

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

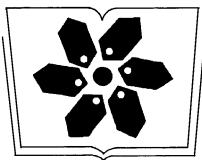
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 莹,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106240941

吴永杰, 杨奇森, 夏霖, 冯祚建, 周华明. 贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局. 生态学报, 2012, 32(14): 4318-4328.

Wu Y J, Yang Q S, Xia L, Feng Z J, Zhou H M. Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4318-4328.

贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种 多样性的垂直分布格局

吴永杰^{1,3}, 杨奇森^{1,*}, 夏霖¹, 冯祚建¹, 周华明²

(1. 中国科学院动物研究所动物进化与系统学院重点实验室, 北京 100101;

2. 贡嘎山国家级自然保护区管理局, 康定 626000; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为了解贡嘎山地区物种多样性的垂直分布格局, 2010 年 4—9 月利用夹日法对贡嘎山东坡非飞行小型兽类的物种多样性进行了详细调查。调查在海拔 1200—4000m 之间按 400m 间隔设置了 8 个采集样地, 累计布夹 28800 夹次, 捕获非飞行小型兽类个体 701 个, 观察记录到松鼠个体 25 个, 共调查记录小兽个体 726 个, 分属于 3 目 6 科 16 属 25 种。非参数估计的物种丰富度 Chao2 和 Jackknife2 指数以及物种累积曲线评估表明本次调查取样充分, 能很好地反映该地区非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局。结果表明: 非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局为单峰模型; 物种丰富度和物种多度在中海拔地区最高, 在低海拔和高海拔地区较低; 相反, 物种均匀度在中海拔地区较低, 在低海拔和高海拔地区较高; 而物种优势度则随着海拔的升高而逐渐增加; Shannon-Wiener、Fisher- α 、Margalef 三个综合性物种多样性指数均显示物种多样性在中海拔地区最高; 与其它多样性指数相比, Simpson 指数未能很好地反映出不同海拔段群落物种多样性的垂直分布差异; 而与 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数相比, Fisher- α 和 Margalef 指数对不同物种组成的群落多样性区分较好。同时, 基于不同海拔段物种组成的聚类分析结果也表明物种多样性在中海拔地区最高。物种多样性在中海拔地区最高的垂直分布模式提示我们在贡嘎山地区的生物多样性保护和生态管理中应特别重视中海拔地段, 因为该地段中居于生态食物链中间位置的小兽物种最丰富, 是山地生物多样性保护的关键。此外, 规范统一的调查方法将有利于研究数据的整合和减少人为因素带来的误差。

关键词: 贡嘎山; 小型兽类; 物种多样性; 海拔梯度; 分布格局

Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain

WU Yongjie^{1,3}, YANG Qisen^{1,*}, XIA Lin¹, FENG Zuojian¹, ZHOU Huaming²

1 Key Laboratory of the Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Administration of Gongga Mountain National Nature Reserve, Kangding 626000, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: To understand the species diversity distribution pattern of Gongga Mountain, we surveyed the diversity of non-volant small mammals along the elevational gradient on the eastern slope of Gongga Mountain from April to September in 2010. Eight sampling sites were set along the elevational gradient from 1200m to 4000m with an interval of 400m, and 701 small mammals were captured in 28800 trap nights. Plusing the 25 field observed squirrels, our study surveyed totally 726 individuals representing 25 species that were belong to 16 genera, 6 families and 3 orders. The two non-parametric estimations of species richness Chao2 and Jackknife2 as well as the species cumulative curve demonstrated that the sampling

基金项目: 国家自然科学基金特殊学科点项目 (J0930004); 中国科学院动物进化与系统学重点实验室开放课题 (O529YX5105)

收稿日期: 2011-06-24; **修订日期:** 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangqs@ioz.ac.cn

of non-volant small mammal species were adequate and well reflected the diversity distribution pattern along the elevational gradient. The results showed that the species richness and abundance patterns for non-volant small mammals along the eastern slope of Gongga Mountain were hump-shaped with the highest richness at mid-elevation, but decreased at both lower and higher elevations. In contrast, species evenness displayed a distribution pattern with high evenness at high and low elevations but low evenness at mid-elevation, whereas species dominance index increased gradually along the elevational gradient. Four widely-used diversity indices (Shannon-Wiener, Simpson, Fisher- α and Margalef) were used to compare the diversity discrepancy between different elevational communities and also used to reveal the diversity distribution pattern. The Fisher- α and Margalef diversity indices seemed to reveal the diversity discrepancy between different communities much better than the Shannon-Wiener and Simpson diversity indices. Meanwhile, Simpson diversity index failed to reflect the unimodal distribution pattern of diversity along the gradient. The elevational distribution patterns of the diversity indices showed the same distribution pattern as the species richness and abundance with peaks at the mid-elevation. This result was also supported by clustering analysis based on the species composition of the 8 elevational bands. This unimodal diversity distribution pattern suggests that the mid-elevational area should be paid more attention in the diversity conservation and ecological management of Gongga Mountain, because it harbors the highest diversity of small mammals and these irreplaceable species play important and fundamental roles in maintaining the health of mountain ecosystems. Furthermore, standard and unified sampling methods could be contributive to the integration of research data so as to reduce any artificial errors from different diversity investigation methods.

Key Words: Gongga Mountain; small mammals; species diversity; elevational gradient; distribution pattern

对物种及其多样性空间分布格局现状和成因的探讨一直是生态学和生物地理学研究的重要内容之一。物种多样性的空间分布格局是物种多样性在三维空间中的分异情况,除了水平维度(经纬度)的分布格局得到了较多的研究外^[1-2],物种多样性沿海拔梯度的垂直分布规律在生物地理学和全球气候变化等领域中也得到了广泛的关注^[3-10]。生物多样性保护的一个重要原则是选择生物多样性高的地区进行重点保护,从而使有限的资源保护尽可能多的物种。因此,保护生物多样性最根本的是要进行生物多样性的基础调查和研究,弄清楚物种多样性的数量、空间分布等特征^[11]。因缺乏全面深入的调查研究,对物种多样性垂直分布格局类型和解释的讨论至今没有定论,而一些缺乏研究的地区和类群,其物种多样性的资料对于认识以上问题就显得尤为重要^[12-13]。在全球 25 个生物多样性热点之一的横断山地区^[1]开展物种多样性的研究,将有助于我们了解该地区物种多样性的现状和格局,为生物多样性保护和管理提供科学的参考。

