

殺虫剤抵抗性リスク評価表

リスク評価基準書 第2.3版 (2021年3月)*

*更新履歴	第1版	2019年12月	作成	非公開:事前検討者向け
	第2版	2020年9月	更新	公開:農林害虫防除研究会HP
	第2.2版	2021年1月	更新	公開:農林害虫防除研究会HP
	第2.3版	2021年3月	更新	公開:農林害虫防除研究会HP

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（日本曹達株式会社）

土井 誠 (静岡県農林技術研究所)

1. はじめに 殺虫剤抵抗性リスク評価基準書とリスク評価表(概要)

殺虫剤抵抗性リスク評価基準書(以下、評価基準書とする)では、殺虫剤リスク評価表(以下、リスク評価表)の作成基準と使用法を解説する。この評価基準書は主に過去の抵抗性発達事例と使用の実態に基づいて判断されているため、必要に応じて適宜見直し改訂する。

評価基準書とリスク評価表を作成するにあたり、農林水産省消費安全局植物防疫課、農研機構「中央農業研究センター、生物機能利用研究部門、野菜花き研究部門、農業環境変動研究センター」および日本植物防疫協会の専門家から多大な技術協力を得た。農薬工業会Japan IRACからは貴重なご意見を賜った。

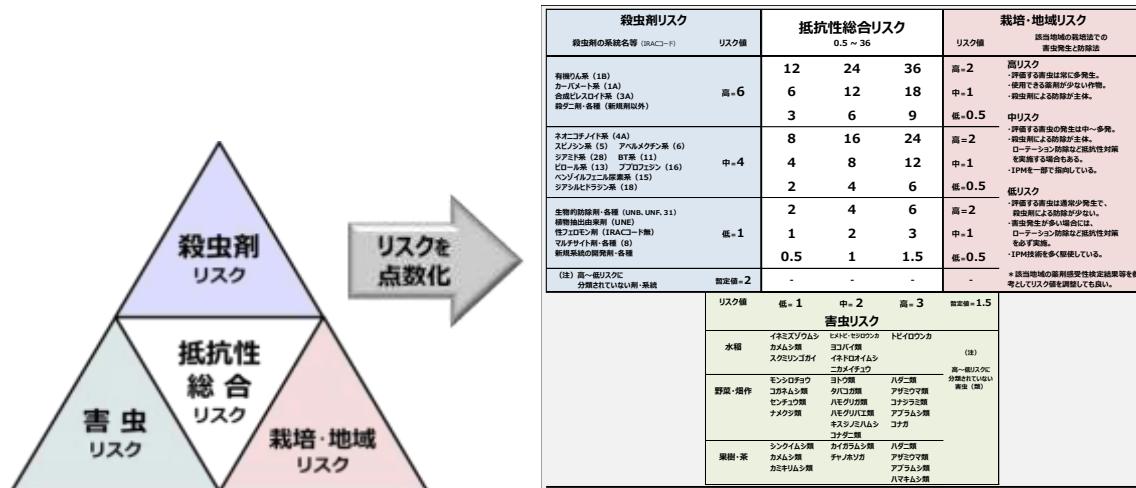


図1 殺虫剤抵抗性リスクの要素と殺虫剤抵抗性リスク評価表のイメージ

山本(2018); 山本・土井(2021)

〔目的と使用対象者〕

リスク評価表の目的は、「地域の自然環境の異なる農作物生産現場ごとに、抵抗性対策をあらかじめ考えた上手な殺虫剤の使い方と害虫防除法を考えること」、および「殺虫剤抵抗性リスクの重大性の程度を見える化して対策につなげること」である。リスク評価表は殺虫剤抵抗性管理の要素である抵抗性対策ツールの一つであり、他の抵抗性対策ツールとともに適切な抵抗性対策を行う上での重要な武器となる（山本、2019）。

リスク評価表の使用対象者は主に現場の指導員等を含めた関係者としている。そして、各地の農作物生産現場の状況に応じて作成され、「農業生産者-現場の営農指導員-行政・技術者」の間で抵抗性管理・対策を伝えあう「殺虫剤抵抗性リスクコミュニケーション」（山本、2017）で活用することも目的となる。また、新規に開発された殺虫剤にとって、その使用の初期から抵抗性対策をあらかじめ推奨することができる。

〔殺虫剤抵抗性リスクを構成する要素〕

殺虫剤抵抗性リスクは、殺虫剤リスク、害虫リスクおよび栽培・地域リスクの3つのリスクと、それを総合した抵抗性総合リスクからピラミッドのように構成される（図1）。

詳細は別項にて解説するが、殺虫剤リスクと害虫リスクは各リスク固有のものである。一方、栽培・地域リスクは、現場に密着したリスクであり、殺虫剤と害虫の組合せの固有のリスク値を、地域の自然特性、農作物の栽培法、および害虫防除状況に合わせて調整し、より実態に近づけることを目的とする。また、IPM(総合的病害虫・雑草管理)技術を駆使した防除では抵抗性リスクが低くなると考える。

