

Studies on the Toxic Action of Insecticides against Insects. I. An Empirical Equation for the Applied Dose and the Lethal Time of Several Insecticides against the Various Instar Larvae of the Cabbage Armyworm, *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera, Noctuidae). Kimihiko SATO and Masana SUWANAI (Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo, Japan) Received April 1, 1976. *Botyu-Kagaku*, 41, 112, 1976. (with English Summary 129)

22. 殺虫剤の昆虫に対する致死作用に関する研究(第1報) 令を異にするヨトウガ幼虫に対する数種殺虫剤の施用薬量・致死時間に関する実験式 佐藤仁彦, 諏訪内正名(東京農工大学農学部, 東京都府中市幸町3-5) 51. 4. 1 受理

半合成飼料で飼育した令の異なるヨトウガ幼虫に対する5種殺虫剤(DDVP, マラソン, パラチオン, γ -BHC および NAC)の施用薬量・致死時間の関係を調べた。

体重10mg以下の幼虫の場合, 小型試験管に所定濃度の薬剤水溶液少量を採り, そこへ供試虫を差し入れ, 液が虫体に付着するように処理する方法を用いた。試験管に残った薬重量をガスクロマトグラフ法などにより分析し, 虫への施用薬量(W)を求めた。比較的大きい虫には, 所定濃度の薬液をマイクロピペットを用いて虫体に塗布する方法を適用した。この場合, 施用薬量(W)は濃度と塗布容量とによって求まる。

処理後の幼虫を1頭づつ小型シャーレに移し, 活動状況を詳細に観察し, 全く動かなくなる時点を致死とした。

施用薬量をW, 限界致死施用薬量を W_0 , 致死時間をT, 限界致死時間を T_0 として, 式 $(W-W_0)(T-T_0)=K$ において, 体重別にKの値を求めたところ, Kが虫の体重(M)と一次の関係 $K=aM+B$ という実験式で表わし得ることが判った。a, Bは虫と殺虫剤との組合せによって決まる定数である。施用薬量を μg , 致死時間をhr, 虫体重をmgで表わすと, DDVP, マラソン, パラチオン, γ -BHC および NACについて, それぞれ, aの値は, 0.10, 2.0, 0.07, 1.5および2.1 (10^{-3}hr)であり, Bの値は, 0, -10, 4.0, -10および0 ($\mu\text{g}\cdot\text{hr}$)であった。

令の異なるヨトウガ幼虫に対する殺虫剤の毒性については, ピレトリンについての吉田¹⁾の報告, パラチオンについての石倉・尾崎²⁾の報告があるが, それらは共に, LC_{50} 値を基準に取扱っている。吉田¹⁾は, 虫に対する薬剤の抵抗性を表現するには, LC_{50} /体重の値を用いるのが好ましく, その値は令が進むにつれて直線的に減少の傾向にあるとしている。石倉・尾崎²⁾も単に試験濃度の LC_{50} 値を用いるよりは, 各令期における LC_{50} /体重の値の方が事実を説明する上に好ましいとしている。LD₅₀を基準として取扱ったものには, DDTに関する一瀬・石井³⁾の報告があり, それによれば, 薬剤に対する各令虫の相対的抵抗力は令が進むにつれて増加するが, 体重の増加率とは一致しないと結論されている。

薬剤による昆虫の致死薬量については, 諏訪内^{4,5)}が先きにアズキゾウムシ成虫を対象に数種殺虫剤の施用薬量—致死時間の関係を表わす実験式として

$$(W-W_0)(T-T_0)=K \quad (1)$$

を提示した。ここに, W:施用薬量, W_0 :限界致死施用薬量, T:致死時間, T_0 :限界致死時間で, Kは定数となる。上式の関係はアズキゾウムシ成虫(この

虫は体重がほぼ一定であるのが通常である)に対してのみならずニカメイガ幼虫⁶⁾などに対しても, 供試虫の体重が一定の場合には適用できるとし, W_0, T_0, K は殺虫剤と昆虫との組合せによって決まる定数で, 薬剤感受性の鋭い虫に強力な殺虫剤を作用させた場合ほど, W_0, T_0 は小さくなり, したがって, Kも小さくになるとしている。

本報告は上記実験式(1)に表わされるこれらの事実を更に詳細に確かめると共に, 昆虫の体重が異なると, それらの関係がどのように変動するかを調べるために行なったものをとりまとめたものである。

実験材料としては, 半合成飼料で飼育したヨトウガ *Mamestra brassicae* L. 幼虫を用いた。試験の実施にあたっては, 虫の令の異なるもの, つまり体重の異なるものを材料とし, それらに対して殺虫剤 DDVP, マラソン, パラチオン, γ -BHC および NAC を作用させ, 虫に対する真の施用薬量Wとそれによる虫の致死時間Tとの関係を求め, 更にそれらが幼虫体重とどのような関係にあるかを詳細に調べた。その結果, 試験条件と観測値との間に極めて単純な関係があり, 数式として表現できることが判った。それらの結果を述

べると共に考察を加えた。

本文に入るに先だち、ヨトウガ幼虫の提供ならびに飼育について懇切な助言を頂いた東京教育大学農学部八木繁実、安居院宜昭両氏に深謝する。

材 料

供試昆虫：累代飼育中のヨトウガ孵化幼虫を東京教育大学農学部より譲り受け、25°C 自然光下で2令まで無菌飼育を続け、その後、腰高シャーレ（径11cm、高さ8.5cm）に移し、ダイズ生粉末およびフスマを主成分とし、これにキャベツ葉等を混ぜた半合成飼料⁷⁾を与え、均一な個体を得よう注意を払いながら、25°C、自然光下で半無菌的に飼育したものである。

実験には、幼虫体重6.5mg（3令）～960mg（6令）の範囲のものを、それぞれの実験目的の体重に到達した時点において、均一な体重個体を選び出して供試した。

供試薬剤：DDVP—純度99%以上の原体、マラソン純度96%以上の工業用原体、パラチオン—有効成分46.6%含有の乳剤（公定分析法により濃度を確認）、 γ -BHC—純度99%以上の製品およびNAC—有効成分15%含量の乳剤（公定分析法により濃度を確認）の5種類を供試した。

薬剤水溶液の調整法：DDVP水溶液—所定重量のDDVP原体を秤取し、それに、ほぼ1:1（w/w）の割合に界面活性剤（Tween-20）を加え可溶性型溶液を作り、これに所定量の蒸留水を加えて希釈し、更にそれぞれの所定濃度まで蒸留水でうすめて供試水溶液を作った。マラソン水溶液—所定重量のマラソン原体を秤取し、それに、ほぼ1:1（w/w）の割合に界面活性剤（Tween-20）を加え可溶性型溶液を作り、これに所定量の蒸留水を加えて希釈し、上記DDVPの場合と同様にして、所定濃度の供試水溶液を作った。パラチオン水溶液—パラチオン乳剤を秤取し、有効成分量を46.6%として蒸留水で希釈し、それぞれ所定濃度のパラチオン水溶液を作った。

γ -BHC水溶液—所定重量の γ -BHCを秤取し、それを、ほぼ1:5（w/w）の割合の酢酸エチルに加えて溶解させ、これに γ -BHCに關し、ほぼ1:5（w/w）の割合の界面活性剤（ソルポール）を加えて原液とし、これを蒸留水で希釈して、所定濃度の γ -BHC水溶液を作った。NAC水溶液—NAC乳剤を秤取し、有効成分量を15%として、蒸留水で希釈し、それぞれ所定濃度のNAC水溶液を作った。

薬剤施用法および施用薬量の求め方

本研究の目的は種々の体重のヨトウガ幼虫に対し、種々の薬量の薬剤を施用した際の施用薬量—致死時間の関係をj知ることである。したがって、虫に対する施

用薬量が正確に知られなければならない。そのため、施用法としては、虫の大きさにより次の二つの方法によることにした。

虫体への施用薬量の求め方1（マイクロディッピングによる塗布法）：本法は虫が小さい（10mg以下）場合に適用したが、その要領は次の通りである。小型試験管（内径0.9cm、長さ10cm）に濃度既知の薬剤水溶液の所定量（0.1～0.5ml）を採り、そこへ虫の同一体重のもの1～10頭を入れ、液が虫体に均一に付着するように処理（10～20秒以内）し、手ばやくピンセットで虫を1頭づつ小型シャーレに移し、25°Cに保ち、虫の状況を観察する。

この施用方法では、試験への採取容量をSvとすると、濃度Scの場合には、採取薬剤の重量Swは $Sw = Sc \times Sv$ で求まる。マイクロディッピングし虫を取り去った後、試験管に残った薬量をRとすると、虫への施用薬量Wは $W = Sw - R$ で表わされる。したがって、Rを正確に求め得れば、Wは正確に求まる。

