チャノコカクモンハマキ (チョウ目: ハマキガ科) における テブフェノジド剤抵抗性の遺伝様式

内山 徹*・小澤 朗人

静岡県農林技術研究所茶業研究センター

Inheritance of Tebufenozide Resistance in the Smaller Tea Tortrix, *Adoxophyes honmai* (Lepidoptera: Tortricidae). Toru UCHIYAMA* and Akihito OZAWA Tea Research Center, Shizuoka Research Institute of Agriculture and Forestry; 1706-11 Kurasawa, Kikugawa, Shizuoka 439-0002, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 59: 127-131 (2015)

Abstract: We investigated the inheritance of tebufenozide resistance in the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* Yasuda, by crossing experiments using resistant (R) and susceptible (S) strains of Shizuoka Prefecture. The lethal concentration 50 values (ppm) of tebufenozide in the R and S strains were 595 and 4.46, respectively. The results of the F_1 and F_1' strains suggested that resistance to tebufenozide was inherited as an autosomal and incompletely dominant trait. Furthermore, the results of F_2 , F_2' , and backcross strains showed that the resistance was controlled by polygenic factors.

Key words: *Adoxophyes honmai*; tebufenozide; insecticide resistance; inheritance

緒 言

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, チャノコカクモンハマキ) *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つくり, その中で葉を加害する (南川・刑部, 1979). また, 多発すると新芽の生育遅延や収量の低下など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, 両ハマキガ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, 2005 年から 2014 年までの 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ハマキが多発生している. この一因として, 牧之原地域のチャノコカクモンハマキにおける基幹防除剤のジアシルヒドラジン系昆虫成長制御剤 (以下, DAH 系 IGR 剤) やジアミド系殺虫剤 (以下, ジアミド剤) に対する抵抗性の発達が挙げられている (内山ら, 2013; Uchiyama and Ozawa, 2014).

近年, 牧之原地域においてチャノコカクモンハマキ個体群が, DAH 系 IGR 剤のうち特にテブフェノジド水和剤 (以下, テブフェノジド剤) に対する抵抗性を急速に発達させて

いる (内山ら, 2013). すなわち, 2004 年から 2008 年における本個体群のテブフェノジド剤抵抗性は, 抵抗性比が 1 年経過するごとに 2.3 倍となり, 他の IGR 剤のメトキシフェノジド水和剤 (同 1.5 倍) やルフェヌロン乳剤 (同 1.4 倍) と比較しても, その発達速度は速い (内山ら, 2013). しかしながら, 本種のテブフェノジド剤抵抗性が, なぜ急速に発達しているのか, そのメカニズムは解明されていない.

抵抗性の遺伝様式を知ることは, 抵抗性発達を予測する際に重要な情報となる (Roush and Croft, 1986). これまでに, チャノコカクモンハマキでは, 交信攪乱フェロモン剤抵抗性が, 常染色体性の単一因子によって支配されている遺伝様式であるとの報告があるが (Tabata et al., 2007), 殺虫剤抵抗性の遺伝様式は明らかになっていない. また, ハマキガ科害虫の殺虫剤抵抗性については, 我が国において, リンゴコカクモンハマキ *Adoxophyes orana fasciata* Walsingham で有機リン剤抵抗性の遺伝様式に関する報告があるものの, その詳細な解明には至っていない (舟山・高橋, 1995). 海外においては, ハマキガ科のコドリリンガ *Cydia pomonella* (L.) で, ピレスロイド剤抵抗性が, 常染色体性で不完全劣性の遺伝様式を示すと報告されている (Bouvier et al., 2001).

*E-mail: toru2_uchiyama@pref.shizuoka.lg.jp

2014 年 12 月 5 日受領 (Received 5 December 2014)

2015 年 5 月 8 日登載決定 (Accepted 8 May 2015)

DOI: 10.1303/jjaez.2015.127

本研究では、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤に対する抵抗性発達のメカニズム解明に繋がる知見を得るために、本剤抵抗性系統と感受性系統をもとにした交配試験を行い、本剤抵抗性の遺伝様式を明らかにしたので、その結果を報告する。

