

寒温带牧林交错区生境复杂度对啮齿类 物种多样性的影响

徐兴军¹, 吕建伟¹, 谢振丽¹, 周双涛¹, 计沈斌¹, 张东月^{1,3}, 王昌河^{1,2,*}, 邵淑丽^{1,*}

(1. 齐齐哈尔大学生命科学与工程学院, 齐齐哈尔 161006; 2. 北京大学分子医学研究所, 北京 100871;

3. 东北师范大学生命科学学院, 长春 130024)

摘要: 采用诱日法对嫩江流域牧林交错区 5 个生境梯度中啮齿动物的多样性水平进行了研究, 以探讨栖息地复杂程度对地面啮齿类物种多样性的影响。结果表明, 黑线姬鼠、黑线仓鼠和大林姬鼠是嫩江流域牧林交错区中的优势种和常见种, 不同物种在不同生境类型中呈明显的不均匀分布, 反映了它们对不同生境的选择倾向性。同时, 地面草本植物的覆盖度和丰富度对地面活动的小型哺乳动物的物种组成和群落结构具有较大的影响, 啮齿动物的捕获率和生物量与草本植物的多样性水平呈现出显著的相关性关系, 其物种丰富度随草本植物多样性指数的增加呈递增的趋势。此外, 各生境中啮齿动物的物种多样性指数与草本植物多样性的相关关系并不显著, 可能是因为灌丛区和林-灌交错区内大量的低矮灌丛与萌生丛改善了生境的隐蔽条件与食物资源, 为更多物种的共存创造了良好的微环境, 使得两生境中啮齿动物的物种多样性水平尤为突出。研究表明, 小型啮齿动物的物种组成与栖息地的复杂程度有关, 但地面植被对小型兽类生物量和物种多样性的影响力度并不是等同的, 对地面小型兽类物种多样性影响的研究, 统计生境复杂度或异质性时应考虑不同植被型/生境类型距地面的高度, 不同植被型对小型兽类物种多样性的贡献程度随其距地面高度的增加而降低。

关键词: 牧林交错区; 生境复杂度; 异质性; 啮齿类; 物种多样性

文章编号: 1000-0933(2009)06-2945-08 中图分类号: Q145, Q948, Q958 文献标识码: A

Effects of habitat complexity on species diversity of small mammals in pastures and forest interlaced regions

XU Xing-Jun¹, LÜ Jian-Wei¹, XIE Zhen-Li¹, ZHOU Shuang-Tao¹, JI Shen-Bin¹, ZHANG Dong-Yue^{1,3}, WANG Chang-He^{1,2,*}, SHU Shu-Li^{1,*}

1 College of Life Science and Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China

2 Institute of Molecular Medicine, Peking University, Beijing 100871, China

3 College of Life Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 2945 ~ 2952.

Abstract: Small mammals were trapped using snap-traps in five different pasture and forest regions to investigate the effect of habitat complexity on species diversity of small mammals. In total, 128 individuals were captured, comprising seven species of rodents, of which, *Apodemus agrarius* was the most commonly. The captured species were not evenly distributed along habitat gradients, which reflected the selection orientation of small mammals to different habitats. Analyses of richness and diversity of small mammals showed that trapping success, species richness and biomass of small mammals have a significant positive correlation with the diversity or heterogeneity of herbage but not with the whole vegetation heterogeneity. This indicated that the coverage and richness of herbage have a higher influence on the spatial distribution and community structure of small mammals. However, the diversity of small mammals had no similar relationships with the diversity or

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(973)(2007CB109106); 齐齐哈尔大学青年教师科研启动支持计划资助项目

收稿日期: 2008-10-13; 修订日期: 2009-02-06

致谢: 四川大学生命科学学院感谢郭聪教授和 Emily King 博士对本文的指导和润色

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: changhecool@163.com; shshl32@163.com

heterogeneity of herbage. Large quantities of small thickets in shrub and forest-shrub regions enhanced the diversity of small mammals. We concluded that the composition of small mammals is related to the complexity of habitats, while the effect of each vegetation type to the biomass and diversity of small mammals is not equal. The influence of herbage on small mammals is largest, while that of shrubs is the second, and trees has the smallest contribution, sometimes even a negative influence on the diversity of small mammals.

