

毒力回归计算方法及相应软件使用介绍

武怀恒, 万鹏, 黄民松* (农业部华中作物有害生物综合治理重点实验室, 农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室, 湖北农业科学院植保土肥研究所, 湖北武汉 430064)

摘要 介绍了概率对数变换进行的毒力回归计算过程; 应用 Excel 软件编写计算过程进行毒力回归分析, 计算了半致死浓度(LC_{50})、 a 、 b 、相关系数(r)、标准误(SE)、 LC_{50} 的95%置信区间; 利用实例和 SPSS10.0 软件上的 Probit 过程, 介绍了概率单位分析, 并对主要输出结果进行了解释。

关键词 概率单位回归分析; LC_{50} ; 毒力回归; Excel; SPSS

中图分类号 S433 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)27-09335-04

Toxicity Regression Calculation Method and Introduction of Corresponding Software Utilization

WU Huai-heng, WAN Peng, HUANG Min-song* (Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Central China, Ministry of Agriculture/ Hubei Key Laboratory of Crop Diseases, Insect Pests and Weeds Control / Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan, Hubei 430064)

Abstract The process of calculating toxicity regression using probability-logarithmic transformation was introduced. Then the Excel method of calculating toxicity regression, LC_{50} , a , b , correlation coefficient r , SE , 95% limited distance of LC_{50} was introduced. At last, the probit analysis was illustrated with an example using Probit procedure of SPSS10.0 software, with interpretation of the major outputs.

Key words Probit regression analysis; LC_{50} ; Toxicity regression; Excel; SPSS

对于研制新杀虫剂或者从现有杀虫剂中筛选高效低毒药剂而言, 生物筛选是十分重要的研究手段, 而杀虫剂毒力筛选则是其中尤为重要的环节。在进行大批次的药剂毒力测定后, 对数据做统计分析时常用方法有机率分析法、寇氏原法(或改进寇氏法)、移动平均法、角转换法、阶梯法等, 其中机率分析法是最常用且较准确的方法^[1]。杀虫剂的毒力一般可用致死中量(LD_{50})或致死中浓度(LC_{50})来表示。机率分析法的目的是要算出杀虫剂的致死中量或致死中浓度以及获得杀虫剂毒力回归线(即 LD-p line)斜率(K), 以进行毒力比较。拟合的毒力回归线通用公式为: $Y(\text{probit}) = a + b \times \text{Log}_{10}(\text{dose})$, 其中 b 值即为毒力回归线的斜率(K)。

一般而言, 随着 LD_{50} 或 LC_{50} 数值增大, 药剂毒性减弱, 呈负相关; 而斜率是 LD_{50} 标准差的倒数, 反映了群体对药剂反应的差异性。随着 K 值增大, 药剂对种群的不均一性减小。从某种意义上讲, LD-p 直线的斜率在进行毒力学评价时比 LD_{50} 的数值更重要, 平行的对数剂量-反应关系曲线可能提示 2 种药剂的毒力作用机制、动力学特征也类似^[2]。基于机率分析法的重要性, 笔者对该法的计算步骤进行了完整操

作, 并进一步对常用统计软件中的计算操作进行了汇总说明, 以期为广大植物保护专业人员进行研究或高效杀虫剂筛选提供参考。

1 概率对数变换

实例采用的数据来源于黄海等^[3]编写的《SPSS 10.0 for Windows 统计分析》中的“概率单位回归实例分析”一节; 所用方法参照杜荣骞^[4]编写的《生物统计学》。

表 1 概率单位回归分析数据

剂量 mg/kg	死亡率 %	原始数据	
		蟑螂数	杀死数目
9	86	7	6
7	58	19	11
6	50	34	17
5	32	38	12
4	17	12	2

将剂量作为横坐标, 死亡率作为纵坐标, 依据毒力回归方程要求, 将表 1 中的剂量 X 做对数变换得 X' , 死亡率 Y 做概率变换得 Y' (表 2)。

表 2 数据变换后的数据整理表

X	X'	X'^2	Y	Y'	Y'^2	$X'Y'$
9	0.954 243	0.910 579	86	1.080 000	1.166 400	1.030 582
7	0.845 098	0.714 191	58	0.202 000	0.040 804	0.170 710
6	0.778 151	0.605 519	50	0	0	0
5	0.698 970	0.488 559	32	-0.468 000	0.219 024	-0.327 120
4	0.602 060	0.362 476	17	-0.954 000	0.910 116	-0.574 370
Σ	3.878 522	3.081 324	-	-0.140 000	2.336 344	0.299 809
平均	0.775 704	-	-	-0.028 000	-	-

