

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

王义平, 吴 鸿, 徐华潮

(浙江林学院, 浙江 临安 311300)

摘要:选取浙江龙王山、天目山、古田山、乌岩岭和百山祖等为样地以网捕方法,对上述重点生态地区的蝶类种类及种群动态进行了系统研究,将所采集的蝶类种类及个体数,以微软的 Excel 列表、计算及作图,进行蝶类群落的种-多度曲线、多样性指数、均匀度与优势度等数据分析,并以此类昆虫作为指示生物对各重点生态地区的森林环境健康状况进行了评价。结果表明:5 个重点生态地区的蝶类分布均呈对数正态分布,各重点生态区蝶类个体数分布规律更接近对数级数法则。天目山和乌岩岭分别有国家二级保护动物中华虎凤蝶 *Luehdorfia chinensis* 和一级保护动物金斑喙凤蝶 *Teinopalpus aureus*, 分别有 4 种和 3 种中国保护种,有 25 种和 11 种中国特有种,多样性指数分别为 0.9757 和 1.7570,暗示该 2 处生态地区的环境质量优越;而古田山和百山祖均没有国家级保护动物,中国保护种分别有 2 种和 3 种,中国特有种 5 种和 15 种,多样性指数分别为 1.3492 和 1.1593,也说明此 2 处生态地区的环境质量较好;龙王山没有国家级保护动物,中国保护种仅 1 种,中国特有种 11 种,多样性指数为 0.8491,暗示该生态地区的环境质量相对较差或该生态地区的环境质量正在趋向恶化。近年来,由于酸雨和台风等自然气候,以及人为干扰引起森林环境健康受到不同程度影响,龙王山森林环境不稳定,退化严重,部分区域已不适合保护蝶类昆虫的生存。

关键词:蝶类;多样性;环境;浙江;重点生态区

文章编号:1000-0933(2008)11-5259-11 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Butterfly diversity and evaluation of forest eco-system health in important ecological areas of Zhejiang Province

WANG Yi-Ping, WU Hong, XU Hua-Chao

School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry University, Lin'an 311300, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5259 ~ 5269.

Abstract: A systematic study of butterfly species and dynamics has been conducted in the important ecological areas of Zhejiang including the mountains of Longwang, Tianmu, Gutian, Wuyanling and Baishanzu, with sampling plots set and net capture adopted there. Microsoft Excel was used to list the butterfly species and number collected, followed by calculation and graphing to analyze species-abundance curves, diversity index, evenness and dominant degree. The category of butterfly was then used as an indicator to evaluate forest environmental health of these areas. The results reveal that in these areas distribution of butterfly category fitted a logarithmic normal distribution, but the number of each butterfly category was in conformity with the rule of a logarithmic series. The Tianmu and Wuyanling Mountains had a nationally protected Grade II *Luehdorfia chinensis* and a nationally protected Grade I *Ornithoptera alexandrae*, 4 and 3 protected species within China, and 25 and 11 species native to China, with a diversity index of 0.9757 and 1.7570, respectively,

基金项目:浙江省林业厅资助项目(06A11)

收稿日期:2007-12-26; 修订日期:2008-08-11

作者简介:王义平(1971 ~),男,蒙古族,辽宁喀左县人,博士,副教授,主要从事昆虫分类学与生物防治研究. E-mail: wyp@zjfc.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Forest Bureau Foundation of Zhejiang Province(No. 06A11)

Received date: 2007-12-26; Accepted date: 2008-08-11

Biography: WANG Yi-Ping, Ph. D., mainly engaged in classification of insect and biological control. E-mail: wyp@zjfc.edu.cn

which indicated that the environmental quality of these two areas was excellent. The mountains of Gutian and Baishanzu had no nationally protected species found and only had 2 and 3 protected species within China and 5 and 15 species native to China, with a diversity index of 1.3492 and 1.1593, respectively, which also indicated a good environmental quality. The Longwang Mountain had no nationally protected species found and only had one protected species within China, 11 species native to China, with a diversity index of 0.8491, which meant that the environmental quality there was relatively poor or the environmental quality there tended to deteriorate. In recent years, such natural climates as acidic rain and typhoon and human disturbance have a different impact on forest environmental health. In the Longwang Mountain, forest environment has been unstable and deteriorated severely, part of which has not been suitable for survival of such insects as butterfly protected species.

Key Words: butterfly; diversity; environment; Zhejiang; important ecological area

森林生态系统健康对于一个地区乃至一个国家至关重要,开展森林环境健康状况的评估是对其效益需要和保护的前提与基础,所以,及时监测与评价森林健康具有重要意义^[1]。国内外学者综合生物学、经济学和生态学等指标对森林健康的评价方法作了大量研究^[2~4]。生物多样性是森林健康的重要指标之一,而昆虫多样性是生物多样性重要的组成部分,甚至有学者认为昆虫主宰着全球的生物多样性^[6]。昆虫具有生长周期短、易采样、易识别、种群波动大、活动范围小和对环境变化敏感等特性,常被选作监测环境变化的代表类群^[7~11]。

蝶类(Rhopalocera)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^[12~27]。

为了解浙江重点生态地区蝶类昆虫的种类及其种群动态,并尝试将其应用于森林健康状况的评价。我们在1992~2001年对浙江各重点生态地区昆虫资源调查的基础上,于2005~2007年再次集中对森林环境敏感的蝶类昆虫多样性进行了研究。

1 浙江及各重点生态区的自然概况

浙江位于27°1'~31°10'N, 118°1'~123°8'E,面积1018万hm²,属于亚热带气候,森林植被保存完好,物种资源丰富,素有我国“东南植物宝库”之称。据报道,浙江有维管植物231科、1331属、3796种,其中种子植物182科、1217属、3367种^[28]。常绿阔叶林南北水平分布存在较大差异,在西天目山等高海拔山体上自然植被呈层次分明的垂直分布^[29]。根据《中国植被》一书的划分,浙江省植被划分为3个植被区,即浙皖山丘,青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)和苦槠林(*Castanopsis sclerophylla*)栽培植被区;浙闽山丘,甜槠(*C. eyrei*)和木荷(*Schima superba*)林区及浙南、闽中山丘,栲类和细柄桫欏树(*Altingia gracilipes*)林区^[30]。

