

# 森林演替对都江堰鼠类多样性的影响\*

杨锡福<sup>1,2</sup> 谢文华<sup>1,2</sup> 陶双伦<sup>1</sup> 李俊年<sup>1</sup> 肖治术<sup>2\*\*</sup>

(<sup>1</sup>吉首大学生物资源与环境科学学院, 湖南吉首 416000; <sup>2</sup>中国科学院动物研究所农业虫害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要** 为深入了解森林演替对野生动物群落结构和多样性格局的影响, 于2012—2013年在四川省都江堰般若寺林场选择5种森林演替阶段(0~5、6~10、11~20、21~30 a和天然次生林(100 a), 共计21个样地)对鼠类多样性进行调查。本次调查累计捕获鼠类9种, 其中仓鼠科1种, 鼠科8种。5种森林演替阶段共有物种有针毛鼠(*Niviventer fulvescens*)、中华姬鼠(*Apodemus draco*)、社鼠(*N. confucianus*)、高山姬鼠(*A. chevrieri*)和大耳姬鼠(*A. latronum*)。不同森林演替阶段之间的鼠类物种数、个体数和多样性特征差异不显著, 但天然次生林中的鼠类个体数略高于其他演替阶段。多元统计分析(NMDS和CCA排序)表明, 不同森林演替阶段的鼠类群落组成相似性较高, 但灌木层和草本层盖度等生境因子可影响鼠种的分布。除高山姬鼠、针毛鼠和中华姬鼠等分布较广的种类外, 其他种类对微生境有一定的选择倾向。小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)主要生活于演替期长的天然次生林中, 社鼠和大耳姬鼠主要分布在灌木层盖度较高的生境, 巢鼠(*Micromys minutus*)和黑腹绒鼠(*Eothenomys melanogaster*)主要生活在草本层盖度较高的生境, 大足鼠(*Rattus nitidus*)适于生活在草本层和灌木层盖度均适中的生境。综上所述, 不同森林演替阶段之间的鼠类多样性差异较小, 但森林演替所造成的微生境变化可能影响鼠类物种的分布和多样性格局。

**关键词** 鼠类; 生物多样性; 干扰; 森林演替; 微生境; 都江堰亚热带森林

**中图分类号** Q958.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)9-2546-07

**Effects of forest succession on rodent diversity in the Dujiangyan region, Southwest China.** YANG Xi-fu<sup>1,2</sup>, XIE Wen-hua<sup>1,2</sup>, TAO Shuang-lun<sup>1</sup>, LI Jun-nian<sup>1</sup>, XIAO Zhi-shu<sup>2\*\*</sup> (<sup>1</sup>College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou 416000, Hunan, China; <sup>2</sup>State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents in Agriculture, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(9): 2546–2552.

**Abstract:** In order to explore the impacts of forest succession on the community structure and diversity of wild animals, we investigated rodent communities using live traps in 21 forest plots at five succession stages (*i.e.* 0–5, 6–10, 11–20, 21–30 years old and a natural secondary forest (100 years old)) in Dujiangyan, Southwest China during 2012 and 2013. We trapped 9 rodent species in all the sampled plots, including 1 Cricetidae species and 8 Muridae species. *Niviventer fulvescens*, *Apodemus draco*, *N. confucianus*, *A. chevrieri* and *A. latronum* occurred in all five stages of forest succession. Species richness and diversity indexes of rodents were similar among the five stages of forest succession, but the number of individuals was slightly higher in the natural secondary forest than in the other succession forests. Multivariate analysis (NMDS and CCA ordination) showed that community composition of the rodents was similar among the five stages of forest succession, but microhabitat factors such as shrub layer and herb layer coverage may have some impacts on species distribution of rodents. Unlike *A. chevrieri*, *N. fulvescens* and *A. draco* were widely distributed in the study area, while the other rodent species showed some microhabi-

\* “十二五”国家科技支撑项目(2012BAD19B02)、国家自然科学基金项目(31270470和31330013)、湖南省和吉首大学研究生科研创新项目(JGY201416)和吉首大学校级科研创新项目(14JDY032)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: xiaozs@ioz.ac.cn

收稿日期: 2015-02-02 接受日期: 2015-06-08

tat preferences. *Leopoldamys edwardsi* lived mainly in the natural secondary forest, *N. confucianus* and *A. latronum* mainly distributed under the shrub layer with high coverage, *Micromys minutus* and *Eothenomys melanogaster* lived under the herb layer with high coverage, *Rattus nitidus* lived in the area where the herb layer and the shrub layer had moderate coverage. The above results indicate that species diversity of rodents was similar among different stages of forest succession, but microhabitats following forest succession may largely influence the distribution and diversity patterns of rodents.

