学会賞受賞者論文

(奨励賞)

ニカメイチュウの大量飼育法の確立と
それを基盤とした一連の農薬研究

佐藤 安夫

武田薬品工業株式会社農薬研究所

Technique for Mass Rearing of the Rice Stem Borer and
Development Studies of New Insecticides

Yasuo SATO

*Pesticide Research Laboratories, Agricultural Chemicals Division,
Takeda Chemical Industries, Ltd.
Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan*

1. A simple technique for mass rearing of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* on rice seedlings

The rice seedlings were germinated from 50 g of rice seeds in the glass jar at a insectary room (28°C, 15 hr of light, 2000 Lux). A hole of 2 cm diameter which sealed with a cotton stopper was made on a screw metal cap for ventilation. The cotton stopper also offered pupation site of the mature larvae. Several mature egg-masses were placed on the seedlings in the jar. The larvae were allowed to feed the seedlings for about 10 days (3rd instar) and the seedlings were consumed by feeding. At this time, the larvae were transferred to fresh seedling jar at a rate 100 larvae per jar. Most of the mature larvae bored into the cotton stopper and pupated. The pupae were taken off together with the stopper from caps and placed a plastic tray in an oviposition box. The emerged moths were allowed to copulation in the box and oviposited on rice plants.

2. Insecticidal action of Cartap

Cartap hydrochloride, *S, S*[2-(dimethylamino) trimethylene] bis (thiocarbamate) hydrochloride is an insecticide developed from derivating a natural toxin, nereistoxin.

Insecticidal activity against *Chilo suppressalis*

When cartap was applied by topical application or dipping method, the larvae were rapidly paralysed without convulsive or agonizing symptom. The paralysed larvae, however, recovered slowly from the intoxication with the elapse of time. If the larvae fed continuously on an artificial diet with a small amount of cartap, they were suppressed in growth, and the final death of the larvae occurred by the starvation. Furthermore, when the moths were directly sprayed or contacted on the leaves of the rice plants treated with cartap, they dropped rapidly by the paralysis in the water and died.

Mode of action and metabolism

The distribution of ³⁵S-labeled cartap concentrated at the central nervous system of the paralysed *Periplaneta americana* or *Mamestra brassicae* and approximated 2/3 of an amount of the compounds uptaken by the nervous cord were detected in the ganglions. Metabolites of cartap in the larvae of *M. brassicae*, *Spodoptera litura* and in the rice plants were investigated in experiments of thin layer chromatography. In every chromatograms, cartap was not identified from the *Rf* values, whereas three kinds of radioactive or sulfurated substances were observed. One of the substances was identified with nereistoxin or dihydronereistoxin, but others were

unidentified. On the other hand, the results of electrophysiological examination demonstrated that cartap blocked the ganglionic transmission in *P. americana*, and that the action was almost similar to nereistoxin.

3. Insecticidal action of phytoecdysones

Assay of phytoecdysones

The ligated larvae of *Chilo suppressalis* were dipped into test solutions containing phytoecdysones and examined on the effect of the larval stage, the kind of the solvent of test solution, time of dipping and time of application after the ligation. The standard method in which the final instar larvae were dipped into the methanolic solution for 10 sec was sensitive enough to approximately 70–80 ppm of ponasterone A and ecdysterone, and applicable even for the assay of phytoecdysones in crude plant extracts.

Insecticidal activity for various insects

The high insecticidal activity was found when ponasterone A, inokosterone, ecdysterone and cyasterone were acted on the body surface of the larvae of *C. suppressalis*, *Plutella xylostella* and *Culex pipiens molestus*. However, the larvae of *Musca domestica vicina* and *Pieris rapae crucivora* were tolerant against the phytoecdysones. The insecticidal activity of *C. suppressalis* varied with the developmental stage. That is, the final instar larvae was more sensitive against the phytoecdysone than the 3rd instar larvae.

4. Attraction of synthetic sex pheromones of insects

Formulation of the sex pheromone

Different kinds of materials were evaluated as the sex pheromone keepers for capture of males of *S. litura*, *Adoxophyes fashiata* and *A. orana*. The mixture of the synthetic pheromones, (Z,E)-9, 11- and (Z,E)-9, 12-tetradecadienyl acetate were absorbed on five kinds of rubber ethylene cap. In addition, a tablet was formulated from the urea adducts of pheromone cap and polysubstances. The attractiveness of natural rubber cap persisted constantly for 3 months and the persistence of the attractiveness of polyethylene cap was shorter than of the rubber cap. The persistence of tablet was the shortest among the formulations.