目前,浙江有8处国家级陆地自然保护区,分别为龙王山、天目山、清凉峰、古田山、九龙山、大盘山、乌岩岭和凤阳山-百山祖,均为省内植被保存完好的重点生态地区。本次研究选取龙王山、天目山、古田山、乌岩岭和百山祖(按照从北到南次序)等代表地区作为样地,对蝶类昆虫的生物多样性进行全面系统研究,并以此对

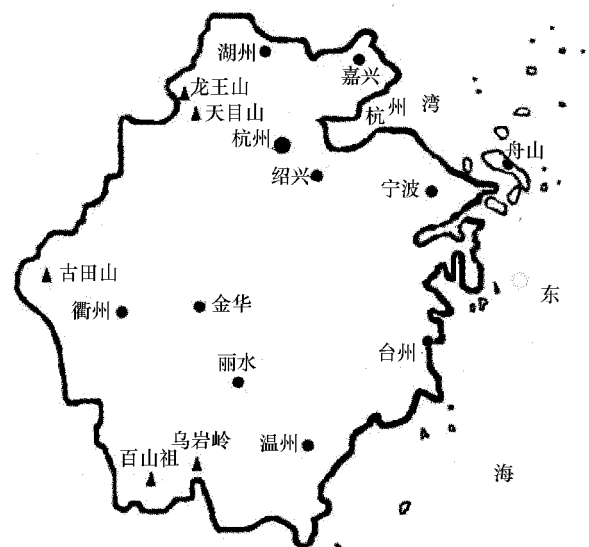


图1 各代表重点生态地区在浙江的分布示意图

Fig. 1 distribution sketch map of important ecological representation areas in Zhejiang

▲示重点生态地区 Important ecological areas

各自生态地区的环境质量进行评价。上述重点生态地区的地理位置、自然概况和植被状况分别参见图 1、表 1 和表 2。

表 1 浙江重点生态地区的自然概况

Table 1 The natural general situation of the important ecological areas in Zhejiang Province

样地 Sample locations	地理位置 Geographic position	总面积 Total area (hm ²)	最高海拔 The altitude of tiptop (m)	年平均气温 The annual average temperature (°C)	森林覆盖率 The ratio of forest bestrow (%)
龙王山 Longwang Mountain	30°21' ~ 26'N, 119°20' ~ 24'E	1223	1587.4	12°C	88%
天目山 Tianmu Mountain	30°18'30" ~ 30°24'55"N、 119°23'47" ~ 119°28'27"E	4284	1560	11.8°C	94%
古田山 Gutian Mountain	45°42' ~ 47'N, 126°35' ~ 39'E	1333	1587.4m	13.3°C	95%
乌岩岭 Wuyanling	27°40'38" ~ 27°43'42"N, 119°38'29" ~ 119°41'27"E	1495	1611.1	14.8°C	98%
百山祖 Baishanzu	27°40'54" ~ 27°50'13"N, 119°3'53" ~ 119°6'44"E	8107	1856.7	14.3°C	95%

表 2 浙江重点生态地区的植被

Table 2 The vegetation of the important ecological areas in Zhejiang Province

植物群落 Vegetation community	龙王山 Longwang Mountain	天目山 Tianmu Mountain	古田山 Gutian Mountain	乌岩岭 Wuyanling	百山祖 Baishanzu
竹林群落 <i>Bambusoideae</i> spp. community	++	+	+	+	++
杉木和柳杉群落 <i>Taxodiaceae</i> spp. and <i>Cryptomeria fortunei</i> community	++	++	++	+	++
甜槠群落 <i>Castanopsis eyrei</i> community	+++	+	+++	++	+++
青冈林群落 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> community	+++	+++	+++	+++	+++
马尾松、金钱松和黄山松群落 <i>Pinus massoniana</i> , <i>Pseudolarix amabilis</i> and <i>Pinus taiwanensis</i> community	++	++	+++	+	++
苦槠林群落 <i>Castanopsis sclerophylla</i> community	+	+++	+	+	+
木荷群落 <i>Schima superba</i> community	+++	++	+++	+++	+++
青栲栳类群落 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> community	++	++	+++	++	+++
细柄望树群落 <i>Altingia gracilipes</i> community	+	++	+	++	+
麻栎和柏树群落 <i>Quercus acutissima</i> Carruth and <i>Platycladus orientalis</i> (L.)	++	+	+	+	++

+++ : > 50% ; ++ : 10% ~ 50% ; + : < 10%

2 研究方法

2.1 调查方法

蝶类标本主要通过扫网获得。采用样线法,观察(针对熟悉而又难以捕捉到的大型蝶类则直接记录)与网捕相结合,根据林相分布、海拔高度与功能区划类型,在保护区内选取以试验区边缘为出发点直接深入核心区中长为 8 km 左右的 15 条样线,于 2005 ~ 2007 年间每季度一次定期调查,每月 1 次,每次 3 人,每人 1 网,每个样方 1h,以每小时约 2000 m 的步行速度,2 km² 面积的采集范围,每年采集 15 次。调查选择晴天或阴天,采集、观察并记录所见到的蝴蝶种类、数量、活动状态及生境概况。在夏、秋两季,调查时间为 9:00 ~ 13:00、15:00 ~ 18:00;在冬、春两季,调查时间为在蝶类活动频繁的 10:00 ~ 17:00。以精确计数为主导,以直接计数和网捕累积计数相结合进行蝴蝶种类及数量的调查。将采集的蝴蝶放置在写有时间、地点及采集人的三角纸包内,带回室内进行标本制作、分类鉴定。蝶类标本分类鉴定结果主要参照 1994 ~ 2001 年昆虫科学考察结果以及蝶类专著^[31~39]。

2.2 数据分析方法

2.2.1 多样性分析

多样性的分析采用以下参数:

物种丰富度 (specific richness, S) 和个体总数 (individual number, N), 在多样性分析中分别采用其自然对数 ($\ln S$ 和 $\ln N$)。

采用等级多样性指数 $H(SG) = H(G) + H(S)$, 这里 $H(G)$ 、 $H(S)$ 分别为属级和种级的多样性指数, 多样性应用 Shannon-Wiener 多样性指数 $H = - \sum P_i \ln P_i$, P_i 为第 i 种个体占个体总数的比率^[12, 40, 41]。

种间相遇机率 (PIE) 采用 Hurlbert 提出的公式 $PIE = \sum (N_i/N)((N - N_i)/(N - 1))$, 式中 N_i 为第 i 种的个体数; N 为群落中总的个体数。

