



## 九万山国家级自然保护区蝴蝶多样性研究

李月妹<sup>1,2\*</sup>, 王晨彬<sup>3\*</sup>, 刘馨怡<sup>2</sup>, 蒋媛<sup>2</sup>, 覃国乐<sup>2</sup>,

谢彦军<sup>2</sup>, 邓维安<sup>1,2</sup>, 李晓东<sup>1,2\*\*</sup>, 容万韬<sup>2\*\*</sup>

(1. 广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541004; 2. 广西蚕桑生态学与智能化技术应用重点实验室, 河池学院化学与生物工程学院, 广西河池 546300; 3. 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042)

**摘要:** 于 2016 至 2018 年间, 采用样线法调查了九万山国家级自然保护区内的蝴蝶种类, 分析了其蝴蝶群落的组成和多样性特征。结果表明, 调查共记录蝴蝶 6 965 头, 分属 5 科 96 属 169 种。其中, 蛱蝶科 Nymphalidae 的属数、种数和个体数最多, 分别为 39 属、85 种、3 544 头; 粉蝶科 Pieridae 的物种数最少, 仅为 15 种; 弄蝶科 Hesperidae 个体数最少, 仅有 416 头。126 种蝴蝶的个体数占比低于 1%, 属于稀有类群。常绿阔叶林带的多样性指数最高, 而灌丛区和大型湖泊区间的相似性系数最高 (0.56)。随海拔升高, 蝴蝶物种数、优势度指数和丰富度指数呈现出先减后增的趋势, 而多样性指数和均匀度指数则表现出先增后减的趋势。九万山国家级自然保护区内蝴蝶物种丰富, 但稀有类群占比高, 且蝴蝶个体数呈现出一定的下降趋势, 提示该区域蝴蝶群落多样性面临威胁。因此, 建议加强该地区蝴蝶资源特别是针对稀有类群的监测与保护, 以维护其生物多样性。

**关键词:** 九万山国家级自然保护区; 蝴蝶; 多样性指数; 相似性系数; 监测与保护

中图分类号: Q968.1; 文献标识码: A

### Study on butterfly diversity in Jiuwan Mountain National Nature Reserve

LI Yue-Mei<sup>1,2\*</sup>, WANG Chen-Bin<sup>3\*</sup>, LIU Xin-Yi<sup>2</sup>, JIANG Yuan<sup>2</sup>, QIN Guo-Le<sup>2</sup>, XIE Yan-Jun<sup>2</sup>, DENG Wei-An<sup>1,2</sup>, LI Xiao-Dong<sup>1,2\*\*</sup>, RONG Wan-Tao<sup>2\*\*</sup> (1. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Sericulture Ecology and Applied Intelligent Technology, School of Chemistry and Bioengineering, Hechi University, Hechi 546300, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China; 3. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** From 2016 to 2018, the transect method was employed to survey butterfly species in Jiuwan Mountain National Nature Reserve, analyzing the composition and diversity

基金项目: 生态环境部生物多样性保护重大工程 (SDZXWJZ01036-2018); 河池学院科研项目 (2020XJZC002)

\*共同第一作者: 李月妹, 女, 硕士研究生, 研究方向为昆虫分类与分子生态, E-mail: lym18759751256@163.com; 王晨彬, 男, 研究方向为蝴蝶生物多样性监测与生态预警, E-mail: wangchenbin@nies.org

\*\*共同通讯作者 Author for correspondence: 容万韬, 男, 硕士, 副教授, 研究方向为昆虫分类与分子生态, E-mail: 18023@henu.edu.cn; 李晓东, 男, 博士, 教授, 研究方向为昆虫分类与分子生态, E-mail: lxdong\_627@163.com

