

病害虫抵抗性の出にくい 効果的な農薬の使い方

～作用機作からみた農薬の抵抗性管理～



ミカンキイロアザミウマ

兵庫県立農林水産技術総合センター

今日の話題

- I 薬剤抵抗性の問題と対応
- II 農薬の作用機作と抵抗性の発現リスク
- III リスク管理の方法

I 薬剤抵抗性の問題と対応

薬剤抵抗性の発達した害虫、薬剤耐性の発達した病原菌の発生が大きな問題となっている

- 難防除病害虫の問題→病害虫による経済的損失の増加
- 新規成分の薬剤開発や登録が困難→代替剤が少ない



- IPM（総合的病害虫雑草管理）により
薬剤以外の防除をすすめる
- 薬剤を使用する場合は、その特性を理解
して適正に使用する

なぜ薬剤抵抗性・耐性の対策が必要か

- 1 農薬を消耗品感覚で使用するのではなく、大切に使用。代替剤・新剤開発への過度な期待は禁物。
- 2 病害虫によってはいずれ薬剤抵抗性が発達する事を念頭に置く。
- 3 有効な薬剤を可能な限り温存し、抵抗性の発達を遅延させることが必要。
- 4 農薬を適正に使用し、防除効果を最大限に得ることが重要。

報告の多い薬剤抵抗性病害虫

水稻

イネいもち病・イネ粃枯細菌病・イネばか苗病

トビイロウンカ

麦・大豆

コムギ赤かび病・ダイズ紫斑病

ハスモンヨトウ

野菜類

灰色かび病・イチゴ炭疽病・トマト葉かび病

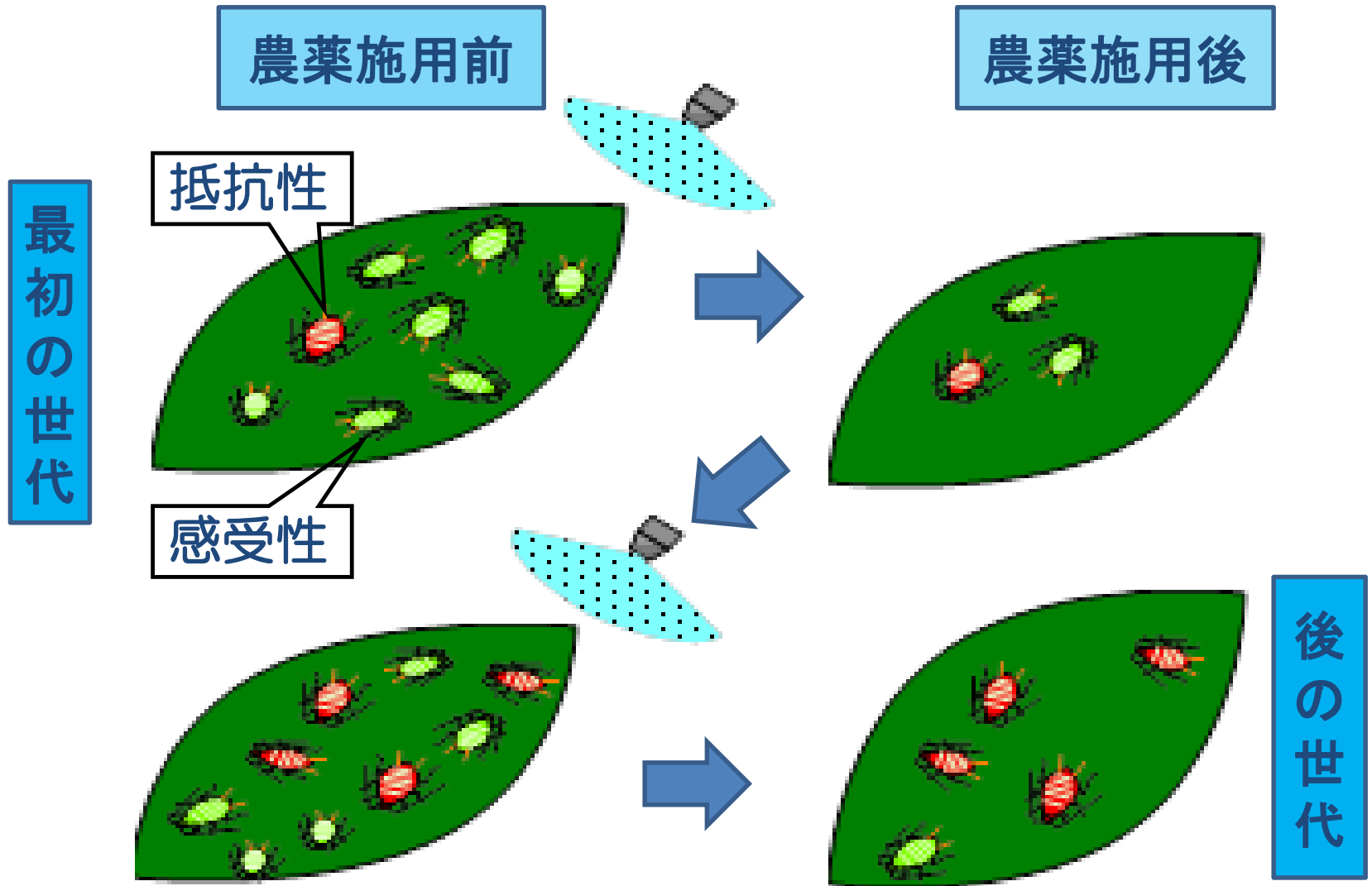
ナミハダニ・コガ・タバコナガミ・オタバコガ・ワタバラムシ・ハスモンヨトウ・ミカンイロアザミウマ・オソツコナガミ

果樹・茶

ナシ黒斑病・ナシ黒星病・モモせん孔細菌病
ブドウベと病・リンゴ斑点落葉病・チャ炭疽病

ナミハダニ・モモアカブラムシ・リンゴハダニ・ミカンハダニ

農薬施用の反復と選択的淘汰の概念図



「FAO(国連食糧農業機関)：薬剤抵抗性の防止と管理に関するガイドライン」より

抵抗性の発現しやすい微小害虫



ハダニ類 (ナミハダニ)



アブラムシ類 (ワタアブラムシ)



アザミウマ類 (ネギアザミウマ)



コナジラミ類 (タバココナジラミ)

抵抗性の発現しやすいチョウ目害虫



オオタバコガ



ハスモンヨトウ



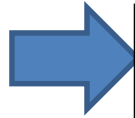
コナガ



ハイマダラノメイガ

【抵抗性の獲得】

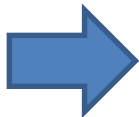
- 薬剤を代謝系の中で分解、解毒して不活性化
- 作用点の変異や蓄積を阻害する機能の獲得



作用点が単一の薬剤ほど感受性低下のリスクが高い

【抵抗性病害虫の増加】

- ある薬剤に対してもともと抵抗性のある個体や突然変異による抵抗性獲得個体が、薬剤施用の反復によって選抜されて後代に抵抗性個体が大幅に増加



同一の薬剤の連用による淘汰

ハダニ類など世代数の多い種類・世代が短いほど増加率が高い。病気の場合は生産胞子数の多さ等

抵抗性の獲得の要因

- 母集団(個体群)の大きさ・・・大きいと生き残る確率が大
- 繁殖能力・・・一世代当たりの産卵数や孢子形成量が多いと抵抗性出現の確率が高い
- 一世代の期間・・・世代の回転が速い、感染から発病までの期間が短いと淘汰圧も高まる。
- 使用薬剤の標的部位の数
- 宿主範囲・・・加害する作物の範囲が広いと作物間の移動で淘汰を受ける
- 薬剤散布後の生き残り個体数が多くなる・・・
薬液使用量が少ない、希釈濃度が薄い、薬剤付着量が少ないなど
- 薬剤の残留特性と曝露期間
長期持続型ほど同一薬剤が繰り返し散布されたのと同様に淘汰圧が高い

薬剤感受性低下の一例

ネギアザミウマに対する各種薬剤の殺虫効果について

ネギアザミウマ
(*Thrips tabaci* Lindeman)



