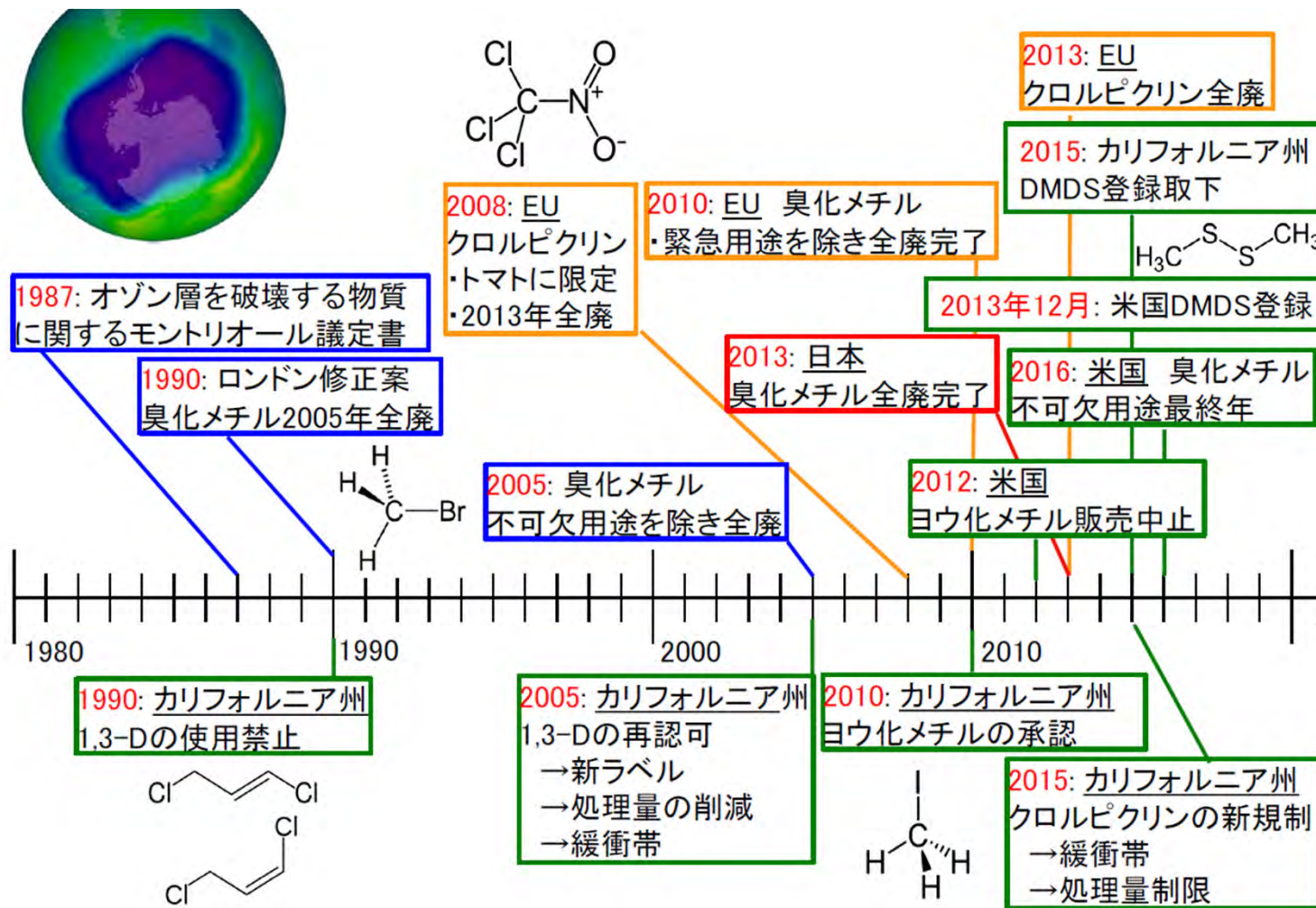


b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

土壌くん蒸剤の規制概要

- 臭化メチルはオゾン層破壊の問題から、先進国では2005年、途上国では2015年に不可欠用途を除き全廃。
- 新規代替くん蒸剤は、これまでもいくつか開発されているが、毒性や臭い等の問題があり、数年で販売中止。この状況を打破するために化学的手法によらない土壌消毒技術が求められている。