1 研究区域

贡嘎山坐落于青藏高原东南部,位于横断山脉中部大渡河与雅砻江之间的大雪山系中段,主峰海拔 7556m,是横断山地区的最高峰。研究区域所在地位于贡嘎山主峰东坡的海螺沟地区(29°20'—30°39'N,101°30'—102°12'E),区内年最高气温为 23.2℃,年最低气温为-14.0℃,年平均气温 4.2℃;本地区降水充沛,年平均降水日数多达 261d,蒸发量小,年平均相对湿度在 90% 以上,河川径流特别丰富^[14]。因大渡河下切作用强烈,海拔从贡嘎山东坡大渡河谷猫子坪一带的 1000m 上升至 7556m,水平距离仅 29km,而相对高差达到 6400m^[15-16]。受显著的亚热带季风气候和高山气候影响^[17-19],该地区植被垂直带谱发育完整,基本涵盖了横断山脉中段的各种典型植被类型:干热河谷稀树灌草丛(海拔 1000—1400m)、农林复合区(1400—1800m)、山地亚热带常绿阔叶林(1400—2200m);山地暖温带针阔叶混交林(2200—2700m);山地温带、寒温带暗针叶林(2700—3600m);亚高山亚寒带灌丛草甸(3600—4200m);高山寒带流石滩植被(4200—4900m);极高山永久冰雪带(4900m 以上)^[3,20]。

2 实验方法

2.1 调查取样方法

根据贡嘎山地形、气候、植被特点以及前人研究方法,本研究在海拔 1000—4000m 间设置了 8 个采集地

点,每采集地点间的海拔高度相差 400m,各采集点大致地名和海拔分别为猫子坪(1200m)、大水沟(1600m)、一号营地(2000m)、瓢棚子(2400m)、海螺灵石(2800m)、三营地(3200m)、上站(3600m)、高山长草坝(4000m)(图 1)。在每个采集点内选择典型植被类型作为样地,在阴坡和阳坡各设 1 条样带。每条样带内沿水平方向设置 6 个样方,样方间距大于 25m 并尽量覆盖该地段内所有小生境。每个样方内按正方形置夹 25 个(5m×5m),夹距 3—5m(图 2),每样方均置夹 6d 以上。

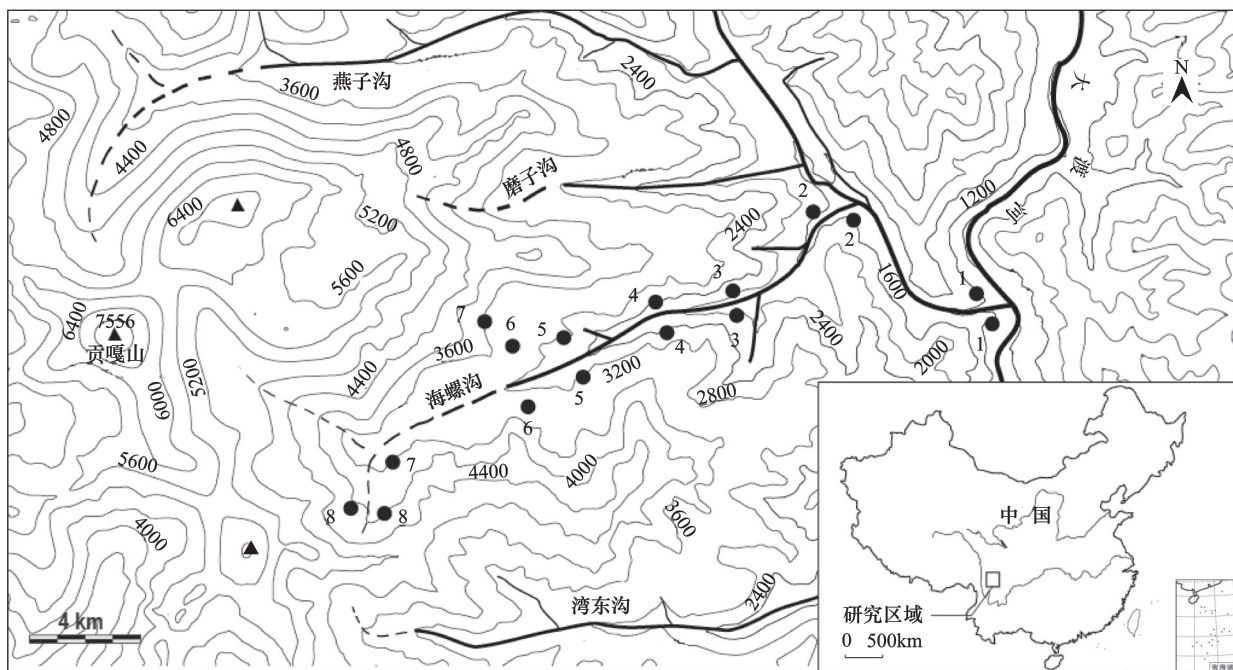


图 1 贡嘎山东坡海螺沟地区图和各取样点的位置

Fig. 1 Study area shows the sampling sites along the Hailuo Valley on the eastern slope of Mt. Gongga

数字和圆点代表采样点的顺序和位置;实线表示河流,虚线表示冰川

以新鲜花生和五香豆腐干为诱饵,每日黄昏布夹,翌日清晨检查收取样本,并对缺失损坏诱饵和鼠夹进行更换和补充,对捕获成功的铁夹用打火机进行烟熏处理,在消除异味后重布,对前 2d 内未有捕获的样方进行转移安置,样方转移距离不超过 25m。对样地海拔、生境、植被类型、坡度(坡度计)、距最近水源距离(通过样线、步测估计样方到长流水源的距离)等进行详细的记录。对捕获样本进行编号和鉴定,确定种名和性别,测量其体重、体长、尾长、后足长、耳长,将肌肉组织样品和头骨用无水乙醇或 95% 医用乙醇浸泡保存。对鉴定困难或存在疑问的个体制作假剥制标本或用无水乙醇浸泡处理以用于后期物种鉴定,所有样品和标本均保存于中国科学院动物研究所标本馆。

为了排除一次调查带来的遗漏,实验分为冷湿季(4—6 月)和暖湿季(7—9 月)对贡嘎山东坡同一山体相同海拔带的物种多样性进行了重复调查。不同季节样地海拔大体相同但位置不同,样带间距离大于 200m,以避免前一季节去除取样对本季节调查的影响。