Pheromone trap

The plastic sticky, water-bath and dry pheromone traps were constructed for capture of males of *S. litura* and the capacity or efficiency of each trap was evaluated in the glasshouse and the field. In the efficiency for capturing, little difference was apparent in the types of trap. However, the capacity of the sticky trap was determined by the size of sticky paper. The types of the water-bath and dry traps captured 10–50 times more males than of the sticky trap.

ニカメイチュウの大量飼育法の確立

昆虫の大量飼育法は殺虫剤のスクリーニング試験に必要な虫を供給するだけでなく、害虫の生物学的防除法である天敵、不妊雄あるいは病理微生物の生産に応用され、さらに昆虫の生理活性物質であるホルモンあるいはフェロモンの研究にも適用され、新規の害虫防除技術の発展に大きく貢献している。

現在、水稻の害虫として約120種が知られているが、そのうち、水稻の芽ばえで大量累代飼育法が確立されている害虫として、ニカメイチュウ、ツマグロヨコバイ、ヒメトビウンカ、セジロウンカおよびトビイロウンカの5種と合成飼料によるアワヨトウの1種である。

ニカメイチュウの飼育について種々の飼育技術が検討され、合成飼料による飼育法¹⁻³⁾、水稻の幼苗あるいは茎葉を用いる飼育法⁴⁾が開発された。しかしながら、これらの飼育法はいずれも無菌的条件を必要とする小規模

な飼育技術で、経済性と技術的な両面から筆者が要求する大量の幼虫と卵塊を得ることが非常に困難であった。

そこで滅菌操作を必要としないより簡便で、しかも飼育コストの安い大量飼育法を検討した結果、水稻の芽ばえを幼虫の飼料とする飼育技術を確立することができた^{5,6)}。

本飼育法はすでにニカメイチュウの防除薬剤、カルタップの開発研究⁷⁻⁹⁾、植物由来昆虫脱皮ホルモン(phytoecdysone)の探索とその殺虫作用の研究¹⁰⁻¹⁴⁾、さらに本種の性フェロモンの開発研究¹⁵⁾に使用され、成果をあげている。

本法の飼育技術について以下に述べる。

室内で1昼夜浸漬された水稻の種子 50 g を直径 10 cm、深さ 10 cm のガラス容器に入れ、その中に水道水を 10 cc 注入した。容器の蓋は金属のねじ込み蓋で、その中心に直径 2 cm の穴をあけ、木綿栓をした。この容器を温度、28°C、照明時間 15 時間の飼育室の棚の上に

Fig. 1 Glass jar used for rearing *Chilo suppressalis* on rice seedling.

Upper: The seedling in the jar before the feeding.
Lower: The seedling consumed by feeding.

4 日間前後置き、発根発芽した芽ばえを幼虫の餌とした (Fig. 1, 上).

この容器当たりふ化直前の卵塊を 5 個 (ふ化幼虫にして約 600 頭) を接種し、ふ化後 10~15 日経過すると幼虫は芽ばえを食い尽くす (Fig. 1, 下). このような状態になると幼虫を新しい容器へ移しかえる作業が必要である. このとき、ピンセットで 1 頭ずつ幼虫を移しかえるのでは作業能率が低く、大量の幼虫を飼育することは困難である. 移しかえ作業を簡単にするために幼虫の趨光性を利用する装置を用いた. 食い尽くされた芽ばえと幼虫とをスパテルで金属性の容器 (直径 30 cm, 深さ 60 cm) 内に取り出し、蓋をして半日程度飼育室内に保管しておく、蓋の隙間から入光する光によって誘引され、幼虫は蓋の内側と容器の内壁にはい登ってきた. これらの幼虫を上皿天秤で体重を測定して、一定数の幼虫を新しい容器へ移しかえた. この作業方法をとれば、1 万頭前後の幼虫であっても短時間で作業を終了させることができた. この移しかえ作業は幼虫期間に 2 回必要であった.

