

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第16期 Vol.32 No.16 **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16期 2012年8月 (半月刊)

目次

基于生物多样性保护的兴安落叶松与白桦最佳混交比例——以阿尔山林区为例·····	李菁, 骆有庆, 石娟 (4943)
中国能源消费碳排放的时空特征·····	舒娱琴 (4950)
黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因素·····	姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河 (4961)
新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素·····	王合玲, 张辉国, 秦璐, 等 (4969)
雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征·····	李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等 (4981)
一株溶藻细菌对海洋原甲藻的溶藻效应·····	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 等 (4993)
种形态对黑藻和竹叶眼子菜有机酸含量的影响·····	钟正燕, 王宏镔, 王海娟, 等 (5002)
七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估·····	邓培雁, 雷远达, 刘威, 等 (5014)
杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征·····	梁威, 邵学新, 吴明, 等 (5025)
剪形臂尾轮虫形态的时空变化及其与生态因子间的关系·····	葛雅丽, 席貽龙, 马杰, 等 (5034)
太湖流域河流水质状况对景观背景的响应·····	周文, 刘茂松, 徐驰, 等 (5043)
荒漠植物白刺属4个物种的生殖分配比较·····	李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等 (5054)
臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应·····	牛俊峰, 张巍巍, 李丽, 等 (5062)
不同密度下凤仙花重要形态性状与花朵数的关系·····	田旭平, 常洁, 李娟娟, 等 (5071)
五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价·····	谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 等 (5076)
散孔材与环孔材树种枝干、叶水力学特性的比较研究·····	左力翔, 李俊辉, 李秧秧, 等 (5087)
北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征·····	戴斯迪, 马克明, 宝乐 (5095)
南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征·····	刘恩, 刘世荣 (5103)
植物生活史型定量划分及其权重配置方法——以四棱豆生活史型划分为例·····	赵则海 (5110)
半干旱区湿地-干草原交错带边界判定及其变化·····	王晓, 张克斌, 杨晓晖, 等 (5121)
氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响·····	吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 等 (5128)
氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响·····	熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 等 (5138)
基于数字相机的冬小麦物候和碳交换监测·····	周磊, 何洪林, 孙晓敏, 等 (5146)
黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响·····	姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等 (5154)
基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法·····	常青, 邱瑶, 谢苗苗, 等 (5164)
基于生态位的山地农村居民点适宜度评价·····	秦天天, 齐伟, 李云强, 等 (5175)
氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响·····	杨洪, 王召, 金道超 (5184)
6种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响·····	王瑞龙, 孙玉林, 梁笑婷, 等 (5191)
云南元江芒果园桔小实蝇成虫日活动规律及空间分布格局·····	叶文丰, 李林, 孙来亮, 等 (5199)
重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建·····	邓合黎, 马琦, 李爱民 (5208)
专论与综述	
生态系统服务竞争与协同研究进展·····	李鹏, 姜鲁光, 封志明, 等 (5219)
中国沿海无柄蔓足类研究进展·····	严涛, 黎祖福, 胡煜峰, 等 (5230)
冰雪灾害对森林的影响·····	郭淑红, 薛立 (5242)
不同干扰因素对森林和湿地温室气体通量影响的研究进展·····	杨平, 仝川 (5254)
采石场废弃地的生态重建研究进展·····	杨振意, 薛立, 许建新 (5264)
研究简报	
基于地统计学和CFI样地的浙江省森林碳空间分布研究·····	张峰, 杜群, 葛宏立, 等 (5275)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-08



封面图说: 秋色藏野驴群——秋天已经降临在海拔4200多米的黄河源区, 红色的西伯利亚蓼(生于盐碱荒地或砂质含盐碱土壤)铺满大地, 间有的高原苔草也泛出了金黄, 行走在上面的藏野驴们顾不上欣赏这美丽的秋色, 只是抓紧时间, 在严冬到来之前取食, 添肥增膘以求渡过青藏高原即将到来的漫长冬天。

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

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 16 August, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

The optimum mixture ratio of larch and birch in terms of biodiversity conservation; a case study in Aershan forest area	LI Jing, LUO Youqing, SHI Juan (4943)
Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China	SHU Yuqin (4950)
Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China	YAO Xueling, FU Bojie, LÜ Yihe (4961)
The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China	WANG Heling, ZHANG Huiguo, QIN Lu, et al (4969)
Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China	LI Haidong, SHEN Weishou, ZOU Changxin, et al (4981)
Algicidal activity against <i>Proocentrum micans</i> by a marine bacterium isolated from a HABs area, South China	SHI Rongjun, HUANG Honghui, QI Zhanhui, et al (4993)
Effects of arsenic speciations on contents of main organic acids in <i>Hydrilla verticillata</i> and <i>Potamogeton malaianus</i>	ZHONG Zhengyan, WANG Hongbin, WANG Haijuan, et al (5002)
Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (5014)
Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou bay coastal wetlands	LIANG Wei, SHAO Xuexin, WU Ming, et al (5025)
Spatio-temporal variation of morphometric characteristics of <i>Brachionus forficula</i> in relation to ecological factors	GE Yali, XI Yilong, MA Jie, et al (5034)
Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin	ZHOU Wen, LIU Maosong, XU Chi, et al (5043)
Reproductive allocation in four desert species of the genus <i>Nitraria</i> L.	LI Qinghe, XIN Zhiming, GAO Tingting, et al (5054)
Effects of elevated ozone on foliar chlorophyll content and antioxidant capacity in leaves of <i>Cinnamomum camphora</i> under enhanced nitrogen loads	NIU Junfeng, ZHANG Weiwei, LI Li, et al (5062)
Correlation analysis between floret numbers and important traits of <i>Impatiens balsamina</i> under different planting density	TIAN Xuping, CHANG Jie, LI Juanjuan, et al (5071)
Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration	TAN Xuehong, GAO Yanpeng, GUO Xiaoping, et al (5076)
Comparison of hydraulic traits in branches and leaves of diffuse- and ring-porous species	ZUO Lixiang, LI Junhui, LI Yangyang, et al (5087)
Distribution and heavy metal character of foliar dust on roadside tree <i>Sophora japonica</i> of urban area in Beijing	DAI Sidi, MA Keming, BAO Le (5095)
The research of carbon storage and distribution feature of the <i>Mytilaria laosensis</i> plantation in south sub-tropical area	LIU En, LIU Shirong (5103)
The novel methods of quantitative classification of plant life cycle forms and weight collocation; taking classification of life cycle forms of <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> as an example	ZHAO Zehai (5110)
Research on boundary definition and changes of wetland-dry grassland ...	WANG Xiao, ZHANG Kebin, YANG Xiaohui, et al (5121)
Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat	WU Guanglei, GUO Liyue, CUI Zhengyong, et al (5128)
Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat	XIONG Shuping, CHE Fangfang, MA Xinming, et al (5138)
Using digital repeat photography to model winter wheat phenology and photosynthetic CO ₂ uptake	ZHOU Lei, HE Honglin, SUN Xiaomin, et al (5146)
Impacts of climate change on growth and yield of winter wheat in the semi-humid region of the Loess Plateau	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (5154)
Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction	CHANG Qing, QIU Yao, XIE Miaomiao, et al (5164)
Suitability evaluation of rural residential land based on niche theory in mountainous area	QIN Tiantian, QI Wei, LI Yunqiang, et al (5175)
Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> (Reuter) (Hemiptera: Miridae)	YANG Hong, WANG Zhao, JIN Daochao (5184)
Effects of six plant secondary metabolites on activities of detoxification enzymes in <i>Spodoptera litura</i>	WANG Ruilong, SUN Yulin, LIANG Xiaoting, et al (5191)
Daily activity and spatial distribution pattern of the oriental fruit fly, <i>Bactrocera dorsalis</i> (Diptera: Tephritidae) in mango orchard, Yuanjiang, Yunnan	YE Wenfeng, LI Lin, SUN Lailiang, et al (5199)
The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing	DENG Heli, MA Qi, LI Aimin (5208)
Review and Monograph	
Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services; an overview	LI Peng, JIANG Luguang, FENG Zhiming, et al (5219)
A review on the balanomorph barnacles in the coastal waters of China	YAN Tao, LI Zufu, HU Yufeng, et al (5230)
Effects of ice-snow damage on forests	GUO Shuhong, XUE Li (5242)
Greenhouse gas flux from forests and wetlands; a review of the effects of disturbance	YANG Ping, TONG Chuan (5254)
Advances in ecology restoration of abandoned quarries	YANG Zhenyi, XUE Li, XU Jianxin (5264)
Scientific Note	
Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots	ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, et al (5275)

DOI: 10.5846/stxb201107241092

邓合黎, 马琦, 李爱民. 重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建. 生态学报, 2012, 32(16): 5208-5218.

