

高山姬鼠种群数量动态及预测预报模型

杨再学^{1,*}, 金星², 郭永旺³, 龙贵兴⁴, 刘晋²

(1. 贵州省余庆县植保植检站, 贵州 余庆 564400; 2. 贵州省植保植检站, 贵阳 550001;
3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100026; 4. 贵州省大方县植保植检站, 大方 551600)

摘要: 为了摸清高山姬鼠种群数量变节变动规律, 探讨其种群数量预测方法, 采用夹夜法调查逐月捕获率, 用捕获率为预测指标, 建立种群数量预测预报模型。对 1996—2008 年贵州省大方县高山姬鼠种群数量动态及种群数量进行分析预测, 结果表明: 高山姬鼠主要分布于稻田、旱地耕作区, 是大方县农田害鼠优势种, 占总鼠数的 62.32%。10a 平均捕获率为 $(2.58 \pm 1.27)\%$, 全年种群数量变动曲线呈单峰型, 各年度种群数量的变化曲线基本相似, 一年内种群数量在 6 月份出现 1 个数量高峰, 平均捕获率达 $(4.63 \pm 3.03)\%$ 。不同年度、不同月份、不同季节之间种群数量存在显著差异。根据历年高山姬鼠种群数量变动幅度及发生危害情况, 结合当地鼠害防治指标, 制定了高山姬鼠种群数量分级标准。分析 1996—2008 年高山姬鼠数量高峰期前各月捕获率、种群繁殖参数(性比、怀孕率、胎仔数、睾丸下降率、繁殖指数)与数量高峰期 6 月种群密度的关系后发现, 4 月份种群数量基数与 6 月份种群密度之间相关极显著, 运用回归分析方法, 建立了应用 4 月份种群数量基数(X)预测数量高峰期 6 月份种群密度(Y)的短期预测预报模型: $Y = 1.7558X + 0.1442$, 可提前 2 个月预测当年数量峰种群密度和发生程度, 经回测验证, 数值和数量级预测值与实测值基本相符, 数值预测和数量级预测平均吻合率为 92.84%、100.00%, 结果比较准确, 故该预测预报模型具有一定的实用性和可行性。

关键词: 高山姬鼠; 种群组成; 种群动态; 预测预报; 模型

The seasonal population dynamics and prediction models of *Apodemus chevrieri*

YANG Zaixue^{1,*}, JIN Xing², GUO Yongwang³, LONG Guixing⁴, LIU Jin²

1 Guizhou Yuqing Plant Protection Station, Guizhou Yuqing 564400, China

2 Guizhou Plant Protection Station, Guiyang 550001, China

3 National Agro-tech Extensions and Service Center, Beijing 100026, China

4 Guizhou Dafang Plant Protection Station, Dafang 551600, China

Abstract: In The population dynamics and abundance of *Apodemus chevrieri*, a primary pest rodent, were studied in Dafang County, Guizhou, from 1996—2008 using toe-clipping, surveys, and modelling from monthly capture rates. *Apodemus chevrieri* represents 62% of all farmland rats and is stable among years, ranging from 49%—79% of captured rodents. Over the last ten years, the average annual capture rate was $2.58 \pm 1.27\%$. From 1996 to 1999, the population density was high and the annual average capture rate exceeded 3%. However, population density from 2001 to 2008 was low, and the annual average capture rate was less than 2%. Populations of *Apodemus chevrieri* showed significant variation with year, month, and season. The highest annual average capture rate of 4.99% was five times higher than the lowest annual average rate. Monthly average catch rates varied by a factor of 39, and average catch rates in the summer were 2.3 times higher than those in winter. Population changes throughout the year typically showed a single peak in June, and were essentially similar among different years. A classification standard was formulated for integration with local rodent control targets, taking into account population fluctuations and damage caused in previous years. Correlations were obtained among capture rate, reproductive parameters, sex ratio, pregnancy rate, litter size, testis growth, monthly reproductive index, and

基金项目: 国家“十一五”科技攻关项目(2005BA529A05); 贵州省优秀科技教育人才省长专项资金项目(黔省专合字[2007]105号); 遵义市“15851人才工程”第一层次培养人才在研项目(遵市15851人才办[2008]9号)

收稿日期: 2009-05-12; 修订日期: 2009-08-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzx@gzsh.org

population density in the peak month of June. Using regression analysis, population levels in April can be used to forecast accurately the June population density and maximum numbers. The average match rates for value prediction and magnitude prediction were 92.84% and 100.00%, respectively. This high accuracy indicates practical and feasible forecasting for pest rodent populations and its use in control.

