

土壤消毒技術の現状と今後

－ 「みどりの食料システム戦略」 KPI2030 目標達

成に向けて－

第16回有機化学物質研究会 資料

2024年1月11日

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構



農研機構

資料の取り扱いについて

本資料掲載の研究成果等については、未公開情報が含まれている可能性があるため、複製、転載および利用にあたっては、かならず原著者の了承を得てください。

第16回有機化学物質研究会
土壌消毒技術の現状と今後
—「みどりの食料システム戦略」KPI2030 目標達成に向けて—

開催趣旨:

2021年5月に食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現するために「みどりの食料システム戦略」が策定され、化学農薬使用量（リスク換算）を2030年までに10%低減、2050年までに50%低減という目標が掲げられた。目標達成には、農薬使用の効率化や代替技術の開発が求められている。今回は土壌消毒に焦点を当て、問題点や改善点等を整理・議論し、化学農薬使用量低減への貢献を目指した技術開発と普及を進めることを目的とする。

日時: 2024年1月11日（木） 13:30 開始

場所: つくば国際会議場（エポカルつくば、つくば市竹園2-20-3）中ホール200

主催: 農研機構 農業環境研究部門

参集範囲: 国立研究開発法人、公設試験研究機関、大学、企業、行政部局、民間企業 など

参加費: 無料

プログラム

13:30-13:40 開会挨拶

農研機構 農業環境研究部門 山本勝利

13:40-14:00 みどりの食料システム戦略における化学農薬低減

農林水産省消費・安全局農産安全管理課 楠川雅史

14:00-14:20 我が国における土壌くん蒸剤クロルピクリンの使用の現状と安全使用啓発について

クロルピクリン工業会 新美達生

14:20-14:50 土壌病害診断 AI アプリ「HeSo+（ヘソプラス）」の開発

農研機構 植物防疫部門 吉田重信

14:50-15:20 低濃度エタノールによる土壌還元消毒

農研機構 農業環境研究部門 堀田光生

15:20-15:40 休憩

15:40-16:10 合衆国における土壌消毒技術（Commercial Fumigation Issues in U.S.）

Steve Godbehere, TriEst Ag Group, Inc.

16:10-16:40 今後求められる土壌消毒に関連した技術

農研機構 農業環境研究部門 小原裕三

16:40-17:10 農薬のリスク換算とは何か？水生生物に対する生態リスクの事例

農研機構 農業環境研究部門 永井孝志

17:10-17:30 総合討論

17:30 閉会

第16回有機化学物質研究会

みどりの食料システム戦略における 化学農薬低減

農林水産省消費・安全局
農産安全管理課農薬対策室長
楠川 雅史

令和 6 年 1 月

農林水産省

主要国の環境政策

○ 諸外国でも食料・農林水産業と持続可能性に関わる戦略を策定。EU、米国では具体的な数値目標を提示。

EU



「ファーム to フォーク」(農場から食卓まで) 戦略

(2020年5月)

欧州委員会は、欧州の**持続可能な食料システムへの包括的なアプローチ**を示した戦略を公表。

今後、二国間貿易協定にサステナブル条項を入れる等、国際交渉を通じて**EUフードシステムをグローバル・スタンダードとする**ことを目指している。

- 次の数値目標(目標年：**2030年**)を設定。
- 化学農薬の使用及びリスクの**50%削減**
- 一人当たり食品廃棄物を**50%削減**
- 肥料の使用を少なくとも**20%削減**
- 家畜及び養殖に使用される抗菌剤販売の**50%削減**
- 有機農業に利用される農地を少なくとも**25%に到達**

等

米国 (新政権の動き)



バイデン米国大統領会見 (2021年1月27日)

「米国の**農業は世界で初めてネット・ゼロ・エミッションを達成**する」

国内外における気候危機対処のための大統領令 〈ファクトシート〉

- **パリ協定**の目標を実施し、米国がリーダーシップを発揮
- **化石燃料補助金の廃止**を指示
- **気候スマート農法**の採用奨励を指示

等

米国 (農務省) 「農業イノベーションアジェンダ」

(2020年2月 (トランプ政権))

米国農務省は、2050年までの**農業生産量の40%増加と環境フットプリント50%削減の同時達成**を目標に掲げたアジェンダを公表。さらに**技術開発を主軸**に以下の目標を設定。

- **2030年まで**に食品ロスと食品廃棄物を**50%削減**
- **2050年まで**に土壌健全性と農業における炭素貯留を強化し、農業部門の現在のカーボンフットプリントを**純減**
- **2050年まで**に水への栄養流出を**30%削減**

等

みどりの食料システム戦略（概要）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～

Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI)

令和3年5月
農林水産省

現状と今後の課題

- 生産者の減少・高齢化、地域コミュニティの衰退
- 温暖化、大規模自然災害
- コロナを契機としたサプライチェーン混乱、内食拡大
- SDGsや環境への対応強化
- 国際ルールメイキングへの参画

「Farm to Fork戦略」(20.5)
2030年までに化学農薬の使用及びリスクを50%減、有機農業を25%に拡大

「農業イノベーションアジェンダ」(20.2)
2050年までに農業生産量40%増加と環境フットプリント半減

農林水産業や地域の将来も見据えた持続可能な食料システムの構築が急務

持続可能な食料システムの構築に向け、「みどりの食料システム戦略」を策定し、中長期的な観点から、調達、生産、加工・流通、消費の各段階の取組とカーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進

目指す姿と取組方向

2050年までに目指す姿

- 農林水産業のCO2ゼロエミッション化の実現
- 低リスク農薬への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減
- 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減
- 耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大
- 2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上
- 2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す
- エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大
- ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現

戦略的な取組方向

2040年までに革新的な技術・生産体系を順次開発（技術開発目標）

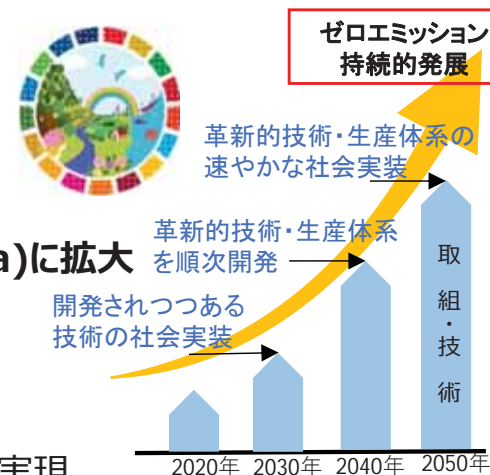
2050年までに革新的な技術・生産体系の開発を踏まえ、今後、「政策手法のグリーン化」を推進し、その社会実装を実現（社会実装目標）

※政策手法のグリーン化：2030年までに施策の支援対象を持続可能な食料・農林水産業を行う者に集中。

2040年までに技術開発の状況を踏まえつつ、補助事業についてカーボンニュートラルに対応することを目指す。

補助金拡充、環境負荷軽減メニューの充実とセットでクロスコンプライアンス要件を充実。

※革新的技術・生産体系の社会実装や、持続可能な取組を後押しする観点から、その時点において必要な規制を見直し。地産地消型エネルギーシステムの構築に向けて必要な規制を見直し。



期待される効果

経済 持続的な産業基盤の構築

- ・輸入から国内生産への転換（肥料・飼料・原料調達）
- ・国産品の評価向上による輸出拡大
- ・新技術を活かした多様な働き方、生産者のすそ野の拡大

社会 国民の豊かな食生活 地域の雇用・所得増大

- ・生産者・消費者が連携した健康的な日本型食生活
- ・地域資源を活かした地域経済循環
- ・多様な人々が共生する地域社会

環境 将来にわたり安心して暮らせる地球環境の継承

- ・環境と調和した食料・農林水産業
- ・化石燃料からの切替によるカーボンニュートラルへの貢献
- ・化学農薬・化学肥料の抑制によるコスト低減

アジアモンスーン地域の持続的な食料システムのモデルとして打ち出し、国際ルールメイキングに参画（国連食料システムサミット（2021年9月）など）2

みどりの食料システム戦略（具体的な取組）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～

調達

1. 資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷軽減の推進

- (1) 持続可能な資材やエネルギーの調達
- (2) 地域・未利用資源の一層の活用に向けた取組
- (3) 資源のリユース・リサイクルに向けた体制構築・技術開発

～期待される取組・技術～

- ▶ 地産地消型エネルギーシステムの構築
- ▶ 改質リグニン等を活用した高機能材料の開発
- ▶ 食品残渣・汚泥等からの肥料成分の回収・活用
- ▶ 新たなタンパク資源（昆虫等）の利活用拡大等

2. イノベーション等による持続的生産体制の構築

- (1) 高い生産性と両立する持続的生産体系への転換
- (2) 機械の電化・水素化等、資材のグリーン化
- (3) 地球にやさしいスーパー品種等の開発・普及
- (4) 農地・森林・海洋への炭素の長期・大量貯蔵
- (5) 労働安全性・労働生産性の向上と生産者のすそ野の拡大
- (6) 水産資源の適切な管理

～期待される取組・技術～

- ▶ スマート技術によるピンポイント農薬散布、病害虫の総合防除の推進、土壌・生育データに基づく施肥管理
- ▶ 農林業機械・漁船の電化等、脱プラ生産資材の開発
- ▶ バイオ炭の農地投入技術
- ▶ エリートツリー等の開発・普及、人工林資源の循環利用の確立
- ▶ 海藻類によるCO₂固定化（ブルーカーボン）の推進等

生産

4. 環境にやさしい持続可能な消費の拡大や食育の推進

消費

- (1) 食品ロスの削減など持続可能な消費の拡大
- (2) 消費者と生産者の交流を通じた相互理解の促進
- (3) 栄養バランスに優れた日本型食生活の総合的推進
- (4) 建築の木造化、暮らしの木質化の推進
- (5) 持続可能な水産物の消費拡大

～期待される取組・技術～

- ▶ 外見重視の見直し等、持続性を重視した消費の拡大
- ▶ 国産品に対する評価向上を通じた輸出拡大
- ▶ 健康寿命の延伸に向けた食品開発・食生活の推進等

- ✓ 雇用の増大
- ✓ 地域所得の向上
- ✓ 豊かな食生活の実現

3. ムリ・ムダのない持続可能な加工・流通システムの確立

加工・流通

- (1) 持続可能な輸入食料・輸入原材料への切替えや環境活動の促進
- (2) データ・AIの活用等による加工・流通の合理化・適正化
- (3) 長期保存、長期輸送に対応した包装資材の開発
- (4) 脱炭素化、健康・環境に配慮した食品産業の競争力強化

～期待される取組・技術～

- ▶ 電子タグ（RFID）等の技術を活用した商品・物流情報のデータ連携
- ▶ 需給予測システム、マッチングによる食品ロス削減
- ▶ 非接触で人手不足にも対応した自動配送陳列等

「みどりの食料システム戦略」が2050年までに目指す姿と取組方向

温室効果ガス削減	温室効果ガス	①2050年までに農林水産業のCO2ゼロエミッション化の実現を目指す。
	農林業機械・漁船	②2040年までに、農林業機械・漁船の電化・水素化等に関する技術の確立を目指す。
	園芸施設	③2050年までに化石燃料を使用しない施設への完全移行を目指す。
	再生可能エネルギー	④2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す。
環境保全	化学農薬	⑤2040年までに、ネオニコチノイド系農薬を含む従来の殺虫剤を使用しなくてもすむような新規農薬等の開発により、2050年までに、化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減を目指す。
	化学肥料	⑥2050年までに、輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量の30%低減を目指す。
	有機農業	⑦2040年までに、主要な品目について農業者の多くが取り組むことができるよう、次世代有機農業に関する技術を確立する。これにより、2050年までに、オーガニック市場を拡大しつつ、耕地面積に占める有機農業※の取組面積の割合を25%（100万ha）に拡大することを目指す。（※国際的に行われている有機農業）
食品産業	食品ロス	⑧2030年度までに、事業系食品ロスを2000年度比で半減させることを目指す。さらに、2050年までに、AIによる需要予測や新たな包装資材の開発等の技術の進展により、事業系食品ロスの最小化を図る。
	食品産業	⑨2030年までに食品製造業の自動化等を進め、労働生産性が3割以上向上することを目指す（2018年基準）。さらに、2050年までにAI活用による多種多様な原材料や製品に対応した完全無人食品製造ラインの実現等により、多様な食文化を持つ我が国食品製造業の更なる労働生産性向上を図る。 ⑩2030年までに流通の合理化を進め、飲食料品卸売業における売上高に占める経費の割合を10%に縮減することを目指す。さらに、2050年までにAI、ロボティクスなどの新たな技術を活用して流通のあらゆる現場において省人化・自動化を進め、更なる縮減を目指す。
	持続可能な輸入調達	⑪2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す。
林野	森林・林業	⑫エリートツリー等の成長に優れた苗木の活用について、2030年までに林業用苗木の3割、2050年までに9割以上を目指すことに加え、2040年までに高層木造の技術の確立を目指すとともに、木材による炭素貯蔵の最大化を図る。 （※エリートツリーとは、成長や材質等の形質が良い精英樹同士の人工交配等により得られた次世代の個体の中から選抜される、成長等がより優れた精英樹のこと）
水産	漁業・養殖業	⑬2030年までに漁獲量を2010年と同程度（444万トン）まで回復させることを目指す。 （参考：2018年漁獲量331万トン） ⑭2050年までに二ホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現することに加え、養魚飼料の全量を配合飼料給餌に転換し、天然資源に負荷をかけない持続可能な養殖生産体制を目指す。

3 本戦略の目指す姿と取組方向

（5）本戦略が目指す姿と KPI（重要業績評価指標）

本戦略により、2050 年を目標年次として、サプライチェーン全体における各般の取組とイノベーションの社会実装が実現した姿を目指し、以下の KPI を提示する。

- ① スマート防除技術体系の活用や、リスクの高い農薬からリスクのより低い農薬への転換を段階的に進めつつ、化学農薬のみに依存しない総合的な病害虫管理体系の確立・普及等を図ることに加え、2040 年までに、多く使われているネオニコチノイド系農薬を含む従来の殺虫剤を使用しなくてもすむような新規農薬等の開発により、2050 年までに、化学農薬使用量（リスク換算）の 50%低減を目指す。

（後略）

「みどりの食料システム戦略」における化学農薬使用量（リスク換算）について （令和3年6月28日 農業資材審議会農薬分科会（第27回）資料）

- 「みどりの食料システム戦略」において、環境負荷を軽減し、持続的な農業生産を確保することを目的とする中で、化学農薬使用量の低減に関するKPI（重要業績評価指標）を設定。
- このKPIは、生産現場や農薬メーカーも含む幅広い関係者が計画的に取り組みやすく、消費者の理解を得られやすくすることが重要。このため、従来の環境保全型農業のような個々の農家段階での単純な使用量ではなく、環境へのインパクトを全国の総量で低減していることを検証可能な形で示せるよう、「リスク換算」で算出することとしたところ。
- 「リスク換算」の求め方については、第25回農業資材審議会農薬分科会において、
 - ①「有効成分ベースの農薬出荷量」に「リスク換算係数」を掛けたものの総和を取ること
 - ②「リスク換算係数」は、ADI（許容一日摂取量）を基に係数を検討することとされたところ。
- これら「有効成分ベースの農薬出荷量」及び「リスク換算係数」については、以下のような考え方としてはどうか。
- また、「化学農薬使用量（リスク換算）」の表記に当たっては、単純な使用量との違いを明確化するため、単位を「リスク換算値」のように表記してはどうか。
- なお、現時点では以下の案で進めるとしても、リスク換算の求め方については、科学の発展に応じて充実させることとする。たとえば、環境負荷に関する指標や環境生物に対する毒性指標について、国際的に共通に利用可能なものが将来確立されれば、化学農薬の環境へのインパクトを評価する指標として併せて使用することも検討してはどうか。

<「有効成分ベースの農薬出荷量」について>

- 農林水産省が毎年行う調査に基づき、FAO（国連食糧農業機関）に「使用量」として報告している、農薬の「有効成分の出荷量」をベースとする。

※ FAOには、毎年、殺虫剤、殺菌剤、除草剤、殺鼠剤及び植物成長調整剤の出荷量を報告しており、展着剤、誘引剤、忌避剤等（これらは基本的にADIが設定されていない）は除外されている。

※ また、重量換算できない天敵及び微生物農薬も除外されている（これらも基本的にADIが設定されていない）。

- その上で、ADIが設定されていない有効成分は除外する。

※ マシン油等67成分が除外され、対象となる有効成分は416成分（2019農薬年度現在）。

※ なお、国内でADIが設定されていないが国際的に（JMPRにおいて）設定されているものはその値を活用（2019農薬年度現在、2成分）。

- FAOに実績を報告済みの直近年である、2019農薬年度（2018年10月～2019年9月）を、「みどりの食料システム戦略」における「化学農薬使用量（リスク換算）」の基準年とする。

<「リスク換算係数」について>

- 農薬の有効成分のADI値は、0.001 mg/kg体重/日未満のものから1 mg/kg体重/日以上のものであり、そのまま係数として換算した場合、1,000倍以上の差があるADI値が強く反映され、生産現場や農薬メーカーの取組を正しく評価できない恐れ。そのため、ADI値に応じた「区分」に分け、係数を設定し、リスク換算に用いる。
- 有効成分それぞれのADI値の分布（下表）を見ると、「0.01未満」、「0.01以上～0.1未満」、「0.1以上～」の3区分でリスク換算係数を設定することが妥当。

ADI 値ごとの有効成分数の割合（2019 農薬年度現在）

0.001 未満	0.001 以上 ～0.01 未満	0.01 以上 ～0.1 未満	0.1 以上 ～1 未満	1 以上
2%	30%	52%	14%	3%

- 有効成分の出荷量が最も多い「0.01未満」を「標準」区分（グループ1）とし、「0.01以上～0.1未満」（グループ2）、「0.1以上」（グループ3）の3区分とする。

- 「リスク換算係数」については、「標準」区分のグループ1を「1」とすると、ADIの絶対値に鑑み、グループ2はその1/10の「0.1」とし、グループ3はさらにその1/10の「0.01」とすることが考えられるが、その場合、よりリスクの低い農薬への切り替えが過大に評価されることとなり、使用量を削減する生産現場及びメーカーの努力の評価を過少にすることから、KPIとしては不適切。
- そのため、各グループの係数「1」「0.1」「0.01」の平方根である「1」「0.316」「0.1」をリスク換算係数とする。

(参考) 各グループの有効成分数と使用量 (リスク換算) (2019 農薬年度現在)

ADI	0.01 未満	0.01 以上 ~0.1 未満	0.1 以上	合 計
有効成分数	131 成分	215 成分	70 成分	416 成分
使用量 (リスク換算)	17,409 リスク換算値	4,927 リスク換算値	993 リスク換算値	23,330 リスク換算値

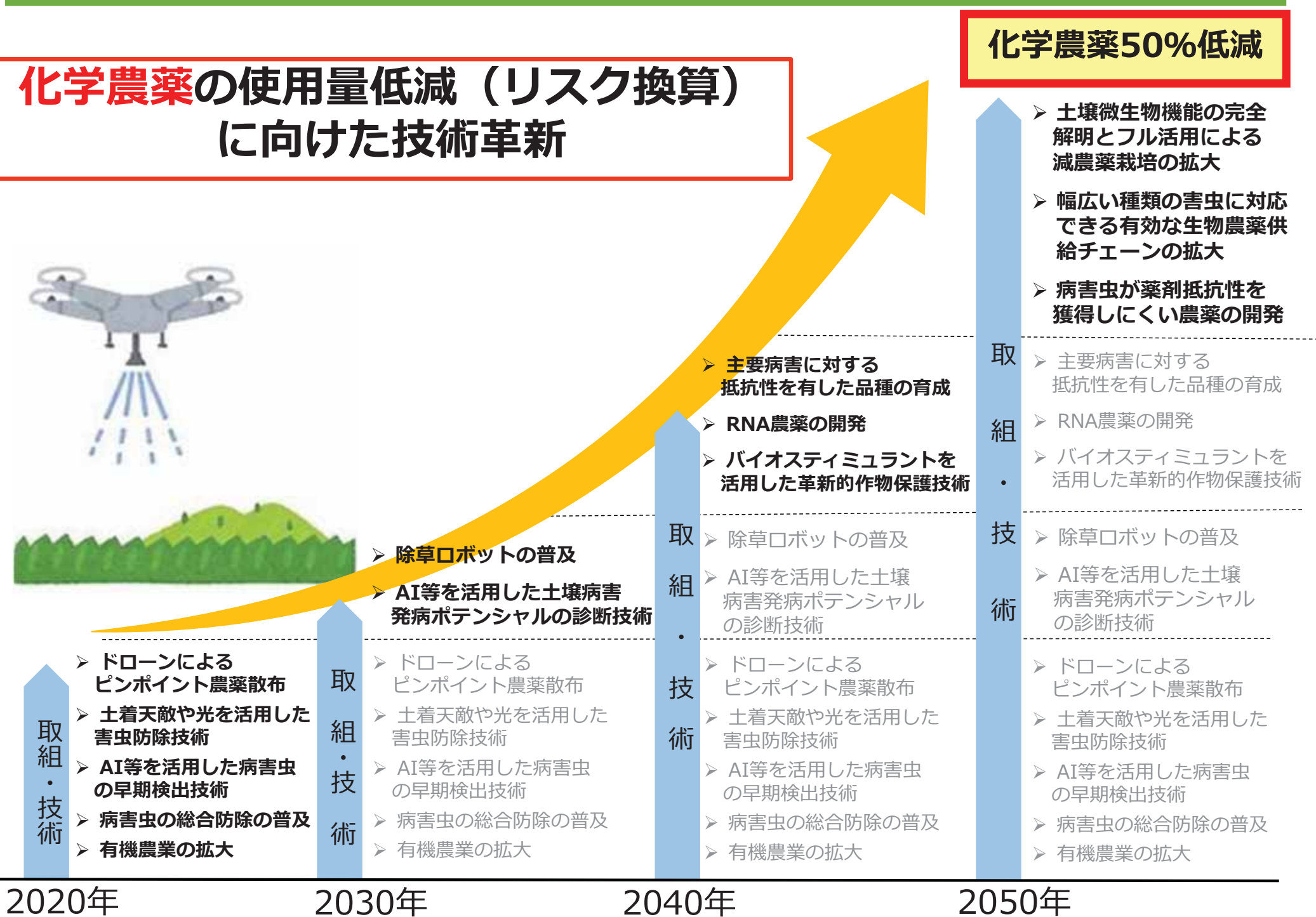
(※使用量的小数点以下は四捨五入している。)

化学農薬の使用量低減（リスク換算）に向けた取組

化学農薬の使用量低減（リスク換算） に向けた技術革新



化学農薬50%低減



化学農薬の使用量低減に向けた技術開発・普及（現在から2030年頃まで）

病害虫の総合防除の普及

発生状況に応じて病害虫・雑草の発生増加を抑えるための適切な防除を総合的に実施し、化学農薬による環境負荷を低減しつつ、病害虫の発生を抑制



交信かく乱剤の使用



温湯種子消毒



天敵による防除



防虫ネット全面被覆

ドローンやロボットを用いた防除・除草技術

○ドローンによるピンポイント農薬散布



ドローンによる撮影、害虫位置特定



自動飛行で害虫ポイントに到着、農薬散布

○無人草刈機による除草



生産圃場における雑草の多様化



有機栽培における雑草手取の労働力不足



AIによる除草支援（スマート除草技術）

スマート除草ロボットによる雑草識別、農薬の選択



有機栽培での小型除草ロボットによる機械除草

生産の効率化達成

土着天敵や光を活用した害虫防除技術

土着天敵を維持する栽培体系の確立



光誘因トラップや繁殖を抑制する光源の設置



AI等を活用した土壌病害発病ポテンシャルの診断技術

AIによる土壌病害発病診断



今年の防除はどうしたものか・・・



診断

発病する可能性は低いので、農薬は抑えましょう。



化学農薬の使用量低減に向けた技術開発・普及（2040年頃から）

RNA農薬の開発

RNA干渉（RNAi）法による遺伝子機能抑制を利用した害虫防除法（RNA農薬）を開発

害虫ごとに有効な標的遺伝子を探索

二本鎖RNAを葉などに直接散布



二本鎖RNAが相補的な塩基配列を持つmRNAを分解し、害虫の発育などに重要な遺伝子の発現を抑制

従来の化学農薬に比べ、標的種への特異性が高く、周辺環境への安全性が期待

バイオスティミュラントを活用した革新的作物保護技術の開発

植物の生育を促進し、病害に対する抵抗性を向上する資材（バイオスティミュラント）を活用した技術を開発



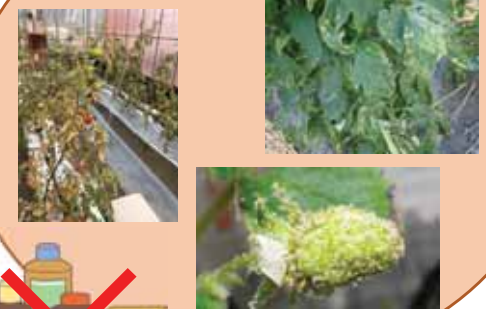
成長力向上

免疫力向上



病害虫が薬剤抵抗性を獲得しにくい農薬の開発

薬剤抵抗性を持つ病害虫



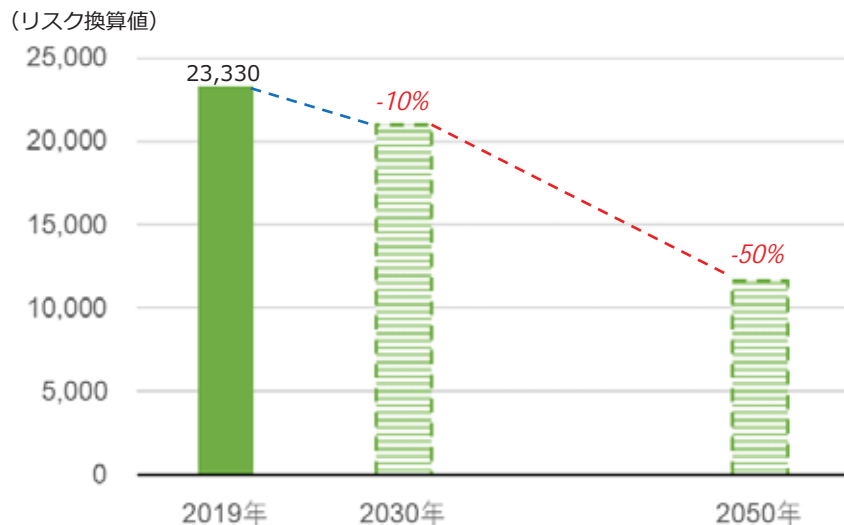
薬剤抵抗性の獲得を抑制しながら薬効を発揮

2030年目標の設定の考え方

- 2030年中間目標は、改正植物防疫法の総合防除を推進する新たな仕組みの活用などにより、化学農薬のリスク換算での使用量の近年の減少傾向を一層推し進めることとして、化学農薬使用量（リスク換算）10%低減と設定。
- 2030年までは、病害虫が発生しにくい生産条件の整備や、病害虫の発生予測も組み合わせた総合防除の推進、化学農薬を使用しない有機農業の面的拡大の取組により、目標達成を目指す。
- 2030年以降は、前述の取組のより一層の推進に加え、リスクのより低い化学農薬等の開発等のイノベーションを通じて、2050年の意欲的な目標に向けて取組を加速化。

