

## 農薬編-12

## ダニ類成長阻害剤 (MGI)

—ヘキシチアゾクス, クロフェンテジン, エトキサゾール—

日本曹達株式会社 やま山 もと本 あつ敦 し司

## はじめに

ダニ類成長阻害剤 (MGI, Mite Growth Inhibitors) は、IRAC コード 10 に分類される 4 種の殺ダニ剤、ヘキシチアゾクス (サブグループ 10A)、クロフェンテジン (10A)、ジフロピダジン (10A) およびエトキサゾール (10B) である (表-1; 図-1)。そして興味を引くのは、化学構造の基本骨格が異なるにもかかわらず、各剤が共通してハダニ類の成長過程の現象を阻害する生理的作用を示すことにある。ダニ類成長阻害剤は遅効的な防除効果を示すものの、基礎的な殺ダニ活性の高さと効果持続性に加え、天敵類および生態影響が小さい特徴から、抵抗性問題を抱えながらも約 30 年以上も使用されている。世界的には、2017 年の殺ダニ剤市場 1,066 \$M (アバメクテン剤を除く) のうち 17.7% を占有している (GfK kynetec, i-map3DB, 2017 調査)。

本稿では、日本で登録のあるヘキシチアゾクス (ニッソラン®)、クロフェンテジン (カーラ®)、およびエトキサゾール (バロック®) について、開発経緯、作用特性と作用機構、および抵抗性機構について解説する。さらに、抵抗性管理については、抵抗性対策のモデルケースとなったヘキシチアゾクスなどの事例から、その知見も紹介する。

## I 開発経緯

害虫防除の分野では、一般的に害虫が発生してから対処できる速効的な薬剤が望まれる。一方、1970 年代に遅効的な殺虫剤の研究が進展した。1983 年登録の昆虫成育阻害剤ブプロフェジン (アプロード®, IRAC コード 16) の成功により遅効的殺虫剤の認知度が高まり、ダニ類成長阻害剤の研究開発のモチベーションにもつながった。そして、遅効的殺ダニ剤の評価のために、発想を変えた試験法が考案されたのは言うまでもない。ハダニ類の一世代期間の短さを利用した、卵から成虫の一世代に渡る観察法 (浅田, 1985) である。

ダニ類成長阻害剤が世界で最初に登録されたのは、1983 年のファイソズ社 (現バイエルクロップサイエンス社) のテトラジン骨格を有するクロフェンテジンで (大西, 1989)、日本では 1989 年に日本シェーリング株式会社により登録され現場で使用された。なお、本剤は 2012 年に販売を終了しているが、2018 年現在でアダマ・ジャパン株式会社が登録を有している。

一方、日本で最初に開発されたダニ類成長阻害剤は、チアゾリジノン骨格を有するヘキシチアゾクスで、日本曹達株式会社により 1985 年に登録された。これは殺菌活性を有する化合物の研究課程から派生し発見された (山田ら, 1987)。クロフェンテジンとヘキシチアゾクス

表-1 日本における農業用殺虫剤の作用機構 (一部抜粋改変)

主要グループと一次作用部位	サブグループあるいは代表的有効成分	有効成分	農薬名 (例) (剤型省略)	標的生理機能
10 ダニ類成長阻害剤 成長調節	10A クロフェンテジン ヘキシチアゾクス ジフロピダジン	クロフェンテジン ヘキシチアゾクス	カーラ ニッソラン	成育 および 発達
	10B エトキサゾール	エトキサゾール	バロック	

Review of Mite Growth Inhibitors (MGI) for Mites of Agricultural Importance. By Atsushi YAMAMOTO

(キーワード: ダニ類成長阻害剤, IRAC コード 10, 殺ダニ剤, ハダニ, ヘキシチアゾクス, クロフェンテジン, エトキサゾール, 作用機構, キチン合成酵素, 抵抗性機構, 抵抗性管理)

