



生物科学研究所

令和6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

令和5年度の研究年報序文を書いてから、はや一年が経過しました。今年の1月に、トランプ第二次政権が誕生し、選挙前には“私が大統領に選ばれば、ウクライナへのロシアによる侵攻は、一日で収まる。”と仰っていましたが、残念ながら、有言実行とはなっていないのが現状であります。また、テロ行為が発端となったガザ地区での戦闘も収まらず、一般市民の方の生命が脅かされていることに心が痛みます。いち早く戦火が収束することを願うばかりであります。

一方国内に目を転ずると、いわゆる「令和の米騒動」で、白米5キロ当たりの販売価格は、4千円を超え、現時点で昨年の上で推移しています。政府は備蓄米を放出し、価格の鎮静化を図っています。そもそも、米は不足しているのか？足りているのか？、インバウンドの影響で米不足になっているのか？、はたまた減反政策のせいで、米不足になってしまったのか？日本人の米への嗜好が回復傾向なのか？といったあたりの原因究明をしてほしいところです。

研究所は、平成8年10月の業務開始から数えて29年目を迎えました。令和6年末には、LED化の工事が終わり、職場の環境が明るくなったのは何よりでありました。また、昨年夏には、外部評価委員の先生方による評価を受け、現在進行中の第6期研究五か年計画の6課題について、中間評価を受け、おおむね良好な評価を得ております（詳細な評価結果等につきましては、農林水産総合センターホームページ (<https://www.pref.okayama.jp/site/22/list111-554.html>) にて公表しておりますので、よろしければご参照下さい。).

令和6年度の研究年報記載の研究成果については、本編を参照して頂きたいのですが、「‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’のマスカット香に関わる重要遺伝子の同定」、「ショウガ科植物・月桃（ゲットウ）による新規抗植物ウイルス剤の開発」、「グルタチオン肥料施用による樹木苗木育成による下刈り回数の低減効果」、「鏡野町特産・姫とうがらしにおける天日干しの効果」、「モモせん孔細菌病の本葉組織内での病原細菌の増殖抑制効果」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6年度は、第6期五か年研究計画の3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7年6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

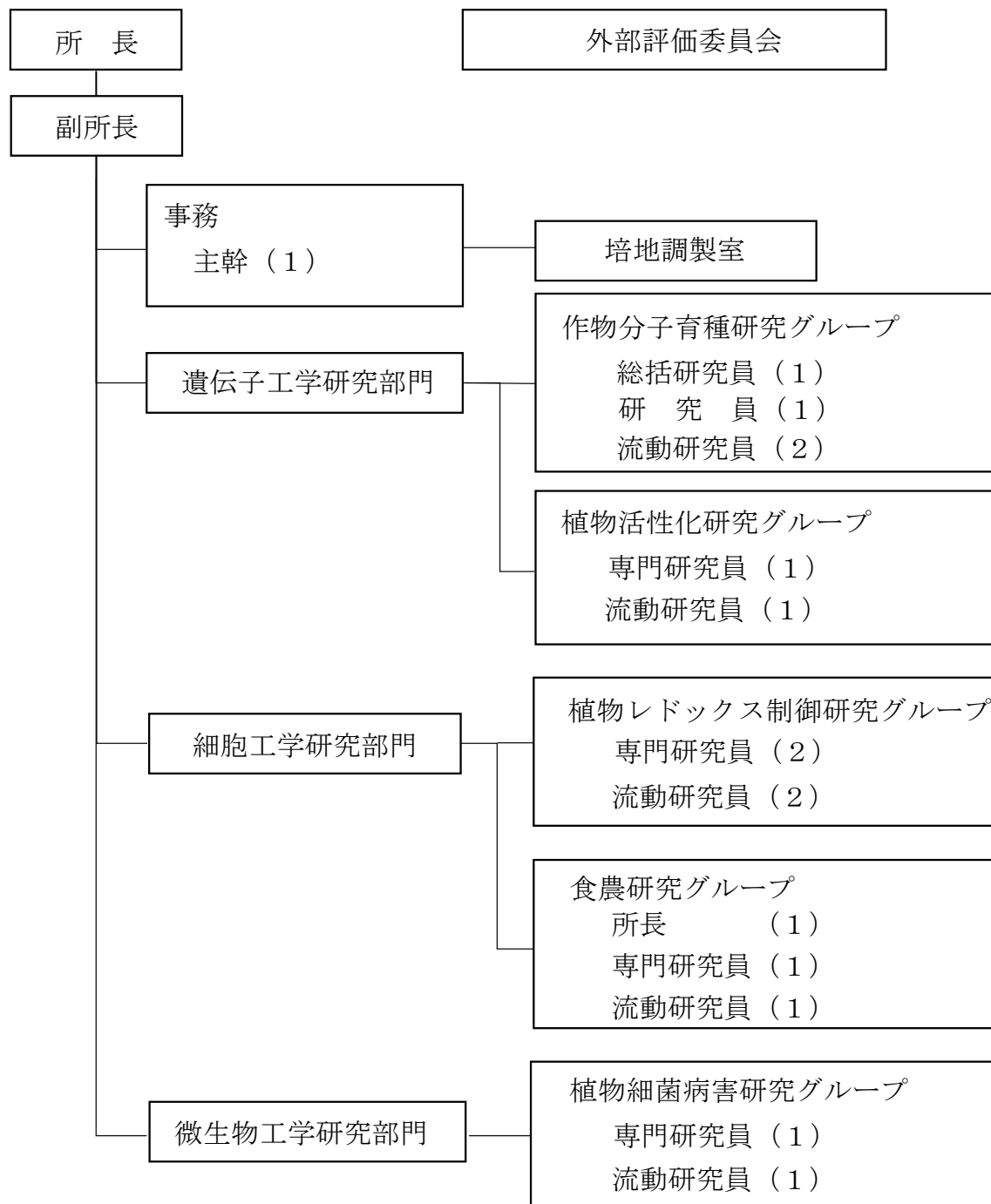
研究の概要

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

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7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
主幹	1	リサーチアソシエイト	1
総括研究員	1	実験・事務補助員等	6
専門研究員	5	計	24

生物科学研究所職員名簿 (令和7年3月31日現在)

職 名	氏 名	氏 名
所 長	畑 中	唯 史
副 所 長	難 波	克 徳
主 幹	木 村	正 志
総括研究員	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	向 原	隆 文
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	霊 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

伊 東	秀 之	公立大学法人岡山県立大学保健福祉学部・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
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
藤 原	加 奈	株式会社フジワラテクノアート・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

第6期5カ年研究計画

(令和4年度～令和8年度)

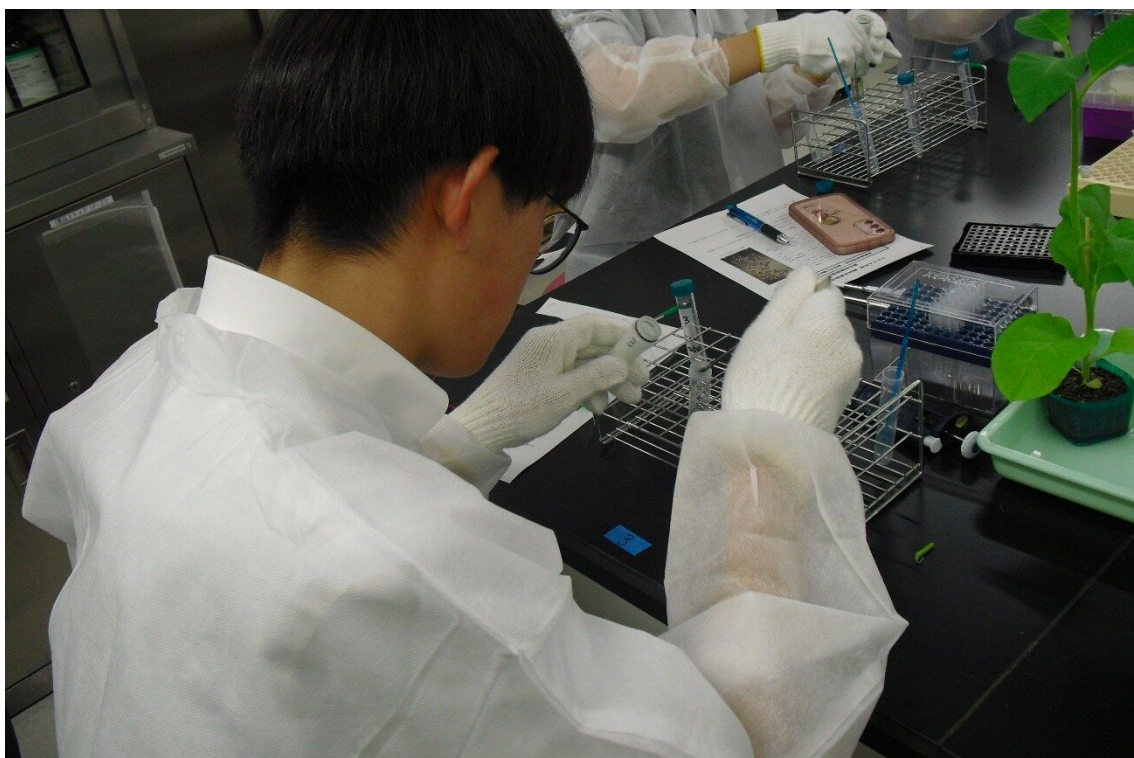
課題名	担当研究グループ
県産果物のブランド力を強化する次世代育種技術の開発研究	作物分子育種 研究グループ
持続的な農業生産に向けた環境保全型農業生産システムの開発	植物活性化 研究グループ
持続可能な農林業を支える種子選抜・肥培管理技術の開発 持続可能な飼料・食品産業を支える発酵技術開発	植物レドックス制御 研究グループ
県産農作物の機能性評価による高付加価値化の推進	食農 研究グループ
県主要農作物における細菌病害防除技術の開発研究	植物細菌病害 研究グループ

主な行事

夏の体験教室（遺伝子にふれてみよう。高生対象）開催

日時：令和6年8月6日（火）13時00分～17時00分

参加者：高校生5名



令和6年4月8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6年7月4日 生物科学研究所における所長会議



令和6年7月16日 外部評価会議（試験研究課題中間評価・ピュアリティまきび）



令和7年1月9日 令和6年度農業分野の温暖化対策に係る研修会
(岡山県農業大学校 研修交流ホール)



参加者数：79名

令和7年2月10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

「グルタチオン施用植物における窒素の取り込みに対する NodGS 遺伝子の影響」

野田 壮一郎 …… 13:00～13:30

「グルタチオン施用による生育促進効果に対するマグネシウム肥料の影響」

望月 智史 …… 13:30～14:30

食農研究グループ

「姫とうがらしにおいて未熟果を赤姫にするための要因解析」

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～Non-NLR 型新規抵抗性遺伝子の探索と利用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……15:00～15:15>

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 …… 15:15～15:45

「モモの効率的な形質転換技術の開発」

田村 勝徳 …… 15:45～16:15

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 …… 16:15～16:45

主な視察・来訪者

令和6年5月23日 岡山大学農学部植物コース3年生来所（学生38名）



令和6年6月4日 IPM協議会来所（計15名）



令和6年7月24日 吉備中央町公民館来所（計12名）



その他、民間企業、研究機関などからの視察・来訪者

計 239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

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であり、特にブドウやモモは、生産額が米に次いで県内 2 位および 3 位を占める主要農作物である。県産のブドウやモモは、生産量が多いだけでなく、品質が大変優れており、消費者の評価が高く、市場でも高値で取引される傾向にある。ブドウやモモのこのような高いブランド力を、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といえる。ブランドは消費者の頭にイメージされる抽象的なものであり、さまざまな要素から成り立っているが、農作物の場合は品種がしばしばブランドの要となっており、優良な県オリジナル品種を育成することは、ブランド力の向上に極めて大切と考えられる。

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 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 年計画ではブドウも研究対象に加え、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のさらなる向上を目指した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」のブランドで知られ、他県産モモと異なり、果皮が白色を呈するという際立った特徴を有している。また、岡山のブドウは、黒ブドウの主力である「ピオーネ」が全国一の生産高を誇り、近年は「晴王」のブランド名を冠した高品質な「シャイン・マスカット」の生産も盛んである。このような県主力作物であるモモ、

ブドウにおいて、さらに優れた県オリジナル新品種を求める声は、生産者、実需者、消費者から強く出されている。そのため、本県農業研究所（旧農業試験場）では古くから新品種育成に取り組み、例えばモモの品種改良は明治時代後期から開始し、これまでにおかやま夢白桃などの多くの品種を育成して、県民のニーズに応じてきた。最近では、ブドウやモモの主要産県で、各県独自の品種育成が盛んとなり、さながら品種育成競争の感も感じられるほどである。

これまでに、ブドウもモモも数多くの品種が育成されてきたが、そもそも、それぞれの品種がもつ特性（形質の違い）は、どこから生まれてくるか。品種特性は、同一圃場で、すなわちほぼ同一環境条件下で観察できることから分かるように、先天的なものであって、基本的に、各品種が保有する遺伝子の違いにより引き起こされると考えられる。近年、遺伝子に関する学問分野である分子生物学的が興隆し、遺伝子に関する多様な知識が蓄積されてくるとともに、遺伝子を解析する技術も合わせて進歩してきた。分子生物学の解析対象は、初期の頃は、モデル生物が中心であったが、やがて拡大していき、現在では、栽培作物の研究もふつうに行われるようになった。果樹においても、ゲノム（遺伝子の総体）情報を始め、数多くの知見が明らかにされつつある。

このように発展しつつある学術研究の知見や解析技術をベースに、最近では「分子育種」と呼ばれる、新たな育種法が開発されてきた。その一つが、マーカー支援選抜（Marker Assisted Selection）である。これは、従来、形質を互いに比較することで、交配個体群から優れた個体を選抜していたのに代わり、各個体の DNA を比較することで、優れた個体を予測し選抜するという手法である。DNA はどの組織でも違いがなく、環境条件や生育によっても変化しないため、植物の栽培環境や成長段階を考慮することなく選抜が可能である。果実の形質に関する選抜を行う場合でも、果実は不要であり、圃場定植前の小さな幼苗の段階でわずかな葉を採取して選抜を行うことができる。このため、幼苗時に DNA マーカーによる一次選抜を組み入れることで、果樹育種の最大の障害である栽培の手間を増やすことなく、大規模育種が可能になることから、マーカー選抜は果樹育種に特に強力な手法と期待されてきた。

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できていない。そこで、このような状況を打破するため、我々は、10 数年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）。

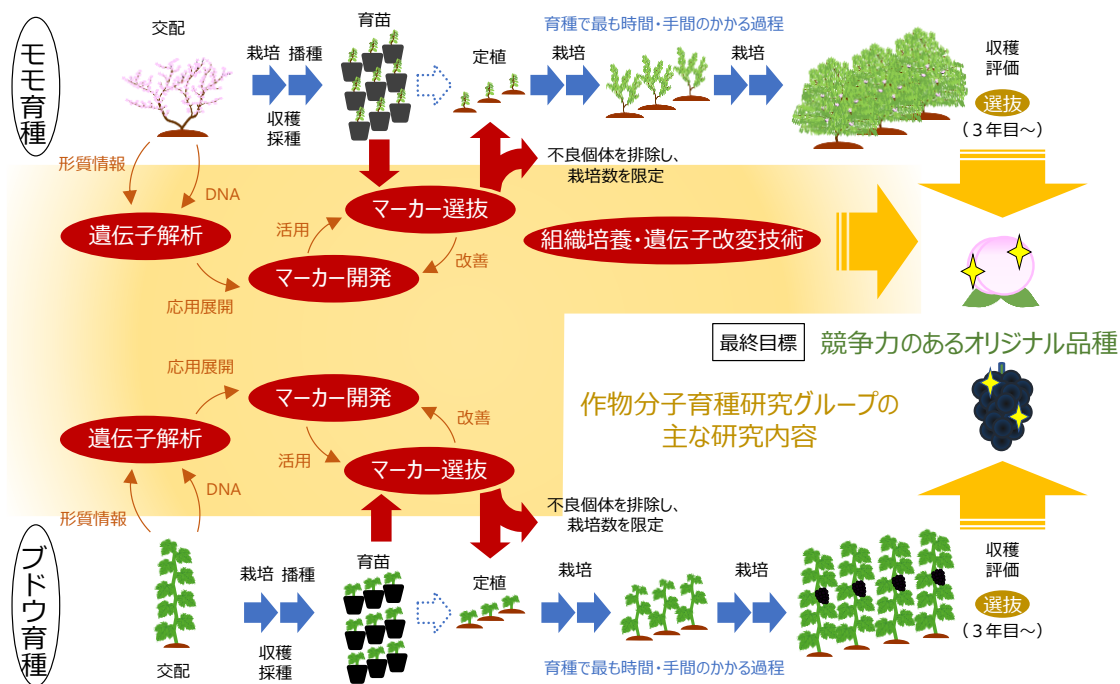


図 1. マーカーによる岡山県の効率的なモモ、ブドウの新品種育成

[今年度の成果]

現在、作物分子育種研究グループの研究は、主に以下の 4 つの内容に取り組んでいる。

- (1) モモやブドウを対象にした様々な形質の遺伝子解析と DNA マーカー開発
- (2) DNA マーカーを有効に活用するための周辺技術の開発
- (3) モモ、ブドウ育種におけるマーカー選抜の実践
- (4) モモ育種にマーカー支援選抜以外の分子育種法を導入するための技術開発

このうち、(1) が研究の主体であり、現在、複数の形質について、分子機構解析やマーカー開発を進めている。(2) に関しては、マーカー選抜に適した栽培法の開発などに取り組んでいる。マーカー選抜を育種現場で実践すると、マーカー開発時には想定していない問題が発生することがしばしばあり、マーカー検出法の改変や DNA 抽出法の改善等による問題解決も適宜行っている。(3) に関しては、共同研究先の岡山県農業研究所に選抜技術に移転するよう努めており、現在は主に農業研究所で実施している。(4) については、将来の育種技術開発を見越して、研究を進めている。

本年報の以下の部分では、ブドウの香りに関して取り組んでいる研究の一端について、報告する。

エジプト原産の‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’は、上品な甘みと爽やかな酸味をもち、芳醇なマスカット香を特徴とするブドウの代表的品種の一つである。日本での栽培は明治時代に始まったが、いち早く温室栽培を採用したことで、日本で最初に岡山で生育に成功。岡山の日照時間が長く温暖な気候風土に、先人たちの並々ならぬ努力が合わさって、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の栽培が定着して、現在で

は、岡山の代表的品種として、全国の95%を生産する状況になっている。このような岡山の特徴を考慮すると、マスカット香の強いブドウは岡山らしさを際立たせるのに有効ではないかと考え、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’が強いマスカット香を放つ遺伝的要因を解析し、将来的にマスカット香の強い新品種を効率的に育成できるよう、研究を開始した。

ブドウのマスカット香の主要成分は、リナロール、ゲラニオール、ネロールといったモノテルペンであり、その合成には複数の遺伝子が関与するとされている。マスカット香の程度には品種間差があるが、香りの強さにはMEP経路の*DXSI*遺伝子内の1塩基多型(SNP1822G>T)が関与することが既に報告されている(Emanuelliら、2014)。確かに、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’は*DXSI*の遺伝子型がG/Tヘテロで、高活性のT型遺伝子を有している。しかし、同じG/Tヘテロの*DXSI*遺伝子を有する‘サニードルチェ’は香りが大変少なく、*DXSI*の遺伝子型だけでマスカット香の強弱を説明できないことから、*DXSI*以外の遺伝子の関与が示唆される。そこで、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’と‘サニードルチェ’のマスカット香の程度が異なる要因について調べた。

まず、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’および‘サニードルチェ’の果粒軟化2～8週後の果皮から香気成分であるモノテルペンを抽出し、GC/MSで定量した。その結果、マスカット香が強い‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’は、果粒軟化2週後から6週後にかけて、主要モノテルペンの総量が大幅に増加した(図2)。成分としては、ゲラニオール、ネロール、 α -テルピネオール、リナロールの割合が高く、特に、リナロール量が果粒軟化に伴って著しく増加しており、これが‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の強いマスカット香の要因の一つと推察された。‘サニードルチェ’は、2週後の時点では、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’と大差なかったが、その後増加することなく、むしろやや減少する傾向が見られた。

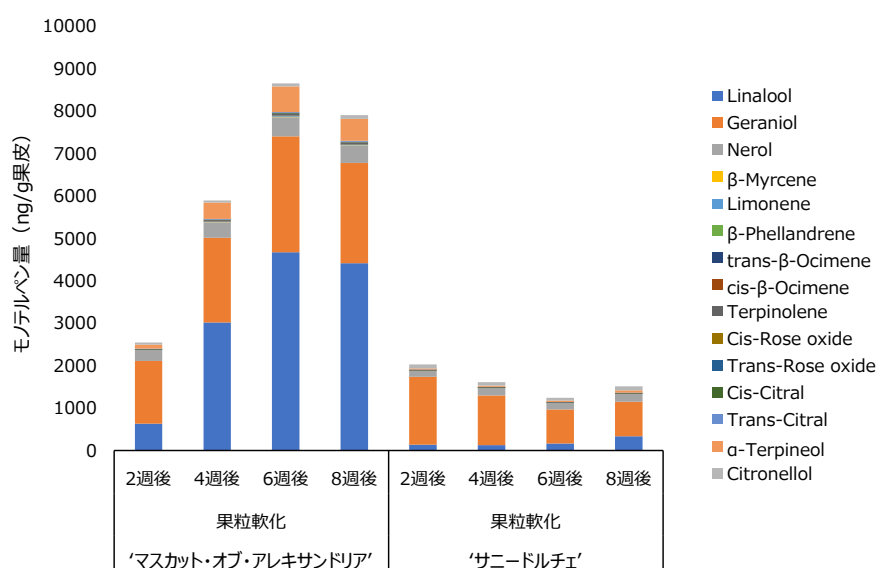


図2. 果粒軟化に伴うモノテルペン含量の推移

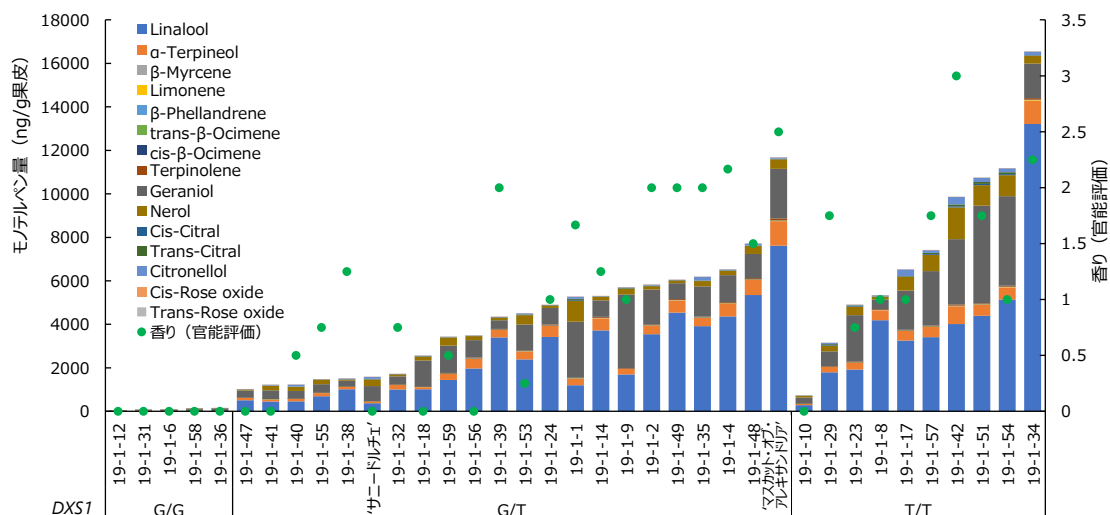


図 3. ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ × ‘サニードルチェ’ 交配樹のモノテルペン含量

