チャノホソガ (チョウ目: ホソガ科) の異なる発育ステージに対する 各種薬剤の効果

上室 剛*・東垂水 昭子・末永 博†

鹿児島県農業開発総合センター茶業部

Laboratory Evaluation of Insecticides against Different Life Stages of the Tea Leaf Roller, *Caloptilia theivora* (Lepidoptera: Gracillariidae). Takeshi KAMIMURO,* Shoko HIGASHITARUMIZU and Hiroshi SUENAGA†† Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development, Tea Division; Minamikyushu, Kagoshima 897-0303, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 60: 111-118 (2016)

Abstract: The effects of 28 insecticides of 11 types on different life stages of the tea leaf roller, *Caloptilia theivora* (Walsingham) were investigated in our laboratory. The following life stages were examined: egg stage, early leaf-mining stage, late leaf-mining stage, and leaf edge rolling stage. We compared the effects of the different insecticides and examined which life stages were most sensitive to each agent. Insect growth regulators (IGR) were found to be highly effective from the egg stage to the early leaf-mining stage. Neonicotinoid was highly effective in inhibiting egg hatching. Pyrethroid・pyrethrin, avermectin, spinosyn, nereistoxin, and diamide were all highly effective against all of the life stages tested. Application of BT and some IGRs during leaf edge rolling allowed the creation of triangular-shaped leaves, however, it killed the larvae in these leaves, reducing the excretion of the larval feces that is responsible for discoloration of green tea extracts. Organophosphate and METI were comparatively less effective against all of the life stages tested. These results revealed the importance of considering life stage when selecting insecticides for control of the tea leaf roller.

Key words: *Caloptilia theivora* (Walsingham); life stages; insecticides

緒 言

チャノホソガ *Caloptilia theivora* (Walsingham) は、チャ *Cammellia cinere* L. の重要害虫で、老齢幼虫がチャの新葉を三角形に巻葉し、食害する(南川・刑部, 1979)。しかし、本種による被害は、製造された茶に現われる。三角巻葉を含む新芽から製造された茶は、巻葉内の虫糞の影響で浸出液が赤みを帯び、製品の品質を落とす(小泊, 1975)。そのため、本種の被害許容水準は、三角巻葉数では 1m² 当たり 30~40 枚(小泊, 1975)、三角巻葉が形成された被害芽の比率では 3.7%(大橋, 2000)、新芽に対する三角巻葉の重量割合で 2% 以上(磯部・富所, 2009)と低く設定されている。

本種に対する薬剤防除は、三角巻葉の形成を防ぐため、萌芽期から開葉期に実施するのが効果的とされる(松比良

ら, 1999)。しかし、この防除時期の設定はチャの新芽の生育に合わせたものであり、本種の発育ステージごとの殺虫剤の効果は考慮されていない。本種はふ化直後に卵底から直接葉の組織に潜り込み、しばらく葉組織内部を食害し、老齢期になると葉表に出て新しい葉を三角に巻葉し、その内部で葉表を食害する(南川・植田, 1960)。このため、浸透移行性か接触型かなど、使用する薬剤の性質により、各発育ステージに対する防除効果が異なることが予想される。小杉(2000a, b)は、本種の卵や幼虫が寄生した新芽を枝ごと茶園から採取してこれに薬剤処理を施し、異なる発育ステージに対する殺虫剤の効果の違いを報告した。しかし、これまで室内で幼虫の発育を管理し、発育ステージ別に様々な薬剤の効果を評価した報告はない。そこで近年開発された潜葉期幼虫の飼育法(坂巻ら, 2011)を利用し、異なる発育ステージに対する各種薬剤の効果を判

* 責任著者

† 現在 鹿児島県農業開発総合センター熊毛支場

†† Present address: Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development, Kumage Branch, Nishinoomote, Kagoshima 891-3101, Japan.

2014 年 11 月 26 日受領 (Received 26 November 2014)

2016 年 3 月 29 日登載決定 (Accepted 29 March 2016)

DOI: 10.1303/jjaez.2016.111

定し、それらの結果から各種薬剤の使用方法について検討したので報告する。

材料および方法

1. 供試虫および供試薬剤

試験はそれぞれ2012年および2013年に採集した個体群から作出した2系統を用いて行った。2012年6月および2013年7月に、鹿児島県農業開発総合センター茶業部（鹿児島県南九州市知覧町永里）内の茶園からチャノホソガの三角巻葉を採集し、チャのシュートを与えて飼育した幼虫から、雌雄合わせて約60～80頭の成虫個体群を得た。本試験ではこの個体群からそれぞれ作出した累代1～4世代の系統をそれぞれの試験に供試した。

試験には11系統28種類の薬剤を供試した（Table 1）。ただし、薬剤の処理時期によっては一部試験しなかった薬剤があった。それぞれの薬剤は蒸留水で常用濃度に希釈し、対照区は蒸留水で処理した。展着剤は加用しなかった。