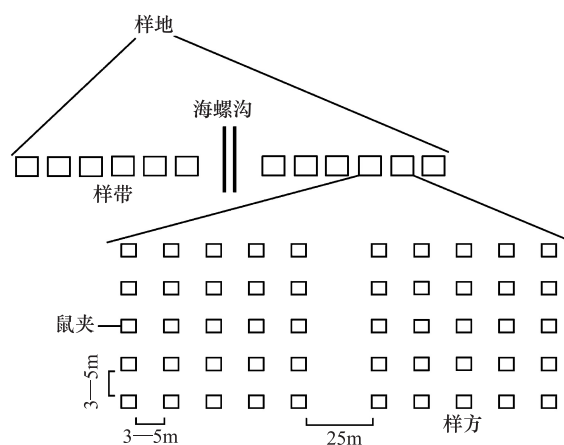


图 2 样带和样方设置

Fig. 2 Transects and quadrats setting

2.2 统计分析方法

物种丰富度用最直观的物种数来说明,实际捕获物种丰富度指样方内实际调查捕获的物种数,矫正物种丰富度通过假设物种分布区连续模型进行插值矫正。矫正方法为:若某物种分别在较低海拔和较高海拔地区都有被捕获到,那么可认为该物种在两个海拔之间的地段也有分布^[21,23]。另外,如果一个物种只在暖湿季节被捕获到,则被认为其在冷湿季的海拔相近地区也有分布;如果一个物种在冷湿季节被捕获到,也认为其在暖湿季节的海拔相近地区有分布。两个季节综合后的插值矫正物种数才是本文最终最可信的物种丰富度。

物种多度即样方中所有物种个体数之和,以捕获率(捕获个体数/置夹数量)作为相对指标来体现。物种均匀度用 Pielou 均匀性指数和 B&G 均匀性指数来体现。物种优势度用群落中某一个物种个体数占有所有个体数比例的大小来反映,即伯杰帕克指数(Berger-Parker's dominance)。

为了方便和其他研究进行比较,本研究将 Shannon-Wiener、Simpson、Fisher- α 、Margalef 4 个综合性物种多样性指数作为分析比较物种多样性高低的重要参考指标。

各指数的计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数 H 计算公式为:

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

式中, S 为样方内所有物种数, P_i 为物种 i 的个体在群落中所有个体所占比例。

Pielou 均匀性指数 E 计算公式为:

$$E = \frac{H}{\log_2 S}$$

式中, H 为香农威纳多样性指数值, S 为样方内所有物种数。

Buzas & Gibson 均匀度指数 B 计算公式为:

$$B = \frac{e^H}{s}$$

式中, H 为香农威纳多样性指数, e 为自然对数, S 为样方内所有物种数。

Berger-Parker 优势度指数 M 计算公式为:

$$M = \frac{N_i}{N}$$

式中, N_i 为最优势种的个体数, N 为样方内所有物种个体总数。

Simpson 多样性指数 D 计算公式为:

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

式中, S 为样方内所有物种数, P_i 为物种 i 的个体在群落中所有个体所占比例。

Fisher- α 多样性指数 α 计算公式为:

$$S = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right)$$

式中, S 为样方内所有物种数, N 为样方内所有物种个体总数。

Margalef 多样性指数 R 计算公式为:

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

式中, S 为样方内所有物种数, N 为样方内所有物种个体总数。

本研究使用物种数累积曲线图来验证调查取样是否较将样地内的物种捕捉完全^[6,22-23],并根据实际样本的捕获情况用非参数估计的方法来估计总体的物种数^[24-26],通过比较非参数估计的物种数和实际捕获的物种数来验证取样是否充分。根据已有研究资料,本研究选取 Chao2 和 Jackknife2 两个相对准确的参数来估计

样方物种数^[21,26-28]。

对物种丰富度和物种多度等多样性指标进行 Pearson 相关分析,对各个海拔段的物种组成进行聚类分析。所有物种多样性指数计算、相关和回归拟合分析、聚类分析均在 Past^[27]、EstimateS (R. K. Colwell, <http://purl.oclc.org/estimates>)、RangeModel (R. K. Colwell, <http://viceroy.eeb.uconn.edu/rangemodel>)、SPSS17.0 等软件中完成。

3 结果

3.1 物种组成和分布

实验有效布夹 28800 夹次,共捕获非飞行小型兽类个体 701 个,总捕获率约为 2.6%,补充观察记录的岩松鼠(12 只)和隐纹花松鼠(13 只),共调查动物个体 726 个,分属 3 目 6 科 16 属 25 种。其中啮齿目 3 科(松鼠科、仓鼠科、鼠科)8 属 16 种,捕获数占总数量的 81.2%;食虫目 2 科(鼯鼯科、鼯科)7 属 8 种,捕获数占总数量的 13.3%;兔形目 1 科(鼠兔科)1 属 1 种,捕获数仅占总数量的 4.3%;样本损坏无法识别的占总数量的 2.1%。

不同物种垂直分布区大小存在差异:中华姬鼠(*Apodemus draco*)、大耳姬鼠(*A. latronum*)分布范围最广,其垂直分布区约为 3000m;北社鼠(*Niviventer confucianus*)、针毛鼠(*N. fulvescens*)、川西白腹鼠(*N. excelsior*)、安氏白腹鼠(*N. andersoni*)的垂直分布范围也较广,其垂直分布区约为 2000m;而垂直分布范围较窄的是甘肃鼯(*Scapanulus oweni*)、大足鼠(*Rattus nitidus*)、小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)、黄毛鼠(*Rattus losea*)等,其垂直分布区大小不足 800m(图 3)。

