

新的生物测定结果计算方法的探索

丁 武

(福建省农业科学院土肥研究所, 福州 350013)

摘要: 经严格数学推导和计算以及统计分析, 证明生物测定过程中, 死亡率同药剂的剂量或浓度间存在特定的数学关系。以上述数学关系为基础, 编写了 BASIC 程序, 提出了一种新的生物测定结果计算方法。将新方法用于生物测定结果计算, 不仅准确可靠, 而且计算效率有较大提高。

关键词: 生物测定; 新方法; 数学模型; BASIC 程序

The Study on a New Method of Biological Measurement Calculation

Ding Wu

(Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013)

Abstract: It was found that there was a specific mathematical relation between dosage (or concentration) and death rate in biological measurement after a strict mathematical inference, calculation and statistics. Based on the above mathematical model, a new calculation method for biological measurement was invented. The BASIC program of this new method was also developed. The new method will bring out not only accurate and reliable results, but also higher calculation efficiency if it is applied to the compilation of biological measurement.

Key Words: Biological measurement; New method; Mathematical model; BASIC program

生物测定是生物防治研究中的基本环节之一。目前, 生物测定结果计算中主要采用目测图解法、最小二乘法和机值分析法^[4]。采用上述三种方法均需经过死亡率转化为机率值以及机率值逆转为相对应死亡率这一数学上复杂和手续上繁琐的查表过程。虽然计算机的引进使得生物测定结果计算的工作量大为减小, 然而由于上述特定过程的存在使得计算效率的进一步提高受到限制。已知生物测定过程中, 死亡率同药剂的剂量或浓度间存在 S 形曲线关系^[3]。从数学角度出发, 它们应符合一定的数学模型^[2]。若能找到这样的数学模型, 并以之为基础编译相应的计算机程序, 应用到生物测定结果计算中, 必将使得计算效率大幅度提高。本文基于苏云金杆菌毒效生物测定的三组原始试验数据*, 从数学角度和计算机角度出发, 探索一种计算效率更高的生物测定结果计算方法。

* 华中农学院农抗研究室, 1982. 微生物农药

收稿日期: 1991—01—26

1 测试对象的死亡率同药剂的剂量或浓度间数学关系的确立

前言中已谈到，测试对象的死亡率同药剂的剂量（浓度）间存在S形曲线关系。从数学角度出发，它们可能符合数学模型 $x = k \left(\frac{y}{1-y} \right)^{\frac{1}{n}}$ 。模型中 x 为自变量， y 为应变量，具体到生物测定中， x 为剂量或浓度， y 为死亡率。本文以三组生物测定原始试验数据为代表，经数学推导，计算和统计分析来考证在生物测定过程中，死亡率同剂量或浓度间是否存在数学关系 $x = k \left(\frac{y}{1-y} \right)^{\frac{1}{n}}$ 。

1.1 数学推导、计算和统计分析^[1]

$$x = k \left(\frac{y}{1-y} \right)^{\frac{1}{n}} \dots \dots \dots \quad (1)$$

方程两边取常用对数得

$$\lg x = \lg k + \frac{1}{n} \lg \left(\frac{y}{1-y} \right)$$

$$\text{令 } \lg x = x' \text{, } \lg \left(\frac{y}{1-y} \right) = y'$$

$$\text{上式为 } x' = \lg k + \frac{1}{n} \cdot y'$$

$$\text{即 } y' = nx' - n \cdot \lg k$$

$$\text{再令 } n = b, -n \cdot \lg k = a$$

上式为常规直线方程

$$y' = a + bx \dots \dots \quad (2)$$

a —截距， b —斜率（回归系数）

采用最小二乘法求得：

$$b = \frac{\sum (x' y') - (\sum x') \cdot (\sum y') / M}{\sum x'^2 - (\sum x')^2 / M}$$

$$a = \bar{y}' - b\bar{x}'$$

特例，当 $y=50\%$ 时， $y'=0$ ，则

$$x' = -\frac{a}{b} \text{, 此时 } x_{50} = 10^{-\frac{a}{b}}$$

这里的 x_{50} 是生物测定中一个重要指标——半致死量（包括半致死剂量或半致死浓度），通常用 LD50 或 LC50 表示。

采用相关系数检验法进行直线方程可信度的统计分析。由于上述数字推导是恒等变换和可逆的，因此若经过相关系数检验表明直线方程（2）有意义，则可证明方程（4）存在，从而证明死亡率 y 同

表 1 苏云金杆菌生物测定的三组原始数据

Table 1 Three original data of biological measurement of Bacillus thuringiensis Berliner