2. 検定用のチャ葉の準備

検定に用いるチャ葉は、チョウ目害虫の防除を行っていない茶園（品種：やぶきた）から、チャノホソガの卵や潜葉がない健全なシュートを採取し、坂巻ら（2011）の方法によって調整し、試験管（口径1.2cm、高さ6cm）に1枚ずつ挿した（以下、試験管）。なお、試験時に継続してシュートが得られるよう、せん枝時期の異なる茶園を設け、その茶園から随時シュートを採取した。

3. 採卵方法

採卵は、 $23.9 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、14L10Dの条件下の恒温室内で行った。当日羽化した成虫（雌雄合計約50～100頭）を飼育箱（20×27cm、高さ36cmで二面はゴース張り）に入れて3～4日間飼育し、交尾させた。飼育箱には餌として5%のショ糖液をしみ込ませた脱脂綿を入れた。その後、雌雄2ペアを取り出し、あらかじめ産卵用の試験管10本を入れておいた円筒形の採卵ケージ（直径20cm、高さ25cmのアクリルパイプで上部はゴース張り、底部はプラスチック製の

Table 1. Insecticides tested in the present study

Type of insecticide	Common Japanese name (brand name)	Active component (%)	Dilution	Examination year
Insect growth regulator (IGR)	カスケード® 乳剤 (フルフェノクスロン)	Flufenoxuron (10)	×4,000	2012
	マッチ® 乳剤 (ルフェヌロン)	Lufenuron (5.0)	×2,000	2013
	ファルコン® フロアブル (メトキシフェノジド)	Methoxyfenozide (20)	×4,000	2012
	ノーモルト® 乳剤 (テフルベンズロン)	Teflubenzuron (5.0)	×2,000	2012
Pyrethroid · Pyrethrin	トレボン® 乳剤 (エトフェンプロックス)	Etofenprox (20)	×2,000	2013
	ロディー® 乳剤 (フェンプロパトリン)	Fenpropathrin (10)	×1,000	2013
	除虫菊乳剤3 (ピレトリン)	Pyrethrin (3.0)	×1,000	2013
Organophosphate	スプラサイド® 乳剤 (DMTP) (メチダチオン)	Methidathion (40)	×1,000	2013
	エンセダン® 乳剤 (プロフェノホス)	Profenofos (40)	×1,000	2013
Avermectin	アグリメック® (アバメクチン)	Abamectin (1.8)	×1,000	2013
	アフーム® 乳剤 (エマメクチン安息香酸塩)	Emamectin benzoate (1.0)	×2,000	2013
Neonicotinoid	ダントツ® 水溶剤 (クロチアニジン)	Clothianidin (16)	×2,000	2013
	スタークル® 顆粒水溶剤 (ジノテフラン)	Dinotefuran (20)	×2,000	2012
	アドマイヤー® 顆粒水和剤 (イミダクロプリド)	Imidacloprid (50)	×5,000	2013
	バリアード® 顆粒水和剤 (チアクロプリド)	Thiacloprid (30)	×2,000	2013
	アクタラ® 顆粒水溶剤 (チアメトキサム) ^b	Thiamethoxam (10)	×2,000	2013
Nereistoxin	パダン®SG 水溶剤 (カルタップ塩酸塩)	Cartap hydrochloride (75)	×1,500	2013
Spinosyn	ディアナ®SC (スピネトラム)	Spinetoram (11.7)	×5,000	2013
	スピノエース® フロアブル (スピノサド)	Spinosad (25)	×4,000	2013
Diamide	サムコル® フロアブル 10 (クロラントラニリプロール)	Chlorantraniliprole (10)	×4,000	2012
	エクシレル®SE (シアントラニリプロール)	Cyantraniliprole (10.2)	×2,000	2012
	フェニックス® フロアブル (フルベンジアミド)	Flubendiamide (18)	×4,000	2012
Pyrrole	コテツ® フロアブル (クロルフェナビル) ^b	Chlorfenapyr (10)	×2,000	2012
METI ^a	ハチハチ® 乳剤 (トルフェンピラド)	Tolfenpyrad (10)	×1,000	2012
BT	デルフィン® 顆粒水和剤 ^b	<i>Bacillus thuringiensis</i> (10) ^c	×1,000	2013
	エスマルク®DF	<i>Bacillus thuringiensis</i> (10) ^c	×1,000	2012
	サブリーナ® フロアブル ^b	<i>Bacillus thuringiensis</i> (10) ^c	×1,000	2013
	ゼンターリ® 顆粒水和剤 ^b	<i>Bacillus thuringiensis</i> (10) ^c	×1,000	2013

^a Mitochondrial complex I electron transport inhibitors.

^b These insecticides are not permitted by the pesticide registration under the Agricultural Chemicals Regulation Law in Japan as of October 2015.

^c Spores and toxin crystals of *B. thuringiensis*.

