

IRAC による農業用殺虫剤の国際的分類



日本農業株式会社 市場開発本部 開発部 国内開発グループ

木村 雅行

Masayuki Kimura

1. はじめに

農業における害虫防除手段として化学農薬による防除、生物的防除、物理的防除、耕種的防除などが挙げられる。その中で、化学農薬による防除は省力性、防除効果の安定性、費用対効果などに優れ、今後も農業生産における主要な防除手段であると考えられる。ただし、化学農薬は薬剤抵抗性の発達というリスクがあり、そのリスクを減らすような使用方法が望まれる。この薬剤抵抗性問題に対して、各国の農薬工業会の国際的な組織である Crop Life International の傘下にある IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) は、殺虫・殺ダニ剤に対する抵抗性発達を可能な限り回避し、遅らせることを目的とした種々の活動を行っている。その一つが IRAC コードによる殺虫・殺ダニ剤の分類であり、以下に紹介する。なお、IRAC コードと同様に、FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) が殺菌剤について分類した FRAC コード、HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) が除草剤について分類した HRAC コードがあり、これらをまとめて RAC コードと称する。

2. IRAC コードによる薬剤抵抗性管理

薬剤抵抗性管理の基本は、同じ作用機構の薬剤の連用を避け、異なる作用機構の薬剤によるローテーションを行うことである。しかし、商品名からは薬剤の作用機構がわからないため、複数の薬剤を組み合わせ使用していても、知らないうちに同じ作用機構の薬剤を連用していることが起こり得る。IRAC は世界の主要な殺虫・殺ダニ剤をその作用機構に基づいて、1 から 32 のグループに分類した

IRAC コード表を作成している (表 1)。IRAC コードの異なる剤のローテーションを行うことで同一の作用機構の殺虫剤の連用を避けることができ、薬剤抵抗性の管理が可能となる。いくつかのグループでは、サブグループが設けられている。サブグループとは同じグループ (同じ一次作用部位の薬剤群) のなかで、さらに、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薬剤を分類したものである。サブグループとするためには、交差抵抗性を示さないというバイオアッセイのデータに基づく証拠が必要である。このサブグループ間のローテーション使用については原則避けるべきであるが、別グループの殺虫剤が使用できないなどやむを得ない場合において、交差抵抗性が認められていなければ、指導機関と相談の上で使用可能であると IRAC はしている。

IRAC コードは適宜更新されており、最新のものは IRAC のホームページで確認できる¹⁾。また、殺虫剤の作用機構を理解するための学習用の資料 (MoA tutorial) も掲載されている²⁾。わかりやすい図を使って説明されており、日本語版もあるので一読をお奨めしたい。さらに、「植物防疫」(日本植物防疫協会) の植物防疫講座 農薬編において、IRAC コード別に殺虫・殺ダニ剤の詳細な紹介が行われており、理解を深めることができる^{3), 4)}。

3. IRAC コードの現場への普及

IRAC コードが現場の植防関係者、生産者などに認知され、利用されることが重要であるが、近年、植物防疫関係者の間に広く認識されるようになった。各都府県の農作物病虫害防除基準 (表 2) や各地域の野菜・果樹の防除暦などにも IRAC コード