Key Words: pasture and forest interlaced region; habitat complexity; heterogeneity; small mammals; species diversity

景观空间异质性指生态学变量或系统属性在空间上的复杂性和变异性^[1,2],系统属性可以是生态学所涉及的任何变量,可以是非生物的环境异质性,亦可以是生物属性^[3,4]。生境异质性或栖息地复杂程度与物种多样性呈显著相关性^[5~7],常被认为是决定物种多样性程度的一个重要因素^[8~10]。对于动物来说,资源波动及可获得性的时空差异、捕食风险和气候因子等都可能的构成了某种潜在性的环境异质性轴,群落内物种的分布情况及其形态特征则是这些因素间相互作用的总和^[11,12]。生境的质量影响着鼠类活动所需的资源、能量以及避难所^[13],而景观连接度和景观缀块的大小、形状影响着物种的生存持久性以及物种丰富度的分布格局^[4,14~17]。已有研究证实了环境异质性和物种多样性之间存在正相关的关系^[18~21],亦有研究表明鼠类群落的多样性与其所处的环境复杂性有直接关系,环境越复杂,鼠类群落多样性越大^[21~23]。牧林交错区通常位于我国北方寒温带半湿润地区,其生态学实质是林业和牧业两个区域生态系统相互过渡过程中,系统主体行为和结构特征发生转换的空间区域。典型的寒温带大陆性气候必定会增加啮齿动物的体温调节价和取食压力^[24],而牧林交错区则由于其生态环境的过渡性、复杂性和多样性,以及人类活动的影响,景观结构复杂,空间异质性突出。本文对嫩江流域重要的自然鼠疫源齐齐哈尔地区牧林交错带不同生境类型梯度中的鼠类群落进行了研究,旨在探讨在高体温调节价下小型兽类的群落组成和数量与其栖息环境之间的相互关系,并为该地区害鼠类的监控和防治提供可靠的依据。

1 研究区概况

本研究选择在嫩江流域的重要组成部分,国家级鼠疫自然疫源地检测点之一的齐齐哈尔市进行,该地区属寒温带半湿润大陆性气候,冬季长而寒冷,夏季短而多雨,年均温 $0.7 \sim 4.2^{\circ}\text{C}$, 历年最低气温 -39.5°C , 年降雨量 $400 \sim 550\text{mm}$, 降雨主要集中在夏季。冬季嫩江冰封期达 150d 左右,冰厚 1m 左右。

调查地点选择在嫩江公路大桥以北,嫩江以东的牧林区,其地理位置为东经 $123^{\circ}55.3' \sim 123^{\circ}56.6'$, 北纬 $47^{\circ}22.3' \sim 47^{\circ}23.6'$, 海拔 151m。由于该地区毗邻市区,周边人类活动干扰强烈,形成了以牧牛和牧羊为主的羊茅草甸区和以林业与牧禽为主的人工林区。根据该地区的植被类型及其变化规律,共划分为 5 种生境,分别是草甸区、灌丛区、林-灌交错区、人工林 1(疏林区)和人工林 2(密林区)。

草甸区紧邻嫩江,受嫩江水位影响较大,其中地势较高的区域镶嵌有玉米地,偶有豆田,区内地势相对平坦,草本层主要为羊茅及其他禾本科植物,草盖度在 85% 左右。灌丛区内地势高低不平,土丘与沟壑相间,灌木以柳丛为主,主要分布在沟壑内,其盖度为 50% ~ 70%, 草盖度约 80% ~ 90%, 生境复杂多变,沟壑内有大量积水,沟壑上沿鼠洞到处可见。林-灌交错区内,乔木为杨树,其郁闭度为 $0.4 \sim 0.5$, 林下草盖度为 85% ~ 95%, 林内地势平坦,林区面积占样地总面积的 50% 左右。疏林区和密林区的乔木层均为杨树,疏林区的郁闭度为 $0.4 \sim 0.5$, 林下草盖度在 90% 以上;密林区的郁闭度在 $0.7 \sim 0.9$ 之间,林下草盖度为 40% ~ 55%。

