

# 机率值分析中统计数表的数值计算\*

翟保平

(吉林省农科院植保所)

## 摘 要

本文提供了杀虫剂毒力测定的机率值分析中统计数表的数值计算方法,并编制了相应的计算机程序,为在小容量微机上实现大批量的生测统计提供便利条件。

机率值分析是杀虫剂毒力测定和害虫抗性研究中广泛应用的一种统计方法。在其计算过程中,需要反复查用一些数表。国内目前用于机率值分析的计算程序<sup>[1,2,3]</sup>采用机器查表的方法,即用数组将表值读入内存。这样处理,一方面要占用大量内存;另一方面,由于数表间距大,要用插值时就很难。而且,也不可能把所有表值都存入机器,所以机器读表时就只能以更大的间距读入,当测定数据中有极端值出现时就无法运行。解决这个问题的比较好的,容易在计算机上实现的方法是进行近似计算得到表值。为此,本文采用高精度近似算法计算有关的数表值,并编制了相应的计算机程序,以期为在国内比较普及的小容量微机上进行大批量的生测统计提供有利条件。

## 一、计算方法

机率值分析中所涉及的表值计算主要有死亡机率值、工作机率值、权重系数和卡方临界值的计算。

### 1. 死亡机率值的计算

先用 Abbott 公式计算各处理剂量的校正死亡率  $U_r$ :

$$U_r = \frac{P_i - P_c}{1 - P_c} \quad (1.1)$$

其中,  $P_i$  为各处理剂量的死亡率,  $P_c$  为对照组的死亡率。当  $P_i$  为极端值 0 或 1 时,  $U_r$  分别取值为 0.0005 和 0.9995。若对照死亡率大于 20%, 则中断运行。

再用计算  $N(0, 1)$  上侧概率分位数的近似公式计算常态等差  $U_x$ :

$$U_x = \begin{cases} -\beta & (U_r < 0.5) \\ 0 & (U_r = 0.5) \\ \beta & (U_r > 0.5) \end{cases} \quad (1.2)$$

其中,

$$\beta = \left( x \sum_{i=0}^{10} a_i x^i \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$x = -\ln[4U_r(1 - U_r)]$$

$$a_0 = 1.570796288$$

$$a_3 = -2.250947176 \times 10^{-4}$$

$$a_1 = 3.706987906 \times 10^{-2}$$

$$a_4 = 6.841218299 \times 10^{-6}$$

$$a_2 = -8.364353589 \times 10^{-4}$$

$$a_5 = 5.824238515 \times 10^{-6}$$

\* 承蒙本院吴桂荣、梁树廉、孙雅杰等同志和吉林大学杜长喜同志提供资料,一并致谢!

$$\begin{aligned} a_6 &= -1.045274970 \times 10^{-6} & a_9 &= 3.657763036 \times 10^{-11} \\ a_7 &= 8.360937017 \times 10^{-8} & a_{10} &= 6.936233982 \times 10^{-13} \\ a_8 &= -3.231081277 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

则死亡机率值  $P_u = U_x + 5$  (1.3)

## 2. 工作机率值及权重系数的计算

根据各剂量的对数值和死亡机率值,用最小二乘法回归出一个期望方程式,由该式可计算得到各剂量的对数值所对应的期望机率值  $P_e$ 。再用计算  $N(0,1)$  下侧概率的近似公式计算相当于各期望机率值的理论反应率  $U_e$ 。

令  $U = P_e - 5$ , 则有

$$\begin{cases} U_e = 0.5 + 0.5 \operatorname{ERF}(y) & (u \geq 0) \\ U_e = 0.5 - 0.5 \operatorname{ERF}(y) & (u < 0) \end{cases} \quad (2.1)$$