均匀度 (Evenness, J') 采用 Pielou 公式: $J' = H'/\ln S$, 其中 H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为群落中物种数。

优势度指数 (Dominance indice, D): 对群落优势种的评估采用 Berger-Parker 的优势度指数进行分析: $D = N/N_r$, 其中 N 为优势种的种群数量, N_r 为群落全部物种的种群数量。

2.2.2 群落相似性指标

群落系数 (Coefficient of community, C): 采用 Sorensen 或 Zekanovski 系数, $C = 2W/(a + b)$, 式中 C 为群落系数; W 为样地 A 和 B 共有种的种数; a 为样地 A 的全部种数; b 为样地 B 的全部种数^[42]。

3 研究结果与分析

3.1 各重点生态地区的主要蝶类种类及分布

经 3a 的研究结果总结, 发现浙江重点生态地区有蝶类 12 科 545 属 951 种 (表 3)。其中龙王山有 11 科 91 属 153 种, 有 11 种中国特有种和 1 种中国保护种; 天目山有 12 科 104 属 204 种, 有 24 种中国特有种和 5 种中国保护种; 古田山有 8 科 71 属 203 种, 有 5 种中国特有种和 2 种中国保护种; 乌岩岭有 9 科 49 属 66 种, 有 11 种中国特有种和 3 种中国保护种; 百山祖有 11 科 131 属 253 种, 有 15 种中国特有种和 4 种中国保护种。各样地的中国特有种和保护种参见表 4。

表 3 浙江重要生态地区蝶类昆虫的属种

Table 3 The genus and species of butterfly insect from important ecological areas in Zhejiang Province

类群 Groups	龙王山 Longwang Mountain		天目山 Tianmu Mountain		古田山 Gutian Mountain		乌岩岭 Wuyanling		百山祖 Baishanzu		合计 Total	
	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species
弄蝶科 Hesperidae	21	26	26	40	11	12	6	6	29	40	109	147
凤蝶科 Papilionidae	6	15	10	26	6	13	4	7	11	30	44	107
绢蝶科 Parnassiidae	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2
粉蝶科 Pieridae	5	9	5	9	4	7	3	4	8	14	32	57
眼蝶科 Satyridae	9	25	11	32	11	19	5	8	12	44	57	151
斑蝶科 Danaidae	0	0	1	1	0	0	0	0	2	3	4	6
环蝶科 Amathusiidae	1	2	1	2	1	2	2	2	3	4	9	13
蛱蝶科 Nymphalidae	28	50	28	57	22	34	15	25	33	74	153	275
珍蝶科 Acraeidae	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4	4
喙蝶科 Libytheidae	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	5	5
蛱蝶科 Riodinidae	2	2	1	3	2	2	1	1	4	6	11	16
灰蝶科 Lycaenidae	16	21	28	34	14	14	12	12	27	36	115	138
合计 The total	91	153	104	204	71	103	49	66	131	253	545	951

表 4 浙江各重点生态地区的重要蝶类种类

Table 4 The butterfly insect species from important ecological areas in Zhejiang

地区 Areas	重要种类 Important species	
	中国特有种 Endemic species of China	中国保护种 Protected species of China
龙王山 Longwang Mountain	连纹黛眼蝶 <i>Lethe syrcis</i> Hewitson, 李斑黛眼蝶 <i>Lethe gemina</i> Leech, 直带黛眼蝶 <i>Lethe lanaris</i> (Butler), 棕褐黛眼蝶 <i>Lethe christophi</i> (Leech), 布莱荫眼蝶 <i>Neope bremeri</i> Felder, 蒙链荫眼蝶 <i>Neope muirheadi</i> Felder, 幽夔眼蝶 <i>Ypthima conjuncta</i> (Leeth), 傲白蛱蝶 <i>Helcyra superba</i> (Leeth), 银白蛱蝶 <i>Helcyra subalba</i> (Poujade), 闪光金灰蝶 <i>Chrysozephyrus scintillans</i> Leeth, 须弄蝶 <i>Scobura coniaata</i> Hering	箭环蝶 <i>Stichophthalma howqua</i> (Westwood)
天目山 Tianmu Mountain	幽窗弄蝶 <i>Coladenia shelia</i> Evans, 中华虎凤蝶 <i>Luehdorfia chinensis</i> , 宽尾凤蝶 <i>Agehene elwesi</i> Leech, 蛇神黛眼蝶 <i>Lethe satyrina</i> (Butler), 连纹黛眼蝶 <i>L. syrcis</i> Hewitson, 李斑黛眼蝶 <i>L. gemina</i> Leech, 直带黛眼蝶 <i>L. lanaris</i> (Butler), 圆翅黛眼蝶 <i>Lethe butleri</i> Leech, 边纹黛眼蝶 <i>Lethe marginalis</i> (Motschulsky), 棕褐黛眼蝶 <i>L. christophi</i> (Leech), 布莱荫眼蝶 <i>N. bremeri</i> Felder, 蒙链荫眼蝶 <i>N. muirheadi</i> Felder, 蓝斑丽眼蝶 <i>Mandarina regalis</i> (Leech), 古眼蝶 <i>Palaeonympha opalina</i> (Butler), 前雾夔眼蝶 <i>Ypthima praenubilia</i> Leech, 幽夔眼蝶 <i>Y. conjuncta</i> (Leech), 幸福带蛱蝶 <i>Athyma fortuna</i> (Leech), 银白蛱蝶 <i>H. subalba</i> (Poujade), 傲白蛱蝶 <i>H. superba</i> (Leech), 羚环蛱蝶 <i>Neptis antilope</i> Leech, 折环蛱蝶 <i>Neptis beroe</i> Leech, 铂翠蛱蝶 <i>Euthalia pratti</i> Leech, 黄翅翠蛱蝶 <i>Euthalia kosempoma</i> Fruhstorfer, 珂灰蝶 <i>Cordelia comes</i> Leech, 峦太锯灰蝶 <i>Orthomiella rantaizana</i> (Wileman)	中华虎凤蝶 <i>Luehdorfia chinensis</i> , 金裳凤蝶 <i>Troides aeacus</i> (Felder), 宽尾凤蝶 <i>A. elwesi</i> Leech, 箭环蝶 <i>S. howqua</i> (Westwood)
古田山 Gutian Mountain	宽尾凤蝶 <i>A. elwesi</i> Leech, 蓝斑丽眼蝶 <i>M. regalis</i> (Leech), 蒙链荫眼蝶 <i>N. muirheadi</i> Felde, 古眼蝶 <i>P. opalina</i> (Butler), 银白蛱蝶 <i>H. subalba</i> (Poujade)	宽尾凤蝶 <i>A. elwesi</i> Leech, 金裳凤蝶 <i>T. aeacus</i> (Felder)
乌岩岭 Wuyanling	幽夔眼蝶 <i>Y. conjuncta</i> (Leech), 棕褐黛眼蝶 <i>L. christophi</i> (Leech), 布莱荫眼蝶 <i>N. bremeri</i> Felder, 蒙链荫眼蝶 <i>N. muirheadi</i> Felder, 傲白蛱蝶 <i>H. superba</i> (Leech), 幸福带蛱蝶 <i>A. fortuna</i> (Leech), 银白蛱蝶 <i>H. subalba</i> (Poujade), 羚环蛱蝶 <i>N. antilope</i> Leech, 折环蛱蝶 <i>N. beroe</i> Leech, 铂翠蛱蝶 <i>E. pratti</i> Leech, 黄翅翠蛱蝶 <i>E. kosempoma</i> Fruhstorfer	金斑喙凤蝶 <i>Teinopalpus aureus</i> , 金裳凤蝶 <i>T. aeacus</i> (Felder), 箭环蝶 <i>S. howqua</i> (Westwood)
百山祖 Baishanzu	宽尾凤蝶 <i>A. elwesi</i> Leech, 蛇神黛眼蝶 <i>L. satyrina</i> (Butler), 连纹黛眼蝶 <i>L. syrcis</i> Hewitson, 李斑黛眼蝶 <i>L. gemina</i> Leech, 直带黛眼蝶 <i>L. lanaris</i> (Butler), 棕褐黛眼蝶 <i>L. christophi</i> (Leech), 圆翅黛眼蝶恒春亚种 <i>L. butleri periscelis</i> (Fruhstorfer), 罗丹黛眼蝶 <i>L. laodamia</i> (Leech), 布莱荫眼蝶 <i>N. bremeri</i> Felder, 蒙链荫眼蝶 <i>N. muirheadi</i> Felder, 蓝斑丽眼蝶 <i>M. regalis</i> (Leech), 古眼蝶 <i>P. opalina</i> (Butler), 前雾夔眼蝶 <i>Y. praenubilia</i> Leeth, 幽夔眼蝶 <i>Y. conjuncta</i> (Leech), 银白蛱蝶 <i>H. subalba</i> (Poujade), 黑紫蛱蝶 <i>Sasakia funebris</i> (Leech)	金裳凤蝶 <i>T. aeacus</i> (Felder), 宽尾凤蝶 <i>A. elwesi</i> Leech, 黑紫蛱蝶 <i>S. funebris</i> (Leech), 枯叶蛱蝶台湾亚种 <i>Kallima inachus formsana</i> Fruhstorfer