次に、供試薬剤につき、本研究で採用したRの分析法の概要を述べる。

(i) **DDVPの分析：**試験管に残った薬液に一定量（0.5～1.0ml）のn-ヘキサンを加えて転溶せしめ、それに含まれる薬量Rを求めた。分析は武田⁸⁾のガスクロマト分析法によった。ガスクロマトグラフの機種および操作条件は次のとおりである。

機種名：島津GC-4CPF型

検出器：水素炎熱イオン化型

分離管：長さ1.5m、内径3mm、ステンレス製

充填剤：3% NPGS（クロモソルブW、60～80メッシュ）

分離管温度：180°C

注入口温度：190°C

検出器温度：200°C

窒素ガス流速：50ml/分

水素ガス流速：45ml/分

空気流速：850ml/分

保持時間：5.0分

(ii) **マラソンの分析：**DDVPの場合と同様にガスクロマトグラフ法によった。操作条件は

充填剤：5% DC-200（クロモソルブW、60～80メッシュ）

分離管温度：200°C

注入口温度：215°C

検出器温度：225°C

保持時間：3.5分

であった。

(iii) **パラチオンの分析：**上記と同様にガスクロマトグラフ法によって行なった。

操作条件として

分離管温度：195°C

注入口温度：210°C

検出器温度：220°C

保持時間：5.0分

を採用した。

(iv) γ -BHCの分析：諏訪内⁹⁾の方法によって行なった。この分析法は試験管とアズキゾウムシ成虫とを用いた生物的方法（ドライフィルム法）であるが、 γ -BHCの分析基準値は観察時間24時間目におけるLD₅₀=0.4 μ g/20頭である。

(v) NACの分析：公定分析法¹⁰⁾に準じて行なった。試験管に残ったNAC水溶液に所定濃度の水酸化カリウム・メタノール液を所定量加えて放置後、パラニトロベンゼンジアゾニウムフルオボレート・メタノール液により発色させて行なう比色法である。測定に用いた波長は590nm、機器は島津ボシュロム分光光度計スペクトロニック70型である。

虫体への施用薬量の求め方2（マイクロピペットによる塗布法）：体重40mg以上の比較的大きい虫については、マイクロピペットを用いて薬液を塗布する方法を採用した。この方法では、薬剤水溶液の濃度をSc、塗布液の容量をSvとすると、施用薬量Wは $W=Sc \times Sv$ で求まる。

この施用方法では、薬液が損失なく虫体全面に均一に塗布されることが好ましい。そのため、あらかじめ供試虫に対し、上の条件をみたと塗布容量を調べ、適当なマイクロピペットを用いることにした。体重120mgの虫では5 μ l、380mgの虫では10 μ lが適当であった。

処理昆虫の致死までの状態変化の 表現法および致死時間の決め方

薬剤処理後の虫は、薬剤の施用量および質等によって当然異なるが、作用が強い場合には、はじめの正常状態から種々の症状を経て、死の状態に到達することになる。その種々の症状の状態、これは量的（示量的、extensive）なものではなく、質的（示強的、intensive）なものである。表現は容易でないのは当然であるが、一つの試みとして、Table 1に示すように、6種の状態に分けて数値化することにした。すなわち

状態0：正常またはそれに近い状態

状態I：活動がやや異常な、興奮状態とも称すべき状態

状態II：活動がかなり異常となり、乱調をきたすような状態

状態III：強いけいれん、苦悶を続けるような状態

状態IV：仮死あるいはひん死の様相を呈し、ピンセットの先等で刺激を与えたとすかすかに虫体

を動かし得る力が残っている状態

状態V：刺激を与えても全く反応を示さない状態で、この状態に至ったものを致死と判定する

上の表現法を用いると、処理直後の虫は通常、状態0であるが、その後、薬剤の作用が強ければ、状態I、II、III、IVを経て状態Vに到達する。作用が弱い場合には、状態Vまで至らず、状態0のまままたは状態I、II、III、IVなどの状態から回復し、活動が正常に戻ることもある。薬剤の作用が強くと、状態Vに達した虫については、その時点までを致死と判定し、処理時からその時点に到達するまでに要した時間を虫の致死時間(T)とし、以後の観察を打ち切った。

実験および観察

本研究では、ヨトウガ幼虫が卵から孵化・生長し、体重が6.5, 10, 40, 120, 180, 380, 480および960mgなどに増加した時点を見計って供試した。体重の偏差は、およそ5%の範囲内にとどめるように注意した。

実験はそれぞれの体重の虫に対し、ある量の薬剤を施用、それによる虫の致死時間を観察することにあるが、①虫の小さい場合はマイクロディッピング法、②大きい虫の場合は主としてマイクロピペットによる塗布法で施用したが、それらの施用法による実際の施用薬量の求め方とそれによる虫の致死時間の観測の要領を次に述べる。

①マイクロディッピングによる施用薬量と致死時間

(i) DDVPに対する実験：Table 2は虫体重(10 \pm 0.5)mgのものについて、マイクロディッピング法により施用した場合の実験条件と計算値、観測値をとりまとめたものである。第2項はそれぞれの施用薬量区分に対する供試虫数、第3項(Sc)は供試薬水溶液の濃度、第4項(Sv)は小型試験管に採取した液量、したがって、第5項(Sw)は採取された薬剤の重量の計算値となる。第6項(R)は虫を除去後の管内に残留した薬剤の分析値、第7項は、Sw-Rの計算値であるが、これは全供試虫への施用量になる。この実験では、虫の体重がおおむね均一になるようにしてあるから、どの虫にも均一に施用されたとすれば、虫1頭当りの施用薬量は第8項の値と計算される。

この実験において、供試虫が1頭の場合は、虫の致死時間の決定は問題が少ないが、虫が複数の場合には、虫により致死時間に個体差が見られる場合もある。そのような場合の致死時間の決め方は次の通りである。Table 2の薬量区分6~13の場合における1頭当りの施用薬量と供試頭数をTable 3に移し、それぞれの区分に含まれる各1頭の虫が経時的にたどる状態値を表中に記入、かつ状態Vに到達する時間、例えば、0.7時間(42分)でVに到達した虫には、V_{0.7}と記入する

Table 1. Physiological state of larvae of *M. brassicae* treated with an insecticide.

Symbols	Degree of physiological state
O	completely normal in appearance
I	slightly abnormal in appearance
II	considerable abnormal in appearance
III	struggle and kick with pain
IV	synoptic state, showing reaction by a stimulus
V	dead, showing no reaction by a stimulus

Table 2. The applied dose and the lethal time of dichlorvos against 10mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv* ml	Sw* μg	R* μg	W* μg	W/larva μg	T* hr
1	1	3000	0.1	300	105	195	195	0.03
2	2	3000	0.1	300	120	180	90	0.04
3	1	500	0.1	50	21	29	29	0.08
4	2	1000	0.1	100	58	42	21	0.09
5	1	500	0.1	50	35	15	15	0.10
6	2	500	0.1	50	32	18	9	0.15
7	5	500	0.1	50	15	35	7	0.18
8	5	250	0.2	50	30	20	4	0.30
9	4	250	0.1	25	11	14	3.5	0.35
10	2	100	0.1	10	5	5	2.5	0.45
11	5	100	0.2	20	12	8	1.6	0.65
12	5	100	0.1	10	6	4	0.8	1.4
13	5	50	0.2	10	6.5	3.5	0.7	1.9
14	2	25	0.1	2.5	1.7	0.8	0.4	3.2
15	5	25	0.1	2.5	1.5	1.0	0.2	9.5
16	5	10	0.2	2.0	1.2	0.8	0.16	15
17	5	10	0.1	1.0	0.35	0.65	0.13	30
18	3	10	0.1	1.0	0.70	0.30	0.10	72

* Sc: Concentration of the insecticide in the solution used
 Sv: Volume of the solution taken into test tube for application
 Sw: Weight of the insecticide in the test tube
 R: Residual amount of the insecticide in the test tube
 W: Applied dose against larvae of *M. brassicae*
 T: Lethal time of the larva, mean of larvae treated with same dose
 These symbols are also used in Tables 4, 5, 6, 7, 8 and 9.

Table 3. Variation of physiological state of 10mg larvae of *M. brassicae* treated with dichlorvos.

