

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

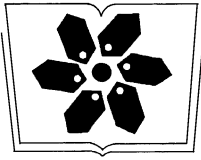
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **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 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机肥腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

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

DOI: 10.5846/stxb201101190102

马琦, 李爱民, 邓合黎. 长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数. 生态学报, 2012, 32(5): 1458-1470.

Ma Q, Li A M, Deng H L. The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1458-1470.

长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数

马 琦, 李爱民, 邓合黎*

(重庆自然博物馆, 重庆 北碚 400700)

摘要:在三峡库区蝶类物种多样性调查基础上,从等级多样性角度进行分析,结果表明,蝴蝶属级,科级和等级多样性指数在灌丛生境较高,森林、农田和草地生境多样性较低;非参数检验和方差分析结果表明 4 种生境在属级和等级多样性上差异显著,灌丛生境和其他生境差异显著。海拔 500—1500m 高度,蝴蝶的生物多样性相对较高,是库区蝴蝶最重要的生存地带。属级和科级多样性指数的变异系数在森林植被型样本间最大,前者有 4 个小生境在 100% 以上,后者有 6 个小生境超过 100%;农田科的变异系数有 1 个小生境超过 100%;草地的属和科变异系数均是 1 个小生境超过 100%;灌丛则全部低于 100%。这些数值,反映了三峡库区的形成对蝴蝶的生存及分布的产生了很大的影响,进一步证明库区蝶类生存环境的多样性和破碎化;其中,森林对蝴蝶生存的影响是最复杂的;通过蝴蝶做环境质量评估时,灌丛可作为首选考察对象。

关键词:蝴蝶;群落;结构;参数;三峡库区

The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

MA Qi, LI Aimin, DENG Heli*

Chongqing Museum of Natural History, Chongqing Beibei 400700, China

Abstract: This is our third article on butterfly communities in the Three Gorges Reservoir Area of the Yangtze River. Based on the findings reported in our previous two papers entitled “The occupied rate of microhabitats, sampled percentage of species and relative abundance of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River” and “The diversity indexes, richness and evenness of butterfly communities in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River”, we report in this paper three parameters, namely the genus diversity index, family diversity index and hierarchical diversity index, of butterfly communities in this region. These indices are used to further investigate the biodiversity of the butterfly community and to help understand how the establishment of a reservoir would affect the ecosystem. The results show that the genus diversity index of shrub land was the highest of all vegetation types while those of farmland, which was similar with forest. It was 1.2158 in shrub land, 0.9006 in farmland, 0.8558 in forest, and 0.8235 in grassland. In terms of the genus diversity index, the microhabitats of shrub land contained four of the former six, that of grassland made up three of the last six. The family diversity index of shrub land was 0.7674, while those of farmland, grassland and forest were 0.5774, 0.5716 and 0.5503, respectively, and were therefore similar. Based on the diversity index values, shrub land seems to provide the most suitable habitat for butterflies. The hierarchical diversity index of shrub land was 3.2975, while those of farmland, forest and grassland were similar, being 2.5186, 2.3960 and 2.4059, respectively. Genus-level, family-level and hierarchy-level diversities were relatively high in shrub land and low in forest and grassland. The forest had the lowest

基金项目:重庆市环境保护局生物物种详查项目;重庆市科学技术委员会资助项目

收稿日期:2011-01-19; 修订日期:2011-11-15

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

hierarchical diversity, and coefficient of variation (*CV*) of this diversity index was the highest. The four habitats had significant differences in genus-level and hierarchy-level diversity according to analysis of variance. The diversity of shrub land was significantly different to those of the other habitats. Biodiversity was relatively high at the elevation of 500—1500 meters, suggesting that it is an important area for butterflies. The *CVs* of genus-level and family-level diversities were greatest in the forest; the *CVs* of four microhabitats were over 100% in the former and six were over 100% in the latter. One microhabitat *CV* in farmland was over 100% for family diversity and in grassland was over 100% for genus-level and family-level diversity. In shrub land, the *CVs* of diversity were all below 100%. The importance of forests to butterflies was found to be the most complex. Shrub land should be first selected as a target site for conservation, while grassland is the most unsuitable. The *CVs* of the indices for species, genus and family diversity in the forest were the highest because of the heterogeneity of the forest environment, which affects the butterfly communities. These findings indicate that the Three Gorges Reservoir Area is important for the survival and distribution of butterflies. Moreover, they show that the habitat of butterflies in the reservoir area is variable and fragmented, which will influence the diversity and evenness of the butterfly community.

Key Words: butterfly; community; structure; parameter; the Three Gorges Reservoir Area

随着三峡工程建成运行,其生态安全备受关注,监测环境变化,建立预警指标和机制势在必行^[1-6]。蝴蝶作为构建评估、监测指标体系的重要生物类群之一,是当前常用的环境指示生物^[7-9]。三峡库区蝶类群落结构动态及其环境监测作用的前两篇论文^[7-8],从蝶类群落的物种获得率、小生境占有率、相对多度和物种多样性等方面,反映三峡库区蝶类的生活环境。较高等级的分类阶元和多类群多样性指标,可作为物种多样性的替代指标对象,多类群手段替代单类群手段可用于区域监测和保护研究^[8,10-19],同时,通过对不同分类阶元进行多样性分析,可以从进化的角度进一步阐述环境对生物多样性的影响。因此,本文在之前物种多样性分析的基础上,对三峡库区蝶类群落进行等级多样性指数分析,为三峡库区环境质量评估、监测提供更加定量准确的数据,并为环境生态功能健康分析提供途径和基础数据。

1 调查方法、生境类型分析和数据处理

1.1 调查方法

蝴蝶的野外数量统计方法主要有样方法^[20]、横截法和路线法^[21-23]。结合本研究的要求,野外调查数据采用路线法获得,即在选定的小生境,以 100m 长,5m 宽(采集者活动路线两侧各 2.5m)为样线,在 1h 内,采集样线内的蝴蝶,带回室内,作为鉴别样本,获取的数据作为多样性运算分析的依据^[24]。调查时间为每年的 3 月份至 10 月份。

1.2 生境划分

三峡库区蝴蝶栖息环境的主要植被型有灌丛,森林,草地和农田(人工植被)4 类,由于环境过于破碎,在同一小生境内,也很难有纯的单一栖息环境。因此,此次调查采用的生境类型是在植被型前加上该植被内的次要一种生境加以记载,比如,在草地植被型内,出现有次要的灌丛,该生境记载为灌丛草地。令灌丛为 A,森林 B,农田 C,草地 D。本研究共分生境类型 21 个,再加 5 个海拔梯度(一般划分为 100—500m,500—1000m,1000—1500m,1500—2000m,2000m 以上 5 个梯度。农田只有 4 个梯度。草地总共只有 15 个小生境),共构成 80 个小生境。每个小生境,从海拔低的高度向上排序。具体编号如次:山坡灌丛 A1—A5,农田灌丛 A6—A10,阔叶林灌丛 A11—A15,针叶林灌丛 A16—20,混交林灌丛 A21—A25;溪流灌丛 A26—29;人工阔叶林 B1,针叶林 B2—B6,阔叶林 B7—B10,针阔混交林 B11—B15,竹林 B16—20;树林农田 C1—C4,溪流农田 C5—C8,丘陵农田 C9—C12,灌丛农田 C13—C16;溪流农田草地 D1,山坡农田草地 D2—D6,山坡果园草地 D7,针叶林林间草地 D8—D9,山坡(农田)灌丛草地 D10,灌丛草地 D11—D13,草原 D14,草甸草原 D15。