中国特有种和保护种参照 2000 年国家林业局颁布的《国家保护的有益的, 或者具有重要经济、科学研究价值的野生动物名录》 Endemic and protected species of China based on national forestry bureau data in 2000

3.2 各重点生态地区的蝶类昆虫的多样性研究

3.2.1 种-多度关系

各重点生态地区的种-多度曲线见图 2。由图 2 可知 5 个重点生态地区的蝶类分布均为对数正态分布, 蝶类个体数分布的规律更接近对数级数法则。但天目山和乌岩岭的稀有种数量相对较多, 如本次研究中, 作者再次在天目山发现国家二级保护动物中华虎凤蝶, 在乌岩岭首次发现国家一级保护动物金斑喙凤蝶, 反映出该两处生态地区的环境质量优越。而古田山和百山祖的优势种数量相对较少, 也说明此 2 处生态地区的环境质量较好。龙王山稀有种少, 优势种多, 表明该生态地区的环境质量相对较差或该生态地区的环境质量正在趋向恶化。近年来, 龙王山因杭州湾酸雨和自然气候的影响, 植被发生变化, 生态环境质量下降。对数级数模型反映的是生态位优先占领假说, 在此模型中, 群落物种对资源的占有按如下的规律: 第 1 位的优势种优先占领有限资源的一定部分, 第 2 位的优势种又占领所剩余资源的一定部分, 依此类推。这种关系表明其蝶类群落将是物种少而生境又不相互重叠, 优势种的个体数或相对重要性表现十分突出。

3.2.2 蝶类群落的多样性和均匀性

(1) 多样性、均匀性的时间动态 对各重点生态地区各月份蝶类群落的多样性指数 (H')、种间相遇机率

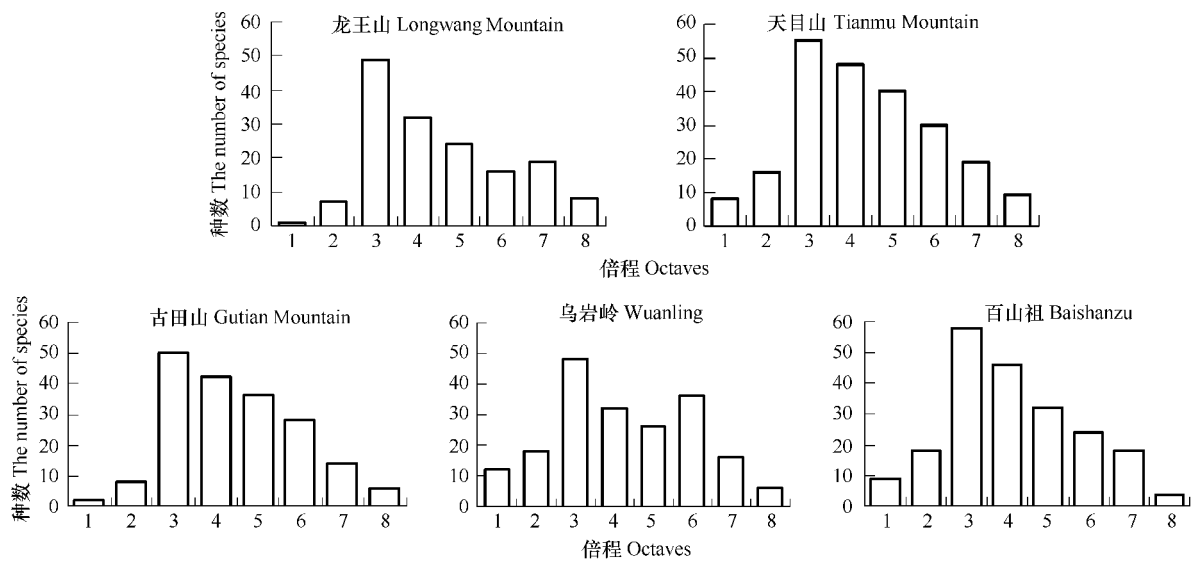


图2 浙江各重点生态地区蝶类昆虫的种-多度曲线

Fig. 2 The curve of species-abundance for butterfly insect from the important ecological areas in Zhejiang