本文に先立ち、論文作成に有益な助言や情報をいただいた静岡大学農学部西東 力教授、農研機構・中央農業総合研究センターの日本典秀博士、上杉龍士博士、農研機構・九州沖縄農業研究センターの松村正哉博士に感謝の意を表す。また、供試虫の採集や交配、薬剤感受性検定に協力いただいた、当センターの住川純子氏、鬼窪多津子氏、研修生および静岡県立農林大学校茶業分校の学生諸氏に感謝する。なお、本研究は、農林水産省委託研究プロジェクト「ゲノム情報を活用した農産物の次世代生産基盤技術の開発」のうち、「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発 (RPM1202)」により実施した。

材料および方法

1. 供試虫

供試したテブフェノジド剤抵抗性系統 (以下, R 系統) は, 2009 年 5 月に静岡県牧之原市布引原の現地茶園から雌成虫 20 頭以上を採集し, 採卵後, 野口 (1991) の方法に従って累代飼育した。感受性系統 (以下, S 系統) は, 1960 年代に農研機構・野菜茶業研究所金谷茶業研究拠点の茶園で採集・累代飼育され, 1980 年代に静岡県農林技術研究所茶業研究センターに分譲された後, 累代飼育した。チャノコカクモンハマキ両系統とも, 人工飼料 (インセクタ LFS,

日本農産工業 (株) 製) を餌として用いた。

2. 交 配

チャノコカクモンハマキ各系統の成虫の交配は, プラスチックケース (22×16×4.3 cm) を用いて行った。本ケース内に, 成虫の給水用として水道水で湿らせた脱脂綿を入れ, 羽化直後～3 日以内の未交尾成虫を, 雄 25 頭, 雌 20 頭の割合で放し, ケース上部にグラシン紙を挟み込んで蓋をし, 恒温室に静置した。各系統について, この採卵容器を 4～6 個セットし, 薬剤感受性検定に必要となる供試幼虫数を確保した。なお, グラシン紙に付着した卵塊はすべて切り出し, 複数の採卵容器から得られた卵塊をひとまとめにした後, インセクタ LFS を餌として集団飼育した。

Table 1 に, R 系統と S 系統をもとに交配により得た系統名を示した。R 系統 (雄)×S 系統 (雌) により F₁ 系統, S 系統 (雄)×R 系統 (雌) により F₁' 系統を得た。この R 系統と S 系統の正逆交配によって得られた F₁ および F₁' 系統の薬剤感受性検定を行い, 後述の 4. データ解析で示した手法により, テブフェノジド剤抵抗性の優性度 *D* (Stone, 1968) および伴性遺伝か否かを確認した。

F₁ 系統 (雄)×F₁ 系統 (雌) により F₂ 系統, F₁' 系統 (雄)×F₁' 系統 (雌) により F₂' 系統を得た。また, F₁ および F₁' 系統に R 系統を戻し交配し, B_{R1} (F₁ 系統 (雄)×R 系統 (雌)), B_{R2} (F₁' 系統 (雄)×R 系統 (雌)), B_{R3} (R 系統 (雄)×F₁ 系統 (雌)), B_{R4} (R 系統 (雄)×F₁' 系統 (雌)) の 4 系統を得た。さらに, F₁ および F₁' 系統に S 系統を戻し交配し, B_{S1} (F₁ 系統 (雄)×S 系統 (雌)), B_{S2} (F₁' 系統 (雄)×S 系統 (雌)), B_{S3} (S 系統 (雄)×F₁ 系統 (雌)), B_{S4} (S 系統 (雄)×F₁' 系

Table 1. Susceptibility of 2nd and 3rd instar larvae of *Adoxophyes honmai* to tebufenozide

