

【講演要旨】 薬剤抵抗性対策は、総合防除・IPM を基盤に！

農林害虫防除研究会（専門委員会：殺虫剤抵抗性対策タスクフォース）

日本農薬学会（常任評議員）、日本曹達株式会社

山本 敦司

はじめに

農業生産現場で、「そもそもなぜ薬剤抵抗性管理が必要なのか？そしてそれを現場で実践するには、なにをどうすればよいのか？薬剤ローテーション防除をすれば問題なしと思い込んでいないか？」本日の講演では、いわゆる「ゼロ発想」で、みなさんと一緒に現場目線で考えてみましょう。病虫害雑草たちには申し訳ないのですが、仮に「敵」とみなして、次の流れで説明します。

- ① 現状をとらえ、敵を知る！
どうして薬剤抵抗性が発達するのか？
- ② 作戦を練る！ 薬剤抵抗性管理の考え方
- ③ 敵を抑える！

薬剤抵抗性を発達させにくい防除法

I. 現状をとらえ、敵を知る！

I-1 薬剤抵抗性とは・・・

病虫害雑草に対して、うっかりと“適切でない方法”で同じ系統の薬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常用薬量でも圃場での防除効果がなくなり、やっかいなことに、次の世代（子・孫・ひ孫……）へも遺伝して伝わる生物進化の一現象です。

薬剤抵抗性発達は、病虫害雑草の生物的特性にも左右されるのですが、私たちの薬剤防除のやり方の良し悪しでも引き起こされます。敵たちをよく調べもせず、単に薬剤防除のみに頼ってしまい、抵抗性発達をこじらせてしまうヒューマンエラー（人間の過失）でもあるのです。

I-2 薬剤抵抗性発達のプロセス

圃場での薬剤抵抗性発達は、おおまかに 3 段階のプロセス「①感受性→②低感受性→③抵抗性」で顕在

化します。自然界では、敵たちの個体群中で、ごくわずかな個体が薬剤抵抗性遺伝子をとても低い頻度でもともと持っています（①**感受性の段階**：防除効果は高い）。そして、薬剤の使用（同一系統薬剤の連用）により抵抗性個体が多く生き残り、薬剤感受性が低下します（②**感受性低下の段階**：防除効果はあり）。さらに、同じ薬剤に頼らざるを得ない防除では、生残った抵抗性個体の子孫が増殖して個体群中に抵抗性遺伝子が拡散し、抵抗性が発達します（③**抵抗性の段階**：防除効果なし）。そして、薬剤感受性検定などで 3 段階のプロセスの現状を、あらかじめ知ることは得策です。

II. 作戦を練る！

現場で薬剤が効かなくなってから抵抗性を問題にすることがよくあります。ですが、このタイミングでは遅く、圃場の防除効果が全く問題にならない時期から、「あらかじめ抵抗性発達をさせにくい防除」を考えておきましょう。農業生産者はもちろん、行政、研究者・現場指導員や農薬企業にとっても、長い目で見て「みんなが得をする薬剤抵抗性管理」に取り組むことが大切です。

薬剤抵抗性問題の解決の道筋には、①多様な防除技術を組み合わせる IPM 基盤の体系防除の普及、②薬剤抵抗性発達を遅延・阻止する薬剤抵抗性管理・対策、および③新規農薬の開発、が必要です。

II-1 薬剤抵抗性管理とは・・・

薬剤抵抗性管理は、病虫害雑草と折合いをつけて農薬に強くさせない防除の大戦略、抵抗性を発達させない上手な防除へ導く道筋・施策です。病虫害雑草と戦い尽くすのではなく、経済的に被害をおよぼさない発生密度（経済的被害許容水準）以下に抑えればよいの

です。これには「自然環境に配慮しながら、病虫害雑草を防除し尽くすのではなく、農作物に被害を出さない程度に抑える」という、IPM（総合的病虫害・雑草管理）や生物多様性管理の考え方が反映されています。

薬剤抵抗性管理の目的は、薬剤抵抗性リスクを下げる施策を作り、“適切な”薬剤の使い方や防除法を提案することです。薬剤抵抗性管理は（図 1）、薬剤抵抗性という難敵を抑えるための大きな「戦略」、すなわち大作戦です。そして、抵抗性対策ツールという「武器」を利活用して、抵抗性対策という「戦術」すなわち薬剤の適切な使用法を実行し、難敵を制御して薬剤抵抗性リスクを下げます。