2 研究方法

2.1 栖息地复杂程度的测量

已有研究表明单位面积上较高的树种丰富度,能为哺乳动物提供多种食物种类和多样的环境,因而拥有较高的物种丰富度^[21],也有学者认为小型兽类对栖息地的选择有其自身生态学特点^[6,25]。本研究选择的生境,植被类型相对单一,地面很少或无碎石、枯木等,主要以植被构成情况来判定该样方的生境复杂度。生境

复杂度的计算采用景观异质性指数(Landscape heterogeneity index): $HT = - \sum P_i \ln P_i$, 其中, P_i 为某一景观单元类型占景观总面积的比例^[26,27]。此外,发现鼠类物种多样性与地面复杂度密切相关,便对各生境的地面情况进行了调查^[6],调查内容包括沟壑相对面积、自然洞穴(借用 Drude 的 7 级制多度表示)、草本植物高度及

草本植物多样性($H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$, 其中, S 为物种数, P_i 为物种 i 的相对盖度)。

2.2 小型兽类调查方法

采用铗日法分别于 2006 年 6~8 月和 2007 年 5~7 月对各生境的小型兽类进行了调查研究,以花生米为饵,用大号铁板铗,当天傍晚按样线法置铗,铗间距 5m,铗线距 20m,次日早晨收铗,每个生境设置 5~8 个调查点,每个调查点的铗日数不小于 100 个铗日,置铗总数为 3270 铗日。将捕获动物进行初步鉴定、体尺测量(体重、体长、尾长、后足长和耳高)并记录繁殖状况后,带回实验室,制成标本,进一步鉴定分类。

2.3 数据处理

采用物种丰富度指数(R)、多样性指数(H')和均匀度指数(J')来描述各生境内小型兽类的物种组成和数量。

丰富度指数(Richness index) R

$$R = S$$

Shannon-Wiener 指数 H'

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

Pielou 均匀度指数 J'

$$J' = H' / \ln S$$

Simpson 生态优势度指数 D :

$$D = \sum (P_i)^2$$

以上公式中, S 为物种数, $P_i = n_i / N$, n_i 为种 i 的个体数, N 为样本总个体数。

对不同生境中的平均捕获率进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)并采用 LSD 进行多重比较;将啮齿动物的捕获率、生物量和物种多样性水平分别与植被异质性和草本植物多样性水平进行相关性分析,以上所有的统计分析工作均在软件 SPSS 12.0 上完成。

3 结果

3.1 栖息地复杂度

5 个样地的生境复杂度如表 1 所示,林-灌交错区内的植被异质性指数最高(0.91),其次是灌丛(0.76)和人工林 1(0.72),草甸的植被异质性指数最低,仅为 0.06。5 块样地的地面情况差异较大,灌丛区内的自然洞穴最多,且沟壑的相对面积最大,地形复杂度最高;人工林 1 内草本植物的多样性指数最高(1.08),盖度最

表 1 各生境栖息地复杂程度的比较

Table 1 Comparison of habitat complexities in each habitat

项目 Item	指标 Index	草甸 Meadow	灌丛 Shrub	林-灌交错区 Forest-shrub ecotone	人工林 1 Planted forest 1	人工林 2 Planted forest 2
植被盖度(%) Coverage of vegetation	乔木 Arbor	1	3	23	45	80
	灌木 Shrub	0	60	30	3	0
	草本 Herbage	85	85	90	95	45
	异质性指数 Heterogeneity index	0.06	0.76	0.91	0.72	0.65
地面情况 Ground condition	自然洞穴 Natural cave	Cop2	Cop3	Cop2	Sp.	0
	沟壑相对面积(%) Relative area of ravine	25	60	40	2	0
	草本多样性指数 Diversity index of herbage	0.46	0.75	0.78	1.08	0.18
	草高度 High of herbage(cm)	10 ± 5	20 ± 5	20 ± 10	35 ± 10	10 ± 5

Cop³: 很多; Cop²: 多; Sp.: 少, 数量不多而分散; 0: 未见鼠洞 The scale of abundance used is an outgrowth of Drude's, Cop3 (Copiosae3): common or abundant, cover 6%—8%; Cop2 (Copiosae2): common or abundant, cover 4%—6%; Sp. (sparsal): few or occasional, cover < 0.1%; 0: no mouse hole was found.