1.3 数据处理

本研究的数据均用 Excel2003 软件处理;用 SPSS 软件进行非参数检验、方差分析和多重比较;特征定量分析采用 Shannon-wiener 多样性指数(H');等级多样性指数($H'(FGS)$)和变异系数(CV);大样本均数进行 μ 检验。

变异系数:

$$CV = \sigma / \mu$$

式中, σ 为标准差, μ 为均值。

Shannon-wiener 信息多样性指数: $H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$

式中, S 代表类群数; H' 为多样性指数, P_i 为第 i 科、属的个体占总数的比例。

考察研究对象的科(F),属(G)和种(S)三级分类阶元,则等级多样性为^[25-26]:

$$H'_{(FGS)} = H'_{(F)} + H'_{F(G)} + H'_{G(S)}$$

考察大样本均数差异是否显著,进行 μ 检验^[27]:

$$\mu = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S_{x_1-x_2}} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

式中, \bar{x}_i 为样本 i 的均数, S_i 为样本 i 的标准差, N_i 为样本 i 的变员数。

2 结果

2.1 三峡库区蝶类属级多样性

2.1.1 蝶类属级多样性与小生境

最高属的多样性指数出现在 1000—1500 m 针阔混交林(B13) 1.9453,其次是 500—1000 m 阔叶林灌丛(A12) 1.8412,第三是 1000—1500 m 山坡农田草地(D4) 1.6552,第四是 100—500 m 农田灌丛(A6) 1.6359,第五是 500—1000 m 山坡灌丛(A2) 1.5632,第六是 1500—2000 m 混交林灌丛(A24) 1.5267。最低属的多样性指数是 2000 m 以上针阔混交林(B15)和 1500—2000 m 草原(D14)均为 0,以上依次是 1500—2000 m 针叶林(B5) 0.2426,500—1000 m 山坡农田草地(D3) 0.2535,100—500 m 针阔混交林(B11) 0.3280 和 1000—1500 m 丘陵农田(C11) 0.3350(表 1)。居前 6 位的灌丛生境 4 个,而居于后 6 位的森林生境 3 个(图 1)。

2.1.2 蝶类属级多样性与生境类型

最高属的多样性指数出现在阔叶林灌丛(A11—14) 1.3607,其次是混交林灌丛(A23—24) 1.3165,再次是竹林(B17) 1.2816,第四位是农田灌丛(A6,8,9) 1.2450,第五位是山坡灌丛(A1—4) 1.2276,第六位是人工阔叶林(B1) 1.1899。最低属的多样性指数是草原(D14)为 0,以上依次是山坡(农田)灌丛草地(D10) 0.3590,阔叶林(B7—9) 0.3630,丘陵农田(C9—11) 0.6916,针叶林(B2—6) 0.6923 倒数第六位灌丛草地(D11,13) 0.8069(表 1)。居前 6 位的灌丛植被型有 4 个,而居于后 6 位的草地生境类型有 3 个。

对不同生境的属级多样性指数进行非参数检验,结果表明 4 种生境(灌丛、森林、农田、草地)的属级多样性有显著差异($\chi^2 = 9.251; P = 0.026 < 0.05; df = 3$)。

2.1.3 蝶类属级多样性与植被型及其随海拔高度的变化

灌丛属的多样性最高 1.2158,而农田 0.9006、森林 0.8558 和草地 0.8235 则非常相近(表 1)。

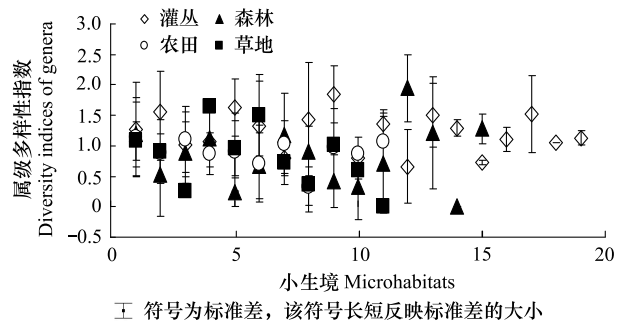


图 1 三峡库区蝴蝶属级多样性指数在各小生境类型里的变化
Fig. 1 Variations of diversity indices of butterfly for genera at every kind of microhabitats in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

表 1 三峡库区蝴蝶在小生境、生境类型和植被型中属的多样性指数
 Table 1 Generic diversity indices of butterfly at microhabitats, habitat types and vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

小生境代号 ¹⁾ Codename of habitats	海拔/m Elevation	N ²⁾	属数 Numbers of genera		属的多样性指数 Diversity indices of genera					$\bar{M}_3^{3)}$
			$\bar{M}_1^{3)}$	排序 Ordination	R ²⁾	SD ²⁾	C ²⁾	$\bar{M}_2^{3)}$		
A1	100—500	22	1—16	1.265	14	0.2729—2.2922	0.7751	61.28	1.228	1.216
A2	500—100	22	5—16	1.563	5	0.4868—2.5936	0.6686	42.77		
A3	1000—1500	22	2—12	1.019	28	0.3530—2.2577	0.5300	52.00		
A4	1500—2000	9	3—10	1.063	25	0.4476—1.6275	0.5289	49.76		
A6	100—500	14	4—13	1.636	4	0.8008—2.3249	0.4688	28.66	1.245	
A8	1000—1500	12	3—14	1.317	12	0.5975—2.5713	0.7542	57.28		
A9	1500—2000	4	3—5	0.797	39	0.4403—0.9834	0.2432	30.50		
A11	100—500	10	1—20	1.438	10	0—2.5642	0.9241	64.28	1.361	
A12	500—1000	9	4—15	1.841	2	0.9335—2.5324	0.4735	25.72		
A13	1000—1500	6	2—9	0.797	40	0.5482—1.4819	0.3406	42.74		
A14	1500—2000	6	4—11	1.367	11	1.1223—1.7550	0.2273	16.63		
A16	100—500	14	0—7	0.658	46	0—1.4283	0.6023	91.48	1.045	
A17	500—1000	12	3—11	1.504	8	0.6728—2.2229	0.5272	35.06		
A18	1000—1500	3	8—12	1.294	13	1.1745—1.4502	0.1413	10.92		
A19	1500—2000	3	4	0.725	41	0.6880—0.7676	0.0402	5.55		
A23	1000—1500	5	5—8	1.106	21	0.8264—1.3894	0.2065	18.67	1.317	
A24	1500—2000	3	4—9	1.527	6	0.8011—1.9199	0.6291	41.21		
A26	100—500	1	3	1.055	26	1.0550	0.0000		1.091	
A27	500—1000	7	5—10	1.128	19	0.9659—1.3081	0.1179	10.46		
B1	100—500	11	2—8	1.190	16	0.2236—1.9722	0.5347	44.94	1.190	0.856
B2	100—500	14	0—6	0.523	42	0—1.7327	0.6765	129.33	0.692	
B3	500—1000	22	0—10	0.893	36	0—1.8165	0.5067	56.75		
B4	1000—1500	3	4—9	1.127	20	0.6348—1.5816	0.4745	42.10		
B5	1500—2000	9	1—3	0.243	54	0—0.4396	0.2311	95.26		
B6	2000 以上	8	1—11	0.676	45	0—1.3786	0.5395	79.83		
B7	100—500	41	0—12	1.183	17	0—2.2000	0.6795	57.46	0.363	
B8	500—1000	55	1—14	0.901	33	0—0.2429	0.4242	47.10		
B9	1000—1500	7	1—7	0.424	49	0—1.0928	0.4298	101.32		
B11	100—500	6	0—5	0.328	52	0—1.2747	0.5403	164.73	0.836	
B12	500—1000	6	0—6	0.716	43	0—1.8948	0.8255	115.31		
B13	1000—1500	5	7—14	1.945	1	1.0265—2.4472	0.5434	27.93		

