

神农架自然保护区非飞行哺乳动物的物种丰富度： 沿海拔梯度的分布格局

李义明^{1*} 许龙¹ 马勇¹ 杨敬元² 杨玉慧¹

1 (中国科学院动物研究所, 北京 100080)

2 (神农架国家级自然保护区管理局, 湖北神农架林区 442421)

摘要: 于 1999~2001 年调查了神农架自然保护区 6 个地点不同栖息地的非飞行哺乳动物的物种丰富度。栖息地分为 8 类: 原始林、择伐林(采伐枯立木)、次生林、灌木林、草地、常年性河流溪水、农田和人居区。小型非飞行哺乳动物调查用捕鼠夹, 大型非飞行哺乳动物调查主要根据皮张收购资料以及样线法和痕迹法; 用 10 m × 10 m 的样方调查林地树种丰富度。调查发现, 神农架自然保护区有非飞行哺乳动物 59 种[不包括引进种梅花鹿(*Cervus nippon*)]。在同一海拔高度, 原始林通常比择伐林和次生林的物种丰富度高, 说明采伐严重降低了物种丰富度。对比同一栖息地不同海拔高度的物种丰富度, 我们发现, 在中海拔地段(800~1700 m)物种丰富度最高; 如在原始林和次生林, 海拔 1700 m 的东溪物种丰富度最高, 在择伐林, 海拔 800 m 的九冲物种丰富度最高。聚类分析显示, 6 个地点的哺乳动物物种组成可以分为两组: 高海拔组(2100 m 以上)和中低海拔组(1700 m 以下)。各地点的哺乳动物物种组成与植被的垂直分布是一致的。各地点的物种丰富度与单位面积(100 m²)树种平均丰富度、栖息地类型数和海拔高度相关。3 个环境变量间也是相关的: 海拔高度对单位面积树种平均丰富度和栖息地类型数有重要影响。根据研究结果提出两点保护建议: 第一, 保护区的移民迁出和退耕还林工程应首先在物种丰富度最高的九冲进行, 而后是东溪和下谷; 第二, 为了增加个体流和基因流, 保护区东西两片相间的非保护区地带应划入保护区, 建立栖息地廊道。

关键词: 生物多样性, 非飞行哺乳动物, 物种丰富度, 树种丰富度, 海拔, 栖息地, 保护, 神农架自然保护区

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2003)01-0001-09

The species richness of nonvolant mammals in Shennongjia Nature Reserve, Hubei Province, China: distribution patterns along elevational gradient

LI Yi-Ming¹, XU Long¹, MA Yong¹, YANG Jing-Yuan², YANG Yu-Hui¹

1 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

2 Management Bureau of Shennongjia National Nature Reserve, Shennongjia, Hubei

Abstract: The species richness of nonvolant mammals in different habitats at six sites of Shennongjia Nature Reserve was investigated during 1999~2001. The habitats were classed into eight types: primary forest, selectively logged forest (primary forest with deadwood removal), secondary forest, shrub forest, grassland, rivers and streams, crop field, and residential areas. The small nonvolant mammals were investigated using steel removal traps. Large nonvolant mammals were studied through data on skin trade, line transects and survey of mammal trails. The vegetation of forests was sampled in plots of 10 m × 10 m. The results indicate that there are 59 species of nonvolant mammals in Shennongjia Nature Reserve (not including the introduced species *Cervus nippon*). At the same elevation, the primary forest usually has higher species richness than selectively logged forest and secondary forest, suggesting that logging has greatly reduced species richness. By comparing species richness at different elevations in the same habi-

at , it is found that the highest species richness occurs at the middle elevational zones (800 ~ 1700 m). In primary forest and secondary forest , species richness is highest at Dongxi at 1700 m elevation. In the selectively logged forest , species richness peaks at Jiuchong at 800 m elevation. Species composition at the six sites can be classed into two groups by cluster analysis : a higher elevational group (above 2100 m) and a middle-low elevational group (below 1700 m). The vertical distribution of species composition is matched with that of vegetation. The species richness of the mammals at different sites is correlated with average tree species richness in a unit area (100 m²) , number of habitat types and elevation. There is a correlation among average tree species richness , number of habitat types and elevation , suggesting that elevation has a very important effect on average tree species richness and the number of habitat types. Two conservation implications were formulated from the results. First , emigrant engineering and forest recovery for the reserve should begin at Jiuchong , which has the highest species richness , then be carried out at Dongxi and Xiagu. Second , the zone between the two fragments of the reserve should be set aside as a protected corridor to improve the flow of individuals and genes between the fragments.