次に、‘サニードルチェ’と‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’を交配して得られた 34 系統を材料に、収穫期の果皮から香気成分を抽出し、モノテルペン含有量を GC/MS で測定した。その結果、交配系統では、主要モノテルペンの総量が系統間で大きくばらついた (図 3)。特に、総量の多い系統はリナロール量が多い傾向が認められた。各系統の *DXSI* 遺伝子型を明らかにしたところ、*G* 型 *DXSI* のみを持つ 5 系統 (19-1-12、19-1-31、19-1-6、19-1-58、19-1-36) は、モノテルペンをごくわずかししか検出できず、官能評価でも香りを感じられなかった。一方、*T* 型 *DXSI* をホモまたはヘテロで有する残りの 29 系統は、いずれも *G* 型 *DXSI* ホモの系統よりも多いモノテルペンを含有していた。ただ、*DXSI* 遺伝子型が同一 (*G*/*T* ヘテロ型あるいは *T* 型ホモ) の交配系統同士でも、モノテルペン総量に大きな差が見られ、やはり *DXSI* の遺伝子型だけでは、マスカット香の強弱を説明できなかった。

表 1. ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ × ‘サニードルチェ’ 交配樹間における、モノテルペン成分量の相関関係

	Linalool	α-Terpineol	β-Myrcene	Limonene	β-Phellandrene	trans-β-Ocimene	cis-β-Ocimene	Terpinolene	グループA 合計	Geraniol	Nerol	Cis-Citral	Trans-Citral	Citronellol	Cis-Rose oxide	Trans-Rose oxide	グループB 合計	モノテルペン 総量	香り (官能評価)	果実量	種子数
グループA	1																				
Linalool	1																				
α-Terpineol	0.915	1																			
β-Myrcene	0.935	0.899	1																		
Limonene	0.927	0.988	0.934	1																	
β-Phellandrene	0.880	0.878	0.986	0.915	1																
trans-β-Ocimene	0.949	0.949	0.982	0.977	0.956	1															
cis-β-Ocimene	0.950	0.963	0.970	0.986	0.941	0.998	1														
Terpinolene	0.896	0.990	0.890	0.992	0.870	0.951	0.967	1													
グループA合計	0.999	0.932	0.939	0.941	0.888	0.957	0.959	0.914	1												
グループB										1											
Geraniol	0.438	0.528	0.662	0.564	0.699	0.618	0.592	0.539	0.452	1											
Nerol	0.336	0.498	0.579	0.507	0.679	0.508	0.485	0.482	0.357	0.822	1										
Cis-Citral	0.279	0.384	0.551	0.415	0.642	0.461	0.427	0.374	0.293	0.854	0.929	1									
Trans-Citral	0.298	0.402	0.566	0.430	0.650	0.479	0.445	0.389	0.312	0.880	0.922	0.995	1								
Citronellol	0.452	0.498	0.602	0.482	0.656	0.512	0.487	0.437	0.460	0.641	0.822	0.719	0.727	1							
Cis-Rose oxide	0.492	0.502	0.589	0.491	0.644	0.503	0.479	0.446	0.497	0.535	0.726	0.646	0.645	0.799	1						
Trans-Rose oxide	0.585	0.595	0.702	0.580	0.760	0.608	0.582	0.529	0.590	0.608	0.801	0.716	0.722	0.885	0.936	1					
グループB合計	0.435	0.542	0.670	0.571	0.724	0.615	0.588	0.543	0.450	0.987	0.902	0.907	0.925	0.732	0.620	0.697	1				
モノテルペン総量	0.928	0.920	0.976	0.938	0.959	0.968	0.959	0.907	0.934	0.735	0.629	0.583	0.605	0.640	0.623	0.724	0.739	1			
香り (官能評価)	0.712	0.780	0.716	0.767	0.734	0.725	0.728	0.756	0.725	0.505	0.511	0.460	0.475	0.521	0.675	0.684	0.531	0.760	1		
果実量	-0.348	-0.309	-0.415	-0.335	-0.438	-0.368	-0.347	-0.288	-0.347	-0.293	-0.366	-0.358	-0.361	-0.330	-0.524	-0.460	-0.327	-0.393	-0.353	1	
種子数	0.312	0.242	0.247	0.235	0.204	0.267	0.273	0.243	0.307	0.015	-0.038	-0.026	-0.040	-0.054	-0.104	0.020	0.000	0.230	0.043	0.310	1

‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ × ‘サニードルチェ’ 交配樹における、モノテルペンの各成分のばらつきにどのような特徴があるかを知るため、すべての2成分間のばらつき具合を相関度として計算し、表1にまとめてみた。すると、交配樹間における含量の違いがリナロールとよく一致するグループAと、ゲラニオールと似ているグループBに分けることができた。総量は、グループAにより強い相関を示し、また、香りの程度（官能値評価）もグループAにより強い相関を示した。一方、果粒重や種子数は、モノテルペン成分の含量と高い相関を示さなかった。

続いて、マスカット香の品種間差にどのような遺伝子が関与しているかを明らかにするため、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ および ‘サニードルチェ’ の果粒軟化4週後および8週後の果皮からRNAを抽出し、RNAseq解析を行った。その結果、モノテルペン合成に関わるMEP経路の遺伝子は、*DXS1*を含め、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ と ‘サニードルチェ’ で遺伝子発現に有意な差は見られなかった（表2）。ただし、*HDR* は果粒軟化4週後においてのみ、2倍程度の差が見られた。

モノテルペンは、ジメチルアリルニリン酸とイソペンテニルニリン酸の結合によって生成したゲラニルニリン酸を前駆体として、テルペン合成酵素（TPS）により生合成される。テルペン合成酵素は、ブドウにおいて特に巨大な遺伝子ファミリーを形成しており、その構成も品種によって大きく異なっている。今回のRNAseq解析の結果によると、そのうちの*TPS55*、*TPS56*、*TPS82*の3つの遺伝子発現が、‘サニードルチェ’ に比べ、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ で有意に高まっていた。

表2. ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ および ‘サニードルチェ’ の果粒軟化4週後および8週後における、モノテルペン合成関連遺伝子の発現プロファイル

Name	TPM				4週後		8週後	
	‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ 4週後	‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’ 8週後	‘サニードルチェ’ 4週後	‘サニードルチェ’ 8週後	Fold change	FDR p-value	Fold change	FDR p-value
DXS1	71.02	33.20	59.09	64.79	1.28	0.53	-1.92	0.07
DXS3	8.93	11.43	9.58	9.25	-1.01	0.98	1.23	0.63
DXS2	4.86	0.44	5.99	1.88	-1.15	0.81	-4.19	0.02
DXR	36.81	21.34	37.84	33.39	1.03	0.95	-1.56	0.21
MCT	12.64	12.66	20.37	16.24	-1.49	0.29	-1.27	0.63
CMK	45.18	44.62	44.08	33.45	1.09	0.83	1.34	0.44
MCS	51.51	72.26	71.09	65.17	-1.29	0.47	1.11	0.83
HDS	113.32	69.40	121.66	120.75	-1.01	0.98	-1.72	0.17
HDR	857.20	591.25	421.82	483.81	2.16	0.00	1.23	0.67
IDI	207.88	124.87	236.44	224.75	-1.07	0.90	-1.82	0.09
GGPPS1	16.20	13.69	27.01	24.27	-1.56	0.10	-1.78	0.13
GGPPS-LS	4.31	1.43	7.36	4.27	-1.59	0.46	-2.94	0.06
GGPPS-SS	11.75	11.13	27.60	20.27	-2.20	0.02	-1.79	0.18
TPS55	82.71	189.15	9.43	16.35	9.30	0.00	11.37	0.00
TPS56_2	2.03	2.72	0.15	0.08	14.24	0.00	34.02	0.00
TPS82	0.80	0.62	0.04	0.05	17.68	0.04	10.99	0.06
GT5	33.32	55.82	50.65	59.46	-1.43	0.33	-1.08	0.90
GT20	27.07	10.79	14.01	3.10	2.06	0.01	3.51	0.00
GT15	15.83	3.29	9.96	7.19	1.70	0.11	-2.17	0.09
GT6	15.10	17.51	19.10	16.14	-1.19	0.81	1.07	0.92
GT14	13.25	27.95	15.24	20.10	-1.08	0.90	1.40	0.39
GT7	5.07	9.96	1.14	0.36	4.73	0.00	26.59	0.00
GT13	2.51	2.64	10.19	8.58	-3.71	0.00	-3.23	0.02

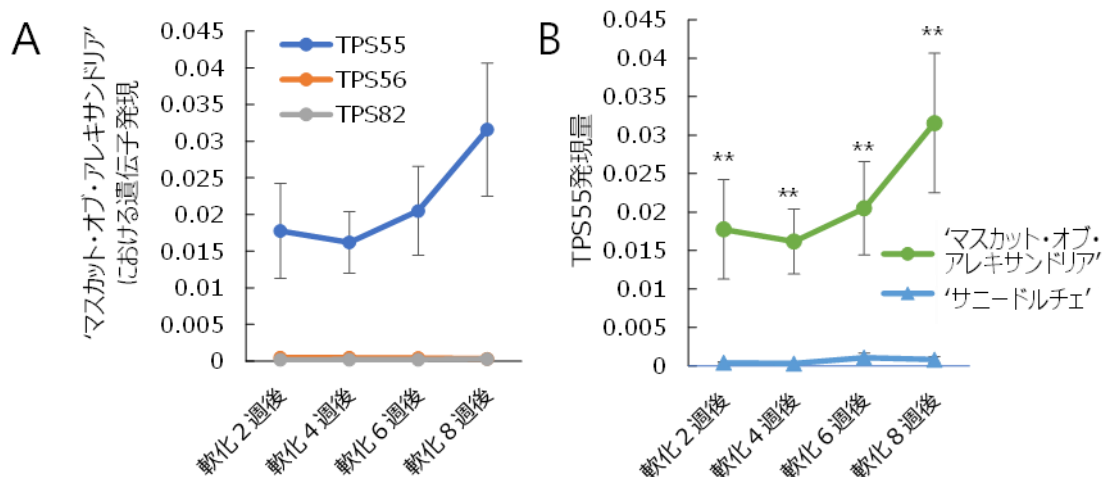


図 4. 定量 PCR 法による *TPS* 遺伝子の発現解析

これら 3 つの *TPS* 遺伝子の発現量の果粒軟化に伴う変化を、qPCR 法により確認したところ、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’では、特に *TPS55* の発現が強かった (図 4)。一方、‘サニードルチェ’の発現量を調べてみると、‘サニードルチェ’では発現が極めて低いことが分かった。*TPS55* はリナロール合成への関与が報告されている *TPS54* (Martin ら 2010) と相同性が非常に高い。これらのことから、*TPS55* は、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’と‘サニードルチェ’のマスカット香に関わる品種間差に深く関与している可能性が示唆された。

一方、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’と‘サニードルチェ’の *TPS55* は、遺伝子配列が、コーディング領域だけでなく、プロモーター領域まで広範囲で一致している。このため、*TPS55* 遺伝子のシス領域に品種間差の原因があるとは考えにくい。‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’および‘サニードルチェ’の *TPS55* をコードする 10 番染色体計 4 本を見分ける DNA マーカーを作り、交配樹はどの染色体を有しているかを調べてみたが、リナロール含量あるいは *TPS55* の発現量と、有する 10 番染色体との間に有意な相関を検出することはできなかった。このことも、*TPS55* 遺伝子のシス領域に品種間差の原因は存在しないことを示唆している。‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の強い *TPS55* の発現は、転写因子などのトランス因子によるのであらうと推察される。今後、品種間差を生み出すトランス因子の差異を明らかにすることができれば、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’のような強いマスカット香をもつ新品種の育成に活用できると期待される。

令和 6 年度の活動

1. 報文(総説・原著論文等)

中津有紀子、安井淑彦、荒木有朋、久保田朗晴、藤井雄一郎

副梢上の花穂の利用による四倍体ブドウにおける交雑種子獲得と発芽率の向上
園芸学研究 (印刷中)

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

モモ幼梢基部からの効率的な不定根の形成誘導

第 66 回日本植物生理学会年会、令和 7 年 3 月 14～16 日 (金沢)

久保田朗晴、○中津有紀子、荒木有朋、小田賢司 (*P)

マスカット香の程度が異なるブドウ 2 品種間の香気成分および遺伝子発現の比較
解析

園芸学会令和 7 年度春季大会、令和 7 年 3 月 20～21 日 (藤沢)

小田賢司 (*招)

モモにおける DNA マーカー開発と利用

園芸学会令和 7 年度春季大会小集会「果樹における DNA マーカー開発と利用」、
令和 7 年 3 月 19 日 (藤沢)

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)
- 外部知見活用型・産学官連携研究事業 (代表 小田賢司)
- ウエ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)

日本農芸化学会中四国支部 参与 (小田賢司)

吉備高原公民館見学会講演

小田賢司「岡山とモモの特別な関係～その背景を探る」

令和 6 年 7 月 24 日 (岡山県生物科学研究所)

岡山県立研究機関協議会第 13 回研究交流発表会講演

小田賢司「県オリジナルモモ新品種の効率的育成を可能にする分子育種技術」

令和 7 年 2 月 17 日 (岡山県立大学)

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

大課題

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 6 年度は、第 6 期五カ年計画の 3 年目にあたり、これまでの方針を踏まえつつ研究を継続して実施した。本研究の「背景と目的」の詳細については、令和 4 年度の年報に記載しているため、そちらも参照されたい。

国内の食市場は、人口減少及び高齢化の進行により縮小傾向が続いている。一方、世界規模では、今後の人口増加や経済成長により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が国内農林水産業の成長に不可欠となっている。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」に掲げられた生産性向上、販路拡大、担い手の育成を通じて、農林水産業の持続的な発展と所得向上を図る必要があり、県産農産物の輸出拡大は重要な戦略の一つである。

しかしながら、県内では生産者の減少と高齢化が進行しており、農地管理の困難化や労働力不足など、農業生産活動に対する構造的課題が顕在化している。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労働時間の削減や生産コストの低減を通じて、生産性の高い農業への転換を図ることが求められる。

さらに、近年では農林水産省が推進する「みどりの食料システム戦略」などに示されているように、SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）を踏まえた環境保全型農業への移行が国際的にも加速しており、持続的な農業生産を支える技術やシステムの開発が強く求められている。

岡山県においても、気候変動の影響が顕著となっており、主要作物であるトマトでは高温による着色・着果不良や裂果、イチゴでは花芽分化の遅れ、ブドウでは黒色品種の着色不良、モモでは暖冬による生育不良など、既に多くの影響が現れている。岡山地方気象台の予測では、21 世紀末までに県内の年平均気温が約 4℃上昇し、猛暑日の増加や大雨の頻発、無降水日の増加といった気象の極端化が見込まれている。こうした変化は農業生産に深刻な影響を及ぼすことが予想され、対応策または緩和策の確立が急務である。

本研究グループでは、SDGs の理念に沿って、環境負荷を抑えた持続可能な農業の実現をめざし、従来の化学農薬依存から脱却しながら減農薬栽培技術の開発を進めている。これにより、岡山県産農産物のブランド価値向上に貢献するとともに、「くだもの王国

おかやま」いちごプロジェクトの推進、安全・安心な農産物の安定供給を図る。本課題はまた、県の温暖化対策等研究強化事業とも連携しており、気候変動に伴う農業生産の不安定化リスクを軽減し、収益性向上に資する技術開発を目的としている（図 1 参照）。

背景

1. 改正「食料・農業・農村基本法」に掲げられた政策の推進
食料安全保障の強化、環境と調和のとれた食料システムの確立、スマート農業技術の開発促進
2. 21世紀末の岡山の平均気温は上昇し、多くの地域で猛暑日や熱帯夜の日数が増加、冬日の日数が減少すると予測（岡山地方気象台）
3. 気候変動（高温、集中豪雨、降水量の増加、干ばつ）による県農産物の品質低下や収穫量の減少（トマト、イチゴ、コメ、ブドウ、スイートピーなど）が既に問題になっている
4. 第4次 晴れの国おかやま 生き生きプランに掲げる
 - ・「儲かる農林水産業加速化プログラム」の推進
 - ・消費者のニーズを的確に掴み、マーケティングの強化とブランディングの推進
 - ・供給力の強化に向けた産地の規模拡大及び、生産性の高い農業の推進



地球温暖化の緩和策の必要性

目標

- ・化学農薬依存からの脱却を目指し、環境負荷の低い減農薬栽培技術を開発することで、持続可能な農業の実現を図る
- ・「くだもの王国おかやま」いちごプロジェクトの推進により、地域農産物のブランド力強化と生産振興に貢献する
- ・消費者に対する安全・安心な農産物の安定供給体制を構築する
- ・気候変動による農業生産の不安定化リスクを軽減し、農業の収益性向上につながる技術開発を推進する

図 1. 課題の概要

【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は成立し得ず、全国的・国際的な枠組みの中で発展をめざす必要がある。こうした認識のもと、当研究グループは、国内外の研究機関、企業、農業従事者、関係官庁と緊密に連携し、農林水産業が直面する多様かつ複雑な課題の解決に向けて、先進的かつ実践的な研究活動を推進してきた。

その成果として、第6期五カ年計画の第三年度にあたる令和6年度においては、学術論文等11報（通算33報、うち原著論文3報〔通算6報〕、総説3報〔通算8報〕、マニュアル1報〔通算2報〕、著書1報〔通算4報〕、その他報文3報〔通算13報〕）を公表し、発明届2件（通算7件）、特許出願1件（通算3件）、特許登録4件、特許実施許諾4件を達成した。さらに、学会等での発表12件（通算45件）、フェア出展（通算2件）、受賞（通算1件）、新聞等メディア掲載（通算3件）、商品化（通算1件）、外部資金の獲得5件（継続含む通算22件）といった実績を上げ、第6期計画の目標達成に大きく貢献するとともに、当研究グループの成果を県内外へ広く発信することができた。

また、地球規模の気候変動に伴い、新たな病害虫の発生や既存病害の拡大が懸念される中、県境を越えた被害リスクへの対応が急務となっている。このような背景を踏まえ、

当グループは、農林水産省“「知」の集積と活用の中核”における「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、国のグラントも複数獲得しつつ、オールジャパン体制による総合的かつ先導的な研究推進体制を構築している。これにより、持続可能な農業生産の実現に向けて、全国レベルでの課題解決に資する重要な成果を着実に創出している。

(1) 環境低負荷型の新規病害防除剤の開発

①新規抗植物ウイルス剤の開発

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（糸状菌）・細菌・ウイルスなどの植物病原体が引き起こす病害により、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、病害の防除措置を講じなかった場合には、理論上、作物の収量が最大 70%も減少する可能性がある」と報告されており、植物病害の防除は増収に匹敵する効果を有する重要な手段である。

これまでに、糸状菌や細菌による植物病害に対しては、ストレプトマイシンやカスガマイシンなどの抗生物質、ストロビルリン系 (QoI) やコハク酸脱水素酵素阻害剤 (SDHI) といった合成殺菌剤が幅広く利用されてきた。しかしながら、これらの防除剤に対しては使用数年で病原菌の薬剤耐性化が進行するという課題が顕在化しており、持続的な病害管理の妨げとなっている。

一方、植物ウイルスに起因する病害に対しては、現在に至るまで決定的な化学的防除手段は存在せず、日本国内ではシイタケ菌糸体培養培地抽出物を有効成分とするレンテミンが唯一農薬登録されているに過ぎない。ウイルス病は感染後の治療が極めて困難であることから、感染抑制および媒介生物（アブラムシなど）の管理に依存した予防的手法が主流となっている。しかし、気候変動や栽培環境の変化により新規ウイルス病の発生が増加傾向にある中、より効果的かつ安全性の高い新規ウイルス病防除技術の確立が国際的に求められている。

このような背景のもと、当研究グループは、月桃（ゲットウ、*Alpinia zerumbet* (Pers.) B. L. Burtt & R. M. Sm.）由来のプロアントシアニジン及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明らかにした。これらの天然由来成分は、植物に対して生理活性を与えつつも環境負荷が低く、かつ耐性獲得のリスクが小さいことから、次世代の抗ウイルス資材としての応用が期待される。今後は、作用機序の解明とともに、実用化に向けた評価体系の確立を進め、持続可能で安全な植物病害防除技術の開発をめざす。

本研究は、生物系特定産業技術研究支援センター（BRAIN）による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）（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」において実施されており、農業現場の課題解決を見据えた実用化研究が進められている。

今後は、植物ウイルス病防除剤としての製品化に向けた応用研究を加速させるとともに、環境にやさしく持続可能な抗ウイルス資材として、農業分野及び公衆衛生分野への貢献が期待される。

②新たな農資源「月桃」から創製する抗ウイルス剤の開発とその展望

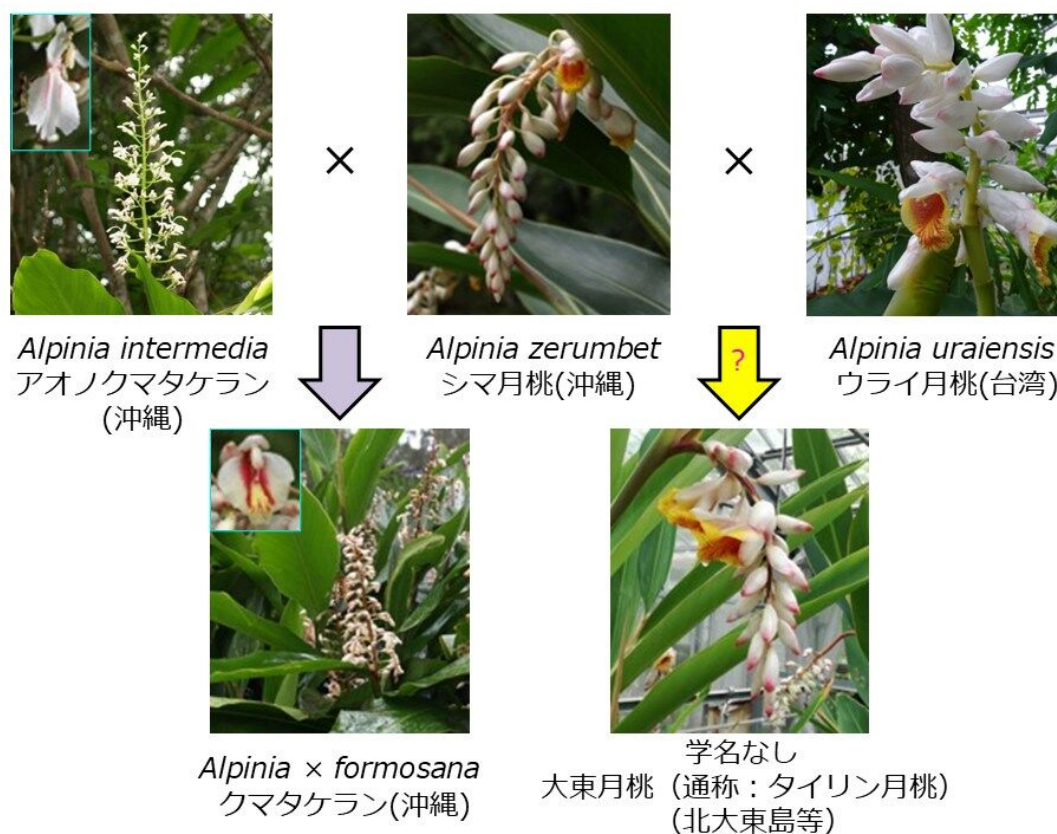


図 2. 南西諸島及び台湾に自生する月桃及びその近縁種

月桃は、鹿児島県の南部を北限とし、沖縄、台湾及び東南アジアなどに分布しており、茶、薬用、香料、繊維などとして伝統的に活用されてきた。月桃は沖縄県ではサンニン、サニンなどと呼ばれており、伝統菓子「ムーチー」は月桃の葉で餅を包んで蒸したものである。また近年では、月桃を水蒸気蒸留して抽出した精油が利用されている。

