

害虫防除に必要なもう一つのテクニック

殺虫剤抵抗性管理・対策を生産者へ伝える！

日本曹達株式会社 研究開発本部
農林害虫防除研究会 殺虫剤抵抗性対策タスクフォース

山本 敦司

1. 化学農薬と病害虫防除の課題

持続的な開発目標 SDGs の 17 の目標の中で、農業分野の諸活動は「目標：飢餓をゼロに」へ貢献します。そして化学農薬は「農作物の収量・品質を確保する」役割を担います。例えば、世界の水稻の生産では、無農薬では期待する 23%しか収穫できませんが、農薬による防除で 63%まで向上できます (Oerke, 2006)。農薬は処理の利便性があり防除効果も安定するため、生産者にとって大切な防除資材です。一方、農薬の安全性に対する要求の高まりや登録の規制強化によって、新規農薬の開発数は減少の傾向です (西本, 2019; 山本, 2012)。そのため、登録のある農薬を上手に使わなければ、農薬に強くなった殺虫剤抵抗性病害虫が顕在化して、農業生産者や現場の指導員をこれまで以上に悩ませることになります。例えば抵抗性害虫に限っても、日本を含む全世界で 1914 年の最初の報告から 2019 年現在までに、603 害虫種で延 16570 事例もの多数の報告があります (Sparks et al., 2020)。

殺虫剤抵抗性を分りやすく定義すると、「病害虫に対してうっかりと“適切でない方法”で同じ系統の殺虫剤を繰り返し使い続けてしまうとこれまで有効であった登録薬量・濃度で防除できなくなってしまう、やっかいなことに病害虫の次の世代へ“遺伝して”伝わってしまう現象です」。すなわち、防除の良し悪しでも引き起こされるためヒューマンエラー (人間の過失) とも言えます (山本, 2017; 2019a)。なお、本講演では主に殺虫剤の事例を多く用いて、抵抗性管理の事例や考え方を説明します。

2. 解決への道！ 殺虫剤抵抗性管理

殺虫剤抵抗性問題には 2 つの解決策があります (山本, 2012; 2019a) (表 1)。その中で本講演では、

実際に薬剤を使用する方々に関わることができる解決策の「後手に廻らない殺虫剤抵抗性管理」を取上げます。

2-1) 問題解決の道筋

殺虫剤抵抗性問題の解決の道筋を整理するため、抵抗性発達を“抵抗性リスク”として考えてリスク分析の一般的な方法を用います (表 1)。リスク分析の 3 つのステップ、「①抵抗性リスク評価 (研究) →②抵抗性リスク管理 (施策) →③抵抗性リスクコミュニケーション (対話; 以下, 抵抗性リスクコミ)」で殺虫剤抵抗性管理・対策を進めます。

表 1. 殺虫剤抵抗性問題の解決策と、そのリスク分析
山本 (2017; 2019a)

農業生産現場からの よくある質問 <ul style="list-style-type: none">① どうして 抵抗性が発達するのか？② 抵抗性発達の 遅延・抑制 はできるのか？③ 一度発達した抵抗性は 感受性が回復 するのか？④ どんな対策を、いつ 実施したらよいか？
殺虫剤抵抗性問題の解決策 <ul style="list-style-type: none">① [開発] 新規作用機構を持つ 殺虫剤の開発② [普及] 後手に廻らない 殺虫剤抵抗性管理
殺虫剤抵抗性リスク分析, 3 ステップ <ul style="list-style-type: none">【① 研究】 殺虫剤抵抗性リスク評価<ul style="list-style-type: none">・ 殺虫剤の効果・抵抗性機構の解明・ 抵抗性病害虫の生物学的・遺伝的特性の解明・ 抵抗性の検出 (生物検定・遺伝子診断)・ 抵抗性リスク評価表の作成【② 施策】 殺虫剤抵抗性管理<ul style="list-style-type: none">・ 抵抗性対策 (防除方法) の確立 (ローテーション, 混用, IPM体系, 等)・ 抵抗性対策ツールの整備 (抵抗性管理ガイドライン, 等の作成)【③ 対話】 殺虫剤抵抗性リスクコミュニケーション<ul style="list-style-type: none">・ 抵抗性リスクの正しい伝達・ 農業生産者との対話・連携の仕組み作り・ 関係者の所属・立場の垣根を超えた連携・ 地域の防除暦・基準への抵抗性管理の導入

最初のステップは、抵抗性の実態を明らかにする研究、「薬剤抵抗性リスク評価」です。抵抗性に関する様々な視点からの研究は、抵抗性対策に活用できる資料（＝抵抗性対策ツール；図 1）を作成する上での科学的な根拠の基盤となります。リスク評価での研究成果は、抵抗性リスク評価表によって集約されて、抵抗性リスクの重篤度が分かりやすく点数化されます（農林害虫防除研究会、2020）。

