

华南稻田农田害鼠复合防治指标的理论研究

何 森¹, 冯志勇²

(1. 中山大学生物防治国家重点实验室, 广州 510275; 2. 广东省农业科学院植保所, 广州 510640)

摘要:依据对华南地区稻田 3 种主要害鼠黄毛鼠、板齿鼠和小家鼠的田间捕获率调查, 以及对害鼠造成的相应水稻产量损失率(y)研究, 建立了水稻产量损失率与鼠密度关系的多元线性回归方程。确定板齿鼠作为本项研究的标准鼠种, 利用 3 种主要农田害鼠的捕获率在回归方程中对应的系数, 计算出农田害鼠的标准当量损害指标。结果显示, 每个标准鼠单位造成的水稻产量损失率分别相当于 4.084 个黄毛鼠当量单位, 或 31.593 个小家鼠当量单位。进一步, 对原始调查数据进行二次处理, 建立了标准当量(x)与(y)的相互关系数学模型; 文中配合 EIL 计算公式, 求出了在不同水稻产量和不同灭鼠效果等条件下的华南农田害鼠的复合防治指标。

关键词:华南地区; 农田害鼠; 复合防治指标; 数学模型

Theory model of the multiple-species economic threshold of farmland rodents in rice fields, South China

HE Miao¹, FENG Zhi-Yong² (1. State Key Laboratory for Biological Control, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. The Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agriculture Sciences, Guangzhou 510640, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 211~217.

Abstract: This paper deals with the theory model construction of the multiple-species economic threshold of farmland rodents in rice fields, South China. Three rodent species including *Rattus rattoides* Hodgson, *Bandicota indica* Bechstein and *Mus musculus*, were studied. The sampling sites were selected in Dongguan City and Boluo City of the Pearl River Delta; where characterizes with alluvial plain and few hills or low mountains. Two multiple linear regression models were constructed by analyzing the relations between the yield losses rate of rice (y) and the capture rates of the three main species of rats. The concept of equivalent density of rodent was proposed. Equivalent density could be used to define the standard quality damage and to calculate the total damage caused by the three main rodents in the farmland. *B. indica* was determined as the basic species of rodent. By comparing and computing the coefficients of two multiple linear regression equations, the results showed that the damage ability of one *B. indica* (x_2) equals to that of 4.084 individuals of *Rattus rattoides* (x_1) and 31.593 individuals of *Mus musculus* (x_3). The quantity of total density of mixed population (x) belongs to the area [2.480, 5.870]. Models were made to simulate the relationship between x and the rate of yield losses of rice (y). The simulation results showed that the mean arithmetical error to the rate of yield losses of rice (y) is smaller

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(974080)

收稿日期:2001-05-10; **修订日期:**2002-08-28

作者简介:何 森(1963~), 男, 广东省广州市人, 博士, 副教授。从事动物生态学和数学生态学研究。E-mail: mmh168@hotmail.com

Foundation item: Supported by Guangdong Natural Science foundation(No. 974080)

Received date: 2001-05-10; **Accepted date:** 2002-08-28

Biography: HE Miao, PhD, Associate Professor. Specialization: mathematical ecology and animal ecology. E-mail: mmh168@hotmail.com

than 7.79%. To formulate a policy for farmland rodent controlling, it was considered that the best opportunity for rodent controlling is at the period when the rate of yield losses of rice increases slowly and the density of mixed population is also lower, so that the cost of controlling should be lower too. Based on the models (14)~(16), a basic principle to draft the multiple-species economic threshold (MET) should be that: $MET < x_0 = 1.3404$. By using the calculating equation for economic permitted injury level (EIL), the multiple-species economic threshold was calculated (see table 5) under local different conditions such as rice yield, price of rice and effectiveness rate of killing rodents.

