

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

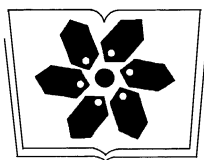
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
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 31 卷 第 19 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对旱稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

刘晔, 沈泽昊. 长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响. 生态学报, 2011, 31(19): 5663-5675.

Liu Y, Shen Z H. The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5663-5675.

长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局 ——气候、土地覆盖及采样效应的影响

刘 晔, 沈泽昊*

(北京大学城市与环境学院生态学系, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要:为了探讨长江三峡库区昆虫丰富度的海拔分布格局以及关键影响因子, 针对库区记录的 3517 种昆虫及其中的害虫, 我们整理了这些物种的海拔分布范围数据, 分析不同分类学水平、种域宽度等级和分类群的物种丰富度海拔分布模式, 采用回归树方法探讨主导的影响因素, 并检验相关的假说。结果显示: 1) 在科、属、种水平, 三峡库区分布的昆虫和害虫丰富度均呈随海拔上升先增而后减的格局; 狭域、中域和广域种具有显著不同的格局, 但三个种域等级的昆虫物种丰富度在海拔 1400m 以上均显著下降, 而害虫丰富度在海拔 1200m 以上即显著下降。2) 对记录昆虫种数 > 20 的科进行 TWINSpan 分类, 得到物种丰富度海拔格局的 4 种主要模式; 尽管不同程度受采样效应的影响, 4 种模式均属于单峰格局; 3) 库区土地利用类型的海拔变化对昆虫、害虫物种丰富度海拔分布具有首要和直接的影响; 水热平衡或初级生产力是影响昆虫海拔格局的主导气候因子; 而 1 月均温 = 0℃ 可能是限制大多数昆虫物种分布上限的临界温度。上述结果表明, 三峡库区的昆虫物种丰富度及其不同组分均具有典型的单峰分布格局, 这种格局是人类活动与气候梯度综合作用的结果, 但前者的作用更为直接, 主要体现在土地利用的海拔梯度变化。这些认识对昆虫多样性资源管理和农林业害虫防治具有参考意义。

关键词: 昆虫; 物种丰富度; 海拔分布格局; TWINSpan 分类; 回归树; 长江三峡库区

The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort

LIU Ye, SHEN Zehao*

Department of Ecology, College of Urban & Environmental Sciences, the MOE Key Lab of Earth Surface Modeling, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: As an important component of biodiversity, the distribution pattern and the determinants of insect diversity has attracted increasing attention. To explore the distribution of insect species richness along the altitudinal gradient in the Three Gorges Reservoir Region, we conducted a series of analyses on a database of 3517 insect species recorded within this area. By compiling the altitudinal range of these species, including the herbivore pest insects, we explore the altitudinal patterns of insect diversity of different taxonomic levels and particular families, and by different range size classes. Regression tree modeling was then applied to uncover the prominent factors regulating the altitudinal patterns of species richness of total insects and pest insects. The analysis revealed that: 1) a unimodal richness pattern along the elevation gradient was found consistently for different systematic levels. Although the patterns are significantly different for the species belonging to the restricted, middle, and broad range size classes, the species richness of all three classes decrease prominently above 1400m a. s. l., whereas the species richness of pest insect begins to decline from 1200 m a. s. l. upwards; 2) TWINSpan was applied and classified the insect families into 4 modes with different altitudinal patterns of species richness. Although the estimates are biased because of greatly unbalanced sampling, all the four modes are

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30870432)

收稿日期: 2011-06-23; 修订日期: 2011-09-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shzh@urban.pku.edu.cn

unimodal type; (3) the change of land cover composition along the altitudinal gradient plays a direct and primary role in regulating the patterns of all insects and pest insects species richness. Water-energy or primary productivity indicated by the actual evapotranspiration follows as a prominent climatic variable for the pattern of insect species richness. The inflection point of species richness is probably controlled by the isoline of 0°C in January, representing the threshold temperature for the upper limit of the majority of insect species. We suggest that the altitudinal patterns of insect species richness, as well as their taxonomic components are the result of joint effects of human activity and climate variation along the gradient, with the former being more direct, reflected as the altitudinal change of land cover compositions. This would have substantial implications for insect diversity resource management, as well as the preventive treatment of pests in agricultural-forestry ecosystem.

Key Words: insect; species richness; altitudinal pattern; TWINSpan; regression tree; the Three Gorge Reservoir area of Yangtze River

物种丰富度沿海拔梯度的变化是生物多样性研究的一个热点问题^[1-2]。关于这种梯度变化先后曾经提出多种模式,包括:1)随海拔升高而减小;2)低海拔高平台值;3)中海拔单峰隆起,以及少见的4)随海拔上升而增大^[3-6]。相应地,对物种丰富度大尺度格局(包括海拔格局)的成因探讨产生了数十个以上的假说,主要涉及面积、当前气候、生物和环境的历史演化、生物相互作用、空间效应等方面^[7-9]。然而全球山地环境的多样性与异质性、不同生物类群间的差异,以及相关研究在方法和尺度上的不同,更为生物多样性海拔格局的成因探讨带来了多方面的复杂性。

昆虫的分布与多样性同样受到各种环境因素的限制。而作为一个特定的生物类群,受其体形大小、扩散能力、生活史周期、食物资源和天敌等方面的影响,对环境时空变化有其特有的适应和响应特征^[10-11]。与较易于观察的植物和大型动物相比,昆虫种类复杂多样,人类的认识程度较低,因此对其物种多样性分布格局与形成机制的认识更为缺乏。目前,绝大多数关于昆虫多样性分布的研究是针对某些的特定类群,其中关于蚂蚁、蝴蝶、蜘蛛、甲虫、蚤类等类群的研究相对较多^[12-16]。

针对昆虫物种丰富度的海拔格局,目前认为主要存在两种模式,即随海拔上升而减少和单峰格局^[11,13],也有研究发现特定类群在高海拔出现丰富度峰值。对昆虫物种丰富度海拔格局的解释主要有以下几种假说:1)“两头差”假说^[18-19],即在低海拔受气候胁迫与捕食的影响,在高海拔受制于恶劣气候和资源匮乏;2)“中间好”假说^[20-21],因为研究表明初级生产力往往在中海拔达到峰值;3)人类活动的干扰作用会导致昆虫丰富度显著降低^[13,22-23]。