現状と課題

- 基準年である2019農薬年度の化学農薬使用量（リスク換算）は、23,330（リスク換算値）。
- 近年、温暖化等により、病害虫のまん延リスクが増加していることや、過度に農薬に依存した防除により、薬剤耐性を持つ病害虫が発生している事例が見られることから、化学農薬だけに頼らない病害虫の発生予防を含めた総合防除の推進が急務。



当面の対応

- 改正植物防疫法により、2022年度中に、農薬だけに頼らない病害虫の総合防除を推進していくための指針を国が策定。2023年度中に、国が策定する指針に即して、防除の具体的な内容等を定めた防除計画を、全都道府県において策定することを目指す。
- 2022～2024年度を重点推進期間とし、化学農薬・化学肥料の低減等の取組を一体的に推進。具体的には、2022年度末までに、全都道府県（600地区）において栽培暦の点検を行うとともに、新たな技術導入を促すため、2022年度に「グリーンな栽培体系への転換サポート」事業で200地区の支援を実施しつつ、2024年度までに全都道府県の主要品目において栽培暦の見直しを実施。
- 2025年度までに、AIやICT技術を活用した病害虫発生予測技術を開発。
- 土壌くん蒸剤等化学農薬の使用量低減に生産者が取り組みやすくするために、AI等を活用した土壌病害の発病可能性の診断技術の改良等を推進。

<化学農薬を代替する既存技術の例>



緑肥作物の導入



UV-Bランプ



天敵農薬（如^レ コスミカメ）

- ・2050年までに、化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減を目指す。
- ・2030年目標：化学農薬使用量（リスク換算）の10%低減を目指す。

調達

生産

加工・
流通

消費

①これまでの取組

- ・農業資材審議会農薬分科会において、化学農薬KPIのリスク換算の求め方について議論・整理。
- ・病害虫防除所長会議、みどりの食料システム戦略を受けた今後の農業生産の推進に関する都道府県担当課長会議等において、みどりの食料システム戦略を踏まえた総合防除の推進等について周知。
- ・総合防除の推進に関する予算要求を実施。
- ・農薬開発メーカーに対し、従来の殺虫剤を使用しなくてもすむような新規農薬の開発等に関するイノベーションの一層の推進を依頼。
- ・改正植物防疫法（2023年4月施行）に基づき、国が総合防除基本指針を策定し、これに基づいて都道府県が総合防除計画を策定する仕組みを整備（12月1日までに6県が策定済。それ以外の都道府県も年度内に策定予定）

②今後の取組の方向性

		短期的な取組	中長期的な取組
技術面	既存技術の現場普及	<ul style="list-style-type: none"> ・予防・予察に重点を置いた化学農薬のみに依存しない総合防除体系やスマート農業技術を活用した化学農薬の使用量の低減技術等を産地が導入する際の実証支援 ・都道府県やJA等と連携し、産地の栽培暦等への先進的な取組の反映（既存技術の横展開）を推進 	<ul style="list-style-type: none"> ・イノベーションにより新たに開発された防除技術の実証と、それを踏まえた総合防除体系の確立 ・全国的に総合防除を定着させるため、実証結果を栽培暦等に反映させて普及を推進
	新たな技術開発の必要性	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンやIoT等を活用した高精度な発生予察手法の確立 ・生産者が取り組みやすい土壌くん蒸剤の代替技術等の確立 ・農研機構等によるAI等を活用した土壌病害の発病可能性の診断技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・生物農薬やよりリスクの低い化学農薬などの新規農薬等及びゲノム編集技術等を活用した抵抗性品種の開発
グリーン化施策		<ul style="list-style-type: none"> ・機械・資材メーカー等の基盤確立事業実施計画の認定、生産者の環境負荷低減事業活動実施計画の認定、みどり投資促進税制による化学農薬の使用量低減に資する設備・機械の導入促進 ・農林水産省の補助事業等において、最低限行うべき環境負荷低減の取組の実践を義務化する「クロスコンプライアンス」について、令和6年度は、事業申請時のチェックシートの提出に限定して試行実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・令和9年度を目標に、農林水産省の全ての補助事業等を対象に、事後の報告・確認まで含め、「クロスコンプライアンス」を本格実施
推進活動		<p><開発者向け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・生物農薬の円滑な評価のための体制整備 ・バイオスティミュラントやRNA農薬等の取扱ルールの検討 <p><生産者向け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・都道府県等と連携した化学農薬のみに依存しない防除の取組や栽培暦等の見直しの取組を推進 <p><消費者向け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・第4次食育推進基本計画に基づき、持続可能な生産について理解を促進 ・「あふの環プロジェクト」による官民協働・連携を推進 	<p><開発者向け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・バイオスティミュラントやRNA農薬等の取扱ルールの整備 <p><生産者向け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・都道府県等と連携した化学農薬のみに依存しない防除の取組や栽培暦等の見直しの取組を推進 <p><消費者向け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・有機食品など持続性の高い農法で生産された食品に関する消費者の理解促進
その他		<ul style="list-style-type: none"> ・2022年5月に成立した改正植物防疫法（2023年4月施行）に基づき、国の総合防除基本指針を踏まえ、2023年度中に全都道府県で総合防除の実施に関する計画が策定できるよう支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・左記の指針、計画に基づく取組を推進

- ・2050年までに、化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減を目指す。
- ・2030年目標：化学農薬使用量（リスク換算）の10%低減を目指す。

調達

生産

加工・
流通

消費

2023年の主な進捗状況

- 2023年は、グリーンな栽培体系への転換サポート事業により2022年度に実証が終了した地区について、地域の栽培暦等に反映するとともに、普及に向けての産地戦略を策定（52地区のうち47地区）。内容については、各都道府県やJA等のHPを活用して情報発信。また、各都道府県にて総合防除の実施に関する計画を策定（12月1日までに6県が策定済。それ以外の都道府県も年度内に策定予定。）。
- 2024年以降は、グリーンな栽培体系への転換サポート事業による実証を引き続き支援し、優良事例の横展開を加速化するとともに、総合防除基本指針及び全都道府県において策定される総合防除の実施に関する計画に基づき、都道府県やJA等とも連携して総合防除を推進。

これまでの対応

- 2022年～2023年のグリーンな栽培体系への転換サポート事業により、全国150地区における、栽培暦等の見直しに向けた化学農薬の使用量低減に係る実証を支援。
- AI、IoT等を活用した精度の高い発生予察、農業者等への迅速な情報発信などを実現する取組を支援。
- 強い耐病虫性により化学農薬使用量を大幅に低減可能な新品種の育成に取り組み、根こぶ病に強いキャベツ新品種、基腐病に強いサツマイモ新品種等を育成。
- 土壌分析や栽培状況等を元に畑を診断し、土壌病害の発生しやすさに応じた適切な対策技術を提示するウェブアプリを開発。
- 2022年6月、農業資材審議会農薬分科会の下に「生物農薬評価部会」を設置。
- 天敵農薬に係る評価手法の概要について、農業資材審議会農薬分科会にて議論の上、取りまとめ。
- バイオスティミュラント等の新規資材について、海外での規制の検討状況や開発動向に係る情報収集を実施。
- 2022年10月、11月、12月にグリーンな栽培体系を学ぶセミナーを農業者、指導員向けに実施。
- 2022年5月の植物防疫法の一部改正において、総合防除を推進する仕組みを構築。
 - 九州地区の「ばれいしょ」での試算モデル例：
総合防除対策により、化学農薬使用量(リスク換算)を34%低減
- 都道府県や学識経験者の意見を聴いた上で、総合防除基本指針を策定・公表及び都道府県に通知。
- 各生産者が営農作業で使用する栽培暦等に、総合防除計画の内容や、グリーンな栽培体系への転換サポート事業で検証された技術が反映されるよう、栽培暦等の作成者に対し助言を行うよう農政局を通じて都道府県に通知。

当面の対応

- 化学農薬の使用量低減に係る実証を全国100地区/年において支援し、栽培暦等へ反映するとともに、HP等で他産地やJA等関係者に広く情報発信。（R5補正、R6当初グリーンな栽培体系への転換サポート）
- 都道府県やJA等と連携し、地域の栽培暦等を、2023年度中に全都道府県において策定される総合防除の実施計画に則したものに見直すなどにより、総合防除の取組を推進。
- ドローンやIoT等を活用した高精度な発生予察手法の確立。（食料安定生産に資する新たな病害虫危機管理対策・体制の構築、R2-R5）
- 生産者が取り組みやすい土壌くん蒸剤の代替技術等の確立。（R4補正食料安全保障強化に向けた革新的新品種開発プロジェクト、R5当初みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち農林水産研究の推進）
- 水稻病害虫に対する病害虫予報技術の開発。（みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち農林水産研究の推進、R4-R8）
- 先端的な物理手法と未利用の生物機能を駆使した害虫被害ゼロを目指した技術開発。（ムーンショット型農林水産研究開発事業、R2-R11（予定））
- 2022年5月に成立した改正植物防疫法（2023年4月施行）に基づき、国の総合防除基本指針を踏まえ、2023年度中に全都道府県において総合防除の実施に関する計画が策定できるよう支援。
- 都道府県やJA等と連携し、地域の栽培暦等を上記計画に即したものに見直す等により、総合防除の取組を推進。
- 天敵農薬に係る評価手法について2023年度中にガイドラインを策定。
- バイオスティミュラント等の新規資材に係る取扱ルールの検討。



緑肥作物



UV-Bランプ



天敵
(外バカスカメ)



低リスク農薬への転換

みどりの食料システム戦略KPIの2022年実績値・取組

③化石燃料を使用しない園芸施設への移行

基準値 (基準年)	2021年 実績値	2022年 実績値	2030年目標	2050年目標
—	10.6%	2024年3月に 公表予定	加温面積に占める ハイブリッド型園芸施設等の 割合：50%	化石燃料を使用 しない施設への 完全移行

【2022年の取組に対する評価】

令和3年度補正予算から、産地生産基盤パワーアップ事業に施設園芸エネルギー転換枠を設け、省エネ機器等の導入支援を推進したほか、農業用ヒートポンプの効果的な使い方に関するリーフレットの作成・周知のため、「ヒートポンプ研究委員会」を立ち上げ、検討を開始。

【今後の対応】

省エネ型施設・機器の導入支援、ハイブリッド型園芸施設への移行を促す省エネ技術の開発、優良事例の紹介や有識者による助言を実施するなど産地の推進活動を後押しする取組、2050年目標達成に向けたゼロエミッション型園芸施設に搭載する技術等の開発等を推進。



④農山漁村における再エネの導入

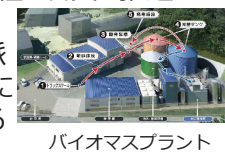
基準値 (基準年)	2021年 実績値	2022年 実績値	2030年目標	2050年目標
—	—	—	2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す。	2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す。

【2022年の取組に対する評価】

2022年度においては、みどりの食料システム戦略推進交付金のうちバイオマス地産地消費対策において、地産地消型バイオマスプラントの導入に向けた調査・設計7件、施設整備7件、バイオ液肥の利用推進9件について支援を実施するなどの取組を着実に推進。

【今後の対応】

未利用資源のエネルギー利用に向けた取組への支援、専門家の派遣等による相談対応、地産地消型バイオマスプラントの導入支援等により農山漁村における再エネの導入を推進。更に、農山漁村における地産地消型の再エネ活用モデルを推進。



⑤化学農薬使用量（リスク換算）の低減

基準値 (基準年)	2021年 実績値	2022年 実績値	2030年目標	2050年目標
23,330 (2019年農業年度)	21,230 (約9%減)	22,227 (約4.7%減)	リスク換算で 10%低減	11,665 (50%低減)

【2022年実績値に対する評価】

新型コロナによる特殊事情が概ね解消したことにより、2021年に比べて増加したものの、リスクの低い農業への切替などの取組の効果が現われたことにより基準年より減少。

【今後の対応】

グリーンな栽培体系への転換サポートの2022年度に実証が終了した52地区のうち47地区において、実証成果が地域の栽培暦等に速やかに反映されるなど取組がさらに深化。総合防除の推進、化学農薬を使用しない有機農業の面的拡大、リスクのより低い化学農薬や抵抗性品種等の開発、天敵農薬に係る評価ガイドラインの整備等を推進。



低リスク農業への転換

⑥化学肥料使用量の低減

基準値 (基準年)	2021年 実績値	2022年 実績値	2030年目標	2050年目標
90万トン (2016年※)	85万トン (約6%減)	2024年3月に 把握予定	72万トン (20%低減)	63万トン (30%低減)

【2022年の取組に対する評価】

グリーンな栽培体系への転換サポートにより、化学肥料の使用量低減に資する栽培技術を59地区で実証したほか、補助事業により可変施肥機等の導入が進展。堆肥や下水汚泥資源などの国内資源の肥料利用に向けた施設整備や土壌診断に基づく適正施肥を推進。

【今後の対応】

グリーンな栽培体系への転換サポートの2022年度に実証が終了した32地区のうち30地区において、実証成果を栽培マニュアル等にとりまとめ、普及段階に移行。土壌診断等による施肥の効率化や、国内資源の循環利用に向けた堆肥化施設やペレット化施設の整備、「国内肥料資源の利用拡大に向けた全国推進協議会」における関係事業者の取組方針の共有、化学肥料低減に資するスマート農業技術の開発・普及等の取組を推進。



※肥料製造事業者からの生産数量報告を基に算定。年により変動があるため2016年の前後3か年平均。

みどりの食料システム戦略KPIの2021年及び2022年実績値一覧について

「みどりの食料システム戦略」KPIと目標設定状況

KPI		2030年 目標		2050年 目標	2021年 実績値	2022年 実績値
温室効果ガス削減	① 農林水産業のCO ₂ ゼロエミッション化 (燃料燃焼によるCO ₂ 排出量)	1,484万t-CO ₂ (10.6%削減)		0万t-CO ₂ (100%削減)	1,722万t-CO ₂ (3.8%超過)	2024年3～4月に 把握予定
	② 農林業機械・漁船の電化・水素化等技術の確立	既に実用化されている化石燃料使用量削減に 資する電動草刈機、自動操舵システムの普及 率：50%	技術確立 2040年		自動操舵システム： 4.7% 電動草刈機：16.1%	自動操舵システム： 6.1% 電動草刈機：19.6%
		高性能林業機械の電化等に係るTRL TRL 6：使用環境に応じた条件での技術実証 TRL 7：実運転条件下でのプロトタイプ実証			TRL 1～2	TRL 1～2
		小型沿岸漁船による試験操業を実施			漁船の具体的検討を 開始	試験操業の実施に向け た体制作りが進行
③ 化石燃料を使用しない園芸施設への移行	加温面積に占めるハイブリッド型園芸施設等の割合： 50%		化石燃料を使用しない施設への完全移行	10.6%	2024年3月に 公表予定	
④ 我が国の再エネ導入拡大に歩調を合わせた、 農山漁村における再エネの導入	2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の 健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギー の導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可 能エネルギーの導入を目指す。		2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林 漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可 能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁 村における再生可能エネルギーの導入を目指す。	-	-	
環境保全	⑤ 化学農薬使用量（リスク換算）の低減	リスク換算で10%低減		11,665 (リスク換算値) (50%低減)	21,230 (リスク換算値) (約9%低減)	22,227 (リスク換算値) (約4.7%低減)
	⑥ 化学肥料使用量の低減	72万トン (20%低減)		63万トン (30%低減)	85万トン (約6%低減)	2024年3月に 把握予定
	⑦ 耕地面積に占める有機農業の割合	6.3万ha		100万ha (25%)	2.66万ha	2024年8月に 公表予定
食品産業	⑧ 事業系食品ロスを2000年度比で半減	273万トン (50%削減)			279万トン (49%削減)	2024年6月に 公表予定
	⑨ 食品製造業の自動化等を進め、労働生産性を向 上	6,694千円/人 (30%向上)			5,152千円/人 (0%向上)	4,964千円/人 (3.6%低下)
	⑩ 飲食料品卸売業の売上高に占める経費の縮減	飲食料品卸売業の売上高に占める経費の割合：10%			13.4%	2024年8月に 公表予定
⑪ 食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材 料調達の実現	100%			36.5%	38.6%	
林野	⑫ 林業用苗木のうちエリートツリー等が占める割合を 拡大 高層木造の技術の確立・木材による炭素貯蔵の最 大化	エリートツリー等の活用割合：30%		90%	6.2%	2024年3月に 把握予定
	水産	⑬ 漁獲量を2010年と同程度（444万トン）まで回 復	444万トン			315万トン
⑭ 二ホンウナギ、クロマグロ等の養殖における人工種苗 比率 養魚飼料の全量を配合飼料給餌に転換		13% 64%		100% 100%	2.9% 45%	2024年3月頃に 把握予定 47%

我が国における土壌くん蒸剤クロルピクリン の使用の現状と安全使用啓発について

2024年1月11日

クロルピクリン工業会※
新美 達生

※クロルピクリン工業会会員（順不同）

南海化学株式会社、日本化薬株式会社、三井化学クロップ&ライフソリューション株式会社

クロルピクリンとは

○1948年に農薬登録されて以来70年以上使い続けられている土壌消毒剤（土壌くん蒸剤）です。

○各種の野菜、花卉、果樹、等で幅広く使用することができ、品質向上と増収をもたらします。

○土壌中で容易にガス化し、隅々まで拡散・浸透して、効果を発揮します。

●劇物であり、正しい取扱をしないと、安全上の問題を引き起こす場合があります。

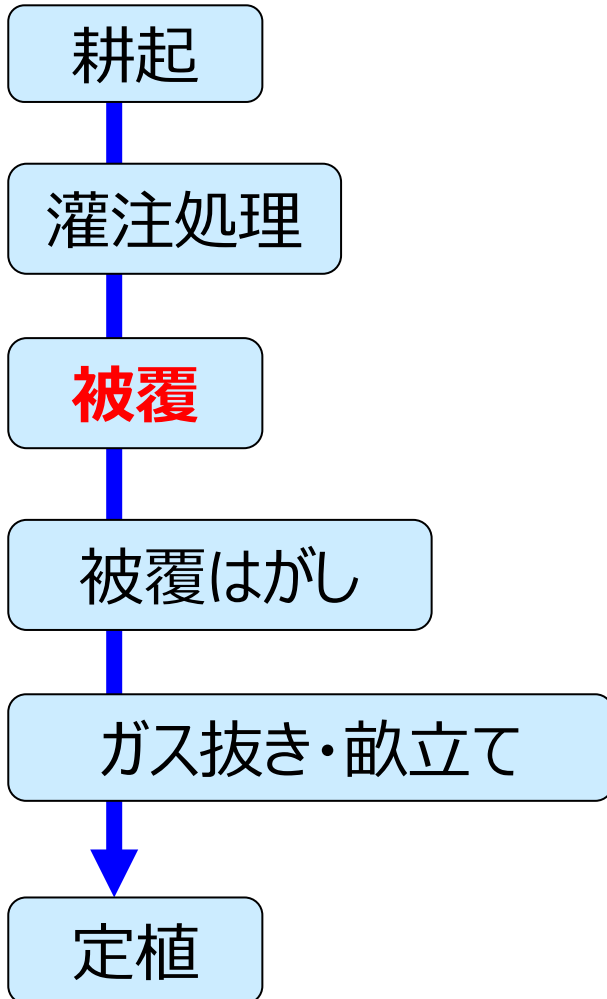
クロルピクリンの物理的・化学的性質と製品

外観・臭気	無色～淡黄色澄明液体 容易にガス化し、そのガスは強い催涙性、粘膜刺激性を有する
比重	液体1.657（20℃）、ガス5.7（空気=1）
水溶解性	水に微溶（20℃の水1 Lに1.974 g 溶解する）
安定性	きわめて安定で、長期間保存しても変質しない
金属腐食性	常温で気化し、 金属類を腐蝕 するが、亜鉛は腐蝕しない
引火爆発性	なし
土壌中の半減期	3.48日（埴壤土）
代表的な製品 （会員3社※共通）	高濃度液剤（クロルピクリン99.5%含有）⇒有効成分量最大 低濃度液剤（クロルピクリン80%含有）⇒低コスト

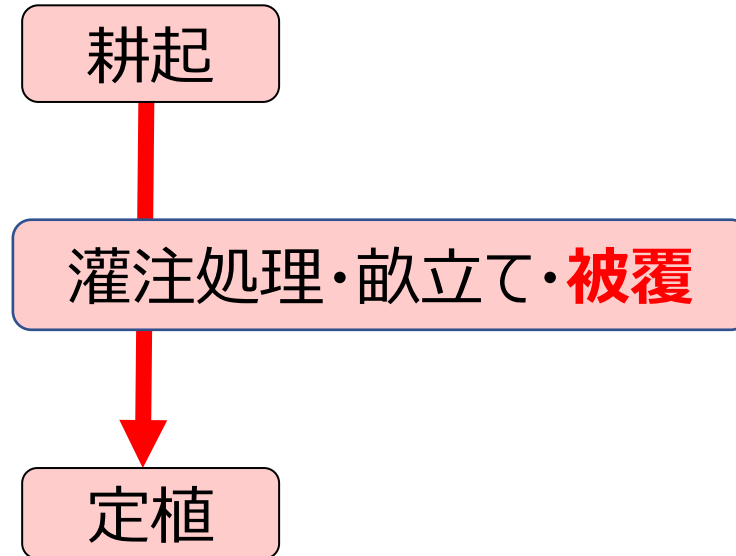
※クロルピクリン工業会会員3社…南海化学株式会社、日本化薬株式会社、三井化学クロップ&ライフソリューション株式会社
 ※※その他、上記会員各社で独自製剤（錠剤、フロア剤、テープ剤）、混合剤を製造・販売

クロピクリンの基本的な処理方法

<通常処理>



<マルチ畦内処理>



圃場内に、間隔30 c m、深さ15 c mで、10 a 当り20~30 L (1穴当り2~3mL) を均一に処理して下さい。

クロルピクリンの一般的な処理方法の例



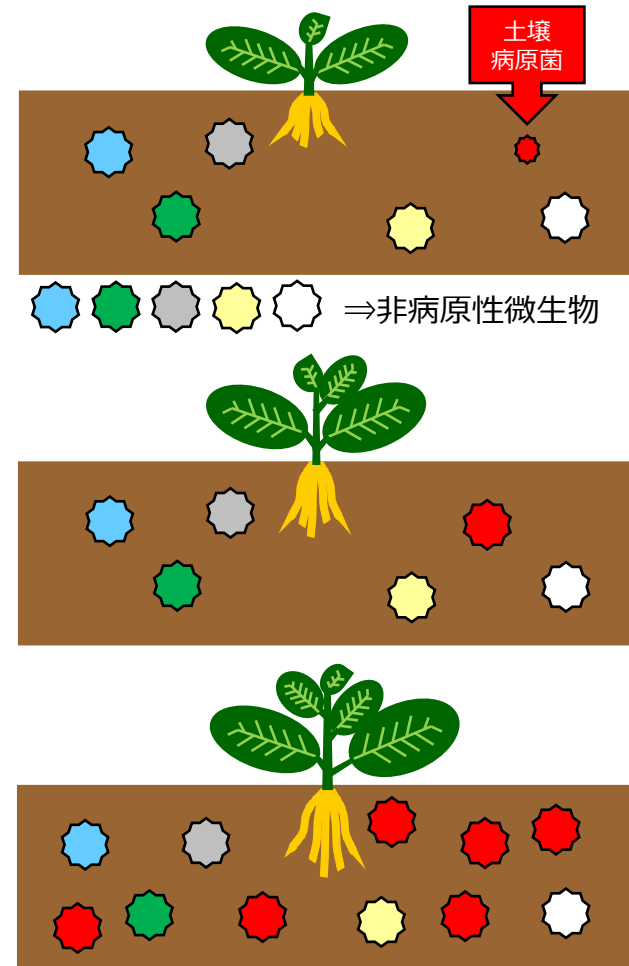
- 【左上写真】管理機による灌注処理
- 【左下写真】管理機による灌注処理後の被覆
- 【上写真】トラクター牽引による灌中処理と同時にマルチ