Key Words: *Apodemus chevrieri*; population composition; population dynamics; prediction; formula

高山姬鼠(*Apodemus chevrieri*)是典型的古北界种类^[1],广泛分布于四川、云南、贵州等省(区)^[2-6],在贵州主要分布于大方、黔西、威宁、赫章、毕节、独山一带^[6-9],为黔西北地区农田主要害鼠之一。该鼠不仅危害多种作物,也是鼠疫自然疫源地的主要宿主之一^[3,10]。探讨其种群发生动态,及时、准确地对其种群数量作出预测预报是制定防治对策的重要依据,建立有效实用的种群数量预测预报模型,提前预测鼠类高峰期种群数量的变化,对于指导当地鼠害防治工作具有十分重要的理论意义。有关该鼠种群数量动态的研究国内报道较少,仅张甫国等^[3]和倪健英等^[4]对四川西昌市郊、陈文^[5]对四川天全县、杨再学等^[9]对贵州省大方县高山姬鼠种群数量季节消长动态进行了研究,而对该鼠种群数量预测预报模型研究尚无报道。为此,作者根据贵州省大方县 1996—2008 年稻田、旱地耕作区逐月高山姬鼠系统调查资料,探讨其种群数量变动规律及其预测模型,旨在制定一套适合高山姬鼠种群数量预测预报的技术,进一步提高鼠类预报的准确率。

1 材料与方法

1.1 自然概况

大方县位于贵州西北部,毕节地区中部,地跨东经 105°15′—106°08′,北纬 26°05′—27°36′,海拔 796—2285m。全县立体农业明显,总面积 3252 km²,总耕地面积 13.3 万 hm²,年均气温 11.8℃,无霜期 257d,年降雨量 1180.8mm,年日照时数 1335.5h,属暖温带湿润季风气候。主要种植粮食作物有玉米、马铃薯、小麦、豆类等,经济作物有烤烟、辣椒、油菜、茶叶等。调查地点设在贵州省大方县对江村、石墙村,海拔 1280m 和 1377m,面积 133.3hm²。

1.2 调查方法及时间

采用夹夜法,调查工具为 7cm × 17cm 木板夹,田间直线或曲线排列,夹行距 5m × 50m,花生仁作诱饵,晚放晨收,每月上中旬(5—15 日)在稻田、旱地生境类型地调查 1 次,各置夹 200 夹夜以上,置夹路线上下、左右移动。对捕获的鼠类标本进行编号,鉴定鼠种、性别,测量体重、胴体重和外部形态,解剖观察其繁殖状况。捕获率(%) = (捕鼠数/置夹数) × 100%,以捕获率表示其种群数量(种群密度)。调查时间为 1996—2001 年和 2005—2008 年,共 10a,每年均调查 12 个月,2002—2004 年因测报人员调离未作调查。

1.3 数据处理

所有数据处理均在电子表格(Microsoft Excel)和“DPS 数据处理系统软件”^[11]中进行求和、平均、显著性以及相应的统计分析,年度、月份、季节差异采用单因子方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 新复极差法多重比较。回归分析采用单因子线性回归分析法。文中平均数以平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示, $P > 0.05$ 为差异不显著, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 种群数量动态

2.1.1 群落种类组成

1996—2008 年在稻田、旱地耕作区共调查 120 个月次,置夹 42316 个,捕获小型兽类 1733 只,平均捕获率为 4.10%。其中,高山姬鼠 1080 只(雌鼠 556 只,雄鼠 524 只),占总鼠数的 62.32%,为当地农田害鼠第 1 优势种,其次是黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)339 只,占总鼠数的 19.56%,为当地农田害鼠第 2 优势种;褐家鼠(*Rattus norvegicus*)138 只,占 7.96%,黄胸鼠(*Rattus tanezumi*)31 只,占 1.79%,小家鼠(*Mus musculus*)12 只,

占 0.69%, 锡金小家鼠 (*Mus pahari*) 5 只, 占 0.29%, 为常见鼠种。同时捕获到食虫目 (Insectivora) 鼯鼠科 (Soricidae) 的四川短尾鼯 (*Anourosorex squamipes*) 128 只, 占 7.39%, 也为当地常见鼠种。从年度间种群组成变化来看, 高山姬鼠在农田区鼠类组成中数量基本稳定, 一般在 49.15%—79.25%。