表1. IRAC 殺虫剤作用機構分類（一部加筆）

主要グループと1次作用部位	IRACコード	サブグループ名または代表的な有効成分	有効成分、()内は代表的な農薬名 剤型省略
1. アセチルコリンエステラーゼ阻害剤	1A	カーバメイト系	ベンフラカルブ（オンコル）、アラニカルブ（オリオン）、カルボスルファン（アドバンテージ）、メソミル（ランネット）、カルバリル（デナボン）、オキサミル（バイデール）、チオジカルブ（ラベリン）、BPMC（バッサ）
	1B	有機リン系	アセフェート（オルトラン）、カズサホス（ラグビー）、クロルピリホス（ダズバン）、シアノホス（サイアノックス）、ダイアジノン（ダイアジノン）、ジメトエート（ジメトエート）、フェントロチオン（スミチオン）、マラチオン（マラソン）、フェンチオン（バイジット）、ホスチアゼート（ネマトリン）、メチダチオン（スプラサイド）、フェントエート（エルサン）、イソキサチオン（カルホス）、エチルチオメトン（ダイシストン）、プロチオホス（トクチオン）、プロフェノホス（エンセダン）、ジクロロボス（DDVP）、DEP（ディプレックス）、EPN（EPN）
2. GABA 作動性塩化物イオンチャネルブロッカー	2A	環状ジエン有機塩素系	クロルデン、ベンゾエピン
	2B	フェニルピラゾール系	エチプロロール（キラップ）、フィプロニル（プリンス）
3. ナトリウムチャンネルモジュレーター	3A	ピレスロイド系	ベルメトリン（アディオン）、シベルメトリン（アグロスリン）、シハロトリン（サイハロン）、シフルトリン（バイスロイド）、トラロメトリン（スカウト）、フェンプロパトリン（ロディー）、ピフェントリン（テルスター）、フェンバレレート（スミサイジン）、フルシトリネート（ペイオフ）、フルバリネート（マブリック）、アクリナトリン（アーデント）、シクロプロトリン（シクロサール）、テフルトリン（フォース）、エトフェンプロックス（トレボン）、シラフルオフエン（MR.ジョーカー）
	3B	DDT	DDT
4. ニコチン性アセチルコリン受容体競合的モジュレーター	4A	ネオニコチノイド系	イミダクロプリド（アドマイヤー）、アセタミプリド（モスピラン）、ニテンピラム（ベストガード）、チアクロプリド（バリアード）、チアメトキサム（アクタラ）、クロチアニジン（ダントツ）、ジノテフラン（スタークル、アルバリン）
	4B	ニコチン	硫酸ニコチン
	4C	スルホキシイミン系	スルホキサフロル（トランスフォーム、エクシード、ピレスコ）
	4D	ブテナイド系	フルピラジフロル（シバント）
	4E	メソイオン系	トリフルメノピリム（ゼクサロン）
5. ニコチン性アセチルコリン受容体アロステリックモジュレーター・部位I	5	スピノシン系	スピネトラム（ディアナ）、スピノサド（スピノエース）
6. グルタミン酸作動性塩化物イオンチャネルアロステリックモジュレーター	6	アベルメクチン系、ミルベマイシン系	アバメクチン（アグリメック）、エマメクチン安息香酸塩（アフアーム）
7. 幼若ホルモン類似剤	7A	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
	7B	フェノキシカルブ	フェノキシカルブ
	7C	ピリプロキシフェン	ピリプロキシフェン（ブルート、ラノー）
8. その他の非特異的阻害剤	8A	ハロゲン化アルキル	臭化メチル
	8B	クロロピクリン	クロロピクリン
	8C	フルオライド系	フッ化アルミニウムナトリウム
	8D	ホウ酸塩	ホウ砂、ホウ酸
	8E	吐酒石	吐酒石
	8F	メチルイソチオシアネートジェネレーター	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	9B	ピリジンアゾメチン誘導体	ピリフルキナゾン（コルト）、ピメロジン（チェス）
	9D	ピロベン系	アフィドピロベン
10. CHS1 に作用するダニ類成長阻害剤	10A	クロフェンテジン、ヘキシチアゾクス、ジフロビダジン	クロフェンテジン（カーラ）、ヘキシチアゾクス（ニッソラン）、ジフロビダジン
	10B	エトキサゾール	エトキサゾール（バロック）
11. 微生物由来昆虫中腸内膜破壊剤	11A	<i>Bacillus thuringiensis</i> と生産殺虫タンパク質	（エスマルク）、（ゼンタリー）、（チューリサイド）、（トアロー CT）、（バシレックス）、（フローバック）
	11B	<i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Bacillus sphaericus</i>
12. ミトコンドリアATP合成酵素阻害剤	12A	ジアフェンチウロン	ジアフェンチウロン（ガンバ）
	12B	有機スズ系殺ダニ剤	酸化フェンブタズ（オサダン）、アゾシクロチン、水酸化トリシクロヘキシルスズ
	12C	プロパルギット	プロパルギット（オマイト）
	12D	テトラジホン	テトラジホン（テデオ）