基金项目 “十二五”公益性行业(农业)科研专项(201203038); 湖北省农业科技创新中心资助项目(2011-620-003-03-03)。

作者简介 武怀恒(1980-), 男, 河北邢台人, 助理研究员, 硕士, 从事棉花害虫综合治理研究。* 通讯作者, 研究员, 从事棉花害虫综合治理研究。

收稿日期 2014-08-15

用变换后的数值 X' 和 Y' 在直角坐标纸上做成的散点图基本成一条直线(图 1), 可按线性回归计算:

$$S_{X'Y'} = \sum_{i=1}^n x_i'^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i' \right)^2 / n = 0.072 7$$

$$S_{Y'Y'} = \sum_{i=1}^n y_i'^2 - (\sum_{i=1}^n y_i')^2/n = 2.3324$$

$$S_{X'Y'} = \sum_{i=1}^n x_i' y_i' - \sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i' / n = 0.4084$$

回归系数:

$$b = S_{X'Y'} / S_{X'X'} = 5.6176$$

$$a = \bar{y}' - b \bar{x}' = -4.3856$$

得 Y' 对 X' 的回归方程:

$$\hat{Y}' = -4.3856 + 5.6176X'$$

半致死剂量处的死亡率为 50%, 相应的 $Y' = \text{probit}(Y) = 0$, 即 $0 = -4.3856 + 5.6176X'$, 求得 $X' = 0.78$, 即 $\text{Log}_{10}(X) = 0.78$, 所以 $X = 6.035$, 即 $LC_{50} = 6.035$ 。

2 Excel 软件进行毒力回归分析

Excel 软件是一种简便有效、易于掌握的统计软件, 使用该软件进行毒力回归分析在很大程度上可简化手工运算程序, 下面仍以第 1 节的例子简单介绍该软件在毒力回归分析方面的应用。

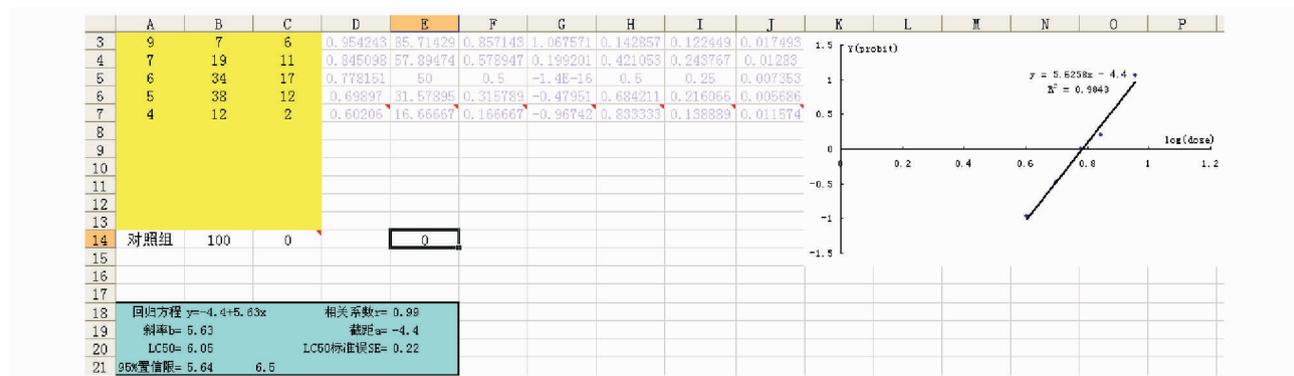


图2 用 Excel 软件进行毒力回归的界面

A3 ~ A5: A_i 格中的数据为浓度(剂量)。

B3 ~ B5: B_i 表示 i 行浓度处理的试验总虫数。

C3 ~ C5: C_i 表示 i 行浓度处理的试验死虫数。

D3 ~ D5: 表示浓度对数, D_i 格中的公式为“= LOG(A_i)”。

E3 ~ E5: 此列为死亡率, E_i 格中的公式为“= $C_i/B_i * 100$ ”