2.1.2 种群数量的年度变化

1996—2008 年高山姬鼠不同年度种群数量差异极显著 ($F = 8.756 > F_{0.01}(9, 110) = 2.56, P < 0.0001$), 年平均捕获率以 1998 年最高, 为 $(4.99 \pm 2.31)\%$, 2005 年最低, 为 $(0.98 \pm 0.42)\%$, 最高年是最低年的 5.09 倍, 10a 平均捕获率为 $(2.58 \pm 1.27)\%$ 。1996—1999 年种群数量较高, 年平均捕获率在 3% 以上, 2001—2008 年种群数量较低, 年平均捕获率在 2% 以下。

2.1.3 种群数量的月份变化

1996—2008 年高山姬鼠不同月份种群数量差异极显著 ($F = 2.659 > F_{0.01}(11, 108) = 2.40, P < 0.01$), 研究期间最高月捕获率达 9.75% (1997 年 6 月), 最低为 0.25% (2006 年 10 月、2008 年 2 月), 最高月是最低月的 39.00 倍。一年内种群数量变动较大, 最大值与最小值之比最高达 17.20, 最低为 3.75, 平均为 9.19 (表 1)。全年种群数量季节消长曲线表现为单峰型, 在 6 月份出现 1 次数量高峰, 平均捕获率为 $(4.63 \pm 3.03)\%$, 各年度种群数量的变化曲线基本相似, 仅 2001 年数量高峰出现在 3 月份, 2006 年出现在 5 月份。

表 1 高山姬鼠种群数量的月份变化

Table 1 The month population dynamics of *Apodemus chevrieri*

月份 Month	总鼠数/只 No. of capture	平均捕获率/% Rate of capture	标准差 SD	最大值/% Max	最小值/% Min	最大值/最小值 Max/Min
1	62	1.58 b B	1.28	4.75	0.50	9.50
2	59	1.48 b B	0.85	3.00	0.25	12.00
3	125	3.11 ab AB	2.03	7.00	1.00	7.00
4	99	2.55 b AB	1.58	5.25	0.50	10.50
5	127	3.29 ab AB	2.24	8.00	0.75	10.67
6	165	4.63 a A	3.03	9.75	1.25	7.80
7	99	2.92 ab AB	1.20	4.97	1.00	4.97
8	90	2.91 ab AB	1.45	5.63	1.50	3.75
9	80	2.58 b AB	1.69	6.75	1.00	6.75
10	56	2.03 b B	1.49	4.30	0.25	17.20
11	75	2.36 b AB	2.01	6.07	0.75	8.09
12	43	1.50 b B	0.95	3.00	0.25	12.00

注: 表中小写字母不同表示差异达到 0.05 的显著水平, 大写字母不同表示差异达到 0.01 的显著水平

2.1.4 种群数量的季节变化

按春 (3—5 月份)、夏 (6—8 月份)、秋 (9—11 月份)、冬 (12—2 月份) 四季统计, 1996—2008 年高山姬鼠不同季节种群数量差异显著 ($F = 3.281 > F_{0.05}(3, 36) = 2.86, P < 0.05$), 以夏季 (6—8 月份) 最高, 平均捕获率为 $(3.54 \pm 1.89)\%$, 冬季 (12—2 月份) 最低, 为 $(1.54 \pm 0.82)\%$, 两者相差 2.27 倍。在不同年度不同季节之间种群数量也存在很大差异, 最大值与最小值之比最高达 7.73, 最低为 5.03, 平均为 5.93 (表 2)。

表 2 高山姬鼠种群数量的季节变化

Table 2 The seasonal population dynamics of *Apodemus chevrieri*

季节 Season	总鼠数/只 No. of capture	平均捕获率/% Rate of capture	标准差 SD	最大值/% Max	最小值/% Min	最大值/最小值 Max/Min
春季 Spring	351	3.00 a AB	1.76	6.42	0.83	7.73
夏季 Summer	354	3.54 a A	1.89	6.77	1.25	5.42
秋季 Autumn	211	2.26 ab AB	1.38	4.63	0.92	5.03
冬季 Winter	164	1.54 b B	0.82	3.20	0.58	5.52

注: 表中小写字母不同表示差异达到 0.05 的显著水平, 大写字母不同表示差异达到 0.01 的显著水平

2.2 种群数量分级标准的制定

为了使高山姬鼠种群数量分级与预测预报有一个定量的统一的指标,便于在测报实践中应用。根据历年高山姬鼠种群数量变动幅度及发生危害情况,结合当地鼠害防治指标,将高山姬鼠种群数量划分为 5 个数量级,各数量级分级标准如表 3。在开展预测测报时,可依此标准来判断高山姬鼠的发生程度。

