

そのものについては Bliss¹⁾ はじめ多くの研究者の研究があり、当然ここでもとりあげるべきであったがこれらについては次の機会にゆずることとする。

文 献

- 1) Bliss, C. I.: *Ann. Appl. Biol.*, 26, 585 (1939).
- 2) Finney, D. J.: *Probit Analysis*, Cambridge Univ. Press (1947).
- 3) Horsfall, J. G.: *Fungicides and their action*. Chronica Botanica Co. (1945).
- 4) 笠井 勉・荻田善一: 防虫科学 30, 12 (1965).
- 5) Plackett, R. L. and Hewlett, P. S.: *Ann. Appl. Biol.*, 35, 347 (1948).
- 6) Plackett, R. L. and Hewlett, P. S.: *J. Roy. Sta. Soc., S. B.* 14, 141 (1952).
- 7) 酒井清六: 殺虫剤の連合作用に関する昆虫毒物学的研究 (1960).
- 8) Swisher, E. M.: *J. Econ. Ent.*, 37, 690 (1944).

Summary

In order to evaluate synergistic action of two insecticides applied jointly, the alternative method

for insecticidal assay has been applied. This method is, however, applicable to the similar joint action, and is unsuitable for the estimation of the independent joint action. If this method is applied for the estimation of the synergistic action, regression line calculated from expected mortalities in various proportions of two insecticides should not be expectable in linear. The author pointed out that it is undesirable to apply this method for estimation of the independent joint action to detect synergism. Thus, it seems that the application of dosage-mortality-regression line is reasonable for the estimation of synergistic action between two insecticides.

As for an example, the insecticidal action between sevin and BHC against the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler was studied, and the result obtained was considered to be only independent joint action, and could not be expected synergism between the two insecticides.

Joint Sterilizing Effect of a Mixture of Apholate and Hempa on the Azuki Bean Weevil, *Callosobruchus chinensis* L. Studies on the Chemosterilants of Insects. VIII. Sumio NAGASAWA and Hiroshi SHINOHARA (Ihara Agricultural Chemicals Institute, Shimizu, Shizuoka) Received April 27, 1967. *Botyu-Kagaku*, 32, 39, 1967. (with English Summary, 43)

5. Apholate と hempa のアズキゾウムシに対する連合不妊作用 昆虫の化学不妊剤に関する研究. 第8報. 長沢純夫・篠原 寛 (イハラ農薬研究所) 42. 4. 27 受理

Apholate と hempa のアズキゾウムシに対する連合不妊作用様式を、浸漬処理した成虫が産下した卵のふ化率によって検定した結果は similar で、hempa のapholate に対する相対有効度は 2.06% であった。

Apholate と hempa は、これをアズキゾウムシの成虫に処理したとき、それらの産下した卵のふ化を顕著に阻害することは、さきに報告した⁵⁾。apholate はエチレンイミン環をもつ、アルキル化剤のひとつであるのに対して、後者の hempa は phosphoric triamide のひとつで、アルキル化作用をもたない化合物である。本文においては、このようにことなつた化合物の、アズキゾウムシに対する連合不妊作用様式をしる目的をもっておこなつた実験の結果をのべる。なおあわせて Wadley⁶⁾、Finney¹⁾ の方法によって実験結果を解析し、えられた平行な回帰線群の方程式から、synergism の尺度 A_1 を算定したとき、その有意性を検定する方

法をのべる。本文に入るに先立ち、数値解析の方法について、種々の御教示をいただいたエジンバラ大学の Dr. D. A. Williams に謝意を表する。

実験材料および方法

実験材料、方法、飼育、実験施行時の環境条件など、すべてさきの報告⁷⁾と同じで浸漬法によってこれをおこなつた。apholate と hempa の間の連合不妊作用は、これらを 1:19 の比率に混合した場合をえらんで検討した。実験はひとつの濃度段階について10回のくりかえしを、すなわち雌雄10対の産下した卵についてそのふ化を観察した。なおこの実験は1966年7月12日

Table 1. Relations of concentration (%) of apholate, hempa and their 1:19 combination to the average number of hatched eggs deposited by a pair of azuki bean weevils.

