

令和5年度
農薬適正使用研修会

(4) 薬剤抵抗性対策をふまえた 農薬の適正使用

長野県 農政部 農業技術課 専門技術員

農薬の使用にあたっては、
最新の適用登録情報を確認してください

農薬使用に係る法律

- 農薬取締法 登録・製造・販売・**使用**等 農水省
- 毒物及び劇物取締法
- 食品安全基本法 ADIの設定
- 食品衛生法 残留基準値の設定等
- 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
- 労働安全衛生法
- 水質汚濁防止法 環境省
- 消防法 危険物取扱 総務省 等

厚生労働省

本日の内容

- 農薬「適正」使用の
 - 1) 法律的な部分
 - 2) 効果的な使用
- 薬剤抵抗性とは
- 薬剤抵抗性病害虫の発生状況
- 薬剤抵抗性管理を考慮した防除対策
- 農薬のRAC分類による抵抗性管理

農薬適正使用とは

- 1 関連法規の遵守（遵法）
例）農薬使用基準、農薬の保管方法 など
- 2 効率的、効果的な使用
例）適期防除、有効な剤の選択 など
- 3 薬剤抵抗性管理に基づく農薬使用
例）薬剤の作用機作を考慮した使用 など

薬剤抵抗性管理の目的

◆ 新規系統薬剤の開発が**減少傾向**

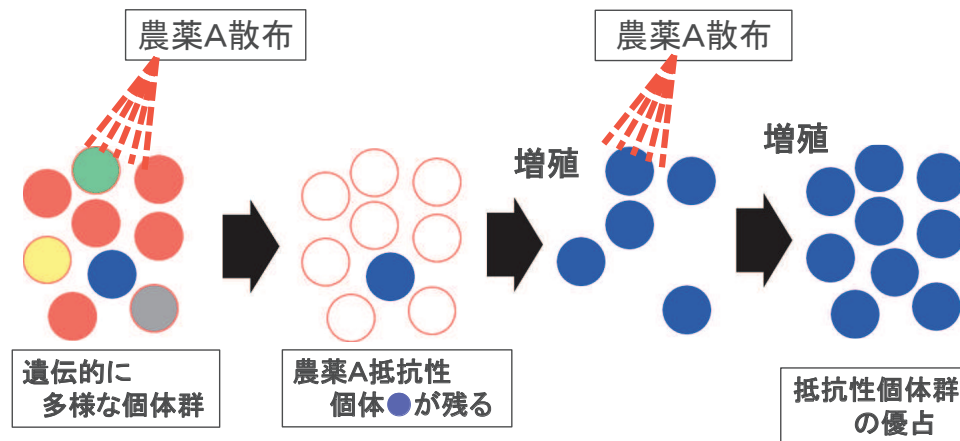
⇒ 効果が発揮される期間（年月）をできるだけ延ばしたい

⇒ 薬剤耐性菌、薬剤抵抗性害虫の
発現・発達を回避／遅延

5

薬剤抵抗性発達のしくみ

同一（同系統）薬剤を連用すると...