表 3 高山姬鼠种群数量分级标准
Table 3 The method for dividing the population density level of *Apodemus chevrieri*

项目 Item	数量级 Density level				
	1	2	3	4	5
捕获率 Rate of capture/%	≤3.00	>3.00—5.00	>5.00—10.00	>10.00—15.00	>15.00
发生程度 Occurred degree	轻发生	偏轻发生	中等发生	偏重发生	大发生

2.3 种群数量预测预报模型的建立及验证

通过分析 1996—2008 年高山姬鼠数量高峰期前各月捕获率、种群繁殖参数与数量高峰期 6 月份种群密度的关系后发现,4 月份种群数量基数与 6 月份种群密度之间相关极显著,运用回归分析方法,建立了高山姬鼠种群数量的短期预测预报模型为: $Y = 1.7558X + 0.1442$, $r = 0.912 > r_{0.01} = 0.798$ ($df = 8$),式中 X 为 4 月份种群数量基数, Y 为数量高峰期 6 月份种群密度的预测值(理论值),由此可提前 2 个月作出高山姬鼠高峰期种群数量变动趋势的预报。

对该预测预报模型进行回测验证,捕获率预测的吻合率计算,凡落在置信区间 $\mu = \hat{y} \pm t_{0.05} \hat{S}_{\hat{y}}$ 之内的($\hat{S}_{\hat{y}}$ 为某一特定的预测值 $\hat{y}$ 的标准差),吻合率计为 100%,超出的则依其上限或下限对实测值的偏差,按下列公式计算^[12]:吻合率(%) = $100 - (|\mu - \text{实测值}| / \text{实测值} \times 100\%)$ 。回测结果表明,模型的数值(捕获率)预测吻合率为 44.70%—100.00%,平均为 92.84%,2001 年数值预测吻合率仅 44.70%,这与当年数量高峰出现在 3 月份,而不出现在 6 月份有关;数量级预测吻合率为 100.00% (表 4)。

表 4 高山姬鼠种群数量回归方程的预测值与实测值比较
Table 4 Comparison of the value forest with real value of population fluctuation formula of *Apodemus chevrieri*

预报时间 Date of estimation	预测值 Forecast value		实测值 Real value		吻合率 Coincidence frequency/%	
	捕获率 ± 置信限/% Rate of capture ± confidence interval	数量级 Density level	捕获率/% Rate of capture	数量级 Density level	对捕获率的 For the rate of capture	对数量级的 For the density level
1996-06	8.05 ± 1.58	3	6.00	3	92.26	√
1997-06	9.36 ± 1.99	3—[4]	9.75	3	100.00	√
1998-06	7.61 ± 1.46	3	9.00	3	100.00	√
1999-06	4.97 ± 0.97	2—[3]	6.50	3	91.43	√
2000-06	3.08 ± 1.12	2—[1]	3.50	2	100.00	√
2001-06	3.39 ± 1.06	2—[1]	1.50	1	44.70	√
2005-06	1.02 ± 1.63	1	1.25	1	100.00	√
2006-06	3.22 ± 1.09	2—[1]	2.25	1	100.00	√
2007-06	2.78 ± 1.18	2—[1]	3.00	1	100.00	√
2008-06	2.78 ± 1.18	2—[1]	3.50	2	100.00	√

注:对捕获率的吻合率 1999 年以上限对实测值的偏差(μ)计算,1996、2001 年则以下限对实测值的偏差(μ)计算;[] 表示可能达到的级数

对该预测预报模型进行预测应用,2009 年 4 月大方县稻田、旱地耕作区高山姬鼠平均捕获率为 2.00%,代入预测模型得数量峰 6 月份种群密度预测值为 $(3.66 \pm 1.03)\%$,按表 3 种群数量分级标准,预计 2009 年发生程度为 2 级(偏轻发生),经 6 月份调查验证,实测值为 3.25%,发生程度为 2 级,预测值与实测值基本吻合,预报准确。

3 讨论

3.1 关于种群数量消长动态及危害

高山姬鼠主要分布于稻田、旱地耕作区,是贵州省大方县农田害鼠优势种,占总鼠数的 62.32%。10a 平均捕获率为 $(2.58 \pm 1.27)\%$,田间最高捕获率达 9.75%,全年种群数量变动曲线呈单峰型,一年内在 6 月份出现 1 次种群数量高峰,这与陈文^[5]报道四川天全县高山姬鼠全年种群数量高峰出现在 6 月的研究结果相一致,但与倪健英等^[4]报道四川西昌市郊高山姬鼠一年内种群数量呈单峰型,高峰出现在每年的 10 月份不尽相同,说明高山姬鼠种群数量高峰期出现的时间具有明显的地区差异。