**Key words:** rodents; biodiversity; disturbance; forest succession; microhabitat; Dujiangyan subtropical forest.

由于森林砍伐、农林业生产等人为活动的长期影响,森林演替过程直接或间接影响了动植物群落组成和物种分布,从而可导致森林群落生物多样性结构和生态系统功能发生显著变化(Andren, 1994; Meiners *et al.*, 1999; Ceballos *et al.*, 2006)。长期以来,森林破碎化、砍伐和猎杀改变了自然演替的进程,严重影响了哺乳动物(Fisher *et al.*, 2005)、鸟类(Serong *et al.*, 2012; Šálek, 2012)、土壤动物(易兰等, 2005; 余广彬等, 2007; 黄旭等, 2010)和昆虫(于晓东等, 2006; Yu *et al.*, 2008)等类群的物种多样性格局。研究发现蝙蝠(*Vespertilio superans*)、树栖脊椎动物和鼬科动物的数量随着森林演替而增加, 猞猁(*Felis lynx*)和雪兔(*Lepus timidus*)一般生活在中期演替的生境中, 而小型哺乳动物和有蹄类动物的数量在干扰后的森林内快速增加并达到最大, 之后随演替发展而减少(Fisher *et al.*, 2005)。对鸟类、土壤动物和昆虫的研究均表明, 其物种多样性随森林演替增加而增加(易兰等, 2005; Yu *et al.*, 2008; Šálek, 2012)。

森林生态系统中, 鼠类数量多、环境适应性强、分布广、迁移性较小及其分布与栖息环境关系密切等特点, 是生物多样性和生态环境监测与评价的重要指示类群之一(Kratochwil, 1999; Dowing *et al.*, 2008; Ernest *et al.*, 2010)。研究表明, 森林演替对次生林的恢复动态和鼠类物种多样性可产生重要影响(Moretti *et al.*, 2004; Shenko *et al.*, 2012)。例如, 通过比较砍伐和砍伐后再行火烧的演替生境内鼠类物种组成和多样性的差异, 发现中度干扰的演替生境内鼠类物种丰富度最高, 且不同演替阶段的物种组成有一定的差异, 但多样性差异并不明显(Sullivan *et al.*, 1999)。Monamy等(2000)认为, 干扰后决定鼠类多样性差异的是演替植被密度而非演替时间。因此, 探讨演替对森林鼠类多样性的影响, 比较干扰后不同演替内鼠类的物种组成和数量差异, 可阐明

干扰后动植物恢复过程中的协同演化关系, 为生物多样性保护、森林管理及植被恢复、重建提供合理依据(李俊生等, 2003)。

本研究以四川都江堰亚热带常绿阔叶林为研究对象, 分析森林演替及其所造成的微生境变化对鼠类群落结构和多样性特征的影响。自20世纪70—80年代以来, 都江堰般若寺国营实验林场所在的森林曾遭受严重砍伐, 而且这种砍伐在近40多年来仍时有发生。当地居民的生产、生活对该区域的森林造成了较大影响, 现有森林呈现不同演替阶段的多种森林斑块, 仅般若寺附近有小片状天然次生林, 因属寺庙管辖而受保护, 人为干扰较为轻微。肖治术等(2002)曾对该地区不同生境类型的鼠类多样性作过初步研究, 也对鼠类和种子之间相互关系开展了长期的监测研究(Xiao *et al.*, 2004, 2006, 2013; Lai *et al.*, 2014)。根据森林砍伐的时间, 我们在四川省都江堰般若寺林场选择了5种森林演替阶段共计21个样地, 于2012—2013年采用笼捕法对鼠类多样性进行了调查, 主要考虑以下2方面的问题: (1) 森林演替对鼠类多样性特征的影响; (2) 森林演替所造成的微生境变化对鼠类群落结构和分布的影响。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

本研究在都江堰地区般若寺实验林场进行。都江堰地区位于从青藏高原向成都平原的过渡地带, 地理上属于四川盆地西缘山地, 各种地理要素都在此处交汇过渡, 海拔700~1000 m, 103°47'E—107°25'E, 30°45'N—31°22'N; 该区为亚热带气候, 年均温15.2℃左右, 1月均温4.6℃, 极端最低温-5.0℃; 冬季气温比同纬度, 同海拔的华东地区要高出约2~4℃, ≥10℃的年积温4677.1℃; 雨量丰沛, 年降水量1200~1800 mm, 云雾多, 日照少(年日照时数只有800~1000 h), 湿度大(年平均相对湿度