Strain (cross) ^a	LC ₅₀ (ppm)	(95% CI) ^b	Slope±SE	RR ^c	<i>n</i> ^d	df ^e	χ ²
R	595	(522–711)	4.57±0.73	133	182	13	12.5
S	4.46	(3.59–5.40)	5.73±1.09	1.00	145	10	10.5
F ₁ (R×S)	83.3	(67.0–108)	3.41±0.38	18.7	259	22	46.1
F ₁ ' (S×R)	88.0	(62.4–113)	2.86±0.57	19.7	256	22	26.3
F ₂ (F ₁ ×F ₁)	78.7	(58.2–100)	1.91±0.22	17.6	403	37	35.8
F ₂ ' (F ₁ '×F ₁)	103	(74.8–132)	1.96±0.27	23.1	374	37	30.6
Backcross							
B _{R1} (F ₁ ×R)	223	(160–286)	2.67±0.45	50.0	227	19	20.2
B _{R2} (F ₁ '×R)	191	(150–233)	2.71±0.36	42.8	292	25	22.1
B _{R3} (R×F ₁)	178	(136–223)	2.70±0.36	39.9	240	22	24.8
B _{R4} (R×F ₁)	173	(134–220)	2.69±0.49	38.8	189	16	16.3
B _{S1} (F ₁ ×S)	32.3	(15.0–52.7)	1.84±0.38	7.24	181	16	37.7
B _{S2} (F ₁ '×S)	24.2	(18.6–31.0)	2.00±0.22	5.43	280	25	31.3
B _{S3} (S×F ₁)	28.2	(21.6–35.3)	2.27±0.26	6.32	276	25	31.3
B _{S4} (S×F ₁)	25.9	(20.9–31.9)	2.04±0.22	5.81	277	25	21.1

^a The strains used for crossing (male×female of a strain).

^b Confidence interval.

^c Resistance ratio: LC₅₀ of each data point/LC₅₀ of S strain.

^d Number of larvae tested; including controls.

^e Degree of freedom.

統(雌)の4系統を得た。F₂およびF₂'系統、上述の戻し交配による8系統を作出した後、薬剤感受性検定を行い、後述の4. データ解析で示した手法によりテブフェノジド剤抵抗性遺伝子が単一か否かを確認した。

3. 供試薬剤と薬剤感受性検定

試験にはテブフェノジド水和剤(有効成分20%, 日本農薬(株)製)を供試した。薬剤感受性検定は、小杉(1998)の方法に準じて、静岡県農林技術研究所茶業研究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チャ葉浸漬法により実施した。薬剤は、半数致死濃度LC₅₀値(成分濃度)を求めるために、水道水を用いて250~90,000倍の8~13段階に希釈して用いた。チャ成葉を所定の薬液に10秒間浸漬して風乾後、濾紙を敷いた丸型スチロール製容器(内径78mm, 深さ44mm)に6枚入れ、2~3歳の供試虫を10頭ずつ放した。チャ葉の乾燥を防ぐために通気性のない蓋で閉じ、恒温室(25°C, 16L8D)に静置した。これを各処理に3反復ずつ行い(合計30頭)、処理3~6日後のいずれか1日と8日および10日後の3回、生死を調査した。テブフェノジド剤は、チャノコカクモンハマキに対して遅効的な殺虫効果を示し、処理8日後にも苦悶虫が観察されたため、最終的な生死の判定は調査3回目の処理10日後とし、死虫率は10日後の生死をもとに算出した。なお、苦悶虫は死虫として扱った。

4. データ解析

各処理における供試虫の死虫率は、Abbott(1925)により補正した。LC₅₀値は、Polo Plus version 2.0(LeOra Software, 2002)を用いて、プロビット法により算出した。さらに、得られたLC₅₀値をもとに、S系統のLC₅₀値に対する抵抗性比(各LC₅₀値/S系統のLC₅₀値)を求めた。

F₁またはF₁'系統における優性度Dは、Stone(1968)の次式により算出した。

$$D = (2X_2 - X_1 - X_3) / (X_1 - X_3)$$

ここでは、X₁=log₁₀(R系統のLC₅₀値)、X₂=log₁₀(F₁またはF₁'系統のLC₅₀値)、X₃=log₁₀(S系統のLC₅₀値)を示す。なお、D=1の場合は完全優性、0<D<1の場合は不完全優性、-1<D<0の場合は不完全劣性、D=-1の場合は完全劣性と判断される。

テブフェノジド剤抵抗性が単一因子に支配されているか否かの判断は、Tsukamoto(1963)に従った。すなわち、抵抗性が単一因子により支配されている場合、F₁およびF₁'系統にR系統とS系統を戻し交配した8系統のテブフェノジド濃度-プロビット死虫率の曲線において、50%プロビット死虫率(プロビット値5.0)の位置にプラトーが検出される。また、同様に単一因子により支配されている場合、F₂およびF₂'系統の曲線において、25%および75%プロビット死虫率(プロビット値4.3および5.7)の位置にプラトーが検出される。

Fig. 1. Dose responses of *Adoxophyes honmai* R, S, F₁, and F₁' strains to tebufenozide.

