

川西平原农田啮齿动物群落动态：趋势和周期性

郭海燕 曾宗永* 吴鹏飞 曾 涛 蔡红霞

(四川大学生命科学学院, 成都, 610064)

摘要: 本文用时间序列分析方法, 对川西平原农田由 8 种啮齿动物组成的生物量、物种多样性的 Shannon 指数和 Simpson 指数中 3 个主要群落变量的趋势和周期性进行了分析和比较。结果表明: (1) 3 个变量都有增加的趋势, 生物量是二次抛物线, Shannon 指数是指数函数, Simpson 指数是正弦函数。(2) 3 个变量中生物量显示出了周期性, 这个变量的周期都约为 1 年。1 年的周期与四川亚热带农业生态系统初级生产力的动态相一致。Shannon 指数和 Simpson 指数未显示出周期性。川西平原啮齿动物群落 3 个变量的增加趋势, 可能是农业生态系统中啮齿动物与人类长期共存所形成的适应特征, 它们能随农业产量增加这样的环境变化使各个群落变量呈现出增加的趋势; 也可能不过是处于群落自然波动中的上升阶段。因此需要长时间的研究工作, 才能判断该增加趋势的生态学本质。

关键词: 川西平原; 啮齿动物; 群落动态; 趋势; 周期性

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1050(2003)02-0135-06

Dynamics of the Rodent Community in Cropland of the Western Sichuan Plain: Trends and Periodicity

GUO Haiyan ZENG Zongyong WU Pengfei ZENG Tao CAI Hongxia

(College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract: The time series analysis method was applied to character the trends and periodicity of the 3 variables of a 8 species rodent community in the Western Sichuan Plain, including biomass, Shannon index and Simpson index. Results suggest that: (1) Fluctuations of the 3 variables all showed increasing trends. The trend of biomass is parabola function, Shannon index and Simpson index are exponential and sine functional respectively, and (2) biomass showed one-year periodicity. The annual periodicity of the variable is synchronized with growth and harvest of rice-wheat, rice-rape, or maize-sweet-potato in subtropical agriculture ecosystem in Sichuan. The above adaptive traits resulting from coexistence of rodents and people probably make the rodents respond to cultivation quickly, such as environmental changes like yield increasing, so that increasing trends of 3 community variables were observed. Or the 3 community variables may be increased during the increasing period of their natural fluctuations. In order to characterize ecologically we need long-term study of the community.

Key words: Community dynamics; Periodicity; Rodents; Trend; Western Sichuan Plain

群落动态是群落生态学研究的主要内容之一。群落动态是由组成群落的各物种种群动态耦合而成。各物种种群随着气候、生境和食物的变化, 其种群密度和生活史性状的各个变量随时间而变化, 导致群落的物种组成、空间结构、种间关系和多样性等也随时间变化。群落动态的研究, 以及群落中不同种群动态的比较, 有助于认识群落的结构和各物种种群在决定这些结构的生态学过程中的作用。

小型兽类的群落动态的研究成果有对荒漠啮齿动物群落动态的研究^[1~3], 对鼠害治理条件下鼠类群落变动的生态过程研究^[4], 这类研究主要集中在自然生态系统中, 如荒漠、草地等。在人工生态系统中的研究有对川西平原农田啮齿动物群落的年间变动和季节变动的研究^[5]。群落动态另一类研究是用野外试验方法研究去除某些物种种群对群落动态的效应^[6,7]。这些研究一般都有多年的啮齿动物种

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (3880589 和 39270121)

作者简介: 郭海燕 (1979-), 女, 硕士研究生, 主要从事动物生态学研究。

收稿日期: 2002-02-04; 修回日期: 2003-01-15

*通讯作者

群动态监测资料, 大于啮齿动物寿命的长时间监测, 保证了研究结果的科学性。

农田是啮齿动物广泛分布的区域, 因取材方便, 平原农田啮齿动物群落是动物群落生态学较好的研究对象。本文目的是通过对川西平原农田啮齿动物群落的生物量、物种多样性的 Shannon 指数和 Simpson 指数 3 个变量的趋势和周期性进行时间序列分析, 探讨该群落的动态特征。农田生态系统是受人类持续干扰的系统, 在这类生态系统中, 啮齿动物群落有无趋势和周期性? 啮齿动物群落动态与初级生产的关系如何? 人的活动怎样影响啮齿动物群落的动态? 川西平原农田啮齿动物群落的趋势性和周期性研究可以为回答上述问题提供一些依据。无论是对于决定群落中物种多样性的生态过程的基础理论问题, 还是对于农田鼠害防治的应用问题, 本研究都有一定价值。