80%以上),属于中亚热带常绿阔叶林地带。都江堰地区气候的另一个特点是垂直变化显著。降水量在海拔 2200~2800 m 形成高峰,由此向上向下都逐渐减少。土壤类型主要是黄壤、山地棕黄壤。因此,在这种温暖湿润的气候条件下,地带性植被发育形成生物多样性丰富的常绿阔叶林(陈昌笃,1999,2000)。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 演替阶段的划分

根据植被类型和人为砍伐的先后顺序,确定 5 种演替阶段进行样地设置:(1)演替为 0~5 a。5 个样地,乔木稀疏,灌木层以箭竹(*Fargesia spathacea*)、铁仔(*Myrsine africana*)较多,草本植物丰富,多以芒箕(*Gleichenia linearis*)为主。(2)演替为 6~10 a。4 个样地,木本植物丰富,主要有火棘(*Pyracantha fortuneana*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、枹栎(*Q. serrata*)、铁仔等,且灌木多数为有果植物,乔木较少,草本以芒箕为最多。(3)演替为 11~20 a。4 个样地,乔木层有栓皮栎、栲树(*Castanopsis fargesii*)、冬青(*Ilex purpurea*)和枹栎等,灌木层以老鼠矢(*Symplocos stellaris*)和海桐(*Pittosporum daphniphyloides*)、铁仔较多,草本以芒箕为主。(4)演替为 21~30 a。4 个样地,乔木层有枹栎、盐肤木、灯台(*Cornus controversa*)、薯豆(*Elaeocarpus japonicus*)等,灌木层以柃木(*Eurya japonica*)、山矾(*Symplocos caudate*)、油茶(*Camellia oleifera*)较多,草本较少。(5)演替为 100 a 左右。4 个样地,人为活动较少,保存了该地区主要树种,树种丰富且多为年久高度的乔木,中间夹杂少许灌木,草本很少。所选 21 个样地的面积均在 1~38 hm<sup>2</sup>,为了保证取样的独立性,样地间距离在 200 m 以上,2 样地有田地或公路间隔。

**1.2.2 鼠类调查** 2012 年春季、秋季和 2013 年春季在所选择的 21 个样地,采用标志重捕法对小型兽类进行调查。每个样地按 2~4 条样线布设鼠笼(27 cm×14 cm×24 cm)共 40 个,样线、鼠笼之间的间距分别约为 15 和 10 m。调查中,以板栗作诱饵,每日下午布设鼠笼,次日清晨检查动物进笼情况,连捕 3 d。对捕获的个体测定其体重、记录性别和繁殖状况,并采用不同颜色标记,以区分重捕个体,原地释放;对死亡的个体带回实验室并用酒精保存作为凭证标本保存于中国科学院动物研究所。每一样地各布设 120 笼,每年布设鼠笼为 120×21 = 2520 个,但

由于存在鼠笼被盗及损坏等,2012 年春季、秋季和 2013 年春季布设有效笼分别为 2468、2495 和 2466 个。

**1.2.3 生境参数调查** 同期在每一样地调查鼠类的样线上随机选择 10 个点,并对样点周围 5 m<sup>2</sup> 的植被类型,如林冠层、灌木层和草本层盖度(均为对土地的覆盖程度)进行测量。

**1.2.4 统计与分析** 物种丰富度用最直观的物种数来说明。为了检验取样是否充分,采用物种累计曲线(species cumulative curves)来拟合鼠类物种数与个体数之间的关系(Colwell,2009)。

鼠类多样性特征主要采用 Shannon 多样性指数, Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数等(马克平等,1994):

Shannon 多样性指数( $H$ ):

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

Pielou 均匀度指数( $J$ ):

$$J = H/H_{\max}, H_{\max} = \ln S \quad (2)$$

Simpson 优势度指数( $D$ ):

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)中: $P_i = n_i/N$ ,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为样本的总个体数,  $S$  为群落的物种数,  $P_i$  为第  $i$  种在总物种中所占的比例,  $H_{\max}$  为多样性最大理论值。

