型 LED を搭載した人工気象器（日本医工器械製作所）を用いて、連続明期/暗期（明期の場合は最大光量子量 $330 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）と低温（5℃）/高温（30℃）の条件を組み合わせ、4 条件にて6日間処理した。

【結果および考察】

成熟果（赤姫）がより呈色する環境要因 天日干しには、果皮色を改善するとともに、総カロテノイド含量と一重項酸素消去能をさらに高める効果が認められている（食農研究グループ 2024、2025）。環境要因のうち、温度（気温）と光条件の寄与度を検証するために、天日干しと遮光干しの効果をカロテノイド含量で評価した。両区とも温度条件はほとんど同じであり、遮光干し区では寒冷紗によってほとんど遮光されていた（図 1-2B）。処理前の果実を 3 グループに分割し、処理前、天日干し後および遮光干し後の総カロテノイドを定量した。総カロテノイド含量は、いずれの光条件においても天日干ししない場合よりも同程度に増加した（図 1-2B）。ほとんど温度条件の寄与によるものと考えられた。

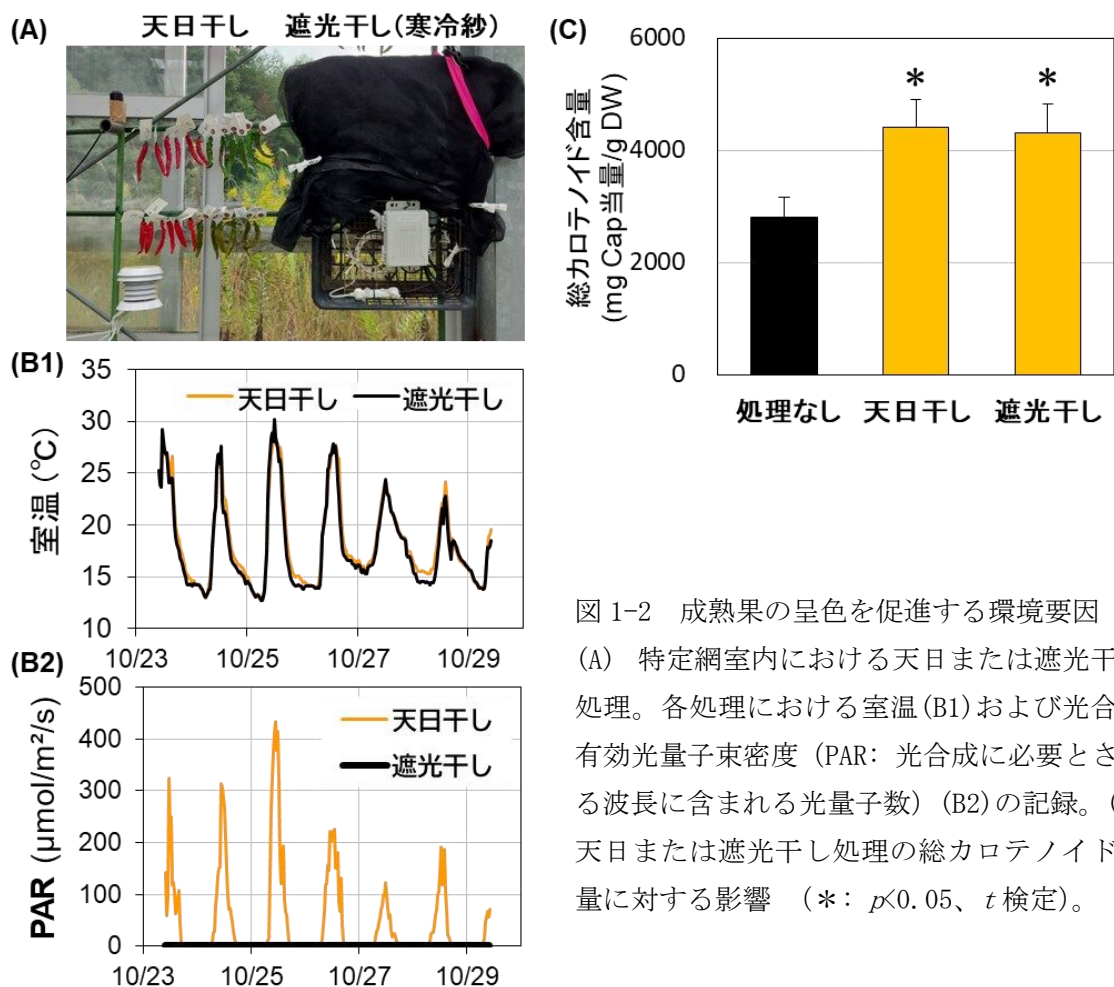


図 1-2 成熟果の呈色を促進する環境要因

(A) 特定網室内における天日または遮光干し処理。各処理における室温(B1)および光合成有効光量子束密度 (PAR: 光合成に必要とされる波長に含まれる光量子数) (B2) の記録。(C) 天日または遮光干し処理の総カロテノイド含量に対する影響 (*: $p < 0.05$, t 検定)。

未熟果が呈色する環境要因 10 月の未熟果を上述の 4 つの条件で処理し、6 日後の色づきを観察した。明暗条件によらず、5°C ではほとんど登熟が進まなかったのに対して、30°C で登熟が促進された（図 1-3A）。登熟の進行には、温度条件（加温）の寄与が大きいと考えられた。

収穫期末に近い 11 月の未熟果に対しても、10 月とほぼ同様に、温度条件の寄与が大きいと考えられた（図 1-3B）。30°C の加温によって、どのようなタイミングで登熟が促

進されるか調べるために、連続明期条件において色づきの経時変化を観察したところ、22 時間後には大部分の果実で色づきが促進されており、約 3 日後にはほぼすべての果実で全体が色づいていた（図 1-3B）。

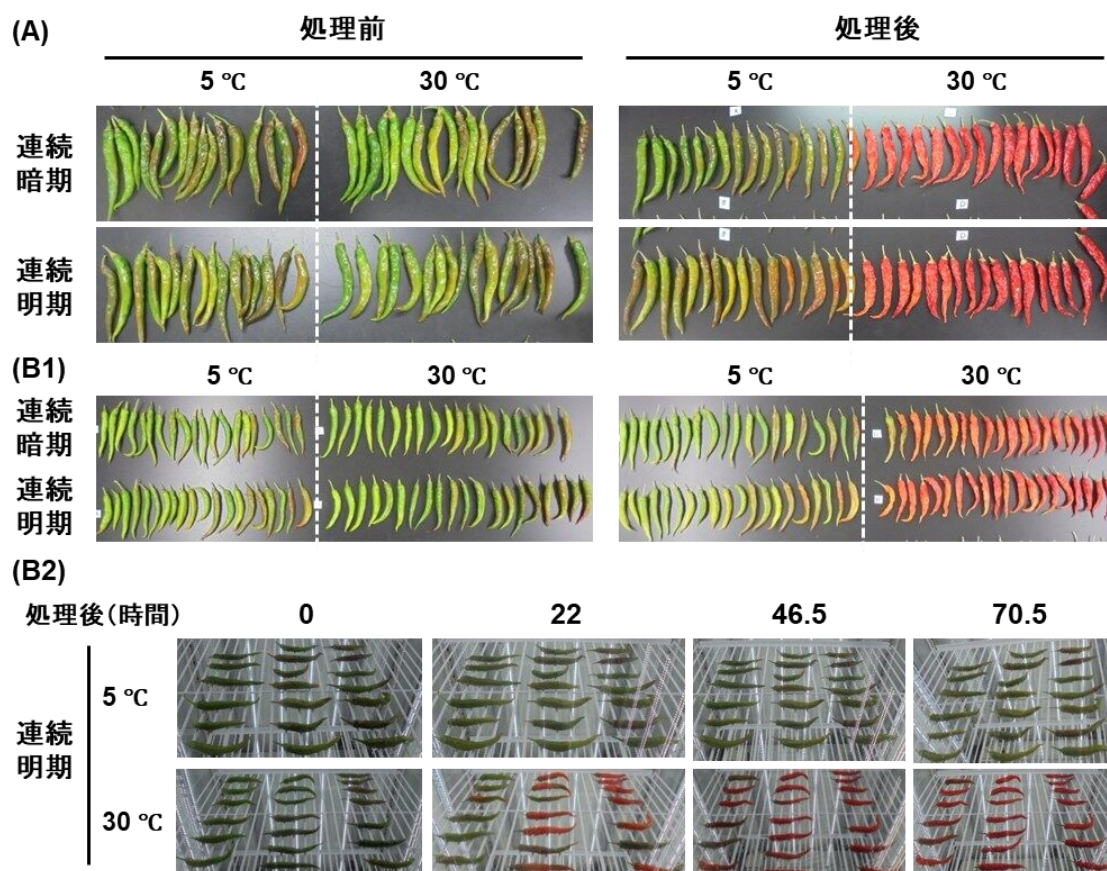


図 1-3 未熟果の呈色を促進する環境要因

10 月 (A) および 11 月 (B) の未熟果を用いた検証。10 月の未熟果は 6 日後 (A)、11 月の未熟果は 6 日後 (B1) および途中経過 (B2) の観察。

生産地における実証試験

上述の実験から得られた知見を生産地で活用していただいた。11 月末に呈色不良の未熟果を生産者から回収し、乾燥機（内部は遮光状態）を用いて 30℃ で加温した。30 時間後には、赤姫として出荷できる程度まで登熟が促進された（図 1-4）。



図 1-4 生産地における実証試験

成熟果の総カロテノイド含量は、天日干しによってさらに高まったが、遮光干しでも、この効果にほとんど影響しなかった。未熟果の呈色は、果実のサンプリング時期や光条件にかかわらず、30℃（加温）によって進行した。成熟果、未熟果のいずれにおいても、温度と光条件では、温度条件の寄与度が高かった。生産地における乾燥機を用いた実証実験では、これらの実験結果が活用できた。加温処理がなければ、生産ロスになったと考えられるが、削減され、収穫期末の収量向上に貢献する技術として期待できる。

【謝辞】

姫とうがらしの生産管理団体 NPO 法人「てっちりこ」（赤穂武夫理事長）にご理解をいただき、梅本治子さんと友広正さんよりサンプルを提供いただいた。実証実験も同法人の乾燥機を用いて実施した。現地でのサンプリング作業および果実の調査は、ノートルダム清心女子大学・吉金研究室（吉金優准教授、石倉由貴さん）と共同で実施した。

【引用文献】

Aizawa K and Inakuma T (2009) Br J Nutr **102**: 1760–1766.

Saini RK et al. (2022) Antioxidants **11**: 795–828.

石倉由貴（2025）ノートルダム清心女子大学人間生活学部食品栄養学科 2024年度卒業論文.

食農研究グループ（2024）生物科学研究所 令和5年度研究年報 54–67.

食農研究グループ（2025）生物科学研究所 令和6年度研究年報 57–69.

新聞報道「おかやまグルメ旅 辛みじわっと体ぽかぽか 鏡野特産の姫とうがらし（読売新聞、2026年1月25日）」

中村宜督（2023）日本食生活学会誌 **33**: 165–169.

向井和男、大内綾（2013）オレオサイエンス **13**: 371–378.