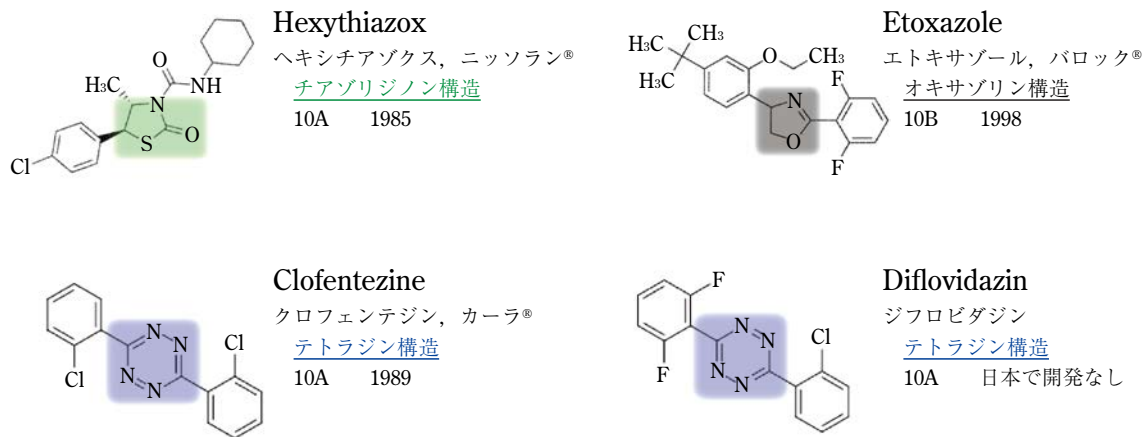


図-1 ダニ類成長阻害剤の化学構造  
コード番号は IRAC コード, 年号は日本の登録年.

の作用点は確認されていないが, 交差抵抗性を示す事例が多いことから同じサブグループの IRAC コード 10A に分類されている。

1998 年に登録のエトキサゾールはオキサゾリン骨格を持ち, 八洲化学工業株式会社 (現・協友アグリ株式会社) により開発された。本剤は除草剤の研究課程から派生して選抜され, ヘキシチアゾクス剤との交差抵抗性回避を指標に開発されたことから (鈴木ら, 2001), IRAC コード 10B にサブグループ化され分類されている。

このように, ダニ類成長阻害剤はそれぞれ独立の発想から異なるケミストリーから選抜されたため, 3 剤の間で化学構造の基本骨格が異なる。

## II 作用特性

ダニ類成長阻害剤に“共通する”ハダニ類に対する生物特性を概説する (AVEYARD et al., 1986; 山田ら, 1987; 鈴木ら, 2001 各剤の技術資料)。まず, 農業上重要な各種ハダニ類, すなわちなみハダニ, カンザワハダニ, ミカンハダニ, リンゴハダニに効果を示す。ハダニ類の各成育ステージには, 次のような作用を示す (表-2; 図-2)。まず, 殺卵性を有し, 散布された卵はふ化前の眼点期までは発育するがふ化しない。産下卵の卵齢による効力差があり, ふ化が近い後期卵へは効力が低下する傾向がある。活動期の幼虫および若虫に薬剤を散布すると, その活動期には効果を示さないが, 静止期に入り脱皮を行うことができず死亡する。成虫に対して殺成虫効果はない。ただし, 経皮的, 経口的のいずれの処理でも雌成虫は産卵するものの産下卵はふ化せず, いわゆる不妊化作用を示す。また, ダニ類成長阻害剤の物理化学的性状を見ると (表-3), 3 剤ともに水溶性が低く, オクタノール/水分配係数が高い。したがって, 根や茎葉からの

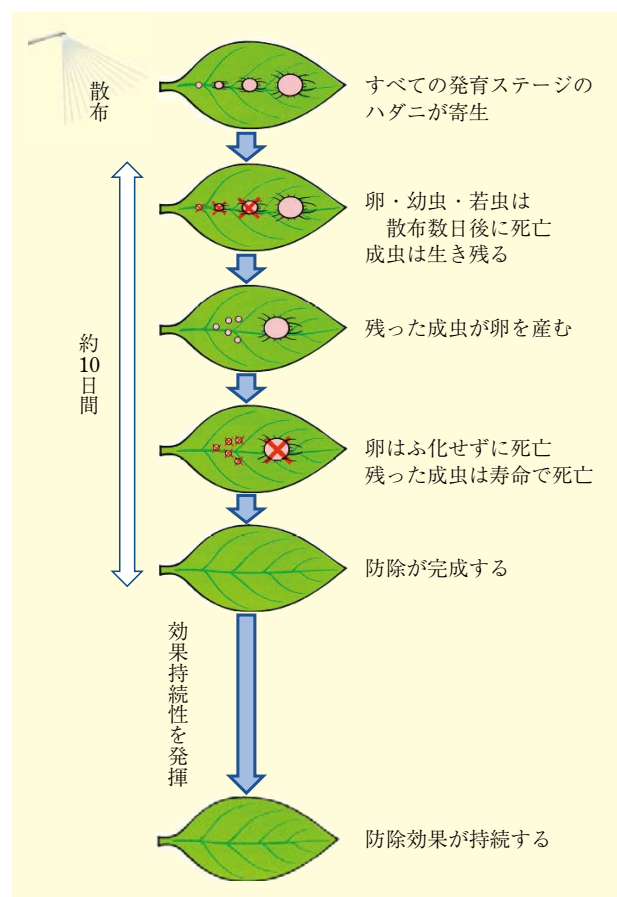


図-2 ダニ類成長阻害剤の圃場での効果発現パターン  
ヘキシチアゾクス技術資料 (日本曹達 (株), 1985) を一部改変.