	浓度(ppm) Concentration	试虫数(家蚕) The total number of Chinese Silkworm	死虫数 The number of dead Chinese Silkworm	校正死亡率 (%) Rectification death rate
第一组 Group one	7	50	47	94
	6	50	41	81
	5	50	35	69
	4	50	21	41
	3	50	14	26
	2	50	0	0
第二组 Group two	40	48	46	95.7
	20	60	56	92.4
	10	70	50	68.5
	5	54	14	19.6
	2.5	40	4	2.2
第三组 Group three	1000	86	84	97.6
	500	87	76	87.1
	250	93	58	61.3
	125	75	29	37.0
	62.5	68	11	14.1

表 2 上述三组生物测定原始数据的计算结果

Table 2 The calculated results of the above three original data in biological measurement

	a	b	R
第一组 Group one	-2.68	4.38	0.98**
第二组 Group two	-2.45	2.55	0.98**
第三组 Group three	3.44	1.94	0.99**

* * 表示达 1% 显著水平 Stand 1% significant level

剂量或浓度 x 间存在数学关系 $x = k \left(\frac{y}{1-y} \right)^{\frac{1}{n}}$

$$\text{相关系数 } R = \frac{\sum (x' - \bar{x}') (y' - \bar{y}') - \sum x' \cdot \sum y' / M}{\sqrt{[\sum x'^2 - (\sum x')^2 / M] [\sum y'^2 - (\sum y')^2 / M]}}$$

将上述数学推导、有关结果的计算和统计分析过程编译为 BASIC 程序，输入 PC-1500 型微机运行完成。

1.2 计算结果 见表 1、表 2。

1.3 结果分析 经上述数学推导，三组生物测定结果的计算和统计分析，表明死亡率 (y) 同剂量或浓度 (x) 之间确实存在数学关系 $x = k \left(\frac{y}{1-y} \right)^{\frac{1}{n}}$ 。以该数学模型为基础所绘制的曲线也正是 S 形曲线。对 S 形曲线进行剖析可以发现，在死亡率为 50% 上下的一段区域（20—80%）间，线段近似直线；而在曲线的两端，即在死亡率小于 20% 和大于 80% 的区域里，线段较平缓。这就是说，在死亡率为 20—80% 区域间，剂量或浓度的微小变化可以引起死亡率有较大变化。而在死亡率小于 20% 或大于 80% 时，剂量或浓度虽有增减，但引起死亡率的变化较小，见图 1。

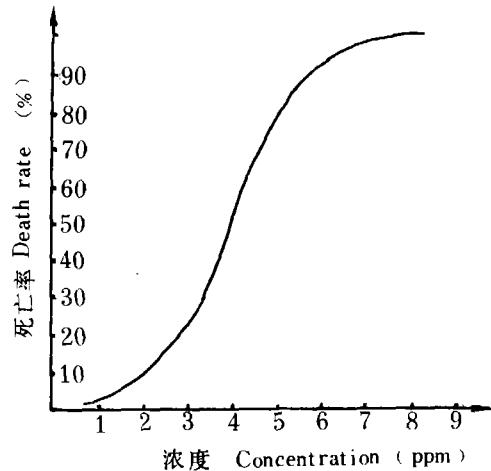


图 1 浓度同死亡率的关系

Fig. 1 The relation between concentration and death rate

2 两种生物测定结果计算方法的比较

2.1 两种计算方法的计算结果 为了说明新方法用于生物测定结果计算的可靠性，采用新方法和目前生物测定结果计算中普遍采用的最小二乘法* 对上述三组原始试验数据进行了生物测定结果计算；除计算半致死量 (LC50) 外，还计算了死亡率为 30% 时的药剂浓度（简记为 LC30）以及死亡率为 70% 时的药剂浓度（简记为 LC70）。两种方法所得的 LC30、LC50 和 LC70 分别进行了比较；另外两种方法所得的回归系数 b 和相关系数 R 也分别进行了比较（表 3）。

2.2 结果分析

通过计算比较新方法和最小二乘法所得出的 LC30、LC50、LC70 和相关系数 R 等结果，发现它们彼此接近。某些结果存在微小差别的主要原因在于两种方法的计算中，小数点后的数据进行了四舍五入。这表明新方法得出的结果是准确和可靠的，采用新方法进行生物测定结果计算是完全可行的。