续表

小生境代号 ¹⁾ Codename of habitats	海拔/m Elevation	N ²⁾	属数 Numbers of genera	属的多样性指数 Diversity indices of genera				M ₃ ³⁾		
				M ₁ ³⁾	排序 Ordination	R ²⁾	SD ²⁾		CV ²⁾	M ₂ ³⁾
B14	1500—2000	19	1—24	1.208	15	0—4.5319	0.9179	75.99		
B15	2000 以上	1	1	0.000	55	0.0000	0.0000			
B17	500—1000	4	4—10	1.282	9	1.0541—1.4329	0.2403	16.22	1.282	
C1	100—500	52	0—14	1.143	18	0—3.0560	0.6404	56.01	1.003	0.901
C2	500—1000	6	3—7	0.895	35	0.7249—1.1018	0.1260	14.08		
C3	1000—1500	26	2—14	1.104	22	0.4106—2.5874	0.5458	49.41		
C4	1500—2000	4	3—6	0.870	38	0.5581—1.2259	0.3422	39.35		
C5	100—500	39	0—13	0.899	34	0—2.6286	0.6346	70.61	0.899	
C9	100—500	29	0—11	0.713	44	0—2.5625	0.6335	88.85	0.692	
C10	500—1000	13	2—8	1.028	27	0.4771—2.0751	0.3927	38.21		
C11	1000—1500	3	1—2	0.335	51	0—0.6323	0.3178	94.87		
C13	100—500	15	0—11	0.972	30	0—2.2457	0.6336	65.17	0.973	
C14	500—1000	6	4—9	0.879	37	0.6799—1.3447	0.2629	29.91		
C15	1000—1500	6	3—7	1.069	24	0.7154—1.8900	0.4209	39.39		
D1	100—500	3	4—7	1.080	23	0.8957—1.4479	0.3188	29.52	1.080	0.824
D2	100—500	11	2—7	0.906	32	0.4152—2.0226	0.5260	58.04	0.942	
D3	500—1000	1	2	0.254	53	0.2535	0			
D4	1000—1500	4	5—8	1.655	3	1.5503—1.7311	0.0757	4.57		
D5	1500—2000	15	1—7	0.954	31	0—1.7481	0.4526	47.44		
D8	1000—1500	7	3—10	1.507	7	0.6141—2.2116	0.6642	44.08	1.115	
D9	1500—2000	8	1—5	0.724	42	0—1.1810	0.3557	49.14		
D10	1500—2000	8	1—5	0.360	50	0—1.0615	0.4364	121.39	0.360	
D11	1000—1500	2	6	1.018	29	1.0180	0.0000		0.810	
D13	2000 以上	7	1—3	0.601	47	0—1.0983	0.3271	54.41		
D14	1500—2000	1	1	0.000	55	0	0.0000		0.000	

1) A1—4:山坡灌丛 Hillside-bush; A6, A8, A9:农田灌丛 Cropland-bush; A11—14:阔叶林灌丛 Latifoliate forest-bush; A16—19:针叶林灌丛 Conifer forest-bush; A23—24:混交林灌丛 Mixed forest-bush; A26—27:溪流灌丛 Rivulet bush; B1:人工阔叶林 Artificial latifoliate forest; B2—6:针叶林 Conifer forest; B7—9:阔叶林 latifoliate forest; B11—15:针阔混交林 Conifer-latifoliate mixed forest; B17:竹林 Bamboo forest; C1—4:树林农田 Grove-cropland; C5:溪流农田 Rivulet cropland; C9—11:丘陵农田 Hills cropland; C13—15:灌丛农田 Bush-cropland; D1:溪流农田草地 Rivulet-cropland-grassland; D2—5:山坡农田草地 Hillside-cropland-grassland; D8—9:针叶林间草地 Grassland in conifer forest; D10:山坡(农田)灌丛草地 Hillside (cropland) bush-grassland; D11, 13:灌丛草地 Bush-grassland; D14:草地 Grassland; 下同 the same below

2) N = 样本数 Sample number; \bar{M} = 平均值 Mean; R = 范围 Range; SD = 标准差 Standard deviation; CV = 变异系数 Variation coefficient

3) \bar{M}_1 : 属的多样性指数平均值 Average value of generic diversity indices; \bar{M}_2 : 各生境类型属多样性指数平均值 Average value of generic diversity indices each habitat types; \bar{M}_3 : 各植被类型多样性指数平均值 Average value of generic diversity indices each vegetation types

森林植被型的属多样性指数在样本间的变异系数最大,有 4 个小生境在 100% 以上,草地植被型都只有一个小生境超过 100%,农田和灌丛植被型的变异系数都没有超过 100% (表 1)。

属的多样性指数基本先随海拔高度上升,在 500—1500 m 梯度达到高峰,然后逐渐随高度升高而下降。各植被生境类型的变化则不相同,灌丛和农田的最高属多样性出现在 500—1000 m,森林和草地的最高属多样性出现在 1000—1500 m。随后,灌丛和森林随海拔高度的升高而下降;草地则在 1000—1500 m 再度下降,然后再上升;农田变化趋势不大。整体上看,灌丛和森林属的多样性变化趋势相近,农田变化平缓,灌丛、森林和草地变化幅度大(图 2)。

2.2 三峡库区蝶类科级多样性

2.2.1 蝶类科级多样性与小生境

蝴蝶分布的科级最高多样性出现在 500—1000 m 阔叶林灌丛(A12) 1.3576,其次为 1000—1500 m 针阔混交林(B13) 1.3403,再次是 1000—1500 m 山坡农田草地(D4) 1.3402,第四位是 100—500 m 农田灌丛(A6) 1.1408,第五位是 500—1000 m 针叶林灌丛(A17) 1.1282,第六位是 100—500 m 阔叶林灌丛(A11) 1.0651。2000 m 以上针阔混交林(B15)、1000—1500 m 丘陵农田(C11)、500—1000 m 山坡农田草地(D3)、1500—2000 m 草原(D14)等 4 个生境类型并列科级多样性最低级,指数是 0。倒数第二位是 1500—2000 m 针叶林(B5) 0.0938,第三位是 1500—2000 m 山坡(农田)灌丛草地(D10) 0.1195。在前 6 位中,灌丛生境类型占了 4 个;而倒数 6 位的生境类型中,草地生境类型占 3 个(表 2)。