收稿日期 Received: 2024-06-25; 修回日期 Revision received: 2025-01-12; 接受日期 Accepted: 2025-01-14

characteristics of butterfly communities. Results revealed a total of 6,965 butterfly individuals, comprising 5 families, 96 genera, and 169 species. Among these, Nymphalidae had the highest number of genera (39), species (85), and individuals (3544); Pieridae had the fewest species (15), and Hesperidae had the fewest individuals (416). The individual counts of 126 butterfly species accounted for less than 1% of the total, classifying them as rare taxa. The evergreen broad-leaved forest zone exhibited the highest diversity index, while the shrubland and large lake zone showed the highest similarity coefficient (0.56). With increasing elevation, butterfly species, dominance index, and richness index demonstrated a pattern of initial decrease followed by increase, while diversity and evenness indices showed an initial increase followed by decrease. Although Jiuwan Mountain National Nature Reserve supports rich butterfly diversity, the high proportion of rare taxa and the apparent declining trend in butterfly abundance suggest that butterfly community diversity in this region faces threats. Therefore, strengthening monitoring and conservation efforts for butterfly resources, particularly for rare taxa, is recommended to maintain biodiversity in this area.

**Key words:** Jiuwan Mountain National Nature Reserve; butterfly; diversity index; similarity coefficient; monitoring and conservation

生物多样性是地球上所有生物赖以生存的基石，也关系着人类的生存（Marselle *et al.*, 2021）。鉴于其重要性，生物多样性已成为各领域科学工作者研究的热点（Salih *et al.*, 2021；李爽等，2022；Jonathan *et al.*, 2023；周霞等，2023）。蝴蝶不仅因其具有极高的观赏价值而被广泛利用，更在生态系统中发挥着不可或缺的作用，如传粉、食物链构建以及作为生态系统健康与稳定的指示器（Batool & Hussain, 2016）。此外，蝴蝶还对环境变化极其敏感，成为公认的生态监测指示物种（蒲正宇等，2015；李欣芸等，2020；田宇等，2022）。可见，蝴蝶对于保护和恢复生物多样性、维护生态平衡具有重要意义。因此，蝴蝶多样性的研究不仅具有重要的理论价值，还具有广泛的应用前景（查玉平等，2006），对于保护和恢复生物多样性、维护生态平衡具有重要意义。

九万山国家级自然保护区（以下简称九万山）坐落于广西壮族自治区北部，其以复杂的生境、多变的地貌和丰富的生物多样性而著称。该区域海拔差异大，生物多样性极为丰富，是广西乃至全国亚热带地区不可多得的物种基因库和水源涵养林区，对全球同纬度地区的生物多样性保护具有关键作用（彭玉华等，2020）。目前，关于九万山动植物资源的研究主要集中在土壤动物（覃国乐等，2016）、鸟类和兽类多样性（吴冉昕等，2020；汪国海等，2022）、常绿阔叶林物种（彭玉华等，2020）、外来入侵和本地草本植物多样性（高珂晓等，2019）、野生茶树资源（刘彤等，2015）、古茶树资源（陈涛林等，2019）以及植被变化（张艺成等，2015）等方面。然而，对于九万山蝶类多样性尚缺乏相关研究报道。

鉴于蝶类在生态系统中的重要地位及九万山作为生物多样性保护关键地区的重要性，于2016至2018年间，采用样线法系统调查了九万山蝴蝶种类和分布，分析了其蝴蝶群落

的组成和多样性特征，旨在为该地区的蝶类资源利用、生物多样性保护以及环境监测提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

九万山跨越河池市的罗城仫佬族自治县、环江毛南族自治县和柳州市的融水苗族自治县，地属中亚热带季风气候区，位于东经 108°35′~108°48′，北纬 25°01′~25°19′，年光照充足，雨量充沛，气候温和湿润，年均气温 12~17°C，极端最高温高达 37°C，极端最低温达 -8°C；年均降雨量 1 600~2 100 mm，降雨多集中在 4-8 月，占全年降水量的 70%左右，相对湿度为 85%~90%；全年无霜期 300 d（韦凌云等，2007；覃国乐等，2016；彭玉华等，2020）。

