

殺虫剤の作用機構分類 (IRAC による)

IRAC : Insecticide Resistance Action Committee

1. 範囲

IRAC作用機構分類は、その作用点における突然変異が同一部位に作用する全化合物に対し交差抵抗性を生じるような、特定の標的部位に作用する殺虫剤や殺ダニ剤を対象としています。ある種の殺虫剤や殺ダニ剤は線虫に効果があるものもありますが、線虫専用剤はこの分類には含まれません。特定の標的部位に作用することは知られていないが、殺虫作用がある、油脂、石鹼、生物やウイルスは含まれていません。脱共役剤や非特異的(マルチサイト)阻害剤は特異的な標的部位に作用しませんが、この分類には含まれています。

2. 目的

IRAC作用機構分類は、殺虫剤(殺ダニ剤を含む)の抵抗性対策を効果的で持続可能なものにするための薬剤選択の指針を生産者、指導者、普及員や専門の防除業者などに提供します。本資料は、作用機構分類の提供に加えて、その分類の背景や目的を説明するとともに、殺虫剤抵抗性対策のための活用法に関するガイダンスを示しています。多くの国で製品ラベルへのIRACグループ表示が必須とされており、必須でないとしても推奨されています。製品ラベルへの表示ガイドラインはAppendix 1に示しており、有効成分作用機構分類一覧はAppendix 5に示しています。また新規あるいは未分類の有効成分のIRAC作用機構分類の手順についてはAppendix 4に示しています。【農薬工業会注：Appendix1, 4, 5の翻訳は省略】また、分類表は必要に応じて見直され、改訂されます。

3. 抵抗性とは

IRACでは、殺虫剤抵抗性を「農薬使用基準に準じて使用しても、期待される防除効果を発揮できない現象が繰返し観察される、害虫個体群における感受性の遺伝的変化」と定義しています。

この定義は、他の文献での定義と若干異なる部分がありますが、生産者にとって最も正確で実用的な定義であるとIRACは考えています。ある種の害虫への殺虫剤の過剰な使用や不適切な使用を通じて、抵抗性の害虫が選抜され続け、殺虫剤抵抗性の個体群が発現し、抵抗性がもたらされます。

4. 作用機構、標的部位抵抗性、交差抵抗性

多くの場合、抵抗性によって単一の化合物の効果が低下するだけでなく、化学構造が類似した化合物にも効果の低下(交差抵抗性)を示します。というのも化学構造が類似した化合物は害虫の特定の標的部位を共有しており、同じ作用機構となるからです。また、標的部位の遺伝的変異によって抵抗性が発達することはよく知られています。遺伝的変異が生じると、化合物と標的部位の親和性が損なわれ、その殺虫効果を失います。標的部位の変化による抵抗性(標的部位抵抗性)が発達すれば、共通の作用機構を持つ化合物群の全てに交差抵抗性を与えるという高いリスクがあります。化学的に類似した殺虫剤では、交差抵抗性を示すという概念がIRAC作用機構分類の基礎になります。

5. 異なる作用機構のローテーションあるいは体系使用

殺虫剤抵抗性対策を成功させるためには、殺虫剤への抵抗性の発達を抑止あるいは遅延させること、または既に抵抗性が生じている害虫個体群に対して薬剤感受性を回復させることが必要です。効果的な殺虫剤抵抗性対策は、貴重な殺虫剤の効果を維持するた

めの重要な要素となります。一般的に感受性を回復させることより、積極的に抵抗性を抑止することの方が容易であることを認識することが重要です。この作用機構分類は、常に効果的な殺虫剤抵抗性対策を実践するための有用なガイダンスです。

効果的な殺虫剤抵抗性対策は、いずれの殺虫剤においても抵抗性が発現するような使用を最小化することであると、経験的に示されています。実際、異なる作用機構の薬剤のローテーションや体系使用は、持続可能で効果的な殺虫剤抵抗性対策となります。これは、特定の作用機構を有する薬剤の偏った使用を避けることとなります。この資料のIRACの作用機構分類は、殺虫剤抵抗性対策を行う上で、殺虫剤を選択するための一助となります。

薬剤処理は、作物の生育ステージや害虫の発生消長によって決められる散布適期に薬剤の作用機構を考慮して実施します。

各国の指導者の助言は、常に散布適期や時期を十分考慮したものでなければなりません。同一薬剤を複数回散布することは、それぞれの散布適期内で可能ですが、同一の作用機構の薬剤を同種の害虫に対して連続する世代で施用すべきではありません。

分類表の中で次の3つのグループは例外で、標的部位が共通でない化合物のグループです。従ってグループ内の化合物のローテーション禁止ルールからは除外されます。それらはグループ8 [その他の非特異的(マルチサイト)阻害剤]、グループ13 [酸化的リン酸化脱共役剤]、グループUN [作用機構が不明あるいは不明確な剤] です。