Key words : biodiversity , nonvolant mammals , species richness , elevation , tree species richness , habitats , conservation , Shennongjia Nature Reserve

1 引言

了解生物多样性分布是制定保护对策的基础。经典的观点认为 热带或亚热带的低地(lowland) 拥有最丰富的生物多样性(MacArthur , 1972 ; Patterns-on *et al.* , 1998)。但一些研究者注意到(Colwell & Hurtt , 1994 ; Rahbek , 1997 ; Brown & Lomolino , 1998) ,该假说缺乏可信的沿海拔梯度变化的生物多样性空间分布格局的数据支持。近几年 ,越来越多的证据表明 热带或亚热带山地生态系统拥有丰富的生物多样性(Kikkawa & Williams , 1971 ; Heaney *et al.* , 1989 ; Lomolino , 2001 ; Heaney , 2001 ; M D Nor , 2001 ; Sanchez-Cordero , 2001 ; Richard , 2001) ,海拔梯度对生物多样性分布有重要影响 ,在山地的中海拔地段有最丰富的生物多样性。

神农架自然保护区属山地生态系统 ,位于大巴山山脉东段的鄂西北 ,处于亚热带的北缘 ,在动物地理区系上属古北界和东洋界的交界地带 ,因受第四纪冰川影响较少 ,保留了一些特有物种 ,如金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)等。由于海拔高差大、地形复杂、生态类型多样 ,哺乳动物多样性特别丰富。神农架自然保护区地处三峡大坝的上游 ,长江主要支流之一的香溪河发源于此 ,因此该保护区对三峡大坝的生态环境有重要影响。

神农架的哺乳动物研究始于 20 世纪 40 ~ 50 年代 ,外国学者对其有零星的记载(Allen , 1938 ~ 1940 ; Ellerman & Morrison-Scott , 1951)。20 世纪 80

年代 ,黎德武等(1982)对神农架林区及相邻的房县、竹山县、竹溪县、兴山县和巴东县等作过哺乳动物的分类学和地理学工作 ,发现神农架林区有哺乳动物 58 种。随后 ,杨其仁等(1988a , b)和张知彬等(应俊生等 , 1999)研究了神农架林区包括神农架自然保护区 3 个地点在内的小哺乳动物分布。本文主要研究神农架自然保护区的非飞行哺乳动物物种丰富度以及沿海拔梯度的分布格局。非飞行哺乳动物主要指没有飞行能力的哺乳动物 ,不包括翼手目(Chiroptera)和啮齿目(Rodentia)鼯鼠科的物种。非飞行哺乳动物因其调查方法比较简单 ,便于野外实施 ,容易获得可信的物种丰富度及相关的生态环境资料 ,因此常被用来研究物种多样性与海拔梯度间的关系(Heaney , 2001)。

2 研究地点和方法

2.1 研究地点

神农架自然保护区位于湖北省的神农架林区内 ,地处 31°22' ~ 31°37' N , 110°03' ~ 110°34' E ,是大巴山向东的延伸部分。保护区建于 1982 年 , 1990 年加入人与生物圈保护区网络。保护区面积约为 750 km² ,分为东西两片 ,海拔的落差从 398 m 到 3105 m ,植被的垂直分布明显(武汉植物研究所 , 1980) :在 800 m 以下分布有常绿阔叶林(部分山系可延伸到 1300 m) ; 800 m ~ 1700 m 是针阔叶混交林(部分地方可延伸到 2200 m) ; 2400 m 以上是针叶林带。气候属亚热带湿润性季风型 ,年降水量为

1500~2000 mm。在海拔 1700 m 以上的地区,冬季稳定的积雪通常出现在 12 月中旬,消失于翌年的 2 月底。

神农架保护区在夏商时期(公元前 21 世纪~前 770 年)就有人类活动(冯祖祥等,1995),但由于人口稀少和生产力不发达,人类活动对自然的干扰很小。20 世纪上半叶,因战乱等因素,人口大量迁入,对自然的干扰增大,一些低海拔地区开始大量毁林造田。大规模的森林采伐和农业垦荒发生在 20 世纪 50~80 年代,加上人口的急剧增加,造成原始林面积锐减,严重地破坏了神农架的自然生态系统和生物多样性。

保护区的栖息地可分为 8 类:原始林、择伐林、次生林、灌木林、草地、常年性河流水溪、农田和人居区。原始林已高度破碎化,主要分布在 800 m 以上的山地;择伐林主要是原始林采伐死树后造成的(1993~1998 年保护区大面积的松树林受害虫感染而死亡,为防止害虫由死树扩散,保护区采伐了部分原始林的死树);次生林占保护区面积的一半以上,为 1950~1990 年采伐后自然再生的,部分是人工林;灌木林主要分布于 2000 m 以上的地区;在 2800 m 以上主要分布的是草地。绝大部分灌木林和草地是森林皆伐后产生的,小部分位于山顶的灌木林和草地是原生的。农田和人居区分布在 1700 m 以下的地区,主要农作物有玉米、土豆和一些蔬菜,在 800 m 以下的部分地区还种植水稻。

2.2 研究方法

我们选择 6 个不同海拔的地点作采样分析:望塔(2900 m)、金猴岭(2450 m)、千家坪(2100 m)、东溪(1700 m)、九冲(800 m)和下谷(550 m)。每个地点调查不同栖息地的小型非飞行哺乳动物和大型非飞行哺乳动物的种类。