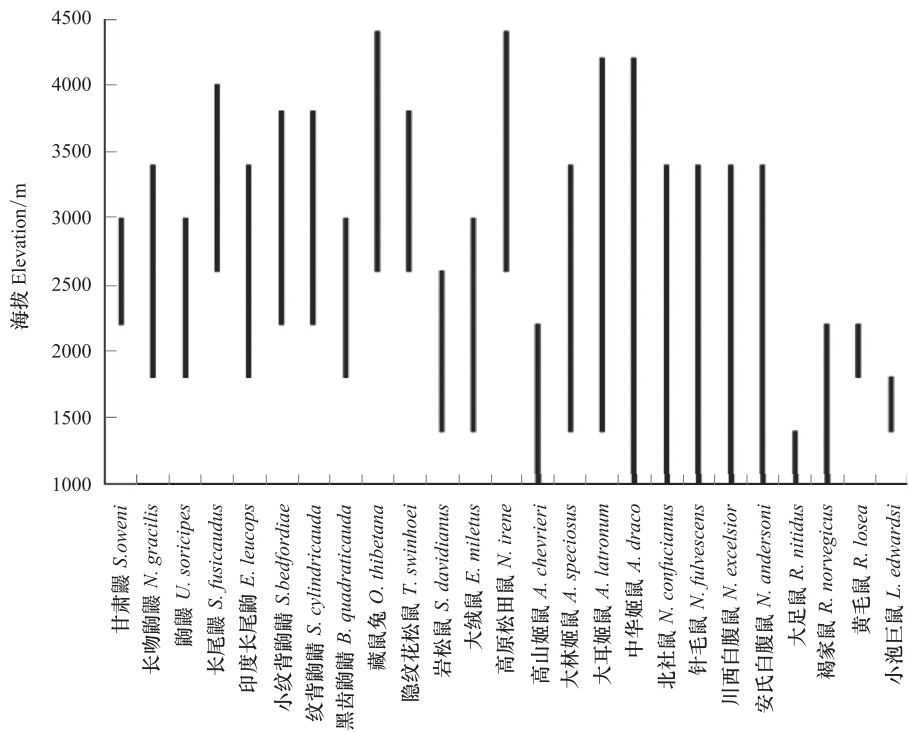


图 3 各物种垂直分布海拔范围
Fig. 3 Elevational distribution of each species

3.2 物种多样性调查取样评估

根据两个季节 8 个海拔段 16 个样地连续 6d 的取样调查结果,作出捕获物种数按天数的累积曲线(图 4)。16 个样地中有 15 个样地的物种数累积曲线在第 5 天后趋于平行,表明调查对样方内物种取样比较完全。各海拔带非参数估计的物种丰富度 Chao2、Jackknife2 值如表 1 所示,回归分析表明实际捕获物种丰富度

与两个非参数估计物种丰富度 Chao2 和 Jackknife2 之间差异不显著 ($R^2 = 0.977, P < 0.01$; $R^2 = 0.921, P < 0.01$)。

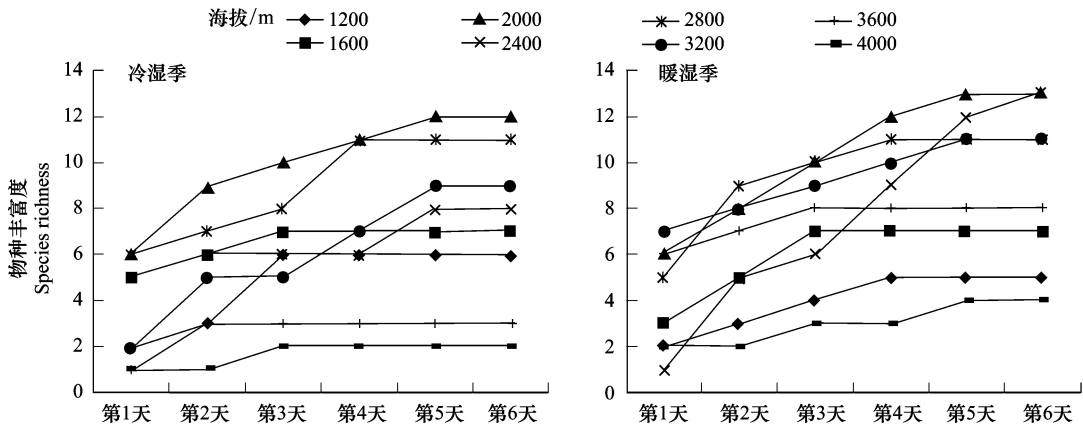


图 4 冷湿季和暖湿季物种累积数随天数变化图

Fig. 4 Species cumulative curves of each sampling site in two seasons

表 1 各海拔带实际物种丰富度、非参数估计丰富度和插值矫正物种丰富度以及其曲线回归拟合决定系数

Table 1 Observed, non-parametric estimated and interpolated species richness in each sampling band and the determination coefficient of curvilinear regressions

海拔带和 R^2 值 Elevation bands and R^2	捕获个体数 Captured individuals	实际丰富度 Observed richness	非参数估计丰富度 Non-parametric estimated richness Chao2±SD	非参数估计丰富度 Non-parametric estimated richness Jackknife2	插值矫正丰富度 Interpolated richness
1000—1250m	34	8	8.75±1.43	11.8	8
1550—1650m	67	10	10.19±0.59	11.5	12
1950—2050m	149	16	19.75±4.27	22.83	16
2350—2450m	129	14	14.75±1.26	17.33	16
2750—2850m	119	16	18.22±2.67	22.17	18
3150—3250m	124	14	15.55±2.03	18.92	15
3550—3650m	84	8	8.0±0.69	6.33	8
3950—4200m	20	4	4.25±0.74	5.83	4
总 Total	726	25	25.44±0.93	26.66	25
R^2 一元二次函数 Second order	0.897 **	0.914 **	0.826 *	0.73 *	0.953 **
R^2 一元三次函数 Third order	0.897 *	0.917 *	0.826	0.73	0.954 **

* * 表示极显著水平 $P < 0.01$, * 表示显著水平 $P < 0.05$

3.3 物种多样性垂直分布格局

3.3.1 物种丰富度、多度垂直分布格局

贡嘎山东坡非飞行小型兽类实际捕获物种丰富度在海拔 2000m 和 2800m 地段最高(表 1),曲线拟合表明非参数估计 Chao2 和 Jackknife2 物种丰富度的垂直分布格局为显著的一元二次单峰曲线模型(表 1),且峰值都出现在海拔 2000m 处。而插值矫正的物种丰富度垂直分布格局为显著的一元二次和一元三次单峰曲线模型且峰值出现在海拔 2800m 处,如表 1 和图 5。

捕获率作为反映群落中物种多度的重要指标,其值随着海拔升高也存在先增加后减少的趋势,物种多度在中海拔 2000—3200m 地区都较高,实际峰值出现在海拔 2000m 地区。曲线拟合表明物种多度的垂直分布格局为极显著的一元二次单峰曲线模型 ($R^2 = 0.888$; $P < 0.01$) 和显著的一元三次曲线模型 ($R^2 = 0.898$; $P < 0.05$) (图 5)。