2 備前黒皮かぼちゃにおけるカロテノイド含量の特徴

備前黒皮かぼちゃは、瀬戸内市牛窓地区を中心に栽培されてきた在来品種（日本カボチャ）である。2024年1月29日に農林水産省において地域ブランドとして農林水産物などを保護する制度である「地理的表示（GI）保護制度」の対象として登録された（農林水産省ホームページ、新聞報道 2024）。濃い緑色と溝の深い果皮をもつ外観とは対照的な淡い黄色の果肉が特徴である（図 2-1A）。煮崩れのしにくさや生食でも食べられることも特徴で、同制度への申請団体である「備前黒皮かぼちゃ振興協議会」から多くのレシピが紹介されるなど、生産や販売の振興が図られている（同協議会のホームページ、新聞報道 2025）。

日本カボチャには、カロテノイド、ビタミン、食物繊維、ポリフェノールが豊富に含まれているとされる（Men et al. 2021）。これらの代謝物によって、抗酸化や抗糖尿病、抗炎症、肝臓保護、抗肥満など多様な機能性が期待されている（Men et al. 2021、

Mokhtar et al. 2021)。

これまでに、年次変動を考慮して、2023 年から 2025 年までの 3 年間にわたって、瀬戸内市牛窓産のサンプルを収集した。今年度は、果肉色の主な由来となっているカロテノイドについて、えびす（西洋カボチャ）との品種間比較を実施し、3 年間分の結果としてまとめた。

【材料および方法】

カボチャサンプル 2023 年、2024 年および 2025 年に、備前黒皮かぼちゃ振興協議会から提供を受けた瀬戸内市牛窓産の備前黒皮かぼちゃを用いた。対照として、広く栽培されているえびすを用いた（2023 年は JA 岡山はなやか牛窓店、2024 年および 2025 年は同瀬戸内店より購入した瀬戸内市牛窓産）。両品種とも、いずれの年も 7 月に収穫された。果皮色を測定したあとで、果皮と果肉に分割し、上述のトウガラシ属と同様の方法で凍結乾燥サンプルを調製し、カロテノイドの定量に供した（食農研究グループ 2025）。

果肉色の測定 $L^*a^*b^*$ 色空間法により評価した。色彩色差計 CR-400（コニカミノルタ）を用いて、明度 L^* 、赤と緑方向の色度 a^* および黄と青方向の色度 b^* を測定した。色度 a^* は赤方向が正の値、緑方向が負の値をとり、色度 b^* は黄方向が正の値、青方向が負の値をとる。

色度 a^* および b^* から彩度 C^* ($=[(a^*)^2+(b^*)^2]^{1/2}$) および色相角度 h ($=\tan^{-1}(b^*/a^*)$) を算出した。彩度 C^* は数値が大きいほど鮮やかで、小さいほどくすんだ色を示す。色相角度 h は赤方向の軸を 0° として、反時計回りに、黄方向が 90° 、緑方向が 180° 、青方向が 270° となる。このように角度で色相を示す。

【結果および考察】

果肉色 備前黒皮かぼちゃの果肉の色彩値を国内で広く栽培されているえびす（西洋カボチャ）と比較した。明度 L^* は高く、色度 a^* 、 b^* および彩度 C^* はいずれも小さく、くすんだ色を示した。色相角度 h は大きく、黄色（ b^* 軸の正方向）により偏っていた（表 2-1）。

カロテノイド含量および組成 標品の吸収スペクトルや保持時間との比較により、8 種類のカロテノイドが特定できた。備前黒皮かぼちゃの総カロテノイド含量は、えびすの 7 割程度であったが、その割合の多く（約 64%）はルテインであった（図 2-1B）。ルテイン含量は、えびすと比較して、3 割程度高かった。 α -カロテン含量も統計的に有意に高かったが、他のカロテノイドは同程度か低含量であった（図 2-1B）。

検出されたカロテノイドを黄色のカロテノイド（ α -カロテン、ルテイン、ビオラキサンチン、ククルビタキサンチン A、アンテラキサンチン）と、橙色のカロテノイド（ゼアキサンチン、 β -クリプトキサンチン、 β -カロテン）のグループに分けて、それぞれの総和の比（黄色／橙色）を比較した。備前黒皮かぼちゃにおける比 5.2 ± 0.4 （平均 $\pm$

SE) は、えびすにおける比 3.1 ± 0.2 よりも高かった ($p < 0.01$, t 検定)。備前黒皮かぼちゃの果肉色は、黄色と橙色のカロテノイド比が要因になっていると考えられる。色相角度 h で示された果肉色の特徴からも支持された。いずれもルテインの高含有を反映していると考えられる。

表 2-1 果肉食の比較

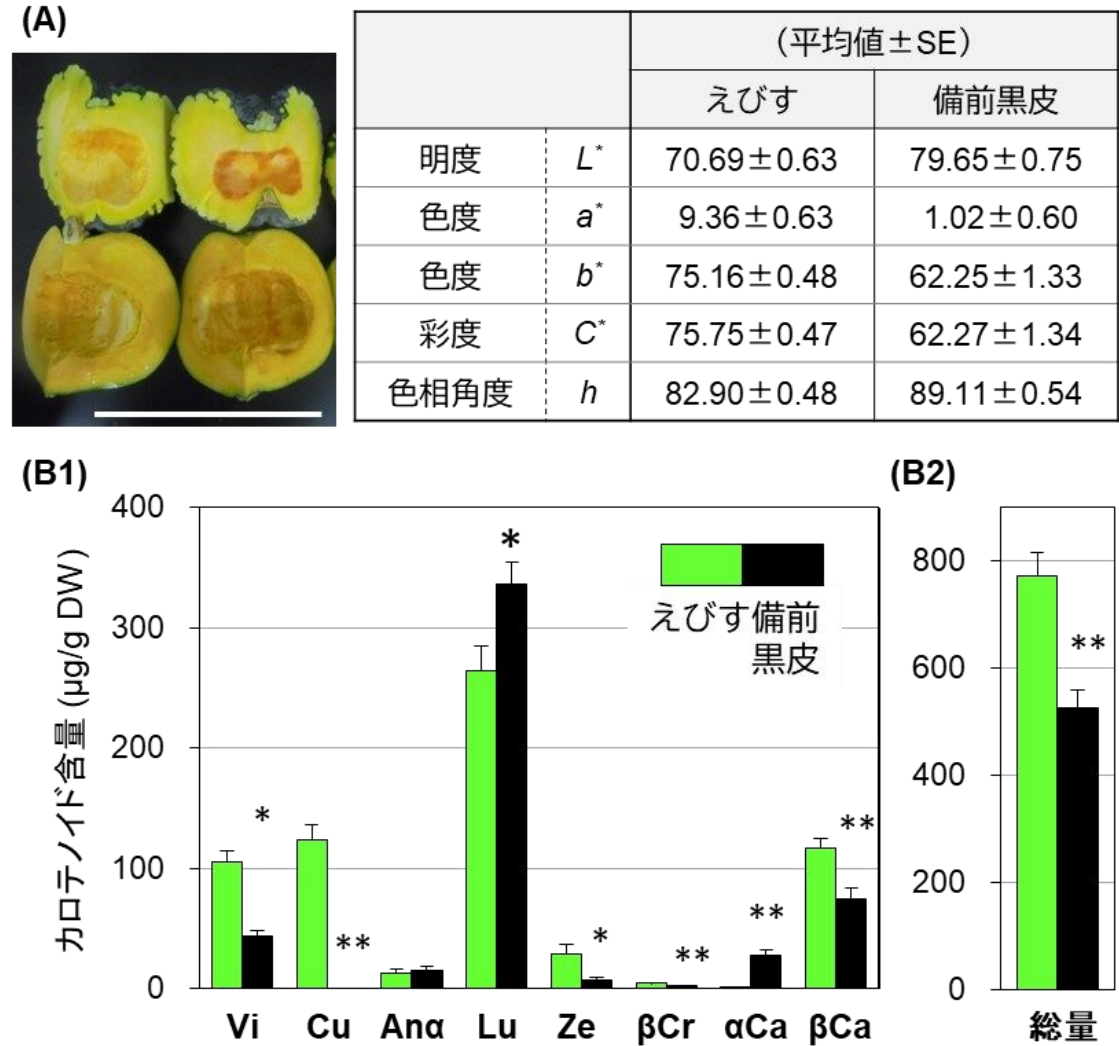


図 2-1 果肉におけるカロテノイドの特徴

(A) カボチャ果実の種子を除いた縦切り断面。上段が備前黒皮かぼちゃ、下段がえびす。スケールバーは 20 cm を示す。(B) 特定した 8 種類(B1)および総カロテノイド(B2)含量の比較 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, t 検定)。Vi: ビオラキサンチン、Cu: ククルビタキサンチン、Anα: アンテラキサンチン他、Lu: ルテイン、Ze: ゼアキサンチン、βCr: β-クリプトキサンチン、αCa: α-カロテン、βCa: β-カロテン。

α-カロテンは β-カロテンと同様に、プロビタミンA活性（生体内でビタミンAに代謝される）を有し、ビタミンAの摂取源となるカロテノイドである。また、ルテインは眼球の黄斑や水晶体に局在し、加齢などによって減少すると、目の機能が低下することが知られている。ルテインには強光ストレスの軽減や、抗酸化作用による酸化ストレ

スからの防御によって、視細胞を保護する役割があるとされている（中村 2022）。備前黒皮かぼちゃの果肉はその特徴的なカロテノイドの効率的な摂取源として生体調節に貢献すると期待される。

【謝辞】

本研究の推進にあたり、備前黒皮かぼちゃ振興協議会の安達勇治会長、藤岡泰平副会長にご理解、ご協力をいただいた。本研究の一部は、公益財団法人ウエスコ学術振興財団・研究活動費助成事業の支援を受けて実施した。

【引用】

- Men X et al. (2021) Food Sci Biotech **30**: 171-183.
- Mokhtar M et al. (2021) Molecules **26**: 3623-3636.
- Watanabe J et al. (2014) J Food Sci **79**: C1665-1671.
- 食農研究グループ (2024) 生物科学研究所 令和5年度研究年報 54-67.
- 食農研究グループ (2025) 生物科学研究所 令和6年度研究年報 57-69.
- 新聞報道 「地理的表示 備前黒皮かぼちゃ登録 瀬戸内市産、県内2例目（山陽新聞、2024年1月30日）」『「備前黒皮」丸々 カボチャ在来種 収穫本格化 瀬戸内（山陽新聞、2025年7月18日）」』『「備前黒皮の皮 豚の餌に カボチャ在来種 振興協、立龍美掃と協業（山陽新聞、2025年10月9日）」
- 中村宜督 (2022) 「食品でひく機能性成分の事典」女子栄養大出版部（東京）.
- 立石法史ら (2018) 化学と生物 **56**: 408-413.
- 地理的表示 (GI) 保護制度 登録産品一覧 第143号: 備前黒皮かぼちゃ (農林水産省)
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/gi_act/register/0143/index.html
- 「備前黒皮かぼちゃ振興協議会」ホームページ
<https://council.bizen-kurokawa.com/>

3 土居分小菜（どいぶんこな）を特徴づける生育特性および機能性代謝物

土居分小菜は、旧真庭郡二川村黒杭土居分（現在の真庭市湯原地区内）において栽培されていた在来品種である。湯原ダム建設に伴って、名に負う土居分地区が水没したのちも、旧二川村域の住民らによって受け継がれてきた歴史をもつ。切れ込みのある葉の形状と、ワサビ様の辛味が特徴である。「二川ふれあい地域づくり委員会」やノートルダム清心女子大学による加工品やレシピづくり、地元小学校への出前授業など、土居分小菜を核とした地域振興活動が展開されている（猪原と米谷 2026；村上 2025；新聞報道 2023, 2024）。

土居分小菜はカラシナ (*Brassica juncea*) のようなワサビ様の辛味を呈するが、開花期における形態観察からツケナ（アブラナ）類 (*B. rapa*) に属すると判断された（食農研究グループ 2025）。辛味の由来になっていると考えられるイソチオシアネート (ITC) は、分子の中にイソチオシアネート ($-N=C=S$) 基を有する化合物の総称であり、間接的な抗酸化・解毒作用、抗がん作用、抗菌作用、抗炎症作用など多様な生理機能が知られている（Yadav et al. 2022）。そこで、コマツナなどのツケナ類の流通品種と生育特性や ITC を比較することによって、土居分小菜の特徴を見出すこととした。

【材料および方法】

対象野菜の栽培 コマツナの「楽天」と「菜々音」、「野沢菜」（以上、タキイ種苗）、「くきたち菜」（福種）、「カラシナ」（トーホク）および「土居分小菜」（二川ふれあい地域づくり委員会・遠藤正明氏より提供）の種子を用いた。在来地の生産者圃場（真庭市種地区）において春作栽培した。播種は 2025 年 5 月 13 日、収穫（サンプリング）および収穫時調査（生重量、草丈および葉色の測定）は各品種の生育量がほぼ飽和した時期（菜々音：6 月 10 日； 楽天、カラシナ：6 月 17 日； 野沢菜、くきたち菜、土居分小菜：6 月 24 日）に実施した。調査後直ちに液体窒素で凍結し、凍結粉碎まで -80°C の冷凍庫にて保管した。破碎装置 Shake Master（バイオメディカルサイエンス）を用いて粉碎した微細粉末を ITC の定量に供した。土居分小菜、コマツナ（楽天と菜々音）、野沢菜およびくきたち菜はツケナ類に、カラシナはカラシナ類に属する。

葉色の測定 カボチャの果肉色と同様に測定した（第 2 章）。

ITC の定量 生の微細粉末を定量に供した。300 (± 5) mg の微細粉末サンプルに対して等倍容 (w/v) の唾液バッファー (15.1 mM KCl、3.7 mM KH_2PO_4 、13.6 mM NaHCO_3 、0.15 mM $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$ 、0.06 mM $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 、1.5 mM $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ 、150 U/ml salivary α -amylase、pH7.0； Minekus et al. 2014) を加え、 37°C で 10 分間加水分解し、氷上に移した。2 倍容 (w/v) のイソプロパノールを加え、十分攪拌してから、遠心分離 ($10000\times g$ 、5 分、 4°C) し、上清を回収した。沈殿（残渣）に再び 2 倍容 (w/v) のイソプロパノールを加えて、再懸濁と遠心分離を繰り返し、ITC 抽出液とした。

