

昆虫成長制御剤開発の最近の動向

住友化学工業株式会社農業化学品研究所 ^{なか}中 ^{むら}村 ^{さと}知 ^し史

はじめに

昆虫成長制御剤 (Insect Growth Regulator, 以下, IGR 剤) は, 昆虫の脱皮, 変態や生殖にかかわる生理作用をかく乱する化合物の総称で, 一般に, ①昆虫以外の生物への安全性が高い, ②神経系や電子伝達系に作用する薬剤に対して抵抗性を獲得した害虫に対しても有効である, ③有機リン剤, カーバメート剤, ピレスロイド剤などと比較して, 速効性の面で劣る, ④適用害虫の範囲が狭い, ⑤昆虫の特定の生育ステージで効果を発現する, といった性質を持っている。③から⑤の性質のため, 速効的に作用し, 広い殺虫スペクトルを持つ従来の殺虫剤と比較すると対象害虫種や処理適期に限られることが多く, 効果的に使用するのが難しい薬剤といえるが, 多年にわたる指導機関や農薬メーカーの普及活動により, 有効な使用方法が確立され, 農業現場でも広く受け入れられるようになってきた。また, 1992 年には農林水産省によって環境保全型農業が提唱され, IGR 剤のように選択性が高く安全性の高い薬剤の役割は今後ますます大きくなると予想される。

国内の農業分野においては, 1981 年のジフルベンズロンの農薬登録取得以降, ベンゾイルフェニルウレア系化合物やプロフェジンといったキチン合成阻害作用をもつ IGR 剤が多く開発・上市された。1990 年代に入ると, 従来主に防疫分野で用いられていたジュベノイド化合物や, まったく新しい作用性を持つエクダイソン様活性化化合物などの IGR 剤が相次いで農薬登録されるようになり, IGR 剤のカテゴリーに含まれる化合物は多様化しつつある。本稿では IGR 剤のうち, 1992 年以降の最近 5 年間に国内で農薬登録を取得したものと, 現在開発中のものを中心にその特徴を紹介する。

I 国内で販売・開発されている IGR 剤

1 ベンゾイルフェニルウレア系化合物 (表-1)

昆虫の表皮の構成成分であるキチンの生合成を阻害して, 脱皮後の新しい表皮の形成を阻害する。このため,

Insect Growth Regulators: Recent Trends of Development.
By Satoshi NAKAMURA

(キーワード: IGR, IPM, ベンゾイルフェニルウレア系化合物, ジュベノイド化合物, エクダイソン様活性化化合物)

幼虫期にこの系統の化合物を処理された昆虫は正常に脱皮を完結できずに死亡する。また, 卵に対しては殺卵活性を, 成虫に対しては次世代の卵のふ化を阻害する活性を示すが, この活性の強さは化合物や対象害虫によって大きく異なる。一般に本系統化合物の水溶解度は極めて低く, 根からの浸透移行効果は期待できないため, 散布剤として既存剤に抵抗性のコナガ防除や, 果樹の開花期における鱗翅目害虫防除に利用されてきた。

本系統の化合物は最も早くから農業分野で使用されてきた IGR 剤で, 国内では, ジフルベンズロンの農薬登録取得以降, 一連の同系統の化合物が上市・開発され, その過程で基礎活性の向上や殺虫スペクトルの拡大がなされてきた。活性の面から見ると, 例えばリンゴのキンモンホソガに対するジフルベンズロンの処理濃度が約 60 ppm から 120 ppm であるのに対し, それ以降に上市されたテフルベンズロン, フルフェノクスロン, ヘキサフルムロン等は, いずれもより低濃度で使用されている。野菜のミナミキイロアザミウマに対する処理量を見ても, 同様の傾向がうかがえる。

殺虫スペクトルの面から見ると, フルフェノクスロンは従来のベンゾイルフェニルウレア系化合物と比較して, 鱗翅目害虫以外にハダニ類に対しても高い活性を示し (ANDERSON et al., 1986), 国内では花きのハダニ類を対象に農薬登録されている。本剤はハダニ類以外に, 有効な剤が少ない難防除害虫であるミカンキイロアザミウマとマメハモグリバエに対しても高い活性を示す。1990 年より日本植物防疫協会の委託試験に供試されたルフェヌロンも, 果樹, 野菜, 花きの鱗翅目害虫以外に, マメハモグリバエ, ミカンキイロアザミウマなどに対して試験され, 高い効果を示している。また, クロルフルアズロン, テフルベンズロン, フルフェノクスロン, ノバルロンはコナジラミ類にも防除効果を有しており, 当初は鱗翅目害虫が中心であった本系統化合物の適用範囲はかなり拡大している。