結 果

1. R系統およびS系統の薬剤感受性

Table 1に、RおよびS系統と、これらをもとに交配により作出した各系統のテブフェノジド剤に対する薬剤感受性を示した。RおよびS系統のLC₅₀値は、それぞれ595ppm、4.46ppmであった。R系統の抵抗性比は133倍と見積もられ、S系統と比較して強度に抵抗性が発達していた。Fig. 1には、RおよびS系統のテブフェノジド濃度-プロビット死虫率の関係を示した。R系統におけるプロビット回帰直線の傾きは4.57、同様にS系統の傾きは5.73となり(Table 1)、交配で得られた他の系統(F₁系統: 3.41; F₁'系統: 2.86)と比較して、R系統とS系統ともに傾きが大きかった。

2. F₁およびF₁'系統の薬剤感受性

F₁およびF₁'系統のLC₅₀値は、それぞれ83.3ppmおよび88.0ppmを示し(Table 1)、両系統のプロビット回帰直線もほぼ一致した(Fig. 1)。よって、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は伴性遺伝ではなく、常染色体性の遺伝であることが示唆された。また、F₁およびF₁'系統のプロビット回帰直線は、R系統とS系統の直線の間に位置した(Fig. 1)。F₁およびF₁'系統の優性度Dは、それぞれ0.196および0.219を示し、両系統とも0<D<1の値であったことから、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は不完全優性の遺伝様式であることが示唆された。

3. F₂およびF₂'系統、戻し交配による8系統の薬剤感受性

F₂およびF₂'系統のLC₅₀値は、それぞれ78.7ppmおよび103ppmを示した(Table 1)。また、両系統について、テブフェノジド濃度-プロビット死虫率の関係をFig. 2に示した。25%および75%プロビット死虫率(プロビット値4.3および5.7)の位置にプラトーは検出されなかった。

F₁およびF₁'系統にR系統を戻し交配したB_{R1}、B_{R2}、B_{R3}およびB_{R4}の4系統のLC₅₀値は、順に223ppm、191ppm、178ppmおよび173ppmであった(Table 1)。また、テブフェノジド濃度-プロビット死虫率のプロットは、これら

Fig. 2. Dose responses of *Adoxophyes honmai* F₂ and F₂' strains to tebufenozide.

Fig. 3. Dose responses of *Adoxophyes honmai* backcross strains to tebufenozide.

の4系統すべてで、R系統とF₁およびF₁'系統のプロビット回帰直線の間に位置したが、50%プロビット死虫率（プロビット値5.0）の位置にプラトーは検出されなかった（Fig. 3）。F₁およびF₁'系統にS系統を戻し交配したBS₁、BS₂、BS₃およびBS₄の4系統のLC₅₀値は、順に32.3ppm、24.2ppm、28.2ppmおよび25.9ppmを示した（Table 1）。また、テブフェノジド濃度–プロビット死虫率のプロットは、これらの4系統すべてで、S系統とF₁およびF₁'系統のプロビット回帰直線の間に位置したが、50%プロビット死虫率（プロビット値5.0）の位置にプラトーは検出されなかった（Fig. 3）。

F₂およびF₂'系統、戻し交配による8系統の薬剤感受性検定の結果より、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は、単一ではなく複数因子により支配されていることが示唆された。

考 察

本研究において、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は、常染色体性の複数因子による不完全優性の遺伝様式を示すことが示唆された。チャノコカクモンハマキにおける殺虫剤抵抗性の遺伝様式については、本研究が初めての報告となる。ハマキガ科害虫の殺虫剤抵抗性に

ついて、遺伝様式が明確にされている唯一の事例として、コドリガのピレスロイド剤抵抗性が挙げられ、常染色体性の複数因子による不完全優性の遺伝様式を示すことが示唆されている（Bouvier et al., 2001）。また、テブフェノジド剤抵抗性については、シロイチモジヨトウ *Spodoptera exigua* (Hübner) で唯一の報告があり、常染色体性の複数因子による不完全優性の遺伝様式を示すことが示唆されている（Jia et al., 2009）。これらの2事例と、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は、常染色体性の複数因子であるという点は一致しているが、チャノコカクモンハマキのみ不完全優性の遺伝様式を示すという点で異なっている。