Apholate		Hempa		Mixture	
Concentration	Number of hatched eggs	Concentration	Number of hatched eggs	Concentration	Number of hatched eggs
1.0	1.6	20.0	8.7	10.0	2.5
0.7	2.6	14.0	8.0	7.0	7.8
0.5	6.3	10.0	16.6	5.0	8.0
0.35	7.2	7.0	21.2	3.5	9.9
0.25	14.2	5.0	33.1	2.5	16.2
0.175	15.6	3.5	35.7	1.75	33.0
0.125	21.2	2.5	38.8	1.25	28.6
0.0875	37.2	1.75	52.5	0.875	40.2
0.0625	41.1	1.25	40.2	0.625	41.1
Control	49.3	—	—	—	—

から31日にいたる期間におこなつた。

実験結果と考察

実験の結果を浸漬液の濃度と、1対あたりのふ化卵数の平均値の係数としてしめたのが第1表である。この表にしめすように、産下卵数がかぞえられず全く不明の場合、無処理対照区におけるふ化卵数と、最低濃度付近におけるふ化卵数とから、おおよその平均産下卵数 N を推定して、シグモイド曲線をえがく濃度とふ化率の関係を、直線方程式にもとめる Wadley⁹⁾, Finney¹¹⁾ の方法については、先に長沢ら¹⁰⁾ によってしるされ、さらにこれを発展させていくつかの平行な回帰線の方程式を、同時にもとめる方法についても述べた⁹⁾。第2表がその方法によって apholate, hempa およびこれらを 1:19 の比に混用してもちいた場合の実験結果を整理した要約である。

濃度-未ふ化率回帰直線の共通の回帰係数 b と、暫定的にもうけた N に対する補正量 δN をもとめるための逆行列は、第2表下段の数値から

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} \\ v_{21} & v_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0677823 & -0.0207750 \\ -0.0207750 & 0.0111756 \end{pmatrix}$$

としてえられた。これからもとめる共通の回帰係数は $b=2.1608$ となった。一方、同時にえられ $\delta N/N=0.02436$ に、さきの $N=49.00$ を代入、補正量 $\delta N=1.19$ をえるが、これから補正された推定平均産卵数は、 $N'=N+\delta N=50.19$ となり、さきの N の値とあまりちがっていない。厳密には、さらにこの N' の値をあらたに N として計算をくりかえし、より妥当な N' の値をもとめるべきであるが、 χ^2 検定の結果は 12.58 となり、 $P_r=0.05$, $n=23$ における χ^2 の値 35.172 より小であるから、さきの $N=49.00$ をもってしても充分であると判断される。 $a = \bar{y} - b\bar{x} - \frac{\delta N}{N} \bar{x}$ の式によって apholate, hempa およびその混合物それぞれの a を

もとめ、共通の回帰係数を有する、平行な回帰直線の方程式をかくと

$$\begin{aligned} \text{Apholate } Y_1 &= 6.927 + 2.161x, \\ \text{Hempa } Y_2 &= 3.282 + 2.161x, \\ \text{Mixture } Y_3 &= 4.430 + 2.161x \end{aligned}$$

となる。こうした共通の回帰係数をもちいることの妥当性は、個々の回帰係数をもとめ、 $\chi^2 = S_{yy} - b_1(S_{xy})_1 - b_2(S_{xy})_2 - b_3(S_{xy})_3 - \frac{\delta N}{N} S_{x'y'}$ の値と、さきの χ^2 検定の結果とから、第3表にしめすような表をつくって検定をおこなえばよい。

Table 3. Analysis of χ^2 for the data shown in Table 1.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square
Parallelism of regressions	2	0.02	0.01
Residual heterogeneity	23	12.56	0.55
Total	25	12.58	

