

静岡県におけるチャノコカクモンハマキの ジアシルヒドラジン系 IGR 剤に対する抵抗性

静岡県農林技術研究所茶業研究センター うちやま とおる おざわ あきひと
内山 徹・小澤 朗人

はじめに

チャの重要害虫であるハマキガ科のチャノコカクモンハマキ（以下、チャノコカクモン）*Adoxophyes honmai* Yasuda およびチャハマキ *Homona magnanima* Diakonoff は、幼虫が葉をつづり合わせて巻葉を作成し、その中で葉を加害する（南川・刑部，1979）。静岡県の茶産地では、一般的に両種が混在して発生する。チャハマキは、光合成を担う成熟葉を好んで寄生するのに対し、チャノコカクモンは、成葉のみならず、収穫物となる新葉にも寄生するため、多発すると新芽の生育遅延や収量の低下等の深刻な被害をもたらす。

近年、静岡県内の代表的な茶産地である牧之原地域を中心として、両種の多発傾向が続いている。静岡県病害虫防除所からは、両種に関して、過去 10 年間に計 4 回の発生予察注意報が発令されており、牧之原地域では、特にチャノコカクモンが多発する傾向にある。静岡県の茶園における、チャノコカクモンの防除では、年 4 回の幼虫の発生時期にジアシルヒドラジン系（以下、DAH 系）昆虫成長制御剤（以下、IGR 剤）などを基幹剤として、年数回の薬剤散布が行われている。しかし、DAH 系 IGR 剤のチャノコカクモンに対する防除効果の低下が、2004 年ころから牧之原地域の茶生産者から指摘され始め、その一因として、薬剤抵抗性の発達が考えられた。

チャノコカクモンの薬剤抵抗性については、これまでに海外では報告されていない。我が国においては、静岡県の一部茶産地で、1986 年にカーバメート剤（白井ら，1988）、1997 年に有機リン剤と合成ピレスロイド剤に対する感受性の低下が報告されている（小杉，1999）。また、ベンゾイル尿素系（以下、BU 系）および DAH 系 IGR 剤についても、感受性の低下を示唆する結果が報告されている（小杉，1999）。1997 年以降、DAH 系の新剤やジアミド剤等、数種のハマキ剤が発売されているが、本

種の薬剤感受性の実態に関する詳細な調査はなされていない。

そこで、近年、チャノコカクモンの多発傾向が特に顕著な、静岡県牧之原地域の現地採集系統を供試して、チャの登録薬剤の中から本種に適用のある 15 薬剤に対する感受性検定を実施した。さらに、DAH 系および BU 系 IGR 剤については、5 年間にわたってチャノコカクモンの同一系統の薬剤感受性を継続調査し、DAH 系に対する抵抗性の発達を確認した（内山ら，2013）ので、その結果の一部を紹介する。

I チャノコカクモンハマキの採集と 薬剤感受性検定の方法

2004～08 年の毎年 6 月下旬に、静岡県島田市湯日の現地茶園（以下、湯日系統）、2005 年 6 月下旬には同菊川市倉沢の静岡県農林技術研究所・茶業研究センター内茶園（以下、倉沢系統）より、チャノコカクモン雌成虫約 30～100 頭を採集し、野口（1991）の飼育方法に従って実験室内で採卵した。得られた卵を人工飼料（インセクタ LFS、日本農産工業（株）製）を餌として 25℃・16L8D 条件下で飼育し、後代 F₁ または F₂ の 2～3 齢幼虫を薬剤感受性検定に供試した。チャノコカクモンの対照系統として、1980 年代に（独）農研機構 野菜茶業研究所・金谷茶業研究拠点より当センターに分譲された薬剤感受性系統（金谷系統）の累代飼育虫を供試した。

薬剤感受性検定は、小杉（2013）の方法に準じて、当センター内の農薬無散布茶園から採集した新鮮なチャの成葉を用いた葉片浸漬法により実施した。検定には、表-1 と 2 に示した合計 15 剤の薬剤を供試した。以下、本文中の薬剤名の表記については、成分名のみで略記する。