Key words: South China; farmland rodent; multiple-species economic threshold; mathematical model

文章编号:1000-0933(2003)01-0211-07 中图分类号:Q958.1.S443 文献标识码:A

自 20 世纪 90 年代以来,我国各地农田害鼠的发生及为害均十分严重;至 20 世纪 90 年代中后期,农田鼠密度更呈上升势态。这也从某种程度上反映出实际灭鼠工作缺乏科学指导,存在着一定的盲目性。因此,根据各地特点因时因地制宜制定科学的防治指标,对于农田鼠害的防治十分必要。有关害虫等量损害系统与复合防治指标的研究在我国已经获得了大量富有成效的成果^[1~3]。90 年代以来,我国学者也开始引入害虫等量损害系统与复合防治指标的理论和方法,开展对农田害鼠防治指标的研究,并已取得了一些进展^[4~7]。由于鼠类相对于昆虫其体型较大,研究和调查方法具有其特殊性,害虫领域的研究方法不能照搬,在取样、数据处理和模型化等方面还存在许多问题^[8~16],本文就取样、数据处理和模型化等问题开展了详细研究。

1 调查方法

调查样地位于广东省东莞市角社管理区。在 1992 年早、晚稻期间,分别选择 7 个和 11 个样区,每个样区面积 13.3hm² 以上,调查鼠种为华南稻作区 3 种常见的主要农田害鼠,黄毛鼠 *Rattus rattoides*、板齿鼠 *Bandicota indica* Bechstein 和小家鼠 *Mus musculus*,调查这 3 种常见主要害鼠造成的水稻产量损失,研究各害鼠密度与产量损失率之间的关系。

(1)样区鼠密度调查 预先对部分样区进行局部灭鼠,使各样区鼠密度形成一定的梯度。鼠密度的调查采用夹夜法,调查取样分别在防治适期的 2 月和 8 月进行,此后各样区不再进行灭鼠活动。

(2)水稻受害率调查 每样区随机调查 10 丘稻田,每丘抽查 500 丛水稻,检查记录板齿鼠、黄毛鼠咬断水稻植株数,以及小家鼠造成的水稻谷粒受害率等指标。板齿鼠、黄毛鼠通常的危害行为是咬断水稻植株,小家鼠则一般在水稻黄熟期爬上谷穗盗食谷粒。因此,水稻鼠害率的调查采用调查稻株受害率和谷粒受害率两种方式进行。为弄清楚小家鼠对谷粒的危害规律及所造成的产量损失,在田间随机抽取 6 丘黄熟期的水稻,从田埂边开始,每隔一定距离抽查 7 丛水稻的谷粒受害情况,直至稻田中央。每丘稻田按照多线平行抽样法进行调查,并在早、晚季稻的黄熟期,调查各样区的水稻植株受害率,每样区随机抽查 10 丘稻田,每丘抽查 500 丛水稻。调查和数据处理结果见表 1。

(3)数据的处理 水稻的植株受害率(v_d)与其产量损失率(y)呈显著的线性关系: $y = 0.51 + 0.92 v_d$ ^[17],依上式可将调查所得的植株受害率转换成相应的产量损失率,再加上谷粒受害率即为当季度的水稻产量损失率。将各样区的各鼠种密度与混合为害造成的产量损失率进行逐步回归,分析不同鼠种对水稻产量损失的作用大小,并进行方差分析,建立各鼠种混合为害的损失模型。