尽管实际调查物种丰富度和物种多度垂直分布峰值出现的海拔不同,但 Pearson 相关分析表明两者之间存在极显著的正相关关系($R^2=0.803, P<0.01$),即物种丰富度高的地方物种多度也较高。

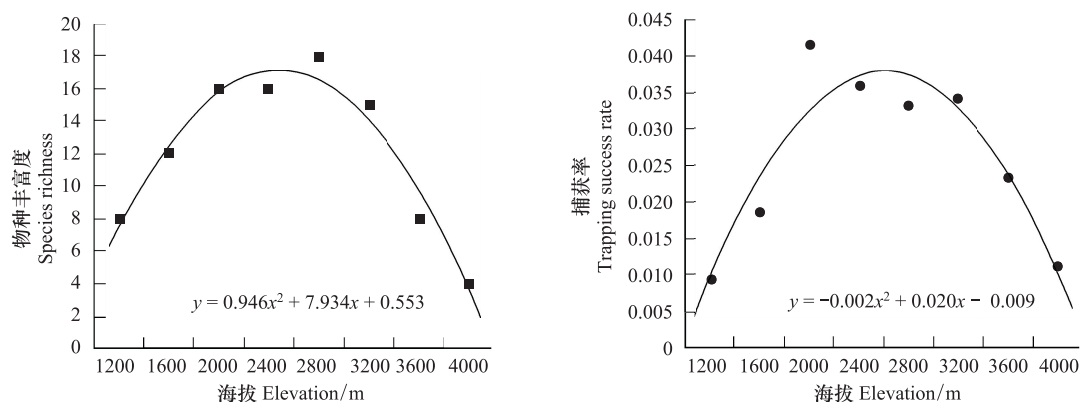


图5 物种丰富度、物种多度垂直分布格局的曲线拟合

Fig. 5 Curvilinear regressions of species richness and abundance along the elevational gradient

3.3.2 物种均匀度、优势度垂直分布格局

B&G 均匀性指数和 Pielou 均匀性指数垂直分布格局都表明物种均匀度在中海拔地区(2000—3200m)最低,曲线回归拟合表明 B&G 均匀性指数垂直分布格局的最优拟合曲线是“U”形一元二次曲线模型($R^2=0.673, P=0.061$), Pielou 均匀性指数一元二次曲线回归拟合不显著($R^2=0.413, P=0.264$)。Berge-Parker 优势度指数随着海拔增加而逐渐增加,曲线拟合表明物种优势度垂直分布格局为显著的指数增长模型($R^2=0.597, P<0.05$),如图6。

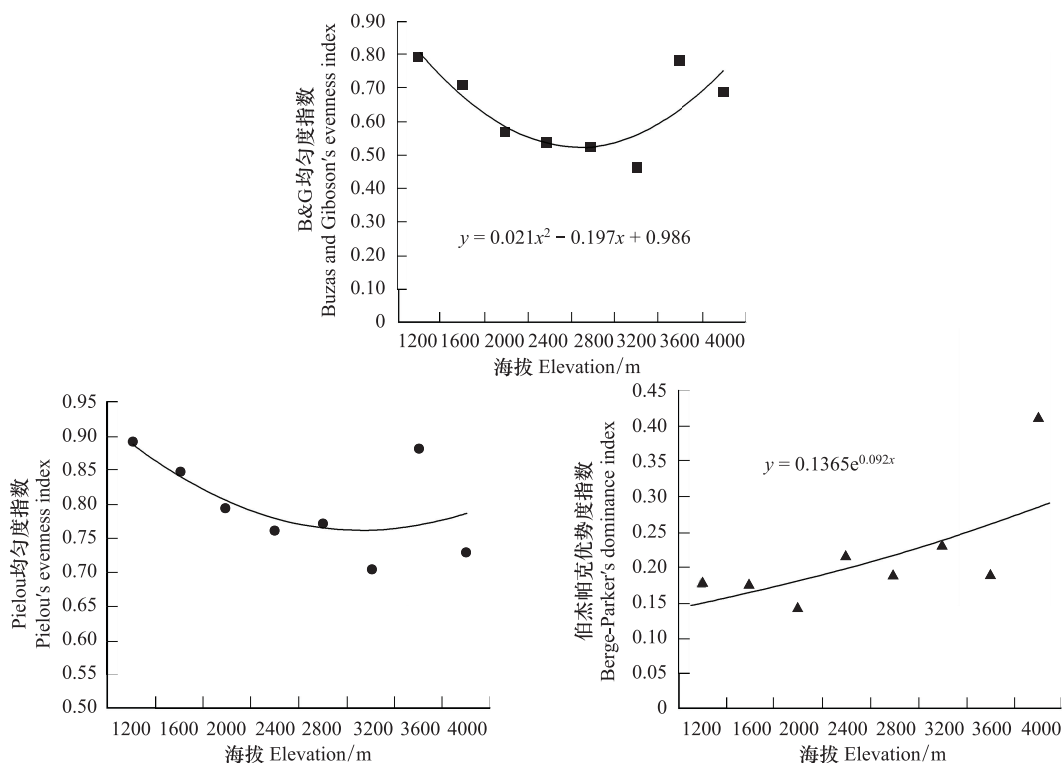


图6 物种均匀度和优势度垂直分布格局的曲线拟合

Fig. 6 Curvilinear regressions of species evenness and dominance along the elevational gradient

对两个均匀度指数和优势度指数进行 Pearson 相关分析表明 B&G 均匀度与优势度之间无显著的相关关系 ($R^2=0.12, P>0.05$), 而 Pielou 均匀度则与优势度之间有显著的负相关关系 ($R^2=0.537, P<0.05$)。

3.3.3 物种多样性指数垂直分布格局

各个海拔段的 Shannon-Wiener、Simpson、Fisher- α 、Margalef 多样性指数大小以及与海拔梯度的一元二次曲线回归拟合关系如表 2 所示, 各指数的垂直分布格局和回归拟合方程如图 7 所示。