成虫

幼虫

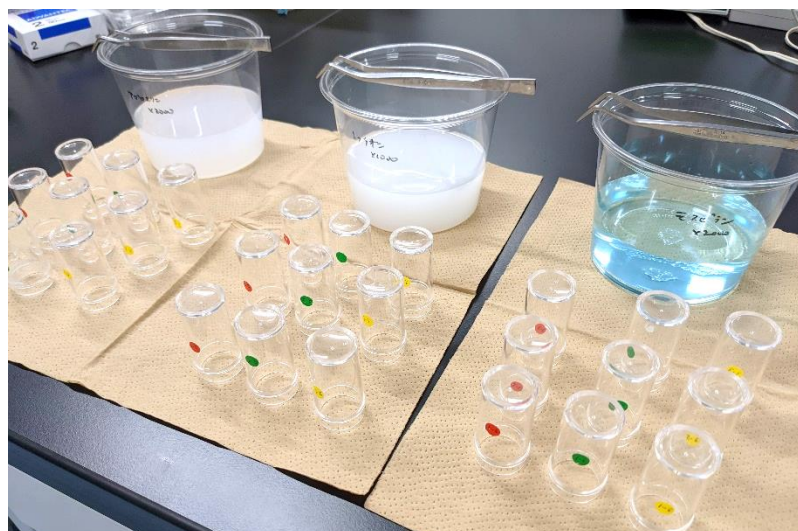


タマネギえそ条斑病

2020年春に大発生！

- 各殺虫剤に対する感受性低下が全国的に問題化
- アイリス黄斑ウイルス (IYSV: *Iris Yellow Spot Virus*) を媒介

薬剤感受性検定方法



スチロール棒瓶の内部を薬液で満たし、風乾



インゲンマメ葉片(1.2cm角)を30秒間浸漬し、風乾



雌成虫7~13頭/容器

25°C(16L8D)で飼育し、48時間後に生死を判定(3反復)

- 柴尾(2013)に準じて、食餌浸漬+ドライフィルム併用法で実施
- 現地で主に用いられる11薬剤の殺虫効果を調査

薬剤感受性検定結果－1

淡路地域のタマネギ圃場から採集(R3年4月～5月)

表 ネギアザミウマ成虫に対する各薬剤の殺虫効果

IRAC コード	薬剤名 (商品名)	希釈倍数	殺虫効果						6地点 平均
			A	B	C	D	E	F	
1B	アセフェート水和剤	1000	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	プロチオホス乳剤	1000	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
3A	シペルメトリン乳剤	2000	△	×	×	○	×	○	△
4A	アセタミプリド水溶剤	2000	×	×	△	○	△	○	△
	イミダクロプリド顆粒水和剤	5000	△	○	-	○	○	-	○
5	スピネトラム水和剤	2500	△	△	×	◎	◎	◎	○
14	チオシクラム水和剤	1500	○	○	○	○	○	○	○
28	シアトラニリ [®] ロール水和剤	2000	△	○	○	○	○	○	○
30	フルキサメタミド乳剤	2000	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
UN	ピリダリル水和剤	1000	×	△	×	○	○	○	△
未	フロメトキン水和剤	1000	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

※48時間後に生死を判定した。

◎:90-100%

○:70-89%

△:40-69%

×:0-39%

➤ 有機リン系 (IRAC:1B) や上市されて間もない2剤 (フルキサメタミド乳剤やフロメトキン水和剤) の殺虫効果は高かった。

➤ シペルメトリン乳剤、アセタミプリド水溶剤、スピネトラム水和剤、ピリダリル水和剤では圃場間差がみとめられた。

→シペルメトリン乳剤、アセタミプリド水溶剤は過去(二井、2010)に比べて、低下

薬剤感受性検定結果－2

淡路地域の葉ネギ圃場から採集(R3年4月～5月)

表 ネギアザミウマ成虫に対する各薬剤の殺虫効果

IRAC コード	薬剤名 (商品名)	希釈倍数	殺虫効果			
			A	B	C	3地点 平均
1B	アセフェート水和剤	1000	◎	◎	◎	◎
	プロチオホス乳剤	1000	◎	◎	◎	◎
3A	シペルメトリン乳剤	2000	△	△	○	△
4A	アセタミプリド水溶剤	2000	×	×	△	×
	イミダクロプリド顆粒水和剤	5000	－	○	－	○
5	スピネトラム水和剤	2500	×	△	△	△
14	チオシクラム水和剤	1500	○	○	○	○
28	シアントラニプロール水和剤	2000	○	○	○	○
30	フルキサメタミド乳剤	2000	◎	◎	◎	◎
UN	ピリダリル水和剤	1000	×	△	×	×
未	フロメトキン水和剤	1000	◎	◎	◎	◎

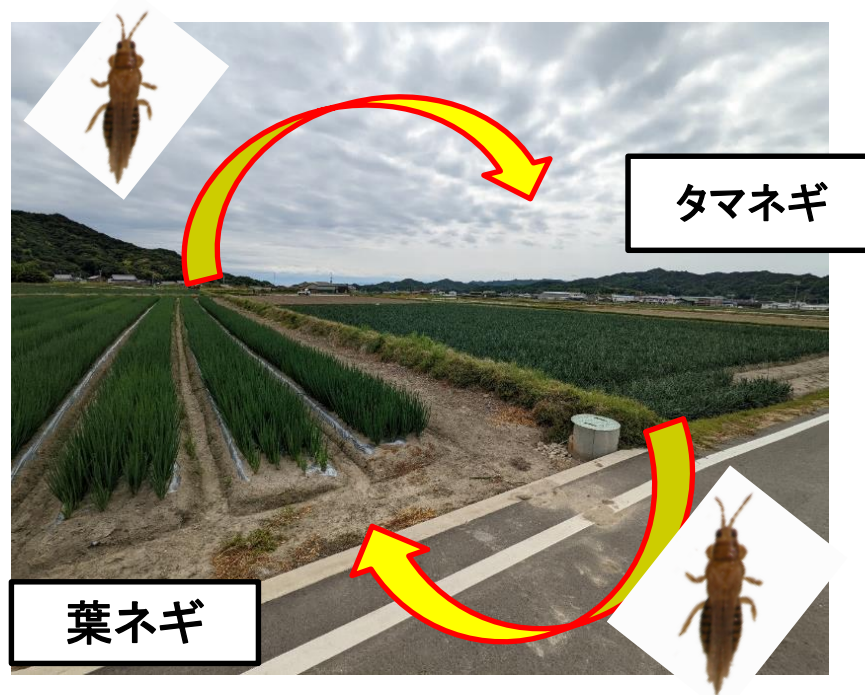
※48時間後に生死を判定した。

◎ : 90-100%
○ : 70-89%
△ : 40-69%
× : 0-39%

- 葉ネギにおいても同様に、殺虫効果にばらつきがある薬剤が認められた。

考察～なぜ、感受性低下が起きたのか？～

- 近年多発生がみられるシロイチモジヨトウを対象に、ネギアザミウマとの同時防除を期待して特定の薬剤を選択する事例が多い。
→ 特定の薬剤を多用することで、殺虫剤感受性が低下した可能性？
- 1年中、ネギアザミウマの生育にとって好適な作物がある。
→ 密度が高くなりやすい上に、薬剤抵抗性の形質が受け継がれやすい？



薬剤感受性低下の一例

イネばか苗病菌のペフラゾエート剤に対する 薬剤感受性検定

1) 薬剤添加培地による感受性検定

ペフラゾエート薬剤感受性検定

供試菌株をPDA培地で25°C、暗黒下で5~7日間前培養する。

ペフラゾエート原体をDMSOに溶解させ、終濃度0.10~100 $\mu\text{g/ml}$ (2倍希釈列)濃度を含むPDA培地を調整する(DMSO濃度1%)。