II チャノコカクモンハマキの薬剤感受性検定結果

1 各薬剤に対するチャノコカクモンハマキの補正死虫率

表-1 に、チャノコカクモンの 5 種 IGR 剤に対する処理 10 日後の補正死虫率（以下、死虫率）を示した。湯日系統において、DAH 系のテブフェノジド、クロマフェノジド、メトキシフェノジドの 3 剤に対する死虫率は、常用濃度およびその 4 倍希釈の両濃度で、2004 年と比

Resistance to Diacylhydrazine Analog Insect Growth Regulator Insecticides in the Smaller Tea Tortrix *Adoxophyes honmai* Yasuda (Lepidoptera: Tortricidae) in the Tea Fields of Shizuoka Prefecture, Japan. By Toru UCHIYAMA and Akihito OZAWA

（キーワード：チャノコカクモンハマキ，薬剤抵抗性，IGR 剤，チャ）

表-1 チャノコカクモンハマキの5種 IGR 剤に対する処理10日後の補正死虫率
(内山ら (2013) を改変)

薬剤名 (系統名)	希釈倍数 ^a (倍)	補正死虫率 ^b (%)		
		島田市湯日系統		菊川市倉沢系統
		2004年	2005年	2005年
テブフェノジド水和剤 (DAH系)	1,000 4,000	96.6 82.8	66.7 17.3	100 100
クロマフェノジド水和剤 (DAH系)	1,000 4,000	93.1 72.4	25.1 14.3	88.9 85.2
メトキシフェノジド水和剤 (DAH系)	4,000 16,000	100 93.1	88.9 29.6	53.9 38.5
ルフェヌロン乳剤 (BU系)	2,000 8,000	100 96.6	100 85.7	100 100
フルフェノクスロン乳剤 (BU系)	4,000 16,000	100 89.7	100 85.7	92.6 88.9

^a 各薬剤の希釈倍数の上段が常用濃度。常用濃度に幅がある場合は、濃い濃度で試験した。

^b ABBOTT (1925) による補正死虫率を示す。各処理10頭×3反復の計30頭で試験した。

較して05年では、いずれも低かった。一方、BU系のルフェヌロンとフルフェノクスロンの2剤に対する死虫率は、2004年と05年で明らかな違いは認められなかった。2005年のデータについて、倉沢系統と湯日系統とを比較すると、DAH系の3剤それぞれに対する死虫率は、系統間で大きく異なったものの、BU系の2剤については、系統間で明らかな違いは認められなかった。

表-2に、チャノコカクモンのIGR剤以外の各種薬剤に対する処理7日後の死虫率を示した。湯日系統で、2004年と05年の常用濃度における死虫率が90%以上を示したのは、クロルピリホス、プロフェノホス、クロルフェナピル、メソミル、スピノサド、エマメクチン安息香酸塩およびピフェントリンの7剤であった。また、同系統において、常用濃度における死虫率が90%を下回ったのは、アセフェート、メチダチオン、フルベンジアミドの3剤であった。倉沢系統では、クロルピリホス、クロルフェナピル、メソミル、スピノサド、エマメクチン安息香酸塩およびフルベンジアミドの6剤の効果はいずれも高かった。

2 各薬剤に対する半数致死濃度 (LC₅₀ 値) および抵抗性比

表-3に、チャノコカクモン湯日系統の5種IGR剤に対する処理10日後のLC₅₀値および抵抗性比を示した。DAH系のテブフェノジドに対するLC₅₀値と抵抗性比(以下、抵抗性比はカッコ内に表示)は、2004年に23.9ppm(57.7)であり、以後、年次が経過するに従って急激に上昇した。2008年には634ppm(1,528)に達し、