第3表の結果から、濃度と未ふ化率との関係は、共通の回帰係数 2.161 をもつ、3本の平行な回帰線をもってしめしてさしつかえないといえる。3本の回帰線が相互に平行であることは、最も簡単な連合作用様式である similar action をまずここに考えることが可能である。さきの方程式から apholate の hempa に対する relative potency は、

$$\rho = 10^{-1.6887} = 0.0206$$

となった。よって、これらを $\pi_1:\pi_2=1:19$ の比に混用したものの理論上の濃度-未ふ化率回帰直線の方程式は、

$$Y'_3 = 4.427 + 2.161x$$

Table 2. Calculations on sterilizing effect of apholate, hempa and their 1:19 combination on the azuki bean weevils.

Chemical	X	$P=1-s/N$ (N=49.0)	Empirical probit	Y	w	N _w	x'	y	N _{w_x}	N _{w_x'}	N _{w_y}
Apholate	0.00	0.967	6.84	6.8	0.17348	8.50	-0.455	6.84	0.000	-3.868	58.14
	-0.15	0.947	6.62	6.5	0.25109	12.30	-0.516	6.61	-1.845	-6.347	81.30
	-0.30	0.871	6.13	6.2	0.32770	16.06	-0.593	6.13	-4.818	-9.524	98.45
	-0.45	0.853	6.05	5.9	0.38466	18.85	-0.692	6.04	-8.483	-13.044	113.85
	-0.60	0.710	5.55	5.6	0.40488	19.84	-0.823	5.55	-11.904	-16.328	110.11
	-0.75	0.682	5.47	5.2	0.36344	17.81	-1.076	5.47	-13.358	-19.164	97.42
	-0.90	0.567	5.17	4.9	0.29189	14.30	-1.360	5.17	-12.870	-19.448	73.93
	-1.05	0.241	4.30	4.7	0.23540	11.53	-1.620	4.33	-12.107	-18.679	49.92
	-1.20	0.161	4.01	4.3	0.12863	6.30	-2.428	4.05	-7.560	-15.296	25.52
						<u>125.49</u>			<u>-72.945</u>	<u>-121.698</u>	<u>708.64</u>
Hempa	1.30	0.822	5.92	6.1	0.34983	17.14	-0.623	5.90	22.282	-10.678	101.13
	1.15	0.837	5.98	5.8	0.39612	19.41	-0.731	5.97	22.322	-14.189	115.88
	1.00	0.661	5.42	5.5	0.40173	19.68	-0.876	5.42	19.680	-17.240	106.67
	0.85	0.567	5.17	5.2	0.36344	17.81	-1.076	5.17	15.139	-19.164	92.08
	0.70	0.324	4.54	4.8	0.26398	12.94	-1.481	4.55	9.058	-19.164	58.88
	0.55	0.269	4.38	4.5	0.17926	8.78	-1.964	4.38	4.829	-17.244	38.46
	0.40	0.208	4.19	4.2	0.10648	5.22	-2.721	4.19	2.088	-14.204	21.87
	0.25	—	—	3.9	0.05491	2.69	-3.968	3.28	0.673	-10.674	8.82
	0.10	0.180	4.08	3.6	0.02439	1.20	-6.139	4.26	0.120	-7.367	5.11
					<u>104.87</u>			<u>96.191</u>	<u>-129.924</u>	<u>548.90</u>	
Mixture	1.00	0.949	6.64	6.6	0.22452	11.00	-0.494	6.63	11.000	-5.434	72.93
	0.85	0.841	6.00	6.3	0.30338	14.87	-0.565	5.94	12.640	-8.402	88.33
	0.70	0.837	5.98	5.9	0.38466	18.85	-0.692	5.98	13.195	-13.044	112.72
	0.55	0.798	5.83	5.6	0.40488	19.84	-0.823	5.81	10.912	-16.328	115.27
	0.40	0.669	5.44	5.3	0.38069	18.65	-1.002	5.43	7.460	-18.687	101.27
	0.25	0.327	4.55	4.9	0.29189	14.30	-1.360	4.56	3.575	-19.448	65.21
	0.10	0.416	4.79	4.6	0.20692	10.14	-1.780	4.79	1.014	-18.049	48.57
	-0.05	0.180	4.08	4.3	0.12863	6.30	-2.428	4.11	-0.315	-15.296	25.89
	-0.20	0.161	4.01	4.0	0.06959	3.41	-3.477	4.00	-0.682	-11.857	13.64
					<u>117.36</u>			<u>58.799</u>	<u>-126.545</u>	<u>643.83</u>	
Controls	s=49.3										