前培養した菌叢周囲を直径4mmのコルクボーラーで打ち抜き、菌叢面を下にしてペフラゾエート含有PDA培地上に植菌する(2~3反復)。

分離菌株の
ペーパーディスク

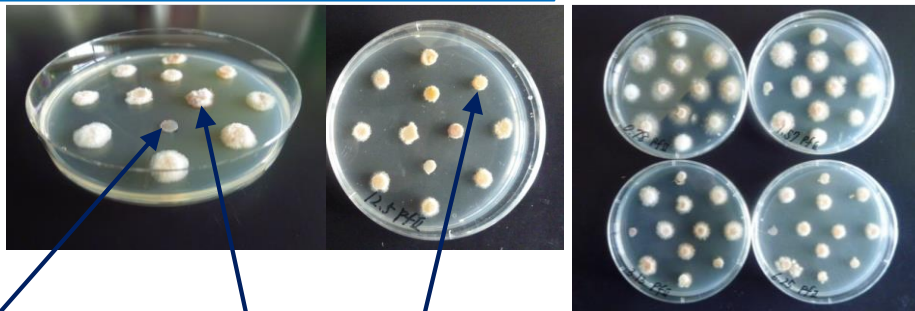
菌叢

コルクボーラー

ペフラゾエート含有
PDA培地
0.10~100 $\mu\text{g/ml}$
2倍希釈列、12種類

25°C5日間培養し、生育の有無を観察する。

25°C5日間培養



生育-

生育+

生育± : MIC結果の集計時は

培地に接していない菌叢(あるいは気中菌糸)は生育しているとはみなさない

生育なしとみなす

ペフラゾエート薬剤感受性はMIC法(和田ら, 1991)に準じて行いました。左図は検定の実際と生育の有無の判定を示したものです。

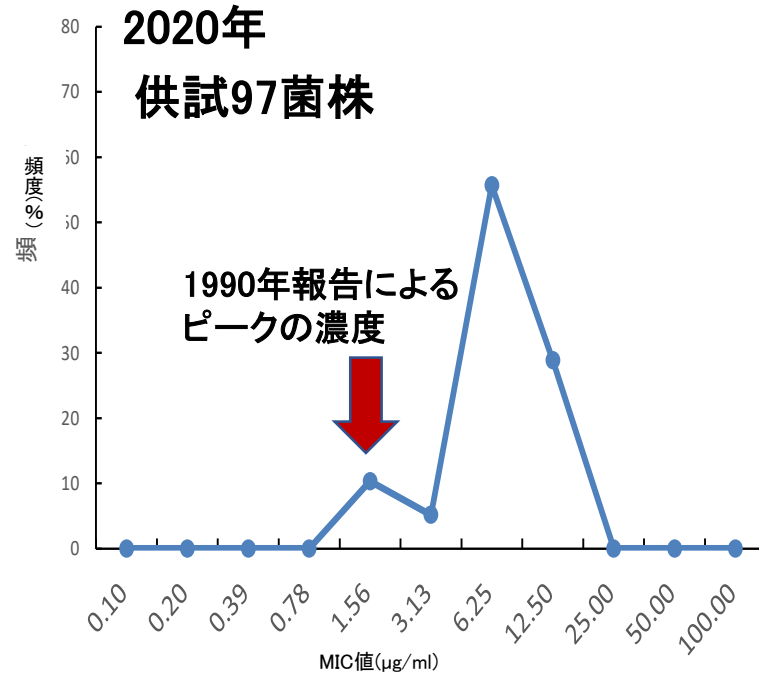
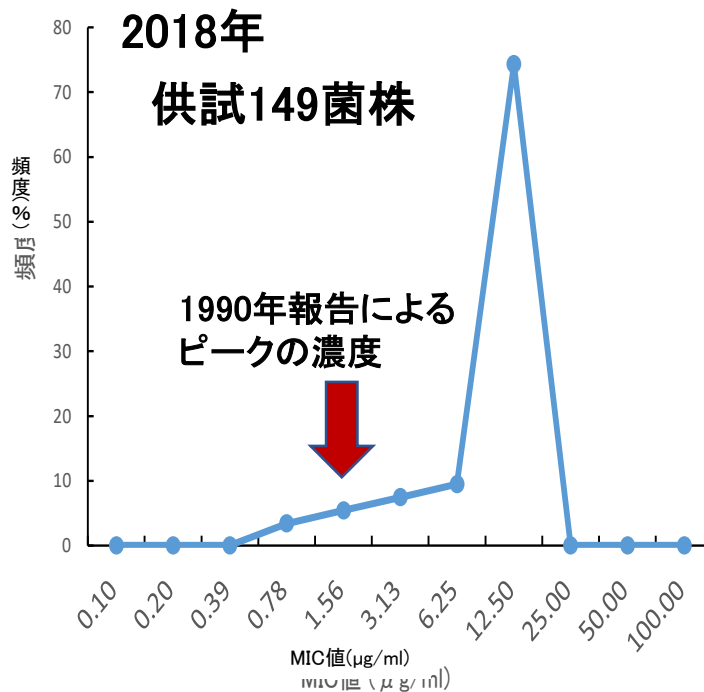


図1 兵庫県で分離したイネばか苗病菌分離株のペフラゾエートに対する感受性分布

2)育苗法による感受性検定

3種の薬剤を用いた生物検定(種籾の徒長抑制試験)

供試菌株をPDA培地で25℃、暗黒下
で5~7日間前培養する。

前培養した菌叢周囲を直径4mmの
コルクボーラーで打ち抜き、
PD Broth培地に入れて1週間振とう培養

菌培養液を1重のキムワイプで濾過した後、
濃度を 4.5×10^6 個/ml前後に調整

イネ種籾へ減圧接種
減圧条件は0.08 MPa、1時間
接種後、24時間室温で風乾

得られた接種籾は健全種籾:減圧接種籾=7:3に混合して供試
薬剤処理は、ペフラゾエート乳剤200倍液、
銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート水和剤200倍液、
イプコナゾール・銅水和剤200倍液、それぞれに15℃、24時間浸漬して行った。
その後、15℃、4日間浸種した。薬剤消毒なしは15℃、5日間浸種した。

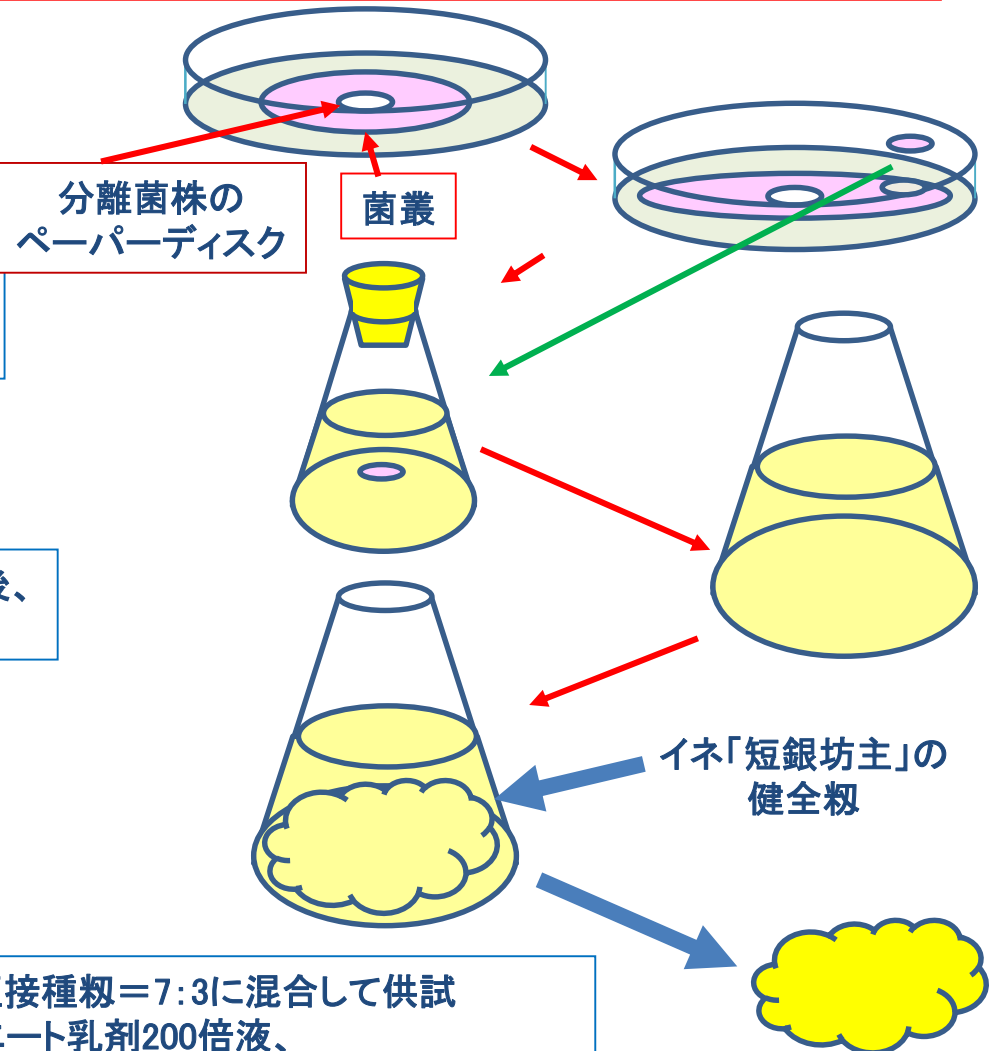


表1 兵庫県で採集したばか苗病菌分離株に対する各種薬剤の防除効果

分離株 ¹⁾	採取年度	採取地域	培地試験におけるMIC値 (mg/L)		短銀坊主を用いたばか苗病防除試験(防除価 ²⁾)		
			ペフラゾエート	イプコナゾール	Pf乳剤 ³⁾	C+Fl+Pf水和剤 ³⁾	Ip+C水和剤 ³⁾
1	2019	加西	12.5	1.57	38.6	100.0	99.6
2	2019	加西	12.5	1.57	29.6	100.0	98.5
3	2019	加西	12.5	1.57	61.2	100.0	100.0
4	2019	加西	12.5	1.57	74.4	99.4	99.0
5	2019	加東	0.78	0.39	97.6	100.0	100.0
6	2019	加東	12.5	1.57	62.8	100.0	100.0
7	2019	豊岡	1.57	0.78	98.2	100.0	100.0
8	2019	朝来	1.57	0.39	92.7	100.0	96.0
9	2019	朝来	1.57	1.57	95.2	100.0	100.0
10	2020	加東	12.5	0.78	98.3	100.0	100.0
11	2020	加東	12.5	1.57	10.7	100.0	97.2
12	2020	加東	12.5	1.57	68.9	99.5	100.0