6. 標的部位に関与しない抵抗性機構

昆虫やハダニの殺虫剤に対する抵抗性は、薬物代謝酵素系の増強によってもたらされることがよく知られています。そのような代謝に伴う抵抗性機構はどの特定の作用部位とも関連しないので、複数の作用機構グループに抵抗性をもたらす可能性があります。

そのような代謝による抵抗性の機構が明らかになり、交差抵抗性スペクトルが判明した場合には、作用機構グループのローテーションや体系使用を利用することはできなくなるかもしれません。同様に殺虫剤の害虫への浸透性の低下や害虫の行動的变化は、複数の作用機構グループに抵抗性を与えることとなります。

そのようなメカニズムにより作用機構グループ間の交差抵抗性が明らかになった場合には、これらの殺虫剤の使用を適切に変更すべきです。

抵抗性のメカニズムが不明であっても、異なった作用機構の薬剤のローテーションや体系使用といった工夫した薬剤の使用は常に選択圧を最小化するので、依然として実践的な抵抗性対策手法となります。

7. 作用機構分類の手法

IRACによって開発・承認された作用機構分類手法は、現在流通している殺虫剤の作用機構に関する、現時点での科学的知見に基づいています。分類方法の詳細はIRAC加盟会社によって同意を得ており、また、業界及び学術分野で国際的に認められた昆虫の毒性学者ならびに生化学者によって承認されています。

この分類表の目的は、殺虫剤を使用する際にそれが作用機構のどのグループに属するかを知り、異なる作用機構の殺虫剤の使用や、体系あるいはローテーションで効果的に使用することで、作期を通じて、抵抗性対策を持続可能に実践するためのものです。なお、抵抗性の発達を遅らせるために、生産者は化学的防除以外の方法を防除プログラムに導入することが強く求められています。より詳細な提言はAppendix2に示されています。

注：それぞれの化合物の作用機構分類表への収載は、必ずしも各国の規制当局の承認を得ているものではありません。

7.1. 作用機構分類表での化合物収載に際してのルール

- 化学名命名法は ISO で承認された一般名に準拠しました。
- 分類表に収載されるためには、その化合物が少なくとも 1 ヶ国で登録されているか、間もなく登録される予定が必要です。
- サブグループの名称は、そのグループに 2 化合物以上が収載されている場合は、化学構造式サブグループを使用しています。ただし、1 化合物しかない場合はその化合物名をサブグループ名としています。

7.2. 分類表

【農薬工業会 注】

- 有効成分名は原則 ISO 名を使用しています。農林水産省が別名称を使用している場合にはそれを記載し、ISO 名をカッコ内に併記しました。

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月)		
サブグループに関する情報は 7.4 を参照		
分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
1 アセチルコリンエステラーゼ (AChE) 阻害剤 神経作用 (本タンパク質に対する作用が 殺虫効果を示す明らかな根拠 が有る)	1 A カーバメート系	アラニカルブ アルジカルブ ベンダイオカルブ ベンフラカルブ ブトカルボキシム ブトキシカルボキシム NAC (カルバリル) カルボフラン カルボスルファン エチオフェンカルブ BPMC (フェノブカルブ) ホルメタネート フラチオカルブ MIPC (イソプロカルブ) メチオカルブ メソミル MTMC (メトルカルブ) オキサミル ピリミカーブ PHC (プロポキシル) チオジカルブ チオファノックス トリアザメート トリメタカルブ XMC MPMC (キシリルカルブ)
	1 B 有機リン系	アセフェート アザメチホス アジンホスエチル アジンホスメチル カズサホス クロレトキシホス CVP (クロルフェンビンホス) クロルメホス クロルピリホス クロルピリホスメチル クマホス CYAP (シアノホス) ジメトン-S-メチル ダイアジノン DDVP (ジクロルボス)

	ジクロトホス ジメトエート ジメチルビンホス エチルチオメトン(ジスルホトン) EPN エチオン エトプロホス ファンフル フェナミホス MEP (フェニトロチオン) MPP (フェンチオン) ホスチアゼート ヘプテノホス イミシアホス イソフェンホス イソプロピル=O-(メトキシアミノ チオホスホリル)サリチラート イソキサチオン マラソン(マラチオン) メカルバム メタミドホス DMTP (メチダチオン) メビンホス モノクロトホス BRP (ナレド) オメトエート オキシジメトンメチル パラチオン メチルパラチオン(パラチオンメチ ル) PAP (フェントエート) ホレート ホサロン PMP (ホスメット) ホスファミドン ホキシム ピリミホスメチル プロフェノホス プロペタムホス プロチオホス ピラクロホス ピリダフェンチオン キナルホス スルホテップ テブピリムホス テメホス テルブホス CVMP (テトラクロルビンホス) チオメトン トリアゾホス DEP (トリクロルホン) バミドチオン
--	--