Deng H L, Ma Q, Li A M. The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 5208-5218.

重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建

邓合黎*, 马琦, 李爱民

(重庆自然博物馆, 北碚 400700)

摘要: 在重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数研究的基础上, 进行区系相似性分析; 选取 22 个蝴蝶多样性参数和 5 项主要环境因子指标, 进行回归和主成分分析, 进而探讨监测指标、监测种类和类群的选取与评价体系的建立。分析结果表明: 当进行区域级的监测时, 在 22 个指标中, 种、科、属的多样性指数和均匀度指数可以忽略; 5 项环境指标中, 人口压力(X_{22}) 因子重于面积比例(X_{18})、人口密度(X_{19})、林地比例(X_{20})、土地载有量(X_{21}) 等 4 项因子。选出物种数(X_1)、蝴蝶属(X_2)、科级(X_3) 单元的多少, 种类优势度(X_9), 各数量等级的物种数贡献率($X_{10}-X_{13}$), 人口压力(X_{22}) 及 4 个主成分的综合得分等 10 个因子, 作为重庆市生态功能区环境健康状况的 10 个评价指标; 和 24 个蝴蝶监测种类, 12 个蝴蝶监测类群一起, 探讨评价方法, 共同构筑了重庆市生态功能区环境监测评价体系。在此基础上, 对各功能区环境健康状况的评价表明, 功能区 1 的环境健康评价为非常健康, 5、9、10 区为健康功能区; 2、3、6、7、14 区为亚健康功能区; 不健康功能区是 4、8、11、12、13 区。功能区 13、14 是城市化区域, 它们的分值在 14 个区中, 居第十二位和第七位, 不是最低的, 这表明城镇化与环境质量并不完全是因果关系, 即通过绿化和环境保护, 城镇环境是可能得到很好改善的。期望此监测评价体系在实践中进一步完善。

关键词: 蝴蝶; 生态功能区; 环境健康; 多样性参数; 监测和评价体系

The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing

DENG Heli*, MA Qi, LI Aimin

Chongqing Museum of Natural History, Beibei, Chongqing 400700, China

Abstract: This is the second paper about the study of biodiversity and biological indication of butterfly in Chongqing, the purpose of this article is to set up the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system. Basing on the previously study of the diversity parameters of butterfly in different ecological function divisions, this article focus on the research of the similarity analysis of different fauna. It has been selected 22 different diversity parameters of butterfly and 5 major environmental factors. In order to probe the selection of the monitoring index, the species and groups of indicator and to establish the evaluation system of environment, we have been analyzed them by means of regression analysis and principal component analysis. The result shows that, when observing on the region class, the diversity and evenness index of the species, genera and families in the 22 parameters could be neglected; in the 5 main environmental factors, the influence of the population pressure (X_{22}) is more than the other four factors which respectively are the region ratio (X_{18}), the population density (X_{19}), the proportion of woodland (X_{20}) and the amount of land containing (X_{21}). From the analysis of the diversity parameters, there are 10 factors that can be chosen for evaluating the

基金项目: 中国-欧盟生物多样性保护战略与行动计划重庆地方项目资助

收稿日期: 2011-07-28; 修订日期: 2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dehl0918@vip.sina.com

environmental health of the ecological function divisions of Chongqing, the parameters are correspondingly the number of species (X_1), the genera of butterfly (X_2), the number of families (X_3), the dominance index of species (X_9), the contribution rate of different levels of the species number (X_{10} — X_{13}), the population pressure (X_{22}) and the synthetical score of the four principal component values. We also select 24 species and 12 groups of butterfly to monitor the environment, to probe the evaluating method. By means of the method above, we would anticipate that an environmental monitoring and evaluating system of ecological function areas in Chongqing might be established. Basing on the analyzing above and the assessment of the environmental health condition of various function areas, it can be discovered that the environmental health state of the first ecological function area is extremely healthy; the fifth, the ninth, the tenth of the function region is healthy; the ecological function area of the second, the third, the sixth, the seventh, the fourteenth is sub-healthy area; the healthy condition of the fourth, the eighth, the eleventh, the twelfth and thirteenth function region is unhealthy. However, the thirteenth and the fourteenth ecological function areas are urbanization areas, and the scores of both of them are not the lowest, this indicates that the relations of the urbanization and the environmental quality are incompleteness causal relationship, it also recommends that the environmental of the cities and towns could be improved well through greening and environment protection. It can be expected that the monitoring and evaluating system could be further perfection in practice.

Key Words: ecological function divisions; butterfly; environmental health; biodiversity and biological indication; monitoring and evaluating system

本文在李爱民等^[1]研究报道重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数的基础上,探讨重庆市生态功能区蝴蝶多样性环境健康指示作用及其环境监测体系的构建。生态功能分区及其分级体系是从生态系统和生物地理分布的角度上提出的一种多尺度生态区域分级嵌套区划和评价系统,越来越多地用于环境保护政策的制定和管理决策,尤其是在自然资源管理、保护和评价方面^[2]。生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,即在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力;生态功能区划和评价系统,越来越多地用于环境保护政策的制定和管理决策,其健康评价主要包括指示物种和指标体系两种方法。指示物种的选择要综合考虑到它们的敏感性和可靠性^[3]。

蝶类是一类个体较大、易观察和辨别的昆虫类群,对栖息地环境质量要求较高、对环境变化敏感及对寄主较为专一。虽然有一定的迁飞能力,但它们的分布仍是以寄主为中心。故此,蝶类成为监测与评价环境的主要指示生物^[4-8]。尽管采用蝶类作为环境评价的指示性生物具有大量独特的优越性,但蝶类种类繁多、栖息环境多样、生物学习性复杂,究竟选取哪些代表类群更能反映森林健康状况,如何建立量化的指示体系,仍然有待深入研究^[9]。

本文分析选取监测评价指标,探讨评价方法,尝试构建以蝴蝶为对象的环境质量监测、评价体系,对重庆生态功能区健康状况进行评价,并期望在今后的实践中,加以验证、修正、完善。

1 研究区域

重庆市生态功能区及其与本研究相关的基本特性,各功能区在重庆市范围内的具体位置见李爱民等^[1]。

2 方法

(1) 调查时间 1998—2009 年,每年的 3—10 月。

(2) 调查方法及样带设置

蝴蝶的野外数量统计方法主要有样方法、横截法和路线法,结合本研究的要求,调查数据采用路线法获得,具体方法选择、评价见文献^[10]。1998—2009 年间设置调查样带 14503 条。