利用单样本变量值 K-S 检验(One-sample Kolmogorov-Smirnov Tests)对物种数、个体数、多样性特征(丰富度、多样性、均匀度和优势度指数)及生境参数(草本层、灌木层和乔木层的覆盖度)进行正态性检验。结果均符合正态分布,故采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验其差异性,组间差异性采用最小显著差别法(LSD)检验。以上的数据分析在统计软件 SPSS 13.0 中完成。

基于 Bray-Curtis 相似性系数,采用非度量多维尺度分析(non-metric multidimensional scaling, NMDS; Clarke, 1993)对不同演替阶段间鼠类群落组成的相似性进行分析;采用典型相关分析(canonical correlation analysis, CCA; Jongman *et al.*, 1995)对不同演替阶段间鼠类与生境参数(草本层、灌木层和林冠层)的相关性进行分析。以上数据使用统计软件 PAST 完成(Hammer *et al.*, 2001)。

## 2 结果与分析

### 2.1 鼠类物种组成

共置放有效捕鼠笼 7429 个(次),捕获鼠类 9 种 434 只,总捕获率 5.84%。采集到的鼠类包括仓鼠科 1 种和鼠科 8 种(表 1)。所捕获到的鼠类物种数,以演替 11~20 a 最多(9 种),其次为演替 0~5 a (8 种)与 6~10 a 和 100 a (7 种);以演替阶段 21~30 a 的最少(6 种)。针毛鼠(*Niviventer fulvescens*)、中华姬鼠(*Apodemus draco*)、社鼠(*N. confucianus*)、高山姬鼠(*A. chevrieri*)和大耳姬鼠(*A. latronum*)等 5 种鼠类在研究地区各演替阶段林地均有捕获,而小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)、巢鼠(*Micromys minutus*)、黑腹绒鼠(*Eothenomys melanogaster*)和大足鼠(*Rattus nitidus*)等 4 种鼠类仅在部分演替阶段中捕获。从捕获到的个体数来看,社鼠最多,达 36.87%;大足鼠最少,为 0.46%;以演替为 100 a 的天然次生林地捕获个体数所占比例最高,达 26.27%;以演替为 20~30 a 的林地个体数所占比例最低,为 12.90%。

### 2.2 森林演替对鼠类群落多样性的影响

图 1 为物种累计曲线图,反映出鼠类物种数随个体数量增加而快速增加,但当个体数量增加到一定数量时物种数趋于稳定,且演替为 11~20 a 的林地曲线变化明显较其他 4 种演替林地的更陡一些,天然次生林曲线变化趋势最缓。从物种多样性分析得出,演替 11~20 a 的林地内随单位个体数量增加的物种种类最快,多样性程度较高;而天然次生林内增加的最慢,多样性程度较低。

表 1 都江堰般若寺林场不同演替阶段林地中的鼠类物种组成

Table 1 Species composition of rodents across the succession stages in the Banruosi forest in Dujiangyan Region, Southwest China

物种	演替阶段(a)					总计	比例 (%)
	0~5	6~10	11~20	21~30	100		
社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	12	30	14	15	7	78	17.97
针毛鼠 <i>Niviventer fulvescens</i>	29	15	42	15	59	160	36.87
中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>	21	33	13	12	26	105	24.19
高山姬鼠 <i>Apodemus chevrieri</i>	15	4	6	1	12	38	8.76
大耳姬鼠 <i>A. latronum</i>	4	4	3	8	2	21	4.84
小泡巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>	3	0	1	5	7	16	3.69
巢鼠 <i>Micromys minutus</i>	2	2	3	0	0	7	1.61
黑腹绒鼠 <i>Eothenomys melanogaster</i>	4	0	2	0	1	7	1.61
大足鼠 <i>Rattus nitidus</i>	0	1	1	0	0	2	0.46
合计	90	89	85	56	114	434	100

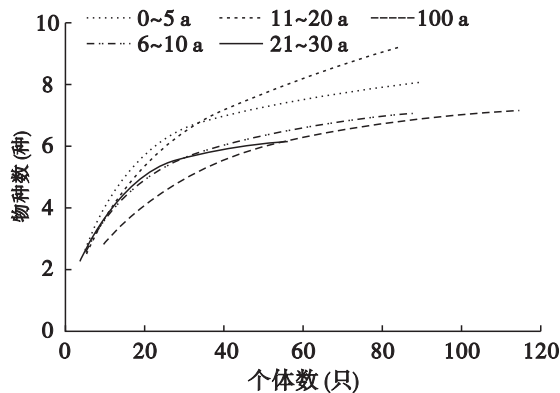


图 1 不同森林演替阶段内鼠类物种数随个体数增加的累计曲线

Fig.1 Cumulative curves of species richness of rodents with individuals increase in different forest succession stages