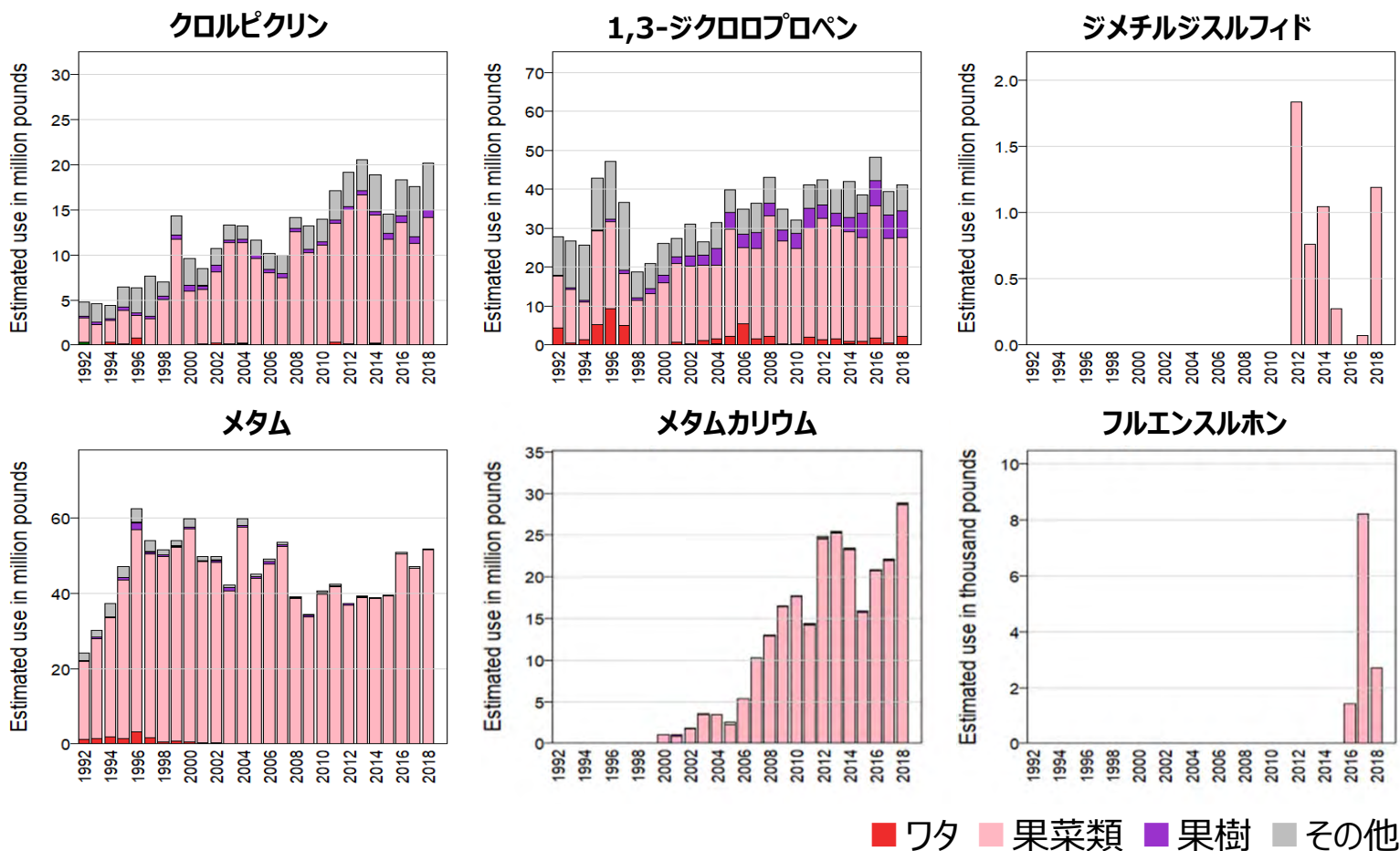


出典:農研機構 小原氏 ヒアリング資料

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要
米国の土壌くん蒸剤利用は2018年時点で6.5万トンに達すると推定

● 米国における土壌くん蒸剤の1992年-2018年の利用動向は以下の通り。

**1992-2018年の米国における
作物別推定使用量の動向（低い推定値）**



**米国における化合物別
推定使用量（低い推定値）**

化合物	2018年 推定使用量 (トン)
クロルピクリン	9,154
1,3-ジクロロプロペン	18,671
メタム	23,444
メタムカリウム	13,092
ジメチルジスルフィド	539
フルエンズルホン	1.2