其中,  $\operatorname{ERF}(y) = 1 - (1 + \sum_{i=1}^6 b_i y^i)^{-16}$  ( $y = \frac{|u|}{\sqrt{2}}$ )

$$\begin{aligned} b_1 &= 0.0705230784 & b_4 &= 0.0001520143 \\ b_2 &= 0.0422820123 & b_5 &= 0.0002765672 \\ b_3 &= 0.0092705272 & b_6 &= 0.0000430638 \end{aligned}$$

从而可得工作机率值  $P_w$ :

$$P_w = P_e + \frac{U_r - U_e}{Z} \quad (2.2)$$

其中,  $Z$  为常态等差点的纵标, 即

$$Z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad (2.3)$$

期望机率值的权重系数  $W$  则由下式计算:

$$W = \frac{Z^2}{U_e(1 - U_e)} \quad (2.4)$$

## 3. 卡方临界值的计算

对毒力回归式做适合性测验时需要的卡方临界值可用牛顿法迭代得出:

$$\chi_{i+1}^2 = \chi_i^2 - \frac{F(\chi_i^2) - P}{f(\chi_i^2)} \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (3.1)$$

其中,  $\chi_{i+1}^2$  为迭代终值, 即  $\chi_{0.05}^2$ 。  $P$  为给定的下侧概率, 在这里即 0.95。迭代初值  $\chi_0^2$  在自由度为  $n$  时按下式计算:

$$\chi_0^2 = n \left( 1 - \frac{2}{9n} + 1.644854 \sqrt{\frac{2}{9n}} \right)^3 \quad (3.2)$$

$F(\chi_i^2)$  为卡方分布的概率分布函数,  $f(\chi_i^2)$  为密度函数, 其递推公式为:

$$\begin{cases} F(\chi_i^2) = F(\chi_{i-2}^2) - 2f(\chi_i^2) \\ f(\chi_i^2) = \frac{\chi_i^2}{i-2} f(\chi_{i-2}^2) \quad (3 \leq i \leq n) \end{cases} \quad (3.3)$$

其递推初值为:

$$\begin{cases} F(X_1) = 2\Phi(X) - 1 \\ F(X_2) = 1 - e^{-\frac{1}{2}X^2} \\ f(X_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi X}} e^{-\frac{1}{2}X^2} \\ f(X_2) = \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}X^2} \end{cases} \quad (3.4)$$

式中,  $\Phi(X)$  为标准正态分布下侧概率, 可用公式(2.1)计算。此时,  $u=X$ ,  $y=\frac{X}{\sqrt{2}}$ 。

## 二、应用实例

根据上述算法, 用 BASIC 语言编制了机率值分析的计算机程序。计算所得的表值与文献表值<sup>[8]</sup>完全一样, 并且达到了我国的国家标准<sup>[5]</sup>。分别以文献<sup>[2,3,4,6]</sup>中的毒力测定数据上机, 运行结果与原计算结果比较, 其精度和准确度都比较理想(表1),  $\chi^2$  值一般都比原结果小。运行速度也大大提高, 在 IBM-PC 微机上 7—10 秒, 在 PC-1500 袖珍机上约 35 秒。运行结果及输出形式见附录。

表1

毒力测定计算结果比较

| 资料来源    | 毒力回归式          | 卡方     | 有效中量     | 标准误      | 准确度      |
|---------|----------------|--------|----------|----------|----------|
| Busvine | 0.91+4.18X     | 3.54   | 0.954993 | 0.02149  | 0.02197  |
| 本算法     | 0.7873+4.2907X | 3.0283 | 0.958991 | 0.021104 | 0.021501 |
| 唐 & 黄   | 1.90+2.49X     | 1.13   | 0.0884   | 0.03114  | 0.0249   |
| 本算法     | 1.9286+2.4634X | 0.6965 | 0.088264 | 0.031530 | 0.252883 |
| 李世友     | 8.163+1.344X   | 1.12   | 0.004433 | 0.05808  | 0.0247   |
| 本算法     | 8.1372+1.3312X | 0.9781 | 0.004399 | 0.058518 | 0.024832 |
| 陈 & 朱   | 2.42+4.02X     | 1.79   | 4.37     | 0.0076   | 0.01184  |
| 本算法     | 2.4156+4.0343X | 1.8861 | 4.371244 | 0.007620 | 0.011895 |