生境类型内,虽然各小生境科级多样性变异系数最大值出现在山坡(农田)灌丛草地(D10),为 207.70%,但各小生境样本间科级多样性变化最多的还是森林,在 15 个小生境中,有 6 个变异系数在 103.95%—160.57% 之间。灌丛全部低于 100%,农田和草地均只有 1 个超过 100% (图 3)。

2.2.2 蝶类科级多样性与生境类型

最高的科级多样性指数出现在阔叶林灌丛(A11—14) 0.9929,其次是溪流农田草地(D1) 0.8002,再次是农田灌丛(A6,8,9) 0.7668,第四位是山坡灌丛(A1—4) 0.7580,第五位是竹林(B17) 0.7195,第六位是人工阔叶林(B1) 0.7133。最低属的多样性指数是草原(D14) 为 0,以上依次是山坡(农田)灌丛草地(D10) 0.1195,丘陵农田(C9—11) 0.4240,针叶林(B2—6) 0.4476,针阔混交林(B11—15) 0.5359,倒数第六位灌丛草地(D11,13) 0.5571(表 2)。居前 6 位的灌丛生境类型和居于后 6 位的草地生境类型均为 3 个。

对不同生境的科级多样性指数进行单因素方差分析,结果表明 4 种生境(灌丛、森林、农田、草地)的科级多样性无显著差异($F=1.820; P=0.155>0.05; df=3$),对 4 种生境类型的科级多样性进行 LSD 法和 Dunnett 法均值多重比较,LSD 法结果表明灌丛和森林之间的差异显著($P=0.042<0.05$),Dunnett 法结果表明灌丛和森林、灌丛和草地、灌丛和农田差异不显著(灌丛: 0.767 ± 0.285 ; 森林: 0.550 ± 0.332 ; 农田: 0.577 ± 0.226 ; 草地: 0.571 ± 0.422)。

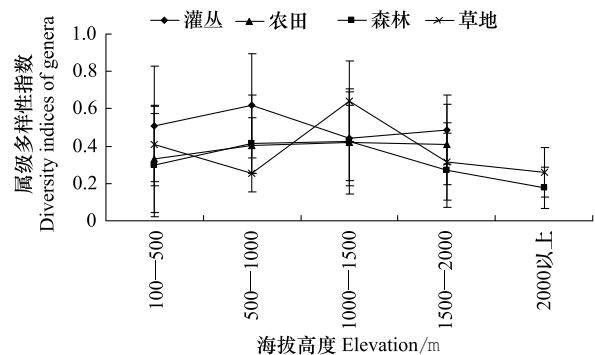


图 2 三峡库区各植被型中蝴蝶的属级多样性随海拔高度的变化图

Fig. 2 Variations of generic diversity indices of butterfly with elevation at each vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

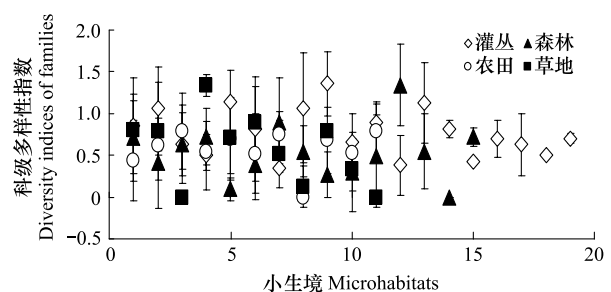


图 3 三峡库区蝴蝶科级多样性指数在各小生境类型里的变化

Fig. 3 Variations of diversity indices of butterfly for families at every kind of microhabitats in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

表 2 三峡库区蝴蝶在各生境类型和植被型中和等级的多样性指数
 Table 2 Family diversity indices and grade diversity indices of butterfly in each habitat types and each vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

生境代号 ¹⁾ Code name of habitats	海拔/m Elevation	N ²⁾	科数 Numbers of family		科的多样性 Diversity indices of family					排序 Ordination	$\bar{M}_7^{(3)}$	$\bar{M}_8^{(3)}$	$\bar{M}_9^{(3)}$
			N ²⁾	$\bar{M}_4^{(3)}$	排序 Ordination	R ²⁾	SD ²⁾	CV ²⁾	$\bar{M}_5^{(3)}$				
A1	100—500	22	1—7	0.851	12	0—1.6887	0.5724	67.50	0.758	0.767	3.485	3.310	3.298
A2	500—1000	22	1—8	1.056	7	0.3023—2.0039	0.5012	47.44			4.332	4	
A3	1000—1500	22	1—6	0.628	30	0—1.4405	0.4704	74.86			2.799	29	
A4	1500—2000	9	1—3	0.497	40	0—0.9171	0.4089	82.34			2.623	32	
A6	100—500	14	2—6	1.141	4	0.3652—1.5379	0.3802	33.33	0.767		4.580	3	3.371
A8	1000—1500	12	1—7	0.813	14	0—1.7251	0.6212	76.37			3.543	10	
A9	1500—2000	4	2	0.346	47	0.3410—0.3597	0.0568	16.41			1.989	43	
A11	100—500	10	1—7	1.065	6	0—2.5642	0.6560	61.59	0.993		3.976	7	3.791
A12	500—1000	9	3—7	1.358	1	0.6698—1.8709	0.3828	28.20			5.108	1	
A13	1000—1500	6	2—4	0.654	28	0.3995—1.0198	0.3487	53.31			2.363	39	
A14	1500—2000	6	2—4	0.895	10	0.7919—1.0451	0.0879	9.82			3.717	8	
A16	100—500	14	0—4	0.380	45	0—1.4283	0.3632	95.68	0.688		1.814	46	2.872
A17	500—1000	12	2—7	1.128	5	0.4186—1.7631	0.4844	42.94			4.276	5	
A18	1000—1500	3	3	0.814	13	0.6915—0.8847	0.1066	13.09			3.429	12	
A19	1500—2000	3	2	0.429	43	0.3944—0.4472	0.0301	7.01			1.970	44	
A23	1000—1500	5	2—4	0.698	26	0.4393—1.3894	0.2256	32.31	0.663		3.015	24	3.357
A24	1500—2000	3	2—4	0.627	31	0.2369—0.9673	0.3677	58.65			3.698	9	
A26	100—500	1	2	0.500	39	0.5004	0.0000		0.600		2.888	27	2.969
A27	500—1000	7	3—5	0.700	24	0.6344—0.7746	0.0574	8.20			3.050	22	
B1	100—500	11	1—5	0.713	22	0—1.3659	0.5190	72.76	0.713	0.550	3.402	13	3.402
B2	100—500	14	0—5	0.406	44	0—0.1.4942	0.5414	133.81	0.448		1.499	48	1.949
B3	500—1000	22	0—5	0.635	29	0—1.1750	0.3765	59.31			2.474	36	
B4	1000—1500	3	2—5	0.724	21	0.6348—1.5816	0.3429	47.37			3.098	19	
B5	1500—2000	9	1—2	0.094	52	0—0.2814	0.1407	150.00			0.721	53	
B6	2000 以上	8	1—4	0.379	46	0—0.8635	0.4133	108.94			1.952	45	
B7	100—500	41	0—7	0.895	11	0—1.7783	0.5342	59.71	0.568		3.356	15	2.333
B8	500—1000	55	1—5	0.546	34	0—1.3532	0.3090	56.65			2.445	37	
B9	1000—1500	7	1—3	0.263	50	0—0.7136	0.2735	103.95			1.198	49	
B11	100—500	6	0—3	0.297	49	0—1.0891	0.4769	160.57	0.536		1.133	50	2.337
B12	500—1000	6	0—5	0.494	41	0—1.3629	0.6202	125.44			2.001	42	
B13	1000—1500	5	3—7	1.340	2	0.6284—1.7778	0.4852	36.20			3.400	14	