箱のふたを使用)に放飼した。

試験管は翌日に回収し、ふ化後の幼虫どうしの競合を防ぐため、余計な卵を針で潰して葉当たり卵数1~2卵に調整した。採卵ケージは各実験の都度8~14個セットし、数日間に渡り毎日採卵した。なお、採卵期間中に成虫が死亡した場合はその都度補充した。各薬剤の検定には、各採卵ケージからランダムに2~3本ずつ選んだ合計12~20本ずつの試験管を供試した。

回収後の試験管はそのまま恒温室内に静置し、採卵ケージから回収した日を産卵0日目とした。

4. 薬剤処理時期および方法

恒温室内(23.9±0.7℃)における予備実験から、卵期：産卵1日後、潜葉前期：産卵4日後、潜葉後期：産卵6日後、葉縁巻葉期：産卵8日後の薬剤処理日を設定した。

卵期、および潜葉前期、潜葉後期の薬剤処理は、試験管を逆さまにして葉を葉液に5秒間浸漬し、葉に付着した余分な葉液をティッシュペーパーに吸収させた後、試験管立てに静置して風乾させることにより行った。

葉縁巻葉期の薬剤処理は、葉縁巻葉を直接葉液に浸漬する(以下、巻葉直接処理)か、薬剤処理していない葉縁巻葉を薬剤に浸漬したシュートと並置する(以下、巻葉間接処理)ことにより行った。

巻葉直接処理では、葉液に5秒間浸漬処理後、風乾した葉縁巻葉を試験管開口部(脱脂綿部分)で切り離し、湿らせたろ紙(直径9cm, 以下同様)を敷いたプラスチックシャーレ(直径9cm, 以下同様)内に、薬剤無処理のシュートと並置した。

巻葉間接処理では、葉縁巻葉を薬剤処理せずに試験管開口部で切除した。その葉縁巻葉を、湿らせたろ紙を敷いたプラスチックシャーレ内に、葉液に10秒間浸漬し風乾した健全なシュートとともに並置した。なお、巻葉直接・間接処理とも、プラスチックシャーレ内にパラフィン紙(約5×7cm, 以下同様)を入れ結繭場所とした。なお、各区の供試虫数は17~40個体とした。

5. 調査方法

本種は葉縁巻葉期まで潜葉するため、処理後の発育ステージの進展を観察することにより薬剤の効果を間接的に評価した。すなわち、予備試験で次ステージに達することが想定される期間を定め、調査時にそのステージに達していない個体を死亡とした。なお、発育遅延等で生存虫を死虫にしたことはなかった。

具体的な生死判別は以下のように行った。卵期(産卵1日後)処理；産卵4日後のふ化の有無、産卵8日後の葉縁巻葉の有無、潜葉前期(産卵4日後)および潜葉後期(産卵6日後)処理；産卵8日後の葉縁巻葉の有無、産卵13日後の三角巻葉の有無、葉縁巻葉期(産卵8日後)処理；産卵13日後の三角巻葉の有無、産卵約20日後の蛹化の有

無。なお、三角巻葉や蛹化を調査する場合は、調査後の葉縁巻葉を試験管開口部で切り離し、三角巻葉を形成させるための健全なシュートとともに湿らせたろ紙を敷いたプラスチックシャーレ内に入れて飼育を継続した。また、シャーレ内には結繭場所としてパラフィン紙を入れた。

巻葉間接処理では、三角巻葉を形成するものの蛹化が阻害された薬剤について上記の三角巻葉、蛹化の調査とは別に、虫糞量を調査した。虫糞量を調査するために三角巻葉を分解するとその後の調査に悪影響を与えるため、本調査は、薬剤処理後三角巻葉が形成される産卵14日後(処理6日後)を目処に一度ずつ行った。本調査は、三角巻葉を分解し、堆積されている虫糞量を以下のグレードにわけ、下記の式により虫糞指数を算出した。

0：巻葉内に虫糞が認められない。

1：巻葉内に虫糞がわずかに認められる。

2：巻葉内のスペースの1/4未満に虫糞が認められる。

3：巻葉内のスペースの1/4以上~1/2未満に虫糞が認められる。

4：巻葉内のスペースの1/2以上~3/4未満に虫糞が認められる。

5：巻葉内のスペースの3/4以上に虫糞が認められる。

虫糞指数=100×(Σ(上記のグレード数×各グレードに該当する巻葉数))/(5×調査巻葉数))