1) 分離株番号は図3の番号に対応。

2) 無処理区を含む各処理区の徒長苗率(出芽した苗のうち徒長した苗の割合)を算出して、防除価は以下の式で計算した。

(無処理区の徒長苗率－処理区の徒長苗率)÷無処理区の徒長苗率×100

3) Pf乳剤: ペフラゾエート乳剤、C+Fl+Pf水和剤: 銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート水和剤、Ip+C水和剤: イプコナゾール・銅水和剤。

4) 種子消毒はいずれの薬剤も200倍希釈液に浸種前24時間種子浸漬処理した。

5) 供試品種は「短銀坊主」で、健全種籾: イネばか苗病菌分離株減圧接種籾=7:3に混合して供試した。

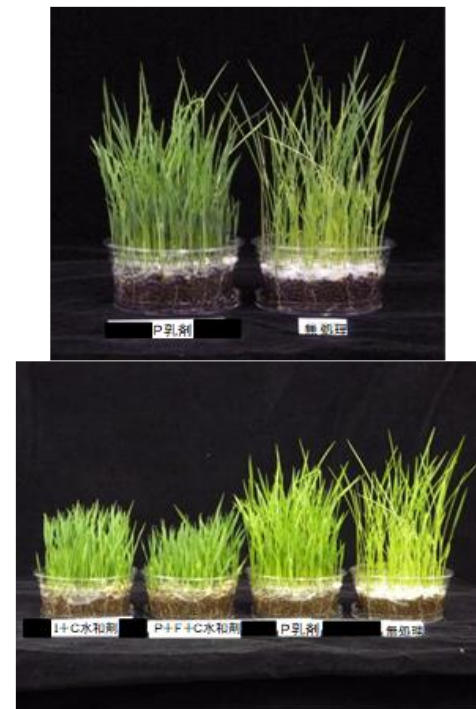


図4 生物検定の結果の一例(分離株2)

P:ペフラゾエート

C+F+P:銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート

I+C:イプコナゾール・銅

3)考察

①: Pfのイネばか苗病菌に対するMIC値とPf乳剤の防除効果の関係

MIC値0.78 $\mu\text{g}/\text{ml}$ と1.57 $\mu\text{g}/\text{ml}$  十分な防除効果


12.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$

 8菌株のうち7菌株で防除効果が低下

プロクロラズのイネばか苗病菌に対するMIC値とプロクロラズ乳剤の防除効果の関係(中島ら、2020)

②: Pfは耐性菌リスク中程度(FRAC, 2021)

1992年頃より30年近く兵庫県内で広く使用されてきた。

 広域での連用が、感受性低下菌出現の要因と考えられる。

Ⅱ 農薬の作用機作と抵抗性の発現リスク

IRAC・FRAC・HRACとは

CropLife International (世界農薬工業連盟)

の各薬剤毎の対策委員会

Fungicide

Insecticide Resistance Action Committee

Herbicide

世界の農薬メーカーが薬剤毎に作用機作の整理・抵抗性リスクを評価し、**薬剤抵抗性の発生を防ぐための使用方法**を啓発(殺菌剤はリスク評価が充実)



農薬メーカーも**新規化合物の開発が困難**で、現在の薬剤の延命化を図ることが必要となってきた

作用機作分類表の入手方法

1 農薬工業会HP (<http://www.jcpa.or.jp/>) →
農薬情報局 → 農薬の作用機構分類 →

- ・殺虫剤(IRAC)
- ・殺菌剤(FRAC)
- ・除草剤(HRAC)



2 殺菌剤耐性菌対策委員会 (JapanFRAC)
HP (<http://www.jfrac.com/>) → FRACコード表
→ FRACコード表日本語版 (2022年5月版 7/1現在)

FRACの作用機構分類

コード番号は世界共通・・・ラベルにコードを付ける国もある

・JPP-NETにも各薬剤毎に掲載。

(2022年5月版より)

薬剤耐性菌出現のリスクが高い殺菌剤

- ・MBC(メチルベンズイミダゾールカーバメイト)剤
ベンレート、トップジンM(コード1)
- ・PA(フェニルアミド)剤 リドミル (コード4)
- ・QoI剤 アミスター、ストロビー、 フリント、オリブライト、嵐 (コード11)
- ・グルコピラノシル抗生物質(ストレプトマイシン)アグレプト、ストマイ(コード25)
- ・テトラサイクリン抗生物質 マイコシールド (コード41)

薬剤耐性菌出現のリスクが中～高の殺菌剤

- ・SDHI剤 モンカット、バシタック、グレータム、リンバー、カナメ、エバーゴル
カンタス、アフェット、パレード (コード7)
- ・ジカルボキシイミド剤 ロブラール、スミレックス (コード2)
- ・Qil剤 ランマン、ライメイ、オラクル (コード21)
- ・QoSI剤 ザンプロ (コード45)
- ・OSBPI剤 ゾーベックエンカンティアの一成分 (コード49) 23

薬剤耐性菌出現のリスクが中の殺菌剤

- ・ベンズアミド剤 ジャストフィット、リライアブルの一成分 (コード43)
- ・アリルフェニルケトン剤 プロパティ (コード50)
- ・AP(アニリノピリミジン)剤 ユニックス、フルピカ (コード9)
- ・ヘキソピラノシル抗生物質 カスガマイシン (コード24)
- ・DMI(脱メチル化阻害剤) サプロール、ルビゲン、ヘルシード、スポルタック
トリフミン、アルト、スコア、インダー、アンビル、マネージ、テクリード、ラリー
ワークアップ、チルト、サルバキュア、サルバトーレ、フリート (コード3)
- ・MBI-D剤(メラニン生合成の脱水酵素) アチーブ (コード16.2)

薬剤耐性菌出現のリスクが低い殺菌剤

- ・多作用点接触活性剤(コードM1~M11)
 - ジチオカーバメート ジマンダイセン、チウラム、アントラコール等
 - ビスグアニジン(細胞膜攪乱剤) ベルクート、ベフラン等
 - クロロニトリル ダコニール、パスポート等
 - 無機化合物(銅、硫黄) コサイドボルドー、イオウ、サルファー等
- ・MBI-R剤(メラニン生合成の還元酵素)ラブサイド、コラトップ、ビーム(コード16.1)
- ・抵抗性誘導剤 オリゼメート、ブイゲット、スタウト、ルーチン(コードP2、P3)

薬剤耐性獲得リスクが**高い**病原菌

＜主な病害例(作物例)＞

灰色かび病(多種作物、特にブドウ)、いもち病(イネ)
べと病(ブドウ、ウリ類等多種)、うどんこ病(ウリ類、
麦類) 黒星病(リンゴ)、リンゴ斑点落葉病(多種)

薬剤耐性獲得リスクが**比較的低い**病原菌

＜主な病害例(作物例)＞

紋枯病(多種作物)、菌核病(多種作物)
つる割病(多種作物)、白絹病(多種作物)
疫病・苗立枯病(多種作物)
さび病(ダイズ、麦類等)

圃場に出現したQol剤耐性菌（2015年4月現在） *日本で（も）検出。（石井英夫による）

病原菌名学名

イネいもち病菌* *Magnaporthe oryzae* イネ紋枯病菌*Rhizoctonia solani*

コムギうどんこ病菌* *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*

コムギ葉枯病菌*Mycosphaerella graminicola* コムギ黄斑病菌*Pyrenophora tritici-repentis*

コムギ心枯病菌*Phaeosphaeria nodorum*

コムギ赤かび病菌* *Microdochium nivale*、*M.majus*、*Fusarium graminearum*

オオムギうどんこ病菌*B. graminis* f.sp. *hordei*

オオムギ網斑病菌*Pyrenophora teres* オオムギ雲形病菌*Rhynchosporium secalis*

オオムギ*Ramularia* leaf spot病菌*Ramularia collo-cygni*

トウモロコシ斑点病菌*Cercospora zeae-maydis*

ジャガイモ夏疫病菌*Alternaria solani*、*A. alternata*

ジャガイモ炭疽病菌*Colletotrichum coccodes*

ダイズ斑点病菌*Cercospora soja* ダイズ紫斑病菌*Cercospora kikuchii*

ダイズ葉腐病菌*Rhizoctonia solani* ダイズさび病菌*Phakopsora pachyrhizi*

ヒヨコマシ*Ascochyta blight*病菌*Ascochyta rabiei*

テンサイ褐斑病菌*Cercospora beticola* テンサイうどんこ病菌*Erysiphe polygoni*

ワタGrey mildew病菌*Ramularia areola*

ウリ類うどんこ病菌* *Podosphaera xanthii* ウリ類つる枯病菌* *Didymella bryoniae*

キュウリべと病菌* *Pseudoperonospora cubensis*

キュウリ褐斑病菌* *Corynespora cassiicola*

ナスすすかび病菌* *Mycovellosiella nattrassii* トマト褐色輪紋病菌 *Corynespora cassiicola*

トマト葉かび病菌* *Passalora fulva* トマトすすかび病菌* *Pseudoperonospora fuligena*

ナス・ピーマン黒枯病菌* *Corynespora cassiicola*

ニンニク白斑葉枯病菌* *Botrytis squamosa*

イチゴ炭疽病菌* *Colletotrichum gloeosporioides*

イチゴうどんこ病菌* *Sphaerotheca aphanis* var. *aphanis*

圃場に出現したQol剤耐性菌 (つづき)

