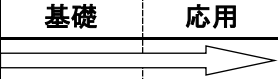


委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	脱炭素・環境対応プロジェクトのうち農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発	担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)
		連携する行政部局	大臣官房政策課環境政策室 生産局園芸作物課 生産局農業環境対策課
研究期間	H29～R3（5年間）	総事業費（億円）	5.2億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発
			

研究課題の概要

<委託プロジェクト研究課題全体>

平成28年4月のG7新潟農業大臣会合において、全ての農業は持続可能であるべきと宣言されたように、環境に配慮した農業生産への一層の転換が求められている。一方で、平成27年にIPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）（※1）から公表された「送粉者と食料生産に関するアセスメント報告書」では、近年の気候変動等を背景とした、送粉者の活動をはじめとする生態系サービス（※2）の損失が明示されている。そのため、地域環境や生物多様性を保全すると同時に、その機能を活用した持続可能な農業生産を実現するための研究・技術開発に取り組む必要がある。そこで、以下の課題を実施する。

<農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発（平成29～令和3年度）>

生態系の劣化や気候の変動等を背景とした野生の送粉昆虫等の減少が指摘されているため、我が国の農業生産に関与する送粉昆虫相の実態を把握するとともに、農作物生産への貢献を明らかにする。また、得られた知見に基づいて、これらの送粉昆虫による生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発を行う。成果は農作物の生産安定化・高品質化に寄与する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ・農作物3種において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度の調査方法の確立、マニュアル作成
- ・生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R8年）

野生の送粉昆虫の積極的利用技術の開発により、農産物の生産安定化・高品質化に寄与（国内で約3,300億円（H25年度）と見積られる野生送粉昆虫による農産物生産への貢献を維持）

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

①研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

多くの作物の結実には受粉が必要であり、金額に換算すると送粉昆虫が国内の農業にもたらす利益は約4,700億円にもものぼる。そのうち7割は野生の送粉昆虫の貢献によるものであるが、土地利用の変化や気候変動等の要因によって送粉昆虫が減少し、農産物の生産に多大な影響が生じることが懸念されている。また、気象等の影響により、交配用ミツバチが不足することもある。このような状況は研究開始時から好転していない。これまで見落とされてきた受粉に有効な野生の送粉昆虫を明らかにした上で、それらを有効活用できる技術の開発が依然として求められている。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

①最終の到達目標に対する達成度

最終到達目標として、「農作物3種において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度の調査方法の確立、マニュアル作成」（小課題1）及び「生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発」（小課題2）を目指しており、令和2年度までに以下の成果が得られている。

(小課題1：花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と調査手法の開発) 送粉サービスが生産性に強く影響する果樹(リンゴ・ナシ・ウメ・カキ)及び果菜(カボチャ・ニガウリ)の栽培地において、重要送粉昆虫群を選定した。これらの昆虫群は形態観察に加えて遺伝子情報(DNAバーコード(※3))等も参照しつつ種同定を行うと同時に、体表面に付着した花粉を分析することで花粉媒介能力も推定した。さらにいくつかの作目においては、それらが1回訪花した後で作物の花の柱頭に付着した花粉を計数し、花粉媒介への貢献度が高い種を明らかにした。その一例として、これまで我が国においてミツバチ以外の訪花者がほとんど知られていなかったカキでは、多くの地域で野生のコマルハナバチが送粉に貢献していることを見出した。

上記調査手法の開発と並行して、送粉昆虫の種構成や訪花頻度を調査する手法も開発した。対象作目や地域に適した標準的かつ省力的な昆虫捕獲装置(粘着板トラップ等)の他、目視による観察が最適と判断した昆虫種群については具体的方法を取りまとめた。これまでに得た知見を体系化し、公設試等を対象とする「花粉媒介昆虫調査マニュアル(ベータ版)」を作成した。