なお、各リスク中の具体的な分類は、過去の抵抗性発達事例を主体に、抵抗性に関する研究・報告事例と害虫の生物学的特性に基づき評価し判断される。

〔殺虫剤抵抗性リスク評価表の要点〕

- 1) リスク評価表では、後述の殺虫剤抵抗性リスクを構成する3種のリスク（要素）にそれぞれリスク値を付し、それらを総合して抵抗性総合リスクが点数として評価されている。
- 2) 点数化は評価基準書に基づき、中立的・客観的に判断し評価される。
- 3) 生物的・物理的防除資材や耕種的防除技術等を含む各種のIPM技術の積極的採用を促し、抵抗性リスク軽減策として点数化に反映させる。
- 4) リスク評価表は、個々の殺虫剤の基本的な性能や、各害虫の防除の重要度・優先度を評価するものではない。
- 5) 具体的な作成事例を充実させ、データベースに集約して抵抗性対策を共有化することを今後の展望とする。

〔参考とした主な資料等〕

リスク評価表および基準書の作成に際して、次の資料・情報を参考に客観的に判断した。農林水産省植物防疫課の薬剤抵抗性害虫の発生状況調査（白石、2017等から集計）、ミシガン州立大学の殺虫剤抵抗性データベースAPRD、「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（2019）」の研究事例、および各殺虫剤の開発時期・年代、殺虫剤の販売金額（農薬概説、農薬要覧／日本植物防疫協会）。殺虫剤作用機構分類はIRACコードVer.9.4（IRAC、2020）を用いた。これらの情報からまとめた各種資料を付録に記載したので参照されたい。

2. 殺虫剤リスク

殺虫剤の作用機構および系統(以下、系統)を表1の評価基準によって「高、中、低」に3区分してそれぞれ固有のリスク値「6、4、1」を付した。評価は主に過去の抵抗性発達の事例等を基盤に行った。

具体的な殺虫剤の系統のリスク区分は表1に示した。但し、抵抗性の事例が少ないものは低リスクとも考えられるが、評価が不十分とならざるを得ない場合もある。そのため、日本で市販されている殺虫剤や系統の全てが記載されているわけではない。新たに開発された新規系統の剤は低リスクに分類され、使用にともない適宜見直す。

後述するが、各地区で実施された薬剤感受性検定の結果は、栽培・地域リスクに反映され、固有値である殺虫剤リスク値には影響しない。同じ系統・剤であっても、抵抗性個体群の分布の地域差で、防除効果や抵抗性リスクは異なるためである。同様に、害虫種ごとに同じ系統を異なる殺虫剤リスク区分へ細分化しない。

また、殺虫剤リスクは、系統や個々の剤の基本的な性能と防除効果を評価するものでない。また、その系統の剤が、抵抗性を獲得しやすい特性を本来持つか否かを示すのではなく、その剤の使用により抵抗性の分布が拡大するリスクを意味する。

表1 殺虫剤リスクの評価基準

【殺虫剤リスク】		評価基準
評価基準の総論		<ul style="list-style-type: none"> 殺虫剤の系統（作用機構分類）ごとに「固有のリスク値（1、4、6）」を設定する。 過去の抵抗性発達の事例を基盤に評価する。 異なる作用機構の薬剤間での交差・複合抵抗性の事例を組込む。 新規作用機構の殺虫剤は、低リスクへ当初分類し、適宜見直す。 リストに記載されていない殺虫剤の系統のリスク値は、暫定値「2」とする。
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	既存剤 有機りん系（1B） カーバメート系（1A） 合成ビレスロイド系（3A） 殺ダニ剤・各種（新規剤以外）	【事例1 抵抗性の顕在化：時期と範囲】 <ul style="list-style-type: none"> 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。 【事例2 交差・複合抵抗性】 <ul style="list-style-type: none"> 異なる作用機構の薬剤間との事例が多い。 【薬剤の特性】 <ul style="list-style-type: none"> 長い効果持続性。
中リスク =4	既存剤 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） ジアミド系（28） BT系（11） ピロール系（13） プロフェジン（16） ベンソイルフェニル尿素系（15） ジアルヒドラン系（18）	【事例1 抵抗性の顕在化：時期と範囲】 <ul style="list-style-type: none"> 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。 【事例2 交差・複合抵抗性】 <ul style="list-style-type: none"> 事例はあるが多くない。
低リスク =1	既存剤 生物的防除剤・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）	【事例1 抵抗性の顕在化：時期と範囲】 <ul style="list-style-type: none"> 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。 【事例2 交差・複合抵抗性】 <ul style="list-style-type: none"> 事例がないか、少ない。
	新規系統の開発剤	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。
暫定値 =2	既存剤 高～低リスクに分類されない剤・系統	—

3. 害虫リスク

害虫を表2の評価基準によって「高、中、低」に3区分し、それぞれリスク値「3、2、1」を付し、害虫種(類)に固有のリスク値とした。主に過去の抵抗性事例と各害虫種の抵抗性発達に関わる生物的特性から評価した。生物的特性には、主に害虫の年間発生回数・量、繁殖、食性および長距離移動性等を考慮した。また、害虫名は煩雑さを避けるために、主に類表示した。新に発生し抵抗性が懸念される害虫種については、専門家との協議の上に追加することも考えたい。