第 2 ステップは「薬剤抵抗性（リスク）管理」で、後手に廻らない抵抗性リスクコントロールの施策です。第 1 ステップの抵抗性リスク評価をベースとして、薬剤抵抗性対策を実行する防除法の確立を行います（図 1）。加えて、薬剤抵抗性対殺ツール（図 1）も整備します。具体的には、薬剤ローテーションや IPM 技術との体系を組んだ防除対策・方法が提案されます。

第 3 ステップは、後述する「薬剤抵抗性リスクコミュニケーション」です（図 4）。

2-2) 薬剤抵抗性を抑えるための大きな戦略

ここで、薬剤抵抗性管理の基本と用語を整理します（図 1）。その基本は「薬剤抵抗性を“遺伝させない”ように“適切な”薬剤の使い方（＝抵抗性対策）を考えること」です。

“薬剤抵抗性管理”とは、薬剤抵抗性という難敵を抑えるための大きな「戦略」、いわば大作戦です。“薬剤抵抗性対策ツール”という様々な「武器」を活用して、“薬剤抵抗性対策”という「戦術」すなわち適切な薬剤の使用方法を行って、難敵「薬剤抵抗性」と折り合いをつけます。

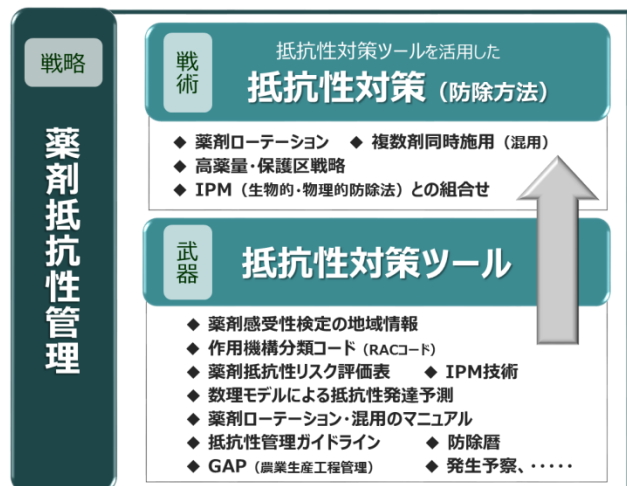


図 1. 薬剤抵抗性管理を構成する要素
山本 (2019a) を改訂

2-3) 薬剤抵抗性管理の位置付け

図 2 に農業生産に関わる管理体系を示します。薬剤抵抗性管理（PRM; Pesticide Resistance Management）を効率的に進めるためには、総合的作物管理（ICM; Integrated Crop Management）の重要な基盤技術の一つである耕種的防除の利用や、総合的病害虫雑草管理（IPM; Integrated Pest Management）の生物的防除や物理的防除資材の活用が不可欠です（農林水産省消費安全局植物防疫課、2015）。すなわち、薬剤抵抗性管理 PRM は ICM・IPM の基盤なしには成り立ちません（図 2；山本、2019a）。

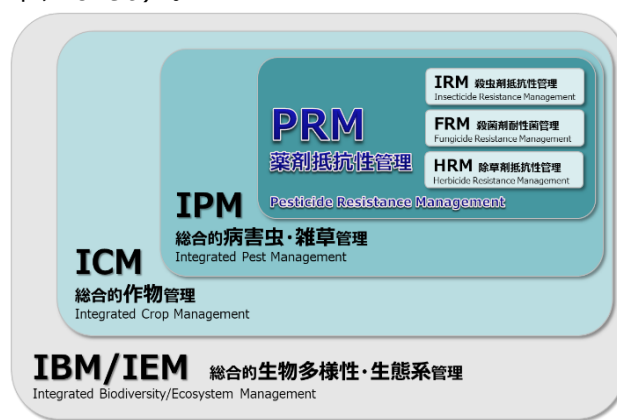


図 2. 農業生産に関わる管理体系と薬剤抵抗性管理の位置づけ 山本 (2019a)