総 ITC は、Zhang ら (1992) および Zhang (2012) の 1,2-ベンゼンジチオール (1,2-

BDT) との環状縮合反応を利用した定量法に準じた。250 μ l の抽出液に対して 50 μ l の 80 mM 1,2-BDT、250 μ l のメタノールおよび 550 μ l の 100 mM リン酸バッファー (pH8.5) を加え、HPLC (Nexera XR、島津) を用いて、ITC の環状縮合産物 (1,3-Benzodithiole-2-thione) として Abs365 nm で検出した。40°C のカラムオープンにおいて、カラムには XBridge BEH C18 (2.1 mm id $\times$ 150 mm、3.5 μ m、Waters)、移動相には 0.1 %ギ酸 (A 液) と 0.1 %ギ酸アセトニトリル (B 液) を用いて、0.3 ml/min の流速で分離した。アリリソチオシアネート (AITC) を標品として、AITC 当量として算出した。4-メチルチオブチル (4MT) ITC は 1,2-BDT との反応性が低かったため、4MT ITC を含有するサンプルに対して補正を行った。

個々の ITC は、NAC-ITC 複合体法 (Pilipczuk et al. 2017 ; Andini et al. 2020) により、LC-MS (Ion Trap MS、amaZon SL-op、Bruker) を用いて定量した。1 ml の抽出液に対して 600 μ l の NAC 水溶液 (0.2 M N-acetyl-L-cysteine、0.2 M NaHCO₃) を加えて、安定性が高くかつイオン化できる NAC-ITC 複合体を生成させた。イソプロパノール含量を減らすために、MilliQ で 2 倍希釈して分析試料とした。25°C のカラムオープンにおいて、カラムには XBridge BEH Shield RP18 (2.1 mm id $\times$ 150 mm、3.5 μ m、Waters)、移動相には 0.1 %ギ酸 (A 液) と 0.1 %ギ酸アセトニトリル (B 液) を用いて、0.3 ml/min の流速でグラジエント溶離した。グラジエント条件は、0.0-5.0 分で 0%-5%B 液、5.0-22.5 分で 5%-15%B 液、22.5-45.0 分で 15%-35%B 液となるように、3 段階で上昇させた。その後 62.0 分までカラムの洗浄と平衡化を行った。マススペクトル分析はネガティブイオンモードを使った。個々の ITC は、標品の溶出時間およびマススペクトルプロファイルとの比較から特定し、検量線を作成して定量した。

【結果および考察】

生育特性 草丈の経時変化から、土居分小菜は、同じツケナ類のコマツナやカラシナと比較して、短期間に大型化した (図 3-1A)。生育量がほぼ飽和するまでは、さらに栽培期間を要した。この傾向は、くきたち菜や野沢菜と同様であった。栽培期末 (収穫時) の株重からも、コマツナやカラシナよりも顕著に大型化しており、くきたち菜や野沢菜と同程度であった (図 3-1B)。土居分小菜の色度 a^* 、 b^* および彩度 C^* の絶対値は、コマツナと比較して、いずれも相対的に大きく、明度 L^* も高かったことから、明るく、鮮やかな色であることが示された (図 3-1C)。この傾向はくきたち菜、野沢菜も同様であった。カラシナの色度 a^* 、 b^* および彩度 C^* の絶対値は、両者の中間的で、明度 L^* は最も高かった。

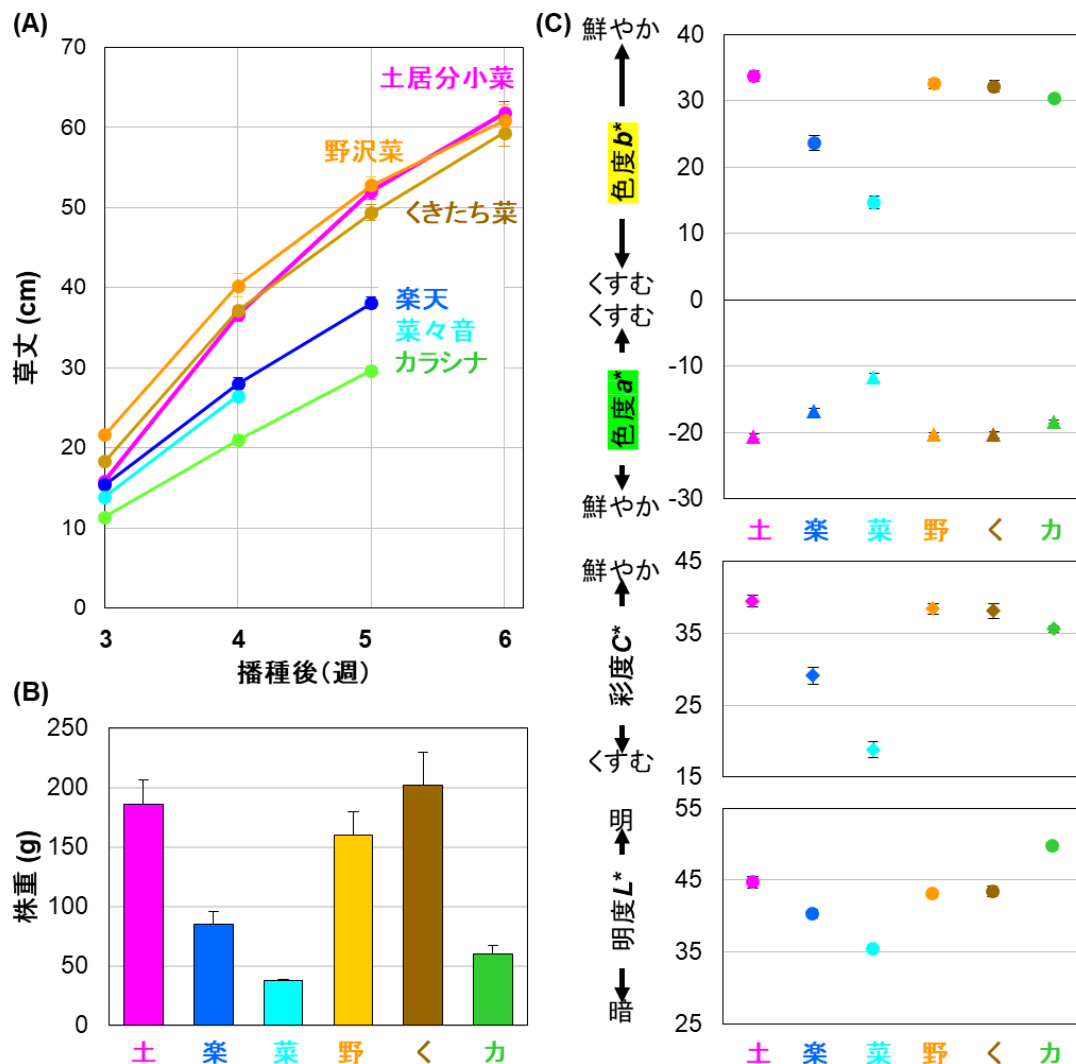


図 3-1 生育特性の比較

(A) 播種後 3 週間目以降の草丈の経時変化。(B) 収穫時の株重。(C) 収穫時の葉色の評価。いずれも平均値±SE。土：土居分小菜、楽：楽天、菜：菜々音（楽天と菜々音はコマツナ）、野：野沢菜、く：くきたち菜、カ：カラシナ。

ITC 含量および組成 ワサビ様の辛味は ITC に由来すると考えられたことから、HPLC を用いて ITC の総含量を定量し、品種（変種、栽培種）間で比較した。土居分小菜の総 ITC 含量は、楽天と菜々音（コマツナ）に比べて、それぞれ 2.0 倍および 3.2 倍高かった（図 3-2A）。

先行研究（Andini et al. 2020; Klopsch et al. 2018）からアブラナ属ツケナ類およびカラシナ類で報告されている 12 種類の ITC を分析し、このうち、11 種類が検出された（図 3-2A）。各 ITC 含量（NAC 法による検出・定量）の総和は、総 ITC 含量（BDT 法による定量）と同程度であったことから、主要な ITC はほぼ検出されたと考えられる。

検出された ITC から、Kroener と Buettner (2018) の官能検査によって、「pungent（辛い）」と記述された ITC（A：アリル、3Bute：3-ブテニル、sBu：sec-ブチル、4Pente：

4-ペンテニル、Ben: ベンジル、および PhE: フェネチル ITC) を「辛味を呈する ITC (Pungent ITC)」として抽出した。土居分小葉の Pungent ITC 含量は、楽天の 2.6 倍、菜々音の 4.3 倍であった (図 3-2B)。カラシナの 6 割程度の含量があり、くきたち菜や野沢菜とは同程度であった。

土居分小葉の ITC は、ツケナ類で共通の 4-メチルスルフィニルブチル (4MS)、5-メチルスルフィニルペンチル (5MS)、3Bute、sBu、4-メチルチオブチル (4MT)、4Pente、5-メチルチオペンチル (5MT)、および PhE ITC の 8 種類から構成された (表 3-1)。主要な ITC は、3Bute (67.8%)、4Pente (20.4%) および PhE (6.2%) ITC であった。カラシナ (3MS: 3-メチルスルフィニルプロピル、A、3Bute、Ben、および PhE ITC) とは 3Bute および PhE ITC しか共通しておらず、組成はカラシナよりもコマツナに近かった。総 ITC に占める Pungent ITC の割合は、94.5% であり、コマツナや野沢菜よりも統計的に有意に高く、カラシナ (99.8%) と同程度であった (表 3-1)。土居分小葉は Pungent ITC の高含有と高い割合を特徴とし、ワサビ様の辛味は、高含有の Pungent ITC に由来すると考えられる。

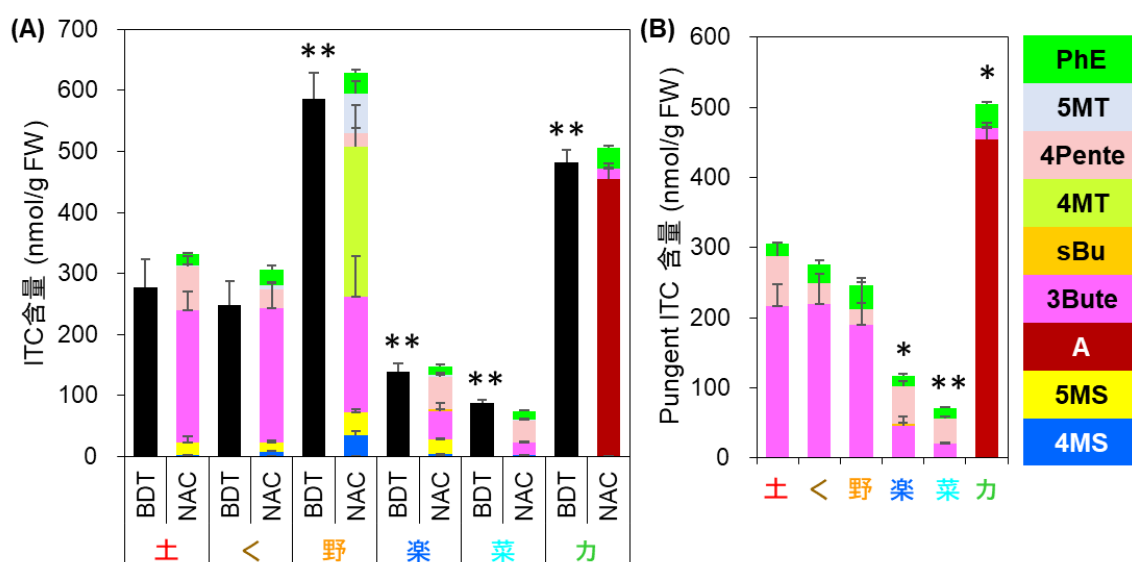


図 3-2 ITC 含量の比較

(A) ITC の総含量 (BDT) および個々の ITC 含量 (NAC)。個々の ITC 含量の総和の統計検定結果は総含量と同様であった。(B) 辛味を呈する ITC (Pungent ITC) の含量。土居分小葉に対する多重比較 (Dunnett) 検定 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)。土: 土居分小葉、楽: 楽天、菜: 菜々音 (楽天と菜々音はコマツナ)、野: 野沢菜、く: くきたち菜、カ: カラシナ。4MS: 4-メチルスルフィニルブチル ITC、5MS: 5-メチルスルフィニルペンチル ITC、A: アリル ITC、3Bute: 3-ブテニル ITC、sBu: *sec*-ブチル ITC、4MT: 4-メチルチオブチル ITC、4Pente: 4-ペンテニル ITC、5MT: 5-メチルチオペンチル ITC、PhE: フェネチル ITC。