*日本で (も) 検出。(石井英夫による)

病原菌名学名

アスパラガス斑点病菌 ***Stemphylium vesicarium***

リンゴ黒星病菌 ***Venturia inaequalis***

リンゴ斑点落葉病菌* ***Alternaria alternata*** apple pathotype

リンゴうどんこ病菌 ***Podosphaera leucotricha***

リンゴ炭疽病菌* ***Colletotrichum gloeosporioides***

セイヨウナシ黒斑病菌* ***A. alternata*** apple pathotype

セイヨウナシ黒星病菌 ***V. pirina*** セイヨウナシ褐色斑点病菌 ***Stemphylium vesicarium***

ナシ炭疽病菌* ***Colletotrichum gloeosporioides***

モモ灰星病菌 ***Monilinia fructicola***

オウトウ灰星病菌 ***M. laxa***

ピスタチオ ***Alternaria late blight*** 病菌 ***Alternaria alternata*** ほか

アーモンド ***Alternaria leaf spot*** 病菌 ***A. alternata*** ほか

アーモンド黒星病菌 ***Fusicladosporium carpophilum***

カンキツ・イチゴ・レタス・ユウカリ・キウイフルーツほか灰色かび病菌* ***Botrytis cinerea***

カンキツbrown spot病菌 ***A. alternata*** tangerine pathotype カンキツそうか病菌* ***Ersinoë fawcettii***

ブドウべと病菌* ***Plasmopara viticola*** ブドウうどんこ病菌 ***Erysiphe necator***

ブドウ褐斑病菌* ***Pseudocercospora vitis***

ブドウ晩腐病菌* ***Colletotrichum gloeosporioides***

バナナblack Sigatoka病菌 ***Mycosphaerella fijiensis*** バナナyellow Sigatoka病菌 ***M. musicola***

マンゴー炭疽病菌* ***Colletotrichum gloeosporioides***

チャ輪斑病菌* ***Pestalotiopsis longiseta***

キク白さび病菌 ***Puccinia horiana***

シバ炭疽病菌* ***Colletotrichum graminicola***

シバいもち病菌 ***Pyricularia grisea***

シバ赤焼病菌 ***Pythium aphanidermatum***

刈ヒソグバソグバ炭疽病菌 ***Colletotrichum cereal***

バシロミコトダマシ黒斑病菌 ***Bipolaris spizizenii***

緑地関係(シバ)での耐性菌

- 日本国内でシバ炭疽病 *Colletotrichum graminicola* で QoI剤耐性菌の出現が確認されている
 - 海外ではシバいもち病菌 *Pyricularia grisea*
シバ赤焼病菌 *Pythium aphanidermatum*
クリーピングベントグラス炭疽病菌 *Colletotrichum cereale*、
バーミューダグラス斑点病菌 *Bipolaris spicifera* についても QoI剤耐性菌の出現が確認されている
- ※QoI剤: Quinone Outside Inhibitorsの略で、シバ用農薬では、ターフトップDF、ダイブフロアブル(混合剤)、デディケートフロアブル(混合剤)などが該当する

殺菌剤リスクと病原菌リスクに基づく複合的リスク

農薬時代第196号(2015)より抜粋、改変

殺菌剤の系統	殺菌剤 リスク	複合リスク		
メチルベンズイミダゾールカーバメイト剤 ジカルボキシイミド剤 フェニルアミド剤 Qo I 剤	高=3	3	6	9
コハク酸脱水素酵素阻害剤 DMI殺菌剤 アニリノピリミジン フェニルピロール	中=2	2	4	6
多作用点接触活性剤 (ジチオカーバメート等) MBI-R剤 抵抗性誘導剤	低=0.5	0.5	1	1.5
	病原菌リスク	低=1	中=2	高=3
	病原菌グループ	イネごま葉枯病 イネ紋枯病 麦類さび病 菌核病 つる割病 苗立枯病	イチゴうどんこ病 イネ馬鹿苗病 カンキツ貯蔵病害 ジャガイモ疫病 ダイズ紫斑病 ナシ黒星病 炭疽病	イネいもち病 灰色かび病 べと病(ブドウ、ウリ類) リンゴ黒星病 リンゴ斑点落葉病 ナシ黒斑病

殺菌剤・耐性菌の複合リスクの見方

- ・殺菌剤リスク「3」のQoI剤と病原菌リスク「3」のイネいもち病菌の組み合わせは「9」 →
QoI剤であるオリサストロビン(嵐)はいもち病に対する耐性菌出現のリスクが**非常に高い**
→ H26からは兵庫県では水稻にストロビルリン系薬剤は使用できません(白肅)
- ・同じ病原菌リスク「3」のイネいもち病でも殺菌剤リスク「0.5」の抵抗性誘導剤との組み合わせは「1.5」
→ 抵抗性誘導剤はイネいもち病菌に対する耐性菌出現のリスクは**低い**

殺菌剤病原菌及び栽培リスクに基づく複合リスク

(病原菌耐性リスク表 2020農薬工業会資料より)

殺菌剤のグループ例 (表1参照)	殺菌剤 リスク	複合リスク値			栽培 リスク
MBC殺菌剤	高=6	6	12	18	高=1
PA殺菌剤		3	6	9	中=0.5
QoI殺菌剤		1.5	3	4.5	低=0.25
SDHI殺菌剤	中=4	4	8	12	高=1
AP殺菌剤		2	4	6	中=0.5
DMI殺菌剤		1	2	3	低=0.25
多作用点接触活性化化合物	低=1	1	2	3	高=1
MBI-R		0.5	1	1.5	中=0.5
抵抗性誘導剤		0.25	0.5	0.75	低=0.25
病原菌リスク→		低=1	中=2	高=3	
病原菌例→ (表2参照)		イネごま葉枯病・ 紋枯病 麦類裸黒穂病・さび病・ なまぐさ黒穂病 モモ縮葉病 リンゴうどんこ病・ すす斑病 各種菌核病・白絹病・ つる割病・苗立枯病 土壌病害 種子伝染性病害	イチゴうどんこ病 イネばか苗病 ジャガイモ疫病 ダイズ紫斑病 チャ輪斑病 テンサイ褐斑病 ナシ黒星病 ナスすすかび病 麦類眼紋病・紅色雪腐病 青かび病、緑かび病 炭疽病、べと病(一部)	イネいもち病 ウリ類等うどんこ病・ つる枯病・べと病・ 褐斑病 タマネギ灰色腐敗病 ブドウべと病 麦類うどんこ病 リンゴ黒星病 ユリ葉枯病 各種灰色かび病・ <i>Alternaria alternata</i>	