(3) 生境划分 见李爱民等^[1]方法。

(4) 数据处理 采用李爱民等^[1]方法。

(5) 数据分析

采用王义平等^[9],赵志模和郭依泉,李春喜等,李志刚等和汤春梅等^[11-14]论述的生物统计学方法进行数据分析。

线性回归及主成分分析的数据代码主成分分析的数据代码及英文翻译源于李爱民等^[1]。

(6) 数量等级划分 见李爱民等^[1]方法。

3 监测评价指标选取

3.1 种类成分分析选取

重庆市蝴蝶种类最多的科别是蛱蝶,占蝶类总数的 27.0%;其次是眼蝶和弄蝶,各占 19.3%;再次是灰蝶,17.9%;其它 8 科所占比例,均未超过 7%。含属数最多的也是这 4 个科,所占全部属数的比例,蛱蝶 24.9%,灰蝶 24.4%,弄蝶 18.7%,眼蝶 13.0%。在各功能区中,2、5、8 区和全市一样,种数所占比例依次为蛱蝶、眼蝶、弄蝶和灰蝶;在 1、6、7 区,基本相同,只是灰蝶种数比弄蝶多。在 11 和 13 区,蛱蝶和眼蝶依然居 1、2 位,但是凤蝶在 11 区居第 3 位,粉蝶和弄蝶并列第 4。在 4、10 区,蛱蝶依然居第一位,但是第二至第四位,依次是弄蝶、眼蝶和灰蝶。在 8 和 14 区,眼蝶和蛱蝶居一、二位,但在 8 区是凤蝶居三位、粉蝶居四位,而 14 区是弄蝶三位、灰蝶四位。在 3 区,种数依次为灰蝶、眼蝶、蛱蝶和弄蝶,而在 12 区则为粉蝶、眼蝶、凤蝶和蛱蝶并列第三位。各功能区种(类)数居于前列的蝶类科别必然是环境指示、监测的重要类群(表 1)。

种类数居 1—5 位的功能区依次为 1(319 种)、10(263 种)、5(211 种)、9(198 种)、2(177 种);居倒数 1—5 位的功能区依次为 12(23 种)、8(38 种)、11(58 种)、14(60 种)、4(78 种)(表 1)。如果物种数的多少完全代表了系统健康程度,区系相似性分析的结果应该将上述两类功能区,各归属在同一组内。但是,分析结果并不完全支持这一点(图 1),这说明,仅用物种数一个指标,还不能非常准确地判断系统健康状况。

基于物种的研究方法是生态系统健康的主要研究方法,并以种类多少作为判断环境优劣的第一位指标;生态隔离程度的减弱及物种多样性的增加,都将增强群落稳定性^[13-17]。据此,用李爱民等^[1]的表 2 数据,在其基础上将蝴蝶归类整理为 12 科,193 属和 492 种,并计算出种类优势度,以及罕见种、少见种、常见种、优势种的物种贡献率和相对多度贡献率,构成表 1。

生态功能区划是一种以生态系统健康为目标,针对一定区域内自然地理环境分异性、生态系统多样性、以及经济与社会发展不均衡性的现状,结合自然资源保护和可持续开发利用的思想,整合与分异生态系统服务功能对区域人类活动影响的不同敏感程度,构建的具有空间尺度的生态系统管理框架^[9,18-19]。而生态系统是一个复杂的系统,其特征和属性在不断的变化中,要明确某生态系统距离健康状态有多远,有必要从系统结构、功能和过程等诸方面多角度加以认识。任何单一的方法都无法准确反映出生物多样性热点的真实分布。合适的研究方法是权衡研究目的、时间和资金的结果,选择优势互补的多种方法。

3.2 回归分析选取^[1]

3.2.1 种类数

基于 3.1 的概念,以各功能区蝶类种数作为因变量,命名为 Y_1 ;对表 1 中数据代码 X_2, X_3, X_9, X_{10} (以罕见种数占该功能区蝶类种数的百分比表示), X_{11} (以少见种数占该功能区蝶类种数的百分比表示), X_{12} (以常见种数占该功能区蝶类种数的百分比表示), X_{13} (以优势种数占该功能区蝶类种数的百分比表示), X_{14} (以罕见

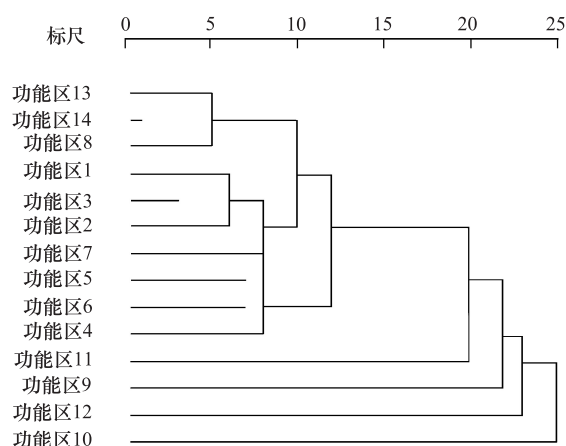


图 1 功能区区系成分量化聚类分析

Fig. 1 The gathering group analysis of dimension for faunal component of ecological function divisions

表 1 重庆市生态功能区域蝶类组成
Table 1 Composition of butterfly at ecological function divisions in the Chongqing