大,整个生境中的草本植物均较高;林-灌交错区内的各项指标均处于灌丛区和人工林 1 之间;人工林 2 内的地面复杂度最低。

3.2 啮齿动物的捕获率和生物量

共捕获啮齿动物 7 种,128 只,捕获率为 3.91%。不同生境中啮齿动物的捕获率和相对生物量如表 2 所示。由表 2 可知,人工林 1 中啮齿动物的捕获率显著高于其它 4 种生境($P=0.000$),灌丛区和林-灌交错区之间的捕获率没有显著差异($P=0.991$),两生境中的捕获率均高于草甸区和人工林 2($P<0.05$),而低于人工林 1,相对生物量和物种数与捕获率具有相类似的趋势。

表 2 各样地啮齿动物捕获率和相对生物量

Table 2 Trap success and relative biomass of small mammals in each habitat

生境类型 Habitat	设日数 No. of traps	物种数 No. of species	平均捕获率 Average trap success(%)	相对生物量(克每百设日) Relative biomass (g/(100 traps d))
草甸 Meadow	524	3	1.23a	52.6
灌丛 Shrub	712	4	3.14b	68.6
林-灌交错区 Forest-shrub ecotone	539	4	3.13b	62.2
人工林 1 Planted forest 1	992	5	7.45c	169.8
人工林 2 Planted forest 2	503	2	0.83a	23.8

对各生境的捕获率进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)并采用 LSD 进行多重比较,表明各生境间的捕获率差异极显著($F_{4,19}=27.05$, $P=0.000$) The trap success was analyzed by One-Way ANOVA and least significant difference (LSD) multiple comparisons, here $F_{4,19}=27.05$, $P=0.000$

3.3 物种组成和分布

所捕获的 128 只啮齿动物中,含鼠科姬鼠属 2 种和家鼠属 1 种,仓鼠科田鼠亚科 3 种和仓鼠亚科 1 种。从啮齿动物的组成来看(表 3),黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)个体数量最高,占 40.6%,是本地区最常见种;黑线仓鼠(*Cricetulus barabensis*)(33.6%)和大林姬鼠(*A. peninsulae*)(17.97%)为本地区的常见种;此外,莫氏田鼠(*Microtus maximowiczii*)和东方田鼠(*Microtus fortis*)为本地区的普通种,分别占总个体数的 2.34% 和 3.91%;狭颅田鼠(*Microtus gregalis*)和褐家鼠(*Rattus norvegicus*)的组成均未达到总个体数的 1%,为偶见种。

表 3 不同生境啮齿动物的捕获率及组成(%)

Table 3 Trap success and composition of small mammals in each habitat

种类 Species	草甸 Meadow		灌丛 Shrub		林-灌交错区 F-S		人工林 1 Planted forest 1		人工林 2 Planted forest 2		合计 (组成) Total (comp)
	捕获率 TS	组成 Comp	捕获率 TS	组成 Comp	捕获率 TS	组成 Comp	捕获率 TS	组成 Comp	捕获率 TS	组成 Comp	
黑线仓鼠 <i>C. barabensis</i>	0.76	57.14	1.54	45.83	0.93	29.41	2.02	27.63	0.40	50.00	33.59
大林姬鼠 <i>A. peninsulae</i>	0.38	28.57	1.26	37.50	1.11	35.29	0.60	7.89	—	—	17.97
黑线姬鼠 <i>A. agrarius</i>	—	—	0.42	12.50	0.56	17.65	4.44	57.89	0.40	50.00	40.63
莫氏田鼠 <i>M. maximowiczii</i>	—	—	0.14	4.17	—	—	0.40	5.26	—	—	3.91
狭颅田鼠 <i>M. gregalis</i>	—	—	—	—	—	—	0.10	1.32	—	—	0.78
东方田鼠 <i>M. fortis</i>	—	—	—	—	0.56	17.65	—	—	—	—	2.34
褐家鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	0.19	14.29	—	—	—	—	—	—	—	—	0.78