月桃は多種多様な生理活性物質を有するにもかかわらず、その遺伝学的な解析やゲノム情報の解析はほとんど行われておらず、それらの系統関係は不明であった。私たちは月桃を新たな農資源として利用するため、「令和 3～5 年度 岡山大学資源植物科学研究所における共同利用・共同研究拠点事業」により月桃のゲノム情報を整備し、これを育種に活用することを目的として、その倍数性や系統関係の解明を試みた。また、沖縄県及び鹿児島県でのフィールドワークにより、シマ月桃、月桃交雑種のタイリン月桃(大東月桃)、月桃近縁種のクマタケラン、アオノクマタケラン及び、これらの交雑種が存在することを明らかにした。シマ月桃、タイリン月桃(大東月桃)及びクマタケランの葉の形態は非常によく似ており、一見しただけでは見分けることが難しい。また、これらは

容易に交雑して雑種を形成する。これらを正確に分類するためには、花の形態の比較により分類するしかなく、専門的な知識を必要とする。そこで私たちは次世代シーケンサーによりゲノム解析を行い、これら月桃種を分類するための DNA マーカーを作製した。その結果、タイリン月桃(大東月桃)はシマ月桃と台湾の月桃との交雑によって生まれたこと、クマタケランはシマ月桃とアオノクマタケランの交雑種であることなどが明らかになった(図 2)(2 報の学術論文投稿中)。

③新たな農資源「月桃」から創製する抗ウイルス剤の開発とその展望

2020 年に発生した新型コロナウイルス (COVID-19) によるパンデミックは、現代社会に多大な影響を及ぼしたが、このようなウイルスの世界的流行は歴史的に見ても繰り返し発生してきたものであり、決して例外的な事象ではない。中世ヨーロッパのペストや 1918 年のスペイン風邪などに見られるように、ウイルスによる感染症は人類の文明と社会活動に根本的な打撃を与え得る脅威である。加えて、ウイルス感染症は人間のみならず、家畜、野生動物、さらには植物にまで及び、その影響は農業・畜産における経済損失や食料供給体制の不安定化といった形で人類社会全体に波及する。

本研究グループでは、このような広域かつ深刻なウイルス感染リスクに対抗すべく、伝統的な医療・民間薬利用の知見に立脚し、亜熱帯植物「月桃」に含まれる天然ポリフェノール類(特にプロアントシアニジン)に注目した抗ウイルス資材の開発を進めてきた。これまでの研究成果により、月桃抽出物が植物ウイルス (Tomato mosaic virus など) に対し明確な感染抑制効果を有することを明らかにした。これらの知見は、学術論文として発表され、高い評価を受けている。

さらに、本研究は農林水産省「知」の集積と活用[®]における「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」の一環として、産学官の連携による全国的な研究体制(オールジャパン体制)で推進されており、植物ウイルス感染防除の新戦略としての社会実装に向けた大きな前進を果たしている(図 3)。なお、製品化に向けた詳細な技術内容や開発進捗については、現在連携中の企業との秘密保持契約に基づきここでは開示を控えるが、今後の農業資材としての普及・展開が強く期待されている。

本研究を通じて、月桃という未利用資源を有効活用した新規の天然由来抗ウイルス剤の創製とその応用展開が現実のものとなりつつあり、これまでにない安全・持続可能な植物保護資材の開発に寄与するものである。将来的には、農業分野にとどまらず、ヒトや動物におけるウイルス感染防除にも応用可能な基盤技術へと発展させることを展望している。



新型ウイルスを想定した「新しい生活様式」

ウイルスフリーに向けた商品開発、サービスの提供

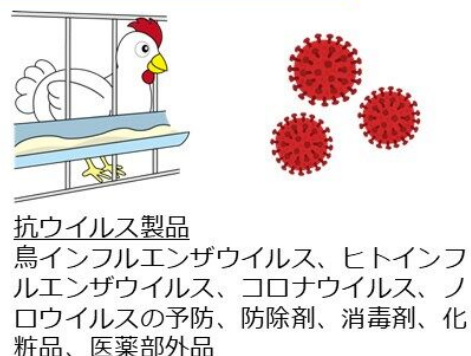
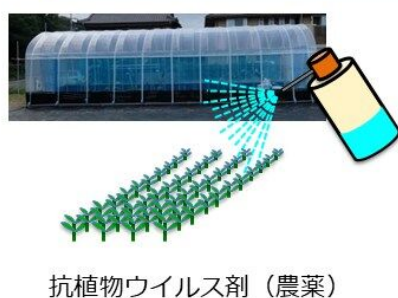


図3. ウイルスフリーな社会の実現に向けて

(2) 減農薬栽培に向けた新規病害防除技術の開発と社会実装に向けた実証試験

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普及に取り組み、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大きく貢献した。令和4年度年報に詳細を報告したとおり、令和6年度も引き続き技術の高度化と現場への展開を進めた。具体的には、紫外線（UV-B）照射による病虫害防除技術、同技術と天敵を組み合わせた総合的害虫管理手法、AI センサーを活用した病害発生予測技術の普及、及びバイオスティミュラント（BS）資材による生育促進効果を検証し、これらを統合した新たな防除体系を構築した。これにより、イチゴ栽培における防除の効率化と農薬使用量の削減を両立し、持続可能な農業生産の実現に向けた実証的な成果を得た。

これらの取り組みは、生研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」及び「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、社会実装に向けた足がかりとなっている。

また、AI による病害発生予測技術及び UV-B 照射技術の詳細は、以下のリンクから参照可能である：

「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

(3) 気候変動に適応した新技術の開発

①日本におけるバイオスティミュラントの定義策定への貢献

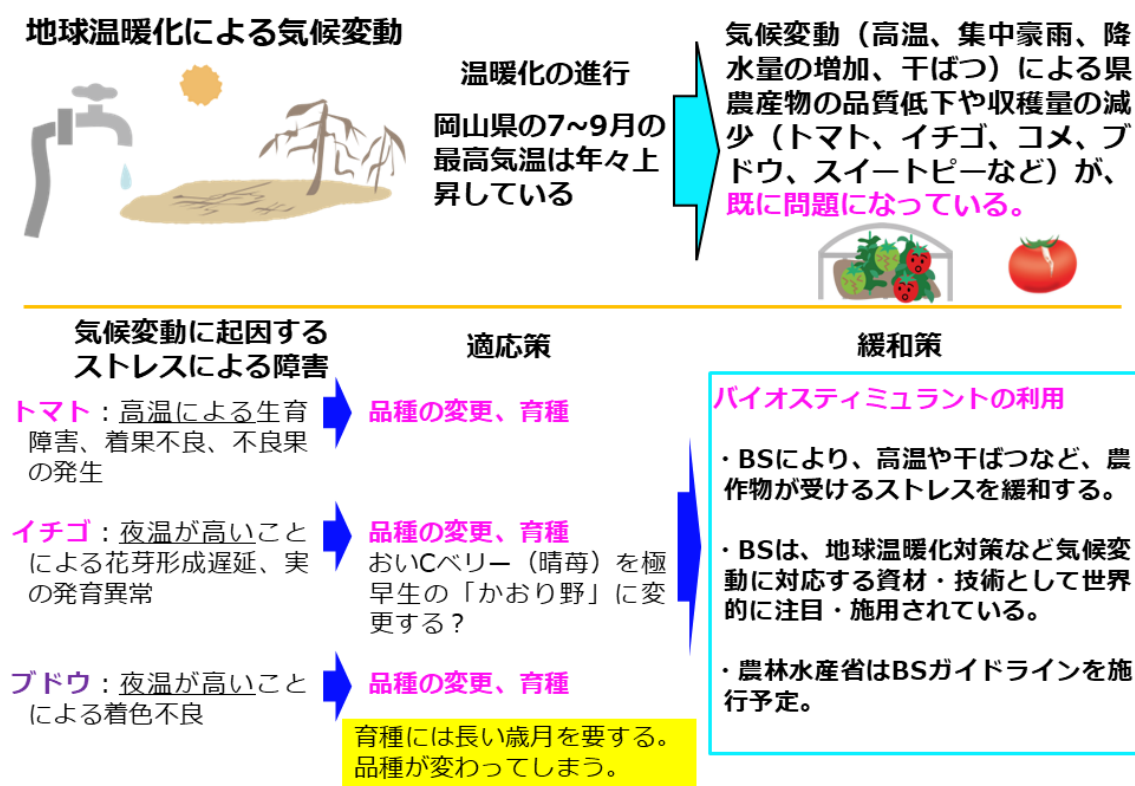


図4. 気候変動による農作物の生産性の低下とバイオスティミュラントによる緩和策

気候変動による農産物の品質低下や収量減少は、すでに深刻な問題となっており、特に近年では、日中及び夜間の高温によって、イネの白未熟粒、トマトの着色不良・着果不良・裂果、さらにはイチゴの花芽分化の遅延など、さまざまな生産障害が各地で報告されている（図4）。このような中、農林水産省は2021年5月、「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をめざした施策を進めている。

その戦略の中で、気候変動リスクを低減しながら農業の収益性を確保する革新的な技術として、バイオスティミュラント（BS）が注目されている。バイオスティミュラントは欧米で「Plant Biostimulant」として知られ、植物の栄養成分に直接関与せずに、植物が本来有する機能の補完を通じて生育を助ける資材である。日本においては、これまで農薬取締法・肥料の品質の確保等に関する法律・地力増進法のいずれにも該当しない分類にあったが、定義の明確化に向けた動きが加速している。

特筆すべきは、2025年2月に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」である。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委員に選出され、当意見交換会に参画した。本意見交換会の議論を通じて、「バイオスティミュラントの表示等に係るガイドライン（案）」が取りまとめ

られた。このガイドライン案においては、バイオスティミュラントの定義が以下のように明記された。

「農作物又は土壤に施すことで農作物やその周りの土壤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、土壤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」

このガイドライン案は、バイオスティミュラントの使用者が目的に応じて適切な製品を選択・使用できるよう、効果や使用法に関する表示の明確化と、それを支える科学的根拠の提示を事業者を求める内容となっている。

本研究グループは、これら制度設計への貢献に加え、バイオスティミュラントに関する科学的知見の集約と産業的展開を加速することを目的として研究を遂行した。特に、非生物的ストレス（高温乾燥など）に対する植物の応答性を向上させる資材の実証結果は、今後のバイオスティミュラントガイドラインの運用と制度化において、科学的裏付けとなる成果として高く評価された。

②バイオスティミュラント資材ストリキの収量向上効果

当研究グループは、これまでにミネラル（微量要素）にストレス防御応答、生育促進、根の活着促進、収量を向上する効果があることを発見した（特許第 6634325 号、特許第 6713117 号、特許第 7506871 号）。また、ミネラルを至適の比率で混合することで、「植物の環境ストレスに対する防御応答の強さと生産性（生長性）間のトレードオフ（一得一失）」を回避することに成功した。当研究グループは企業との共同研究で、BS 資材・液体微量要素複合肥料「ストロングリキッド」（以下「ストリキ」）（製造：片倉コープアグリ株式会社、販売：JA）の開発に成功し本 BS 資材を上市した（図 5）。本年度も、ストリキの新たな適用及びその施用方法を開発するための試験を行った。

ストリキ処理による収量の向上効果について試験した。ストリキ処理以外は対照区及び処理区ともに同様の栽培方法とした。ストリキは窒素、リン酸、カリを含まないため、対照区と同様の施肥を実施した。

ストリキを水で 500 倍に希釈してイチゴの葉面及び株元に 2～3 週間間隔で散布した。その結果、ストリキ処理区はいずれの品種においても実の収量が向上した（図 6）。また、岡山県の主要な農産物であるナスにストリキを水で 500 倍に希釈して茎葉及び株元に散布した。その結果、ストリキ処理区は実の収量が向上した（図 7）。さらに、タマネギについてもストリキを水で 500 倍に希釈して葉面及び株元に散布した。その結果、ストリキ処理区は 1 玉あたりの重量が約 20% 向上（中央値）した（図 8）。また、収穫後の保管性を調査した結果、長期保管により対照区は玉に黒カビが発生したのに対して、ストリキ処理区は健全な状態であった。以上については数年間にわたって試験した結果、イチゴで 10-20%、ナスで 30-45% の増収効果が認められた。上述の通り茎葉と株元（根圏）への散布が重要である。

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!



供給 JAグループ 企画 製造 KCC 片倉コープアグリ株式会社
http://www.katakura-agri.co.jp

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 5. バイオスティミュラントの開発

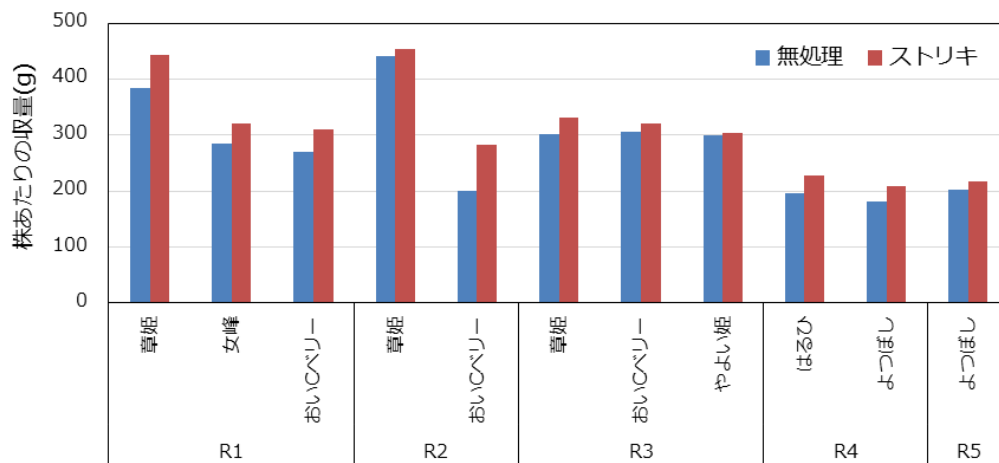


図 6. ストリキを処理したイチゴの収量調査

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）をイチゴの葉面及び株元に散布し、一定期間の収量を調査した（各区18～54株）（年度により、個体数及び調査期間は異なる）。

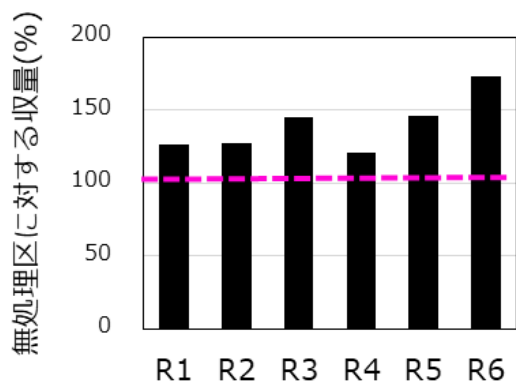
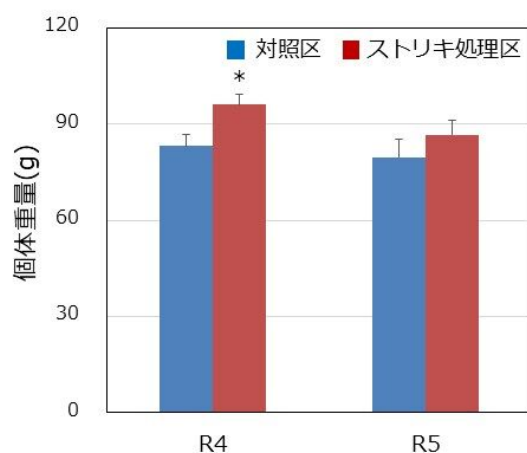


図 7. ストリキを処理したナスの収量調査
5 月にナス（品種：千両 2 号）を定植（各区 10～23 株ずつ）した後、6 月～8 月頃まで 1～4 週間間隔で 500 倍に希釈したストリキ（0.1%界面活性剤添加）を茎葉及び株元に散布し、一定期間の収量を調査した（年度により、個体数及び調査期間は異なる）。ストリキ処理区の収穫量は対照区の収穫量を 100%とした場合の相対値で示した。



*統計的(Dunnett検定、 $p < 0.05$)な有意差が認められた

ストリキ処理により個体重増加及び貯蔵時の腐敗防止効果が認められた

収量解析結果				
R4				
	収穫数	個体重平均	個体重中央値	全重量
対照	105	83.14	80	8730
ストリキ	106	96.04	95	10180
ストリキ/対照	1.01	1.16	1.19	1.17
R5				
	収穫数	個体重平均	個体重中央値	全重量
対照	58	79.57	75	4615
ストリキ	54	86.67	90	4680
ストリキ/対照	0.93	1.09	1.20	1.01



ストリキ処理区 対照区

図 8. タマネギ(泉州黄玉ねぎ)を用いた栽培試験結果

11 月に植え付けしたタマネギに 500 倍に希釈したストリキ（0.1%界面活性剤添加）を葉面及び株元に 3 月末まで定期的に散布し、収量を調査した。

③ バイオスティミュラント資材ストリキの乾燥ストレス緩和効果

前年度に引き続き、ストリキの乾燥ストレスに対する耐性付与効果を検討した。図 9-10 はトマト（品種：レジナ）及びハクサイ（品種：黄ごころ 85）を用いた乾燥実験の結果である。水のみを与えた苗に対し、ストリキを与えた苗は、乾燥ストレス条件下で元気さを維持していた。これまでに同様な結果はイチゴ苗でも得られており、ストリキは植物に乾燥耐性を付与することができた。育苗期、作物に負荷がかかる定植時、夏の高湿乾燥時に処方することで乾燥による枯死を防ぐことが期待される。現在、遺伝子発現解析、植物ホルモン解析などを行っており、次年度以降も作用機作について解析する予定である（知財に関する内容を含むため詳細は省きます）。



図 9. トマトを用いたストリキの乾燥ストレス耐性付与効果試験
 播種後 26 日のトマト苗（品種:レジナ）を用いて、それぞれ水または 500 倍に希釈したストリキ、250 倍及び 500 倍に希釈したスキューポン（アクプランタ）を灌注したのち、温度 24℃、湿度 30～40%、16 時間明下/8 時間暗下の条件にて乾燥処理を行った。6 日後には対照区の苗（左端）は萎れているのに対して、ストリキ及びスキューポン処理区の苗は健全さを維持していた。ストリキ及びスキューポンは植物に乾燥耐性を付与することができた。



図 10. ハクサイ苗を用いたストリキの乾燥ストレス耐性付与効果試験
 ハクサイ苗に水または 500 倍に希釈したストリキを灌注したのち、温度 24-25℃、湿度 30～40%、16 時間明下/8 時間暗下の条件にて乾燥処理を行った。7 日後には対照区の苗（左端）は萎れているのに対して、ストリキ処理区の苗は健全さを維持していた。ストリキはハクサイに乾燥耐性を付与することができた。

(4) 抵抗性育種による病害防除技術の展開

植物は、病原菌が分泌する AVR (avirulence) エフェクターを細胞内の抵抗性 (R) タンパク質を介して認識し、抵抗反応 (effector-triggered immunity : ETI) を発動することで病害に対処している。こうした植物の先天的な免疫システムを活用する抵抗性育種

は、化学農薬に依存しない持続可能な病害防除手段として極めて有望である。なかでも、病原菌のエフェクターとそれを認識する抵抗性(*R*)遺伝子の対応関係を明らかにし、有効な *R* 遺伝子を選抜・導入することは、病害抵抗性作物の開発において中心的な戦略である。

アブラナ科野菜類に甚大な被害を与える炭疽病は、*Colletotrichum higginsianum* が原因であり、葉に小斑点を形成し、病勢が進行すると枯死に至る。本病は、特に高温多湿条件下での被害が顕著であり、気候変動に伴う発生の拡大が危惧されている。加えて、ダイコンに感染するダイコン炭疽病菌 (*Colletotrichum incanum*) は、ダイコン葉に斑点病斑を形成し、やがて枯死を引き起こす重要病害であり、栽培安定性と品質確保の観点からも対応が急務である。

本研究では、モデル植物シロイヌナズナを用いて、宿主-病原菌間の感染系を構築した(図 11)。これにより、炭疽病に対する有効な *R* 遺伝子の取得及びその育種利用に向けた基盤的知見を蓄積した。当研究グループでは、病原菌のエフェクター情報と植物の *R* 遺伝子の相互作用解析を基盤に、炭疽病に対する抵抗性品種の開発を推進している。また、取得した成果は令和 7 年度日本植物病理学会大会においても、炭疽病対策技術の進展として報告された。今後は、ゲノム育種技術や遺伝子機能解析と連動させた育種設計により、実用的かつ安定した病害抵抗性品種の育成をめざす。

1. アブラナ科炭疽病菌に対する*R*遺伝子の探索



Col-0 (感受性)



Ws-2 (HR細胞死)
RPS4/RRS1



Eil-0 (無反応)
RPS4/RRS1
+ 新規*R*遺伝子

2. ダイコン炭疽病菌に対する*R*遺伝子の探索



Col-0(抵抗性)



Bay-0(感受性)



C24(感受性)

図 11. 異種炭疽病菌に対する複数の *R* 遺伝子の発見に向けたシロイヌナズナ-炭疽病菌感染系の確立

本研究は、JSPS 科研費 JP22K05568、JP23K05159、JP25K09049 の支援により遂行したものであり、アブラナ科作物に深刻な被害をもたらす炭疽病に対する宿主植物の抵抗性

機構の解明を目的としている。その研究過程において、私たちはアブラナ科野菜類炭疽病菌 (*C. higginsianum*) 及びダイコン炭疽病菌 (*C. incanum*) に対するそれぞれの新規 *R* 遺伝子の同定に成功した。

まず、モデル植物であるシロイヌナズナのゲノム解析を通じて、以前に当研究グループが発見した NLR (Nucleotide-binding Leucine-rich Repeat) 型 *RPS4/RRS1* 遺伝子ペアに加え、新たな *R* 遺伝子座 *RCH1* (Recognition of *C. higginsianum*) が 4 番染色体上に存在することを独自に発見した。興味深いことに、*RPS4/RRS1* 及び *RCH1* の両セットの *R* タンパク質を有する生態型 Eil-0 は、いずれか一方しか持たない生態型に比べて顕著に高い抵抗性を示した。このことから、各 *R* タンパク質が異なる AVR エフェクターを認識し、それぞれ独立した防御シグナル経路を介して抵抗性を発揮していることが示唆された。

この成果をさらに裏付けるため、*RCH1* のみを保有する仮称 A-0 生態型を選定し、全ゲノム配列解析及び RNA-seq 解析を実施した。具体的には、不活性型 *RRS1-S* と活性型 *RCH1* を有する A-0 と、不活性型 *RRS1-S* 及び不活性型 *RCH1-S* を有する感受性生態型 *Ler-0* を比較し、*RCH1* 遺伝子座の特定を試みた。また、A-0 生態型に対して変異源処理を行い、感受性変異体を取得、機能相補試験により *RCH1* の防御機能を実証した。これにより、*RCH1* は NLR 型ではない新規な構造を有する *R* タンパク質であり、炭疽病菌に対する抵抗性を担っていることが明らかとなった。