表2 害虫リスクの評価基準

〔害虫リスク〕		評価基準
評価基準の総論		<ul style="list-style-type: none"> ・害虫の種(類)ごとに「固有のリスク値（1, 2, 3）」を設定する。 ・害虫の類表示の場合は代表種で判断する(煩雑さを避けるため)。 ・害虫種は重要害虫のみ。その他の種は必要に応じて追加する。例えば侵入害虫など。 ・過去の抵抗性発達の事例と害虫の生物的特性を基盤に評価する。 ・特に、当該作物での害虫発生量と防除の重要性を考慮する。 ・リストに記載されていない害虫(類)のリスク値は、暫定値「0.5」とする。
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>〔水稻〕 トビイロウンカ 〔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 〔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：産卵単為生殖、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>〔水稻〕 ヒメビウンカ、セジロウンカ ヨコバイ類、イネドロオイムシ ニカマイチュウ 〔野菜・畑作〕 ヨウ類、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 〔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>〔水稻〕 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 〔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）	-

4 栽培・地域リスク

栽培・地域リスクは、殺虫剤と害虫の組合せの固有のリスク値を、地域の自然特性や防除状況に合わせて調整し、より実態に近づけることを目的としている。そのため、各地域における農作物の栽培法、害虫発生および防除法などの実情に応じて抵抗性発達に影響する点を総合的に考慮して、栽培・地域リスクを表3の評価基準のとおり「高、中、低」の3区分に調整し、それぞれリスク値「2、1、0.5」を付した。

評価は主に「当該地域の作物栽培法での害虫発生と防除法」の点に集約して行った。抵抗性対策を考慮した防除を促すために、防除方法についても評価基準の検討項目に組入れてあるのが特徴である。特に、害虫防除では薬剤処理に加えて、IPM実践(農林水産省消費安全局植物防疫課, 2005)に使用される各種防除技術が実用化されている。IPMを指向した栽培・防除では、薬剤使用が適切に削減されるために抵抗性リスクが低くなると考える。

また、地域での薬剤感受性検定の結果を、地域・栽培リスクの評価へ反映させ調整してもよい。各殺虫剤の抵抗性の広がりや薬剤感受性は、地域によるこれまでの防除の経緯によって異なるため、各殺虫剤に固有のリスク値を付す殺虫剤リスクで評価するのではなく、栽培・地域リスクの評価の中で判断されることに留意されたい。

このように、栽培・地域リスクは地域ごとに異なるために、リスク値の判断は現場の・研究者・指導者・生産者が個別に判断するものである。

表3 栽培・地域リスクの評価基準

【栽培・地域リスク】		評価基準
評価基準の総論		<p>【栽培現場ごとのリスク値の調整】</p> <ul style="list-style-type: none"> 当該する殺虫剤と害虫の組合せごとにリスク値を調整する。 作物の栽培条件や害虫の発生量・回数や防除法は、地域によって異なるため、リスク値の調整（高・2、中・1、低・0.5）が必要となる。 薬剤感受性検定や前作での効果等を参考にして、リスク値を調整してもよい。 <p>【栽培法】検討項目</p> <ul style="list-style-type: none"> 栽培地域・気象： 湿度、気温等の天候条件、等。 露地栽培、施設栽培。 作期の長さ。 栽培品種：耐虫性の強弱。 栽培方法：窒素肥料量、灌漑、等。 本圃に移植する作物では、育苗期における害虫発生状況。 集団栽培等大面積での同一作物の栽培（リスク値が高い）。 <p>【害虫の発生】検討項目</p> <ul style="list-style-type: none"> 害虫発生に好適な気象条件・生態学的条件が多い地域・栽培では、殺虫剤の処理回数が多い（リスク値が高い）。 害虫発生密度：地域・栽培による発生差。 <p>【害虫の防除法】検討項目</p> <ul style="list-style-type: none"> 薬剤処理：必要防除回数、処理方法（茎葉散布、土壤処理）、時期。 抵抗性管理：薬剤ローテーション、混用、など。 IPM技術を組込んだ栽培・地域・防除体系（リスク値が低い）。 <p>①天敵 有無・種類・性能。 ②物理的防除資材の有無・種類。③圃場管理・周辺環境管理。</p>
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個体群が飛来する。 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か多く、また無防除エリアを設定するなど、薬剤感受性個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。

5 抵抗性総合リスクと殺虫剤抵抗性リスク評価表

抵抗性総合リスクは、殺虫剤リスク、害虫リスクおよび栽培・地域リスクの3要素から構成され評価される。抵抗性総合リスク値は、次の式で計算される。計算手順は次項を参照されたい。

$$\text{抵抗性総合リスク値} = \text{殺虫剤リスク値} \times \text{害虫リスク値} \times \text{栽培・地域リスク値}$$

(0.5~36) (1~6) (1~3) (0.5~2)

(判 断) 抵抗性総合リスク値を個々の地域での殺虫剤抵抗性管理・対策の判断基準とする。抵抗性総合リスク値は、0.5~36の幅を持ち、その数値が高いほど殺虫剤抵抗性リスクが高くなる。また、同じ害虫／殺虫剤の組合せでも、栽培・地域リスクの違いに応じて抵抗性総合リスク値には4倍の幅が生じる。すなわちこの数値の幅が意味している重要な点は、「抵抗性リスク値が高い場合には、評価基準を参考に現状の防除法を見直して抵抗性総合リスク値がより低くなるように、殺虫剤抵抗性管理・対策を組込んだ防除法を再考する」ことである。