2 结果和分析

2.1 数据处理

利用表 1 数据可建立水稻产量损失率与鼠密度之间关系的多元线性回归方程。

$$\text{早稻} \quad y_1 = -0.099 + 0.337x_1 + 1.458x_2 + 0.036x_3 \quad (1)$$

$$\text{晚稻} \quad y_2 = -0.425 + 0.378x_1 + 1.452x_2 + 0.064x_3 \quad (2)$$

其中, y_1 、 y_2 分别为早、晚稻水稻产量损失率, x_1 、 x_2 、 x_3 分别为黄毛鼠、板齿鼠和小家鼠的捕获率。

2.2 鼠害标准当量

在华南稻作区农田中,由于多种害鼠的共存,不同种害鼠它们在个体大小、季节发生、取食行为以及发

育速率等方面均存在着的差异,因此,制定复合防治指标,将不同种害鼠造成的损失标准化是必要的。

表 1 3 鼠种密度及其造成的水稻产量损失率

Table 1 Rodents density and the rate of yield-loss

样区 Quadrat	早稻 Early rice				晚稻 Late rice			
	各鼠种捕获率			水稻产量 损失率 Rice yield loss rate (%)	各鼠种捕获率			水稻产量 损失率 Rice yield loss rate (%)
	Capture rates of the rats (%)				Capture rates of the rats (%)			
	黄毛鼠 <i>Rattus rattoides</i>	板齿鼠 <i>Bandicota indica</i>	小家鼠 <i>Mus musculus</i>		黄毛鼠 <i>Rattus rattoides</i>	板齿鼠 <i>Bandicota indica</i>	小家鼠 <i>Mus musculus</i>	
1	2.60	0.65	1.95	1.80	5.28	1.41	11.27	4.15
2	3.17	1.06	2.82	2.49	7.41	1.48	13.83	5.50
3	1.38	0.00	3.65	1.53	2.69	0.00	5.39	1.05
4	3.36	0.34	0.67	1.50	11.53	2.71	11.19	8.62
5	2.17	1.45	2.90	2.91	3.70	2.96	7.41	5.80
6	5.67	1.33	5.00	3.93	3.00	2.67	9.00	5.12
7	3.67	0.67	1.33	2.25	2.36	1.01	13.47	2.80
8					1.46	0.36	5.45	1.07
9					4.67	0.33	5.00	1.95
10		—		—	5.33	0.67	7.00	3.08
11		—			2.46	1.76	3.87	3.30

要确定华南稻作区 3 种主要害鼠黄毛鼠、板齿鼠和小家鼠的为害当量关系,主要考虑 3 种害鼠分别在等量捕获率(密度)条件下,将各自造成的水稻产量损失率进行比较,为此,需要对(1),(2)式作无偏参量变换,即令:

$$\begin{aligned} y'_1 &= y_1 - \bar{y}_1 & y'_2 &= y_2 - \bar{y}_2 \\ x'_1 &= x_1 - \bar{x}_1 & x'_2 &= x_2 - \bar{x}_2 & x'_3 &= x_3 - \bar{x}_3 \end{aligned} \quad (3)$$

这里, $\bar{y}_i$ 、 $\bar{x}_j$ 分别为相应 y_i 和 x_j 的调查数据平均值($i=1,2;j=1,2,3$)。

$$\text{代入(1),(2)可得:} \quad y'_1 = 0.337x'_1 + 1.458x'_2 + 0.036x'_3 \quad (4)$$

$$y'_2 = 0.378x'_1 + 1.452x'_2 + 0.064x'_3 \quad (5)$$

$$(4),(5) \text{两式可表示:} \quad y'_i = AX \quad (i=1,2) \quad (6)$$

其中

$$A = (a_{11}, a_{12}, a_{13}),$$

$$X = \begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \end{pmatrix}$$

a_{ij} 分别为(4),(5)两式中 x'_j ($j=1,2,3$) 的相应系数。

$$\text{分别令:} \quad X = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

则可以求出 3 个鼠种分别在等量密度条件下造成水稻产量损失率当量。即:

$$y'_1(1) = 0.337, y'_1(2) = 1.458, y'_1(3) = 0.036$$

$$y'_2(1) = 0.378, y'_2(2) = 1.452, y'_2(3) = 0.064$$

由于在等密度条件下,板齿鼠造成的危害最大,因此,这里设 x_2 为标准鼠种,则可以求出 x_2 单位密度为害量分别相当于 x_1 和 x_3 的为害当量密度,分别记为 $ER(1), ER(3)$,则可求出:

$$\begin{aligned} ER_1(1) &= y'_1(2)/y'_1(1) = 4.326 \\ ER_1(3) &= y'_1(2)/y'_1(3) = 40.500 \\ ER_2(1) &= y'_2(2)/y'_2(1) = 3.841 \\ ER_2(3) &= y'_2(2)/y'_2(3) = 22.687 \end{aligned} \quad (7)$$