Apholate : $\bar{x}_1 = -0.5813$ $\bar{x}'_1 = -0.9698$ $\bar{y}_1 = 5.6470$
 Hempa : $\bar{x}_2 = 0.9172$ $\bar{x}'_2 = -1.2389$ $\bar{y}_2 = 5.2341$
 Mixture : $\bar{x}_3 = 0.5010$ $\bar{x}'_3 = -1.0783$ $\bar{y}_3 = 5.4859$

	$SN_{w_x^2}$	$SN_{w_{xx'}}$	$SN_{w_x'^2}$	$SN_{w_{xy}}$	$SN_{w_x'y}$	$SN_{w_y^2}$
Apholate :	56.0678	89.322	147.62	-381.68	-644.40	4071.95
	<u>42.4029</u>	<u>70.742</u>	<u>118.02</u>	<u>-411.92</u>	<u>-687.23</u>	<u>4001.69</u>
	13.6649	18.580	29.60	30.24	42.83	70.26
Hempa :	97.1971	-95.716	241.23	523.49	-628.86	2921.37
	<u>88.2264</u>	<u>-119.171</u>	<u>160.96</u>	<u>503.47</u>	<u>-680.04</u>	<u>2873.00</u>
	8.9707	23.455	80.27	20.02	51.18	48.37
Mixture :	41.1134	-41.693	185.56	347.96	-645.71	3592.86
	<u>29.4583</u>	<u>-63.403</u>	<u>136.45</u>	<u>322.57</u>	<u>-694.21</u>	<u>3531.99</u>
	11.6551	21.710	49.11	25.39	48.50	60.87
Controls :				N=49.00	$s_0 - N = 0.30$	$(s_0 - N')^2 / N'$ =0.02
Totals :	34.2907	63.745	207.98	75.65	142.81	179.52

とならなければならない。これから synergism の尺度を計算すると

$$A_s = 0.003$$

となった。この値の有意性はその variance をもとめて、 $\chi_{(1)}^2 = A_s^2 / V(A_s)$ として有意水準 0.05 における $n=1$ の $\chi^2=3.841$ より小であるか大であるかによって判定すればよい。しかしこの A_s の variance は、Finney²⁾ がその著 Probit Analysis の中でしめた (8.11) 式をそのままもちいてもとめることは不可能で、Wadley⁸⁾, Finney¹¹⁾ の方法で、投量と反応率の関係が解析された場合は、つぎにしめすように (8.11) 式を若干改変した式によらなければならない⁹⁾。すなわち、

$$V(A_s) = \frac{1}{(\pi_1 + \rho\pi_2)^2 b^2} \left[\frac{\pi_1^2}{1S_{nw}} + \frac{\rho^2\pi_2^2}{2S_{nw}} + \frac{(\pi_1 + \rho\pi_2)^2}{3S_{nw}} + \frac{(\pi_1\bar{y}_1 + \rho\pi_2\bar{y}_2 - (\pi_1 + \rho\pi_2)(\bar{y}_3 - A_s))^2 v_{11}}{b^2} \right]$$

それぞれの符号に相当する値は、すでに前に全部しめているので、それらを代入して計算すると

$$V(A_s) = \frac{1}{2.161^2(0.05+0.026 \times 0.95)^2} \left\{ \frac{0.05^2}{125.49} + \frac{0.0206^2 \times 0.95^2}{104.87} + \frac{(0.05+0.0206 \times 0.95)^2}{117.36} + \frac{\{0.05 \times 5.6470 + 0.0206 \times 0.95 \times 5.2341 - * (0.05+0.0206 \times 0.95)(5.4859-0.003)\}^2}{2.161^2} \times 0.0677823 \right\} = 0.002889$$