出典: Pesticide National Synthesis Project WEBサイト
https://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/usage/maps/compound_listing.php

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

中国では臭化メチルの段階的廃止に伴い、土壌くん蒸剤の研究開発が急速に発展

- 臭化メチルは、先進国では2005年に廃止、発展途上国では2015年に段階的に廃止。
- 中国では、2008年に農業産業に段階的廃止を開始。この代替品の台頭に伴い、土壌くん蒸剤に関する研究開発は急速に発展。
- 土壌くん蒸面積は急速に増加しており、2022年には、中国の野菜の作付面積2,000万haの約1%である20万haにおいて土壌くん蒸剤を利用。

作物別土壌くん蒸面積予測結果 (ha)

作物	2007	2012	2017	2022
イチゴ	5,752	15,037	58,955	71,157
温室作物	3,274	13,386	39,438	112,804
タバコ苗床	360	360	180	180
ニンジン	112	560	840	1,120
ショウガ	1,200	4,800	8,640	12,480
合計	10,698	34,143	108,053	197,741
中国の野菜の作付面積 (千ha)	17,557	18,497	19,981	21,485*
土壌くん蒸面積割合	0.06%	0.18%	0.54%	0.92%*

* 2020年の中国の野菜の作付面積の数値を使用

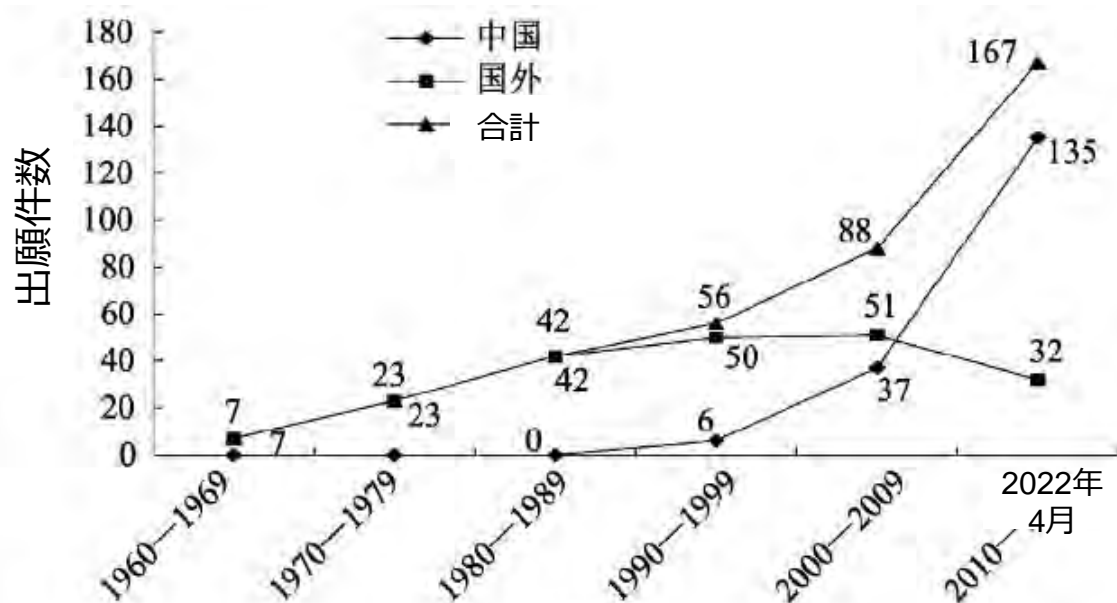
出典:中国統計年鑑2021及びWebサイトを基にNTTデータ経営研究所作成
<https://wenku.baidu.com/view/b4ab752619e8b8f67c1cb9fe?aggId=b4ab752619e8b8f67c1cb9fe&fr=catalogMain>