さらに、ダイコン炭疽病菌 (*C. incanum*) に対する植物側の抵抗性についても解析を進めた。シロイヌナズナの生態型 Bay-0 が感受性を示し、生態型 Col-0、Eil-0、Ws-2 が抵抗性を示すことから、遺伝的マッピングにより新たな *R* 遺伝子 *RCI1* (Recognition of *C. incanum*) を同定した。興味深いことに、*RCI1* も *RCH1* と同様に NLR 型ではない新規タイプの *R* タンパク質であった。

以上の成果は、従来「*R* タンパク質＝NLR 型」という定説を覆すものであり、non-NLR 型 *R* タンパク質が炭疽病菌に対する抵抗性を発揮するという新たな概念を提示した点で、病害抵抗性研究における大きなブレイクスルーとなった。この知見は、炭疽病抵抗性品種の新たな育種設計に直結するものであり、今後の実用化に向けた研究展開が期待される。

(5) 「知」の集積と活用^①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及びコンソーシアムの活動

農林水産省は、農林水産・食品分野に異分野の知識や技術を導入し、革新的な技術シーズを創出するとともに、それらを事業化・商品化へとつなげ、国産農林水産物のバリューチェーンの形成に結びつける新たな産学連携研究の仕組み「『知』の集積と活用^①の場」の構築に取り組んでいる (<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」が、「知」の集積と活用^①の場の中のプラットフォームの一つとして、平成 30 年 2 月

に立ち上げられ、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及び活性化した農作物創製の新技術開発
- ・農産物生産を向上する新技術開発
- ・バイオサイクルによる環境負荷低減型の食料生産システムの開発研究
- ・上記開発技術の商品化・事業化のための研究戦略、研究計画の策定
- ・上記開発技術の商品化・事業化に関連する知財情報の調査及び知財戦略の策定
- ・研究成果等の情報発信及び新たなプラットフォーム会員の勧誘
- ・その他「知」の集積と活用の中産学官連携協議会の活動への協力等

これまでに本プラットフォームを起点とした研究コンソーシアム（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及び、作物刺激制御技術開発コンソーシアムなど）が立ち上がっており、国のグラント（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など）の獲得、アグリビジネス創出フェアへ出展など精力的に活動している。また、本プラットフォームは企業とのマッチング、グラントへの推薦なども行っている。本プラットフォームへの参加については当研究グループまでお問い合わせ頂きたい。R6 年度の主な活動を以下に記す。

- ・会員数 37 機関
- ・「知」の集積と活用の中産学官連携協議会 2024 に 2 件発表
- ・新事業創出会議、定時総会、成果報告会、「知」の集積と活用の中産学官連携協議会セミナーへ参加
- ・「知」の集積と活用の中産学官連携協議会 社会実装成果事例を提出
- ・生物刺激制御研究会の活動
- ・その他、関連論文の発表、招待講演など。

(6) 生物刺激制御研究会の運営

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。バイオスティミュラント資材は、化学農薬に依存しない持続可能な農業の実現に貢献する可能性を有し、特に環境保全型農業やストレス耐性向上技術との親和性が高い。

こうした背景を受け、私たちはバイオスティミュラント資材に関する学術的な知見の集積及び情報共有を促進することを目的として、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、土壌科学など多岐にわたる分野の研究者・技術者・実務者が連携し、バイオスティミュラント資材の定義や機能、作用機構の科学的理解に基づいた活用の在り方について議論・研究を行う場として運営されている。

本会では、バイオスティミュラント資材を「植物の活力を高め、植物に本来備わっている力を利用することで、様々なストレスを緩和させて健全な植物の成長をサポートする物質」と独自に定義している。具体的には、植物の免疫力やストレス耐性の強化、生

育促進作用を有する物質がバイオスティミュラント資材として位置づけられ、学術的・実用的両面からの研究が推進されている。

令和 6 年度には、第 9 回生物刺激制御研究会セミナーを開催し、最新の研究成果や実用事例の紹介、産官学の意見交換を通じてバイオスティミュラント資材の社会実装に向けた議論を深めた。今後も本研究会は、学術的視点と産業的応用の両立を図りつつ、バイオスティミュラント資材をめぐる研究のハブとしての機能を果たしていく予定である。

なお、本研究会の活動内容や開催報告等の詳細については、以下の公式ウェブサイトを参照されたい。

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

(7) 今後の展望

現在、岡山県の農業における病害防除は、依然として化学合成された殺菌剤や殺虫剤への依存度が高く、環境や作物の持続性への懸念が高まっている。こうした背景のもと、私たち植物活性化研究グループでは、環境保全型農業に適した新たな病害防除資材の開発や、減農薬栽培に資する防除技術の構築、さらには病害抵抗性作物の育種による持続的な農業体系の確立をめざして研究を進めてきた。

特に、イチゴを対象とした減農薬栽培技術の開発では、植物本来の防御機構を活性化するアプローチによって、農薬使用量の低減と収量・品質の維持を両立させる成果を得た。本研究の進展は、岡山県の主要園芸作物のブランド化を後押しするものであり、地域農業への波及効果が大きい成果と位置付けられる。

また、岡山県に限らず、世界的な気候変動の進行により、これまでに見られなかった病害虫の発生が各地で報告されており、病害虫の蔓延は県域を越えて全国的な農業被害をもたらす可能性がある。これに対応するには、都道府県単位の対応にとどまらず、国レベルでの広域連携が不可欠である。

このような課題に対応するため、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場[®]の枠組みを活用し、「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」の運営を通じて、産学官のオールジャパン体制の構築を進めている。これにより、研究成果の現場実装を促進し、バイオスティミュラントを含む新技術の社会実装を加速させることで、全国レベルでの持続的な農業生産体系への移行を支えていく所存である。

令和 6 年度の活動

1. 報文（総説・原著論文等）

Naoyoshi Kumakura , Suthitar Singkaravanit-Ogawa , Pamela Gan , Ayako Tsushima, Nobuaki Ishihama , Shunsuke Watanabe, Mitsunori Seo, Shintaro Iwasaki, Mari Narusaka, Yoshihiro Narusaka, Yoshitaka Takano, Ken Shirasu
Guanosine-specific single-stranded ribonuclease effectors of a phytopathogenic fungus potentiate host immune responses.
New Phytologist, 242(1):170-191 (2024)

概要：新規エフェクターを発見し、その機能について解明した。

Mari Narusaka, Yoshihiro Narusaka
Zinc gluconate protects against plant virus infection in tomato and *Nicotiana benthamiana* plants.
Plant Biotechnology, 41, 465–468 (2024)

概要：グルコン酸銅の抗ウイルス効果及び、グルコン酸銅と月桃由来プロアントシアニジンの混合により抗ウイルス活性が向上することを発見した。

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 (2025)(受理)

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。

鳴坂義弘、鳴坂真理
イチゴ減農薬栽培に向けた新技術開発
山陽の農業, 第 164 号, 27-37 (2024)
概要：当研究室が研究・開発し普及をめざしているイチゴ減農薬栽培に向けた新技術について解説した。

鳴坂真理、鳴坂義弘
宿主植物のゲノム上に展開する異種炭疽病菌に対する抵抗性遺伝子ネットワークの解明に向けて
In 植物感染生理学の「いま」と「課題」植物感染生理談話会論文集(第 58 号)
日本植物病理学会(東京), pp.106-114 (2024)
概要：当研究室が研究している炭疽病菌に対する抵抗性遺伝子とその機能について解説した。

鳴坂義弘、鳴坂真理

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

山陽の農業, 第 165 号, 33-39 (2024)

概要 : アブラナ植物の月桃(ゲットウ)を利用した新規抗植物ウイルス剤の創製研究について解説した。

鳴坂義弘、鳴坂真理

バイオスティミュラントの現状と課題

In バイオスティミュラントの開発動向と展望 (監修: 日本バイオスティミュラント協議会), 株式会社シーエムシー, pp.3-11 (2024)

概要 : バイオスティミュラントの現状と課題について解説した。

鳴坂義弘、鳴坂真理

AI 発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病管理

In 施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理 (編集発行: AI 病害発生予測コンソーシアム) (2024 年 3 月, 追補版), pp.59-69 (2024)

<https://www.akita-pu.ac.jp/oshirase/oshirase2022/AIbyougai>

概要 : AI による病害予測・防除支援ソフトウェアの研究報告と使用方法について解説した。

鳴坂義弘、鳴坂真理

AI 発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病の管理 (岡山県の事例)

In 施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理 要約版 (編集発行: AI 病害発生予測コンソーシアム) (2024 年 3 月, 追補版), pp.22-23 (2024)

<https://www.akita-pu.ac.jp/oshirase/oshirase2022/AIbyougai>

概要 : AI による病害予測・防除支援ソフトウェアの研究報告と使用方法について解説した。

鳴坂義弘

微量要素を主成分とする新規バイオスティミュラント資材を開発

In 「知」の集積と活用 の場 産学官連携協議会 社会実装事例集 2023 年度版, p8 (2024)

日本語版: https://www.knowledge.maff.go.jp/uploads/PFkatudo_jireisyu2023.pdf

概要 : 微量要素を主成分とする新規バイオスティミュラント資材について紹介した。

Yoshihiro Narusaka

Development of new biostimulant primarily composed of micronutrients

In Field for Knowledge Integration and Innovation, Compilation of Implementations in Society, Mar. 2024 Edition, p7 (2024)

English

version

:

https://www.knowledge.maff.go.jp/uploads/Compilation_of_Implementations_in_Society_

2023.pdf

概要:微量要素を主成分とする新規バイオスティミュラント資材について海外向けに紹介した。

李 春子

八重山の陸と海の生き物と植物誌 105 撰

月桃についての説明の監修:鳴坂義弘

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)

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(鳴坂義弘、鳴坂真理ら)

新たな農業資材 月桃 ―ゲットウ― ウイルスフリーな農業生産をめざして

農林水産省 「知」の集積と活用 の場 産学官連携協議会、2024 年

(招待講演)鳴坂義弘

岡山県から世界へ! 「知」の集積と活用 の場 産学官連携協議会における「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」の活動の紹介

第 57 回岡山植物病理セミナー、2024 年 6 月 1 日(岡山市)

(招待講演)鳴坂義弘、鳴坂真理

岡山県農林水産総合センター生物科学研究所 植物活性化研究グループの研究紹介

令和6年IPM協議会県内視察研修、2024 年 6 月 4 日(吉備中央町)

(招待講演)鳴坂真理、鳴坂義弘

宿主植物のゲノム上に展開する異種炭疽病菌に対する抵抗性遺伝子ネットワークの解明に向けて

日本植物病理学会 令和 6 年度(第 58 回)植物感染生理談話会 ～植物感染生理学の

「いま」と「課題」～、2024 年 9 月 1-3 日(名古屋市)

(招待講演)鳴坂義弘

新規農業資材としてのバイオスティミュラント ～農薬・肥料の削減と気候変動への対応策～

日本化学会秋季事業 第14回 CSJ化学フェスタ2024、2024 年 10 月 22-24 日(東京)

鳴坂義弘、鳴坂真理

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およびミネラルの解析

第 47 回日本分子生物学会年会、2024 年 11 月 27-29 日(福岡市)

鳴坂真理、関根健太郎、長岐清孝、鳴坂義弘

南西諸島に自生する月桃の遺伝学的解析と抗ウイルス成分の研究開発

第 47 回日本分子生物学会年会、2024 年 11 月 27-29 日(福岡市)

鳴坂義弘

バイオスティミュラント資材による作物への高温耐性の付与

令和6年度 農業分野の温暖化対策に係る研修会、2025 年 1 月 9 日(赤磐市)

鳴坂義弘、鳴坂真理

雑草という草はない！新たな農資源「月桃」からつくる抗ウイルス剤

月桃コンソーシアム(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)

「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 2024、2025 年 2 月 14 日(東京)

鳴坂真理、鳴坂義弘

地球温暖化緩和策に資するバイオスティミュラントの開発と普及

バイオスティミュラントコンソーシアム・作物刺激制御技術開発コンソーシアム

(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)

「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 2024、2025 年 2 月 14 日(東京)

鳴坂義弘、鳴坂真理

新規 non-NLR 型抵抗性タンパク質 RCH1 によるアブラナ炭疽病菌の認識および抵抗性機構の解明

令和 7 年度日本植物病理学会大会、2025 年 3 月 26-28 日(高松市)

鳴坂真理、鳴坂義弘

新規 non-NLR 型抵抗性タンパク質 RCI1 によるダイコン炭疽病菌の認識および抵抗性機構の解明

令和 7 年度日本植物病理学会大会、2025 年 3 月 26-28 日(高松市)

3. 知的財産権

発明届け 2 件、特許出願 1 件、特許登録 4 件、特許実施許諾 4 件

4. 共同研究・協力連携先

農研機構、京都大学、東京大学、名古屋大学、岡山大学、琉球大学、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、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）
- ・ 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 （代表 鳴坂義弘）
- ・ 外部知見活用型・産学官連携研究事業（代表 鳴坂義弘）
- ・ その他 民間 1 件 （代表 鳴坂義弘）

6. 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）

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
リサーチアソシエイト	小倉 美智子

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3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、国民病ともいえる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】

種子品質が発芽後の成長に影響し、その品質管理として母樹管理や種子のグレード選別の重要性を示してきたが、結果として山で成長の向上した苗が林地の下刈り回数の低減につながるのかについて検討を重ねる必要がある。エリートツリーを含む特定母樹から採取された種子を用いた特定苗木が今後の山への植栽の主流となると考えられるが、

従来からの少花粉系統の苗木の植栽も見込まれる。少花粉という形質は成長性とは負の相関があり、下刈り低減を目指す方向性には負の要因である。しかしながら、酸化型グルタチオン（GSSG）施用での成長促進や苗木の成長性改善効果が認められてきたことから、少花粉系統のスギやヒノキの植栽では、GSSG 施用の効果の程度を明らかにすることが実用性の面で重要である。2022 年春に岐阜県に設定したスギ植栽試験地では、少花粉系統、エリートリー系統、第 1 世代精英樹系統の育苗の祭に GSSG 施用と併用して超緩効性肥料を使い、林地での成長性について試験を行ってきたが、今年度は 3 年次にあたり、下刈り回数の低減に可能性について評価を行った。また、獣害が多発しており、その対策が急務であることから、忌避剤（コニファー）以外に単木防護剤 Tubex の効果についても同時に評価した。

コニファーの散布では、植栽から 3 年次までの生存率は高い値を示したが、食害率も高い値であった（図 1）。しかし、平均の樹高を大幅に押し下げるほどではなく、忌避剤の散布は、一定の効果があったと考えられる。育苗時に GSSG 施用をせず、超緩効性肥料も使用していない市販のコンテナ苗と比較して生育を比較すると、超緩効性肥料を育苗時の元肥に使用した場合は、GSSG 施用なしでも良好な成長が認められた。これは岐阜県でこれまで実施してきた結果と一致している。育苗時に GSSG 施用を行った方が生存率も安定する傾向があり、育苗時も植栽時も GSSG 施用した場合には、エリートツリー系統（西育 6、西育 7 7）だけでなく第 1 世代精英樹系統（中之条 2）や少花粉系統（英田 1、三好 6）でも良好な成長が認められた（図 2）。Tubex の樹高成長促進の効果は高く、従来法に比べて超緩効性肥料および GSSG 施用を行ったいずれの区でも資材の高さ 150 cm を 1 年目から越える個体が多く出現したが、試験区間でその効果は大きくは異ならなかった（図 1）。しかしながら 3 年次秋にはコニファーで管理し、GSSG 施用をした個体が樹高も上回るようになった。これは、コニファーで管理した場合には枝が張り、その枝張りを GSSG 施用が有意に改善したが、Tubex では枝張りが制限されたことによると考えられる。

下刈り省略が可能かの基準を明らかにするため、植栽地の競合植生について調査を行った（図 3、図 4）。植栽個体の周囲の競合植生（側方被圧）を 0、< 25%、< 50%、< 75%、それ以上の 5 段階（0、1、2、3、4）の指数で示し、上方被圧は覆い被さっているかどうかを 2 段階（0、1）で示し、総合的に以下の 6 段階の指標で評価した。樹冠が半分以上見えている指数 1、樹冠の半分は見えていないが競合植生よりも高い樹高を示している指数 2、競合植生と同等の樹高を示している場合指数 3、競合植生に覆われている場合で外部から個体が見える場合の指数 4、全く見えない場合の指数 5 に区あえて、側方被圧が全くない場合の指数 0 である。植栽当年の夏は、上方被圧は全くなく、側方被圧も少なく、被度は低く抑えられていた。2 年次夏も全体的に被度は低かった。植栽は地拵え直後に実施したが、伐採から時間が経っていなかったことから植栽当年の草本類の芽生えは少なかったと考えられる。コアジサイの出現頻度が高いが競合植生高としては低く、イチゴ類も頻度は低かった。すべての植生で概ね 100 cm を超える草木は限定され、出現頻度が限られているススキも 1 個体をのぞいて 120 cm 以内

であった。一個体は 180 cm であり、数年後に草地になった場合の潜在的なススキの競合植生高は 180 cm 程度になると想定される。

植生高の頻度から 90 cm、120 cm、180 cm を下刈り基準として評価した場合、2 年目の夏の段階で 90 cm に達した苗の割合が 7 割に満たないのは、従来の育苗法で育成した市販コンテナ苗（×××）であった（図 5）。特に育苗時も植栽時も GSSG 施用を行い、超緩効性肥料を元肥として用いた区（○○○）は、7 割以上が 120 cm を超えていた。GSSG を育苗時または植栽時に用いた場合には 2 年次の秋には 7 割以上が 120 cm を超えた。3 成長期末には従来の方法でも 120 cm は超えたが、潜在的な植生高 180 cm を超える個体は 5 割程度にとどまった。下刈り終了の基準を 7 割以上の個体の樹高が 90 cm、120 cm、180 cm を超えた時点の次の年とした場合、従来法での植林（×××）では、それぞれ 3 年目、4 年目、4 年目以降と判定されるが、GSSG 施用をせずに超緩効性肥料を使用した区（××○）では、2 年目、3～4 年目、4 年目となった。一方育苗時か植栽時のいずれかで GSSG 施用した場合は、それぞれ、2 年目、3 年目、4 年目となり、育苗時も植栽時も GSSG 施用した場合には、2 年目、2 年目、4 年目となった。以上から GSSG 施用と超緩効性肥料の元肥の使用を併用すれば、下刈りの終了は 1～2 年程度早められるか、実質的に省略可能と想定された。加えて、今回の林地では、伐採・地拵え・植栽について時間をおくことなく実施したことも重要な点と考えられた。なお、今回の試験区は鹿柵を設置せず、3 年次まで下刈りも行っていない。

少花粉系統、エリートツリー系統、精英樹系統ともに GSSG 施用を育苗時および植栽時に行った場合がもっとも安定した結果につながっていると考えられたが、それぞれの方法内の樹高は系統間で大きく変わらず、GSSG 施用することで高い成長力を担保できると考えられた。造林コストの大幅な削減のためには、植栽用苗木の育成方法や植林方法で GSSG 施用や超緩効性肥料の使用が、重要な要件となると考えられた。

なお、本試験で使用した種子は、エリートツリー系統および少花粉系統を徳島県立農林水産総合技術支援センターで採取したものをを用い、種子の選別は九州大学理学院松田研究室で行った。育苗は、岡山県農林水産総合センター生物科学研究所および徳島県立農林水産総合技術支援センターで行い、岐阜県森林研究所および岐阜県庁、岐阜県森林アカデミーのもと試験地を設定し、静岡県や民間企業、恵那市の協力のもと調査をおこなっている。農林水産省技術会議の委託プロジェクトとして行ったものであり、関連する成果報告は、森林研究所および森林研究所林木育種センターから刊行されている。

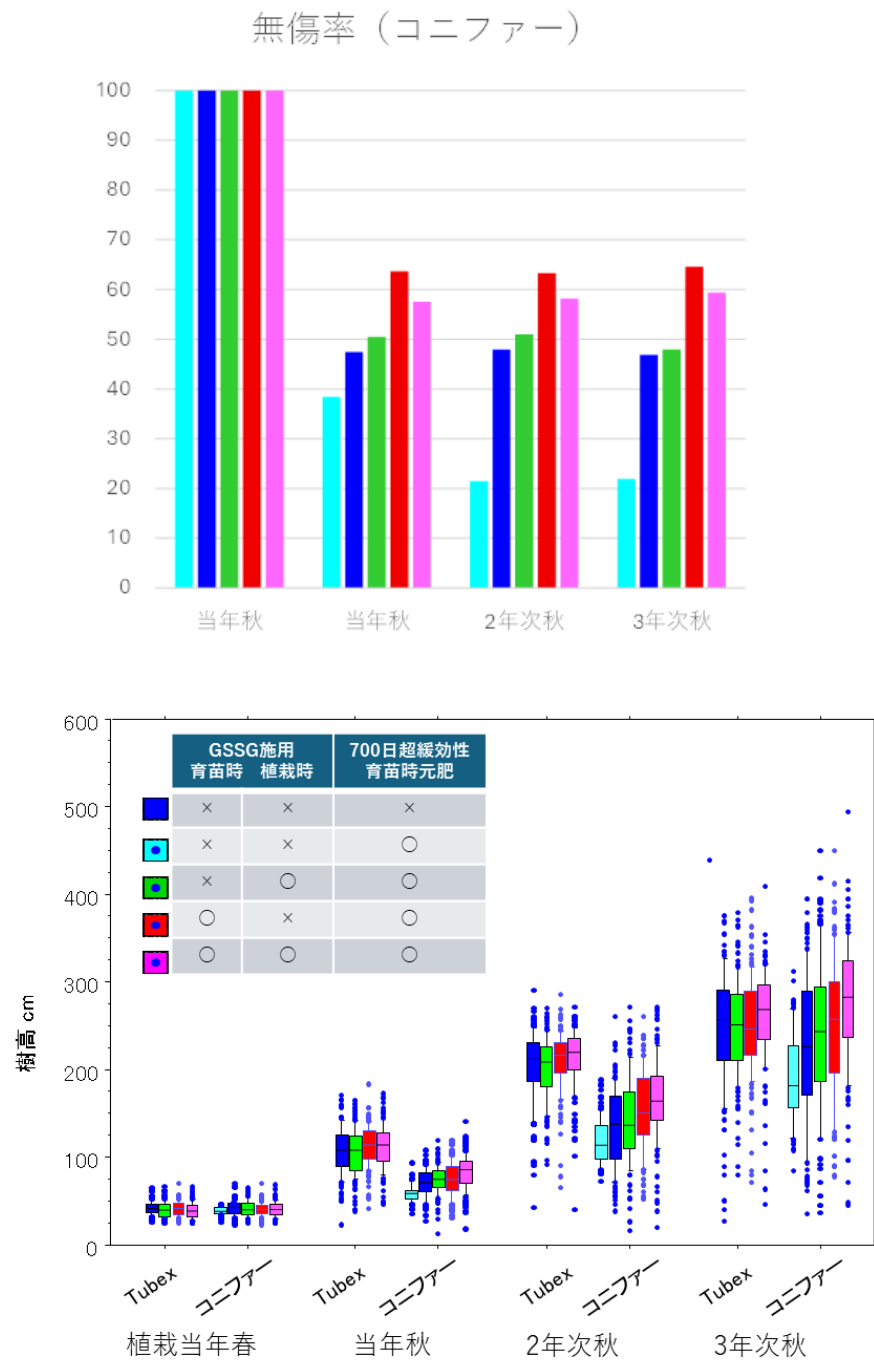


図 1. 植林地での苗木成長と生存率における GSSG 施用および超緩効性肥料の育苗時元肥使用の効果と単木保護資材の効果との関係。植栽時に単木ほぞ資材 Tubex を用いるか忌避剤のコニファー散布かのいずれかで GSSG 施用の有無（プラス超緩効性肥料の育苗時元肥使用）と慣行区（×××）を比較した。慣行区は市販コンテナ苗を植栽し、試験区には少花粉系統、エリートツリー系統、第 1 世代精英樹系統がそれぞれの区で等分になるように植栽した。