6. 統計解析

各調査時のふ化数、葉縁巻葉数、三角巻葉数、蛹化数のデータは、各処理区と対照区を対にしてFisherの正確確率検定で比較した。その際、得られた有意確率が、有意水準5%を試験薬剤数で割った値より小さい場合に有意差ありと判定した(Bonferroni法)。また、葉縁巻葉期の巻葉間接処理における虫糞量調査の虫糞指数は、対照区との多重比較検定(Steel法)を行った。Fisherの正確確率検定は統計ソフトR ver. 2.15.1(R Development Core Team, 2012)を用い、Steelの検定はインターネット上<http://www.jichi.ac.jp/saitama-sct/SaitamaHP.files/statmed.html>で公開されているR用ソフトEZR(Kanda, 2013)を用いた。ふ化率、葉縁巻葉形成率、三角巻葉形成率、蛹化率は、各供試数を分母にし、それぞれの結果から求め、Abbott(1925)の補正式により、それぞれ補正殺卵率(以下、殺卵率)、補正巻葉形成阻害率(以下、巻葉形成阻害率)、補正蛹化阻害率(以下、蛹化阻害率)を求めた。さらに、虫糞指数についても同補正式から虫糞抑制率を求めた。

結 果

1. 卵期処理

ピレスロイド・ピレトリン系、ネオニコチノイド系、およびネライストキシン系の全供試薬剤、さらにスピノシン

系, ジアミド系, および BT 剤の一部の薬剤は, 90% 以上の高い殺卵率を示した (Fig. 1). 特に, ピレスロイド・ピレトリン系とネオニコチノイド系は 100% の殺卵率を示す薬剤が多かった. さらに, BT 剤の中ではサブリナ® フロアブルのみが特異的に 100% の高い殺卵率を示した. IGR 系, アベルメクチン系, ピロール系の全供試薬剤, さらにスピノシン系とジアミド系の供試薬剤の一部およびサブリナ® フロアブルを除く BT 剤は殺卵率が低かったが, これらのうち IGR 系で効果の低かったメトキシフェノジド (64%) と BT 剤 (3 薬剤) を除いた供試薬剤は, 葉縁巻葉形成までには比較的高い葉縁巻葉形成阻害率 (79~100%) を示した.

一方, 有機リン系と METI の全供試薬剤およびサブリナ® フロアブルを除く BT 剤は, 卵およびその後の葉縁巻葉形成までの幼虫に対し全く効果を示さなかった.

2. 潜葉前期処理

ピレスロイド・ピレトリン系とアベルメクチン系の薬剤は葉縁巻葉の形成を完全に阻害した (Fig. 1). スピノシン系とジアミド系は, 一部の薬剤だけが葉縁巻葉期までに高い葉縁巻葉形成阻害率を示したが, 三角巻葉を形成するま

での殺虫率で評価すると, 全薬剤が 96% 以上の高い三角巻葉形成阻害率を示した. その他, ネライストキシン系, ピロール系の全供試薬剤と, IGR 系, ネオニコチノイド系, および BT 剤の一部の薬剤は, 葉縁巻葉は形成されるものの, 三角巻葉を形成する前までに殺虫効果を示した (三角巻葉形成阻害率が 70% 以上).

一方, 有機リン系と METI の全供試薬剤は, ほとんど効果を示さなかった.

3. 潜葉後期処理

ピレスロイド・ピレトリン系, アベルメクチン系, およびジアミド系の一部の薬剤が 90% 以上の高い葉縁巻葉形成阻害率を示し, 三角巻葉の形成阻害までで評価すると, ジアミド系の一部を除いて阻害率 100% を示した (Fig. 1). その他, ネライストキシン系, スピノシン系の全供試薬剤と BT 剤の一部の薬剤は, 葉縁巻葉は形成されるものの, 90% 以上の高い三角巻葉形成阻害率を示した.

一方, IGR 系, 有機リン系, ネオニコチノイド系, METI 剤, およびピロール系の全供試薬剤と BT 剤の 3 薬剤は, ほとんど効果を示さなかった.

Fig. 1. Effect of insecticides against different life stages of *Caloptilia theivora*. The square boxes in each graph show the stages at which insecticides were applied. Insecticides are shown in the left vertical axis. Abbott's correction (1925) for control (distilled water application) was applied to hatchability, rate of creating leaf edge rolling, rate of creating triangular-shaped leaf, and rate of pupation, respectively. Asterisks (*) indicate that the values are significantly higher in the treatments than in the control (Fisher's exact tests followed by Bonferroni adjustment, $p < 0.05$).

4. 葉縁巻葉期処理 (巻葉直接処理)

ピレスロイド・ピレトリン系, アベルメクチン系, ネライストキシシン系, およびスピノシン系の全供試薬剤とジアミド系の一部の薬剤が 90% 以上の高い三角巻葉形成阻害率を示した (Fig. 1). また, 三角巻葉は形成されるものの, 80% 以上の蛹化阻害率を示した薬剤として, IGR 系のルフエヌロンがあった.

一方, 有機リン系, ネオニコチノイド系, ピロール系, および METI 剤の全供試薬剤と, IGR 系の 3 薬剤, BT 剤の 2 薬剤は, ほとんど効果を示さなかった.