由于高山姬鼠属中型鼠类,食量大,危害重,每鼠日取食普通玉米粉占体重的 1/5—1/4,取食含水 50% 的玉米粉或新鲜红薯达体重的 1/2^[13];而且该鼠具有暴发危害的潜能,经调查,在四川川西南地区高山姬鼠具有年增长 16 倍的潜能,可造成田块 80% 的损失^[4]。又如近年来湖南洞庭湖区东方田鼠(*Microtus fortis*)连续暴发成灾,青藏铁路高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)的猖獗发生,进一步说明鼠类有暴发成灾的潜能。一般能够发生大暴发的鼠类均为群居种类,如东方田鼠、高原鼠兔等,高山姬鼠属于非群居种类,虽然暴发成灾的可能性远远小于群居种类,但在局部地区也可能造成严重危害。因此,对其防治仍不容忽视,同时应进一步加强对该鼠监测及防治关键技术的研究,制定相应的防治措施,减少对作物的危害。

3.2 关于种群数量预测指标和预测方法

种群数量动态是鼠类种群生态学研究的重要内容之一。预测鼠类种群数量变化,可为其防治提供依据,对于指导本地区鼠害防治工作具有十分重要的理论意义和实践价值。有关鼠类种群数量预测预报研究已引起国内学者的高度重视,出现了许多研究报道,提出了各种预测指标和预测方法。对于采用捕获率作为预测指标,已在小家鼠^[14-16]、黄毛鼠(*Rattus losas*)^[17]、黑线姬鼠^[18-21]、黑线仓鼠(*Cricetulus barabensis*)^[22-23]、长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)^[24]、小毛足鼠(*Phodopus roborovskii*)^[25]、子午沙鼠(*Meriones meridianus*)^[26]、褐家鼠^[27]等鼠类的种群数量预报中得到广泛应用,其结果均比较准确,准确率达 85% 以上,是目前使用较多的预测指标之一。所使用的预测方法主要为线性回归模型或逐步回归模型^[14-28],如王勇等^[20]、姜运良等^[23]、汪笃栋等^[28]以逐步回归分析法,分别对洞庭湖稻区黑线姬鼠、山东阳谷县黑线仓鼠、江西安义县黑线姬鼠种群数量及发生程度作了预测;侯希贤等^[26]应用线性回归模型用当月捕获率预测下月和隔月子午沙鼠的捕获率,利用当年 10 月份捕获率预测翌年 4 月份的捕获率,利用当年 5 月份繁殖指数率预测翌年 5 月份的捕获率,建立了一系列线性回归模型,杨再学等^[16,21]分别建立了小家鼠、黑线姬鼠种群数量预测线性回归模型。部分学者也利用时间序列模型^[29-31]、马尔可夫链模型^[32]或灰色系统^[33]对一些鼠类进行数量预测,均获得令人满意的结果。

本研究在对贵州省大方县高山姬鼠种群数量预测预报中,采用线性回归分析法,应用 4 月份种群数量基数(X)作为预测指标,建立了预测数量高峰期 6 月份种群数量(Y)的短期预测预报模型: $Y = 1.7558X + 0.1442$,经回测验证,预测结果比较准确,数值预测平均吻合率为 92.84%,数量级预测吻合率为 100.00%,说明该预测预报模型在高山姬鼠种群数量预测预报中是可行的,可在同一生态类型区推广应用。该预测预报模型操作简便,特别是对于基层鼠情监测点实用性强,容易掌握,只要每年 4 月份调查捕获率,就可以根据预测预报模型提前 2 个月预测当年数量高峰期 6 月份高山姬鼠的种群数量,参照制定的高山姬鼠种群数量分级标准(表 3),及时向有关部门作出鼠害发生程度的预报,为防治工作提前作好准备,在生产中具有实践意义。

3.3 关于种群数量消长制约因子及预报因子

鼠类种群数量动态,取决于种群的内部状态(种群数量基数、性别结构、繁殖力、年龄结构和肥满度等)和外界环境条件(气候、食物、天敌和人类对它的影响等),是多种因素综合作用的结果^[20,23]。种群的内在因素中,鼠密度是经常起作用的因子^[23];种群基数的高低决定后几个月内种群数量的变动,繁殖指数高低反映种群当前的增殖能力强弱^[20]。由于影响鼠类种群数量变动的因子较多,在建立预测模型的因子选择时,对于不同的鼠种需要选择不同的生物、生态特征及关键环境因子作为模型参量^[29]。本文在选择预报因子时,曾选用