根据 5 种演替阶段对捕获的鼠类物种数和个体数作图(图 2)。单因素方差分析检验可知,5 种演替阶段中的鼠类物种数和个体数(密度)均无显著性差异(物种数:  $F_{4,16} = 1.172, P = 0.360$ ; 个体数:  $F_{4,16} = 1.504, P = 0.248$ ),说明鼠类物种数和个体数与演替年数无关。对不同演替阶段内鼠类的群落多样性进行分析,可知 5 种演替阶段的丰富度指数 ( $F_{4,16} = 1.175, P = 0.359$ )、多样性指数 ( $F_{4,16} = 0.906, P = 0.484$ )、均匀度指数 ( $F_{4,16} = 2.655, P = 0.071$ ) 和优势度指数 ( $F_{4,16} = 1.093, P = 0.393$ ) 间差异均不显著(表 2)。

### 2.3 鼠类群落结构与生境类型的关系

对 5 种演替阶段的微生境特征比较分析(表 3)可知,草本层覆盖度除演替 11~20 a 林地最高外,其他林地随演替增加而渐进降低,且 5 种演替

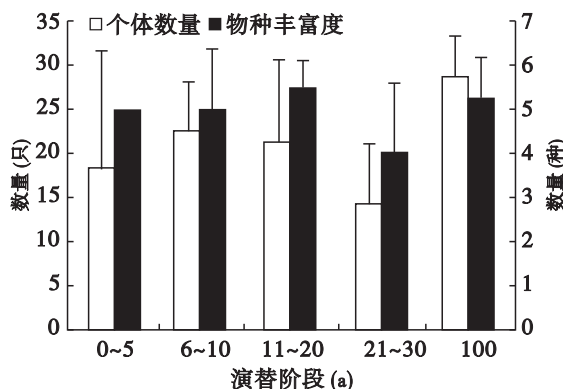


图 2 不同森林演替阶段内捕获到的鼠类物种丰富度和个体数量

Fig.2 Species richness and abundance of captured individuals of rodents in different forest succession stages

表2 不同森林演替阶段内鼠类的群落多样性

Table 2 Community diversity of rodents in different forest succession stages

演替阶段 (a)	丰富度指数	多样性指数 (H)	均匀度指数 (J)	优势度指数 (D)
0~5	5.20±0.45	1.4366±0.0955	0.8173±0.1108	0.2780±0.0428
6~10	5.00±1.41	1.2178±0.2526	0.6977±0.0746	0.3756±0.1027
11~20	5.50±0.58	1.2415±0.0638	0.6331±0.0473	0.3924±0.0314
21~30	4.00±1.63	1.1605±0.3769	0.8602±0.0801	0.3588±0.1188
100	5.25±0.96	1.2257±0.2905	0.6835±0.2152	0.3785±0.1400

数值为平均值±标准差,下同。

表3 不同森林演替阶段的覆盖度 (%)

Table 3 Coverage in different stages of forest succession

演替阶段(a)	草本层	灌木层	林冠层
0~5	63.42±13.73 a	47.00±28.59 a	20.24±12.56 c
6~10	30.03±10.69 b	47.38±16.12 a	56.25±16.89 b
11~20	75.37±14.04 a	24.71±22.08 a	30.85±10.68 c
21~30	23.47±19.96 b	26.49±17.13 a	74.09±3.32 a
100	2.73±1.88 c	20.50±10.39 a	85.30±2.40 a

同列数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。n=30。

阶段林地的草本层覆盖度间 ( $F_{4,16} = 20.447, P < 0.001$ ) 差异显著。林冠层覆盖度除演替 6~10 a 林地较高外,其他林地随演替增加而渐进增加,且 5 种演替阶段林地的林冠层覆盖度间 ( $F_{4,16} = 28.268, P < 0.001$ ) 差异显著。0~5 和 6~10 a 的近期演替林地的灌木层盖度相差不大,但较另 2 个近期演替林地和天然次生林的高。然而,5 种演替阶段林地的灌木层覆盖度 ( $F_{4,16} = 1.704, P = 0.198$ ) 间差异不显著。