- 薬剤散布による「**抵抗性遺伝子の淘汰**」
⇒ 「**突然変異**」や「**農薬に対する慣れ**」ではない

6

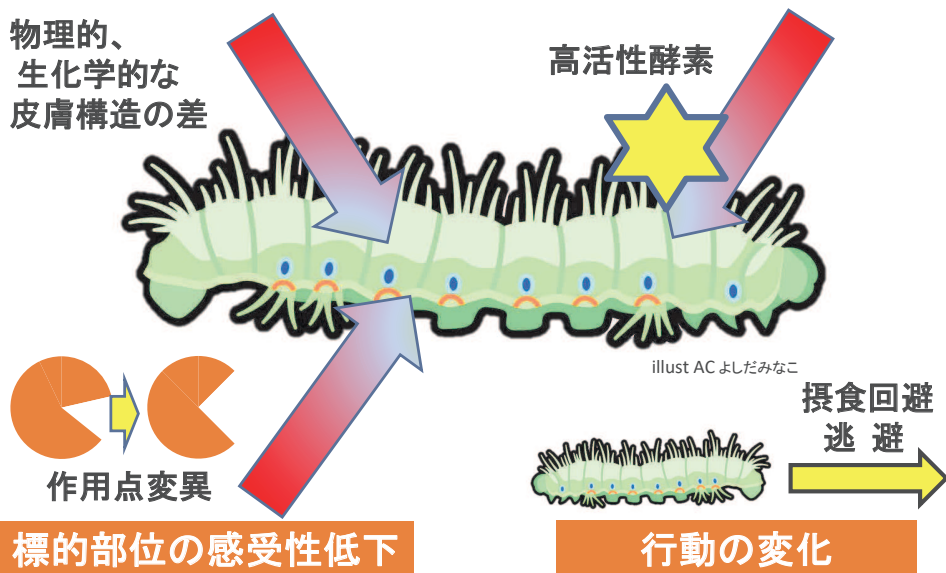
殺虫剤抵抗性のメカニズム

皮膚透過性の低下

解毒代謝活性の増大

物理的、
生化学的な
皮膚構造の差

高活性酵素



7

薬剤抵抗性（耐性）の種類

● 交差抵抗性

- ・ある薬剤を使用し抵抗性が発達したときに、**未使用の薬剤**にも抵抗性を獲得（同系統薬剤の場合に生じやすい）
(例) アブラムシ類の有機リン系薬剤抵抗性

● 複合抵抗性

- ・複数の**異なる系統の薬剤**に対して抵抗性を獲得
(例) QoI殺菌剤とDMI殺菌剤に耐性を示す**リンゴ黒星病**
ピレスロイド系とジアミド系殺虫剤に抵抗性を示す**コナガ**

8

薬剤抵抗性発達の背景

① 薬剤に依存した防除対策

- ◆ 同系統薬剤の連用・多用
(卓効剤、新規系統剤に依存する傾向)

② 抵抗性が発達しやすい病害虫

- ◆ 潜伏期間が短い菌
- ◆ 世代期間が短く、増殖の旺盛な菌や害虫
(特にハダニ類、アザミウマ類など)

9

薬剤耐性菌の発達事例

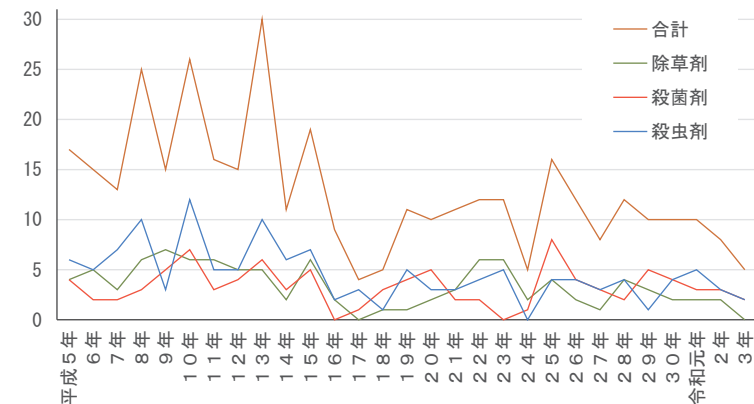
薬剤	病名(主なもの)
ポリオキシン	ナシ黒斑病、リンゴ斑点落葉病
カスガマイシン	イネいもち病、イネ褐条病
ベンゾイミダゾール系	各種作物の灰色かび病、果樹の黒星病、灰星病、チャ炭疽病、イネばか苗病、コムギ赤かび病、ダイズ紫斑病、タマネギ灰色腐敗病、イチゴ炭疽病、ブドウ黒とう病、カンキツ緑かび病、 リンゴ黒星病
有機リン系	イネいもち病
ジカルボキシイミド系	各種作物の灰色かび病、ナシ黒斑病
ストレプトマイシン	モモせん孔細菌病、キュウリ斑点細菌病
フェニルアミド系	キュウリべと病、ジャガイモ疫病
DMI剤	キュウリうどんこ病、イチゴうどんこ病、ナスすすかび病、ナシ黒星病、リンゴ黒星病
フルアジナム	マメ類灰色かび病

(農薬概説2022より抜粋、赤字は新たに追加されたもの) 11

薬剤抵抗性発達の背景

③ 薬剤開発の事情

○ 新規有効成分の開発が減少傾向



農薬登録された新規有効成分数の推移 (農薬概説2022より作成)

○ 「多作用点の殺菌/殺虫剤」から「特異作用点の殺菌/殺虫剤」に
※ 特異作用点に作用する薬剤は抵抗性が発達しやすい

10

薬剤耐性菌の発達事例

薬剤	病名(主なもの)
オキシリニック酸	イネもみ枯細菌病、イネ褐条病
ストロビルリン系(QoI剤)	キュウリうどんこ病、キュウリべと病、キュウリ褐斑病、ナスすすかび病、イチゴ炭疽病、カンキツ灰色かび病、チャ輪紋病、ブドウべと病、コムギ赤かび病、トマト葉かび病、イネいもち病、リンゴ黒星病
シフルフェナミド	キュウリうどんこ病
シタロン脱水酵素阻害型メラニン生合成阻害剤(MBI-D剤)	イネいもち病
SDHI剤	キュウリ褐斑病、キュウリうどんこ病、イチゴ灰色かび病、ナスすすかび病