ふ化後 20 日前後経過すると老熟幼虫の一部は蛹化を開始するが、本種の老熟幼虫は乾燥した場所に移動して蛹化する特性を有しているため、この性質を利用するた

めに蓋の内側になる木綿栓部を大きくして、幼虫を潜入させた. その結果、蛹の採集は綿栓を取り外すだけですみ、この綿栓を集め産卵箱 (45 cm × 90 cm × 130 cm) の上段に保存した (Fig. 2).

蛹化後 1 週間経過すると成虫が羽化し交尾を行なった. そして交尾した成虫は下段に固定したポット植えの水稻に産卵を自動的に行なった. 卵はすべて受精卵であった.

本法による飼育試験の結果の 1 例 (Fig. 3) と飼育状況

Fig. 2 Oviposition box for mass rearing of *Chilo suppressalis*.

A: wire mesh screen; B: pupae in cotton stoppers;
C: potted rice plant; D: plastic sponge.

Fig. 3 Results of rearing *Chilo suppressalis* larvae on rice seedling in glass jars at $28 \pm 1^\circ\text{C}$ under 15 hr photoperiod.

Rearing was started with 5921 hatched larvae released at a rate of about 400 larvae/jar. Arrows indicate time of transferring the larvae onto the fresh seedlings at a rate of 100 larvae/jar.

Fig. 4 Mass rearing of *Chilo suppressalis* on rice seedling.

を示した (Fig. 4). 1万頭の成虫を得るためには約 10 kg の乾燥種子が必要であった。

すでに本法によって新しい系統のニカメイチュウを外部から導入せずに 12 年間累代飼育を重ねているが、薬剤に対する感受性あるいは増殖率の低下は認められていない。

アワヨトウの累代飼育は合成飼料で確立されているが、飼料の組成は Table 1 に示した。

Table 1 The composition of an artificial diet for *Leucania separata*.

Constituent	Amount
Rabbit food GC-4	12.8 g
Kindney-bean powder	7.5 g
Wheat bran powder	5.6 g
Brewer yeast	1.2 g
Soy-bean powder	0.9 g
Na-ascorbate	0.3 g
Methyl- <i>p</i> -hydroxybenzoate	0.3 g
Agar	1.1 g
Formalin	0.3 ml
Water	70.0 ml

本飼料の開発において、とくにアスコルビン酸は幼虫の発育あるいは蛹化に欠くことのできない化学物質であること、そして本種のような食植性昆虫の発育におけるアスコルビン酸の生理学的役割について明らかにした¹⁶⁻¹⁸⁾。上記の二種以外にそ菜および果樹害虫など数十種類について大量累代飼育法を確立し、殺虫剤の開発研究に供試している。

害虫防除薬剤の開発

1. カルタップによるニカメイチュウの防除

カルタップ (I) は新田氏によって、イソメの一種、

Lumbrineris (Lumbriconereis) heteropoda の体内より発見されたネライストキシン (II) を骨格にして合成された殺虫剤である。

I Cartap hydrochloride, S,S'-(2-(dimethylamino)trimethylene) bis(thiocarbamate)hydrochloride

II Nereistoxin, 4-N, N-dimethylamino 1,2-dithiolane

ネライストキシン (以下 NT と省略) の化学構造の決定、合成法、殺虫作用およびその機構についての研究は平野らの総説に報告されている¹⁹⁾。

筆者らは NT の化学構造と虫の中毒症状が有機リン系、塩素系あるいはカルバメート系殺虫剤とはまったく異なることに着目し、NT の関連化合物を合成してニカメイチュウの幼虫を用いてスクリーニングを行なった結果、カルタップ (商品名、パダン) がニカメイチュウの防除薬剤として実用性のあることを明らかにした。さらに本化合物の殺虫作用の特性と防除機構についても解明した。

1) ニカメイチュウの幼虫および成虫に対する殺虫作用

1)-1. 幼虫に対する特性

ニカメイチュウの 5 齢幼虫にカルタップを局所施用し、24 時間経過すると幼虫の体表は弾力性を失ない、外部からの刺激に対しても反応を示さなくなる中毒症状が現われたが、この麻痺状態は時間の経過にともなって回復した (Fig. 5)。その結果、KD₅₀ の値は 48 時間で 2.5 μg であったのが、120 時間後では 27.3 μg となり 10 倍以上の値を示した。対照のスミチオンなどの LD₅₀ の値は調査時間に関係なく、ほぼ一定の値を示した (Table 2)。