(小課題2：花粉媒介サービス有効活用技術の開発) 小課題1で選定した重要送粉昆虫種群の増殖やそれらの定着を促す植物(強化植物)を利用して野生昆虫による花粉媒介サービスを活性化させる技術を開発するために、令和2年度までに2,400個体以上の昆虫の訪花行動を記録するとともに、200種以上の植物種の色や香りを分析し、送粉昆虫の誘引に寄与する要因を解析した。この解析を通して、昆虫種群ごとの花の色や香りに対する選好性を解明した。例として、ヒメハナバチ類は黄色、コハナバチ類やミツバチ類は白色の花を好むことが判明した。これらの知見を応用し、強化植物として有望な特性を有する種を生産ほ場に植栽し、送粉昆虫に対する誘引効果を検証した。具体的成果例として、カボチャほ場にゴマを、ウメ園地にナバナを強化植物としてそれぞれ植栽した結果、いずれにおいても対照区と比較して強化植物植栽区において対象作物への訪花頻度が増加した。

また、外来生物法で使用が制限されているセイヨウオオマルハナバチ(特定外来生物(※4))の代替種については、土着のマルハナバチ類10種の授粉能力と人工飼育の可否を検討した。これらのうち累代飼育が可能で授粉能力に優れたエゾオオマルハナバチに焦点を絞り、より大規模な増殖手法や至適飼育環境の見極めおよびコロニーの健全性を確認するための遺伝子診断法等を確立した。商品化に向けて巣箱の温度管理技術も開発し、令和2年度には北海道のトマト農家にサンプル巣箱を提供して実証試験を実施した。その結果、エゾオオマルハナバチはセイヨウオオマルハナバチと遜色なく利用できることが確認され、農家の反応も良好であった。なお、逃去防止技術と遺伝子汚染リスク評価についても必要な技術開発や調査を完了した。

その他、開花時期(2月)の低温により不十分になることが多いウメの授粉を改善するため、既存花粉媒介昆虫の低温条件下における利用技術を開発した。カフェインを添加した餌の投与によりセイヨウミツバチの出巣を促進するとともに、女王フェロモンを設置することでワーカーをウメ園地に誘引することに成功した。また、巣箱の設置場所を工夫することで簡便に出巣を促進することも示された。

以上の成果が得られたことから、令和2年度末時点で小課題1は最終の到着目標に対して90%、小課題2は80%が達成されたと考えられる。

②最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

(小課題1：花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と調査手法の開発) 「農作物3種において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度の調査方法の確立、マニュアル作成」という研究目標に対して、すでに農作物6種について送粉昆虫の種構成を明らかにした。訪花頻度の調査方法もほぼ確立しており、最終年度に試行して修正を加える予定である。また、調査マニュアルも令和2年度末にはベータ版を作成し、最終年度に各地域で試行した際の問題点をフィードバックし改良することで、令和3年度末には生産者も利用可能なマニュアルを完成させる予定である。

(小課題2：花粉媒介サービス有効活用技術の開発) 「生態系サービスを有効活用する技術基盤」として、「送粉昆虫の誘引に寄与する要因解明」と「強化植物植栽による作物の花への訪花頻度向上」、「既存花粉媒介昆虫の低温条件下での利用技術の開発」を達成した。これらの成果は令和3年度までに小冊子やリーフレットとしてまとめる予定である。一方、エゾオオマルハナバチの実用化については順調に進捗しているものの、令和2年度に発生した寄生蜂の影響により、市販化を見据えた大量増殖計画に遅れが生じた。令和3年度は小課題内の研究エフォートの配分を調整し、エゾオオマルハナバチの商品化へ向けた優良系統選抜とコロニー数拡充に注力する。

