

II みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

II- 2. 研究内容に関する調査 b. 化学農薬使用量の低減

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

米国における総合的病害虫管理 (IPM) の助成プログラム

- 米国NIFAは、州、地域、国レベルでのIPM戦略を利用した、昆虫・線虫・病原体・雑草管理に関する問題に対処するため研究開発を支援。
- 2021年は、作物保護及び害虫管理 (CPPM) 関連の73プログラムに対して合計1,560万ドルの支援。2022年は24のプログラムを採択、合計900万ドルの支援。2023年のCPPMプログラムの予算は約490万ドル。

2022年度に採択された研究プログラム

機関	タイトル
ハンボルト州立大学	ワイン用ブドウ園におけるげっ歯類駆除のためのメンフクロウ巣箱の利用の最適化
カリフォルニア大学デービス校	野菜作物における雑草と病害防除のためのバンドスチームの適用
コロラド州立大学	古いウイルス、新しい宿主:米国西部の麻の新興ベクター媒介ウイルスであるビートカーリートップウイルスの疫学と管理
フロリダ大学ゲインズビル校	AIマシビジョンとジオリファレンス雑草マッピングを用いた除草剤削減のためのトマトの統合雑草管理プログラム
フロリダ大学ゲインズビル校	ウリ科植物感染性ウイルスのフィールド検出のためのリコンビナーゼポリメラーゼ増幅ツール
アイオワ州立大学	米国大豆生産における除草剤耐性ブタクサ管理のための生態学的戦術としての粃殻ライニングの統合
ルイジアナ州立大学	米国中南部の溝灌漑稲作における昆虫管理の持続可能性の向上
メリーランド大学	野菜生産におけるIPMツールとしてのリビングマルチによる節減耕起の評価
ミシガン州立大学	クロルピリホス喪失後の核果におけるホウキムシの代替管理戦略の開発
ニューハンプシャー大学	無土壌培地における業界の課題への対応:木材基材における病気の脅威とバイオ殺菌剤の有効性評価

出典:NIFA WEBサイト

<https://www.nifa.usda.gov/about-nifa/announcements/nifa-invests-9m-crop-protection-pest-management>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

米国における総合的病害虫管理 (IPM) の助成プログラム

2022年度に採択された研究プログラム (続き)

機関	タイトル
コーネル大学	アオドウガネのスカウトアプリの有用性をより多くの人に広めるために
ノースカロライナ州立大学ローリー校	ベと病原菌に対する殺菌剤使用を最適化する意思決定支援ツールの開発
オレゴン州立大学	ホップにおけるフザリウム脅威の軽減
ペンシルベニア州立大学	食用キノコの真菌病原菌・害虫防除のための植物化合物
テネシー州立大学	米国南部の野菜生産における節足動物害虫管理のためのインセクタリープランツの統合強化
テネシー大学	牛のマダニ検出のためのコンピュータイメージングの開発・検証・評価
テキサスA&M大学	持続的トウモロコシ生産における統合病害管理のための野生近縁種の在来抵抗性の活用
バージニア工科大学	銅、PGR-S、植物活性剤、抗バイオフィルム酵素を用いた火傷病、花茎枯病の次世代防除
ワシントン州立大学	X病管理の最適化のためのベクターと病原体のフェノロジーの統合
ワシントン州立大学	統合的害虫管理アプローチとしてのミツバチコロニーの屋内保存のための意思決定支援ツールの情報提供と開発

出典: NIFA WEBサイト

<https://www.nifa.usda.gov/about-nifa/announcements/nifa-invests-9m-crop-protection-pest-management>

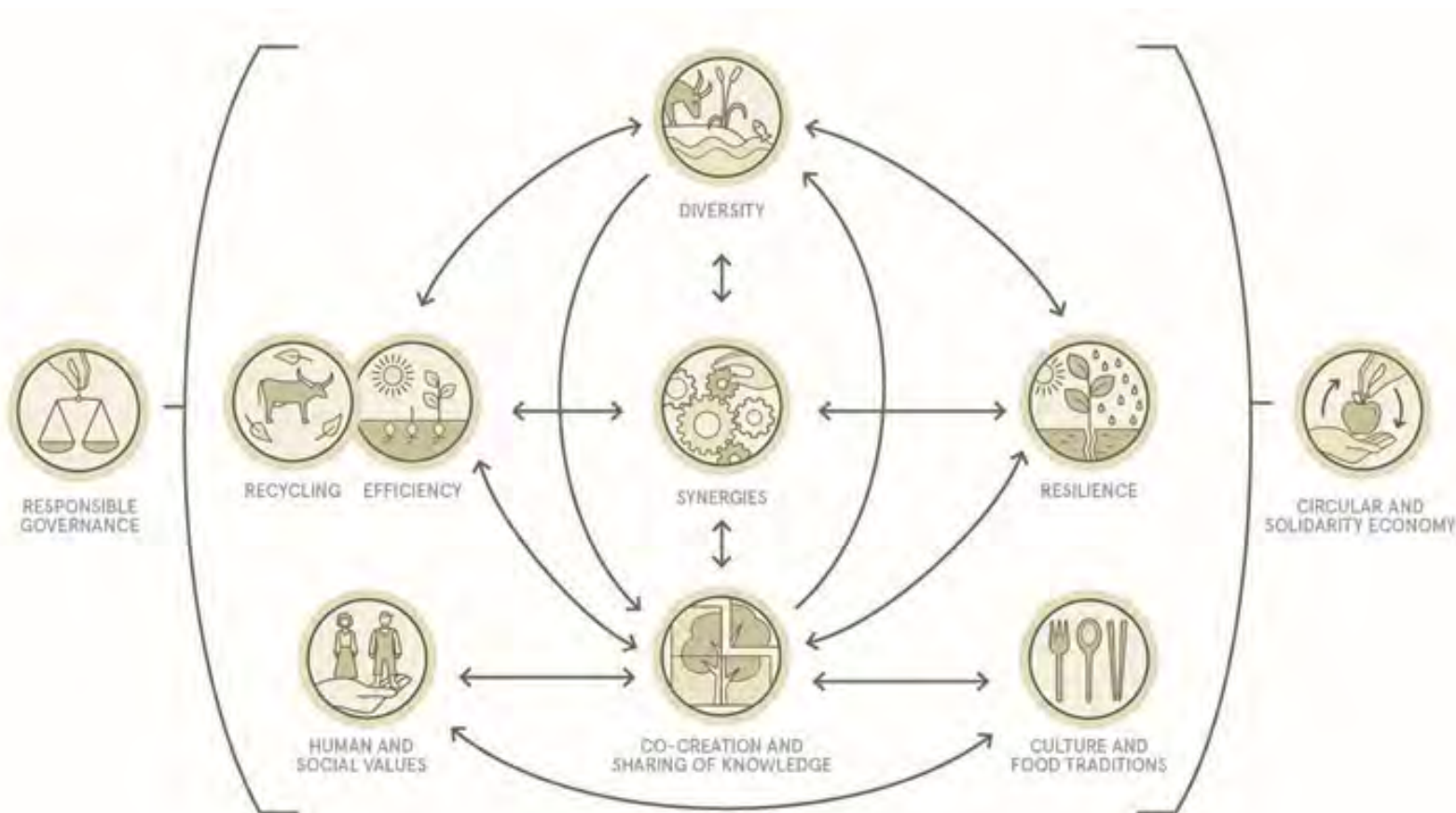
b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