がえられる。ゆえに $\chi_{(1)}^2 = 0.003^2 / 0.002889 = 0.003115$ となり、本実験の結果はほとんど完全に similar action の形にあてはめることができた。この関係を図に示し

たのが第1図である。このことから apholate と hempa の作用性が全く異なるとして、その連合作用様式に independent joint action の型を仮定し、その適合性を検定した結果をしめすまでもないであろう。そして apholate と hempa の連合作用は、上述のような試験をおこなうかぎり、similar action であると考えて差支えないであろう。先に長沢⁹⁾は、化学構造、作用性の上から全く同様の関係にある metepa と hempa の連合作用毒性を、おなじ実験材料、方法によって検討したが、その結果は今回ここにのべた結論とまたおなじであった。

つぎに $P_r=0.05$ における g の値をもとめると

$$g = t^2 V_{(b)}/b^2 = 0.05577$$

となり、0.1 よりも小さい。よって先報にしめた式によって apholate, hempa それぞれの中央ふ化阻害濃度の対数値と、その variance を計算した結果は

$$\text{Apholate } m = -0.8916 \quad V_{(m)} = 0.00803374,$$

$$\text{Hempa } m = 0.7949 \quad V_{(m)} = 0.00728177$$

となった。これから産下卵のふ化を半数阻害する最もたしからしい apholate, hempa それぞれの濃度と、有意水準 0.05 におけるその信頼限界をもとめると、

$$\text{Apholate } 0.128\% \quad (0.086 \sim 0.520\%),$$

$$\text{Hempa } 6.236\% \quad (4.242 \sim 9.167\%)$$

となった。hempa の apholate に対する相対有効効力はさきに ρ の値をもつてしめた 0.0206 であるが、有意水準 0.05 におけるその信頼限界を計算した結果は、0.0036 ~ 0.1187 となった。すなわち hempa のアズキゾウムシのふ化を抑制する効力は、浸漬法で検定した場合 apholate の 2.06% の効力しかもたず、その信頼

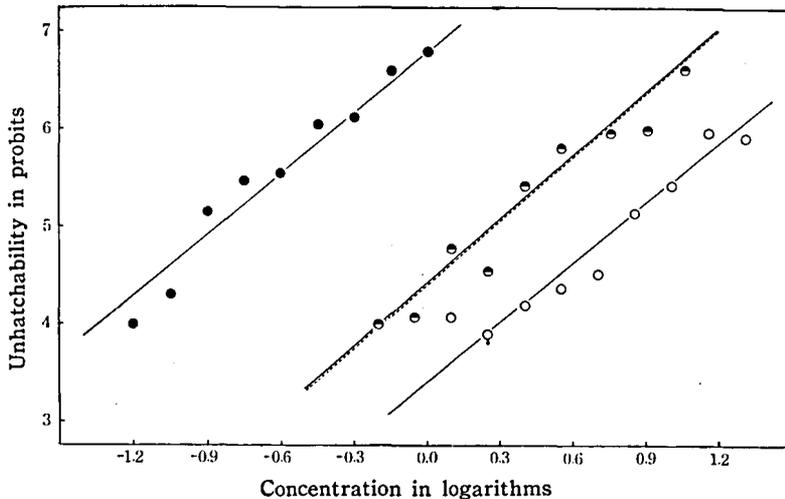


Fig. 1. Concentration-unhatchability regression lines for apholate (●-●-), hempa (○-○-), and their 1:19 combination (◐-◐-). Broken line denote the similar action prediction for mixture.