5. 葉縁巻葉期処理 (巻葉間接処理)

ネライストキシシン系, スピノシン系, およびジアミド系の全供試薬剤とピレスロイド・ピレトリン系, アベルメクチン系の一部の薬剤が 90% 以上の高い三角巻葉形成阻害率を示した (Fig. 1). また, IGR 系, ピロール系, および BT 剤の全供試薬剤と, ピレスロイド・ピレトリン系, アベルメクチン系, およびネオニコチノイド系の一部の薬剤は三角巻葉は形成されるものの, いずれも 90% 以上の高い蛹化阻害率を示した. このうち, ピロール系, BT 剤の全供試薬剤と, アベルメクチン系の 1 薬剤, IGR 系の 3 薬剤, ネオニコチノイド系の 1 薬剤は, 70% 以上の虫糞抑制率を示した (Fig. 2).

一方, 有機リン系, METI 剤, およびネオニコチノイド系の 5 薬剤のうち 4 薬剤は, 多くの幼虫が蛹化し, 効果が認められなかった.

Fig. 2. Effect of insecticides against excretion of larval feces of *Caloptilia theivora*. Abbott's correction (1925) for control (distilled water application) was applied to the index of larval feces. Asterisks (*) indicate that the values are significantly higher in the treatments than in the control (Steel test, $p < 0.05$).

考 察

本種に対する IGR 系の薬剤について小杉 (2000b) は, フルフェノクスロン, テフルベンズロンが, 茶園から採集した卵および潜葉期幼虫に対して効果があり, 葉縁巻葉期の幼虫に対しても, 三角巻葉は形成されるものの, 三角巻葉内で幼虫を死亡に至らすことを報告している. 本試験においては, IGR 系の薬剤は卵期および潜葉前期の処理で, 潜葉期幼虫に対する殺虫効果を示したが, それ以降の処理では葉組織内の幼虫にはほとんど効果がなかった. ただし, 葉縁巻葉期の間接処理では, 蛹化の阻害効果が高く, フルフェノクスロン, ルフエヌロン, メトキシフェノジドでは虫糞の排出も比較的抑えられた. このことは IGR 系の一部の薬剤は, 生育後半の葉縁巻葉脱出後の幼虫にも殺虫効果を示し, 使用法によって防除効果をあげられることを示している. 今回, 葉縁巻葉期の薬剤処理を直接処理と間接処理に分けたことで, IGR 系の薬剤が巻葉内の幼虫に直接作用したのではなく, 葉縁から脱出後の幼虫に主に作用することが明らかになった. なお, 本調査では間接処理における虫糞量調査を産卵 14 日後に行ったが, この時期は正常に發育すれば蛹化直前にあたる. 虫糞が少ない薬剤処理区では, 巻葉内で幼虫はほとんどが衰弱するか死亡していたため, 發育遅延などによりこの調査日以降に虫糞がさらに堆積される可能性は低いと考えられた.

ピレスロイド・ピレトリン系, アベルメクチン系, スピノシン系, ネライストキシシン系, およびジアミド系の薬剤は, 他のチョウ目害虫に対しても幅広いステージで効果が認められている (沼田ら, 1992; 杉山・水井, 2009; Wise et al., 2010; Hardke et al., 2011; 平野・子安, 2013; Nasir et al., 2013; Rafiee-Dastjerdi et al., 2013). 本試験においても, 本種に対して卵から葉縁巻葉期までの幅広い發育ステージで高い効果が確認され, これらの系統の薬剤は, 散布適期が広いと考えられた.

ネオニコチノイド系の薬剤は, 殺卵効果がいずれもほぼ 100% と高かったが, それ以降の生育ステージでは効果が低下し, 特に潜葉後期以降ではほとんど効果が認められなかった. ただし, チアクロプリドは葉縁巻葉期の間接処理でも高い効果を示した. ネオニコチノイド系の薬剤は, コナジラミ類やアブラムシ類など吸汁性害虫に対して効果が高い薬剤である (Kodandaram et al., 2010) が, cranberry fruitworm *Acrobasis vaccinii* Riley やモモシンクイガ *Carposina sasakii* Matsumura などチョウ目害虫に対する殺卵効果も認められている (石栗, 2005; Wise et al., 2010). そのため, 本系統の薬剤は, 主に卵期を対象に散布することが適当と考えられる.

ピロール系のクロルフェナピルは, 潜葉前期までの処理で 80% 前後の殺幼虫効果を示したが, その後はネオニコ

チノイド系と同様に効果が低下した。しかし、葉縁巻葉期の間接処理では高い殺虫効果と虫糞抑制効果を示した。本剤は、他のチョウ目害虫に対しても効果が認められており (Adamczyk et al., 1999; 平野・子安, 2013)、本種に対しては、主に生育前半の発育ステージか葉縁巻葉期を対象とした利用で防除効果が期待される。ただし本剤は、現時点では本種に対する農薬登録はない。