現在の進捗状況から判断すると、いずれもの小課題も引き続き研究開発を推進することで最終到達目標を達成できるものと考えられる。

**3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性と
その実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性**

ランク：A

①アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本課題のアウトカム目標として、野生の送粉昆虫の積極的利用技術の開発により、農産物の生産安定化・高品質化に寄与することを目指している。本課題では、農産物の中でも特に野生送粉昆虫の影響を受けやすい作目（リンゴ・ナシ・カキ・ウメ・ウリ科果菜）を対象に、送粉昆虫の調査技術を開発している。我が国では地域や作目によって人工授粉が行われているが、農業者の高齢化や労働力不足により作業が困難になりつつある。また、授粉に利用される飼養セイヨウミツバチ等の価格も高騰傾向にある。そのため、本調査方法の利用によって授粉の省力化が達成された場合は、現場への貢献は大きいと考えられる。また、本研究で開発する野生送粉昆虫の利用技術は、商品やマニュアル、講習会等を通して生産者やJA等の農業団体に普及する予定であり、授粉作業の効率化や農業生産の安定化・高品質化が見込まれる。さらに、農業生産における花粉媒介昆虫の活動をはじめとする生態系サービスの重要性の理解が促され、持続可能な農業生産の実現にも貢献できる。したがって、アウトカム目標の達成は十分に可能と考えられる。

②アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

研究成果の普及・実用化のために、研究コンソーシアムに民間企業を加え、商品化を見据えた野生の土着送粉昆虫（エゾオオマルハナバチ）の増殖技術を開発している。特定外来生物であるセイヨウオオマルハナバチの飼養基準が厳格化されるなか、アウトカム目標である「農産物の生産安定化・高品質化」を達成するためには、代替種となるエゾオオマルハナバチの資材化は必要不可欠である。令和2年度には商品サンプルをトマト農家に提供し、現場の意見や行政部局の要望等をフィードバックして利用技術を改善してきた。侵略的外来種の管理に関する行政施策に対応する技術開発であり、プロジェクト終了後には商品としての普及が見込まれるため、アウトカム目標の達成に向けた取組として妥当と考えられる。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

花粉媒介は生物多様性がもたらす生態系サービスの典型である。そのため、本課題の推進はアウトカム目標である「農産物の生産安定化・高品質化」だけでなく、農業生産における生物多様性の機能解明にも貢献することが期待される。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

①研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）の妥当性

花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と調査手法の開発（小課題1）においては、当初は最終年度にマニュアルの作成を予定していたが、計画を一年前倒して令和2年度末にベータ版を作成した。最終年度に試行を行い、問題点をフィードバックすることにより令和3年度末には実用性の高いマニュアルとして改良できる見込みである。

花粉媒介サービス有効活用技術の開発（小課題2）においては、令和2年度にエゾオオマルハナバチのコロニーのサンプルを北海道で試用し農家からは高い評価を得た。しかし、増殖系統における寄生蜂の発生により開発計画に遅れが生じた。そこで、本小課題で一定の成果を挙げた実行課題については令和2年度末で完了・縮小し、研究リソースをエゾオオマルハナバチの課題に集中することとした。プロジェクト全体での成果を最大化するための妥当な見直しと考えられる。

②研究推進体制の妥当性

外部有識者や技術会議事務局・生産局担当者が参集する運営委員会を年2回実施した。この他に、研究コンソーシアム主催の計画検討会、中間検討会、成績検討会や現地視察、小課題単位の検討会を開催した。これらの委員会・検討会において、成果の普及先である民間事業者や行政関係者等の助言を研究に反映させた。したがって、アウトカム目標の達成に有効な体制で研究を推進することができたと考えられる。

③研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性

毎年漸減する予算を有効活用するために課題の見直しを行った。最終年度には行政ニーズの高い課題（エゾオオマルハナバチの大量増殖）に予算や人員を重点的に分配する。この他にも、毎年、各実施課題に必要な予算を精査しており、予算配分は妥当と言える。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・土地利用の変化に伴う生態系の劣化や気候変動が農業生産に影響を及ぼしている中、花粉媒介昆虫を積極的に活用する技術の開発を目指すプロジェクトの意義、成果の重要性は非常に高い。
- ・多くの成果がしっかりと出されており、目標の達成は十分可能と評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・エゾオオマルハナバチという北海道限定の技術であるが、確立された技術としては非常に有用性が高い。次のステップとして、ほかの地域でも適用できるような汎用性の高い技術、幅広い技術開発への展開を目指していただきたい。
- ・生態系サービスの有効活用技術として、実用化に向けて、農業生産サイドからの開発だけではなく、農業生態系全体の生物多様性の保全、例えば送粉昆虫の生息地や、生息環境の保全を含めた取組も同時に行う必要がある。オンファーム、オフファーム両方からのアプローチをセットで推進していくことを強く希望する。