## 三、源程序清单及说明

本程序在 CC-DOS 下运行, 已在 IBM-PC 机上通过。稍做改动即可在 PC-1500 和 PB-700 等微机上运行。

### 1. 简单变量

A\$——试验名称; K——处理数; NC——对照供试个体数; RC——对照死亡数; PC——对照死亡率; UX——常态等差; DF——自由度; M——致死中浓度; CL1、CL2——致死中浓度的 95% 置信限; SM、AM——致死中浓度的标准误和准确度; M90、M95、M99——90%、95%、99% 致死浓度; XAV——剂量对数值的均值; YAV——死亡机率值的均值; A、B——毒力回归式的截距和坡度; CHI——卡方值; X1—— $\chi^2$  的迭代值; X2—— $\chi_{0.05}$  值。

### 2. 数组变量

X1(K)——剂量; X(K)——剂量对数值; N(K)——供试个体数; R(K)——死亡个体数; P(K)——死亡率; UR(K)——校正死亡率; UE(K)——理论反应率; PU(K)——死亡机率值; PE(K)——期望机率值; PW(K)——工作机率值; Z(K)——常态等差纵标; W(K)——权重系数; DE(K-2)、DI(K-2)—— $\chi^2$  分布的概率密度函数和分布函数。

### 3. 源程序清单

10 REM Program for Probit Analysis ——PROBIT. IBM (July 13, 1988)

20 REM \* \* \* \* \*

```

30 REM 为避免负值,剂量对数值加一整数(最低剂量有效数字前零的个数)
40 INPUT "请输入试验名称:":A$,PRINT
50 PRINT:INPUT"测定剂量数 K=":K:PRINT:INPUT"剂量对数值+":O
60 DIM N(K),R(K),X(K),P(K),X1(K),UR(K),PU(K),PE(K)
70 DIM UE(K),PW(K),Z(K),W(K),DI(K-2),DE(K-2)
80 PRINT:PRINT"请输入各剂量 Xi 的供试个体数 Ni 及死亡数 Ri":PRINT
90 FOR I=1 TO K
100 PRINT"X(";I;")=":INPUT X1(I):X(I)=.434294*LOG(X1(I))+O
110 PRINT"N(";I;")=":INPUT N(I)
120 PRINT"R(";I;")=":INPUT R(I):NEXT I
130 PRINT:INPUT"对照供试个体数 Nc=":NC:INPUT"对照死亡数 Rc=":RC
140 EX=0:EY=0:EXX=0:EXY=0:PC=RC/NC
150 IF PC>.2 THEN PRINT"对照死亡率高于 20%,停止运行":STOP
160 REM 计算校正死亡率
170 FOR I=1 TO K
180 IF R(I)=0 THEN UR(I)=.0005:GOTO 230
190 IF R(I)=N(I) THEN UR(I)=1-.0005:P(I)=1:GOTO 230
200 P(I)=R(I)/N(I):UR(I)=(P(I)-PC)/(1-PC)
210 REM 计算死亡机率值
220 IF UR(I)=.5 THEN PU(I)=0:GOTO 280
230 X=-LOG(4*UR(I)*(1-UR(I))):E=0
240 FOR J=0 TO 10:READ AI:E=E+AI* $\times$ ^J:NEXT J
250 UX=SQR(X*E):IF UR(I)<.5 THEN UX=-UX
260 PU(I)=5+UX
270 REM 计算期望毒力回归式的截距和坡度
280 EX=EX+X(I):EY=EY+PU(I):EXY=EXY+X(I)*PU(I):EXX=EXX+X(I)*X(I)
290 NEXT I
300 B=(K*EXY-EX*EY)/(K*EXX-EX*EX):A=(EY-B*EX)/K:N=0
310 N=N+1:IF N>3 THEN PRINT"PW 的校正次数太多":STOP
320 REM 计算期望机率值,常态等差纵标,理论反应率,工作机率值和权重系数
330 SNW=0:SNWX=0:SNWXX=0:SNWY=0:SNWYY=0:SNWXY=0
340 FOR I=1 TO K
350 PE(I)=A+B*X(I)U=PE(I)-5:Z(I)=.398942*EXP(-.5*U*U)
360 GOSUB 960:IF U<0 THEN UE(I)=ERF ELSE UE(I)=1-ERF
370 PW(I)=PE(I)+(UR(I)-UE(I))/Z(I):W(I)=Z(I)*Z(I)/(UE(I)*(1-UE(I)))
380 Y=PW(I):W=N(I)*W(I):WX=W*X(I):WY=W*Y:SNW=SNW+W:SNWX=
SNWX+WX
390 SNWY=SNWY+WY:SNWXX=SNWXX+WX*X(I):SNWXY=SNWXY+WX*Y:SNWYY
=SNWYY+WY*Y
400 NEXT I
410 REM 计算毒力回归式的截距和坡度
420 XAV=SNWX/SNW:YAV=SNWY/SNW:SXX=SNWXX-SNWX*SNWX/SNW
430 SYY=SNWYY-SNWX*SNWY/SNW:SXY=SNWXY-SNWX*SNWY/SNW
440 B=SXY/SXX:A=YAV-B*XAV