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

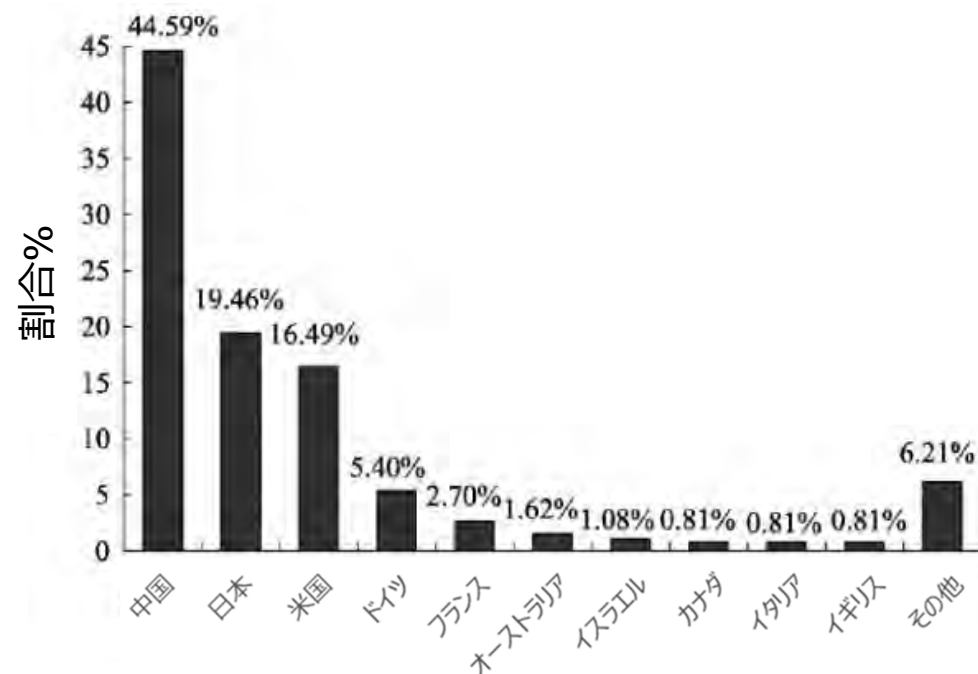
中国では臭化メチルの段階的廃止に伴い、土壌くん蒸剤の研究開発が急速に発展

- 中国における土壌くん蒸剤の特許出願数は、1990年代から急速に増加し、2010年から2022年4月までで135件。
- 国別の特許出願数では、中国が約44.6%を占め1位であり、次いで日本、米国、ドイツ、フランス、オーストラリア、イスラエル、カナダ、イタリア、イギリス。
- 中国国内外の出願は、既存くん蒸剤の配合、剤形変化などの研究に集中し、新しいくん蒸剤の開発は少ない。

土壌くん蒸剤の特許出願数の推移と、国別の出願割合 (1960-2022)



中国国内外の土壌くん蒸剤特許出願数



土壌くん蒸剤の特許出願人国籍の割合

出典: 陈翠翠, et al. 现代农药 (2022) 和訳・改変
<http://www.jsppa.com.cn/news/yanfa/7580.html>

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

土壌くん蒸における国内外の利用動向

- 日本では農家自身が土壌くん蒸を実施可能である一方、米国ではライセンスをもつ業者のみが実施。

国・地域	利用動向
日本	<ul style="list-style-type: none"> ● 農家自身が実施。くん蒸剤、処理方法に関する知識の程度は不明 ● 緩衝帯（バッファゾーン）の規制なし
米国	<ul style="list-style-type: none"> ● ライセンスを取得した土壌くん蒸請負業者のみ実施可 ● 農家（研究機関・研究者含む）自身は実施不可 ● 違反者に対する罰則は厳しい ● 緩衝帯の義務付け（通常：300feet=90.9m、ダゾメット：500feet=151.5m） ※緩衝帯の緩和措置有 ● カリフォルニアでは、D-DをCAP制により総量規制 20,936kg/93.2km² (90,250pound/36mil²)township
欧州	<ul style="list-style-type: none"> ● 2012年12月31日クロルピクリン全廃（代替技術がない場合は作物、生産者、地域等を限定して使用） ● 他の土壌くん蒸剤についても全廃
中国	<ul style="list-style-type: none"> ● クロルピクリン：請負業者のみに許可されていたが、2022年使用禁止 ● D-D：登録無
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ● クロルピクリン、D-Dともに登録無（使用禁止）
台湾	<ul style="list-style-type: none"> ● ダゾメットのみ登録有

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

BEST 4 SOILプロジェクト (オランダ)

- 土壌媒介性病害防除のための4つのベストプラクティス (堆肥/有機改変、緑肥/被覆作物、嫌気性土壌消毒 (ASD)、バイオソラリゼーション) に関する情報をオープンアクセスデータベース (Youtube、データベース、ファクトシート) で公開。
- 全ての情報は欧州22か国の公用語で利用可能。

Best4Soil データベース
(<https://www.best4soil.eu/database>)

Country: United Kingdom

Soil Type: clay soil

Description: Description name

CREATE SCHEME

多数の線虫及び土壌媒介病原体について、宿主状態や感受性に関する情報を提供。

様々な作物栽培の最適な順序を決定するための支援ツール。

Crops (de)select all minimize all

- ⊕ Crop selection 10
- ⊕ Field crops 0/20
- ⊖ Vegetables 10/29
 - (de)select all
 - Asparagus
 - Basil
 - Beans
 - Black calif...