位于川东-鄂西的三峡库区是我国3个植物特有现象中心之一,也是中国生物多样性的热点地区之一。关于三峡库区生物多样性分布的研究,迄今植物和脊椎动物受到较多关注^[25-29]。由于基础数据的缺乏,关于昆虫多样性分布格局的研究尚很少见。杨星科等在大规模野外调查采集的基础上,出版了《长江三峡库区昆虫》^[31],对库区昆虫的物种数量、类群构成、区系成分等进行了系统全面清理和详细描述,为进一步研究三峡库区的昆虫物种丰富度分布特征提供了一份相当全面的数据资料。本文在此数据基础上,通过对三峡库区昆虫海拔分布信息的整理和分析,试图揭示这一区域昆虫物种丰富度垂直分布格局的基本规律,分析影响昆虫物种(包括害虫)分布的主要生态因子,一方面验证昆虫物种丰富度海拔分布成因的气候假说和人类活动干扰假说,也为这一区域农业及森林虫害的分布和防治提供理论依据和信息支撑。

1 研究区域概况

长江三峡库区西起重庆市区,东至湖北宜昌市宜陵区,地理坐标范围为106°56'—108°8'E,29°31'—31°40'N,全长660km,面积5.4万km²。其行政范围包括重庆和湖北西部21个县市。

三峡库区在地貌上可分为大巴山-巫山山区和渝东平行岭谷区东、西两部分,丘陵和山地占全区总面积的96%以上。东部为大巴山脉、大娄山及八面山等汇聚区,山岭海拔高度多在1500m以上,长江北岸的大神农

之间,该物种全部都有分布。物种分布的海拔中点为物种分布上界与下界海拔的平均值,物种的海拔分布宽度为上、下界海拔高度之差。对于只在一个海拔记录到的物种,假定其海拔分布范围为 100m,其中点即为所在海拔段的海拔中点。

按照上述原则,建立库区昆虫物种海拔分布上、下界、中点以及分布宽度的数据库。每个 100m 海拔段内的物种丰富度 S 定义为在该海拔段内出现的所有物种数目。每个海拔段物种的平均宽度定义为分布中点位于该海拔段内的物种的平均海拔分布宽度。由于部分物种分布观测数据的缺失,本文用于分析的昆虫物种分布数据包括 20 目 317 科 2306 属 3380 种,其中包含常见的农林业害虫 7 目 31 科 62 属 65 种。我们将害虫作为一个单独的生态类群进行数据统计,用于与非害虫的分布格局对比。根据文献[31]记录的野外调查样点的海拔分布,下文数据分析的海拔范围取值为 100—1900m。

2.1.2 环境数据

库区地形数据来自美国航空航天局(NASA)公开发布的 3" 全球数字高程模型(SRTM) (<http://datamirror.csdn.cn/>),经拼接后利用三峡库区范围矢量数据切割得到三峡库区的数字地形栅格数据,然后插值成 100m 分辨率的 DEM。并利用 ArcGIS 计算中的图形代数功能计算整个库区的投影面积。

库区气候数据来自 Worldclim 的全球气候数据集^[35],包括各年 12 个月月均温和月降水量,数据空间分辨率为 1km。利用上述数据源在库区范围内的数据,以 1km 分辨率的栅格单元计算每个栅格的多年平均气候指标:包括年均温(MAT)、一月均温(T_1)、极端最低温(T_{min})、寒冷指数(CI)、年降水(AP)、夏季降水(P_{sum} ,为 6—8 月降水量之和)、实际蒸发量(actual evapotranspiration, AET):

$$CI = - \sum (5 - t), \text{式中}, t \text{ 为小于 } 5^{\circ}\text{C} \text{ 的月均温}^{[37]}。$$

$$AET = P / [0.9 + (P/L)^2]^{1/2}, \text{式中}, P \text{ 为年平均降雨}, L = 300 + 25T + 0.05T^3, T \text{ 为年平均温度}^{[36]}。$$

土地利用数据来自中国科学院地理科学与资源研究所公布 2000 年全球土地覆盖与土地利用数据 GLC2000^[59]。该数据将中国土地利用与土地覆盖类型分为 6 个一级类型和 25 个二级类型,空间分辨率为 1km。我们以海拔 100m 段为统计单元,分别计算各段区域内农田、森林、草地、水域和城镇居民点共 5 种一级地类所占的面积百分比。

根据杨星科的纪录,统计采样总量在每 100m 海拔段出现的频率,以此作为调查采样强度。假设每次调查采样的工作量大致相同。

为了比较这一区域的昆虫物种与植物物种丰富度的海拔梯度,并评价两者之间的可能联系,采用了作者对神农架南坡植物群落样方调查数据,即为每个 100m 海拔段内,面积 600m²的样方中出现的维管束植物种数^[27]。

2.2 数据分析

2.2.1 库区环境和生物因子海拔梯度的相关分析

以库区海拔 100—1900m 梯度上每 100m 海拔段为统计单位,用 Pearson 相关系数分析气候因子、土地利用、面积、植物物种多样性及采样强度之间的相关性(表 1)。

2.2.2 物种丰富度海拔格局的模式分类

不同生物类群往往具有不同的物种丰富度海拔格局^[38-39]。为了识别库区昆虫类群的物种丰富度所具有的不同海拔梯度格局,选择在库区分布种数>20 种的科,计算每 100m 海拔段分布的物种数 n_{ij} (i , 第 i 科; $j=1, 2, 3, \dots, 19$ 。为第 j 海拔段)占该科在库区分布总种数 n_i 的百分比 P_{ij} 。利用数据 P_{ij} ,采用 TWINSpan(二元指示种分析法, Two Indicator Species Analysis)方法划分不同科的物种丰富度海拔格局模式。TWINSpan 分类是基于等级划分的数量分类方法,广泛应用于植物群落分类,其优势在于可以同时对待群落样方(在此即海拔段)和物种(在此即昆虫的科)进行分类。

2.2.3 物种分布的中域效应模型应用

Colwell 认为,由于分布地域几何边界对物种分布的限制,物种丰富度的空间分布格局在未受环境影响的

表 1 物种丰富度格局解释变量之间的 Pearson 相关系数矩阵
Table 1 The matrix of Pearson correlation coefficients between the interpretative variables for species richness pattern

项目 Index	农田面积比 Farmland	森林面积比 Forest	草地面积比 Grass	水域面积比 Water	城镇居民点 面积比 City	实际蒸发量 AET	年降水 AP
植物物种丰富度 Plant	-0.53 *	0.58 **	0.44	-0.50 *	-0.53 *	0.61 **	0.61 **
农田面积比 Farmland		-0.98 ***	-0.78 ***	0.39	0.51 *	-0.91 ***	-0.91 ***
森林面积比 Forest			0.71 ***	-0.51 *	-0.62 **	0.89 ***	0.89 ***
草地面积比 Grass				-0.61 **	-0.68 ***	0.90 ***	0.90 ***
水域面积比 Water					0.98 ***	-0.61 **	-0.61 **
城镇居民点面积比 City						-0.69 ***	-0.68 ***
实际蒸发量 AET							1.00 ***
年降水 AP							
寒冷指数 CI							
年均温 MAT							
夏季降水 P _{summ}							
极端最低温 T _{min}							
1 月均温 T ₁							
各海拔段采样点数 Sampling							