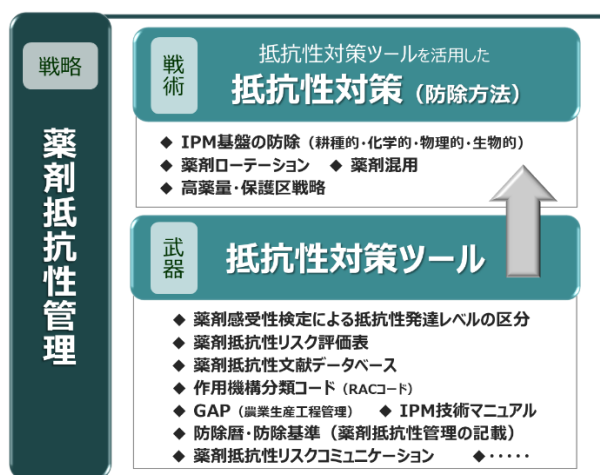


図 1. 薬剤抵抗性管理を構成する要素

山本（2019）植物防疫 73, 766-773. を改訂

Ⅱ-2 薬剤抵抗性管理の実践サイクル

薬剤抵抗性管理を現場の行動へ結びつける方法として、薬剤抵抗性対策ツールを利活用して実践サイクルを回します（図 2）。①まず現状を把握するために、薬剤感受性検定を実施し、「抵抗性発達段階・レベルの区分指標」を利用して該当地域の抵抗性発達レベルを薬剤ごとに判断します。②次に、抵抗性リスクを見える化し抵抗性対策方法の選択判断をするために、薬剤抵抗性リスク評価表を現場ごとに作成し、生産者との薬剤抵抗性リスクコミュニケーションに利活用します。③それに基づいて既存の防除体系・抵抗性対策法を見直して、抵抗性対策を踏まえた IPM 基盤の防除を実施し、薬剤抵抗性リスクを下げます。

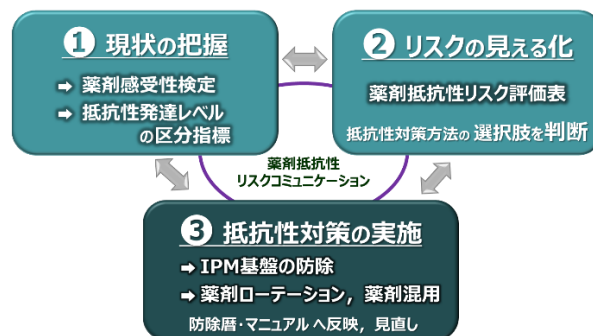


図 2. 薬剤抵抗性管理の実践サイクル

山本（2023）植物防疫 77, 594-598. を改訂

Ⅱ-3 薬剤抵抗性管理の位置付け

農業生産にはさまざまな管理体系が関わり（図 3）、総合的生物多様性管理（IBM）が基盤となります。この体系で病虫害雑草防除に深く関わるのは、総合的作物管理（ICM）からです。その中で、薬剤抵抗性管理（PRM）を効率的に進めるためには、総合的作物管理（ICM）の重要な基盤技術の一つである作物の品質・収量を向上させる諸技術とともに、IPM の耕種的・生物的・物理的防除資材の活用と化学農薬との適切な組合せが不可欠です。すなわち、薬剤抵抗性管理（PRM）は ICM・IPM の基盤の上に成り立っているのです。IPM 実践指針の考え方（農林水産省、2005）を組込んだ IPM ベースの薬剤抵抗性対策が農水省植物防疫課からも推進され、総合防除指針（2023）へ引継がれています。



図 3. 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（2019）植物防疫 73, 766-773. を改訂

Ⅲ. 敵を抑える！

Ⅲ-1 IPM による薬剤抵抗性対策の実践

薬剤抵抗性対策の実践、いわゆる戦術は、IPM 基盤の防除が基本です（図 1）。IPM の 4 防除（耕種、化学的、物理的、生物的防除）の各要素技術を適切に組み合わせることで、薬剤の淘汰圧を緩和しながら病虫害雑草防除を成功させます。化学的防除でも、薬剤抵抗性管理を念頭においた薬剤使用法（薬剤ローテーションや薬剤混用）が必要です。さらに、薬剤感受性個体群を保護し活用する「高薬量・保護区戦略」も提案されています（説明は割愛）。

Ⅲ-2 薬剤抵抗性管理を踏まえた防除の基本

病虫害雑草防除では、それらを「圃場に入れない、増やさない、圃場の外に出さない」の基本 3 原則があり、次のように薬剤抵抗性管理にも応用できます。

〔1. 入れない〕 初期防除・予防を行い、薬剤抵抗性の個体・個体群を圃場に入れないようにします。

〔2. 増やさない①〕 病虫害雑草の連続した世代への同一系統の薬剤施用を避け、薬剤抵抗性遺伝子 R を遺伝させないようにします。

〔3. 増やさない②〕 追加防除で防除対象の個体数・密度を十分に少なくし、薬剤抵抗性遺伝子 R そのものを徹底的に減らします。

〔4. 増やさない③〕 薬剤感受性が復元する環境を整えます。そのために、圃場外から薬剤感受性ホモ個体 SS を移入、または圃場内の感受性 SS を保護し、抵抗性ホモ個体 RR と交尾や繁殖をさせます。その結果、圃場内の薬剤抵抗性遺伝子 R の比率を下げます。

〔5. 出さない〕 最終防除を行う。作期の終盤で薬剤抵抗性遺伝子 R 頻度が高くなってしまった圃場から、圃場外の周辺環境へ薬剤抵抗性個体 RR を移出させないように、残渣処理などの最終防除を行います。