No. dose group	Applied dose, μg	Larvae marked	Time after application of dichlorvos														Mean lethal time, hr	
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8		2.0
6	9	a	IV*	V _{0.15} **														0.15
		b	IV	V _{0.15}														
7	7	a	IV	V _{0.2}														0.18
		b	III	V _{0.2}														
		c	IV	V _{0.15}														
		d	III	V _{0.2}														
		e	IV	V _{0.15}														
8	4	a	I	III	IV	V _{0.35}												0.30
		b	II	IV	V _{0.3}													
		c	II	III	V _{0.25}													
		d	I	III	V _{0.3}													
		e	III	III	V _{0.3}													
9	3.5	a	I	III	IV	V _{0.4}												0.35
		b	I	III	IV	V _{0.35}												
		c	II	III	V _{0.3}													
		d	II	III	IV	V _{0.35}												
10	2.5	a	I	III	IV	V _{0.45}											0.45	
		b	I	III	IV	V _{0.45}												
11	1.6	a	I	I	III	IV	V _{0.65}											0.65
		b	0	I	III	III	V _{0.6}											
		c	0	I	II	III	IV	IV	V _{0.65}									
		d	I	I	II	III	IV	IV	V _{0.65}									
		e	0	I	III	III	IV	IV	V _{0.7}									
12	0.8	a	0	I	I	III	IV						IV	V _{1.5}			1.4	
		b	0	0	I	III	III	IV					IV	V _{1.4}				
		c	0	II	III	IV							IV	V _{1.3}				
		d	0	I	III		III	IV					IV	V _{1.3}				
		e	0	0	I	I	III		III	IV			IV	V _{1.5}				
13	0.7	a	0	0	I	II	III			III	IV			IV	V _{1.9}		1.9	
		b	0	0	II	III				III	IV			IV	V _{1.8}			
		c	0		0	I	I	II	III		III	IV			IV	V _{1.9}		
		d	0	I		I	III		III	IV					IV	V _{2.0}		
		e	0		0	I	I	III		III	IV				IV	V _{1.9}		

* Symbols, 0, I, II, III, IV and V are shown in Table 1.

** V_{0.15} shows that the lethal time of the larva is 0.15 hr.

こととして表であらわしてみると、Table 3 のようになる。この表の最後の項は、複数の虫の致死時間の平均値（算術平均）である。Table 2 の各薬量区分の単数または複数の虫に対し、このようにして平均的致死時間を求め、とりまとめたものが Table 2 の最後の項 T の数値である。Table 4 は体重 (6.5 ± 0.3) mg の虫を供試し、上記と同じ方法で施用した場合の実験条件と計算値、観測値をとりまとめたものである。

(ii) マラソンに対する実験：Table 5 は体重 (10 ± 0.5) mg の虫に上記と同じ方法でマラソンを施用した場合の条件、計算値、観測値をとりまとめたものである。Table 6 は体重 (6.5 ± 0.3) mg の虫に上記と同様のことをマラソンについて調べたものである。表の Sw と R の数値から、虫には採取薬量の 40~70% が付着したことが判る。第 8 項は虫 1 頭当りの施用薬量、第 9 項はそれに対応した致死時間である。

(iii) パラチオンに対する実験：Table 7 は体重 (10 ± 0.5) mg の虫に上記と同じ方法でパラチオンを施用した場合の条件、計算値、観測値をとりまとめたものである。表の Sw と R の数値から、虫には採取薬量の 50~75% が付着したことが判る。第 8 項は虫 1 頭当りの施用薬量、第 9 項はそれに対応した致死時間である。

(iv) γ -BHC に対する実験：Table 8 は体重 (10 ± 0.5) mg の虫に上記と同じ方法で γ -BHC を施用した場合の条件、計算値、観測値をとりまとめたものである。表の Sw と R の数値から、虫には採取薬量の 35~60% が付着したことが判る。第 8 項は虫 1 頭当りの施用薬量、第 9 項はそれに対応した致死時間である。

(v) NAC に対する実験：Table 9 は体重 (10 ± 0.5) mg の虫に上記と同じ方法で NAC を施用した場合の条件、計算値、観測値をとりまとめたものである。表の Sw と R の数値から、虫には採取薬量の 50~60% が付着したことが判る。第 8 項は虫 1 頭当りの施用薬量、第 9 項はそれに対応した致死時間である。

②マイクロピペットによる施用薬量と致死時間

(i) DDVP に対する実験：体重 (120 ± 2) mg の虫を供試した場合、Table 10 は 1 頭の虫のおのおのに第 2 項の濃度の水溶液を第 3 項の容積だけマイクロピペットで塗布した場合の条件、計算値、致死時間の観測値などをとりまとめたものである。施用薬量 (W) は第 2 項 (Sc) と第 3 項 (Sv) の数値の積によって求まり、第 4 項の値となる。それに対応する 5 回反復の平均的致死時間は第 5 項 (T) の値となる。薬剤施用後の虫はシャーレに移し、 25°C に置いた。なお、各虫の致死時間は先述 Table 3 に示した要領によって決められる。また、観察が 6 時間以上にわたる場合には、飼料を与えて観察を続けた。

体重 (120 ± 2) mg の虫に上記の方法で同一薬量の薬剤を施用した場合の致死時間にどれ程のバラツキが見られるかについて、次のように調べた。虫 1 頭に濃度 $Sc=1,000 \mu\text{g}/\text{ml}$ の液 $5 \mu\text{l}$ をマイクロピペットで塗布し、50 頭について致死時間を調べた結果は Fig. 1 の棒グラフに示した通りである。50 頭の虫のうち早いもので 2.9hr、遅いもので 3.4hr で致死に至り、3.1~3.3hr の間に 42 頭が致死していることが判る。つまり、供試虫数の 84% が (3.2 ± 0.1) hr で致死したことになる。これらの結果から、同一薬量を同一体重の虫に塗布した場合、虫の致死時間のバラツキは少ないとみなせる。

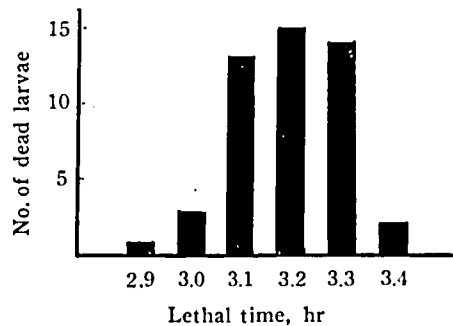


Fig. 1. Lethal time distribution of 120mg-larvae of *M. brassicae* treated with $5 \mu\text{g}$ dichlorvos.

体重 (40 ± 1) mg, (380 ± 5) mg および (960 ± 10) mg の虫を供試した場合、Table 11 は、1 頭の虫のおのおのに上記と同じ方法で DDVP を施用した場合の条件、計算値、致死時間の観測値などをとりまとめたものである。施用薬量は第 4 項の値、それに対応する 5 回反復の平均致死時間は第 5 項の値となる。

(ii) マラソンに対する実験：体重 (40 ± 1) mg, (120 ± 2) mg, (380 ± 5) mg および (960 ± 10) mg の虫を供試し、虫 1 頭のおのおのに上記と同じ方法でマラソンを施用した場合の条件、計算値、致死時間の観測値などをとりまとめたものが Table 12 である。施用薬量は第 4 項の値、それに対応する 5 反復の平均致死時間は第 5 項の値となる。

(iii) パラチオンに対する実験：体重 (180 ± 3) mg, (480 ± 5) mg および (960 ± 10) mg の虫を供試し、虫 1 頭のおのおのに上記と同じ方法でパラチオンを施用した場合の条件、計算値、致死時間の観測値などをとりまとめたものが Table 13 である。施用薬量は第 4 項の値、それに対応する 5 反復の平均致死時間は第 5 項の値となる。

Table 4. The applied dose and the lethal time of dichlorvos against 6.5mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv ml	Sw μg	R μg	W μg	W/larva μg	T hr
1	1	3000	0.1	300	100	200	200	0.025
2	1	1000	0.1	100	38	62	62	0.035
3	4	500	0.1	50	18	32	8	0.11
4	2	100	0.1	10	4	6	3	0.25
5	1	50	0.1	5	2.5	2.5	2.5	0.30
6	2	25	0.1	2.5	0.9	1.6	0.8	0.90
7	2	10	0.1	1	0.62	0.38	0.19	5.5
8	5	10	0.1	1	0.60	0.40	0.08	25

* Symbols are shown in footnotes of Table 2.

Table 5. The applied dose and the lethal time of malathion against 10mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv ml	Sw μg	R μg	W μg	W/larva μg	T hr
1	1	1×10^4	0.2	2000	800	1200	1200	0.1
2	1	3000	0.1	300	70	230	230	0.15
3	2	3000	0.1	300	80	220	110	0.2
4	5	3000	0.1	300	75	225	25	0.5
5	5	1000	0.2	200	95	105	21	0.6
6	5	1000	0.1	100	40	60	12	0.9
7	5	300	0.1	30	9	21	4.2	3
8	10	300	0.1	30	11	19	1.9	7
9	10	200	0.1	20	9	11	1.1	17
10	5	100	0.1	10	7	3	0.6	98
11	5	50	0.1	5	2.5	2.5	0.5	124

* Symbols are shown in footnotes of Table 2.