项目 Index	寒冷指数 CI	年均温 MAT	夏季降水 P _{summ}	极端最低温 T _{min}	1 月均温 T ₁	各海拔段 采样点数 Sampling	表面积 Surface
植物物种丰富度 Plant	0.56 *	-0.61 **	0.57 *	-0.61 **	-0.62 **	-0.47 *	-0.31
农田面积比 Farmland	-0.82 ***	0.92 ***	-0.94 ***	0.94 ***	0.89 ***	0.2	0.76 ***
森林面积比 Forest	0.76 ***	-0.89 ***	0.89 ***	-0.91 ***	-0.87 ***	-0.32	-0.65 **
草地面积比 Grass	0.82 ***	-0.88 ***	0.87 ***	-0.87 ***	-0.88 ***	-0.40	-0.47 *
水域面积比 Water	-0.4	0.55 *	-0.46 *	0.52 *	0.61 **	0.86 ***	-0.19
城镇居民点面积比 City	-0.46 *	0.63 **	-0.55 *	0.61 **	0.67 **	0.82 ***	-0.059
实际蒸发量 AET	0.94 ***	-0.99 ***	0.98 ***	-0.99 ***	-0.99 ***	-0.39	-0.62 **
年降水 AP	0.94 ***	-0.99 ***	0.98 ***	-0.99 ***	-0.99 ***	-0.39	-0.63 **
寒冷指数 CI		-0.96 ***	0.96 ***	-0.96 ***	-0.96 ***	-0.22	-0.72 ***
年均温 MAT			-0.99 ***	1.0 ***	1.0 ***	0.35	0.67 **
夏季降水 P _{summ}				-0.99 ***	-0.97 ***	-0.25	-0.75 ***
极端最低温 T _{min}					0.99 ***	0.33	0.70 ***
一月均温 T ₁						0.40	0.62 **
各海拔段采样点数 Sampling							-0.33

P<0.001 ***; P<0.01 **; P<0.05 *

情况下,也会在分布地域中部形成一个对称峰值,即中域效应(mid-domain effect, MDE)^[41]。关于 MDE 的形成机制和空间形态仍存在很多争议,但是许多实例研究支持这种效应的存在,并将其作为一个物种分布的零模型,在物种丰富度的梯度分析中对观测统计值进行环境解释前的校正。为此,Colwell 发布了一个定量预测中域效应的模拟程序 Range Model (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/rangemodel>),用 Monte Carlo 方法生成给定数量物种的丰富度和种域宽度的随机分布格局。

将记录到的三峡地区昆虫分布最大的海拔范围作为模拟的域宽,将不同类群的昆虫种数作为不同的随机抽样样本量,采用 Range Model 中的模型来模拟物种丰富度的海拔梯度格局,并计算其与三峡地区海拔梯度上不同类群丰富度的实际分布格局的差值。

2.2.4 物种丰富度解释的回归树模型

为了解释环境条件对昆虫丰富度沿海拔梯度的分布格局,用去除中域效应的昆虫物种丰富度海拔分布数

据进行进一步分析。考虑以下因素来探讨昆虫物种丰富度的海拔梯度格局:1)气候因子:年均温(MAT)、一月均温(T_1)、极端最低温(T_{min})、寒冷指数(CI)、年降水(AP)、夏季降水(P_{sum})、实际蒸发量(AET);2)土地覆盖/利用:农田、森林、草地、水域、城市等5类的面积百分比;3)植物种丰富度;4)各海拔段的采样点数(sampling);5)各海拔段投影面积。

考虑到分析指标的复杂性和内在相关性,采用回归树方法来进行分析。回归树模型是一种非参数分类算法,利用反复的二叉树算法将数据分割成更为均质的子集,直至达到一个预定的终点。这一方法的优势是允许预测与响应变量之间的非线性关系,和预测变量之间复杂的交互作用,并能够得到直接、可解释性强的结果。

用 ArcGIS9.2 完成空间数据的提取和处理,用 Excel 完成初步的数据处理,用 PC-ord 执行 TWINSpan 分类,并用 R2.11.1 的 tree 模块完成回归树分析。

3 结果

3.1 昆虫丰富度的海拔梯度

库区分布的昆虫科、属、种和害虫种的丰富度均随海拔上升先增后减(图 2a—c)。在海拔 1000m 以下丰富度随海拔上升而增加的趋势并不明显,并在海拔 100、300、800—1000m 出现 3 个低值;昆虫科、属、种丰富度在海拔 1300m 段出现一个显著峰值,海拔 1400m 以上则出现急剧下降。害虫的物种丰富度在海拔 600m 出现一个峰值,但在海拔 200—1200m 之间变化很小,>1200m 则以明显的趋势减小,在海拔 1600m 以上几乎不见(图 2a—b)。

将所有昆虫种按海拔分布宽度从小到大排序并依次取 1/3 得到狭域、中域和广域种(图 2c)。3 类物种具有显著不同的丰富度海拔格局。狭域种主要分布于海拔 100—200m 和 1200—1400m 段,并在 1900m 段有一较低值,而基本不见于其他海拔段。中域种则主要在海拔 1100—1400m 取得最大值,在海拔 400—700m 段有一次高值区,而不见于 800—1000m 海拔段。广域种丰富度的分布相对连续,在海拔 500—1200m 段取得高的平台值。尽管整体格局不同,3 个类型的昆虫物种丰富度在海拔 1400m 以上都显著下降,临界海拔分别是 1200m(广)、1300m(中)、1400m(狭)。

昆虫种科比随海拔上升先增后减(图 2d)。在海拔 1000m 以下,种科比随海拔上升而增加的趋势并不明显,并在海拔 100、300、800—1000m 出现 3 个低值;昆虫种科比在海拔 1300m 段出现一个显著峰值,海拔 1400m 以上则急剧下降。这与昆虫科、属、种丰富度的海拔分布格局一致。

3.2 不同科昆虫的物种丰富度海拔分布模式

对种数大于 20 的 39 科昆虫进行物种丰富度海拔格局的分类, TWINSpan 得到 4 种主要的模式(图 3)。

(1) 丰富度在海拔 600m 以下达到约 15 种的峰值,在海拔 1200m 有一个 5 种左右的较小峰值,分布上限不超过海拔 1500m。这种分布模式的科有丽金龟科和蜻科;

(2) 在海拔 200—1400m 之间基本保持一个 6—9 种的平台值,海拔 1400m 以上迅速减少。这一格局的科有天蛾科、刺蛾科、条蜂科、舟蛾科和螟蛾科;全部害虫的物种丰富度分布也属于这一类格局(图 3-②中的黑色粗虚线)

