

植物防疫基礎講座

LD₅₀ の意味とその計算方法

農林省横浜植物防疫所 楯 谷 昭 夫

害虫の殺虫剤感受性の比較や、殺虫剤の効力比較に、よく LD₅₀ という数値が使われる。これは“50% 致死量”という意味で、薬剤の毒性を判定する基準として最も広く用いられているものである。この致死量という概念の理解は、投薬量の決定において不可欠と思われるので、ここに述べたい。

1 致死量

ある物質が生体に働いてなんらかの作用を及ぼすとき、その作用が生体側に不利である場合に、それをその物質の“毒性”という。この毒性を示す基準にはいろいろのものがあるが、古来最もしばしば用いられているのが致死量という概念である。

農薬の毒性や、投薬量を知りたいとき、短時間変化、多くは 24 時間あるいは 48 時間後に死亡するかどうかということを目印としている。この直接に生物を死亡させる量を致死量と呼んでいる。いま n 匹の虫にある毒物を与えたとして、そのうち s 匹は生残り、残余は死亡したとする。このことは、毒物に対し、抵抗力に個体差のあることを意味しているかもしれないし、毒物を投与するときの偶然の事情に関係するかもしれないし、あるいは両者に基づいて起こるのかもしれない。しかし、いずれにせよ、自己の致死量が毒物の投量より低いものは死亡するであろうし、それ以外は生残るであろう。

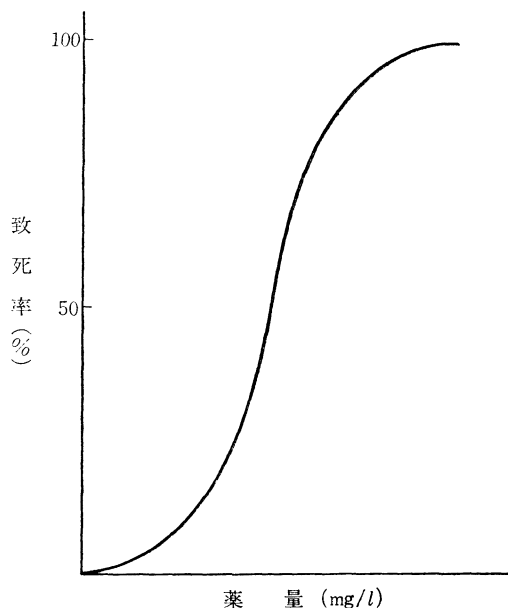
2 50% 致死量の意義

薬量と死亡率の関係は一般に薬量の増加に伴って各群の死亡率は増加してゆく。グラフの上の横軸に薬量を、縦軸に各薬量に対する死亡率をとり、それぞれの点をプロットして、これらの点を結ぶと折線が得られ、理論的には S 字状を呈する薬量死亡曲線（シグモイド曲線）を得る（第 1 図）。この曲線は死亡率 50% の点で曲線の勾配が最大となる。すなわち薬量の変化が死亡率に最も鋭敏にひびく点である薬剤の毒性を示すのに最も適当なのである。

この死亡率 50% に相当する薬量を 50% 致死量、すなわち LD₅₀ と称し、毒性判定に用いるのである。そしてこの LD₅₀ の値が小さいほど、少量の薬量で 50% の死亡率が得られる。すなわち毒性が強いということになる。

3 プロビット変換

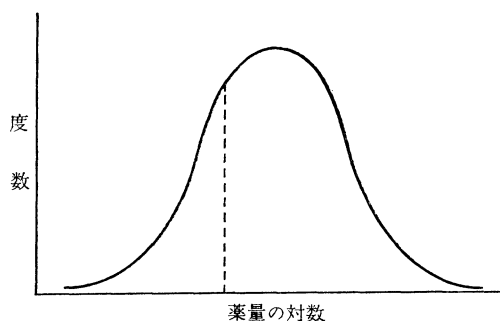
個体の種々の形質、たとえば体重の分布の状態を見る



第 1 図 薬量死亡曲線

と、軽いものや重いものは個体数（度数）が少なく、中間部分の度数が最も多くなるのが普通で、たいていは左右に対称的な尾をひいたきれいな山型となる。このような分布を正規分布と称している。