評価基準に基づいて、表4に殺虫剤抵抗性リスク評価表をとりまとめた。

表4 殺虫剤抵抗性リスク評価表（第2.3版）

抵抗性総合リスク値が12を超える場合は、抵抗性対策の実施が特に重要である。

殺虫剤リスク 殺虫剤の系統名等 (IRACコード)	リスク値	抵抗性総合リスク 0.5 ~ 36			栽培・地域リスク 該当地域の栽培法での 害虫発生と防除法
		リスク値	0.5 ~ 36	高=2	
有機りん系 (1B) カーバメート系 (1A) 合成ビレスロイド系 (3A) 殺ダニ剤・各種 (新規剤以外)	高=6	12	24	36	高リスク ・評価する害虫は常に多発。 ・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) ジアミド系 (28) BT系 (11) ピロール系 (13) ブロフェン (16) ベンゾイルフェニル尿素系 (15) ジアルヒドラジン系 (18)	中=4	8	16	24	高=2
		4	8	12	中=1
		2	4	6	低=0.5
		2	4	6	中リスク ・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。
生物的防除剤・各種 (UNB, UNF, 31) 植物抽出由来剤 (UNE) 性エロモン剤 (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
		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	暫定値=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。					
	リスク値	低=1	中=2	高=3	暫定値=1.5
	害虫リスク				
	水稻	イネミズゾウムシ	ヒメビ・セジロウンカ	トビイロウンカ	
		カムシ類	ヨコバ・類		(注)
	野菜・畑作	スクミリンゴガイ	イネドロオイムシ		
		ニカメイチュウ			高～低リスクに 分類されていない 害虫 (類)
		モンシロチョウ	ヨトウ類	ハダニ類	
		コガネムシ類	タバコガ類	アザミウマ類	
		セントウ類	ハモグリガ類	コナシラミ類	
		ナメクジ類	ハモグリバエ類	アブラムシ類	
		キスジノミハムシ	コナガ		
果樹・茶		コナゲ・類			
		シンクイムシ類	カイガラムシ類	ハダニ類	
		カムシ類	チャノホソガ	アザミウマ類	
		カミキリムシ類		アブラムシ類	
				ハマキムシ類	

6 リスク値の計算手順

抵抗性総合リスク値の計算手順を4ステップで示した。概要は次のとおりである。まず、当該する殺虫剤リスクと害虫リスクの各リスク値を乗じた値を求め、固有値とする。次に、個々の地域の実情に応じて、それぞれの栽培・地域リスク値を乗じて、殺虫剤抵抗性総合リスク値を計算する。

[Step ① 準備・用意する]

- ✓ 評価したい防除暦、防除計画、防除基準等。
- ✓ 地域の薬剤感受性検定結果や前作の効果情報。無くても構わない。
- ✓ 殺虫剤抵抗性リスク評価基準書。

[Step ② 殺虫剤リスク値 × 害虫リスク値（固有値を計算する）]

②-1) 評価する殺虫剤・系統を選ぶ

- ✓ 殺虫剤リスク値を、リスク評価表のリストから選ぶ。
- ✓ リストに無い殺虫剤・系統のリスク値は、**暫定値「2」**とする
- ✓ 注) 地域の薬剤感受性検定結果を反映させない。殺虫剤リスク値は、固有値であるため。

②-2) 評価する害虫を選ぶ

- ✓ 害虫リスク値を、リスク評価表のリストから選ぶ。
- ✓ リストに無い害虫(類)のリスク値は、**暫定値「1.5」**とする。

[Step ③ 栽培・地域リスク値を決定]

- ✓ 栽培・地域リスクの評価基準をチェックリストとする。
- ✓ 該当地域の栽培法での害虫発生と防除法を考慮し評価・チェックする。
- ✓ IPM技術の駆使やその頻度をチェックする。
- ✓ 地域の薬剤の感受性検定結果や前作の効果情報を参考に、リスク値を調整してもよい。

[Step ④ 抵抗性総合リスク値を計算]

$$\text{抵抗性総合リスク値} = \text{殺虫剤リスク値} \times \text{害虫リスク値} \times \text{栽培・地域リスク値}$$

7 殺虫剤抵抗性リスク評価を踏まえた抵抗性対策

抵抗性リスク評価を踏まえた具体的な抵抗性対策の項目を後述した。殺虫剤抵抗性リスク評価のリスク値の大小にかかわらず、各項目をあらかじめ実施することを推奨する。特に、抵抗性総合リスク値が12を超える場合は、抵抗性対策の実施が重要である。また、抵抗性リスク評価は、薬剤感受性モニタリング結果や現場調査による抵抗性の広がりの情報と併せてことで、より効果的となる。後述のように薬剤感受性モニタリングに基づく「殺虫剤抗性リスクレベル(農研機構、2019)」と、「薬剤抵抗性発生状況の指標(フェーズ)(農林水産省植物防疫課；白石、2017)」が公表されており、併せて参考にされたい。

〔推奨する殺虫剤抵抗性対策〕

- ◆ 薬剤感受性モニタリング(生物検定、遺伝子診断)を実施して、抵抗性の発達状況を把握する。
- ◆ 害虫の連続する世代に同じ系統(作用機構)の薬剤を処理しない「世代間ローテーション」を行う。
- ◆ 耕種的な予防措置に加え、生物的および物理的防除などの「IPM技術を駆使」した防除を実施する。
- ◆ 異なる系統(作用機構)の薬剤混用を選択肢の1つとして検討する。
- ◆ 「高薬量・保護区戦略」を採用した防除体系を検討する。これは、防除対象の害虫個体群中に薬剤感受性遺伝子を一定に保つことで、登録薬量で薬剤防除しやすい集団を長期間にわたり保つ方法である(鈴木、2012;山本、2019)。
- ◆ 園場内の抵抗性害虫の「薬剤感受性を復元させる」ために、害虫の被害許容水準・要防除水準での薬剤防除を守るとともに、園場外の薬剤感受性害虫を防除し尽さない栽培体系を検討する。