① 土壌消毒はなぜ必要なのか？

作物を植える前の土壌中の微生物は、大半が作物を宿主としない非病原性微生物で占められています。

ところが、作物を植えることで、作物を宿主とする土壌病原菌が増殖し始めます。

そして、作物の生育にともない、土壌中でマイナーな存在であった土壌病原菌が、急激に増殖します。

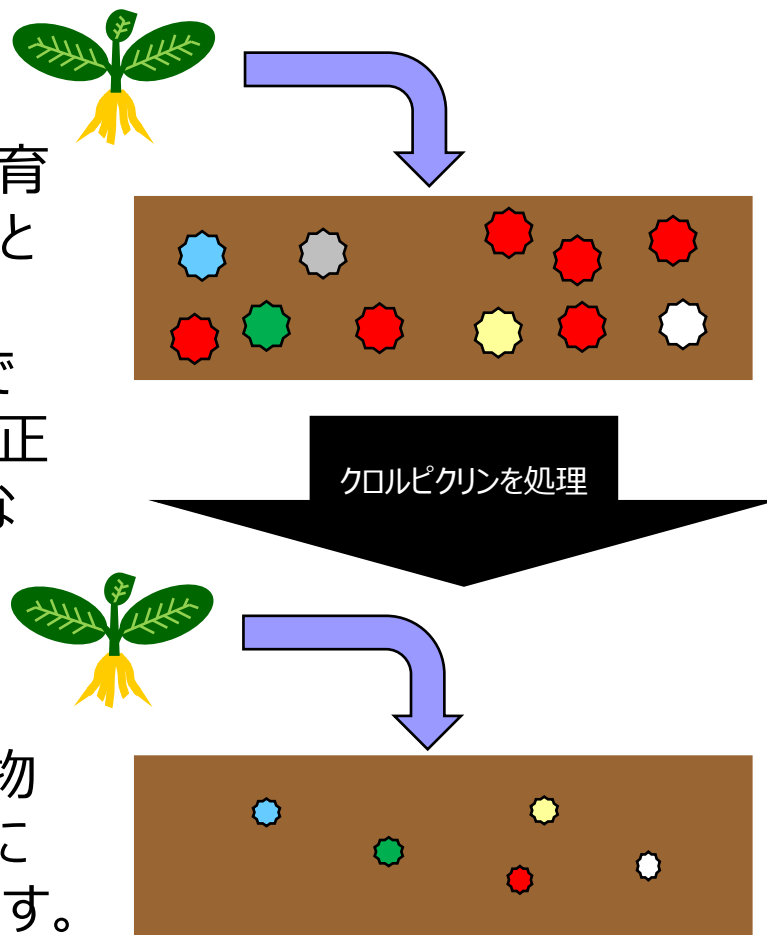


土壌消毒はなぜ必要なのか？ ②

土壌病害は、土壌病原菌が作物の生育にとって無視できない密度まで増殖することで、発現します。

連作等によって土壌病原菌が高密度で存在する圃場に作物を植えると、作物は正常な生育ができず、収量や品質に甚大な影響を与えることになります。

クオルピクリンを処理し、土壌中の微生物の密度を低下させることで、土壌病原菌による作物への被害を防止することができます。



【参考】土壌病害による作物被害の例

土壌消毒剤
半量処理



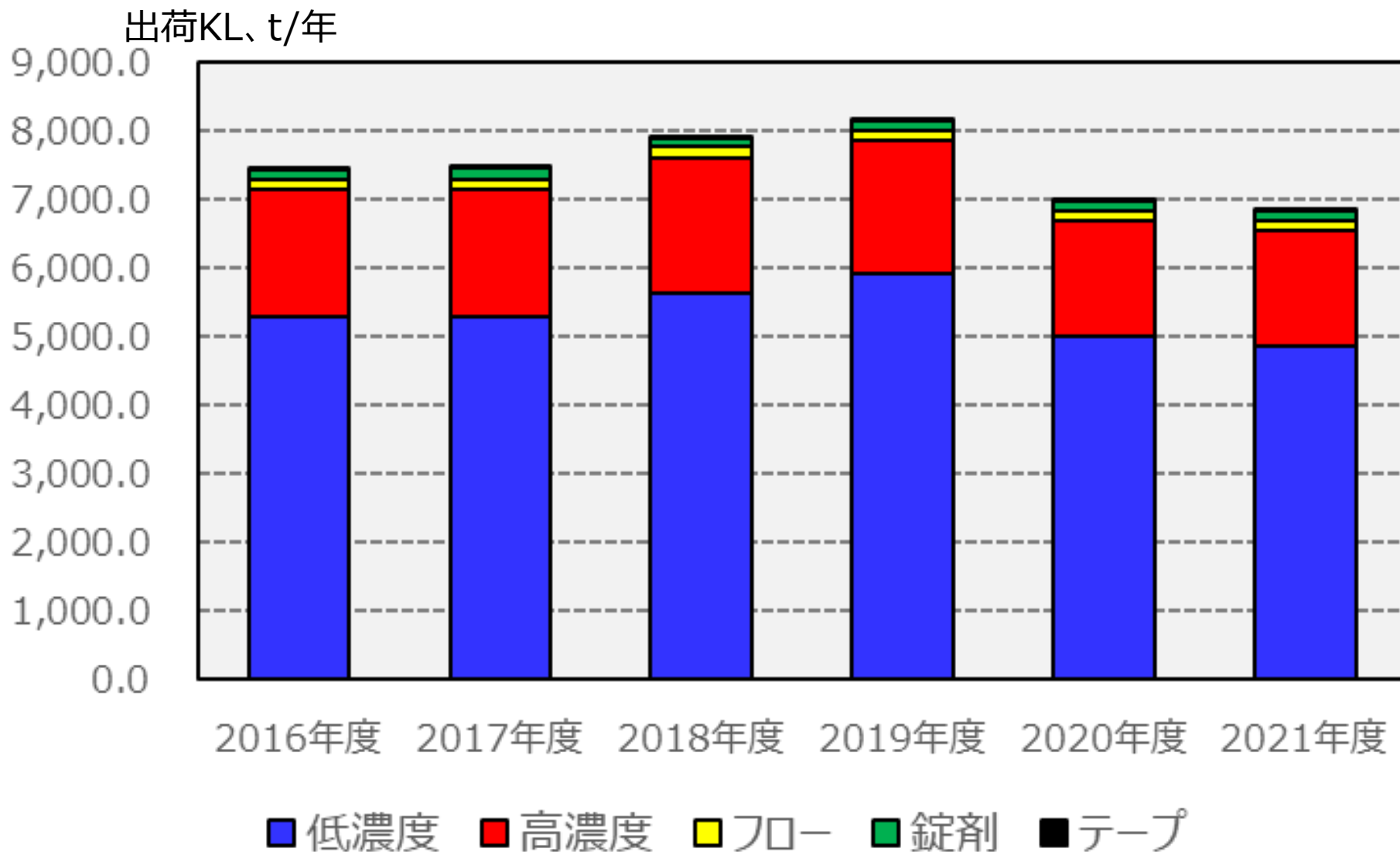
土壌消毒剤
全量処理



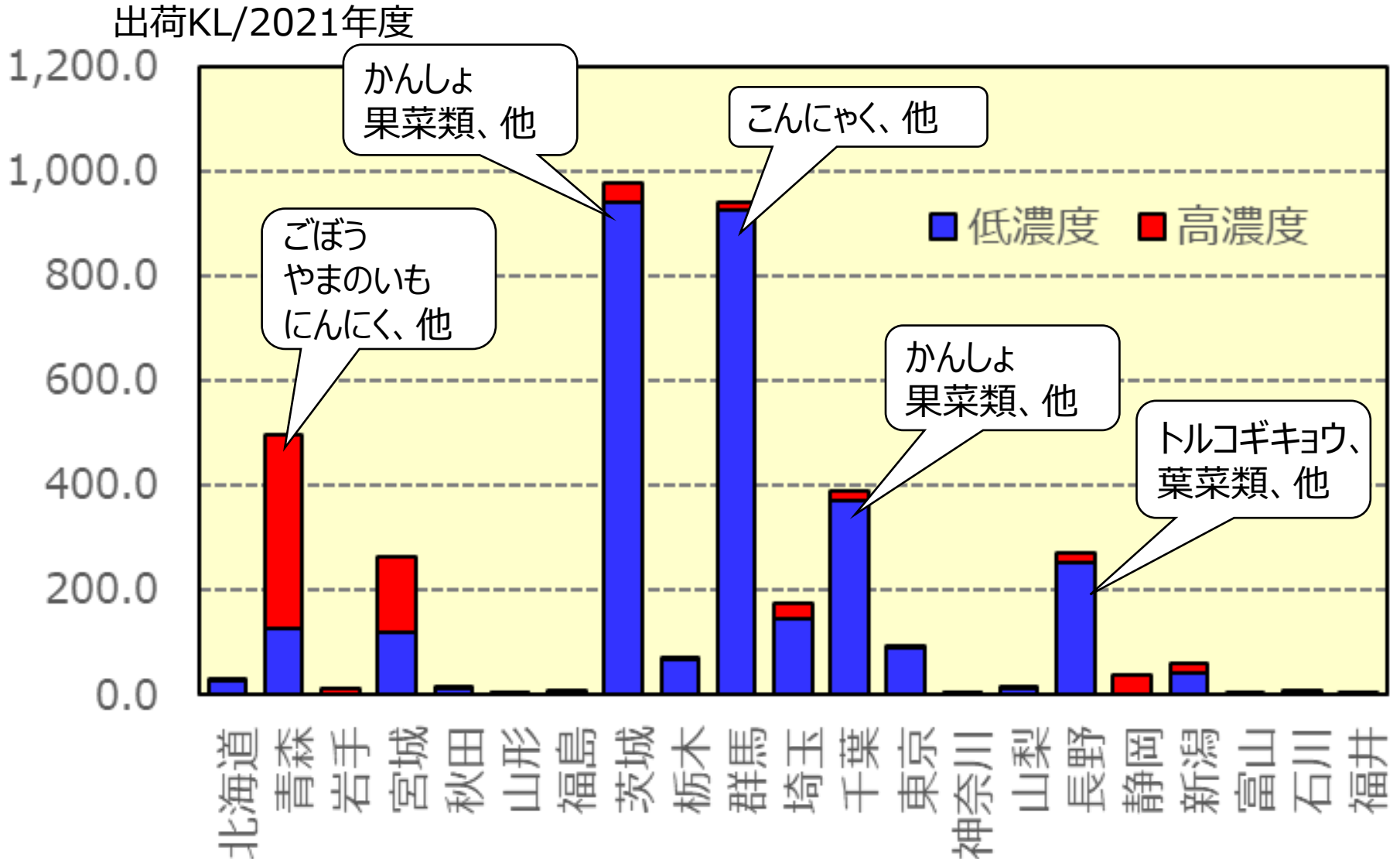
メロンえそ斑点病※（2014年 秋田県大潟村）

※ *Olpidium*属菌に寄生する*Melon necrotic spot virus*によるウイルス病害 。

クロピクリン剤のマーケット（年次変動）

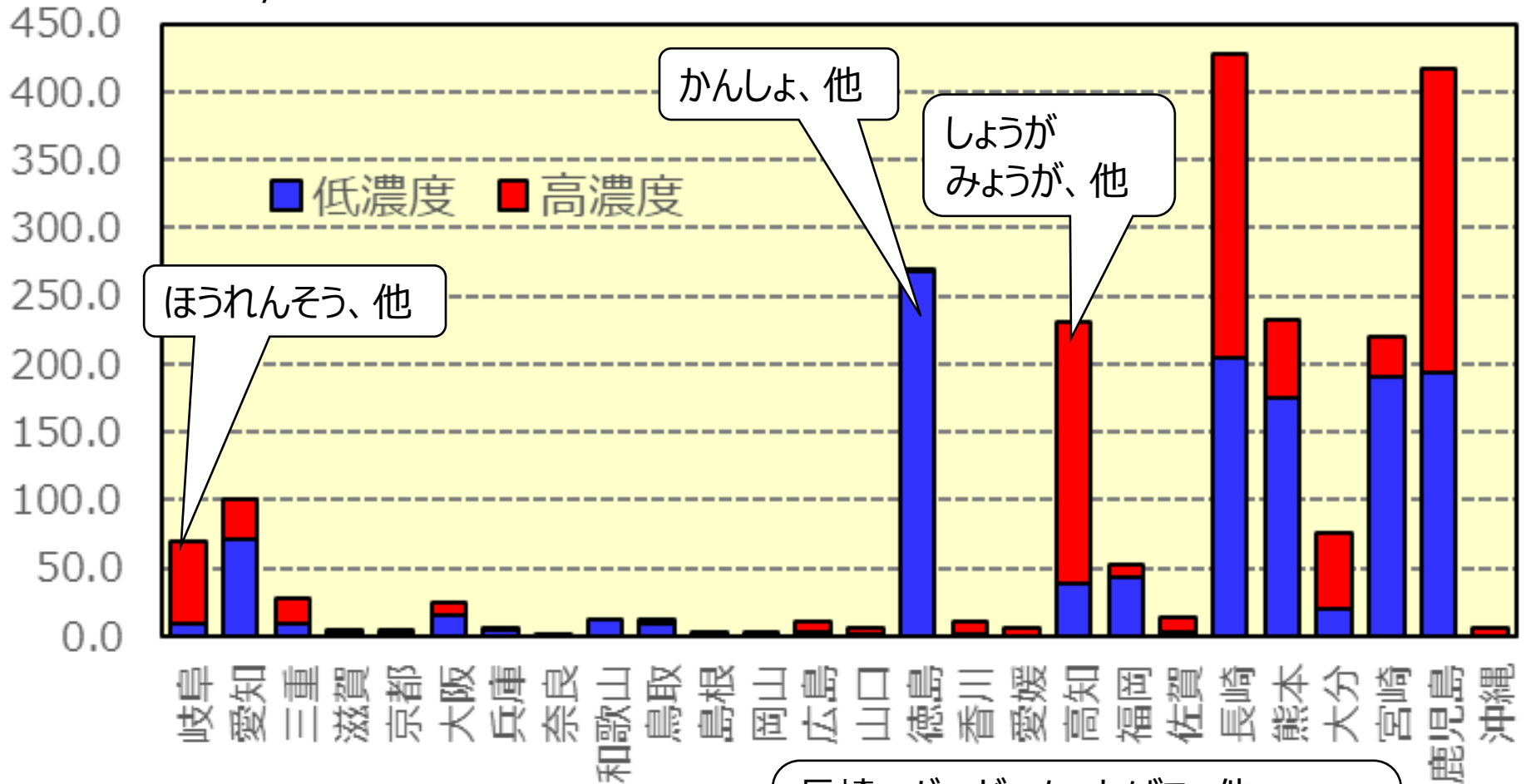


クロピクリン剤のマーケット（北海道、東北、関東甲信、北陸）



クロピクリン剤のマーケット（東海、近畿、中国、四国、九州）

出荷KL/2021年度



ほうれんそう、他

かんしょ、他

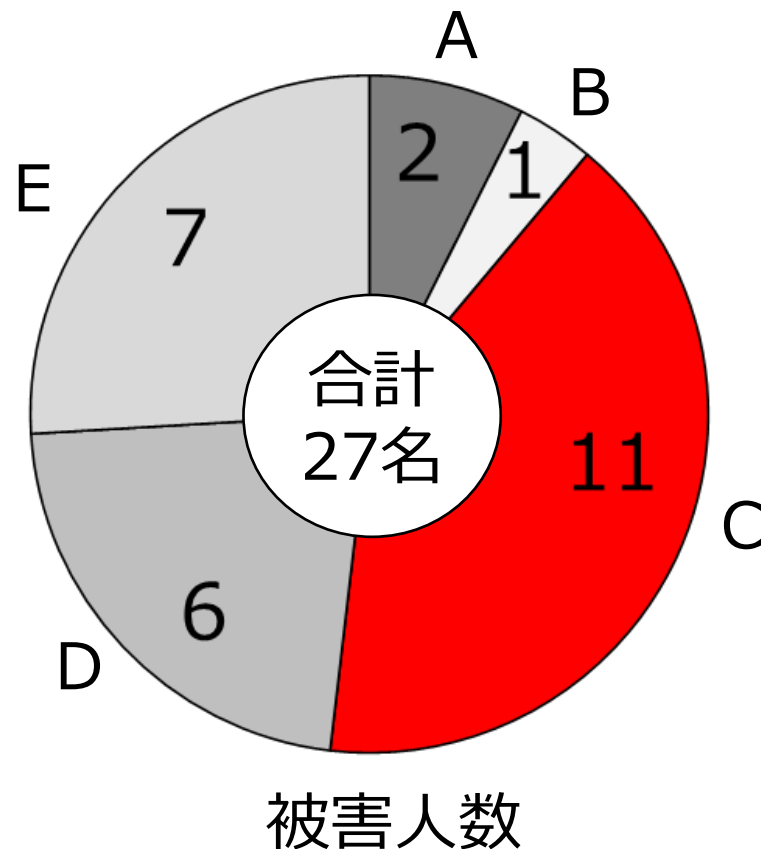
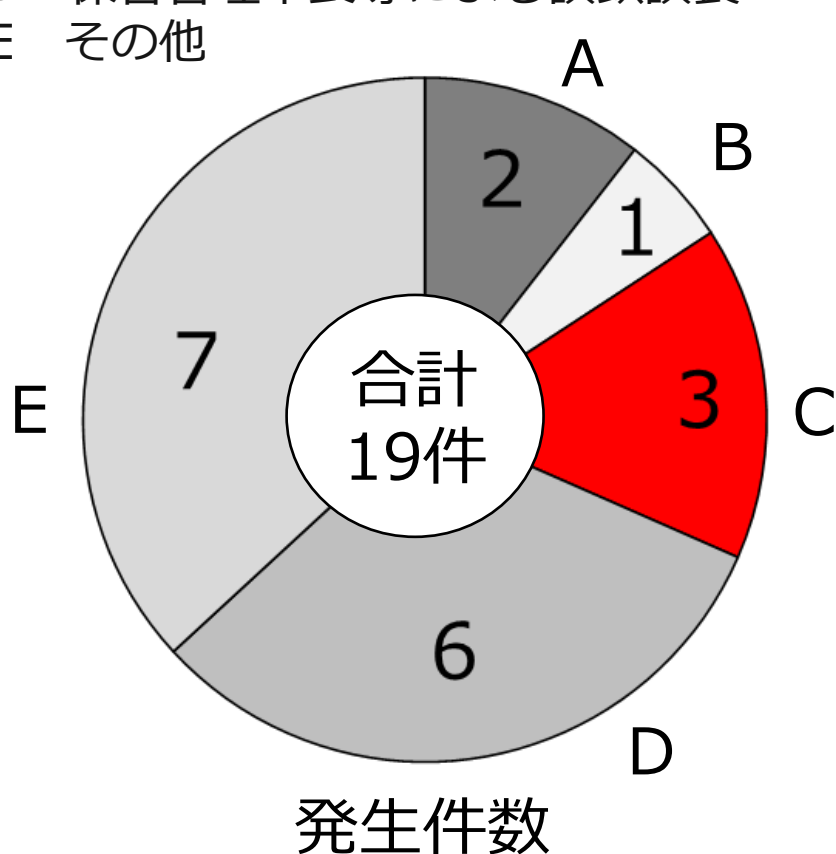
しょうが
みょうが、他

長崎：じゃがいも、たばこ、他
 熊本：たばこ、果菜類、他
 宮崎、鹿児島：かんしょ、他

農林水産省から発表された農薬事故の発生状況

農薬の使用に伴う事故及び被害の発生状況件数と被害人数（令和3年度）

- A マスク、メガネ、服装等の装備が不十分
- B 強風中や風下での散布等、自らの不注意により本人が暴露
- C 被覆が不十分であった等、農薬使用後の作業管理の不良
- D 保管管理不良等による誤飲誤食
- E その他



クロルピクリン工業会による事故対応事例

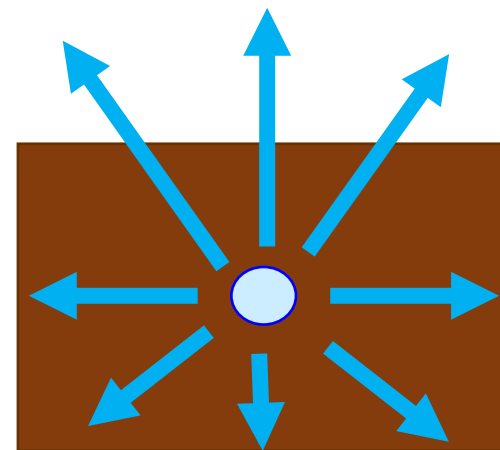
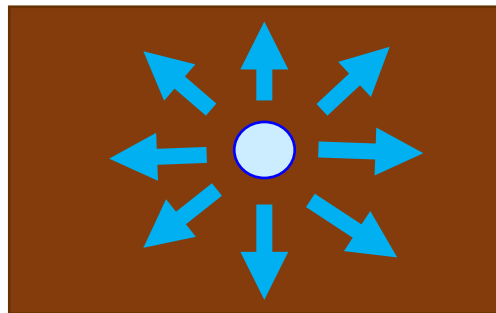
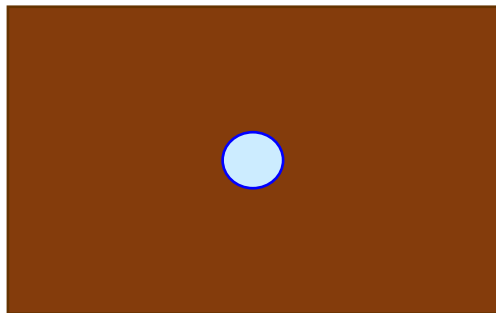
2022年10月～2023年9月に発生した事故への対応事例

発生月	発生県	内容	対応
10月	埼玉	消毒機からクロルピクリンが飛散し、一部が作業者の目に入った。	飛散部分の被覆を指示し、病院に搬送された作業者の状態を確認。後日、回復とのこと。
3月	福島	清掃センターで、不燃ごみとして不法廃棄された農薬瓶からクロルピクリンが揮散した。	現場に急行し検知管で揮散状況を測定。問題がないことを確認の上、瓶の適切な処理を要請した。
3月	千葉	無被覆のかんしょ圃場からクロルピクリンが揮散し、周辺住民が目の痛み等を訴えた。	県の指導で速やかに被覆されたことで、周辺影響について確認・助言した。市、管内JAにチラシ提供。
4月	千葉	市内にクロルピクリンらしき農薬缶が不法投棄されていた。	現場に急行し投棄缶の内容が水で薄まったクロルピクリンであることを確認した。産廃業者での処理を要請。あわせて、投棄缶の出荷先に関する情報を提供。

※クロルピクリン工業会には問合せはなかったが、4月には千葉県香取市で、無被覆による臭気被害事例が発生している。

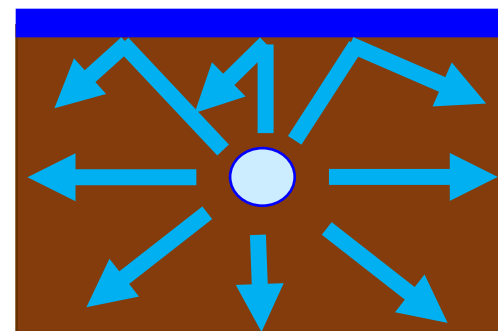
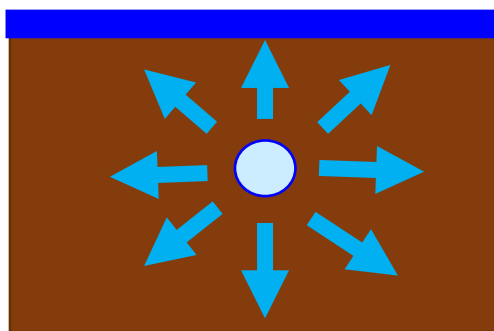
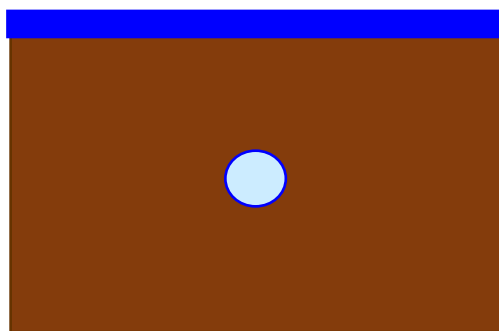
クロルピクリンの処理後の挙動（模式図）