(農薬概説2022より抜粋) 12

殺虫剤抵抗性害虫の発達事例

抵抗性を獲得した薬剤数が多い農業害虫（農薬概説2022より一部抜粋）

順位	種	薬剤数	主な加害作物
1	ナミハダニ	92	野菜類、花き類、果樹
2	コナガ	91	アブラナ科
3	モモアカアブラムシ	74	野菜類、果樹、タバコ
4	タバココナジラミ	54	野菜類、花き類
6	オオタバコガ	48	野菜類、花き類、トムモロコシ
7	リンゴハダニ	46	果樹(バラ科)
8	ワタアブラムシ	42	野菜類、ワタ
9	ハスモンヨトウ	37	野菜類、ダイズ、花き類、果樹
12	シロイチモジヨトウ	32	野菜類、花き類
18	ミカンキイロアザミウマ	23	野菜類、花き類
19	オンシツコナジラミ	22	野菜類、花き類

※ 日本に生息しない害虫は省略 13

ヒラズハナアザミウマ(イチゴ)の薬剤感受性

(2018年、野菜花き試験場)

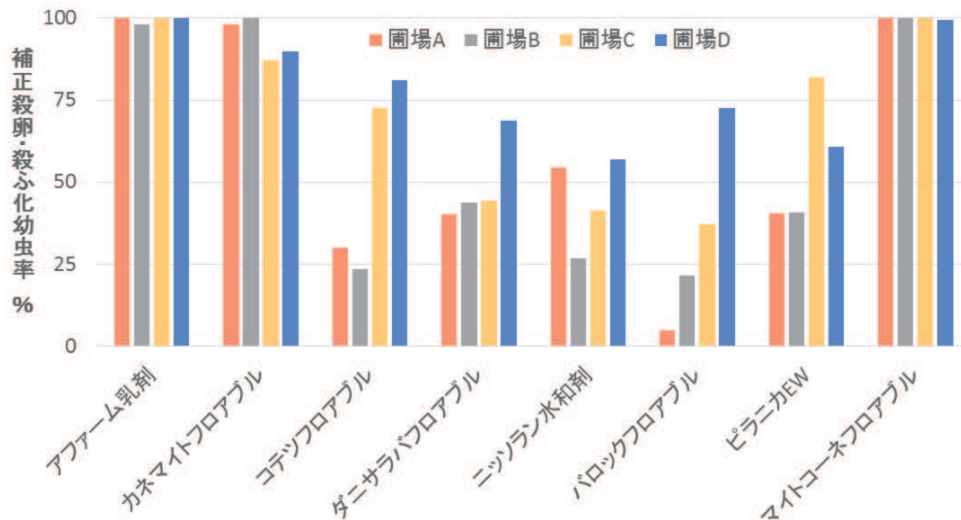
供試薬剤	希釈 倍数	補正死亡率(%)			
		Aほ場	Bほ場	Cほ場	Dほ場
マラソン乳剤	2,000	81.5	43.3	100.0	100.0
アクリナトリン水和剤	1,000	88.9	23.3	100.0	57.1
アセタミプリド水溶剤	2,000	59.3	30.0	82.5	0.0
スピノサド水和剤	5,000	77.7	46.7	100.0	64.3
シアントラニリプロール水和剤	2,000	7.4	23.3	13.8	66.7
トルフェンピラド水和剤	1,000	74.1	56.3	0.0	21.4
クロルフェナピル水和剤	2,000	100.0	83.9	75.9	100.0
フロメキン水和剤	1,000	29.6	10.0	3.4	0.0
フルキサメタミド乳剤	2,000	92.6	70.0	82.8	67.9

黄色:補正死亡率70%未満

14

ナミハダニ(イチゴ)の薬剤感受性

(2016年、野菜花き試験場)