从基于不同演替阶段鼠类群落组成为属性的排序图 (NMDS, 图 3) 来看,砍伐后 0~5、6~10、11~20

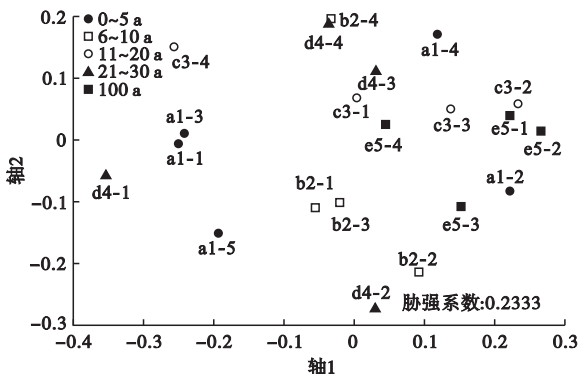


图3 以鼠类为属性对 5 种演替阶段中 21 个样地的 NMDS 排序图

Fig.3 Ordination plot (NMDS, non-metric multidimensional scaling) of the range of live trap catches within 21 sample plots in five stages of succession

不同演替阶段以不同字母表示,同一演替阶段不同样地采用字母+不同序号表示,如 a1-1、b2-2 分别表演替阶段为 0~5 和 6~10 a 中的第 1 个和第 2 个样地,轴 1 和轴 2 分别解释了 50.27% 和 12.64% 的变异。

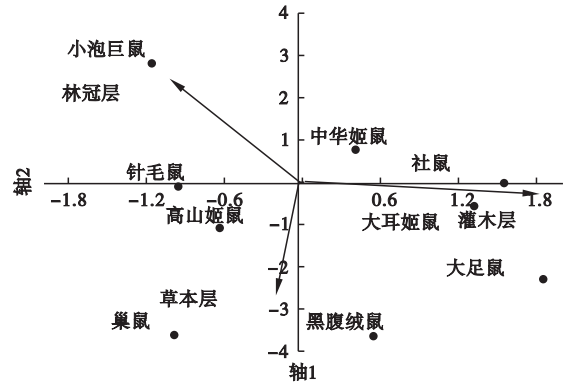


图4 研究地捕获到的鼠类物种与微生境特征(草本层、灌木层和林冠层)的 CCA 排序

Fig.4 CCA ordination for rodents species and microhabitats (herbaceous, shrub and canopy layer)

和 21~30 a 4 种演替和天然次生林林地中的鼠类群落组成在排序图上的重叠性程度较高,有较高的相似性;除个别群落组成分布较分散外,5 种演替阶段中鼠类群落组成在轴 1 上排序从左到右有一定的规律性,即按演替阶段渐进变化。

从基于生境特征与鼠类物种为属性的排序图 (CCA, 图 4) 来看,微生境的差异影响鼠类物种的分布。除了高山姬鼠、针毛鼠和中华姬鼠等分布较广的种类,其他种类对微生境有一定选择倾向。社鼠和大耳姬鼠主要分布在灌木层覆盖度较高的生境,小泡巨鼠适应生活在林冠层覆盖度高的生境中,巢鼠和黑腹绒鼠更适于生活在草本层盖度较高的生境,大足鼠主要生活在草本层和灌木层盖度均适中的生境。

### 3 讨论

本研究表明,鼠类物种丰富度、个体数和多样性特征在不同森林演替阶段之间的差异不显著,但天然次生林中的鼠类个体数略高于其他近期演替的森林(表 1、图 2、表 2),说明森林演替对鼠类多样性的影响较小,表明森林鼠类多样性的变化并非受演替时间的直接影响,该研究结果与 Monamy 等(2000)研究结果相一致;研究结果亦说明,天然次生林较近期演替的森林对物种多样性的保护作用更大,该结论与 Sullivan 等(1999)研究的结论相类似。由于天然次生林的植被类型和食物资源丰富,斑块面积大,以及调控环境能力强,且适宜于森林型鼠类(如针毛鼠和小泡巨鼠)的生存和繁衍,故此类演替阶段的物种丰富度相对较高。