<被覆をしなかった場合>



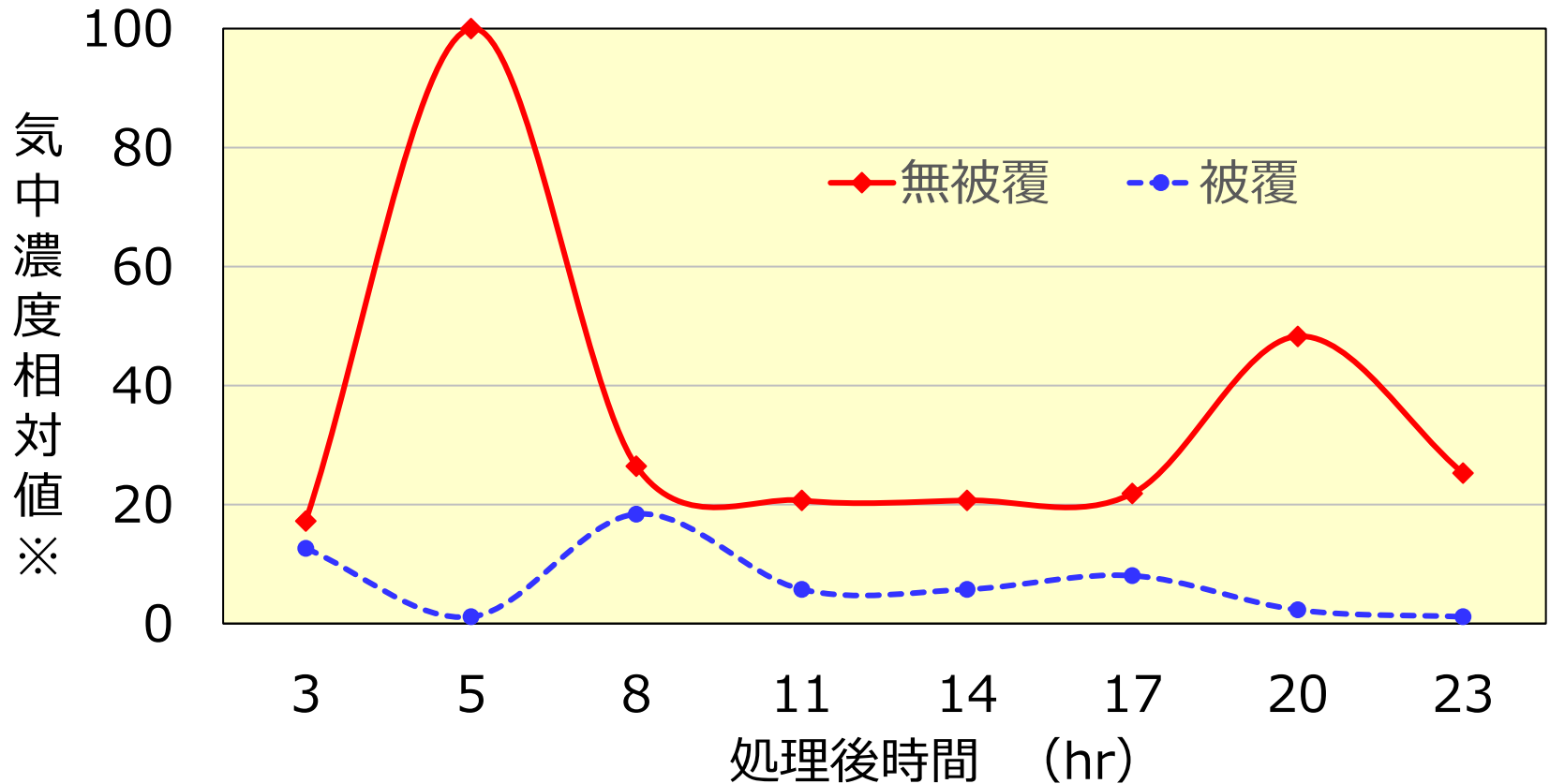
大気中に放出された有効成分は効力に結びつかず、人畜に危害を及ぼす可能性もある。

<被覆をした場合>



大気中へ有効成分の放出が抑えられ、より多くの有効成分が土壤中で拡散する。

被覆の有無によるクロルピクリン気中濃度の差異

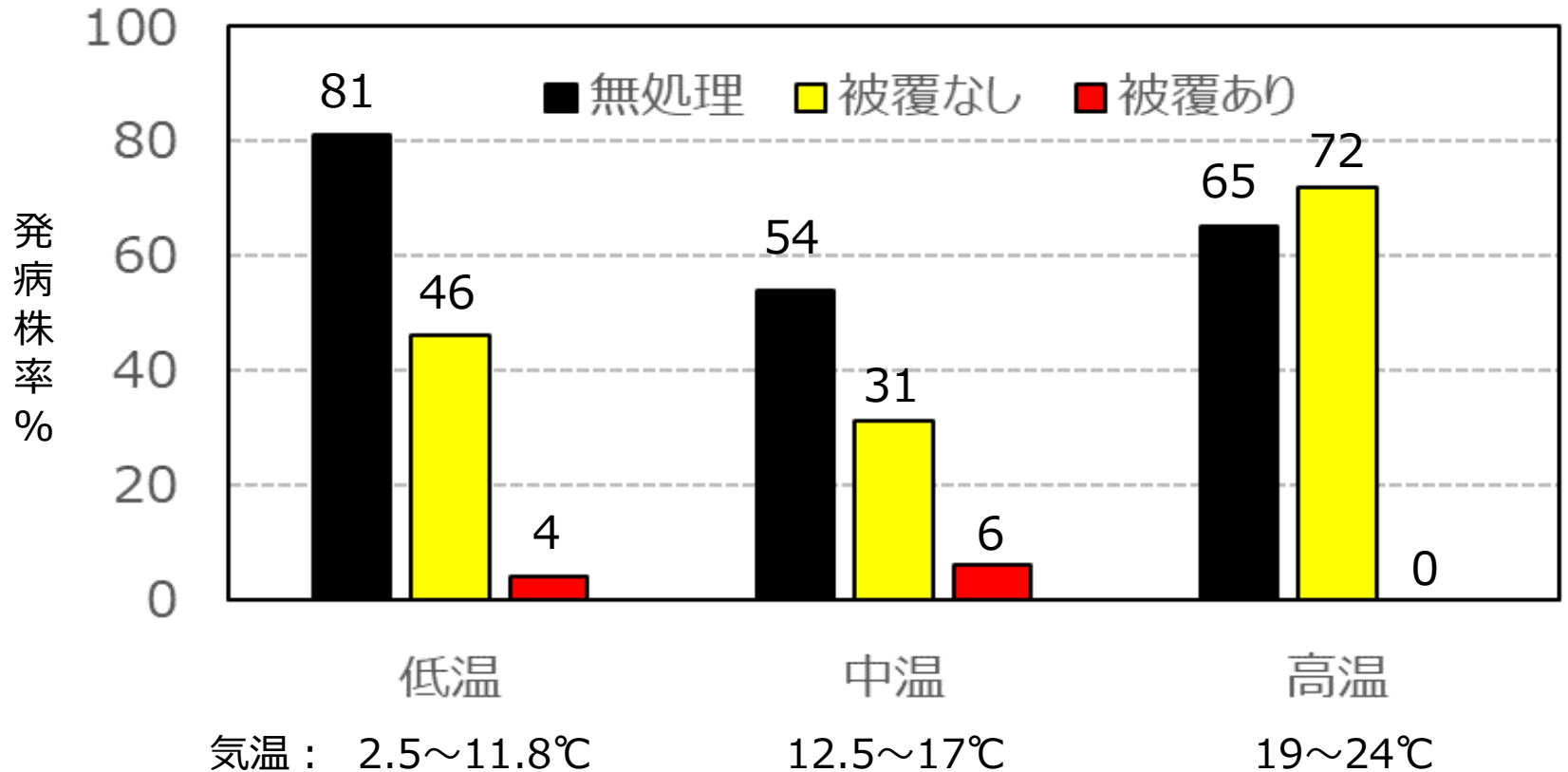


1992年 社団法人日本くん蒸技術協会による「クロルピクリン土壌くん蒸における環境調査」の結果より

被覆厚：0.02mm、気中濃度：土壌（シート）表面近くの気中濃度

※縦軸は、無被覆の気中濃度最大値（処理5時間後）を100とした場合の気中濃度相対値

被覆の有無による病害防除効果の差異



きゅうり つる割病 (*Fusarium oxysporum*) に対する効果
(1964年、東京農試研報3、P.52~63、阿部ら)

被覆することは、効力の最大化につながる。

安全使用6つのポイント、漏洩時対応4つのポイント

<安全使用6つのポイント>

- ① 処理後は必ず被覆する（ポリエチレンシート0.03mm以上）
- ② 周辺に配慮（周辺への周知、風向き、温度、住宅・畜鶏舎に配慮）
- ③ 防護装備を正しく着用
- ④ ハウスでは換気と被覆
- ⑤ 薬剤は使い切り、使用後は正しく処分
- ⑥ 鍵のかかる場所に保管

<漏洩時対応4つのポイント>

- ① 防護マスク等の保護具を用意する
- ② 漏れを広げないため、砂、土、古布等に吸わせる（散水はNG！）
- ③ 臭いを広げないため、ポリエチレンシート等で覆う
- ④ 漏洩缶をポリ袋等に入れ密封する

クオルピクリンに関連する法令

法令	内容
農薬取締法	・使用方法、使用時期等を規定
食品衛生法	・残留基準値の設定、等
毒物及び劇物取締法	・医薬用外劇物に相当（第二条別表第2劇物）
消防法	・届出を要する物質※1 ・可燃性液体類（80%液剤）※2
その他	・水質汚濁防止法、廃棄物の処理及び清掃に関する法律、等

※1：クオルピクリンは危険物に該当しないが、火災時有毒なガスを発生する等、消火活動を阻害する物質として指定され、200kgを超えて貯蔵または取扱いを行う場合は、あらかじめ所轄消防署長に届け出なければならない。

※2：80%液剤の2,000 L以上の貯蔵もしくは取扱いは、市町村条例で規定。

（被覆を要する農薬の使用）

第八条 農薬使用者は、クオルピクリンを含有する農薬を使用するときは、農薬を使用した土壌から当該農薬が揮散することを防止するために必要な措置を講じるよう努めなければならない。

平成十五年農林水産省・環境省令第五号「農薬を使用する者が遵守すべき基準を定める省令」（平成十五年農林水産省・環境省令第五号）から抜粋

施行日： 令和二年四月一日

クロピクリン工業会による安全啓発活動（講習会）

2022年10月～2023年9月に安全指導講習会を実施した都道府県

月	流通機関要望 (29か所)	指導機関要望 (5か所)
12月	兵庫、栃木、福島	
1月	岩手	
2月	北海道地区、東北地区、関東・甲信地区、北陸地区、東海地区、近畿地区、中国・四国地区、岡山	
3月	大分、山形（3か所）	茨城（ひたちなか市）
5月	岡山、鳥取	
6月	静岡（2か所）、新潟	長崎、熊本
7月	富山、北海道、高知、石川、鹿児島、滋賀、佐賀、島根	千葉
9月		島根（出雲地区）

周りに配慮していますか？

クロルピクリンを適正に使用し、 周囲への臭気被害を防止しましょう。



クロルピクリンは農林水産省・環境省令で、被覆を要する農薬に指定されています。

農林水産省・厚生労働省・環境省・都道府県が推進する農薬危害防止運動 令和5年度

農薬は
周りに配慮し
正しく使用

クロルピクリン工業会 | 南海化学株式会社 | 日本化薬株式会社 | 三井化学トップスライフソリューション株式会社 | 後援
TEL:03-3553-7050 | TEL:06-6532-5590 | TEL:03-6731-5321 | ナビダイヤル ☎0570-077557 | 農林水産省、厚生労働省、環境省

令和5年度
農薬危害防止運動ポスター
(農林水産省、厚生労働省、
環境省後援)

引き続き、クロルピクリンの安全使用のご指導を、よろしくお願いいたします。

土壌病害診断 AI アプリ「HeSo+ (ヘソプラス)」の開発

農研機構 植物防疫研究部門 吉田重信

1. はじめに

土壌伝染性病害（土壌病害）は、難防除病害で経済的に大きな被害を与えるだけでなく、近年では圃場の耕作放棄や産地崩壊の契機となることもあり、産地や圃場の持続的生産の維持向上のためには、その対策がますます重要となっている。土壌病害は圃場での栽培期間中に一旦発生するとその後の対策が一般には困難となることから、現地では最悪の事態を回避するために、問題となっている病害に対して有効な土壌消毒剤を管理圃場に画一的に使用する防除（カレンダー防除）が行われることが多い。しかし、この防除法では本来消毒剤を使わなくてもよい圃場にも使用してしまうことがあり、結果的に過剰な作業労力や農薬代などが生じてしまっている。令和3年5月に農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」では、2050年までに目指す姿のKPI（重要業績評価指標）として、「化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減」が掲げられているが、過剰に使用される土壌消毒剤の削減はこのKPIの達成を図る上でも重要である。

土壌消毒剤の使用を低減しつつ、効率的に病害を管理するためには、圃場ごとに栽培前に「土壌病害の発生しやすさ（＝発病ポテンシャル）」を「診断」・「評価」し、防除の必要性の有無や発病ポテンシャルの程度（レベル）に応じた「対策」手段を講じる病害管理法が有効である。こうした管理法の概念は、健康診断を活用した人の健康管理（予防医学）と同じであることから、Tsushima and Yoshida (2012)¹⁾は「健康診断の発想に基づく土壌病害管理」の英語表現（Health checkup based Soil-borne Disease Management）の頭文字を取って「ヘソディム（HeSoDiM）」と命名し、全国の公設試験研究機関などと共同で代表的な土壌病害に対するヘソディムを開発しマニュアル化^{2,3)}した。これまでの実証試験では、ヘソディムの導入によって過剰な土壌消毒剤の使用を回避出来るようになり、防除コストの削減に成功できることも確認されている。このことから、ヘソディムを普及することで土壌消毒剤の使用や防除の効率化が図られ、生産者の収益性の向上に貢献することが期待できる。

筆者らは、ヘソディムに基づく土壌病害管理の普及に資することを目的に、農林水産省の委託プロジェクト研究において、さまざまな圃場条件に応じて土壌病害の発病ポテンシャルをAIで診断・評価し、評価結果に応じた対策を支援するシステムの構築に取り組み、10種の土壌病害に対する診断、対策支援を行うAIアプリ「HeSo+ (ヘソプラス)」を開発した。本稿では、その内容について概説したい。

2. プロジェクト研究の背景

上述のとおり、圃場単位で発病ポテンシャルを診断し、診断結果に応じて対策手段を講じる土壌病害管理法（ヘソディム）は、土壌消毒剤の使用量の削減には有効であり、筆者らはその普及のために主要な土壌病害を対象とした指導者向けのマニュアルを作成・公開してき

た。しかし、これらのマニュアルは、限られた産地または圃場の栽培条件下での試験結果を基に作成されたものであるため、圃場環境や栽培条件が異なる圃場でヘソディムを実践する場合には、作成したマニュアルをベースに、指導者らが中心となって実際の診断対象圃場の条件に応じて臨機にマニュアルの内容を改変して取り組んでもらう必要がある。ところが、近年、特に熟練の指導者が減少しており、マニュアルの改変やそれに基づいた指導も行われにくい状況になっていることが、ヘソディムの普及上の課題となっていた。

このため、多くの圃場でヘソディムによる土壌病害管理を実践してもらうためには、圃場環境や栽培条件に応じて最適な発病ポテンシャルの診断等が簡便に行える新たなシステム作りが必要であり、具体的には、各圃場の条件に適した圃場の発病ポテンシャルの診断および対策を支援する技術の開発や、指導者による診断・対策支援をサポートできる仕組み作りが必要である。こうした課題を解決するアプローチとして、筆者らはAI（人工知能）を活用したデータマイニングによる診断・対策支援技術の開発が有効と考え、農林水産省の支援を受け、13の公設試験研究機関、1大学および民間企業3社と共同でプロジェクト研究（AIを活用した土壌病害診断技術の開発：2017～2021年度）に取り組むこととした。

3. プロジェクト研究の概要

プロジェクト研究では、現地での被害が問題となっている主要な土壌病害のアブラナ科野菜（キャベツ、ブロッコリー、ナバナ）根こぶ病、ネギ黒腐菌核病、バーティシリウム病害（ハクサイ黄化病、キク半身萎凋病）、卵菌類病害（タマネギべと病、ショウガ根茎腐敗病）、トマトおよびショウガ青枯病を対象に、精度よく圃場の発病ポテンシャルを診断できるAIを開発するとともに、AIを活用した診断・対策支援システムを構築することを目標とした。一般に精度の高いAIを開発する上で、用いるデータの量と質の確保はその成否のための重要な要件とされている。そこで本研究では、可能な限り地域や栽培体系が多様な圃場条件下で多くの実証データを収集できるよう、プロジェクト参画機関が既存のマニュアルの内容を基本に各対象圃場の栽培条件に合わせて改変したヘソディムの現地実証を繰り返し行い、その過程で得られる耕種概要情報、土壌の生物性および理化学性等の各種データをデータセットとして整理し、機械学習用データとして用いた。

また、開発したAIを利用するための仕組み作りとして、AIで導出される対象圃場に適した発病ポテンシャルの診断項目（診断方法）、発病ポテンシャル診断結果および発病ポテンシャルに応じた対策技術をユーザーに分かりやすく提示できるインターフェースの開発を行った。さらに、ヘソディムの生産現場での普及を拡大するためには、多くの潜在的ステークホルダーに本インターフェースを利用してもらう必要があり、特に営農指導に携わる民間企業等によるインターフェースを用いた診断・対策支援サービスの事業化につなげることを目指し、その実現のためのビジネスモデルの構築にも取り組んだ。

以上の研究開発を参画メンバー全員で進めた結果、上記の10種の作物病害に対する圃場の発病ポテンシャルを診断し、診断結果に応じた対策を支援できるAIアプリ「HeSo+（ヘソプラス）」を開発した。

4. 土壤病害診断対策支援のための AI アプリ「HeSo+（ヘソプラス）」

「HeSo+」では、発病ポテンシャルを診断する対象圃場をマップ上から選定するとともに診断対象の病害を指定すると、その圃場に適した発病ポテンシャル診断項目が提示される。入力する診断項目には、土壌の分類群、pH などの土壌理化学性情報の他に、前作や周辺圃場での対象病害の発生程度、土壌中の病原菌密度などがあり、それらの中から対象病害や圃場に適した項目が提示されるようになっている。提示された項目に対して実際のデータを入力すると、対象圃場における発病ポテンシャルが3段階のレベル（低：レベル1～高：レベル3）が診断結果として示され、マップ上でも色分けでポテンシャルレベルが識別できるようになっている。また、各発病ポテンシャルレベルに対応した対策技術も提示されるようになっており、その際には、ユーザーの志向性や目指すゴール（①例年どおりの収量確保を最優先とする場合、②増収増益を最優先とする場合、③生産物の高付加価値化を最優先とする場合、④圃場の持続的利用を最優先とする場合）別に最適な手段を提示するようになっている。さらに、「HeSo+」の診断結果に基づき、実際に行った病害管理の結果を入力するフォローアップ機能が実装されており、これらのデータを学習用データとして利用し、AI の性能を向上することができる設計となっている。「HeSo+」のその他の機能として、圃場で発生した病害の症状の写真撮影機能や病害発生箇所の記録機能なども付属している。

5. 「HeSo+」の期待される利用形態

「HeSo+」は、販売代理店の HeSoDiM 普及協議会 (<https://hesodim.or.jp/hesoplus/>) から販売が開始されており、多くの関係者による利用を通じて土壤病害の管理に役立ててもらいたいと考えている。具体的には、生産者と指導者が一緒になって「HeSo+」を使って対象圃場の発病ポテンシャルを診断し、診断結果を基に病害対策の方針や意思の決定に活用してもらいたい。これまでに、ブロッコリー圃場での根こぶ病の対策指導を行っている指導者が「HeSo+」を試用した結果では、「HeSo+」による診断結果に基づいた対策が成功したことに加え、本アプリを通じて生産者と密に病害管理方針の協議ができ、両者で円滑な合意形成が図れる効果があったとの評価が得られている。このように、「HeSo+」は生産者と指導者との間の土壤病害管理に関するコミュニケーションツールとして有用である。

6. おわりに

上述のプロジェクト研究で開発した「HeSo+」の利用にあたっては、予め AI の長所・短所を十分に理解した上で利用をしてもらうことが重要である。一般に AI は、データの複雑な組み合わせや微妙な兆候をとらえたり人が気づかない特徴を探し出すことが出来る利点があるとされているが、その一方で、AI の性能はデータの質・量に依存し、データの中からは学習できず、特殊な事例を見逃すことがあるなどの欠点もある。すなわち、AI は決して万能なものではなく、あくまでも道具の一つとして上手に使いこなすものであるという前提で利用することが重要である。「HeSo+」の利用においては、発病ポテンシャルの診断結果にそのまま従うということはせずに、診断結果を参考に、ユーザー自らが、最終的な病害対策の判断・意思決定を主体的に行うことが大切である。こうした点に留意して「HeSo+」が多くの

関係者で活用され、効率的な土壌病害管理の普及が図られるようになることを期待したい。

本稿で紹介した研究は、農林水産省の委託プロジェクト研究「AIを活用した土壌病害診断技術の開発」(JP17935468)において行ったものである。また、「HeSo+」は、以下に示す共同研究機関の関係各位との共同研究開発の成果であり、その共同開発なくして作り上げることはできなかったものである。関係各位には、この場をお借りして改めて心よりお礼申し上げます。

(共同研究機関)

北海道立総合研究機構 農業研究本部中央農業試験場、宮城県農業・園芸総合研究所、群馬県農業技術センター、千葉県農林総合研究センター、神奈川県農業技術センター、長野県野菜花き試験場、静岡県農林技術研究所、富山県農林水産総合技術センター、岐阜県農業技術センター、三重県農業研究所、香川県農業試験場、高知県農業技術センター、熊本県農業研究センター、東京農業大学、(株)システム計画研究所/ISP、アグロ カネショウ (株)、(株)CTI フロンティア

参考文献

- 1) Tsushima, S. and S. Yoshida (2012) TUA-FFTC international seminar on emerging infectious diseases of food crops in Asia. Abstract, 204.
- 2) 農業環境技術研究所 (現: 農研機構農研機構農業環境研究部門)
<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/hesodim/>
- 3) 農業環境技術研究所 (現: 農研機構農研機構農業環境研究部門)
<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/hesodim2/>

低濃度エタノールによる土壌還元消毒

農研機構農業環境研究部門 堀田 光生

1. はじめに

近年、持続可能な食料システムの構築に向け、環境に負荷をかけない農業技術の開発が強く求められてきている。農林水産省が令和3年5月に策定した「みどりの食料システム戦略」では、2050年までに目指す姿として化学合成農薬使用量の50%低減を目標に掲げている。土壌病害虫対策として一般的に用いられる土壌くん蒸剤（クロルピクリン、D-D、MITC等）は、化学合成農薬使用（リスク換算）の半分以上を占めることから、目標達成には、これらを代替する技術の開発・普及が急務になってくると考えられる。代替技術として、これまで蒸気消毒、熱湯消毒、土壌還元消毒、太陽熱消毒等が考案・実施されてきているが、中でも土壌還元消毒は他の消毒法に比べて低い温度条件でも安定した消毒効果が得られることから、2000年代以降、国内、海外で急速に普及が進んでいる（新村2004、竹内2004、村本2015、門馬2017）。用いる資材として、米ヌカ、小麦フスマ、稲ワラ、低濃度エタノール、糖蜜、糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材、焼酎廃液等、様々な種類の有機物が使用されているが、今回は、その中でも低濃度（1%（v/v）以下）のエタノールを用いた土壌還元消毒に焦点を当てて説明していきたい。

2. 土壌還元消毒とは

土壌還元消毒とは、還元状態（酸欠状態）を人工的に作り出すことで、土壌中に生息する病害虫（植物病原糸状菌・細菌、植物寄生性センチュウ等）を死滅させる方法である。

処理方法としては、①液体の有機物（エタノール、糖蜜等）を用いる場合、土壌表面を農業用フィルム（農ビ、農ポリ）で全面被覆し、周辺に水枕等を設置して空気の混入をできるだけ防ぐ状態を作る。その後、液体資材を液肥混入器や動力噴霧器等を用いて一定濃度（0.5～1%程度）に希釈しながら灌水チューブで圃場全体にムラなく灌水する（30～150L/10a、必要な灌水量は用いる資材、土壌の種類や圃場の状態により異なる）（図1）。②固形（米ヌカ等）の有機物の場合、圃場全体に一定量（1～2t/10a程度）を混入後、同様に被覆、灌水（100L/10a以上）し、（灌水してから被覆しても良い）、2週間以上そのまま静置する。灌水設備等が整備されている施設や圃場では、既存の機材を用いることで比較的簡便に処理を行うことができると考えられる。