高山姬鼠数量高峰前 3—5 月份种群繁殖参数(性比、怀孕率、胎仔数、睾丸下降率、繁殖指数)、种群数量基数与高峰期 6 月份种群数量进行相关分析,仅 3 月份和 4 月份种群数量基数与高峰期 6 月份种群数量之间相关极显著,相关系数 r 分别为 0.822、0.912 ($r > r_{0.01}$),但 4 月份相关性较 3 月份更为密切,其余因子相关系数 r 均未达显著水平($r < r_{0.01}$)。因此,本文从实用、简便角度考虑,选用 4 月份种群数量基数作为预测指标。当然采用单因子建立预测预报模型,4 月份种群数量基数并不能包含所有的预报信息,没有考虑其它因子对高峰期数量的干扰和影响作用,致使预报仍有偏差,这就提示我们要注意对害鼠种群数量动态进行长期监测,不断积累发生动态资料,为今后更好地找出与种群数量关系密切的主要影响因子提供足够的数据支持,并采用逐步回归分析,建立最优回归预测式,对高山姬鼠的种群数量进行预测,使预报尽可能减少误差,提高预报的准确性。

致谢:承蒙美国伯克莱-加州大学 Robert Dudley 教授对英文摘要润色,特此致谢。

References:

- [1] Corbet G B. The mammals of the palaearctic region: a taxonomic review. London: British Museum (Natural History), 1978:314.
- [2] Xia W P. Chinese research on *Apodemus* and discussion on species relations in Japan. *Acta Theriologica Sinica*, 1984, 4(2):93-98.
- [3] Zhang F G, Zhang Z C, Jiang Z Y, Mo C D E. Biological research on *Apodemus chevrieri*. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 1995, 6(6):448-450.
- [4] Ni J Y, Jiang G Z, Huang J W, Li S C. Happening dynamic and preliminary research on *Apodemus chevrieri* in Sichuan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1998, 11(Anniversary album):125-128.
- [5] Cheng W. Occurrence and prevention of *Apodemus chevrieri*. *Plant Protection Technology and the Extention*, 1996, 16(3):31.
- [6] Yang Z X, Song H W, Zhou S N, Lei B H. An investigation on the zonal communities and distribution of rodent in Guizhou Province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1994, 7(2):95-100.
- [7] Huang G P, Yang L H. Study on species diversity of rodent communities in grazing land in northwest and southern part of Guizhou province//Zhang J. *Studies on mammal biology in China*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995:68-71.
- [8] Li D H, Lou R. The structure of farml and rodents community in the northwest of Guizhou. *Acta Theriologica Sinica*, 1996, 16(2):136-141.
- [9] Yang Z X, Jin X, Long G X. Seasonal population dynamics of *Apodemus chevrieri*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2000, 28(2):15-17.
- [10] Wang B, Zhu W L, Lian X, Wang Z K. Seasonal variations of the digestive tract morphology in *Apodemus chevrieri* distributed in Hengduan Mountains region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4):1719-1724.
- [11] Tang Q Y, Feng M G. DPS dataprocessing system for practical statistics. Beijing: Science Press, 2002:43-74.
- [12] Chen A G. The ecological characteristics and the controut techniques of rodent pests in south agricultural area//Wang Z W, Zhang Z B, *Theory and practice of rodent pest management*, Beijing: Science Press, 1996:247-312.
- [13] Zhang F G. Observations of normal appetite of *Apodemus chevrieri*. *Sichuan Journal of Zoology*, 1983, 2(2):41.
- [14] Yan Z T, Li C Q, Zhu S K. Age research and its significance for the prediction of *Mus musculus*. *Acta Theriologica Sinica*, 1983, 3(1):53-63.
- [15] Yan Z T, Zhong M M. Discussion on population dynamics and mechanism prediction of *Mus musculus*. *Acta Theriologica Sinica*, 1984, 4(2):139-144.
- [16] Yang Z X, Pan S C, Jin X. The seasonal population dynamics and prediction models of *Mus musculus* in central region of Guizhou Province. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2006, 33(4):428-432.
- [17] Zheng Z M, Huang Y X. Research on seasonal changes in population and its impact factors of *Rattus losas*. *Acta Theriologica Sinica*, 1988, 8(3):199-207.
- [18] Yang Z X, Song H W. Prediction about the quantity in spring peak on basis of rodent density after winter. *Plant Protection*, 1993, 19(1):42.
- [19] Chen B, Xiao Z L. A grading prediction model for the occurrence number of in autumn peak stage along the lake bends of Huaihe River. *Plant Protection*, 1993, 19(6):7-9.
- [20] Wang Y, Chen A G, Guo C, Li B, Li S B. Forecasting the population density of striped field mouse in the rice area in the Dongting lake region. *Acta Theriologica Sinica*, 1997, 17(2):125-130.
- [21] Yang Z X, Zheng Y L, Guo S P, Jin X. Study on the seasonal population dynamics and prediction of *Apodemus agrarius*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(2):193-197.
- [22] Dong W H, Hou X X, Lin X Q, Yang Y P, Zhou Y L. Studies on the population dynamics and prediction in *Cricetulus barabensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13(4):300-305.