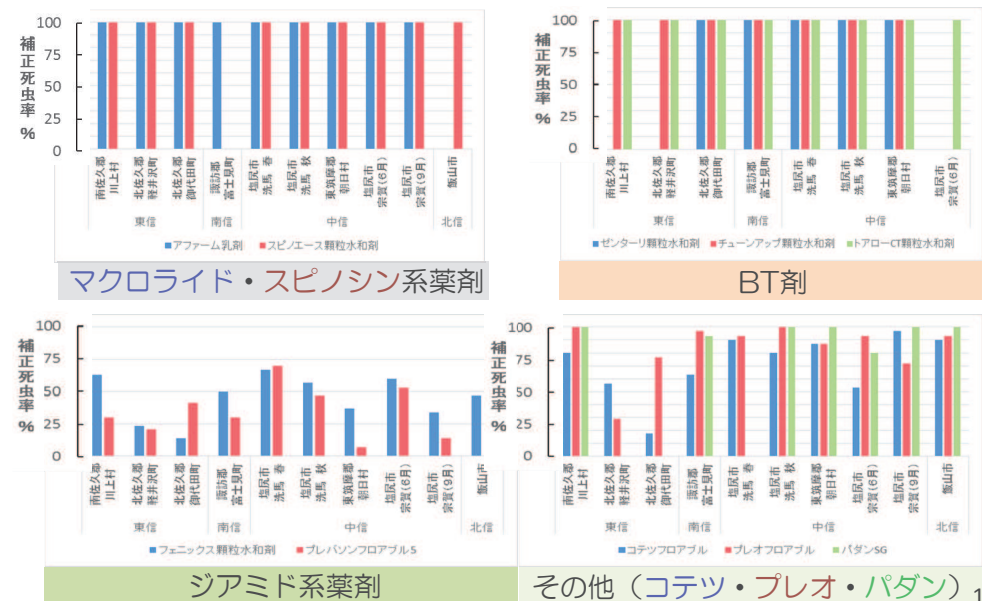


夏秋どりイチゴ 4圃場のナミハダニに対する薬剤の効果
(2016年 安曇野地域)

15

アブラナ科野菜のコナガの薬剤感受性

県内で採取したコナガの薬剤感受性 (2015年、野菜花き試験場)



その他(コテツ・プレオ・パダン) 16

DMI剤耐性リンゴ黒星病菌の県内発生 2018年



リンゴ黒星病 果実の病徴



リンゴ黒星病 葉の病徴

17

QoI剤耐性ブドウべと病菌による被害



2010年9月 撮影

QoI剤耐性キュウリ褐斑病菌の県内発生 2009年



キュウリ褐斑病の病徴



多発すると株全体が枯れる 19

フィプロニル抵抗性イネドロオイムシによる被害



2007年7月



20

薬剤抵抗性管理を考慮した防除対策

【背景】

防除対策が安価・簡便・速効的で
安定した効果のある**化学農薬への依存**



- ・ **薬剤抵抗性の発達**や**誘導多発生の発生**
⇒ 作業者の**負担・コスト**の増加など



化学農薬のみに依存せず、様々な防除技術を
組み合わせ、経済的に被害が出ない程度に
病害虫や雑草の発生を抑制を目指す

総合的病害虫雑草管理（IPM）

21

総合的病害虫管理（IPM）の要点

予防的措置 病害虫の発生しにくい**環境整備**

輪作、抵抗性品種の導入、伝染源の除去（**耕種的防除**）
種子消毒の実施（**化学・物理・生物的防除**）等

判断 **防除要否、防除タイミング**の判断

発生予察情報の活用、ほ場の観察
経済的被害許容水準を指標

防除 **多様な手段の組み合わせ**

化学的、物理的、生物的、耕種的防除技術の
適切な組み合わせ

22

様々な防除手段

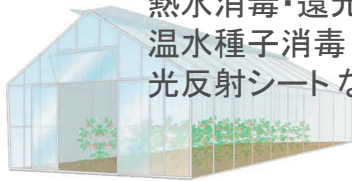
化学的防除

化学合成農薬
殺虫剤、殺菌剤
除草剤 など

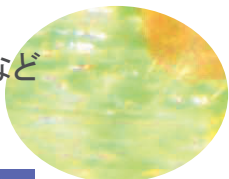


物理的防除

被覆栽培（防虫ネット）
熱水消毒・還元消毒
温水種子消毒
光反射シート など



土着天敵・天敵製剤
微生物農薬
弱毒ウイルス
交信かく乱 など



生物的防除

抵抗性品種・台木
周辺の雑草管理
輪作 など



耕種的防除

23

薬剤抵抗性を考慮した農薬使用

◇ IPMにおける化学的防除手段
～ 農薬使用における要点 ～

薬剤選択

- ① 同一作用機構の薬剤を連用しない
＝作用機構が異なる薬剤をローテーションで使用
- ② 耐性菌リスクの低い剤（**多作用点阻害剤**）を活用
- ③ 気門封鎖剤（**物理的作用剤**）の活用
（ハダニ類、うどんこ病など）