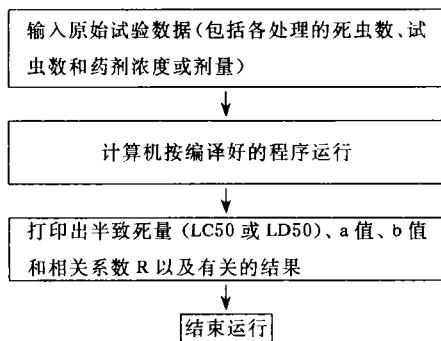
3 一种新的生物测定结果计算方法（以下简称新方法）

上面已证明了生物测定中，浓度或剂量同死亡率存在数学关系 $x = k \left(\frac{y}{1-y} \right)^{\frac{1}{n}}$ 。下面进一

* 最小二乘法对生物测定试验数据进行计算的全过程也是编译为 BASIC 程序，采用 PC-1500 型计算机运行完成。

步探讨以上述模型为基础的新方法的计算机程序操作过程。

3.1 计算机程序的操作框图



3.2 程序设计^[5]

(1) 程序设计采用 BASIC 语言
 (2) 计算机型号为 PC—1500 型
 (3) 源程序：

```

30: INPUT "M="; M
40: DIM X (M), Y (M), L (M), Z (M)
50: FOR I=1 TO M
60: READ X (I)
70: NEXT I
80: FOR I=1 TO M
90: READ L (I)
100: NEXT I
110: FOR I=1 TO M
120: READ Z (I)
130: NEXT I
140: DATA 3.82 * 10^5, 1.91 * 10^6,
     1.41 * 10^7, 4.77 * 10^7
150: DATA 18.8, 63.3, 92.4, 95
160: DATA 100, 100, 100, 100
  
```

```

170: G=0; F=0; C=0; D=0
180: FOR I=1 TO M
190: X (I)=LOG (X (I))
200: Y (I)=L (I)/Z (I)
210: Y (I)=LOG (Y (I)/(1-Y (I)))
220: G=G+X (I)
230: F=F+Y (I)
240: C=C+X (I)*Y (I)
250: D=D+X (I)^2
260: E=E+Y (I)^2
270: NEXT I
280: B=(C-G*F/M)/(D-G^2/M)
290: A=F/M-B*G/M
300: X50=-A/B
310: X50=10^X50
320: LPRINT "B="; B
330: LPRINT "A="; A
340: LPRINT "X50="; X50
?50: R=(C-G*F/M)/SQR(D-G^2/M)* (E-F^2/M))
360: LPRINT "R="; R
370: END
  
```

源程序中，

M—试验处理数

X (I)—剂量或浓度

L (I)—处理中死虫数

Z (I)—处理中试虫数

4 讨论

4.1 新方法的计算效率 值得提出的是，采用新方法进行生物测定结果计算，避开了死亡率和机率值互换这一繁琐查表过程，这就使得 BASIC 程序更加简单，计算机运行时间大为缩短，

从而较大幅度地提高了计算效率。采用新方法只需向计算机中输入各处理中的死虫数和测试虫数以及药剂浓度或剂量等原始试验数据，即可算出半致死量、 a 值、 b 值和 R 值等有关的生物测定结果。

4.2 有关回归系数 b 的两个问题

4.2.1 b 值的生物学意义 在生物测定过程中， b 值反映了测试对象对药剂的敏感程度。 b 值小，表明测试对象对药剂的敏感程度低， b 值大，表明测试对象对药剂的敏感程度高。在生物测定中，我们希望 b 值大些。采用目前常用的生物测定结果计算方法，所得出的 b 值在2.0以上时，即表明测试对象对药剂的敏感程度较高。

4.2.2 两种方法 b 值的比较 在计算中发现二种方法所得 b 值不相一致，即最小二乘法的 b 值大于新方法的 b 值；并且它们的差值存在如下规律：新方法所得 b 值愈小，它同最小二乘法的 b 值的差值也愈小；新方法的 b 值愈大，它同最小二乘法的 b 值的差值也愈大。但并不成比例关系。表3中，新方法的 b 值为4.38时，比最小二乘法的 b 值5.98小1.6；而新方法的 b 值为1.94时，比最小二乘法的 b 值2.55仅小0.61。 b 值不同的原因可解释为，新方法是以公式 $x=k(\frac{y}{1-y})^{\frac{1}{n}}$ 为基础，通过恒等的数学变换，再采用最小二乘法原理，经过数学计算得出 b 值的。最小二乘法是将药剂的剂量或浓度取对数，测试对象的死亡率转换为机率值，再采用最小二乘法的原理，经数学计算求得 b 值的。这是两种迥然不同的方法，其数学基础有较大差异，因此它们的 b 值不同是完全可以理解的。需要特别指出的是，采用两种方法对三组生物测定原始试验数据进行计算所得出的LC30、LC50和LC70等结果非常接近；所得出的相关系数 R 不仅相同，而且均达到百分之一极显著水平，说明新方法用于生物测定结果计算是可行和可靠的。