浸透移行性は持たないが, 茎葉への吸着が高く降雨の影響も小さいものと推察される。

以上のように, ハダニの各発育ステージへの遅効的な作用特性により, 圃場でも薬剤を散布してから防除効果を確認できるまでにはおおむね 7~10 日を要するため, 遅効的と感じられる (図-2)。だが, 約 1 か月の見かけ

表-2 ダニ類成長阻害剤の生物活性の概要

IRAC コード	一般名 代表的製剤	ハダニの発育ステージ別活性 (実用濃度でのレーティング: ◎~×)						ハダニ殺卵活性 の剤比較 (LC <sub>50</sub> 値)	ハダニ以外の活性	
		実用濃度 ppm	卵 前期 後期	幼虫	若虫	成虫	不妊		サビダニ類 (事例)	害虫 (事例)
10A	ヘキシチアゾクス 水和剤 10%	50~33	◎ △	◎ ◎	×	○	< 0.78 0.15 5.4	×	×	
10A	クロフェンテジン フロアブル 40%	200~133	◎ △	◎ ○	×	○	1.8 16.1 > 50	○ チャノナガサビダニ	×	
10B	エトキサゾール フロアブル 10%	50~33	◎ △	◎ ◎	×	○	< 0.048 0.028 0.23	○ ミカンサビダニ モモサビダニ	○ アブラムシ類 コナガ, ヨトウ類 ショウジョウバエ, 等	

\* 鈴木ら (2001)

\*\* Li et al. (2014)

表-3 ダニ類成長阻害剤の物理化学的性状 (日本植物防疫協会, 2016)

	ヘキシチアゾクス	クロフェンテジン	エトキサゾール
外観	白色固体	赤紫色結晶性固体	白色結晶性細粒
臭気	無臭	無臭	無臭
融点, °C	105.4	183	101~102
蒸気圧, Pa	$3.39 \times 10^{-6}$ (20°C)	$1.4 \times 10^{-8}$ (25°C)	$2.18 \times 10^{-6}$ (25°C)
水溶性, g/l	$4.1 \times 10^{-4}$ (20°C)	$< 2.0 \times 10^{-6}$ (25°C)	$7.54 \times 10^{-6}$ (20°C)
オクタノール/水 分配係数 (LogPow)	2.74 (25°C)	4.1 (40°C)	5.59 (25°C)

の効果持続性を有しており、殺卵性や不妊化の特徴と組み合わせることによって、成虫への効果不足を補い圃場効果を安定させる。また、ダニ類成長阻害剤は、ハダニ類の天敵類や授粉昆虫のハチ類に影響が少ないことから、IPM 資材との併用によるハダニ防除が可能である。

次に、各3剤の生物活性の概要を、その違いも含めて特徴を概説する(表-2)(AVEYARD et al., 1986; 山田ら, 1987; 鈴木ら, 2001; Li et al., 2014 各剤の技術資料)。

まず、ハダニ類の各発育ステージに対する基本的な低濃度活性は薬剤により違いがあり、代表例として卵への活性(LC<sub>50</sub>値)で比較すると(表-2)その順位は概して、エトキサゾール、ヘキシチアゾクス、クロフェンテジンである。しかし、この活性差は各剤の実用濃度の設定によりカバーされているため、普及上の問題はない。

サビダニ類に対しては、ヘキシチアゾクス以外の2剤が活性を有している。また、昆虫類に対してヘキシチアゾクスとクロフェンテジンは活性を持たない。興味深い

ことにエトキサゾールは、登録は取得していないものの、害虫の幼虫への殺虫活性も有する。例えば、アブラムシ類、チョウ目害虫のコナガやヨトウ類、ショウジョウバエ等にも効果が報告されており、ハダニと同様に脱皮阻害作用を示す(鈴木ら, 2001; NAUEN and SMAGGHE, 2006; Li et al., 2014; DOURIS et al., 2016)。圃場で実用的な防除効果が確かめられたアブラムシ2種の事例もある(今村, 2018)。