栽培リスク：栽培地域の気象条件、栽培品種、栽培方法等の違いによる栽培地域の発病程度の差により、殺菌剤の散布回数は大きく異なる。

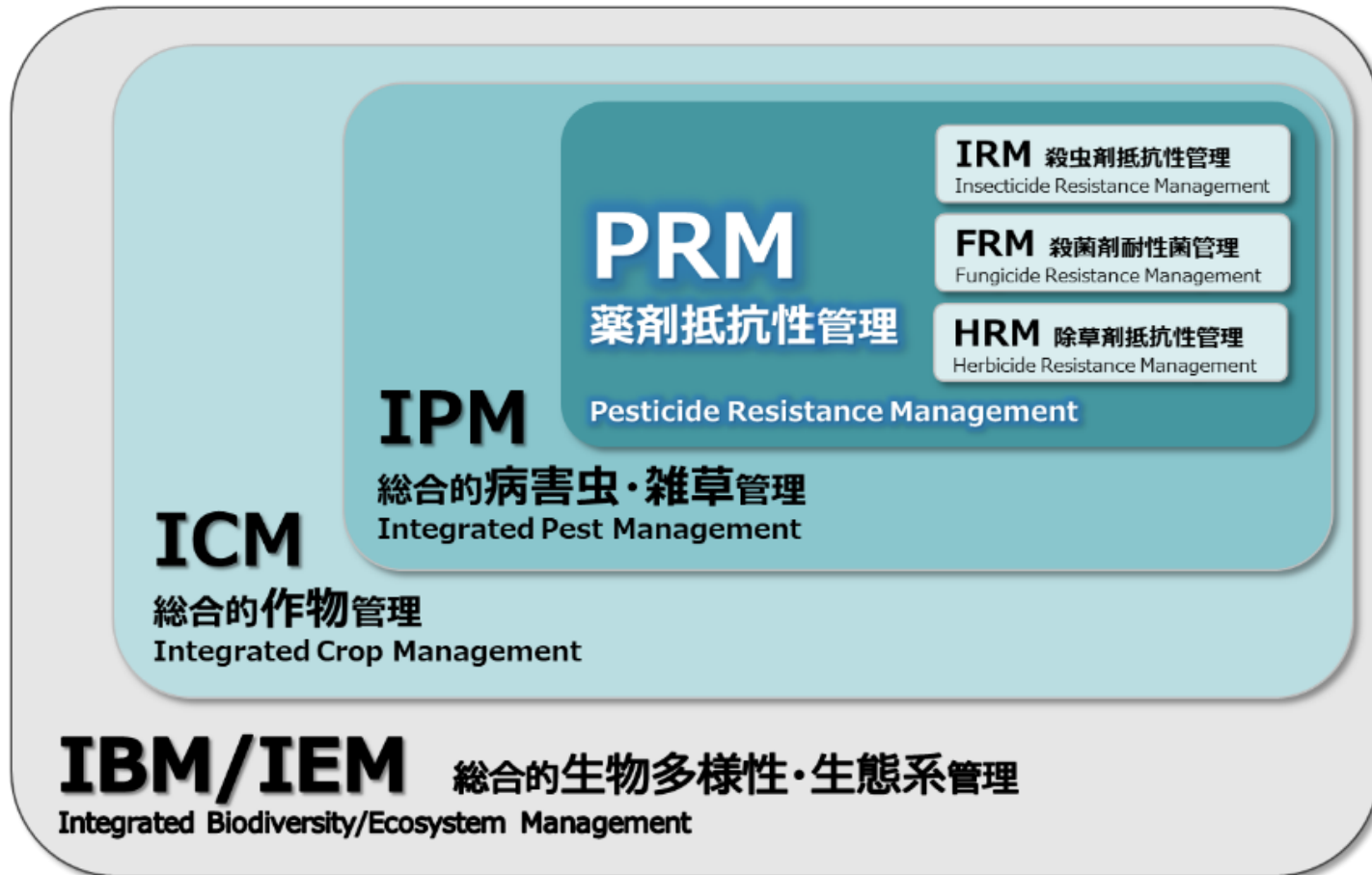
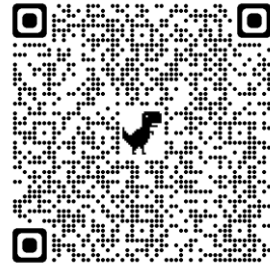
耐性リスク評価を踏まえた耐性菌対策

FRAC は複合リスク値が 6 を越える場合に耐性菌対策の実施を推奨している。

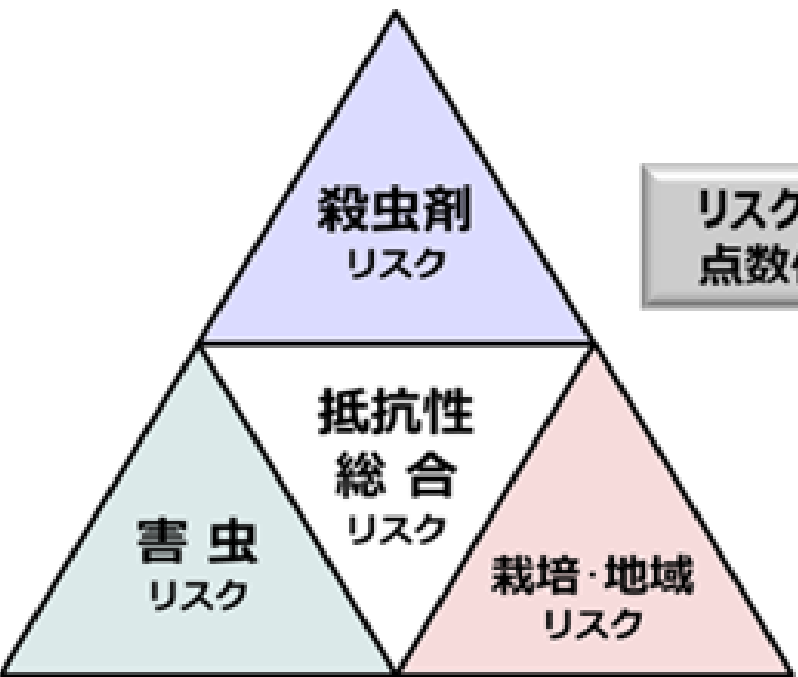
- 使用回数(1年あたりまたは1作期あたり)を制限する。
- 使用時期を制限する(例:予防的に使用する)。
- 防除対象病害に対して有効な殺菌剤との混合剤または混用散布を検討する。
- 必ずローテーション散布する。
- 感受性モニタリングを実施して、耐性菌の発生状況を把握する。

害虫のリスク管理について

- 農林害虫防除研究会 殺虫剤抵抗性対策タスクフォース
<http://agroipm.org/>
- 殺虫剤抵抗性リスク評価表



殺虫剤抵抗性リスクの要素と殺虫剤抵抗性リスク評価表のイメージ



リスクを
点数化

殺虫剤リスク 殺虫剤の種類・使用回数 (0.5~1.0)	UIC評価	抵抗性総合リスク 0.5~3.0			栽培・地域リスク UIC評価	栽培・地域リスク 栽培の種類・栽培方法での 殺虫剤の使用状況
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (1.0) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	12	24	36	0.2	低リスク 殺虫剤の使用回数・使用回数・ 殺虫剤の種類・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	6	12	18	0.1	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	3	6	9	0.05	中リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	8	16	24	0.2	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	4	8	12	0.1	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	2	4	6	0.05	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	2	4	6	0.2	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	1	2	3	0.1	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
有機リン系 (0.5) ネオニコチノイド系 (0.5) ピレスロイド系 (0.5) 殺菌剤系 (0.5) 殺菌剤系 (殺菌剤系)	0.5~1.0	0.5	1	1.5	0.05	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。
(0.5) 同一殺虫剤 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数	0.5~1.0	-	-	-	-	低リスク 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数、 殺虫剤の使用回数・殺虫剤の使用回数。

UIC評価	0.1	0.2	0.3	0.5	1.5
殺虫剤リスク	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0
抵抗性総合リスク	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0
栽培・地域リスク	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0

山本 (2018) JATAFFジャーナル6(9)、山本・土井 (2021) 植物防疫75(1).

リスクの高い(低い)殺虫剤と害虫種

	殺虫剤の系統名等	害虫種
高リスク	有機リン系 (1B) カーバメート系 (1A) 合成ピレスロイド系 (3A) 殺ダニ剤・各種 (新規剤以外)	(水稲) トビイロウンカ (野菜・畑作) ハダニ類、アブラムシ類 コナガ (果樹・茶) ハダニ類、アザミウマ類、ア ブラムシ類、ハマキムシ類
低リスク	生物的防除資材・各種 (UNB、UNF、31) 植物抽出由来剤 (UNE) 性フェロモン剤 (IRACコード無) マルチサイト剤・各種 (8) 新規系統の開発剤	(水稲) イネミズゾウムシ、カメムシ類、 スクミリンゴガイ (野菜・畑作) モンシロチョウ、コガネム シ類、センチュウ類、ナメクジ類 コナガ (果樹・茶) シンクイムシ類、カメムシ 類、カミキリムシ類