2 ジュベノイド化合物 (表-2)

昆虫の変態阻害, 殺卵, 卵数の減少などの症状を引き起こす化合物群である。キチン合成阻害剤やエクダイソン様活性化物質と比較して効果を示す生育ステージがより狭いため, 高い効果を得るためには適切な処理時期の選定が特に重要となる。

表-1 日本国内で販売または開発中のベンゾイルフェニルウレア系化合物（混合剤と空散剤は除く）

化合物名 ^{a)} (登録年) ^{b)}	商品名 ^{c)}	剤型	対象作物	主な対象害虫	処理濃度または 処理量
ジフルベンズロン (1981 年)	デミリン	23.5% 水和剤	リンゴ	キンモンホソガ, シンクイムシ類, ギンモンハモグリガ	39.2～117.5 ppm
			落葉果樹	シンクイムシ類, モモハモグリガ, ナシチビガなど	58.8～117.5 ppm
			カンキツ	ミカンハモグリガ	78.3～117.5 ppm
			チャ	チャノキイロアザミウマ	117.5 ppm
			野菜	チャノホソガ, ヨモギエダシャク ミナミキイロアザミウマ	58.7～117.5 ppm 78.3～235 ppm
			花き 樹木	アワノメイガ (ショウガ) クロバネキノコバエ (トルコギキョウ) マイマイガ, アメリカシロヒトリなど	235 ppm 117.5～235 ppm 29.4～58.8 ppm
クロルフルアズロン (1988 年)	アタブロン	10% 乳剤	チャ	チャノコカクモンハマキ, チャハマキ, ヨモギエダシャク	50 ppm
		10% SC	野菜, 花き	コナガ, アオムシ, ヨトウムシ類 カメノコムシ (テンサイ), タバココナジラミ ミナミキイロアザミウマ	50 ppm 25～50 ppm
			リンゴ, ナシ	ハマキムシ類, ヒメシロモンドクガ	25～33 ppm
テフルベンズロン (1990 年)	ノーモルト	5% 水和剤 5% 乳剤	リンゴ	キンモンホソガ, ギンモンハモグリガ	12.5 ppm
			リンゴ	キンモンホソガ, ギンモンハモグリガ, ヒメシロモンドクガ	8.3～25 ppm
			落葉果樹	シンクイムシ類, モモハモグリガ, カキノヘタムシガなど	25～50 ppm
			カンキツ	ミカンハモグリガ, アゲハ類	25～50 ppm
			チャ	チャノホソガ, ヨモギエダシャク	12.5～25 ppm
			野菜	コナガ, アオムシ, ヨトウムシ類など ゾウムシ類 (ゴボウ)	25～50 ppm 50 ppm
			花き 樹木	コナガ, シイチモジヨトウ, タバココナジラミ マイマイガ, アメリカシロヒトリ	25 ppm 1.7～2.5 ppm
	ショットイン	10% 乳剤	シバ	シバツトガ, スジキリヨトウ	20～33.3 ppm
フルフェノクスロン (1993 年)	カスケード	10% 乳剤	リンゴ	キンモンホソガ, ギンモンハモグリガ, ハマキムシ類, ハダニ類	25～50 ppm
			落葉果樹	ハマキムシ類, モモハモグリガ, ヒメシロモンドクガ	25～50 ppm
			カンキツ	ハダニ類 ミカンハモグリガ	50 ppm 25～50 ppm
			チャ	ハダニ類 チャノコカクモンハマキ, チャハマキ, ヨモギエダシャク, チャノホソガ, チャノミドリヒメヨコバイ, チャノキイロアザミウマ	50～100 ppm 25 ppm
			野菜	コナガ, アオムシ, ヨトウムシ類など ミナミキイロアザミウマ, タバココナジラミ, マメハモグリバエ	25～50 ppm
			花き	シロイチモジヨトウ マメハモグリバエ, ミカンキイロアザミウマ ハダニ類 (バラ)	25 ppm 50 ppm 100 ppm
ヘキサフルムロン (1995 年)	コンセルト	7% フロアブル	リンゴ チャ	キンモンホソガ, ギンモンハモグリガ チャノホソガ	35 ppm 35 ppm
ルフェヌロン (開発中)	マッチ	5% 乳剤	リンゴ	ハマキムシ類	16.7～25 ppm
			カンキツ	ミカンハモグリガ, ミカンサビダニ	16.7 ppm
			野菜, 花き	コナガ, アオムシ, ヨトウムシ類	16.7 ppm