本研究发现,5种森林演替阶段内鼠类物种组成存在差异,共有物种为针毛鼠、中华姬鼠、社鼠、高山姬鼠和大耳姬鼠,而其他4个物种(小泡巨鼠、巢鼠、黑腹绒鼠和大足鼠)仅分布在部分演替阶段中,这可能与不同演替阶段的生境异质性如植被组成和丰富度不同有关。通过综述有关生境异质性对动物物种多样性影响的文献,Tews等(2004)发现,多数动物物种多样性与生境异质性呈正相关关系,而少数物种如小型陆栖兽类的多样性随异质性增加反而降低。环境因子的复杂性决定了陆生鼠类的丰富度和多样性(Hernaez *et al.*, 2005; 赵庆洋等, 2009)。森林砍伐后各演替阶段内草本层和林冠层的盖度间差异显著,而灌木层间无明显差异(表3),说明砍伐对林地草本和乔木的影响较大。以往的研究表明,砍伐对森林景观生态的影响随砍伐强度增大而增大(张正雄等, 2006);弱度与中度砍伐对林分结构的影响较小,而强度和高强度砍伐则引起林分结构一定的变化,一些优势树种的地位削弱或上升(邱仁辉等, 2005)。NMDS排序结果(图3)表明,除天然次生林外,其他4种近期演替阶段林地的群落相似性较高。此外,CCA排序结果(图4)亦表明,植被类型的差异影响鼠类物种的分布。除了高山姬鼠、针毛鼠和中华姬鼠等分布较广的种类,其他种类(如巢鼠、黑腹绒鼠和大足鼠)对微生境有一定选择倾向。上述结果说明,森林演替对鼠类的物种组成有一定的影响,导致物种结构发生变化,但对常见种或广布种影响较小,而对稀有物种的影响较大,研究结论与Wells等(2007)一致。动物的分布依赖于环境为其提供食物和隐蔽条件等基本要素,而植物群落的结构特征在很大程度上决定着它们的空间分布和种群数量(Calm *et al.*, 1999)。对比微生境特征与鼠类物种数和个体数的变化趋势(图2,表3)可知,微生境特征中草本层和林冠层盖度差异显著,而鼠类物种数和个体数与灌木层盖度均无显著差异,因此推测鼠类多样性可能主要受灌木层盖度的影响。我们认为,由于灌木层为鼠类提供了获取食物资源的有利场所和隐蔽的天然屏障所致。

综上所述,不同森林演替阶段之间的鼠类多样性差异较小,但森林演替所造成的微生境变化可能影响鼠类物种的分布和多样性格局。同时,天然次生林和近期演替林的鼠类物种组成和分布格局存在一定差异,而且部分物种(如小泡巨鼠)主要出现在天然次生林中。因此,为了保护鼠类多样性,在森林

演替过程中有必要保留演替顶级阶段的森林植被。

**致谢** 中国科学院动物研究所于晓东副研究员对本文提出宝贵意见,德国 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 博士生马静对英文摘要的润色,汪成强、汪训龙、周光平等协助野外调查,2位外审专家对本文提出宝贵的修改意见和建议,在此致以衷心感谢!

#### 参考文献

- 陈昌笃. 1999. 都江堰生物多样性研究与保护. 成都: 四川科学技术出版社.
- 陈昌笃. 2000. 都江堰地区——横断山北段生物多样性交汇、分化和存留的枢纽地段. 生态学报, **20**(1): 28-34.
- 黄旭, 文维全, 张健, 等. 2010. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性. 应用生态学报, **21**(1): 181-190.
- 马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法. I:  $\alpha$ 多样性的测度方法(下). 生物多样性, **2**(4): 231-239.
- 李俊生, 宋延龄, 徐存宝, 等. 2003. 小兴安岭林区不同生境梯度中小型哺乳动物生物多样性. 生态学报, **23**(6): 1037-1047.
- 邱仁辉, 陈涵. 2005. 择伐作业对常绿阔叶林乔木层树种结构及物种多样性的影响. 中国生态农业学报, **13**(3): 158-161.
- 肖治术, 王玉山, 张知彬, 等. 2002. 都江堰地区小型哺乳动物群落与生境类型关系的初步研究. 生物多样性, **10**(2): 163-169.
- 易兰, 由文辉, 宋永昌. 2005. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落. 生态学报, **25**(3): 466-473.
- 于晓东, 罗天宏, 周红章. 2006. 林业活动和森林片断化对甲虫多样性的影响及保护对策. 昆虫学报, **49**(1): 126-136.
- 余广彬, 杨效东. 2007. 不同演替阶段热带森林地表凋落物和土壤节肢动物群落特征. 生物多样性, **15**(2): 188-198.
- 张正雄, 周新年, 陈玉凤, 等. 2006. 不同采集作业方式对森林景观生态的影响. 中国生态农业学报, **14**(4): 47-50.
- 赵庆洋, 鲍毅新, 孙波, 等. 2009. 千岛湖岛屿小型兽类群落的多样性. 兽类学报, **29**(4): 406-412.
- Andren H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat, a review. *Oikos*, **71**: 355-366.
- Calm S, Desrochers A. 1999. Nested bird and micro-habitat assemblages in a peatland archipelago. *Oecologia*, **118**: 361-370.
- Ceballos G, Ehrlich PR. 2006. Global mammal distributions, biodiversity hotspots, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103**: 19374-19379.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, **18**: 117-143.