13. プロトン勾配を攪乱する酸化的リン酸化脱共役剤	13	ピロール	クロルフェナビル (コテツ)、DNOC、スルフラミド
14. ニコチン性アセチルコリン受容体チャンネルブロッカー	14	ネライストキシン類縁体	カルタップ (バダン)、ベンスルタップ (ルーバン)、チオシクラム (エビセクト)、チオスルタップナトリウム塩
15. CHS1 に作用するキチン生合成阻害剤	15	ベンゾイル尿素系	クロフルアズロン (アタブロン)、ジフルベンズロン (デミリン)、フルフェノクスロン (カスケード)、ルフェヌロン (マッチ)、ノバルロン (カウンター)、テフルベンズロン (ノーモルト)
16. キチン生合成阻害剤 タイプ1	16	ブプロフェジン	ブプロフェジン (アブロード)
17. 脱皮阻害剤 ハエ目昆虫	17	シロマジン	シロマジン (トリガード)
18. 脱皮ホルモン (エクダイソン) 受容体アゴニスト	18	ジアシル-ヒドラジン系	クロマフェノジド、メトキシフェノジド、テプフェノジド
19. オクトバミン受容体アゴニスト	19	アミトラズ	アミトラズ (ダニカット)
20. ミトコンドリア電子伝達系複合体III阻害剤	20A	ヒドラメチルノン	ヒドラメチルノン
	20B	アセキノシル	アセキノシル (カネマイト)
	20C	フルアクリピリム	フルアクリピリム (タイタロン)
	20D	ビフェナゼート	ビフェナゼート (マイトコーネ)
21. ミトコンドリア電子伝達系複合体I阻害剤 (METI)	21A	METI剤	フェンピロキシメート (ダントロン)、ピリミジフェン (マイトクリーン)、ピリダベン (サンマイト)、テプフェンピラド (ピラニカ)、トルフェンピラド (ハチハチ)
	21B	ロテノン	ロテノン
22. 電位依存性ナトリウムチャンネルブロッカー	22A	オキサジアジン	インドキサカルブ (トルネード)
	22B	セミカルバベン	メタフルミジン (アクセル)
23. アセチル CoA カルボキシラーゼ阻害剤	23	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 (ダニエモン)、スピロメシフェン (ダニゲッター)、スピロテトラマト (モベント)
24. ミトコンドリア電子伝達系複合体IV阻害剤	24A	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
	24B	ジアニド	青酸、シアン化カリウム
25. ミトコンドリア電子伝達系複合体II阻害剤	25A	β -ケトニトリル誘導体	シエノピラフェン (スターマイト)、シフルメトフェン (ダニサラバ)
	25B	カルボキサニリド系	ビフルブミド (ダニコング)
28. リアノジン受容体モジュレーター	28	ジアミド系	フルベンジアミド (フェニックス)、クロラントラニプロール (ブレバソ)、シアントラニプロール (ベネビア、エクシレル)、シクラニプロール (テッパン)、テトラニプロール
29. 弦音器官モジュレーター 標的部位未特定	29	フロニカミド	フロニカミド (ウララ)
30. GABA 作動性塩化物イオンチャンネルアロステリックモジュレーター	30	イソオキサゾリン系、メタジアミド系	フルキサメタミド (グレーシア)、プロフラニリド
31. バキュロウイルス	31	顆粒病ウイルス、核多核体病ウイルス	
32. ニコチン性アセチルコリン受容体アロステリック・部位II	32		
UN. 作用機構が不明あるいは不明確な剤	UN		ピリダリル (プレオ)、キノメチオナート (モレスタン)、硫黄 (イオウ)、石灰硫黄合剤、ジコホル (ケルセン)