参考 【殺虫剤抵抗性リスクレベルの判断】 農研機構(2019)

薬剤感受性モニタリングの結果に基づいた殺虫剤抵抗性リスクレベルの判断が、平成26～30年度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」の成果から公表されている。

リスクレベルI 抵抗性は未発達：地域個体群における抵抗性遺伝子頻度が、その薬剤の使用開始以前並みに低く、かつ頻度上昇までに十分な時間が見込まれる。薬剤の通常の使用が可能であり、抵抗性管理に準拠した使用方法で用いる。

リスクレベルII 抵抗性が発達中：地域個体群における抵抗性遺伝子頻度が上昇しているものの、薬剤の効力低下には至らない。代替薬剤も準備しておく。

リスクレベルIII 既に抵抗性が発達：地域個体群における抵抗性遺伝子頻度が十分高く、かつ薬剤の効力が低下しているか、害虫の1～2世代以内の確実な低下が予想される。当該剤の使用を中止し、代替薬剤へ速やかに移行する。

参考 【薬剤抵抗性発生状況の指標】 農林水産省植物防疫課／2017年度

日本での「薬剤抵抗性病害虫の発生状況等調査」で用いる抵抗性発生状況の指標(フェーズ)が農林水産省消費・安全局植物防疫課から公表されている(白石、2017)。

フェーズ0：薬剤感受性低下は認められていないものの、モニタリング調査などにより薬剤抵抗性の発達を警戒している場合。

フェーズI：薬剤抵抗性の発達が一部の園場での現象にとどまっている状況。指導者には周知するが、農家への指導の必要性は低い。

フェーズII：ある程度の面積規模で薬剤抵抗性の発達が見られており、農家への注意喚起を要する。その程度の広がりで注意喚起を行うべきかは、ケースバイケースで、防除指導機関の判断による。

フェーズIII：薬剤抵抗性の発達が各都道府県下で広域に広がり、対象薬剤の使用については何らかの指導が必要。

8 殺虫剤抵抗性リスク評価表の作成事例 [仮想事例]

殺虫剤抵抗性リスク評価表を用いて、それぞれの地域／作物での抵抗性総合リスクを評価する方法を、仮想事例で紹介する。ここでは、各作物で発生する各種害虫の抵抗性リスク評価の概観事例と、一種の害虫に絞った抵抗性リスク評価事例を示す。これを参考に、各地域における殺虫剤抵抗性リスク評価の具体的な作成について述べたい。なお、説明で用いる殺虫剤は仮想のものであり実在していない。

8-1. りんごの発生害虫における抵抗性リスク評価（概観の仮想事例）

りんご栽培における殺虫剤抵抗性リスク評価の仮想事例で、主に害虫種による抵抗性リスクの違いを概観した（表5）。この場合は化学農薬以外のIPM資材を使用しない場合を想定しているため、抵抗性リスクは比較的高く評価されている。抵抗性リスクが数値化されることで、抵抗性対策の害虫種による優先度がわかる。ただし、各害虫における防除の重要性と抵抗性対策の重要性は異なることには留意されたい。例えば、シンクイムシ類の防除の重要性は極めて高いが、抵抗性総合リスク値はハダニ類よりも低く評価されている。

この事例では、今後の抵抗性対策を次のように考える。特にハダニ防除では抵抗性総合リスク値が36と最も高いため、薬剤ローテーションや混用だけでなく、例えば天敵等を活用したIPM体系へ見直すことが勧められる。防除の重点害虫であるシンクイムシ類やアブラムシ類・カイガラムシ類に対しても、薬剤によっては重点的な抵抗性対策実施の目安となる「リスク値が12」であるため、防除基準等であらかじめ抵抗性対策を注意喚起することが必要である。

表5 りんご害虫における殺虫剤抵抗性リスク評価（同一地域の防除暦）／仮想事例

注)この事例では、栽培・地域リスクの違いは、各害虫の発生量が異なることによる。

抵抗性総合リスク値が12を超える場合は、抵抗性対策の実施が特に重要である。

作物名	薬剤名	殺虫剤リスク	害虫名	害虫リスク	地域名	抵抗性総合リスク (0.25~36)	
						栽培・地域リスク	
りんご	殺ダニ剤 ダニカンリ	高 6	ナミハダニ	3	高 2	36	
			リンゴハダニ	2		6	
	殺虫剤 ケムシトラン	高 6	シンクイムシ類	1	高 2	12	
			キンモンホソガ	1	中 1	6	
			ハマキムシ類	1	中 1	6	
			ケムシ類	1	低 0.5	3	
			アブラムシ類	2	中 1	12	
			リンゴワタムシ	1	低 0.5	3	
			カイガラムシ類	2	中 1	12	
			カメムシ類	1	中 1	6	
	殺虫剤 ムシンクイ	中 4	シンクイムシ類	1	高 2	8	
			キンモンホソガ	1	中 1	4	
			ハマキムシ類	1	中 1	4	
			ケムシ類	1	低 0.5	2	