F3 ~ F5: 此列为校正死亡率, E_i 格中的公式为“= ($E_i - \$ E \$ 14$)/($100 - \$ E \$ 14$)”

G3 ~ G5: 此列为校正死亡率机率值, G_i 格中的公式为“= NORMSINV(F_i)”

H3 ~ H5: 此列为存活率, H_i 格中的公式为“= $1 - F_i$ ”

I3 ~ I5: 此列为校正死亡率 * 存活率, I_i 格中的公式为“= $F_i * H_i$ ”

J3 ~ J5: 此列为校正死亡率 * 存活率/试验总虫数, J_i 格中的公式为“= I_i/B_i ”

E18: 此格为相关系数(r), 格中公式为“= ROUND(CORREL(D3:D13, G3:G13), 2)”

B19: 此格为毒力回归方程的斜率 b , 格中公式为“= ROUND(SLOPE(G3:G13, D3:D13), 2)”

E19: 此格为毒力回归方程的截距 a , 格中公式为“= ROUND(INTERCEPT(G3:G13, D3:D13), 2)”

B18: 此格为毒力回归方程, 格中公式为“= TRIM(B19) & TRIM(E19)”

B20: 此格为 LC_{50} , 格中公式为“= ROUND(POWER(10, -E19/B19), 2)”

E20: 此格为 LC_{50} 的 SE, 格中公式为“= ROUND(B20 * LN(10) * ((D4 - D5) * SQRT(SUM(J3:J13))), 2)”

B21 和 C21 分别为 LC_{50} 的 95% 置信限的上限和下限, 公式分别为“= ROUND(POWER(10, ((-E19/B19) - 1.96 * ((D4 - D5) * SQRT(SUM(J3:J13))))), 2)”和“= ROUND(POWER(10, ((-E19/B19) + 1.96 * ((D4 - D5) * SQRT(SUM(J3:J13))))), 2)”

图2的最右侧图为以剂量对数值 $\log(\text{dose})$ 为自变量, 概率单位为应变量的回归直线散点图。

3 在 SPSS10.0 软件上进行概率单位分析

SPSS 作为一款国际通用统计软件, 具有使用灵活、功能强大、应用广泛等特点, 下面仍以第 1 节的例子对该软件的概率单位回归分析功能进行介绍。

3.1 录入数据 界面见图3。

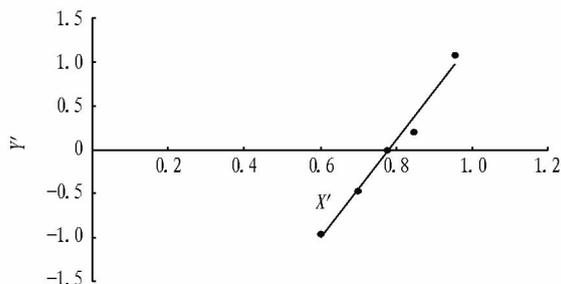


图1 经概率对数坐标变换后 X' 和 Y' 在直角坐标纸上做成的散点图

使用的主要计算公式来自第 1 节。下文中的“ i ”均表示第 i 行。对照组的数据如果没有, 就无需改动对照组数据, 均以对照组死亡率为 0 进行计算。黄色区域为原始数据输入区域, 蓝色区域为结果输出区域。黄色区域预留出 6 行位置用以处理较多时的情况。灰色字体为计算过程, 不要改动(图2)。

	剂量	总数	死亡数
1	9.00	7.00	6.00
2	7.00	19.00	11.00
3	6.00	34.00	17.00
4	5.00	38.00	12.00
5	4.00	12.00	2.00