農業生態学の10の要素：FAO

- IPMは、生態学を基礎とする総合的防除技術。農業生態学は、生物多様性を管理することにより、受粉や害虫・病害防除に対する生物学的調節に寄与。
- FAOは、農業生態学のフレームワークの10要素を2018年に発表。環境的、社会的、経済的に持続可能な農業及び食料システムの変革に向けたガイダンスを提供。

農業生態学の10要素の相互作用

(<https://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>)



農業生態学の10の要素

1. 多様性
2. 共創と知識の共有
3. 相乗効果
4. 効率性
5. リサイクル
6. レジリエンス
7. 人間的・社会的価値
8. 文化と食の伝統
9. 責任ある統治
10. 循環連帯経済

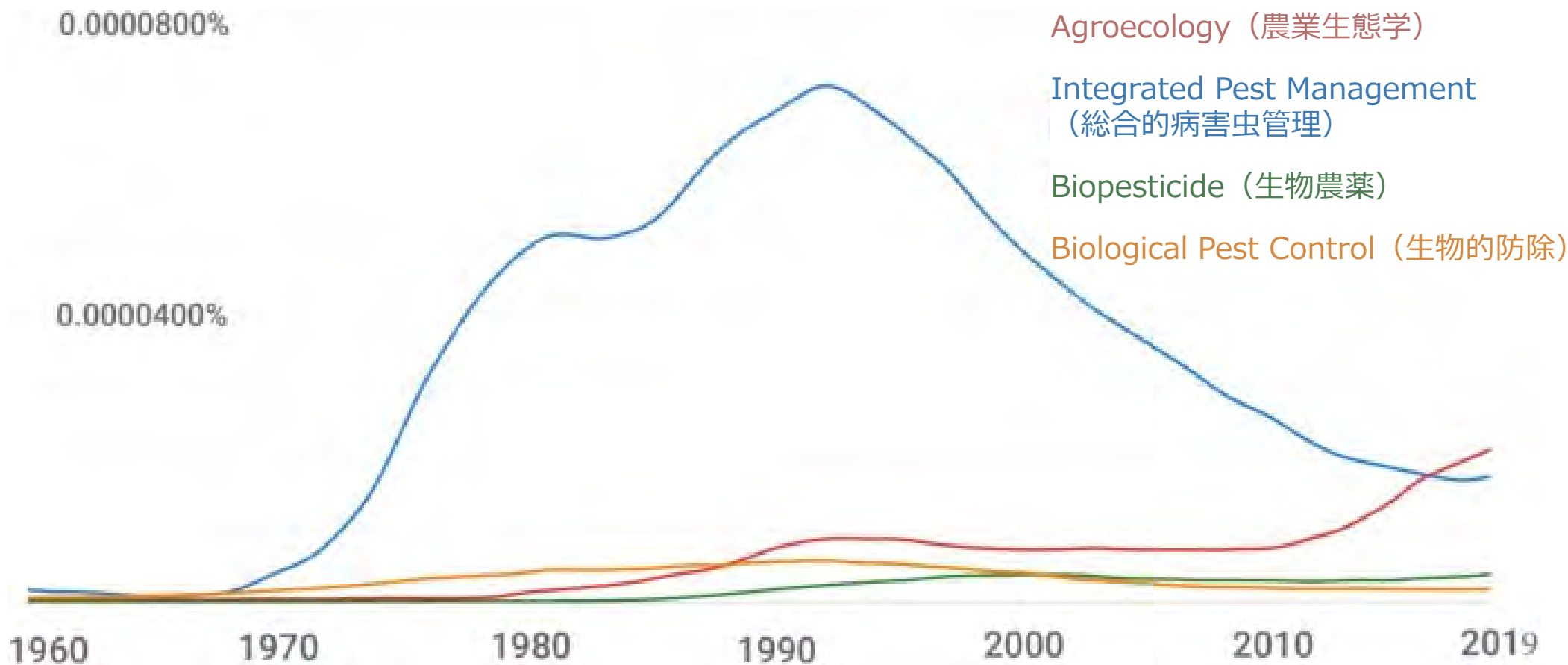
出典:FAO WEBサイト
<https://www.fao.org/agroecology/overview/overview10elements/en/>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

農業生態学的作物保護の概念提案：フランス農業開発研究国際協力センターCIRAD

- CIRADのDeguineらは、IPMの中で生物多様性と土壌の健康の維持改善に焦点を当て、これにより作物保護を目指す農業生態学的作物保護（ACP）の概念を提案。
- 同論文ではGoogle用語出現頻度において、1990年代半ば以降はIPMが減少、2000年代初頭以降はアグロエコロジー（農業生態学）が増加していることから、ACPが拡大し、パラダイムシフトが起こっていると推察。

各用語の出現頻度の推移（Google Books Ngram Viewer）



出典: Deguine JP, et al. Agron.Sustain.Dev. (2021)
出典: シュアリンガーネイチャースイスAG WEBサイト
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-021-00689-w>

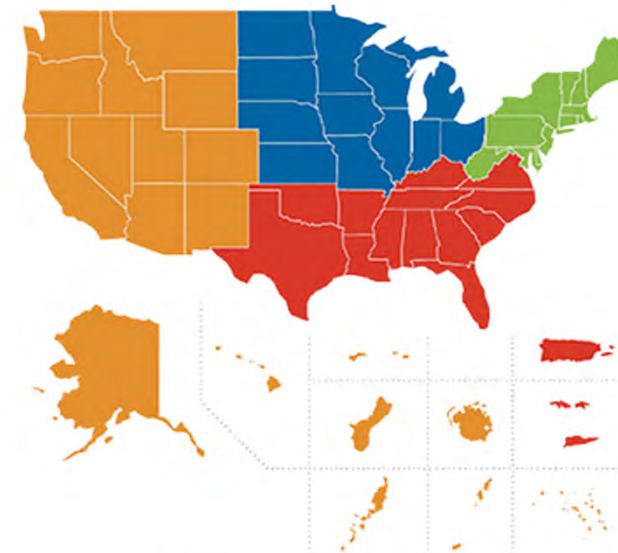
b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

National IPM Database

- 南部IPMセンター（米国）がUSDA-NIFA助成金を受けて全国IPMデータベースを開発、2018年に公開。
- 作物プロフィール（CP: Crop Profile）と害虫管理戦略計画（PMSP: Pest Management Strategic Plan）を作成、検索するためのオンラインプラットフォームを提供。
- 各地域（カナダ、北中部、北東部、南部、米国、西部）における約1,000のCP、PMSP資料を掲載。