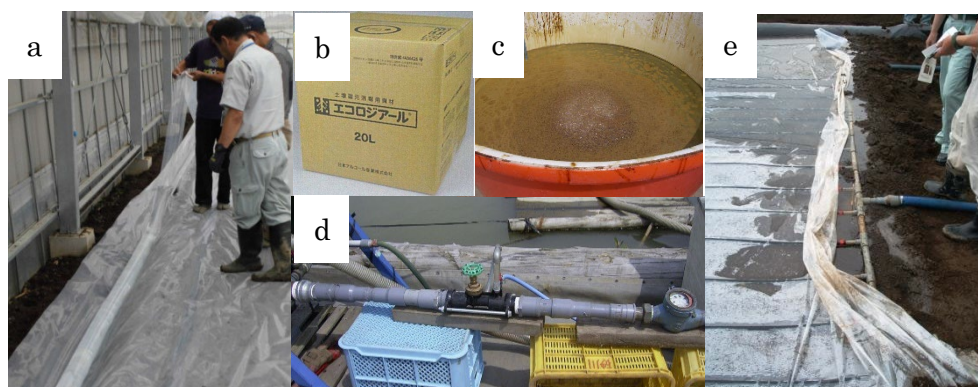


図1 液体資材を用いた処理方法（a 被覆、水枕設置、b エタノール資材、c 糖蜜、d 液肥混入器、e 灌水処理）

エタノールを 1%程度の濃度に希釈して灌水処理する場合、希釈液自体に消毒効果は無く、あくまでも土壌が還元化されることで効果が得られるため、農薬には該当しない（一般的に言われるエタノール消毒とは異なる）。

有機物を混入・灌水し、土壌表面を被覆すると、土壌中の微生物の活動が活発になり、有機物を栄養分として利用するために土壌中の酸素を消費し、また大気中からの酸素流入がフィルム被覆で遮断されるため、土壌中が還元状態になる。還元状態（酸欠状態）が長期間維持されると土壌中の病害虫の密度が低下するとともに、酸素の無い状態を好む微生物種（嫌気性細菌）が特異的に増殖し、これら微生物の一部が酢酸、酪酸等の揮発性有機酸を土壌中に生成・蓄積する。同時に、土壌から二価鉄 (Fe^{2+}) や二価マンガン (Mn^{2+}) 等の殺菌性を有する金属イオンが土壌中に溶出してくることが確認されている (Momma et al. 2011)。土壌中の酸素を水素に置換して還元状態にする、または揮発性有機酸を土壌に添加するだけでは病原菌に対する消毒効果があまり得られないことから、これら複数の要因が協同的に働くことにより還元消毒効果が得られると推測されている (門馬 2022) (図 2)。

上記の通り、還元消毒は土壌中の微生物が重要な役割を果たすため、その活動が活発になる地温が高い条件が適していると考えられる。これまでの試験結果では、処理期間中に 30°C 以上の地温が常に維持されると安定した消毒効果が得られていることから、国内では主に夏場の暑い時期に実施されている (新村 2004、Momma et al. 2013)。施設内で処理する場合、一定以上の温度が維持できれば時期を選ばず実施可能と考えられ、実際、北海道の周年栽培施設で時期を問わず行われている例がある。

還元消毒では、用いる有機物の種類によって消毒効果に違いがみられる。すなわち米ヌカ等の固形資材の場合、混入可能な深さまでしか還元消毒効果が得られないことが多く、土壌の深いところに生存する病害虫（青枯病菌等）に対しては、例えば深耕ロータリーを用いて混ぜるなどの工夫が必要になってくる (小松ら 2006)。一方、エタノール等の液体資材、糖含有珪藻土等では、水と一緒に有機物が土壌中にしみ込むため、固形資材に比べ扱いやすく、特にエタノールは粘性が低いため、糖蜜等より土壌深くまで届いて消毒効果が得られやすいと考えられる (農研機構農業環境変動研究センター2021)。

3. 圃場での実証試験

2012年に還元消毒用エタノール資材が上市されてから、筆者らのグループでは、北は北海道から南は沖縄までの国内各地で低濃度エタノール土壌還元消毒の圃場実証試験を実施または実施に協力している (表 1、表 2)。対象作物としては主にトマト、ミニトマト、キュウリ、イチゴ、メロン、ショウガ等の野菜の他、トルコギキョウ、ガーベラ等の花き類で、対象病害としては土壌伝染性の細菌病 (ナス科・ショウガ科・花き類青枯病、花き類萎凋細菌病等)、糸状菌病 (トマト萎凋病、トマト根腐萎凋病、トマト褐色根腐病、イチゴ萎黄病、メロン黒点根腐病、ショウガ根

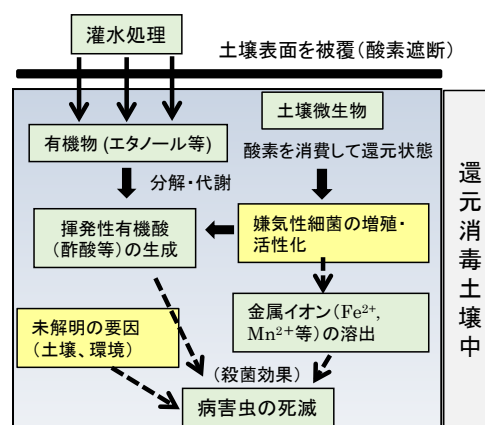


図2 土壌還元消毒メカニズム(仮設)

茎腐敗病、ホモプシス萎凋病、白絹病、疫病等)、植物寄生性センチュウ (ネコブセンチュウ等) 等が挙げられる (門馬 2017)。

化学合成農薬(くん蒸剤、7万円/10a以下)と比較して、エタノール資材費が高いこともあり、収益率の高い作物かつ施設栽培での実施が大半であるが、2016年以降は露地ショウガ畑でも実施されている(農研機構 2021a)。

生産者が還元消毒を実施した理由としては、化学合成農薬をなるべく使用したくない(無農薬・減農薬栽培)というのがあるが、化学合成農薬やそれ以外の消毒方法を用いても被害がなかなか軽減できないので試してみたい、都市近郊農業地域で近くに民家等があるため化学合成農薬を使用しにくい等も挙げられている(門馬 2017)。

筆者らのグループでは要請があった場合、可能な限り現地圃場を訪問し、圃場の状況(土壌の種類や状態、栽培履歴、近年の被害の状況、灌漑設備・液肥混入器等の有無やその能力、暗渠・用水路等排水状況、使用する被覆フィルム・灌水チューブ等の資材の確認)および周辺の状況(周辺での作物栽培や被害の有無)等を見学・調査している。また、土壌を採取用具で採取して、病害虫密度やそれらの分布状況を調査し、圃場に適した処理条件を設定・提案するようにしている。実証試験を開始した時点では、圃場の状況に関係無く、一定の条件(エタノール濃度1%以上、灌水量100L/10a以上)で行っていたが、土壌の種類や状態、病害虫の種類に応じて、エタノール資材量や灌水量を減らしても十分な消毒効果が得られることがわかってきたためである。

例えば、青枯病対策で試験を行う場合、病原菌が土壌の深部まで生存している場合が多いため、まず深さ60cm程度までの土壌を土壌採取器で複数箇所採取し、病原菌の有無やその密度を高精度・高感度なBio-PCR法(井上・中保 2015、農研機構 2021b)および選択培地を用いて調査している。深部に生存していた場合、深さ60cm程度までの土壌空間がエタノール希釈液で充満する条件を、三相分析(気相、液相、固相)結果および土壌の種類に応じて設定している。他の資材では、湛水状態になるまで灌水する事を基準にしている場合が見られるが、エタノール資材を設定した条件で処理すると、表面が濡れている程度で、必ずしも湛水状態にならなくても十分な場合がみられる。処理中は温度計付きの酸化還元電位(Eh)計を深さ20cm、50cmに設置して、地温と電位の変化を確認している。処理後に、同じ土壌採取箇所の菌密度を調査し、消毒効果を評価している(農研機構 2021a, b)。

これまでの試験事例の一部は、技術資料(農業環境技術研究所 2012)、標準作業手順書(別冊)(農研機構 2021b)等で公開している。一連の活動の中では、期待した防除効果が得られ、2作

表1 低濃度エタノール土壌還元消毒実証試験対象作物

トマト、ミニトマト、レタス、イチゴ、チンゲンサイ、メロン、アスパラガス、スイカ、インゲン、ピーマン、シントウ、ナス、ハウレンソウ、キュウリ、サツマイモ、セルリー、ゴボウ、ミズナ、ダイコン、ヤマノイモ、カボチャ、ニガウリ、コマツナ、ショウガ、ミョウガ、ストック、トルコギキョウ、ガーベラ、カーネーション、ソリダゴ、マカ

門馬(2017)の報告に追記

表2 低濃度エタノール土壌還元消毒実証試験対象病害虫

ネコブセンチュウ、ナス科・ショウガ科・花き類青枯病、トマト萎凋病、トマト根腐萎凋病、トマト褐色根腐病、トマトかいよう病、イチゴ萎黄病、イチゴ炭疽病、メロン黒点根腐病、ウリ科つる割病、ハウレンソウ萎凋病、花き類萎凋細菌病、ショウガ根茎腐敗病、花き類萎凋病・立枯病、ホモプシス萎凋病、白絹病、半身萎凋病、疫病 他

門馬(2017)の報告に追記

以上発病が見られなかったり、再発しても被害が大幅に軽減されている例が多数見られる。一方、期待されるような効果が得られなかった事例もある。その原因としては、①十分な地温が確保できない時期に実施した、②処理前の土壌の状態が還元消毒に適していなかった（土壌が乾燥し過ぎていたり、傾斜があったり、硬盤が出来ていて灌水が不均一になり処理ムラが生じた、水抜けが良すぎて還元状態が形成されにくかった、地下水水位が高い時期に実施した）等が挙げられる。このような問題については、可能な限り原因を明らかにして実施者に伝え、次回行う時の参考にしてもらうようにしている。

4. 今後の展開と課題

低濃度エタノール等を用いた土壌還元消毒技術については、これまで多くの関連する学会、研究会、講演会、新聞記事、web（農研機構 2021c）等の場で紹介されているが、現時点でも生産者に認知されていなかったり、知っていても実施している現場を身近に見たことが無いため、実施することをためらったり、適切な処理方法がわからなくて取り組みを諦めてしまっている生産者も多数いるのではと予想される。そこで筆者らのグループでは、実施地域で最初に試験を行う場合には、可能な限り、生産組合等を対象とした技術説明会や現地検討会を実施して、取り組みやすい環境を提供するようにしている。また、実施者や生産組合だけでなく、現地のJA、普及所、公的試験研究機関、関連する民間団体等にも参加や協力を依頼し、処理後の栽培試験結果についての報告会を行う等、多くの方と知識や経験を共有する事で技術普及が進むのではと考えている。

技術的な課題としては、①低温条件で安定した消毒効果を得る方法の検討、②消毒効果が安定しない圃場（土壌の種類や状態）での処理方法の改善、③処理費用の低減等が挙げられる。①については前述の通り、低温条件で還元消毒効果が安定しない事が多く、例えば北海道・東北等の地域では作物栽培時期と処理好適時期が重なり、処理のために一作休む必要が出てくる場合がある。それ以外の地域でも、作物の種類によっては栽培体系に組み込む事が困難な場合も多く見られる。その解決のためには、今後、土壌還元消毒メカニズムを解明し、関連する微生物の役割や機能を明らかにすることで改善につながるヒントを得る必要があると考えている。②については、試験土壌の物理的・化学的・生物的特徴は圃場でそれぞれ異なり、それに合わせて処理条件を変える必要があると考えられ、化学合成農薬のような均一な処理条件の設定は難しいと思われる。これについては今後も試行錯誤しながら試験事例を積み重ねて、改善方法を模索していくしかないと考えている。③については、引き続き処理条件を検討する中でコスト低減に努力する必要があるが、これまで還元消毒を実施した圃場では再汚染の影響を受けにくく、持続的な効果が得られる事例が多いこと、および収量性の面でも負の影響は見られていないことから、生産者に長期的な視点で費用対効果を認識してもらう事も大事であると考えられる（門馬 2017、農研機構 2021a）。

5. おわりに

土壌還元消毒技術自体は、発明されてから 20 年程度の比較的新しい技術であり、今後も試験事例の積み重ねやその消毒メカニズムの解明が進むことで、技術的な改善が進み、より生産者が取り組み易い技術になっていくと予想される。化学合成農薬では、説明書に記載された条件に沿

って処理することで一定の効果が得られるが、還元消毒はそれに比べてオーダーメード的な側面が多く、また消毒処理後の健全な状態を維持していくには圃場衛生管理にも気を配る等、生産者や関係者が知恵を働かせて工夫していく必要があります、面倒な点もあるが、やりがいのある技術ではないかと考えられる。最後に本発表を行うに当たり、圃場実証試験等にご協力・ご支援頂いた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井上康博・中保一浩 (2015) 最確数 (Most Probable Number) と Bio-PCR 法を応用した、MPN-PCR 法による青枯病菌の高感度定量検出法、植物防疫 69:439-443.
- 2) 小松勉・松澤光弘・堀田治邦 (2006) 深耕還元消毒と抵抗性台木によるトマト青枯病の防除、北日本病虫研報 57:42-46.
- 3) Momma N. et al. (2011) Fe²⁺ and Mn²⁺, potential agents to induce suppression of *Fusarium oxysporum* for biological soil disinfestation. *Journal of General Plant Pathology*, 77:331-335.
- 4) Momma N. et al. (2013) Development of biological soil disinfestations in Japan. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97:3801-3809.
- 5) 門馬法明 (2017) 土壌還元消毒の普及の現状と今後の展望、土と微生物 71:24-28.
- 6) 門馬法明 (2022) 土壌微生物の力を活用した土壌還元消毒法、土と微生物 76:59-62.
- 7) 村本讓司 (2015) 土壌の健全性評価：米国の有機イチゴ栽培から、土と微生物 69:65-74.
- 8) 農業環境技術研究所 (2012) 低濃度エタノールを利用した土壌還元作用による土壌消毒技術技術資料 <https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/ethanol/#manual2>
- 9) 農研機構 (2021a) 圃場・種イモの診断に基づくショウガ青枯病防除標準作業手順書 (ver.1.1). https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/SOP20-404K20210426.pdf
- 10) 農研機構 (2021b) 圃場・種イモの診断に基づくショウガ青枯病防除標準作業手順書 (別冊). https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/SOP20-404KB20210426.pdf
- 11) 農研機構 (2021c) NAROchannel 土壌還元消毒 低濃度エタノール編. <https://www.youtube.com/watch?v=QO0VfJV9OPw>
- 12) 農研機構農業環境変動研究センター (2021) 低濃度エタノールを利用した土壌還元作用による土壌消毒実施マニュアル (第 1.2 版). https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/ethanol_12.pdf
- 13) 新村昭憲 (2004) 還元消毒法の原理と効果、土壌伝染病談話会レポート 22:2-12.
- 14) 竹内妙子 (2004) 千葉県における土壌還元消毒法による土壌病害防除、土壌伝染病談話会レポート 22:13-21.



TECHNOLOGY THAT CAN REDUCE FUMIGANT RATES AND INCREASE EFFICACY

Steve Godbehere



**WORLDWIDE
SOIL HEALTH &
SOIL FUMIGATION
EXPERTISE**

Family of Companies and Worldwide Subsidiaries with a presence in the Americas, Western Europe & the Mediterranean, Australia, New Zealand, Africa, and developments in Japan, China, and Southeast Asia.





FULL SERVICE SOIL SOLUTIONS

1. Soil fumigation
2. Professional application
3. Equipment innovation
4. Chemical and biological diagnostics
5. Grafted plants
6. Irrigation & fertilization
7. End to end product stewardship



OCTOBER 2022

TRIP TO JAPAN



Off-Gassing Incidents

Japan & North America Rate Comparison

Methyl Bromide era Fumigation Equipment

Use of Low-Density Polyethylene (LDPE) Field Tarp versus Totally Impermeable Film (TIF) Field Tarp

Use of Bed Mulch on Crops that do not use Bed Mulch in North America



DIFFERENCES BETWEEN JAPANESE AND NORTH AMERICAN FUMIGATION SYSTEMS



KNIFE LENGTH AND DEPTH

DRUMS (20L) WITH PULSE PUMP VERSUS
PRESSURIZED CYLINDERS

UN-TARPED APPLICATION IN NORTH
AMERICA VERSUS JAPAN



THE ADOPTION OF T.I.F. FILMS IN PLACE OF L.D.P.E.

Film and Fumigation Company
Cooperation

Tarp Glue Joining System
Development (TIF Products)

Video: Hot Glue System (Side)



Video: Hot Glue System (Front)



STRATEGIES THAT INCREASE EFFICACY AND REDUCE FLUX (OFF-GASSING)

GOOD AGRICULTURAL PRACTICES:

Soil Moisture Throughout the Bed



STRATEGIES THAT INCREASE EFFICACY AND REDUCE FLUX (OFF-GASSING) (continued)...

Minimal Trash and Plant Residue for
Fumigant Escape

Minimizing End of Row Drip with Check
Valves / Blow-Outs

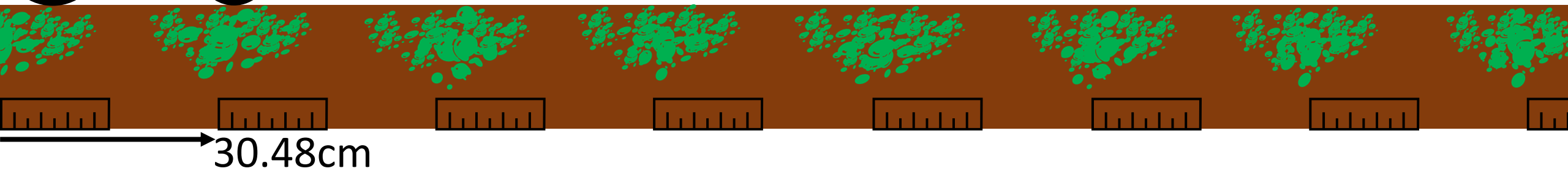
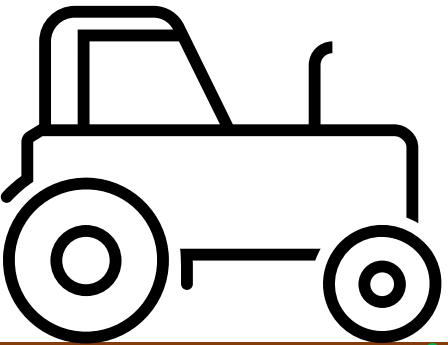
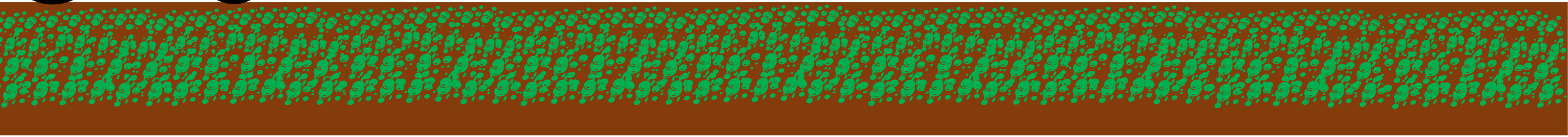
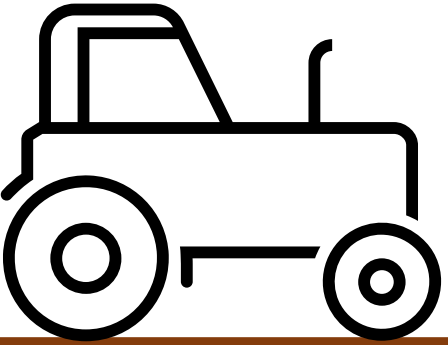
Light Topical Irrigation if Possible

Continuous Flow vs. Pulse



CONTINUOUS VS. PULSE APPLICATION

Click to Start
Animation





CLOSING
THE CHISEL
TRACE



**STRATEGIES THAT INCREASE
EFFICACY AND REDUCE FLUX
(OFF-GASSING)** (continued)...



Bed Shaping & Packing

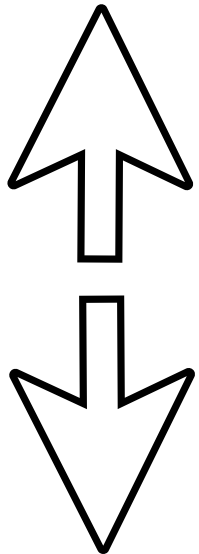
Mole Knife

Fumigant Depth (Below Target Pathogens)

JAPAN

NORTH AMERICA

MANY SOIL PATHOGENS

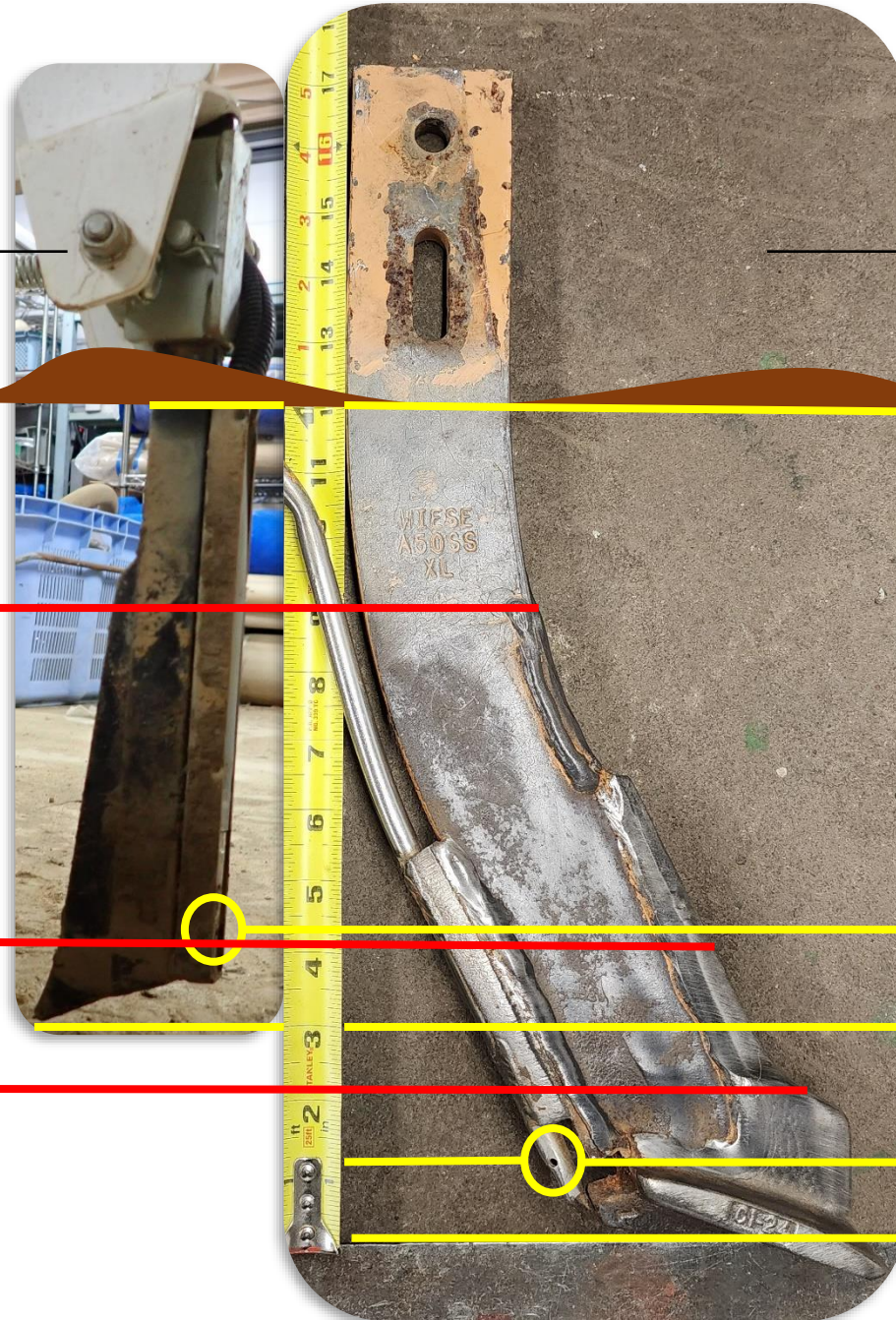


NEMATODES

7.6 cm

20 cm

25 cm



0 cm

SOIL LEVEL
(Max Depth)

19.7 cm

INJECTION DEPTH
(Small Knife)

22.9 cm

29.8 cm

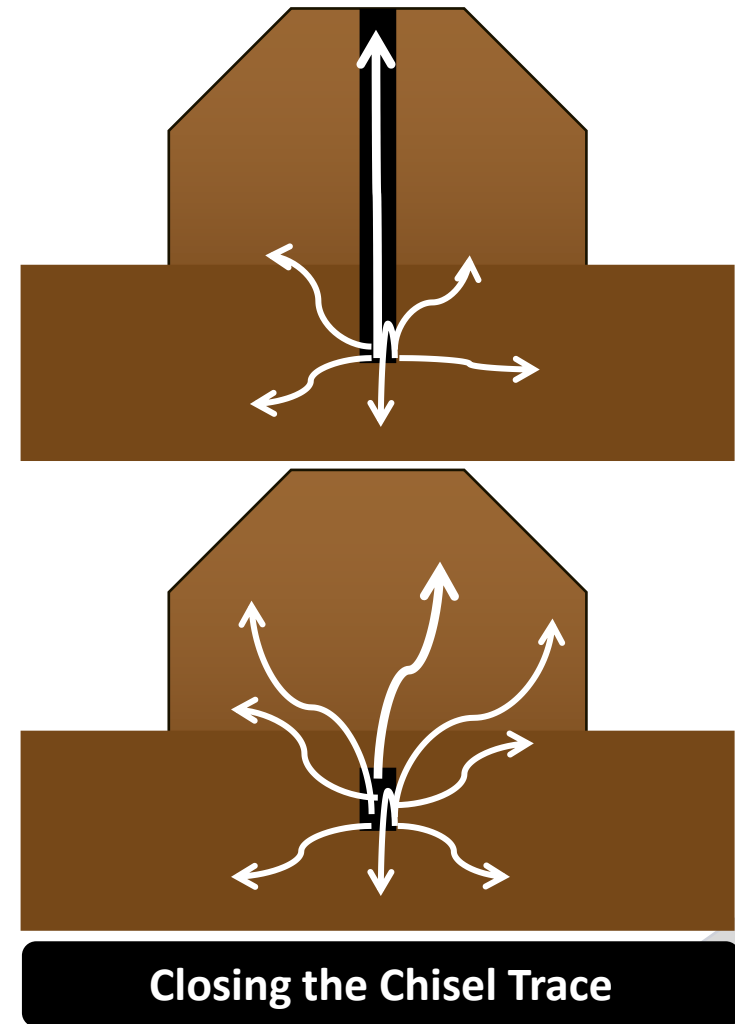
INJECTION DEPTH
(Large Knife)

30.48 cm

STRATEGIES THAT INCREASE EFFICACY AND REDUCE FLUX (OFF-GASSING) (continued)...