图 3 SPSS 中数据文件的格式

3.2 选择方法 操作界面见图 4。

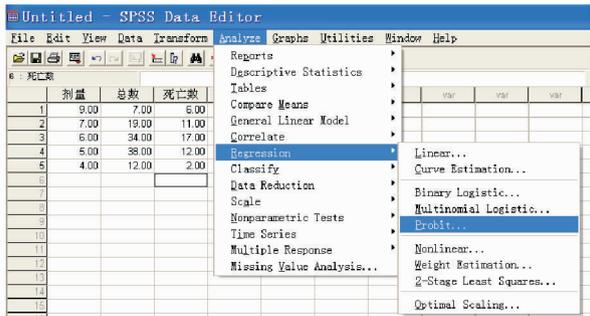


图 4 选择 Probit 功能界面

3.3 Probit Analysis 对话框 (图 5) Response frequency: 反应频数, 即对刺激出现反应的观察单位数。该例为变量“死亡数”。

Total observed: 观察单位总数, 即暴露于特定刺激强度下的观察单位数。该例为变量“总数”。

Factor: 分组变量。选入变量后, Define range 按钮被激活。单击该按钮, 弹出 Define range(定义范围)对话框后, 在 2 个框内分别键入分组变量名称。

Covariate(s): 协变量。可选 1 个和多个。该例为“剂量”。

Transform: 对协变量进行转换。系统默认 None(不进行转换), 还有 Log base 10 选项(以 10 为底的对数转换)和 Natural log 选项(以 e 为底的对数转换)。在进行概率单位回归分析时, 常先将协变量进行对数变换, 使其与实际的 Probit 值间的散点图呈直线趋势。该例选 Log base 10。

Model: 模型。Probit: 应用 Probit 模型。即将反应比例 P 转换为标准正态分布下左侧面积为 P 时的 Z 界值。一般应用于试验设计资料。结果侧重于估计不同反应比例下的刺激强度(如半数致死量)。该例选此项。Logit: 应用 Logit 模型。即将反应比例 P 转换为 $\ln P/(1 - P)$ 。一般用于观察性研究, 结果侧重于估计自变量的比值比。

3.4 概率单位分析选项 单击 Options 按钮, 弹出 Options(选项)对话框(图 6)。

Frequencies: 频数。显示做试验所用剂量的实际和理论死亡频数及其残差。

Relative median potency: 相对中位数潜力。显示分组变量 Factor 中各水平间半数致死量的比值及其 95% 的可信区间, 以比较各水平之间是否有差别。如果没有分组变量或多个协变量, 则该选项不起作用。

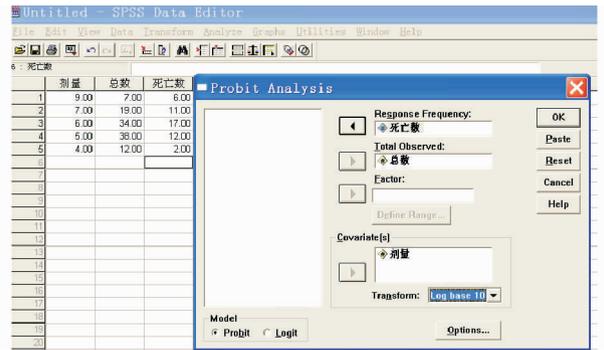


图 5 概率单位分析对话框

Parallelism test: 平行检验。检验分组变量中的各水平间是否有相同的斜率。适用于有分组变量时。

Fiducial confidence intervals: 产生不同死亡比例时所需剂量的可信区间。适用于只有 1 个协变量时。

Significance level for use of heterogeneity factor: 当拟合优度检验的 P 值小于所设定的水准时(系统默认 0.15), 在计算可信区间时自动进行校正。