续表

生境代号 ¹⁾ Code name of habitats	海拔/m Elevation	N ²⁾	科数		科的多样性 Diversity indices of family				排序 Ordination	$\bar{M}_7^{(3)}$	$\bar{M}_8^{(3)}$	$\bar{M}_9^{(3)}$
			Numbers of family	$\bar{M}_4^{(3)}$	排序 Ordination	R^2	$SD^{(2)}$	$CV^{(2)}$				
B14	1500—2000	19	1—8	0.548	33	0—1.6977	0.4496	76.99	3.152	16		
B15	2000 以上	1	1	0.000	53	0.0000	0.0000		0.000	55		
B17	500—1000	4	3—4	0.720	8	0.6962—1.0626	0.1095	11.91	3.110	18	3.110	
C1	100—500	52	0—8	0.435	42	0—1.7237	0.4802	110.39	0.577	26	2.782	2.519
C2	500—1000	6	2—3	0.624	32	0.4582—0.7799	0.1263	20.23	2.537	35		
C3	1000—1500	26	2—7	0.790	17	0.2459—1.8089	0.4550	57.59	3.072	20		
C4	1500—2000	4	2—3	0.536	35	0.3590—0.7967	0.2189	40.86	2.551	34		
C5	100—500	39	0—6	0.699	25	0—1.5549	0.4932	70.59	2.709	31	2.709	
C9	100—500	29	0—6	0.522	37	0—1.6926	0.4778	91.62	2.056	41	1.916	
C10	500—1000	13	2—5	0.750	20	0.3841—1.3535	0.2727	36.34	3.022	23		
C11	1000—1500	3	1	0.000	53	0.0000	0.0000		0.670	54		
C13	100—500	15	0—5	0.683	27	0—1.4594	0.3960	58.00	2.722	30	2.707	
C14	500—1000	6	2—3	0.522	36	0.3797—1.3447	0.1801	34.48	2.402	38		
C15	1000—1500	6	2—5	0.790	18	0.4805—1.4267	0.3460	43.80	2.997	25		
D1	100—500	3	2—5	0.800	15	0.5994—1.2019	0.3479	43.48	0.800	17	3.143	2.406
D2	100—500	11	1—6	0.793	16	0—2.0226	0.5861	73.92	0.710	33	2.806	
D3	500—1000	1	1	0.000	53	0	0.0000		0.837	52		
D4	1000—1500	4	4—5	1.340	3	1.2008—1.4900	0.1289	9.62	4.934	2		
D5	1500—2000	15	1—5	0.708	23	0—1.5556	0.4327	61.12	2.839	28		
D8	1000—1500	7	2—5	0.897	9	0.3633—1.4154	0.4287	47.80	0.707	6	3.062	
D9	1500—2000	8	1—4	0.516	38	0—0.9648	0.4000	77.46	2.143	40		
D10	1500—2000	8	1—3	0.120	51	0—0.6885	0.2482	207.70	0.120	51	1.123	
D11	1000—1500	2	4	0.787	19	0.7866	0.0000		0.557	21	2.426	
D13	2000 以上	7	1—2	0.328	48	0—6730	0.2560	78.14	1.784	47		
D14	1500—2000	1	1	0.000	53	0.0000	0.0000		0.000	55	0.000	

1) 见表 1

2) N = 样本数 Numbers of sample; \bar{M} = 平均值 Mean; R = 范围 Range; SD = 标准差 Standard deviation, CV = 变异系数 Coefficient of variation

3) \bar{M}_4 : 各小生境中科的多样性指数平均值 Average value of family diversity indices in each microhabitats; \bar{M}_5 : 各生境类型科的多样性平均值 Average value of family diversity indices in each habitat types; \bar{M}_6 : 各植被型中科的多样性平均值 Average value of family diversity indices in each vegetation types; \bar{M}_7 : 各小生境等级多样性平均值 Average value of grade diversity indices in each microhabitats; \bar{M}_8 : 各生境类型等级多样性平均值 Average value of grade diversity indices in each habitat types; \bar{M}_9 : 各植被型中等级多样性平均值 Average value of grade diversity indices in each vegetation types

2.2.3 蝶类科级多样性与植被型及其随海拔高度的变化

灌丛科的多样性最高 0.7674, 草地 0.5716, 农田 0.5774, 森林 0.5503 均非常相近(表 2)。

科的多样性指数在各植被型的变化不相同, 灌丛和森林的高峰值出现在 500—1000 m, 农田和草地则出现在 1000—1500 m。整体上看, 灌丛和森林变化趋势相同, 都是先上升后下降, 农田变化趋势平缓, 灌丛、森林和草地变化幅度大(图 4)。草地在 500—1000 m 处科级多样性为 0, 可能与 500—1000 m 处蝴蝶的食物短缺而天敌较多有关。

2.3 三峡库区蝶类等级多样性

2.3.1 蝶类等级多样性与小生境

三峡库区蝴蝶等级多样性最高的小生境是 500—1000 m 阔叶林灌丛(A12)5.108, 其次是 1000—1500 m 的山坡农田草地(D4)4.9337, 再次是 100—500 m 农田灌丛(A6)4.5799, 第四位是 500—1000 m 山坡灌丛(A2)4.3320, 第五位是 500—1000 m 针叶林灌丛(A17)4.2757, 第六位是 1000—1500 m 针叶林林间草地(D8)3.9811; 最低等级多样性指数是 2000 m 以上针叶林(B15)和草原(D14)为 0, 以上依次是 1000—1500 m 丘陵农田(C11)0.6700, 1500—2000 m 针叶林(B5)0.7214, 500—1000 m 山坡农田草地(D3)0.8372, 倒数第六位 1500—2000 m 山坡(农田)灌丛草地(D10)1.1231(图 5)。居前 6 位的灌丛小生境占 4 个, 居于后 6 位的草地小生境为 3 个, 此外, 在居后 6 位的小生境中, 有 4 个海拔高度在 1500 m 以上。