一方、ポット植えした水稻にカルタップを散布し、幼虫食入後の日数を変えて茎を分解して生存虫数と齢期とを調べ殺虫効力を比較した。カルタップを散布したのち、ふ化幼虫を茎に食入させ、6 日後に分解調査すると生存虫は認められずスミチオンと同等の殺虫効力を発揮した。しかし、従来の殺虫剤の効力判定日であった 2 日後に調査すると生存率が高く、カルタップは実用性がないと判定されたかもしれない (Table 3)。

食毒試験で 0.3 ppm のカルタップを幼虫に与えると、幼虫の齢期に関係なく、幼虫は摂食活動を停止したのに

Fig. 5 Toxic symptoms of the larvae of *Chilo suppressalis* poisoned by topically applied (*S, S'*-[2-(dimethylamino) trimethylene] bis (thiocarbamate) hydrochloride, Cartap; middle), (Dimethyl 4-nitro-*m*-tolyl phosphorothionate, Sumithion; right), and (left; no treatment).

Table 2 The relationship between observation time and KD_{50} or LD_{50} value in the final instar larvae of *Chilo suppressalis* topically treated by several insecticides.

Compound	KD_{50} or LD_{50} ($\mu\text{g/g}$) in various times (hr.)				
	24	48	72	96	120
Cartap	2.5	2.5	13.3	13.3	27.3
Parathion	2.1	2.1	2.2		
EPN	0.9	1.1	1.0		
Sumithion	2.1	1.9	2.0		
γ -BHC	22.8	25.0	19.2		

もかかわらず、これらの中毒虫が死亡するために薬剤と長期間連続的に接触していることが必要であった。この中毒幼虫の死亡過程を実験的に明らかにするために各齢期の幼虫をカルタップの薬液に浸漬し、中毒させた幼虫を二つのグループに分け、一つのグループは湿った濾紙と水稻の茎を入れたシャーレ (feeding condition) 内に、他のグループは濾紙のみを入れたシャーレ (starvation condition) 内に入れ、96時間室内に置き、死亡状

態を比較した。

3 齢幼虫について見ると starvation の条件下に保った中毒幼虫の死亡率は同じ条件下の無処理区の幼虫死亡率とまったく同じになったのに対して、feeding 条件下では中毒幼虫は次第に回復し、死亡する幼虫は認められなかった (Table 4)。

このようにカルタップで中毒した幼虫は薬剤の直接的な殺虫力によって死亡するのではなく、摂食阻害から生ずる二次的な生理障害によって引き起こされることを明らかにした。

1)-2. 成虫に対する特性

ニカメイチュウの成虫に対する殺虫作用について従来の殺虫剤では調べられなかったが、カルタップの薬液を虫体に直接散布すると1時間以内に成虫がすべて中毒し落下横転した。それに対してスミチオン、EPNなどの有機リン系殺虫剤では落下横転現象は認められなかった (Table 5)。また 125 ppm 以上の薬液を水稻に散布すると散布後3日目までの水稻に成虫が3時間接触すると成虫はすべて水中に落下し死亡した (Table 6)。この結果、この期間中は成虫の産卵が完全に阻止された。

このようにカルタップは有機リン系殺虫剤に比較して

Table 3 The persistence of the insecticidal activity of Cartap hydrochloride sprayed on the rice plants.

Compound	Conc. (%) of spray	Percentage of survival							
		After 2 days		After 4 days			After 6 days		
		1st instar	Total	1st instar	2nd instar	Total	1st instar	2nd instar	Total
Cartap	0.025	36.6	36.6	25.3	0	25.3	0	0	0
	0.05	27.4	27.4	37.8	0	37.8	0	0	0
Sumithion	0.025	0	0						
	0.05	0	0						
Control	—	73.4	73.4	26.7	53.2	79.9	0	76.7	76.7

Table 4 Mortality of *Chilo suppressalis* larvae (3rd instar) treated by Cartap hydrochloride and Sumithion in different humidity conditions.

Concentration (%)	Mortality (%) at various times (hr)															
	Cartap								Sumithion							
	Starvation				Feeding				Starvation				Feeding			
	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96
0	10	40	85	100	0	10	10	10	10	40	84	100	0	10	10	10
0.00625	0	70	81	100	0	0	0	0	50	75	100		60	80	100	
0.0125	0	50	90	100	0	0	0	10	100				100			
0.025	10	70	96	100	0	0	0	0	100				100			
0.05	10	60	96	100	0	0	0	0	100				100			

Table 5 Insecticidal activity of Cartap hydrochloride sprayed directly to the adults of *Chilo suppressalis* in comparison with other insecticides.