以两种方法的 b 值的差值规律为根据，结合有关生物测定经验，认为新方法得出的 b 值为1.6以上就说明测试对象对药剂的敏感程度较高。

4.3 统计检验问题 从数理统计角度出发，用卡方检验或用相关系数检验，其效果是等价的，任选一种即可。考虑到相关系数检验更普遍和简洁，新方法采用相关系数检验法检验直线回归方程可信度。

4.4 采用新方法计算 其对生物测定的基本要求同原方法完全一致，即需要规定统一的标准

表3 两种生物测定结果计算方法的比较

Table 3 The Comparison of the two calculated method in biological measurement

		新方法 New method	最小二乘法 Method of least squares
第一组 Group one	LC30(ppm)	3.35	3.35
	LC50(ppm)	4.06	4.09
	LC70(ppm)	4.93	5.00
	b	4.38	5.98
第二组 Group two	R	0.98**	0.98**
	LC30(mg/ml)	6.55	6.23
	LC50(mg/ml)	9.12	8.98
	LC70(mg/ml)	12.60	12.59
第三组 Group three	b	2.55	3.27
	R	0.98**	0.98**
	LC30(ppm)	110	110
	LC50(ppm)	178	173
	LC70(ppm)	280	290
	b	1.94	2.55
	R	0.99**	0.99**

* * 表示达1%显著水平 Stand 1% significant level

药剂、指示昆虫和操作规程。另外，求得直线回归方程需5—7个点，它们均应在死亡率为20—80%的区域之内，并且在死亡率为50%上和下应各有两个点。

致 谢：周启教授对本文提出宝贵意见，谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院数学所数理统计组. 1974. 回归分析法. 科学出版社, 北京
- [2] 北京农业大学. 1978. 高等数学. 农业出版社, 北京
- [3] 李荣森, 罗绍彬等. 1983. 微生物防治害虫. 科学出版社, 北京
- [4] 唐振华, 黄刚. 1982. 农业害虫抗药性. 农业出版社, 北京
- [5] 谭浩强, 田淑清等. 1983. BASIC语言. 科学普及出版社, 北京

《水稻病虫微机测报网络研究》通过鉴定

由福建省科委下达[90-3-Z(11)]、福建省农科院植保所和南平地区农业局植保站共同主持的《水稻病虫微机测报网络研究》课题，经过近三年的研究，于1992年8月25日在福州通过鉴定。省科委主持了鉴定会，参加鉴定的有农业部病虫测报站、湖南省植保植检站、南京农业大学、浙江农业大学和本省植保、计算机、气象专家、教授13人。评委们认真听取了课题负责同志的报告，通过实际考核、评议，一致认为：该研究是当前带有方向性的重大课题，科学地提出了“省一地一县”水稻病虫微机测报网络实体模型。技术路线正确，数据完整可靠，网络工作稳定。该研究属国内外首创，达到国际同类研究的先进水平。研究成果具有广泛的推广意义。

该研究提出并完成“水稻病虫微机测报网络”全套系统软件设计。系统由数据库管理、数据统计、测报分析、测报咨询、通讯服务五个子系统组成。可完成水稻病虫数据收集整理、统计分析，病虫长、中、短期测报分析和实时监测，测报结果咨询，病虫测报资料的微机远程通讯，以及植保站人、财、物管理的功能，近三年的应用结果表明：该系统代替了植保站业务、资料、管理等75—85%工作量，中长期测报准确率达80%以上，短期测报准确率达90%以上。三年来在南平地区10个县（市），应用面积600万亩次，减少农药费用1560万元，挽回粮食损失折合人民币8618万元。

参加本研究的单位有：省农科院植保所，南平地区农业局植保站，省农科院中心实验室，及光泽、邵武、建瓯、松溪、建阳、政和、南平、浦城、武夷山、顺昌10个县（市）农业局植保站。该研究目前已面向国内外用户提供病虫测报系统软件，承接病虫微机测报网络工程。联系地址：福建省福州市华林路41号农科院大楼1003室；联系人：刘波 李平 宋晓川；电话（0591）571771—273；邮编：350003

（杨小萍）