静岡県牧之原地域において、チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性が、急速に発達していることが明らかになっている（内山ら, 2013）。殺虫剤抵抗性の発達シミュレーションでは、抵抗性遺伝子が低頻度である場合、その発達速度は劣性であれば優性の場合よりも遅延し、その遅延効果は個体の移出入によってさらに高まることを示唆されている（Georghiou and Taylor, 1977; Taylor and Georghiou, 1979）。この考えに基づくと、不完全優性を示したチャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は、不完全劣性を示したコドリガのピレスロイド剤抵抗性およびシロイチモジヨトウのテブフェノジド剤抵抗性に比べて、抵抗性の発達が速いことが示唆される。また、一般的に複数因子よりも単一因子により抵抗性が支配されている方が、抵抗性遺伝子が拡散しやすいと考えられている。このことは、殺ダニ剤抵抗性（Roush and McKenzie, 1987）や、捕食性ダニ *Metaseius occidentalis* (Nesbitt) のピレスロイド剤およびカーバメート剤抵抗性（Hoy et al., 1980; Roush and Hoy, 1981）に関する研究により支持されている。チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性は、複数因子によって支配されていることが示唆されたことから、抵抗性遺伝子が拡散しにくく、牧之原地域のような特定の地域で急速に抵抗性が発達した可能性が考えられる。なお、本剤抵抗性に関する遺伝子数は不明であるが、Lande (1981) は遺伝子数の解析方法を提案しており、今後は解析の余地がある。

静岡県牧之原地域のチャノコカクモンハマキでは、近年のジアミド剤抵抗性（Uchiyama and Ozawa, 2014）やDAH系IGR剤抵抗性（内山ら, 2013）だけでなく、1980～90年代におけるカーバメート剤（白井ら, 1988）、有機リン剤およびピレスロイド剤（小杉, 1999）に対する抵抗性も確認されている。生産現場において殺虫剤抵抗性管理のための防除体系を構築するためには、殺虫剤抵抗性メカニズムをさらに詳細に解明する必要がある。今後は、チャノコカクモンハマキのジアミド剤抵抗性（Uchiyama and Ozawa, 2014）の遺伝様式や、本種の各種殺虫剤に対する複合抵抗

性に交差抵抗性が関与している可能性についても詳細な調査を行う必要がある。

摘 要

チャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai* Yasuda のテブフェノジド剤抵抗性メカニズムの解明につながる知見を得るために、本剤抵抗性について遺伝様式の解明を試みた。テブフェノジド剤に対する半数致死濃度 LC_{50} 値がそれぞれ 595 ppm, 4.46 ppm の抵抗性系統と感受性系統を用いた交配試験の結果、本種のテブフェノジド剤抵抗性は常染色体性の不完全優性の遺伝様式を示すことが示唆された。また、戻し交配試験により、抵抗性は複数因子によって支配されていることが示唆された。