(PIE)、均匀度(E)、物种丰富度($\ln S$)和个体数($\ln N$)进行统计,结果见图3。从总体来看,蝶类群落的多样性指数与种间相遇几率和物种丰富度及个体数是一致的,但 H' 的区分度较好,可见,用Shannon-Wiener多样性指数描述蝶类群落的多样性更为合适。相比较而言,从4月份到9月份,乌岩岭的蝶类多样性指数较高,且较为均匀。龙王山和天目山蝶类多样性指数较低,波动较大。而均匀度除百山祖和乌岩岭在4月份、天目山在9月份较高外,各样地表现的比较平稳。百山祖和乌岩岭处于浙江最南部,4月份两地绝大部分显花植物都已开花,并且此时该区内越冬后的第一代蝶类均羽化,此时人为干扰也相对较小。故此,蝶类多样性指数高,并且种群稳定;龙王山和天目山自4月开始旅游人数逐步增加,以及酸雨影响日益明显,故此,两地蝶类多样性指数较低,且波动较大;9月份的天目山是第二代蝶类羽化的高峰期,此时蝶类寄主植物也最为繁盛,故而蝶类种群增长迅速并相对较为稳定。从全年来看,均匀度(E)、物种丰富度($\ln S$)和个体数($\ln N$)为乌岩岭>天目山>百山祖>古田山>龙王山,而种间相遇几率(PIE)和群落多样性指数(H')则为百山祖>天目山>龙王山>乌岩岭>古田山。可见天目山、乌岩岭和百山祖蝶类的多样性较高,生态环境质量相对较好,适合蝶类昆虫生存。

(2) 多样性、均匀性的关系分析 比较而言,各种蝶类个体数最多的时期集中在6、7月份,此时多数蝶类寄主植物较为繁茂,温度和水分最佳。但因各重点生态地区蝶类群落的多样性受植被状况和气候等条件影响,从3月份到11月份的植被状况和气候因子差别较大,如龙王山和天目山位于浙江最北部,气候温度相对较低;而百山祖和乌岩岭位于浙江最南部,气候温度相对较高;龙王山森林覆盖率较低,总面积相对较小,但游客相对较多;因各样地人为干扰程度,气候和寄主植物等差异,从而导致各种指数的显著变化。因此,不同植被与气候条件的各种组合,产生了各月份群落间多样性参数的较大差异和各组参数间的序列不一致(图3),一方面说明各生态地区环境和蝶类群落的复杂性,另一方面表明蝶类对微环境的敏感性和这种敏感性表现出来的高度差异。

种间相遇几率(PIE)是描述群落组织水平专门特性或相互关系的指数,从其公式看,它与Simpson多样性指数是等值的,本文分析了浙江各代表生态地区蝶类的 PIE 和Shannon-Wiener多样性指数(H'),结果两者是一致的。但 H' 的区分度较好(图3),因此,用Shannon-Wiener多样性指数描述蝶类群落的多样性更为合适。

浙江各重点生态地区蝶类的多样性指数与均匀度不一致,或表现弱的负相关(天目山),而与丰富度一致

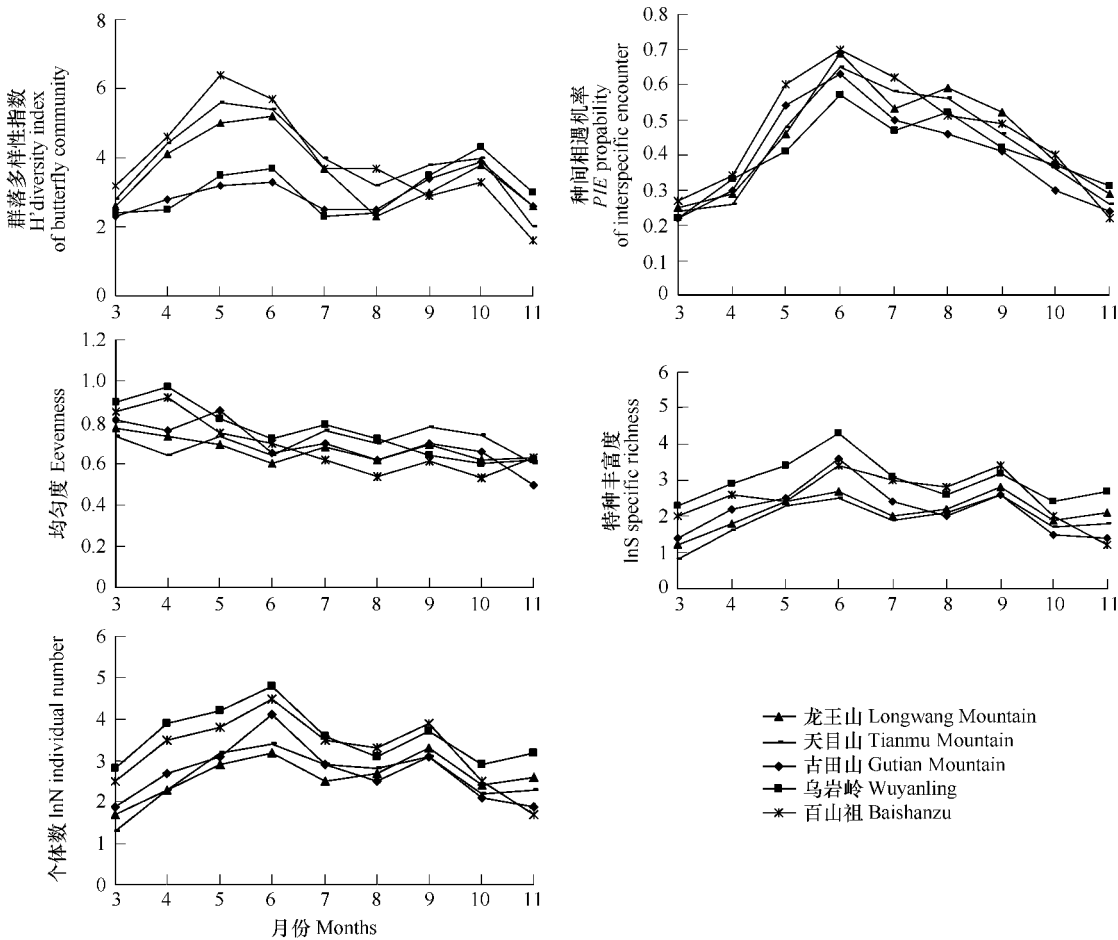


图3 群落多样性指数 (H')、种间相遇机率 (PIE)、均匀度 (E)、物种丰富度 ($\ln S$) 和个体数 ($\ln N$) 的时间动态
Fig. 3 The butterfly pattern of the diversity indices (H'), probability of interspecific encounter (PIE), evenness (E), specific richness ($\ln S$) and individual number ($\ln N$)