常用濃度200ppmを大きく上回ったことから、テブフェノジドでは実用上問題のあるレベルまで抵抗性が発達していることが判明した。DAH系のクロマフェノジドに対するLC₅₀値は、2004年に10.7ppm(12.7)だったが、2005年には1,000ppmを超えるほどに急上昇し、常用濃度50~100ppmを大きく上回ったことから、こちらも実用上問題のあるレベルに抵抗性が発達していることが判明した。DAH系のメトキシフェノジドに対するLC₅₀値は、2004年に1.84ppm(10.2)を示し、その後上昇傾向となり、2008年には16.1ppm(89.5)に達したが、常用濃度25~50ppmは下回ったため、現状では実用上問題ない抵抗性レベルだと考えられた。BU系のルフェヌロンに対するLC₅₀値は、2004年に0.673ppm(10.0)であったのに対し、2008年の値は3.44ppm(51.3)となり、上昇傾向であったものの、DAH系3剤と比較すると、その程度は小さかった。BU系のフルフェノクスロンに対するLC₅₀値は、2004年と2005年の2か年のみのデータであるが、DAH系3剤と比較して、上昇程度は小さかった。

湯日系統のIGR剤に対する抵抗性発達の推移をわかりやすくするため、2004~08年までの5年間における、4種IGR剤に対する抵抗性比の経年変化を図-1に示した。クロマフェノジドについては、調査開始2年目の2005年には、他剤に比べて抵抗性比が急激に上昇し、信頼性のあるLC₅₀値の計算が困難となったため、2006年以降は調査を行わなかった。クロマフェノジドを除いた3剤については、いずれも年を経るごとに、抵

表-2 チャノココクモンハマキの各種薬剤に対する処理7日後の補正死亡率
(内山ら(2013)を改変)

薬剤名(系統名)	希釈倍数 ^a (倍)	補正死亡率 ^b (%)		
		島田市湯日系統		菊川市 倉沢系統
		2004年	2005年	2005年
クロルピリホス乳剤	1,000	100	100	100
(有機リン)	4,000	96.3	55.6	100
アセフェート水和剤	1,000	80.8	— ^c	—
(有機リン)	4,000	7.40	—	—
メチダチオン乳剤	1,000	46.3	—	—
(有機リン)	4,000	20.4	—	—
プロフェノホス乳剤	1,000	100	—	—
(有機リン)	4,000	96.2	—	—
クロルフェナピル水和剤	2,000	100	96.3	100
(ピロール)	8,000	14.8	55.6	25.1
メソミル水和剤	1,000	100	96.3	100
(カーバメート)	4,000	44.4	81.5	100
スピノサド水和剤	2,000	100	—	—
(スピノシン)	8,000	100	100	100
エマメクチン安息香酸塩乳剤	2,000	100	100	100
(アベルメクチン)	8,000	100	100	100
ピフェントリン水和剤	1,000	92.3	—	—
(ピレスロイド)	4,000	77.0	—	—
フルベンジアミド水和剤	2,000	—	86.2	100
(ジアミド)	8,000	—	10.3	96.6

^a 各薬剤の希釈倍数の上段が常用濃度。常用濃度に幅がある場合は、濃い濃度で試験した。

^b ABBOTT (1925) による補正死亡率を示す。各処理 10 頭×3 反復の計 30 頭で試験した。

^c データなし。

抗性比が指数関数的に上昇する傾向を示した。詳細な説明は省くが、図-1 の点線は、テブフェノジド、メトキシフェノジド、ルフエヌロンの抵抗性発達程度に関する回帰直線を示しており、その傾きが大きいほど抵抗性の発達スピードが速いことを意味する。この傾きに基づくと、テブフェノジドでは1年経過するごとに約2.3倍、メトキシフェノジドでは1.5倍、ルフエヌロンでは1.4倍に抵抗性が発達していたことになる。

表-4には、チャノココクモン湯日系統の IGR 剤以外の各種薬剤に対する処理7日後の LC₅₀ 値および抗性比を示した。これら6薬剤については、2か年または1か年のみの調査ではあるが、LC₅₀ 値の大きな上昇は認められず、値はすべて常用濃度を下回ったことから、現状では実用上問題ない抵抗性レベルだと考えられた。