Table 6. The applied dose and the lethal time of malathion against 6.5mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv ml	Sw μg	R μg	W μg	W/larva μg	T hr
1	1	1×10^4	0.1	1000	400	600	600	0.08
2	1	5000	0.1	500	200	300	300	0.1
3	2	1000	0.2	200	100	100	50	0.15
4	2	300	0.1	30	14	16	8	0.55
5	5	300	0.1	30	12	18	3.6	1
6	5	100	0.1	10	3	7	1.4	2.5
7	10	50	0.2	10	5	5	0.5	12
8	5	50	0.1	5	3	2	0.4	30
9	10	50	0.1	5	2	3	0.3	96

* Symbols are shown in footnotes of Table 2.

Table 7. The applied dose and the lethal time of parathion against 10mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv ml	Sw μg	R μg	W μg	W/larva μg	T hr
1	2	1000	0.5	500	120	380	190	3.5
2	2	1000	0.2	200	96	104	52	3.6
3	2	500	0.2	100	50	50	25	3.7
4	5	200	0.1	20	7.5	12.5	2.5	5.5
5	5	100	0.1	10	5	5	1	9
6	5	50	0.1	5	3	3	0.6	14
7	10	100	0.1	10	5	5	0.5	18
8	5	25	0.1	2.5	1.5	1.5	0.3	35
9	2	5	0.1	0.5	0.3	0.3	0.15	90

* Symbols are shown in footnotes of Table 2.

Table 8. The applied dose and the lethal time of γ -BHC against 10mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv ml	Sw μg	R μg	W μg	W/larva μg	T hr
1	2	1×10^4	0.2	2000	950	1050	525	0.5
2	2	1000	0.2	200	96	104	52	0.6
3	2	500	0.1	50	28	22	11	0.95
4	2	200	0.1	20	10	10	5	1.5
5	1	100	0.1	10	6	4	4	1.9
6	3	100	0.1	10	4	6	2	3.5
7	5	200	0.1	20	11.5	8.5	1.7	4.0
8	5	100	0.2	20	12.5	7.5	1.5	4.5
9	2	50	0.1	5	3	2	1	7.5
10	1	10	0.1	1	0.5	0.5	0.5	25
11	2	10	0.1	1	0.4	0.6	0.3	35

* Symbols are shown in footnotes of Table 2.

Table 9. The applied dose and the lethal time of carbaryl against 10mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	No. of larvae	Sc* $\mu\text{g/ml}$	Sv ml	Sw μg	R μg	W μg	W/larva μg	T hr
1	1	5000	0.2	1000	480	520	520	0.6
2	2	5000	0.2	1000	500	500	250	0.7
3	2	1000	0.2	200	98	102	51	1.0
4	5	1000	0.2	200	80	120	24	1.5
5	2	500	0.1	50	27	23	11.5	2.5
6	5	500	0.1	50	20	30	6	4.5
7	5	250	0.2	50	25	25	5	5.8
8	2	100	0.1	10	5	5	2.5	11
9	2	50	0.2	10	4	6	1.2	39
10	2	10	0.2	2	0.8	1.2	0.6	91

* Symbols are shown in footnotes of Table 2.

(iv) γ -BHC に対する実験：体重 (40 ± 1) mg, (120 ± 2) mg および (480 ± 5) mg の虫を供試し、虫 1 頭おのおのに上記と同じ方法により γ -BHC を施用した場合の条件、計算値、致死時間の観測値などをとりまとめたものが Table 14 である。施用薬量は第 4 項の値、それに対応する 5 反復の平均致死時間は第 5 項の値となる。

(v) NAC に対する実験：体重 (40 ± 1) mg, (120 ± 2) mg および (480 ± 5) mg の虫を供試し、虫 1 頭おのおのに上記と同じ方法で NAC を施用した場合の条件、計算値、致死時間の観測値などをとりまとめたものが Table 15 である。施用薬量は第 4 項の値、それに対応する 5 反復の平均致死時間は第 5 項の値となる。

結 果

(i) DDVP：体重 10mg の供試虫への施用薬量 (W) と、その薬剤による Table 3 に示したような要領により求めた供試虫 1 頭当りの平均致死時間 (T) は、Table 2 第 8 項および第 9 項に示す通りである。同様に、体重 6.5mg の供試虫については Table 4, 120mg の虫については Table 10, 40, 380, 960mg の虫については Table 11 に示す通りである。ここで、これらの数値を、縦軸に W を、横軸に T をとり、両対数グラフ上に移し、プロットすると、体重 10mg については、Fig. 2 の黒丸印のように配置される。体重 6.5mg についての W と T との関係は図の四角印のように配置さ

れる。また、体重 40mg の虫については白丸印、120mg の虫については黒三角印、380mg の虫については白三角印および 960mg の虫については二重丸印のように配置される。

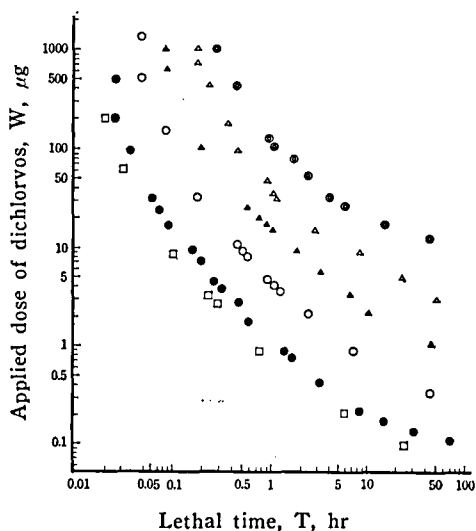


Fig. 2. Relation between the applied dose and the lethal time of dichlorvos against the various instar larvae of *M. brassicae*, □: 3rd instar, 6.5mg, ●: 3rd, 10mg, ○: 4th, 40mg, ▲: 5th, 120mg, △: 6th, 380mg, ⊙: 6th, 960mg.

Table 10. The applied dose and the lethal time of dichlorvos against 120mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	Sc*, $\mu\text{g/ml}$	Sv*, μl	W*, μg	T*, hr
1	2×10^5	5	1000	0.1
2	2×10^5	3	600	0.1
3	5×10^4	2	100	0.21
4	5×10^3	5	25	0.60
5	2×10^4	3.6	18	0.85
6	2×10^4	3.2	16	1.0
7	2×10^4	2.8	14	1.1
8	2×10^3	4	8	1.8
9	1×10^3	5	5	3.2
10	1×10^3	3	3	6.0
11	1×10^3	3	2	11.5
12	5×10^2	2	1	48

* Sc: Concentration of the insecticide in the solution used

Sv: Volume of the solution applied against a larva of *M. brassicae*

W: Applied dose against the larva

T: Lethal time of the larva, mean of 5 larvae.

These symbols are also used in Tables 11, 12, 13, 14 and 15.

(ii) マラソン：体重10mgの供試虫について調べられた施用薬量(W)と虫の致死時間(T)との関係は、Table 5 第8項および第9項に示す通りである。体重6.5mgの供試虫については、Table 6、体重40、120、300および960mgの供試虫については、Table 12にそれぞれ示す通りである。それぞれの体重の供試虫について、DDVPの場合と同様に、Wを縦軸、Tを横

軸にとり、両対数グラフとして図示すれば、Fig. 2と同じような傾向になるが、図は省くことにする。

(iii) パラチオン：体重10mgの供試虫について調べられた施用薬量(W)と虫の致死時間(T)との関係は、Table 7 第8項および第9項に示す通りである。体重180、480および960mgの供試虫についてのWとTとの関係は Table 13に示す通りである。それらの関係

Table 11. The applied dose and the lethal time of dichlorvos against 40, 380 and 960mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	Sc*, $\mu\text{g/ml}$	Sv, μl	W, μg	T, hr
<i>40 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	1	500	0.06
2	5×10^4	3	150	0.09
3	1×10^4	3	30	0.2
4	1×10^4	1	10	0.5
5	5×10^3	1.8	9	0.55
6	5×10^3	1.6	8	0.6
7	3×10^3	1.5	4.5	1.0
8	2×10^3	2	4	1.1
9	1×10^3	3	3	1.5
10	1×10^3	2	2	2.5
11	5×10^2	1.6	0.8	8.0
12	1×10^2	3	0.3	46
<i>380 mg Larvae</i>				
1	1×10^5	10	1000	0.2
2	1×10^5	7	700	0.2
3	1×10^5	4	400	0.3
4	2×10^4	9	180	0.4
5	2×10^4	4.5	90	0.6
6	1×10^4	6	60	0.85
7	1×10^4	4	40	1.25
8	1×10^4	3.7	37	1.3
9	2×10^3	7	14	3.7
10	1×10^3	8	8	8
11	5×10^2	9	4.5	27
12	5×10^2	6	3	50
<i>960 mg Larvae</i>				
1	1×10^5	10	1000	0.3
2	5×10^4	8	400	0.55
3	1×10^4	12.5	125	1.1
4	1×10^4	10	100	1.3
5	5×10^3	15	75	1.8
6	5×10^3	10	50	2.8
7	5×10^3	6	30	4.8
8	5×10^3	5	25	6.5
9	1×10^3	15	15	16.5
10	1×10^3	11	11	48
11	1×10^3	10	10	96
12	1×10^3	9	9	125

* Symbols are shown in footnotes of Table 10.