表5 各重点生态地区蝶类群落的数量特征
Table 5 Quantity indexes of butterfly community in important ecological areas

区域 Areas	指标 index								
	中国特有种数 The number of endemic species in China	中国保护种数 The number of species conserved in China	个体数 The number of individual (ln S)	物种丰度 The number of richness (ln N)	多样性指数 Diversity index			均匀度 Evenness index	优势度 Dominance index
					H'(GS)	H'(G)	H'(S)		
龙王山 Longwang Mountain	11	1	6.7105	5.0304	0.8491	0.5765	0.2726	0.1265	0.4839
天目山 Tianmu Mountain	24	5	6.9334	5.3181	0.9757	0.4334	0.5423	0.1407	0.3452
古田山 Gutian Mountain	5	2	6.6477	4.6347	1.3492	0.7863	0.5629	0.2030	0.8946
乌岩岭 Wuyanling	11	3	5.8230	4.1897	1.7570	0.4827	1.2743	0.3017	0.7826
百山祖 Baishanzu	15	4	7.1476	5.5334	1.1593	0.7625	0.3968	0.1622	0.5728

(见表5),此观点在不同作者的研究结果是不同的。本文认为龙王山和天目山蝶类多样性指数不受均匀度影响,是由于种-多度关系趋向于生态位优先占领假说,个体数量呈对数级数分布所致。表明龙王山和天目山环

境条件不稳定,群落结构变化大,部分珍稀种类有濒临灭绝危险。而昆虫群落的种-多度曲线呈对数正态分布时,一般情况下多样性指数与均匀度一致。而在这里,百山祖和古田山蝶类的种-多度曲线虽然呈对数正态分布,但多样性指数却与均匀度不一致,认为是由于种-多度曲线向左偏移,众数倍程小的缘故。即群落中稀有种具有增多的趋势,如此发展下去,种-多度关系将趋向对数级数模型。说明百山祖和古田山的环境虽然比较好,但已出现退化的趋势。龙王山蝶类的多样性指数与均匀度表现为弱相关,原因在于近年来连续干旱、酸雨、台风和游客增加等自然和人为干扰,环境不稳定,致使蝶类群落不稳定。

3.3 蝶类群落的数量分类

3.3.1 群落的聚类分析

天目山与龙王山蝶类的群落相似系数最高,而乌岩岭最低,其原因在于天目山与龙王山相距最近,植被也基本相似,主要植被类型为柳杉、金钱松和竹林,而与乌岩岭相距较远,植被差异较大;另外,天目山的旅游开发后人为因素增大,而乌岩岭长期以来处于保护状态受人为干扰较少。古田山和百山祖与其他各区域的蝶类群落相似系数均较高,其主要以甜槠和木荷的原生植被为主,而乌岩岭与其他各区域的蝶类群落相似系数均较低。乌岩岭面积虽然不大,但拥有十分丰富的植物资源,区系成分比较复杂,珍稀动植物、古生植物分布也较多(见表2)。乌岩岭具有典型的中亚热带常绿阔叶林,中亚热带山地常绿、落叶阔叶混交林,中亚热带山地常绿针叶与常绿阔叶混交林等,具有伯乐树 *Bretschneidera sinensis* Hemsl,香果树 *Emmenopterys henryi* 和福建柏 *Fokienia hodginsii* (Dunn.) Henry et Thomas 等国家二级珍稀濒危保护植物 16 种,占本省国家珍稀植物 56 种的 28.57%。又因该保护区地处浙、闽交界处,群山僻壤,人迹罕至,加上优越的自然地理条件,植被保存比较完整,森林覆盖率高,环境质量和生态效益良好。因此,乌岩岭蝶类群落具有自己的相对独特性(表6)。

表6 各重点生态地区蝶类的相似性系数

Table 6 The similarity coefficient of butterfly in important ecological areas

各生态地区 Ecological areas	龙王山 Longwang Mountain	天目山 Tianmu Mountain	古田山 Gutian Mountain	乌岩岭 Wuyanling	百山祖 Baishanzu
龙王山 Longwang Mountain		0.5098	0.4300	0.0365	0.5961
天目山 Tianmu Mountain			0.4688	0.1259	0.5470
古田山 Gutian Mountain				0.2012	0.4326
乌岩岭 Wuyanling					0.1567

4 讨论

森林蝶类多样性、个体、种群动态与变化常受到多种因素的影响,如旅游、林木的砍伐和工厂污染等人为因素,以及植被、大气、火灾和酸雨等自然因素。但本次研究表明人为干扰、生境异质性和植被盖度对各生态地区蝶类多样性的影响相对较大。

4.1 人为干扰

人为干扰的影响使得蝶类多样性指数在龙王山有最低值,这与其他研究者对森林环境与蝶类多样性相互关系的调查结果相一致,即开发程度越高,蝶类多样性指数越低^[43]。除龙王山和天目山外其他重点生态地区的人流量均不大,大约都在 5~30 人/h 之间,蝶类个体数量和多样性指数明显高于人为活动频繁的龙王山和天目山。可以看出,较强的人为干扰极大影响蝶类多样性,但在人为干扰相对较小的情况下,并非人为干扰越小,蝶类多样性指数就越高^[44]。

4.2 生境异质性和植被盖度

生境异质性和植被盖度是蝶类多样性的重要影响因素。生境异质性被认为是生态系统生物多样性得以维持的重要因素。空间异质性程度越高,意味着更多的小生境和小气候条件,所以能满足更多具有不同生态位的物种需要,从而实现多物种的共存。地形变化是产生异质性生境的重要因素,给不同生活史策略和生理生态要求的物种提供了定居的生态位,有利于生物多样性的维持^[45, 46]。生境异质性高低和植被盖度大小的