III チャノココクモンハマキの薬剤抵抗性

1 DAH 系 IGR 剤に対する抵抗性

本研究では、静岡県牧之原地域のチャノココクモン現地採集系統において、DAH 系 IGR 剤に対する強度の薬剤抵抗性の発達を確認した。今回は、2004～08年までの調査であったが、テブフェノジドの使用開始から8～12年が経過し、現場での使用頻度が増加し、本剤の淘汰圧が上昇しつつある過程での検定となった。チャノココクモンについて、同一系統を5年間にわたって継続的に調査したデータはこれまでになく、本結果(表-3, 4, 図-1)からチャノココクモンがDAH系 IGR 剤に対して、年々、抵抗性を発達させている実態が明らかになった。しかし、静岡県内の他の茶産地や他府県の茶産地において同剤に対する抵抗性が発達しているかは不明なため、今後、薬剤感受性検定を実施していく必要がある。

チャノココクモンの IGR 剤に対する抵抗性の発達の

表-3 5種 IGR 剤の処理 10 日後におけるチャノコカクモンハマキ島田市湯日系統の LC₅₀ 値および抵抗性比
(内山ら (2013) を改変)

薬剤名	常用濃度 (ppm)	島田市湯日系統					
		2004 年		2005 年		2006 年	
		LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b	LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b	LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b
テブフェノジド水和剤	200	23.9	57.7	167	402	282	679
クロマフェノジド水和剤	50 ~ 100	10.7	12.7	1,841	2,177	— ^c	—
メトキシフェノジド水和剤	25 ~ 50	1.84	10.2	8.59	47.7	7.60	42.2
ルフェヌロン乳剤	16.7 ~ 25	0.673	10.0	1.20	17.9	< 3.13	< 44.6
フルフェノクスロン乳剤	25	0.551	7.65	1.12	15.6	—	—

薬剤名	島田市湯日系統				感受性系統 (金谷系統)
	2007 年		2008 年		LC ₅₀ 値 ^a (ppm)
	LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b	LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b	
テブフェノジド水和剤	414	997	634	1,528	0.415
クロマフェノジド水和剤	—	—	—	—	0.846
メトキシフェノジド水和剤	18.6	103	16.1	89.5	0.180 ^d
ルフェヌロン乳剤	0.826	12.3	3.44	51.3	0.067
フルフェノクスロン乳剤	—	—	—	—	0.072

^a LC₅₀ 値はプロビット法により算出した。

^b 抵抗性比 = (処理 10 日後における各 LC₅₀ 値) / (処理 10 日後における感受性系統の LC₅₀ 値)。

^c データなし。

^d 処理 10 日後の LC₅₀ 値が算出不能のため、処理 8 日後の数値を用いた。

スピードに関しては、DAH 系のほうが BU 系よりも速かった (表-3, 図-1)。特にテブフェノジドについては、1 年で約 2.3 倍のスピードと推定され、10 年では約 4,100 倍の抵抗性が発達することになる。BU 系についても、抗性比が年々上昇している (表-3, 図-1) ことから、DAH 系とともに今後の抵抗性発達について、注意深く監視する必要がある。図-1 より、ルフェヌロンに対する抵抗性は、年に 1.4 倍のスピードと推定され、2008 年以後は 3 ~ 4 年で 100 倍を超える可能性があるため、注意が必要である。

2 カーバメート剤と有機リン剤に対する抵抗性

チャノコカクモンでは、1986 年に静岡県島田市でカーバメート系のメソミル (白井ら, 1988), 1997 年に静岡県同市で有機リン系のクロルピリホスに関して感受性低下の報告があるが (小杉, 1999), これらのデータと今回の検定結果 (表-4) を比較すると、感受性が回復傾向にあることが示唆された。非選択性殺虫剤であるカーバメート剤や有機リン剤は、同地域における感受性の低