2.2.1 小型非飞行哺乳动物调查 主要用当地常用的铁制捕鼠夹(长 14 cm,宽 8.7 cm,湖北省鼠害防治公司生产)捕捉小哺乳动物。采样用样方法和样带法。在人居区用样带法,具体方法是沿房屋和建筑物放置鼠夹,每隔 10 m 一个,每样带一般长 200 m。样带主要设置在下谷、九冲和千家坪。在草地、林地和农田用样方法,样方为 150 m × 150 m 的栅格(Jones & McShea, 1996),样方内每隔 10 m 置一鼠夹,每个样方内有鼠夹 256 个。每一栖息地随机设置 2 个样方。在同一地点不同栖息地的样方尽

可能设置在同一海拔(±50 m,但东溪为 ±70 m)。于每日下午 14:00~18:00 设置鼠夹,饵料为新鲜的花生米,次日清晨 8:00~12:00 检查鼠夹,用干净的鼠夹置换捕到动物的,用新饵料补充已被动物取食的饵料。捕过动物的鼠夹至少在流水中冲洗 12 小时。每一样方放置 2 日,每天检查一次,每一栖息地的夹日数均为 1024。样方主要设置在了望塔(草地)、金猴岭(原始林和次生林)、千家坪(原始林、次生林、择伐林和灌木林)、东溪(原始林、择伐林和次生林)、九冲(原始林、择伐林、次生林和农田)和下谷(次生林、择伐林、灌木林和农田)。小哺乳动物调查时间为 1999 年 5 月和 2000 年 10~11 月。

2.2.2 大中型非飞行哺乳动物调查 野外调查用样带法:每日沿山岭的兽道行走 4~5 km,注意观察左右两边 200 m 范围内的动物,查看动物留下的足迹和各种痕迹,每次调查 3~5 天。检查小哺乳动物样地里的大动物足迹和痕迹。雪地足迹调查主要在冬季,于 1999~2001 冬季在金猴岭和千家坪调查大型动物足迹,依据标准图谱鉴定足迹(Halfpenny & Biesiot, 1986)。调查各地点动物皮张收购记录,走访有经验的猎民,了解大中型兽的种类。

2.2.3 植被调查

在每一地点的原始林、次生林、择伐林、灌木林和草地小哺乳动物样地内,随机设定 5 个 10 m × 10 m 的样方,调查样方内胸周长大于 10 cm 的树种,依据有关专著和图谱鉴定(武汉植物所,1980)。

某一栖息地的单位面积树种平均丰富度

$$= \left(\sum_{i=1}^{i=5} TR_i \right) / 5$$

TR_i 是该栖息地中 i 样方的树种丰富度。

确定各地点(原始林、择伐林、次生林、灌木林及草地)占总林地面积的权重(%),用加权平均数代表某一地点林地单位面积树种平均丰富度,计算公式为:

某一地点林地单位面积树种平均丰富度

$$= \sum_{i=1}^{i=n} (ATR_i \times W_i)$$

这里 ATR_i 是 i 栖息地单位面积树种平均丰富度, n 为栖息地类型数, W_i 为 i 栖息地的面积权重(%)。

2.3 统计分析

用 Sorensen 相似性指数表示不同地点间的物种丰富度的相似程度(Krebs, 1999),Sorensen 相似性指数表示为:

$$SS = 2a / (a + b + c)$$

这里 a 是两个地点共有的物种数, b 为地点 1 出现而地点 2 未出现的物种数, c 为地点 2 出现而地点 1 中未出现的物种数。用组间平均联结法分析各地点物种组成的关系(Krebs, 1999)。

用相关分析确定海拔高度、森林栖息地单位面积(100 m^2)树种平均丰富度和各地点栖息地类型数对各地点物种丰富度的影响。所有分析用 SPSS10.0 统计软件完成。

3 结果

3.1 物种丰富度

两次调查总夹日数为 25 432, 捕获 756 个小哺乳动物个体, 平均捕获率为 2.99%。结合皮张收购

调查、样带法调查、痕迹和足迹调查、走访猎民和总结前人的工作, 神农架自然保护区共有非飞行哺乳动物 59 种, 另有 1 个引进种梅花鹿(*Cervus nippon*) (表 1), 其中小型哺乳动物 34 种, 大型哺乳动物 25 种。Allen(1941)记载神农架有虎, 当地老猎民也反映有虎, 但本次调查未发现有关痕迹。

国家重点保护动物在各地点均有分布。鬃羚(*Capricornis sumatraensis*)、斑羚(*Naemorhedus goral*)、黑熊(*Selenarctos thibetanus*)在大部分地点有分布, 金丝猴分布在中高海拔地区, 而猕猴(*Macaca mulatta*)则分布在中低海拔地区。其他一些保护动物分布范围较小。

比较同一海拔高度的不同栖息地(图 1), 原始林通常有较高的物种丰富度。各地点的原始林物种

表 1 神农架自然保护区非飞行哺乳动物的分布**

Table 1 The distribution of nonvolant mammal species in Shennongjia Nature Reserve