表 3-1 ITC 組成 (%) の比較

ITC	土	く	野	楽	菜	力
3MS	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.17 (0.05)
4MS	0.85 (0.11)	2.84 (0.80)	5.71 (1.15)	2.36 (0.25)	2.58 (0.11)	n.d.
5MS	4.09 (1.14)	6.40 (3.05)	2.44 (0.54)	25.61 (4.35)	24.81 (1.43)	n.d.
A	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	89.84 (0.63)
3Bute	67.82 (3.89)	71.52 (6.95)	32.12 (11.28)	25.95 (4.03)	19.96 (2.34)	3.27 (0.18)
sBu	0.03 (0.03)	n.d.	n.d.	1.38 (0.56)	n.d.	n.d.
4MT	0.00	0.21 (0.14)	40.44 (10.98)	0.00	0.00	n.d.
4Pente	20.44 (3.65)	8.80 (3.04)	3.17 (1.26)	33.40 (2.55)	37.71 (2.33)	n.d.
Ben	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.00
5MT	0.52 (0.34)	1.75 (1.39)	10.41 (2.68)	1.87 (0.44)	0.65 (0.58)	n.d.
PhE	6.24 (1.15)	8.48 (1.55)	5.71 (1.03)	9.44 (0.74)	14.30 (1.60)	6.72 (0.57)
Pungent	94.54 (1.33)	88.79 (4.17)	41.00 (13.01) **	70.16 (4.62) *	71.97 (1.20) *	99.83 (0.05)

平均値(±SE)。0.00: マススペクトルシグナルの検出のみ; n.d.: 検出されず。Pungent: Pungent ITC の合計(%)を示す。土居分小菜に対する多重比較 (Dunnett) 検定 (*: $p<0.05$, **: $p<0.01$)。

3MS: 3-メチルスルフィニルプロピル ITC、Ben: ベンジル ITC。これ以外は図 3-2 と同様。

主成分の 3Bute ITC は、*in vitro* 実験で前立腺がんへの有効性が報告されている (Arora et al. 2016)。3Bute ITC と 4Pente ITC は、食中毒原因菌 *Aeromonas hydrophila* に対する強力な抗菌作用がある (Jang et al. 2010)。PhE ITC は、KEAP1-NRF2 経路を介して NRF2 を活性化することで、抗酸化酵素や解毒酵素の発現を誘導する (Dayalan Naidu et al. 2018)。土居分小菜では、このような機能を有する ITC の効率的な摂取源として期待できる。

【謝辞】

本研究は「二川ふれあい地域づくり委員会（山谷逸士会長）」および真庭市（湯原振興局・明村豊課長補佐、二川みらいづくりセンター・稲田恵子さん）のご理解、ご協力のもとで推進した。生産地における土居分小菜の栽培試験は、同委員会前会長・遠藤正明氏の圃場にて実施させていただいた。県中山間・地域振興課の「令和7年度 地域に飛び出せ大学生！おかやま元気！集落研究・交流事業」における同委員会とノートルダム清心女子大学・吉金研究室（吉金優准教授、猪原実来さん、米谷咲八花さん、早田花奈さん、張野友花さん）との協働の一環として実施した。本研究の一部は、公益財団法人ウエスコ学術振興財団・研究活動費助成事業の支援を受けて実施した。

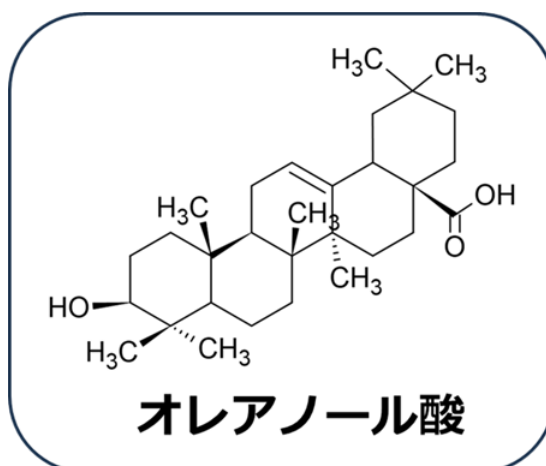
【引用】

- Andini T et al. (2020) J Agric Food Chem **68**: 3121-3131.
- Arora R et al. (2016) J Food Sci Tech **53**: 3437-3445.
- Dayalan Naidu S et al. (2018) Mol Nutr Food Res **62**: 1700908.
- Jang M et al. (2010) J Food Sci **75**: M412-M416.
- Klopsch R et al. (2018) J Agric Food Chem **66**: 5481-5490.
- Kroener EM and Buettner A (2018) Front Chem **6**: 149.
- Minekus M et al. (2014) Food Funct **5**: 1113-1124.
- Pilipczuk T et al. (2017) Food Chem **214**: 587-596.
- Yadav K et al. (2022) Curr Res Nutr Food Sci **10**: 476-502.
- Zhang Y (2012) Crit Rev Food Sci Nutr **52**: 525-532.
- Zhang Y et al. (1992) Anal Biochem **205**: 100-107.
- 猪原実来、米谷咲八花 (2026) ノートルダム清心女子大学人間生活学部食品栄養学科 2025 年度卒業論文.
- 食農研究グループ (2025) 生物科学研究所 令和6年度研究年報 57-69.
- 新聞報道 「土居分小菜の味広めたい（山陽新聞、2023 年 7 月 8 日）」『「土居分小菜」継承を（山陽新聞、2024 年 11 月 9 日）』
- 中村俊之 (2019) 日本家政学会誌 **70**: 448-454.
- 村上萌 (2025) ノートルダム清心女子大学人間生活学部食品栄養学科 2024 年度卒業論文.
- 吉田潤ら (2012) NewFoodIndustry **54**: 9-18.

4 黒色系ブドウ果皮の機能性研究

皮ごと食べられる黒色系ブドウ・オーロラブラックは、本県が育成した品種であるが、果皮に含まれる成分の機能性については、これまで研究されてこなかった。本課題では、黒色系ブドウ果皮に含まれる機能性成分の同定・定量を行うとともに、口腔内病原微生物に対する影響を検討し、オーロラブラックのブランド力向上に役立てる。

今年度は、ブドウ果皮のブルームに含まれ、がん、抗炎症、抗酸化、抗高脂血症作用、虫歯予防（大原ら 2011）、歯周病予防（ブドウ由来オレアノール酸 | 機能性素材レポート | ニッポンの研究開発）の機能性が報告されているトリテルペン化合物であるオレアノール酸（右図）に着目し、各種ブドウ果皮に含まれるオレアノール酸含量、オーロラブラックの栽培法が果皮のオレアノール酸含量に与える影響、オレアノール酸の虫歯菌由来グルコシルトランスフェラーゼ (GTF) 阻害活性および虫歯菌によるバイオフィルム (= 歯垢) 形成阻害活性について検討した。



【材料および方法】

ブドウ ブドウ（シャインマスカット、ピオーネ、ナガノパープル、オーロラブラック）は、2025 年収穫の農業研究所・果樹研究室栽培のブドウを分譲していただき使用した。

オレアノール酸の定量 ブドウ果皮凍結乾燥破砕物 50mg を、2-mL ロックチューブに入れ、DMSO を添加し、サーモミキサー（エッペンドルフ）で、90℃，500rpm，10 分の条件で計 3 回抽出した。3 回分の抽出液を遠心（1,2000rpm，5 分）し、上清をサンプルとして用いた。抽出液を内部標準物質（グリチルレチン酸：終濃度 0.5μg/mL）を含む LC-MS 用の移動相（アセトニトリル/メタノール/ミリ Q 水/ギ酸 = 500/400/100/1）で 10 倍希釈し（Chen et al. 2011）、逆相カラム（GL サイエンス社製 Inertsil ODS-3（3μM, 2.1x100mm）およびイオントラップ型 MS 装置（ブルカー社製 AmaZon SL）を用いて、ポジティブモードで、内部標準の検出強度と比較することによってオレアノール酸を定量した（図 4-1）。

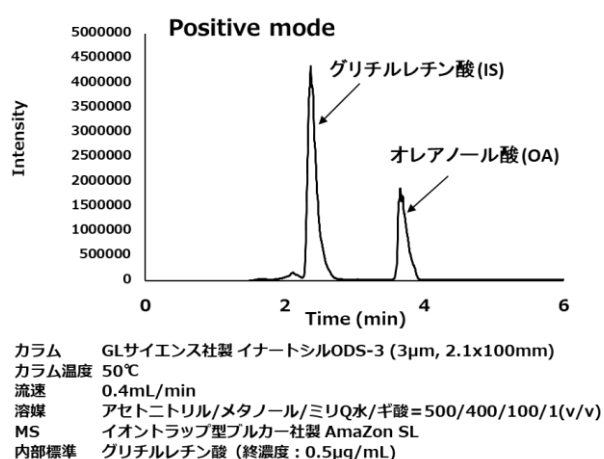


図 4-1 LC-MS によるオレアノール酸検出

GTF 阻害活性評価法 大腸菌用系発現ベクター (pET21(a)) にクローンされた *Streptococcus salivarius* ATCC25975 株由来で不溶性グルカン合成活性を示す GTF (Puanglek et al. 2016) を大腸菌 BL21 (DE3) Star に形質転換し、生物科学研究所令和 6 年度研究年報の方法に従い粗酵素液を調製し、反応温度 37℃ の条件で試験した (食農研究グループ 2025)。

虫歯菌によるバイオフィーム形成阻害試験法 日本の小児口腔内由来臨床分離株 (*S. mutans* MT8148 株) および米國小児口腔内臨床分離株 (*S. mutans* UA159 株) を用い、生物科学研究所令和 6 年度研究年報の方法に従い試験した (食農研究グループ 2025)。なお、本試験は、共同研究先の山口大学・阿座上教授研究室にて実施していただいた。

【結果および考察】

オレアノール酸含量について 下図に 1 粒当たりの果皮凍結乾燥物重量 (白カラム) と、1 粒当たり果皮に含まれるオレアノール酸含量 (黒いカラム) を示す (図 4-2)。1 粒当たりの果皮重量は、シャインマスカットとナガノパープルがほぼ同等で、果皮が薄く食べやすいことが果皮重量からも容易に推察できる。1 粒当たりのオレアノール酸含量は、皮ごと食べることができるブドウ (シャインマスカット、ナガノパープル、オーロラブラック) の中では、シャインマスカットが最も低い値であり、オーロラブラックはナガノパープルの約 1.5 倍量のオレアノール酸を含むことが判明した。オレアノール酸を 27mg 摂取すると、虫歯予防・歯周病予防が期待できるとのレポート (ブドウ由来オレアノール酸 | 機能性素材レポート | ニッポンの研究開発) から、オーロラブラックを 8 粒食すると 27mg となる。

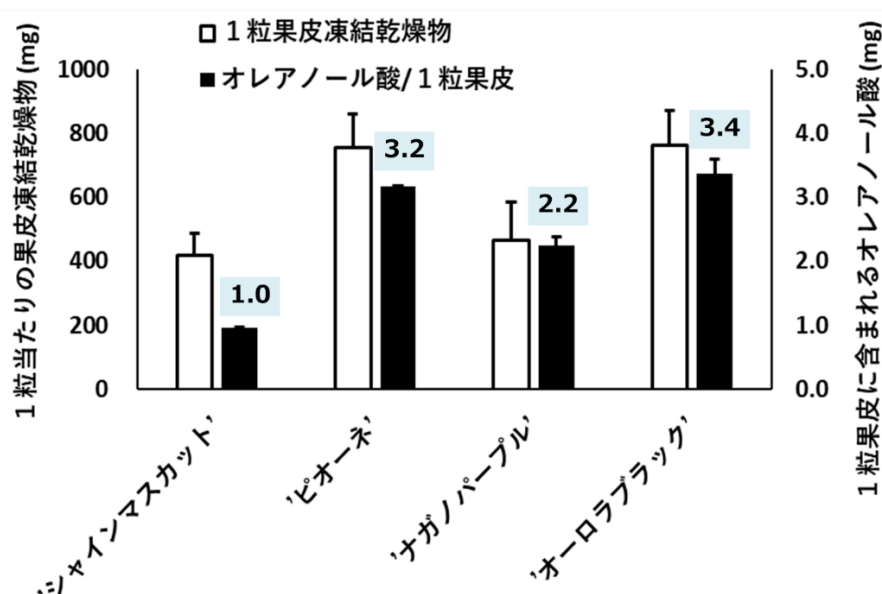


図 4-2 各種ブドウの 1 粒当たりの果皮凍結乾燥物重量と 1 粒当たり果皮に含まれるオレアノール酸量

オーロラブラックの栽培法が果皮のオレアノール酸含量に与える影響 次いでオーロラブラックの栽培法の違いが、オレアノール酸含量に与える影響を検討した。簡易被覆栽培（＝通常栽培＝袋掛けあり、図 4-2）、簡易被覆栽培にアブサップ（ABA）処理（＝果皮の色調を濃くするための処理）を施したもの、無加温栽培（ハウス内で栽培し、袋掛けなし）に ABA 処理した場合の 3 条件について、比較した（図 4-3）。白いカラムは、1 粒当たり果皮の凍結乾燥物重量、黒いカラムは 1 粒当たりのオレアノール酸含量を示す。1 粒当たりのオレアノール酸含量は、無加温栽培において、簡易被覆栽培の 1.3 倍に増加していることが判明した。ブルームは乾燥条件で増加傾向となり、本試験ではハウス内の湿度が高くなく、更に袋をかけなかったことで果房周辺の湿度が高くならなかった影響でブルームが増えた結果、オレアノール酸含量も増加したものと考える。