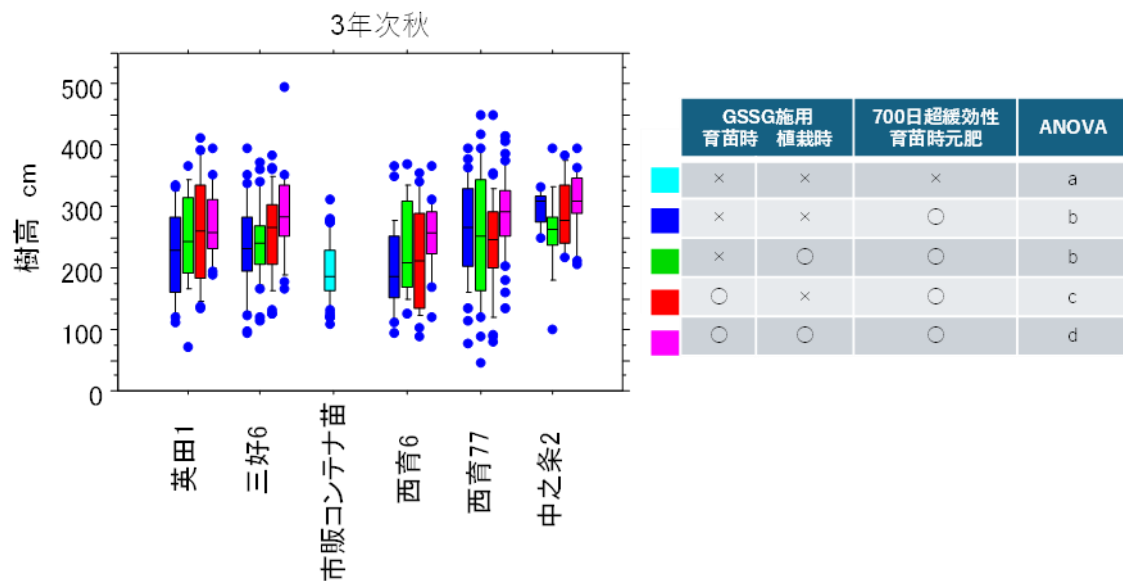


図 2. 系統間の樹高の比較。コニファーで管理した少花粉系統（英田 1、三好 6）、エリートツリー系統（西育 6、西育 7 7）、第 1 世代精英樹中之条 2 と市販コンテナ苗の慣行植栽との比較

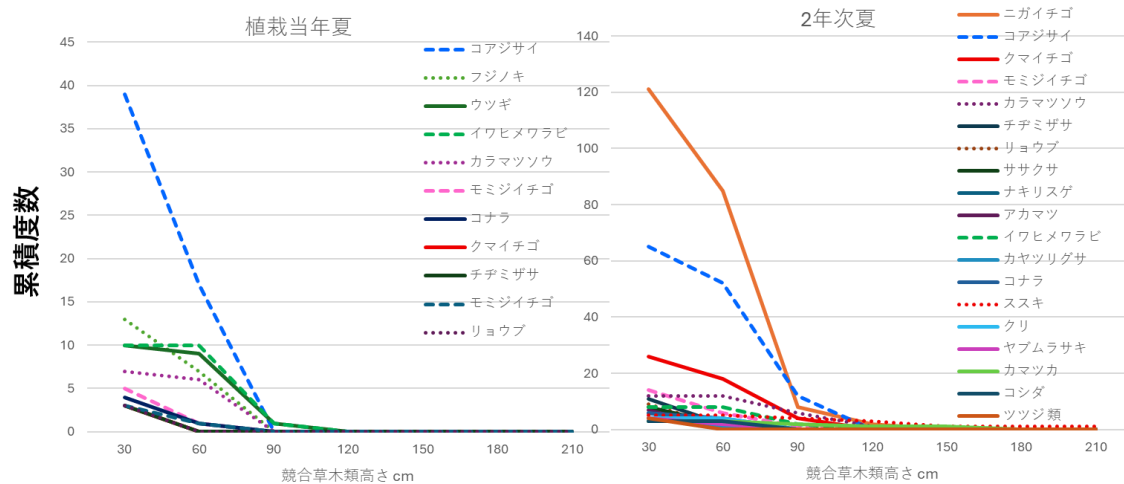


図 3. 競合植生高と頻度。

各個体の競合植生種のうちもっとも影響の大きな種を同定し、その高さと頻度との関係をプロットした。

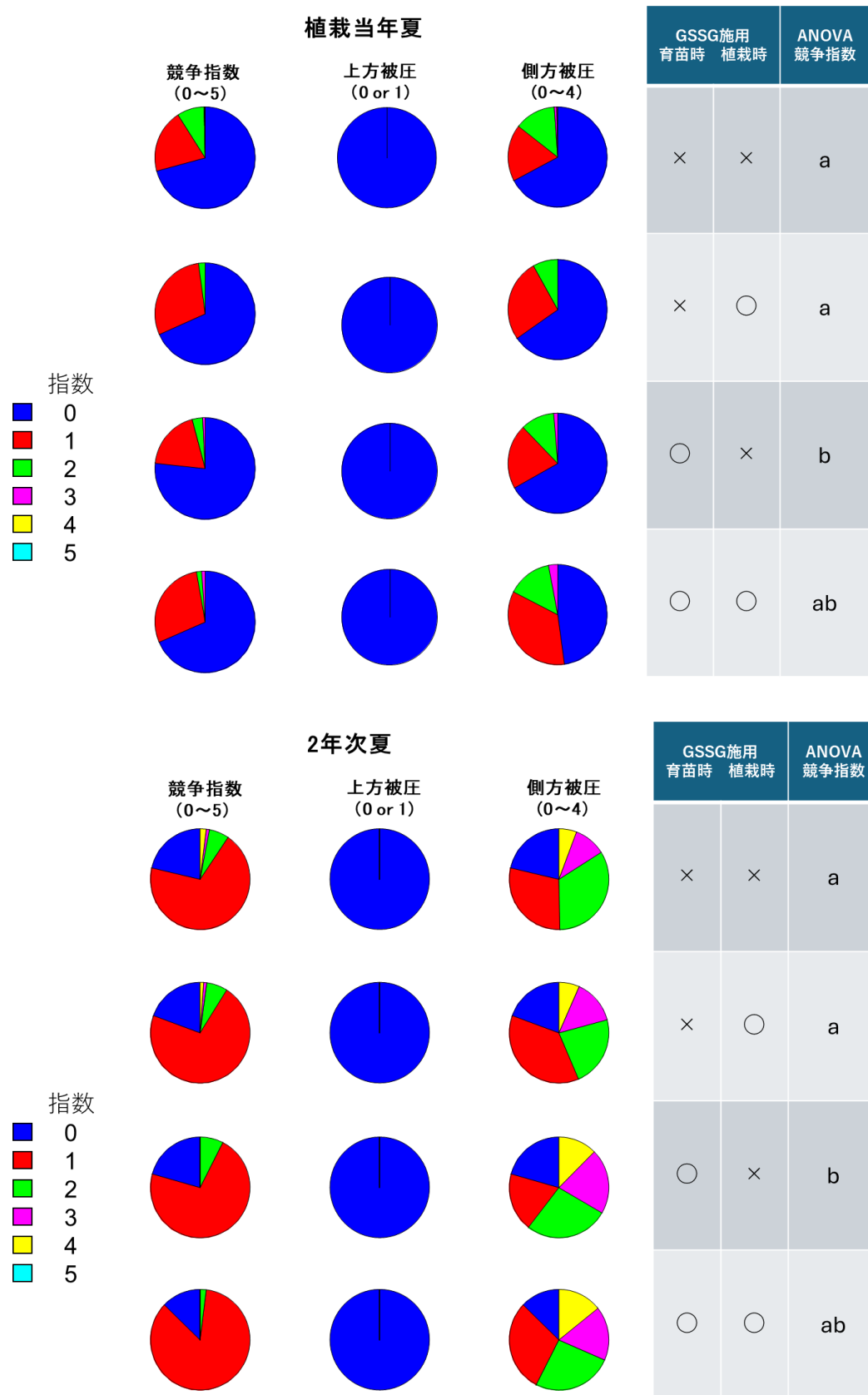


図 4. 植栽当年および2年次夏の競争指数、上方被圧および側方被圧。

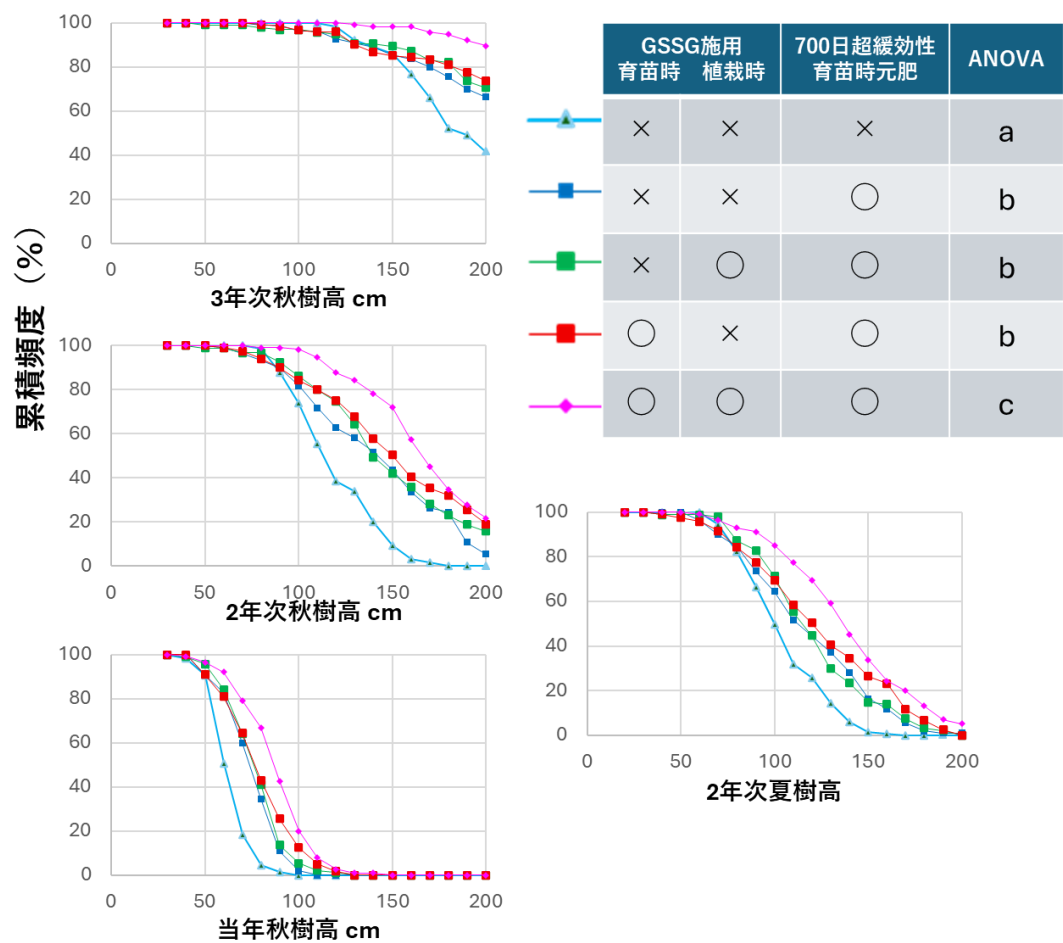


図 5. 各試験区の樹高頻度の推移

【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開始した。

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-システインを經由して

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。詳細は投稿中の論文に譲るが、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。

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.

令和 6 年度の活動

1. 報文(総説・原著論文等)

宇都木玄、山野邊太郎、小川健一、高橋誠 編

「優良種苗のよりよい育成・利用に向けて」全 80 ページ、国立開発研究法人 森林・研究開発機構森林総合研究所林木育種センター発行 (2025)

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)

萩下太郎、原田恋夏、櫻間晴子、西川正信

タウリンを合成する能力を有する微生物の探索

農芸化学会創立 100 周年・関西支部創立 90 周年記念支部大会、2024 年 9 月 29 日 (京都先端科学大学、京都市)

小川健一 (招)

山で成長のよい苗づくり

令和 6 年度秋田県山林種苗組合研修会、2024 年 2 月 5 日 (秋田温泉さとみ コンベンションホール泰山、秋田市)

野田壮一郎、逸見健司、小川健一

グルタチオン施用植物におけるアミノ酸蓄積に対する *NodGS* 遺伝子の影響
第 66 回日本植物生理学会、2025 年 3 月 15 日 (金沢大学、金沢市)

小川健一、望月智史、野田壮一郎、岩崎 (葉田野) 郁、中川昌人、西川正信、茂木靖和、渡邊仁志

酸化型グルタチオン施用による窒素利用効率の向上と生育適応条件の拡大
第 66 回日本植物生理学会、2025 年 3 月 15 日 (金沢大学、金沢市)

3. 職務発明

職務発明認定 1 件 (特許出願済)

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

・民間2件（代表 小川健一）

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

社会福祉法人 P.P.P. への農林業技術支援 （小川健一）

その他 生産者への説明支援および技術説明会等（小川健一）

- ・小中学生向けテキストの作成（小川健一）

「スケルトンリーフをつくってみよう」

- ・成果集詳細版の編集（宇都木玄、山野邊太郎、小川健一、高橋誠）

農林水産省技術会議委託プロジェクト「エリートツリーを生かす育苗と育林、施業モデル」 小課題 1 のまとめ

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

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3次晴れの国おかやま生き生きプラン」には、「岡山ブランドの確立」や「岡山ブランドのさらなる推進」が掲げられている。「21おかやま農林水産プラン」においても、「ブランド力強化」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。本課題では、農作物の機能性研究に重点を置き、農作物に機能的な付加価値付けをすることによって、本県農業への貢献を目指す。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。

健康な長寿社会の実現は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5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、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。

そこで本課題では、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）向上にもつながるとともに、6次化産業への波及も期待できる。農作物の機能性研究を通して、「消費者の食や健康」と「生産者のブランド作物」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 大課題「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、ケルセチンには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)。アミノ酸では、アルギニンにはタンパク質を構成するだけでなく、血流を促進する働きが知られている。タンパク質を構成しないアミノ酸にも、オルニチンのように、肝臓においてアンモニアを解毒するなど、機能性が示されているものがある(Wu 2009、Nie et al. 2018)。

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(ヒト生体への影響を評価する指標)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を活用して、農作物の特徴付け、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 姫とうがらしの機能性に対する天日干しの効果

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 2024)。秋に成熟果(赤姫)、初冬に未熟果(青姫)が収穫され、いずれも食用として出荷されている。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、カロテノイドは抗酸化作用のうち、特に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)。そこで、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、姫とうがらしの特徴を調べた。姫とうがらし（赤姫）の果皮は、調べた 9 種類の中では、彩度 C^* が最も低く、「最もくすんだ果皮色で、かつ、総カロテノイド含量、一重項酸素消去能（SOAC 値）が最も高い」ことが特徴であった（食農研究グループ 2024）。加えて、赤姫と青姫の総ポリフェノール含量は同程度であり、調べた 14 品種（赤品種および青品種を含む）の中では最も含量の高い 5 品種のうちのひとつであった（多賀と平井 2024、原田と横部 2024）。

生産地での商業生産において、9 月から 11 月の収穫期のうち、終期になるほど成熟果の色付きが低下する。しかし、収穫後に天日干しすることによって、目視による赤色が濃くなることが習慣的に知られている。これまでに一重項酸素消去能やカロテノイド含量は、果皮の彩度 C^* と負の相関関係にあることを見出しているが（食農研究グループ 2024）、実際に、天日干しによってこれらに対しても影響が及んでいるか検証した。

【材料および方法】

姫とうがらしの栽培 姫とうがらしは、NP0 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。成熟果（赤姫）は 2024 年 9 月 13 日および同 10 月 22 日、未熟果（青姫）は同 11 月 19 日に現地にてサンプリングした。天日干し効果の検証には、生物科学研究所の特定網室内において 6 日間天日干し処理した。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。

果実を液体窒素で凍結させ、凍結粉碎まで -80°C 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、新宿、東京）を用いて粉碎し、凍結乾燥機 FDU-1110（東京理化工機、文京、東京）を用いて乾燥させた。乾燥後の微細粉末を以下の分析に供した。

果実の色彩 果皮の色彩は、 $L^*a^*b^*$ 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、千代田、東京）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。なお、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 $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ 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。

一重項酸素消去能の評価(SOAC法; Singlet Oxygen Absorption Capacity Assay Method)

これまでの方法に従って測定した（向井と大内 2013、食農研究グループ 2024）。

カロテノイドの定量 ククルビタキサンチン A とアンテラキサンチンを分離するために、これまでの方法（食農研究グループ 2024）のうち、カラム温度を 48°C へ変更して定量した。

カプサイシノイドおよび総ポリフェノール (Folin-Ciocalteu 法) の定量 ノートルダム清心女子大学・吉金研究室において実施していただいた(石倉 2025、多賀と平井 2024、原田と横部 2024)。

【結果および考察】

カロテノイド含量および一重項酸素消去能に対する天日干しの効果 生産地における収穫期全体を通して、天日干し処理の前後で、カロテノイド含量および一重項酸素消去能を比較した。総カロテノイド含量は、9 月から 11 月へ季節の進行とともに低下する傾向がみられた(図 1-1A の「前」の比較)。これに対して、天日干し処理は、いずれの収穫月の姫とうがらしに対しても、総カロテノイド含量を向上させる効果が認められた(図 1-1A の各月の比較)。個々のカロテノイド含量を定量したところ、主成分のカプサンチンやカプソルビン(いずれも赤色を呈する)などの増加が認められた(データ不示)。天日干しによって赤色が濃くなるのは、これらの赤色カロテノイドの増加が寄与していると考えられる。また、一重項酸素消去能(SOAC 値)についても総カロテノイド含量と同様の傾向が認められた(図 1-1B)。

これまでに、9 月中旬に実施したトウガラシ属 9 種類の品種間比較において、赤姫は総カロテノイド含量、SOAC 値ともに最も高かった(食農研究グループ 2024)。天日干し処理には、9 月収穫の赤姫に対しても、総カロテノイド含量および SOAC 値をさらに向上させる効果が認められた。10 月以降はいずれも 9 月に比べて低下したが、天日干しによって、10 月は 9 月程度まで、11 月は部分的に回復した。

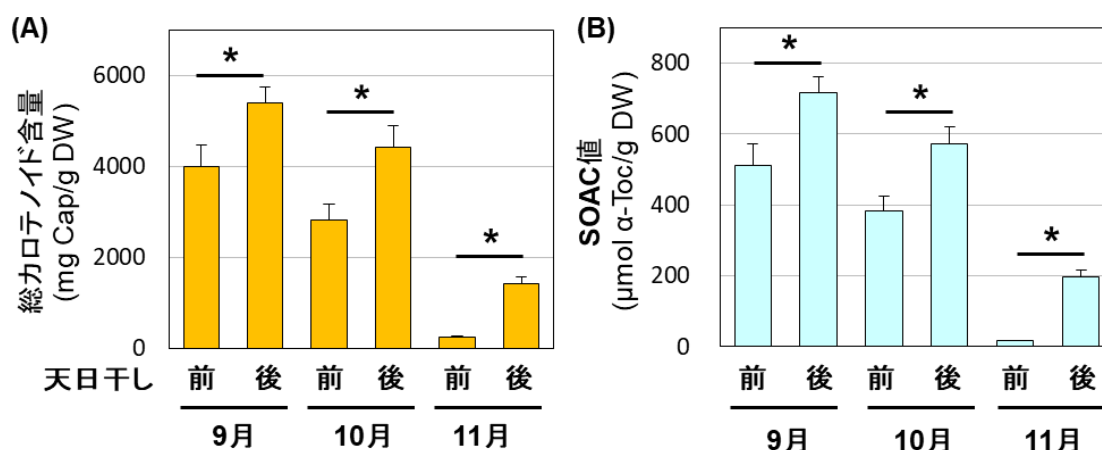


図 1-1 天日干し処理の総カロテノイド含量および一重項酸素消去能に対する効果
いずれの収穫月においても、天日干し処理によって、総カロテノイド含量(A)、一重項酸素消去能 (SOAC 値) (B) ともに向上した。*: 5%水準の t 検定による有意差を示す ($p < 0.05$)。

天日干し効果の要因 上述のような天日干しの効果は、何らかの環境要因が果実内の代謝系に作用したことで引き起こされたと考えられる。効果を与える環境要因やその影響

を受ける果実内の因子として何が考えられるか検討するために、10月収穫の赤姫に種々の処理を施して、総カロテノイド含量に与える影響を調べた（図 1-2）。天日干ししない場合と比較して、通常为天日干しと遮光干しでは含量が増加し、凍結融解と加熱処理では同程度であった。

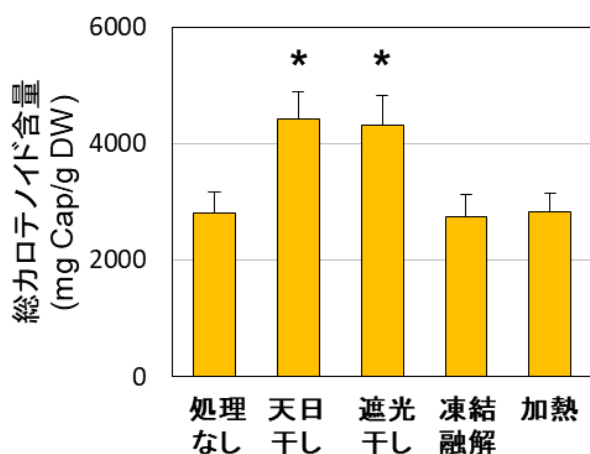


図 1-2 天日干し処理が総カロテノイド含量に与える要因

10月収穫の赤姫（処理なし）を通常为天日干し処理（天日干し）、寒冷紗で被覆した天日干し処理（遮光干し）を施した。また、液体窒素で凍結融解処理（凍結融解）または2分間の沸騰水処理（加熱）したのち、天日干し処理した。*：5%水準の Dunnett 検定による「処理なし」に対する有意差を示す（ $p < 0.05$ ）。

商業生産における習慣的な天日干し作業には、果皮色の濃化・均一化や乾燥機の負荷軽減をはかる効果があるが、機能性の面からも、カロテノイド含量や一重項酸素消去能を高める効果があり、機能性の向上にも寄与していると考えられる。天日干し効果の発現には、果実側の要因として、タンパク質成分や、膜機能・膜構造（クロモプラストなど）の関与が考えられる一方で、環境要因として光の寄与度は極めて低いと考えられる。

【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。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、加藤奈々助手、石倉由貴さん）と共同で実施した。ポリフェノールおよびカプサイシノイドの定量は、同研究室で実施されたものである。

【引用文献】

- Aizawa K and Inakuma T (2009) Br J Nutr. **102**: 1760-1766.
 Nie C et al. (2018) Int J Mol Sci **19**: 954-969.
 Saini RK et al. (2022) Antioxidants **11**: 795-828.
 Wu G (2009) Amino Acids **37**: 1-17.
 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 54-73.
 新聞報道 「秋陽浴び艶めく赤 岡山・鏡野 姫とうがらし（山陽新聞、令和6年10月13日）」

多賀智織、平井葉名（2024）ノートルダム清心女子大学人間生活学部食品栄養学科 2023 年度卒業論文.