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月)		
サブグループに関する情報は 7.4 を参照		
分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
2 GABA 作動性塩化物イオン(塩素イオン)チャンネルブロッカー 神経作用 (本タンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	2 A 環状ジエン有機塩素系	クロルデン ベンゾエピン(エンドスルファン)
	2 B フェニルピラゾール系 (フィプロール系)	エチプロール フィプロニル
3 ナトリウムチャンネルモジュレーター 神経作用 (本タンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	3 A ピレスロイド系 ピレトリン系	アクリナトリン アレスリン(アレスリン、d-シス-トランス-、d-トランス-異性体) ビフェントリン ビオアレスリン(ビオアレスリン、S-シクロペンテニル-異性体) ビオレスメトリン シクロプロトリン シフルトリン(シフルトリン、β-異性体) シハロトリン(シハロトリン、λ-、γ-異性体) シペルメトリン(シペルメトリン、α-、β-、θ-、ζ-異性体) シフェノトリン[(1 <i>R</i>)-トランス異性体] デルタメトリン エンペントリン[(<i>EZ</i>)-(1 <i>R</i>)-異性体] エスフェンバレレート エトフェンプロックス フェンプロパトリン フェンバレレート フルシトリネート フルメトリン フルバリネート(τ-フルバリネート) ハルフェンプロックス イミプロトリン カデスリン ペルメトリン フェノトリン[(1 <i>R</i>)-トランス異性体] プラレトリン ピレトリン レスメトリン シラフルオフェン テフルトリン フタルスリン(テトラメスリン)

		テトラメスリン[(1 <i>B</i>)-異性体] トラロメトリン トランスフルトリン
	3 B DDT メトキシクロル	DDT メトキシクロル

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月)		
サブグループに関する情報は 7.4 を参照		
分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
4 ニコチン性アセチルコリン受容体(nAChR)競合的モジュレーター 神経作用 (本クラスの単一あるいは複数のタンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	4 A ネオニコチノイド系	アセタミプリド クロチアニジン ジノテフラン イミダクロプリド ニテンピラム チアクロプリド チアメトキサム
	4 B ニコチン	硫酸ニコチン(ニコチン)
	4 C スルホキシミン系	スルホキサフロル
	4 D ブテノライド系	フルピラジフロル
	4 E メソイオン系	トリフルメゾピリム
5 ニコチン性アセチルコリン受容体(nAChR)アロステリックモジュレーター 神経作用 (本クラスの単一あるいは複数のタンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	スピノシン系	スピネトラム スピノサド
6 グルタミン酸作動性塩化物イオン(塩素イオン)チャネル(GluCl) アロステリックモジュレーター 神経および筋肉作用 (本クラスの単一あるいは複数のタンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	アベルメクチン系 ミルベマイシン系	アバメクチン エマメクチン安息香酸塩 レピメクチン ミルベメクチン
7 幼若ホルモン類似剤 生育調節 (生物活性に関与する標的タンパク質は不明あるいは未特定)	7 A 幼若ホルモン類縁体	ヒドロプレン キノプレン メトプレン
	7 B フェノキシカルブ	フェノキシカルブ
	7 C ピリプロキシフェン	ピリプロキシフェン

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月)		
サブグループに関する情報は 7.4 を参照		
分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
8* その他の非特異的(マルチサイト)阻害剤	8 A ハロゲン化アルキル	臭化メチル(メチルブロマイド) その他のハロゲン化アルキル類
	8 B クロルピクリン	クロルピクリン
	8 C フルオライド系	弗化アルミニウムナトリウム フッ化スルフリル
	8 D ホウ酸塩	ホウ砂 ホウ酸 オクタホウ酸ニナトリウム塩 メタホウ酸ナトリウム塩
	8 E 吐酒石	吐酒石
	8 F メチルイソチオシアネート トジェネレーター	ダゾメット カーバム
9 弦音器官 TRPV チャンネルモジュレーター 神経作用 (本クラスの単一あるいは複数のタンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	9 B ピリジン アゾメチン誘導体	ピメトロジン ピリフルキナゾン
10 ダニ類成長阻害剤 生育調節 (生物活性に関与する標的タンパク質は不明あるいは未特定)	10 A クロフェンテジン ジフロビダジン ヘキシチアゾクス	クロフェンテジン ジフロビダジン ヘキシチアゾクス
	10 B エトキサゾール	エトキサゾール
11 微生物由来昆虫中腸内膜破壊剤 (BT 毒素を発現した組換え作物を含む。ただし、抵抗性管理のガイダンスは作用機構によるローテーションに基づくものではない)	11 A <i>Bacillus thuringiensis</i> と 生産殺虫タンパク質	<i>B.t. subsp. israelensis</i> <i>B.t. subsp. aizawai</i> <i>B.t. subsp. kurstaki</i> <i>B.t. subsp. tenebrionis</i> <i>B.t.</i> 作物に含まれるタンパク質: (*脚注を参照) Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Fa, Cry1A.105, Cry2Ab, Vip3A, mCry3A, Cry3Ab, Cry34Ab1/Cry35Ab1
	11 B <i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Bacillus sphaericus</i>