2.3.2 蝶类等级多样性与生境类型

最高的等级多样性指数出现在阔叶林灌丛(A11—14)3.7909, 其次是人工阔叶林(B1)3.4018, 再次是农田灌丛(A6—8,9)3.3707, 第四位是混交林灌丛(A23—24)3.3565, 第五位是山坡灌丛(A1—4)3.3096, 第六位是溪流农田草地(D1)3.1432。最低的等级多样性指数是草原(D14)为 0, 以上依次是山坡(农田)灌丛草地(D10)1.1231, 丘陵农田(C9—11)1.9159, 针叶林(B2—6)1.9487, 阔叶林(B7—9)2.3328, 倒数第六位灌丛针阔混交林(B11—15)2.3371(表 2)。居前 6 位的灌丛生境类型 4 个, 居于后 6 位的森林生境类型为 3 个。

对不同生境的等级多样性指数进行单因素方差分析, 结果表明 4 种生境(灌丛、森林、农田、草地)的等级多样性有显著差异($F=3.595; P=0.019<0.05; df=3$), 对 4 种生境类型的等级多样性进行 LSD 法和 Dunnett 法均值多重比较, LSD 法结果表明灌丛和森林($P=0.004<0.05$)、灌丛和草地($P=0.029<0.05$)之间的差异显著, Dunnett 法结果表明灌丛和森林差异显著(灌丛: 3.298 ± 0.926 ; 森林: 2.396 ± 1.091 ; 农田: 2.519 ± 0.687 ; 草地: 2.406 ± 1.429)。

2.3.3 蝶类等级多样性与植被型及其与海拔高度的变化

蝴蝶分布于灌丛的等级多样性是 3.2975, 农田、森林和草地的等级多样性则非常接近, 依次分别为 2.5186、2.3960、2.4059(表 2)。

三峡库区蝶类等级多样性在各植被型中随海拔高度变化的模式, 基本与等级、科级多样性随海拔高度变化的模式相同(图 6)。

3 讨论

生境破碎化是指由于人类活动或自然因素导致的景观由简单、均质、连续的整体向复杂、异质、不连续的斑块镶嵌体演化的过程, 当前已经成为生物多样性丧失及物种灭绝的主要原因, 日益引起人们的关注^[35-37]。三峡库区环境是破碎化的环境^[7-8, 28-30], 如何考察、评估和监测破碎化环境中生物多样性, 是生物多样性评估中的重点和难点。目前已有较多相关的讨论和研究, 生物多样性的监测主要在物种、生态系统和景观 3 个

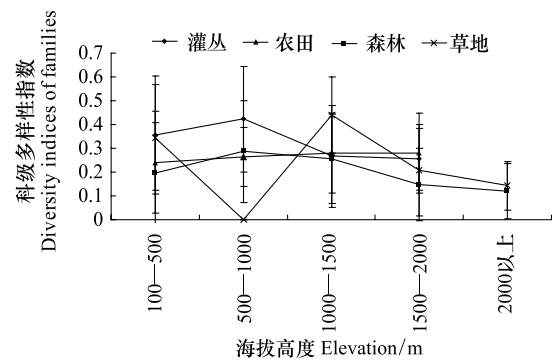


图 4 三峡库区各植被型中蝴蝶科级多样性随海拔高度的变化

Fig. 4 Variations of family diversity indices of butterfly with elevation at each vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

水平上;生物指示法中常被选作评价环境质量的指示生物包括鸟、鱼、蛙、山羊、鹿、黑熊等大中型动物和昆虫中的蝶类、蛾类、彩臂金龟、蜻和寄生蜂等^[31-34],本文根据三峡库区生境破碎化的特点^[7-8],在物种水平上对生物多样性的研究进一步深化,用等级多样性进行研究,同时以根据三峡库区生物多样性的现状,选取蝴蝶作为监测的指示生物。

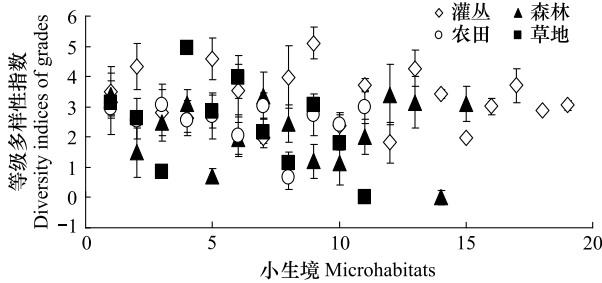


图5 三峡库区蝴蝶等级多样性指数在各小生境类型里的变化
Fig. 5 Variations of diversity indices of butterfly for grades at every kind of microhabitats in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

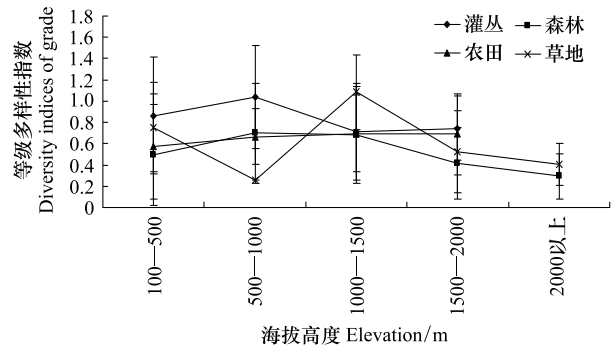


图6 三峡库区各植被型中,等级多样性随海拔高度的变化
Fig. 6 Variations of grade diversity indices of butterfly with elevation at each vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

生态系统是一个复杂的等级系统,在群落水平上这种等级属性表现更加明显。如我们比较两个群落,并且两者物种数目和各物种相对多度相同,则不管用哪一种多样性指数测度,都不能比较出两个群落的差别。但是,如果一个群落中所有种都属于同一个属,而另一个群落中每个种都属于不同的属,则后者的多样性都要高于前者^[7,8,12,38-39]。因此,不同的尺度的研究、监测和评估应该考虑采用不同分类阶元的多样性指数,或者多类群的多样性指数。因为群落是由处于不同分类等级上的相互作用的生物体构成的集合,如我们在比较两个群落,并且两种物种数目和各物种相对多度相同,则不管用哪一种多样性指数测度,都无法比较出两个群落的差异。如果一个群落中所有种都属于同一个属,而另一个群落中每个种都属于不同的属,很显然,后者的多样性程度要高于前者。研究表明,在三峡库区,综合各级分类阶元的多样性指数准确的反映了蝴蝶多样性的客观实际(表3),而不同分类阶元的多样性指数根据其变异系数可用于不同测度的研究(表4)。

表3 三峡库区各植被型的等级多样性指数

Table 3 Grade diversity indices of butterfly in each vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