经典的小型兽类周期性的研究结果如旅鼠 (*Lemmus* spp.)、北极狐 (*Alopex lagopus*) 有 3~4 年周期, 美洲兔 (*Leptus timidus*)、加拿大猓猯 (*Canadian lynx*) 有 9~10 年周期^[8], 都是利用野外多年种群数量观察或收购皮毛的数量作图, 再由图直接观察分析得到。我们曾用时间序列方法分析过北美 Chihuahuan 荒漠生态系统中的啮齿动物种群以及群落变量的周期性, 发现优势种安利阿姆更格卢鼠 (*Dipodomys merriami*) 等有 4 年周期性。上述啮齿动物都生活于自然生态系统之中, 尚未见到有人分析过人工生态系统如农业生态系统中的啮齿动物群落动态的周期性。本文采用时间序列分析方法, 判断川西平原农田啮齿动物群落是否存在趋势和周期性, 以及趋势和周期性的特征。

1 材料与方法

1.1 研究样地和资料收集

研究样地位于川西平原西缘的四川省邛崃县的农田, 东经 103°4', 北纬 30°12', 海拔约 600 m。样地面积为 1.5 hm², 地面相对较为平坦, 其四周是高度为 50~100 m 不等的小山和水域, 山顶为灌丛或小树林, 因而样地处于半封闭状态。川西平原气候温暖, 湿润, 农田和旱地四季宜耕, 农作物包括水稻、小麦、玉米、油菜、红薯、胡萝卜和马铃薯等全年都可生长, 为 2~3 熟。此外, 在居民住房周围还有蔬菜以及柑橘、桃子等果树。因此, 样地

所处区域为典型的农田生态系统。

从 1989 年 1 月到 1995 年 12 月的 7 年期间用标志重捕方法连续监测了样地中所有 1 科 4 属 8 种啮齿动物的数量和生活史资料。7 年中, 从 1989 年 1 月到 1991 年 12 月为每月放笼 1 次; 从 1992 年 1 月到 1995 年 12 月为每两月放笼 1 次, 整个研究期间共有 60 个标志重捕月, 其余月的资料由相邻月的值等比内插得到, 每次均连续捕捉 5 个晚上, 在捕捉期的每个晚上均放置 150 个活捕笼, 以玉米、土豆或红薯为食饵, 每个活捕笼均置于不同的固定桩位, 相邻两个桩位的间距为 10 m。

1.2 方法

1.2.1 3 个群落变量的时间序列

我们利用以下 3 个生态学变量, 描述川西平原农田啮齿动物群落 84 个月的研究期中的动态^[1,2,5]

(1) 单位面积上的啮齿动物生物量 B: 单位面积上每月出现的全部个体的生物质量之和。单位是 g/hm²。

(2) 物种多样性的 Shannon 指数 H: 应用公式 $H = - \sum (N_i/N) \ln (N_i/N) + S/2N$ 求得, 这里 N 是该月单位面积中啮齿动物个体数, N_i 是第 i 个物种在该月的种群密度, S 是该月群落中的物种数, $S/2N$ 项是使 H 为群落物种多样性 Shannon 指数的无偏估计值的修正项^[9]。

(3) 物种多样性的 Simpson 指数 D: 应用公式 $D = 1 - \sum (N_i/N)^2$ 求得^[9]。 N_i 是第 i 个种群的密度, N 是该月单位面积中啮齿动物总的个体数。

1.2.2 趋势

群落内各生态学变量的时间序列如果足够长, 一般都可能具有反映该变量长期运动的趋势^[10]。这里用 Kendall 的秩相关系数来检验一个时间序列是否有趋势^[11]。在 95% 的显著性水平上, 检验的临界值是 $Z_{0.05} = 1.96$, 若大于或等于 $Z_{0.05} = 1.96$; 则该生态学变量的时间序列有趋势。趋势采用回归方法来拟合^[12], 回归方法拟合的原则是使均方差最小为最合适曲线。即:

$$(y_i - \hat{y}_i)^2 = \min^{[9]}$$

当试验结果获得的数据是记数数据、百分数或是各水平的试验结果的数量级相差很大时, 常常不能满足正态性及等方差的基本假定。因此事先将各变量进行变换以满足对数据的正态性及等方差性的