Concentration (%)	Mortality (%) at one hour after application			
	Cartap	Sumithion	EPN	Shuicide
0.005	80	0	0	0
0.007	100	0	0	0
0.01	100	0	0	0
0 (control)	0	0	0	0

Table 6 Mortality of the adults of *Chilo suppressalis* contacted on the rice plants sprayed with Cartap hydrochloride and Sumithion.

Compound	Conc. (%) spray	Mortality (%) after			
		0 day	1 day	3 days	6 days
Cartap	0.0125	100	100	100	0
	0.025	100	100	100	20
	0.05	100	100	100	40
Sumithion	0.025	0	0	0	0
	0.05	0	0	0	0
Control	—	0	0	0	0

Contact times; three hours

成虫の飛翔あるいは産卵行動に対して非常に低濃度で、しかも速効的に阻害作用を示すことを明らかにした。

2) 虫体内への浸透移行と代謝

カルタップの殺虫作用機構を解明するために作用点における作用様式、虫体内への浸透移行経路あるいは虫体内における代謝を知ることが必要であった。

ニカメイチュウ、ハスモンヨトウおよびヨトウガの3種の人工飼料に ^{35}S -標識カルタップを添加し、幼虫に摂食させ、一定時間ごとに一定量の体液を採取し、その中に含まれている ^{35}S の放射能活性を測定した。また虫体における ^{35}S の分布も調べた。

Fig. 6 Translocation of Cartap from the larval gut to the blood in *Chilo suppressalis*, *Spodoptera (prodenia) litura* and *Mamestra brassicae* fed on artificial diet containing ^{35}S -labeled Cartap hydrochloride.

3種の幼虫ともカルタップを経口的に摂取すると消化管壁を通過して体液中に移行する速度は非常に速く、2分後で中毒時点に抽出された薬量の4分1程度が検出された。そして中毒した幼虫体液全体にはニカメイチュウの幼虫で $0.07\text{ }\mu\text{g}$ 、ハスモンヨトウおよびヨトウガで $0.3\text{ }\mu\text{g}$ であった (Fig. 6)。この検出量からカルタップに対する幼虫の感受性はヨトウガ類に比較してニカメイチュウの幼虫は非常に高いことが推定された。

中毒虫を解剖し、オートラジオグラムで ^{35}S の分布を見ると気門と神経組織部分に強く現われた。また摘出したワモンゴキブリの神経組織において神経索より神経節に集中的に分布していることが認められた (Fig. 7)。

Fig. 7 Autoradiogram of exposed central nerve tissue of the male of *Periplaneta americana*. Dipping time; 5 min. Conc. of ^{35}S -Cartap hydrochloride solution: 10 ppm.

幼虫の消化管部分と体液部分とに分けて摂取されたカルタップを希塩酸で抽出し、この抽出液を直接シリカゲル薄層板で展開し、薄層板上の ^{35}S の分布状態を調べ、各活性ピークの R_f 値を求め、紙面上に画かれた活性帯の面積を測定して各代謝物の経時的な変化を調べた。

ハスモンヨトウでは摂取後15分経過した幼虫の消化管と体液中にはカルタップ(R_f 0.45)は検出されず、NT (0.26)と2種の未知代謝物(R_f 0, R_f 0.75)とに

代謝された (Fig. 8).

この3種類の代謝物のうち、NTの代謝速度はニカメイチュウ、アワヨトウ、ハスモンヨトウの順になり、この速度の差は殺虫効力と深い関係があり、また種間選択毒性の主要な原因にもなった。

またワモンゴキブリの神経組織においてもカルタップは同じように代謝された。

以上の結果から、虫体内に摂取されたカルタップは化学的あるいは酵素反応機構によって代謝されるのかについては不明であるが、すみやかにNTに変化し、未知の代謝物に代謝解毒されることを明らかにした。

このように虫体内あるいは水稻に散布されたカルタップはただちにNTに代謝されることから、カルタップの作用点である中枢神経系のシナプス部位に対してNTが作用し虫を麻痺させていることが推察された。

2. 脱皮ホルモンの探索と殺虫作用

昆虫の発育はアラタから分泌される幼若ホルモンと前胸腺から分泌される脱皮ホルモンとのバランスによって支配されており、このバランスが崩れると発育に障害が現われ、奇形になって死亡する。この現象から昆虫ホルモン物質を新しいタイプの害虫防除剤として利用することが研究されている。しかしながら、ホルモンの虫体内含有量はきわめて微量で、それをそのまま利用することは不可能である。

Fig. 8 Thin layer chromatograms of metabolites of ^{35}S -Cartap hydrochloride orally administered to the larvae of *Spodoptera litura* (20 μg /larva).