F-S: Forest-shrub ecotone, TS: Trap success, Comp: Composition

3.4 啮齿动物的群落多样性指数

根据不同生境内所捕获的啮齿动物的种类和个体数量,分别计算了群落丰富度指数、多样性指数、均匀度指数和优势度指数等,结果如表 4 所示。由表 4 可知,人工林 1 具有最高的物种丰富度(5),而林-灌交错区的多样性指数最大(1.9328),人工林 2 和草甸区的丰富度和多样性指数最低,分别为 2 和 3 及 1.0000 和 1.3788,但它们的均匀度指数和优势度指数最高,分别为 0.7214 和 0.7086 及 0.5000 和 0.4286;林-灌交错区的优势度最小,仅为 0.2734。

表 4 不同生境下啮齿动物的群落多样性特征

Table 4 Characteristic of community diversity of small mammals in different habitats

生境类型 Habitat	丰富度 Richness index	物种多样性指数 Species diversity index H'	均匀度 Evenness J'	优势度 Dominance D
草甸 Meadow	3	1.3788	0.7086	0.4286
灌丛 Shrub	4	1.6126	0.5074	0.3681
林-灌交错区 Forest-shrub ecotone	4	1.9328	0.6822	0.2734
人工林 1 Planted forest 1	5	1.5642	0.3612	0.4207
人工林 2 Planted forest 2	2	1.0000	0.7214	0.5000

4 讨论

研究结果表明,黑线姬鼠、黑线仓鼠和大林姬鼠是齐齐哈尔地区牧林交错区中的优势种和常见种,其中黑线姬鼠和黑线仓鼠的优势地位更为突出,分布范围也最为广泛,为该地区的共优种。从分布区域来看,黑线姬鼠主要分布在人工林 1 中,在人工林 2 和牧羊/牛较为严重的草甸区则很少有分布;黑线仓鼠在五种生境中均有分布,主要集中在人工林 1 和灌丛及林-灌交错区内;而大林姬鼠则主要分布在灌丛区和林-灌交错区,这可能是由于不同的物种对栖息环境的适应性不同,因而做出的反应也不相同。黑线姬鼠对草种子、根和昆虫具有相对较高的取食频率^[28],密林区内因林内郁闭度较高,地表植被稀疏,种子产量较低,因而很少有黑线姬鼠的分布;而草甸区则因为放牧现象及人为干扰严重,草本植物产生种子的季节性较强,因而未见有黑线姬鼠的分布。黑线仓鼠则以植物茎、叶与种子为主要食物来源^[28],而在这 5 种生境中黑线仓鼠喜食的草本植物相对丰富,因此,黑线仓鼠的分布范围也比较广泛。大林姬鼠也以植物种子为主要食物来源,但其巢区主要位于地面枯枝落叶层下,低矮灌丛和/或沟壑的存在为其提供了较好的避难场所,因此大林姬鼠主要分布在灌丛区和林-灌交错区,在草甸区和人工林 1 中也有分布。

4.1 生境异质性与啮齿动物的捕获率

复杂多变的栖息环境可允许更多小型兽类的共存,植物组成和植被结构直接或间接引起隐蔽度、食物丰盛度等生物因子的差异,而这些因素的单个或综合作用将直接影响到小型哺乳动物对不同生境内微环境的选择性,因而植被的异质性水平被认为是影响小型兽类物种丰富度的一个重要因素^[29~31]。研究结果表明,尽管灌丛区和林灌交错区内的植被异质性水平平均高于人工林 1,但其啮齿动物的捕获率则低于人工林 1,差异极显著($P=0.000$),且其每百铤日相对生物量也明显低于人工林 1。同时,草甸区植被异质性指数(0.06)明显低于人工林 2(0.65),但两样地中啮齿动物的平均捕获率则无明显差异($P=0.68$),草甸区的每百铤日相对生物量反而高于人工林 2,表明植被的异质性水平与地面啮齿类的相对生物量和捕获率并无显著相关性。而各生境的捕获率与草本植物的多样性指数(异质性指数)呈显著正相关($r=0.918, P=0.028$),每百铤日相对生物量也与草本植物多样性指数呈显著正相关($r=0.879, P=0.47$),表明在不同植被型中,草本植物对地面啮齿类的捕获率和相对生物量具有更为突出的影响,这可能是因为夏季草本植物是植食性小型哺乳动物的主要食物资源,也是食虫类小型哺乳动物的间接食物资源,地面草本植物的覆盖度和丰富度对小型哺乳动物的物种组成和群落结构影响较大^[32,33]。