Ⅲ-3 薬剤ローテーションの盲点

単に作用機構（RAC コード）の違う薬剤を順番に使うだけでは抵抗性対策は不十分です。その薬剤を使わない間に薬剤感受性が回復し、再び使えるようになるのが必要です。現実的には感受性回復の事例はとて

少ないです。薬剤ローテーションを行えば抵抗性対策は万全、と思い込んで頼りきるのは、失敗のもとです。

Ⅲ-4 薬剤混用

薬剤混用は、病虫害の複数の作用点を同時攻撃する積極的な防除策で、抵抗性系統も含めた病虫害雑草の発生量を徹底的に減らします。さらに、混用の相乗効果で防除効果がアップする事例もあります。数理モデルの検証でも、薬剤混用が薬剤ローテーションよりも抵抗性対策には優れます。一方、薬剤混用により作物への薬害を助長する事例もあり、注意が必要です。

Ⅲ-5 IPM 基盤の薬剤防除の基本を守る

ミスのない上手な防除と薬剤抵抗性対策は、いわばコインの表と裏の関係です。防除の基本ワザは、病虫害の発生量・密度を徹底的に減らした状態をキープすることです。薬剤防除のコツを思い出しましょう。①予防・発生初期の防除タイミング、②低薬量防除や散布ムラをしない、③作物残渣の除去、④化学農薬以外の IPM の要素技術と防除体系を組む、などです。

Ⅲ-6 薬剤抵抗性リスクコミュニケーション

薬剤抵抗性対策の技術は作ったら終わりと言うのではなく、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、専門家が生産者へ薬剤抵抗性リスクの情報を伝え対話するリスクコミュニケーションが大切です。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方法を分かりやすく説明する対話技術、専門性、指導力、人間力が求められます。そして、薬剤抵抗性管理の実践サイクル（図 2）を回し、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むのも一手です。

おわりに・・・ みんなが得する薬剤抵抗性管理

薬剤抵抗性管理は現場ファーストであり、生産者・現場指導員が主役。そして、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」IPM 基盤の薬剤抵抗性管理へのビクトリーロードを駆け抜けよう！

参考文献

- 1) 山本敦司（2019）殺虫剤抵抗性管理：高薬量保護区戦略のケーススタディと最近の研究動向，EBC 研究会ワークショップ 2019 講演要旨，27-37.
- 2) 山本敦司（2020）薬剤抵抗性管理：ケーススタディから考えよう，関東東山病害虫研究会報 67：1-8.
- 3) 山本敦司（2023）農業生態系における薬剤抵抗性管理，化学農薬・生物農薬およびバイオスティミュラントの創製研究動向，シーエムシー出版：516-550.
- 4) 山本敦司（2023）殺虫剤抵抗性管理を行動に移す，植物防疫，77：594-598.
- 5) 山本敦司・土井誠（2021）殺虫剤抵抗性リスク評価表，植物防疫，75；16-24.

【関連情報 1：動画配信（無料）】

アグリジャーナルのオンライン展示会のカンファレンスにて、次の講演がインターネット上で動画配信されています（2020 年 12 月～）。主に農業生産者向けの一般的な内容です。「山本敦司、農薬」で検索もできます。

演題「農薬に強い病害虫を増やさない防除！／山本敦司」

（前編）薬剤防除の基本（約 30 分）<https://expo.agrijournal.jp/conference/pestcontrol/>

（後編）みんなが得する薬剤抵抗性対策（約 30 分）

<https://expo.agrijournal.jp/conference/pestcontrol2/>

【関連情報 2：薬剤抵抗性の情報を発信する組織・団体】

（1）国・植防関連団体

- 農林水産省消費・安全局植物防疫課：総合防除（IPM）の施策の中で、薬剤抵抗性管理体制の整備を実施、推進している。
- 農研機構：農林水産省委託プロジェクト研究「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」の研究成果を、指導者向けガイドライン案として HP 上に公開している。
- 日本植物防疫協会：1960 年代から日本の薬剤抵抗性対策の研究を、農林水産省とともに主導してきた。近年では日本植物防疫協会シンポジウム、機関誌「植物防疫」およびホームページにて、薬剤抵抗性に関する情報を発信している。

（2）学会

次の学会・研究会の組織がそれぞれの HP 等で、薬剤抵抗性分野の学術的な情報を発信している。

- 殺菌剤分野：殺菌剤耐性菌研究会（1991～、日本植物病理学会）。
- 殺虫剤分野：殺虫剤抵抗性対策タスクフォース（2019～、農林害虫防除研究会）。
- 除草剤分野：除草剤抵抗性雑草研究会（2006～、日本雑草学会）。

（3）農薬企業関連

- 世界：農薬企業の組織団体は Crop Life International（CLI）である。その傘下に抵抗性対策委員会「FRAC（殺菌剤）、IRAC（殺虫剤）、HRAC（除草剤）」が 1980 年代に組織され、農薬の作用機構を分類し RAC コードを決めている。
- 日本：CLI 傘下の Crop Life Japan（旧 農薬工業会）が薬剤抵抗性対策委員会（JFRAC, JIRAC, JHRAC）で、RAC コードなどの情報を日本語へ翻訳している。

以上