表 2 各个海拔带的生物多样性指数

Table 2 Biodiversity indices of each sampling site

多样性指数 Diversity indices	海拔 Elevation/m								一元二次回归关系 Curvilinear regression	
	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	R^2	P
香农威纳指数 Shannon-Wiener index	1.854	1.954	2.207	2.013	2.151	1.864	1.835	1.013	0.863	0.007
辛普森指数 Simpson index	0.822	0.827	0.858	0.783	0.805	0.768	0.811	0.585	0.684	0.056
马格列夫指数 Margalef index	1.985	2.14	3.04	2.692	3.144	2.701	1.58	1.001	0.882	0.005
费歇尔指数 Fisher- α index	3.298	3.255	4.67	4.042	4.994	4.068	2.174	1.504	0.829	0.012

粗体表示显著水平 $P<0.05$

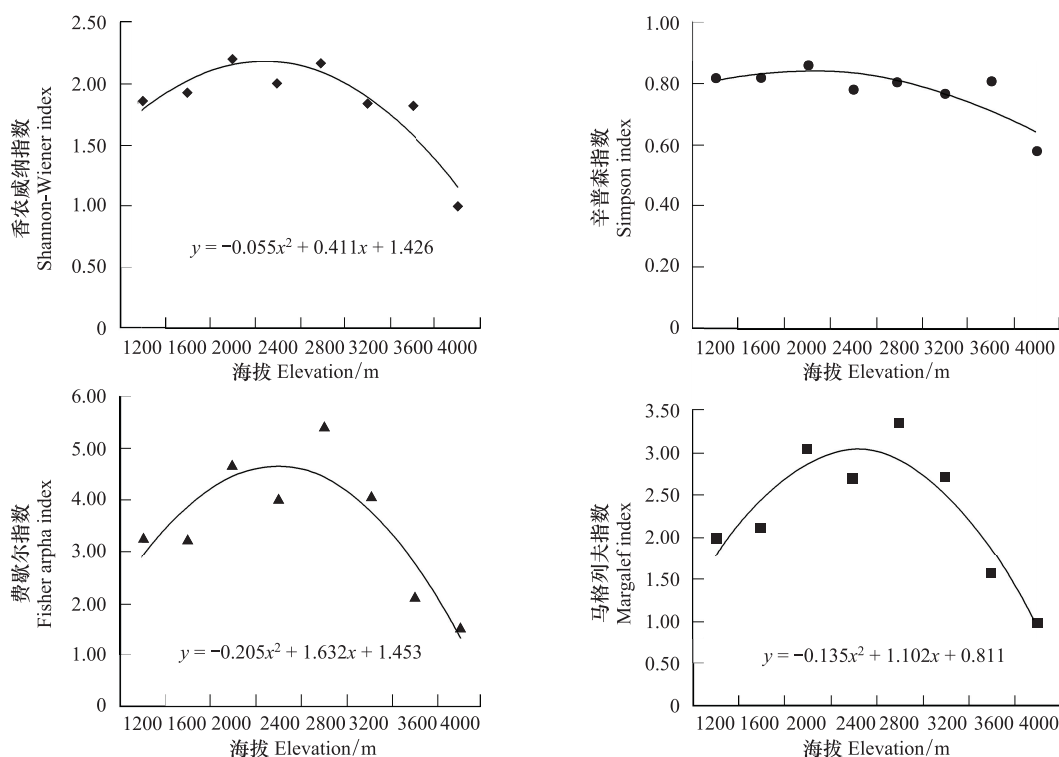


图 7 香农威纳、辛普森、费歇尔、马格列夫多样性指数垂直分布格局的曲线拟合

Fig. 7 Curvilinear regressions of Shannon-Wiener, Simpson, Fisher- α and Margalef diversity index along the elevational gradient

3.4 聚类分析

基于欧氏距离 (Euclidean distance) 的聚类分析表明, 整个贡嘎山东坡的物种可以分为两组, 即高物种多样性组和低物种多样性组 (图 8), 高物种多样性组包括中海拔 2000—3200m 地区, 而低物种多样性组包括高海拔 3600—4000m 地区和低海拔 1200—1600m 地区, 聚类分析较好地反映了该地区不同海拔段物种多样性垂直分布的差异。

4 结论与讨论

4.1 调查时间的选择

有关小型兽类调查取样的方法已有较多描述,但不同学者在物种多样性调查时使用的方法都不尽相同^[6,23,29-33]。由于调查选用的取样方法会对实验结果产生重大影响,甚至不同方法对同一个地区同一对象的调查也会得到不同的结果,这给后期资料的整合带来了很大困难^[4]。因此,统一规范的调查对研究数据的整合和降低人为误差非常重要^[34]。不同学者在同一个地点进行调查时选择的持续捕获天数存在差别:李义明等^[29]选择了 2d;王涓等^[30]选择了 3d;McCain 等^[23]选择了 5d 和 7d;Li 等^[6]选择为 4d,并认为 3d 后物种数不再增加;马俊等^[31]选择持续捕获天数为 5d,并认为 4d 后物种数不再增加。根据本研究 16 个样地连续 6d 的累积捕获物种数情况,37% 的样方在第 3 天后物种数不

增加,56% 的样方在第 4 天后物种数不再增加,93% 的样方在第 5 天后物种数不再增加,甚至有 1 个中海拔地区的样地,在第 6 天后还有“新的”物种出现。因此,要详细调查一定地区小型兽类的种类和数量,同样地连续置夹的天数应视样地具体的环境条件或根据预调查来确定,尽量保证取样的充分和完整;特别是物种较丰富的地区,调查的天数还可适当延长。同时,调查应尽量选择在暖湿季节进行或考虑不同季节的重复调查以降低“漏捕”物种的可能性。由于不同物种食性嗜好不同,调查还应考虑使用多样化的诱饵进行诱捕。此外,通过实际样本的捕获情况用非参数估计的分析方法来估计总体的物种数也能较好地验证取样是否充分和完整^[24-25]。