物种 Species	了望塔 Liaowangta	金猴岭 Jinhouling	千家坪 Qianjiaping	东溪 Dongxi	九冲 Jiuchong	下谷 Xiagu
四川短尾鼯 <i>Anourosorex squamipes</i>				+	+	
多齿鼯 <i>Uropsilus gracilis</i>			+	+		
北小麝 <i>Crocidura suaveolens</i>					+	
长尾大麝 <i>Crocidura dracula</i>					+	
中麝 <i>Crocidura russula</i>						+
灰麝 <i>Crocidura attenuata</i>					+	+
蹼麝 <i>Nectogale elegans</i>				+		
喜马拉雅水麝 <i>Chimarrogale himalayica</i>					+	
大长尾鼯 <i>Soriculus salenskii</i>				+	+ ¹	
川鼯 <i>Blarinella quadrata</i>				+		
安氏白腹鼠 <i>Niviventer andersoni</i>	+	+	+	+	+	+
北社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	+	+	+	+	+	+
针毛鼠 <i>Niviventer fulvescens</i>	+				+	+
藏鼠兔 <i>Ochotona thibetana</i>	+	+	+			
高山姬鼠 <i>Apodemus chevrieri</i>	+	+	+	+	+	
中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>	+	+	+	+	+	+
黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i>					+	
黄毛鼠 <i>Rattus losea</i>						+
大足鼠 <i>Rattus nitidus</i>					+	+
褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>				+	+	+
洮州绒鼯 <i>Caryomys eva</i>	+	+	+	+		
黑腹绒鼠 <i>Eothenomys melonogaster</i>				+	+	
小泡巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>				+	+	+
猪尾鼠 <i>Typhlomys cinereus</i>				+	+	
罗氏鼯鼠 <i>Myospalax rothschildi</i>			+			
小家鼠 <i>Mus musculus</i>					+	
巢鼠 <i>Micromys minutus</i>					+	
草兔 <i>Lepus capensis</i>				+	+	+
岩松鼠 <i>Sciurotamias davidianus</i>				+	+	+
长吻松鼠 <i>Dremomys pernyi</i>				+	+	+

表 1 (续) Table 1 (continued)

物种 Species	了望塔 Liaowangta	金猴岭 Jinhouling	千家坪 Qianjiaping	东溪 Dongxi	九冲 Jiuchong	下谷 Xiagu
隐纹松鼠 <i>Tamias swinhoei</i>		+	+			
豪猪 <i>Hystrix hodgsoni</i>			+	+	+	
中华竹鼠 <i>Rhizomys sinensis</i>			+	+	+	+
刺猬 <i>Erinaceus europaeus</i>			+	+	+	+
猕猴 <i>Macaca mulatta</i> *				+	+	+
金丝猴 <i>Rhinopithecus roxellana</i> *		+	+			
狼 <i>Canis lupus</i>	+	+		+	+	+
豺 <i>Cuon alpinus</i> *				+	+	+
狐 <i>Vulpes vulpes</i>				+	+	+
貉 <i>Nyctereutes procyonoides</i>					+	+
黑熊 <i>Selenarctos thibetanus</i> *		+	+	+	+	+
黄鼬 <i>Mustela sibirica</i>			+	+	+	+
黄腹鼬 <i>Mustela kathiah</i>			+	+	+	+
青鼬 <i>Martes flavigula</i>			+		+	
鼬獾 <i>Melogale moschata</i>				+	+	
猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>			+	+	+	+
水獭 <i>Lutra lutra</i> *				+	+	+
大灵猫 <i>Viverra zibetha</i> *				+	+	+
花面狸 <i>Paguma larvata</i>				+	+	+
豹猫 <i>Felis bengalensis</i>				+	+	+
金猫 <i>Felis temmincki</i> *			+	+	+	+
金钱豹 <i>Panthera pardus</i> *			+	+	+	+
华南虎 <i>Panthera tigris amoyensis</i> *			+	+	+	+
野猪 <i>Sus scrofa</i>	+	+	+	+	+	+
林麝 <i>Moschus berezovskii</i> *			+	+	+	
小麂 <i>Muntiacus reevesi</i>		+	+	+	+	+
毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>				+	+	+
鬃羚 <i>Capricornis sumatraensis</i> *	+	+	+	+	+	+
斑羚 <i>Naemorhedus goral</i> *	+	+	+	+	+	+
物种丰富度 Species richness	11	15	26	42	49	36
国家重点保护动物物种数 No. of species on national protection list	2	4	7	10	11	10

1 杨其仁等(1988a) Cited from Yang *et al.*, (1988a).

* :国家重点保护野生动物 Number of species on national protection list.

** :梅花鹿(*Cervus nippon*)是引进种,主要分布在金猴岭一带,未列入表中。*Cervus nippon* is an introduced species distributed in Jinhouling area, not listed in the table.