[研究課題名] 脱炭素・環境対応プロジェクトのうち
農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発

用語	用語の意味	※ 番号
IPBES (生物多 様性及び生態 系サービスに 関する政府間 科学政策プラ ットフォーム)	生物多様性や生態系サービスの現状や変化を科学的に評価し、それを的確に政策に反映させていくことを目的として設立された、世界中の研究成果を基に科学的な見地から政策提言を行う政府間組織。	1
生態系サービ ス	生物・生態系に由来し、人類の利益になる機能 (サービス) のこと。	2
DNAバーコー ド	DNA配列から種を特定する短い遺伝子領域。	3
特定外来生物	海外起源の外来種であって、生態系、人の生命・身体、農林水産業へ被害を及ぼすもの、又は及ぼすおそれがあるものの中から、外来生物法で指定された生物。	4

④ 農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発 【継続】

背景と目的

- 平成27年に、IPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）から、食料生産に重要な役割を果たす花粉媒介生物に関する報告書が発表された。
- 国内では、花粉媒介昆虫が農業にもたらす利益は約4,700億円にのぼり、そのうち、約7割が野生の花粉媒介昆虫の貢献によるものと試算されている（平成25年度）。
- しかし、土地利用の変化や気候変動等によって国内外の花粉媒介昆虫が減少し、農産物の生産に多大な影響が生じることが懸念されている。
- このため、**野生の送粉昆虫種を有効活用して農産物の生産安定化・高品質化を実現する技術開発**が求められている。

研究内容

I. 農作物の花粉媒介に貢献する野生の昆虫種の解明

- ・ 在来の効率的な花粉媒介昆虫の探索
- ・ 花粉媒介昆虫による貢献度の調査マニュアルの作成



未活用の野生花粉媒介昆虫の利用



安定的な結果・結実

II. 生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発

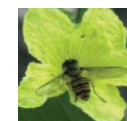
- ・ 花粉媒介昆虫が好む植物やその特性等の解析
- ・ 新たな花粉媒介昆虫の利用・増殖技術の開発



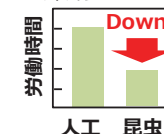
例) 周辺に花を植えることで園地に花粉媒介昆虫を呼び込み、果実の安定生産・高品質化



人工受粉



媒介昆虫



例) 花粉媒介昆虫を活用することで労働時間を短縮

到達目標

- ・ 農作物3種以上において、花粉媒介昆虫の種構成や訪花頻度の調査手法を確立
- ・ 結果・結実が不安定な農作物における収量の極端な落ち込みを防止するための基盤技術を開発