限界は0.36~11.87%であった。

摘 要

1. Apholate と hempa とこれらを1:19に混合したものによって、アズキゾウムシの成虫を浸漬処理し、えられた産下卵のふ化率と、浸漬液の濃度の関係を、Wadley, Finneyの方法にしたがって整理した結果、それぞれの回帰直線は相互に平行関係をしめた。

2. 理論的に期待される混合剤の回帰方程式と、実験値からえられた方程式とから算定したsynergismの尺度 A_s は、ほとんど0にひとしく、 $V(A_s)$ を計算して χ^2 検定した結果からも、apholate と hempa の連合作用様式は similar であると結論された。

3. Apholate, hempa それぞれの、産下卵のふ化を50%阻害する濃度と、有意水準0.05における信頼限界は、それぞれ0.128% (0.086~0.520%)、6.236% (4.242~9.167%)となり、hempa は apholate のわずか2.06% (0.36~11.87%)の効力しかもたないということが可能である。

引用文献

- 1) Finney, D. J.: *Biometrika*, 36, 239~256 (1949).
- 2) Finney, D. J.: *Probit Analysis*. Cambridge Univ. Press, 318pp. (1952).
- 3) 長沢純夫・篠原 寛: 応動昆 9, 162~165 (1965).
- 4) 長沢純夫・篠原寛・柴三千代: 防虫科学 30, 91~95 (1965).
- 5) 長沢純夫・篠原寛・柴三千代: 防虫科学 31, 108~113 (1966).
- 6) 長沢純夫・篠原 寛: 1966年3月30日講演発表(京都)
- 7) Shinohara, H. and S. Nagasawa: *Ent. exp. and appl.* 6, 263~267 (1963).
- 8) Wadley, F. M.: *Ann. Appl. Biol.* 36, 196~202 (1949).
- 9) Williams, D. A.: 1967年1月18日付書信.

Summary

Joint physiological effect of a mixture of apholate and hempa on the hatchability of eggs deposited by treated azuki bean weevil was tested by dipping method. The former is one of the

ethylenimine compounds having the alkylating action for living organisms and the latter is a phosphoric triamide having no alkylating action. The experimental data obtained were analysed statistically by Wadley and Finney's procedure for tolerance distributions. The relation between concentrations of chemicals in logarithms and the average number of unhatched eggs per a single pair of weevils in probits could be fitted satisfactorily by the three parallel probit regression lines shown as equations: $Y_1=6.927+2.161x$, $Y_2=3.282+2.161x$, and $Y_3=4.430+2.161x$ (subscript numbers 1, 2 and 3 denote apholate, hempa and their 1 to 19 combination respectively). If apholate and hempa act similarly, the regression line for the mixture could be predicted as $Y_3=4.427+2.161x$ which is not very different from the empirical equation mentioned above, showing the hypothesis to be in reasonable agreement with the data. The value of synergism A_s calculated from these empirical and theoretical equations was $A_s=0.003$ and it showed very weak synergism. Variance of A_s was calculated by the following equation which was slightly modified the equation (8.11) in Finney's Probit Analysis:

$$V(A_s) = \frac{1}{(\pi_1 + \rho\pi_2)^2 b^2} \left[\frac{\pi_1^2}{S_{nw}} + \frac{\rho^2 \pi_2^2}{S_{nw}} + \frac{(\pi_1 + \rho\pi_2)^2}{S_{nw}} + \frac{(\pi_1 \bar{y}_1 + \rho\pi_2 \bar{y}_2 + (\pi_1 + \rho\pi_2)(\bar{y}_3 - A_s))^2 v_{11}}{b^2} \right]$$

The test of significance of A_s which was carried out as a χ^2 test, $\chi_{(1)}^2 = A_s^2 / V(A_s) = 0.003$, showed the indication of synergism was not significant at $P_r=0.05$, so that apholate and hempa jointly acted in a similar way on the hatchability of eggs of the azuki bean weevils. The most probable median hatchability inhibiting concentration of apholate was estimated as 0.128% with fiducial limits of 0.086~0.520% for 95% probability and that of hempa was 6.236% with 4.242~9.167%. Thus, hempa is estimated to have a potency 2.06% that of apholate, and the true value is likely to lie between 0.36 and 11.87%.