個体の致死量の度数分布は毒物の薬量そのものを横軸に用いると一般に正規分布を示さないが、毒物の薬量の対数値を用いた場合には正規分布となる（第 2 図）。今ある薬量の対数値を示す横軸上の点における垂線はこの曲線を二つの部分に分割する。そして垂線の左側の面積の



第 2 図 致死量の正規分布曲線

第 1 表 死亡率%よりプロビットを求める表 (Bliss, 1934)
死亡率 32% に対しては表からプロビット 4.53, 99.5% に対しては表から 7.58 とよむことができる。

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
99	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

全面積に対する割合は与えられた薬量より低い致死量をもつ虫, すなわち死亡する虫の比率を与え, 垂線の右側の面積の割合は与えられた薬量より高い致死量をもつ虫, すなわち生残る虫の比率を与えるものである。

ところで死亡率に統計処理を施して, プロビットと呼ぶ数値に変換すると死亡率と薬量との関係は直線的になる。このプロビットに変換する操作はややめんどうなので省略するが, すてに Bliss (1934) が, それぞれの死亡率をプロビット値に換算して表示しているの, それを利用すればよい(第 1 表)。各種の薬量に対する供試虫の死亡率をこの表を用いてプロビットに変換し, これを薬量(対数値)に対してプロットすれば直線関係が得られる(第 3 図)。そこで回帰直線を決定すれば, これによって任意の死亡率に対する薬量を求めることができる。たとえば致死率 50% は第 1 表よりプロビットが 5.00 であることから, 容易にその薬量を求めることができるのである。

LD₅₀ の計算方法

いまある供試虫を用いて, あるくん蒸剤の効力を試験したところ第 2 表の結果が得られたとする。この表の結果から実際に LD₅₀ を求めてみよう。

(例) 第 2 表 薬量と死亡数の試験結果

薬量 mg/l	2.0	3.0	4.5	6.8	10.1	15.2	22.8
供試虫数	16	32	68	92	63	31	18
死亡虫数	0	4	20	55	51	29	18

(解) 50% 致死量 (LD₅₀ と略記) を求めるとき, 薬量の段階は等比級数的にしたほうが計算も楽であり, 回帰直線をつくるときに点の散らばり方が全範囲に平等になるのでよい。また, 上のような表は本実験の結論として得られるが, この前に予備実験によって全部が死亡する薬量と全部が生残る薬量をなるべく狭い幅できめ, 改めてその間を 6~10 段階に分ける。各段階の薬量に割りあてる供試虫数は中央ほど多く(80~100 匹), 両端に行くにつれて少なく(10~20 匹)して行くのである。LD₅₀ を出すときに求める回帰直線ではプロビット 5 の付近ほど重点をおいて出すので, それにはこの付近での供試虫数を多くしておくほうがよいからである。次に計算表(第 3 表)を掲げ, 順次説明しよう。

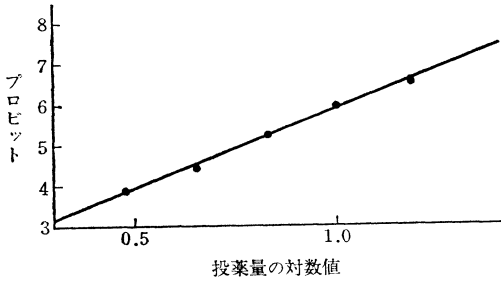
第 3 表から薬量対数とプロビットとの間の直線の式をつくることができるわけだから, 各列の求め方がわかれば