顺序均为:天目山 > 乌岩岭 > 古田山 > 百山祖 > 龙王山,蝶类多样性指数也与这个顺序一致。生境异质性越高、植被盖度越高,为蝶类提供更为多样化的生存环境,蝶类种类和数量也会增多。可见,多样性指数同生境异质性和植被盖度呈正相关,这与刘文萍等和 Kremen 的结论一致,说明把蝶类作为环境变化的指示生物是可行的^[47, 48]。

5 小结

本次研究发现浙江重点生态区域蝶类 12 科,951 种,其中有 7 种国家保护种,表明浙江地区蝶类物种丰富,国家级保护种多,尤其首次在浙江发现了国家一级保护动物-金斑喙凤蝶。另外,环境变化对蝶类多样性影响明显,近年来,因干旱、酸雨、台风和游客增加等导致龙王山的蝶类个体数量和多样性指数明显低于乌岩岭和古田山,如乌岩岭有 3 种中国保护种,11 种中国特有种,多样性指数为 1.7570,暗示该处生态地区的环境质量优越;而古田山没有国家级保护动物,中国保护种有 2 种,中国特有种 5 种,多样性指数为 1.3492,也说明此处生态地区的环境质量较好;龙王山没有国家级保护动物,中国保护种仅 1 种,中国特有种 11 种,多样性指数为 0.8491,暗示该生态地区的环境质量相对较差或该生态地区的环境质量正在趋向恶化。但并非人为干扰越小,蝶类多样性指数就越高,这也就是“中度干扰假说”。当然,生境异质性和植被盖度也是重要因素,古田山和乌岩岭的生境异质性和植被盖度均相对较高,因此,上述两地的蝶类种类和数量也相对较多。

通过蝶类对微环境的极端敏感性,与植物相互依存、协同演化的密切关系,来分析蝶类群落结构、群落多样性及其动态、趋势,进而监测和反映浙江各重点生态地区环境质量状况,从而能从一个方面科学地反映近年来气候和人为干扰对森林生态环境的影响。为更大发挥浙江各重点生态地区的生态效益,建议在旅游高峰时段控制游客人数;加强原始林区的保护,维护原始生境;在害虫发生的林区尽量采用除化学药剂外的其它防治方法,减少森林大气和土壤的污染。

森林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,要明确某森林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。尽管采用蝶类昆虫作为环境评价的指示性生物具有大量独特优越性,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,还需作更多细致的研究。另外,如何建立量化的指示性蝶类种群的多样性指数与森林健康等级(健康、亚健康和不健康)间对应关系,仍然有待深入研究。

References:

- [1] Constanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 386: 253–260.
- [2] Xiao F J, Ouyang H, Cheng S L, Zhang Q. Forest health ecological risk assessment in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (2): 349–353.
- [3] Chen G, Deng H B, Wang Q L, Dai L M, Hao Z Q. Approaches for assessing forest ecosystem health. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (6): 995–999.
- [4] Chen G, Dai L M, Ji L Z, Deng H B, Hao Z Q, Wang Q L. Assessing forest ecosystem health I. Model, method and index system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (10): 1743–1749.
- [5] 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.
- [6] Lawton J H. Abstracts of International Congress of Entomology. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 1–107.
- [7] Brown J K S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: Insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, 1997, 1: 25–42.
- [8] Brown J K S. and Andr'e Victor L. Freitas butterfly communities of urban forest fragments in Campinas, Sao Paulo, Brazil: Structure, instability, environmental correlates, and conservation. *Journal of Insect Conservation*, 2002, 6: 217–231.
- [9] Frouz J. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture Ecosystematics and Enviroment*, 1999, 74: 167–186.
- [10] Kitching R, 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: 284–297.
- [11] Akutsu K, Khen C V, Toda M J. Assessment of higher insect taxa as bioindicators for different logging-disturbance regimes in lowland tropical rain forest in Sabah, Malaysia. *Ecology Research*, 2006, 26: 542–551.