- Colwell RK. 2009. EstimateS software [online]. Available from <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS> [accessed 20 July 2009].
- Dowing AL, Bryan LB, Elizabeth MP, *et al.* 2008. Environmental fluctuations induce scale-dependent compensation and increase stability in plankton ecosystems. *Ecology*, **89**: 3204–3214.
- Ernest SKM, James HB. 2010. Homeostasis and compensation: the role of species and resources in ecosystem stability. *Ecology*, **82**: 2118–2132.
- Fisher JT, Wilkinson L. 2005. The response of mammals to forest fire and timber harvest in the North American boreal forest. *Mammal Review*, **35**: 51–81.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, **4**: 1–9.
- Hernandez L, Romero AG, Laundr JW, *et al.* 2005. Changes in rodent community structure in the Chihuahuan Desert Mexico: Comparisons between two habitats. *Journal of Environments*, **60**: 239–257.
- Jongman RHG, ter Braak CJF, van Tongeren OFR. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kratochwil A. 1999. Biodiversity in ecosystems: Some principles// Kratochwil A, ed. Biodiversity in Ecosystems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 5–38.
- Lai X, Guo C, Xiao ZS. 2014. Trait-mediated seed predation, dispersal and survival among frugivore dispersed plants in a fragmented subtropical forest, Southwest China. *Integrative Zoology*, **9**: 246–254.
- Meiners SJ, Pickett STA. 1999. Changes in community and population responses across a forest-field gradient. *Ecography*, **22**: 261–267.
- Monamy V, Fox BJ. 2000. Small mammal succession is determined by vegetation density rather than time elapsed since disturbance. *Australia Ecology*, **25**: 580–587.
- Moretti M, Obrist MK, Duelli P. 2004. Arthropod biodiversity after forest fires, winners and losers in the winter fire regime of the Southern Alps. *Ecography*, **27**: 173–186.
- Šálek M. 2012. Spontaneous succession on opencast mining sites: Implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, **49**: 1417–1425.
- Serong M, Lill A. 2012. Changes in bird assemblages during succession following disturbance in secondary wet forests in south-eastern Australia. *Emu*, **112**: 117–128.
- Shenko AN, Bien WF, Spotila JR, *et al.* 2012. Effects of disturbance on small mammal community structure in the New Jersey Pinelands, USA. *Integrative Zoology*, **7**: 16–29.
- Sullivan TP, Lautenschlager RA, Wagner RG. 1999. Clear-cutting and burning of northern spruce-fir forests: Implications for small mammal communities. *Journal of Applied Ecology*, **36**: 327–344.
- Tews J, Brose U, Grimm V, *et al.* 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, **31**: 79–92.
- Wells K, Kalko EKV, Lakim MB, *et al.* 2007. Effects of rain forest logging on species richness and assemblage composition of small mammals in Southeast Asia. *Journal of Biogeography*, **34**: 1087–1099.
- Xiao ZS, Wang YS, Harris M, *et al.* 2006. Spatial and temporal variation of seed predation and removal of large-seeded species in relation to innate seed traits in subtropical forest, Southwest China. *Forest Ecology and Management*, **222**: 46–54.
- Xiao ZS, Zhang ZB, Krebs CJ. 2013. Long-term seed survival and dispersal dynamics in a rodent-dispersed tree: Testing the predator satiation hypothesis and the predator dispersal hypothesis. *Journal of Ecology*, **101**: 1256–1264.
- Xiao ZS, Zhang ZB, Wang YS. 2005. Effects of seed size on dispersal distance in five rodent-dispersed fagaceous species. *Acta Zoologica*, **28**: 221–229.
- Yu XD, Luo TH, Zhou HZ. 2008. Distribution of carabid beetles among 40-year-old regenerating plantations and 100-year-old naturally regenerated forests in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, **255**: 2617–2625.

---

作者简介 杨锡福,男,1987年生,硕士研究生,主要从事动物生态学和行为生态学研究。E-mail: yangxf\_hn@126.com  
责任编辑 张敏

---