第 3 表 計 算 表

薬量(a) mg/l	x (=log a)	供試虫数 (n)	死亡虫数 (r)	死亡率 (p)	実測プロ ビット	推定プロ ビット	重み (w)	nw	実用プロ ビット (y)	nwx	nwy
2.0	0.3010	16	0	0		3.20	0.180	2.9	2.74	0.8729	7.946
3.0	0.4771	32	4	12.5	3.85	3.85	0.388	12.4	3.85	5.9160	47.740
4.5	0.6532	68	20	29.3	4.46	4.50	0.581	39.5	4.46	25.8014	176.170
6.8	0.8325	92	55	60.0	5.25	5.20	0.627	57.7	5.25	48.0353	302.925
10.1	1.0043	63	51	81.0	5.88	5.85	0.487	30.7	5.88	30.8320	180.516
15.2	1.1790	31	29	93.5	6.52	6.55	0.253	7.8	6.53	9.1962	50.934
22.8	1.3579	18	18	100.0		7.10	0.110	2.0	7.59	2.7158	15.180
								153.0		123.3696	781.411

ばよい。まず死亡率の欄までは説明するまでもない。実測プロビットは七つの死亡率のそれぞれに対応するプロビットの変換表（第1表）から求める。

この表では0%および100%に対するプロビットは求められないから実測プロビットは五つである。次に薬量の対数とそれに対応するプロビットを両軸にとってこの五つの点を記し、第3図を得る。この各点になるべくよ



第3図 投薬量（対数値）とプロビットの関係

く合うような直線を引き、各薬量に対応するプロビットをこの直線上に読んだのが推定プロビットである。これでは両端の薬量に対応するものも求めることができるからこの例では七つ求まる。重みはこの例でいえば7個の観測点のどれに重点をおくかを示す量で、第4表より読みとることができる。この重みの係数wはプロビットの値によるもので、プロビット5で最大、それ以上および以下になるにつれて減少する。しかし、実際の重みは各薬量に対する供試虫数nも関係するので、“重み”としてnwが必要なのである。たとえば $x=0.3010$ に対してはwは推定プロビット3.20に対するものとして0.180であり、 $n=16$ だから重みは $nw=2.9$ となる。次に実用プロビットは死亡率と推定プロビットを与えて実用プロビットを得るための実用プロビットの表（第5表）から求めることができる。nw_x、nw_yは重みを薬量xと実用プロビットyにかけて求めるのであるが、これは先ほど目安で引いた回帰直線を統計的に正しく補正し

て引きなおすための準備計算である。xとこれに対応するyを求めた後で回帰直線を求めるのはxあるいはyの平均および偏差平方和を求める場合に重みを考慮に入れてやらなければならない。

薬量(対数値)の平均値:

$$\bar{x} = \frac{\sum nwx}{\sum nw} = \frac{123.3696}{153.0} = 0.8063$$

プロビットの平均値:

$$\bar{y} = \frac{\sum nwy}{\sum nw} = \frac{781.411}{153.0} = 5.1072$$

この場合

$$\begin{aligned} \sum nwx &= n_1w_1x_1 + n_2w_2x_2 + \dots + n_7w_7x_7 \\ &= 16 \times 0.180 \times 0.3010 + 32 \times 0.388 \times 0.4771 + \dots \\ &\quad \dots + 18 \times 0.110 \times 1.3579 = 123.3696 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum nw &= n_1w_1 + n_2w_2 + \dots + n_7w_7 \\ &= 16 \times 0.180 + 32 \times 0.388 + \dots \\ &\quad \dots + 18 \times 0.110 = 153.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum nwy &= n_1w_1y_1 + n_2w_2y_2 + \dots + n_7w_7y_7 \\ &= 16 \times 0.180 \times 2.74 + 32 \times 0.388 \times 3.85 + \dots \\ &\quad \dots + 18 \times 0.110 \times 7.59 = 781.411 \end{aligned}$$