4.2 生境复杂度与啮齿动物多样性的关系

生境类型及其结构是小型哺乳动物赖以生存和成功繁殖的基础,生境的质量直接影响着鼠类活动所需的资源、能量以及避难所^[13],复杂多变的栖息环境能为啮齿动物提供更多适宜生存的微环境和微气候,能容纳更多的小型兽类共存^[6,16],因而具有更高的物种多样性^[18,20,34]。结果显示,各生境中啮齿动物的物种丰富度随着草本植物多样性指数的增加呈递增的趋势,但其物种多样性指数与草本植物多样性水平的相关关系并不显著($r = 0.753, df = 5, P = 0.141$),与植被异质性指数也无显著相关性($r = 0.448, df = 5, P = 0.450$),但对各生境捕获鼠类物种组成进行的卡方检验(Chi-Square Test)表明各生境间的物种组成呈现出极显著性差异($p = 0.000$)。灌丛区和林-灌交错区内草本植物的多样性水平相对人工林 1 较低,而其啮齿动物物种多样性指数却明显高于人工林 1,这可能是因为灌丛区和林-灌交错区内大量低矮灌丛的存在增加了啮齿动物的食物资源,隐蔽条件也得到了改善,加之位于人工林区和草甸区的交错地带,边缘效应明显,对其小型啮齿动物的多样性水平起到了一定的调节作用^[33],同时,大量沟壑和自然洞穴的存在,增加了两生境的地面异质性水平,对灌丛区和林-灌交错区内较高物种多样性水平的维持起到了一定的作用^[6]。在人工林 2 中,由于乔木大而密集,林内郁闭度高、湿度大、地表植被稀疏而不利于小型啮齿类的生存,所以其物种丰富度和多样性都很低,且物种单一化加剧,优势现象(优势度为 0.500)明显。

以上研究结果表明,小型啮齿动物的物种组成与栖息地的复杂程度有关,对 5 个生境的地面情况、植被情况及其小型啮齿动物的多样性水平的综合比较,距地表近的植被层或环境要素对地面啮齿动物的组成或多样性水平具有更大的影响和调控作用,即,地面植被对小型兽类生物量和物种多样性的贡献程度并不是等同的。草本植物分布在地表层,又是小型兽类重要的食物资源和避难场所,对小型兽类的生物量及其物种多样性的贡献最大;灌丛次之,但大量低矮灌丛的存在对其小型兽类的物种多样性水平具有较强的调节作用;乔木层最小,当其林密度超过某一程度时甚至会对小型兽类的多样性水平呈现出下调作用。李俊生^[33]的研究结果也表明地面草本植物的覆盖度和丰富度对小型兽类的物种组成和群落结构影响较大,然而不同植被型对小型兽类物种多样性的影响随其距地面高度的增加而衰减的速率还尚未清楚。本研究认为,对地面小型兽类物种多样性影响的研究中,统计生境复杂度或异质性时应先根据该植被型/生境类型距地面的高度乘以相应的系数或进行相应的函数换算,再进行异质性水平的计算才能做出更准确和科学的判断,而这一系数或相应函数的确定则还有待于进一步的研究。

References:

- [1] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 1995,73 (2):280—284.
- [2] Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998,9(6):651—657.
- [3] Qi Y, Wang Y M, Wang J H. The landscape structure and heterogeneity of the west part of ecotone between agriculture and animal husbandry. *Acta Ecologica Sinica*, 2002,22(11):2006—2014.
- [4] Chen Y F, Dong M. Spatial heterogeneity in ecological systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003,2(32):346—352.
- [5] Levin S A. Dispersion and population interaction. *Am Nat*, 1974,108:207—228.
- [6] Wang J, Liu S Y, Ran J H, Wang C H, Shen L, Jiang P, Guo C. Effects of annual net primary productivity of forest ecosystem and habitat complexity on species diversity of small mammals. *Acta Theriologica Sinica*, 2004,24(4):298—303.
- [7] Yang W K, Zhong W Q, Gao X Y. A review of studies on avian habitat selection. *Arid Zone Research*, 2000,17(3):71—78.
- [8] Whittaker R H, Levin S A. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theor Popul Biol*, 1977,12:117—139.
- [9] William M T, John J M. Patterns in the species composition and richness of fish assembles in northern Wisconsin lakes. *Ecology*, 1982,63(4):1149—1165.
- [10] Jetz W, Rahbek C. Geographic range size and determinants of avian species richness. *Science*, 2002,297(8):1548—1551.
- [11] Kolter B P, J S Brown and William A. Mitchell. The role of predation in shaping the behaviour, morphology and community organization of desert rodents. *Aust. J. Zool.*, 1994, 42: 449—466.
- [12] Dai K, Zhong W Q, Hu D F, Yao J. Coexistence mechanism of desert small mammals and spatial heterogeneity. *Zoological Studies in china* —