下に加え、天敵保護等の観点から使用が敬遠されることも重なり、近年では現場でほとんど使用されていない。このことが感受性の回復に関係している可能性がある。

3 交差抵抗性

チャノコカクモンの IGR 剤に対する感受性について、DAH 系と BU 系に対する感受性の低下程度や抵抗性の発達程度は異なっていた (表-1, 3, 図-1)。本種と同じハマキガ科に属するコドリノガ *Cydia pomonella* では、フランスにおいて DAH 系のテブフェノジドと BU 系のジフルベンズロンに対する抵抗性が交差しているとの報告 (SAUPHANOR and BOUVIER, 1995) があるものの、IGR 両系統に対する交差抵抗性については、本事例以外に報告されていない。今回の結果からは、チャノコカクモンにおいて両系統に対する抵抗性が交差しているとは考えにくい。また、海外におけるハマキガ科の害虫では、北米においてハスオビハマキ *Choristoneura rosaceana* が、有機リン系のアジンホスメチルと DAH 系のテブフェノジドおよびメトキシフェノジドに対する抵抗性が交差して

表-4 6 薬剤の処理7日後におけるチャノココクモンハマキ島田市湯日系統の LC₅₀ 値および抵抗性比 (内山ら (2013) を改変)

薬剤名	常用濃度 (ppm)	島田市湯日系統				感受性系統 (金谷系統) LC ₅₀ 値 ^a (ppm)
		2004 年		2005 年		
		LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b	LC ₅₀ 値 ^a (ppm)	抵抗性比 ^b	
クロルピリホス乳剤	267 ~ 400	23.6	3.05	30.3	3.92	7.73
クロルフェナピル水和剤	50	28.5	4.19	6.21	0.915	6.79
メソミル水和剤	300 ~ 450	122	3.78	82.2	2.55	32.2
スピノサド水和剤	50 ~ 100	2.88	4.07	1.98	2.80	0.707
エマメクチン安息香酸塩乳剤	5 ~ 10	< 0.156	—	< 0.0391	—	0.014
フルベンジアミド水和剤	100	— ^c	—	(61.8)	35.3 ^d	1.75 ^e

^a LC₅₀ 値はプロビット法により算出した。

^b 抵抗性比 = (処理 10 日後における各 LC₅₀ 値) / (処理 10 日後における感受性系統の LC₅₀ 値)。

^c データなし。

^d LC₅₀ 値算出の際、 χ^2 検定で有意ではなかったため参考データとして示した。

^e 処理 8 日後のデータ。

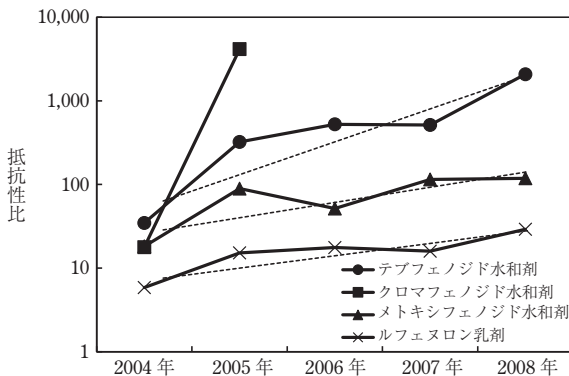


図-1 チャノココクモンハマキ島田市湯日系統の4種 IGR 剤に対する抵抗性比の経年変化 (内山ら (2013) を改変)

いるとの報告がある (SMIRLE et al, 2002; DUNLEY et al., 2006)。しかし、今回の調査では、DAH 系のテブフェノジドおよびメトキシフェノジドで抵抗性の発達が確認されたものの、有機リン系のクロルピリホスでは感受性の低下は認められなかった (表-4)。よって、これら系統に対する抵抗性が交差している可能性は低いと考えられる。

IGR 剤の DAH 系 3 剤間の交差抵抗性についてはどうだろうか。湯日系統においては DAH 系 3 剤のうち、テブフェノジドおよびクロマフェノジドについては、実用上問題のあるレベルの抵抗性が発達していたのに対し、メトキシフェノジドでは実用上問題のないレベルでの感受性低下にとどまっていた (表-1, 3)。一方、データには示していないが、静岡県牧之原地域の倉沢系統では、