使用方法

- ① 十分な薬量、散布むらがない丁寧な散布

24

不織布を用いたレタスの被覆栽培によるチョウ目害虫の被害軽減効果

- ・春作／夏秋作レタスにおける
うきがけ被覆による害虫被害の軽減効果
- ・夏秋作の被覆栽培における高温障害の回避
- ・被覆栽培によるレタスへの影響評価

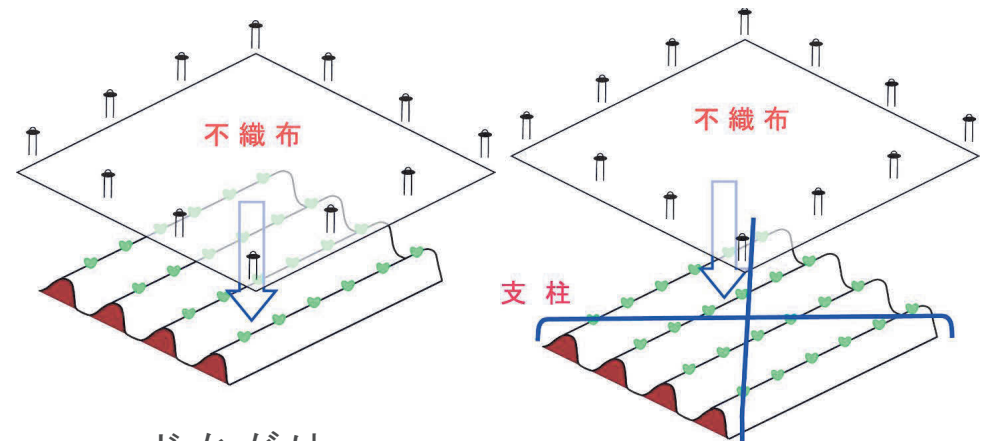
技術情報



野菜花き試験場内での被覆試験の様子

不織布を用いたレタスの被覆栽培によるチョウ目害虫の被害軽減効果

詳しくは、平成29年技術情報「不織布を用いたレタスの被覆栽培によるチョウ目害虫の被害軽減効果」を参照



じかがけ

浮きがけ

用語：施設園芸ハンドブックに準拠

紫外線によるパセリのうどんこ病防除



技術情報



紫外線によるうどんこ病防除（H27野花試）

無照射区

UV-B照射

0時～3時
約20μW/cm²



照射82日後
発病葉率 76%

0%

高輝度LED防除器による施設カーピーマンのオオタバコガ被害軽減

- ① レピガードと比較し照度が高く、設置個数が少なくて済む
- ② 交流100Vに直結可能で、専用のコントローラーが不要

レピガードシャイン

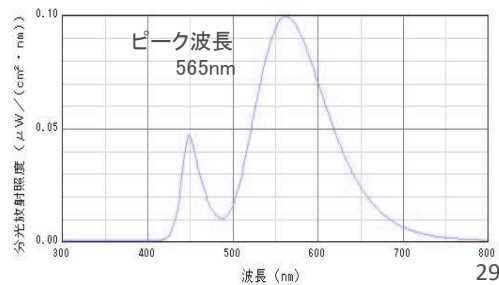
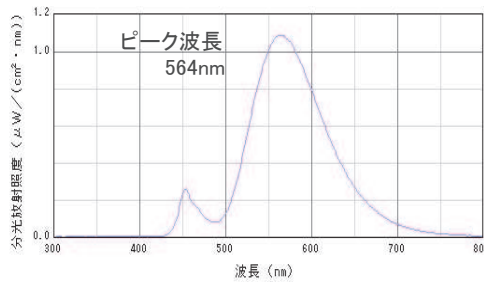