丰富度均比次生林高,同时也比择伐林(除千家坪外)高。这说明采伐降低了次生林和择伐林的哺乳动物物种丰富度。

神农架自然保护区各地点的哺乳动物丰富度表现出明显的垂直分布特点。对比同一栖息地不同海拔高度的物种丰富度(图1),我们发现,物种丰富度最高的地段是位于中海拔的东溪和九冲。在原始林和次生林中,海拔1700 m的东溪物种数最高,分别为39种和36种,其次是800 m海拔的九冲,有哺乳动物37种和34种。在择伐林中,九冲有36种,其次是东溪和500 m海拔的下谷,物种数相同,均为33种。

3.2 各地点哺乳动物物种组成的比较

通过聚类分析把各地点哺乳动物物种组成成分成两大组(不包括引进种梅花鹿)(图2):高海拔组(2100 m以上)包括千家坪、金猴岭和了望塔,其余的3个地点属中低海拔组(1700 m以下)。在高海拔组中,了望塔和金猴岭在物种组成上最相似;在低海拔组中,九冲和东溪比较相似。千家坪尽管在物种组成上属于高海拔组,但反映出高一低海拔间的过渡类型。从图中也能看出,海拔相邻的两地点,如了望塔和金猴岭及东溪和九冲,在物种组成上较相似,反映出海拔高度对哺乳动物物种分布的影响。

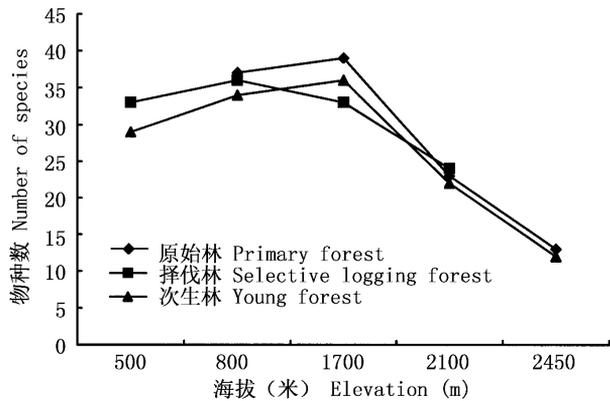


图1 神农架自然保护区非飞行哺乳动物的海拔多样性格局

Fig. 1 The elevational diversity patterns of nonvolant mammals in Shennongjia Nature Reserve

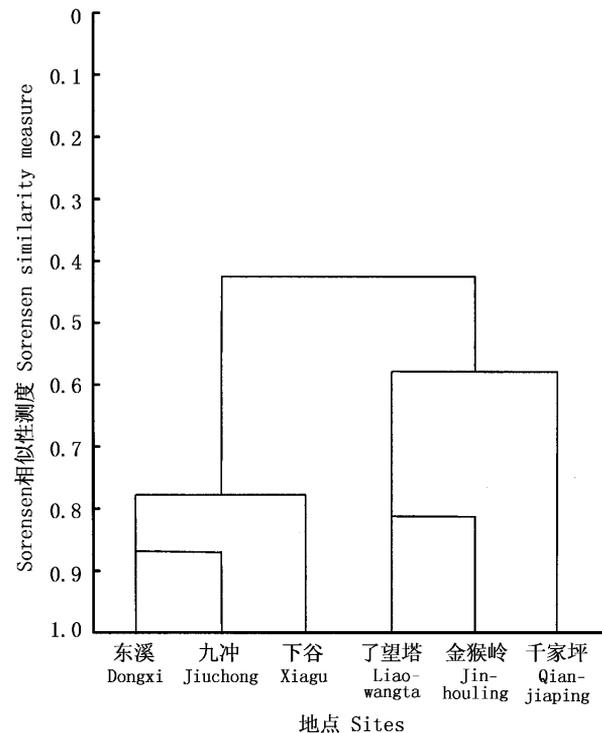


图2 神农架自然保护区6个地点物种组成的聚类分析(用组间平均连接法)

Fig. 2 The cluster analysis of nonvolant mammal species composition at six sites in Shennongjia Nature Reserve, Hubei, China. (The average linkage between groups is used in the cluster analysis)

3.3 影响哺乳动物物种丰富度的主要因素

东溪、九冲和下谷各有6种栖息地类型(表2),它们都有择伐林、次生林、河流、农田和人居住区,东溪和九冲有原始林而没有灌木林,而下谷没有原始

林但有灌木林。千家坪有原始林、择伐林、次生林和灌木林;金猴岭只有原始林和次生林;了望塔只有草地。九冲和下谷的单位面积树种丰富度最大,分别为2.08种/100 m²和2.02种/100 m²;其次是东溪和千家坪;了望塔的单位面积树种丰富度最低,仅为0.1种/100 m²。

Spearman 相关分析显示(表3),单位面积树种的平均丰富度、海拔高度和栖息地类型数都能影响哺乳动物的物种丰富度,其中树种丰富度对哺乳动物物种丰富度影响最大,相关系数高达0.943;其次是栖息地的多样性;海拔高度与哺乳动物物种丰富度呈负相关。而这3个环境变量之间也是相关的:树种丰富度和栖息地多样性与海拔高度呈负相关;而树种丰富度与栖息地多样性间呈正相关。

4 讨论

4.1 哺乳动物物种丰富度

神农架自然保护区非飞行哺乳动物的物种丰富度比较高,这与神农架自然保护区的环境条件和自然历史过程是分不开的。神农架自然保护区地形复杂,气候多变,生态系统多样,植物特有种和特有类群特别丰富(应俊生等,1999),这是哺乳动物物种丰富度高的环境条件;再加上历史上是更新世的“避难所”,冰期对它影响很小,保留了一些特有的哺乳动物,如大型兽中的金丝猴、小型兽中的川鼯(*Blarinella quadricauda*)等,因此特有种和濒危种类比较多。