National IPM Databaseウェブサイト

4地域のIPM促進センター



- 西部IPMセンター
- 北中部IPMセンター
- 北東部IPMセンター
- 南部IPMセンター

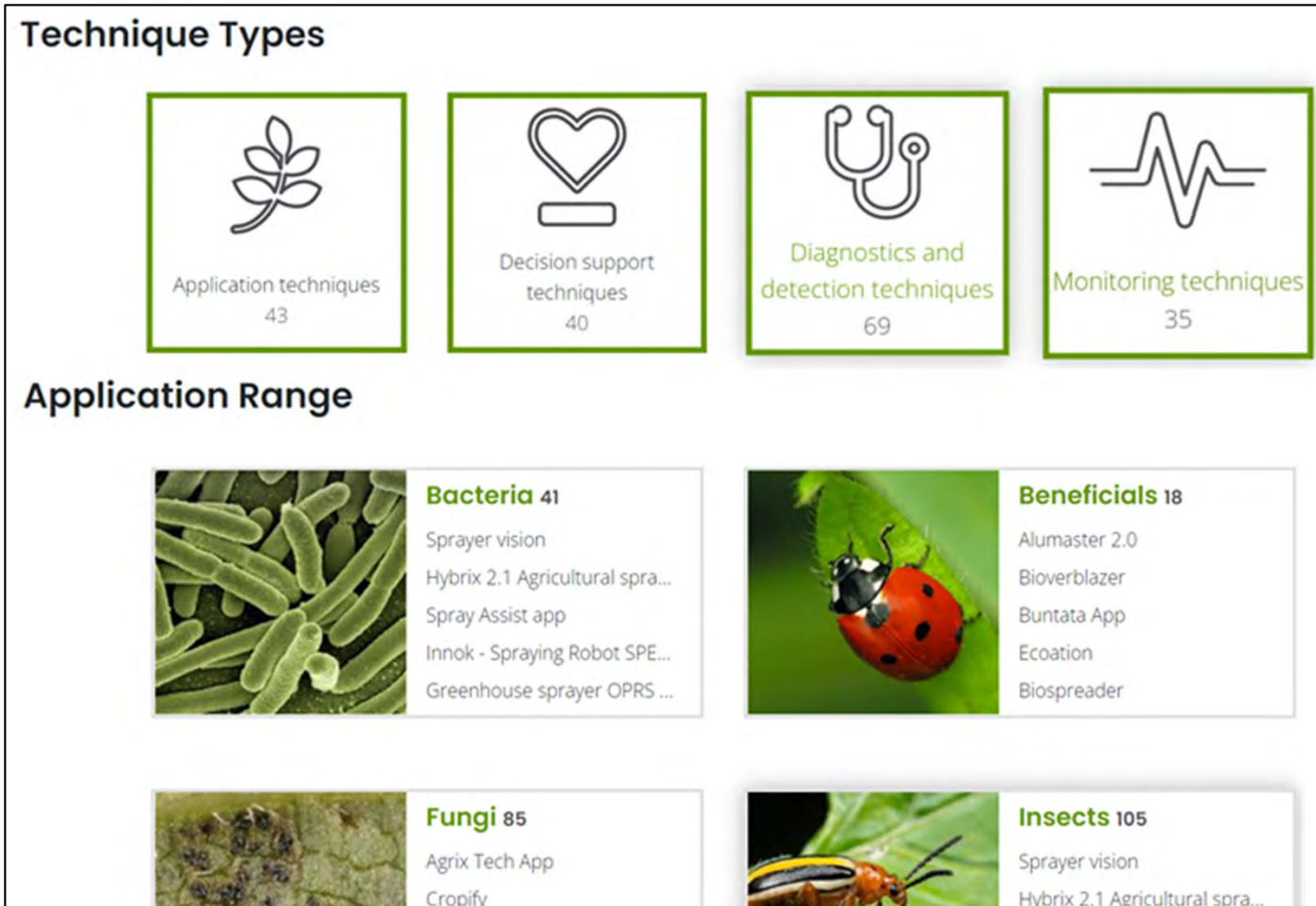
出典: National IPM Database, Southern IPM Center WEBサイト

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

IPMソリューションのプラットフォーム

- SMARTPROTECTプロジェクト (ベルギー) でIPMに関するナレッジを収集、電子共有するプラットフォーム開発。
- EU、National Rural NetworksやEIP-AGRIなどの国や地域のイニシアチブと連携して、オンラインプラットフォームを通じて提供。

SmartProtectウェブサイト



- オープンフィールドと温室生産システム向けのIPM技術とメソッドを見つけることが可能。
- 技術タイプ(アプリケーション技術、意思決定支援技術、診断及び検出技術、モニタリング技術)と、適用範囲からアクセス可能。

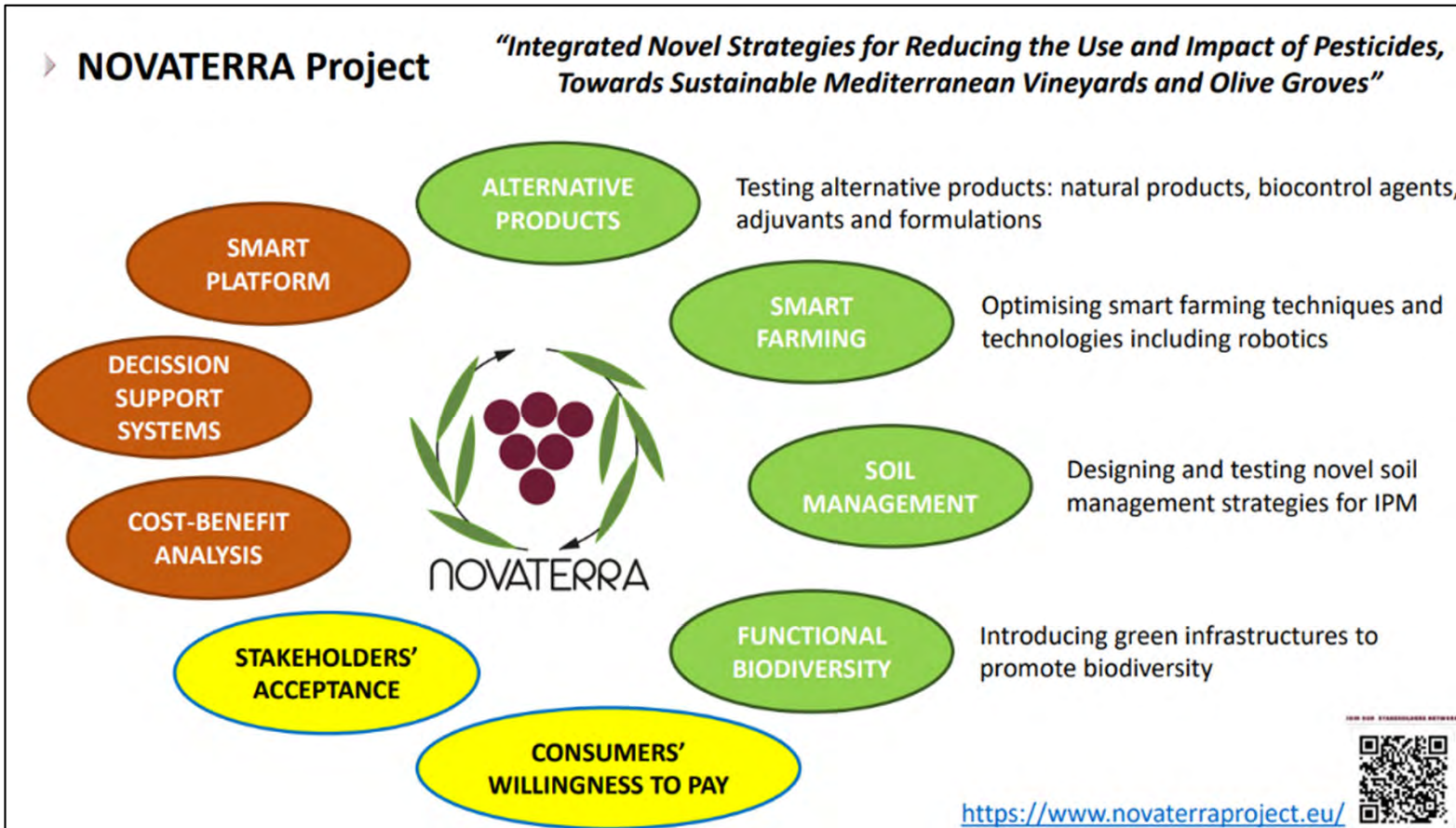
予算規模2百万ユーロ
/ EU負担2百万ユーロ
Horizon 2020
(2020年1月-2023年6月)

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

ブドウとオリーブの持続可能な害虫管理

- NOVATERRAプロジェクト (スペイン) でブドウとオリーブに対するIPMのデータベースを作成。
- 化学農薬削減のための代替技術 (天然由来の抵抗性誘導剤、フェロモン、ロボット、カバークロープ等) の有効性検証の他、農家の受容性についても分析。

NOVATERRAプロジェクト概要



- 分析階層プロセス(AHP)を用いて、4つのケーススタディにおけるブドウ・オリーブ農家で新技術が採用された主な要因を特定し、分類。

予算規模550万ユーロ
 /EU負担490万ユーロ
 Horizon 2020
 (2020年10月-2024年9月)

出典:NOVATERRA WEBサイト
 The NOVATERRA project has received funding from the European Commission's Horizon 2020 grant agreement number 101000554.