要求。对于服从 Poisson 分布的次数资料，做平方根变换 $Y = Y^{1/2}$ ，若数据小于 10 或有的为 0，则 $Y = (Y + 1)^{1/2}$ ，以减少极端变数对方差的影响，并尽量使正态分布逼近。若数据是百分数则作反正弦变换。若各处理的数据的变异范围相差很大，则作对数变换^[13]。在对趋势进行回归分析的时候，一般来说，回归系数 $K > 0$ 时， Y 随时间变化而增大， $K < 0$ 时， Y 随时间而变小。在用 F 检验判断是否存在回归关系时，零假设是回归系数为 0，显著性水平为 95 %。

1.2.3 周期性

趋势的存在会掩盖周期性。分析种群密度的周期性，要求从原始种群密度时间序列中去除趋势。设原始生态学变量时间序列观察值为 V_t ，趋势值为 Y_t ， Y_t 与时间有函数关系即 $Y = f(t)$ ，那么利用 $V_r = V_t - Y_t$ 就可以得到剩余时间序列 V_r 。一次过滤后，再用 Kendall 的秩相关系数 对去剩余时间序列进行检验，如果该生态学变量的剩余序列的 Z 值小于临界值 $Z_{0.05} = 1.96$ ，说明一次过滤可达到去趋势的目的，否则再进行第二次过滤。若不考虑随机因素的影响，则可以利用自相关方法分析剩余序列的周期性。然后以相关系数作纵坐标，滞后的月份数做横坐标，将自相关系数对滞后数作图，可得自相关图^[2,10]。

2 结果

关于川西平原啮齿动物群落的基本数据见戴应

贵^[5]的表 1。

原始数据序列变换中，对生物量直接进行平方根变换，对 Shannon 指数进行的是自然对数变换，对 Simpson 指数进行的是开平方以后的反正弦变换。经过一次相反的变换，可得表示各变量趋势值 Y 的实际方程。变换后的数据序列即可进行是否存在趋势的判断。

2.1 趋势

用 Kendall 的秩相关系数 来检验 3 个生态学变量时间序列是否有趋势，结果显示 3 个变量的 Z 值都大于 Z 的临界值 $Z_{0.05} = 1.96$ ，因此都存在趋势，各趋势的方程见表 1，它们都不是直线方程。表 1 中的 t 是时间， $t = 1, 2, \dots, 84$ ； Y 是原始时间序列。

当零假设为 $B = 0$ 时，进行方差分析，所得到的 3 个变量的统计量 F 所对应的概率，都小于 0.05，说明这些变量序列的趋势方程是存在的，即 3 个变量的趋势。回归分析中所得到的回归系数都是正的（生物量、Shannon 指数和 Simpson 指数的回归系数依次为 5.550，0.004，0.031），故 3 个序列都有增加的趋势（图 1）。3 个变量的趋势方程分别为：生物量是抛物线，Shannon 指数是指数函数，Simpson 指数是正弦函数。其中生物量增加的趋势最快。

表 1 川西平原啮齿动物群落 3 个生态学变量时间序列的 Kendall 秩相关检验结果、趋势的回归方程和 F 检验的结果

Table 1 Results of Kendall rank correlation test, regression equations of trends and results of F -test for the 3 ecological variables of the rodent community in cropland of the Western Sichuan plain

变量 Variables	Z 值 Z value	趋势回归方程 Equation regression	F 值 F Value	概率 Probability
生物量 Biomass	3.461	$(Y)^{1/2} = 0.124t + 17.156$	14.970	0.000
Shannon 指数 Shannon index	2.291	$\ln(Y + 1) = 0.0000911t^2 + 0.00118t + .605$	5.253	0.024
Simpson 指数 Simpson index	2.581	$\sin^{-1}(Y)^{1/2} = 0.324 + 0.099\ln(t)$	79.636	0.000

表 2 川西平原大足鼠 1 个生态学变量时间序列的 Kendall 秩相关检验结果、趋势的回归方程和 F 检验的结果

Table 2 Results of Kendall rank correlation test, regression equations of trends and results of F -test for the 1 ecological variable of *Rattus nitidus* in cropland of the western Sichuan plain