(3) 在海拔 1300m 和 200m 分别有主、次两个峰值;海拔 300m 和 800—1000m 有明显的两个低谷,海拔 1500m 以上仍有 1—4 种分布。这样的科包括夜蛾科,叶甲科,尺蛾科,步甲科,天牛科,瓢虫科,毒蛾科,叶蝉科,灯蛾科,盲蝽科,卷蛾科,蜡科,象虫科,钩蛾科,茧蜂科,叩甲科,长蜡科,食蚜蝇科,寄蝇科,鳃金龟科,眼蝶科,蓟马科,蝇科,枯叶蛾科,草蛉科,缘蜡科,尖胸沫蝉科和金龟科。记录种数小于 20 种的所有 278 科昆虫累计的物种丰富度海拔分布也属于这一类型(见图 3-③中的黑色粗线)。

(4) 在海拔 1300m 有一个大于 17 种的峰值,海拔 1000m 以下的各海拔段种数不超过 7 种,没有明显的峰值,而在海拔 1500—1900m 仍有分布。这一模式的科有单嗜科,蛱蝶科,姬蜂科和叶蜂科。

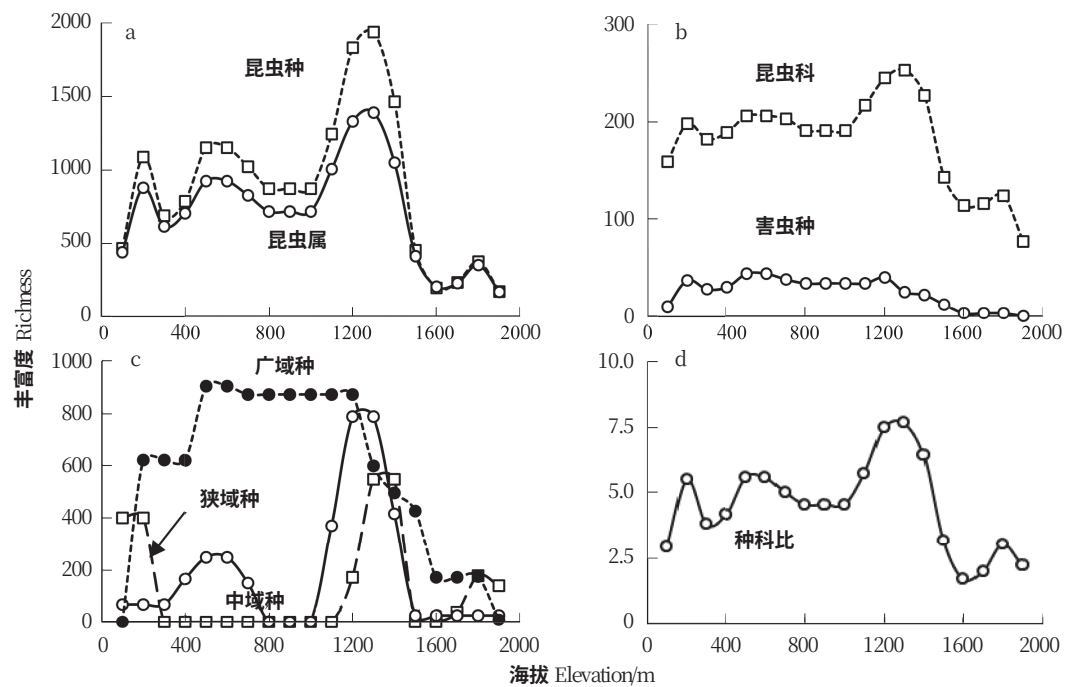


图2 三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局,包括昆虫种属丰富度格局(a),昆虫科和害虫种的丰富度格局(b),不同种域等级物种丰富度的格局(c),及昆虫种科比格局(d)

Fig. 2 Altitudinal pattern of insects richness at species and genus level (a), family level of insects and pest species level (b), altitudinal species richness patterns of three groups of insects with different ranges (c), and the pattern of species to family ratio (d)

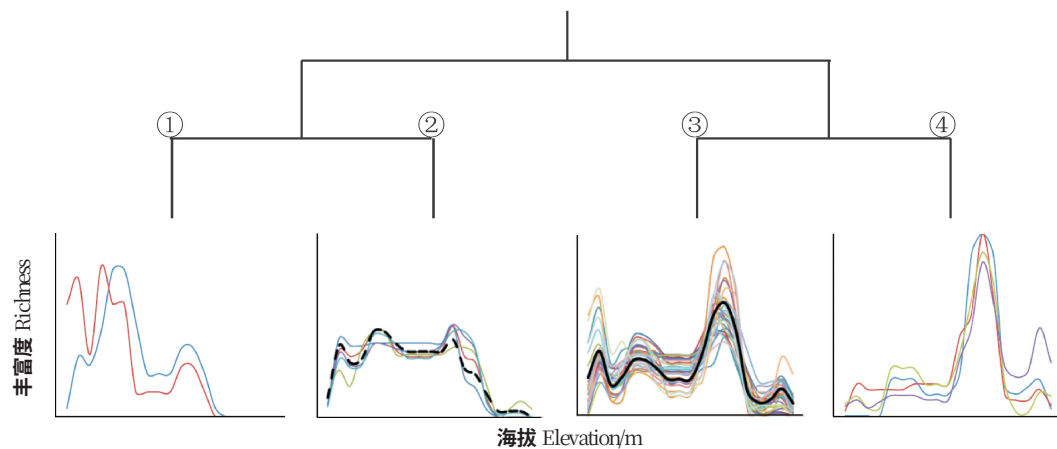


图3 不同科的昆虫种丰富度海拔梯度分布模式 TWINSpan 分类

Fig. 3 TWINSpan classification of the altitudinal patterns of species richness of different insect families

图中不同颜色线条代表不同科;类别②中的粗虚线代表所有害虫种类丰富度的海拔模式;类别③中的粗实线代表 278 个小科的物种总和的海拔模式

3.3 物种丰富度的环境解释

在包含所有预测变量的回归树模型中,无论对于全部昆虫还是害虫的物种丰富度,土地覆盖/利用类型的比例都是首要的决定因素。而以不包含土地利用的其他因子建模,则反映水热平衡或生物生产力的实际蒸散 AET 成为首要的控制因子。用两种模型结构对全部昆虫或害虫丰富度建立的回归树都同样得到 3 个分类单元(图 4)。图中每个端点值为实际观测值减去 MDE 模型预测值的物种丰富度均值 $\pm$ 标准差,故可能出现负值。