表-1 つづき

化合物名 ^{a)} (登録年) ^{b)}	商品名 ^{c)}	剤型	対象作物	主な対象害虫	処理濃度または 処理量
				タバコガ類 カメノコハムシ (テンサイ) ミカンキイロアザミウマ, マメハモグリバエ	16.7~25 ppm 16.7 ppm 25~50 ppm
ノバルロン (開発中)	(SB-7241)	9.5% 乳剤	野菜	オオタバコガ, コナジラミ類 キスジノミハムシ	47.5 ppm

a) : 一部に ISO 申請中の名称を含む。b) : 各化合物を含む薬剤に対する国内農業登録のうち、最も早いものについて記載。c) : 各社の登録商標。() 内は試験コード。表-2 以降も同様

表-2 日本国内で販売または開発中のジュベノイド化合物

化合物名 (登録年)	商品名	剤型	対象作物	対象害虫	処理濃度または処理量
ピリプロキシフェン (1995 年)	ラノー	10%乳剤 1 g/m ² テープ	野菜, 花き 野菜, 花き	コナジラミ類, ミナミキイロアザミウマ コナジラミ類	50~100 ppm 10~100 m ² テープ/10 a

これらの化合物は、各種作物で主要な害虫となっている鱗翅目害虫の加害ステージである幼虫期に対して、多くの場合殺虫活性を示さないこともあり、IGR 剤の中では開発剤、上市剤とも数は極めて少ない。現在、国内ではピリプロキシフェンのみが販売されている。

ピリプロキシフェンは半翅目、鱗翅目、アザミウマ目などの昆虫に対して高い活性を示す化合物で(波多腰・中山, 1987)、特にコナジラミ類などの同翅亜目害虫に対して活性が高い。1995 年に施設栽培果菜のコナジラミ類とミナミキイロアザミウマに対して農業登録された。

また、この化合物はコナジラミ類の雌成虫に対して処理した場合に、次世代卵のふ化を阻害する活性が高く、黄色のテープに含有させて作物の近傍に設置することにより、色に誘引されてテープに飛来した雌成虫に作用させて次世代の発生を抑制することができる(NAKAMURA et al., 1994)。この作用を応用したテープ製剤が 1997 年に農業登録されている。

3 エクダイソン様活性化合物(表-3)

昆虫の脱皮を誘発するエクダイソンと同様の作用をする化合物群で、エクダイソンの受容体に作用して表皮形成を誘導する。1988 年にこの作用が報告されて以来、害虫防除剤としての評価がなされ、現在のところ日本国内で 1 剤が農業登録され、さらに数剤が開発されるまでに発展している。

この化合物群はステロイド骨格を有するエクダイソンと化学構造的にはまったく異なるが、三次元定量的構造活性相関解析によって、この化合物群に属するテプフェ

ノジドがエクダイソンの一種である 20-ヒドロキシエクダイソンの活性発現部位に対応する部位を有することが報告された(中川ら, 1996)。

幼虫期にこの系統の化合物を処理された昆虫は、摂食を停止し、不完全な早熟脱皮を行って死亡する。この早熟脱皮による死亡は、薬剤処理後短期間のうちに、通常の脱皮のサイクルとは無関係に起こるため、IGR 剤の中では最も速やかに効果が発現する。

最初に実用化されたエクダイソン様活性化合物であるテプフェノジドは、国内では 1994 年に農業登録され、水稻、野菜、果樹、テンサイの鱗翅目害虫に対して使用されている。

その後、クロマフェノジド、メトキシフェノジドといった化合物も見いだされ、クロマフェノジドは 1994 年より、メトキシフェノジドは 1996 年より日本植物防疫協会の委託試験に供試されている。いずれも水稻、野菜、果樹などの鱗翅目害虫に対して、先行剤のテプフェノジドと比較して、やや低い薬量を中心に試験されている。