变量 Variables	Z 值 Z value	趋势回归方程 Equation regression	F 值 F Value	概率 Probability
生物量 Biomass	3.58	$(Y + 1)^{1/2} = 0.00226t^2 - 0.07522t + 17.562$	21.3672	0.000

2.2 周期性

在对 3 个生态学变量进行趋势的第一次过滤后, 剩余序列未再显示出趋势。对它们的剩余序列计算自相关系数, 再以自相关系数为纵坐标, 时间滞后数 (单位: 月) 为横坐标作图, 得自相关图 (图 2)。由于原始序列和剩余序列都有 84 个值, 故自相关系数有 82 个。分析自相关图发现, 生物量变量有约 1 年周期性, 而 Shannon 指数和 Simpson 指数未显示出周期性 (表 3)。

表 3 生物量可能的周期

Table 3 The possible periodicity in biomass

变量 Variables	相邻波峰间的滞后数 (月) Number of time lags between successive peaks (Month)			
	1	2	3	4
生物量 Biomass	12	12	13	

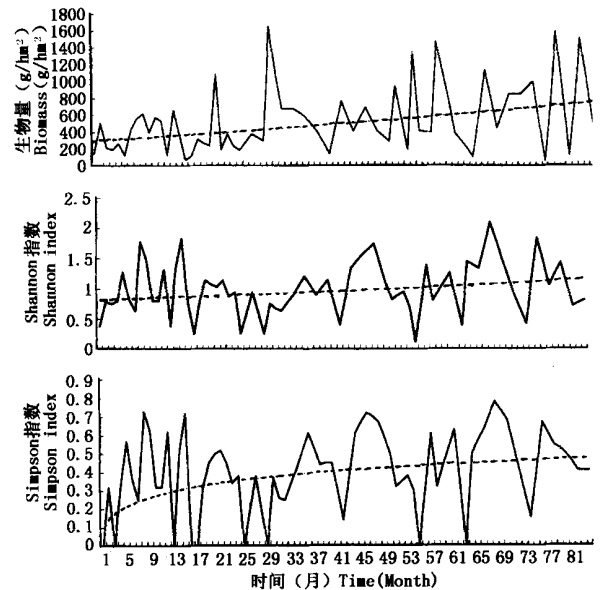


图 1 3 个生态学变量的时间序列表示的川西平原啮齿动物群落的动态

Fig. 1 Dynamics of the rodent community in the Western Sichuan Plain illustrated by the time series of the 3 ecological variables

——原始序列 Original series;趋势 Trends

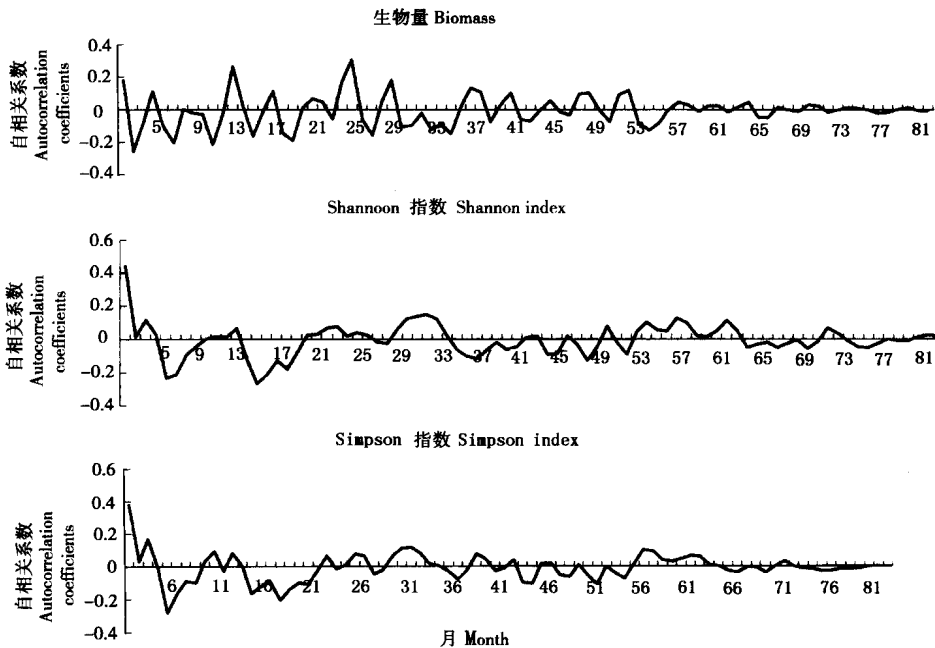


图 2 生物量、Shannon 指数和 Simpson 指数剩余时间序列的自相关, 横坐标是时间滞后 (单位: 月)