植被型 Vegetation type	样本数 Sample number	分类阶元 Systematic rank			
		种 Species ^[8]	属 Genus	科 Family	等级 Grade
灌丛 Bush①	239	0.5599±0.3011 (0—1.2321)	0.5137±0.2810 (0—1.1264)	0.3331±0.2283 (0—1)	1.4068±0.8104 (0—3.1492)
森林 Forest②	323	0.4221±0.2909 (0—2.1404)	0.3705±0.2672 (0—1.9682)	0.2341±0.1999 (0—0.7723)	1.0266±0.7383 (0—4.8459)
农田 Farmland③	241	0.4256±0.3047 (0—2.0144)	0.3626±0.2546 (0—1.3272)	0.2533±0.1910 (0—0.7856)	1.0415±0.7280 (0—4.0902)
草地 Lawn④	68	0.4676±0.2441 (0—1.056)	0.3912±0.2387 (0—0.9605)	0.2710±0.2132 (0—0.8784)	1.1299±0.6648 (0—2.6352)
μ 检验 μ Test		$\mu_{1-2}=5.4419^{**}$; $\mu_{1-3}=4.8574^{**}$; $\mu_{1-4}=2.6065^{**}$; $\mu_{2-3}=0.1379$; $\mu_{2-4}=1.3473$; $\mu_{3-4}=1.1810$	$\mu_{1-2}=6.0987^{**}$; $\mu_{1-3}=6.1731^{**}$; $\mu_{1-4}=3.5823^{**}$; $\mu_{2-3}=0.3572$; $\mu_{2-4}=0.6381$; $\mu_{3-4}=0.8618$	$\mu_{1-2}=5.3571^{**}$; $\mu_{1-3}=4.1532^{**}$; $\mu_{1-4}=2.0852^{*}$; $\mu_{2-3}=1.1588$; $\mu_{2-4}=1.3139$; $\mu_{3-4}=0.6202$	$\mu_{1-2}=5.7072^{**}$; $\mu_{1-3}=5.1933^{**}$; $\mu_{1-4}=2.8793^{**}$; $\mu_{2-3}=0.2378$; $\mu_{2-4}=1.1406$; $\mu_{3-4}=0.9476$

* 差异显著 extremely significant difference, ** 差异极显著 significant difference

表 4 三峡库区各植被型多样性指数的变异系数

Table 4 Variation coefficient of diversity indices among samples in each vegetation types in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River

植被型 Vegetation type	分类阶元 Systematic rank		
	种 Species	属 Genus	科 Family
灌丛 Bush	39.50(5.05—93.21)	36.05(0.00—91.48)	42.58(0.00—95.68)
森林 Forest	69.21(21.23—15.4)	70.28(0.00—164.73)	80.24(0.00—160.47)
农田 Farmland	28.46(0.00—61.32)	53.28(14.08—94.87)	51.26(0.00—110.39)
草地 Lawn	48.38(6.92—94.87)	37.14(0.00—121.39)	54.48(0.00—207.7)

括号前为平均值,括号中是范围

种、属、科等分类水平上的多样性格局只能体现特定区域目前的动物区系分布现状,但是通过动物分类阶元的纵向比较,可以确定一些重要的分化区域,通过对重要分化区域的研究可以更加深入的了解生境类型对生物多样性的影响。以往在研究动物物种分化时,往往根据物种多样性与丰富度来确定物种的分化中心^[40],但考虑到物种水平的动物多样性是最低层次的多样性,体现在研究区系演变过程中动物与生存环境的最近的适应关系时,要推测其发展历程,必须结合种上阶元的多样性^[41]。结果表明,从植被型考虑,灌丛蝴蝶的种、属、科和等级多样性指数均明显高于森林、农田和草地相应级别的多样性指数,而森林、农田和草地三者间的各级多样性指数则无显著差异(表3),因此在生物多样性和环境质量评估时,可首选灌丛作为考察对象。考虑到动物区系演化过程中,属级分化的时间要早于物种分化,科级分化的时间又要高于属级分化,因而从一个侧面反映了三峡库区环境的变化导致了蝴蝶区系的重大变化,但分化的程度高并不代表那里的物种多样性程度高,因为物种的分布与环境条件是密切相关的,因而可以进一步反映三峡库区环境的破碎化。

从变异系数考虑,森林植被型有较大的样本间变异系数(表4),这一方面反映了森林植被比三峡库区其他植被型有较高的环境异质性,另一方面表明,在生物多样性和环境质量评估时,森林蝴蝶多样性指数的变化将最能反映环境已经或即将出现的变化^[7-8,12-20]。为了将上述成果更准确更有针对性地应用于生物多样性、环境质量和工程对环境影响的监测与评估,拟将执行生物多样性指标与三峡库区其他自然、社会因子一起构建成为数学模型,一方面升华其理论性,另一方面提高其可应用性。

致谢:重庆市环保局自然处陈盛燊处长、重庆自然博物馆郎嵩云博士、张锋博士对写作给予帮助。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,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、陈军等同志和台湾师范大学生物系徐培峰教授、吕至坚博士,特此致谢。

References:

- [1] The Academic Divisions of the Chinese Academy of Sciences. Suggestion on enhance study to the ecological and environmental problems and the strategy in the Three Gorge reservoir area. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2008, 23(1): 58-61.
- [2] Mao D Q, Jia Q L, Wang X L, Su P X, Zhang C H. Surveillance on ecological and diseases at Three Gorges area. *Modern Preventive Medicine*, 2007, 34(16): 3012-3014.
- [3] San R Z, Sun M C, Liu H Q. Ecological security evaluation of Three Gorges reservoir in Chongqing Area. *Environment and Ecology in Three Gorges*, 2008, 1(2): 51-55, 62.
- [4] Qu B, Xie S Y, Zou H. Ecological security problems of the Three Gorges reservoir area and countermeasures. *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 146-148.
- [5] Sun F, Hu J Q, Feng P. Study on ecological security in Three Gorges reservoir area. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(2): 173-174.
- [6] Zhou L Q, Sun C A, Gao G P, Hu J J, Hu Z Y, Yang L. The remote sensing ecological environment dynamic monitoring of the Three Gorges reservoir area. *Remote sensing for land & resources*, 2005, 1(63): 49-52.
- [7] Yang P, Deng H L, Qi B. The occupied rate 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.
- [8] Qi B, Yang P, Deng H L. The Diversity indexes, Richness and evenness of butterfly community in the Three Gorge reservoir area of Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3049-3059.
- [9] New T R. *Butterfly conservation*. Australia: Oxford University Press, 1997.