ただし、 \sum は総合計、nは供試虫数、xは薬量の対数値、yはプロビットを表わす。

以上の計算は次の偏差平方和、偏差積和をつくる時にも必要となる。

偏差平方和は重みをつけた場合、次のようになる。

$$\sum nw(x - \bar{x})^2 = \sum nwx^2 - \frac{(\sum nwx)^2}{\sum nw}$$

となる。いうまでもなく、この例では

$$\begin{aligned} \sum nwx^2 &= n_1w_1x_1^2 + n_2w_2x_2^2 + \dots + n_7w_7x_7^2 \\ &= 16 \times 0.180 \times 0.3010^2 + 32 \times 0.388 \times 0.4771^2 + \dots \\ &\quad \dots + 18 \times 0.110 \times 1.3579^2 = 105.4228 \end{aligned}$$

となる。よって、

$$\sum nw(x - \bar{x})^2 = 105.4228 - \frac{(123.3696)^2}{153.0} = 5.9452$$

また、偏差積和は次式のとおりでである。

第4表 重みの係数の表

推定プロビット 5.3 に対しては重みの係数は、0.616 とよむ。

推定プロビット	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1.0	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.005	0.006	0.008	0.011
2.0	0.015	0.019	0.025	0.031	0.040	0.050	0.062	0.076	0.092	0.110
3.0	0.131	0.154	0.180	0.208	0.238	0.269	0.302	0.336	0.370	0.405
4.0	0.439	0.471	0.503	0.532	0.558	0.581	0.601	0.616	0.627	0.634
5.0	0.637	0.634	0.627	0.616	0.601	0.581	0.558	0.532	0.503	0.471
6.0	0.439	0.405	0.370	0.336	0.302	0.269	0.238	0.208	0.180	0.154
7.0	0.131	0.110	0.092	0.076	0.062	0.050	0.040	0.031	0.025	0.019
8.0	0.015	0.011	0.008	0.006	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001