```

```

450 REM 校正计算机率值(校正次数不超过三次)
460 FOR I=1 TO K:Y=A+B*X(I):IF ABS(Y-PE(I))>=.2 THEN 310:NEXT I
470 REM 计算LC50及其标准误,准确度和LC90,LC95,LC99(对数值)
480 M=(5-A)/B:VM=[1/SNW+(M-XAV)*(M-XAV)/SXX]/(B*B):SM=SQR(VM):AM
=ABS(SM/M)
490 M90=(6.281552-A)/B:M95=(6.644854-A)/B:M99=(7.326348-A)/B:DF=K-2
500 IF AM>=.05 THEN PRINT"从Y=";A;"+";B;"X得到的M值不可靠"
510 REM 计算卡方值和卡方临界值
520 CHI=SY-Y-SXY*SXY/SXX:P=.95:Q=2/(9*DF):XI=DF*(1-Q+1.644854*SQR
(Q))^3
530 FOR I=0 TO 30:N=EXP(-XI*.5):U=SQR(XI):GOSUB 960:U=1-ERF
540 DI(I)=2*U-1:DI(2)=1-N:DE(1)=1/SQR(6.283185*XI)*N:DE(2)=.5*N
550 FOR J=3 TO DF:DE(J)=XI/(J-2)*DE(J-2):DI(J)=DI(J-2)-2*DE(J):
NEXT J
560 X2=XI-(DI(DF)-P)/DE(DF):D=X2-XI
570 IF D<.000001 THEN 600 ELSE XI=X2
580 NEXT I
590 REM 计算LC50及其95%置信限
600 IF CHI<X2 THEN T=1.96 ELSE T=CHI/DF
610 CL1=M+T*SM:CL2=M-T*SM
620 LC50=10^(M-O):LC90=10^(M90-O):LC95=10^(M95-O):LC99=10^(M99-O)
630 CL1=10^(CL1-O):CL2=10^(CL2-O):CLS
640 REM 输出计算结果
650 LPRINT TAB(8)A$:LPRINT""
660 LPRINT"浓度";:FOR I=0 TO K-1:LPRINT TAB(15+11*I)X1(I+1);:NEXT I
670 LPRINT
680 LPRINT"供试虫数 Ni";:FOR I=0 TO K-1:LPRINT TAB(15+11*I)N(I+1);:NEXT I
690 LPRINT
700 LPRINT"死亡虫数 Ri";:FOR I=0 TO K-1:LPRINT TAB(15+11*I)R(I+1);:
NEXT I
710 LPRINT
720 LPRINT"死亡数%Pi";:FOR I=0 TO K-1
730 LPRINT TAB(15+11*I)CINT(P(I+1)*10000)/100;:NEXT I:LPRINT
740 LPRINT"校正死亡率 Ur";:FOR I=0 TO K-1
750 LPRINT TAB(15+11*I)CINT(UR(I+1)*10000)/100;:NEXT I:LPRINT
760 LPRINT"浓度对数 Xi";:FOR I=0 TO K-1:LPRINT TAB(15+11*I)X(I+1);:
NEXT I
770 LPRINT
780 LPRINT"死亡机率 Pu";:FOR I=0 TO K-1:LPRINT TAB(15+11*I)PU(I+1);:
NEXT I
790 LPRINT
800 LPRINT"期望机率 Pe";:FOR I=0 TO K-1:LPRINT TAB(15+11*I)PE(I+1);:
NEXT I
810 LPRINT