RAISED ROW:

- 30% Soil Compression
- 70% Field Moisture Capacity (USDA hand test)
- Low Trash in Field
- Self-Sealing Shanks





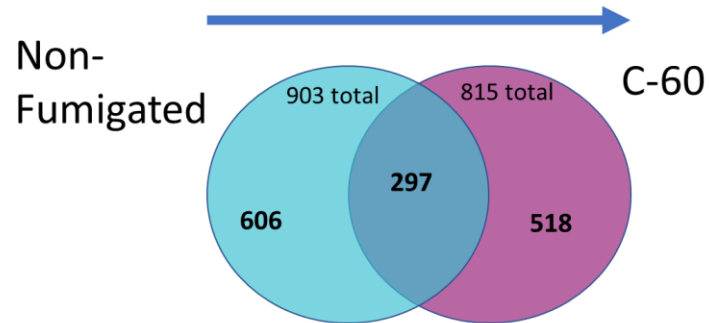
BROADCAST FUMIGATION

- Control Pathogens Across Entire Field
- Generally done by a Custom Applicator
- Modern Equipment can do Between 6 to 8 Hectares a Day
- Hand Laid Broadcast T.I.F. Possible

UNDERSTANDING HOW SOIL FUMIGATION AFFECTS THE SOIL BIOSPHERE

Microbial Community shift example with C60

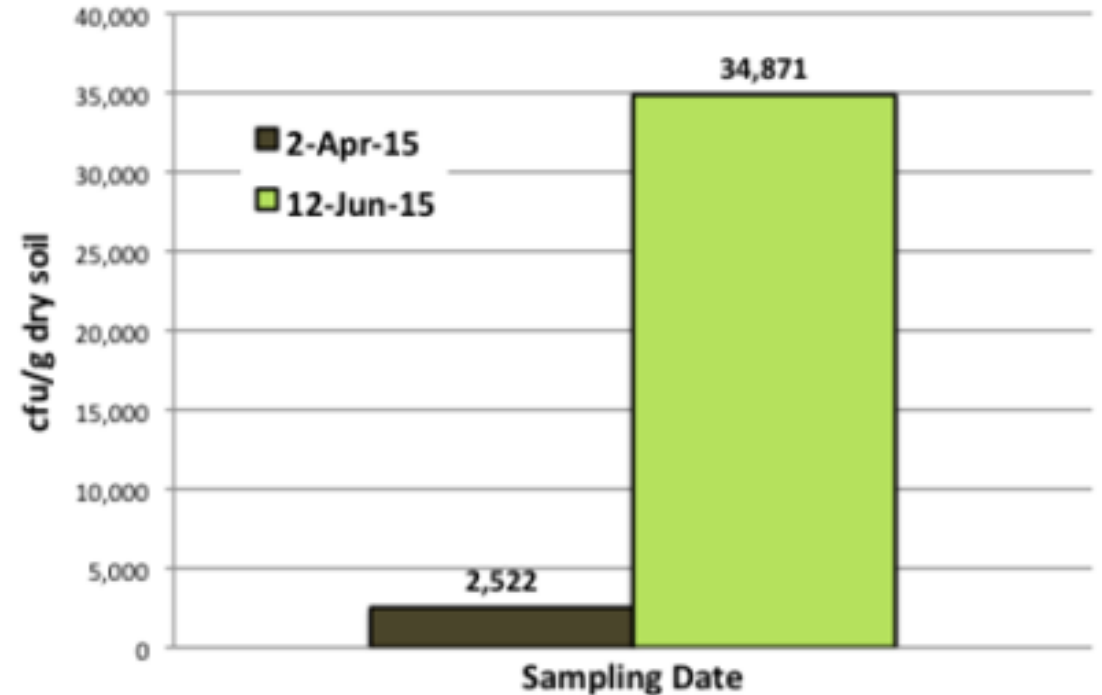
At 60 days post fumigation, Pineapple in Guatemala



Shared species = 297

Species shift but not species decimation

Trichoderma Soil Populations Pre- and Post- Soil Fumigation with Chloropicrin in Simcoe, ON CAN



Trichoderma spp.

- produce antibiotics
- parasitize other fungi
- compete with pathogenic microorganisms
- can trigger systemic resistance in plants
- can improve plant nutrient uptake
- produce metabolites / signaling compounds
 - some induce root branching
 - some increase shoot biomass

SOME EXAMPLES OF HOW SOIL FUMIGATION AFFECTS SUSTAINABILITY

- Positive Long-Term Residual Effects
- Reclaim Exhausted Soils
- Input Reduction
- More Tolerant to Diverse Weather Conditions
- Lower Land Requirements



SOME EXAMPLES OF HOW SOIL FUMIGATION AFFECTS SUSTAINABILITY(continued)

David Doll, UCCE Merced County
ALMOND ORCHARD

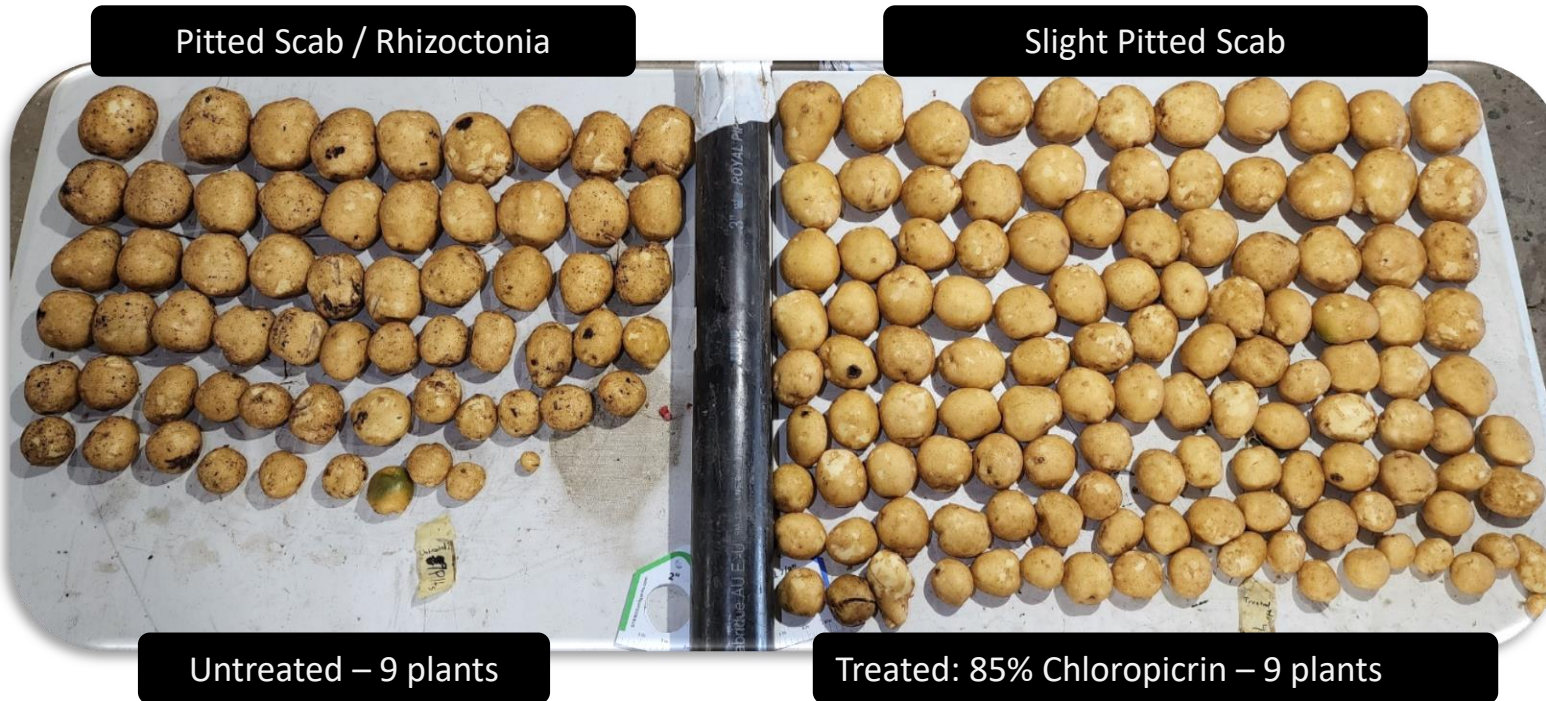
Fumigant	Acreage Coverage	Lbs/orchard acre	Cumulative yield (lbs kernels/acre)		
			Year 4	Year 5	Year 7
Untreated	-	-	937 B	2,863 C	9,362 C
Methyl Bromide	Strip (38%)	180	1,678 A	2,911 C	-
1,3-dichloropropene	Strip (38%)	129	1,496 A	3,449 B	10,501 B
Chloropicrin	Strip (38%)	76	1,493 A	3,950 A	-
Chloropicrin	Strip (38%)	152	-	-	11,590 A
1,3-dichloropropene (65%) + Chloropicrin (35%)	Strip (38%)	209	1,883 A	4,207 A	11,716 A

Significantly greater yields in treatments with Chloropicrin than MB or Telone II alone, applied as strips down tree rows, even 5 to 7 years after application.



REDUCING CARBON FOOTPRINT BY USING SOIL FUMIGANTS

- Reduce or Eliminate Contact Nematicides and Pre-Plant Fungicides
- Some Weed Control Provided by Chloropicrin / DD Combinations
- Increased Marketability
- Increased Yields
- Reduce Fertilizer Rates due to Root System



Environmental Interaction

Carbon Footprint

CROP: Potato LOCATION: Alliston, ON, Canada
 CHLOROPICRIN APPLICATION RATE: 140 kg/ha

MANUFACTURE CO₂ EMISSIONS: 140 kg/ha
 TRANSPORTATION CO₂ EMISSIONS: 26 kg/ha
 Hamlet, NC to Tifton, GA via rail, 374 miles
 Tifton, GA to Allison, ON via truck, 1,140 miles

CO₂ EMISSIONS FROM MANUFACTURE: 166 kg CO₂/ha

INCREASE IN CROP YIELD: 20%
 INCREASE IN CROP DRY MASS: 1,344 kg/ha
 CROP CO₂ DENSITY: 94%

CO₂ REDUCTION FROM CROP 1,263 kg CO₂/ha

INCREASED CO₂ REMOVAL BY USING PIC: 1,097 kg CO₂/ha

SUMMARY



OPERATION AND APPLICATION

SETH WRIGHT

WHAT WE NORMALLY ADDRESS IN A STEWARDSHIP:

Product Characteristics and Application History

Closed System Application Technology to Reduce Exposure Risk
Various Equipment Adaptability (Use a Growers Existing Equipment where Possible)
Suppression Characteristics, and Beneficial Organism Rebound
The Physical Properties of Liquid to Gas Phases and Chemical Characteristics

Personal Protective Equipment (P.P.E.) & Chemical Handling

Pants, Long-Sleeve Shirt, Closed Toed Shoes (Operation), + Filtered Face Mask, Gloves (Tank Connection & Repair Work), Mask Fitting, Filter Requirements, First Aid Procedures

Dealer Roles

The Dangers of Off-Gassing, Risk Reduction, Regulatory Compliance, Safe Storage, Trained Employees, Supporting Documentation for Further Education and Safety. Prior to Sale checks, Safe Transportation, and Proper Record Keeping.

Support & Service

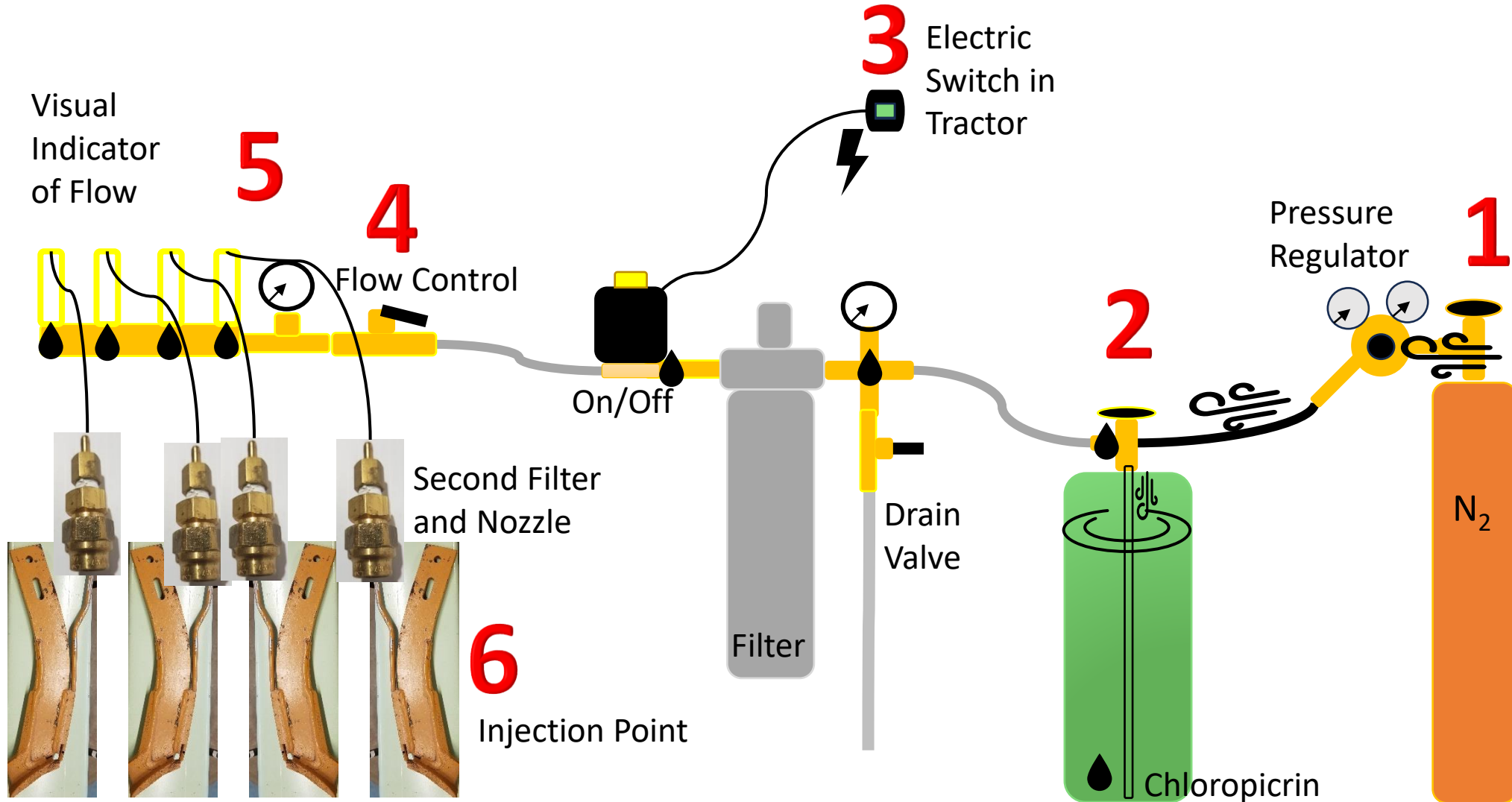
One on One Support and Yearly Seasonal Service to Chemical Component of Fumigation Equipment, Support in Additional or Ongoing Training, Annual Updates on New Research and Equipment Technology.

Research

Lead or Partner with Researchers and Other Industry Entities to Further our Collective Understanding of Better Use Cases, Rates, Crops, or Application Methods to Better Serve Growers and the Industry as a Whole

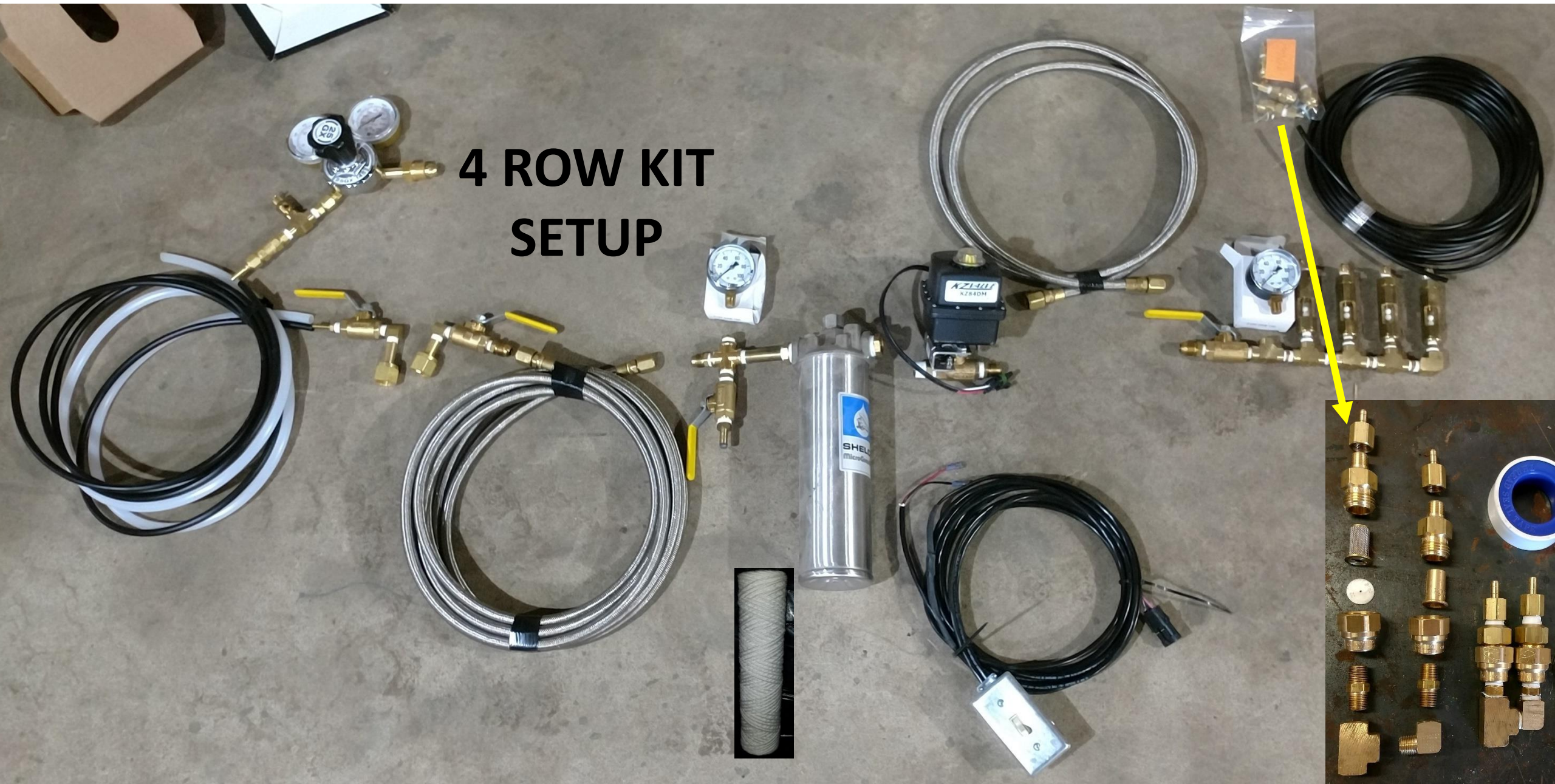
FUMIGATION APPLICATION CONCEPT

- 1) Open N₂ Cylinder
- 2) Open Chloropicrin Cylinder
- 3) Activate Control Switch
- 4) Ensure exact Flow
- 5) Monitor Flow Visually
- 6) Liquid Fumigant Injects into the Soil



[Click to Start Animation](#)

TYPICAL FUMIGATION KIT & CYLINDERS



APPLICATION EQUIPMENT & ADAPTABILITY

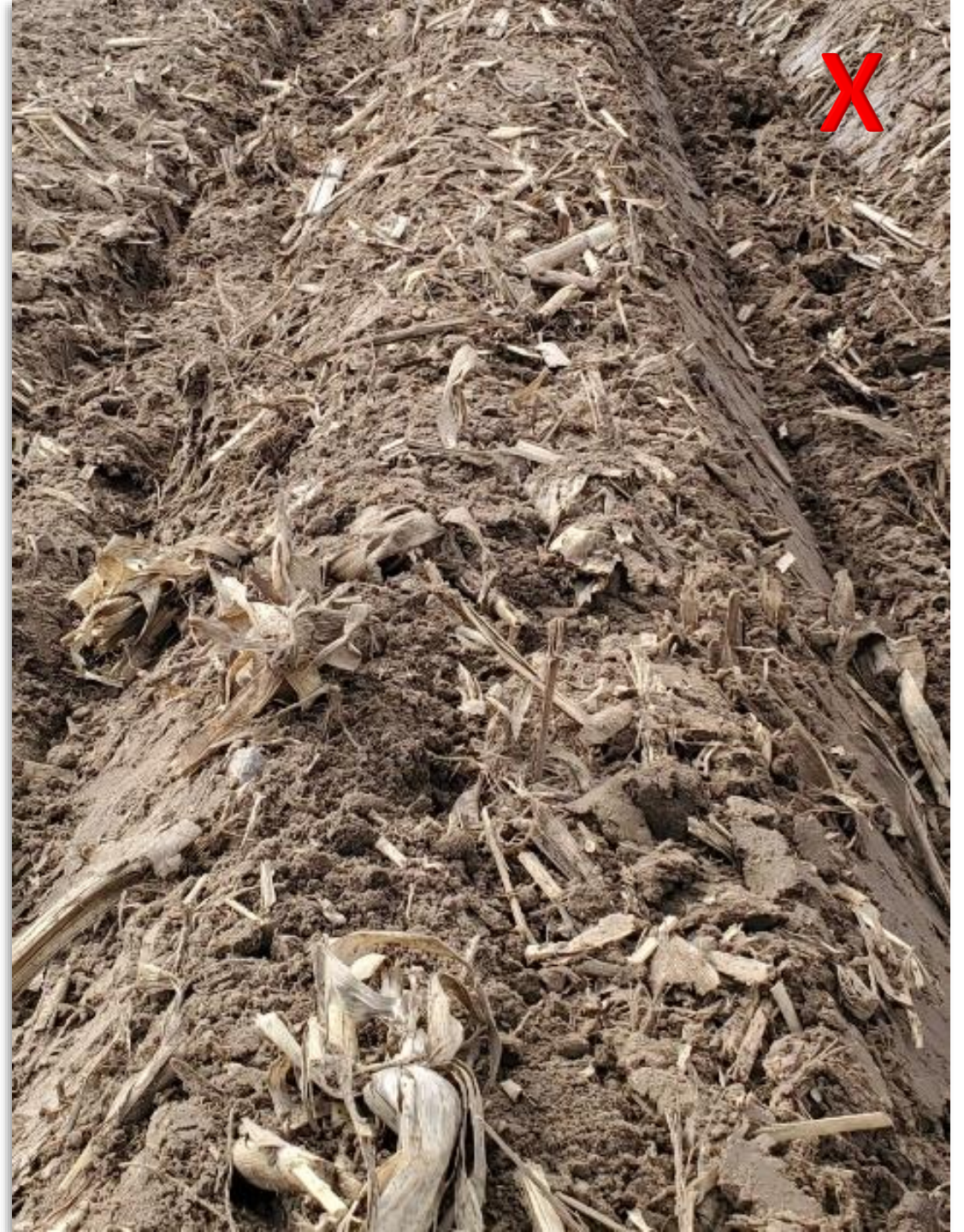




SOIL PREPARATION

SOIL PREPARATION (BEFORE FUMIGATION):

- Soil Should be in Good Seedbed Condition Prior to Fumigation
- Break up Clods and Loosen Soil by Cultivation at Least one Week Before Application
- Work Soil Deeper than Intended Fumigation Knife Depth
- Soil Should be Free of Major Plant Residue to Prevent the “Chimney Effect” and to Reduce Fumigant “tie up” in Organic Matter



SOIL MOISTURE

SOIL MOISTURE (AT FUMIGATION):

At 50%-70% of Field Capacity at Injection Depth Using
USDA Feel and Appearance Test



Appearance of sandy loam and fine sandy loam soils
at various soil moisture conditions.