Nematodes (de)select all minimize all

- ⊖ Cyst nematodes 9/9
 - (de)select all
 - Globodera rostochiensis / G. pallida
 - Heterodera avenae
 - Heterodera betae
 - Heterodera carotae
 - Heterodera cruciferae
 - Heterodera glycines
 - Heterodera goettingiana

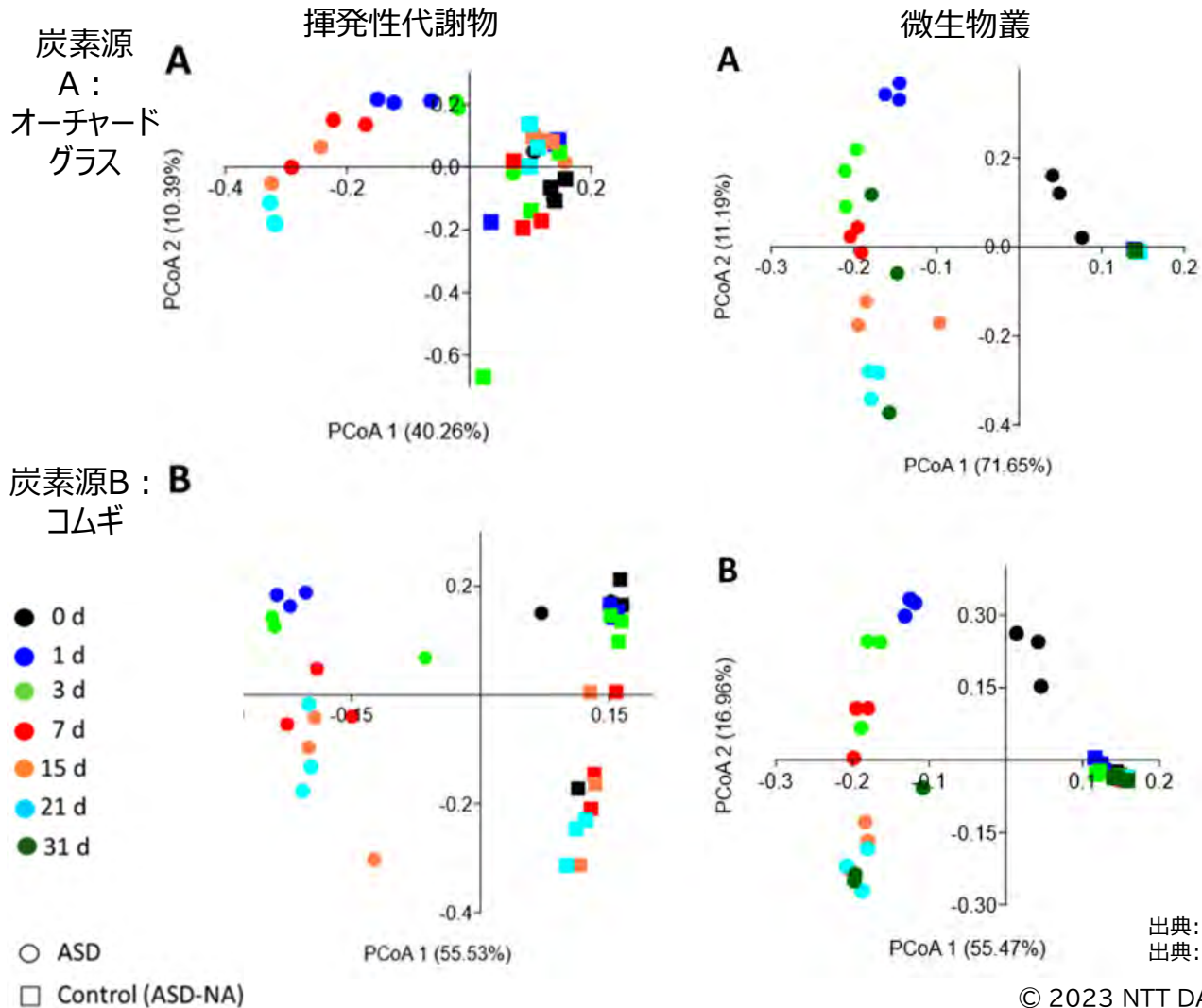
予算規模200万ユーロ
/EU負担200万ユーロ
Horizon 2020
(2018年8月-2022年3月)