BT 剤の全供試薬剤は葉縁巻葉期の間接処理で三角巻葉を形成されるものの、蛹化を阻害し、虫糞排出の抑制効果も確認された。BT 剤は、有効成分を虫が摂食することで効果を発揮する薬剤であり (Höfte and Whiteley, 1989; Whalon and Wingerd, 2003)、ふ化直後から葉縁巻葉期まで葉組織内で生育する本種は、有効成分が葉内に浸透しない限りこれを摂食する機会がない。しかし、幼虫が葉縁巻葉を脱出後に三角巻葉を形成する際には、新葉と薬剤成分を同時に摂食する可能性があり、これにより三角巻葉形成後に巻葉内で衰弱・死亡し、本種の実害の原因となる虫糞の排出が抑制されたと考えられる。小杉 (2000a) は、茶園から採集した本種の葉縁巻葉期幼虫 (日齢は不明) に対して、BT 剤 (ダイボール® 水和剤、デルフィン® 顆粒水和剤) を処理し、処理 3~4 日後に全ての個体が死亡することを報告している。本試験の結果もこれと同様の傾向を示し、BT 剤の散布適期としては葉縁巻葉期が妥当であると考えられた。なお、佐藤・佐藤 (2009) は、幼虫の半数程度が葉縁巻葉期に達した時期とその 5 日後の 2 回の BT 剤散布が本種に対して高い防除効果を発揮することを報告している。一般的にチャノホソガに対する防除薬剤の評価は、萌芽期~開葉期に散布し、その後に三角巻葉数で行うことが通例であった (松比良ら, 1999) が、本試験結果は、薬剤によっては薬剤の評価方法として三角巻葉数以外の方法を再検討する必要性も示唆した。

なお、今回供試した BT 剤のうち、サブリナ® フロアブルのみが、殺卵効果と潜葉前期および後期処理で潜葉期幼虫に対する殺虫効果を示した。今回供試した BT 剤は全て生菌であり、菌株の系統は、エスマルク® DF とデルフィン® 顆粒水和剤がクルスターキ系統、サブリナ® フロアブルとゼンターリ® 顆粒水和剤がアイザワイ系統であり、これらの結果は菌株の違いによるものではないと考えられる。ただ、サブリナ® フロアブルのみがフロアブル剤であり、有効成分の他、植物由来の油脂成分が配合されている (サンケイ化学(株)、私信)。そのため、本油脂成分が卵のふ化抑制や潜葉期幼虫に対する殺虫効果を示した可能性等が考えられるが、これらについては今後さらに検討が必要である。

有機リン系の DMTP (メチダチオン)、プロフェノホス、METI のトルフェンピラドは、本種の全ての発育ステージで効果が低かった。本試験に供試した個体群を採集した茶

園では、過去にこれらの薬剤をほとんど散布していないため、供試個体群の感受性低下の可能性は低いと考えられる。小泊・大場 (1971) は本種に対して有機リン系の薬剤のうち、クロルフェンビンホス (CVP) の効果は高いものの、DDVP、PAP の効果は低く同じ有機リン系の薬剤でも本種に対する効果に違いがあることを報告している。

本試験により、各種薬剤が効果を発揮するチャノホソガの発育ステージが薬剤により異なることが明らかになった。この結果は前述したように薬剤の系統による性質の他、有効成分そのものの浸透性や浸達性、あるいは水に対する溶解度の違いなども関与していると考えられる。これらの知見は今後、本種の薬剤感受性の動向を把握するのに不可欠な知見であり、新規殺虫剤候補のスクリーニングなどにも応用できると考えられる。

現在本種に対しては、チャの新芽が生育する時期に年間 2~4 回の防除が行われている。薬剤抵抗性の獲得を回避するためには種々の系統の薬剤を体系的に使用することが求められるが、本試験の結果はこの参考になると考えられる。また、降水などで生育前半の薬剤散布適期を逃した場合、生育後半のステージにも効果があることが明らかになったジアミド系やスピノシン系などの薬剤を後日散布することで一定の防除効果が期待されることが明らかとなった。また、ピレトリンや BT 剤の効果的な使用時期が明らかになったことは、有機栽培や国内とは残留基準が異なり使用薬剤が制限される輸出用茶の栽培においても利用可能な知見と考えられる。

チャの新芽が生育する時期は、チャノホソガ以外にも新芽を加害する害虫であるチャノミドリヒメヨコバイ *Empoasca onukii* Matsuda やチャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood の防除も必要となる (南川・刑部, 1979)。本試験でチャノホソガに対して効果が確認できた合成ピレスロイド系、ネオニコチノイド系、ジアミド系の一部は、チャノミドリヒメヨコバイ・チャノキイロアザミウマに対しても効果があり同時防除が期待できるが、両種は地域により薬剤感受性が異なる (山下ら, 2011; 小杉・芳賀, 2013) ため、薬剤の選択には留意する必要がある。

本試験では卵に対する効果確認のため、産卵後の卵を対象に薬剤処理を行った。しかし、実際の茶園における本種の防除においては、成虫が飛翔し、産卵する前に薬剤が散布されることも想定される。これらの場合においては、成虫への薬剤の直接的な効果や産卵忌避、薬剤が付着した後葉に産下された卵の殺卵効果などについての検討も必要であり、これらは今後の課題である。また、チャの新芽は生育に伴い新葉が展開し伸長するので、各種薬剤の処理後の残効についても今後さらに検討する必要がある。