ハロフェノジドは鱗翅目害虫に加え、甲虫類に対しても高い活性を示すことが特徴の化合物である。芝害虫の防除剤として開発されており、コガネムシ類や鱗翅目害虫に高い効果を示す。国内では 1996 年に日本植物防疫協会の委託試験に供試されている。1997 年にアメリカでコガネムシ類幼虫と土壌害虫に対して登録された。

4 その他の IGR 剤(表-4)

シロマジンは双翅目昆虫に対して高い活性を示すトリアジン系化合物で、1996 年に花きのマメハモグリバエ

表-3 日本国内で販売または開発中のエクダイソン様活性化化合物 (混合剤と空散剤は除く)

化合物名 (登録年)	商品名	剤型	対象作物	対象害虫	処理濃度または 処理量
テブフェノジド (1994 年)	ロムダン	0.75% 粉剤	イネ	コブノメイガ, ニカメイチュウ, イネツトムシ, フタオビコヤガ	3~4 kg/10 a
		10% 水和剤	イネ	コブノメイガ, ニカメイチュウ	100 ppm
		20% フロアブル	イグサ	イグサシンムシガ	100 ppm
			リンゴ	ハマキムシ類	66.7~133 ppm
			チャ	チャノコカクモンハマキ, チャハマキ	200 ppm
				ヨモギエダシャク	100 ppm
			テンサイ	ヨトウムシ	100 ppm
			花き	シロイチモジヨトウ	200 ppm
			樹木	アメリカシロヒトリ, チャドクガ	100 ppm
			シバ	シバツトガ, スジキリヨトウ	100 ppm
クロマフェノジド (開発中)	マトリック (ANS-118)	0.3% 粉剤	イネ	ニカメイチュウ, コブノメイガ, イネツトムシ など	3~4 kg/10 a
		5% フロアブル	リンゴ	ハマキムシ類	25~50 ppm
			落葉果樹	ハマキムシ類, モモハモグリガ, カキノヘタム シガ	50 ppm
			カンキツ	ミカンハモグリガ	50 ppm
			チャ	チャノコカクモンハマキ, チャハマキ	50 ppm
				ヨモギエダシャク	25~50 ppm
			イネ	コブノメイガ	50 ppm
			野菜, 花き	タバコガ類, ヨトウムシ類	25~50 ppm
			樹木	アメリカシロヒトリ	25 ppm
メトキシフェノジ ド (開発中)	(RH-2458)	0.5% 粉剤	イネ	ニカメイチュウ, コブノメイガ, イネツトムシ など	3~4 kg/10 a
		20% フロアブル	リンゴ	ハマキムシ類	50 ppm
				キンモンホソガ	100 ppm
			落葉果樹	シンクイムシ類 (ナシ)	200 ppm
			チャ	チャハマキ, チャノコカクモンハマキなど	200 ppm
			野菜	コナガ	200 ppm
				アオムシ, ヨトウガ類, ウワバ類	50~100 ppm
ハロフェノジド (開発中)	(RH-0345)	20% フロアブル	シバ	コガネムシ類幼虫	66.7~100 ppm

表-4 日本国内で販売または開発中の昆虫成長制御剤 (表-1~3 に含まれないもの)

化合物名 (登録年)	商品名	剤型	対象作物	対象害虫	処理濃度または 処理量
シロマジン (1996 年)	トリガード	14% 水和剤	花き	マメハモグリバエ	140 ppm
エトキサゾール (1998 年)	バロック	10% フロアブル	果樹, 野菜 チャ	ハダニ類 カンザワハダニ	50 ppm 100 ppm
アザディラクテン (開発中)	(MBI-911)	3% 乳剤	野菜, 花き	コナガ, アオムシ, マメハモグリバエ, タバココナジラミ	20~30 ppm
		4% 水和剤	野菜, 花き	コナガ, アオムシ, マメハモグリバエ	40 ppm

に対して農薬登録がなされた。幼虫脱皮を阻害するが、ベンゾイルフェニルウレア系化合物のようなキチン合成阻害活性はない (橋野・下岡, 1996)。本化合物の水溶解度は比較的高く、根からの吸収以外に、散布された化