2-4) 薬剤抵抗性管理を考えた防除

次に、薬剤抵抗性管理・対策を踏まえた防除の基本 5 点を、害虫防除を例にして、一般的な 3 対策「入れない、増やさない、出さない」に基づき考えます（表 2）。

1) 〔入れない〕

初期防除・予防を行い、抵抗性害虫を圃場に持ち込まないようにします。

2) 〔増やさない①〕

害虫の連続した世代への同一系統（作用機構）の薬剤施用を避け、抵抗性遺伝子 R を遺伝させないようにします。

3) 〔増やさない②〕

追加防除を行って害虫個体数を十分に少なくし、抵抗性遺伝子 R そのものを徹底的に減らします。

4) 〔増やさない③〕

薬剤施用後に圃場外から感受性個体 SS を多量に移入する環境を整えます。そして抵抗性個体 RR と交尾・繁殖させて、抵抗性遺伝子 R の頻度を下げます。

表 2. 薬剤抵抗性管理を考えた防除の基本
山本 (2019a) より作成

防除3対策 キーワード	薬剤抵抗性管理での 目的	薬剤抵抗性管理の防除 5つの基本 (害虫の場合)
入れない (栽培の前)	✓ 圃場へ抵抗性病虫害を 持ちこまない。	① 初期防除を行う。 → 薬剤防除, 生物的・物理的・耕種的防除
増やさない (作物の生育期)	✓ 抵抗性遺伝子を 次世代へ伝えない。 ✓ 抵抗性病虫害・遺伝子そのものを 徹底的に減らす。	② 害虫の連続した世代へ同じ薬剤を使わない。 → 薬剤ローテーション, 生物的・物理的防除の併用。 ③ 追加防除で, 害虫個体数を十分に少なくする。 → 薬剤防除, 生物的・物理的防除
出さない (栽培の終了後)	✓ 抵抗性病虫害・遺伝子の 比率を下げる。 ✓ 生残ってしまった抵抗性病虫害を 圃場の外へ出さない。	④ 感受性害虫を移入させる環境を整える。 そして, 抵抗性害虫と繁殖させる。 ⑤ 最終防除 (追加防除) を行う。 → 物理的・耕種的・生物的防除, 薬剤防除

5) [出さない]

最終防除 (追加防除) を行います。害虫防除が終わった圃場には、どうしても抵抗性害虫が少しでも生残ってしまいます。栽培が終わった圃場から、抵抗性個体 RR が圃場外の周辺環境へ逃げ出さないように、残渣処理などの最終防除を行います。これは、次の作期の栽培での抵抗性害虫の発生源を断つ意味で重要です。

2-5) 3つの薬剤処理方法

次に、この基本的な防除の考えを組込んだ薬剤の適切な処理方法を紹介します。

薬剤ローテーション (Georghiou, 1983) は、最もよく知られた処理方法で、抵抗性発達の緩和策です。害虫の連続した世代へ同じ (作用機構の) 薬剤を処理しないことが鉄則です。また、処理しない期間に薬剤感受性を回復させて再び使用できるようにすることも、忘れてはならない鉄則ですが、どうも忘れられているようです。

薬剤混用は、異なる (作用機構の) 薬剤を混合して処理し抵抗性害虫 (抵抗性遺伝子) そのものを徹底的に減らす方法です。抵抗性への積極的な攻撃策です。数理モデルで検証すると、薬剤混用は薬剤ローテーションよりも抵抗性発達の遅延効果に優れています (山村ら、2019)。

高薬量・保護区戦略による薬剤処理は、最近注目されるようになりました。まだあまり知られていませんが、1 薬剤の使用だけでも抵抗性発達遅延ができるので、究

極的な応用策とも言えるでしょう。詳しく説明しませんが、抵抗性と感受性のヘテロ個体を防除できる濃度 (いわゆる高濃度) で処理すること、それと薬剤が効く感受性個体群を圃場の外から入れること、の 2 点が必要となります (鈴木、2012 ; 山本、2019b)。

2-6) IPM 技術の併用

殺虫剤抵抗性対策には薬剤だけに頼るのではなく、薬剤を使わない IPM 技術を併用する体系防除が、抵抗性対策の効果を高めます (山本、2019a)。

害虫防除分野では、生物的・物理的防除・耕種的防除などの IPM (総合的病害虫雑草管理)・ICM (総合的作物管理) 技術が実用化しています。例えばハダニ防除の分野では (図 3)、2000 年以前は殺ダニ剤による防除が主流でしたが、2000 年以降は気門封鎖剤などの天然由来剤、カブリダニ類などの生物的防除法や中波紫外線 (UVB) や高濃度炭酸ガス等の物理的防除法の開発・実用化が進展しました。

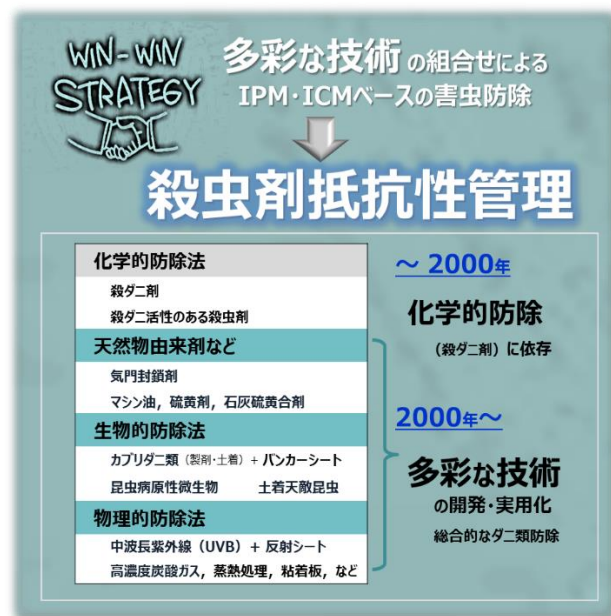


図 3. IPM 技術との体系による殺虫剤抵抗性管理 (ハダニ類防除の例) 山本 (2019a)