- [10] Kremen C. Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications*, 1992(2): 203-217.
- [11] Li Z G, Li J, Zhang B S, Gong P B, Han S C. Urbanization and butterfly diversity: a case study in Guangzhou, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 27(6): 1047-1050.
- [12] 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.
- [13] David G, Rosa M. Regional hotspots of butterfly diversity in a protected area: Are they indicators of unique assemblages and areas with more species of conservation concern? *Acta Oecologica*, 2007, 32(3): 301-311.
- [14] Croxton P J, Hann J P, Greatorex-Davies J N, Sparks T H. Linear hotspots? The floral and butterfly diversity of green lanes. *Biological Conservation*, 2005, 121(4): 579-584.
- [15] Ronald L R, Joseph M M, Darrell J K, Laura T - T. Diversity in structural ultraviolet coloration among female sulphur butterflies (Coliadinae, Pieridae). *Arthropod Structure & Development*, 2007, 36(3): 280-290.
- [16] Erik Ö, Åse D, Henrik G S. The importance of fragmentation and habitat quality of urban grasslands for butterfly diversity. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 93(1): 31-37.
- [17] Timothy C B, Lauren C P, Carol L B, Paul R E. More than just indicators: A review of tropical butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, 2010, 143(8): 1831-1841.
- [18] Dirk M, Hans V D. Butterfly diversity loss in Flanders (north Belgium): Europe's worst case scenario? *Biological Conservation*, 2001, 99(3): 263-276.
- [19] Jennifer A V, Diane M D, Rolf R K, James R M. Butterfly responses to prairie restoration through fire and grazing. *Biological Conservation*, 2007, 140(1/2): 78-90.
- [20] Yang D R. Studies on the structure of the butterfly community and diversity in the fragmentary tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 41(1): 48-55.
- [21] Hatto ri T, Yagura Y, Takeda Y. A method of evaluation of naturalness by means of butterfly assemblage. *Humans and Nature*, 1997, 8: 41-52.
- [22] Natuhara Y, Zmai C, Takahashi M E. Valuation of community indices in seasonal assemblages of butterflies (Lepidoptera) at different frequency of transect count. *Biodiversity and Conservation*, 1998, 7(5): 631-639.
- [23] Swengel A A. Comparison of butterfly richness and abundance measures in prairie and barrens. *Biodiversity and Conservation*, 1998, 7(12): 1639-1659.
- [24] Liu W P, Deng H L. The studies on diversity of butterflies in the Muli. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 266-271.
- [25] 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.
- [26] Jiang Z G, Ji L Q. Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(3): 220-225.
- [27] Wang J M. Biostatistics. China Agricultural Press, 1988, 51-66.
- [28] He J S, Chen W L, Jiang M X, Jin Y X, Hu D, Lu P. Plant species diversity of the degraded ecosystems in the Three Gorges region. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(4): 399-407.
- [29] He J S, Wang Q B. Studies on the biomass of typical shrubland and their regeneration capacity after cutting. *Acta Phytocologica Sinica*, 21(6): 512-520.
- [30] Jin Y X, Chen Z L, Zheng Z, Xu T Q. A report on the expedition of vegetation and environment in Changjiang Sanxia (Gorge of Yangtze River) reservoir region. *Wuhan Botanical Research*, 1984, 2(Suppl): 1-100.
- [31] Fu B J, Liu S L, Ma K M. The contents and methods of integrated ecosystem assessment (IEA). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1885-1892.
- [32] Chen S B, Jiang G M, Gao J X, Li Y K, Su D. Review of indicators system developing for biodiversity monitoring. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5123-5132.
- [33] Wan B T, Xu H G, Ding H, Liu Z L, Wang J. Methodology of comprehensive biodiversity assessment. *Biodiversity Science*, 2007, 15(1): 97-106.
- [34] Wang Y P, Wu P, Xu H C. Biological and ecological bases of using insect P as a bio-indicator to assess forest health. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1625-1630.
- [35] Wan D M, Gao W, Wang Q Y, Wang H T, Liu M Y. Effects of habitat fragmentation on nesting site selection of red crowned crane. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(50): 58-584.
- [36] Wu J G, Huang J H, Han X G, Xie Z Q, Gao X M. Three-Gorges Dam experiment in habitat fragmentation. *Science*, 2003, 300: 1239-1240.
- [37] Saunders D A, Hobbs R J, Margules C R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology*. 1991, 5(1):

18-32.

- [38] Ma K P. Measurement of biotic community diversity I: Measurement of α diversity(A). Chinese Biodiversity, 1994, 2(3): 162-168.
- [39] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity I: Measurement of α diversity(B). Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239.
- [40] Zhang R Z. zoogeography of China. Beijing, Science Press, 1999, 221.
- [41] Zhou L Z, Ma Y. Distribution patterns of rodent diversity in arid regions of West China. Biodiversity Science, 2002, 10(1):44-48.

参考文献:

- [1] 中国科学院学部. 关于加强三峡库区生态与环境问题及对策研究的建议. 中国科学院院刊, 2008, 23(1): 58-61.
- [2] 毛德强, 贾庆良, 汪新丽, 苏培学, 张春华. 三峡库区生态环境与疾病变化的监测. 现代预防医学, 2007, 34(16): 3012-3014.
- [3] 单润中, 孙明晨, 刘惠清. 重庆三峡库区生态安全性评价. 三峡环境与生态, 2008, 1(2): 51-55, 62.
- [4] 屈波, 谢世友, 邹红. 三峡库区生态安全问题与对策. 生态环境, 2004, 13(1): 4146-148.
- [5] 孙凡, 胡际权, 冯沈萍. 重庆三峡库区生态安全研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 173-174.
- [6] 周乐群, 孙长安, 高改萍, 胡甲均, 胡宗云, 杨岚. 长江三峡工程库区生态环境遥感动态监测. 国土资源遥感, 2005, 16(1): 49-52.
- [7] 杨萍, 邓合黎, 漆波. 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): 543-554.
- [8] 漆波, 杨萍, 邓合黎. 长江三峡库区蝶类群落的物种多样性. 生态学报, 2006, 26(9): 3049-3059.
- [11] 李志刚, 李军, 张碧胜, 龚鹏博, 韩诗畴. 广州市蝴蝶群落结构与多样性. 生态学杂志, 2008, 27(6): 1047-1050.
- [12] 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.
- [20] 杨大荣. 西双版纳片断热带雨林蝶类群落结构与多样性研究. 昆虫学报, 1998, 41(1): 48-55.
- [24] 刘文萍, 邓合黎. 木里蝶类多样性研究. 生态学报, 1997, 17(3): 266-271.
- [25] 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.
- [26] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法. 生物多样性, 1999, 7(3): 220-225.
- [27] 王鉴明. 生物统计学. 农业出版社, 1988, 51-66.
- [28] 贺金生, 陈伟烈, 江明喜, 金义兴, 胡东, 路鹏. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征. 生态学报, 1998, 18(4): 399-407.
- [29] 贺金生, 王其兵, 胡东. 长江三峡地区典型灌丛的生物量及其再生能力. 植物生态学报, 1997, 21(6): 512-520.
- [30] 金义兴, 陈卓良, 郑重, 许天全. 长江三峡库区植被及环境考察. 武汉植物学研究, 1984, 2(增刊): 1-100.
- [31] 傅伯杰, 刘世梁, 马克平. 生态系统综合评价的内容与方法. 生态学报, 2001, 21(11): 1885-1892.
- [32] 陈圣宾, 蒋高明, 高吉喜, 李永庚, 苏德. 生物多样性监测指标体系构建研究进展. 生态学报, 2008, 28(10): 5123-5132.
- [33] 万本太, 徐海根, 丁晖, 刘志磊, 王捷. 生物多样性综合评价方法研究. 生物多样性, 2007, 15(1): 97-106.
- [34] 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.
- [35] 万冬梅, 高玮, 王秋雨, 王海涛, 刘明玉. 生境破碎化对丹顶鹤巢位选择的影响. 应用生态学报, 2002, 13(5): 581-584.
- [38] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [39] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [40] 张荣祖. 中国动物地理. 北京, 科学出版社, 1999, 221
- [41] 周立志, 马勇. 中国西部干旱地区啮齿动物多样性分布格局. 生物多样性, 2002, 10(1): 44-48.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular
mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert
area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated
broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,
China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-
cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon
and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river
basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《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)

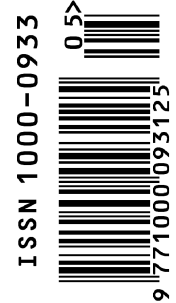
第 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 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 1000717, 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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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