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

イチゴ生産における病害管理のための嫌気性土壌消毒、輪作、品種の統合：UCSC (米国)

- 嫌気性土壌消毒 (ASD) は、オーチャードグラス、コムギ、米ぬか等の有機物を土壌に混入・冠水後、フィルムで覆い密閉する手法。酸素が急激に消費されて植物病原菌が消毒される安全性の高い手法として注目。
- UCSCを中心に、アブラナ科植物の土壌還元や輪作が行われ、地域農家に普及させるプロジェクトを実施。

嫌気性土壌消毒 (ASD) の炭素源が
土壌メタボローム及び微生物叢に及ぼす影響



- 異なる炭素源を土壌に混和、灌水後、酸素不透過性フィルムで覆い、21日間インキュベート、その後10日間の好気条件への回復。
- ASDにより揮発性代謝物プロファイル、微生物叢が経時的変化。

USDA-NIFA助成金
2,513,000ドル
(2017年8月-2023年8月)

出典:Hewavitharana SS, et al., Microorganisms (2021)改変
出典:MDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/8/1638/htm>

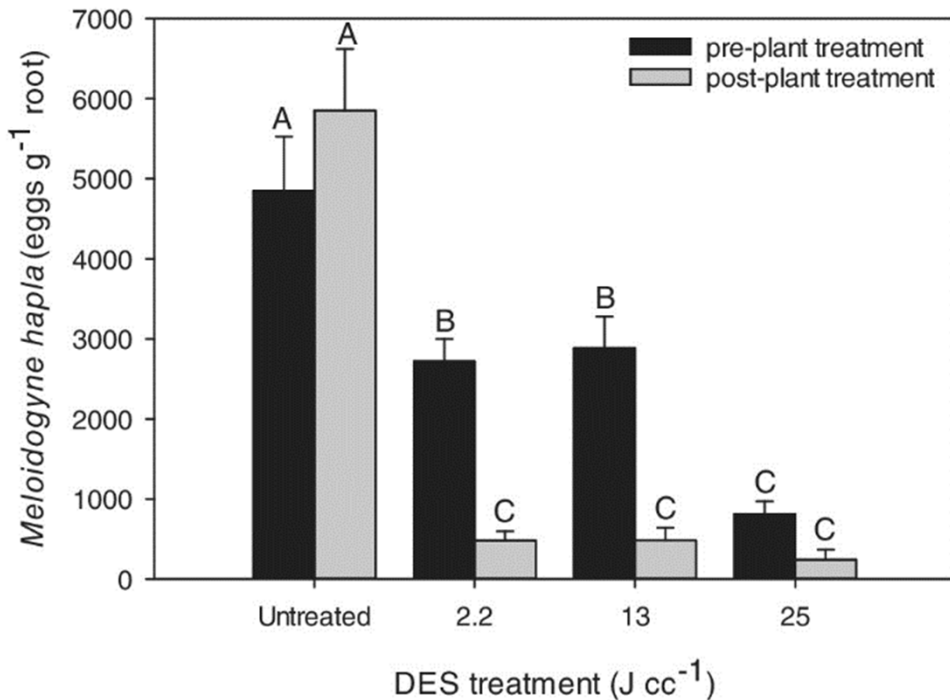
b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

パルス電界とオーム加熱を用いた害虫駆除：オレゴン州立大学 (米国)

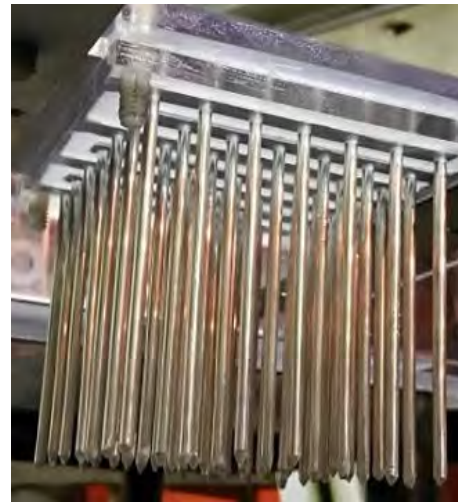
- 苗木の苗床における、パルス電界及びオーム加熱を使用した土壌燻蒸の代替アプローチを検証。
- 線虫、真菌及び雑草を防除するためにパルス電界及びオーム加熱の有効性を比較し、土壌深度の影響や、作物の品質、経済性等を評価。