立石法史ら（2018）化学と生物 **56**: 408-413.

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.

原田知佳、横部菜乃香（2024）ノートルダム清心女子大学人間生活学部食品栄養学科 2023年度卒業論文.

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、図 2-2A）。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 2024, 2024, 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）。国内で広く栽培されているえびす（西洋カボチャ）と色彩値を比較した場合、備前黒皮かぼちゃの果皮は、彩度 C^* （鮮やかさの指標）が低いこと（くすんだ色）、果肉は明度 L^* （明るさの指標）が高いことが特徴であった（食農研究グループ 2024）。これらの色彩は代謝物に由来し、機能性にもそれぞれ特徴をもつと考えられる。そこで、果皮については、さまざまな色を呈する有色代謝物であるポリフェノールに、果肉については、果肉色の主要因と考えられるカロテノイドに着目して、えびす（西洋カボチャ）との品種間比較を実施した。

【材料および方法】

カボチャサンプル 2023 年および 2024 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 年は同瀬戸内店において購入した瀬戸内市牛窓産）。両品種とも、いずれの年も 7 月中旬に収穫された。果皮と果肉に分割したのち、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、以下の分析に供した。

脂溶性過酸化ラジカル消去能（L-ORAC）の測定 Watanabe ら（2014）の方法に従った。

カロテノイドの定量 トウガラシ属と同様の方法で分析した。

総ポリフェノールの定量 (Folin-Ciocalteu 法) ノートルダム清心女子大学・吉金研究室において実施していただいた (伊藤、小野、酒井 2025)。

【結果および考察】

果皮の特徴 備前黒皮かぼちゃの果皮における総ポリフェノール含量をえびすと比較したところ、備前黒皮かぼちゃの方が高かった (図 2-1A、図 2-1B)。そこで、ポリフェノールに由来する抗酸化能に影響があると考えられたため、脂溶性過酸化ラジカル消去能 (L-ORAC) を比較したところ、同様に高かった (図 2-1C)。

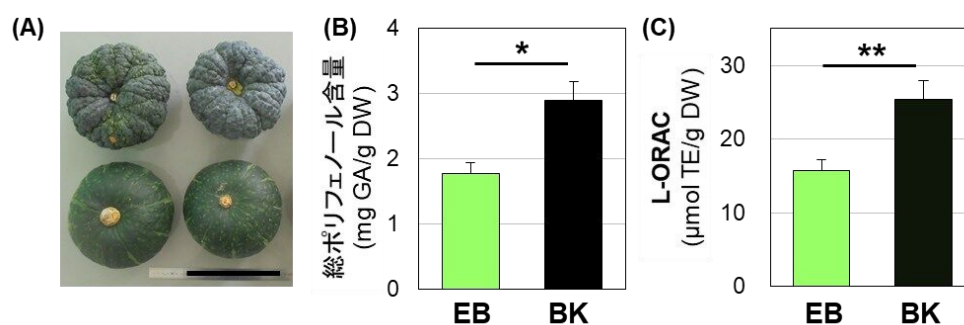


図 2-1 備前黒皮かぼちゃの果皮の特徴

(A) カボチャ果実の外観。上段が備前黒皮かぼちゃ (BK)、下段がえびす (EB)。スケールバーは 20 cm を示す。果皮における総ポリフェノール含量 (B) および脂溶性過酸化ラジカル消去能 (L-ORAC) (C) の比較。アステリスクは t 検定による有意差を示す (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)。

果肉におけるカロテノイドの特徴 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。このうち、えびすでは検出限界レベルであった α -カロテンが備前黒皮かぼちゃにおいては検出された (図 2-2B)。ルテイン含量は、えびすと比較して平均値としては 2 割程度高かったが、有意差は見られなかった。他のカロテノイドは同程度か低含量で、総量としても、7 割程度の含量であった。

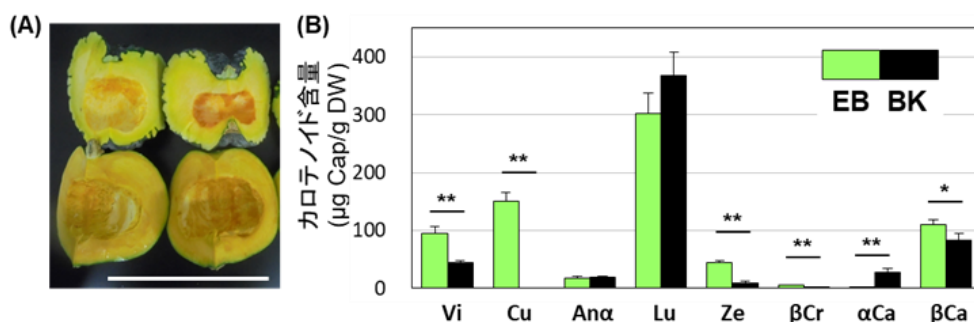


図 2-2 備前黒皮かぼちやの果肉におけるカロテノイドの特徴

(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や (BK)、下段がえびす (EB)。スケールバーは 20 cm を示す。(B) 果肉において特定した 8 種類のカロテノイド含量の比較。Vi : ビオラキサンチン、Cu : ククルビタキサンチン A、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。アステリスクは t 検定による有意差を示す (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)。

備前黒皮かぼちやにおいて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) の総和と、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) の総和との比 (黄色/橙色) は、 4.9 ± 0.3 (平均 $\pm$ SE) であった。これに対して、えびすにおけるその比は 3.5 ± 0.2 で、備前黒皮かぼちやの比の方が高かった (1%水準の t 検定による有意差が認められた)。備前黒皮かぼちやの果肉における呈色は、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 (図 2-2A)。

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 (以上、中村 2022)。備前黒皮かぼちやはその特徴的な機能性代謝物であるポリフェノールやカロテノイド、過酸化ラジカル消去物質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っては、備前黒皮かぼちや振興協議会の安達勇治会長にご理解、ご協力をいただいた。備前黒皮かぼちやサンプルは、同協議会を介して藤岡泰平氏からご提供いただいた。総ポリフェノールの定量は、ノートルダム清心女子大学・吉金研究室 (吉金優准教授、加藤奈々助手、伊藤唯菜さん、小野響子さん、酒井真緒さん) で実施されたものである。

【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.
伊藤唯菜、小野響子、酒井真緒 (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 54-73.
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、令和 6 年 1 月 30 日)」 「備前黒皮 収穫本格化 (山陽新聞、令和 6 年 7 月 12 日)」
『「備前黒皮」使う戦中・戦後の郷土料理「南瓜雑煮」ほっかほか (山陽新聞、令和 6 年 9 月 11 日)」 「大町、農業に本格参入 (山陽新聞、令和 7 年 1 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) .
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) における形態および味の特徴

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」会員らによる加工品やレシピづくりなど、土居分小菜を核とした地域振興活動が続いている (新聞報道 2023, 2024, 2025)。

土居分小菜は「野菜 在来品種の系譜 (青葉高著、1981)」に *Brassica campestris* とする記載があるが、現在では、*B. campestris* は *B. rapa* (アブラナ類) の変種 (var.) として、*B. rapa* var. *campestris* とされている (高畑 2001)。この一方で、同じアブラナ類のコマツナ (*B. rapa* var. *perviridis*) にカラシナ (*B. juncea*) のようなワサビ様の強い辛味はほとんど感じない。そこでまず、土居分小菜がアブラナ類とカラシナのどちらに分類されるか確かめるために、形態観察を実施した。次いで、ワサビ様の辛味はイソチオシアネートに由来すると考えられることから、この含量をコマツナと比較した。

【材料および方法】

土居分小菜の形態的な特性 3 種類のアブラナ属との比較には、在来地 (真庭市種地区) の生産者によって栽培された土居分小菜を用いた。2023 年秋作の開花期 (2024 年 4 月) に現地にて形態的な特性を観察し、中山ら (2022) の報文に掲載の図表と比較した。

コマツナ市販品種である菜々美、楽天 (以上、タキイ種苗)、きよすみ、つなしま (以

上、サカタのタネ)、夢わかな(中原採種場)との比較は、当研究所の隔離温室においてポット栽培した。形態的な特性は、アブラナの審査基準・特性表(農林水産省)に従って調査した。

イソチオシアネートの定量 当研究所の特定網室において、土居分小菜および上述の5種類のコマツナ市販品種をプランター栽培した。地上部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。上述のトウガラシ属と同様の方法で凍結乾燥した。乾燥前後の微細粉末を用いて水分含量を測定した。乾燥前の微細粉末を総イソチオシアネートの定量に供した。イソチオシアネートはZhangら(1992)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。1,2-BDTと反応後の反応液から、Supel QuE Verde(Sigma-Aldrich、目黒、東京)を用いてクロロフィルを除去したのちに吸光度を測定した。総イソチオシアネート含量はアリルイソチオシアネート(AITC)当量として算出した。

【結果および考察】

土居分小菜の形態的な特性(図3-1、表3-1) 土居分小菜がアブラナ類(*B. rapa*)とカラシナ(*B. juncea*)のどちらに分類されるか確かめるために、開花期の土居分小菜を中山ら(2022)の報文に掲載の図表と比較した。なお、この報文にはセイヨウアブラナ(*B. napus*)についても記載があったことから、これを含めた3種類と比較した。土居分小菜の形態的な特性は、分類のポイントとなる、葉の茎葉基部、花序、花(がく片および花弁)、および結莢状況(不稔の莢)のいずれもアブラナ類の特徴(表3-1に詳述)を有していたことから、土居分小菜はアブラナ類に属すると判断した。

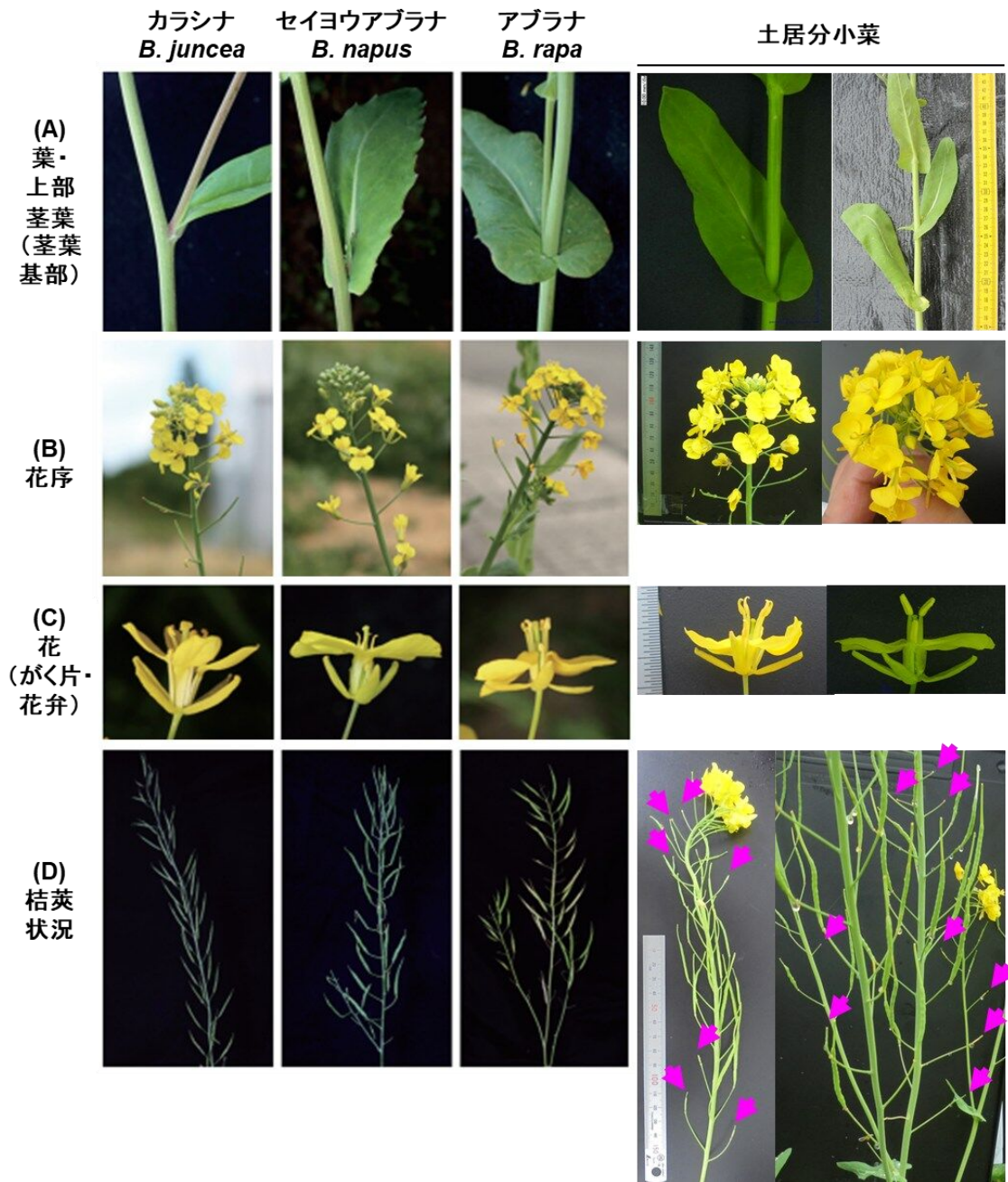


図 3-1 土居分小菜の形態的特性および3種類のアブラナ属との比較

開花期における土居分小菜の葉（茎葉基部）(A)、花序(B)、花(C)および結莢状況(D、矢印は不稔の莢を指す)。カラシナ、アブラナおよびセイヨウアブラナの写真は、中山ら（2022）の報文より引用した。(A)～(D)はそれぞれ表 3-1 (A)～(D)に対応する。

表 3-1 土居分小葉の形態的特性および3種類のアブラナ属との比較

開花期における土居分小葉の葉（茎葉基部）(A)、花序(B)、花(C)、および結莢状況(D)。カラシナ、アブラナおよびセイヨウアブラナの特性は、中山ら（2022）の報文より引用した。(A)～(D)はそれぞれ図 3-1 (A)～(D)に対応する。

		中山ら（2022）の報文より「形態的特徴（第3表、太字は特に重視する同定形質）」から抜粋して引用			目視による観察
		カラシナ <i>B. juncea</i>	セイヨウアブラナ <i>B. napus</i>	アブラナ <i>B. rapa</i>	土居分小葉
(A) 葉・ 上部 茎葉		有柄またはほぼ有柄で、基部は茎を抱かない。	無柄で、基部は少し～やや大きく広がり茎を抱き（多くは耳たぶ状）、葉身はやや幅広い。	無柄で、基部はやや大きく広がり茎を完全に抱き（～ときに抱かないものもあり）、葉身は幅広い。	無柄で、基部は茎を完全に抱く。
(B) 花序		花序内の個々の花の間隔はやや空き、蕾は花より上あるいは同じ高さにある。	花茎が伸長しながら開花するため、花序内の個々の花に間隔が空き、花より上方に蕾が見える。	花茎の伸長が遅く、花序内の個々の花の間隔が狭く、花が重なって見え、蕾は花の下に隠れていて見えにくい。	花は重なって見え、蕾は花の下に隠れていて見えにくい。
(C) 花	がく片	黄色～黄緑色～淡緑色まで変異が大きい。角度は変異が大きい。45°前後に立ち上がるものが多い。	やや緑色がかかった黄色で蕾時の緑色がなかなか抜けない。 <i>rapa</i> 、 <i>juncea</i> より大きく、45°以上に立ち上がる。	花弁と同じ黄色で、角度は水平～45°	がく片（4枚）は黄色。向き合う2枚の角度は水平～45°で、他は45°前後に立ち上がる。
	花弁	<i>napus</i> や <i>rapa</i> と比べ小さく、幅がやや狭く、花弁間に隙間が空く。花色は通常鮮黄色。花弁の爪部（基部の細い部分）は長い。	大型。花色は鮮黄色。	<i>napus</i> に比べやや小さい。花色は通常鮮黄色だが種内変異が大きく、 <i>napus</i> より濃いもの～淡いものまである。花弁の爪部は短い。	花色は黄色。花弁（4枚）の爪部は短い。
(D) 結莢 状況		花序内での長角果の欠損（不稔）は極めて少なく、花序中央部はよく結実している。花序内で長角果の形も揃っている。結莢期に花茎は硬くなる。		花序内での長角果の欠損（不稔）が起りやすく、1つも結実しない場合もある。花序内で長角果の形も揃いになりやすい。結莢期に花茎は比較的柔らかい傾向がある。	長角果の欠損（不稔）が散見される（図3-1内の矢印）。

形態およびイソチオシアネート含量の種内（変種間）比較 上述のように、土居分小葉はアブラナ類に属するが、同じ種に属し、国内で広く栽培されているコマツナとは異なる特徴を調べるために、種内で形態およびイソチオシアネート含量を比較した。いずれも5種類のコマツナ市販品種（つなしま、菜々美、夢わかな、きよすみ、楽天）と同時に栽培した。いずれのコマツナも葉縁の切れ込みは「全縁」で、裂片の多少は「無」であったのに対して、土居分小葉はそれぞれ「浅縁～中縁」、「少」（少ないが裂片が見られる）であった。葉色はコマツナが「緑」であったのに対して、土居分小葉は「淡緑」であった（図 3-2A、図 3-2B）。

総イソチオシアネートは、調べた6種類の中では、乾燥重量あたりの含量（図 3-2C）、個体あたりの総量（図 3-2D）ともに土居分小葉が最も高かった。

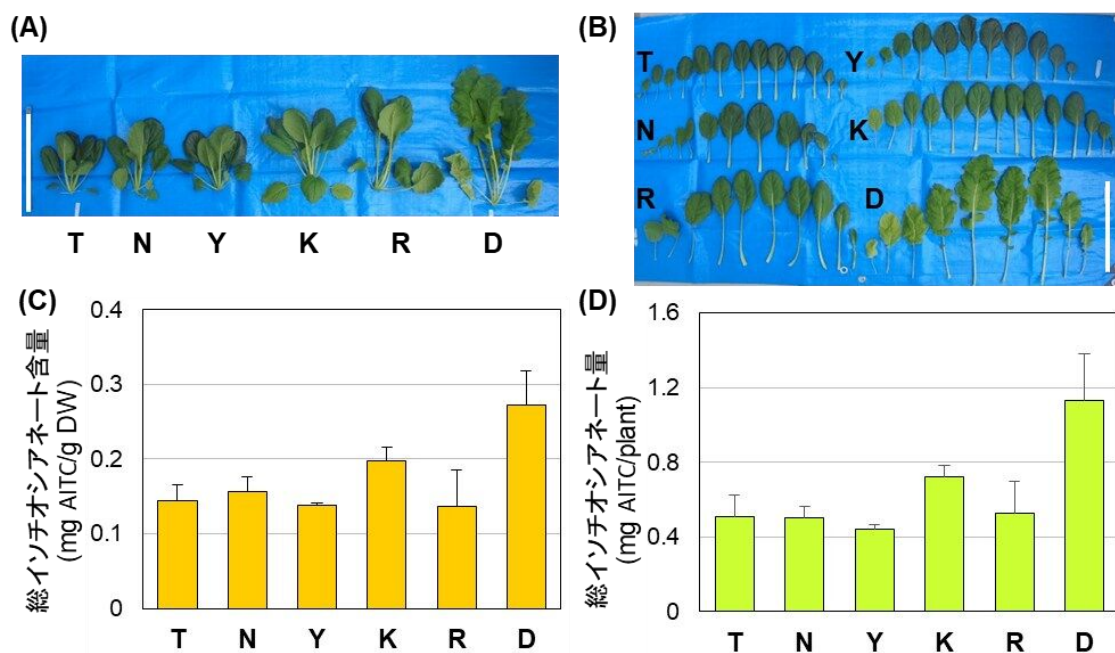


図 3-2 形態およびイソチオシアネート含量の種内比較

各品種 (T: つなしま、N: 菜々美、Y: 夢わかな、K: きよすみ、R: 楽天、D: 土居分小菜) の草姿(A)および個葉(B)の形態。個葉は左から右に向かって新しい。スケールバーはともに 30 cm を示す。各品種に含まれるイソチオシアネートを乾燥重量あたりの含量(C)および個体あたりの総量(D)で比較した。

土居分小菜は、コマツナと同じアブラナ類 (*B. rapa*) に属するが、調べた 5 種類のコマツナよりも、重量および個体あたりのイソチオシアネート量が多く、高い蓄積能が特徴と考えられる。コマツナとは葉の形態も異なり、外観およびイソチオシアネートに由来すると考えられる味に特徴をもつ。

イソチオシアネート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る。解毒酵素や抗酸化酵素の誘導や、抗がん作用、抗炎症作用など多様な生理機能が知られており、疾病予防や健康増進への寄与が期待できる (中村 2019)。6-メチルスルフェニルイソチオシアネートやその類縁体には、リン酸化酵素 GSK-3 β の活性を阻害する効果が認められており、この酵素活性が亢進している糖尿病態 (2 型糖尿病) に対する緩和や予防が期待される (吉田ら 2012)。土居分小菜はイソチオシアネート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・佐山布久江主幹、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。生産地の土居分小菜サンプルは、同委員会前会長・遠藤正明氏からご提供いただいた。県中山間・地域振興課の「令和6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、加藤奈々助手、村上萌さん、猪原実来さん、米谷咲八花さん）との協働の一環として実施した。

土居分小菜の分類は、山形大学・農学部・江頭宏昌教授より懇切なるご助言をいただいた。当研究所で栽培した土居分小菜の種子は、県農業研究所・野菜花研究室（岡修一室長、岸本直樹前室長）のジーンバンク事業より分与いただいた。

【引用】

Zhang Y et al. (1992) Anal Biochem **205**: 100-107.

青葉高 (1981) 「野菜 在来品種の系譜」 (法政大学出版局)

新聞報道 「土居分小菜の味広めたい (山陽新聞、令和5年7月8日)」 『「土居分小菜」継承を (山陽新聞、令和6年11月9日)』 「ノートルダム清心女子大学成果発表 (二川地域づくり新聞 第86号、令和7年3月)」

高畑義人 (2001) 「第4章 アブラナ属植物と近縁属の系統分化」 In 山口裕文、島本義也編著「栽培植物の自然史 野生植物と人類の共進化」 (北海道大学図書刊行会)

中村俊之 (2019) 日本家政学会誌 **70**: 448-454.

中山祐一郎ら (2022) 雑草研究 **67**: 31-43.

農林水産植物種類別審査基準・特性表「アブラナ (在来ナタネ (ハクサイ及びカブを除く。)) (*Brassica rapa* L.)」 (農林水産省)

<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/hinshu/info/kijun/1121.pdf>

吉田潤ら (2012) NewFoodIndustry **54**: 9-18.