4.2 多样性指数选择

物种多样性是群落的一个结构特征,反映的是物种水平的生物多样性,其最直观的指标是物种丰富度(物种数)和物种多度(个体数)两个指标,因为其它的多样性指数都是基于这两个基础数据进行计算的。尽管目前有很多用于描述和反映物种多样性的综合指数,如 Shannon-Wiener、Simpson、Fisher- α 、Margalef 指数等等,但这些物种多样性综合指数的数值过于抽象,很难直观地反映出物种多样性的高低,同时物种多样性也不能简单地等同于这些综合指数,因为具有不同物种数和个体数的群落其多样性综合指数可能会相同或相近,甚至出现物种数和个体数都较低的群落其多样性指数高于物种数和个体数都较高的群落,如本研究中海拔 3200m 地区的物种数和个体数都明显高于海拔 1200m 地区,然而其 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数都明显低于海拔 1200m 地区。鉴于此类情况,目前大多数的研究仍选择使用最基本最直观的物种丰富度(即物种数目的多少)来代表和研究物种多样性,由于物种丰富度不能像香农威纳等综合指数那样显示出群落中物种个体数量的差异,因此,分析比较物种多样性时还需借助其它一些重要的指标,如物种多度、均匀度、优势度等等来反映群落内物种间个体数量组成的差异。尽管多样性综合指数在分析不同群落结构的多样性时存在缺点和不足,但在比较物种数和个体数非常相近的群落多样性时仍是较好的指标(如海拔 2400m 地区和海拔 3200m 地区)。

本研究中 Shannon-Wiener、Fisher- α 、Margalef 多样性指数都在中海拔地区(2000—2800m)最高,而在低海拔和高海拔地区较低,且各指数垂直分布格局差异都较显著(表 2 和图 7)。因 Simpson 多样性指数对稀有种作用较小,对普通种作用较大,其对稀有种较多的群落物种多样性区分不明显^[11],由于本调查中出现了稀有种丰富和普通种较优势的情况,且 Simpson 指数垂直分布格局差异也不显著(表 2 和图 7),结果再次表明 Simpson 指数不适用于比较稀有种较多和(或)普通种较优势的群落物种多样性。另外,与 Shannon-Wiener 和

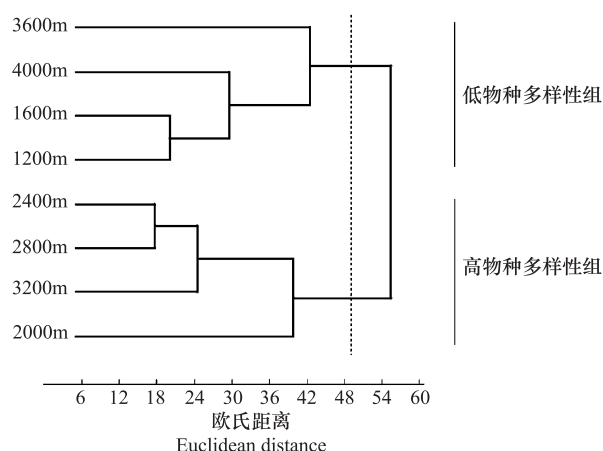


图 8 各个海拔段之间物种组成的聚类分析

Fig. 8 Cluster analysis of the species composition in each sampling site along the elevational gradient

Simpson 指数相比, Fisher- α 和 Margalef 多样性指数能更好地反映出不同群落结构的多样性差别(表 1 和表 2)。

物种优势度在海拔 1200—3600m 之间变化较小,其值大小在 0.14—0.22 之间,结果表明尽管样方中优势种明显,但调查使用的诱饵对大多数物种都有引诱效果,未出现诱饵对某物种过度吸引的情况。海拔 4000m 地段由于物种数较少(4 种),导致该地段出现了较高的物种优势度。研究结果还显示 B&G 和 Pielou 均匀度指数与物种优势度指数有不同的相关性,用 B&G 均匀性指数来衡量物种均匀度时,物种优势度高的地区物种均匀度不一定低;而使用 Pielou 均匀性指数时,物种优势度高的地区其物种均匀度会较低。

4.3 物种多样性分布格局和保护建议

严格来讲,物种多样性的分布格局应该是一个包括三维空间的立体格局,在自然界中包括纬度、经度和海拔高度(海水深度)3 个方向。物种多样性格局概括了一定地域内所有物种个体在三维空间中分布的综合情况,能很好地反映出不同地区物种多样性的高低。因此,Myers 等^[1]基于全球范围内物种多样性的水平分布格局提出了全球的 25 个生物多样性热点地区。这些热点地区很多都处于山区,环境复杂多样的山地生态系统保育了很高的生物多样性,因而物种多样性垂直分布格局的调查研究对于这些热点地区的物种保护和生态管理至关重要。本研究中的实际捕获物种丰富度、非参数估计的物种丰富度以及插值矫正的物种丰富度垂直分布格局都表明物种丰富度在中海拔地区最高;而捕获率作为反映群落中物种多度的重要指标,其峰值也出现在中海拔地区。同时,Shannon-Wiener 等多样性指数的垂直分布格局以及不同海拔段物种组成的聚类分析结果均表明整个贡嘎山东坡小型兽类的物种多样性在中海拔地区最高,这与马俊等^[31]在螺髻山的调查结果相似。该分布模式提示:在贡嘎山乃至横断山地区的生物多样性保护和生态管理中应充分重视中间海拔地段的保护管理,因为该地段中处于生态链中间承上启下关键位置的小型兽类物种多样性最丰富,是整个山地生物多样性保护的关键。

致谢:胡锦涛教授、马勇研究员在标本鉴定过程中给予帮助,野外工作过程中得到四川省甘孜州林业局彭基泰先生、中国科学院(水利部)山地灾害与环境研究所王根绪、李伟、李同阳、曹洋、西华师范大学胡杰教授、党涛老师、曾雪同学、四川省彭州中学的吴永双老师、中国科学院成都生物研究所的邱琳同学、泸定县林业局有关人士、贡嘎山海螺沟保护站的李建均、柏华勇、毛绍军、卢建全、毛建鑫以及中国科学院贡嘎山高山生态观测试验站刘发明、陈锦华的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Myers N, Mittermeier, R A, Mittermeier, C G, da Fonseca, G A B, Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403 (6772): 853-858.
- [2] Lei F M, Qu Y H, Tang Q Q, An S C. Priorities for the conservation of avian biodiversity in China based on the distribution patterns of endemic bird genera. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(12): 2487-2501.
- [3] Shen Z H, Fang J Y, Liu Z L, Wu J. Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the east aspect of Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 721-732.
- [4] Whittaker R J, Willis K J, Field R. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, 2001, 28(4): 453-470.
- [5] Sanchez-Cordero V. Elevation gradients of diversity for rodents and bats in Oaxaca, Mexico. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10(1): 63-76.
- [6] Li J S, Song Y L, Zeng Z G. Elevational gradients of small mammal diversity on the northern slopes of Mt. Qilian, China. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(6): 449-460.
- [7] Fang J Y, Shen Z H, Cui H T. Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 10-19.
- [8] Ferro L I, Barquez R M. Species richness of nonvolant small mammals along elevational gradients in northwestern Argentina. *Biotropica*, 2009, 41(6): 759-767.
- [9] McCain C M. Elevational gradients in diversity of small mammals. *Ecology (Washington D C)*, 2005, 86(2): 366-372.
- [10] Tang Z Y, Fang J Y. A review on the elevational patterns of plant species diversity. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 20-28.
- [11] Sun R Y. *Principles of Animal Ecology (Third Edition)*. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001: 385-405.
- [12] Brown J H. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10(1): 101-109.
- [13] Lomolino M V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10(1): 3-13.
- [14] Lu Y X, Wang G X. Response of Runoff Variation to Climate Change in Hailuoguo Drainage Basin in Gongga Mountain 1990—2007. *Journal of*