- 14th Congress of China Zoological Society & Proceeding of the 65 anniversary of the Founding of China Zoological Society, Beijing, 1999. China National Knowledge Infrastructure, CNKI.
- [13] Liu W, Zhong W Q, Wan X R. Advance in the research of home range in rodents. Chinese Journal of Ecology, 2002,21(4):36—40.
- [14] Danielson B J. Communities in a landscape: the influence of habitat heterogeneity on the interactions between species. Am Nat, 1991,138: 1105—1120.
- [15] Zhang Y M, Liu J K. The biological characteristics of subterranean rodents and their roles in ecosystem. Acta Theriologica Sinica, 2002, 22(2): 144—154.
- [16] Fahrig L, Merriam G. Habitat patch connectivity and population survival. Ecology, 1985,66:1762—1768.
- [17] Ye X T, Ma Y, Feng Z J. Variation and spatial pattern of rodent species richness in north China (Hubei) plain and loess plateau. Acta Theriologica Sinica, 1998,18(4):260—267.
- [18] Bascompte J, Rodriguez M A. Self-disturbance as a source of spatiotemporal heterogeneity: the case of the tallgrass prairie. J theor Biol, 2000, 204:153—164.
- [19] Soderquist T R, Nally R M. The conservation value of mesic gullies in dry forest landscapes: mammal populations in the box-ironbark ecosystem of southern Australia. Biological Conservation, 2000,93:281—291.
- [20] Wang Y, Zhang M W, Li B, Wang K R. Rodent community structure and succession in different ecotypic areas in Dongting Lake region. Rural Eco-environment, 2003,19(1):13—17.
- [21] Li Y M, Xu L, Ma Y, Yang J Y, Yang Y H. The species richness of nonvolant mammals in Shennongjia Nature Reserve, Hubei Province, China: distribution patterns along elevational gradient. Chinese Biodiversity, 2003,11(1):1—9.
- [22] Zhang D M, Jiang T, Ma H M T, Ai N W E, Wang J M, Li W. The community structure and its change of rodents in Alatau pass. Acta Theriologica Sinica, 1998,18(22):154—155.
- [23] Jin X X, Ji Y, Zhou X D, Zhang D M. Study on relationship between distribution of rodent community and types of habitat in Mosowan region of Xinjiang. Sichuan Journal of Zoology, 2005,24(4):473—477.
- [24] Hansson L. Geographic differences in bank voles (*Clethrionomys glareolus*) in relation to ecogeographic rules and possible demographic and nutritive strategies. Ann Zool Fenn, 1985, 22: 319—328.
- [25] Zhang M W, Wang Y, Guo C, Li B. Habitation pattern in farmhouse of the house rodents in Dongting Plain area. Acta Theriologica Sinica, 2003, 23(2):145—152.
- [26] Wu J G. Landscape Ecology: pattern, process, scale and hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000. 99—117.
- [27] Xiao D N, Li X Z, Gao J, Chang Y, Li T S. Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2003. 52—59.
- [28] Xu X J, Lv J W, Xie Z L, Ji S B, Zhou S T, Wang C H. Digestive tract morphology of apodemus agrarius manchuricus and cricetus barabensis manchuricus in the plantation of lower nenjing valley. Chinese Journal of Zoology, 2008,43(6):131—136.
- [29] Sullivan T P, Lautenschlager R A, Wagner R G. Clearcutting and burning of northern spruce-fir forests: implications for small mammal communities. Journal of Applied Ecology, 1999,36:327—344.
- [30] Sullivan T P, Sullivan D S. Influence of variable retention harvests on forest ecosystems II. Diversity and population dynamics of small mammals. Journal of Applied Ecology, 2001,38:1234—1252.
- [31] Frauke E, Ola L, Dieke S. Population dynamics of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. Journal of Applied Ecology, 2002,39:781—792.
- [32] Williams S E, Marsh H. Winter J. Spatial scale, species diversity, and habitat structure: small mammals in Australian tropical rain forest. Ecology, 2002,83: 1317—1329.
- [33] Li J S, Song Y L, Xu C B, Zeng Z G, Song Y. Studies on bio-diversity of small mammals along different habitat gradients in the Xiao Xing an Ling Forest Region, China. Acta Ecologica Sinica, 2003,23(6):1037—1047.
- [34] Meserve P L, Yunker J A, Gutierrez J R, Contreras L C, Milstead W B, Lang B K, Cramer K L, Herrera S, Lagos V O, Silva S L, Tabilo E L, Torrealba M A, Jaksic F M. Heterogeneous responses of small mammals to an El Nino southern oscillation event in north-central semiarid Chile and the importance of ecological scale. J Mamm, 1995,76:580—595.