8-2. かんきつの発生害虫における抵抗性リスク評価（概観の仮想事例）

かんきつ栽培における殺虫剤抵抗性リスク評価の仮想事例で、主に害虫種による抵抗性リスクの違いを概観した（表6）。この場合は化学農薬以外のIPM資材を使用しない場合を想定しているため、抵抗性リスクは比較的高く評価されている。防除の重要性と抵抗性対策の重要性は異なるため、この事例では、果実となる花を加害する訪花害虫類（ハナムグリ類など）の防除の重要性は高いが、抵抗性総合リスク値はチャノキイロアザミウマよりも低く評価されている。

この事例の抵抗性対策として次のことが考えられる。特にミカンセーフ剤のチャノキイロアザミウマや、ダニカンリ剤のミカンハダニの防除では、抵抗性総合リスク値が36と最も高い。そのため、薬剤ローテーション防除だけでなく、例えば天敵等のIPM技術を駆使した防除へ見直すことが勧められる。

防除の重点害虫であるゴマダラカミキリ、カイガラムシ類、カメムシ類やミカンサビダニに対しても、薬剤によっては重点的な抵抗性対策実施の目安となる「リスク値が12」であるため、防除暦などであらかじめ抵抗性対策を注意喚起することが必要である。

この事例で薬剤による抵抗性リスクの違いを考える。それぞれの害虫で、抵抗性総合リスク値がミカンセーフ剤では高い点数だが、ケムシトラン剤では低い点で評価されている。これは、ケムシトラン剤は抵抗性報告事例がそれ程多くない殺虫剤を想定しているためである。抵抗性リスク評価基準書では、抵抗性の報告事例が多い殺虫剤では（例：ミカンセーフ剤）ではリスク値が6点と最も高く、新規開発剤は抵抗性事例が無いので1点と最も低い点数となる。その中間の薬剤（例：ケムシトラン剤）は4点となる。

表6 かんきつ害虫における殺虫剤抵抗性リスク評価（同一地域の防除暦）／仮想事例

注)この事例では、栽培・地域リスクの違いは、各害虫の発生量が異なることによる。

抵抗性総合リスク値が12を超える場合は、抵抗性対策の実施が特に重要である。

作物名	薬剤名	害虫名	地域名	抵抗性総合リスク (0.25~36)	
				栽培・地域リスク	高 中 低
かん き つ 類	殺ダニ剤 ダニカンリ 6	ミカンハダニ	高 2	36	
		ミカンサビダニ	中 1	12	
		チャノホコリダニ	低 0.5	6	
	殺虫剤 ミカンセーフ 6	アザミウマ類	高 2	36	
		ミカンハモグリガ	低 0.5	6	
		ケムシ類・ヒトリガ	中 1	6	
		ゴマダラカミキリ	高 2	12	
		ハナムグリ類	中 1	6	
		アブラムシ類	低 0.5	9	
		カイガラムシ類	中 1	12	
		ロウムシ類	低 0.5	6	
		カメムシ類	高 2	12	
		アオバハゴロモ	低 0.5	3	
	殺虫剤 ケムシトラン 4	ケムシ類・ヒトリガ	中 1	4	
		ミカンハモグリガ	低 0.5	4	
		ハマキムシ類	低 0.5	6	
		アザミウマ類	高 2	24	

8-3. 野菜のナミハダニの殺虫剤抵抗性リスク評価（一種の害虫に絞った仮想事例）

表7に各種野菜を加害するナミハダニの殺虫剤抵抗性リスク評価の仮想事例を示し、主に殺ダニ剤の種類と地域による抵抗性リスクの違いを比較した。栽培・地域リスクでは、主に地区による化学農薬以外のIPM技術の採用の有無を考慮した。また、ハダニでは圃場で局的に抵抗性が発達する事例が多いので、圃場毎の薬剤感受性検定の結果も参考にした。

ハダニ類では天敵のカブリダニ類や紫外線による物理的防除が実用化されている。このような農薬に頼らない技術を殺ダニ剤防除と併用することは、基本的な防除対策だけでなく抵抗性対策としてもすすめられる。例えば、IPM技術を積極的に採用しているC地区と採用していないA地区とでは抵抗性総合リスクに4倍の差がある。また、2種の殺ダニ剤の比較では、ダニカンリ剤とハダニレス剤では抵抗性総合リスク値は同じであるが、それぞれの薬剤感受性の概要は異なっている。そのため、ダニカンリ剤では使用制限も含めた抵抗性対策が必要となる。

新規に開発されたダニシャット剤では、抵抗性リスクは現状では低いが、剤の延命のためにも抵抗性対策を考慮した使用方法をあらかじめ計画することが推奨される。

表7 野菜のナミハダニにおける殺ダニ剤抵抗性リスク評価／仮想事例

注) この事例では、栽培・地域リスクの違いは、主に化学農薬以外のIPM技術の駆使の有無を考慮した。

備考欄に、薬剤感受性検定の結果概要を記載した。

抵抗性総合リスク値が12を超える場合は、抵抗性対策の実施が特に重要である。

作物名	害虫名	薬剤名	地域名	抵抗性 総合リスク (0.25~36)	(備考) 薬剤 感受性検定	
					害虫リスク	殺虫剤リスク
各種野菜	ナミハダニ	ダニカンリ	A地区 高 2	36	感受性が低下している圃場が多い。	
			B地区 中 1	18		
			C地区 低 0.5	9		
	ナミハダニ	ハダニレス	A地区 高 2	36	一部の圃場で感受性が低下しているが、防除効果に問題はない。	
			B地区 中 1	18		
			C地区 低 0.5	9		
	新規登録の薬剤 ダニシャット	ダニシャット	A地区 高 2	6	薬剤感受性は低下していない。	
			B地区 中 1	3		
			C地区 低 0.5	1.5		