Table 12. The applied dose and the lethal time of malathion against 40, 120, 380 and 960mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	Sc*, $\mu\text{g/ml}$	Sv, μl	W, μg	T. hr
<i>40 mg Larvae</i>				
1	7×10^5	4	2800	0.2
2	5×10^5	2	1000	0.25
3	2×10^5	2	400	0.4
4	1×10^5	2	200	0.5
5	1×10^5	1.8	180	0.7
6	5×10^4	1.1	110	0.85
7	5×10^4	1.4	70	1.4
8	1×10^4	3	30	2.5
9	1×10^4	1	10	8.0
10	5×10^3	1	5	18
11	1×10^3	3	3	32
12	1×10^3	2.4	2.4	48
13	1×10^3	1.7	1.7	98
14	1×10^3	1	1	145
<i>120 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	6.2	3100	0.35
2	2×10^5	5	1000	0.6
3	2×10^5	2	400	1.1
4	2×10^4	4.5	90	3.0
5	2×10^4	4.1	82	3.2
6	2×10^4	3.5	70	3.5
7	2×10^4	2	40	7
8	5×10^3	3	15	18
9	2×10^3	4	8	21.5
10	2×10^3	3.5	7	62
11	2×10^3	2	4	97
<i>380 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	9	4500	0.65
2	5×10^5	5	2500	0.95
3	1×10^5	4.2	420	2.5
4	5×10^4	5.6	280	3.5
5	5×10^4	4.4	220	4.5
6	2×10^4	7.5	150	6.5
7	1×10^4	6.5	65	17
8	5×10^3	7.2	36	47
9	5×10^3	4	20	125
<i>960 mg Larvae</i>				
1	7×10^5	7	4900	1.0
2	2×10^5	11.5	2300	1.9
3	1×10^5	5.2	520	5.5
4	2×10^4	11	220	14
5	2×10^4	5.5	110	42
6	1×10^3	9	90	75
7	1×10^3	6.5	65	150

* Symbols are shown in footnotes of Table 10.

をグラフに移し、プロットするとすれば、Fig. 2 と同じ傾向の図が得られる。

(iv) γ -BHC: 体重 10mg の供試虫について調べられた W と T の値は、Table 8 第 8 項および第 9 項に示す通りである。体重 40, 120 および 480mg の供試虫については、Table 14 に示す通りである。それらの関係を図示するとすれば、Fig. 2 と同じ傾向の図が得られる。

(v) NAC: 体重 10mg の供試虫について調べられた W と T の値は、Table 9 第 8 項および第 9 項に示す通りである。体重 40, 120 および 480mg の供試虫については、Table 15 に示す通りである。それらの関係を図示するとすれば、Fig. 2 と同じ傾向の図が得られる。

考 察

ヨトウガ幼虫 1 頭に対する DDVP の施用薬量 (W) と致死時間 (T) との関係を両対数グラフとして示した Fig. 2 において、黒丸印で示した体重 10mg の虫のものをながめてみると、等辺双曲線的関係に配列されて

いることが判る。つまり、虫に或る薬量を施用すると、それに対応した時間の経過時に虫が死に至る。施用薬量 W が増大すると、それに対応して致死時間 T が短縮されるが、或る極限值 T₀ (限界致死時間) より短縮されない。一方、W が減少すると、それに対応して T は延長されるが、或る限界薬量 W₀ (限界致死施用薬量) 以下になると、薬剤の作用で虫が死ぬことがないという傾向にあると判断される。以上は虫の体重が 10mg の場合についてであるが、それと同様な関係が、虫の体重が 6.5mg の場合にも、40mg の場合にも成立し、また、虫の体重が大きい 120, 380 および 960mg の場合にも、それぞれ独立的に成り立つ傾向にあるといえる。

これらの実験事実に基けば、体重 10mg の虫 1 頭につき、充分大な薬量を施用した実験により、それに対応する最短致死時間として測定された Table 2 の数値から、これは Fig. 2 上では、体重 10mg の虫につき得られた曲線の末端として示されているもので、最短致死時間 T を求めることができる。それをこの体重

Table 13. The applied dose and the lethal time of parathion against 180, 480 and 960mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	Sc*, $\mu\text{g/ml}$	Sv, μl	W, μg	T, hr
<i>180 mg Larvae</i>				
1	1×10^5	5	500	6.5
2	5×10^4	4	200	6.5
3	1×10^4	5	50	6.9
4	2×10^3	5	10	8.3
5	1×10^3	4.8	4.8	10.5
6	2×10^2	5	1	43
7	2×10^2	4	0.8	85
8	2×10^2	3	0.6	130
<i>480 mg Larvae</i>				
1	1×10^5	7.5	750	8.5
2	1×10^5	5	500	8.5
3	2×10^4	5	100	8.9
4	1×10^4	5	50	9.3
5	5×10^3	4	20	10.5
6	1×10^3	5	5	21
7	5×10^2	5	2.5	78
8	5×10^2	4	2	120
<i>960 mg Larvae</i>				
1	1×10^5	6	600	10
2	2×10^4	7.5	150	10.5
3	1×10^4	5	50	11.5
4	2×10^3	10	20	15
5	2×10^3	5	10	23
6	1×10^3	6	6	78
7	5×10^2	10	5	110

* Symbols are shown in footnotes of Table 10.

に対する限界致死時間 T_0 とする。一方、時間を充分に要して観察した最少致死施用薬量 W を Table 2 の数値または Fig. 2 上に求め、それを限界致死施用薬量 W_0 とすることができる。このようにして求められた T_0 , W_0 は、体重が 10mg のものについて、 $T_0 = 0.03\text{hr}$, $W_0 = 0.1\mu\text{g}$ となる。ここで、Table 2 の観測値 W , T および上述のようにして求めた T_0 , W_0 をそれぞれ対応せしめた数値としてとりまとめてみると、Table 16-A のようになる。

さて、これらの数値を、先きに諏訪内^{4,5,6)}が提出した先述(1)式

$$(W - W_0)(T - T_0) = K \quad (1)$$

に代入してみると、それぞれの実測の W , T について、 K の値が算出される。このようにして求められた K の数値を Table 16-A 第5項に示す。

同様の取扱いにより、体重 6.5mg の虫につき、 T_0 , W_0 を求め、Table 4 の観測値 W , T に基づき、 K の値を求め、それらを取りまとめてみると、Table 16-B のようになる。同様にして、体重 40, 120, 380 および 960mg の虫のそれぞれにつき、取りまとめ、 K の値を求め、Table 17 に示した。

同様の計算をマラソンについて行ない、得られた K の値を、体重 6.5 および 10mg の場合は、Table 18 第5項に、体重 40, 120, 380 および 960mg の場合は、Table 19 第5項に示した。

パラチオンについて、体重 10, 180, 480 および 960 mg の虫のそれぞれにつき、計算により得られた K の値は、Table 20 第5項に示す通りとなる。

γ -BHC の場合、体重 10, 40, 180 および 480mg のそれぞれにつき、計算し得られた K の値は、Table 21 第5項となる。

NAC の場合、それぞれの体重の虫につき、計算により得られた K の値は、Table 22 第5項のようになる。

それらの表 (Table 16~22) の数値を取りまとめ、Table 23 に示した。この表の第6項には、Table 16~22の、薬剤別、体重別に得られた K の範囲を示した。第7項は平均値、第8項は標準偏差を示す。第9項 n は K の値が 0 とならない標本の数を示す。

次に、Table 23 の DDVP についての第3項 (体重) と第7項 (K の平均値) との関係を図上に移してみる。すなわち、縦軸に K の値、横軸に体重 (M) をとり、そ