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月)		
サブグループに関する情報は 7.4 を参照		
分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
1 2 ミトコンドリア ATP 合成酵素 阻害剤 エネルギー代謝 (本タンパク質の機能に影響しているが生物活性との関係は明瞭ではない)	1 2 A ジアフエンチウロン	ジアフエンチウロン
	1 2 B 有機スズ系殺ダニ剤	アズシクロチン 水酸化トリシクロヘキシルスズ(シヘキサチン) 酸化フェンブタスズ
	1 2 C プロパルギット	BPPS(プロパルギット)
	1 2 D テトラジホン	テトラジホン
1 3* プロトン勾配を攪乱する酸化 的リン酸化脱共役剤 エネルギー代謝	ピロール ジニトロフェノール スルフルラミド	クロルフェナピル DNOC スルフルラミド
1 4 ニコチン性アセチルコリン受 容体(nAChR)チャネルブロッ カー 神経作用 (本タンパク質の機能に影響しているが生物活性との関係は明瞭ではない)	ネライストキシン類縁体	ベンスルタップ カルタップ チオシクラム チオスルタップナトリウム塩
1 5 キチン生合成阻害剤、タイプ 0 生育調節 (生物活性に関与する標的タン パク質は不明あるいは未特定)	ベンゾイル尿素系	ビストリフルロン クロルフルアズロン ジフルベンズロン フルシクロクスロン フルフェノクスロン ヘキサフルムロン ルフェヌロン ノバルロン ノビフルムロン テフルベンズロン トリフルムロン
1 6 キチン生合成阻害剤、タイプ 1 生育調節 (生物活性に関与する標的タン パク質は不明あるいは未特定)	ブプロフェジン	ブプロフェジン

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月) サブグループに関する情報は 7.4 を参照 分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと1次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
17 脱皮阻害剤 ハエ目昆虫 生育調節 (生物活性に関与する標的タンパク質は不明あるいは未特定)	シロマジン	シロマジン
18 脱皮ホルモン(エクダイソン)受容体アゴニスト 生育調節 (本タンパク質に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る)	ジアシル-ヒドラジン系	クロマフェノジド ハロフェノジド メトキシフェノジド テブフェノジド
19 オクトパミン受容体アゴニスト 神経作用 (本クラスの単一あるいは複数のタンパク質に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	アミトラズ	アミトラズ
20 ミトコンドリア電子伝達系複合体III阻害剤 エネルギー代謝 (本タンパク質複合体に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	20A ヒドrameチルノン	ヒドrameチルノン
	20B アセキノシル	アセキノシル
	20C フルアクリピリム	フルアクリピリム
	20D ビフェナゼート	ビフェナゼート
21 ミトコンドリア電子伝達系複合体I阻害剤(METI) エネルギー代謝 (本タンパク質複合体に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	21A METI 剤	フェナザキン フェンピロキシメート ピリダベン ピリミジフェン テブフェンピラド トルフェンピラド
	21B ロテノン	デリス(ロテノン)

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月)		
サブグループに関する情報は 7.4 を参照		
分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
2 2 電位依存性ナトリウムチャネルブロッカー 神経作用 (本タンパク質複合体に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	2 2 A オキサジアジン	インドキサカルブ
	2 2 B セミカルバゾン	メタフルミゾン
2 3 アセチル CoA カルボキシラーゼ阻害剤 脂質合成、生育調節 (本タンパク質に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	テトロン酸およびテトラミン酸誘導体	スピロジクロフェン スピロメシフェン スピロテトラマト
2 4 ミトコンドリア電子伝達系複合体IV阻害剤 エネルギー代謝 (本タンパク質複合体に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	2 4 A ホスフィン系	リン化アルミニウム リン化カルシウム リン化水素 リン化亜鉛
	2 4 B シアニド	青酸 (シアン化カルシウム・シアン化ナトリウム) シアン化カリウム
2 5 ミトコンドリア電子伝達系複合体II阻害剤 エネルギー代謝 (本タンパク質複合体に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る)	2 5 A β -ケトニトリル誘導体	シエノピラフェン シフルメトフェン
	2 5 B カルボキサニリド系	ピフルブミド
2 8 リアノジン受容体モジュレーター 神経および筋肉作用 (本タンパク質複合体に対する作用が殺虫効果を示す明確な根拠が有る)	ジアミド系	クロラントラニリプロール シアントラニリプロール フルベンジアミド