摘 要

チャの重要害虫であるチャノホソガの各発育ステージ(卵期, 潜葉前期, 潜葉後期, 葉縁巻葉期)に対する各種殺虫剤の効果を室内試験において検討した。その結果, 薬剤により効果を発揮する発育ステージが異なり各薬剤の効果にも差異があることが明らかになった。すなわち, IGR系の薬剤は卵期処理において殺卵およびふ化後幼虫に対する殺虫効果があり, 潜葉前期処理においても殺虫効果が認められた。ネオニコチノイド系の薬剤は殺卵効果が高く, ピレスロイド・ピレトリン, アベルメクチン, スピノシン, ネライストキシンおよびジアミドの各系統の薬剤は試験をした全ての発育ステージで効果が高かった。BT剤と一部のIGR剤の薬剤は, 葉縁巻葉期に処理すると, 三角巻葉は形成されるものの, 三角巻葉内で幼虫を死亡させ, 緑茶品質を悪化させる原因となる虫糞の堆積を抑制した。一方, 供試した有機リンとMETIの両系統の薬剤は全ての発育ステージで効果が低かった。以上から, 本種の防除では, 防除効果を発揮しやすい発育ステージを考慮して各殺虫剤を選択することが重要であると考えられた。

引用文献

- Abbott, W. S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265–267.
- Adamczyk, J. J. Jr., B. R. Leonard and J. B. Graves (1999) Toxicity of selected insecticides to fall armyworms (Lepidoptera: Noctuidae) in laboratory bioassay studies. *Fla. Entomol.* 82: 230–236.
- Hardke, J. T., J. H. Temple, B. R. Leonard and R. E. Jackson (2011) Laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Fla. Entomol.* 94: 272–278.
- 平野忠美・子安英雄 (2013) 愛知県におけるケブカノメイガおよびハスモンヨトウの薬剤感受性の差異。関西病虫研報 55: 51–55. [Hirano, T. and H. Koyasu (2013) The difference of insecticide susceptibility between the cabbage web worm, *Crocidolomia pavonana* (Fabricius) and the common cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius) in Aichi prefecture. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 55: 51–55.]
- Höfte, H. and H. R. Whiteley (1989) Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53: 242–255.
- 石栗陽一 (2005) リングのモモンクイガに対するネオニコチノイド系殺虫剤の効果。東北農業研究 58: 145–146. [Ishiguri, Y. (2005) The effects of neonicotinoid insecticides on the eggs, neonate larvae and adults of the peach fruit moth, *Carposina sasakii*. *Tohoku Agric. Res.* 58: 145–146.]
- 磯部宏治・富所康広 (2009) チャ摘採面付近の気温を用いたチャノホソガ発生時期の予測。生物機能を活用した病害虫・雑草管理と肥料削減: 最新技術集。農研機構中央農研, pp. 201–204. [Isobe, K. and Y. Todokoro (2009) “Predict the occurrence of the tea leaf roller using temperature on plucking surface of tea.” In “*Pest and Weed Management, and Fertilizer Reduction Using Biological Function: The Newest Technology*.” National Agriculture and Food Research Organization, Central Region Agricultural Research Center, Japan, pp. 201–204.]
- Kanda, Y. (2013) Investigation of the freely available easy-to-use software ‘EZ’ for medical statistics. *Bone Marrow Transpl.* 48: 452–458.
- Kodandaram, M. H., A. B. Rai and J. Halder (2010) Novel insecticides for management of insect pests in vegetable crops: A review. *Veg. Sci.* 37: 109–123.
- 小泊重洋 (1975) チャノサンカクハマキの加害が茶の品質および収量に及ぼす影響。茶研報 42: 25–30. [Kodomari, S. (1975) The effect of the injury caused by tea leaf roller, *Caloptilia theivora* on the quality and yield of tea. *Tea Res. J.* 42: 25–30.]
- 小泊重洋・大場正明 (1971) チャノホソガの防除に関する研究 (第1報) ほ場試験による各種殺虫剤の効果の検討。静岡茶研報 4: 59–76. [Kodomari, S. and M. Ōba (1971) Studies on the control of the tea leaf roller, *Caloptilia theivora* Walsingham (Part 1). Effect of several insecticides in the field tests. *Bull. Shizuoka Tea Exp. Sta.* 4: 59–76.]
- 小杉由起夫 (2000a) チャノホソガに対するBT剤の殺虫効果。関西病虫研報 42: 85–86. [Kosugi, Y. (2000a) Efficacy of BT (*Bacillus thuringiensis*) products against tea leaf roller, *Caloptilia theivora*. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 42: 85–86.]
- 小杉由起夫 (2000b) チャノホソガに対する昆虫成長制御剤の殺虫効果。関西病虫研報 42: 87–88. [Kosugi, Y. (2000b) Efficacy of insect growth regulator against tea leaf roller, *Caloptilia theivora*. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 42: 87–88.]
- 小杉由起夫・芳賀 一 (2013) 静岡県の茶園から採集したチャノキイロアザミウマに対する薬剤の殺虫効果。関西病虫研報 55: 79–81. [Kosugi, Y. and H. Haga (2013) The effect of insecticides on yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood collected from tea fields in Shizuoka prefecture. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 55: 79–81.]
- 松比良邦彦・西 八東・神寄保成 (1999) 摘採時期が異なる茶園に設置した性フェロモントラップによるチャノホソガの発生消長。九病虫研会報 45: 123–129. [Matsuhira, K., Y. Nishi and Y. Kozaki (1999) Seasonal prevalence of occurrence of the tea leaf roller, *Caloptilia theivora* Walsingham (Lepidoptera: Gracillariidae) collected in a synthetic sex-pheromone trap, and difference in collection among pluckings in a tea garden. *Kyushu Pl. Prot. Res.* 45: 123–129.]
- 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.]
- 南川仁博・植田熊治 (1960) チャノホソガの生態的研究。茶研報 16: 17–22. [Minamikawa, J. and K. Ueda (1960) The ecological studies of the tea leaf roller (*Caloptilia theivora* (Walsingham)). *Tea Res. J.* 16: 17–22.]
- Nasir, M., M. Imran and M. Ahmad (2013) Pyrethroids synergize new chemical insecticides in field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Pak. J. Zool.* 45: 629–633.
- 沼田 智・中谷 清・梅本光政・郷原雅敏 (1992) 低毒性殺