由(7)式可以看出,分别计算出的早晚稻期间的 x_2 单位密度为害量分别相当于 x_1 和 x_3 的为害当量密度有明显的差异。为简化问题,方便建立统一的数学模型,同时也具有便于分析和应用的特点,因此,对早晚稻的数据统一作为一个整体处理,即对(7)求平均值可得:

$$\begin{aligned} ER(1) &= (ER_1(1) + ER_2(1))/2 = 4.084 \\ ER(3) &= (ER_1(3) + ER_2(3))/2 = 31.593 \end{aligned} \quad (8)$$

亦即每个标准鼠(x_2 ,板齿鼠)单位造成的水稻产量损失率分别相当于 4.084 个黄毛鼠当量单位,或 31.593 个小家鼠当量单位。

为了便于建立数学模型,并方便应用,利用(8)对表 1 的数据进行二次处理,并定义 x 为鼠害标准当量密度:

$$x = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 = \sum_{i=1}^3 a_i x_i \quad (9)$$

这里, $a_1 = 1/ER(1) = 0.244$, $a_2 = 1$, $a_3 = 1/ER(3) = 0.031$ 。在表 2 中,依 x 的大小按照升序重新排序,可见除去标有上角标 * 的一组值特异外,其余 y 值依次增加,完全合乎生态学规律。

表 2 当量密度及水稻产量损失率排序

Table 2 Ordination of equivalent density of rodent and the rate of yield-loss

标准当量密度 Standard equivalent density (x)	0.823	0.885	1.180	1.182	1.345	1.606	1.624*	1.921	2.003	2.069
水稻产量损失率 Rice yield-loss rate (y)	1.05	1.07	1.50	1.53	1.80	2.25	1.95*	2.49	2.80	2.91
标准当量密度 Standard equivalent density (x)	2.187	2.480	2.868	3.047	3.681	3.716	4.092	5.870	--	--
水稻产量损失率 Rice yield-loss rate (y)	3.08	3.30	3.93	4.15	5.12	5.50	5.80	8.62	--	--

2.3 数学模型的构建

建立数学模型,首先需要分析 x 与 y 的关系趋势。关于早、晚稻期间调查数据的合并问题,实际上,早稻期间调查的平均鼠密度较晚稻期间低,平均鼠密度落入区间 $[1.180, 2.868]$ 中。而在这一区间晚稻期间的相关调查值较为欠缺,故两组数据可互补。建立统一的数学模型同时也具有便于分析和应用的优点。趋势分析可发现,当 $x \in [0.823, 2.480]$ 时, y 呈 Logistic 曲线型上升;当 $x \in [2.480, 5.870]$ 时, y 呈直线型上升。因此,确定以下述形式模型拟合 x 与 y 的关系:

$$y = \begin{cases} \frac{k}{1 + \exp(a - rx)} & \text{当 } x \in [0.823, 2.480] \\ bx + c & \text{当 } x \in [2.480, 5.870] \end{cases} \quad (10)$$

为了计算模型(10)中各项参数,首先要求 x 的取值相邻两点必须等距。由于田间鼠种组成及密度变动很复杂,通过试验设计几乎无法做到这一点。因此,采用插值的方法对调查数据做进一步处理是必须的。如果将适合用于计算模型各参数值的调查数据称为有效数据,则通过对表 2 中 x 数值分析,并做了微小近似,筛选出区间 $[0.823, 2.480]$ 中一组 x 的有效数据,确定其步长为 0.3915,并利用线性插值方法进行插值(见表 3)。

表 3 有效数据及线性插值(打 * 者,步长 0.3915)

Table 3 Effective data and linear interpolation (marked with *) with step length 0.3915

有效数据 Effective data x	0.8230	1.2145*	1.6060	1.9975	2.3890*
有效数据 Effective data y	1.050	1.570*	2.250	2.800	3.179*