IRAC の作用機構分類 (v8.3、2017年7月) サブグループに関する情報は 7.4 を参照 分類表における作用機構情報の表現は 7.3 を参照		
主要グループと 1 次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
29 弦音器官モジュレーター 標的 部位未特定 神経作用 (弦音器官機能のモジュレーションは明瞭に示されている。ただし、生物活性に關与する特異的標的タンパク質はグループ9のものとは異なっており、未特定のみである)	フロニカミド	フロニカミド
UN* 作用機構が不明あるいは不明確な剤 (生物活性に係る標的タンパク質が不明あるいは未特定)	アザジラクチン	アザジラクチン
	ベンゾキシメート	ベンゾメート(ベンゾキシメート)
	プロモプロピレート	フェニソプロモレート(プロモプロピレート)
	キノメチオナート	キノキサリン系(キノメチオナート)
	ジコホル	ケルセン(ジコホル)
	GS-オメガ/カッパ HXTX-Hv1a ペプチド	GS-オメガ/カッパ HXTX-Hv1a ペプチド
	石灰硫黄合剤	石灰硫黄合剤
	ピリダリル	ピリダリル
硫黄	硫黄	

標的生理機能： 神経および筋肉  生育および発達  呼吸
 中腸  未特定または非特異的

表の注:

- ここで使用している配色は生理学的機能に基づいて大まかに作用機構を区別したもので、殺虫剤の症状、作用速度や殺虫剤の他の特性を理解するための参考情報であり、いかなる抵抗性対策のためでもありません。**抵抗性対策のためのローテーションは番号付けされた作用機構グループだけに基づくべきです。**
- 上記の分類表への化合物の収載は必ずしも規制当局の承認を得ているものではない。
- 作用機構の分類は、通常、生物活性に關与する標的タンパク質の同定により行われるが、特有の生理活性や關連する化学構造を共有する化合物をグループ化している場合もある。
- 今回、グループ 26 および 27 は該当する化合物がなかったため欠番としている。
- 作用機構が不明または検討中、あるいは、毒性発現機構が不明な化合物は、適切な作用機構に分類できる根拠が得られるまで“UN”の欄に掲載している。
- *の付いたグループ (8、13、及び UN) の有効成分は共通の標的部位を有していないと考えられる。従って、交差抵抗性が予想される根拠がない限りお互いに自由にローテーションできる。
- 殺虫活性のある油脂や石鹼、および昆虫病原性のウイルス、細菌、糸状菌、線虫などは、寄生性天敵や捕食性天敵と同様にこの分類からは除外した。

7.3. 分類表における作用機構情報の表現

{本タンパク質(またはタンパク質複合体)に対する作用が殺虫効果を示す明らかな根拠が有る}	標的タンパク質の機能に対する強い作用を示し、この標的タンパク質の突然変異、過剰発現、欠如に起因して抵抗性を発現するか、あるいは一連の類縁物質についてタンパク質に対する作用と生物活性の相関性がみられる。
{本タンパク質(またはタンパク質複合体)に対する作用が殺虫効果を示す根拠が有る}	明瞭で一貫した生理活性を示すことで、そのタンパク質の機能に対して非常に強い作用がみられる。
{本タンパク質の機能に影響しているが生物活性との関係は明瞭ではない}	化合物またはその代謝物がタンパク質の機能に対して中程度あるいは弱い作用しか示さず、その作用が生物活性に結びつく証拠がほとんど無いかまったく無い。化合物は、構造の類似性や特異的な生理活性によってグループ化されている。
{生物活性に関与する標的タンパク質は不明あるいは未特定}	化合物は、構造の類似性や特異的な生理活性によってグループ化されている。

7.4. 分類表のサブグループ

サブグループは、同じ一次作用部位の化合物のなかで、化学構造あるいは作用部位のタンパク質との相互作用が大きく異なる化合物グループを分けたものです。化学構造が大きく異なれば、類似構造の化合物に比べ代謝分解による交差抵抗性発達の機会は少なくなり、作用部位との相互作用が異なれば作用部位の変化による交差抵抗性発達の機会は少なくなります。なお、化学構造がごく近縁の化合物でも作用部位との結合様式が異なるか、複数の作用部位の中で標的とするものが異なることが知られている場合には、別のサブグループとすることもあります。

主要グループが異なる場合に比べ、サブグループだけが異なる化合物間での交差抵抗性の可能性は高いので、サブグループ間のローテーション使用は原則避けなければなりません。

但し、別の主要グループに有効な殺虫剤が無い場合など、やむを得ない場合には、交差抵抗性が認められていない殺虫剤を各国の指導者に相談した上でローテーション使用ができます。なお、これは例外的手段であり持続的な抵抗性の管理にはならないので、害虫の抵抗性発達を抑えるために別の防除手段の検討が必要です。