植物寄生性線虫に対する電気パルスの効果検証

トマトの植え付け前または後に指向性エネルギーシステム (DES) 処理した結果、*M. hapla* (キタネコブセンチュウ) 卵密度が有意に減少した。



DESの電極ピン



- パルス電界及びオーム加熱は、いずれも広範囲の害虫に対する有効性を実証済み。
- これらのツールの有効性を向上させるために、実際の耕作地において実証実験中。

USDA-NIFA助成金

44.2万ドル

(2022年9月-2025年8月)

出典:Riga E, et al. Pest Manag Sci.(2020)

出典:John Wiley & Sons, Inc.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.5745>

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒方法の開発：農研機構

- 低濃度エタノールによる土壌病害虫の発生抑制は、土壌中の酸素濃度の低下によって生育環境が大きく変化することによるもので、エタノールの直接の殺菌効果によるものではない。
- 本法で用いるエタノールは、農薬取締法上の農薬には該当しないと判断されており、「土壌還元消毒用資材」として扱われる。

土壌病害虫防除方法の効果と資材費用の比較

防除方法	ウイルス	細菌	糸状菌	線虫	土壌害虫	雑草	使用量 /10a	資材費用 /10a
低濃度エタノール	—	○	○	○	○	○	1kL	60,000 円 *2
太陽熱消毒	×	○	○	○	○	△	—	—
熱水・蒸気消毒	△~×	○	○	○	○	○~△	150kL(蒸気)	80,000 円(灯油)
抵抗性品種(台木)*1	(○)	(○)	(○)	(○)	×	×	—	—
対抗植物	×	×	×	△	×	×	—	—
ダゾメット剤	×	○	○	○	○	○	30kg	30,000 円
カーバム Na 剤	×	○	○	○	○	○	40 ~ 60L	21,000 ~ 31,500 円
D-D 剤	×	×	×	○	○	×	30L	10,000 円
クオルピクリン剤	×	○	○	○	○	△	30L	30,000 円
臭化メチル	○	○	○	○	○	○	30L	65,000 円

○：効果がある、△：やや効果がある、×：効果なし

*1 一部作物(品種)に限られる。また、全てに有効でない。

*2 原料アルコールの輸入価格(平成18年通関統計実績)、副生アルコールの利用によって資材費用の削減が可能

出典:農研機構 小原氏ヒアリング資料

農環研ニュース(2008)

<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/publish/niaesnews/079/news07903.pdf>

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

ガスバリアー性フィルムによる土壌くん蒸効率の改善：農研機構

- 徳島県里浦地区の特に水捌けの悪い低地で立枯病が発生。
- ガスバリアー性フィルムの使用により、土壌くん蒸剤の漏洩を防ぎ、慣行の農業用ポリエチレンフィルムに比べて病害・収穫量ともに大幅な改善。
- 土壌くん蒸剤、フィルム、消毒機及び施用方法の改善により、施用量の低減化に期待。

慣行フィルムとガスバリアー性フィルム被覆によるクロールピクリン処理の効果比較

	農ポリ (P E) 0.03mm厚使用区	ガスバリアー性フィルム 0.02mm厚使用区
		
10a当り収量(kg)	1400	2466
秀品率 (%)	10.6	74.6
病害発生率 (%)	80.9	1.4
10a当たりの概算収入	1,400kgX300円=420,000円	2,466kgX300円=739,800円