4 ストレプトコッカス属細菌由来グルコシルトランスフェラーゼ阻害物質の探索

日本人は、歯磨きの習慣があるにもかかわらず、先進国の中でも、虫歯が多い国とされている。虫歯は、虫歯菌がシュクロースを分解してできたグルコースを重合し、バイオフィーム（不溶性 α -グルカン）を形成し、歯に付着する。その後糖類を代謝し乳酸を作り、口腔内環境は酸性になり、歯のエナメル質の脱灰が起こり、う蝕が始まる。このバイオフィームは、虫歯菌（*Streptococcus mutans*）のグルコシルトランスフェラーゼ（GTF）によって形成される（Hoshino et al. 2022）。

既報の GTF 活性測定法は、①シュクロース分解活性を遊離したフルクトース定量する方法（Konishi et al. 1999）、②不溶性グルカンを遠心によって回収し、酸で加水分解して、グルコースを定量する方法（Musaka et al. 1979）、③光散乱測定を用いる方法（Komatsu et al. 2011）が知られている。方法①は、初発の反応であり、不溶性グルカン形成とは活性は一致しない。方法②は遠心後、煩雑な工程を伴う方法である。方法③は、特殊な装置を必要とし、多検体同時測定には不向きである。これまでに GTF 反応系に、水溶性デキストランを添加することで、不溶性グルカン形成が加速することが知られていた（Musaka et al. 1979）。我々は、この現象を利用して、不溶性グルカン形成を濁度の経時変化でモニターすることで、簡便・迅速なストレプトコッカス属細菌由来 GTF による不溶性グルカン形成活性測定法を確立し（図 4-1）、農産物に含まれる阻害物質の探索を試みた。

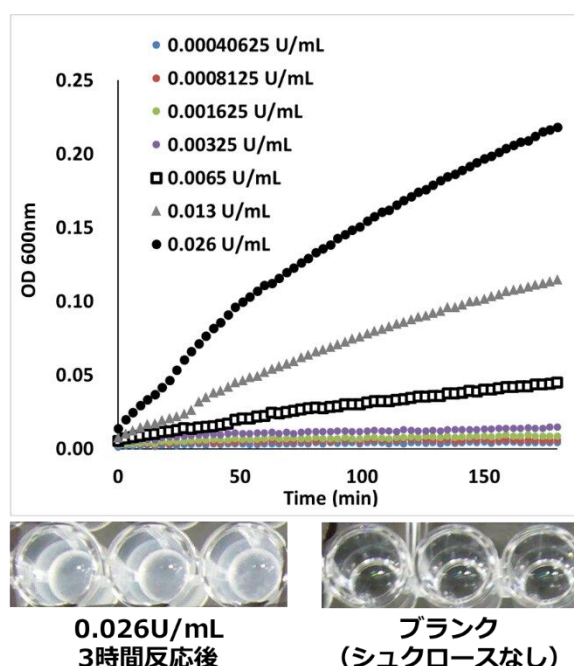


図 4-1 濁度（OD600nm）を指標とした GTF による不溶性グルカン合成活性測定

【材料および方法】

農作物

ブドウは、農業研究所・果樹研究室栽培のオーロラブラックを分譲していただき使用した。その他作物は、食農研究グループ保管のものを用いた。図 4-2 に、今回用いた主な農作物を示す。



図 4-2 今回用いた主な農作物

GTF 粗酵素液の調整法

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、アンピシリン (50 μ g/mL) 入り LB 培地で 37 $^{\circ}$ C, 終夜培養した。この培養液 0.5mL を、発現用培地であるアンピシリン (50 μ g/mL) 入り Overnight Express Instant LB medium (メルク、50mL) に殖菌し、500-mL バッフルフラスコを用いて、30 $^{\circ}$ C, 150rpm で 24 時間振とう培養した。その後遠心 (2,000 x g, 60 分) により集菌し、菌体を-30 $^{\circ}$ Cで終夜保存した。菌体を氷上で溶解後、100mM NaCl, 10mM Na₂S₂O₅, 10% glycerol を含む 10mM リン酸バッファー (pH 6.4) に懸濁し、超音波破碎 (ネッパジーン、Elestin NP035P, 破碎 5 分, インターバル 1 分, 計 60 分) した。その後、破碎液を遠心 (2,000 x g, 60 分) し、得られた上清を、100mM クエン酸バッファー (pH 5.3) に透析し、その透析内液を粗酵素液とした。

抽出方法

液体窒素で凍結した状態の農産物を、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、50-mL チューブで、1 グラム当たり 10mL の蒸留水に懸濁し、サーモミキサー (エッペンドルフ) で、90 $^{\circ}$ C, 500rpm の条件で 2 回抽出した。2 回分の抽出液を遠心 (2,000 x g, 30 分) し、上清をろ過してサンプルとして用いた。

GTF 阻害活性評価法

粗酵素液の酵素活性は、シュクロースを基質とし、遊離したフルクトースを、フルクトースアッセイキット (メルク) で定量し、1 分間当たり 1 マイクロモルのフルクトースを遊離させる活性を、1 ユニットとして値付けした。図 4-3 に、シュクロース分解活性と濁度を指標とした不溶性グルカン合成活性の相関を示す。

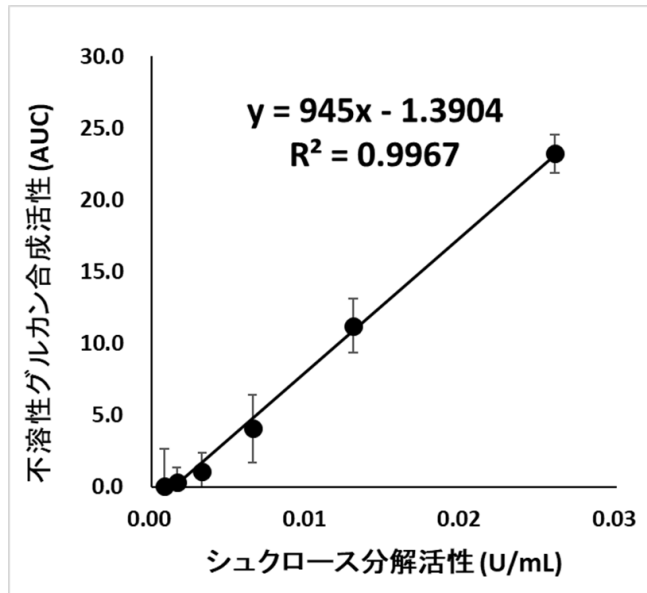


図 4-3 GTF による不溶性グルカン合成活性とシュクロース分解活性の相関図

粗酵素液 (0.25U/mL) 100 μ L、熱水抽出液 100 μ L に、蒸留水を 700 μ L 加え、室温 10 分放置する。その後、96 ウェルプレートに 180 μ L ずつ 4 ウェルに分注し、3 ウェルには、1M シュクロース、10mg/mL 水溶性デキストラン 40 (東京化成社) を含む 100mM クエン酸バッファー (pH 5.3) を 20 μ L、残り 1 ウェルをブランクとしバッファーのみを

添加し、反応をスタートさせた。その後、プレートリーダー（コロナ SH8000）を用いて、測定ごとにミキシングをかけ、25℃にて 600nm を 3 分毎 60 回測定（計 3 時間反応）した。この時、ブランクの Area under the curve (AUC) 値を、サンプルの AUC 値から差し引くことで、GTF による不溶性グルカン合成活性を算出し、サンプルの代わりに精製水を添加した AUC 値を 100% として、GTF 阻害率を算出した。

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 (*Streptococcus mutans* MT8148 株) を、マイクロタイタープレートで培養し、形成したバイオフィームをクリスタルバイオレットで染色した後、酢酸で溶出し、吸光度計 (600nm) で比色定量した (Matsunaga et al. 2010)。培養液に、ブドウ果皮熱水抽出液の凍結乾燥サンプルを終濃度 5 μ g/mL 添加し、阻害効果を検討した。既知の阻害物質であるエピガロカテキンガレート (EGCg) を終濃度約 0.7 μ g/mL 添加し、ポジティブコントロールとした。なお、本試験は、共同研究先の山口大学にて実施していただいた。

オーロラブラック果皮由来 GTF 阻害物質精製法

上記熱水抽出サンプルを、分画分子量 3,500 の透析膜を用いて、蒸留水に対して透析し、透析内液を C18 Sep-Pak につけ、20% アセトニトリルにて溶出し、溶出液をエバポレーターにつけ、アセトニトリルを留去した後、凍結乾燥し精製品を得た。その回収率は、凍結乾燥した果皮重量の約 1% であった。

プロアントシアニジンのタイプ判別

4-dimethylcinnamaldehyde (DMAC) は、プロアントシアニジンの C8 炭素に 1 分子が特異的に結合し、特徴的な吸収スペクトルを呈することが知られている (Wang et al. 2016)。この現象を利用して、プロアントシアニジンのタイプ判別を行った。DMAC を濃塩酸に溶解した後、メタノールを加えたものを用意し、これにサンプルを添加し、室温 10 分放置後、スペクトルを測定した。複雑な結合様式の A タイプは、青色で 640nm 付近に吸収極大を示し。単純縮合型の B タイプでは、640nm に加えて 440nm 付近にも極大があり、緑色を呈する特徴をもつ。

分子量分布測定

オーロラブラック果皮熱水抽出物から精製したサンプルについて、検出器として示差屈折検出器 (RI) およびフォトダイオードアレイ (PDA) を備え、5mM LiCl を含むジメチルホルムアミド (DMF) を溶媒として用い、カラムは、TOSH α -4000 と α -2500 を連結し (カラム温度 23℃)、標準ポリスチレンを検量線とするゲルパーミエーションクロマトグラフィー (GPC) 分析を (株) 東レリサーチセンターに依頼し、分子量分布および UV-Vis 吸収スペクトルを測定した。

【結果および考察】

GTF 阻害活性比較

図 4-4 に、15 種農作物熱水抽出液の GTF 阻害活性を示すように、ピオーネ、オーロラブラックの黒系統ブドウ品種の果皮由来サンプルが、強い阻害活性を示した。

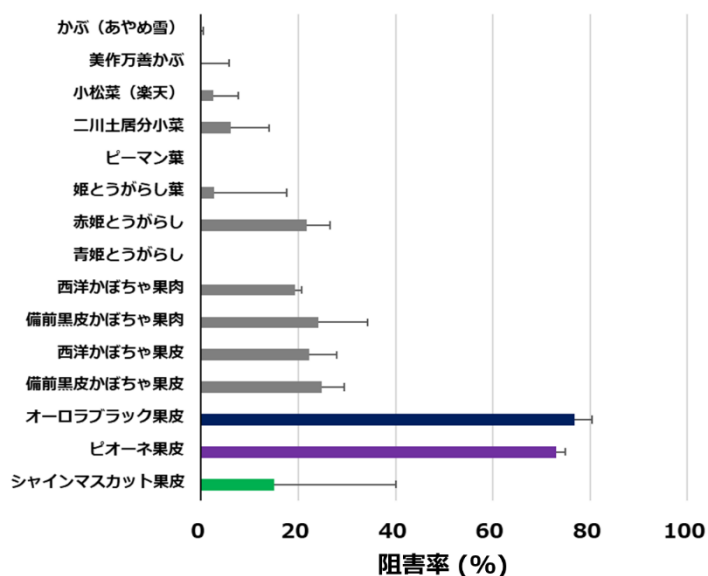


図 4-4 各種農産物熱水抽出液による GTF 阻害活性比較

虫歯菌によるバイオフィルム形成阻害試験

3 種のブドウ果皮由来熱水抽出物について、虫歯菌生菌を用いた試験を、山口大学・阿座上教授研究室にて実施していただいた。図 4-5 に結果を示す。



図 4-5 虫歯菌によるバイオフィルム形成阻害試験結果

- (A) マイクロタイタープレートに形成されたバイオフィルムのクリスタルバイオレット染色像
(B) 抽出バイオフィルムの比色定量結果

図 4-4 と図 4-5 とを比較すると、GTF 阻害では、シャインマスカット果皮由来サンプルは、あまり効果を示さないものの、虫歯菌生菌を用いたバイオフィルム形成では、ある程度効果を示しており、両評価で結果の乖離が認められた。この結果から、虫歯菌に

よるバイオフィーム形成阻害物質の中には、GTF 阻害試験では、見落とされるものがあることが示唆され、慎重な評価を進めることが肝要であると思われる。

次いで、オーロラブラック果皮に含まれる GTF 阻害物質の精製を試みた。予備検討で阻害物質は、3,000 以上の画分に濃縮されることを見出していたので（結果示さず）、阻害物質はカテキンの重合体であるプロアントシアニジンであると推測し、透析と逆相担体とを組み合わせる精製を行い、GTF 阻害試験を行った（図 4-6）。示すように、精製サンプルの濃度依存的に阻害効果がみられ、その 50%GTF 阻害濃度は、約 70 μ g/mL と見積もられ（結果示さず）、この値は市販ブドウ種子由来プロアントシアニジンの 50%阻害濃度とほぼ同様であった。

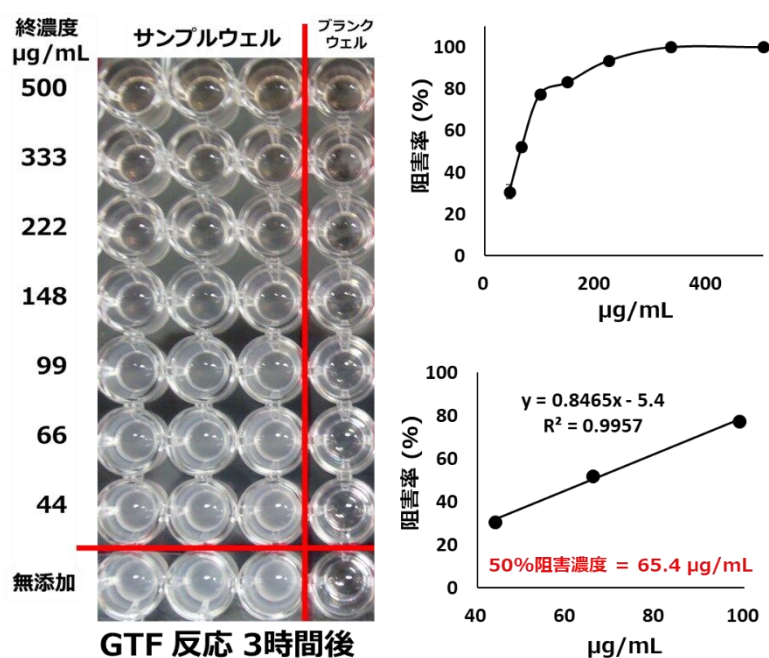


図 4-6 オーロラブラック果皮由来精製サンプルの GTF 阻害試験結果

この精製サンプルと、市販ブドウ種子由来プロアントシアニジン (PAC) とについて、DMAC によるタイプ判別を試みた（図 4-7）。その結果、ブドウ種子由来 PAC は、典型的な B タイプの特徴を示したが (A)、精製サンプルは、B タイプの吸収極大波長に加えて、540nm 付近にも極大を有した (B)。精製サンプルは、赤色を呈しており (C)、アントシアニン様化合物の混在が示唆されたため、GPC 分析を行った。

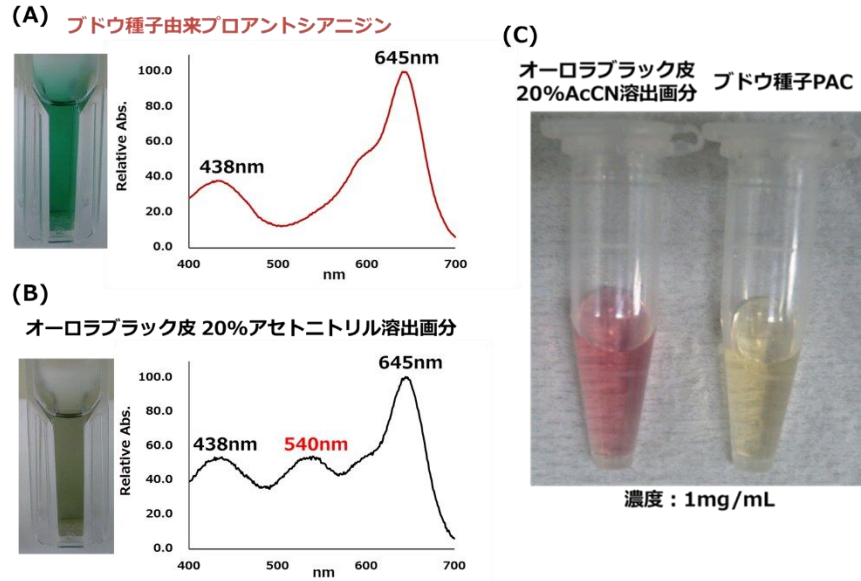


図 4-7 DMAC によるプロアントシアニジンのタイプ判別結果

- (A) ブドウ種子由来 PAC (B) オーロラブラック果皮由来精製サンプル
(C) タイプ判別に用いたサンプル

GPC 分析の結果 (図 4-8)、RI 検出器で、19.5 分付近にピークトップをもつ成分に加え、20.9 分付近にショルダーが検出された (A)。各々の溶出時間の吸収スペクトルから、19.5 分では 280nm に唯一の吸収極大をもつため (B)、この成分がプロアントシアニジンであると推測され、その重量平均分子量は約 7,000 であった (C)。一方、20.9 分におけるスペクトルは、280nm に加え、513nm にも吸収極大を示し (B)、その重量平均分子量は、約 3,000 であることから (C)、精製サンプルには、アントシアニン様色素が混在していることが示唆された。現在、オーロラブラック果皮由来精製サンプルについて、山口大学・阿座上教授研究室において、虫歯菌によるバイオフィルム形成阻害試験を行っている。

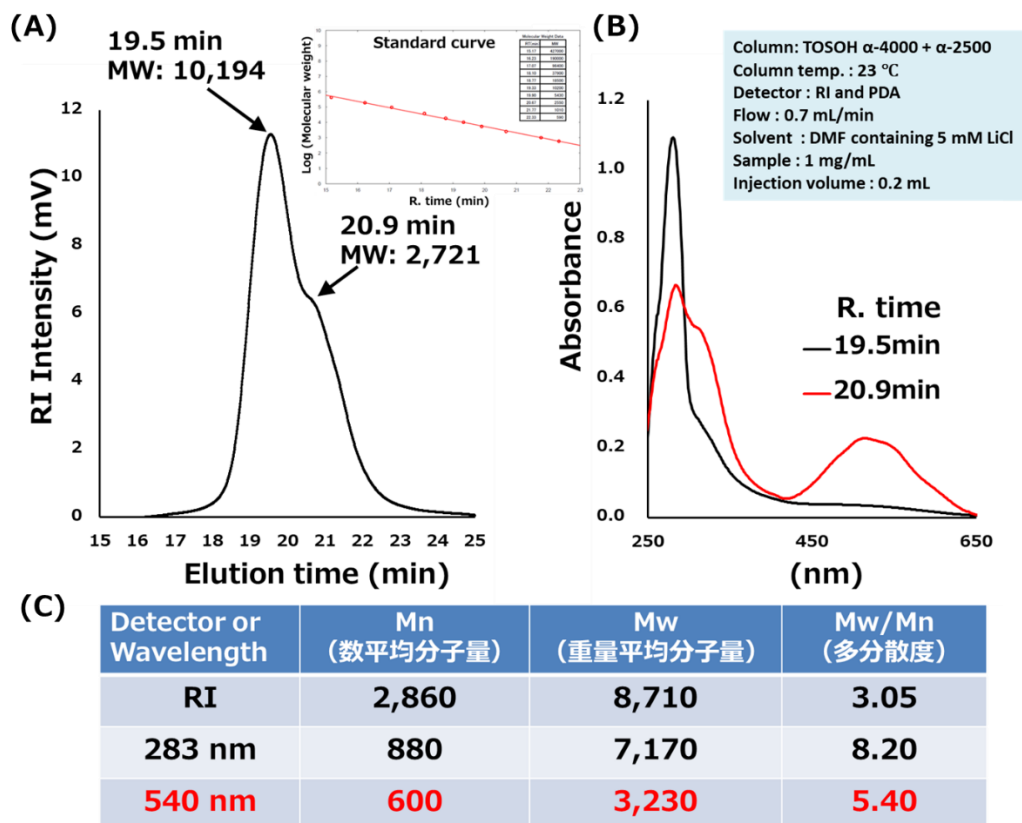


図 4-8 GPC 分析による精製サンプルの分子量分布

ならびに UV-Vis スペクトル分析結果

(A) RI 検出器によるクロマトグラム (B) 各保持時間におけるスペクトル

(C) RI 検出器ならびに 283nm, 540nm における分子量分布算出結果

皮ごと食べられる黒系統ブドウとして、岡山県が開発したオーロラブラック果皮の虫歯菌バイオフィルム形成阻害については、今回初めて見出した機能性である。また、ブドウ種子由来プロアントシアニジンには、血流改善、腸内環境改善等健康に資する機能が報告されており、黒系統ブドウを皮ごと食べることの意義についてエビデンスをさらに積み重ねて、オーロラブラック等黒系統ブドウの消費拡大ならびに産地拡大につなげたいと考えている。

【謝辞】

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。

バイオフィル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。

また、ブドウ種子由来プロアントシアニジン（商品名：グラヴィノール-SE）を提供いただいた、キッコーマンバイオケミファ(株)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。

【引用文献】

- Hoshino T et al. (2022) Jpn Dent Sci Rev **58**:328-335.
Konishi N et al. (1999) J Biochem **126**:287-295.
Komatsu H et al. (2011) FEBS J **278**:531-540.
Musaka H et al. (1979) Infect Immun **23**:564-570.
Puanglek S et al. (2016) Sci Rep **6**:30479.
Wang Y et al. (2016) J Agric Food Chem **64**:2190-2199.