Natural response rate: 自然反应率。即在剂量为 0 时的反应率。

None: 不计算自然反应率。

Calculate from data: 根据现有数据计算自然反应率。原始数据必须有包含刺激强度(剂量、浓度)为 0 的结果^[5]。

Value: 如果已知自然反应率, 则键入相应数值。该数值必须小于 1。

Criteria: 标准。

Maximum iteration: 最大迭代次数。系统默认 20。

Step limit: 参数向量的最大容许变化量。系统默认 0.1。

Optimality tolerance: 损失函数的近似准确度。系统默认缺省。

完成各项选择后点击“Continue”, 界面返回图 5。再点击“OK”, 进行计算, 显示结果。

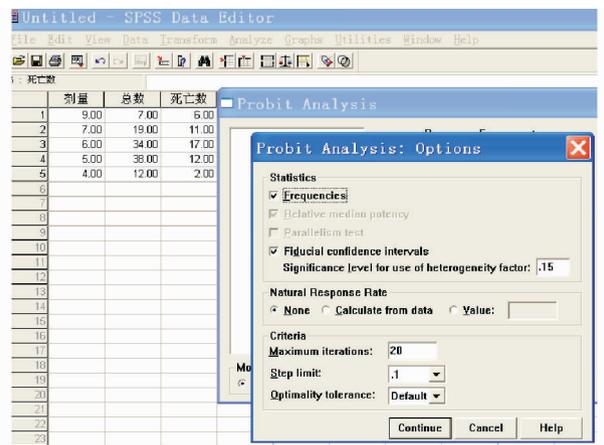


图 6 概率单位分析选项对话框

3.5 输出结果

3.5.1 参数估计。图 7 指出, 在进行 13 步回归之后, 得到最优解; 参数回归模型为: $PROBIT(p) = Intercept + BX$; 回归系数(Regression Coeff.)为 5.354 44, 截距(Intercept)为

-4.211 38,即回归方程为:Probit = -4.211 38 + 5.354 44X, 对该方程的拟合优度 Chi-square 检验的 $\chi^2 = 0.287 < \chi_{0.05}^2 = 7.81, P = 0.962$ 说明拟合度良好,因此不使用相异性因子来计算置信区间。

```
***** PROBIT ANALYSIS *****
Parameter estimates converged after 13 iterations.
Optimal solution found.
Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):
Regression Coeff. Standard Error Coeff./S.E.
剂量 5.35444 1.52760 3.50513
Intercept Standard Error Intercept/S.E.
-4.21138 1.16321 -3.62048
Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = .287 DF = 3 P = .962
Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity
factor is used in the calculation of confidence limits.
```

图7 参数估计

3.5.2 估计不同死亡比例时所需的剂量及其可信区间。由图8可得半致死剂量(即 Prob 为 0.50 时的剂量)为 6.116 74,95% 置信区间为 5.493 49 ~ 7.244 15。

```
***** PROBIT ANALYSIS **
Confidence Limits for Effective 剂量.
95% Confidence Limits.
Prob 剂量 Lower Upper
.01 2.24931 .68188 3.17597
.02 2.52907 .88829 3.42906
.03 2.72434 1.05030 3.60085
.04 2.88111 1.19119 3.73634
.05 3.01527 1.31944 3.85081
.06 3.13436 1.43926 3.95144
.07 3.24265 1.55309 4.04224
.08 3.34278 1.66246 4.12571
.09 3.43652 1.76845 4.20350
.10 3.52514 1.87181 4.27677
.15 3.91701 2.36515 4.59969
.20 4.25930 2.84193 4.88477
.25 4.57669 3.31684 5.15894
.30 4.88183 3.79380 5.44222
.35 5.18271 4.26751 5.75783
.40 5.48535 4.72181 6.13828
.45 5.79497 5.13422 6.52325
.50 6.11674 5.49349 7.24415
.55 6.45637 5.80965 8.01635
.60 6.82080 6.10215 8.95436
.65 7.21909 6.38872 10.08845
.70 7.66403 6.68408 11.47570
.75 8.17501 7.00280 13.21647
.80 8.78419 7.36352 15.49278
.85 9.55180 7.79697 18.67065
.90 10.61362 8.36821 23.64077
.91 10.88730 8.51111 25.03122
.92 11.19263 8.66869 26.63592
.93 11.53825 8.84486 28.52087
.94 11.93688 9.04532 30.78597
.95 12.40835 9.27889 33.59189
.96 12.96612 9.56030 37.21977
.97 13.73341 9.91703 42.22506
.98 14.79380 10.41054 49.94259
```

图8 不同死亡比例时所需的剂量估计及置信区间

3.5.3 原始数据包含有 0 和 100% 死亡率时的输出结果。如果在图3的数据中添入 2 组数据,剂量分别为 12,3,总数分别为 5,5,死亡数分别为 5,0,那么使用该软件计算的结果见图9。