※両区画共に、クロールピクリン30L/10aを使用

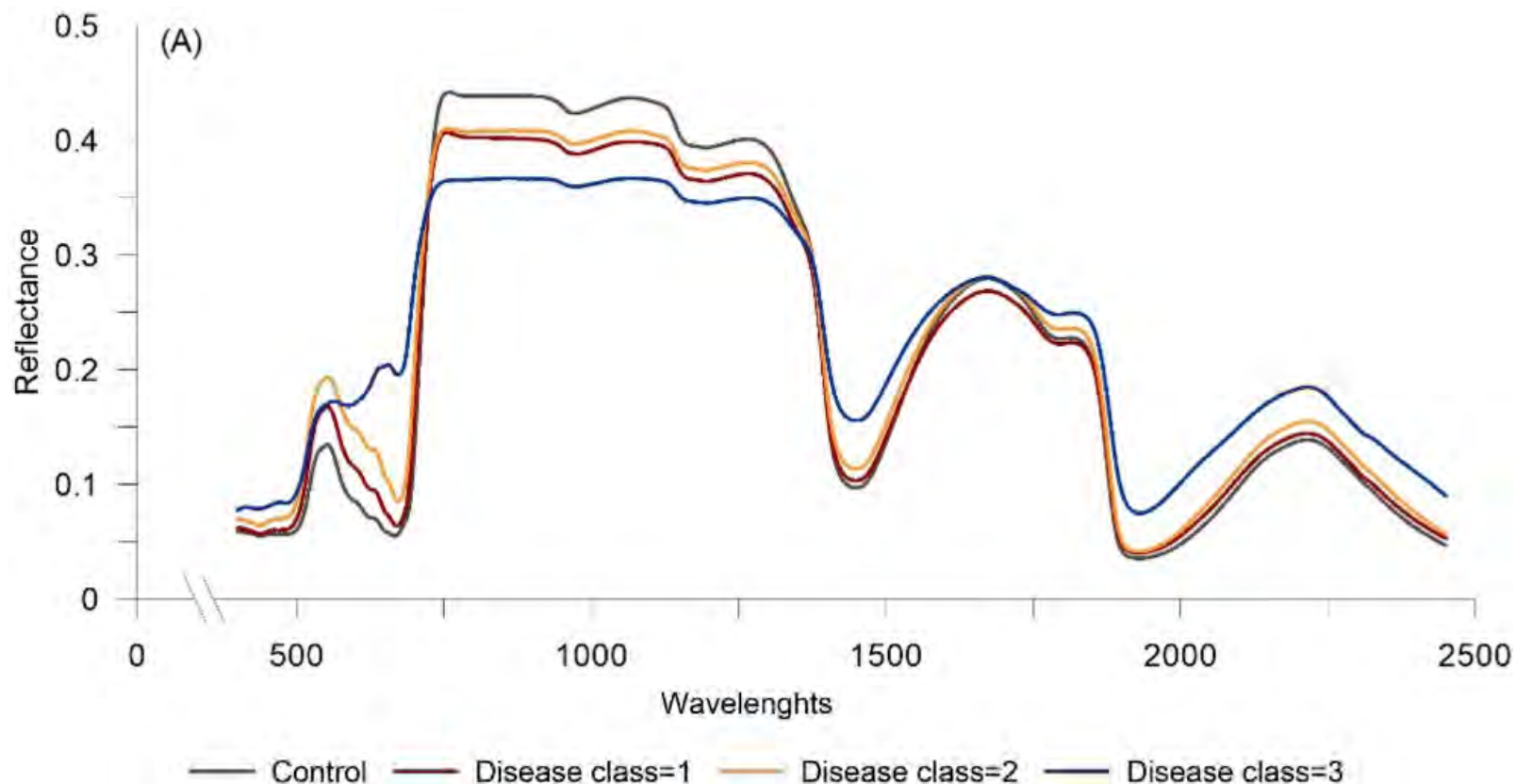
出典：農研機構 小原氏 ヒアリング資料

b. 化学農薬使用量の低減 8. 土壌病害の発病可能性診断 (2) 事例

高解像度ハイパースペクトルを用いた土壌病害診断：CREA（イタリア）

- これまでにハイパースペクトルセンサーを用いた作物の健康状態の評価を検証中。
- 本研究の目的は、機械学習により環境要因の影響を排除して判別できる波長の選択と、実用化のためのハイスループット評価への移行性の評価。
- 高解像度ハイパースペクトル(350～2500 nm)から、ワイルドロケットの病害進行予測に寄与する波長を抽出。

4段階の疾患重症度レベルでリゾクトニア・ソラニ菌(RhS-D)を接種したワイルドロケットの350～2500nmスペクトル反射率



出典:Galieni A, et al. Sci Rep. (2022)
 出典:nature briefing WEBサイト <https://www.nature.com/articles/s41598-022-08969-5>