第5表 実用ブロッツトの表

推定プロ ビット	率 (%)																				
	死										亡										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
2.0	1.70																				
2.1	1.79																				
2.2	1.88	8.19																			
2.3	1.97	6.77																			
2.4	2.06	5.74	9.42																		
2.5	2.15	5.00	7.85																		
2.6	2.23	4.47	6.70	8.93																	
2.7	2.32	4.09	5.85	7.62	9.38																
2.8	2.41	3.82	5.23	6.64	8.05	9.46															
2.9	2.49	3.63	4.77	5.90	7.04	8.18	9.31														
3.0	2.58	3.50	4.43	5.36	6.28	7.21	8.14	9.06													
3.2	2.74	3.38	4.01	4.64	5.28	5.91	6.54	7.18	7.81	8.44	9.08										
3.4	2.91	3.36	3.81	4.20	4.71	5.16	5.61	6.06	6.51	6.96	7.41	7.86									
3.6	3.06	3.39	3.73	4.06	4.40	4.73	5.06	5.40	5.73	6.07	6.40	6.73	7.07	7.40	7.74	8.07	8.40			9.41	9.74
3.8	3.21	3.46	3.72	3.98	4.24	4.49	4.75	5.01	5.27	5.52	5.78	6.04	6.30	6.55	6.81	7.07	7.33	7.58	7.84	8.10	8.36
4.0	3.34	3.55	3.76	3.96	4.17	4.38	4.58	4.79	5.00	5.20	5.41	5.62	5.82	6.03	6.24	6.44	6.65	6.86	7.06	7.27	7.48
4.2	3.47	3.64	3.81	3.99	4.16	4.33	4.50	4.68	4.85	5.02	5.19	5.37	5.54	5.71	5.89	6.06	6.23	6.40	6.58	6.75	6.92
4.4	3.58	3.73	3.88	4.03	4.18	4.33	4.48	4.63	4.78	4.93	5.08	5.23	5.38	5.53	5.68	5.83	5.98	6.13	6.28	6.43	6.58
4.6	3.66	3.80	3.94	4.07	4.21	4.34	4.48	4.61	4.75	4.89	5.02	5.16	5.29	5.43	5.57	5.70	5.84	5.97	6.11	6.24	6.38
4.8	3.72	3.85	3.98	4.11	4.24	4.36	4.49	4.62	4.75	4.87	5.00	5.13	5.26	5.39	5.51	5.64	5.77	5.90	6.03	6.15	6.28
5.0	3.75	3.87	4.00	4.12	4.25	4.37	4.50	4.62	4.75	4.87	5.00	5.13	5.25	5.38	5.50	5.63	5.75	5.88	6.00	6.13	6.25
5.2	3.72	3.85	3.97	4.10	4.23	4.36	4.49	4.61	4.74	4.87	5.00	5.13	5.25	5.38	5.51	5.64	5.76	5.89	6.02	6.15	6.28
5.4	3.62	3.76	3.89	4.03	4.16	4.30	4.43	4.57	4.71	4.84	4.98	5.11	5.25	5.39	5.52	5.66	5.79	5.93	6.06	6.20	6.34
5.6	3.42	3.57	3.72	3.87	4.02	4.17	4.32	4.47	4.62	4.77	4.92	5.07	5.22	5.37	5.52	5.67	5.82	5.97	6.12	6.27	6.42
5.8	3.08	3.25	3.42	3.60	3.77	3.94	4.11	4.29	4.46	4.63	4.81	4.98	5.15	5.32	5.50	5.67	5.84	6.01	6.19	6.36	6.53
6.0	2.52	2.73	2.94	3.14	3.35	3.56	3.76	3.97	4.18	4.38	4.59	4.80	5.00	5.21	5.42	5.62	5.83	6.04	6.24	6.45	6.66
6.2	1.64	1.90	2.16	2.42	2.67	2.93	3.19	3.45	3.70	3.96	4.22	4.48	4.73	4.99	5.25	5.51	5.76	6.02	6.28	6.54	6.79
6.4	0.26	0.59	0.93	1.26	1.60	1.93	2.26	2.60	2.93	3.27	3.60	3.93	4.27	4.60	4.94	5.27	5.60	5.94	6.27	6.61	6.94
6.6						0.33	0.78	1.23	1.68	2.14	2.59	3.04	3.49	3.94	4.39	4.84	5.29	5.74	6.19	6.64	7.09
6.8										0.29	0.92	1.56	2.19	2.82	3.46	4.09	4.72	5.36	5.99	6.62	7.26
7.0													0.01	0.94	1.86	2.79	3.72	4.64	5.57	6.50	7.42
7.1															0.69	1.82	2.96	4.10	5.23	6.37	7.51
7.2																0.54	1.95	3.36	4.77	6.18	7.59
7.3																	0.62	2.38	4.15	5.91	7.68
7.4																	1.07	3.30	5.53	7.77	
7.5																			2.15	5.00	7.85
7.6																			0.58	4.26	7.04
7.7																				3.23	8.03
7.8																				1.81	8.12
7.9																					8.21

$$\sum nw(x-\bar{x})(y-\bar{y}) = \sum nwx y - \frac{(\sum nwx)(\sum nwy)}{\sum nw}$$

$$\begin{aligned} \sum nwx y &= n_1 w_1 x_1 y_1 + n_2 w_2 x_2 y_2 + \dots + n_7 w_7 x_7 y_7 \\ &= 16 \times 0.180 \times 0.3010 \times 2.74 + 32 \times 0.388 \\ &\quad \times 0.4771 \times 3.85 + \dots + 18 \times 0.110 \\ &\quad \times 1.3579 \times 7.59 = 654.3842 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \sum nw(x-\bar{x})(y-\bar{y}) &= 654.3842 \\ &\quad - \frac{(123.3696)(781.411)}{153.0} = 24.3034 \end{aligned}$$

$$\text{回帰直線は } Y = \bar{y} + b(x - \bar{x})$$

であって

$$b = \frac{\sum nw(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum nw(x-\bar{x})^2} = \frac{24.3034}{5.9452} = 4.088$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } Y &= 5.1072 + 4.088(x - 0.8063) \\ &= 1.8110 + 4.088x \end{aligned}$$