以下は特殊なサブグループについての補足情報です。

サブグループ	注 意 事 項
3A & 3B	DDTは農業分野で使用されていないので、このサブグループ分類は蚊のようなヒトの病気を媒介する昆虫の防除についてのみに適用される。
4A, 4B, 4C, 4D & 4E	これらの化合物は同一の標的部位に作用すると考えられるが、最近の知見では代謝分解に基づくサブグループ間での交差抵抗性のリスクは低いと思われる。
10A	クロフェンテジンとヘキシチアゾクスは化学構造が異なり、また、標的部位が確認されていないが、両化合物は交差抵抗性を示すことから同じグループとした。また、ジフロビダジンはクロフェンテジ

	ンに近い類縁物質であり同一の作用機構を示すと考えられるため同じグループとした。
11A	異なった目に属する害虫を対象とするBT製品は互いの抵抗性対策に影響することなく同時に使用しても構わない。ある種の害虫に対してはBT剤のローテーションが抵抗性対策に有効な場合がある。 製品情報を参照すること。 <u>組換え作物の<i>B.t.</i>タンパク質</u> ：複数の異なる <i>B.t.</i> タンパク質を含有する組換え作物は対象害虫の中腸に複数の異なる受容体がある場合には抵抗性対策に有益である。
22A & 22B	これらの化合物は同一の標的部位に作用すると考えられるが、最近の知見では代謝分解に基づくサブグループ間での交差抵抗性のリスクは低いと示唆されている。
25A & 25B	これらの化合物は同一の標的部位に作用すると考えられるが、最近の知見では代謝分解に基づくサブグループ間での交差抵抗性のリスクは低いと示唆されている。

7.5. 一般的な注意事項と作用機構分類の最新情報

- 詳細な作用機構グループを **Appendix 3** に記載します。
- 作用機構分類を併記したアルファベット順の有効成分リストを **Appendix 5** に記載します。
- 分類は **IRAC** で利用可能な最新情報に基づき行われています。この分類は現在上市されている殺虫剤の作用機構について農薬業界が合意したもので、使用者、生産者団体、普及所、米国環境保護庁のような規制当局、そして抵抗性対策に係るすべての関係者に提供されます。
- **IRAC** 作用機構分類は必要に応じて定期的に見直され、改訂されます。最新版は **IRAC** のホームページ(www.irc-online.org)で参照できます。
- 新規有効成分の既存あるいは新規の作用機構グループへの掲載申請は、分類のための引用文献または根拠とともにホームページから **IRAC** に提出します。
- 全ての改訂は最終版が公表される前に **IRAC** メンバー会社によって確認されます。さらに表への追加、削除、変更に関しては、多くの国際的に著名な昆虫毒性学者や生化学者の監修を受けます。作用機構分類に新規殺虫成分を割当てるときの詳細な手順を **Appendix 4** に記載します。
- 分類の変更は重大な結果をもたらす場合があります。殺虫剤抵抗性対策の目的で **IRAC** の作用機構分類番号や分類名を殺虫剤ラベル(**Appendix 1** 参照)に記載している国々においては、変更の実施に費用が発生します。一般的に、分類の変更は科学的に妥当な根拠がある場合に認められます。
- 現在、登録がなく使用されていない化合物は、表には掲載していません。
- 分類表を継続的に改善するため、記載内容の誤り等について、できるだけその根拠とともに **IRAC** へお知らせください。ホームページから直接 **IRAC** までご提出ください。その他、改善のための提案も歓迎します。