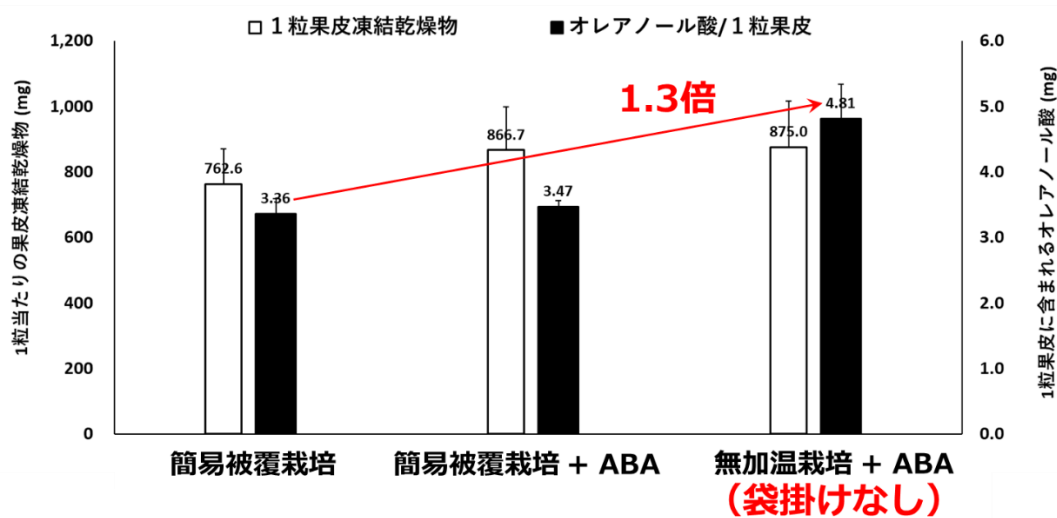


図 4-3 オーロラブラックの各種栽培法における 1 粒当たりの果皮凍結乾燥物重量と 1 粒当たり果皮に含まれるオレアノール酸含量

オレアノール酸 (OA) の GTF 阻害活性および虫歯菌によるバイオフィルム形成阻害活性 GTF の 2 種の活性に対する 3 つの市販化合物の阻害活性について示す (表 4-1)。これらのうち、タンニン酸は、既報の GTF 阻害活性をもつ化合物であり (Yamagata et al. 2000)、*S. salivarius* 由来 GTF も同様によく阻害した。また、エピガロカテキンガレート (EGCg) は、虫歯菌によるバイオフィルム形成阻害試験の際にポジティブコントロールとして用いられる化合物であるが、GTF 活性は、ほぼ阻害しなかった。この結果は、既報の結果 (Yamagata et al. 2000) とよく一致し、EGCg は虫歯

表 4-1 各種化合物の GTF 阻害活性

	IC ₅₀ (μg/mL)	
	シュクラーゼ活性	不溶性グルカン合成活性
タンニン酸	6.0	1.6
オレアノール酸*	66.4	35.8
エピガロカテキンガレート*	436.8	No inhibition

*In final 10%DMSO

菌のもつ様々な病原因子の遺伝子発現を抑制することによって (Xu et al. 2011)、バイオフィーム形成を阻害するものと推測される。

次いで、オレアノール酸による虫歯菌のバイオフィーム形成阻害について検討した。その結果、2株の虫歯菌に対して、オレアノール酸は10 μ g/mL以上の濃度で、バイオフィーム形成を阻害した(図4-4)。オレアノール酸は、既に齲蝕予防効果が知られている化合物であるが、今回の結果から、その作用機序の一つとして、GTF活性を阻害することで、バイオフィーム(=歯垢)の形成を抑制し、齲蝕予防効果を示すことが示唆された。

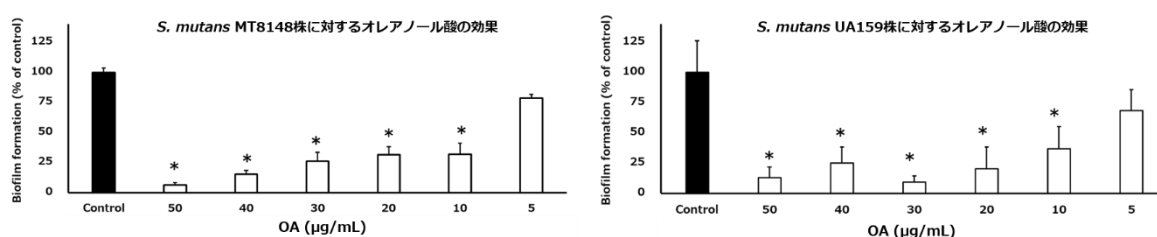


図4-4 オレアノール酸による虫歯菌のバイオフィーム形成阻害試験結果

今年度は、ブルームに含まれるオレアノール酸に着目して研究を行った。皮ごと食べられるブドウ3種(シャインマスカット、ナガノパープル、オーロラブラック)の中で、1粒当たりの果皮に含まれるオレアノール酸含量は、オーロラブラックが最も多い結果となった。得られた結果から、オレアノール酸は、虫歯菌が出すGTFを阻害することによって、不溶性グルカン(=歯垢)合成を抑えることが示唆された。歯垢ができることによって、口腔内に嫌気的なスペースが形成され、歯周病菌等が生育しやすい環境ができる。オレアノール酸はこれを抑えることで、歯周病予防にもつながることが推測される。口腔内の健康を維持することは、糖尿病、心疾患、慢性腎臓病予防にも繋がり、全体的な健康を維持することになる。岡山県が育成したオーロラブラックを皮ごと食べることの意義を見出し、産地拡大・消費拡大につながる一助としたい。

【謝辞】

本研究は、岡山県外部知見活用型・産学官連携事業の支援を受けて行われたものである。GTF発現ベクターを分譲いただいた東京大学・岩田忠久教授、木村聡先生に深謝いたします。虫歯菌によるバイオフィーム形成阻害試験を行っていただいた山口大学・阿座上弘行教授に感謝いたします。最後に、ブドウを提供いただきました、農業研究所・果樹研究室の方々に感謝いたします。

【引用】

大原紫ら (2011) 小児歯科雑誌 49 (3): 251-258.

食農研究グループ (2025) 生物科学研究所 令和6年度研究年報 70-77.

ブドウ由来オレオノール酸 | 機能性素材レポート | ニッポンの研究開発

(<https://www.nippon.co.jp/BrandB/rd/report/pomace.html>)

Chen Q et al. (2011) Biomed Chromatogr **25**: 1381-1388.

Puanglek S et al. (2016) Sci Rep **6**: 30479.

Yamagata A et al. (2000) J Agric Food Chem **48**: 5666-5671.

Xu X et al. (2011) Antimicrob Agents Chmother **55**: 1229-1236.

令和7年度の活動

1. 報文（総説・原著論文等）

楊靈麗

野菜の在来品種における色と味の特徴と抗酸化の優位性について

令和6年度 公益財団法人ウエスコ学術振興財団 事業報告書・研究成果報告書 2025 111-112

概要： 県内在来品種の野菜には、市販の品種と比べて特徴的な色や味を持つものが多い。色や味に応じて抗酸化関連の機能的な優位性を見出すことを目的とした。初年度として、機能性代謝物を共通する構造や官能基に基づいて種類別に総量として評価した。姫とうがらしは、くすんだ赤色の果皮が特徴的である。カロテノイドと一重項酸素の消去能は、調べた9種類のトウガラシ属の中では最も高い値を示した。備前黒皮かぼちゃは、えびす（西洋カボチャ）と比べて、黒い果皮が特徴的であり、総ポリフェノール含量と脂溶性過酸化ラジカル消去能が1.6倍高かった。土居分小菜は、同じ種のコマツナと比べて、ワサビ様の辛味が特徴的であり、総イソチオシアネート含量が高かった。

畑中唯史

虫菌予防に対する黒色系ブドウ果皮の効果について

果樹 第79巻（令和七年）7月号 10-14

概要： 虫菌菌のバイオフィーム（＝菌垢）を形成する酵素（グルコシルトランスフェラーゼ）の活性測定法を用いて、各種ブドウ果皮熱水抽出物の阻害効果を比較検討したところ、黒色系ブドウ果皮に強い阻害効果を見出した。さらに虫菌菌を用いたバイオフィーム形成試験においても、黒色系ブドウ果皮抽出物が阻害効果を示すことを明らかにした。

畑中唯史

亜臨界水処理コンブを活用した虫菌予防機能性素材の開発研究

公益財団法人 八雲環境科学振興財団 研究レポート集 2025 第26号 111-116

概要： 虫菌菌のバイオフィーム（＝菌垢）を形成する酵素（グルコシルトランスフェラーゼ）の活性測定法を用いて、廃棄コンブに亜臨界水処理を施すことによって、阻害効果が出現し、その成分がアルギン酸のポリマーを主な骨格とし、分子量3.5kDa～50kDaの分子量分布をもつことを明らかにした。

Kenji Henmi, Taku Mohri, Aya Hatano-Iwasaki and Ken'ichi Ogawa

Oxidized glutathione improves phosphorus acquisition efficiency in plants
Soil Science and Plant Nutrition (in press)

<https://doi.org/10.1080/00380768.2025.2612625>

概要： 酸化型グルタチオン (GSSG) 施用により、シロイヌナズナとシュンギクの両種でバイオマス、リン含量、リン吸収効率が増加し、共通するメカニズムが働いていると考えられた。GSSG 施用による成長促進にリン酸輸送体 PHO1 ではなく、そのホモログ PHO1;H1 が関与していた。GSSG がリン吸収効率を高め、リン肥料依存を減らす有望な補助剤であることを示した。

逸見健司、毛利拓、岩崎（葉田野）郁、小川健一

酸化型グルタチオンは植物のリン吸収効率を向上させる
日本土壌肥科学雑誌 (印刷中)

概要： 日本土壌肥科学雑誌 (Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition) に掲載された上記論文の日本語版 Abstract である。

2. 学会・シンポジウム・講演会等での発表

((*)P) はポスター発表、(*)招) は招待講演、英文タイトルは国際学会)

畑中唯史、楊靈麗、逸見健司、木下楓、阿座上弘行、熊谷祐也

「亜臨界水処理を施したコンブのグルコシルトランスフェラーゼ阻害物質の探索」

学会創立 100 周年記念 日本農芸化学会 中四国支部 第 71 回講演会
(2025 年 6 月 14 日)

畑中唯史、久保田朗晴、木下楓、阿座上弘行 (*)P)

「ブドウ果皮に含まれる機能性成分の探索」

園芸学会令和 7 年度秋季大会 (2025 年 9 月 20-21 日)

熊谷祐也、畑中唯史、阿座上弘行

「亜臨界水処理マコンブに含まれるグルコシルトランスフェラーゼ阻害物質に関する研究」

令和 7 年度日本水産学会秋季大会 (2025 年 9 月 26 日)

川上賀代子、畑中唯史、坪井誠二、守谷 智恵 (*)P)

「黄ニラ抽出物が高脂肪食摂取マウスの抗酸化酵素発現量に及ぼす影響」

第 98 回日本生化学会大会 (2025 年 11 月 3-5 日)