合物も速やかに植物体内に取り込まれることが報告されている。

エトキサゾールはハダニ類に高い活性を示すジフェニルオキサゾリン系化合物である。1992 年より果樹、茶、

野菜のハダニ類に対して日本植物防疫協会の委託試験に供試されている。成虫に対する致死活性がなく、殺卵活性と幼若虫期に対する脱皮阻害活性を示すなど、ヘキシチアゾクスと類似した作用性を有するが、ヘキシチアゾクスに抵抗性のハダニ類に対しても高い活性を示すことが報告されている (ISHIDA et al., 1994)。また、作用面や構造面で類似性が認められるヘキシチアゾクスやベンゾイルフェニルウレアと異なり、アブラムシ類に対しても高い活性を示す (丹治ら, 1996) 点で特徴的である。

アザディラクチンはインドセンダン (Neem) の種子に含まれる成分の一つで、複雑な構造を持つリモノイド化合物である。鱗翅目、半翅目、直翅目など、比較的広範囲の昆虫類に対して、主に摂食阻害活性とエクダイソンとの拮抗による脱皮阻害活性を示すが、効果の発現はかなり遅効的である (MORDUE and BLACKWELL, 1993)。最近になって取り扱いが容易な製剤品がアメリカ、カナダ、インドなどで相次いで開発されている。日本国内では 1991 年以降、野菜および花きの鱗翅目害虫、タバココナジラミ、マメハモグリバエに対して試験されている。

II IPM と IGR 剤

IGR 剤一般に見られる、殺虫スペクトルが狭いという性質は、選択性が高く、IPM (Integrated Pest Management, 総合的病害管理) に適するという長所としてとらえられるようになってきた。IPM の浸透によって、IGR 剤の役割は今後ますます重要になると予想される。IPM の中の一つの大きな柱である生物防除手段として、害虫の天敵 (寄生蜂、捕食性昆虫、カブリダニ類など) を生物農薬として利用する研究が盛んに行われている。このような生物農薬の種類ごとに既存の殺虫剤の影響が調査されており、その際に悪影響が少なく、併用できる可能性が高い化合物として IGR 剤が挙げられることが多い。

生物農薬としての天敵昆虫の放飼によらずに、圃場に

自然に生息するハナカメムシ類と、ハナカメムシ類に悪影響のない IGR であるピリプロキシフェンの双方の効果を活用してミナミキイロアザミウマの密度を抑制した研究 (永井, 1991) は、IPM の好例として教科書類でも紹介されているが、今後は、人為的に放飼した天敵昆虫と IGR 剤との併用を中心とした防除体系の研究事例が増えてくるものと予想される。防除効果はもちろんのこと、労力や費用面も含めて、真に生産性に寄与する防除体系が構築されることを期待したい。

お わ り に

新しい作用機作を持つ IGR 剤は、ともすれば既存薬剤に抵抗性を獲得した「難防除害虫」の「特効薬」となり得るため、連用を招きやすい。ベンゾイルフェニルウレア系化合物に対するコナガの抵抗性発達の事例を見るまでもなく、連用による抵抗性の発達はあらゆる化合物について起こり得るもので、IGR 剤も例外ではない。多様な防除手段を組み合わせることによる IPM には、防除効果のみならず、害虫の薬剤抵抗性の発達を遅らせる効果も期待される。薬剤抵抗性の発達を回避するという面においても有効な防除体系を構築し、ユニークな作用特性を持った IGR 剤を長く大切に使用して行きたいものである。

引 用 文 献

- 1) ANDERSON, M. et al. (1986): Proc. Br. Crop Protection Conf.—Pests and Diseases: 89~96.
- 2) 波多腰信・中山 勇 (1987): 植物防疫 41: 339~347.
- 3) NAKAMURA, S. et al. (1994): Appl. Ent. Zool. 29(3): 454~456.
- 4) 中川好秋ら (1996): 日本農薬学会第 21 会大会講演要旨: 50.
- 5) 橋野洋二・下岡英貴 (1996): 農薬時報 (臨時増刊): 6~8.
- 6) ISHIDA, T. et al. (1994): Proc. Br. Crop Protection Conf.—Pests and Diseases: 37~44.
- 7) 丹治功男ら (1996): 第 40 回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨: pp. 90.
- 8) MORDUE, A. J. and A. BLACKWELL (1993): J. Insect Physiol. 39(11): 903~924.
- 9) 永井一哉 (1991): 応動昆 35(4): 283~289.