殺虫剤リスクの評価基準

リスク値	殺虫剤の系統名等 (IRACコード)	評価基準
高リスク =6	<p><u>既存剤</u> 有機りん系 (1B) カーバメート系 (1A) 合成ピレスロイド系 (3A) 殺ダニ剤・各種 (新規剤以外)</p>	<p>〔事例1 抵抗性の顕在化：時期と範囲〕 ・上市後数年で、1害虫以上において抵抗性が広範囲に発生。 防除効果が大幅に低下。 ・上市後に長期間使用され、既に抵抗性が発達した害虫種が多く地域も広い。</p> <p>〔事例2 交差・複合抵抗性〕 ・異なる作用機構の薬剤間との事例が多い。</p> <p>〔薬剤の特性〕 ・長い効果持続性。</p>
中リスク =4	<p><u>既存剤</u> ネオニコチノイド系 (4A) スピノシン系 (5) アベルメクチン系 (6) シアミド系 (2B) BT系 (11) ピロール系 (13) プロフェシジン (16) ベンゾイルフェニル尿素系 (15) シアシルヒドラジン系 (18)</p>	<p>〔事例1 抵抗性の顕在化：時期と範囲〕 ・一部の害虫種、または限定的な地域だけで抵抗性が顕在化した。</p> <p>〔事例2 交差・複合抵抗性〕 ・事例はあるが多くない。</p>
低リスク =1	<p><u>既存剤</u> 生物的防除剤・各種 (UNB、UNF、31) 糖物抽出由来剤 (UNE) 性フェロモン剤 (IRACコード無) マルチサイト剤・各種 (8)</p> <hr/> <p><u>新規系統の開発剤</u></p>	<p>〔事例1 抵抗性の顕在化：時期と範囲〕 ・長期間の使用において顕在化していない、または極めてまれにしか顕在化しない。</p> <p>〔事例2 交差・複合抵抗性〕 ・事例がないか、少ない。</p> <p>上市・販売が5年以内の新規系統の開発薬剤 但し、抵抗性が顕在化した場合には、高リスクあるいは中リスクへ分類を見直す。</p>
暫定値 =2	<p><u>既存剤</u> 高～低リスクに分類されない 剤・系統</p>	<p>—</p>

害虫リスクの評価基準

リスク値	害虫種 類の表示は代表種で判断	評価基準
高リスク =3	<p>〔水稲〕 トビイロウンカ</p> <p>〔野菜・畑作〕 ハダニ類、アザミウマ類 コナジラミ類、アブラムシ類 コナガ</p> <p>〔果樹・茶〕 ハダニ類、アザミウマ類 アブラムシ類、ハマキムシ類</p>	<p>〔既存の事例：抵抗性の顕在化〕 ・いくつかの薬剤/害虫で抵抗性が短期間に出現した事例がある。</p> <p>〔生物的特性〕 害虫の発生が多い、基本的な問題害虫 ・繁殖：産雄半為生殖、内的自然増加率が高い、等。 ・発生回数（世代数）：多い。発生密度レベル：高い。 ・海外飛来・国内長距離移動。特に、薬剤抵抗性を持って侵入する場合。 ・食性：広食性。</p>
中リスク =2	<p>〔水稲〕 ヒメトビウンカ、セシロウンカ ヨコバイ類、イネドロオイムシ ニカメイチュウ</p> <p>〔野菜・畑作〕 ヨトウ類、タバコガ類 ハモグリガ類、ハモグリバエ類 キスジミハムシ、コナダニ類</p> <p>〔果樹・茶〕</p>	<p>〔既存の事例：抵抗性の顕在化〕 ・抵抗性が発達してもそのレベルが高くなく、防除上大きな問題にならない事例が多い。 ・抵抗性顕在化までの年数が長い薬剤/害虫の事例がある。</p> <p>〔生物的特性〕 害虫の発生が多～中 ・発生回数：多～中。発生密度レベル：高～中。 ・食性：広～狭食性。</p>
低リスク =1	<p>〔水稲〕 イネミスゾウムシ、カメムシ類 スクレリンゴガイ</p> <p>〔野菜・畑作〕 モンシロチョウ、コガネムシ類 センチュウ類、ナメクシ類</p> <p>〔果樹・茶〕 シンクイムシ類、カメムシ類 カミキリムシ類</p>	<p>〔既存の事例：抵抗性の顕在化〕 ・抵抗性発達の事例が、極めて少ないか無い。</p> <p>〔生物的特性〕 害虫の発生が中～少 ・発生回数：中～少。発生密度レベル：中～低。</p>
暫定値 =1.5	高～低リスクに分類されていない害虫（種）	-

栽培・地域リスクの評価基準

リスク値	該当地域の栽培法での害虫発生と防除法	評価基準
高リスク =2	<ul style="list-style-type: none"> ・評価する害虫が通常多発する。 ・使用できる薬剤が少ない作物。 ・殺虫剤による防除が主体。 	<p>〔栽培法〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特に施設栽培。作物の栽培期間が特に長い。 ・特に、マイナー作物やメジャー作物でも登録薬剤が少ない場合。 ・過去に殺虫剤抵抗性が問題となった事例が多い～ある。 ・害虫が既に寄生している苗の導入。 <p>〔害虫の発生〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気象条件等により通常でも害虫発生量が多い地域。 ・国内外から抵抗性の害虫个体群が飛来する。 ・過去に抵抗性害虫が問題となった事例が多い。 <p>〔防除〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・殺虫剤による防除が主体にならざるを得ない防除体系である。 ・使用できる薬剤が少なく、薬剤ローテーションなど抵抗性対策ができない。
中リスク =1	<ul style="list-style-type: none"> ・評価する害虫の発生は中～多発。 ・殺虫剤による防除が主体。 ローテーション防除など抵抗性対策を実施する場合もある。 ・IPMを一部で指向している。 	<p>〔害虫の発生〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・害虫が中～多発する地域。 ・過去に抵抗性害虫が問題となった事例がある。 <p>〔防除〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・殺虫剤による防除が主である。 ・薬剤ローテーション等の抵抗性対策を実施する場合もある。 ・殺虫剤以外のIPM技術を一部併用している。
低リスク =0.5	<ul style="list-style-type: none"> ・評価する害虫の発生が少なく、殺虫剤による防除が少ない。 ・害虫発生が多い場合には、ローテーション防除など抵抗性対策を必ず実施。 ・IPM技術を多く駆使している。 	<p>〔栽培法〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・害虫が発生しにくい圃場管理・周辺環境管理（下草管理など）を行っている。 <p>〔害虫の発生〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・害虫が多発しない地域。 ・圃場周辺環境に殺虫剤を使わない場所があるが多く、また無防除エリアを設定するなど、薬剤感受性个体群が保護されている。 <p>〔防除〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・殺虫剤を使用する際には、薬剤ローテーション等の抵抗性対策を必ず実施。 ・殺虫剤以外のIPM技術を多く駆使している。

殺虫剤抵抗性リスク評価表

第2.3版 2021年3月

殺虫剤リスク		抵抗性総合リスク			栽培・地域リスク	
殺虫剤の系統名等 (IRACコード)	リスク値	0.5 ~ 36			リスク値	該当地域の栽培法での害虫発生と防除法
有機りん系 (1B) カーボート系 (1A) 合成ピレスロイド系 (3A) 殺ダニ剤・各種 (新規剤以外)	高-6	12	24	36	高-2	高リスク ・評価する害虫は常に多発生。 ・使用できる薬剤が少ない作物。 ・殺虫剤による防除が主体。
		6	12	18	中-1	
		3	6	9	低-0.5	
ネオニコチノイド系 (4A) スピノシン系 (5) アベルメクチン系 (6) シアミド系 (28) BT系 (11) ピロール系 (13) プフロフェジン (16) ベンゾイルフェニル尿素系 (15) シアシルヒトラン系 (18)	中-4	8	16	24	高=2	低リスク ・評価する害虫は通常少発生で、 殺虫剤による防除が少ない。 ・害虫発生が多い場合には、 ローテーション防除など抵抗性対策を必ず実施。 ・IPM技術を多く駆使している。
		4	8	12	中-1	
		2	4	6	低-0.5	
生物的防除剤・各種 (UNB、UNF、31) 構造物抽出由来剤 (UNE) 性フェロモン剤 (IRACコード無) マルチサイト剤・各種 (8) 新規系統の開発剤・各種	低-1	2	4	6	高=2	* 該当地域の薬剤感受性検定結果等を参考としてリスク値を調整しても良い。
		1	2	3	中-1	
		0.5	1	1.5	低-0.5	
(注) 高～低リスクに分類されていない剤・系統	判定値=2	-	-	-	-	

12以上で特にリスク管理対策が必要

リスク値	低-1	中-2	高-3	判定値=1.5
	害虫リスク			
水稲	イネミスゾウムシ カメムシ類 スクミリンゴガイ	ヒメヒ・セシロウカ ヨコバイ類 イネトコオイムシ ニカメイチュウ	トビロウカ	(注) 高～低リスクに分類されていない害虫(類)
野菜・畑作	モンシロチョウ コガネムシ類 センチュウ類 ナメクシ類	ヨトウ類 タバコガ類 ハモグリガ類 ハモグリバエ類 キスジノミハムシ コナダニ類	ハダニ類 アザミウマ類 コナシラミ類 アブラムシ類 コナガ	
果樹・茶	シクイムシ類 カメムシ類 カミキリムシ類	カイガラムシ類 チャノホソガ	ハダニ類 アザミウマ類 アブラムシ類 ハマキムシ類	