### III 作用機構

ダニ類成長阻害剤の作用点と作用機構は、形態学観察からの類推はあるものの、分子生物学的に解明されていない。しかし、ヘキシチアゾクス抵抗性ナミハダニの一部の系統を用いた抵抗性機構に関する研究成果から(DEMAEGHT et al., 2014)、表皮のキチン合成酵素、CHS1(chitin synthase 1)が有望な作用点であり、その阻害が薬剤に共通した作用機構の一つと考えられている。

まず、形態学的観察については、ヘキシチアゾクスを処理したナミハダニの報告がある。透過型電子顕微鏡による若虫の皮膚切片の観察事例で (山田ら, 1987), 異常な物質の沈着や不完全な表皮が処理個体で観察されている。さらに、ナミハダニ若虫のキチンの沈着程度を、キチンに結合する蛍光染色 CFW を用いて定量した研究がある (DEMAEGHT et al., 2014)。ヘキシチアゾクス処理個体では、無処理個体の約 1/3 量の蛍光染色 CFW しか測定されず、表皮のキチン含量が少なかった。また、ハダニの事例ではないが、エトキサゾールが殺虫活性を有するチョウ目ヨトウガの一種の幼虫に対して脱皮阻害作用を示す形態学的観察と、その単離された表皮でキチン合成量が少ない生化学的結果もある (NAUEN and SMAGGHE, 2006)。

ダニ類成長阻害剤の作用機構の分子生物学的解明は、その抵抗性機構研究から得られた (DEMAEGHT et al., 2014)。材料となるベルギーのヘキシチアゾクス抵抗性ナミハダニは、不完全劣性の単一主働遺伝子に支配され、クロフェンテジンとエトキサゾールに交差抵抗性を示す。シーケンス解析によりキチン合成酵素 1 (CHS1) の 1017 番目のアミノ酸残基の変異、すなわちイソロイシンがフェニルアラニンに変異する作用点変異 I1017F がヘキシチアゾクス抵抗性機構であった。さらに、別系統のエトキサゾール抵抗性ナミハダニでも同じ I1017F が抵抗性機構であった。最近解明されたナミハダニの全ゲノム情報 (GRBIĆ et al., 2011) を利用して、BSA 分析 (Population-level bulk segregant analysis) による標的遺伝子のゲノムマッピング方法が可能となった (DEMAEGHT et al., 2014)。その結果、上記のヘキシチアゾクス抵抗性系統ナミハダニでは、各 3 剤の各抵抗性遺伝子が近傍に位置しており、それがキチン合成酵素 1 の領域であることが示された。

さらに、次のダニ類成長阻害剤とキチン生合成阻害剤 (ベンゾイルフェニル尿素系殺虫剤、以下 BPU 剤; IRAC コード 15) との交差抵抗性に関する知見からも、抵抗性機構が CHS1 に関与する遺伝子が原因であると補足的に支持できる。まず、ヘキシチアゾクス抵抗性ミカンハダニは、クロフェンテジンだけでなく殺ダニ活性を有する BPU 剤のフルフェノクスロンなどと交差抵抗性を示す (YAMAMOTO et al., 1995 a)。また、ナミハダニの I1017F に相当する CHS1 の作用点変異 I1056/MF を持つキイロショウジョウバエや、ナミハダニの I1017F に相当する I1042 M を持つコナガでも、BPU 剤とエトキサゾールの交差抵抗性がある (DOURIS et al., 2016)。

以上の結果から、ダニ類成長阻害剤の作用機構が作用

点の表皮のキチン合成酵素 1 (CHS1) の阻害であると解明された。

一方、キチン合成阻害とは異なる作用機構も存在する可能性もある。昆虫とは異なりハダニ類の成長制御には幼若ホルモンは関与せず、脱皮ホルモンのボナステロン A が関わっている (GRBIĆ et al., 2011)。脱皮ホルモンの生合成系やその受容体さらに脱皮ホルモンによるハダニの成長制御過程に関して、ダニ類成長阻害剤の作用の有無は報告されておらず今後の研究を待ちたい。

## IV 薬剤抵抗性

### 1 抵抗性ハダニの現状

ダニ類成長阻害剤は、2019 年現在で既に 30 年以上も使用され続けているために、本稿で引用した文献以上に抵抗性に関する報告は世界的にも多い。本稿では、日本での抵抗性発達の経緯を、販売動向の推移から考察する (図-3)。