- [12] Chen Z N, Zeng Y. The butterfly diversity of different habitat types in Qilian, Qinghai Province. *Biodiversity Science*, 2001, 9 (2): 109—114.
- [13] Liu G L, Pang H, Zhou C Q, Wen R Z, Chen H L, Jia F L, Mo Z Q. Diversity of butterflies in Lianhua Mountain Nature Reserve of Dongguan City, Guangdong Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (4): 571—574.
- [14] 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.
- [15] Yang P, Deng H L, Qi B. 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.
- [16] Wu Z J, Li Y M. Effects of habitat fragmentation on survival of animal populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (11): 2424—2435.
- [17] Saarinen K. A comparison of butterfly communities along field margins under traditional and intensive management in SE Finland. *Agriculture Ecosystematics and Enviroment*, 2002, 90: 59—65.
- [18] Nelson S M. The Western Viceroy butterfly (*Nymphalidae: Limenitis archippus*): an indicator for riparian restoration in the arid southwestern United States? *Ecological Indicators*, 2003, 3: 203—211.
- [19] Maes D and van Dyck H. Butterfly diversity loss in Flanders (north Belgium): Europe's worst case scenario? *Biological Conservation*, 2001, 99: 263—276.
- [20] Oostermeijer J G B, van Swaay C A M. The relationship between butterflies and environmental indicator values: a tool for conservation in a changing landscape. *Biological Conservation*, 1998, 86: 271—280.
- [21] Fleishman E, Austin G T, Brussard P F, Murphy D D. A comparison of butterfly communities in native and agricultural riparian habitats in the Great Basin, USA. *Biological Conservation*, 1999, 89: 209—218.
- [22] Barlow J, Overal 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.
- [23] Hawkins B A, Porter E E. Does herbivore diversity depend on plant diversity? The case of California butterflies. *The American Naturalist*, 2003, 161: 40—49.
- [24] 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.
- [25] Singer M C, Ehrlich P R. Host specialization of satyrine butterflies, and their responses to habitat fragmentation in Trinidad. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 1991, 30: 248—256.
- [26] Steffan-Dewenter I, Tschamtk T. Butterfly community structure in fragmented habitats. *Ecology Letters*, 2000, 3: 449—456.
- [27] Uehara-Prado M, Brown K S, Freitas A V L. Species richness, composition and abundance of fruitfeeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16: 43—54.
- [28] Zheng C Z. Geographic distribution of the rare, endangered and protected plants in Zhejiang and their characteristics of flora. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1990, 8 (3): 235—242.
- [29] Cai R H. The horizontal and vertical distribution of main forests in Zhejaing Province. *Journal of Hangzhou University*, 1988, 15 (3): 344—350.
- [30] Cai R H. Zhang S R, Yao J H. Forst division of Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang Forstry Science and Technology*, 1989, 9 (2): 1—8.
- [31] Li C L, Zhu B Y. *Atlas of Chinese Butterflies*. Shanghai: Shanghai Far-Eastern Press, 1992. 1—152.
- [32] Tong X S. *Butterfly Fauna of Zhejiang*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1993. 1—87.
- [33] Chou I. *Monographia Rhopalocerorum Sinensium*. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1994. 1—854.
- [34] Wu H. *Insects of Baishanzu national nature reserve in East of China*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995. 1—586.
- [35] Wu H. *Insects of Longwangshan national nature reserve*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997. 1—404.
- [36] Wu H and Pan C W. *Insects of Tianmushan national nature reserve*. Beijing: Science Press, 2001. 1—764.
- [37] Wu C S. *Fauna Sinica: Insect. Vol. 25 (Lepidoptera: Papilionidea)*. Beijing: Science Press, 2001. 1—367.
- [38] Wang M, Fan X L. *Butterflies Fauna Sinica: Lycaenidae*. Zhengzhou: He'nan Science and Technology Press, 2002. 1—440.
- [39] Osada S. An illustrated checklist of the butterflies of Laos. Tokyo: P. D. R. Mokuyosha, 1999. 1—211.
- [40] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity I. a diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2 (4): 231—239.
- [41] Yang D R. Studies on the structure of the butterfly community and diversity in the fragmentary tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41 (1): 48—55.
- [42] Yang H X, Lu Z Y. *Quantitative methods for classification of plant ecology*. Beijing: Science Press, 1981. 1—420.
- [43] Shahabuddin G, Ponte C A. Frugivorous butterfly species in tropical forest fragments: correlates of vulnerability to extinction. *Biodiversity and Conservation*, 2005, 14: 1137—1152.
- [44] Wilkinson D M. The disturbing history of intermediate disturbance. *Oikos*, 1999, 84: 145—147.
- [45] Ehrenfeld J G. Microtopography and vegetation in atlantic white cedar swamps: the effects of natural disturbances. *Canadian Journal of Botany*, 1995, 73: 474—484.
- [46] Nakamura E, Yajima T, Kikuchi S. Structure to geomorphic site conditions and composition of riparian forests with special along the Tokachi River, norther Japan. *Plant Ecology*, 1997, 133: 209—219.
- [47] Liu W P, Deng H L. The studies on diversity of butterflies in the Muli. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17 (3): 266—271.
- [48] Kremen C. Assessing the indicator properties of assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications*, 1992, 2 (2): 206—216.

参考文献:

- [2] 肖风劲, 欧阳华, 程淑兰, 张强. 中国森林健康生态风险评估. 应用生态学报, 2004, 15(2): 349 ~ 353.
- [3] 陈高, 邓红兵, 王庆礼, 代力民, 郝占庆. 森林生态系统健康评估的一般性途径探讨. 应用生态学报, 2003, 14(6): 905 ~ 999.
- [4] 陈高, 代力民, 姬兰柱, 邓红兵, 郝占庆, 王庆礼. 森林生态系统健康评估 I. 模式、计算方法和指标体系. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1743 ~ 1749.
- [5] 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.
- [12] 陈振宁, 曾阳. 青海祁连地区不同生境类型蝶类多样性研究. 生物多样性, 2003, 9(2): 109 ~ 114.
- [13] 刘桂林, 庞虹, 周昌清, 陈海东, 贾凤龙, 莫震球. 东莞莲花山自然保护区蝴蝶群落多样性研究. 应用生态学报, 2004, 15(4): 571 ~ 574.
- [14] 查玉平, 骆启桂, 王国秀, 吴少斌, 黄大钱, 邓长盛, 魏权. 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.
- [15] 杨萍, 邓合黎, 漆波. 长江三峡库区蝶类群落的物种获得率、小生境占有率和相对多度. 生态学报, 2005, 25(3): 2424 ~ 2435.
- [16] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群成活的影响. 生态学报, 2003, 23(11): 2424 ~ 2435.
- [28] 郑朝宗. 浙江珍稀濒危保护植物的地理分布及其区系特征. 武汉植物学研究, 1990, 8(3): 235 ~ 242.
- [29] 蔡千侯. 浙江省森林植被的水平分布与垂直分布. 杭州大学学报, 1988, 15(3): 344 ~ 350.
- [30] 蔡千侯, 章绍尧, 姚继衡. 浙江省森林分区. 浙江林业科技, 1989, 9(2): 1 ~ 8.
- [31] 李传隆, 朱宝云. 中国蝶类图谱. 上海: 上海远东出版社, 1992. 1 ~ 152.
- [32] 童雪松. 浙江蝶类志. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993. 1 ~ 87.
- [33] 周尧主编. 中国蝶类志 (上、下册). 郑州: 河南科学技术出版社, 1994. 1 ~ 854.
- [34] 吴鸿主编. 华东百山祖昆虫. 北京: 中国林业出版社, 1995. 1 ~ 586.
- [35] 吴鸿主编. 龙玉山昆虫. 北京: 中国林业出版社, 1997. 1 ~ 404.
- [36] 吴鸿, 潘承文主编. 天目山昆虫. 北京: 科学出版社, 2001. 1 ~ 764.
- [37] 武春生. 中国动物志: 昆虫纲 (第二十五卷), 鳞翅目: 凤蝶科. 北京: 科学出版社, 2001. 1 ~ 367.
- [38] 王敏, 范晓凌. 中国灰蝶志. 郑州: 河南科学与技术出版社, 2002. 1 ~ 440.
- [40] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I. a 多样性的测度方法 (下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231 ~ 239.
- [41] 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.
- [42] 阳含熙, 卢泽愚. 植物生态学的数量分类方法. 北京: 科学出版社, 1981. 1 ~ 420.
- [47] 刘文萍, 邓合黎. 木里蝶类多样性研究. 生态学报, 1997, 17(3): 266 ~ 271.