Fig. 9 Effect of ecdysterone on the ligated final instar-larvae of *Chilo suppressalis* in the dipping application.

After 48 hr, 28°C.

Upper: Treated with MeOH alone (Control).

Lower: Treated with Ecdysterone 0.05% MeOH solution.

筆者は幸い Fig. 9 に示す新規の脱皮ホルモン検定法, ニカメイチュウの浸漬法を用いて 54 種類の植物に脱皮ホルモン物質が含有すること, さらにこれらの植物から多く物質を単離することに成功した。

そこで単離した Ecdysterone (I, ES), Ponasterone A (II, SP), Inokosterone (IS) および Cyasterone (III, CS) を用いて殺虫力を調べた。

I: Ecdysterone

II: Ponasterone A

III: Cyasterone

ニカメイチュウの終齢幼虫を各脱皮ホルモンのメタノール液に5秒間浸漬すると殺虫効力は Cyasterone が最も高く, PS, EC, IS の順に低下した (Table 7). 幼虫は体表が硬化, 表皮剝離などの異常な脱皮現象が起こり, 奇形になって死亡した (Fig. 10).

Table 7 Insecticidal action of ponasterone A, ecdysterone, inokosterone and cyasterone against the final instar larvae of *Chilo suppressalis* by the dipping application.

Conc. (%) in MeOH	Mortality after 4 days (%)			
	Pona- sterone A	Ecdy- sterone	Cya- sterone	Inoko- sterone
0.0007	—	—	30	—
0.0015	—	—	20	—
0.0031	40	30	70	—
0.0062	60	30	80	—
0.0125	70	50	100	—
0.025	70	90	100	50
0.05	90	100	100	80
0.1	100	100	100	90
0	0	0	0	0

Ten larvae were treated with concentration.

チカイエカ終齢幼虫を PS と ES の水溶液中に放すと体表は硬化し, 蛹の呼吸管の異常分化あるいは気管の破壊などが誘起されて死亡した (Table 8).

人工飼料に PS と ES を添加し, ニカメイチュウ, ハスモンヨトウおよびアワヨトウの若齢幼虫に与えると3齢までに致死効果が現われ, 生存虫でも発育が抑制された。脱皮ホルモンの殺虫作用はニカメイチュウあるいは

Fig. 10 Effect of ponasterone A against the final instar larvae of *Chilo suppressalis* by the dipping application.

After 96 hr. 28°C. Treated with ponasterone A 0.05% MeOH solution

Table 8 Insecticidal action of ponasterone A and ecdysterone in the immersing test against the larvae of *Culex pipiens molestus*.

Compound	Conc. (ppm) in water	No. of larvae tested	Mortality after 4 days (%)
Ponasterone A	5	20	80
	10	20	90
	50	20	100
	100	20	100
Ecdysterone	5	20	10
	10	20	20
	50	20	90
	100	20	100
Water (control)	—	20	0

チカイエカで認められたように終齢幼虫に対しては高い効果を示したが、若齢幼虫には低くなる傾向があり、齢期によってホルモンの効力に大きな差があった。またダイズアブラムシ、ヤノネカイガラムシなどの害虫に対して殺虫力が現われず、種間あるいは投与法によって効力に違いがあった。昆虫の脱皮ホルモンあるいはその類似化合物を害虫防除剤として応用するには解明しなければならない多くの問題が残されている。