科名 Family	阶元 Class	重庆市生态功能区 Functional region of ecology in Chongqing														小计 Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
凤蝶科 Papilionidae	种	24(7.5)	11(6.2)	12(9.4)	8(11.0)	13(6.2)	8(5.8)	11(10.4)	6(17.6)	19(9.6)	22(8.4)	8(13.8)	4(17.4)	8(13.3)	11(8.8)	34(6.9)
蛱蝶科 Parnassidae	属	7(4.9)	4(4.4)	4(5.5)	3(0.6)	4(3.8)	2(2.7)	2(3.3)	2(10.5)	6(6.6)	8(7.0)	3(7.7)	3(18.8)	4(9.8)	5(6.8)	12(6.2)
粉蝶科 Pieridae	种	1(0.3)														1(0.2)
斑蝶科 Danaidae	属	1(0.7)														1(0.5)
环蝶科 Amathusiidae	种	25(7.8)	17(9.6)	11(8.7)	4(0.5)	16(7.6)	12(8.8)	13(12.3)	5(14.7)	11(5.6)	12(4.6)	5(8.6)	6(26.1)	7(11.7)	9(7.2)	28(5.7)
眼蝶科 Satyridae	属	11(7.6)	9(10.0)	6(8.2)	3(0.6)	7(6.7)	5(6.8)	6(9.8)	3(15.8)	6(6.6)	5(4.3)	4(10.3)	3(18.8)	5(12.2)	5(6.8)	11(5.7)
蛱蝶科 Nymphalidae	种	2(0.6)		1(0.8)	1(1.4)	3(1.4)	2(1.5)	1(0.9)		1(0.5)	1(0.4)	1(1.7)			2(1.6)	3(0.6)
珍蝶科 Acraeidae	属	2(1.4)		1(1.4)	1(2.1)	3(2.9)	1(1.4)	1(1.6)		1(1.1)	1(0.9)	1(2.6)			2(2.7)	3(1.6)
喙蝶科 Libytheidae	种	2(0.6)	1(0.6)		1(1.4)					1(0.5)	4(1.5)	1(1.7)			1(0.8)	4(0.8)
蛱蝶科 Riodinidae	属	1(0.7)	1(1.1)		1(2.1)					1(1.1)	3(1.1)	1(2.6)			1(1.4)	3(1.6)
灰蝶科 Lycenidae	种	60(18.8)	40(22.6)	25(19.7)	10(13.7)	42(19.9)	27(19.7)	21(19.8)	10(29.4)	44(22.2)	50(19.0)	13(22.4)	5(21.7)	11(18.3)	29(23.2)	95(19.3)
弄蝶科 Hesperiidae	属	23(16.0)	12(13.3)	8(11.0)	4(8.5)	11(10.6)	6(8.2)	5(8.2)	4(21.1)	10(11.0)	11(9.6)	5(12.8)	3(18.8)	5(12.2)	6(4.8)	25(13.0)
合计 Total	种	87(27.3)	42(23.7)	27(21.3)	25(34.2)	56(26.5)	44(32.1)	25(23.6)	7(20.6)	55(27.8)	72(27.4)	19(32.8)	4(17.4)	17(28.3)	25(20.0)	133(27.0)
	属	36(25.0)	24(26.7)	19(26.0)	16(34.0)	27(26.0)	26(35.6)	18(29.5)	4(21.1)	25(27.5)	27(23.5)	14(35.9)	3(18.8)	12(29.3)	16(21.6)	48(24.9)
	种	1(0.3)			1(1.4)			1(0.9)		1(0.5)	1(0.4)				1(0.8)	1(0.2)
	属	1(0.7)			1(2.1)			1(1.6)		1(1.1)	1(0.9)				1(1.4)	1(0.5)
	种	1(0.3)				1(0.5)	1(0.7)	1(0.9)		1(0.5)	1(0.4)				1(0.8)	1(0.2)
	属	1(0.7)				1(1.0)	1(1.4)	1(1.6)		1(1.1)	1(0.9)				1(1.4)	1(0.5)
	种	6(1.9)	3(1.7)	5(3.9)	2(2.7)	5(2.4)	5(3.6)	1(0.9)		6(3.0)	8(3.0)	2(3.4)	1(4.3)	1(1.7)	2(1.6)	9(1.8)
	属	4(2.8)	2(2.2)	3(4.1)	2(4.3)	3(2.9)	3(4.1)	1(1.6)		4(4.4)	4(3.5)	2(5.1)	1(6.3)	1(2.4)	2(2.7)	5(2.6)
	种	60(18.8)	33(18.6)	30(23.6)	9(12.3)	37(17.5)	21(15.3)	17(16.0)	3(8.8)	23(11.6)	37(14.1)	4(6.9)	2(8.7)	7(11.7)	19(15.2)	88(17.9)
	属	31(21.5)	19(21.1)	21(28.8)	8(17.0)	26(25.0)	15(20.5)	15(24.6)	3(15.8)	17(18.7)	23(20.0)	4(10.3)	2(12.5)	7(17.1)	16(21.6)	47(24.4)
	种	49(15.4)	29(16.4)	16(12.6)	11(15.1)	38(18.0)	17(12.4)	15(14.3)	3(8.8)	35(17.7)	55(20.9)	5(8.6)	2(8.7)	8(13.3)	25(20.0)	95(19.3)
	属	25(17.4)	19(21.1)	11(15.1)	8(17.0)	21(20.2)	13(17.8)	10(16.4)	2(10.5)	18(19.8)	28(24.3)	5(12.8)	1(6.3)	7(17.1)	17(23.0)	36(18.7)
种类优势度 X ₉	种数 X ₁	319	177	127	73	211	137	106	34	198	263	58	23	60	125	492
	属数 X ₂	144	90	73	47	104	73	61	19	91	115	39	16	41	74	193
	科数 X ₃	12	8	8	10	9	9	10	6	11	11	9	7	7	11	12
物种数贡献率	罕 X ₁₀ ^①	0.0667	0.1166	0.1306	0.1296	0.1404	0.1079	0.1080	0.2401	0.1002	0.0945	0.1711	0.3178	0.2925	0.1816	
Contribution rate	少 X ₁₁ ^②	15.7	2.8	0.0	0.0	2.9	6.6	3.8	0.0	5.1	9.9	0.0	0.0	0.0	6.6	
for Number of	常 X ₁₂ ^③	26.1	18.0	11.0	8.2	17.5	10.9	4.7	2.9	21.2	25.6	5.2	0.0	5.0	8.2	
species	优 X ₁₃ ^④	46.9	60.1	61.4	49.3	63.0	42.2	60.4	23.6	56.1	50.8	48.3	8.7	38.3	55.7	
相对多度贡献率	罕 X ₁₄ ^⑤	11.3	19.1	27.6	42.4	16.8	52.4	31.1	73.5	17.7	13.7	46.5	91.3	56.7	29.5	
Contribution rate	少 X ₁₅ ^⑥	2	0.3	0	0	0.2	0.8	1.4	0	0.9	1.9	0	0	0	0.4	
for Relative	常 X ₁₆ ^⑦	13.5	7	1.8	2.9	3.5	4.6	1.8	2.2	14.9	20.4	3.5	0	0.2	1.2	
abundance	优 X ₁₇ ^⑧	42.7	52.2	37.2	29.1	50.2	42.2	46.8	8.9	56.7	56.9	42.3	10.4	28	28.8	
		41.8	40.5	61	68	46.1	52.4	50	88.9	27.5	20.8	54.2	89.6	71.8	69.6	

①X₁₀ 罕见种的物种贡献率;②X₁₁ 少见种的物种贡献率;③X₁₂ 常见种的物种贡献率;④X₁₃ 优势种的物种贡献率;⑤X₁₄ 罕见种的相对多度贡献率;⑥X₁₅ 少见种的相对多度贡献率;⑦X₁₆ 常见种的相对多度贡献率;⑧X₁₇ 优势种的相对多度贡献率

种的相对多度占该功能区蝶类相对多度的百分比表示), X_{15} (以少见种的相对多度占该功能区蝶类相对多度的百分比表示), X_{16} (以常见种的相对多度占该功能区蝶类相对多度的百分比表示), X_{17} (以优势种的相对多度占该功能区蝶类相对多度的百分比表示)以及 X_4 (各功能区蝴蝶种类丰度), X_5 (各功能区蝴蝶种多样性指数), X_8 (各功能区蝴蝶种的均匀度指数), 进行线性回归分析, 得出如下回归方程:

$$Y_1 = -196.724 + 2.232X_2 + 2.639X_3 - 60.769X_5 + 284.402X_8 + 197.819X_9 - 2.134X_{10} + 4.997X_{11} + 0.742X_{12} \\ + 1.045X_{13} + 26.466X_{14} - 1.538X_{15} - 0.689X_{16} - 0.180X_{17}$$

回归系数 95% 的可信区间是: -2915.605—2522.156, 可认为回归系数有显著意义。

Pearson 相关系数按照大小依次分别为: $0.989(X_2) > 0.965(X_{11}) > 0.853(X_{10}) > 0.800(X_{15}) > 0.771(X_{14}) > 0.730(X_{16}) > 0.713(X_3) > 0.523(X_{12}) > 0.323(X_5) > 0.290(X_8) > -0.755(X_9) > -0.818(X_{17}) > -0.843(X_{13})$ 。

由物种数线性回归方程可以看出, $X_2, X_3, X_8, X_9, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 对物种数有正向贡献, 其中 X_8 (均匀度指数)、 X_9 (种类优势度) 贡献较大; $X_5, X_{10}, X_{15}, X_{16}, X_{17}$ 对物种数为负向贡献, 其中 X_5 (多样性指数) 贡献最大。

3.2.2 种类丰度

将各功能区的种类丰度(原始数据来源于李爱民等^[1])命名为因变量 Y_2 ; 数据代码中的 $X_2, X_3, X_5, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}$ 进行线性回归分析。得出如下回归方程:

$$Y_2 = -49.277 + 0.211X_2 + 0.478X_3 - 15.884X_5 + 60.113X_8 + 26.706X_9 - 0.295X_{10} + 1.137X_{11} + 0.467X_{12} \\ + 0.384X_{13} + 6.261X_{14} - 0.324X_{15} - 0.156X_{16} - 0.025X_{17}$$