この回帰直線を使って x に対する y を求めるとそれぞれ、3.04、3.76、4.48、5.21、5.92、6.63、7.36 となる。これは精密に求めた回帰直線上の点であるが、回帰

直線を利用して出したということに関して、推定プロビットの値と同種類であると考えられる。この2系列は推定回帰直線が適切であればあるほど、対応するもの同士が近接した値をとる。対応するもの同士の差が0.2以上に及ぶときは推定プロビットの回帰直線が不適当であったと認めて、計算して出した3.04、3.76、……7.36を推定プロビットの代わりに使い、これから出発してもう一度計算する。この例では7.10と7.36のくい違いが0.26以外は皆0.2以下であるので、ここで計算を止めておくことにする。

$$Y = 1.8110 + 4.088x$$

上式において $Y=5$ に対する x は LD_{50} であり、 $m=0.7801$ で、これは対数値であるから、自然数の mg 数に直すと 6.08 mg となる。

なお、 LD_{50} の求め方はいく通りもあるが、ここで解説したのはもっとも広く使われている **BLISS** のプロビット法を中心としたものであることをおことわりしておく。

『アメリカシロヒトリ』九州に飛火

アメリカシロヒトリの分布は、侵入以来関東地方を中心に東北・北陸・近畿地方の一部に限られていたが、昨昭和44年8月、四国の愛媛県に侵入したのに続いて、ついに本年8月、九州の福岡県で発生が認められた。

本年8月22日、福岡市内の街路樹、公園などの緑化風致植物に本虫の発生を確認。調査の結果、須崎公園、冷泉公園、東公園、水上公園、平和台、市内の街路樹および一般家庭の庭木などに発生していることを確認した。侵入経路など詳細については調査中であるが、現在

のところ福岡市以外には発生はない。

なお、福岡県の新発生により、昭和45年第2世代現在、アメリカシロヒトリの発生都府県は次の22となった。

岩手、宮城、秋田、山形、福島、茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨、長野、静岡、新潟、富山、石川、大阪、兵庫、愛媛、福岡

(農政局植物防疫課 酒井浩史)

人事消息

松平 孝氏 (農地局計画部長) は東北農政局長に
石井一雄氏 (東北農政局長) は退職
小山義夫氏 (農地局管理部長) は中国四国農政局長に
石田 茂氏 (中国四国農政局長) は農林大臣官房付に
杉 頼夫氏 (北海道農試場長) は草地試験場長に
久木田睦夫氏 (中国農試場長) は北海道農業試験場長に
野崎 博氏 (畜産試加工部長) は中国農業試験場長に
仁木巖雄氏 (農林水産技術会議事務局研究参事官) は四国農業試験場長に
安孫子孝一氏 (四国農試場長) は九州農業試験場長に
天辰克己氏 (九州農試場長) は退職
千葉 勉氏 (園芸芸果樹部果樹育種第2研究室長) は園芸試験場果樹部長に

小林勝利氏 (蚕糸試九州支場長) は蚕糸試験場病理部長に
森 信行氏 (同上試本場企画連絡室企画科長) は同場九州支場長に

渋沢 博氏 (群馬県農政部農業技術課農産係) は群馬県農政部農政課調査係長に

滝下 勤氏 (神奈川県企画調査部企画課主幹) は神奈川県農政部農産園芸課長に

横田道義氏 (同上農政部農産園芸課長) は同上農政総合研究所長に

広瀬友信氏 (同上農政総合研究所長) は同上農政総合事務所長に

片木尚寿氏 (神奈川県農政部農産園芸課農産係) は神奈川県西部病害虫防除所長に