令和 6 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、英文タイトルは国際学会）

楊靈麗、畑中唯史、加藤奈々、吉金優、逸見健司（*P）

「姫とうがらしの機能的な優位性と特徴」

OPU フォーラム 2024（2024 年 5 月 24 日）

川上賀代子、畑中唯史、坪井誠二、守谷智恵

「高脂肪食摂取における黄ニラ抽出物投与の影響」

第 78 回日本栄養食糧学会（2024 年 5 月 24 日～5 月 26 日）

畑中唯史、楊靈麗、逸見健司

「ストレプトコッカス属細菌由来グルコシルトランスフェラーゼの活性阻害評価法の構築」

学会創立 100 周年記念 日本農芸化学会 中四国支部 第 68 回講演会
（2024 年 6 月 1 日）

畑中唯史、楊靈麗、逸見健司、木下楓、阿座上弘行

「ストレプトコッカス属細菌由来グルコシルトランスフェラーゼの活性阻害物質の探索」

学会創立 100 周年記念 日本農芸化学会 中四国支部 第 69 回講演会
（2024 年 9 月 20 日）

楊靈麗、畑中唯史、加藤奈々、吉金優、逸見健司

「トウガラシ属 9 栽培種における果実色と一重項酸素の消去能との強い相関」

学会創立 100 周年記念 日本農芸化学会 中四国支部 第 69 回講演会
（2024 年 9 月 20 日）

川上賀代子、森山圭、畑中唯史、坪井誠二、守谷智恵（*P）

「黄ニラ抽出物からの睡眠ホルモン合成酵素の活性化物質の同定」

第 97 回日本生化学会大会（2024 年 11 月 6 日～11 月 8 日）

畑中唯史、楊靈麗、逸見健司、木下楓、阿座上弘行

「黒系統ブドウ（オーロラブラック）に含まれるストレプトコッカス属細菌由来グルコシルトランスフェラーゼの活性阻害物質の同定」

日本生物工学会 西日本支部大会 2024（第7回講演会）（2024年11月14日）

逸見健司

「第6講座の縁で紡ぐ食農研究」

広島大学 健康長寿学研究室講演会「健康を支えるバイオテクノロジー研究」
（2024年11月30日）

逸見健司、楊靈麗、畑中唯史、加藤奈々、吉金優（*P）

「赤姫の機能的な優位性と特徴」

岡山県立研究機関協議会 第13回研究交流発表会（2025年2月17日）

畑中唯史、楊靈麗、逸見健司、木下楓、阿座上弘行（*P）

「オーロラブラック果皮の機能性探索」

岡山県立研究機関協議会 第13回研究交流発表会（2025年2月17日）

畑中唯史、楊靈麗、逸見健司、木下楓、阿座上弘行（*P）

「ブドウ由来プロアントシアニジンは、ストレプトコッカス属細菌由来グルコシルトランスフェラーゼによる不溶性グルカン合成を阻害する」

日本農芸化学会 2025年度札幌大会（2025年3月5日）

3. 特許・発明

職務発明 1件。

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、岡山県立大学・保健福祉学部、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、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6年度 ウェスコ学術振興財団研究活動助成事業（代表 楊靈麗）
- ・令和6年度 八雲環境科学振興財団 環境研究交流助成（代表 畑中唯史）
- ・2024（令和6）年度 両備てい園記念財団 研究助成（代表 畑中唯史）

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）

新聞報道 1件（令和7年1月6日 山陽新聞朝刊掲載）

令和6年度 岡山県職員永年勤続表彰（令和7年1月28日 逸見健司）

アグリビジネス創出フェア2024（農林水産省主催） ポスター展示

食農研究グループ、ノートルダム清心女子大学

「県産農産物の機能性評価による高付加価値化の推進」

（東京ビッグサイト、2024年11月26日～11月28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6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』

村上萌『真庭市伝統野菜「土居分小菜」の価値を探る』

逸見健司『栽培試験や形態調査を通して「土居分小菜を知る」』

猪原実来、米谷咲八花『真庭市伝統野菜「土居分小菜」を知る・広める』

大学考案レシピの試食

（真庭市・二川みらいづくりセンター、2025年2月6日）

二川地域づくり新聞（第86号、令和7年3月発行）に成果報告会の記事掲載

令和6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、多賀智織、横部菜乃香、原田知佳、平井葉名、加藤奈々、吉金優

「奥津の地域資源“姫とうがらし”の機能性」

（鏡野町・道の駅奥津温泉 NPO 法人てっちりこ、2025年2月28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

大課題

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 5 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 5 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 つの研究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育種利用を目的とした研究を行っている。

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、令和 5 年度も 50%以上の圃場で本病害

の発生が認められた。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主な原因の一つとされている。本病害を防除するために、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実施されているが、生産者にはかなりの労働負荷がかかる。また近年、国内主要産地で農薬耐性を獲得したせん孔細菌病菌の出現が問題となっており、本県圃場の一部でも農薬耐性菌が確認されている。農薬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い。このような現状から、農薬耐性菌にも有効なせん孔細菌病抵抗性モモ品種の育成が求められている。近年、DNAマーカーを活用して果樹の新品種育成が効率化されつつあり、モモにおいても様々なDNAマーカーが整備されてきている。しかしながら、国内で栽培されてい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。

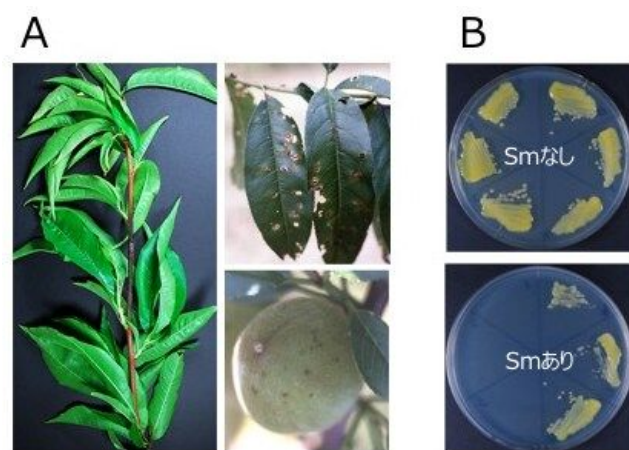


図1. モモせん孔細菌病の病徴及びストレプトマイシン耐性菌

(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。これを目的に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(図2)。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つに分類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できるDNAマーカーの開発を目的にせん孔細菌病抵抗性遺伝子の同定に取り組んでいる。

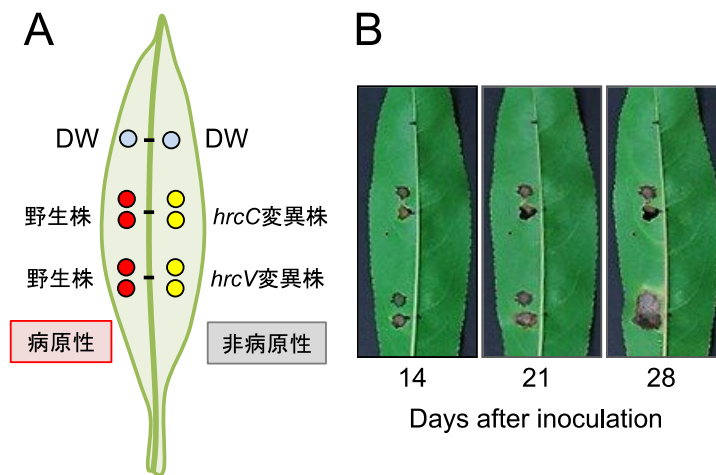


図 2. モモ本葉を用いたせん孔細菌病菌接種系

(A) 丸印はモモ本葉におけるせん孔細菌病菌野生株（病原性）、*hrcC* 及び *hrcV* 変異株（非病原性）及び水コントロール（DW）の接種位置を示す。菌懸濁液は 5×10^8 CFU/ml の濃度でシリンジ注入。(B) 接種 14, 21, 28 日後の病徴。病原性株の接種部位には褐色病斑が形成されるが、2 種の非病原性株及び水の接種部位に褐変化は観察されない。

〔今年度の成果〕

1. モモ本葉接種法を用いた抵抗性判定に適した本葉採取時期の解明

本葉接種系では温度及び光量を一定にした実験室環境でモモ本葉にせん孔細菌病に特有の茶褐色の病斑を安定に再現できる。このため、病斑の褐変化の程度からモモ系統が持つ抵抗性の程度を判定できると考えられた。しかしながら、我々が実施した複数年に渡る接種実験の結果から、モモ系統が持つせん孔細菌病抵抗性の強さが本葉の採取時期である程度変動する可能性が考えられた。そこで、本研究では、病斑形成の時期的変動を解明することを目的にモモ本葉の採取時期と病斑形成の程度を詳細に調査した。具体的には、我々が同定したせん孔細菌病極感受性モモ系統（SS）と抵抗性モモ系統（R）から経時的に本葉を採取してせん孔細菌病菌を接種し、病斑の程度を調査した。せん孔細菌病菌の接種菌濃度は一般的な感受性モモ系統が安定に病斑を形成する 5×10^8 CFU/ml を使い、接種 21 日後に形成された病斑の程度を 0～4 の 5 段階に設定した disease index（0, 褐変化なし; 1, 不完全な褐変化; 2, 接種部位のみ褐変化; 3, 接種部位からやや拡大して褐変化; 4, 接種部位から大きく拡大して褐変化）で評価した（図 3）。調査は若葉が展開する 5 月初旬から開始し、採取した本葉が接種後の培養期間中に老化（紅葉）する 9 月上旬で終了とした。病斑程度の評価は、褐変化の程度のみとし、黄化は含めないこととした。

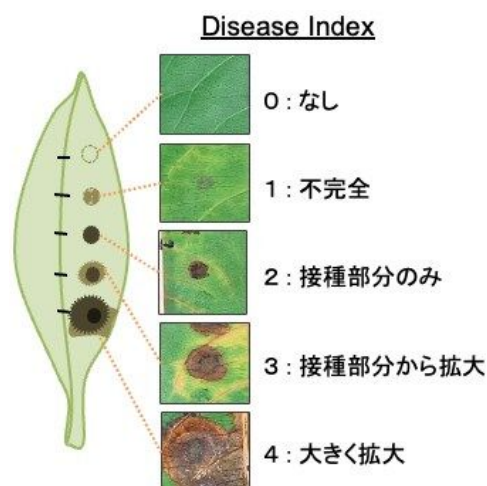


図 3. モモ本葉接種で形成される病斑程度の disease index 分類

本葉接種で形成されるせん孔細菌病の病斑程度を 0～4 の 5 段階の disease index で分類 (0, 褐変化なし; 1, 不完全な褐変化; 2, 接種部位のみ褐変化; 3, 接種部位からやや拡大して褐変化; 4, 接種部位から大きく拡大して褐変化)

2022 年度から 2023 年度の 2 年間に渡る接種実験の結果、極感受性系統と抵抗性系統のどちらも本葉の採取時期により病斑の褐変化程度に差が見られることが明らかとなった (図 4)。極感受性系統では、5 月上旬から 8 月上旬まで常に程度の高い病斑形成が見られたが、8 月下旬頃から病斑の程度が低くなる傾向が認められた。この原因の一つとして本葉が老化することが考えられる。一方、抵抗性系統では、5 月上旬から 7 月上旬までは病斑の程度にばらつきが大きく、2022 年では全体的に病斑程度が低い傾向にあったが、2023 年では多くの本葉が高い病斑程度を示した。この結果から、若い時期の本葉は抵抗性系統であってもその年の気温や天候などにより病斑形成を十分に抑制できない場合があると考えられた。一方、2022 年と 2023 年の両方で 7 月中旬から 9 月上旬までは抵抗性系統における病斑の程度は極感受性系統よりも低く維持されていた。この結果から、抵抗性系統は春から初夏にかけての若い時期は気象条件等で抵抗性を十分に発揮できない場合があるが、本葉が成熟する夏には十分な抵抗性を示すことが明らかとなった。また、本葉接種法による新品種の抵抗性判定を行う場合には、7 月中旬から 8 月中旬が最適であることが判明した。

我々は、モモ本葉接種部位における菌増殖を比較し、病斑の褐変化の程度と病原菌の増殖数に相関があることを明らかにしている。今回の結果は、抵抗性系統では初夏に若葉が本葉として成熟すると、本葉組織内でせん孔細菌病菌の増殖を抑制できるようになることを強く示唆する。今後、せん孔細菌病菌の増殖を抑制するメカニズムの解明を目指すとともに、モモ育種選抜への速やかな活用を目的に抵抗性系統と極感受性系統の交配後代を利用してせん孔細菌病抵抗性マーカーの開発を試みる予定である。

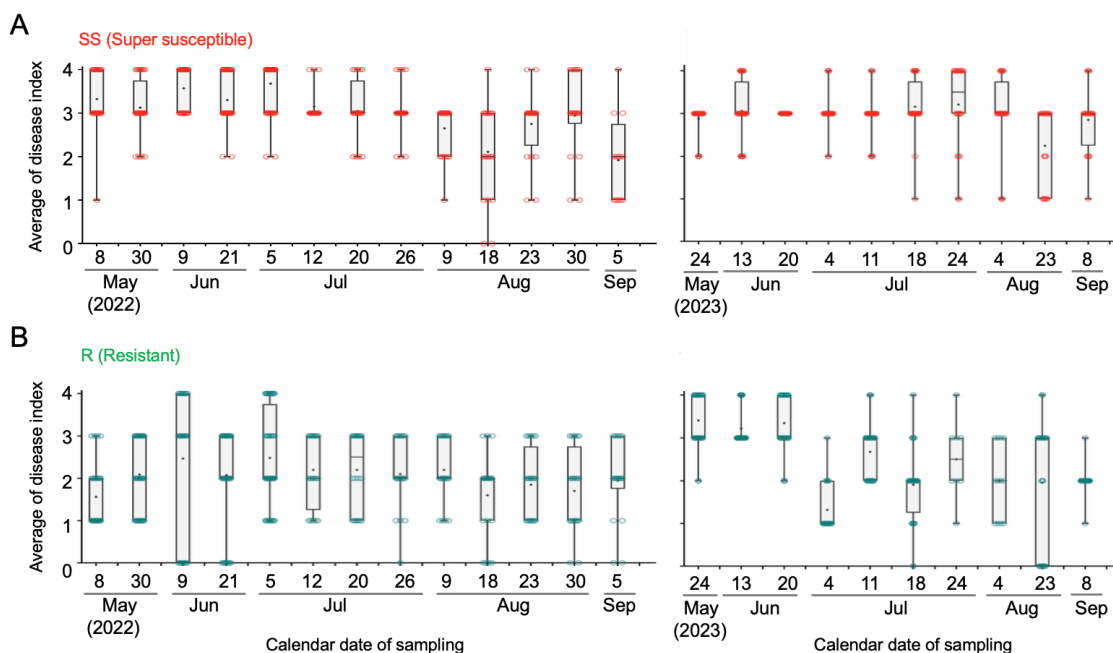


図 4. モモ本葉の採取時期と病斑程度の関係

せん孔細菌病極感受性系統（SS）と抵抗性系統（R）のモモ本葉にせん孔細菌病菌を接種し、21 日後に観察された病斑の程度を **disease index** で評価した。モモ本葉の採取は 2022 年及び 2023 年の 5 月初旬から 9 月初旬まで行った。
+は平均値を示す。

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 5）。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 6）。これまでの研究から、ナス野生系統が持つ 2 つの青枯病抵抗性遺伝子 *R-AX2* 及び *R-BF1* を見出し、*R-AX2* が **phyloptype I** のナス青枯病菌が持つ AvrX エフェクターを特異的に認識すること、及び *R-BF1* が **phyloptype 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、*R-AX2* 及び *R-BF1* 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、*R-BF1* は優性 1 遺伝子であることを確認している。昨年度、*R-BF1* の性状解析を報告したので、今年度は *R-AX2* の解析結果について報告する。

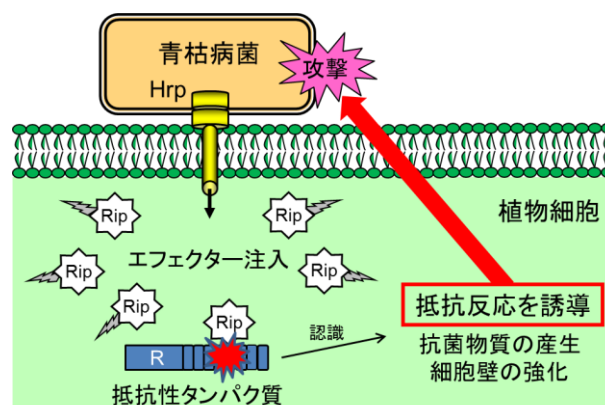


図 5. 植物の抵抗性タンパク質を介した青枯病菌の認識機構
 青枯病菌は植物感染時に III 型分泌装置 (Hrp) から宿主細胞にエフェクターを注入し、植物は抵抗性 (R) タンパク質で非病原力 (Avr) エフェクターを認識して抵抗反応を誘導し、病原菌増殖を抑制する。

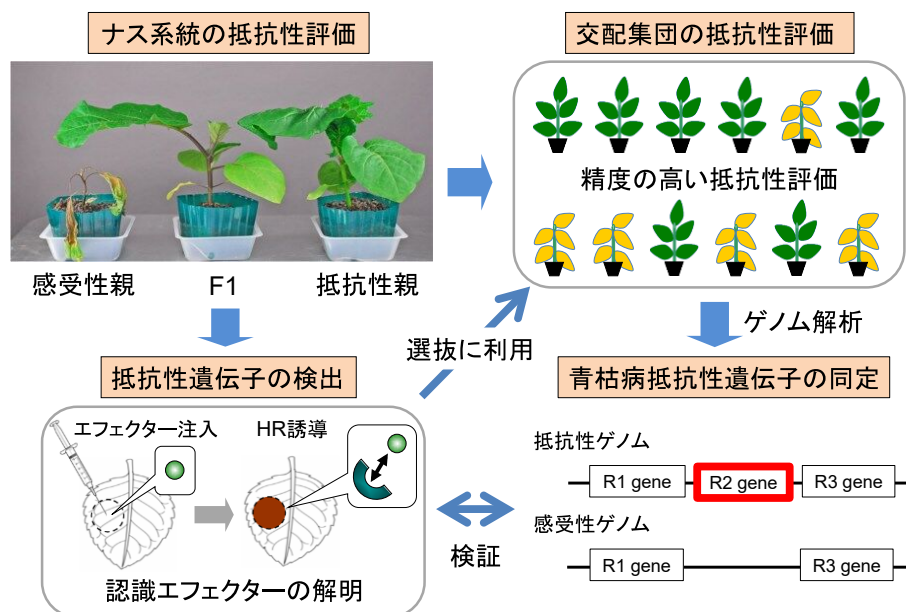


図 6. Avr エフェクターを利用した青枯病抵抗性遺伝子の同定

[今年度の成果]

2. ナス青枯病抵抗性遺伝子 *R-AX2* の同定

我々はナス青枯病菌に強度抵抗性を示すナス野生系統を発見し、本系統が持つ青枯病抵抗性遺伝子 *R-AX2* の同定に取り組んでいる。本抵抗性系統は青枯病感受性のナス栽培系統との交配で容易に後代 (F1) を取得できるため、*R-AX2* はナス栽培品種に交配導入可能な初めての強度青枯病抵抗性遺伝子である。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、*R-AX2* は優性遺伝子と考えられた (図 7)。また、抵抗性親及び F1 植物が青枯病菌エフェクター AvrX を認識して抵抗反応を誘導することから、*R-AX2* の実体は NBS-LRR 抵抗性タンパク質遺伝子である可能性が高い。

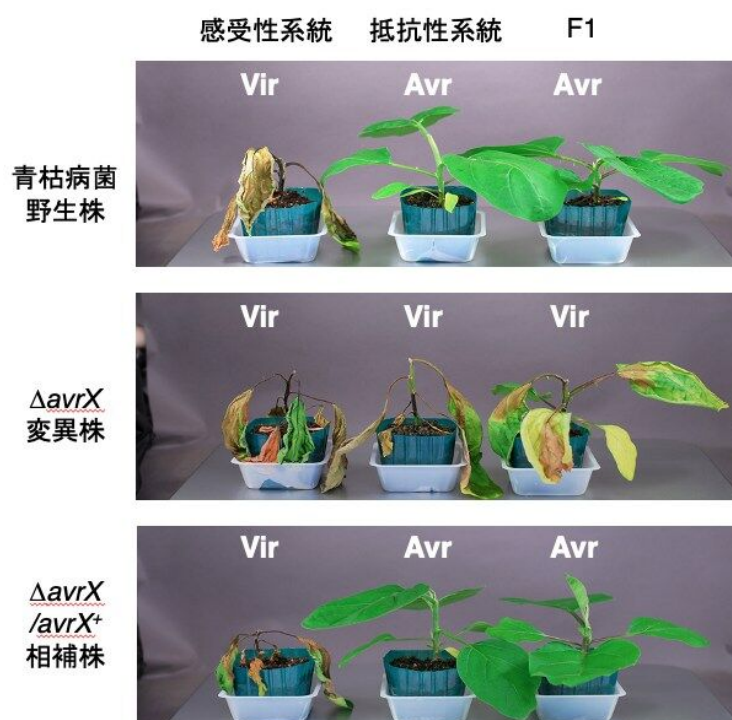


図 7. 青枯病強度抵抗性のナス系統は青枯病菌エフェクターAvrX を認識するナスの青枯病感受性系統、抵抗性系統及びそれらの交配後代 (F1) の青枯病抵抗性。抵抗性系統及び F1 植物は AvrX エフェクターを欠く $\Delta avrX$ 変異株の接種で枯死し、AvrX エフェクターを再導入した $avrX^+$ 相補株には抵抗性を示す。感受性親は全ての青枯病菌株に感受性を示す。写真は接種後 7 日目に撮影。

青枯病抵抗性遺伝子 $R-AX2$ の同定を目的に F1 系統の自殖後代 (F2) の青枯病抵抗性を調査したところ、350 以上の F2 植物が全て青枯病抵抗性を示した (図 8)。この結果から、 $R-AX2$ は一般的な抵抗性遺伝子とは異なり、F2 植物で抵抗性と感受性が遺伝学的に分離しないことが明らかとなった。F2 植物に $\Delta avrX$ 変異株を接種すると全個体が速やかに枯死することから、F2 植物は少なくとも 4 つ以上の $R-AX2$ 遺伝子を持つ、または $R-AX2$ が優先的に後代に伝達される何らかの仕組みを持つ可能性が示唆された。



図 8. F2 植物の青枯病抵抗性

F2 植物は青枯病菌野生株に抵抗性を示すが、AvrX エフェクターを欠く $\Delta avrX$ 変異株の接種で発病し、枯死する。写真は接種後 7 日目に撮影。

R-AX2 遺伝子座が少なくとも 4 つ以上存在すると仮定した場合、単一 *Avr* エフェクターを認識する抵抗性遺伝子がこれほど多くの遺伝子座で存在する例はこれまで報告されていない。*R-AX2* 各遺伝子座の分離を目的に、上記 F1 植物を感受性親系統と戻し交配した植物 (BC1) を作出した。得られた BC1 植物に青枯病菌 *ripAX2*⁺ 株を接種したところ、942 の BC1 植物のうち 14 個体が枯死することが明らかとなった (表 1、感受性植物の割合は 1/67)。BC1 植物における抵抗性と感受性の分離比から考えると、抵抗性親系統は少なくとも 6 つの *R-AX2* 遺伝子座を持つと推察される。

表 1. *AvrX* 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 %)
F1	20/20 (100 %)	0/20 (0 %)
F2	352/352 (100 %)	0/352 (0 %)
F1 × 感受性親系統 BC1	928/942 (98.5 %)	14/942 (1.5 %)

現在、*R-AX2* 各遺伝子座の分離を目的に、青枯病抵抗性の BC1 植物 (様々な数の *R-AX2* を持つと推察される) を感受性親系統と 2 回戻し交配した植物 (BC2) を作成している。抵抗性親系統が 6 つの *R-AX2* 遺伝子座を持つと仮定すると、理論的には BC1 植物の 1/10 は 1 遺伝子座、1/4 は 2 遺伝子座となった *R-AX2* を持つと考えられる。BC2 植物で抵抗性と感受性が 1 : 1 に分離するものは親 BC1 植物が 1 遺伝子座の *R-AX2* を持ち、3 : 1 に分離するものは親 BC1 植物が 2 遺伝子座の *R-AX2* を持つと見做せる。今後は *R-AX2* が 1 遺伝子座に分離した BC2 または BC3 集団を用いて遺伝学的解析を行い、青枯病抵抗性遺伝子 *R-AX2* を同定したい。

全く別の見方をすれば、抵抗性系統が持つ *R-AX2* が未知のミニ染色体に座乗していて交配後代に優先的に伝達されている可能性は現時点で否定できない。もしもそのように仮定すると、BC1 植物に出現する青枯病感受性植物では *R-AX2* を持つミニ染色体が一定の低頻度で脱落していることになる。このような場合、独立に作出した BC2 集団の全てで BC1 植物と同じくらい低頻度で青枯病感受性植物が出現するはずである。よって、BC2 における抵抗性と感受性の分離比から *R-AX2* の存在様式がある程度推察できるはずである。*R-AX2* の実体解明は、青枯病抵抗性の重層化を可能にする遺伝子マーカーの開発に直結するのみならず、ナスのゲノム進化と抵抗性遺伝子分化を理解する上で重要な知見になると期待され、興味をもって研究を進めている。

令和 6 年度の活動

2. 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

なし

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 B (分担 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 7 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