1980 年代後半、ヘキシチアゾクスは発売とともに急速に普及が進み、一時は殺ダニ剤市場の約 50% を占有し、抵抗性管理とは相反する過剰な使用が続く地域もあった。そのため、ヘキシチアゾクス抵抗性による販売の減少が発売後 3~4 年に著しくなり、抵抗性問題に対する警鐘が鳴らされた。一方、クロフェンテジンは、先行するヘキシチアゾクスとの交差抵抗性の影響を受けた販売となった。1990 年代後半は、交差抵抗性を回避したエトキサゾールが上記 2 剤の代替剤として普及が進んだが、抵抗性発達により販売は緩やかに影響を受けている。2016 年現在、日本におけるダニ類成長阻害剤の市場占有率は約 6% である。

### 2 抵抗性ハダニの多様性と交差抵抗性

#### (1) ヘキシチアゾクス抵抗性の多様性

ヘキシチアゾクス抵抗性の遺伝様式を事例として、ハダニ種や同種でも系統によって抵抗性の特性が異なり多様である (表-4)。ナミハダニの場合、遺伝様式が採集地によって異なる事例があり、単一主働遺伝子支配の不完全劣性遺伝、不完全優性遺伝、および複数遺伝子の関与の 3 パターンが報告されている (HERRON et al., 1993; ASAHARA et al., 2008; DEMAEHT et al., 2014 等)。また、不完全劣性遺伝はミカンハダニ (YAMAMOTO et al., 1995 b など) でも、不完全優性遺伝はカンザワハダニでも見られる (山本, 私信)。この多様性は、各ハダニ種や系統で抵抗性機構が異なり、個別の抵抗性対策の必要性を示唆している。

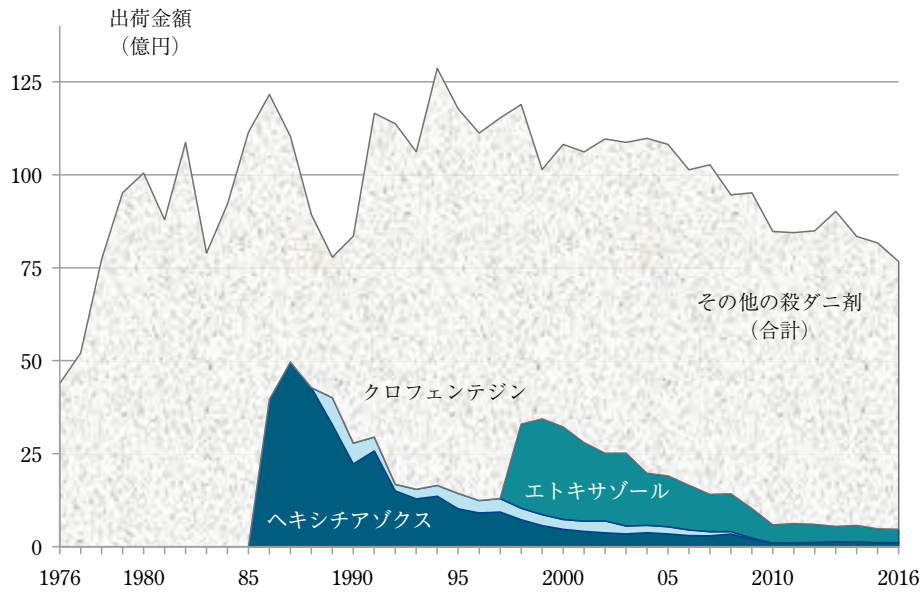


図-3 殺ダニ剤の日本での販売推移とダニ類成長阻害剤の動向  
山本 (2018 c) を一部改変。

表-4 ヘキシチアゾクス抵抗性の遺伝様式の多様性

	単一主働遺伝子		複数の遺伝子
	劣性～不完全劣性	優性～不完全優性	
ヘキシチアゾクス 10A	ミカンハダニ 日本 YAMAMOTO et al. (1995 b)	カンザワハダニ 日本 山本 (私信)	—
	ナミハダニ BEL DEMAEGHT et al. (2014)	ナミハダニ AUS HERRON et al. (1993)	ナミハダニ 日本 ASAHARA et al. (2008)

表-5 ダニ類成長阻害剤の交差抵抗性の多様性

(5-a) ヘキシチアゾクス (Hex) とクロフェンテジン (Clo)  
(山本, 1997 ; 山本, 2018 a 等)

(5-b) ヘキシチアゾクス (Hex) とエトキサゾール (Eto)  
(DEMAEGHT et al., 2014 ; 石田, 2015 等)