参考文献:

- [2] 李哈滨,王政权,王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. 应用生态学报,1998,9(6):651~657.
- [3] 祁元,王一谋,王建华. 农牧交错带西段景观结构和空间异质性分析. 生态学报,2002,22(11):2006~2014.
- [4] 陈玉福,董鸣. 生态学系统的空间异质性. 生态学报,2003,2(32):346~352.
- [6] 王劼,刘少英,冉江洪,王昌河,沈丽,蒋平,郭聪. 森林生态系统年净初级生产力和生境复杂度对小型兽类物种多样性影响. 兽类学报,

- 2004,24(4):298~303.
- [7] 杨维康,钟文勤,高行宜. 鸟类栖息地选择研究进展. 干旱区研究,2000,17(3):71~78.
- [12] 戴昆,钟文勤,胡德夫,姚军. 荒漠啮齿类共存机制与环境异质性. 中国动物科学研究——中国动物学会第十四届会员代表大会及中国动物学会 65 周年年会论文集,1999. CNKI 中国期刊全文数据库.
- [13] 刘伟,钟文勤,宛新荣. 啮齿动物巢区研究进展. 生态学杂志,2002,21(4):36~40.
- [15] 张堰铭,刘季科. 地下鼠生物学特征及其在生态系统中的作用. 兽类学报,2002,22(2):144~154.
- [17] 叶晓堤,马勇,冯祚建. 华北平原及黄土高原啮齿动物物种丰富度的空间格局及其分异. 兽类学报,1998,18(4):260~267.
- [20] 王勇,张美文,李波,王凯荣. 洞庭湖地区不同生态类型区鼠类群落组成及其演替趋势. 农村生态环境,2003,19(1):13~17.
- [21] 李义明,许龙,马勇,杨敬元,杨玉慧. 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. 生物多样性,2003,11(1):1~9.
- [22] 张大铭,姜涛,马合木提,艾尼瓦尔,王建明,黎唯. 阿拉山口啮齿动物群落结构及其变化. 兽类学报,1998,18(22):154~155.
- [23] 靳新霞,纪勇,周旭东,张大铭. 新疆莫索湾垦区啮齿动物群落分布与生境类型关系的研究. 四川动物,2005,24(4):473~477.
- [25] 张美文,王勇,郭聪,李波. 洞庭平原农家鼠的栖息格局. 兽类学报,2003,23(2):145~152.
- [26] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社,2000,99~117.
- [27] 肖笃宁,李秀珍,高峻,常禹,李团胜. 景观生态学. 北京:科学出版社,2003,52~59.
- [28] 徐兴军,吕建伟,谢振丽,计沈斌,周双涛,王昌河. 嫩江下游人工林中黑线姬鼠与黑线仓鼠的消化道形态及其取食策略. 动物学杂志,2008,43(6):131~136.
- [33] 李俊生,宋延龄,徐存宝,曾治高,宋影. 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,2003,23(6):1037~1047.