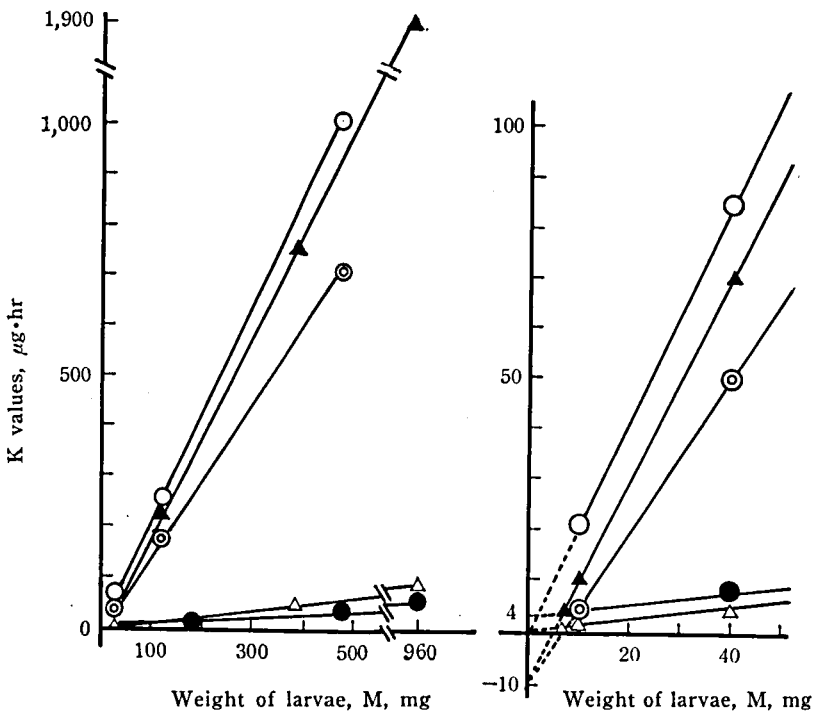


Fig. 3. Relation between K values for dichlorvos (Δ), malathion (\blacktriangle), parathion (\bullet), γ -BHC (\odot) and carbaryl (\circ), and the weight of larvae of *M. brassicae*.

それぞれの値をグラフ上に移すと、Fig. 3 の白三角印のように直線上に配列される。この直線は、虫体重が 6.5~960mg の範囲内のものについて得られたものであり、原点を通過して、方向係数が 0.10 となっている。すなわち、 $K=0.10M$ という一次の関係にあることになる。

同様にして、マラソンについては、同図の黒三角印のような、方向係数 2.0、縦軸を切る点が -10 の、 $K=2.0M-10$ という一次式で表わせる直線になる。ただし、虫体重 6.5~960mg の範囲である。

パラチオンについては、同図の黒丸印のような、方向係数 0.07、縦軸を切る点が 4.0 の、 $K=0.07M+4.0$ と表わせる直線となる（虫体重範囲、10~960mg）。

γ -BHC については、同図の二重丸印のような、方向係数 1.5、縦軸を切る点が -10 の、 $K=1.5M-10$ と表わせる直線になる（虫体重範囲、10~480mg）。

NAC については、同図白丸印のような、方向係数 2.1 で原点を通る、 $K=2.1$ で表わせる直線となる（虫体重範囲、10~480mg）。

以上の 5 種薬剤についての K と M との関係をとりまててみると、いずれの場合も、K と M とに関し、一次の関係にある。すなわち、式

$$K=aM+B \quad (2)$$

で表わし得ることになる。ただし、M は虫体重、 a と B とは薬剤に関する定数となる。

おのおのの薬剤について、(2) 式に a 、 B 、 M を、それぞれ代入して、算出された計算値を Table 23 第 10 項に Kcal として示した。

薬剤の効力は、本報告における基本的考え方からすれば、K の値の小さいほど大きいことになる。

同じ体重 (M)、例えば、体重が 50mg の虫の場合では、Fig. 3 のおのおののグラフによって、K の値は、それぞれ、DDVP 5.0、マラソン 90、パラチオン 7.5、 γ -BHC 65、NAC では 105 と得られることから、それぞれの薬剤の効力を比較できる。

虫体重が 10mg 以下の場合には、どの直線もおおむね近接していることから、K の値は大差ない、したがって、効力は近似的になることが推定される。

Table 14. The applied dose and the lethal time of γ -BHC against 40, 120 and 480 mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	Sc*, $\mu\text{g/ml}$	Sv, μl	W, μg	T, hr
<i>40 mg Larvae</i>				
1	2×10^5	5	1000	1.0
2	2×10^5	2.5	500	1.1
3	1×10^5	1	100	1.5
4	5×10^4	1	50	2.2
5	5×10^3	3	15	6.2
6	5×10^3	2	10	13
7	2×10^3	3	6	52
<i>120 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	4	2000	1.7
2	2×10^5	10	1000	1.8
3	1×10^5	5	500	2.1
4	1×10^5	2	200	2.5
5	1×10^4	5	50	7
6	1×10^4	4.5	45	7.5
7	5×10^3	4	20	18
8	5×10^3	2.5	12.5	65
9	5×10^3	2	10	98
<i>480 mg Larvae</i>				
1	2×10^5	10	2000	3.6
2	1×10^5	10	1000	4.5
3	1×10^5	5	500	5.0
4	2×10^4	10	200	8.5
5	2×10^4	10	100	18
6	1×10^4	7.5	75	31
7	1×10^4	5	50	95

* Symbols are shown in footnotes of Table 10.

微視的ではあるが、体重 133mg の点で、DDVP とパラチオンとは交差していることから、両薬剤の効力は、この体重の前と後とで逆転することになる。

マラソンと γ -BHC について、体重が 5mg 以下の領域では、K の値がマイナスになることになるが、実際上は、 $K < 0$ になることはあり得ないから、これは、体重が小さい場合には、極めて効力が大きいことを示していると考えて良いのではなからうか。これらを含め、K の値についての微視的視野での正確さについては、今後更に検討を要すると考える。

吉田¹⁾ はヨトウムシのピレトリンに対する抵抗力について、一瀬・石井²⁾ はヨトウムシの DDT に対する抵抗力について、石倉・尾崎³⁾ はパラチオンに対するヨトウムシの抵抗力について調べ、日令または令期の違いで抵抗力が著しく異なり、幼虫の殺虫剤に対する抵抗力は、発育が進むにつれて増大すると報じている。吉田¹⁾、石倉・尾崎³⁾ の数値は、示強変数である LC_{50}

値を基準にしたもので、本報告の K の値とは直接的に比較はできないが、それら三者^{1,2,3)} はいづれも、本研究の体重増加につれて K の値が増大するという結果と本質的には同じ傾向にあることを指摘しているものといえる。

Johnstone¹¹⁾ は殺虫剤の極微量散布を行ない、体重の異なる虫への殺虫剤施用量と殺虫効力との関係を調べ、 LD_{50} 値でみると、 $10\mu\text{g/g}$ 程度の施用量が普通用いられる殺虫剤の薬量であるとしている。この数値は、虫の致死調査時点を 24~48hr 後としてみると、おおむね、本研究の結果と同程度の数値となっているものといえよう。

結 論

令に異にするヨトウガ幼虫に対する 5 種殺虫剤 (DDVP, マラソン, パラチオン, γ -BHC および NAC) の施用薬量・致死時間の関係を調べ、($W - W_0$)

Table 15. The applied dose and the lethal time of carbaryl against 40, 120 and 480mg larvae of *M. brassicae*.

No. dose group	Sc*, $\mu\text{g/ml}$	Sv, μl	W, μg	T, hr
<i>40 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	4	2000	0.9
2	5×10^5	2	1000	1.0
3	5×10^5	1	500	1.1
4	1×10^5	2.5	200	1.3
5	5×10^4	1	50	2.6
6	1×10^4	2.5	25	4.5
7	1×10^4	1.2	12	8.5
8	1×10^4	1	10	10.5
9	5×10^3	1.5	7.5	14
10	1×10^3	3	3	42
11	1×10^3	1	1	122
<i>120 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	5	2500	1.4
2	5×10^5	2	1000	1.6
3	1×10^5	5	500	1.9
4	1×10^5	2	200	2.9
5	1×10^4	5	50	7.2
6	2×10^3	5	10	53
7	2×10^3	2.5	5	126
<i>480 mg Larvae</i>				
1	5×10^5	5	2500	2.5
2	1×10^5	10	1000	3.6
3	1×10^5	5	500	4.7
4	5×10^4	5	250	7.6
5	1×10^4	10	100	28
6	1×10^4	7.5	75	70
7	1×10^4	6	60	142

* Symbols are shown in footnotes of Table 10.