- ・設置個数
1個~/100㎡
- ・消費電力
3.0w
- ・価格(税抜)
約6,000円

レピガード

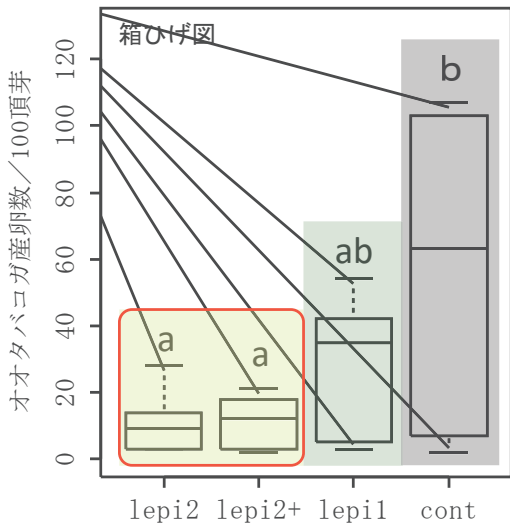


- ・設置個数
10個/100㎡
- ・消費電力
0.4w
- ・価格(税抜)
約3,400円



29

高輝度LED防除器による施設カーピーマンのオオタバコガ被害軽減



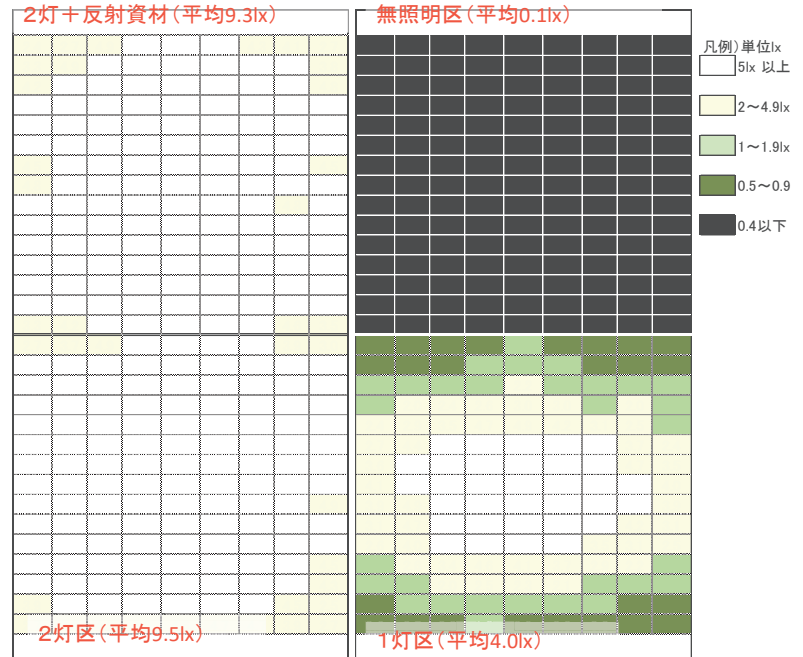
lepi2: レピガード2灯
lepi1: 1灯
lepi2+: レピガード2灯+反射資材
cont: 無照射

図 オオタバコガの産卵数

- ・2灯設置により、
産卵数が有意に減少
- (1灯設置区でも、
産卵数はおよそ半減)

31

高輝度LED防除器による施設カーピーマンのオオタバコガ被害軽減



30

高輝度LED防除器による施設カーピーマンのオオタバコガ被害軽減

詳しくは、平成29年技術情報「施設栽培カーピーマンにおける高輝度LED防除器の設置によるオオタバコガの被害軽減効果」を参照

- ① レピガードシャインの2灯/50㎡設置により、
オオタバコガの産卵を有意に抑制
- ② 被害果率及び被害蓄率も減少
- ③ 2灯/50㎡設置による、着果数への影響はない

現地トマト施設での
実証事例



技術情報



ナミハダニを捕食するミヤコカブリダニ



活用できる天敵には、
1) 土着天敵
2) 天敵製剤がある

33

レタス根腐病 *Fusarium oxysporum* f. sp. lactucae

■ 防除が難しい土壌病害

■ 抵抗性品種が育種され、
抵抗性品種の利用が進む



昆虫病原性糸状菌製剤



・野菜類のコナジラミ類、アザミウマ類、ハダニ類、アブラムシ類、コナガ、うどんこ病などに登録

ポーベリア バシアーナ
(アリストライフサイエンス 株式会社)

- ・ミツバチ、天敵などへの影響が少なく、環境に優しい
- ・鉱物油を含む乳剤で湿度条件に影響されにくく、
施設栽培に加えて露地でも使用可
- ・薬剤抵抗性の発達した害虫にも優れた効果を発揮
- ・感染した死亡虫には「白いかび」が生じ、効果を確認できる
- ・有機栽培・特別栽培農産物で使用可(カウントされない)

レタス根腐病のレース検定

表1 レタス根腐病菌の各レース標準菌株及び分離菌株に対する判別品種の反応

供試菌株	判別品種			判定
	晩抽レッド ファイヤー	コスタリカ 4号	パトリ オット	
分離菌株 FL100*	S	S	S	レース3
分離菌株 FL100*	S	S	S	レース3
レース1標準菌株	S	R	S	
レース2標準菌株	R	S	S	
レース3標準菌株	S	S	S	

S: 感受性、R: 抵抗性

*: 平成22年長野県東信地域分離菌株

発生レースに応じた品種選定

AI技術を用いた病害虫診断技術(参考)