```

```

820 LPRINT "工作机率 Pw";FOR I=0 TO K-1;LPRINT TAB(15+11*I) PW(I+1);
NEXT I
830 LPRINT
840 LPRINT "理论反应率 Ue";FOR I=0 TO K-1;LPRINT TAB(15+11*I) UE(I+1);
NEXT I
850 LPRINT
860 LPRINT"NED 纵标 Z";FOR I=0 TO K-1;LPRINT TAB(15+11*I) Z(I+1);NEXT I
870 LPRINT
880 LPRINT "权重系数 W";FOR I=0 TO K-1;LPRINT TAB(15+11*I) W(I+1);NEXT I
890 LPRINT
900 LPRINT "毒力回归方程式 Y=";A;"+";B;"X"
910 LPRINT "卡方值=";CHI;"卡方临界值 X2(;"DF;"0.05)=";X2
920 LPRINT "有效中量 LC50=";LC50;"95%置信限 CL1=";CL1;"CL2=";CL2
930 LPRINT "标准误 Sm=";SM;"准确度 Am=";AM
940 LPRINT "90%-99%致死量 LC90=";LC90;"LC95=";LC95;"LC99=";LC99
950 END
960 REM 计算标准正态分布下侧概率的子程序
970 Y=.707107*ABS(U):RESTORE 1030:E=0
980 FOR J=1 TO 6:READ BI:E=E+BI*Y^J:NEXT J
990 ERF=.5*(1+E)^-16:RETURN
1000 DATA 1.570796288,3.706987906D-2,-8.364353589D-4,-2.250947176D-4
1010 DATA 6.841218299D-6,5.824238515D-6,-1.04527497D-6,8.360937017D-8
1020 DATA -3.231081277D-9,3.657763036D-11,6.936233982D-13
1030 DATA 7.05230784D-2,4.22820123D-2,9.2705272D-3,1.520143D-4
1040 DATA 2.765672D-4,4.30638D-5

```

### 参 考 文 献

- [1]王钢、耿贺利:毒力测定中机率值分析在计算机上的实现,《农药》,1986, 5:42,38。
- [2]李世友:用电子计算机进行机率值分析,《植物保护》,1984,10(6):31-32,25。
- [3]陈学仁、朱兰慈:一个用于机率值分析的计算机程序,《昆虫知识》,1988,25(3):176-179。
- [4]唐振华、黄刚:《农业害虫抗药性》,pp.36-59,农业出版社,1982。
- [5]国家标准局:《统计分布数值表》,GB-4086,中国标准出版社,1984。
- [6]Busvine,S.R. A Critical Review of Techniques for Testing Insecticides. C. A. B. Lond. 1971.
- [7]Finney,D. J. Probit Analysis. 3rd ed. Cambridge Univ. Press. 1971.
- [8]Fisher,R. A. & F. Yates Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research. 6th ed., Oliver & Boyd Ltd., Edinburgh. 1963.