人类活动对神农架自然保护区的哺乳动物丰富度有重要影响。原始林通常比次生林和择伐林物种丰富度高,说明大面积砍伐森林和枯立木已造成一些哺乳动物物种在当地绝迹。位于550 m的下谷,农业生产活动已有上千年的历史,这一地带的原始常绿阔叶林早已荡然无存,许多适应于低海拔原始常绿阔叶林的哺乳动物物种可能在此绝迹。即使是800 m以上的地区,原始林的面积也很少,并呈岛屿状分布,对原始林破碎化敏感的物种可能因此绝迹。人类捕杀和森林砍伐是华南虎在当地绝迹的主要原因。在森林面积减少和破碎的同时,农作物面积和人口不断增加,适合于农田和住宅区的哺乳动物于是随之入侵和扩散,如住宅区的褐家鼠(*Rattus norvegicus*)和农田种黄毛鼠(*Rattus losea*)就是例子。

表 2 影响哺乳动物物种丰富度的主要变量

Table 2 The main variables affecting nonvolant mammal species richness in Shennongjia Nature Reserve

地点 Site	树种丰富度均值(100 m ²) Mean of tree species richness(100 m ²)	栖息地类型 Habitat type	海拔(m) Elevation(m)
了望塔 Liaowangta	0.10	F	2900
金猴岭 Jinhouling	1.67	A,C	2450
千家坪 Qianjiaping	1.72	A,B,C,D,F	2100
东溪 Dongxi	2.00	A,B,C,E,G,H	1700
九冲 Jiuchong	2.08	A,B,C,E,G,H	800
下谷 Xiagu	2.02	B,C,D,E,G,H	550

A,原始林;B,择伐林;C,次生林;D,灌木林;E,河溪;F,草地;G,农田;H,居住区

A, primary forest; B, selective logging forest; C, secondary forest; D, shrub forest; E, rivers and runlets; F, grassland; G, crop field; H, residential areas

表 3 主要环境因素和哺乳动物物种丰富度的 Spearman 相关分析

Table 3 The Spearman correlation analysis of main environmental variables and nonvolant mammal species richness in Shennongjia Nature Reserve

变量 Variables	哺乳动物丰富度 Richness of mammal species	树种丰富度均值 Average richness of tree species	栖息地类型数 No. of habitat types	海拔 Elevation
哺乳动物丰富度 Richness of mammal species				
相关系数 Correlation coefficient	1.000	0.943 **	0.941 **	-0.829 *
显著水平 Significance (1-tailed)	0.000	0.002	0.003	0.021
样本数 N	6	6	6	6
树种丰富度均值 Average richness of tree species				
相关系数 Correlation coefficient	0.943 **	1.000	0.941 **	-0.943 *
显著水平 Significance (1-tailed)	0.002	0.000	0.003	0.002
样本数 N	6	6	6	6
栖息地类型数 No. of habitat types				
相关系数 Correlation coefficient	0.941 **	0.941 **	1.000	-0.941 **
显著水平 Significance (1-tailed)	0.003	0.003	0.000	0.003
样本数 N	6	6	6	6
海拔 Elevation				
相关系数 Correlation coefficient	-0.829 *	-0.943 *	-0.941 **	1.000
显著水平 Significance (1-tailed)	0.021	0.002	0.003	0.000
样本数 N	6	6	6	6

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$

4.2 哺乳动物物种丰富度沿海拔高度的分布格局及影响因素

MacArthur(1972)把山地生态系统简单地比作岛屿生态系统的特例,认为其结构比较简单,符合岛屿生物地理学的“平衡理论”。MacArthur认为,由于山地生态系统面积通常很小,与其他山地生态系统隔离,有相对较高的物种绝灭速率和较低的迁入速率,因此它们的物种数应该比低地生态系统低。然而,最近的一些研究结果并不支持该假说。本研究显示,同一栖息地中海拔地段的非飞行哺乳动物物种丰富度最高,这与世界许多山地的哺乳动物的研究结果是一致的(Rahbek, 1995; Lomolino, 2001; Heaney, 2001; Rickart, 2001; M. D. Nor, 2001; Sanchez-Cordero, 2001; 龚正达等, 2001)。

山地生态系统是非常复杂的,不同的海拔高度可能形成不同的植被类型和动植物群落,各植被类型和动植物群落间不是隔离的,而是存在着广泛的物种迁移,在动植物群落或植被的交错带,往往能发现分布于不同植被或群落的物种,因而物种丰富度比较高(Lomolino, 2001)。这种情况同样出现在本研究中。哺乳动物物种丰富度最高的是海拔 800 m ~ 1700 m 的地段,这一地段也是低海拔的常绿阔叶林和高海拔的针叶林的过渡地带——针阔叶混交林。许多分布于高海拔或低海拔的物种在这一地段出现。例如,分布于下谷(低海拔)的灰麝鼩(*Crocidura attenuata*)和大足鼠(*Rattus nitidus*),在九冲(海拔 800 m)也有分布(表 1);而分布于千家坪和金猴岭(高海拔)的高山姬鼠(*Apodemus chevrieri*)也在九