3. 伝える! 薬剤抵抗性リスクコミュニケーション

薬剤抵抗性リスク評価 (研究) やリスク管理 (施策) によって薬剤抵抗性管理・対策の技術は出来上がったとします。しかし、その技術は作ったら終わりと言うの

では無く、それが農業生産者に伝わり使われてはじめて意味を持ちます。そのためには関係者間の対話、すなわちリスクコミュニケーションが必要です。

一般的に、リスクコミュニケーションとは専門家が一般の人へリスクの情報を伝え対話することです。したがって、研究者・指導員には、農業生産者へ抵抗性リスクの重大性や損失の程度を正しく伝え、抵抗性対策ツールや適切な薬剤処理方法を分かりやすく説明する対話技術・専門性・指導力が求められます。さらに、熱意と人間力があれば万全です。

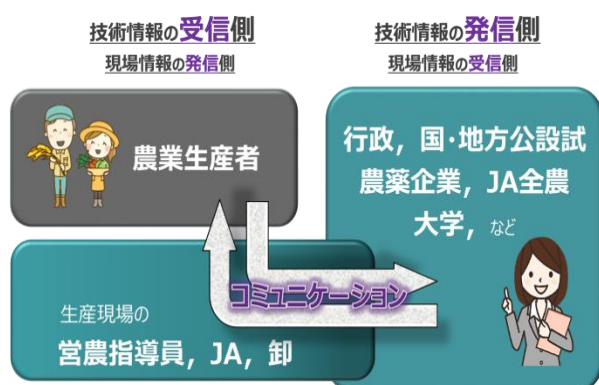


図 4. 薬剤抵抗性リスクコミュニケーション
山本 (2019a)

抵抗性リスクコミュニケーションを見える形とするために、地域の作物に応じた防除マニュアルや防除基準に、抵抗性管理の考え方を盛り込んでみましょう。そして、上から目線ではなく、生産者の自主性を伸ばすようなアドバイスができれば良いと考えます。

4. みんなが得する薬剤抵抗性管理

薬剤抵抗性リスクコミュニケーションに関して、日本応用動物昆虫学会大会で小集会「殺虫剤抵抗性リスクコミュニケーション」が企画され (2018~20の各大会)、多くの研究者・指導者の熱意ある意見が交換され、抵抗性管理の課題が浮彫りとなりました。

また、農林害虫防除研究会 (HP : <http://agroipm.org/>) には、殺虫剤抵抗性対策の専門委員会「殺虫剤抵抗性対策タスクフォース」が設立されました (山本・土井, 2019)。第三者的な立場か

ら、抵抗性管理の分かりやすい解説とともに、抵抗性リスクへの取組みを提案しています。

薬剤抵抗性管理・対策は現場ファーストであり、生産者・現場指導員が主役です。そして、IPM・ICMの技術を基盤に関係者が所属の枠を超えてワンチームとなり、みんなが得する薬剤抵抗性管理へのビクトリーロードを進みトライを決めたいと思います！ (山本, 2019a)

引用文献

- Georghiou, G. P. (1983) Management of Resistance in Arthropods, "Pest Resistance to Pesticides", pp.769-792.
- 農林水産省消費安全局植物防疫課 (2005) : 「総合的病害虫・雑草管理 (IPM) 実践指針」 http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_ipm/pdf/byougai_tyu.pdf.
- Oerke, E. C. (2006) J. Agricultural Science 144 : 31-43.
- Sparks, T. C. et al. (2020) Pesticide Biochemistry and Physiology, <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
- 鈴木芳人 (2012) 植物防疫 66(7) : 380-384.
- 西本麗 (2019) 日本農薬学会誌 44(1): 5-14.
- 農林害虫防除研究会 (2020) : http://agroipm.sakura.ne.jp/files/risk_kanni.pdf (2020.9.30 参照)
- 山本敦司 (2012) 日本農薬学会誌 37(4) : 392-398.
- 山本敦司 (2017) 植物防疫 71 : 337-346.
- 山本敦司 (2019a) 植物防疫 73 : 766-773.
- 山本敦司 (2019b) EBC 研究会ワークショップ 2019 講演要旨 : 27-37.
- 山本敦司・土井誠 (2019) 農林虫防除研究会 News Letter No.43 : 4-7.
- 山村光司・須藤正彬・山中武彦 (2019) "薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案 / 農研機構", pp.7-15.