Appendix 1

製品ラベル：殺虫剤抵抗性対策の助言を付した有効成分の作用機構表示

【省略】

Appendix 2

IRAC が推奨する殺虫剤抵抗対策の基本

- 総合的病害虫・雑草管理(IPM)や殺虫剤抵抗性対策プログラムに関する最新の指導内容や助言について地域の病害虫防除所や普及指導センターに相談する。
- 作物の早生品種や耐虫性品種を利用して殺虫剤使用の低減を考慮する。
- 効果的な殺虫剤抵抗性対策プログラムと組み合わせることができる有効な耕種的防除や生物的防除を取り入れる。Bt 殺虫剤散布、抵抗性品種、無防除区の設定や輪作など、化学的防除以外の害虫密度の制御や抑制に有効なあらゆる手段を講じる。
- できる限り有益昆虫に影響のない殺虫剤やその他の害虫防除手段を選択する。
- 製品ラベルに記載された最大量を使用する。致死に至らないような低用量は中程度の抵抗性を持つ個体群を速やかに選抜することになる。一方、記載された以上の高用量での使用は過剰な淘汰圧を強いることになる。
- 殺虫剤の散布には適切で十分に保守管理された器具を使用すること。対象範囲への最適な散布を得るために推奨された液量、散布圧、最適気温で使用する。
- 幼虫の防除にあたっては可能な限り若齢幼虫を対象とする。すなわち若齢幼虫は通常感受性が高いため、老齢幼虫に比べ殺虫剤による防除がより効果的となる。
- 各国における適切な要防除水準や散布回数・間隔を採用する。
- 殺虫剤抵抗性対策のために異なった作用機構を持つ殺虫剤をローテーションや体系で使用する際は、製品ラベルの記載*1や国の指導者の助言に従う。
- 1年または生育期間中に複数の散布がある場合には、異なった作用機構の薬剤でローテーションする。
- 防除に失敗したとしても、同じ殺虫剤を散布せず、異なった作用機構の殺虫剤や地域で交差抵抗性が認められていない殺虫剤に変更する。
- 混用は、短期的には抵抗性対策の手段の一つである。ただし、それぞれの成分が異なった作用機構の殺虫剤であることとそれぞれの成分の最大量を使用することが必須である。
- 商業的に最も重要な状況では、殺虫剤抵抗性をモニターしたり防除効果を確認することを考慮する必要がある。
- 防除効果が得られる代替の化合物群がある場合は、抵抗性が発達した薬剤の使用を感受性が回復するまで差し控えることは有効な手段である。

【農薬工業会 注】

*1 日本では製品ラベル記載のガイドラインを 2017/9/5 に制定しました。

Appendix 3

各作用機構グループの解説

神経および筋肉を標的とするグループ

現在多くの殺虫剤は神経や筋肉を標的として作用する。一般的にこれらを標的とする殺虫剤は速効的である。

グループ1 アセチルコリンエステラーゼ (AChE) 阻害剤

AChE を阻害し、過剰興奮を引き起こす。AChE は神経シナプスで興奮性神経伝達物質アセチルコリンの作用を停止させる酵素である。

グループ2 GABA 作動性塩化物イオン (塩素イオン) チャネルブロッカー

GABA で活性化される塩素イオンチャネルを阻害し、過剰興奮と痙攣を引き起こす。GABA は昆虫の主要な抑制性神経伝達物質である。

グループ3 ナトリウムチャネルモジュレーター

ナトリウムチャネルを開放し続け、過剰興奮を引き起こし、場合によっては神経伝達を阻害する。ナトリウムチャネルは神経軸索の活動電位の伝達に関与する。

グループ4 ニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) 競合的モジュレーター

ニコチン性アセチルコリン受容体のアセチルコリンサイトに結合し、過剰興奮から活動低下や麻痺のような一連の症状を引き起こす。アセチルコリンは昆虫中枢神経系の主要な興奮性神経伝達物質である。

グループ5 ニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) アロステリックモジュレーター

nAChR とアロステリック部位で結合して nAChR を活性化させ、過剰興奮を引き起こす。アセチルコリンは昆虫中枢神経系の主要な興奮性神経伝達物質である。

グループ6 グルタミン酸作動性塩化物イオン (塩素イオン) チャネル (GluCl) アロステリックモジュレーター

グルタミン酸依存性塩素イオンチャネル (GluCls) とアロステリック部位で結合して GluCls を活性化し、麻痺を引き起こす。グルタミン酸は昆虫の重要な抑制性神経伝達物質である。

グループ9 弦音器官 TRPV チャネルモジュレーター

聴覚、重力、平衡感覚、加速感、固有受容感覚と運動感覚に重要である弦音ストレッチ受容器官の中の Nan-Iav TRPV (一過性受容体電位パニロイド) チャネル複合体に結合し、その開閉を攪乱する。その結果として、標的昆虫の摂食行動やその他の行動が攪乱される。

グループ14 ニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) チャネルブロッカー

nAChR イオンチャネルを阻害し、神経系の遮断と麻痺を引き起こす。アセチルコリンは昆虫中枢神経系の主要な興奮性神経伝達物質である。

グループ19 オクトパミン受容体アゴニスト

オクトパミン受容体を活性化し、過剰興奮を誘導する。オクトパミンは昆虫でのアドレナリン相当物で、闘争・逃走(fight-or-flight)反応に係る神経ホルモンである。

グループ 22 電位依存性ナトリウムチャネルブロッカー

ナトリウムチャネルを阻害し、神経系の遮断と麻痺を引き起こす。ナトリウムチャネルは神経軸索に沿った活動電位の伝達に関与する。

グループ 28 リアノジン受容体モジュレーター

筋肉のリアノジン受容体を活性化し、収縮と麻痺を誘導する。リアノジン受容体は小胞体から細胞質へのカルシウムの放出を担う。

グループ 29 弦音器官モジュレーター 標的部位未特定

聴覚、重力、平衡感覚、加速感、固有受容感覚と運動感覚に重要である弦音ストレッチ受容器官の機能が攪乱される。その結果として、標的昆虫の摂食行動やその他の行動が攪乱される。グループ 9 とは異なり、グループ 29 殺虫剤は、Nan-Iav TRPV チャネル複合体には結合しない。