8-4. 水稻トビイロウンカの殺虫剤抵抗性リスク評価（一種の害虫に絞った仮想事例）

表8に長距離移動する飛来性害虫である水稻のトビイロウンカで、殺虫剤抵抗性リスク評価の仮想事例を示した。主に殺虫剤の種類と地域による抵抗性リスクの違いを比較した。栽培・地域リスクでは、地域によるトビイロウンカの飛来程度を主に考慮した。また、トビイロウンカでは薬剤感受性が既に低下した個体群が海外から飛来する場合が多いので、薬剤感受性検定の結果も考慮した。

ウンカショット剤は海外で既に抵抗性を発達させた個体群が飛来する地域が多いので、その使用には注意する。カメシラズ剤の薬剤感受性は日本では問題はないが、海外の一部地域での感受性低下の情報があるので注意すべきである。新規系統のライスケア一剤の効果は現状では安定しているので、抵抗性対策を踏まえながら基幹防除剤としての使用が勧められる。

表8 水稻のトビイロウンカにおける殺虫剤抵抗性リスク評価／仮想事例

注)この事例では、栽培・地域リスクの違いは、主にトビイロウンカの海外からの飛来程度を考慮した。

備考欄に、薬剤感受性検定の結果概要を記載した。

抵抗性総合リスク値が12を超える場合は、抵抗性対策の実施が特に重要である。

作物名	害虫名	薬剤名	地域名	抵抗性 総合リスク (0.25~36)	(備考) 薬剤 感受性検定
	害虫リスク	殺虫剤リスク	栽培・地域リスク		
水稻	トビイロウンカ 高3	ウンカショット 高6	A地区 高 2	36	飛来する個体群の薬剤感受性は低下し、防除効果も低下している。
			B地区 中 1	18	
			C地区 低 0.5	9	
	カメシラズ 中4	カメシラズ 中4	A地区 高 2	24	薬剤感受性低下のきさはあるが、防除効果に問題はない。
			B地区 中 1	12	
			C地区 低 0.5	6	
	新規登録の薬剤 ライスケア 低1	新規登録の薬剤 ライスケア 低1	A地区 高 2	6	飛来する個体群の薬剤感受性は低下していない。
			B地区 中 1	3	
			C地区 低 0.5	1.5	

[付録 1] 日本の農業害虫／害虫別、殺虫剤作用機構別の抵抗性報告事例

- 「薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生状況等調査結果／農林水産省消費・安全局植物防疫課／平成29年3月(白石正美、2017、植物防疫 71: 269-277; 等)」より、農林害虫防除研究会にて集計。
- フェーズⅡとⅢを抵抗性が問題となる報告として抽出し集計。
 - フェーズⅡ： ある程度の面積規模で薬剤抵抗性の発達が見られており、農家への注意喚起をする。
 - フェーズⅢ： 薬剤抵抗性の発達が各都道府県下で広域に広がり、対象薬剤の使用については何らかの指導が必要。
- 2016年度の1ヶ年の報告数。

表. 薬剤抵抗性が問題となる害虫と殺虫剤の報告件数（2016年度、フェーズⅢとⅡ）

「薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生状況等調査結果／農林水産省消費・安全局植物防疫課」より
農林害虫防除研究会にて集計

害虫名（類）	フェーズⅢ・Ⅱ 報告件数	IRAC コード	殺虫剤の系統名 (サブグループ)	フェーズⅢ・Ⅱ 報告件数
アザミウマ類	240	各種	殺ダニ剤各種 10系統	132
ハダニ類	164	4A	ネオニコチノイド系	117
コナジラミ類	47	3A	ピレスロイド系	60
ヨトウ類	36	5	スピノシン系	46
コナガ	18	13	ピロール系	44
アブラムシ類	16	6	アベルメクチン系	35
ハマキムシ類	16	1B	有機リン系	32
ヒメトビウンカ	16	UN	ピリダリル	21
イネドロオイムシ	12	2B	フェニルピラゾール系	20
トビイロウンカ	10	28	ジアミド系	19
ヨコバイ類（茶）	4	1A	カーバメート系	17
カイガラムシ類	2	15	ベンゾイル尿素系	15
カメムシ類	2	9B	ピリジンアゾメチン誘導体	8
コブノメイガ	2	16	プロフェジン	6
セジロウンカ	2	18	ジアシリヒドラジン系	6
タバコガ類	2	14	ネライストキシン類縁体	5
ハムシ類	2	22A	オキサジアジン	4
ハモグリガ類	2	11	BT系	3
イナゴ	1	各種	各種	3
サビダニ類	1	29	フロニカミド	2
チャノホソガ	1	7C	ピリプロキシフェン	2
ハモグリバエ類	1	M3	ジチオカーバメート	1
ネダニ類	1	合計		598
合計	598	報告件数：フェーズⅢ 262、フェーズⅡ 336		