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

ミツバチを用いた製剤送達システム

- Bee Vectoring Technologies社 (カナダ) がミツバチを使用してバイオ農薬やバイオスティミュラントを対象作物へ送達するシステムを提供。
- 微量の製剤を直接花に送達するため、従来の散布方法よりも使用量を削減することが可能。

ディスペンサーシステム

天然素材由来Vectorite粉末と有効成分の混合物

- Vectorite粉末はミツバチに付着することで、添加された有効成分を運搬。
- ブルーベリー、イチゴなどの花や果実に生じる真菌病や害虫が標的。
- 従来のスプレー方式では農薬 2 kgと数百リットルの水が必要であるのに対し、BVTシステムでは5 gの農薬のみで水を必要としない。

出典: Bee Vectoring Technologies WEBサイト

<https://www.beevt.com/>

出展: worldfoodinnovations WEBサイト

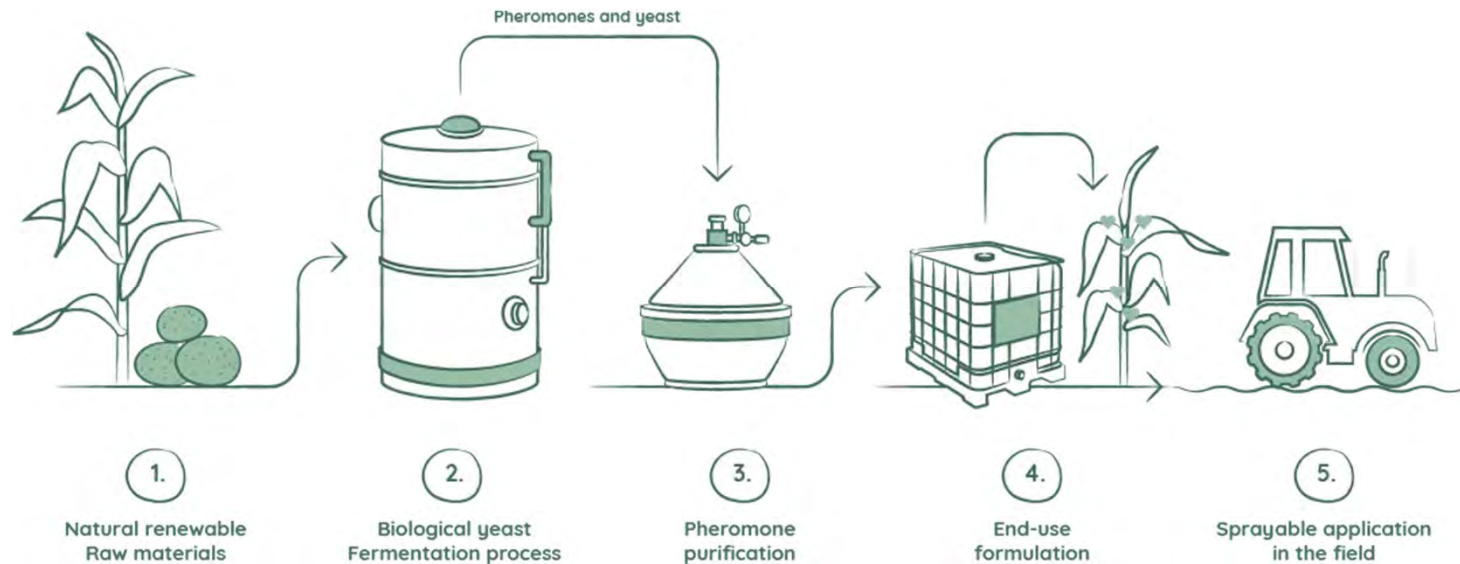
<https://www.worldfoodinnovations.com/innovation/bee>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

発酵技術を用いたフェロモンベース農薬の大量生産

- BioPhero社 (デンマーク) は、フェロモン製剤を低価格で量産化できる発酵技術を開発。

製造プロセス



- フェロモンはこれまで化学合成により生産されてきたが、複雑でコストのかかるプロセスであったため、大規模農場での使用に適さなかった。
- 植物由来のグリセロールから、酵母を用いて発酵生産を行う。フェロモンを精製した後、製剤化。
- オオタバコガ、コナガ、ニカメイチュウ、ツマジロクサヨトウを対象としたフェロモンを提供。

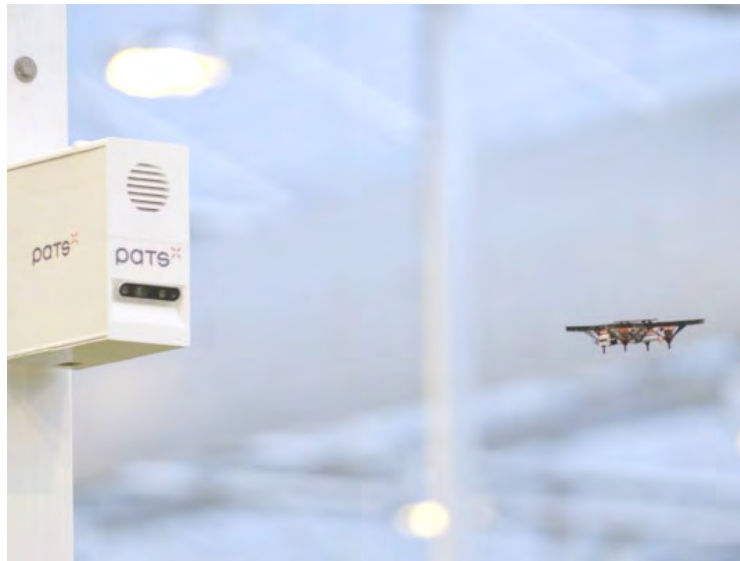
予算規模850万ユーロ
 /EU負担640万ユーロ
 Horizon 2020
 (2020年3月-2023年8月)

出典: BioPhero WEBサイト <https://biophero.com>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例 蛾の監視システムと自律小型ドローンによる駆除

- PATS社（オランダ）は、害虫のリアルタイム監視システムのPATS-Cと、自律小型ドローンPATS-Xからなる駆除システムを開発。
- 温室内で飛んでいる蛾を検知すると、カメラに導かれた小型自律型ドローンを使用して、ローターブレードを使用して蛾を殺す。IPMプロセスの一部を自動化し、農作物被害リスクの軽減に寄与。

監視システムPAT-Cと小型ドローンPATS-X



- IPMのモニタリングや防虫作業にかかるコストを低減。
- 現在対象としている蛾は、
- Tomato looper (*Chrysodeixis chalcites*)
- European pepper moth (*Duponchelia fovealis*)
- Banana moth (*Opogona sacchari*)
- Tomato leafminer (*Tuta absoluta*)

出典:PATS WEBサイト <https://pats-drones.com/>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例 害虫監視ロボットトラップ：PestNu（ギリシャ）