$(T-T_0)=K$ が、虫体重(M)と一次の関係 $K=aM+B$ という実験式で表わし得るということが判った。aとBとは、殺虫剤と虫との組合せによって決まる定数であり、施用薬量を μg 、致死時間を hr、虫体重を mg で表わすと、DDVP、マラソン、パラチオン、 γ -BHC および NAC について、それぞれ、a は、0, 10, 2.0, 0.07, 1.5 および 2.1 ($10^{-3}\cdot\text{hr}$) であり、B は、0, -10, 4.0, -10 および 0 ($\mu\text{g}\cdot\text{hr}$) であった。

文 献

1) 吉田正義：防虫科学, 10, 60 (1948).
 2) 石倉秀次・尾崎幸三郎：農技研報告C, 10, 1

(1958).
 3) 一瀬太良・石井象二郎：応用昆虫, 11, 1(1955).
 4) 諏訪内正名：分析化学, 10, 921 (1961).
 5) 諏訪内正名：植物防疫, 15, 391 (1961).
 6) Suwanai, M.: *Residue Review*, 25, 341 (1969).
 7) 安居院宣昭・小倉信夫・大河原通高：応動昆, 19, 91 (1975).
 8) 武田明治：農薬科学, 2, 193 (1975).
 9) 諏訪内正名：農技研報告C, 7, 113 (1957).
 10) 農林省農薬検査所：農薬生産技術, 9, 38(1963).
 11) Johnstone, D. R.: *Pestic. Sci.*, 4, 77 (1973).

Table 16. Values of W, W_0 , T, T_0 and K for dichlorvos against 10 and 6.5mg larvae *M. brassicae*.

W^* , μg	W_0 , μg	T, hr	T_0 , hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$
(A) <i>10 mg Larvae</i>				
195	0.1	0.03	0.03	0
90	0.1	0.04	0.03	0.90
29	0.1	0.08	0.03	1.16
21	0.1	0.09	0.03	1.26
15	0.1	0.10	0.03	1.05
9	0.1	0.15	0.03	1.07
7	0.1	0.18	0.03	1.04
4	0.1	0.30	0.03	1.05
3.5	0.1	0.35	0.03	1.09
2.5	0.1	0.45	0.03	1.01
1.6	0.1	0.65	0.03	0.93
0.8	0.1	1.4	0.03	0.96
0.7	0.1	1.9	0.03	1.12
0.4	0.1	3.2	0.03	0.95
0.2	0.1	9.5	0.03	0.95
0.16	0.1	15	0.03	0.90
0.13	0.1	30	0.03	0.90
0.1	0.1	72	0.03	0
(B) <i>6.5 mg Larvae</i>				
200	0.08	0.025	0.025	0
62	0.08	0.035	0.025	0.620
8	0.08	0.11	0.025	0.673
3	0.08	0.25	0.025	0.657
2.5	0.08	0.30	0.025	0.665
0.8	0.08	0.90	0.025	0.630
0.19	0.08	5.5	0.025	0.602
0.08	0.08	25	0.025	0

* W : Applied dose of the insecticide against a larva of *M. brassicae*
 W_0 : The minimum applied dose of the insecticide
 T : Lethal time of the larva
 T_0 : The minimum lethal time
 K : The product of $(W-W_0)$ and $(T-T_0)$
 These symbols are also used in Tables 17, 18, 19, 20, 21 and 22.

Table 17. Values of W, W₀, T, T₀ and K for dichlorvos against 40, 120, 380 and 960mg larvae of *M. brassicae*.

W*, μg	W ₀ , μg	T, hr	T ₀ , hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$
<i>40 mg Larvae</i>				
500	0.3	0.06	0.06	0
150	0.3	0.09	0.06	4.49
30	0.3	0.2	0.06	4.16
10	0.3	0.5	0.06	4.27
9	0.3	0.55	0.06	4.26
8	0.3	0.6	0.06	4.12
4.5	0.3	1.0	0.06	3.95
4	0.3	1.1	0.06	3.85
3	0.3	1.5	0.06	3.89
2	0.3	2.5	0.06	4.15
0.8	0.3	8.0	0.06	3.97
0.3	0.3	46	0.06	0
<i>120 mg Larvae</i>				
1000	1	0.1	0.1	0
600	1	0.1	0.1	0
100	1	0.21	0.1	11.0
25	1	0.6	0.1	12.5
18	1	0.85	0.1	12.8
16	1	1.0	0.1	13.5
14	1	1.1	0.1	13.0
8	1	1.8	0.1	11.9
5	1	3.2	0.1	12.4
3	1	6.0	0.1	11.8
2	1	11.5	0.1	11.4
1	1	48	0.1	0
<i>380 mg Larvae</i>				
1000	3	0.2	0.2	0
700	3	0.2	0.2	0
400	3	0.3	0.2	39.7
180	3	0.4	0.2	35.4
90	3	0.6	0.2	34.2
60	3	0.85	0.2	37.1
40	3	1.25	0.2	38.9
37	3	1.3	0.2	37.4
14	3	3.7	0.2	38.5
8	3	8	0.2	39.0
4.5	3	27	0.2	40.2
3	3	50	0.2	0
<i>960 mg Larvae</i>				
1000	9	0.3	0.3	0
400	9	0.55	0.3	97.7
125	9	1.1	0.3	92.8
100	9	1.3	0.3	91.0
75	9	1.8	0.3	99.0
50	9	2.8	0.3	102.5
30	9	4.8	0.3	91.5
25	9	6.5	0.3	99.2
15	9	16.5	0.3	97.2
11	9	48	0.3	95.4
10	9	96	0.3	96.0
9	9	125	0.3	0

* Symbols are shown in footnotes of Table 16.

Table 18. Values of W, W₀, T, T₀ and K for malathion against no: 6.5 and 10mg larvae of *M. brassicae*.

W*, μg	W ₀ , μg	T, hr	T ₀ , hr	K, μg·hr
<i>6.5 mg Larvae</i>				
600	0.3	0.08	0.08	0
300	0.3	0.1	0.08	3.0
50	0.3	0.15	0.08	3.5
8	0.3	0.55	0.08	3.6
3.6	0.3	1	0.08	3.3
1.4	0.3	2.5	0.08	2.7
0.5	0.3	12	0.08	2.4
0.4	0.3	30	0.08	3.0
0.3	0.3	96	0.08	0
<i>10 mg Larvae</i>				
1200	0.5	0.1	0.1	0
230	0.5	0.15	0.1	11.5
110	0.5	0.2	0.1	11.0
25	0.5	0.5	0.1	10.0
21	0.5	0.6	0.1	10.3
12	0.5	0.9	0.1	9.2
4.2	0.5	3	0.1	10.7
1.9	0.5	7	0.1	9.7
1.1	0.5	17	0.1	10.1
0.6	0.5	98	0.1	9.8
0.5	0.5	124	0.1	0

* Symbols are shown in footnotes of Table 16.

Summary

Experiments on the relation between the applied dose and the lethal time of some insecticides against the various instar larvae of the cabbage armyworm, *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera, Noctuidae) were performed in laboratory.

When an insecticide dose was applied against a certain instar larva and the larva was killed by the insecticide action after a brief period, the product of (W-W₀) and (T-T₀), K, had an approximately constant value as given in equation 1,

$$(W-W_0)(T-T_0)=K \quad (1)$$

where, W is the dose of an insecticide applied, W₀ is the minimum applied dose of the insecticide

for killing the larva, T is the lethal time of the larva and T₀ is the minimum lethal time. The value of K for an insecticide increased straightly with larvae developing.

Furthermore, an empirical equation on the relation between K value for insecticide and the weight of larva, M, was obtained as follows,

$$K=aM+B \quad (2)$$

where, a and B are determined by a combination of an insecticide and the insect. With describing K in μg·hr and M in mg within equation 2, values for dichlorvos, for malathion, for parathion, for γ-BHC and for carbaryl, a were 0.10, 2.0, 0.07, 1.5 and 2.1, and B were 0, -10, 4.0, -10 and 0 respectively.

Table 19. Values of W, W₀, T, T₀ and K for malathion against 40, 120, 380 and 960mg larvae of *M. brassicae*.