タイプ	薬剤感受性パターン	事例
Type 1 交差抵抗性	Hex-R, Clo-R 両剤抵抗性	多数の事例
Type 2 交差抵抗性なし	Hex-R, Clo-S ヘキシチアゾクスのみ抵抗性	事例あり (少ない)
Type 3 交差抵抗性なし	Hex-S, Clo-R クロフェンテジンのみ抵抗性	事例あり

タイプ	薬剤感受性パターン	事例
Type 1 交差抵抗性	Hex-R, Eto-R 両剤抵抗性	事例あり
Type 2 交差抵抗性なし	Hex-R, Eto-S ヘキシチアゾクスのみ抵抗性	多数の事例
Type 3 交差抵抗性なし	Hex-S, Eto-R エトキサゾールのみ抵抗性	事例なし

(2) ヘキシチアゾクスとクロフェンテジンの交差抵抗性

IRAC 分類では、この2剤の作用点は特定されていないが交差抵抗性の事例が多いことから同じサブグループ 10A に分類されている。一方、ハダニ種・採集地の異なる複数系統のハダニを材料とした室内淘汰試験や既知事例を集約してみると、交差抵抗性の場合と交差抵抗性を示さない場合が明らかとなり (山本, 1997 ; 山本, 2018 a), 三つの効力パターンが存在した (表-5 (5-a))。

(3) ヘキシチアゾクスとエトキサゾールの交差抵抗性

エトキサゾールはヘキシチアゾクス抵抗性ハダニを用いて交差抵抗性回避を目的として選抜し開発され、多くの地域でヘキシチアゾクス代替剤として普及に成功した (図-3) (石田, 2015)。しかし、販売直前にごく一部の地域で抵抗性ナミハダニが発見され、完全劣性の遺伝様式を示した (小林ら, 2001)。その後、ヘキシチアゾクスとの交差抵抗性の事例も報告された。EU の系統では

2 剤とも不完全劣性遺伝の抵抗性機構を共有したが (DEMAEGHT et al., 2014), 日本の系統では複数のヘキシチアゾクス抵抗性遺伝子の一部のみがエトキサゾールと交差していた (ASAHARA et al., 2008) (表-5, (5-b))。

以上の(1)~(3)の解説のように,ダニ類成長阻害剤の交差抵抗性は多様で,その本質的な原因は複数あるとも言える。

### 3 抵抗性機構

前節で述べたダニ類成長阻害剤の抵抗性と交差抵抗性の多様性から,抵抗性機構には複数の原因があると推測される。一般的には薬物代謝による解毒分解と作用点変異の2種の原因が考えられる。

まず,薬物代謝に関しては,ナミハダニのヘキシチアゾクスとエトキサゾール抵抗性の事例がある (ADESANYA et al., 2018)。抵抗性遺伝子の特定はしていないものの,P450 やエステラーゼによる解毒分解が抵抗性に関しているとの報告がある。また,ヘキシチアゾクス抵抗性カンザワハダニでも PBO (ピペロニルブトキシド)との共力効果試験の結果から P450 がかわっていると推察されている (山本, 私信)。また,文献調査によれば,ダニ類成長阻害剤と作用機構を異にする殺ダニ剤・殺虫剤との間でも交差抵抗性事例が多数あり (刑部・上杉, 2009),共通の薬物代謝機構が関与していることが推測されている。

一方,作用点変異が抵抗性機構と解明された事例に,先述のナミハダニのキチン生合成酵素 CHS1 のアミノ酸変異 I1017F がある。この作用点変異は,ダニ類成長阻害剤3種のいずれにも共通して関与し,不完全劣性の遺伝である (DEMAEGHT et al., 2014)。さらに前節の,ミカンハダニや昆虫でのダニ類成長阻害剤と BPU 剤との交差抵抗性の事例も,作用点変異の関与を支持している。

最近,このナミハダニの作用点変異 I1017F を検出できるエトキサゾール抵抗性遺伝子診断法,RED- $\Delta\Delta$ Ct法が開発された (OSAKABE et al., 2017)。本法と生物検定法の結果には相関があり,本遺伝子診断法は抵抗性遺伝子の正確なモニタリング法として利用できる。

この結果のように抵抗性機構が明確となったナミハダニの作用点変異 I1017F の事例は,多くのダニ類成長阻害剤の抵抗性事例を説明できるよい知見であるが,万能とは言い切れない。先述の3剤の交差抵抗性パターンが多様であることから,作用点変異 I1017F だけでは説明できない抵抗性機構も存在するのかもしれない。