- [23] Jiang Y L, Lu H Q, Li Y C, Wang Y S, Zhang X D, Xu W S, Yu Z Q. Studies on forecasting the population sizes of *Cricetulus barabensis* in Yanggu county, Shangdong Province. *Acta Theriologica Sinica*, 1994, 14(3):195-202.
- [24] Hou X X, Dong W H, Zhou Y L. Population dynamic and preliminary prediction research on *Meriones unguiculatus* // Zhang Z L. Integrated Pest Management of China Essays. Beijing: China Agricultural Science Press, 1996:1052-1055.
- [25] Hou X X, Dong W H, Zhou Y L, Wang L M, Bao W D. Population dynamics and prediction on *Phodopus roborovskii* in Ordos sandland. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2000, 11(1):7-10.
- [26] Hou X X, Dong W H, Zhou Y L, Wang L M, Bao W D. Population dynamics and prediction on *Meriones meridianus*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4):711-714.
- [27] Wang Y, Zhang M W, Li B. Forecasting the population of *Rattus norvegicus* in the rice field area in Dongting lake region. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(3):265-268.
- [28] Wang D D, Ye Z X, Long Q L, Liu D S, Huang X P, Xu Y F. Studies on predictive model establishment of rodents population number by means of step wise regression method — Taking striped field mouse (*Apodemus agrarius*) from Anyi county, Jiangxi as an example. *Acta Theriologica Sinica*, 1991, 11(3):213-219.
- [29] He M, Lin J Q, Weng W Y. The medium and long term forecasting of population of *Bandicota indica* with time series models. *Acta Theriologica Sinica*, 1996, 16(4):297-302.
- [30] Feng Z Y, Huang L S, Qiu J R, Sui J J, Yao D D, Huang X Q. A time series decomposed model for forecasting dynamics of *Rattus rattoides* Population. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2006, 17(6):433-436.
- [31] Wu W H, Fu H P, Wu X D, Dong W H, Xu S L. Forecasting the population dynamics of *Cricetulus barabensis* and *Meriones unguiculatus* by time series method. *Journal of Inner Agricultural University*, 2007, 28(4):6-11.
- [32] Wu W H, Fu H P, Wu X D, Yang Y P, Dong W H, Xu S L. Forecasting the population dynamics of *Meriones unguiculatus* and *Cricetulus barabensis* by applying markov model. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(6):69-78.
- [33] Liu F Y, Liu R T. Forecasting model oil population dynamics of clawed jird (*Meriones unguiculatus*). *Journal of Gansu Agricultural University*, 1996, 31(2):115-120.

参考文献:

- [2] 夏武平. 中国姬鼠属的研究及日本种类关系的讨论. *兽类学报*, 1984, 4(2):93-98.
- [3] 张甫国, 张正纯, 江正阳, 莫色达尔. 高山姬鼠生物学研究. *中国媒介生物学及控制杂志*, 1995, 6(6):448-450.
- [4] 倪健英, 蒋光藻, 黄建伟, 李世才. 高山姬鼠在四川的发生动态及危害初步研究. *西南农业学报*, 1998, 11(院庆专辑):125-128.
- [5] 陈文. 高山姬鼠的发生与防治初探. *植保技术与推广*, 1996, 16(3):31.
- [6] 杨再学, 松会武, 周绍南, 雷邦海. 贵州省啮齿动物区系及分布调查初报. *西南农业学报*, 1994, 7(2):95-100.
- [7] 黄贵萍, 杨立珍. 贵州西北和南部草场鼠类群落多样性的研究 // 张洁主编, 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社, 1995:68-71.
- [8] 黎道洪, 罗蓉. 黔西北地区农田鼠类群落结构的研究. *兽类学报*, 1996, 16(2):136-141.
- [9] 杨再学, 金星, 龙贵兴. 高山姬鼠种群数量季节消长动态初步研究. *贵州农业科学*, 2000, 28(2):15-17.
- [10] 王蓓, 朱万龙, 练硝, 王政昆. 横断山区高山姬鼠消化道形态的季节动态. *生态学报*, 2009, 29(4):1719-1724.
- [11] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002:43-74.
- [12] 陈安国. 南方农区害鼠生态特性及综合治理技术 // 王祖望, 张知彬主编, 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1996:247-312.
- [13] 张甫国. 高山姬鼠正常摄食量的观察. *四川动物*, 1983, 2(2):41.
- [14] 严志堂, 李春秋, 朱盛侃. 小家鼠种群年龄研究及其对预测预报的意义. *兽类学报*, 1983, 3(1):53-63.
- [15] 严志堂, 钟明明. 小家鼠 (*Mus musculus*) 种群动态预测及机制的探讨. *兽类学报*, 1984, 4(2):139-144.
- [16] 杨再学, 潘世昌, 金星. 黔中地区小家鼠种群数量动态及预测预报模型. *植物保护学报*, 2006, 33(4):428-432.
- [17] 郑智民, 黄应修. 黄毛鼠种群数量季节变动及其影响因素的研究. *兽类学报*, 1988, 8(3):199-207.
- [18] 杨再学, 松会武. 应用冬后鼠口基数预测春繁峰期数量探讨. *植物保护*, 1993, 19(1):42.
- [19] 陈保, 肖芝兰. 端淮湖湾秋峰期黑线姬鼠发生量分级统计预测模式. *植物保护*, 1993, 19(6):7-9.
- [20] 王勇, 陈安国, 郭聪, 李波, 李世斌. 洞庭湖稻区黑线姬鼠种群数量预测. *兽类学报*, 1997, 17(2):125-130.
- [21] 杨再学, 郑元利, 郭仕平, 金星. 黑线姬鼠种群数量动态及预测预报模型研究. *中国农学通报*, 2007, 23(2):193-197.
- [22] 董维惠, 侯希贤, 林小泉, 杨玉平, 周延林. 黑线仓鼠种群数量动态预测研究. *生态学报*, 1993, 13(4):300-305.
- [23] 姜运良, 卢浩泉, 李玉春, 王玉山, 张学栋, 徐文生, 于之庆. 山东阳谷县黑线仓鼠种群数量预测预报. *兽类学报*, 1994, 14(3):195-202.
- [24] 侯希贤, 董维惠, 周延林. 长爪沙鼠种群数量及预测初步研究 // 张芝利等主编. 中国有害生物综合治理论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1996:1052-1055.

- [25] 侯希贤,董维惠,周延林,王利民,鲍伟东. 鄂尔多斯沙地草场小毛足鼠种群数量动态及预测. 中国媒介生物学及控制杂志,2000,11(1): 7-10.
- [26] 侯希贤,董维惠,周延林,王利民,鲍伟东. 子午沙鼠种群数量动态及预测. 生态学报,2000,20(4):711-714.
- [27] 王勇,张美文,李波. 洞庭湖稻作区褐家鼠种群数量预测. 长江流域资源与环境,2003,12(3):265-268.
- [28] 汪笃栋,叶正襄,龙丘陵,柳定生,黄小平,许云飞. 用逐步回归法建立鼠类数量预测模型的探讨——以江西义安县的黑线姬鼠为例. 兽类学报,1991,11(3):213-219.
- [29] 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.
- [30] 冯志勇,黄立胜,邱俊荣,隋晶晶,姚丹丹,黄秀清. 黄毛鼠种群动态的时序组合预测模型研究. 中国媒介生物学及控制杂志,2006,17(6): 433-436.
- [31] 武文华,付和平,武晓东,董维惠,徐胜利. 应用时间序列分析法预测黑线仓鼠和长爪沙鼠种群数量. 内蒙古农业大学学报,2007,28(4): 6-11.
- [32] 武文华,付和平,武晓东,杨玉平,董维惠,徐胜利. 应用马尔可夫链模型预测长爪沙鼠和黑线仓鼠种群数量. 动物学杂志,2007,42(6): 69-78.
- [33] 刘法央,刘荣堂. 长爪沙鼠种群动态预测模型的研究. 甘肃农业大学学报,1996,31(2):115-120.