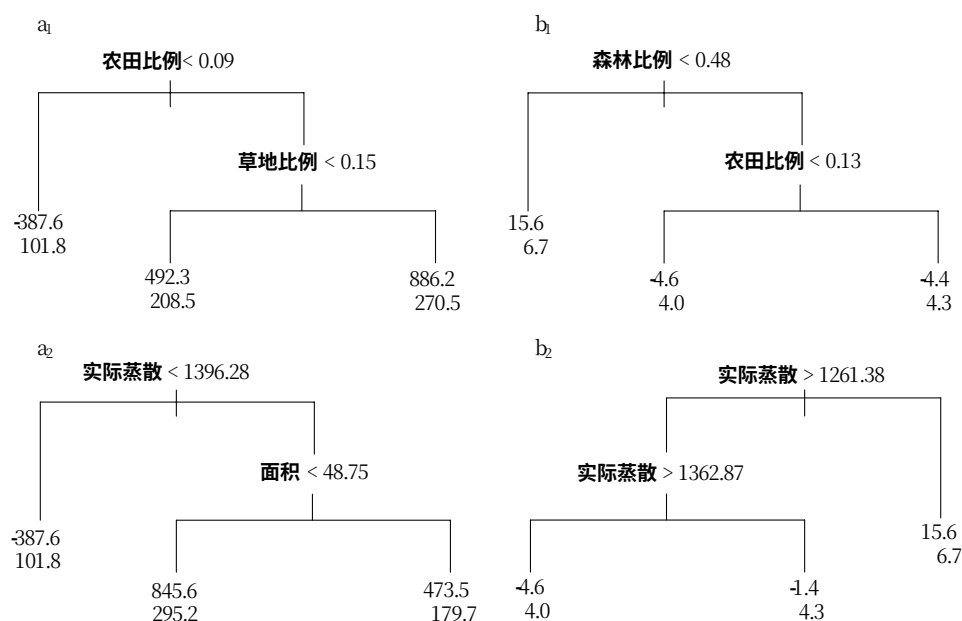


图4 库区昆虫和害虫丰富度格局的回归树解释模型

Fig. 4 The regression tree models for insects and pests species richness patterns

a₁ 用全部解释变量对昆虫丰富度; b₁ 用全部变量对害虫丰富度; a₂ 去掉土地利用类型变量对全部昆虫丰富度; b₂ 去掉土地利用变量对害虫丰富度

对于全部昆虫(图4a₁),首先是以0.09为界,农田(farmland)比例小于此值的刚好位于海拔1400m以上,昆虫的丰富度为(-387.6±101.8)种;在此界限以下地区,又以草地比例0.15为界划分,正好对应于海拔100—500m、800—1100m和600—700m、1200—1400m两段,当草地比例<0.15(对应于海拔100—500m、800—1100m段),昆虫的种丰富度为(492.3±208.5)种,而当草地比例>0.15(对应于海拔600—700m、1200—1400m段),昆虫的种丰富度为(886.2±270.5)种。对于害虫而言,森林面积比是最重要的决定因素(图4b₁)。当forest < 0.48(对应于海拔<600m),害虫物种丰富度最高((15.6±6.7)种);当forest > 0.48时,又以农田比例0.13为界分为两类,当农田面积比小于此值时,害虫的物种丰富度最小((-4.6±4.0)种),而农田面积比大于0.13时,害虫丰富度为(-1.4±4.3)种。

去掉土地利用变量后,用其他预测变量建立的回归树中,气候因子的影响得以显现。无论对于全部昆虫还是害虫,首要的划分变量都是实际蒸散AET。对于全部昆虫(4a₂),以AET值1396.28为界,大于此值的地段昆虫丰富度最低(-387.6±101.8)种,这一划分与图4a₁中根据农田面积比例的划分是完全一致的。其次,以每100海拔段的面积值划分,面积小于48.75的昆虫丰富度较高(845.6±295.2)种,而面积大于48.75的昆虫丰富度较低(473.5±179.7)种。对于害虫的物种丰富度分布(图4b₂),AET是首要的控制因素。当AET < 1261.38(对应于海拔<600m段),害虫丰富度为(15.6±6.7)种,1261.38 < AET < 1362.87(对应于海拔600—1200m段),害虫丰富度为(-1.4±4.3)种,而AET > 1362.87时,害虫的丰富度为(-4.6±4.0)种。

4 讨论与结论

4.1 昆虫丰富度的海拔格局和样本限制

昆虫(包括单一类群或多类群)丰富度的海拔梯度分布两种最常见的格局是随海拔升高而降低或在中海拔出现峰值。本文对三峡库区分布的3517种昆虫分布数据的分析,发现在不同分类水平(即科、属和种)上,这一区域的昆虫(以及害虫)都基本上反映了一个沿海拔梯度的丰富度单峰格局。

在国内同类研究中,关于昆虫多样性的区域格局研究迄今仍然稀少,这主要是受可得数据的限制。本文研究所采用的数据主要是基于在整个三峡库区范围内不同海拔22个样点的昆虫观测数据^[31]。尽管这样的

数据在国内并不多见,但由于样点在水平位置和海拔梯度上分布不均,库区昆虫及其不同生态和区系组分的海拔分布格局明显反映了采样效应的影响。

图 5 反映了全部 22 个样点的海拔,样点所反映的土地覆盖类型以及每一个海拔段的采样频度。假设在每一个采样点的每次采样强度一致,则海拔 50—150m 段的采样强度远大于其他海拔段,而海拔 350—450m, 850—1150m, 1650—1850m 分别存在采样空缺。不同海拔段采样地的土地覆盖类型多样性也有不同。海拔 400m 以下主要为农田、人工林和灌丛等人为活动强烈干扰的类型及水面和湿地。海拔 400m 以上采样点主要由森林生境构成,仅海拔 500m 和 1400m 两段有部分农田。