引 用 文 献

- Abbott, W. S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265–267.
- Bouvier, J. C., R. Buès, T. Boivin, L. Boudinhon, D. Beslay and B. Sauphanor (2001) Deltamethrin resistance in the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): inheritance and number of genes involved. *Heredity* 87: 456–462.
- 舟山 健・高橋佑治 (1995) 秋田県におけるリンゴコカクモンハマキのクロルピリホスに対する抵抗性. 応動昆 39: 81–83. [Funayama, K. and Y. Takahashi (1995) Development of Chlorpyrifos resistance in a leafroller moth, *Adoxophyes orana fasciata* Walsingham (Lepidoptera: Tortricidae) in southern Akita Prefecture. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 39: 81–83.]
- Georghiou, G. P. and C. E. Taylor (1977) Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *J. Econ. Entomol.* 70: 319–323.
- Hoy, M. A., N. F. Knop and J. L. Joos (1980) Pyrethroid resistance persists in spider mite predator. *Calif. Agric.* 34: 11–12.
- Jia, B., Y. Liu, Y. C. Zhu, X. Liu, C. Gao and J. Shen (2009) Inheritance, fitness cost and mechanism of resistance to tebufenozide in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag. Sci.* 65: 996–1002.
- 小杉由紀夫 (1998) 農業害虫の薬剤感受性検定マニュアル (17) 茶害虫: チャノコカクモンハマキ, チャハマキ. 植物防疫 52: 48–50. [Kosugi, Y. (1998) Methods for measurement of susceptibility of agricultural insect pests to insecticides (17). The smaller tea tortrix *Adoxophyes honmai* and the oriental tea tortrix *Homona magnanima*. *Plant Prot.* 52: 48–50.]
- 小杉由紀夫 (1999) 静岡県島田市におけるチャノコカクモンハマキの薬剤感受性低下. 関東病虫研報 46: 123–126. [Kosugi, Y. (1999) Decline in the susceptibility of smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* to some insecticides in Shimada city, Shizuoka Prefecture. *Annu. Rep. Kanto Plant Prot. Soc.* 46: 123–126.]
- Lande, R. (1981) The number of genes contributing to quantitative variation between and within populations. *Genetics* 99: 541–553.
- LeOra Software (2002) *Polo Plus version 2.0*. LeOra Software, Petaluma.
- 南川仁博・刑部 勝 (1979) 茶樹の害虫. 日本植物防疫協会, 東京. 322 pp. [Minamikawa, J. and M. Osakabe (1979) *Insect Pests of Tea Plant*. Japan Plant Protection Association, Tokyo. 322 pp.]
- 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, pp. 91–96. [Noguchi, H. (1998) *Rearing Method of Insects* (T. Yushima et al., ed.). Japan Plant Protection Association, Tokyo, pp. 91–96.]
- Roush, R. T. and B. A. Croft (1986) *Experimental population genetics and ecological studies of pesticide resistance in insects and mites*. In *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 257–270.
- Roush, R. T. and M. A. Hoy (1981) Laboratory, glasshouse, and field studies of artificial selected carbaryl resistance in *Metaseiulus occidentalis*. *J. Econ. Entomol.* 74: 142–147.
- Roush, R. T. and J. A. McKenzie (1987) Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annu. Rev. Entomol.* 32: 361–380.
- 白井 満・小林久俊・伊藤善文・堀田 柏・竹島節夫 (1988) 静岡県におけるチャハマキに対するランネートの感受性低下について. 関東病虫研報 35: 189–190. [Shirai, M., H. Kobayashi, H. Ito, K. Hotta and S. Takeshima (1988) Decline in the susceptibility of *Homona magnanima* Diaknoff to methomyl in Shizuoka Prefecture. *Annu. Rep. Kanto Plant Prot. Soc.* 35: 189–190.]
- Stone, B. F. (1968) A formula for determining degree of dominance in cases of mono factorial inheritance of resistance to chemicals. *Bull. World Health Organ.* 38: 325–326.
- Tabata, J., H. Noguchi, Y. Kainoh, F. Mochizuki and H. Sugie (2007) Behavioral response to sex pheromone-component blends in the mating disruption-resistant strain of the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* Yasuda (Lepidoptera: Tortricidae), and its mode of inheritance. *Appl. Entomol. Zool.* 42: 675–683.
- Taylor, C. E. and G. P. Georghiou (1979) Suppression of insecticide resistance by alteration of gene dominance and migration. *J. Econ. Entomol.* 72: 105–109.
- Tsukamoto, M. (1963) The log dosage-probit mortality curve in genetic researches of insect resistance to insecticide. *Botyu-Kagaku*. 28: 91–98.
- Uchiyama, T. and A. Ozawa (2014) Rapid development of resistance to diamide insecticides in the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* (Lepidoptera: Tortricidae), in the tea fields of Shizuoka Prefecture, Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 49: 529–534.
- 内山 徹・小澤朗人・劉 主 (2013) 静岡県のチャ園に生息するチャノコカクモンハマキの薬剤感受性とジアシルヒドラジン系 IGR 剤に対する薬剤抵抗性. 応動昆 57: 85–93. [Uchiyama, T., A. Ozawa and J. Yoo (2013) Susceptibility and resistance to diacylhydrazine analog insect growth regulator insecticides in the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* Yasuda (Lepidoptera: Tortricidae), collected in tea fields in Shizuoka Prefecture, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 57: 85–93.]