冲和东溪(海拔 1700 m)有分布,分布于高海拔的(2100 m 以上)洮州绒鼯(*Caryomys eva*)在东溪也有分布。

中海拔地段有丰富的哺乳动物物种丰富度,这与该地段的气候条件和生物环境密切相关。在中海拔地段水热条件往往达到最佳组合,资源的可利用性达到最大(Abrams, 1995; Heaney, 2001)。在神农架自然保护区,中海拔地段是草本植物(应俊生等, 1999)和木本植物(本研究)物种丰富度最高的地带,它们为草食性的昆虫和哺乳动物提供了丰富多样的食物。在中海拔地段昆虫物种丰富度也是最高的(周红章等, 2000)。相应地,食肉兽和食虫兽的种类会随食草兽和昆虫类的增加而增加。

4.3 各地点哺乳动物的物种组成

各地点哺乳动物的物种组成与植被的垂直分布是一致的,800 m 以下是常绿阔叶林,分布在下谷的哺乳动物物种组成与其他地点有一定的差异,形成一个相对独立的聚类组,800 m ~ 1700 m 是针阔叶混交林,相应地,在这一植被带的九冲和东溪,其哺乳动物物种组成是最相似的,属于同一聚类组;在海拔 2100 m 以上,针叶树的比例越来越高,分布在该带的了望塔、金猴岭和千家坪,其哺乳动物物种组成也分在同一聚类组。哺乳动物物种组成和植被组成垂直分布的一致性反映了动植物的协同进化,是生物环境和非生物环境联合作用的结果,同时也说明海拔高度对植被的垂直分布的影响与对哺乳动物物种组成的垂直分布的影响是类似的。

4.4 影响哺乳动物物种丰富的主要因素

树种丰富度、海拔高度和栖息地类型数均影响各地点的哺乳动物物种丰富度。森林是神农架自然保护区栖息地的主要类型,单位面积的树种丰富度是林地栖息地异质程度的一个重要指标。单位面积上较高的树种丰富度,为哺乳动物提供了多种的食物种类和多样的环境,因而可以拥有较高的哺乳动物物种丰富度。栖息地类型数是景观多样性的重要指示者,栖息地类型越多,景观越复杂,适应不同栖息地的专化性的哺乳动物物种就越多。然而海拔高度对树种丰富度和栖息地类型数有重要影响,海拔高度是神农架自然保护区植物丰富度垂直分布的决定因素(应俊生等, 1999)。海拔高度还影响河流、人居住区和农田的分布。随着海拔高度增加,适应耕种的土地越来越少,相应地人口也在减少,海拔高

于 1700 m 的地带,农田和农业人口非常少。随着海拔高度增加,河流的数量和湿地的面积也在减少。

本研究没有考虑面积效应。大量的研究表明,种-面积关系无法解释海拔梯度的多样性变化格局(Lomolino, 2001; Heaney, 2001)。山地生态系统各地段的面积随海拔高度增加而减少(Lomolino, 2001),而在神农架自然保护区,最高的哺乳动物物种丰富度出现在中海拔地段,并不随海拔高度而减少,说明面积对各地段物种丰富度的影响是比较小的。由于山地生态系统是高度异质性的,面积相同而海拔不同的地点的物种丰富度差别可能非常大,因此很难用种-面积关系描述物种丰富度沿海拔梯度的分布。

4.5 保护建议

神农架自然保护区面临着严重的人类活动威胁。在保护区内有大约 8000 名居民和大量的农田。如何减少保护区内人类活动,关系到保护工作的成败。目前,保护区正在进行移民迁出和退耕还林工程。本文的结果对这些工程的开展有一定的指导意义。保护区的目的是保护最大的生物多样性,把保护区内物种绝灭的风险降低到最低。移民迁出和退耕还林工作应先从物种多样性最丰富和人类活动最严重的地区开始。由于九冲地区有最丰富的物种多样性和较严重的人为活动(人口占整个保护区内人口的 20%),是应该首先开展这项工作的地区;其次是东溪和下谷。

保护区分为东西两片,中间已被农田、公路和人类活动频繁的栖息地隔离。东片(包括九冲)的哺乳动物物种丰富度最高,国家重点保护动物种类多,但是东片的面积非常小,不足整个保护区的 1/5,东片内的保护物种已是典型的小种群,面临着很大的绝灭风险,即使得到很好的保护,还会受到随机因素如种群统计随机性、环境随机性、灾害和遗传随机性的干扰(Soule, 1986)。为降低随机因素产生的绝灭风险,应把两片中间的地带划入保护区,在两片间建立起廊道,以增加两片间物种的个体流和基因流,降低东片内濒危哺乳动物的随机绝灭风险。

参考文献

- Abrams P A, 1995. Monotonic or unimodal diversity-productivity gradients: what does competition theory predict? *Ecology*, 76(7): 2019 ~ 2027