表2 2019 年度長野県農作物病害虫・雑草防除基準 りんごの殺虫剤 (一部抜粋)

IRAC コード	薬剤名	使用方法	使用時期
3	アーデント水和剤	散布	収穫 7 日前まで
4	アクタラ顆粒水溶剤	散布	収穫 7 日前まで
3	アグロスリン水和剤	散布	収穫前日まで
15	アタブロン SC	散布	収穫 7 日前まで
3	アディオフロアブル	散布	収穫 14 日前まで
	アディオ水和剤	散布	収穫 14 日前まで
4	アドマイヤー水和剤	散布	収穫 3 日前まで
16	アブロードフロアブル	散布	収穫 30 日前まで

の記載が進んでいる^{5), 6)}。また、すでに一部の農薬の製品ラベルでは IRAC コードが記載されている(図 1)。今後、農薬メーカーは製品ラベルへの IRAC コードの記載を増やすと考えられ、製品そのもので確認できるようになるであろう。

一方、農薬の商品名からその農薬の有効成分の IRAC コードを調べることができる「商品名別 RAC コード検索表」が農薬工業会のホームページで閲覧・ダウンロード可能である⁷⁾。農業生産者、農薬販売関係者にとっては、農薬の成分名よりも商品名のほうが身近であり、IRAC コードを逆引きできる点で利用価値は高い。本表には混合剤も掲載されており、その成分名と IRAC コードを知ることができる(表 3)。

また、農薬工業会作成のパンフレット「RAC コードをご存知ですか」では、薬剤抵抗性が発達する仕組みや正しいローテーション防除、RAC コードを利用した抵抗性回避について、図やイラストを用いてわかりやすく紹介されており、希望者には無償で配布も行われている⁸⁾。

以上のように、IRAC コードは植物防疫関係者や生産者の身近なものになりつつある。近い将来、薬剤の選択・使用の際には IRAC コードを確認することが当然のこととなるであろう。

4. おわりに

多大な経費・時間・労力をかけて開発された化学

農薬が、数年でその効果を失することは非常に残念なことであるが、同じ作用性の剤の過度な連用を続ければ今後も間違いなく起こることである。薬剤抵抗性の発達が速い害虫については有効剤が枯渇してしまう状況に陥り、農業生産上の大きな問題となるであろう。新しい作用機構を有する化学農薬の開発はますます困難になってきている。IRAC コードを考慮したローテーションを行うことで、貴重な殺虫・殺ダニ剤を少しでも長く使用できるようにしたい。

参考文献

- 1) IRAC ホームページ: <https://www.irac-online.org/>
- 2) MoA tutorial 日本語版: <https://www.irac-online.org/moa-tutorial-now-available-in-japanese-as-well-as-english/>
- 3) 植物防疫 72 巻: 133~137, 267~271, 337~342, 469~474, 542~546, 617~620, 679~685, 746~751
- 4) 植物防疫 73 巻: 59~65, 126~131, 192~194, 253~257, 322~327, 396~400, 461~464, 523~530, 726~732
- 5) 現代農業 2019 年 6 月号(農文協): 212~213
- 6) 島 克弥(2017).: 植物防疫 71(10): 675~681
- 7) 農薬工業会 RAC コード検索表
https://www.jcpa.or.jp/labo/xlsx/mechanism_rac.xlsx
- 8) 農薬工業会 リーフレット
<https://www.jcpa.or.jp/labo/books/#area02>



図 1. IRAC コードを記載した製品ラベル

表 3. 商品名別 RAC コード検索表(一部抜粋)

商品名		有効成分 1	RAC コード 1	有効成分 2	RAC コード 2
アプロードエース	殺虫剤	フェンピロキシメート	21A	ブプロフェジン	16
アプロード	殺虫剤	ブプロフェジン	16		
ダニトロン	殺虫剤	フェンピロキシメート	21A		