- AIロボットトラップにより、リアルタイムの害虫監視を行う。Copernicusのデータを用いて、土壌及び植物の栄養素と害虫のついた植物をマッピング。すべてのデータは農場管理システムのクラウドに相互接続。

オープンフィールド及びアクアポニックスの実証実験



- 殺虫剤と肥料の使用と栄養素の損失を減らすために、デジタル及び宇宙ベースの技術 (DST)を用いて、オープンフィールドとアクアポニックスの2種類の実証実験を実施
- リアルタイムでの害虫監視のための AIロボットトラップ及び農薬の監視と3Dスポット散布用の自律移動ロボットを活用
- コペルニクスを使用し、土壌/植物の栄養素と害虫植物の入力をマッピングするための Agroradar AIアルゴリズムを使用

予算規模740万ユーロ
／EU負担600万ユーロ
Horizon 2020
(2021年10月-2024年9月)

出典:PestNu WEBサイト <https://pestnu.eu/mission/>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

保全的生物的防除で用いるSecondary plants※ ※主要作物と一緒に栽培する植物

- 保全的生物的防除には、天敵の働きを妨げる要因の除去（保護）と、天敵の働きを高めること（強化）が必要。
- インセクタリープランツは天敵の成虫の寿命を延ばす効果、バンカー植物は、植物上で天敵の個体群を維持する役割を果たす効果を所有。これらに厳密な区別はなく、まとめて天敵温存植物と呼ぶことが多い。

保全的生物的防除の分類と主な効果

	作物	害虫				天敵		
	栄養・化学的防御	撃退	捕獲	早期発見	作物から誘引	誘引	成虫への給餌	個体群の維持
コンパニオンプランツ (companion plant)	○	△	△			△		
忌避植物 (repellent plant)	○							
障壁植物 (barrier plant)			○					
指標植物 (indicator plant)			△	○				
おとり植物 (trap plant)			△	△	○		△	
インセクタリープランツ (insectary plant)						△	○	
バンカー植物 (banker plant)						△	△	○

天敵温存植物

○	主機能
△	副次的

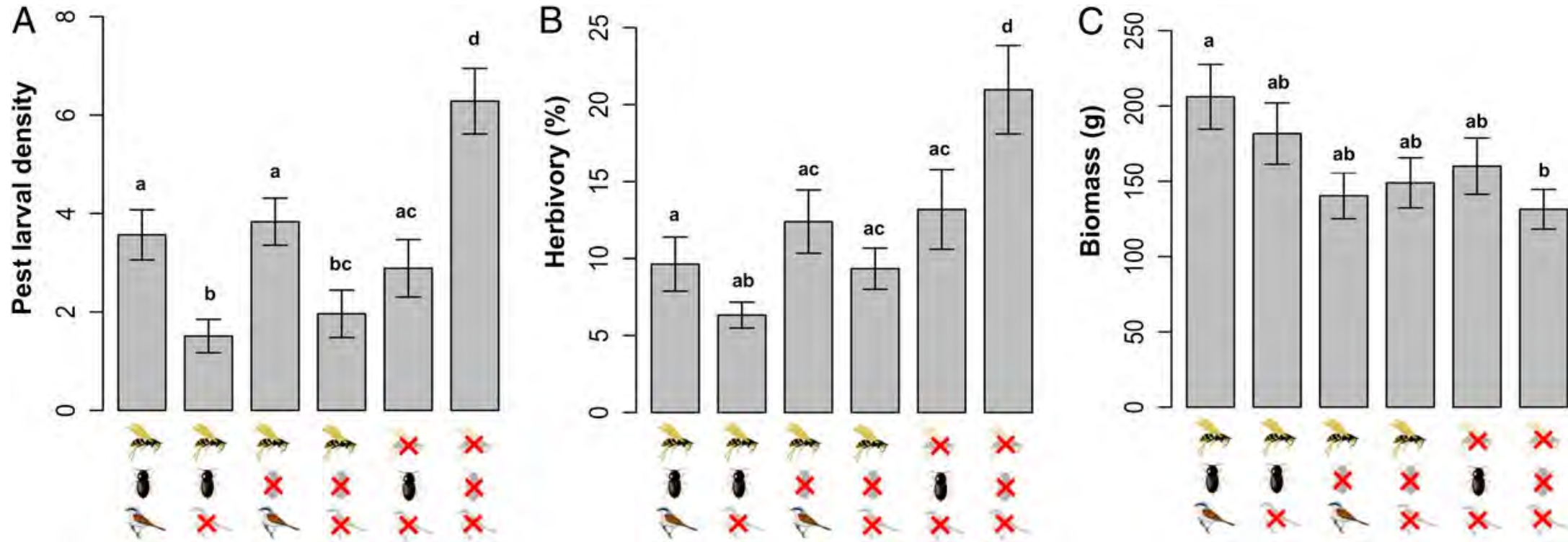
b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

天敵の多様性と害虫防除効果

- 保全的生物的防除には、天敵の働きを妨げる要因の除去（保護）と天敵の働きを高めること（強化）が必要。
- ヴェルツブルク大学（ドイツ）のMartinらは、野外実験において、3つの天敵（鳥、飛翔昆虫、地上節足動物）を排除し、天敵間の生物学的害虫防除に対する相互作用を検証。
- 生物多様性が高いほど、害虫防除効果が高いことを示した。生態系バランスの維持が、農業生産の持続可能性を高めるために重要であることを示唆。

天敵排除による防除効果の影響

(A)害虫幼虫密度、(B)植物の被食率(%）、(C)植物のバイオマス(g)



出典:Martin et al. PNAS (2013)
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1215725110>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