- Allen G M, 1938 ~ 1940. *The Mammals of China and Mongolia* (part 1 and 2). The American Museum of Natural History, New York Press
- Brown J H and M V Lomolino, 1998. *Biogeography* (2nd edn.). Sinauer Press, Sunderland, Massachusetts
- Brown J H, 2001. Mammals on mountainside: elevational pattern of diversity. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 101 ~ 109
- Colwell R K and G C Hurtt, 1994. Nonbiological gradients in species richness and a spurious Rapoport effect. *American Naturalist*, **144**: 570 ~ 595
- Ellerman J C and T C S Morrison-Scott, 1951. *Checklist of Palaearctic and Indian Mammals*. British Museum, London
- Feng Z X(冯祖祥), G S Qi(漆根深) and T S Wu(吴天生), 1995. *Hubei Forestry History*. China Forestry Press, Beijing (in Chinese)
- Gong Z D(龚正达), H Y Wu(吴厚永), X D Duan(段兴德), X G Feng(冯锡光), Y Z Zhang(张云智) and Q Liu(刘泉), 2001. The relationship between the geographical distribution trends of flea species diversity and the important environmental factor in the Hengduan Mountains, Yunnan. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**(4): 319 ~ 328 (in Chinese)
- Halfpenny J C and E Biesiot, 1986. *A Field Guide to Mammal Tracking in North America*. Johnson Publishing Co., Boulder, Co.
- Heaney L R, 2001. Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 15 ~ 39
- Heaney L R, P D Heideman, E A Richart, R B Uzzurum and J S H Klompen, 1989. Elevational zonation of mammals in central Philippines. *Journal of Tropical Ecology*, **5**: 259 ~ 280
- Jones S and W J McShea, 1996. Capturing mammals. In: D E Wilson (ed.), *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington and London
- Kikkawa J and E E Williams, 1971. Altitudinal distribution of land birds in New Guinea. *Search*, **2**: 64 ~ 69
- Krebs C J, 1999. *Ecological Methodology*. Addison Wesley Longman, Inc. England
- Li D W(黎德武), F Q Wu(吴发清), D F He(何定富) and Z X Dai(戴忠心), 1982. The study on mammals in Shennongjia regions and neighbour areas. *Journal of Central China Normal College* (华中师范学院学报), **(3)**: 128 ~ 137 (in Chinese)
- Lomolino M V, 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 3 ~ 13
- MacArthur R H, 1972. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Harper & Row, New York
- M D Nor S, 2001. Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabaha, Mmalaysia. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 41 ~ 62
- Patterson B D, D F Stotz, S Solari, J W Fitzpatrick and V Pacheco, 1998. Contrasting patterns of elevational zonation for birds and mammals in the Andes of southeastern Peru. *Journal of Biogeography*, **25**: 593 ~ 607
- Rahbek C, 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecology*, **18**: 200 ~ 205
- Rahbek C, 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in Neotropical birds. *American Naturalist*, **149**: 875 ~ 902
- Rickart E A, 2001. Elevational diversity gradients, biogeography, and the structure of montane mammal communities in the intermountain region of North America. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 77 ~ 100
- Sanchez-Cordero V, 2001. Elevation gradients of diversity for rodents and bats in Oaxaca, Mexico. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 63 ~ 76
- Soule M E, 1986. *Viable Population for Conservation*. Cambridge University Press
- Wilson E O (ed.), 1988. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington
- Wuhan Institute of Botany, CAS(武汉植物研究所), 1980. *Shennongjia Plants*. Hubei People Press, Wuhan (in Chinese)
- Yang Q R(杨其仁), Z X Dai(戴忠心), G Sun(孙刚), D F He(何定富), R S Zhang(张如松) and D W Li(黎德武). 1988a. The study on small mammals. I. Fauna. *Journal of Huazhong Normal College* (华中师范大学学报), **22**(1): 65 ~ 70 (in Chinese)
- Yang Q R(杨其仁), Z X Dai(戴忠心), G Sun(孙刚), D F He(何定富), R S Zhang(张如松) and D W Li(黎德武). 1988b. The study on small mammals. II. Vertical distribution. *Journal of Huazhong Normal College* (华中师范大学学报), **22**(3): 204 ~ 209 (in Chinese)
- Ying J S(应俊生), W L Chen(陈伟烈), Z B Zhang(张知彬), Z Q Zhu(朱兆泉), J Y Yang(杨敬元), F S Wang(王福生), Z L Hu(胡振林), Z B Meng(孟智斌) and X Sun(孙忻), 1999. The impact of human alteration on ecosystem diversity in Shennongjia region. In: L Z Chen(陈灵芝) and Z W Wang(王祖望) (eds.), *The Impact of Human Alteration on Ecosystem Diversity*. Science Press, Beijing 139 ~ 195 (in Chinese)
- Zhou H Z(周红章), X D Yu(于晓东), T H Luo(罗天宏), J J He(何军舰), H S Zhou(周海生) and C J Ye(叶婵娟), 2000. Insect abundance and environmental effects in Shennongjia Natural Reserve, Hubei Province. *Chinese Biodiversity*(生物多样性), **8**(3): 262 ~ 270 (in Chinese)