例) 日本農薬(株)の「レイミー」

診断機能

- 1 作物を選び、診断したい対象が当てはまるカテゴリーを「病害・食害」「害虫」「雑草」の3つから選んでください
- 2 診断したい対象の写真を撮り、「AI診断」をタップしてください ※端末に保存されている写真から選ぶこともできます
- 3 ここから写真を撮った場所と、診断した場所をマップ上に表示できます
診断された病害虫雑草の情報が写真付きで表示されるので、撮影対象と見比べて、それが何かを特定します
- 4 特定した病害虫雑草に有効な薬剤が一覧表示されます
薬剤をタップすると、さらに詳しい情報を確認できます

ポイント
対象物が中央に大きく表示されるように写真を拡大してください

診断結果が表示されます

メーカーのホームページへ

・上手な使い方と注意点

殺虫剤の主な作用点 (出典：農薬概説2022 p107)

- クチン(皮膚)の生合成等に作用する薬剤**
ベンゾイル尿素系薬剤
ブプロフェジン
クロフェンテジン、ヘキシチアゾクス、エトキサゾール
シロマジン
- 呼吸(ミトコンドリア)に作用する薬剤**
電子伝達系複合体I: METI 剤
電子伝達系複合体II: β -ケトニトリル誘導体、カルボキサニリド系薬剤
電子伝達系複合体III Qo サイト: アセキノシル、フルアクリピリム、ビフェナゼート
電子伝達系複合体III Qi サイト: フロメトキン
ATP合成酵素: ジアフェンチウロン、BPPS、テトラジホン
脱共役: ピロール系薬剤
- 弦音器官に作用する薬剤**
ビリジアンゾメチン誘導体
フロニカミド
- 変態に作用する薬剤**
ピリプロキシフェン
ジアシル-ヘドラジン系薬剤
- 神経に作用する薬剤**
カルシウム活性化カリウムチャンネル: アシナナビル
- 神経に作用する薬剤**
アセチルコリンエステラーゼ: カーバメート系薬剤, 有機リン系薬剤
- 神経に作用する薬剤**
ニコチン性アセチルコリン受容体(興奮): ネオニコチノイド系薬剤, スピノシン系薬剤等
ニコチン性アセチルコリン受容体(抑制): ネライストキシン系薬剤, トリフルメゾピリム, フルピリミン
- 神経に作用する薬剤**
塩素イオンチャンネル: フェニルピラゾール系薬剤, アベルメクテン系・ミルベメクテン系薬剤, メタジアミド系薬剤, イソオキサゾリン系薬剤
- 筋肉に作用する薬剤**
リアノジン受容体: ジアミド系薬剤
- 中腸に作用する薬剤: BT 剤**
- 脂質合成に作用する薬剤**
テトロン酸, テトラミン酸誘導体

※ 神経系に作用する薬剤が多い

殺菌剤の作用部位 (出典：農薬概説2022 p110)

- 核酸合成代謝に作用する薬剤**
RNAポリメラーゼI: フェニルアミド系薬剤
DNAトポイソメラーゼII: カルボン酸系薬剤
DNA/RNA生合成: ヒドロキシソキサゾール
- 呼吸(ミトコンドリア)に作用する薬剤**
複合体I: ビリミジアン系, ピラゾールカルボキサミド系
複合体II: SDHI 剤
複合体III: QoI 剤, QiI 剤, QoSI 剤
脱共役: フルアジナム
- 細胞骨格とモータータンパク質に作用する薬剤**
 β -チューブリン: MBC 系,
N-フェニルカーバメート系,
チアゾールカルボキサミド系,
フェニルウレア系,
ペンズアミド系薬剤
- 細胞壁に作用する薬剤**
キチン生合成阻害: ポリオキシン
セルロース生合成酵素: CAA 剤
- 細胞膜のステロール生合成に作用する薬剤**
C14位の脱メチル化: DMI 剤
C4位の脱メチル化:
ヒドロキシアニリド系,
アミノピラゾリノン系薬剤
スクワレンエポキシターゼ:
チオカーバメート系薬剤
- メランニン生合成に作用する薬剤**
MBI-R: トリシクラゾール等
MBI-D: フェノキサニル等
MBI-P: トルプロカルブ
- シグナル伝達に作用する薬剤**
MAP・ヒスチジinkinナーゼ (*os-2, HOG1*):
フルジオソニル
MAP・ヒスチジinkinナーゼ (*os-1, Daf1*):
ジカルボキシイミド系薬剤
- 抵抗性誘導するもの**
プロベナゾール, チアジニル,
イトフアニル, ジクロベンチアゾクス
- 脂質生合成等に作用する薬剤**
ホスホリビド-N-メチルトランスフェラーゼ:
ホスホロチオレート系, ジチオラン系薬剤
脂質の過酸化: AH 剤
細胞膜透過性: カーバメート系薬剤
脂質の恒常性/輸送: オキサチアピロリン
- アミノ酸およびタンパク質生合成に作用する薬剤**
メチオニン生合成: AP 剤
タンパク質生合成: カスガマイシン,
ストレプトマイシン,
オキシテトラサイクリン