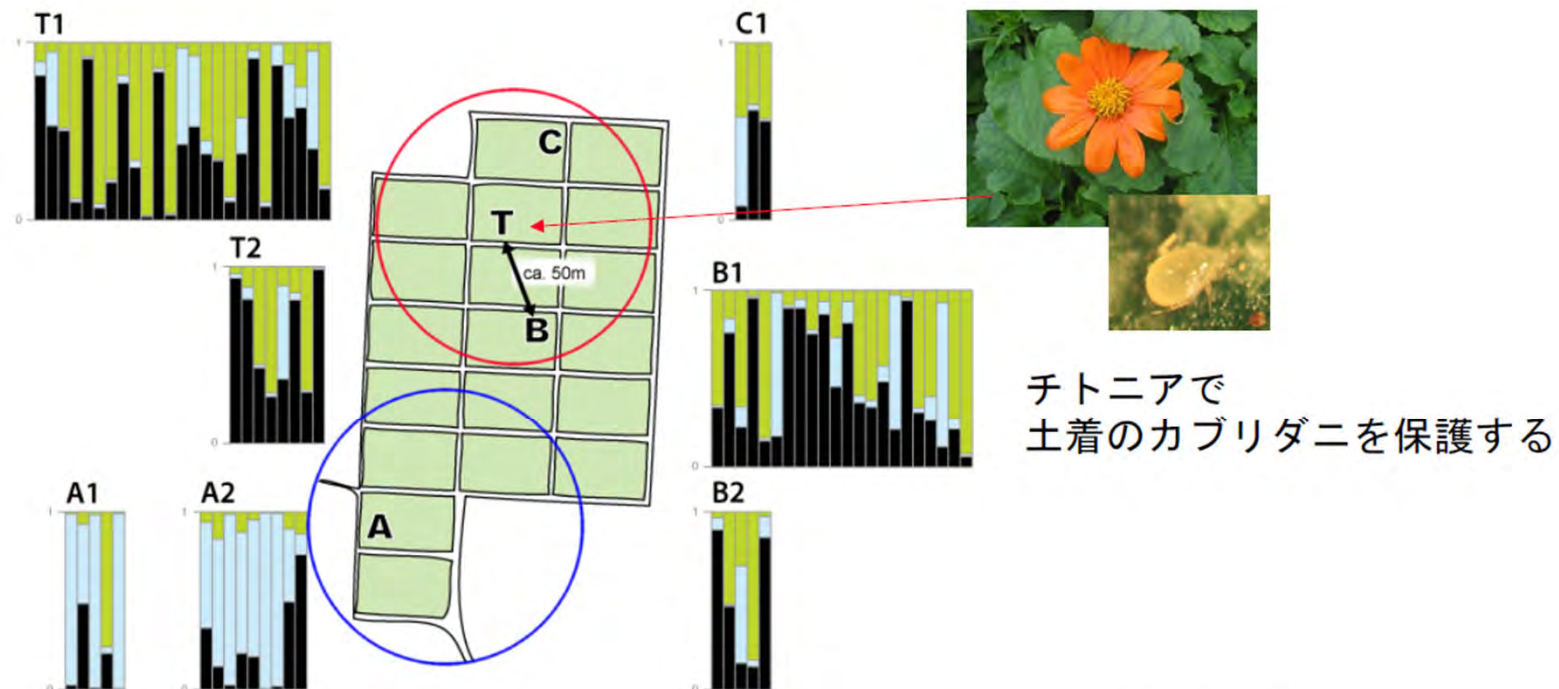
DNAマーカーによる天敵の移動分散評価

- 京都大学の日本典秀教授は、圃場内の効率的な天敵温存植物の密度を決定するため、チャ園でのケナガカブリダニ 個体群構造を評価。
- 半径約50m内のケナガカブリダニの遺伝子構成は似ていたが、約100m離れた場所のケナガカブリダニの遺伝子構成は似ていなかったことから、植生管理は半径50m程度の範囲を単位に考えると、効率よく土着カブリダニを保全することが可能になると期待。

天敵の移動分散評価の例

チャ園では100m程度の範囲でケナガカブリダニが土着する

モニタリング・保護の単位は100m Management Units

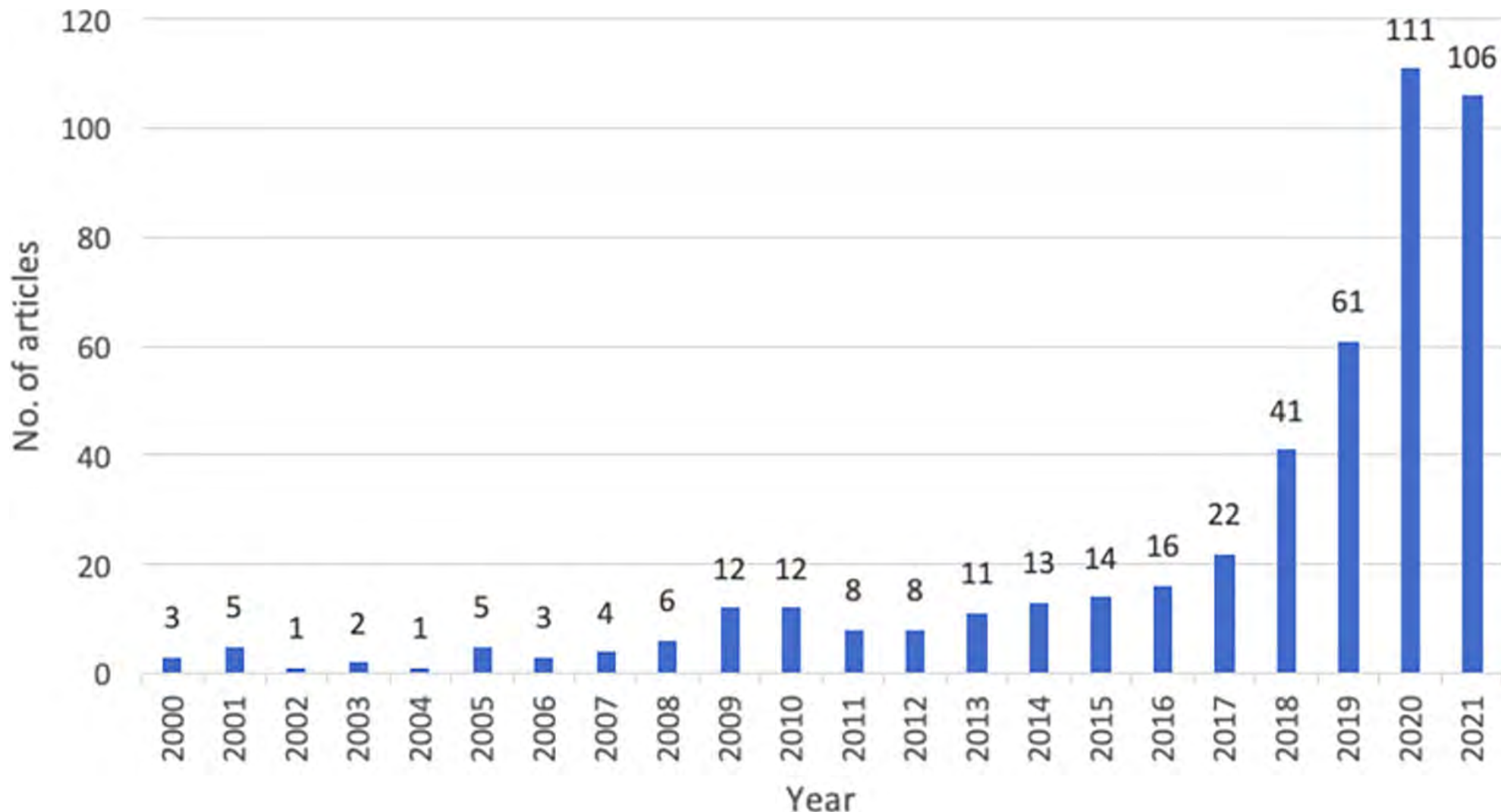


b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（1）技術概要

農業におけるAI活用に関する研究開発は、近年急速に拡大

- 持続可能な農業を可能にする上でのAIの役割の分野で発表された学術研究の数は、2018年から大幅に増加。
- 論文の約54.8%が中国であり、次いで米国、インド、イラン、フランス。日本は20位以内でない。