逸見健司

「県在来野菜の機能性探索」

RIBS バイオサイエンスシンポジウム（おokayまバイオアクティブ研究会
第 67 回シンポジウム） （2025 年 11 月 14 日）

鳴坂真理、畑中唯史、山次康幸、関根健太郎、鳴坂義弘

「植物ウイルスを防除する月桃由来プロアントシアニジンの解析」

令和 7 年度日本植物病理学会九州部会 （2025 年 11 月 20-21 日）

熊谷祐也、太田龍成、畑中唯史、ムネムネマーティン

「紅藻ウミゾウメン由来 DPP-4 阻害ペプチドの探索」

日本農芸化学会 2026 年度京都大会 （2026 年 3 月 9-12 日）

畑中唯史、久保田朗晴、木下楓、阿座上弘行

「食品由来成分によるストレプトコッカス属細菌のグルコシルトランスフェラーゼ阻害効果」

日本農芸化学会 2026 年度京都大会 （2026 年 3 月 9-12 日）

逸見健司、楊靈麗、米谷咲八花、猪原実来、村上萌、吉金優

「岡山県の在来品種土居分小菜を特徴づける形態的な特性および代謝物」

日本農芸化学会 2026 年度京都大会 （2026 年 3 月 9-12 日）

小川健一、望月智史、逸見健司

「GSSG施用によるリン吸収効率の向上と成長促進」

日本植物生理学会 第 67 回東京大会 （2026 年 3 月 13 日）

逸見健司（＊招）

「地域遺伝資源の機能的な優位性」

岡山県食品新技術応用研究会 第 404 回研修会 （2026 年 3 月 17 日）

畑中唯史、久保田朗晴、木下楓、阿座上弘行（＊P）

「ブドウ果皮に含まれる機能性成分の探索（2）」

園芸学会令和 8 年度春季大会 （2026 年 3 月 20-21 日）

熊谷祐也、ムネムネマーティン、畑中唯史

「紅藻ダルス由来 DPP-IV 阻害ペプチドに関する研究」

令和 8 年度日本水産学会春季大会 （2026 年 3 月 26-29 日）

3. 特許・発明

なし

4. 共同研究・協力連携先

ノートルダム清心女子大学（人間生活学部、産学連携センター）、北海道大学・水産学部、山口大学・中高温微生物研究センター、就実大学・薬学部、岡山大学・農学部、長岡技術科学大学大学院・技術科学イノベーション専攻、筑波大学（つくば機能植物イノベーション研究センター、微生物サステナビリティ研究センター）、岡山県農林水産総合センター農業研究所（果樹研究室、ジーンバンク事業）、NPO 法人てっちりこ、備前黒皮かぼちゃ振興協議会、真庭市（湯原振興局、二川ふれあい地域づくり委員会）

5. 外部資金獲得状況

- ・令和 7 年度 筑波大学形質転換植物デザイン研究拠点事業（代表 逸見健司）
- ・令和 7 年度 岡山県外部知見活用型・産学官連携事業（代表 畑中唯史）
- ・令和 7 年度 ウェスコ学術振興財団研究活動助成事業（代表 楊霊麗）

6. その他

岡山県立大学連携大学院 准教授（客員、兼任）（逸見健司）

おかやまバイオアクティブ研究会 企画委員（逸見健司）

岡山県立大学連携大学院 教授（客員、兼任）（畑中唯史）

おかやまバイオアクティブ研究会 幹事（畑中唯史）

RIBS バイオサイエンスシンポジウム オーガナイザー（逸見健司）

（おかやまバイオアクティブ研究会 第 67 回シンポジウム 実行委員長）

共催：おかやまバイオアクティブ研究会、（公財）岡山県産業振興財団

（岡山市・岡山国際交流センター、2025 年 11 月 14 日）

※詳細は 9 ページ参照。

※おかやまバイオアクティブ研究会のホームページにも詳細が掲載されている。

https://www.optic.or.jp/bioactive/activity/activity_detail/index/35.html

おかやま元気！集落～特産品による地域の魅力発信イベント～ ポスター掲示

米谷咲八花、猪原実来、村上萌、加藤奈々、吉金優

楊靈麗、畑中唯史、逸見健司

「真庭市二川地域の伝統野菜“土居分小菜”の継承・付加価値化の取り組み～令和
6・7年度岡山県地域に飛び出せ大学生！おかやま元気！集落研究・交流事業～」

（岡山市・おかやま晴れの国食堂）

ミニマルシェ（2025年12月1日）

元気集落特産品の特別ランチ提供期間（2025年12月1-19日）

新聞報道 1件

「おかやまグルメ旅 辛みじわっと体ぽかぽか 鏡野特産の姫とうがらし」

（読売新聞朝刊 2026年1月25日）

令和7年度 研究報告会 ポスター発表

楊靈麗、畑中唯史、逸見健司

石倉由貴、加藤奈々、吉金優

「奥津の地域資源“姫とうがらし”が色づく環境要因」

（鏡野町・道の駅奥津温泉 NPO法人てっちりこ、2026年2月23日）

真庭市二川地域の伝統野菜『土居分小菜』調査研究の成果報告会～令和7年度 地域に
飛び出せ大学生！おかやま元気！集落研究・交流事業～ 口頭発表

吉金優 『はじめに』

逸見健司、楊靈麗、畑中唯史 『土居分小菜の栽培カレンダーと機能性成分』

猪原実来、米谷咲八花 『真庭市伝統野菜「土居分小菜」の認知度向上への取
組み』

早田花奈、張野友花 『土居分小菜レシピ集と栽培カレンダーの紹介』

（真庭市・二川みらいづくりセンター、2026年2月24日）

植物細菌病害研究グループ

専門研究員

向原 隆文 (グループ長)

流動研究員

嘉美 千歳

課題名

県産農作物における細菌病害防除技術の開発研究

[概要]

「第4次晴れの国おかやま生き生きプラン」には「儲かる農林水産業加速化プログラム」の重点施策として「モモ、ぶどう、晴苺の供給力の強化」と「生産性の高い農業の推進」が掲げられている。これらの目標を達成するには県主要農作物の安定生産が必須である。県特産のモモでは、近年、細菌病害の「せん孔細菌病」の被害が顕著である。本病害はモモの葉や枝に褐色の病斑を形成して樹勢を低下させると同時に果実にも病斑を形成して商品価値を大きく損なわせることから、モモ生産の大きな障害となっている。せん孔細菌病は農薬のみでは防除が難しい「難防除病害」であり、農薬散布に加えて強風対策や伝染源となる枝病斑の剪除が必須なため、生産者の労働負担が大きい。更に、最近では農薬耐性菌も出現し、新しい防除法の開発が強く求められている。一方、県の野菜生産額で第一位・二位を占める主力野菜品目のナス・トマトでは、土壌伝染性の細菌病害「青枯病」が常に問題である。青枯病菌は植物の根から感染して植物内部で増殖するため外部からの農薬処理では防除効果が無く、抵抗性台木を用いた接木栽培が利用されているが、土壌中の病原菌密度が高い場合には病原菌が台木を通り抜けて穂木が発病することが問題となっている。本グループでは第6期五カ年計画で青枯病に強度抵抗性を示すナス野生系統を見出しており、本系統が持つ抵抗性遺伝子の同定と育種利用を目指している。せん孔細菌病と青枯病は共に細菌性の病害であり、本研究グループが青枯病菌で蓄積した様々な研究手法をせん孔細菌病菌に適用できるため、令和4年度からの第6期五カ年計画から「モモせん孔細菌病防除技術の開発」と「青枯病防除技術の開発」の2つの中課題を実施している。せん孔細菌病防除技術の開発においても、病害抵抗性のモモ系統が持つ抵抗性遺伝子の同定と育種利用を目的とする研究を行っている。

中課題 1

モモせん孔細菌病防除技術の開発

[背景と目的]

モモは国内外で人気が高く、特に「白桃」は岡山県を代表するブランド果物として全国的に高い知名度を誇る。近年、県内圃場でモモの重要病害「せん孔細菌病」(図1)が多発している。県病害虫防除所による巡回調査データでは、平成27年度から6年連続

で 50%以上の圃場で本病害の発生が確認されており、小雨の年は減少傾向にあるものの直近でも 30~40%の圃場で発生が認められている。本病害は全国的にも多発しており、最も発生の多かった令和 2 年度に国内主要産地で 15%も収穫量が低下したのは本病害が原因とされている。せん孔細菌病を防除するために、圃場への防風ネット設置や発病枝の除去、農薬散布を組み合わせた総合的防除が提唱されているが、生産者にはかなりの労働負担となっている。近年では、国内主要生産地で農薬耐性を獲得したせん孔細菌病菌の出現も問題となっており、本県一部圃場でも耐性菌が分離されている。耐性菌株が蔓延すれば、モモの生産量は大きく減少する可能性が高く、生産者からは農薬耐性菌にも有効な新しい抵抗性モモ品種の育成が求められている。近年、様々な果樹で DNA マーカーを活用した新品種育成の効率化が進んでいるが、国内で栽培される白桃種においてせん孔細菌病抵抗性を判定可能な DNA マーカーは未だ開発されていない。

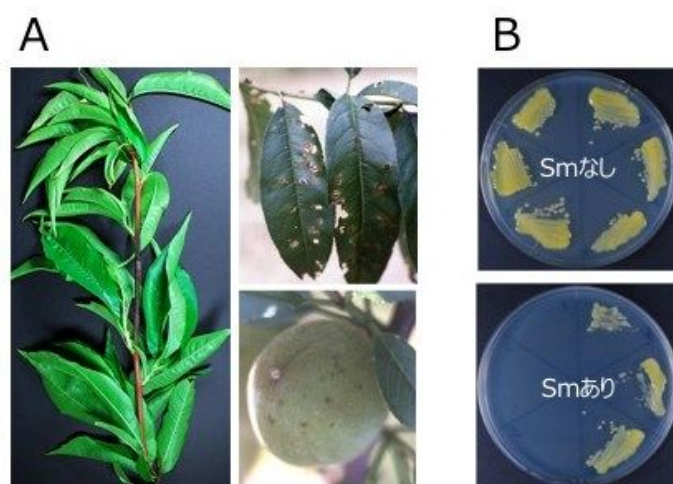


図 1. モモせん孔細菌病の病徴及びストレプトマイシン耐性菌

(A) 枝 (左)、本葉 (右上) 及び幼果 (右下) に生じたせん孔細菌病に特有の茶褐色の病斑。写真は岡山県病害虫防除所提供。(B) せん孔細菌病菌野生株 (上) 及び県内圃場で分離されたストレプトマイシン (Sm) 耐性菌 (下)。上のプレートは Sm なし、下のプレートは Sm あり。

せん孔細菌病防除技術の開発研究で最も大きな問題は、実験室系における安定な接種実験系が無いことである。現在、国内で一般的に利用されている接種系は野外栽培したモモの新梢に傷を付けて病原菌を接種し、3 ヶ月後に病斑の拡大程度を調べるというものである。この試験には広大な野外圃場と大きな栽培労力が必要である。モモ品種間の病害抵抗性の比較や各種防除資材の有効性を評価する目的では、安定な試験結果が得られる実験室環境での接種が望ましいため、我々はモモ本葉を用いたせん孔細菌病菌接種系を開発した。本葉接種系を用いた解析から、各種モモ系統のせん孔細菌病抵抗性を「抵抗性」、「やや抵抗性」、「感受性」及び「極感受性」の 4 つに大別できることを明らかにし、抵抗性モモ品種を効率よく選抜する DNA マーカーの開発を最終目的にせん孔細菌病抵抗性遺伝子の同定を進めている。

[今年度の成果]

1-1. せん孔細菌病抵抗性マーカーの開発を目的としたモモ交配集団の作出

せん孔細菌病に完全抵抗性を示すモモ系統は世界的に見ても知られていないが、本葉接種系を用いた解析から発病程度が低い抵抗性系統がいくつか見出された。これら抵抗性系統は複数年にわたる調査でも安定してせん孔細菌病の発病程度を低く抑える（令和6年度研究年報）ため、育種母本として利用価値が高いと考えられた。今年度は、抵抗性系統が持つせん孔細菌病抵抗性遺伝子領域の解明とDNAマーカー開発を目的に、抵抗性系統Aと本病に非常に弱い極感受性系統Bを材料に交配後代（F₁）集団の作出を行った。抵抗性系統Aは極感受性系統Bよりも3週間程度早咲きのため、抵抗性系統Aの花粉を採取し、極感受性系統Bの徐雄花の柱頭に受粉処理を行った。ポット栽培のモモ栽培樹4つ計784花に処理を行い、結果として131果実を得た。果実数がやや少ないのは受粉後の遅霜が原因と考えられる。これら果実から核を取り出し、核割れによる未熟種子を除くと、102種子となった（図2A）。これら種子を発芽させて培養し、最終的に98のF₁実生苗が得られた（図2B）。これらF₁集団は鉢上げの後、温度制御可能な温室で可能な限り大きく生育させており（図2C）、冬越しの後、圃場の大型ポットに移植する予定である。