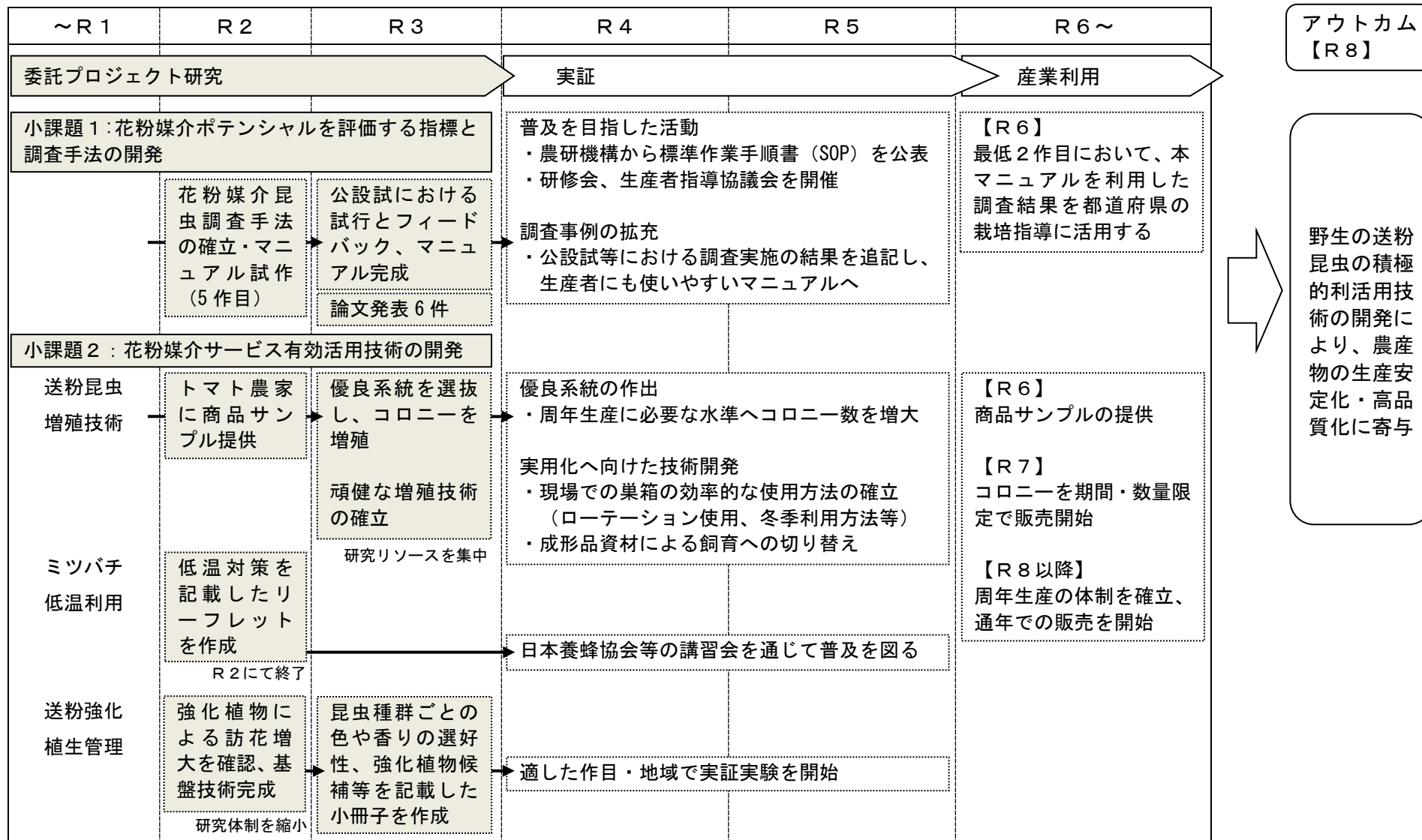
期待される効果

- ・ 各地域試験場等を通じて花粉媒介昆虫の調査マニュアルや利用技術が普及し、農産物の生産安定化・高品質化に寄与
- ・ 野生の花粉媒介昆虫を活用することで、受粉に要する労働時間を削減
- ・ 国内で約3,300億円（平成25年度）と見積られる野生の花粉媒介昆虫による農産物生産への貢献・経済効果を維持

[お問い合わせ先] 農林水産技術会議事務局研究開発官室（03-3502-0536）

【ロードマップ（終了時評価段階）】

脱炭素・環境対応プロジェクトのうち、農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発



農林水産分野における気候変動・環境対応プロジェクトのうち、「農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発」の主な成果

花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と評価手法の開発

① 評価手法の確立

作目ごとに重要な訪花昆虫種群が異なることが判明 → 作目別に検討

例) ナシにおける調査方法

訪花昆虫種群 調査方法

ハナバチ類、ハナバエ類 粘着版トラップ

ハナアブ類、ミツバチ類 目視

ナシの他、
・リンゴ
・ウメ
・カキ
・カボチャ
・ニガウリ



粘着版トラップ

全6作目で手法を確立

② マニュアル案の作成

りんご Apple

バラ科リンゴ属の果樹。さまざまな品種が栽培されており、8月中旬～11月にかけて収穫。自家不稔性の品種が多く、結実には他品種の花粉が必要。

■ 花の特徴：白～薄紅の花弁をもつ5～7花からなる花序を形成。中心の花が最初に開花し、2～3日後に周辺の花が開花。1つの花の受精能力期間は開花後約5日間。雌雄株では開花期間が約1日異なる。