4 讨论

随着计算机的发展和普及,数理统计的软件越来越多,但是无论使用何种软件,都仅是对毒力回归计算过程更快、更准确,其计算原理是不变的,因此为了更好地使用统计软件,对其原理的理解是很有必要的,该研究中第一部分内

```
***** PROBIT ANALYSIS *****
Parameter estimates converged after 14 iterations.
Optimal solution found.
Parameter Estimates (PROBIT model: (PROBIT(p)) = Intercept + BX):
Regression Coeff. Standard Error Coeff./S.E.
剂量 5.95215 2.39832 2.48180
Intercept Standard Error Intercept/S.E.
-4.66313 2.19942 -2.12017
Estimate of Natural Response Rate = .00000 with S.E. = .26448.
Pearson Goodness-of-Fit Chi Square = .833 DF = 4 P = .934.
Since Goodness-of-Fit Chi square is NOT significant, no heterogeneity
factor is used in the calculation of confidence limits.
***** PROBIT ANALYSIS *****
Confidence Limits for Effective J.
95% Confidence Limits.
Prob J Lower Upper
.01 2.46942 .02752 4.27407
.02 2.74405 .04534 4.54351
.03 2.93994 .06223 4.72430
.04 3.08539 .07895 4.86574
.05 3.21433 .09580 4.98445
.06 3.32832 .11295 5.08821
.07 3.43158 .13047 5.18134
.08 3.52676 .14845 5.26515
.09 3.61561 .16694 5.34550
.10 3.69937 .18597 5.41954
.15 4.06733 .29060 5.74092
.20 4.38570 .41395 6.01572
.25 4.67862 .56021 6.26792
.30 4.95831 .73436 6.51010
.35 5.23239 .94261 6.75083
.40 5.50646 1.19286 6.99754
.45 5.78528 1.49529 7.25814
.50 6.07347 1.86306 7.54282
.55 6.37600 2.31299 7.86673
```

图9 原始数据包含有死亡率为 0 和 100% 时的输出结果 容便是对概率单位回归方法手动计算操作的介绍。

Excel 软件对毒力回归的分析方法看似笨拙,但是表格设置一旦完成,整个运算过程全部由内部自动运行,减少了大量手工运算对数、乘方、开方、求和的误差,不仅具有较强的针对性,而且简单易学,所建立的运算工作表可反复使用,节省了大量时间^[6],特别是最终结果可随意设置显示出来,直接复制使用,这是其他软件所不能的。当然,Excel 软件依据概率单位所设计的表格也有一大缺点,就是不能计算含死亡率为 0 或 100% 的试验组,因为其相应的概率机值在理论上为 $-\infty$ 或 $+\infty$,计算机内不能计算出概率机值,因而无法计算 LC_{50} 。对于上述缺点,笔者认为可通过结合寇氏法、移动平均法、角转换法和阶梯法等方法来进行弥补。但是每种方法也有各自的使用要求,因此,对于使用 Excel 软件来进行毒力回归计算的试验,关键不在于最后的数据如何统计,而是根据所选方法进行试验前设计,一旦设计符合要求,那么最终结果瞬间即可输出。

SPSS 作为一款大型的通用统计软件,也提供了机率分析分析方法统计功能,进行毒力回归也非常的简单和快速,而且信息量很大,估计了不同死亡比例所需的剂量及其可信区间。不足之处就是该软件统计出来的数据不能直接复制使用,需要二次处理,若数据较多,校对工作量就很大。另外,该软件在作图方面也不是很方便^[7]。

除上述介绍的软件外,还有 SAS、DPS 等专门的统计软件也可进行毒力回归,优缺点和 SPSS 类似。早期也有前人用 Basic 语言编写过生物测定程序(比如 polo)、用 Delphi 语言编写过杀虫剂毒力测定系统,但对于不熟悉 Basic 语言和 Delphi 语言的研究者来说使用也较困难^[6]。统计软件有很多,原理都是相同的,至于选择何种软件,使用者尽可根据自己的喜好和条件选择,方法不拘泥,结果都是大同小异的。