生育および発達を標的とするグループ

昆虫の発育は2種の主要なホルモン、すなわち幼若ホルモンとエクダイソンのバランスで制御されている。昆虫成長阻害剤はこれらのホルモンを模倣したり、直接クチクラ形成・蓄積や脂質生合成を攪乱する。この成長と発育を標的として作用する殺虫剤は一般的に遅効性である。

グループ 7 幼若ホルモン類似剤

これらの化合物を変態前の幼虫に処理することで変態を攪乱して阻止する。

グループ 10 ダニ類成長阻害剤

成長阻害を引き起すが、その作用機構は十分には解明されていない。

グループ 15 キチン生合成阻害剤 (タイプ 0)

キチン生合成阻害を引き起すが、その作用機構は十分には解明されていない。

グループ 16 キチン生合成阻害剤 (タイプ 1)

コナジラミ類を含むある種の昆虫のキチン生合成阻害を引き起すが、その作用機構は十分には解明されていない。

グループ 17 脱皮阻害剤、ハエ目昆虫

脱皮阻害を引き起すが、その作用機構は十分には解明されていない。

グループ 18 脱皮ホルモン (エクダイソン) 受容体アゴニスト

脱皮ホルモンであるエクダイソンの類縁体で、早熟脱皮を引き起す。

グループ 23 アセチル CoA カルボキシラーゼ阻害剤

脂質生合成の第1段階に作用するアセチル CoA カルボキシラーゼを阻害し、殺虫効果を発現する。

呼吸を標的とするグループ

ミトコンドリアで行われている呼吸は、生体維持に必要なエネルギー源である ATP を生産する。ミトコンドリアにおいて、電子伝達系がプロトン勾配を用いた酸化プロセスによって作り出されるエネルギーを用いて ATP を合成する。ある種の殺虫剤はその

電子伝達系や酸化的リン酸化を阻害することが知られている。この呼吸システムに含まれる各種標的部位に作用する殺虫剤は、一般的に比較的速やかに効果を発現する。

グループ 1 2 ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤

ATP を合成する酵素を阻害する。

グループ 1 3 プロトン勾配を攪乱する酸化的リン酸化脱共役剤

プロトノホアは、ミトコンドリアのプロトン勾配を攪乱させることで ATP 合成を阻害する。

グループ 2 0 ミトコンドリア電子伝達系複合体Ⅲ阻害剤

電子伝達系複合体Ⅲを阻害することで、細胞のエネルギー利用を妨害する。

グループ 2 1 ミトコンドリア電子伝達系複合体 I 阻害剤

電子伝達系複合体 I を阻害することで、細胞のエネルギー利用を妨害する。

グループ 2 4 ミトコンドリア電子伝達系複合体Ⅳ阻害剤

電子伝達系複合体Ⅳを阻害することで、細胞のエネルギー利用を妨害する。

グループ 2 5 ミトコンドリア電子伝達系複合体Ⅱ阻害剤

電子伝達系複合体Ⅱを阻害することで、細胞のエネルギー利用を妨害する。

中腸を標的とするグループ

チョウ目に特異的な微生物由来毒素。農薬としての散布処理に加え、遺伝子組換え作物として発現させ利用する場合がある。

グループ 1 1 微生物由来昆虫中腸内膜破壊剤

中腸の受容体に結合したタンパク質毒素は、中腸の膜に穴を開けることでイオンの不均衡と敗血症を引き起す。

未特定または非特異的標的グループ

いくつかの殺虫剤は標的部位または作用特性が不明であるか、多くの標的に非特異的に作用する。

グループ 8 その他の非特異的(マルチサイト)阻害剤

グループ UN 作用機構が不明あるいは不明確な剤

Appendix 4

新規殺虫成分の作用機構分類の手順

【省略】

Appendix 5

有効成分の作用機構分類一覧（アルファベット順）

【省略】

【農薬工業会 注】

- 一般社団法人日本植物防疫協会が刊行している「農薬作用機構分類一覧」（アイウエオ順）を参照

Appendix 6

登録認可前の有効成分

主要グループ	サブグループ	有効成分
9 弦音器官 TRPV チャネルモジ ュレーター 神経作用 (本クラスの単一あるいは複数 のタンパク質に対する作用が 殺虫効果を示す明らかな根拠 が有る)	9D ピロペン系	アフィドピロペン
30 GABA 作動性塩化物イオン(塩 素イオン)(Cl ⁻)チャンネルアロ ステリックモジューレーター 神経作用 (本クラスの単一あるいは複数 のタンパク質に対する作用が 殺虫効果を示す明らかな根拠 が有る)	メタジアミド系	ブロフラニリド

以上