Available Water Capacity
1.3-1.7 inches/foot

Percent Available: Currently available soil moisture as a percent of available water capacity.

In/ft. Depleted: Inches of water currently needed to refill a foot of soil to field capacity.

0-25 percent available
7-1.0 in./ft. depleted

Dry, forms a very weak ball, aggregated soil grains break away easily from ball. (Not pictured)



50-75 percent available
0.9-0.3 in./ft. depleted

Moist, forms a ball with defined finger marks, very light soil/water staining on fingers, darkened color, will not slick.



25-50 percent available
1.3-0.7 in./ft. depleted

Slightly moist, forms a weak ball with defined finger marks, darkened color, no water staining on fingers, grains break away.



75-100 percent available
0.4-0.0 in./ft. depleted

Wet, forms a ball with wet outline left on hand, light to medium staining on fingers, makes a weak ribbon between the thumb and forefinger.

100 percent available
0.0 in./ft. depleted (field capacity)

Wet, forms a soft ball, free water appears briefly on soil surface after squeezing or shaking, medium to heavy soil/water coating on fingers. (Not pictured)



SOIL TEMPERATURE

SOIL TEMPERATURE

(AT AND JUST PRIOR TO FUMIGATION):

- Chloropicrin Becomes a Gas at Temperatures as Low as 4° C (40° F)
- Ideal to Have Ground Temperature Between 10° C (50° F) and 32° C (90° F) Prior to Fumigation
- Cooler, Wetter Soils can Retard the Fumigation Zone Resulting in a Narrower Fumigated Area, and Fumigant Retention
- In Soils 21°C and Higher, Special Attention Should be Given to Surface Sealing

OTHER MAJOR FACTORS IN A GOOD FUMIGATION

INJECTION DEPTH:

The Deeper you can Get Fumigant the Better, Generally Speaking: Increase in Depth Provides less Chance of Off-Gassing, and Generally Better Disease and Pest Suppression (as Fumigant Rises from Injection Point). Shallow Fumigation Will Lead to Unprotected or Less Protected Crops Later in the Growing Season.

PRESSURE:

Pressure Settings in a Nitrogen Propelled System is Important to Maintain at a Steady Rate: An Increase/Decrease of 1 psi = ~1% Change in Rate, so it is Important to Maintain a Set Pressure.

SPEED:

Speed is Often the Most Variable Factor in Fumigation, Largely Depending on Land Preparation, Soil Type, and Equipment Characteristics: A Change of 0.16 km/h (0.1 mi/h) can = ~2% Change in Rate. It is not Uncommon to see Fluctuations of up to 0.8 km/h (0.5 mi/h) or ~ 10% Change in Rate on Changing Soil Type Like Sand versus Clay or Going up a Hill versus Down. Good Land Preparation can Help Reduce these Variabilities.

CONCLUSION

Because there is so much information regarding an application, we are almost always on site for a first time grower's initial application. As we ride in the application equipment with the grower we can cover various aspects of application and safety as they might arise in real world cases.

Our safety and service work and training is the key to how our company operates. No application is a good application if it is not first safe, and second effective.



2024年1月11日(木):第16回有機化学物質研究会

土壌消毒技術の現状と今後

—「みどりの食料システム戦略」KPI2030目標達成に向けて—



今後求められる土壌消毒に関連した技術

NARO

小原裕三 Yuso Kobara

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

農業環境研究部門 化学物質リスク研究領域

有機化学物質グループ

※ 農研機構（のうけんきこう）は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。

土壌消毒は必須な技術 !!

- ・土壌消毒は、園芸農業で連作障害を回避し、集約的生産を維持するために、必須な技術である。
- * 強い農業 → コスト削減、より集約的農業 → 土壌消毒のより一層の増大 → 環境負荷の増大が懸念

対象作物: トマト、キュウリ、ホウレンソウ、イチゴ、ピーマン、メロン、ショウガ、トルコギキョウ等の広範な作物

対象: 土壌伝染性病原菌(ウイルス、細菌、糸状菌)、センチュウ、土壌害虫、雑草

土壌病害虫による甚大な被害の例: ネコブセンチュウ(多犯性)



キュウリ

トマト

本日の話の概要

(土壌病害によるメロン果実の廃棄
2015年新潟市で撮影)



農薬(土壌くん蒸剤)の使用量削減が求められている

- ・土壌消毒の必要性
- ・国内外での規制動向
- ・これまでの取組
- ・今後の課題と取組



作物を栽培したままの土壌消毒は非常に困難 →

対象土壌病原菌と作物との感受性差が得られにくい

→ 定植前の土壌消毒処理

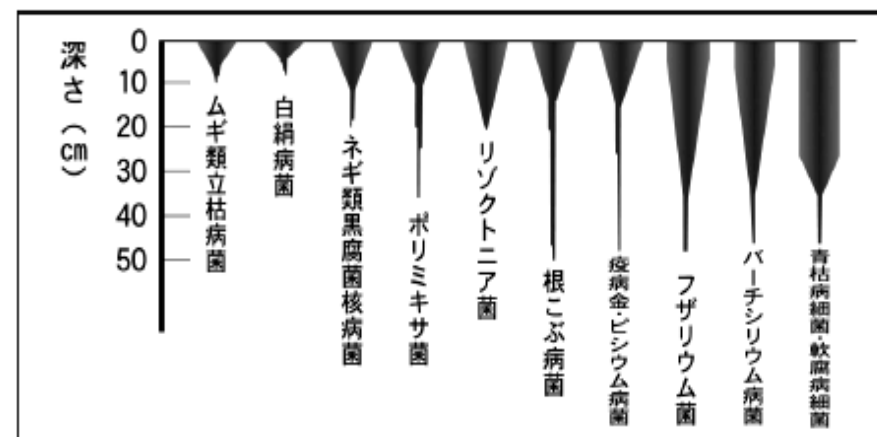
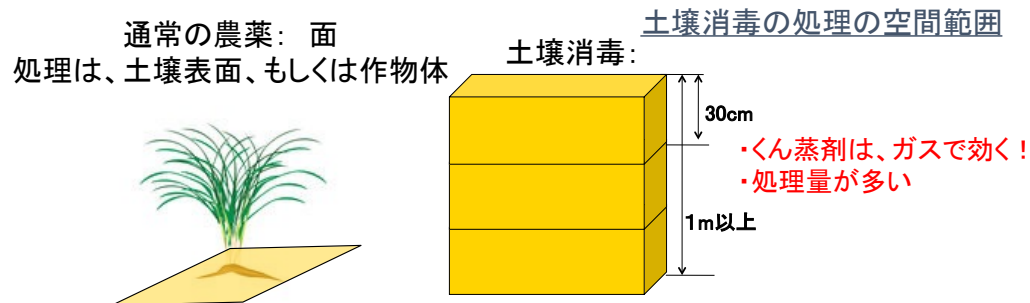


(2018年6月29日
宮崎県で撮影)

土壌病害虫防除方法の効果と資材費用の比較

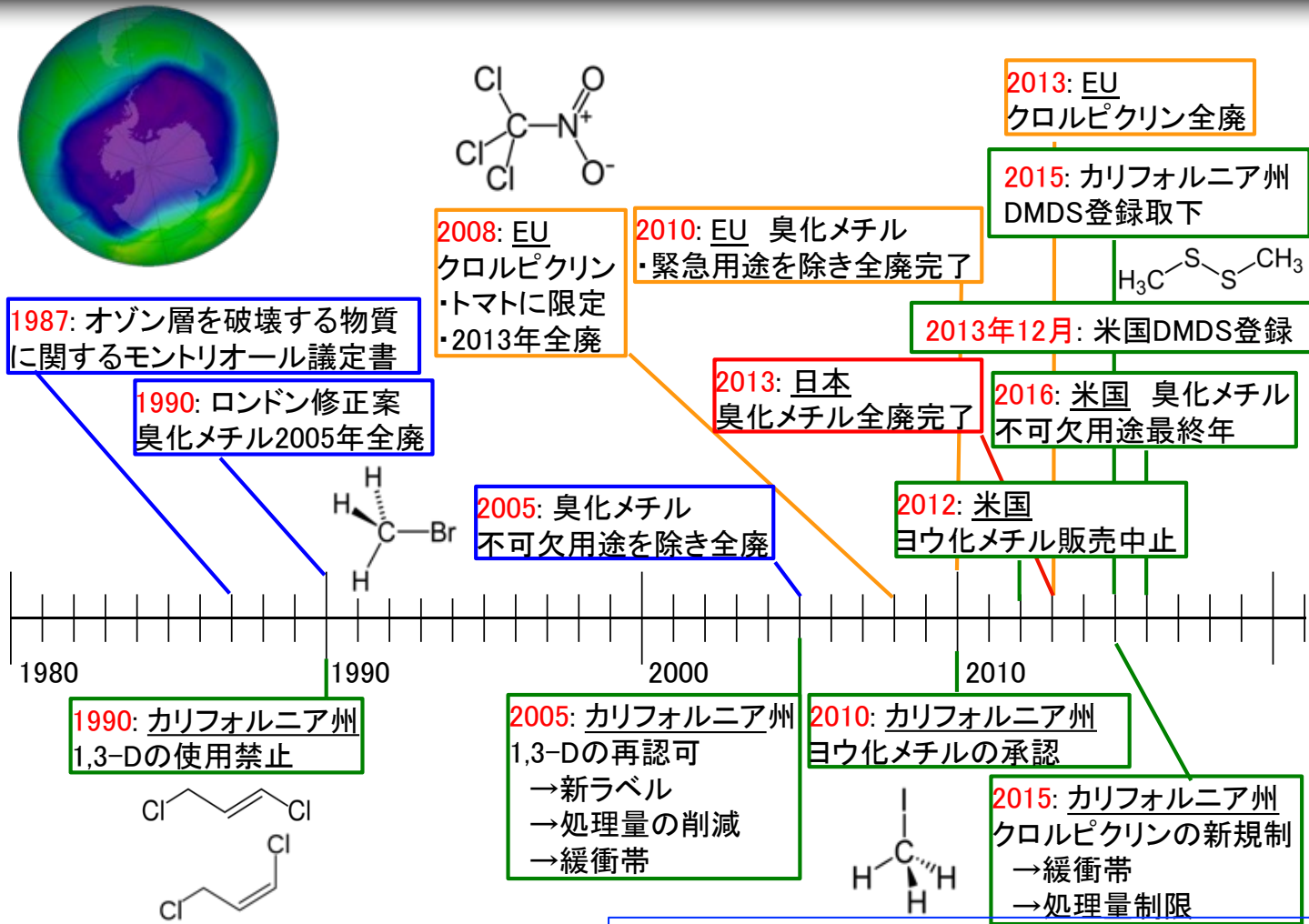
代替技術名		登録年	毒劇物の分類	許容濃度 *3 ppm (mg/m ³)	ウイルス	細菌	糸状菌	線虫	土壌害虫	雑草	資材費用/10a
物理的・耕種的技術	太陽熱消毒				×	○	○	○	○	△	-
	熱水・蒸気消毒*2				△～×	○	○	○	○	○～△	213,011円(灯油)
	抵抗性品種(台木)*1				(○)	(○)	(○)	(○)	×	×	-
	対抗植物				×	×	×	△	×	×	-
化学的手法	ダゾメット剤	1980	劇物		×	○	○	○	○	○	49,000円
	カーバムNa剤	1993	該当無し		×	○	○	○	○	○	21,000～31,500円
	D-D剤	1950	劇物	1 (4.5)	×	×	×	○	○	×	14,000円
	クホルピクリン剤	1948	劇物	0.1 (0.67)	×	○	○	○	○	△	62,000円
	臭化メチル	1957	劇物	1 (3.89)	○	○	○	○	○	○	65,000円
土壌還元消毒	低濃度エタノール				-	○	○	○	○	○	77,000～154,000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熱水土壌消毒に必要な燃料費の計算シナリオ: 株式会社丸文製作所の熱水土壌消毒機のカタログデータを参考に、熱水処理量: 200L/m²で、出湯温度設定: 95℃で、10a当たり1,900LのA重油もしくは灯油が必要。2014年8月茨城県、2,013円/18L(経済産業省 資源エネルギー庁: 民生用灯油(給油所以外)価格(消費税込み店頭価格))
 *3ACGIH(米国産業衛生監督会議)によるTVL-TWA(時間荷重平均限界濃度). 1日8時間, 週40時間の正規の労働時間中の時間荷重平均濃度.



土壌伝染性病原菌の分布
(日本石灰窒素工業会HPより)

土壌くん蒸用農薬(くん蒸剤)の規制概要



化学的手法(新規代替土壌くん蒸剤) → 非常に困難

- Midas – Methyl Iodide (ADI: 0.005 mg/kg/day)
- Paladin – Dimethyl Disulfide (DMDS, AAOEC*: 0.005 ppm (19 μg/m³))
- Dominus – Allyl isothiocyanate (0.02 mg/kg/day, (EFSA, 2010))
- EDN – Cyanogen (C₂N₂)

*acute acceptable operator exposure concentration (AAOEC)

土壌くん蒸における日本と他国との比較

土壌くん蒸は誰がやる?



日本

- ・農家自身
- ・くん蒸剤、処理方法に関する知識をどの程度得ているのかは疑問?
- ・緩衝帯(バッファゾーン)の規制なし

北米(米国、カナダ)

- ・処理には**ライセンスが必要**
請負業者(生産者も処理可能)
- ・違反に対する罰則は厳しい
- ・**緩衝帯の義務付け**
- ・クロルピクリン:通常25~100 feet
- ・D-D: 構造物から100 feet
*カナダでは登録無し
- ・ダゾメットの場合 500feet=151.5m
* 緩衝帯の緩和措置あり

欧州...既に使用禁止

2012年12月31日クロルピクリン全廃

*カリフォルニアでは、D-DをCAP制により総量規制
40,936kg/93.2km²(90,250pound/36mil²)-township

中華人民共和国:クロルピクリン:登録有、請負業者のみに許可、生産者は処理できない
(2022年使用禁止)、D-D:登録無

大韓民国:クロルピクリン、D-D:ともに登録無 ⇒土壌病害の被害拡大、農薬登録を検討中

ダゾメット:登録有、DMDS:2016年登録、露地は請負業者のみ、施設は農家も処理可能

台湾:ダゾメットのみ登録有

日本における土壌くん蒸消毒法-1

千葉県でのスイカ

クロルピクリンのマルチ畦内処理



群馬県でのコンニャク



全面消毒ができないために2度に分けて処理を実施

神奈川県でのダイコン:D-D



日本における土壌くん蒸消毒法-2

徳島県でのカンショ

クロルピクリンのマルチ畦内処理



日本における土壌くん蒸消毒法-3

高知県でのショウガ



手作業による全面消毒、フィルム被覆



環境省 環境研究総合推進費 5-1303: 日本型農業環境条件における 土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術の開発



(3) 千葉県: 黒ボク土露地畑
スイカ: クロルピクリン、1,3-D



クロルピクリンのマルチ畦内処理

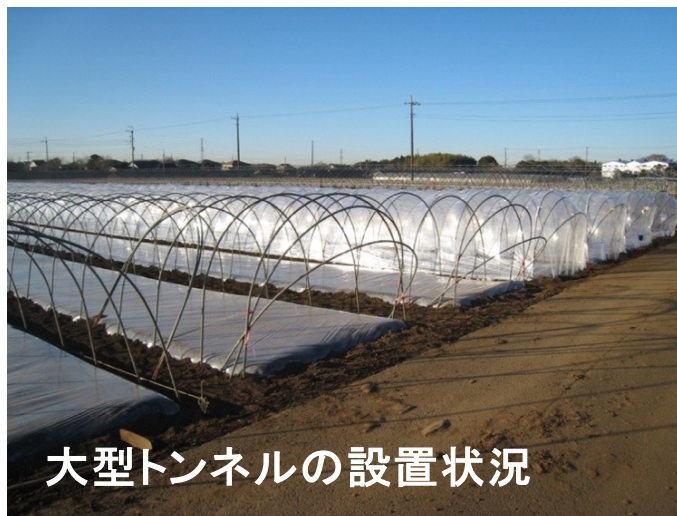
(4) 徳島県: 砂地露地畑
サツマイモ: クロルピクリン



散布器による散布

ロータリーによる土壌混和

フィルムによる被覆



大型トンネルの設置状況



ガスバリアー性フィルムと慣行フィルム

	商品名	色	厚さ(mm)		幅 (cm)	バリアー層	繰り返し利用	畔内処理	全面くん蒸	カット・貼 り合わせ 等の加工	参考価格 (円/本)	参考価格 (円/m ²)
			平均	CV(%)								
1	ハイバリアー(旧)	黒	0.020	10.0		EVOH	—	○	—	○	10,500 26,250	25
2	ハイバリアー(新)	黒	0.020	5.9	95、135、150、 180、210、270、 300、420、600	EVOH	—	○	—	○	10,500 26,250	25
3	ハイバリアー	透明	0.020	5.4		EVOH	—	○	—	○	10,500 26,250	25
4	ソアノール	黒	0.031	3.9		EVOH	—	○	—	?	—	—
5	ソアノール	透明	0.029	5.9		EVOH	—	○	—	?	—	—
6	ソアノール	透明	0.052	3.6		EVOH	○	—	○	?	—	—
7	T	黒	0.022	6.0		EVOH	—	○	—	?	—	—
8	バリアースター	透明	0.046	5.3	300、420、460、 600、700	EVOH alloy	○	—	○	○	18,400	80
9	グランドキング5	透明	0.072	7.0	原反600 加工品230 800	EVOH	○	—	○	○	50,000 70,000	88 217 88
10	O	黒	0.022	6.4		PVA塗布	—	○	—	?	—	—
11	オークラFC50ノーポリ	黒	0.020	5.5		—	—	○	—	—	7,360	16
12	オークラFC50ノーポリ	透明	0.018	7.8		—	—	○	—	—	7,360	16
13	ノーポリ	グリーン	0.030		230	—	—	○	—	—	7,360	16
14	Orgalloy	透明	0.050	10.6		polyamide alloy	—	—	○	—	—	—

(6) DiMCFD*による土壌くん蒸処理畑周辺住民の(短期)曝露評価

徳島県での事例について:
クロルピクリン

・土壌くん蒸剤の大気中濃度分布把握が可能

⇐見える化

・ガスバリアー性フィルムの導入に関して、効果や圃場の優先度を具体的に例示可能



*DiMCFD: Diffusion Model with Computational Fluid Dynamics
(数値流体力学を用いた大気拡散モデル)

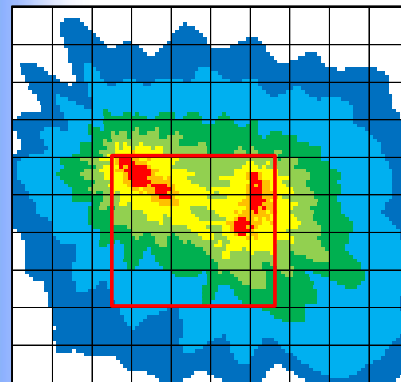
NIAES

ガスバリアー性フィルムに変更(赤:ポリ、青バリア)

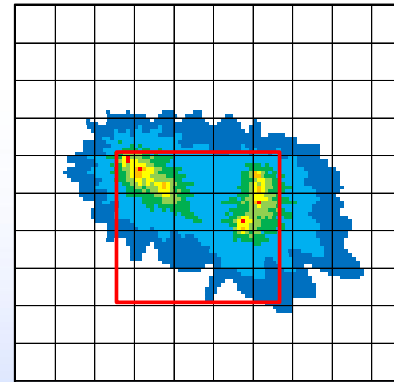


(6) CALPUFFによる園芸地域住民の(長期)曝露評価

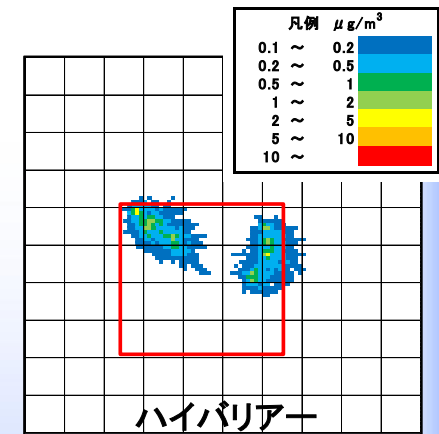
千葉県での事例について: クロルピクリン



慣行フィルム農ポリ



バリアスター



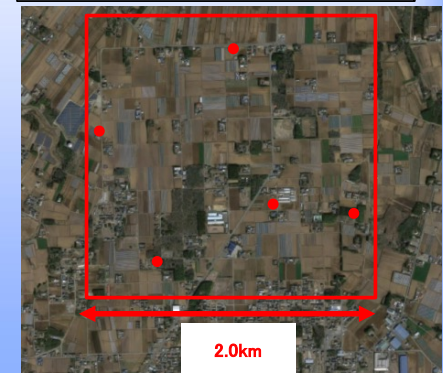
ハイバリアー

期間平均濃度と被覆資材による削減効果

対象	農ポリ ug/m ³	バリアスター %	ハイバリアー %
最高値	64.529	19.7%	4.3%
地域平均値	0.792	18.6%	3.7%
地点1	1.334	19.6%	4.0%
地点2	4.520	18.4%	3.8%
地点3	13.716	17.9%	3.1%
地点4	3.737	18.0%	3.9%
地点5	0.896	18.5%	4.0%

- ・計算対象は5km四方、50mメッシュ
- ・評価対象期間: 1/28~2/25の29日間

NIAES



枠内に、主に評価対象薬剤の処理圃場が散在している

リスク軽減策の行政施策への有効活用は、困難であった。

環境省 環境研究総合推進費 5-1303: 日本型農業環境条件における土壌くん蒸剤のリスク削減と管理技術の開発





ガスバリアー性フィルム普及への先行事例

徳島県 JA里浦 鳴門金時

- ・特に水捌けの悪い低地で深刻な病害(立枯病)が発生
- ・農地周辺に新興住宅地が形成されつつあり、住民トラブルが深刻化
- ・ガスバリアー性フィルムの使用により、病害・収穫量共に大幅な改善

⇒現在60%以上の普及率

	農ポリ(PE) 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(99.5%クロールピクリン剤)30L/10aを使用

CHLOROPICRIN 100 LIQUID SOIL FUMIGANT

RESTRICTED PRODUCT

Only to be sold to and used by individuals holding an appropriate pesticide applicator certificate or license recognized by the provincial/territorial pesticide regulatory agency where the pesticide application occurs.

THIS PRODUCT CAN ONLY BE USED IN CONJUNCTION WITH
A DETAILED FUMIGATION MANAGEMENT PLAN

RECOMMENDED RATE - PREPLANT SOIL FUMIGATION

←上限値も下限値も設定していない

TOBACCO, STRAWBERRIES, RASPBERRIES, TOMATOES, PEPPERS AND POTATOES

Land to be planted to	Litres product per hectare	Method of application
Tobacco	93	Broadcast or banded*
Strawberries and raspberries	93	Broadcast only
Tomatoes and peppers	93	Broadcast or banded *
Potatoes	55	Banded* only

日本では、200-300L/ha

* For banded applications, the broadcast equivalent application rate must be calculated to determine the buffer zone distance required by this label. The broadcast equivalent application rate relates to the rate of fumigant applied within the entire perimeter of the application block. Refer to **Calculating the Broadcast Equivalent Application Rate** section in this label.

STRAWBERRY RUNNER PRODUCTION

Land to be planted to	Litres product per hectare	Method of application
Strawberry runner	140	Broadcast tarped only

クロルピクリン 100の農薬ラベル(米国)より



RESTRICTED USE PESTICIDE
DUE TO ACUTE TOXICITY

For retail sale to and use by certified applicators or persons under their direct supervision only for those uses covered by the certified applicator's certification.

Chloropicrin 100 Fumigant

ACTIVE INGREDIENT:

Chloropicrin99%

OTHER INGREDIENTS:1%

TOTAL:100%

This product weighs 13.88 lbs./gal. @ 68°F (20°C).

KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN

DANGER  **PELIGRO**

POISON {Note : « Poison » will be printed on the label}

Si Usted no entiende la etiqueta, busque a alguien para que se la explique a Usted en detalle.
(If you do not understand the label, find someone to explain it to you in detail.)

IN ALL CASES OF OVEREXPOSURE, GET MEDICAL ATTENTION IMMEDIATELY. TAKE PERSON TO A DOCTOR OR TO AN EMERGENCY TREATMENT FACILITY.