回归系数 95% 的可信区间是: -713.953—615.400, 可认为回归系数有显著意义。

由种类丰度线性回归方程可以看出, $X_2, X_3, X_8, X_9, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ 对种类丰度有正向贡献, 其中 X_8 (均匀度指数)、 X_9 (种类优势度) 贡献较大; $X_5, X_{10}, X_{15}, X_{16}, X_{17}$ 对物种数为负向贡献, 其中 X_5 (多样性指数) 贡献最大。

物种数和种类丰度作为因变量对这些因子回归的结果, 基本是一致的, 本着简单、操作性强的原则, 仅选用物种数。

3.3 主成分分析选取^[1]

数据代码 $X_1—X_{22}$, 共 22 个因子, 作为主成分分析的成分, 从多样性指数、物种多样性贡献率、相对多度贡献率、面积比例、人口密度、森林比例、土地载有率以及人口压力的角度进行分析。

3.3.1 成分的特征值及主成分贡献率

表 2 前 4 个成分特征值, 累积贡献率达到 85% 以上, 基本保留了原始指标信息, 因此提取 4 个主成分 F_1, F_2, F_3, F_4 即可基本代替原来 22 个指标。

表 2 主成分的特征值及主成分贡献率

Table 2 The eigenvalue and contributive rate of component

成分 Component	特征值 Eigen value	贡献率/% Contributive rate	累积贡献率/% Cumulative rate	成分 Component	特征值 Eigen value	贡献率/% Contributive rate	累积贡献率/% Cumulative rate
物种数(X_1)	12.557	57.079	35.908	常见种(X_{12}) ^a	0.024		
科数(X_2)	3.827	74.475	57.667	优势种(X_{13}) ^a	0.010		
属数(X_3)	2.073	83.898	79.271	罕见种(X_{14}) ^b	4.96×10^{-16}		
种类丰度(X_4)	1.287	89.750	89.750	少见种(X_{15}) ^b	3.47×10^{-16}		
种的多样性指数(X_5)	0.668			常见种(X_{16}) ^b	2.81×10^{-16}		
属的多样性指数(X_6)	0.561			优势种(X_{17}) ^b	1.60×10^{-16}		
科的多样性指数(X_7)	0.412			面积比例(X_{18})	7.28×10^{-16}		
均匀度指数(X_8)	0.366			人口密度(X_{19})	7.65×10^{-16}		
种类优势度(X_9)	0.092			森林比例(X_{20})	1.65×10^{-16}		
罕见种(X_{10}) ^a	0.077			土地载有(X_{21})	3.58×10^{-16}		
少见种(X_{11}) ^a	0.045			人口压力(X_{22})	4.58×10^{-16}		

$X_1—X_{17}$ 的含义见表 1; X_{18} : 面积比例(%); 各功能区面积/重庆市幅员面积; X_{19} : 人口密度(人/km²); 人口数/各功能区单位面积; X_{20} : 林地比例(%); 各功能区林地面积/各功能区面积; X_{21} : 土地载有量(种/km²); 各功能区蝴蝶种数/各功能区单位面积; X_{22} : 蝶类承受的人口压力(人/种); 各功能区人口数/各功能区蝴蝶种数

3.3.2 主成分载荷

第一主成分 F_1 在 X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_9 、 X_{11} 、 X_{13} 、 X_{16} 、 X_{17} 各指标上的载荷大 (>0.9), 表明 F_1 与这些指标有较高的相关性, 反映了物种数、物种丰度和物种优势度等因素; F_2 在 X_8 、 X_5 、 X_6 、 X_7 载荷大, 这些指标主要是科、属、种数及均匀度指数的反映; F_3 在 X_{18} 、 X_{19} 、 X_{21} 载荷大, 主要是土地载有量的反映; F_4 在 X_{10} 、 X_{12} 、 X_{14} 的载荷大, 主要是物种贡献率的反映 (表 3)。

表 3 主成分载荷

Table 3 The component load

因子 Factors	主成分载荷 The component load				因子 Factors	主成分载荷 The component load			
	1	2	3	4		1	2	3	4
物种数 (X_1)	0.916	-0.332	0.049	0.041	常见种 (X_{12}) ^a	0.736	0.308	-0.272	-0.479
科数 (X_2)	0.799	-0.055	0.121	0.224	优势种 (X_{13}) ^a	-0.932	-0.015	0.078	0.269
属数 (X_3)	0.930	-0.274	-0.005	-0.029	罕见种 (X_{14}) ^b	0.753	-0.269	0.119	0.442
种类丰度 (X_4)	0.938	-0.318	-0.021	0.031	少见种 (X_{15}) ^b	0.766	-0.314	0.328	0.175
种的多样性指数 (X_5)	0.603	0.771	0.016	0.091	常见种 (X_{16}) ^b	0.865	-0.027	-0.007	-0.354
属的多样性指数 (X_6)	0.634	0.755	0.030	0.04	优势种 (X_{17}) ^b	-0.908	0.125	-0.099	0.197
科的多样性指数 (X_7)	0.586	0.795	0.068	0.074	面积比例 (X_{18})	0.046	-0.412	-0.781	-0.133
均匀度指数 (X_8)	-0.005	0.900	-0.128	0.332	人口密度 (X_{19})	-0.387	0.154	0.691	-0.353
种类优势度 (X_9)	-0.909	-0.089	0.322	-0.066	森林比例 (X_{20})	0.708	-0.088	-0.442	0.002
罕见种 (X_{10}) ^a	0.763	-0.306	0.152	0.457	土地载有 (X_{21})	0.071	-0.029	0.616	-0.235
少见种 (X_{11}) ^a	0.901	-0.305	0.133	-0.051	人口压力 (X_{22})	-0.846	-0.502	0.121	0.055

X_1 — X_{17} 的含义见表 1; X_{18} — X_{22} 的含义见表 2; a 是物种数的数量等级; b 是相对多度的数量等级

3.3.3 主成分值

表 3 数据除以主成分相对应的特征值、开平方根获得四个主成分之每个指标所对应的系数, 随后得到特征向量。将得到的特征向量与标准化后的数据相乘, 获取主成分表达式, 算出 4 个主成分 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 的得分。

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重即可得到主成分综合模型, 其中 $ZX_1, ZX_2, \dots, ZX_{22}$ 是原始变量经过标准化处理的值, 本文指的数据标准化是指 Z 标准化:

$$F = 0.137ZX_1 + 0.159ZX_2 + 0.137ZX_3 + 0.137ZX_4 + 0.191ZX_5 + 0.193ZX_6 + 0.193ZX_7 + 0.098ZX_8 - \\ 0.152ZX_9 + 0.144ZX_{10} + 0.138ZX_{11} + 0.115ZX_{12} - 0.148ZX_{13} + 0.142ZX_{14} + 0.140ZX_{15} + \\ 0.132ZX_{16} - 0.146ZX_{17} - 0.197ZX_{18} - 0.024ZX_{19} + 0.086ZX_{20} + 0.156ZX_{21} - 0.190ZX_{22}$$