Ⅲ リスク管理の方法

薬剤耐性菌の発現を遅延させる工夫

治療剤(浸透性殺菌剤)と予防剤(保護殺菌剤)の単純なローテーションではダメ

→**予防剤(保護殺菌剤)の混用を基幹にしたローテーション**

薬剤耐性菌の発達(シミュレーションモデル)

薬剤処理*	薬剤散布後の耐性菌の割合(%)				
	5回	10回	20回	30回	40回
S-S-S-S	0.0	82.6	100	100	100
(S+C)-(S+C)-(S+C)-(S+C)	0.0	0.0	99.6	100	100
S-C-S-C	0.0	0.0	82.6	100	100
(S+C)-C-(S+C)-C	0.0	0.0	0.0	26.1	99.6

*S(例:浸透性殺菌剤)、C(例:従来の保護殺菌剤)。

- 耐性発達のスピードは、連用>混用 \geq 交互散布>混用と単用の交互散布。

(Dekker, 1982)

抵抗性害虫の発現の遅延の工夫

ローテーション散布に加え**薬剤使用時期ブロック制**の導入

- ・標的害虫の一世代の長さをブロック期間
- ・ブロックで使用した薬剤と同じ作用機作の薬剤は、次のブロックでは使用しない(同一ブロックでは複数回使用可)
- ・当該薬剤を使用したブロック期間の計は全栽培期間の50%以下に抑える
- ・栽培期間が短い作物はブロック期間と栽培期間は同じ

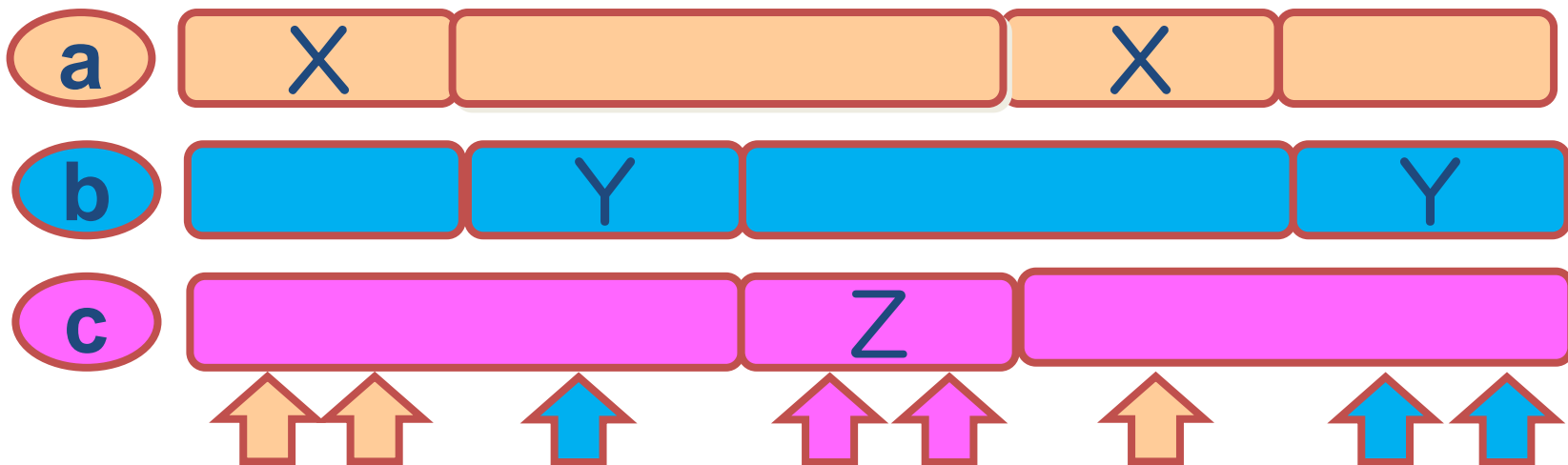
害虫の世代を考慮したローテーション散布

薬剤使用時期ブロック制(アクティブウインドウ制) のイメージ

栽培期間150日間・ブロック期間30日間

→栽培期間の50%=75日までに抑える

→同一作用機作の薬剤が使用できるブロックは2つまで



→ 結果的にabcの3種類の作用機作の薬剤が必要系統

使用時期ブロック制(アクティブウインドウ制)は理想的

- 実際は世代期間の異なる複数の害虫が存在
 - 優先順位を付ける？
- 適用薬剤の系統に限られる。マイナー作物はまず無理
- 訪花昆虫等への影響も考慮すると幅は狭くなる(´`)

抵抗性回避を目的とした防除体系の事例

- イチゴでは苗床で使用する薬剤と本ぽの薬剤を別系統にする
 - 苗床と本ぽのダニ剤は異なる系統 等

薬剤に依存しない防除の積極的な導入

耕種的防除などIPMの推進が一層大切

- 抵抗性品種
- 防虫ネット
- 天敵保護・・・選択性薬剤、バンカープランツ
- 環境制御・・・湿度・温度・光
- 適正な作物栄養管理(窒素過剰は厳禁)
- ほ場衛生 など

※平成26年4月から兵庫県農薬情報システムで県防除指針別冊資料で作物・病害虫毎の耕種的防除も掲載

<http://www.nouyaku-sys.com/noyaku/user/top/hyogo>

抵抗性の発現しにくい薬剤の利用1

○銅剤などの保護殺菌剤

○天敵製剤・・・高知県で天敵が盛んとなったきっかけは、ピーマンのミミキイロアザミウマが全ての薬剤に対して抵抗性を獲得したため
天敵製剤の利用では、防除体系全体の見直しが必要
化学農薬による天敵製剤の影響は日本バイオリジカルコントロール協議会HPに掲載 <http://www.biocontrol.jp/>

○気門閉鎖剤・・・サンクリスタル、エコピタ、デンプン等

薬剤によって節減対象農薬としてのカウントの有無が異なる

○フェロモン剤利用(予察・大量誘殺・交信攪乱)

※生物由来の農薬等でもBT、スピノサド、カスガマイシン等は抵抗性リスクあるので注意

抵抗性の発現しにくい薬剤の利用2

- 抵抗性誘導剤・・・植物体の抵抗性の向上により病気の発病を防ぐ剤は抵抗性が比較的発現しにくい。**
プロベナゾール剤(オリゼメート)、イソチアニル剤(ルーチン)、チアニジル剤(ブイゲット)、アシベンゾラルSメチル剤(アクティガード、メダリオンアクション)など
- 殺菌剤は単剤より混合剤を利用・・・多作用点の銅剤の混合剤等、作用点を増やすことにより耐性菌の発生リスクを下げる。**

耕種的防除などIPMの推進



天窗のネット展張

つき上げ式天窗にネットを筒状にして、パッカーまたはビニペットでネットを固定。サイドはもちろん、天窗のネットでもアザミウマ類の侵入防止効果は高い。



チャトゲコナジラミの発生消長の把握

黄色粘着板による 発生予察

発生ピークの周期性が明確な難防除害虫は、薬剤防除の適期判定によって最小限の薬剤散布とする。



ハマキコンの設置

フェロモン剤による防除

交信攪乱剤など適切な使い方をすると有効。



クワシロカイガラムシ雌成虫を攻撃する
ヒメアカホシテントウ幼虫

土着天敵の保護

過剰な薬剤散布によって被害が多発している場合が多い。害虫によっては生態系活用による密度抑制の効果が高い。



黄色灯による害虫防除

黄色灯によるヨトウガ類に対する防除。近年省電力のLED灯も開発されている。



UVランプによるイチゴうどんこ病、ハダニ防除

夜間のUVランプの照射と反射シートによるイチゴ栽培におけるハダニとうどんこ病の同時防除。



転炉スラグによる稲こうじ病の抑制

資材の利用 1

転炉スラグや石灰窒素などの資材で抑制効果がある場合がある。



亜リン酸肥料によるバジルべと病の被害軽減

資材の利用 2

亜リン酸質肥料は副次的に各種病害被害を軽減する

最後に

- 安心ブランドなど農薬使用回数慣行比50%削減のため**効果の高い薬剤を多用する傾向**。
- 効果の高い薬剤を使用する場合は、密度ゼロを目標に。中途半端で曝露期間が長いと抵抗性発現リスクは高くなる。
- 効果の高い薬剤への**依存度を下げ、耕種的防除の徹底がコスト低下**にもつながる。
- 高齢化等で困難な事情もあるが、使える技術を駆使して地域で工夫をお願いしたい。