根据表 3 数据,利用最小二乘法,可求出模型各参数的值, $k = 3.6768$, $a = 2.3774$, $r = 1.7697$ 。即得:

$$y = \frac{3.6768}{1 + \exp(2.774 - 1.7697x)} \quad (11)$$

当 $x \in [2.480, 5.870]$ 时, 容易求出参数 b 和 c , 可得:

$$y = 1.5535x - 0.5527 \quad (12)$$

2.4 模型的拟合与计算分析

利用模型(11),(12)对调查数据进行拟合, 拟合结果见表4。

由表4可知, 模拟结果十分理想。在上下两个区间中各有一个数据拟合误差相对稍大外, 其余各样区对水稻产量损失率的拟合算术误差均小于7.79%。在区间 $x \in [0.823, 2.480]$ 中, 平均算术误差为0.0557; 在区间 $x \in [2.480, 5.870]$ 中, 平均算术误差为0.0630。总体拟合平均算术误差为0.0590。误差较之多元线性回归模型的拟合误差成倍减少。

模型(11)的微分形式容易转换表达为:

$$\frac{dy}{dx} = 1.7697y \left(1 - \frac{y}{3.6769} \right) \quad (13)$$

依据生态学理论, Logistic 曲线在 $y_0 = k/2 = 1.8335$ 处有一个拐点, 在拐点处 dy/dx 的值最大。也即是, 当 $y = y_0$ 时, 水稻产量损失的增长速率最大。

由(11)可推导出:

$$x = 1.3434 - 0.5650 \ln \left(\frac{3.6768 - y}{y} \right)$$

即当 $y = y_0$ 时, 可求出 $x = x_0 = 1.3404$ 。

表4 拟合结果及误差

Table 4 Result of simulation and error

水稻产量损失率 Rice yield-loss rate (%)				水稻产量损失率 Rice yield-loss rate (%)			
x	调查值 Sample value ($\bar{y}$)	理论值 Simulation value (y)	误差 Error $\bar{y} - y$	x	调查值 Sample value ($\bar{y}$)	理论值 Simulation value (y)	误差 Error $\bar{y} - y$
0.823	1.05	1.0470 ± 0.0587	0.0030	2.187	3.08	3.0021 ± 0.0587	0.0799
0.885	1.07	1.1311 ± 0.0587	-0.0611	2.480	3.30	3.3000 ± 0.0903	0
1.180	1.50	1.5744 ± 0.0587	-0.0744	2.868	3.93	3.9027 ± 0.0903	0.0273
1.182	1.53	1.5776 ± 0.0587	-0.0476	3.047	4.15	4.1808 ± 0.0903	-0.0308
1.345	1.80	1.8410 ± 0.0587	-0.0410	3.861	5.12	5.1657 ± 0.0903	-0.0457
1.606	2.25	2.5800 ± 0.0587	-0.0080	3.716	5.50	5.2201 ± 0.0903	0.2799
1.921	2.49	2.7039 ± 0.0587	-0.2139	4.092	5.80	5.8040 ± 0.0903	-0.0042
2.003	2.80	2.8041 ± 0.0587	-0.0041	5.870	8.62	8.5663 ± 0.0903	-0.0042
2.069	2.91	2.8794 ± 0.0587	-0.0306				

依照 Logistic 曲线, 当 $x < x_0$ 时, y 处于一个相对缓慢的增长阶段; 当 $x_0 \leq x < 2.480$ 时, y 增长迅速。之后, $x \geq 2.480$, y 的曲线脱离 Logistic 形式, 而呈现线性快速上升状态。

因此, 从防治鼠害的角度, 制定相应科学的复合防治指标, 应当在水稻产量损失率增长较为缓慢的阶段, 该阶段鼠密度低, 灭杀鼠害的投入少, 成效大。当水稻产量损失率进入快速增长阶段, 鼠密度和基数高, 将会造成对鼠害灭杀的投入高, 成效差的结果。

由此, 应确定一条原则, 即制定出的复合防治指标(MET)必须小于 x_0 。即:

$$MET < x_0 = 1.3404 \quad (15)$$

2.5 复合防治指标的制定

首先计算水稻的经济允许损害水平(EIL), 根据下列公式:

$$EIL = \frac{C_i \cdot F}{y_d \cdot P \cdot E} \times 100 \quad (16)$$

其中, C_i 为防治费用, F 为经济系数, y_d 为水稻完全不受害时的产量, P 为稻谷价格, E 为防治效果(即灭鼠

的实际效果,这里依据华南稻作区常见的灭鼠效果,分别取值为灭鼠率 80%、85% 和 90%)。

这里稻谷设定价格按国家的保护价 1.40 元/kg 计算,防治费用为 37.5 元/hm²,经济系数定为 2.5。令 $y = EIL$,将公式(16)代入模型(14),则可计算出不同防治效果及不同水稻产量条件下,相应的复合防治指标。计算结果见表 5。