### AN ALGORITHM FOR PROGRAMING PROBIT ANALYSIS

Zhai Baoping

(Institute of Plant Protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences)

### ABSTRACT

The computations in probit analysis are very laborious and the repeated table lookups are required. Traditional tabular methods for the probit analysis by computer take too much memories and reduce the accuracy. This paper provides a new algorithm for programming probit analysis. Instead of table lookup, the probability integrals and their inverses, and the percentage (下转第 67 页)

参见表2。

3. 从调查的三个品种分别嫁接在山杏、山李砧上, 各类结果枝形成的比例看, 无论哪一品种在山李砧组合花束状及短果枝偏多, 占86.59%, 中、长果枝只有13.36%。而山杏组合花束状及短果枝占71.63%, 中、长果枝占28.30%。并且不同品种对砧木的反应各异。山杏砧木上嫁接的阿伯特、牛心李、六号李的花束状及短果枝和中长果枝分别是76.20%、23.70%; 72.70%、27.20%; 66.00%、34.00%。而山李砧上嫁接的阿伯特、牛心李、六号李花束状及短果枝和中长果枝分别为84.60%、15.30%; 85.20%、14.80%; 90.00%、10.00%。由此看来砧木的不同对各类果枝形成多少有一定关系。参见表3。

表3 李不同穗/砧组合各类果枝比例

| 品种  | 山 杏   |       |       |       | 山 李   |       |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|     | 花束状果枝 | 短果枝   | 中果枝   | 长果枝   | 花束状果枝 | 短果枝   | 中果枝  | 长果枝  |
| 阿伯特 | 55.80 | 20.40 | 13.90 | 9.80  | 63.40 | 21.20 | 8.90 | 6.40 |
| 牛心李 | 53.80 | 18.90 | 15.80 | 11.40 | 66.00 | 19.20 | 7.90 | 6.90 |
| 六号李 | 48.10 | 17.90 | 18.30 | 15.70 | 73.20 | 16.80 | 5.50 | 4.50 |
| 平均  | 52.56 | 19.07 | 16.00 | 12.30 | 67.53 | 19.06 | 7.43 | 5.93 |

注: 花束状果枝为5cm以下, 短果枝5—10cm, 中果枝11—30cm, 长果枝31cm以上。

4. 嫁接在山杏砧木上的李子落花落果重, 山李作砧木各品种轻, 特别是花束状及短果枝座果确实。参见表4。

表4 李不同穗/砧组合各类果枝座果情况(按花朵)

| 品种  | 山 杏   |       |       |       |      | 山 李   |       |       |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|
|     | 总座果   | 花束状果枝 | 短果枝   | 中果枝   | 长果枝  | 总座果   | 花束状果枝 | 短果枝   | 中果枝  | 长果枝  |
| 阿伯特 | 36.50 | 60.20 | 19.80 | 11.00 | 9.00 | 57.30 | 65.90 | 16.80 | 9.40 | 7.90 |
| 牛心李 | 50.80 | 61.80 | 18.50 | 10.70 | 9.00 | 62.50 | 68.00 | 16.40 | 7.90 | 7.70 |
| 六号李 | 54.60 | 65.10 | 17.60 | 9.10  | 8.20 | 67.50 | 70.00 | 18.10 | 6.50 | 5.40 |

5. 山杏砧木的李树有时叶片脉纹处表现出失绿症, 干旱时向上卷曲, 阿伯特尤其严重, 六号李轻些。

综上所述, 笔者认为在用嫁接方式繁殖李苗时必须选好砧木, 否则除因植物类缘关系的不亲合性外, 往往因砧木、接穗生长特性的差异而亲合性差, 有时也可能因嫁接砧木带病毒引起地上部生长发育等反常现象。

在实践中, 多为野生李砧木, 近年来有的用毛樱桃作李砧木, 亲合性也表现较好, 并有早果、丰产、矮化的作用。

(上接第79页)

point of chi-square distribution can be efficiently calculated on a computer by use of rational approximations. The procedures were used to write a BASIC program and its applications to insecticide testing were described.