### 4 抵抗性管理と対策

薬剤抵抗性対策には,一般的に,薬剤ローテーション,薬剤混用に加え高薬量・保護区戦略 (鈴木, 2012; 山本,

2015) による処理の三つの方法が知られている。本節では主にヘキシチアゾクスの事例を中心に紹介する。

#### (1) 薬剤ローテーション

一般的に,薬剤ローテーションは抵抗性発達を緩和する効果がある。そのよい事例が,岩手県のりんご栽培における殺ダニ剤の隔年ローテーションである (鈴木, 2010)。1985年当時の新規殺ダニ剤ヘキシチアゾクス (IRAC・10A) とシヘキサチン (IRAC・12B) を基幹剤とした隔年使用が,県防除指針で指導された。その結果,両剤の隔年使用でも抵抗性発達は最終的には回避できなかったが,毎年連用した場合に比較すると,明らかに抵抗性発達が非常に穏やかであった。これは,岩手県でのヘキシチアゾクス剤の出荷数量の年次調査からも,隔年使用を行わなかった他県と比べて使用可能年数が伸びたことからわかる。

#### (2) 薬剤混用

ダニ類成長阻害剤はいずれも成虫に対する殺虫力がない。その補完を目的として殺成虫力のある他の有効成分との混合剤が多く開発されている。具体的な薬剤の組合せ事例は割愛するが,これらの混合剤はハダニのすべての発育ステージに効果を有し,異なる作用点を同時に攻撃することになる。最近,薬剤混用は抵抗性対策に有効であるとの数理モデル研究 (SUDO et al., 2017) が報告された。上記の混合剤は,抵抗性発達遅延に関する実証研究はないものの,意図せずに“複数作用点の同時攻撃”の目的を達していることになる。

#### (3) 高薬量・保護区戦略

高薬量・保護区戦略による薬剤処理は,薬剤抵抗性発達の遅延対策として理論的に有効である。その基本概念の説明は本稿では割愛するので,別の解説を参照されたい (鈴木, 2012; 山本, 2015)。この方法が野外で有効と推察される事例として,ミカンハダニに対するヘキシチアゾクス剤の圃場淘汰試験を紹介する (山本ら, 1995; 山本, 2015)。この事例では,抵抗性発達の速度は遅く,6年間で18回もの実用濃度の連続散布でようやく抵抗性発達が発達した。その理由として,①抵抗性が不完全劣性の遺伝をすること,②実用濃度がヘテロ個体を殺せる“いわゆる高濃度”であったこと,③抗性発達が樹ごとに異なっており,感受性個体が常に存在して感受性供給源としての保護区となっていた等,高薬量・保護区戦略の基本条件が揃っていたと考えられた。

#### (4) 繁殖能力の低下と感受性の回復

抵抗性ハダニの生物的特性に関連して,ハダニの適度コスト,すなわち繁殖能力の低下に関する興味深い知見がある。ヘキシチアゾクス抵抗性ミカンハダニでは,

遺伝的背景を同じくする感受性系統と抵抗性系統の比較で、繁殖能力の総合的指標である内的自然増加率が、抵抗性系統では、25℃で約95%に低下し、35℃の高温では何と約10%に低下した (YAMAMOTO et al., 1995 c)。同様な繁殖能力低下は、日本各地から採集したエトキサゾール抵抗性ミカンハダニでも報告されている (太田ら, 2006)。このことから、ダニ類成長阻害剤の抵抗性遺伝子は、繁殖能力に関する遺伝子に影響していると推測される。

この適応度コストの現象は、一度発達した抵抗性の感受性回復現象の原動力の一つの要素でもあり、抵抗性管理に寄与できる。例えば、上記のヘキシチアゾクス抵抗性ミカンハダニの事例では、圃場、室内および数理モデルのいずれにおいても感受性回復が実証されている (YAMAMOTO et al., 1996; 山本・天野, 2013)。

### おわりに

ダニ類成長阻害剤は、化学構造の基本骨格が異なる薬剤で構成されている。この点がIRAC作用機構分類の他グループの殺虫剤や殺ダニ剤とは大きく異なる。だが、幼若虫の脱皮阻害などの類似した生物的作用性や共通の作用機構を示すことが興味深い。一方、生物効果の微妙な違いや抵抗性の諸特性の多様性も存在し、一概にダニ類成長阻害剤で一括りにできない側面もある。しかし、交差抵抗性によるハダニ防除失敗のリスク回避を考慮すると、IRAC分類どおりに同一グループとすることに問題はないだろう。これまでの抵抗性顕在化により普及のピークは過ぎているものの、感受性回復の可能性も期待しながら、科学的根拠に基づいた抵抗性対策を引き続き考えたい。本グループは人で言えばベテランの部類に入る薬剤で、普及上数多くの荒波を経験してきた。そのため抵抗性研究を始めとして豊富な情報がある。本稿の情報が、ダニ類成長阻害剤への理解を深めるだけでなく、別分類の殺ダニ剤や殺虫剤も含めて今後の抵抗性対策のヒントの一助となれば幸いである。そして、生産者との抵抗性リスクコミュニケーション (山本, 2018 b) につ