Fig. 2 The autocorrelation of the residual time series of biomass, Shannon index and Simpson index. The abscissa is the lags (Unit: Month)

3 讨论

上述结果可以得出川西平原农田啮齿动物群落动态的基本特征：生物量、Shannon 指数和 Simpson 指数在研究期都显示出了增长趋势，且生物量显示出了约一年的周期性。趋势和周期性这两个特征是组成啮齿动物群落的各物种种群生活史及动态与它们的环境相互作用形成的。川西平原是典型的亚热带农业生态系统，气候温暖湿润，一年四季的耕作模式，有季节性还有一年周期。农田啮齿动物以农作物为主要食物。啮齿动物群落动态的周期性是对川西平原耕作模式适应的结果，相对于自然生态系统来讲，农业生态系统的稳定性十分明显，其中啮齿动物也就有表明其稳定性的约 1 年的周期。群落变量时间序列的每一个值，都是随机变量的取值。我们的研究只有 7 年，取样面积 1.5 hm^2 ，每月放笼 750 个次，这样的抽样强度不是很大。因此，我们的研究有可能无法发现所有变量的周期，周期的长短与一年也有 1~2 月的差异。

另一方面，最近几十年来，人口明显地增加；良种、化肥和农药的使用，使农业产量随之逐年增加，也使啮齿动物有更多食物；而人类活动的增加又大大缩小了野生动物的适宜生境，并进一步使啮齿动物的天敌如蛇、黄鼬、鹰等种群数量持续减少，捕食者减少，使作为食物的啮齿动物数量呈增加的趋势。于是造成啮齿动物群落的生物量和两个多样性指数都显示出了增加的趋势。

迁移是动物种群的生活史策略之一，不同季节不同物种的活动范围也不同，季节性的迁移同生物量显示出一年周期性有着密不可分的关系。

本研究样地的啮齿动物群落有 8 个物种，其中大足鼠为优势种，褐家鼠与社鼠为常见种，黄胸鼠为稀有种^[14]。这几个物种种群的动态与群落变量生物量、Shannon 指数和 Simpson 指数变化的关系十分密切。优势种大足鼠对群落生物量的变动应当具有重要的决定作用。在所研究的 8 个物种中，大足鼠的生物量为 387.41 g/hm^2 ，占啮齿动物群落总生物量的 69.68% ^[5]。百分比在 $2/3$ 以上，应该说大足鼠的长期存在和增长的趋势（ $Z = 3.58$ ，大于 $Z_{0.05} = 1.96$ ），可能使它所影响的变量如生物量等也呈现出增长的趋势，而且使 3 个变量中生物量趋势斜率最大。对大足鼠生物量时间序列的分析结果

表明，在研究期中生物量的周期为 2 年（图 3）。

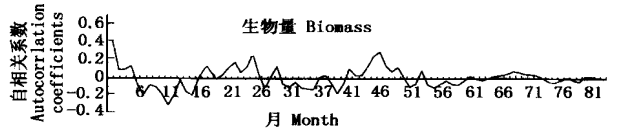
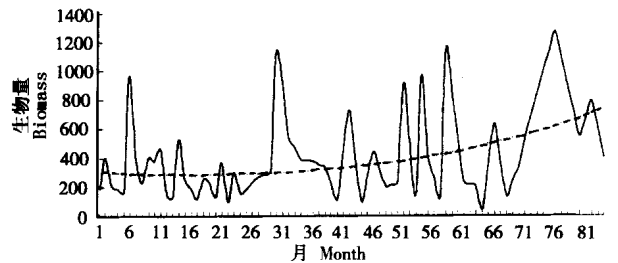


图 3 大足鼠生物量剩余时间序列的自相关图，横坐标为滞后数（单位：月）

Fig. 3 The autocorrelation of the residual time series of



biomass of *Rattus nitidus*. The abscissa is the time lags (Unit: Month)