一方、幼若ホルモンあるいはファネゾール類縁化合物の殺虫作用にも脱皮ホルモンと同様な現象が認めら

れた。

3. 昆虫性フェロモンによる害虫防除

昆虫の性フェロモンはすでに 50 種類以上の虫で化学構造が決定され、これらの化学物質を用いた害虫防除技術の研究が世界的に行なわれている。

筆者らも玉木ら^{20,21)}によって単離同定されたハスモンヨトウおよびコカクモンハマキの性フェロモンを本種の防除に実用化するために性フェロモンの大量合成法、製剤法およびフェロモントラップ等々について検討を行なった。その結果、一応ハスモンヨトウについては実用化のための技術を確認することに成功した²²⁻²⁸⁾。

1) 製剤法の確立

ハスモンヨトウの性フェロモン、(Z, E)-9, 11- と (Z, E)-9, 12-tetradecadienyl-1-acetate とも分子内に 2 個の二重結合を持つ化合物であるために空気および光で化学分解を受けやすい特性を有している。そこで長期にわたって有効なフェロモンを大気中に蒸散させ、雄成虫を誘引捕殺するためにフェロモン合成化合物を担体に吸着させて、蒸散速度を調節する技術が必要である。しかし、化合物の蒸散速度は担体の物理的あるいは化学的性質によって差が生ずることが考えられた。

ハスモンヨトウの合成性フェロモンの担体としてゴムキャップとポリエチレンキャップとを用いた 2 種類の製剤と各単独化合物の尿素包接化合物を製造し、これらの包接化合物で錠剤化した製剤の 1 種類とを完成させた。

そのうち、ゴム製剤について、ゴムの種類と化合物の安定性および誘引効力の持続性について比較した。

Fig. 11 Pheromone keepers: Rubber caps.

まず2種の合成化合物(混合割合, 10:1)を物性と弾力性の異なる5種類のゴムキャップ, a(加硫天然ゴム), b(珪素ゴム), c(加硫再生ゴム), d(加硫天然ゴム)およびf(無加硫天然ゴム)に1mgを吸着させた(Fig. 11).

ゴムキャップ中では(Z, E)-9, 12-TDDAは比較的安定であったが, (Z, E)-9, 11-TDDAは硫黄を含むa, cおよびdのキャップでも異性化が認められ, 性フェロモン化合物の安定性にゴムキャップに含まれている硫黄が影響することを明らかにした。しかしながら, 誘引効力あるいは効力の持続性には影響せず, b製剤を除けば他の4種類はほぼ同等で, シャーレの上に置き75日間28°Cのガラス室内に放置しておいてもまず高い誘引効力を示した(Fig. 12)。

これらの結果から, ハスモンヨトウの合成性フェロモン化合物の担体は硫黄を含有しないゴムキャップ(f)が最適であると考えられた。

他のポリエチレンキャップ製剤あるいは錠剤も高い誘引効力を示したが, ゴムキャップ製剤に比較すると誘引

効力の持続性が短くなる傾向を示した。

2) フェロモントラップの構造と捕殺能率

ゴムキャップ製剤で誘引された雄成虫を捕殺するためにプラスチック製のフェロモントラップを3種類試製し, それぞれの誘殺性能について温室内および野外において比較検討した(Fig. 13)。

粘着板式トラップ(Fig. 13, 左)は台形に成形された屋根板(高さ, 8cm)と底板(25cm×30cm)とを化学接着剤で結合し, 製剤の保持場所として屋根板の中央部に網室を固定した。そして製剤を日光から保護するため不透明なプラスチック板をその上側に取り付けた。

誘引雄成虫を捕殺するために粘着物質を塗布した厚紙(25cm×30cm)を底板の上に置き, 成虫を付着させた。この場合, 塗布量に関係なく付着頭数の限界頭数は100頭前後であった。

粘着紙の代りに雄成虫を水盤に落下させて捕殺する水盤式トラップ(Fig. 13, 右)は粘着式トラップより捕殺頭数は増大したが, 水盤に水を3日ごとに追加しなければ捕殺能率が低下した。また死骸の腐敗が速いので調査間隔が短くなった。

粘着板および水盤式トラップの欠点を改良したトラップが乾式フェロモントラップ(Fig. 13, 中央)である。誘引雄成虫をトラップ内部へ誘導し捕殺するために, トラップの両側板に誘導管を固定した。そして一度捕獲された成虫が逃亡できないように誘導管の斜口上に逆止弁を取り付けた。

トラップ内においては成虫の死骸は乾燥状態になるために捕殺頭数は数千頭に達した。また死骸が乾燥標本になるので捕獲後1カ月経過後も個体数を正確に数えることができた。

上記の3種類のトラップの内, 粘着板式トラップと水盤式トラップとは発生予察用に, 乾式トラップは大量誘殺用(Mass Trapping)として使用している。

以上筆者が現在まで研究してきた害虫防除薬剤および技術に関する研究成果の概要である。

Fig. 12 Attractiveness to males of *Spodoptera litura* and its persistence in five kinds of the rubber caps (a-d, f) containing 1 mg of (Z, E)-9, 11-TDDA and (Z, E)-9, 12-TDDA in the ratio of 10:1.