根据主成分综合模型即可计算综合主成分值, 并对其按综合主成分值排序, 即可对各地区进行综合评价比较得出重庆市各生态功能区综合得分 (表 4)。

功能区间, 各主成分指标得分、或综合得分, 都存在明显的区域差异。综合得分排序是功能区 1>10>9>5>2>7>6>14, 生态环境质量得分为正; 功能区 3>4>11>13>8>12, 得分为负, 全市蝴蝶生态分布呈阶梯状分布。大巴山生态功能区 1、南川—万盛区 9、江津—綦江区 10 领先。这种分布态势与经济的区域差异和生态环境优劣基本一致, 反映了经济和生态因素在重庆市不同地区蝴蝶生态分布和空间分布方面所起的重要作用。

4 构建环境健康监测评价体系

环境健康监测评价体系主要包括监测种类和类群, 监测方法, 监测评价指标和评价方法等内容。

4.1 监测种类和类群

按照生境分布和地理分布从 492 种蝴蝶中, 选择出监测种类 24 个 (选取依据见李爱民等^[1] 的 2.7 节: 监测种类和类群的选取标准), 其中, 甲等监测种类 8 个, 乙等 8 个, 丙等 8 个; 类群 12 个, 其中 I 类 6 群, II 类 6 群 (李爱民等^[1] 的表 2)。这样的选择与 Lambeck、Brooker、胡望舒等的假设是一致的。Lambeck 提出生物多样性保护的焦点物种途径^[20], 即通过分析识别场所面临的主要威胁, 找出针对威胁最需要保护的焦点物

种,假设其需要得到满足,那么所有物种的需要也都可以得到满足。多个焦点物种可表征全部物种所处栖息地的不同侧面,并将这些物种视为一个焦点群落^[21],通过该焦点群落所需的栖息地进行恢复、保护与管理,以达到保护大多数物种,乃至整体生物多样性的目的^[22-24]。

表 4 综合主成分值

Table 4 Synthetic score of component

功能区 Ecofunctiona region	第一主成分 F1 The first component F1	排名 Ordination	第二主成分 F2 The second component F2	排名 Ordination	第三主成分 F3 The third component F3	排名 Ordination	第四主成分 F4 The fourth component F4	排名 Ordination	综合得分 Synthetic score	排名 Ordination
1	5.23267	1	-2.14031	13	0.14852	6	1.73304	2	3.0416	1
2	1.52999	5	-1.09018	11	-0.95427	12	-1.51657	14	0.5627	7
3	-0.65995	9	-0.63587	10	-2.77273	14	-1.42783	12	-0.9272	11
4	-1.06507	10	2.06535	2	-0.14051	8	0.28100	8	-0.2735	9
5	2.16246	4	0.10592	8	-0.60883	10	-1.32545	11	1.2455	4
6	0.78430	7	0.79391	7	-0.76524	11	0.98133	3	0.6363	6
7	0.95780	6	1.35999	4	-1.64482	13	0.47154	6	0.7308	5
8	-4.19360	13	2.31573	1	-0.28381	9	1.79159	1	-2.1312	13
9	3.53915	3	-0.28740	9	1.36705	3	-0.58697	10	2.3004	3
10	4.56224	2	-1.63017	12	1.70430	2	0.49117	5	2.7965	2
11	-1.54275	11	1.77619	3	0.41737	5	-0.28786	9	-0.6119	10
12	-7.75003	14	-4.81589	14	0.02520	7	0.50889	4	-5.8265	14
13	-3.50099	12	1.12213	5	3.07032	1	-1.45663	13	-1.7817	12
14	-0.05623	8	1.06058	6	0.43746	4	0.34277	7	0.2381	8

4.2 监测评价指标

4.2.1 科、属等高级分类单元

重庆市有 12 科蝴蝶分布的功能区是 1,功能区 9、10、14 分布 11 科,仅分布 7 科以下的是 8、12、13 区。有 100 属以上蝴蝶的区是 1、5、10,90 属以上有 2、9 区,仅有 50 属以下的是 4、8、12、13,各功能区科、属分布状况,并不一致(表 1)。许多学者报道,种子植物、鸟类、昆虫、兽类、爬行类的研究证实物种种类数和高级分类单元,在地理分布格局、群落结构和对环境因子反应上,均存在较高相似性。科、属等高级分类单元比种分类单元更稳定,也更容易确定^[18,25]。许多较高等级的分类阶元可以作为生物多样性的替代或相关指标;多类群(多阶元)手段替代单类群(单阶元)手段可用于区域监测和保护研究^[26-27]。蝴蝶科级单元的多少,是森林完整性的直接指标^[28]。本文回归分析结果,功能区科数 X_2 的相关系数,在 13 个因子中居第一位;主成分分析,属数 X_3 的主成分载荷在 22 个因子中居第二位,充分证实了这些论点,可以用于判断环境系统健康状况。

4.2.2 物种数贡献率

生物指示物法通过监测生物指示物在自然和人类活动影响下的种群数量变化对生态系统健康状况进行评估。该方法具有科学、简便、快捷、成本低廉和高效的特点,并符合生态系统健康评价的实用性与可操作性原则^[29-31]。在生态系统健康研究中,以物种多样性和样本足够大为前提,将系统中蜜蜂和蝴蝶等传粉昆虫为代表的功能团物种作为监测对象,一些学者提出一个客观评价生态系统健康的度量指标——多样性-丰度关系。健康的生态系统中,多样性-丰度关系可以用对数正态分布表征。即这种分布型,中等丰度的物种最多,常见的和稀有的物种都较少^[9,32-34]。以此理论为基础,以物种数贡献率来判断系统健康程度,即系统中,少见种、常见种比例越高、越趋于对数正态分布,系统越健康。重庆市各功能区内,物种数各数量级的贡献率见表 1。

不同生境中,优势种的形成,反映了该生境对某些蝴蝶的良好适宜性;反过来,这个生境的蝶类群落中,优势种将对群落稳定性起到重要作用^[11,35-36]。综合观察,优势种和常见种的物种数贡献率低(当前者低于

20%,后者居于45%—60%时)表明环境质量趋良;罕见种的物种数贡献率高(高于5%),表明该功能区环境特异,生物多样性保护价值高(表1);如果物种数和各数量级物种贡献率的相对稳定,将预示系统健康状况无重大变化。

综合上述分析结果,可以选出判断系统健康程度最为关键的因子:(1)物种数贡献率与相对多度贡献率相比较,仅选物种数贡献率(X_{10} — X_{13})即可,(2)物种数、科数 X_2 和属数 X_3 ,是首选因子,(3)物种数贡献率(X_{10} — X_{13}),(4)在区域级的研究尺度上,种、属、科的多样性指数和均匀度指数可以不用,(5)在面积比例(X_{18})、人口密度(X_{19})、森林比例(X_{20})、土地载有(X_{21})、人口压力(X_{22})等5项人文指标中,可考虑选择人口压力(X_{22});换言之,在22项指标中,选择属科数、物种数贡献率、人口压力和物种数一起作为判断系统健康程度的综合指标(在功能区健康监测中,种类优势度 X_9 将发挥重要作用)。

4.3 评价方法

综上所述,主成分分析综合得分(表4)和 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{13} 、 X_{22} 作为重庆市生态功能区健康状况评价的10个评价因子。主成分综合得分的权重值1; X_1 权重值0.2; X_2 、 X_3 、 X_{10} — X_{13} 等的权重值均为0.08,还要乘以这些因子在 X_1 作为因变量时,回归得出的相关系数,依次为0.989、0.713、0.853、0.965、0.523和-0.843; X_9 的权重值是种类优势度乘以 X_9 回归的相关系数(-0.755); X_{22} 的权重值-0.0001。每个功能区各因子的分值和总分见表5。