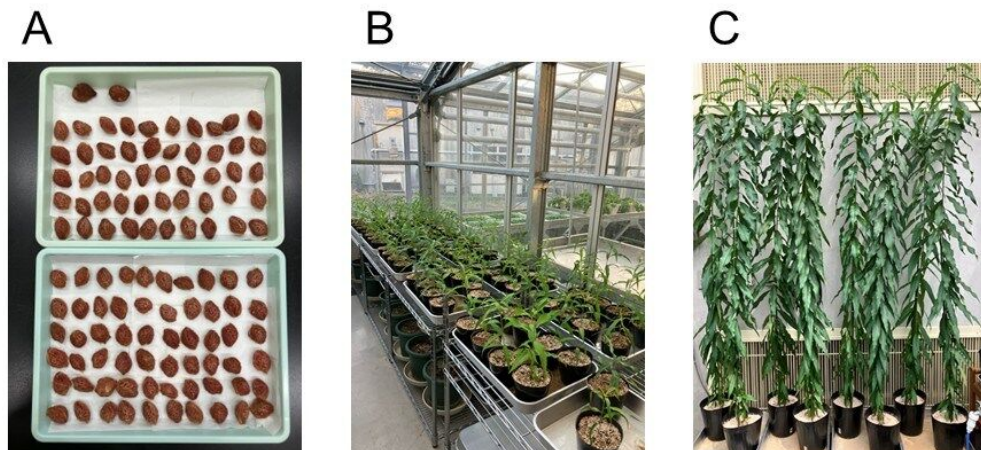


図2. せん孔細菌病抵抗性の異なる2つのモモ系統の交配後代集団の作出

- (A) 抵抗性系統を花粉親として極感受性系統に交配した果実から得られたモモ種子（この写真では核を示す）。(B) 鉢上げした実生苗。
(C) 温室で冬越しさせ、定植直前の交配樹。

上述のように、今年度、せん孔細菌病抵抗性系統と極感受性系統のF₁集団を作出した。これらF₁植物は温室で冬越しさせているため、定植時には樹高2m以上のサイズまで成長しており、遅くとも令和10年度には本葉を用いた耐病性判定を実施できるはずである。個々のF₁個体の耐病性を詳細に調査し、ゲノム情報と照らし合わせることで、抵抗性系統が持つ病害抵抗性遺伝子領域を同定したい。その情報を基にDNAマーカーを開発することでモモの抵抗性育種に貢献できると考えている（図3）。また、交配に用いた抵抗性親系統は通常の栽培品種よりも約3週間程度早く開花する早咲きの形質を持っている。

このため、今回作出した交配集団はモモの早咲き性を規定する遺伝子領域の同定にも利用できる。開花を早めて着果時期を前進させ、果実品質を高めたり、酷暑時期を回避した栽培が可能なモモ新品種を育成する目的で本遺伝子マーカーは価値が高いと考えられる。今後、交配集団の形質評価とゲノム解析を順次進めていく予定である。

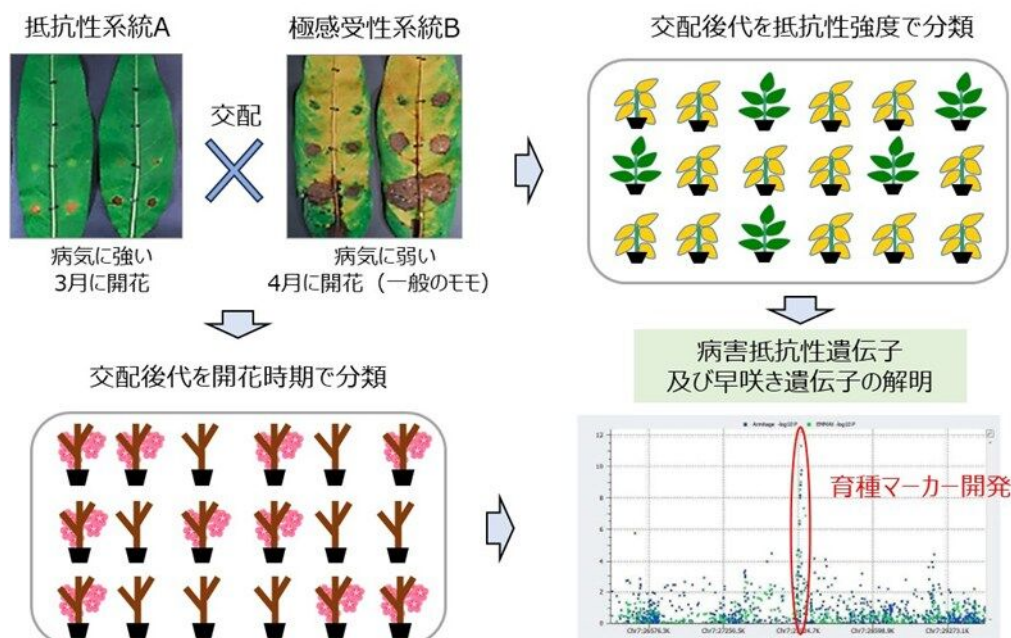


図3. 交配集団を利用したモモ有用育種マーカーの作出モデル

1-2. モモ本葉におけるせん孔細菌病菌の感染拡大評価法の開発

我々はこれまでモモ本葉を用いたせん孔細菌病菌接種系を開発し、病原菌接種部位の病斑及び菌増殖の程度からモモ系統が持つ耐病性の強さを評価してきた。しかしながら、接種部位周辺への病原菌の感染拡大についてはこれまで未確認であった。病原菌の接種部位周辺で観察される茶褐色や黄色の病斑が病原菌の感染拡大によって引き起こされるのか、又は病原菌から放出される拡散性毒素によって引き起こされるのかを明らかにする目的で、感受性系統の本葉で病原菌の接種部位周辺への感染拡大の有無を調査した。まず最初に、モモ本葉の接種部位周辺組織について採取する位置及び時期を検討した。病原菌の接種はシリンジで行っており、菌液の注入範囲は水浸状となるため目視判断が可能である。水浸状の接種部位から 1.5mm 外側の周辺組織を採取して実験を行なったところ、接種直後 0 日でいくつかのサンプルから病原菌が検出された（図 4A）。この結果は水浸部の 1.5mm 外側部分には接種時に病原菌が僅かながら浸潤していることを示している。そこで、接種部位から 2.5mm 外側の周辺組織を採取して同様の実験を行ったところ、全てのサンプルで接種直後に病原菌は検出されなかった（図 4B）。その後、日数経過とともに菌の検出されるサンプル数が増え、21 日後以降には全サンプルで病原菌が検出された（図 4A 及び B）。接種部位から 2.5mm 外側の周辺組織を用いた場合では、接種部位から 1.5mm 外側の周辺組織を用いた場合よりも菌の検出されるタイミングは遅くなったが、接種 21 日後には全てのサンプルで菌が検出された。以上の結果

から、感染の拡大抑制を評価するには、モモ本葉の接種部位より 2.5 mm 外側の周辺組織が最適で、接種 14 日、21 日後の病原菌数を調べればよいことが明らかになった。

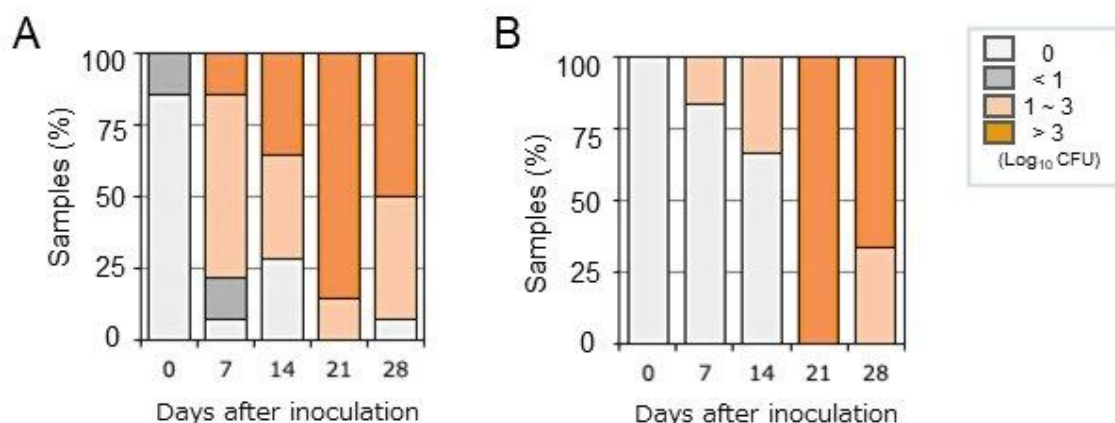


図 4. モモ本葉における接種部位周辺組織からのせん孔細菌病菌の検出

接種日から 7 日毎に周辺組織を回収し、含まれる病原菌数を測定した。菌数 (Log₁₀ CFU) は周辺組織を 1ml の滅菌水で破碎して得られた抽出液 50ul を寒天培地に塗布して出現したコロニー数を示し、4 つのカテゴリ (0, <1, 1~3, >3) でその割合を百分率 (%) で図示している。(A) 接種点より 1.5 mm 外側の周辺組織に含まれる菌数。(B) 接種点より 2.5 mm 外側の周辺組織に含まれる菌数。

1-3. qPCR を利用したせん孔細菌病菌接種葉における病原菌の検出

これまでに用いたせん孔細菌病菌の検出法は、モモ本葉組織の破碎液を細菌用寒天培地に塗布し、形成されるコロニー数を計測するという方法で、1 回の実験で扱える検体数に限りがあった。そこで、多検体を効率よく扱得る手法の開発を目的に qPCR を用いて病原菌数の測定を試みた。病原菌の検出に利用するプライマーは、感染の診断目的で報告されているものを使用した。まず最初に濃度が明らかな病原菌液を用いて qPCR を行い、検出範囲を調べたところ、 10^2 から 10^5 CFU の濃度区間で安定した検出が認められた (図 5A)。一方、 10 CFU の濃度では検出結果にばらつきが認められ、上述の線形プロットから外れたため、 10^2 CFU の濃度を検出限界とした。モモ本葉に病原菌を接種した後、経時的に周辺組織を採取して DNA を抽出し、qPCR に夜検出を行ったところ、14 日後では約 10^3 CFU、21 日後では約 10^4 CFU の病原菌が検出された (図 5B)。同条件でのコロニー計測実験では、接種 14 日後には $10^2 \sim 10^3$ CFU、21 日後には 10^3 CFU 以上の菌数となることから (図 4B)、qPCR を用いた病原菌検出の結果はコロニー計測実験の結果と概ね合致していると考えられた。

本研究によりモモ本葉における摂取周辺部位への病原菌の感染拡大について評価できることが明らかとなった。また qPCR を利用することで多数の検体を簡易検定できることも示された。今後は、代表的な抵抗性系統及び極感受性系統を用いて感染拡大の抑制程度に関する詳細な判定基準を作り、より多くのモモ系統の病害抵抗性を評価することでせん孔細菌病抵抗性マーカーの開発に繋げたい。

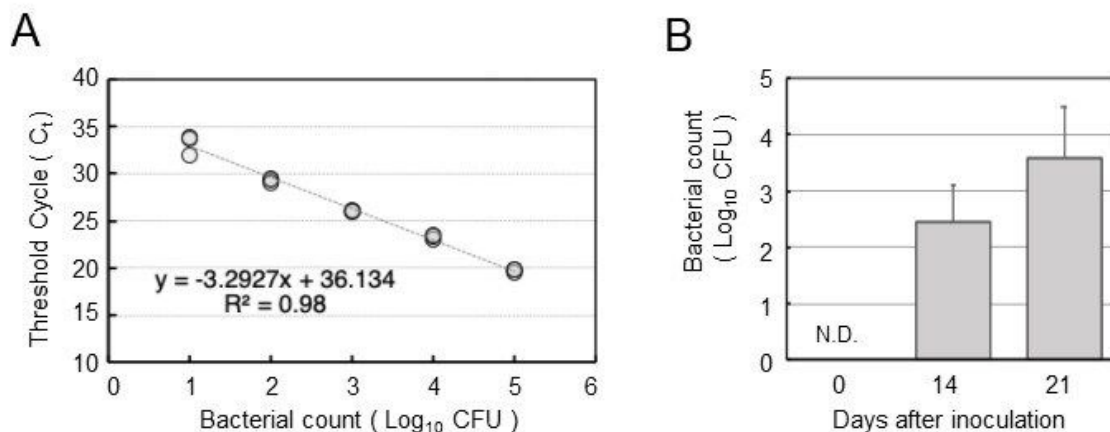


図 5. qPCR を用いたせん孔細菌病菌の検出

(A) せん孔細菌病菌液を用いて qPCR を行い、得られた検量線 (n=3)。

(B) モモ本葉接種部位の周辺組織を経時的に回収し、抽出した DNA を用いた qPCR。菌数 (Log₁₀ CFU) はコロニー計測で使った抽出液の量と同じになるよう換算した。N.D.= Not detected, Bar=SE.