[付録2] 世界の農業害虫の抵抗性報告事例

- 抵抗性農業害虫種の上位11種の2019年現在の累積報告数。
- 引用元: Sparks, T. C. et al. (2020)
- Sparks et al. (2020)のデータ調査元は、殺虫剤抵抗性データベース(APRD)／ミシガン州立大学。

害虫名 (上位11種)	抵抗性の報告数(農業害虫)	
	殺虫剤 有効成分数	事例数
ナミハダニ	96	517
コナガ	96	866
モモアカアブラムシ	80	469
タバココナジラミ	64	631
コロラドハムシ	56	300
ワタアブラムシ	50	281
オオタバコガ	48	856
リンゴハダニ	48	196
ツマジロクサヨトウ	41	143
ハスモンヨトウ	40	667
シロイチモジヨトウ	40	576

[付録3] 世界の殺虫剤作用機構別の抵抗性報告事例

- 殺虫剤抵抗性データベース(APRD)／ミシガン州立大学より農業害虫の報告のみを抽出し(www.pesticideresistance.org, 2020.7.6 参照)、農林害虫防除研究会にて集計。
 - 2000～09年と2010～19年の各10年間の報告数を抽出。
 - 殺虫剤のサブグループのターゲット分類(網掛けの配色)。
- (青)神経・筋肉、(緑)成長・発育、(赤)呼吸、(黄)中腸、(白)その他・不明

抵抗性事例が多い殺虫剤 (900件以上/2000～19年)

IRACコード	サブグループ	殺虫剤抵抗性の事例数			
		2000 -09年	2010 -19年	事例増加 +	合計
3	ビレスロイド系	1810	857	2667	
1A・B	カーボメト系・有機リン系	939	540	1479	
4A	ネオニコチノイド系	485	493	+	978

抵抗性事例がやや多い殺虫剤 (50～400件/2000～19年)

IRACコード	サブグループ	殺虫剤抵抗性の事例数			
		2000 -09年	2010 -19年	事例増加 +	合計
6	アベルメクチン系	123	275	+	398
11	BT剤	109	173	+	282
5	スピノシン系	117	142	+	259
22A	オキサジアジン	62	134	+	196
2B	フェニルピラゾール系	106	44		150
28	ジアミド系	31	116	+	147
16	プロフェジン	15	94	+	109
18	ジアシリヒドラジン系	39	62	+	101
2A	有機塩素系 ジエン	86	13		99
24	複IV ホスフィ系,シアド	57	35		92
15	ベンソイル尿素	33	54	+	87
13	ピロール	12	59	+	71
4C	スルホキシミン系	34	19		53
7C	ピリロキシフェン	35	18		53

抵抗性事例が少ない、または無い殺虫剤 (50件未満/2000～19年)

IRACコード	サブグループ	殺虫剤抵抗性の事例数			
		2000 -09年	2010 -19年	事例増加 +	合計
UNK	作用機構不明	16	13		29
9B	弦音器官 ピリジニアゾメチン	9	16	+	25
14	ネライストキシン誘導体	13	10		23
22B	セミカルバゾン	0	12	+	12
17	シロマジン	6	6		12
29	弦音器官 フロニカミド	0	7	+	7
12A	ジアafenチウロン	0	6	+	6
4D	ブテノライド系	0	4	+	4
8	マルチサイト阻害	0	3	+	3
9A	弦音器官 その他	0	0		0
4B	ニコチン	0	0		0
7A	幼若ホルモン類縁体	0	0		0

抵抗性事例がある殺ダニ剤 (2000～19年)

IRACコード	サブグループ	殺虫剤抵抗性の事例数			
		2000 -09年	2010 -19年	事例増加 +	合計
21	複I METI,茚虫威	71	12		83
23	テトロン酸・テトラミン酸	16	37	+	53
10A	ヘキシチアゾクス,他	14	7		21
12B	有機スズ系	4	9	+	13
12C	プロパルギット	3	9	+	12
25	複II βカトニトリル,カルボキサリド	0	12	+	12
19	アミトラズ	2	2		4
10B	エトキサゾール	1	2	+	3
20	複III アセキノシル,他	2	0		2
7B	フェノキシカルブ	1	0		1

引用文献

- IRAC (2020) IRAC Mode of Action Classification Scheme Ver. 9.4
: <https://www.irac-online.org/> (2020.10.31参照).
- ミシガン州立大学 The Arthropod Pesticide Resistance Database
: <https://www.pesticideresistance.org/> (2020.7.6参照).
- 日本植物防疫協会 農薬要覧および農薬概説、各発行年次.
- 農研機構(2019) 薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案(2019年3月)
: <https://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/nias/contents/files/PRMfull.pdf> (2020.10.31参照).
- 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 (2020.10.31参照).
- 白石正美(2017) 植物防疫 71(4):269～277.
- 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.
- 山本敦司(2017) 第22回農林害虫防除研究会岩手大会講演要旨:9.
- 山本敦司(2018) JATAFFジャーナル6(9):47～52.
- 山本敦司(2019) 植物防疫 73(12):766～773.
- 山本敦司・土井誠(2021) 植物防疫75(1):16～24.

以上