持続可能な農業におけるAIの使用に関する論文数（2000年-2021年）

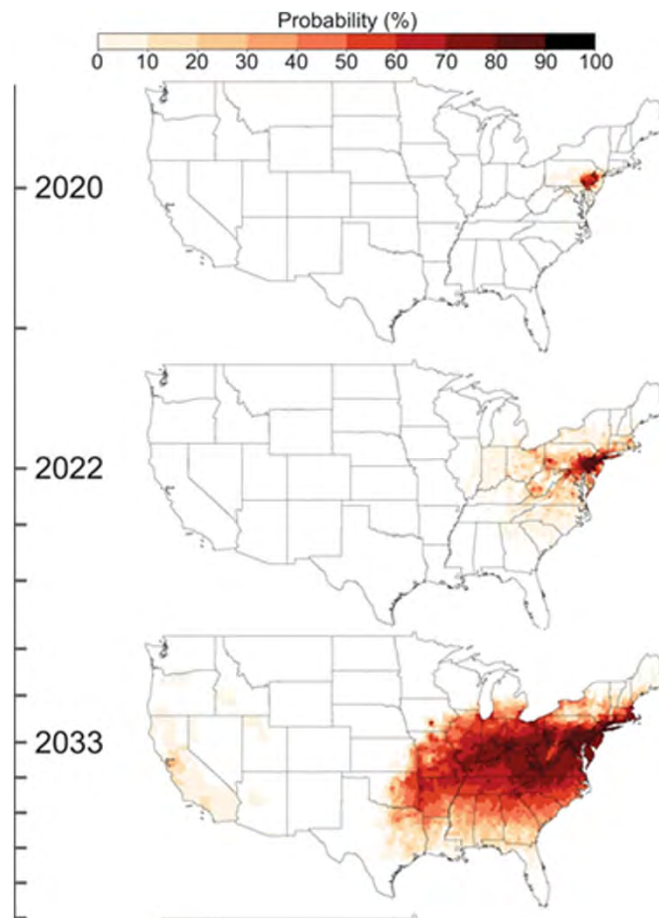
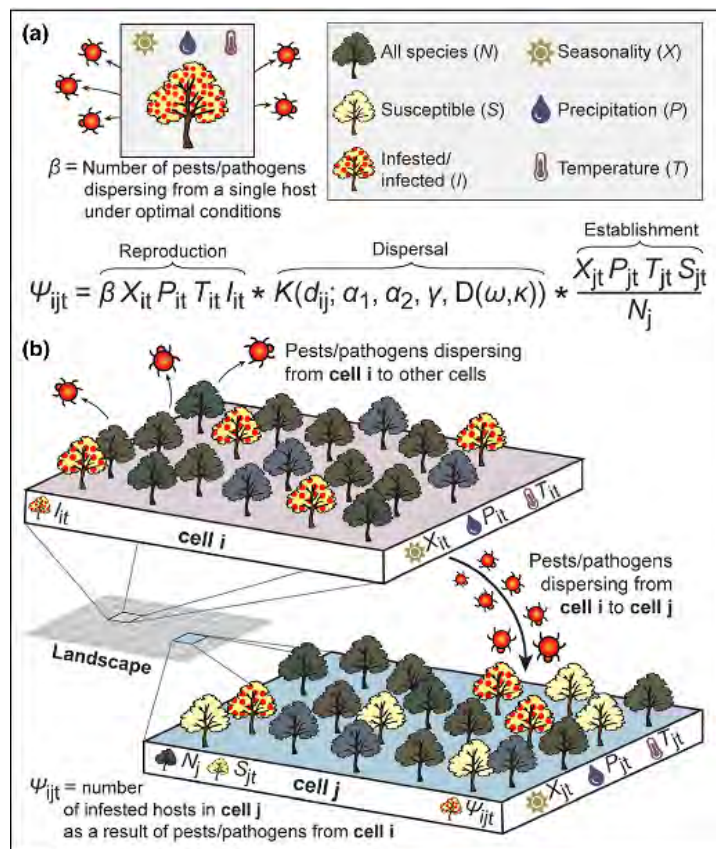


出典: Bhagat PR, et al., PLoS ONE (2022)
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0268989>

b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（2）事例 オープンビッグデータや機械学習を活用した害虫拡散予測

- ノースカロライナ州立大学（米国）は、米国USDAと共同で、害虫や病原体の蔓延を予測するシステムPoPSを開発。ユーザーフレンドリーなインターフェースとあらゆる種に使用できる柔軟な拡散モデルを提供。

Spotted lanternflyのモデル構造及び 予防管理しない場合の時間経過に伴う拡散確率



- プロジェクト内容は以下の4点
 1. 果物やナッツ類に対する主要な害虫の脅威を特定
 2. 宿主種のマップとモデル予測の反復開発及び検証
 3. ユーザーフレンドリーな予測プラットフォーム及び意思決定支援ツールPoPSの共同開発
 4. 予測とシミュレーションを作物保護のための実用的な予察に変換するアラートシステムの追加

AFRI競合助成金65万ドル
(2022年1月-2027年1月)

出典: Jones C, et al., Commun Biol. (2022) 改変
<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.2357>
 出典: PoPS WEBサイト <https://popsmoel.org/>
 出典: nature briefing WEBサイト
<https://eecoecocommunity.nature.com/posts/forecasting-the-arrival-of-an-insect-pest>

b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（2）事例

5G・AIを活用したリアルタイムでの害虫検出

- ファーウェイ社（中国）は農業用ドローンの活用に向けた取組を進めており、2021年からDronetech社（オーストリア）と協業。これまでも5Gを活用してデータ伝送して画像解析などを実施。
- 2022年からはファーウェイ社が5Gを活用したクラウドサービスを提供し、クラウドサービス上にAIを搭載することで、リアルタイムの分析を実現。

5G スマート ファーミング



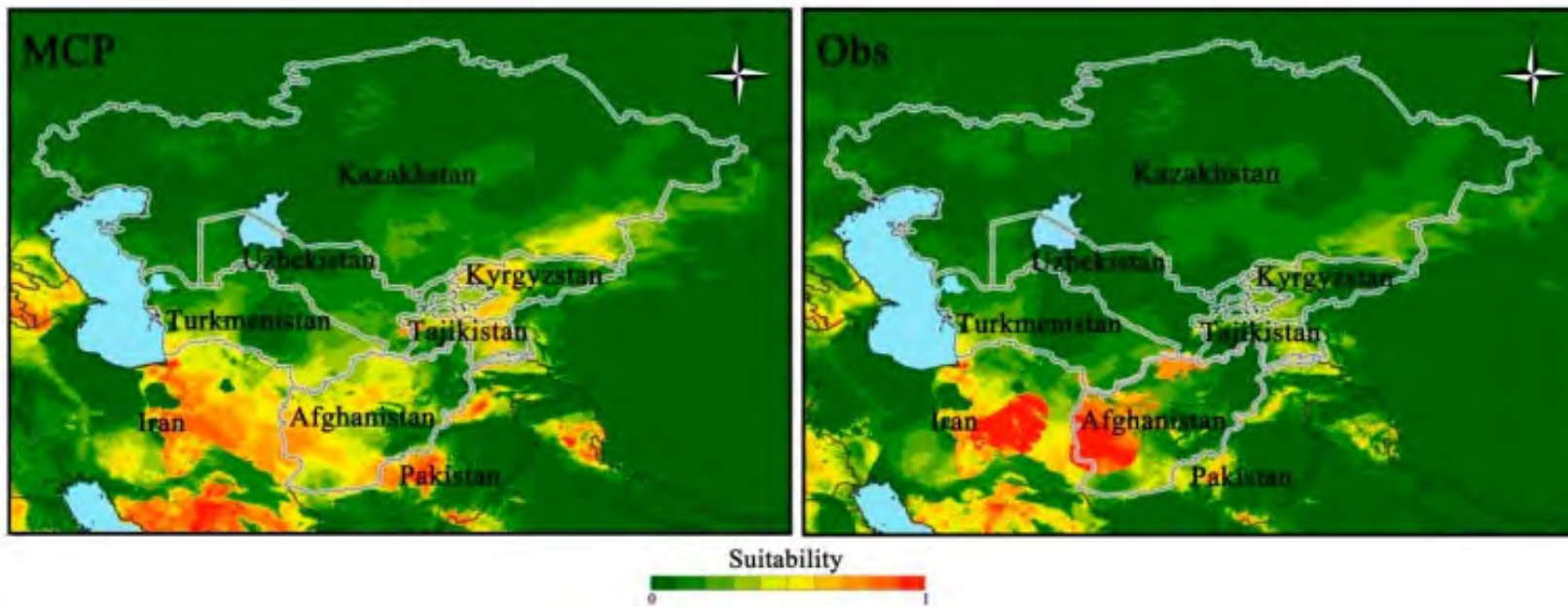
- 農場における小さな昆虫の検出、作物の状態の監視、等を行うことにより、水、化学薬品、殺虫剤の使用を正確に最適化。
- ドローンのシェアリングにも取り組み、農業分野だけではなく、様々な分野のユーザーが、ソーラーパネルの検査、交通管理、電力線の摩耗検出など、幅広い用途にドローンとそのAIソリューションを活用できるサービスを構築。