テブフェノジドおよびクロマフェノジドについては、実用上問題のないレベルの感受性低下が認められたが、メトキシフェノジドでは実用上問題のあるレベルで抵抗性が発達していた (内山ら, 2013)。つまりチャノココクモンの湯日系統と倉沢系統では、テブフェノジドおよびクロマフェノジドの 2 剤とメトキシフェノジドで、全く逆の感受性を示したことになる。よって、テブフェノジドおよびクロマフェノジドの 2 剤については抵抗性が交差している可能性があり、メトキシフェノジドのみ、他の DAH 系 2 剤とは抵抗性に交差関係がないか弱い可能性がある。

おわりに

今回は、静岡県牧之原地域のチャノココクモン系統における 2008 年までの薬剤感受性検定の結果を紹介し、DAH 系 IGR 剤に対して強度の抵抗性を発達させている実態を報告した。2009 年以降も引き続き本虫の薬剤感受性検定を実施しており、静岡県内の他の茶産地においても DAH 系 IGR 剤に対する強度抵抗性を確認している (内山・小澤, 未発表)。さらに、ハマキガ類防除の基幹薬剤として 2007 年以降に使用頻度が高まっている新系統のジアミド系殺虫剤に対しても、チャノココクモンが抵抗性を発達させていることが、最近の研究で明らかになりつつある (内山・小澤, 2012)。近年、静岡県の各茶産地では、病害虫の薬剤抵抗性の発達を防ぐために、系統の異なる薬剤のローテーションを考慮した防除体系が組まれている。それにもかかわらず、チャノココクモンでは DAH 系やジアミド系等の各種薬剤に対して

複合抵抗性が発達している。今後は、本虫の複合抵抗性に関して、その抵抗性発達機構を明らかにする必要がある。具体的には、抵抗性遺伝子の特定、抵抗性の遺伝様式や交差抵抗性の解明などが挙げられる。これらを地道に明らかにすることが、生産現場において薬剤抵抗性の発達を遅延させるための防除体系の構築に繋がると考えられる。

引用文献

- 1) ABBOTT, W. S. (1925): J. Econ. Entomol. **18**: 265 ~ 267.
- 2) DUNLEY, et al. (2006): J. Insect Sci. **6**: 1 ~ 7.
- 3) 小杉由起夫 (1999): 関東病虫研報 **46**: 123 ~ 126.
- 4) ——— (2013): 農業害虫の薬剤感受性検定マニュアル, 農業害虫の薬剤感受性検定マニュアル編集委員会 編, 日本植物防疫協会, 東京, p. 114 ~ 116.
- 5) 南川仁博・刑部 勝 (1979): 茶樹の害虫, 日本植物防疫協会, 東京, p. 99 ~ 113.
- 6) 野口 浩 (1991): 昆虫の飼育法, 湯嶋 健ら 編, 日本植物防疫協会, 東京, p. 91 ~ 96.
- 7) SAUPHANOR, B. and J. C. BOUVIER (1995): Pestic. Sci. **45**: 369 ~ 375.
- 8) 白井 満ら (1988): 関東病虫研報 **35**: 189 ~ 190.
- 9) SMIRLE, et al. (2002): J. Econ. Entomol. **95**: 820 ~ 825.
- 10) 内山 徹・小澤朗人 (2012): 第17回農林害虫防除研究会報告 **27** (講要).
- 11) ———ら (2013): 応動昆 **57**: 85 ~ 93.

農薬作用機構分類一覧

農薬作用機構分類一覧

我が国で登録のある殺虫剤、殺菌剤を対象に、農薬製品ごとの作用性系統分類を一覧表にして掲載しました。農薬の作用機構分類は、農薬工業会が公表している殺菌剤耐性菌管理委員会 (FRAC)、殺虫剤抵抗性管理委員会 (IRAC) の系統分類表に従っています。農薬製品ごとの作用機構分類が簡単に確認できます。

A4判 117頁, 定価900円(本体)+税, 送料 サービス

お問合せは下記へ

一般社団法人日本植物防疫協会 支援事業部

〒114-0015 東京都北区中里 2-28-10

TEL 03-5980-2183 FAX 03-5980-6753

<http://www.jpfa.or.jp/> order@jpfa.or.jp

一般社団法人 日本植物防疫協会