Fig. 13 Plastic pheromone traps used to capture males of *Spodoptera litura*, Sticky trap (left), Dry trap (middle) and Water-bath trap (right).

今後世界の害虫について人工飼料で室内飼育を可能にし、これらの害虫を駆使して環境汚染あるいは毒性のない害虫防除薬剤と防除技術の開発を目標にして研究を進めていく考えである。

最後に本研究を進めるに当たってご指導とご助言を賜わった坂井道彦博士と協力をいただいた研究室の皆様から感謝を表します。

引用文献

- 1) 石井象二郎: 応用昆虫 **8**, 93 (1952)
- 2) 釜野静也: 応動昆 **5**, 254 (1961)
- 3) 釜野静也: 農業技術研究所報告 C, 25 (1971)
- 4) 田村市太郎・鈴木忠夫: 応動昆 **7**, 175 (1963)
- 5) 佐藤安夫: 応動昆 **8**, 6 (1964)
- 6) Y. Sato & M. Sakai: *Tropical Agriculture Research* **5**, 63 (1971)
- 7) 坂井道彦・佐藤安夫・加藤正幸: 応動昆 **11**, 125 (1967)
- 8) 佐藤安夫: 学位論文(京都大学・農学部) (1972)
- 9) 佐藤安夫: 武田研究所報 **32**, 564 (1973)
- 10) Y. Sato, M. Sakai, S. Imai & S. Fujioka: *Appl. Ent. Zool.* **3**, 49 (1968)
- 11) Y. Sato, M. Sakai, S. Imai & S. Fujioka: *J. Takada Res. Lab.* **29**, 716 (1970)
- 12) Y. Sato: *Appl. Ent. Zool.* **3**, 155 (1968)
- 13) S. Imai, T. Toyosato, M. Sakai, Y. Sato, S. Fujioka, E. Murata & M. Goto: *Chem. Pharm. Bull.* **17**, 335 (1969 a)
- 14) S. Imai, T. Toyosato, M. Sakai, Y. Sato, S. Fujioka, E. Murata & M. Goto: *Chem. Pharm. Bull.* **17**, 340 (1969 b)
- 15) S. Tatsuki, S. Atsusaawa, K. Uchiumi, M. Kurihara & J. Fukami: *Botyu-Kagaku* **40**, 143 (1975)
- 16) Y. Sato: *Jap. J. appl. Ent. Zool.* **9**, 99 (1965)
- 17) 佐藤安夫: 武田研究所報 **25**, 142 (1966)
- 18) 佐藤安夫: 化学と生物 **7**, 526 (1969)
- 19) 平野 弘・坂井道彦・沼田光雄: 武田研究所報 **28**, 272 (1969)
- 20) Y. Tamaki, H. Noguchi & K. Yushima: *Appl. Ent. Zool.* **6**, 139 (1971)
- 21) Y. Tamaki & K. Yushima: *Appl. Ent. Zool.* **8**, 200 (1973)
- 22) G. Goto, Y. Masuoka & K. Hiraga: *Chem. Lett.* 1275 (1974)
- 23) G. Goto, T. Shima, H. Masuya, Y. Masuoka & K. Hiraga: *Chem. Lett.* 103 (1975)
- 24) 佐藤安夫・長野正義・坂井道彦・藤原 洋: 応動昆大会講演要旨 (1975)
- 25) 佐藤安夫・長野正義・藤原 洋・坂井道彦: 武田研究所報 **35**, 227 (1976)
- 26) 佐藤安夫・長野正義・藤原 洋・坂井道彦: 応動昆大会講演要旨 (1977)
- 27) 藤原 洋・佐藤安夫・西 清司: 武田研究所報 **35**, 52 (1976 a)
- 28) 藤原 洋・佐藤安夫・西 清司: 武田研究所報 **35**, 217 (1976 b)