- 虫剤エトフェンプロックスの研究開発. 有機合成化学 50: 160–166. [Numata, S., K. Nakatani, M. Umemoto and M. Gohbara (1992) Research and development of a low toxic insecticide, etofenprox. *J. Syn. Org. Chem., Japan* 50: 160–166.]
- 大橋 透 (2000) 茶におけるチャノホソガまたはウスミドリメクラガメの被害許容水準. 神奈川農総研研報 141: 49–55. [Ohhashi, T. (2000) Economic injury level in tea buds for damages caused by tea leafroller or pale green plant bug. *Bull. Agric. Res. Inst. Kanagawa Pre.* 141: 49–55.]
- R Development Core Team (2012) R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rafiee-Dastjerdi, H., Z. Mashhadi and A. S. Garjan (2013) Lethal and sublethal effects of abamectin and deltamethrin on potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *J. Crop Prot.* 2: 403–409.
- 坂巻 祥孝・杉谷 詩麻・近藤 岳美・津田 勝男 (2011) チャ葉の延命処理によるチャノホソガの室内飼育法. 蝶と蛾 62: 51–55. [Sakamaki, Y., S. Sugitani, T. Kondo and K. Tsuda (2011) Laboratory rearing method of *Caloptilia theivora* (Walsingham) with a leaf preservative treatment. *Lepidoptera Science* 62: 51–55.]
- 佐藤 邦彦・佐藤 健一郎 (2009) 複合抵抗性品種「みなみさやか」を活用した暖地茶園における減農薬防除体系. 生物機能を活用した病害虫・雑草管理と肥料削減: 最新技術集. 農研機構中央農研, pp. 185–188. [Sato, K. and K. Sato (2009) “Reduced pesticide control system for tea field of warm region using resistant cultivar ‘Minamisayaka’.” In “*Pest and Weed Management, and Fertilizer Reduction Using Biological Function: The Newest Technology.*” National Agriculture and Food Research Organization, Central Region Agricultural Research Center, Japan, pp. 185–188.]
- 杉山 恵太郎・水井 陽介 (2009) ジャガイモガに対する各種薬剤の殺虫効果. 関東東山病虫研報 56: 125–126. [Sugiyama, K. and Y. Mizui (2009) Effect of insecticides on the potato tuber worm *Phthorimaea operculella* (Zeller). *Annu. Rep. Kanto-Tosan Plant Prot. Soc.* 56: 125–126.]
- Whalon, M. E. and B. A. Wingerd (2003) Bt: mode of action and use. *Arch. Insect Biochem.* 54: 200–211.
- Wise, J. C., P. E. Jenkins, R. V. Poppen and R. Isaacs (2010) Activity of broad-spectrum and reduced-risk insecticides on various life stages of cranberry fruitworm (Lepidoptera: Pyralidae) in high-bush blueberry. *J. Econ. Entomol.* 103: 1720–1728.
- 山下 幸司・村松 功・福永 晃士 (2011) 各種殺虫剤のチャノミドリヒメヨコバイに対する殺虫効果. 関西病虫研報 53: 95–97. [Yamashita, K., I. Muramatsu and K. Fukunaga (2011) Effects of several insecticides on tea green leafhopper, *Empoasca onukii* Matsuda. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 53: 95–97.]