■ 開花時期：4月下旬～5月中旬

■ 受粉後の管理：日本では、一般的に品種、果形の違いにより中心花由来の果実のみを育てて収穫。側花からなる果実は摘み取る。

★ リンゴの重要花粉媒介昆虫たち
いろいろな昆虫が訪花するが、そのなかでも、樹冠下のような昆虫があまり多くを刺すことが行われていない。種類や個体数に注目して調査が重要です。

ハチハチ

ハチ

★ リンゴの花粉媒介昆虫を調べる
どんな花科植物でも、どのくらい実際に来ているかを調べるためには、次の2つの手法を使用しています。

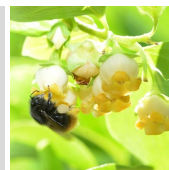
開花見回り

粘着版トラップ

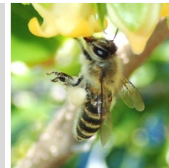
R3年度に公設試等へ配布・試行、同年度末に完成

③ 本調査で解明した事例 (カキ)

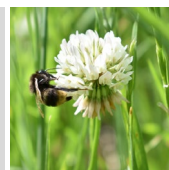
我が国でカキの野生送粉者についてはあまり知られていなかったが、コマルハナバチが主要な送粉者であることがわかった *Appl. Entomol. Zool.* 2019



カキ園に導入されたセイヨウミツバチを有効活用するには園地周辺の植生や他の訪花昆虫を把握することが必要であろう *Appl. Entomol. Zool.* 2020



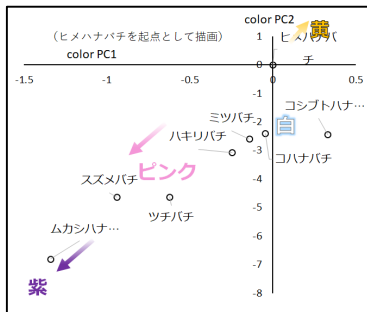
下草のシロツメクサはカキ開花までコマルハナバチの訪花を受けるため、カキ開花まで本種を支える花資源の役割が期待できる *Entomol. Sci.* 2020



授粉の最適化やカキ園の管理に活用可能

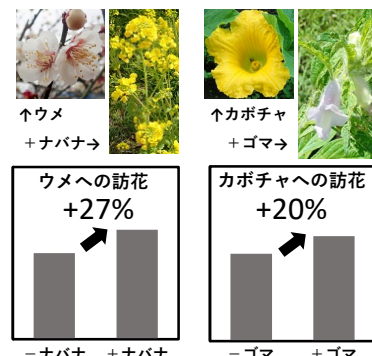
植生管理による花粉媒介サービスの強化技術の開発

① 訪花昆虫と花のデータを蓄積、メカニズム解析



訪花昆虫と花の関係の解析例
ヒメハナバチは黄色、コナハナバチ・ミツバチは白色の花を好む

② 強化植物の効果



訪花数の上昇が認められた

花粉媒介昆虫大量増殖技術および授粉利用技術の開発

① 大量増殖技術



✓ 累代飼育技術開発 (概ね達成)
・ 多産系統の作出
→ 残された課題、R3年度に対応

② エゾオオマルハナバチの授粉能力と実用性

昆虫種	大玉トマトの品質		
	秀	優	良
セイヨウオオマルハナバチ	44.0%	32.0%	24.0%
エゾオオマルハナバチ	47.0%	30.0%	23.0%

- トマトの花の授粉状態 ◎
- 散乱光フィルムへの対応 ◎
- 巣門を開けてから飛び出す時間 ◎
- 天候不順時の訪花行動 ○



← 現地試験での試用感◎

③ コロニーの健全性



④ 遺伝子汚染対策