表 5 复合防治指标制定

Table 5 Computation of the multiple-species economic threshold

防治效果 E Control effect (%)	80			85			90		
水稻产量 Rice yield y_d (kg/hm ²)	5000	6000	7000	5000	6000	7000	5000	6000	7000
经济允许损害水平 EIL Economic permitted injury level (EIL)	1.6741	1.3950	1.1957	1.5756	1.3130	1.1254	1.4881	1.2400	1.0629
复合防治指标 MET Multiple-species economic threshold (%)	1.2421	1.0653	0.9309	1.1807	1.0112	0.8809	1.1254	0.9617	0.8350

3 结论

(1)利用鼠害标准当量损害指标对华南稻作区 3 种主要害鼠黄毛鼠、板齿鼠和小家鼠的捕获率与水稻产量损失率 y 关系的调查数据进行了二次处理。确定板齿鼠为标准鼠种,将 3 种主要害鼠的捕获率通过(9)式复合为统一的标准当量密度 x ,建立了 x 与 y 的动态模型。进一步利用(14)和(16)两式组成的数学模型制定了不同条件下的复合防治指标,其主要目的是用于指导地方农田害鼠的防治。在实际应用情况下,

预调查的数据只要满足条件 $\sum_{i=1}^3 a_i x_i \geq MET$,就必须及时开展灭鼠防治工作。

(2)分析表 5 中的数据,表中计算的所有 MET 数值均小于 1.3404,即: $MET < 1.3404$,完全符合前面制定的原则(15)。表明前面的分析和研究的前提条件是正确的。

(3)当前珠江三角洲地区快速发展的农村城市化进程,道路大规模建设、经济开发区的拓展、住宅小区的侵入、连片鱼塘挖掘等因素使得农田种植作物种类变更、农田使用性质的变更、农田周边环境等频繁的变化。环境和农作物种类发生较大或较明显改观,无疑会对农田的啮齿动物复合种群的结构、行为、食性等产生直接和重要的影响。研究新形势下、新环境条件下的农田害鼠复合防治指标将更富有挑战性。

References

- [1] Du Z W. *Rice Pests Integrated Control Strategies and Techniques in China*. Beijing: Agricultural Press, 1991. 114~143.
- [2] Lu Z Q, Shen G Q, Han Y G. Injury equivalence system of leaf-mass consuming insect guild on rice and the multiple-species economic threshold. *Act. Ent. Sin.*, 1991, **34**(3):319~325.
- [3] Qu Y X, Gao X H, Ma Z Q, et al. Studies on the injury equivalency system and mixed action threshold of main soybean leaf-feeding insect pests. *Act. Phy. Sin.*, 1993, **20**(1):43~48.
- [4] Wang H D, Luo H H, Wang E G, et al. Population dynamics and economic threshold of striped field mouse (*Apodemus agrarius*) in rice growing region of Yangtze River Valley. *Sci. Agri. Sin.*, 1993, **26**(6):36~43.
- [5] Wang Y S, Lu H Q, Su C D. The compound economic threshold in the rodent control of peanut. *Chin. J. Zoo.*, 1996, **31**(1):19~22.
- [6] Wang Z W, Zhang Z B. *Theory and Practice of Rodent Pest Management*. Beijing: Science Press, 1996. 48~212.
- [7] Xing L, Lu H Q. Discussion on the eating habits and the threshold value in control of *Cricetulus barabensis*. *Chin. J. Zoo.*, 1990, **25**(4):29~32.
- [8] Huang X Q, Feng Z Y, Chen M L. Studies on the female breeding characteristics of Taiwan rat. *Act. Ther. Sin.*, 1994, **14**(1):73~77.