- glaciology and geocryology, 2008, 30(6): 961-966.
- [15] Cheng G W. Exploration of precipitation features on extra-hing zone of Mt. Gongga. Mountain Research, 1996, 14(3): 177-182.
- [16] Zheng Y C. Relationship between the main species formation distribution and climatic condition in Gongga mountainous region. Mountain Research, 1994, 12(4): 201-206.
- [17] Thomas A. The climate of the Gongga Shan range, Sichuan province, R. China. Arctic and Alpine Research, 1997, 29(2): 226-232.
- [18] Zhong X H, Zhang W J, Luo J. The characteristics of the mountain ecosystem and environment in the Gongga Mountain region. Ambio, 1999, 28(8): 648-654.
- [19] Zhang R Z, Zheng D, Yang Q Y, Liu Y H. Physical Geography of Hengduan Mountains. Beijing: Science Press, 1997: 36-58.
- [20] Cheng G W, Luo, J. Successional Features and Dynamic Simulation of Sub-alpine Forest in the Gongga Mountain, China. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(7): 1049-1056.
- [21] Rowe R J, Lidgard S. Elevational gradients and species richness: do methods change pattern perception? Global Ecology and Biogeography, 2009, 18(2): 163-177.
- [22] Heaney L R. Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. Global Ecology and Biogeography, 2001, 10(1): 15-39.
- [23] McCain C M. The mid-domain effect applied to elevational gradients: Species richness of small mammals in Costa Rica. Journal of Biogeography, 2004, 31(1): 19-31.
- [24] Walther B A, Moore J L. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. Ecography, 2005, 28(6): 815-829.
- [25] Chao A, Colwell R K, Lin C W, Gotelli N J. Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. Ecology, 2009, 90(4): 1125-1133.
- [26] Colwell R K, Coddington J A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 1994, 345(1311): 101-118.
- [27] Hammer Ø, Harper D A T, Ryan P D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 2001, 4(1): 1-9.
- [28] Chao A, Chazdon R L, Colwell R K, Shen T J. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. Ecology Letters, 2005, 8(2): 148-159.
- [29] 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. Biodiversity Science, 2003, 11(1): 1-9.
- [30] Wang Y, Wang X D, Hu J C, Chen L M. A preliminary research on small mammal community structure at Tangjiahe Natural Reserve, Sichuan province, China. Acta Theriologica Sinica, 2003, 23(1): 39-44.
- [31] Ma J, WU Y J, Xia L, Zhang Q, Ma Y, Yang Q S. Elevational diversity of small mammals in Luoji Mt. Nature Reserve, Si-chuan Province. Acta Theriologica Sinica, 2010, 30(4): 400-410.
- [32] Gong Z D, Wu H Y, Duan X D, Feng X D, Zhang Y Z. The species diversity and distribution trends of small mammals in Hengduan Mountains, Yunnan. Biodiversity Science, 2001, 9(1): 73-79.
- [33] Zhang Y Z, Gong Z D, Wu H Y, Cai Q S, Luo H K, Li C C, Li Z P. Community structure and vertical distribution of small mammals in Wuliang Mountain Nature Reserve, Yunnan province, China. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 2005, 20(4): 13-17.
- [34] Fang J Y, Wang X P, Shen Z H, Tang Z Y, He J S, Yu D, Jiang Y, Wang Z H, Zheng C Y, Zhu J L, Guo Z D. Methods and protocols for plant community inventory. Biodiversity Science, 2009, 17(6): 533-548.

参考文献:

- [3] 沈泽昊, 方精云, 刘增力, 伍杰. 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析. 植物生态学报, 2001, 25(6): 721-732.
- [7] 方精云, 沈泽昊, 崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容. 生物多样性, 2004, 12(1): 10-19.
- [10] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局. 生物多样性, 2004, 12(1): 20-28.
- [11] 孙儒泳. 动物生态学原理(第三版). 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 385-405.
- [14] 吕玉香, 王根绪. 1990—2007 年贡嘎山海螺沟径流变化对气候变化的响应. 冰川冻土, 2008, 30(6): 960-966.
- [15] 程根伟. 贡嘎山极高山区的降水分布特征探讨. 山地研究, 1996, 14(3): 177-182.
- [16] 郑远长. 贡嘎山区主要植物群落分布与气候的关系. 山地研究, 1994, 12(4): 201-206.
- [19] 张荣祖, 郑度, 杨勤业, 刘燕华. 横断山区自然地理. 北京: 科学出版社, 1997: 36-58.
- [20] 程根伟, 罗辑. 贡嘎山亚高山森林自然演替特征与模拟. 生态学报, 2002, 22(7): 1050-1056.
- [29] 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.
- [30] 王涓, 王小明, 胡锦矗, 湛利民. 唐家河自然保护区小型兽类群落结构. 兽类学报, 2003, 23(1): 39-44.
- [31] 马俊, 吴永杰, 夏霖, 张乾, 马勇, 杨奇森. 螺髻山自然保护区非飞行小型哺乳动物垂直多样性调查. 兽类学报, 2010, 30(4): 400-410.
- [32] 龚正达, 吴厚永, 段兴德, 冯锡光, 张云智, 刘泉. 云南横断山区小型兽类物种多样性与地理分布趋势. 生物多样性, 2001, 9(1): 73-79.
- [33] 张云智, 龚正达, 吴厚永, 蔡乔顺, 罗红开, 李昌朝, 李忠培. 云南省无量山自然保护区小型兽类群落结构及垂直分布研究. 地方病通报, 2005, 20(4): 13-17.
- [34] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元