图 4 川西平原大足鼠 1 个生态学变量的时间序列表示的种群动态

Fig. 4 Population dynamics of *Rattus nitidus* in the Western

Sichuan Plain illustrated by the time series of the 1 ecological variable

——原始序列 Original series;趋势 Trends

我们看到，优势种动态在决定群落动态中有重要作用，然而却不可能决定群落动态的各个方面。从群落物种多样性的物种数看，普通种甚至稀有种的出现与否对群落物种数动态有着直接的作用^[14]，同时也就会影响群落的多样性、Shannon 指数和 Simpson 指数。该群落优势种、常见种及稀有种的生活史表现出多样化特征，而且生活史性状有互补的现象，于是能以不同方式利用相同资源或以相同方式利用不同资源而达到共存^[14]，这样，优势种的增长并不影响普通种的增长，进而优势种和普通种所决定的变量同时也都呈现出了增长的趋势。但是，任何一个群落的各个变量，都有随环境变化而变化的动态特征，其值总是波动的，有的时间上升，有的时间下降。随研究时间尺度的不同，我们有可能看到不同的动态特征。在一个特定的时间尺度我们可能看到一个种群的 logistic 增长，在时间尺度减小到该种群增长的早期并局限于早期时，其增长就可能指数型的。关于川西平原农田啮齿动物群落各变量的增长趋势，我们认为它也可能只是啮齿动物群落变量在波动过程中显示的一个阶段，我们的研究期只有 7 年，分析发现的增加“趋势”可能只是群落变量处于自然波动的上升阶段。没有较长时间的研究资料的支持，我们无法判断该增加“趋势”是属于自然波动的上升阶段，还是由于额外干扰对群落变量作用的结果。群落动态这样的研

究必须要有足够长的时间, 积累足够时间的数据才能判断造成增加或减少“趋势”的原因是环境因素还是其群落内部本身的特征即造成群落变量的增加或减少“趋势”的生态学本质。

致谢: 本项目在调查过程中罗明澍、杨跃敏、梁俊书、谢荣凯参加了野外工作, 谨此致谢。

参考文献:

- [1] 曾宗永. 北美 Chihuahuan 荒漠啮齿动物群落动态 I. 年间变动和趋势 [J]. 兽类学报, 1994, **14** (1): 24 - 34.
- [2] 曾宗永, 杨跃敏, 宋志明. 北美 Chihuahuan 荒漠啮齿动物群落动态 . 季节性和周期性 [J]. 兽类学报, 1994, **14** (2): 100 - 107.
- [3] Brown J H, ZENG Z Y. Comparative population ecology of eleven species of rodents in the Chihuahuan Desert [J]. *Ecology*, 1989, **70** (5): 1507 - 1525.
- [4] 张堰铭, 樊乃昌, 王权业, 景增春. 鼠害治理条件下鼠类群落变动的生态学过程 [J]. 兽类学报, 1998, **18** (2): 137 - 143.
- [5] 戴应贵. 川西平原农田啮齿动物群落动态: 年间变动和季节变动 [J]. 兽类学报, 2001, **21** (1): 23 - 34.
- [6] Brown J H, Munger B A. Experimental manipulation of a desert rodent community: Food addition and species removal [J]. *Ecology*, 1985, **66**: 1545 - 1563.
- [7] 曾宗永, 罗明澍, 杨跃敏, 梁俊书, 邓小忠, 谢荣凯, 丁维竣, 宋志明. 川西平原农田啮齿动物群落的试验操作: 去除优势种 [J]. 兽类学报, 1997, **17** (3): 189 - 196.
- [8] 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 尚玉昌. 普通生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993. 78 - 79.
- [9] 皮洛 EC. (卢泽愚译). 数学生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1988. 308 - 331.
- [10] Jassby A D, Powell T M. Detecting changes in ecological time series [J]. *Ecology*, 1990, **71**: 2044 - 2052.
- [11] Legendre L, Legendre P. Numerical Ecology [M]. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. 339 - 361.
- [12] 北京林学院. 数理统计 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1980. 223 - 226.
- [13] 徐继初. 生物统计及实验设计 [M]. 北京: 农业出版社, 1992. 91.
- [14] 杨跃敏, 曾宗永, 邓小忠, 罗明澍, 梁俊书, 谢荣凯. 川西平原农田啮齿动物比较种群生态学 I: 种群动态与繁殖 [J]. 兽类学报, 1999, **19** (4): 267 - 275.