なぜ、RACコードが生まれたか

- 作用機構分類として、殺菌剤は50以上の標的部位、殺虫剤は34分類(未知を除く)と多様
- 系統(成分)名がわかりづらい
- 混合剤(殺虫+殺菌剤、殺菌+殺虫剤)の存在
- 異なる商品名の農薬であっても、系統が同じ場合がある
例) スピノエースとディアナなど(同じスピノシン系)
ベネビアとベリマークなど(同じジアミド系)

薬剤のローテーション使用が難しい要因



コード分類により、ローテーション使用を容易に

作用機構に基づいた薬剤の分類

- ◇ 殺菌剤は **FRAC**
- 殺虫剤は **IRAC**
- 除草剤は **HRAC** による分類

FRAC: 殺菌剤耐性菌対策委員会
Fungicide Resistance Action Committee

IRAC: 殺虫剤抵抗性対策委員会
Insecticide Resistance Action Committee

HRAC: 除草剤抵抗性対策委員会
Herbicide Resistance Action Committee

41

耐性菌対策ガイドラインの活用

- ◆ 殺菌剤耐性菌研究会HPより入手可
- ・ イネいもち病のQoI剤、MBI-D剤耐性菌対策ガイドライン
- ・ 野菜、果樹、茶におけるQoI剤、SDHI剤使用ガイドライン
- ・ DMI剤ガイドライン、CAA系薬剤使用ガイドライン



○ CAA系薬剤のFRACコード表の抜粋

FRACコード	作用点	グループ名	有効成分名	農薬名	備考
40	セルロース合成	CAA	ジメモルフ	フェステイバル	抵抗性リスク: 低~中 欧州においてブドウと病の耐性菌が発生。グループ内で交差耐性がある。
			ベンチアパリカルブイソプロピル	プロホース、ベトファイターの成分	
			マンジプロパミト	レーパス	

○ CAA系薬剤使用ガイドラインの例

耐性菌未発生ほ場の場合

ブドウ: 単剤は1年1回まで(混用、混合剤使用で2回まで)
ウリ科: 単剤は1作1回まで(混用、混合剤使用で2回まで)

43

RACコードを知るには

- ◇ JA/農薬販売店の防除暦(一部)
- ◇ 長野県病害虫・雑草防除基準
(病害虫防除所ホームページからダウンロード可)
- ◇ 農薬工業会のホームページ
(各RACのホームページへのリンク他)
- ◇ 農薬検索サイト(農水省、日植防等)
- ◇ 農薬のラベル(一部) など

記載例)

グループ **28** 殺虫剤

42

IRAC分類によるローテーション

- ◇ 殺虫剤に対する抵抗性発達の抑止、遅延
→ 異なる作用機構の薬剤を用いた
ローテーション使用 (A>B>C>A・・・)
- ◇ 異なる作用機構のローテーション使用とは
→ 異なる主要グループ(数字)の薬剤を使用
→ サブグループ(英文字)間の
ローテーションは原則、避ける。

例) 10A(ニッソラン)と10B(バロック)の連用、
1A(カーバメート系)と1B(有機リン系)の
連用等避ける

44

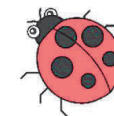


- ・2019年3月に農研機構から発行
- ・農研機構ホームページから無償でダウンロード可(PDF)
- ・農業生産上で重要な害虫、
コナガ、
チャノコカクモンハマキ、
ワタアブラムシ、
ネギアザミウマ、
ハダニ類、
ウンカ類の害虫管理の
ためのガイドライン

45

— メモ —

ご清聴、ありがとうございました。



～ お問合せ先 ～

- 農薬の適正使用、農薬取締法などに関すること
農業技術課 環境農業係(026-235-7222)
- 病害虫の防除などに関すること
病害虫防除所(東北信:026-248-6471)
(中南信:0263-53-5642)
又は、最寄りの農業農村支援センターまで
- 普及技術等の検索 農業関係試験場HP



調査データや写真等については、
長野県 農業試験場、果樹試験場、野菜花き試験場のご協力を頂きました。

46