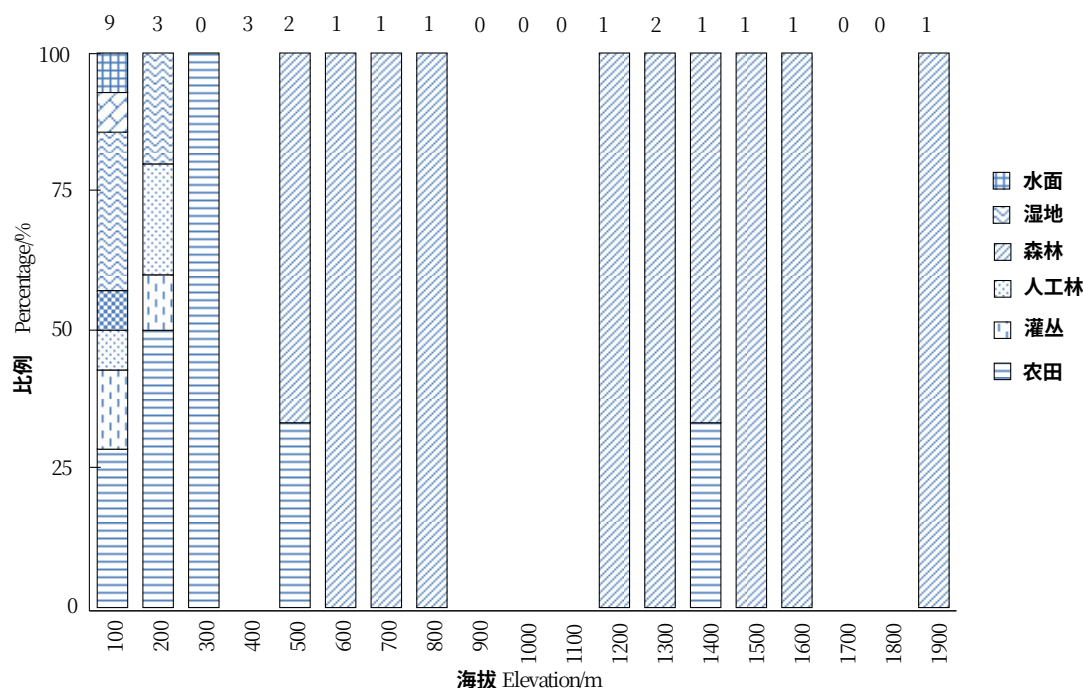


图 5 昆虫调查采样点与采样强度的海拔分布与不同海拔段的土地覆盖类型构成

Fig. 5 The altitudinal pattern of insect sampling points, sampling intensity and area composition of different land cover types

柱状图上方的数字代表采样强度

对照昆虫丰富度海拔格局来看,在海拔 300m、900—1100m 和 1600—1700m 的确存在 3 段明显的低谷,而在海拔 100—200m 由于采样强度明显较大,在 200m 段形成了一个丰富度的次高峰,100m 段的值仍很低;此外,海拔 500—800m 段与海拔 1100—1400m 段的采样强度基本一致的,但后者昆虫丰富度显著高于前者,表明扣除采样效应的影响,库区海拔梯度上昆虫物种丰富度的峰值仍可能在海拔 1100—1300m 之间,而由于海拔 1700m 段的采样缺失效应对昆虫丰富度格局的影响不大,因此现有数据所反映的昆虫丰富度海拔格局基本是可靠的,即在海拔 1100—1300m 以下,昆虫的丰富度沿海拔相对平缓地增加,而在海拔 1400m 以上昆虫的丰富度随海拔上升而迅速下降。这种对于大多数昆虫类群的上限在其他的研究中也有报道。

另一方面,3 个海拔段的采样缺失,对不同(狭、中、广)种域宽度级别的物种丰富度格局有明显影响。其中狭域种在海拔 100—200m, 1200—1400m 和 1700—1900m 形成的 3 个离散的峰值,前者显然与水域和湿地生境的分布有关,中间的狭域种丰富度则可能由于海拔 900—1100m 的采样缺失而被夸大,而海拔 1700—1900m 的峰值也与海拔 1700m 段和 1900m 以上采样的缺失有直接的联系。相应地,如果不存在这三段采样缺失,则中域种在海拔中段的值也会大幅上升,而广域种的丰富度格局不会有大的变化,因为数据缺失段包含在目前的广域种峰值范围内。

采样数据的缺失对不同昆虫的分类群显然有不同的影响,但是由此引起的偏差可能仍不足以改变图 3 所反映的丰富度海拔格局的 4 种模式,即:1) 丰富度峰值集中在低海拔;2) 具有较宽种域且峰值不明显;3) 低海

拔值较高并在海拔 1300m 左右出现峰值;4) 海拔 1000m 以下丰富度较低而适应较高海拔分布的类群。由此来看,本文数据中物种数较多的科的种丰富度海拔格局基本上都表现了单峰格局,只是各科间峰值的海拔存在明显差异。

4.2 土地覆盖类型和气候因子的相对贡献

表 1 显示,以 100m 海拔带为统计单元,三峡库区土地覆盖类型中森林、农田和草地之间、居民点和水体之间、所有气候指标之间,构成 3 组高度显著(正或负)相关的变量。而对所有昆虫或害虫(包括农作物害虫和常见森林害虫)种丰富度建立的回归树表明(图 4),当所有解释变量被同时考虑时,土地覆盖的结构特别是农田、森林和草地的覆盖度,比气候指标对昆虫及其中害虫的物种丰富度海拔格局更具有指示意义。这种结果也见于其他区域性研究。而当不考虑土地覆盖的影响时,AET 成为首要的气候解释变量。由于气候变量和土地覆盖变量对昆虫物种^[14]丰富度格局的识别结果一致,反映了两种指标的内在关联。在山地垂直梯度上,土地利用的类型和强度显著受到气候垂直梯度,特别是能量条件的制约,三峡库区显著的立体农业格局正是这一规律的反映。

海拔 600—1300m 段昆虫总体与害虫物种丰富度变化的差异同样反映人类活动影响的效果。三峡库区低海拔地带人为活动频繁,植被大部分为次生的马尾松、柏树、杉木及竹林等人工纯林和农田、园地、经济林,群落结构简单,物种丰富度较低,加上化学农药的使用,因此昆虫总种类较少;另一方面,害虫由于较为适应人类影响下的环境与食物资源,同时^[25]面临更少的种间竞争和自然天敌威胁,因此低海拔地段害虫种类取得优势,并有较高的物种丰富度。大致自海拔 900m 以上,农业开发显著减少,人类活动对昆虫的影响逐渐减弱,天敌对有害昆虫的控制作用增强,因此在高海拔地段害虫的物种丰富度降低,特别在海拔 1200m 以上显著下降。同时,由于植被逐渐过渡到中山常绿、落叶阔叶混交林类型,群落结构复杂,植物物种丰富度高,也为昆虫提供了更为多样化的食物资源和生境,从而有助于昆虫总种数的提高。因此,尽管 AET 存在沿海拔上升而增大的梯度,人类活动对植被生物量、初级生产力及生境结构的影响应比水热气候本身的影响更为直接。

海拔梯度上昆虫物种丰富度格局的驱动因子可以归纳为三方面:1) 直接的水热条件变化所产生的生理限制;2) 植物性食物资源(如花粉及其它各个部分)及其创造的微生境条件影响植食性昆虫的分布,并通过食物链来间接影响其昆虫天敌的多样性和格局;3) 人类的土地利用和植被改造。其中,气候的海拔梯度是基本的决定性条件,但植物物种和人为活动的分布不仅反映沿海拔梯度的气候变化,而且受山地局部地形的控制,呈现更为复杂的空间格局。

4.3 气候的边界约束效应

另一方面,两种回归树首先将均以昆虫丰富度的峰值为界,分成海拔 1400m 以上和以下两部分。大致在海拔 1300—1400m 以上,不同种域宽度的昆虫物种丰富度都呈显著下降的趋势,到海拔 1600m 左右昆虫的丰富度即已大幅降低。这种变化从平均的气候梯度或土地覆盖类型的变化,无论局部(图 5)或区域尺度(图 6)上的,都找不到对应的显著改变。那么是什么导致了这种临界性变化呢?