出典：ファーウェイ ニュースリリース
<https://www.huawei.com/en/news/2022/10/5g-smart-farming-austria-dronetech>
出典：日経BP WEBサイト <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/13933/>

b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（2）事例 フロリダ州とカリブ海の潜在的な侵入性害虫予測

- フロリダ州立大学（米国）は、機械学習等を用いて害虫の経路、拡大の特定や、気候変動予測から害虫の分布予測を実証中。本プロジェクトの目標は、栽培者、産業、消費者を支援するために、特殊作物の重要性を持つ潜在的な侵襲性害虫昆虫に関するWebサイトを開発。

（先行研究） 2つの予測モデルを用いた 中央アジアのツマジロクサヨトウの潜在的分布予測



- ブドウ、オリーブ、クリ、ブルーベリー、トマト、ピーマン、キャベツ、マンゴー、アボカド、イチゴなどが対象。
- 鞘翅目、半翅目、鱗翅目、双翅目の15の潜在的な侵入性害虫について、トラップ、自動真空吸引機などを用いて監視。

USDA-NIFA助成金50万ドル
(2022年5月-2025年5月)

出典: Baloch MN, et al., Insects.(2020)

出典: IMDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/3/172>

b. 化学農薬使用量の低減 3. 農薬に頼らない防除技術（光や音、振動など）

イチゴのUV-C/暗所処理ロボットを用いた真菌病及び病害虫防除

- TRIC Robotics社（米国）は、USDA農業研究センターと共同で、深紫外線（UV-C）ライトを搭載した自律型フィールドロボットを用いてイチゴ畑における真菌病及び病害虫防除の実証を実施。
- 1台のロボットで約2haをカバーし、年間約15,000ドル/haの費用がかかると予想。
- 一方、慣行の農薬では年間約6,200ドル/haといわれ、現状ではUV処理の方が高コストであるが、有機栽培の高付加価値化と収量増による収益増加の可能性。

オウトウショウジョウバエに対する UV-C照射の効果検証（先行研究）

ラボスケールでオウトウショウジョウバエ（SWD）出現20日後のイチゴ果実に対して24時間照射した結果、有意な殺虫効果。

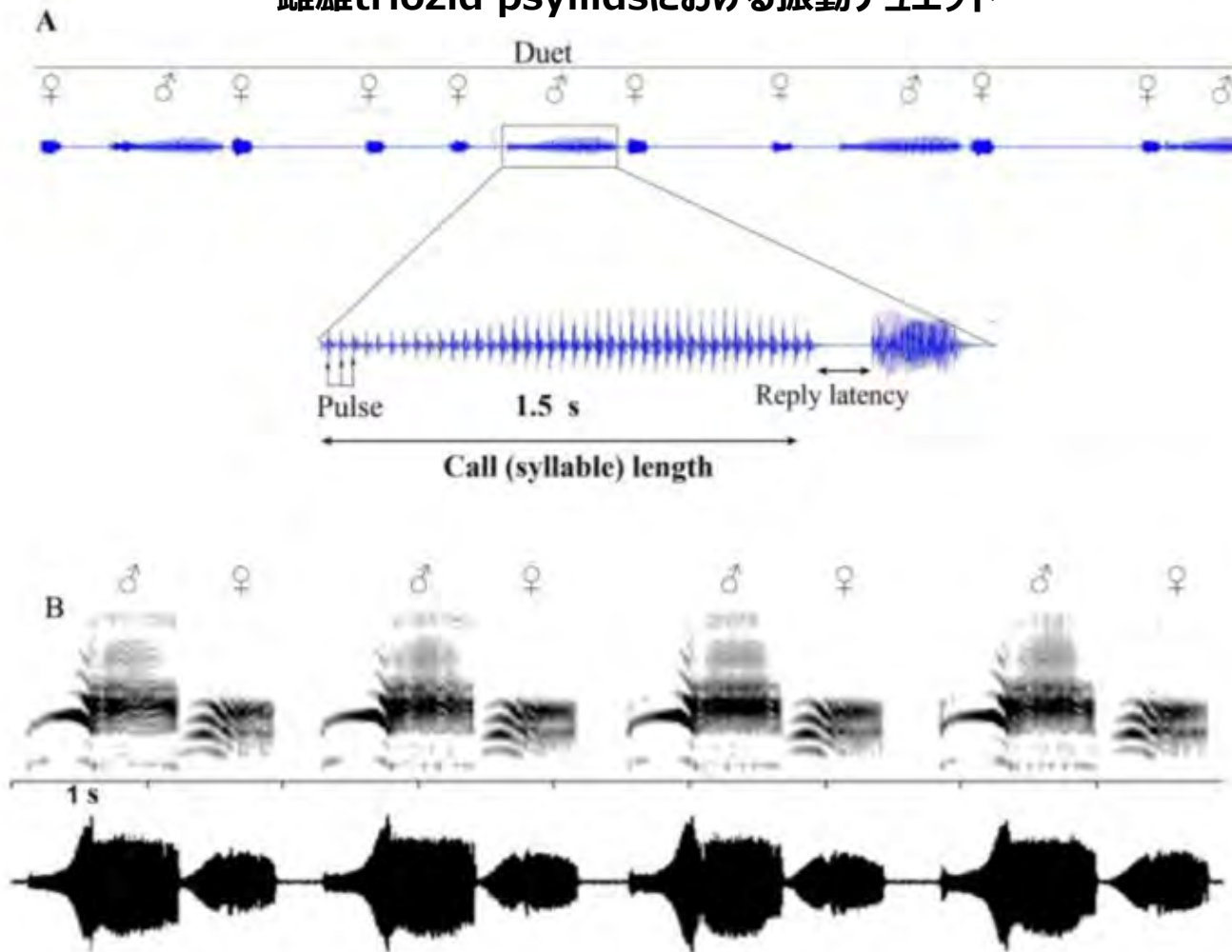
出典:Takeda F, et al., Acta Horticulturae (2021)
出典:TRICロボティクス WEBサイト <https://www.tricrobotics.com/>

b. 化学農薬使用量の低減 3. 農薬に頼らない防除技術（光や音、振動など）

振動コミュニケーションを利用した交配妨害と害虫管理：ワシントン州立大学（米国）

- 振動信号によって、ナシの害虫であるキジラミ(*Cacopsylla pyricola*)の交配を妨害する技術に関する研究。
- 音節の長さ、パルス数、応答待ち時間などの信号特性は、種や性別認識に利用。
- 多くの昆虫が振動によるコミュニケーションをとっているため、他の害虫にも効果が期待。

雌雄triozid psyllidsにおける振動デュエット



- プロジェクト内容は以下の3点
 1. 実験室条件下での振動再生方法を用いて、さまざまな温度での交配妨害シグナルの有効性を検証。
 2. 温室で再生実験を行い、音響を使った交配妨害の有効性を小規模で評価。
 3. 商業果樹園条件下での破壊試験を実施し、キジラミ個体群への影響を大規模に評価。

AFRI競合的助成金18万ドル
(2021年6月-2024年6月)

出典:Lubanga UK, et al., A Synthesis. Insects.(2014)
出典:PMC WEBサイト
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4592587/>