中課題 2

青枯病防除技術の開発

[背景と目的]

本課題では、ナス科作物の重要病害「青枯病」に強い新品種を作することを目的に研究を行っている。複数の重層化した青枯病抵抗性を持つ作物を効率よく選抜するには、抵抗性遺伝子の解明が必須である。一般的に、抵抗性植物は病原菌が感染時に植物細胞内に注入するタンパク質性病原因子（エフェクター）を認識して強力な抵抗反応を誘導する（図 6）。

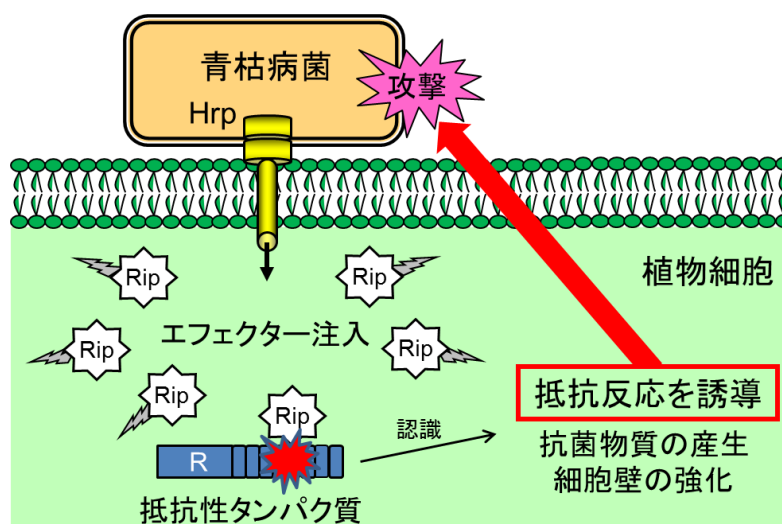


図 6. 植物の抵抗性タンパク質を介した青枯病菌の認識機構
青枯病菌は植物感染時に III 型分泌装置 (Hrp) から宿主細胞にエフェクターを注入し、植物は抵抗性 (R) タンパク質で非病原力 (Avr) エフェクターを認識して抵抗反応を誘導し、病原菌増殖を抑制する。

我々は、抵抗性植物に認識される青枯病菌の非病原力（Avr）エフェクターを利用してナス科作物が持つ抵抗性（R）タンパク質の同定を行っている（図 7）。これまでの研究から、ナス系統が持つ 2 つの青枯病抵抗性遺伝子 *RAX2* (*Recognition of RipAX2*) 及び *RBF1* (*Recognition of HopBF1*) を見出し、*RAX2* が phylotype I のナス青枯病菌が持つ RipAX2 エフェクターを認識すること、及び *RBF1* が phylotype IV のジャガイモ青枯病菌の HopBF1 エフェクターを認識して強い青枯病抵抗性を発揮することを明らかにしている。また、*RAX2* 及び *RBF1* を持たない感受性ナス系統を見いだすことにも成功し、抵抗性系統と感受性系統の交配後代集団の解析から *RBF1* は優性 1 遺伝子であることを確認している。昨年度、*RAX2* の性状解析を報告したので、今年度は *RBF1* の解析結果について報告する。

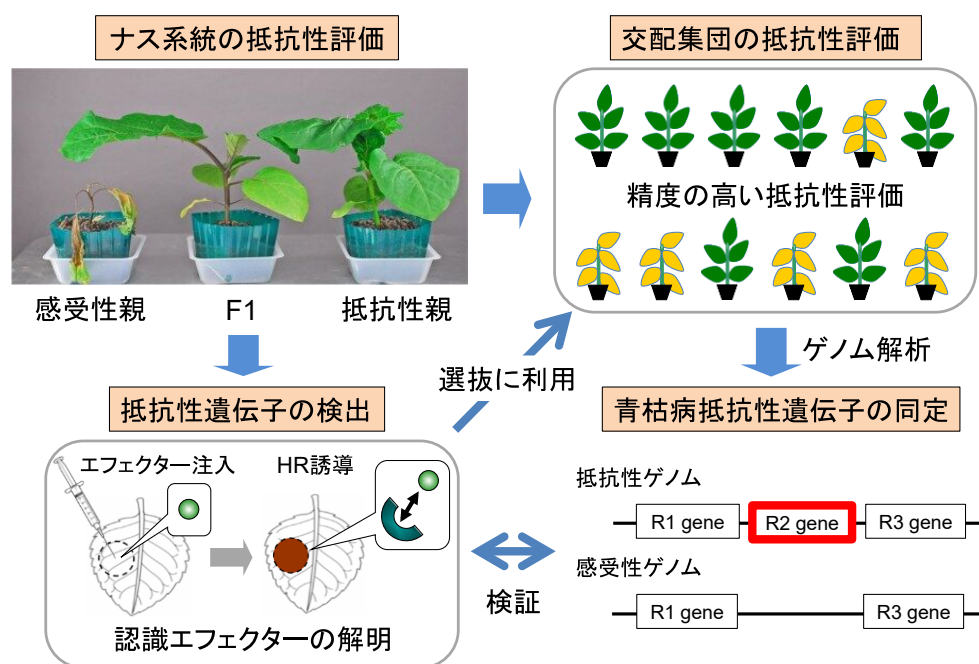


図 7. Avr エフェクターを利用した青枯病抵抗性遺伝子の同定

[今年度の成果]

2-1. ジャガイモ青枯病抵抗性遺伝子 *RBF1* 候補領域の同定

我々は phylotype IV のジャガイモ青枯病菌が持つ HopBF1 エフェクターを認識し、HR を伴う強度抵抗反応を誘導するナス系統 A を発見し、本系統が持つ青枯病抵抗性遺伝子 *RBF1* の同定に取り組んでいる。*RBF1* を持つナス系統に加えて、HopBF1 を認識できず、HR を誘導しないナス系統 B も同時に見出しており、これら 2 つのナス系統の交配後代植物を遺伝学的に解析することで *RBF1* の同定を試みている。HopBF1 を認識する抵抗性系統 A は HopBF1 を持たない青枯病菌 RS1002 株には罹病性であるが、*hopBF1*⁺ を導入した RS1002 株には強度抵抗性を示す（図 8）。一方、HopBF1 を認識できない感受性系統 B は *hopBF1*⁺ 導入株に罹病性を示す。両者の交配で得られた F1 植物は全て青枯病抵抗性を示すことから、*RAX2* は優性遺伝子と考えられた（令和 5 年度研究年報）。



図 8. HopBF1 に対する認識能力が異なるナス系統及びその交配後代の青枯病抵抗性

HopBF1 を認識するナス系統は HopBF1 を持つ青枯病菌に強度抵抗性を示すが、認識できない系統は接種後、速やかに枯死する。両者の BC1 後代では抵抗性と罹病性は 1:1 で分離する。

RBF1 を持つ抵抗性ナス系統が青枯病菌エフェクター HopBF1 を認識して抵抗反応を誘導することから、*RBF1* の実体は NBS-LRR 抵抗性タンパク質遺伝子であると推察される。*Pseudomonas syringae* が持つ HopBF1 は植物細胞内の HSP90 をリン酸化してシャペロン活性を失わせることが報告されているが、HSP90 に対する病原菌の攻撃を感知する抵抗性タンパク質はこれまで知られておらず、*RBF1* の実体とエフェクター認識機構の解明は大変興味深い課題である（図 9）。ナスは *P. syringae* の HopBF1 も認識して HR を誘導することから、*RBF1* は HopBF1 ファミリーエフェクターを広く認識する可能性が高く、育種の観点からも利用価値が高いと考えられる。

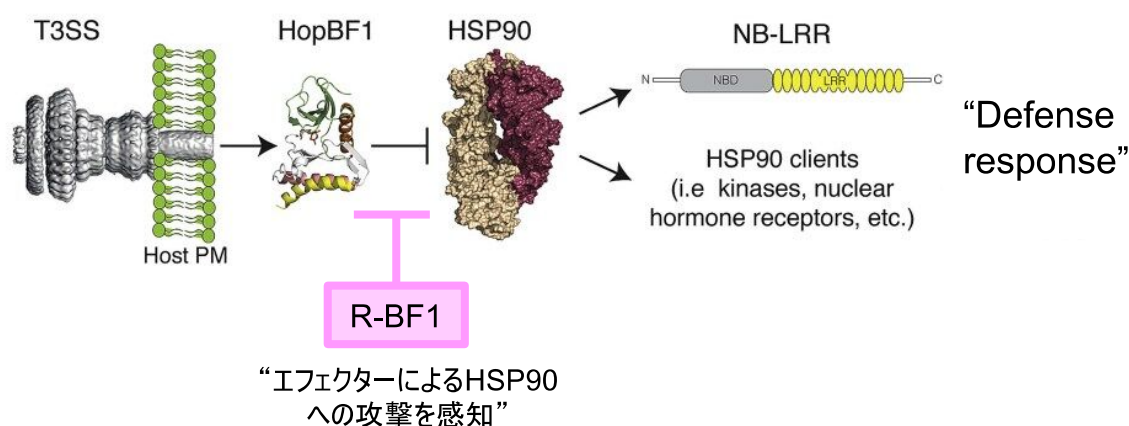


図 9. ナス *RBF1* 抵抗性タンパク質による HopBF1 エフェクターの認識
青枯病菌は植物に感染するとタイプ III 分泌装置（T3SS）から HopBF1 エフェクターを植物細胞内に注入する。HopBF1 は宿主 HSP90 をリン酸化してシャペロン活性を失わせ、抵抗反応を抑制する。*RBF1* は HopBF1 のタンパク質リン酸化活性を感知して抵抗反応を誘導する。

今年度は、抵抗性系統 A と感受性系統 B の F₂ 植物及び F₁ を感受性系統と戻し交配した BC₁ 植物について HopBF1 認識能力の有無を調べた。約 100 個体の F₂ 植物に HopBF1 を持つ青枯病菌を接種したところ、抵抗性と罹病性が 3 : 1 で分離した（表 1）。また、約 140 個体の BC₁ 植物に HopBF1 を持つ青枯病菌を接種したところ、抵抗性と罹病性が 1 : 1 で分離した（表 1 及び図 8）。

表 1. HopBF1 を認識する抵抗性系統と認識しない感受性系統の交配後代の表現型

ナス	青枯病抵抗性	青枯病感受性
抵抗性親系統	8/8 (100 %)	0/8 (0 %)
感受性親系統	0/8 (0 %)	8/8 (100 %)
F ₁	8/8 (100 %)	0/8 (0 %)
F ₂	76/105 (72 %)	29/105 (28 %)
BC ₁ (F ₁ × 感受性親系統)	69/140 (49 %)	71/140 (51 %)

以上の結果は、*RBFI* が優性 1 遺伝子であることを明確に示している。抵抗性植物と感受性植物のバルクゲノムを用いた Δ SNP-index 解析から、*RBFI* は第 11 番染色体に存在する抵抗性遺伝子クラスターの 1 つに存在することが強く示された（データ示さず）。本遺伝子クラスターには 30 以上の CC 型 NLR (CNR) が存在し、さらに複数の非完全型 NLR もこの領域内には存在する。今後、交配集団を利用したファインマッピングから *RBFI* を特定したい。最近、トマト野生種が *P. syringae* の HopBF1 を認識して HR を誘導することが報告された。ジャガイモと同じナス科に属するナスに *RBFI* が広く存在し、進化的に非常に近い起源を持つトマト野生種にも同抵抗性遺伝子が存在するという事実は、ジャガイモにも *RBFI* が存在する可能性を強く示唆する。研究が進んでナスの *RBFI* を同定できたとしても、この青枯病抵抗性遺伝子を直接ジャガイモに導入して野外利用することは組換え植物に対する規制面から困難と考えられる。しかしながら、その遺伝子情報を利用してジャガイモ遺伝資源の中から *RBFI* を持つジャガイモ野生系統を見出すことができればジャガイモの青枯病抵抗性育種に大きく貢献できると期待している。

令和 7 年度の活動

1. 報文(総説・原著論文等)

なし

2. 学会・シンポジウム・講演会等での発表

Manabu Yoshikawa, Kikyo Watanabe, Yong-Woon Han and Takafumi Mukaihara

An effector protein HopBF1 from *Ralstonia solanacearum* species complex inhibits RNA silencing in plants

第 26 回日本 RNA 学会、2025 年 7 月 8～10 日（仙台市）

3. 知的財産権

なし

4. 共同研究・協力連携先

岡山県農林水産総合センター農業研究所、岡山大学、農研機構生物機能利用研究部門、農研機構野菜花き研究部門、岩手生物工学研究センター

5. 外部資金獲得状況

- ・ 科学研究費補助金・基盤 C （代表 向原隆文）
- ・ 科学研究費補助金・基盤 C （代表 嘉美千歳）
- ・ 科学研究費補助金・基盤 B （分担 向原隆文）
- ・ 県外部知見活用型・産学官連携研究事業（代表 向原隆文）
- ・ ウエスコ学術振興財団研究活動費助成 （代表 嘉美千歳）

6. その他

岡山県立大学連携大学院 教授（客員、兼任）（向原隆文）

発行日 令和 8 年 7 月 31 日
発行者 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所
連絡先 〒716-1241
岡山県加賀郡吉備中央町吉川 7549-1
TEL 0866-56-9450
FAX 0866-56-9453
ホームページアドレス
<http://www.pref.okayama.lg.jp/soshiki/203/>

※無断転載複製を禁ず