- [9] He M, Lin J Q, Wong W Y. The medium and long term forecasting of population of *Bandicota indica* with the time series models. *Act. Ther. Sin.*, 1996, **16**(4):297~302.
- [10] Huang X Q, Feng Z Y, He M, *et al.* Studies on occurring regularities and control techniques of farmland rodent. *Gua. Dong Agri. Sci.*, 1997, (4):10~42.
- [11] Jiang G Z, Tan X H. Study on the population niche of field rats and mice (*Rodentia*). *J. Sou. Chi. Agri. Univ.*, 1989, **11**(2):126~130.
- [12] Jiang G Z, Tan X H. Studies on the optimum control time of farmland rats. *J. Sou. Chi. Agri. Univ.*, 1989, **11**(2):143~146.
- [13] Wood B J. A long-term study of *Rattus tiomanicus* population in an oil palm plantation in JoHore, Malaysia. *J. Appl. Eco.*, 1984, **21**:445~461.
- [14] Yan Z T, Zhong M M. The prediction to fluctuations in home mouse (*Mus musculus*) population and studies of mechanism. *Act. Ther. Sin.*, 1984, **4**(2):139~146.
- [15] Zong H, Jiang G Z, Ni J Y. The population dynamics and recovery of rodent pests in the agricultural ecological system in Sichuan. *Act. Phy. Sin.*, 1999, **26**(4):371~375.
- [16] Mao S S. *Regression Analysis and Experiment Design*. Shanghai: East China Normal University Press, 1983.
- [17] Huang X Q, Feng Z Y, Chen M L. Studies on the rice yield-loss caused by rats. *Eco. Sci.*, 1990, (1):70~73

参考文献

- [1] 杜正文. 中国水稻病虫害综合防治策略与技术. 北京: 农业出版社, 1991. 114~143.
- [2] 陆自强, 沈国清. 水稻食叶类害虫等量损害系统与复合防治指标. 昆虫学报, 1991, **34**(3):319~325.
- [3] 曲耀训, 高孝华, 马振泉, 等. 大豆主要食叶害虫为害当量系统与复合防治指标的研究. 植物保护学报, 1993, **20**(1):43~48.
- [4] 王华弟, 罗会华, 汪恩国, 等. 长江流域稻区黑线姬鼠发生动态与防治指标研究. 中国农业科学, 1993, **26**(6):36~43.
- [5] 王玉山, 卢浩泉, 苏传东, 等. 花生地鼠害复合防治指标的研究. 动物学杂志, 1996, **31**(1):19~22.
- [6] 王祖望, 张知彬. 有害啮齿动物管理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1996. 48~212.
- [7] 刑林, 卢浩泉. 黑线仓鼠的食性及防治阈值的探讨. 动物学杂志, 1990, **25**(1):29~32.
- [8] 黄秀清, 冯志勇, 陈美梨, 等. 雌性黄毛鼠繁殖特征研究. 兽类学报, 1994, **14**(1):73~77.
- [9] 何森, 林继球, 翁文英. 板齿鼠种群数量中长期预测的时间序列模型. 兽类学报, 1996, **16**(4):297~302.
- [10] 黄秀清, 冯志勇, 何森. 农田害鼠发生规律及防治技术研究. 广东农业科学, 1997, (4):40~42.
- [11] 蒋光藻, 谭向红. 农田害鼠种群生态位研究: 以四川省中江县仓山区为例. 西南农业大学学报, 1989, **11**(2):126~130.
- [12] 蒋光藻, 谭向红. 农田害鼠最佳防治时期研究. 西南农业大学学报, 1989, **11**(2):143~146.
- [14] 严志堂, 钟明明. 小家鼠种群动态预测及机制的探讨. 兽类学报, 1984, **4**(2):139~146.
- [15] 宗浩, 蒋光藻, 倪建英. 农田害鼠种群动态与灭鼠后种群恢复数学模型. 植物保护学报, 1999, **26**(4):371~375.
- [16] 茆诗松. 回归分析及其试验设计. 上海: 华东师范大学出版社, 1983.
- [17] 黄秀清, 冯志勇, 陈美梨. 农田害鼠造成的水稻产量损失研究. 生态科学, 1990, (1):70~73.