W*, μg	W ₀ , μg	T, hr	T ₀ , hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$
<i>40 mg Larvae</i>				
2800	1	0.2	0.2	0
1000	1	0.25	0.2	50.0
400	1	0.4	0.2	80.0
200	1	0.5	0.2	69.7
180	1	0.7	0.2	89.5
110	1	0.85	0.2	70.9
70	1	1.4	0.2	82.8
30	1	2.5	0.2	66.7
10	1	8.0	0.2	70.2
5	1	18	0.2	71.2
3	1	32	0.2	63.6
2.4	1	48	0.2	67.2
1.7	1	98	0.2	68.6
1	1	145	0.2	0
<i>120 mg Larvae</i>				
3100	4	0.35	0.35	0
1000	4	0.6	0.35	250
400	4	1.1	0.35	257
90	4	3.0	0.35	228
82	4	3.2	0.35	222
70	4	3.5	0.35	208
40	4	7	0.35	239
15	4	18	0.35	230
8	4	21.5	0.35	233
7	4	62	0.35	246
4	4	97	0.35	0
<i>380 mg Larvae</i>				
4500	20	0.65	0.65	0
2500	20	0.95	0.65	744
420	20	2.5	0.65	740
280	20	3.5	0.65	741
220	20	4.5	0.65	770
150	20	6.5	0.65	760
65	20	17	0.65	736
36	20	47	0.65	726
20	20	125	0.65	0
<i>960 mg Larvae</i>				
4900	65	1.0	1.0	0
2300	65	1.9	1.0	2012
520	65	5.5	1.0	2048
220	65	13.5	1.0	1938
110	65	43	1.0	1890
90	65	75	1.0	1850
65	65	150	1.0	0

* Symbols are shown in footnotes of Table 16.

Table 20. Values of W, W₀, T, T₀ and K for parathion against 10, 180, 480 and 960mg larvae of *M. brassicae*.

W*, μg	W ₀ , μg	T, hr	T ₀ , hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$
<i>10 mg Larvae</i>				
190	0.15	3.5	3.5	0
52	0.15	3.6	3.5	5.2
25	0.15	3.7	3.5	5.8
2.5	0.15	5.5	3.5	4.7
1	0.15	9	3.5	4.7
0.6	0.15	14	3.5	4.7
0.5	0.15	18	3.5	5.1
0.3	0.15	35	3.5	4.7
0.15	0.15	90	3.5	0
<i>180 mg Larvae</i>				
500	0.6	6.5	6.5	0
200	0.6	6.5	6.5	0
50	0.6	6.9	6.5	19.8
10	0.6	8.3	6.5	16.9
4.8	0.6	10.5	6.5	16.8
1	0.6	43	6.5	14.6
0.8	0.6	85	6.5	15.7
0.6	0.6	130	6.5	0
<i>480 mg Larvae</i>				
750	2	8.5	8.5	0
500	2	8.5	8.5	0
100	2	8.9	8.5	39.2
50	2	9.3	8.5	38.4
20	2	10.5	8.5	36.0
5	2	21	8.5	37.5
2.5	2	78	8.5	34.8
2	2	120	8.5	0
<i>960 mg Larvae</i>				
600	5	10	10	0
150	5	10.5	10	72.5
50	5	11.5	10	67.5
20	5	15	10	75
10	5	23	10	70
6	5	78	10	68
5	5	110	10	0

* Symbols are shown in footnotes of Table 16.

Table 21. Values of W, W₀, T, T₀ and K for γ -BHC against 10, 40, 120 and 480mg larvae of *M. brassicae*.

W*, μg	W ₀ , μg	T, hr	T ₀ , hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$
<i>10 mg Larvae</i>				
525	0.3	0.5	0.5	0
52	0.3	0.6	0.5	5.2
11	0.3	0.95	0.5	4.8
5	0.3	1.5	0.5	4.7
4	0.3	1.9	0.5	5.2
2	0.3	3.5	0.5	5.7
1.7	0.3	4.0	0.5	5.3
1.5	0.3	4.5	0.5	4.8
1	0.3	7.5	0.5	4.9
0.5	0.3	25	0.5	4.9
0.3	0.3	35	0.5	0
<i>40 mg Larvae</i>				
1000	6	1.0	1.0	0
500	6	1.1	1.0	49.4
100	6	1.5	1.0	47.0
50	6	2.2	1.0	52.8
15	6	6.2	1.0	51.5
10	6	13	1.0	48.0
6	6	52	1.0	0
<i>120 mg Larvae</i>				
2000	10	1.7	1.7	0
1000	10	1.8	1.7	99
500	10	2.1	1.7	196
200	10	2.5	1.7	152
50	10	7.0	1.7	212
45	10	7.5	1.7	203
20	10	18	1.7	163
12.5	10	65	1.7	158
10	10	98	1.7	0
<i>480 mg Larvae</i>				
2000	50	3.6	3.6	0
1000	50	4.5	3.6	855
500	50	5.0	3.6	630
200	50	8.5	3.6	735
100	50	18	3.6	720
75	50	31	3.6	685
50	50	95	3.6	0

* Symbols are shown in footnotes of Table 16.

Table 22. Values of W, W₀, T, T₀ and K for carbaryl against 10, 40, 120 and 480mg larvae of *M. brassicae*.

W*, μg	W ₀ , μg	T, hr	T ₀ , hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$
<i>10 mg Larvae</i>				
520	0.6	0.6	0.6	0
250	0.6	0.7	0.6	25.0
51	0.6	1.0	0.6	20.2
24	0.6	1.5	0.6	21.1
11.5	0.6	2.5	0.6	20.7
6	0.6	4.5	0.6	21.1
5	0.6	5.8	0.6	22.9
2.5	0.6	11	0.6	19.8
1.2	0.6	39	0.6	23.0
0.6	0.6	91	0.6	0
<i>40 mg Larvae</i>				
2000	1	0.9	0.9	0
1000	1	1.0	0.9	99.9
500	1	1.1	0.9	99.8
200	1	1.3	0.9	79.6
50	1	2.6	0.9	83.3
25	1	4.5	0.9	81.6
12	1	8.5	0.9	83.6
10	1	10.5	0.9	86.4
7.5	1	14	0.9	85.2
3	1	42	0.9	82.2
1	1	122	0.9	0
<i>120 mg Larvae</i>				
2500	5	1.4	1.4	0
1000	5	1.6	1.4	199
500	5	1.9	1.4	248
200	5	2.9	1.4	293
50	5	7.2	1.4	260
10	5	53	1.4	258
5	5	126	1.4	0
<i>480 mg Larvae</i>				
2500	60	2.5	2.5	0
1000	60	3.6	2.5	1034
500	60	4.7	2.5	968
250	60	7.6	2.5	969
100	60	28	2.5	1020
75	60	70	2.5	1013
60	60	142	2.5	0

* Symbols are shown in footnotes of Table 16.

Table 23. Values of W_0 , T_0 and K for five insecticides against the various instar larvae of *M. brassicae*.

Insecticides	Larvae Instar	Weight, M mg	Minimum applied dose, W_0 μg	Minimum lethal time, T_0 hr	K, $\mu\text{g}\cdot\text{hr}$			n	K*cal $\mu\text{h}\cdot\text{hr}$
					Range	Mean	S. D.		
Dichlorvos	3	6.5	0.08	0.025	0.62-0.67	0.645	0.028	6	0.65
	3	10	0.1	0.03	0.90-1.26	1.02	0.102	16	1.0
	4	40	0.3	0.06	3.85-4.49	4.11	0.202	10	4.0
	5	120	1	0.1	11.0-13.5	12.5	0.840	9	12
	6	380	3	0.2	34.2-40.2	37.8	1.91	9	38
	6	960	9	0.3	91.0-102.5	96.2	3.22	10	96
Malathion	3	6.5	0.3	0.08	2.4-3.6	3.07	0.10	7	3.0
	3	10	0.5	0.1	9.2-11.5	10.3	0.91	9	10
	4	40	1	0.2	50.0-89.5	70.9	6.85	12	70
	5	120	4	0.35	208-257	235	21.5	9	230
	6	380	20	0.65	726-770	745	12.3	7	750
	6	960	65	1.0	1850-2048	1948	110	5	1910
Parathion	3	10	0.15	3.5	4.7-5.2	4.75	0.31	7	4.7
	5	180	0.6	6.5	14.6-19.8	16.8	1.94	5	16.6
	6	480	2	8.5	34.8-39.2	37.2	2.01	5	37.6
	6	960	5	10	68-75	70.6	2.40	5	71.2
γ -BHC	3	10	0.3	0.5	4.7-5.7	5.06	0.38	9	5.0
	4	40	6	1.0	47.0-52.8	49.8	2.20	5	50
	5	120	10	1.7	99-203	169	38.6	7	170
	6	480	50	3.6	630-855	725	80.1	5	710
Carbaryl	3	10	0.6	0.6	19.8-25.0	21.7	1.53	8	21
	4	40	1	0.9	79.6-99.9	86.8	7.63	9	84
	5	120	5	1.4	199-293	251	16.9	5	252
	6	480	60	2.5	968-1034	1001	30.4	5	1008

* Kcal: Calculated values that were substituted a , B and M of each insecticide for equation $K=aM+B$, where a for dichlorvos, for malathion, for parathion, for γ -BHC and for carbaryl are 0, 10, 2.0, 0.07, 1.5 and 2.1, and B for these insecticides are 0, -10, 4.0, -10 and 0 respectively.