物产生的叶绿素破坏作用,并且在叶片白化严重情况下仍然有很好的复绿表现,疗效远远优于市面上常用制剂绿叶灵与解害灵。试验中配方成分浓度是基于之前做过的植物营养

液与植物养护经验基础上制定的,后续试验可在配方各成分浓度上进行梯度摸索,配方中各成分均属于环境友好型,可在一定范围内逐步推广使用。

表1 各试剂喷施前后山楂受害叶片叶绿素含量

处理编号	配方		绿叶灵		解害灵		清水	
	喷施前叶绿素含量	喷施后叶绿素含量	喷施前叶绿素含量	喷施后叶绿素含量	喷施前叶绿素含量	喷施后叶绿素含量	喷施前叶绿素含量	喷施后叶绿素含量
1	12.80	35.90	5.80	5.70	9.80	11.60	5.90	4.20
2	7.80	22.60	6.90	7.00	14.20	21.50	10.60	11.20
3	19.60	45.80	10.40	10.80	15.60	25.40	9.40	8.40
4	14.80	36.80	17.50	25.60	5.20	6.80	7.30	8.70
5	5.60	20.10	18.60	27.90	13.50	23.60	11.40	12.10
6	2.00	5.60	2.60	2.00	10.50	12.60	16.80	18.50
7	23.90	58.90	15.40	25.40	4.90	5.40	20.20	22.20
8	19.00	48.20	8.80	9.00	23.60	38.40	14.60	15.20
9	15.10	47.10	7.20	8.00	10.20	14.50	3.50	2.00
10	2.60	12.30	5.00	6.20	5.10	4.20	4.90	3.50
11	16.20	34.50	12.30	13.10	13.70	22.20	6.70	7.80
12	4.90	13.20	14.50	18.60	15.60	30.20	9.50	10.10
13	20.30	48.50	15.00	24.70	14.20	24.10	10.60	11.30
14	4.10	10.30	11.30	13.20	6.80	8.50	11.50	12.10
15	3.80	11.20	4.70	6.40	7.40	9.50	13.40	13.60
16	8.60	21.50	7.60	8.80	5.80	7.80	10.90	11.40
17	4.40	9.40	8.40	9.50	4.90	6.40	15.60	16.30
18	5.90	12.40	8.30	9.40	7.40	9.50	9.80	10.00
19	9.90	20.10	8.40	10.40	12.60	21.00	4.50	3.60
20	3.80	8.40	14.50	20.40	11.20	13.50	7.60	7.20
21	7.90	14.90	16.90	23.60	10.90	14.70	5.40	6.50
22	17.90	35.60	21.30	35.40	8.40	9.50	8.90	10.40
23	5.30	10.60	14.70	21.30	7.50	6.20	14.20	14.00
24	4.00	8.50	12.30	15.70	4.60	3.50	18.90	20.10
25	13.10	34.70	8.90	9.70	5.90	5.10	17.40	16.50
26	17.40	42.10	4.90	5.60	11.60	19.40	5.60	4.60
27	8.30	14.50	5.30	6.40	7.50	9.20	4.90	5.20
28	19.90	42.60	7.40	8.90	5.60	5.60	8.40	9.60
29	7.00	14.50	8.90	10.20	8.40	9.50	6.40	7.40
30	8.30	15.20	9.40	11.40	18.40	38.40	12.50	13.50
平均值	10.47	25.20	10.44	13.68	10.03	14.59	10.24	10.57
方差	41.17	242.82	22.23	67.80	21.20	94.84	20.67	25.75

参考文献

- [1] 曲耀训. 大豆田化学除草剂评价及杂草综合防控方案[J]. 农药市场信息, 2013(23): 4-6, 20.
 [2] 田野宏, 屈远强, 满秀玲, 等. 水土保持措施对黑土流失区土壤理化性质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011(11): 84-88.

- [3] 贾洪纪, 姚余君, 李俊涛, 等. 寒地黄花菜引种效果分析[J]. 东北林业大学学报, 2007(10): 13-16.

(上接第9338页)

参考文献

- [1] 陈其津, 李广宏, 林扬帆. 杀虫剂毒力测定数据的快速运算与分析[J]. 中山大学学报论丛, 2001, 21(3): 39-43.
 [2] 裘炯良, 颜艳, 郑剑宁. 基于SAS的杀虫剂毒力筛选计算机实现[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2010, 21(5): 478-481.
 [3] 黄海, 罗友丰, 陈志英. SPSS 10.0 for Windows 统计分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.

- [4] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2003.
 [5] 安胜利, 莫一心, 欧春泉. 在SPSS10.0软件上进行概率单位分析[J]. 第一军医大学学报, 2002, 22(11): 1019-1021.
 [6] 谭苹. 应用Excel软件计算半数致死量[J]. 山西医科大学学报, 2010, 41(10): 914-916.
 [7] 张志祥, 徐汉虹, 程东美. EXCEL在毒力回归计算中的应用[J]. 昆虫知识, 2002, 39(1): 67-70.