根据库区气象台站过去 30a 的气象观测资料建立海拔梯度上的气候指标预测模型,得到海拔 1300m 处多年 1 月均温为 1.25℃,海拔 1600m 为 -0.4℃;过去 30a 的极端低温在海拔 1300m 和 1600m 处分别为 -2.55℃ 和 -4.23℃。考虑到库区范围的变异性,海拔 1600m 处大致对应了 1 月均温为 0℃ 的等值线。

Chown 等采用昆虫生理生态数据的大尺度整合分析,认为温度对昆虫存活的影响存在多个方式^[57],包括

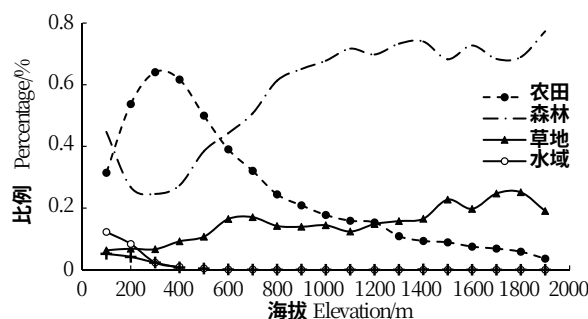


图 6 三峡库区 5 种土地覆盖类型的面积比例构成沿海拔梯度的变化^[59]

Fig. 6 The altitudinal change of area composition of five land cover types in the Three Gorges Reservoir region

能量收支、代谢速率、极端冻害等方面,气温的年际变化还对昆虫的生活史产生影响。Bale 等关于气候变化对昆虫生存影响的综述指出^[10],温度是昆虫的存活与分布边界的决定性因子,但作用机制有多种,关键变量和昆虫的适应策略在不同类群之间存在很大的差异,其中在温带,冬季低温对存活具有决定性影响。Bird 和 Hodkinson 发现,对于两种木虱(*Sternorrhyncha: Psylloidea*),夏季的热量收支而不是种间竞争决定了它们分布的海拔上限^[58]。由于相关的研究实例还相当缺乏,温度决定不同昆虫类群(以及多样性)分布的多重机制及其相对重要性还不清楚。Hodkinson 提出,尽管分布于高海拔的昆虫可以忍耐的极端低温可能远低得多,但由于雪被的庇护,昆虫适宜生境的冬季低温很少降低到 0℃ 以下。由于三峡库区位于亚热带的北部,山地海拔梯度上的冬季低温可能是构成昆虫物种分布上限的关键因子。根据本文数据,在 1 月均温 0℃ 所对应的海拔,昆虫的物种丰富度出现显著的降低,可能正是低温对昆虫分布上限的指示,但是,这种气候对昆虫分布上限的临界限制效应还有待深入研究。

References:

- [1] 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.
- [2] Rahbek C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species richness patterns. *Ecology Letters*, 2005, 8(2): 224-239.
- [3] Lawton J H, MacGarvin M, Heads P A. Effects of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores on bracken. *Journal of Animal Ecology*, 1987, 56(1): 147-160.
- [4] Rahbek C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 1995, 18(2): 200-205.
- [5] Rahbek C. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *The American Naturalist*, 1997, 149(5): 875-902.
- [6] Tang Z Y, Fang J Y. A review on the elevational patterns of plant species diversity. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 20-28.
- [7] Gaston K J. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 2000, 405(6783): 220-227.
- [8] Willig M R, Kaufman D M, Stevens R D. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2003, 34(1): 273-309.
- [9] Turner J R G. Explaining the global biodiversity gradient: energy, area, history and natural selection. *Basic and Applied Ecology*, 2004, 5(5): 435-448.
- [10] Bale J S, Masters G J, Hodkinson I D, Awmack C, Bezemer T M, Brown V K, Butterfield J, Buse A, Coulson J C, Farrar J, Good J E G, Harrington R, Hartley S, Jones T H, Lindroth R L, Press M C, Symmioudis I, Watt A D, Whittaker J R. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 2002, 8(1): 1-16.
- [11] Hodkinson I D. Terrestrial insects along elevation gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 2005, 80(3): 489-513.
- [12] Romero-Alcaez E, Ávila J M. Effect of elevation and type of habitat on the abundance and diversity of scarabaeoid dung beetle (*Scarabaeoidea*) assemblages in a Mediterranean area from southern Iberian Peninsula. *Zoological Studies*, 2000, 39(4): 351-359.
- [13] Sanders N J. Elevational gradients in ant species richness: area, geometry, and Rapoport's rule. *Ecography*, 2002, 25(1): 25-32.
- [14] Stefanescu C, Herrando S, Páramo F. Butterfly species richness in the north-west Mediterranean Basin: the role of natural and human-induced factors. *Journal of Biogeography*, 2004, 31(6): 905-915.
- [15] Gong Z D, Wu H Y, Duan D X, Feng X G, Zhang Y Z, Liu Q. Species richness and vertical distribution pattern of flea fauna in Heng-duan Mountains of western Yunnan, China. *Biodiversity Science*, 2005, 13(4): 279-289.
- [16] Baselga A. Determinants of species richness, endemism and turnover in European longhorn beetles. *Ecography*, 2008, 31(2): 263-271.
- [17] Almeida-Neto M, Machado G, Pinto-da-Rocha R, Giaretta A A. Harvestman (*Arachnida: Opiliones*) species distribution along three Neotropical elevational gradients: an alternative rescue effect to explain Rapoport's rule?. *Journal of Biogeography*, 2006, 33(2): 361-375.
- [18] Gagné W C. Canopy-associated arthropods in *Acacia Koa* and *Metrosideros* tree communities along an altitudinal transect on Hawaii Island. *Pacific Insects*, 1979, 21(1): 56-82.
- [19] Smiley J T, Rank N E. Predator protection versus rapid growth in a montane leaf beetle. *Oecologia*, 1986, 70(1): 106-112.
- [20] Janzen D H. Sweep samples of tropical foliage insects: effects of seasons, vegetation types, elevation, time of day, and insularity. *Ecology*, 1973, 54(3): 687-708.
- [21] Janzen D H, Ataroff M, Fariñas M, Reyes S, Rincon N, Soler A, Soriano P, Vera M. Changes in the arthropod community along an elevational