ながることを期待したい。

本稿を執筆するにあたり、ご協力いただいた協友アグリ株式会社の日井伊広氏と日本農薬株式会社の木村雅行氏に感謝申し上げます。

### 引用文献

- 1) ADESANYA, A. W. et al. (2018): Bull. Entomol. Res. **108**: 23~24.
- 2) 浅田三津男 (1985): 農薬生物検定法, 全農協, 東京, p.313~346.
- 3) ASAHARA, M. et al. (2008): J. Econ. Entomol. **101**: 1704~1710.
- 4) AVEYARD, C. S. et al. (1986): Exp. Appl. Acarol. **2**: 223~229.
- 5) DEMAEGHT, P. et al. (2014): Insect Biochem. Mol. Biol. **51**: 52~61.
- 6) DOURIS, V. et al. (2016): PNAS **113**: 14692~14697.
- 7) GfK kynetec (2017): i-map3DataBase (2017 閲覧).
- 8) GRBIĆ, M. et al. (2011): Nature. **479**: 487~492.
- 9) HERRON, G. et al. (1993): Exp. Appl. Acarol. **17**: 433~440.
- 10) 今村剛士 (2018): 関西病害虫研報 **60**: 125~126.
- 11) 石田達也 (2015): 植物防疫 **69**(12): 820~824.
- 12) 小林政信ら (2001): 応動昆 **45**: 83~88.
- 13) 協友アグリ株式会社 (2018): パロックフロアブル技術資料, 協友アグリ HP.
- 14) LI, Y. et al. (2014): J. Insect. Sci. **14**: 104 (online).
- 15) NAUEN, R. and G. SMAGGHE (2006): Pest. Manag. Sci. **62**: 379~382.
- 16) 日本農薬株式会社 (1994): カーラフロアブル技術資料/カーラ普及会.
- 17) 日本植物防疫協会 (2016): 農薬ハンドブック.
- 18) 日本曹達株式会社 (1985): ニッソラン水和剤技術資料.
- 19) 大西利明 (1989): 農薬 **36**(3): 32~35.
- 20) 太田泰宏ら (2006): 第50回応動昆大会講演要旨: 121.
- 21) OSAKABE, M. et al. (2017): Pestic. Biochem. Physiol. **139**: 1~8.
- 22) 刑部正博・上杉龍士 (2009): 日本農薬学会誌 **34**: 207~214.
- 23) SUDO, M. et al. (2017): Evolutionary Applications **2017**: 1~13.
- 24) 鈴木純二ら (2001): 日本農薬学会誌 **26**: 215~223.
- 25) 鈴木敏夫 (2010): 岩手農研七研報 **10**: 113~126.
- 26) 鈴木芳人 (2012): 植物防疫 **66**: 380~384.
- 27) 山田富夫ら (1987): 日本農薬学会誌 **12**: 327~335.
- 28) YAMAMOTO, A. et al. (1995 a): J. Pestic. Sci. **20**: 493~501.
- 29) ———— et al. (1995 b): ibid. **20**: 521~527.
- 30) ———— et al. (1995 c): ibid. **20**: 513~519.
- 31) ———— et al. (1996): ibid. **21**: 37~42.
- 32) 山本敦司 (1997): 学位論文 (農学博士), 名古屋大学, 乙第5134号 (論農博0411): (第5章) 57~74.
- 33) ———— (2015): 農業および園芸 **90**(3): 320.
- 34) ———— (2018 a): 第62回応動昆大会講演要旨: 11.
- 35) ———— (2018 b): JATAFF ジャーナル **6**(9): 47~52.
- 36) ———— (2018 c): 農薬の創製研究の動向/監修: 梅津憲治, (株)CMC 出版, 東京, p.113~127.
- 37) ————・天野睦大 (2013): 第18回農林害虫防除研究会奈良大会講演要旨: 5.
- 38) ————ら (1995): 日本農薬学会誌 **20**: 307~315.