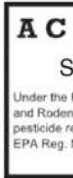


TABLE 1¹
PREPLANT SOIL FUMIGATION USES

Field soils to be planted to	Application Rate ³ for untarped shank broadcast applications		Application Rate ³ for tarped shank bed, strip and broadcast; untarped shank bed; and untarped deep shank broadcast applications		Application Rate ³ for tarped drip and untarped buried drip irrigation applications	
	Gallons/ treated acre	Lbs/ treated acre	Gallons/ treated acre	Lbs/ treated acre	Gallons/ treated acre	Lbs/ treated acre
Floral crops, Nursery crops (including forest nursery seedlings)	12.6 11.8	175	25.2 23.6	350	7.2 - 21.6 6.7-20.2	100 - 300
Plant and seed beds	12.6	175	21.6 - 25.2	300 - 350	7.2 - 21.6	100 - 300
Eggplant, cucumbers, melons, tomatoes	12.6	175	21.6 - 25.2 20.2-23.6	300 - 350	7.2 - 21.6	100 - 300
Sweet potatoes, yams	12.6	175	10.8 - 25.2 10.1-23.6	150 - 350	7.2 - 21.6	100 - 300
Onions	12.6	175	14.4 - 25.2	200 - 350	7.2 - 21.6	100 - 300
Strawberries	12.6	175	10.8 - 25.2	150 - 350	7.2 - 21.6	100 - 300
All other crops ²	12.6	175	10.8 - 25.2	150 - 350	7.2 - 21.6	100 - 300
Miscellaneous uses		Application rates				
Tree Hole Replant		1 lb./100 sq. ft				

1 gallon = 3.785 L

1 acre = 4,046.86 m²

表中赤字(L/10a)
日本では、20-30L/10a



施用方法の改善による処理量
低減化の可能性

¹ Do not exceed specified maximum application rates in Table 1.

← 上限値のみ設定

² Not to be used with aquatic plants or for forestry uses.

³ To facilitate application of this product when applying in low dosages, dilution with the solvent Exsol[®] D-80 is allowed. The maximum rate of Exsol[®] D-80 shall not exceed 150 lbs./acre (22.6 gallons/acre).

クロルピクリン 100の農薬ラベル(カナダ)より: 緩衝帯の緩和措置



Table J Spray Buffer Zone Credits and Conditions

Credit Type	Spray Buffer Zone Distance	Condition
Tarp	20-60 %	See www.tarpcredits.epa.gov for a list of tarps that have been tested and determined by the US EPA to qualify for buffer reduction credits. Only tarps listed on this website qualify for buffer reduction credits.
Potassium thiosulfate	15%	If potassium thiosulfate (KTS) is applied at a minimum rate of 335 kg/ha.
Water seals	15%	If 0.6 to 1.3 cm of water is applied.
Soil organic content	10%	If the organic content of soil in the application block is $\geq 1\%$ -2%.
	20%	If the organic content of the soil in the application block is $>2\%$ - 3%.
	30%	If the organic content of the soil in the application block is $>3\%$.
Soil temperature	10%	If the soil temperature is measured to be 10°C or less, temperature measurements must be recorded at the application depth or at a soil depth of 30 cm, whichever is shallower.
Soil clay content	10%	If the clay content of the soil in the application block is greater than 27%.



What's all in it?



(米国とカナダの事例)



How the System Works



The product is pushed to a hand OR electrical regulating valve that sets the flow of the product, the gauge immediately on the other side of this valve is the one used to determine product application PSI for rate purposes. Clear sight glasses contain white balls float when there is a flow of product.

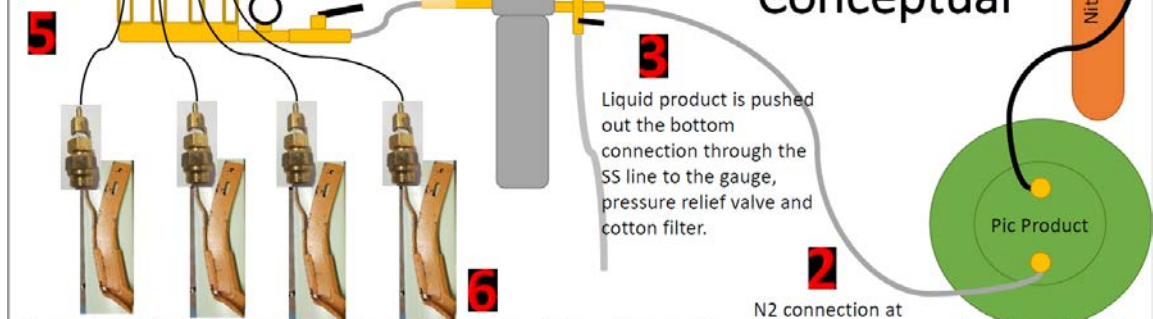
4 The filtered product is then pushed towards the electrical ON/OFF valve, which plugs into the tractors power system.

1 Nitrogen (N2) Regulated at cylinder, around 10PSI more than desired PSI output on gauge

Conceptual

3 Liquid product is pushed out the bottom connection through the SS line to the gauge, pressure relief valve and cotton filter.

2 N2 connection at top of tank produces pressure on liquid to exit through bottom connector.



5 The product is then pushed to a nozzle body with a strainer, followed by an orifice plate which regulates the flow into a certain gallons per acre rate, which can be slightly adjusted by PSI or tractor speed. The proper rate is then pushed down into a SS tube which injects the product into the soil behind the applicator knife.



全面消毒(米国)



TIF(Totally Impermeable Film, フィルム厚さ:1mil = 0.0254mm)

GINSENG AND ASPARAGUS REPLANT



(STEVE GODBEHERE, 2022MBAO)

全面消毒による清浄化が重要
↓
(毎作の) 土壌消毒処理からの脱却



まとめ

土壌くん蒸剤を適切に利用し、使用量を低減化するためには

適切な診断(エビデンス)に基づく処理

- ・土壌病害診断AIアプリ「HeSo+(ヘソプラス)」等
- 代替消毒技術(chemical、non-chemicalともに)の開発と、**普及の努力**
健全(ウィルス・フリー)苗の供給

中長期的な将来

- ・耕種的防除(輪作・接ぎ木、**土壌病害抵抗性品種の育種と導入**)
- ・バイオスティムラントの開発 → 発病抑止性土壌

短期的な将来

製剤・施用法(土壌くん蒸消毒器の開発)の面からの高度化

社会システム(コントラクターの育成など)直ぐにでも可能 → **迅速な防除が可能**

現状の日本での土壌くん蒸消毒処理法の高度化も必要

- ・土壌くん蒸剤メーカー
- ・被覆フィルムメーカー(ガスバリアー機能の保証・担保も必要)
- ・土壌くん蒸消毒機 ⇒ **日本の条件に適した土壌くん蒸装置の開発(先進技術の積極的な導入)**
- ・行政担当者
- ・都道府県の農業研究所、普及員など、が協力して、施用方法の改善、高度化(改善)
処理する者のレベルのボトムアップが必要 ⇒ プロ化(免許制度の導入?)



土壌くん蒸剤の施用量の低減化も十分可能

農薬のリスク換算とは何か？水生生物に対する生態リスクの事例

農研機構 農業環境研究部門 永井孝志

1. はじめに

2021年に農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」は、農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現することを目指している。2050年までに目指す姿として複数の数値目標（KPI）が挙げられており、農薬に関しては「低リスク農薬への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減」とされている。このリスク換算の方法として、

Σ （「農薬出荷量（有効成分ベース）」×「リスク係数」）

の式で計算され、「リスク係数」は、許容一日摂取量（ADI）別に3グループに分けられ決定されている。また、生態系へのリスクについては現時点で検討されていないが、将来的には環境負荷に関する指標や環境生物に対する指標を検討する可能性が残されている¹⁾。

本稿では、改めて農薬のリスク換算とは何かについて整理し、水生生物に対する生態リスクの全国的な変動を見える化した事例について紹介する。

2. 農薬のリスク換算とは何か？

図1に農薬の出荷からリスクに至るまでに考慮すべき段階について示す。農薬使用ではいつ、何を、どこで、どれくらい、どう使うかによって、次の段階である環境動態が大きく異なる。環境動態では大気、土壌、水、食品などにどれくらい移行し、どのくらい分解して消失するかなどを評価する。曝露の段階では、曝露係数（体重55.1kgの人が米を一日150g食べるなどの標準的な数字）を用いて人体への曝露量を計算する。曝露量と各毒性指標を比較してリスクの有無を判断する。水生生物については、水中濃度と水域の生活環境動植物の被害防止に係る農薬登録基準（水域登録基準）を比較してリスクの有無を判断する。

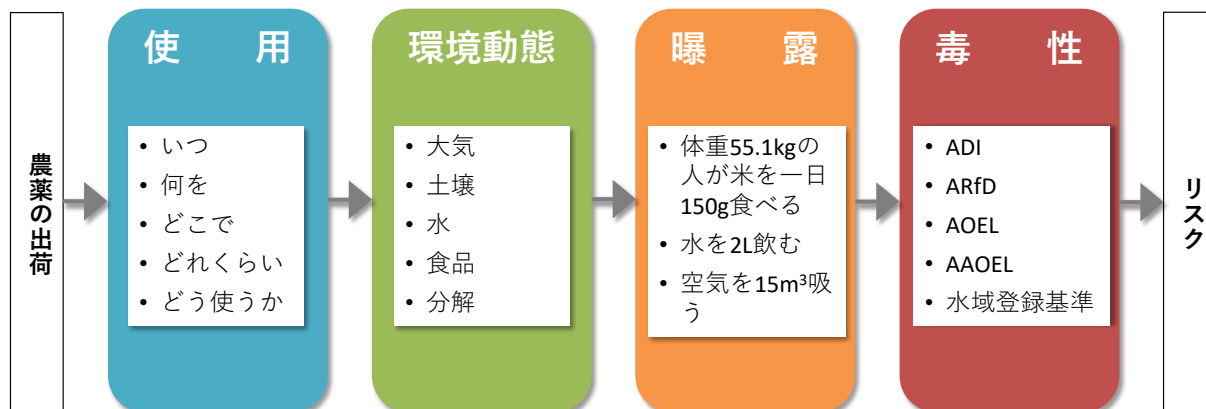


図1. 農薬の出荷からリスクに至るまでに考慮すべき4つの段階

一方で、みどりの食料システム戦略におけるリスク換算は、使用段階における「何を」「どれくらい」と、食品由来の長期毒性の指標である ADI のみを考慮する簡易な換算方法となっている。この方法では土壌燻蒸剤のリスク換算値への寄与が高く見積もられる。毒性指標で ADI を使用するという事は食品摂取由来のリスクを意味するが、土壌燻蒸剤はクロルピクリンはじめ作物残留は非常に少なく、実際の食品経由のリスクは低いと判断される。ただし、土壌燻蒸剤は大気へ揮散しやすく、いつ（気温）、どう使うか（被覆の有無、被覆の方法）が揮散量に大きく影響する。また、大気経由での作業員や近隣住民に対する毒性指標としては急性使用者曝露許容量（AAOEL）などの使用も考えられる。

農林水産省による農薬事故や被害の実態調査によると、土壌燻蒸剤の使用時に被覆をしないなどの不適切な使用による事故も毎年発生している。事故のリスク評価には、製品安全や労働安全、組織のリスクマネジメントの分野でよく使われるリスクマトリックス法による半定量的なリスク評価が有効である（図 2）。これは事故による影響の程度と事故の発生頻度を数段階で評価し、両者の組み合わせでリスクの大きさや対策の優先順位を判断する方法である。様々な事故の種類毎にこのような評価を行い、その合計値をリスク換算値と見なせる。

		影響の程度			
		致命的	重大	中等	軽度
発生頻度	極めて高い	7	6	5	4
	比較的高い	6	5	4	3
	可能性あり	5	4	3	2
	ほとんどない	4	3	2	1

図 2. リスクマトリックス法による半定量的リスク評価の例

3. 確率論的リスク評価でリスクを定量化する方法

農薬の摂取量を ADI と比較したり、水中濃度を水域登録基準と比較したりするリスク評価は決定論的リスク評価である。農薬の摂取量が ADI を下回る、あるいは水中濃度が水域登録基準を下回ればリスクの懸念なしと評価される。安全か否かを判断したい場合や農薬登録の可否を判断したい場合はこの方法が良いが、一方でリスクを定量的に評価して半減させるなどの目標を立てる場合にはあまり有効ではない（ないものは半減できない）。また、以下のようない問いに答えて何かの判断材料にしたい場合も同様である：

- ・ 現在の農薬のリスクはどれくらいか？
- ・ 過去から現在にかけて農薬のリスクはどう変化したか？
- ・ 地域毎のリスクの違いはどのくらいか？
- ・ 環境保全型農業に切り替えた場合のリスク低減効果はどのくらいか？

これらの問いに答えたい場合には決定論的リスク評価ではなく確率論的リスク評価が有効である。図 3 の例では、食品中の農薬残留量は一定ではなくそれぞれバラバラであり、食べる

人の体重や食べる量も一定ではなくバラバラであることを想定する。これを確率分布として表現すると、モンテカルロ法を用いた解析によって農薬摂取量の個人分布を計算できる。一方で、農薬に対する感受性も個人によってバラバラであり、これも同様に確率分布として表現すると、最終的には摂取量/ADI の比が分布として計算される。このときに摂取量/ADI の比が 1 を超える確率をリスク換算値と見なすことができる。農薬が多数ある場合には複合毒性モデルを用いて複数農薬による累積リスクを計算することもできる。

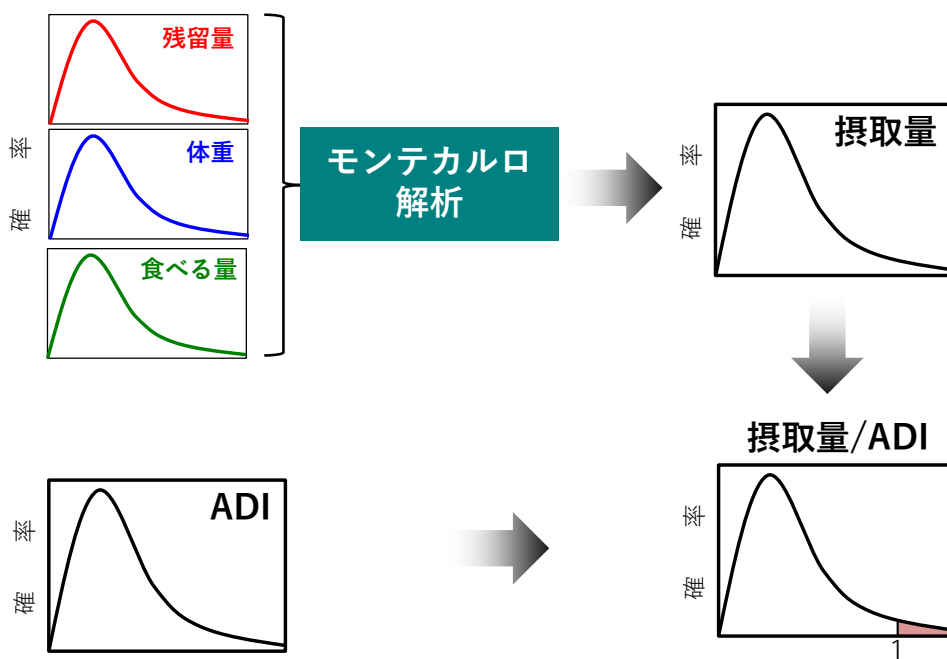


図 3. 確率論的リスク評価によるリスクの定量化

4. 水生生物に対する生態リスク評価の全国的な変動を見える化

上記のような確率論的リスク評価法を応用して、水生生物に対する生態リスク評価の全国的な変動を見える化した事例を紹介する。筆者は日本で使用されている主要な水稲用農薬 67 種による生態リスクを全国の河川 350 地点で評価し、さらに 1990 年から 2010 年まで 5 年毎の推移を評価した²⁾。この 67 農薬は日本で使用されている水稲用農薬使用量の主要な割合をカバーしている。

まず、67 農薬の環境動態に関わる物理化学性や水質汚濁性試験のデータを整理した。また、350 の評価地点毎に、農薬濃度に大きな影響を与える 3 つのパラメータ（流域内水田面積、河川流量、農薬普及率）についてのデータを整備し、水域登録基準の設定で使用している環境中濃度予測モデルに入力して地点毎の農薬濃度を予測した（図 4）。

感受性の分布について、人の健康リスクの場合は個人毎の感受性差を考慮するが、生態リスクの場合は種毎の感受性差を考慮する。河川や湖沼などの水圏生態系には多種多様な生物が生息しているが、農薬の毒性は対象となる生物種によって極端に異なることが知られている。これまでの経験則により、多数の生物種の感受性は対数正規分布に適合することが知ら

れており、図 5 のように環境中濃度と影響を受ける種の割合の関係を一つの曲線で表現できるようにする(種の感受性分布)³⁾。農薬の濃度がわかると影響を受ける種の割合が計算でき、この指標は生物多様性(種の多様性)にどれだけ影響があるか、という定量的な「生物多様性影響度指標」として位置づけることができる。

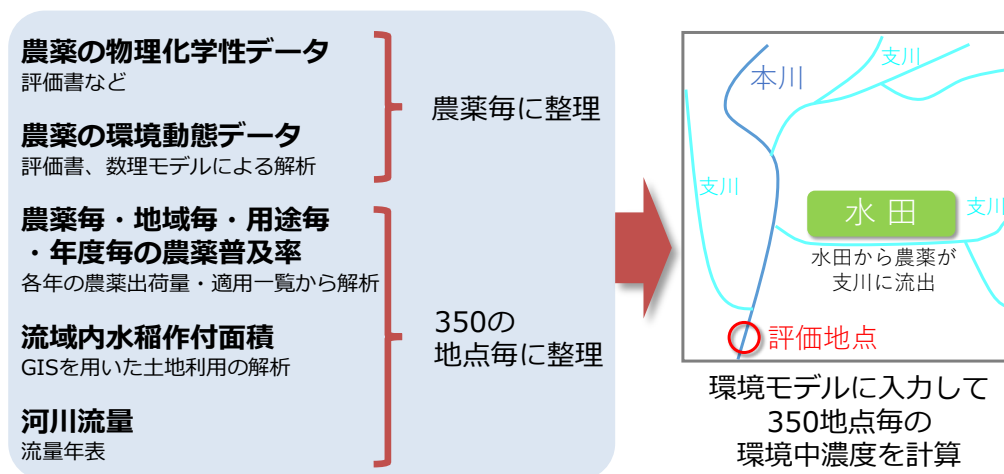


図 4. 地点毎の環境中農薬成分濃度の計算方法の概要

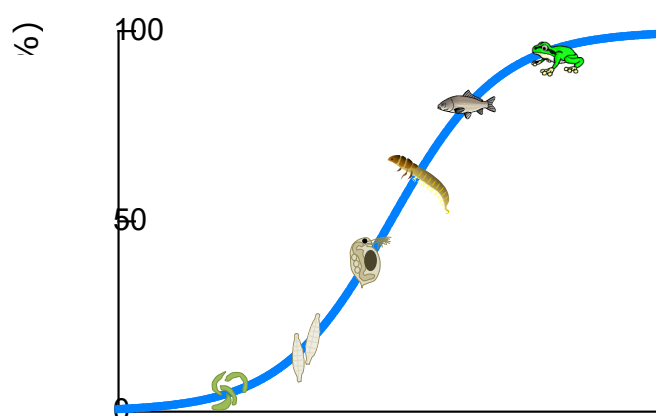


図 5. 種の感受性分布の概念図。この図はあくまで概念的な説明であり、生物種に対する感受性の順序は農薬の種類によって異なることが知られている。

また、種の感受性分布と複合毒性予測モデル⁴⁾を組み合わせることで、多数の農薬の複合影響も計算できる。このような計算を簡便に行うために筆者が開発したのが「複数農薬の累積的生態リスク評価ツール: NIAES-CERAP」である

(https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/laboratory/niaes/manual/079666.html からダウンロード可能)。本ツールは Microsoft Excel をベースとしており、手持ちの環境中農薬濃度をそれぞれ入力すると、複数農薬の累積的生態リスクとして「影響

を受ける種の割合」の値が表示される。地点毎に各農薬の予測濃度を NIAES-CERAP に入力して殺虫剤の累積リスクを計算し、日本地図上に表示すると図 6 のようになる。さらに、過去にわたる農薬出荷量や当時の適用一覧などの情報を用いて 1990 年から 2010 年までの累積リスクの推移を 5 年後度に調べた結果を図 7 に示す。

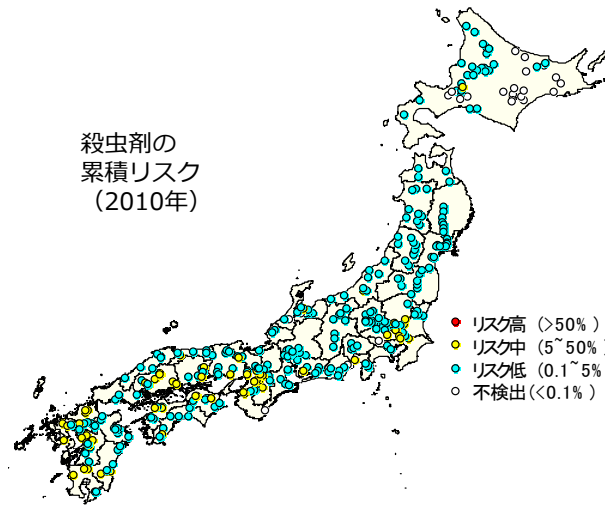


図 6. 全国 350 地点における殺虫剤の累積リスクマップ。NIAES-CERAP では、累積リスクは影響を受ける種の割合に応じて暫定的に 4 段階で判定される。

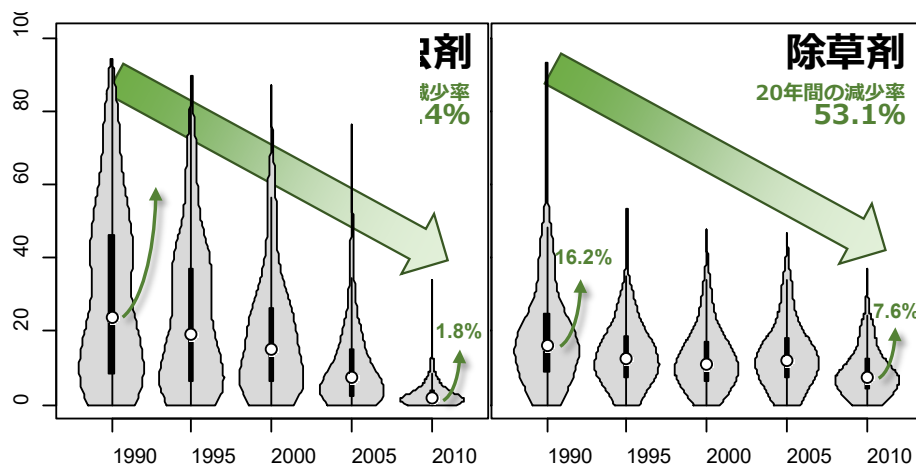


図 7. 1990 年から 2010 年にかけての 5 年毎の累積リスクの推移。350 地点の累積リスクの分布はバイオリンプロットで示され、太い部分ほど多くの地点が集まっており、白丸が中央値、黒棒は全体の 25%~75% が分布する範囲、黒線の下端と上端は最小値と最大値を示す。

殺虫剤の場合は 350 地点の中央値ベースで 23.6% から 1.8% に減少し、減少率は 92.4% となった。除草剤の場合は 350 地点の中央値ベースで 16.2% から 7.6% に減少し、減少率は 53.1% となった。このように、20 年の間にリスクが大きく低減してきたことが示されている。この大幅な低減は、農薬メーカーによる低リスク農薬の開発努力、水管理の徹底等による農薬流

出防止対策などの生産者によるリスク低減努力、国による農薬登録制度の見直し（2005年からの「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準」の設定）等によるものと考えられる。

5. おわりに

ここまで紹介してきた手法により、複数の農薬使用からなる生態リスクの定量的な比較が可能となった。これにより、「農薬の使用量を減らす」、「より低毒性の農薬に切り替える」、「農薬の流出防止対策をとる」などの管理対策を行った場合のリスク低減効果を事前に定量的に評価して、効率的な管理対策を選択できるようになる。また、河川水などの環境中農薬濃度のモニタリングは各地で行われているが、個別の農薬濃度と基準値との比較のみでなく、農薬全体としてのリスクの大きさを定量的に把握できるようになる。ただし、あくまでも効率的なリスク管理対策を考える上で有用であるもので、値がいくつ以下であれば安全、いくつ以上なら危険、などの判断に用いるものではない。また、ある特定の農薬のリスクのみを評価して、何かの判断をすることは誤った判断につながる。ある特定の農薬の使用を低減しても、他の農薬に切り替えが起こった場合に、リスクが下がるのかどうかは明らかではなく、むしろ増えてしまう場合もある。このように、定量的なリスクの評価結果を用いて適切な管理対策を考え、適切にコミュニケーションをとるためには、その意味を正しく理解する必要がある。

参考文献

- 1) 農林水産省農業資材審議会（2021）第26回農業資材審議会農薬分科会 資料4「みどりの食料システム戦略」における化学農薬使用量（リスク換算）について。
- 2) Nagai T, Yachi S, Inao K (2022) Temporal and regional variability of cumulative ecological risks of pesticides in Japanese river waters for 1990-2010. *Journal of Pesticide Science*, 47 (1). 22-29.
- 3) 国立研究開発法人農業環境技術研究所 化学物質環境動態影響評価リサーチプロジェクト (2016) 【技術マニュアル】農薬の生態リスク評価のための種の感受性分布解析 Ver. 1.0
- 4) de Zwart, Posthuma L (2005) Complex mixture toxicity for single species and multiple species: proposed methodologies. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24, 2665–2676.