- transect in the Venezuelan Andes. *Biotropica*, 1976, 8(3): 193-203.
- [22] Wolda H. Altitude, habitat and tropical insect diversity. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1987, 30(4): 313-323.
- [23] McCoy E D. The distribution of insects along elevational gradients. *Oikos*, 1990, 58(3): 313-322.
- [24] Ying J S. Species diversity and distribution pattern of seed plants in China. *Biodiversity Science*, 2001, 9(4): 393-398.
- [25] Chen W L, Liang S J, Jin X Y. Plant and Compound Agricultural Ecosystem in the Three Gorges Reservoir Area. Beijing: Science Press, 1994.
- [26] Su H L, Lin Y H, Zhang X, Yu C Q, Ran J H, Long T L, Liu S Y. Avifauna and group diversity in the Three Gorges Reservoir. *Zoological Research*, 2001, 22(3): 191-199.
- [27] Shen Z H, Hu H F, Zhou Y, Fang J Y. Altitudinal patterns of plant species diversity on the southern slope of Mt. Shennongjia, Hubei, China. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 99-107.
- [28] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Large-scale patterns in species diversity of fishes in the Yangtze River Basin. *Biodiversity Science*, 2005, 13(6): 473-495.
- [29] Liu C M, Chen W L, Huang H D, Tian Z Q, Chen Y, Xie Z Q. Spatial pattern of plant species diversity in the inundation and resettlement region of the Three Gorges Reservoir. *Biodiversity Science*, 2007, 15(5): 510-522.
- [30] Yu X D, Zhou H Z, Luo T H. Habitat distribution and species diversity of *Carabus* and *Cychrus* in Shennongjia Nature Reserve, Hubei Province. *Biodiversity Science*, 2001, 9(3): 214-221.
- [31] Yang X K. Insects of the Three Gorge Reservoir Area of Yangtze River. Chongqing: Chongqing Press, 1997.
- [32] Liu W P, Deng H L, Li S H. Report on the composition of butterflies in the Three-Gorges Reservoir area. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2000, 22(6): 501-506.
- [33] Zhao C M, Chen W L, Tian Z Q, Xie Z Q. Altitudinal pattern of plant species diversity in Shennongjia Mountains, Central China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(12): 1431-1449.
- [34] Stevens G C. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist*, 1992, 140(6): 893-911.
- [35] Hijmans R J, Cameron S, Parra J. WorldClim, version 1.3. University of California, Berkeley. <http://biogeod.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>, 2005.
- [36] González-Espinosa M, Rey-Benayas J M, Ramírez-Marcial N, Huston M A, Golicher D. Tree diversity in the northern Neotropics: regional patterns in highly diverse Chiapas, Mexico. *Ecography*, 2004, 27(6): 741-756.
- [37] Fang J Y. Global Ecology. Beijing: Science Press, 2005.
- [38] Rey Benayas J M. Patterns of diversity in the strata of boreal montane forest in British Columbia. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6(1): 95-98.
- [39] Ojeda F, Marañón T, Arroyo J. Plant diversity patterns in the Aljibe Mountains (*S. Spain*): a comprehensive account. *Biodiversity and Conservation*, 2000, 9(9): 1323-1343.
- [40] Zhang J T. Quantitative Ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 2004.
- [41] Colwell R K, Rahbek C, Gotelli N J. The mid-domain effect and species richness patterns: what have we learned so far?. *The American Naturalist*, 2004, 163(3): E1-E23.
- [42] Currie D J, Kerr J T. Tests of the mid-domain hypothesis: a review of the evidence. *Ecological Monographs*, 2008, 78(1): 3-18.
- [43] Grytnes J A, Beaman J H, Romdal T S, Rahbek C. The mid-domain effect matters: simulation analyses of range-size distribution data from Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Biogeography*, 2008, 35(11): 2138-2147.
- [44] Morales M A, Dodge G J, Inouye D W. A phenological mid-domain effect in flowering diversity. *Oecologia*, 2005, 142(1): 83-89.
- [45] Dunn R R, Colwell R K, Nilsson C. The river domain: why are there more species halfway up the river?. *Ecography*, 2006, 29(2): 251-259.
- [46] Lusk C H, Chazdon R L, Hofmann G. A bounded null model explains juvenile tree community structure along light availability gradients in a temperate rain forest. *Oikos*, 2006, 112(1): 131-137.
- [47] Colwell R K. RangeModel: tools for exploring and assessing geometric constraints on species richness (the mid-domain effect) along transects. *Ecography*, 2008, 31(1): 4-7.
- [48] Iverson L R, Prasad A M. Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the eastern United States. *Ecological Monographs*, 1998, 68(4): 465-485.
- [49] De'ath G, Fabricius K E. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 2000, 81(11): 3178-3192.
- [50] Thuiller W. BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 2003, 9(10): 1353-1362.

- [51] Atkin L, Proctor J. Invertebrates in the litter and soil on Volcán Barva, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 1988, 4(3): 307-310.
- [52] Samson D A, Rickart E A, Gonzales P C. Ant diversity and abundance along an elevational gradient in the Philippines. *Biotropica*, 1997, 29(3): 349-363.
- [53] Kappelle M, Juárez M E. Agro-ecological zonation along an altitudinal gradient in the montane belt of the Los Santos Forest Reserve in Costa Rica. *Mountain Research and Development*, 1995, 15(1): 19-37.
- [54] Becker A, Körner C, Brun J J, Guisan A, Tappeiner U. Ecological and land use studies along elevational gradients. *Mountain Research and Development*, 2007, 27(1): 58-65.
- [55] Wu J G, Huang J H, Han X G, Gao X M, He F L, Jiang M X, Jiang Z G, Primack R B, Shen Z H. The Three Gorges Dam: an ecological perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, 2(5): 241-248.
- [56] Shen Z H, Zhang X S, Jin Y X. Spatial pattern analysis and topographical interpretation of species diversity in the forests of Dalaoling in the Region of the Three Gorges. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(6): 620-627.
- [57] Chown S L, Addo-Bediako A, Gaston K J. Physiological variation in insects: large-scale patterns and their implications. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, 131(4): 587-602.
- [58] Bird J M, Hodkinson I D. What limits the altitudinal distribution of Craspedolepta species (Stemorrhyncha: Psylloidea) on fireweed?. *Ecological Entomology*, 2005, 30(5): 510-520.
- [59] Global Land Cover 2000 database. European Commission, Joint Research Centre. <http://www-gem.jrc.it/glc2000/>, 2003.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yankun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongshan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platykladus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

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:100717	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