5 重庆市各生态功能区环境健康状况评价结果

根据总分值状况(表5),以30分为一区间值,则大于80分评价为非常健康,即功能区1;大于50分,小于80分为健康功能区,即5、9、10区;大于20分,小于50分位亚健康功能区,即2、3、6、7、14区;低于20分为不健康功能区,即4、8、11、12、13区。功能区13、14是城市化区域,它们的分值并不算最低。这表明城市化与环境质量并不一定成反比,即通过绿化、环境保护,城镇环境是可能得到很好改善的^[13,37]。

以上述监测、评价种类、类群和环境健康状况评价指标(表5)所构成的重庆市生态功能区环境监测、评价体系,及其所作出的评价,还需要在实践应用中验证和完善。

表5 重庆市各功能区环境健康状况评价指标和评价结果

Table 5 The evaluating index and evaluated results of state for environmental health at ecological function divisions in the Chongqing

因子及分值 Factors and score	重庆市生态功能区 Functional region of ecology in Chongqing						
	1	2	3	4	5	6	7
主成分 Component	3.0416	0.5627	-0.9272	-0.2735	1.2455	0.6363	0.7308
分值 Score	3.04	0.56	-0.93	-0.27	1.25	0.64	0.73
种 X_1	319	177	127	73	211	137	106
分值 Score	63.8	35.4	25.4	14.6	42.2	27.4	21.2
属 X_2	144	90	73	47	104	73	61
分值 Score	11.39	7.12	5.78	3.72	8.23	5.78	4.83
科 X_3	12	8	8	10	9	9	10
分值 Score	0.68	0.46	0.46	0.57	0.51	0.51	
种类优势度 X_9	0.0667	0.1166	0.1306	0.1296	0.1404	0.1079	0.1080
分值 Score	-0.05	-0.09	-0.10	-0.10	-0.11	-0.08	-0.08
罕 X_{10}	15.7	2.8	0.0	0.0	2.9	6.6	3.8
分值 Score	1.07	0.19	0.00	0.00	0.20	0.45	0.26
少 X_{11}	26.1	18.0	11.0	8.2	17.5	10.9	4.7
分值 Score	2.01	1.39	0.85	0.63	1.35	0.84	0.36
常 X_{12}	46.9	60.1	61.4	49.3	63.0	42.2	60.4
分值 Score	1.96	2.51	2.57	2.06	2.64	1.77	2.53
优 X_{13}	11.3	19.1	27.6	42.4	16.8	52.4	31.1
分值 Score	-0.76	-1.29	-1.86	-2.86	-1.13	-3.53	-2.10
人口压力 X_{22}	7720	36387.5	15581	3691.7	7118.2	10093	53422.9
分值 Score	-0.20	-0.77	-3.64	-1.56	-0.37	-0.71	-1.00
总分 Total	82.94	45.48	28.53	16.79	54.77	33.07	27.30

续表

因子及分值 Factors and score	重庆市生态功能区 Functional region of ecology in Chongqing						
	8	9	10	11	12	13	14
主成分 Component	-2.1312	2.3004	2.7965	-0.6119	-5.8265	-1.7817	0.2381
分值 Score	-2.13	2.30	2.80	-0.61	-5.83	-1.78	0.24
种 X_1	34	198	263	58	23	60	125
分值 Score	6.8	39.6	52.6	11.6	4.6	12.0	25.0
属 X_2	19	91	115	39	16	41	74
分值 Score	1.50	7.20	9.10	3.09	1.27	3.24	5.85
科 X_3		11	11	9	7	7	11
分值 Score	0.34	0.63	0.63	0.51	0.40	0.4	0.63
种类优势度 X_9	0.2401	0.1002	0.0945	0.1711	0.3178	0.2925	0.1816
分值 Score	-0.18	-0.08	-0.07	-0.13	-0.24	-0.22	-0.14
罕 X_{10}	0.0	5.1	9.9	0.0	0.0	0.0	6.6
分值 Score	0.00	0.35	0.68	0.00	0.00	0.00	0.45
少 X_{11}	2.9	21.2	25.6	5.2	0.0	5.0	8.2
分值 Score	0.22	1.64	1.98	0.40	0.0	0.39	0.63
常 X_{12}	23.6	56.1	50.8	48.3	8.7	38.3	55.7
分值 Score	0.99	2.35	2.13	2.02	0.36	1.60	2.33
优 X_{13}	73.5	17.7	13.7	46.5	91.3	56.7	29.5
分值 Score	-4.96	-1.19	-0.92	-3.13	-6.15	-3.82	-1.99
人口压力 X_{22}	53422.9	6314.3	8991.8	24062.5	176733	67816.7	18539
分值 Score	-5.34	-0.63	-0.90	-2.41	-17.67	-6.78	-1.85
总分 Total	-2.76	52.17	68.03	11.34	-23.26	5.03	31.15

X_1 — X_3 , X_9 — X_{13} 的含义见表 1; X_{22} 的含义见表 2

致谢: 本课题得到重庆市环境保护局自然处的支持,陈盛堃处长给予多方面关注;重庆自然博物馆郎嵩云博士核对蝴蝶学名,帮助写作;参与野外工作的还有:重庆自然博物馆的刘文萍、李树恒、侯江、洪兆春、左燕;台湾师范大学生物系徐培峰教授、吕至坚博士、吴立伟博士和重庆市森林病虫害防治检疫站的漆波、杨萍、杨世璋、张岚、林琳、林静、陈冰勇、陈军等同志,特此致谢。

References:

- [1] Li A M, Deng H L, Qi M A. The biodiversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): - .
- [2] Sun X Y, Zhou Q X, Yu H B, Meng W. Comparative study on ecoregion and its classification systems between China and USA. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(11): 3010-3017.
- [3] Ma K M, Kong H M, Guan W B, Fu B J. Ecosystem health assessment: methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [4] Saarinen K. A comparison of butterfly communities along field margins under traditional and intensive management in SE Finland. *Agriculture, Ecosystematics and Environmet*, 2002, 91(1): 58-65.
- [5] Nelson S M. The Western Viceroy butterfly (*Nymphalidae: Limenitis archippus obsoleta*): an indicator for riparian restoration in the arid southwestern United States. *Ecological Indicators*, 2003, 3(3): 203-211.
- [6] Barlow J, Overall W L, Araujo I S, Gardner T A, Peres C A. The value of primary, secondary and plantation forests for fruit-feeding butterflies in the Brazilian Amazon. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(5): 1001-1012.
- [7] Koh L P. Impacts of land use change on South-east Asian forest butterflies: a review. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(4): 703-713.
- [8] Uehara-Prado M, Brown K S Jr, Freitas A V L. Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16(1): 43-54.
- [9] Wang Y P, Wu H, Xu H C. Butterfly diversity and evaluation of forest eco-system health in important ecological areas of Zhejiang Province. *Acta*

- Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5259-5269.
- [10] Liu W P, Deng H L. The butterfly diversities in Muli, Sichuan Province. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3): 266-271.
- [11] Zhao Z M, Guo Y Q. Principle and Methods of Community Ecology. Chongqing: Publishing House of Scientific and Technical Documentation, Chongqing Branch, 1990: 123-288.
- [12] Li C X, Wang Z H, Wang W L. Biostatistics. Beijing: Science Press, 2004: 25-250.
- [13] Li Z G, Zhang B S, Gong P B, Li J, Han S C. Urbanization and butterfly diversity: a case study in Guangzhou, China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3911-3918.
- [14] Tang C M, Yang Q S, Cai J Z. The butterfly diversity of different habitat types in Xiaolongshan forest area, Gansu Province. Chinese Bulletin of Entomology, 2010, 47(3): 563-567.
- [15] Zha Y P, Luo Q G, Wang G X, Wu S B, Huang D Q, Deng C S, Kui Q. Community diversity of butterfly in Houhe National Nature Reserve. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 265-268.
- [16] Li X, Yuan X Z, Deng H L. Vertical distribution and diversity of butterflies in Hengduan Mountains, Southwest China. Chinese journal of Ecology, 2009, 28(9): 1847-1852.
- [17] Zhang L M, Chen B, Li Z G. Analysis of the species diversity and community stability in local-community using the Neutral Theory. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1556-1563.
- [18] Li Z Q, Ouyang Z Y, Zeng H Q. Assessment methods for territorial biodiversity hotspot based on species richness at broad scale. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1586-1593.
- [19] Cai J L, Yin H, Huang Y. Ecological function regionalization: a review. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(11): 3018-3027.
- [20] Lambeck R J. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. Conservation Biology, 1997, 11(4): 849-856.
- [21] Brooker L. The application of focal species knowledge to landscape design in agricultural lands using the ecological neighbourhood as a template. Landscape and Urban Planning, 2002, 60(4): 185-210.
- [22] Humphrey J, Ray D, Brown T, Stone D, Watts K, Anderson R. Using focal species modelling to evaluate the impact of land use change on forest and other habitat networks in western oceanic landscapes. Forestry, 2009, 82(2): 119-134.
- [23] Villard M A, Jonsson B G. Tolerance of focal species to forest management intensity as a guide in the development of conservation targets. Forest Ecology and Management, 2009, 258(Supplement): 142-145.
- [24] Hu W S, Wang S S, Li D H. Biological conservation security patterns plan in Beijing based on the focal species approach. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4266-4276.
- [25] Jose L V, Ibarra-Manríquez G, Meave J A, Ortiz E. Higher taxa as surrogates of plant biodiversity in a Megadiverse Country. Conservation Biology, 2005, 19(1): 232-238.
- [26] Scalercio S, Pizzolotto R, Brandmayr P. Multi-scale analysis of butterfly diversity in a Mediterranean mountain landscape: mapping and evaluation of community vulnerability. Biodiversity and Conservation, 2007, 16(12): 3463-3479.
- [27] Zhao C Y, Li J S, Luo J W, Xiao N W, Luo Z L. A review on responses of butterflies to global climate change. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 1050-1057.
- [28] Wang M, Huang G H, Fan X L, Xie G Z, Huang L S, Yuan K Y. Species diversity of butterflies in Shimentai Nature Reserve, Guangdong. Biodiversity Science, 2003, 11(6): 441-453.
- [29] Wang Y P, Wu H, Xu H C. Biological and ecological bases of using insect as a bio-indicator to assess forest health. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1625-1630.
- [30] Spagarino C, Pastur G M, Peri P L. Changes in *Nothofagus pumilio* forest biodiversity during the forest management cycle. I. Insect. Biodiversity and Conservation, 2001, 10(12): 2077-2092.
- [31] Kitching R L, Orr A G, Thalib L, Mitchell H, Hopkins M S, Graham A W. Moth assemblages as indicators of environmental quality in remnants of upland Australian rain forest. Journal of Applied Ecology, 2000, 37(2): 284-297.
- [32] Keven P G, Greco C F, Belaousoff S. Log-normality of biodiversity and abundance in diagnosis and measuring of ecosystemic health: pesticide stress on pollinators on blueberry heaths. Journal of Applied Ecology, 1997, 34(5): 1122-1136.
- [33] Keven P G, Forbes B C, Keven S M, Behan-Pelletier V. Vehicle tracks on high arctic tundra: their effects on the soil, vegetation, and soil arthropods. Journal of Applied Ecology, 1995, 32(3): 655-667.
- [34] Yuan X Z, Ye L Q. The community index of assessing ecosystem health. Environment Herald, 2001, (1): 45-47.
- [35] Mackenzie A, Ball A S, Virdee S R, Instant Notes in Ecology. Oxford: BIOS Scientific Publishers Limited, 1998: 167-222.
- [36] Yang P, Deng H L, Qi B, Liu Q. The occupied rate of microhabitats, sampled percentage of species and relative abundance of butterfly community in the Three Gorge Reservoir Area of Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 2424-2435.

- [37] Hu B B, Li H H, Liang Z P, Zhao T J, Ren X B. Diversity and fauna of butterflies in Baxian Mountain State Nature Reserves. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3226-3238.

参考文献:

- [1] 李爱民, 邓合黎, 马琦. 重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数. *生态学报*, 2012, 32(15): 4615-4620.
- [2] 孙小银, 周启星, 于宏兵, 孟伟. 中美生态分区及其分级体系比较研究. *生态学报*, 2010, 30(11): 3010-3017.
- [3] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 傅伯杰. 生态系统健康评价: 方法与方向. *生态学报* 2001, 21(12): 2106-2116.
- [9] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 浙江重点生态地区蝶类生物多样性及其森林生态系统健康评价. *生态学报*, 2008, 28(11): 5259-5269.
- [10] 刘文萍, 邓合黎. 木里蝶类多样性的研究. *生态学报*, 1997, 17(3): 266-271.
- [11] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990: 123-280.
- [12] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学. 北京: 科学出版社, 2004: 25-250.
- [13] 李志刚, 张碧胜, 龚鹏博, 李军, 翟欣, 韩诗畴. 广州市不同城市化发展区域蝶类多样性. *生态学报*, 2009, 29(7): 3911-3918.
- [14] 汤春梅, 杨庆森, 蔡继增. 甘肃小陇山林区不同生境类型蝶类多样性研究. *昆虫知识*, 2010, 47(3): 563-567.
- [15] 查玉平, 骆启桂, 王国秀, 吴少斌, 黄大钱, 邓长盛, 隗权. 后河国家级自然保护区蝴蝶群落多样性研究. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 265-268.
- [16] 黎璇, 袁兴中, 邓合黎. 横断山区蝶类的垂直分布及其多样性. *生态学杂志*, 2009, 28(9): 1847-1852.
- [17] 张立敏, 陈斌, 李正跃. 应用中性感理论分析局域群落中的物种多样性及稳定性. *生态学报*, 2010, 30(6): 1556-1563.
- [18] 李智琦, 欧阳志云, 曾慧卿. 基于物种的大尺度生物多样性热点研究方法. *生态学报*, 2010, 30(6): 1586-1593.
- [19] 蔡佳亮, 殷贺, 黄艺. 生态功能区划理论研究进展. *生态学报*, 2010, 30(11): 3018-3027.
- [24] 胡望舒, 王思思, 李迪华. 基于焦点物种的北京市生物保护安全格局规划. *生态学报*, 2010, 30(16): 4266-4276.
- [27] 赵彩云, 李俊生, 罗建成, 肖能文, 罗遵兰. 蝴蝶对全球气候变化响应的研究综述. *生态学报*, 2010, 30(4): 1050-1057.
- [28] 王敏, 黄国华, 范晓凌, 谢国忠, 黄林生, 戴克元. 石门台自然保护区蝴蝶物种多样性研究. *生物多样性*, 2003, 11(6): 441-453.
- [29] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 以昆虫作为指示生物评估森林健康的生物学与生态学基础. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1625-1630.
- [34] 袁兴中, 叶林奇. 生态系统健康评价的群落学指标. *环境导报*, 2001, (1): 45-47.
- [36] 杨萍, 邓合黎, 漆波, 刘琼. 长江三峡库区蝶类群落的物种获得率、小生境占有率及相对多度. *生态学报*, 2005, 25(3): 2424-2435.
- [37] 胡冰冰, 李后魂, 梁之聘, 赵铁建, 任秀柏. 八仙山自然保护区蝴蝶群落多样性及区系组成. *生态学报*, 2010, 30(12): 3226-3238.

《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 16 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 16 (August, 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:1000717	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