### 1.2 研究样线概况

根据蝴蝶生态习性、栖息范围、九万山的主要生境类型、海拔、人为干扰类型及干扰程度等因素共设置 5 条样线，并依据其主要生境类型分别定义为灌丛区、大型湖泊区、针阔混交林带、常绿阔叶林带 a 和常绿阔叶林带 b（表 1），每条样线长 2 km，且平均分为 10 个样段（环境保护部，2014；马方舟等，2018）。

表 1 九万山国家级自然保护区不同蝴蝶调查样线的基本信息

Table 1 Basic information of different butterfly survey transects in the Jiuwan Mountain National Nature Reserve

主要生境类型 Main habitat types	海拔 (m) Elevation	起点 GPS Starting point GPS	终点 GPS Endpoint GPS	人为干扰类型§ Human interference type	干扰程度§ Disturbance levels
灌丛区 Shrub	234~275	108.8591640°E 24.859160°N	108.945290°E 24.845410°N	放牧、道路交通 Graze, Road traffic.	弱 Mild
大型湖泊区 Large lake	258~276	108.824410°E 24.725558°N	108.828790°E 24.730370°N	围湖造林 Afforestation around lake	中 Medium
针阔混交林带 Theropencedrymion	513~785	108.579270°E 25.194390°N	108.570540°E 25.190650°N	毁林开垦 Deforestation and reclamation	中 Medium
常绿阔叶林带 a Evergreen broad- leaved forest a	1 138~1 145	108.641440°E 25.206270°N	108.647670°E 25.195670°N	无 None	无 None
常绿阔叶林带 b Evergreen broad- leaved forest b	1 199~1 403	108.689010°E 25.199010°N	108.674750°E 25.206890°N	道路交通等 Road traffic, etc	中 Medium

注：§ 干扰类型及强度参照《生物多样性观测技术导则——蝴蝶》（HJ 710.9-2014）。干扰强度分强、中、弱、无 4 个等级。

Note: § Refer to the "Technical Guidelines for Biodiversity Observation - Butterflies" (HJ 710.9-2014) for disturbance type and intensity. The intensity of disturbance was divided into 4 levels: strong, medium, mild and none.

### 1.3 研究方法

本研究采用生态环境部蝴蝶多样性观测网络（马方舟等，2018）制定的统一标准，使用样线法调查蝴蝶的多样性。于 2016-2018 年间每年 4-9 月天气晴朗且蝴蝶活动频繁的时段（即 9:00-17:00）开展调查，每月调查 6 次，同时记录包括环境因子（如温度、湿度、风速等）、海拔高度以及样线起点的经纬度等关键信息。调查过程中，观测人员以 1.5~2.0

km/h 的速度行进, 对样线两侧 2.5 m、上方和前方 5 m 范围内的蝴蝶进行记录。对于可以现场识别的蝴蝶种类, 在完成观察和记录后, 立即释放。对于难以现场鉴定的蝴蝶, 将其置于硫酸纸制成的三角袋内, 带回实验室后进行鉴定。蝴蝶的分类鉴定主要采用《中国蝶类志》(周尧, 2000) 和《中国蝴蝶图鉴》(武春生和徐培峰, 2017) 中的分类标准执行。所有采集到的蝴蝶标本均妥善保存于河池学院动物博物馆。

#### 1.4 数据分析

蝴蝶群落多样性采用以下多样性指数 ( $H$ )、Pielou 均匀度指数 ( $J$ )、Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ )、Margalef 物种丰富度指数 ( $R$ ) 和 Jaccard 群落相似性系数 ( $I$ ) 分析蝶类群落  $\alpha$  及  $\beta$  多样性 (Jaccard, 1900; 马克平和刘玉明, 1994; 左自途等, 2008; 胡锦涛等, 2021) :

Shannon-Wiener 多样性指数计算公式:

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i, P_i = N_i/N, \quad (1)$$

式中,  $N_i$  为第  $i$  类群的个体数,  $N$  为所有类群的个体总数。

Pielou 均匀度指数计算公式:

$$J = H/\ln S, \quad (2)$$

式中,  $H$  为 Shannon-Wiener 多样性指数,  $S$  为类群数。

Berger-Parker 优势度指数计算公式:

$$D = N_{max}/N, \quad (3)$$

式中,  $N_{max}$  为优势种的个体总数,  $N$  为所有类群的个体总数。

Margalef 物种丰富度指数计算公式:

$$R = (S-1)/\ln N, \quad (4)$$

式中,  $S$  为物种数,  $N$  为所有类群的个体总数。

群落相似性系数计算公式:

$$I = c/(a + b - c), \quad (5)$$

式中,  $a$  为 A 生境物种数,  $b$  为 B 生境物种数,  $c$  为 A、B 两生境共有的物种数。当  $I$  为 0~0.25 时, 为极不相似;  $I$  为 0.25~0.50 时, 为中等不相似;  $I$  为 0.50~0.75 时, 为中等相似;  $I$  为 0.75~1.00 时, 为极相似 (陈振宁和曾阳, 2001)。本研究定义蝴蝶个体数量占总数量 10% 以上为优势类群, 1%~10% 为常见类群, 1% 以下为稀有类群 (李欣芸等, 2020; 胡锦涛等, 2021; 段明祎等, 2023)。

## 2 结果与分析

### 2.1 蝴蝶群落组成及其多样性

2016-2018 年间, 共记录蝴蝶 6 965 头, 隶属于 5 科 96 属 169 种 (表 2)。3 年调查发现共有种类为 63 种, 占观测到总种类数的 37.28%。蛱蝶科 Nymphalidae 数量最多, 共

计 39 属 85 种，为本研究的优势科；其次是灰蝶科 *Hesperiidae* 23 属 31 种；凤蝶科和粉蝶科的属数和种数最少，分别为 6 属 16 种和 12 属 15 种。

从科级水平统计的个体数量来看，弄蝶科 *Hesperiidae* 个体数最少，占比只有 5.97%，其他各科的个体数量占比均超过 10%，其中蛱蝶科的个体数最多，达到 3 544 头，占比超 50%。此外，有 126 种蝴蝶的个体数量（其中 28 种蝴蝶仅观测到 1 头）占比低于 1%，属于稀有种。

蛱蝶科具有最高的多样性指数，其次是灰蝶科。弄蝶科具有最高的均匀度指数，其次是蛱蝶科。优势度指数最大的是灰蝶科，其次是粉蝶科。蛱蝶科具有最高的物种丰富度指数，灰蝶科次之，而粉蝶科的物种丰富度指数最低（表 2）。

表 2 九万山国家级自然保护区蝴蝶群落多样性指数

Table2 Diversity indices of butterfly communities in the Jiuwan Mountain National Nature Reserve

科 Family	属数 Genera number	种数 Species number	个体数 Individuals number	属数占比 (%) Proportion of genera	种数占比 (%) Proportion of species	个体数占比 (%) Proportion of individuals	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	优势度指数 Dominance index	物种丰富度指数 Richness index
凤蝶科 Papilionidae	6	16	710	6.25	9.47	10.19	2.0621	0.7308	0.1944	2.2848
粉蝶科 Pieridae	12	15	1 595	12.50	8.88	22.90	1.6366	0.6043	0.3429	1.8984
蛱蝶科 Nymphalidae	39	85	3 544	40.63	50.30	50.88	3.3875	0.7625	0.3249	10.2777
灰蝶科 Hesperiidae	23	31	700	23.96	18.34	10.05	2.5048	0.7294	0.3555	4.5794
弄蝶科 Hesperiidae	16	22	416	16.67	13.02	5.97	2.3719	0.7673	0.2957	3.4822
总计 Total	96	169	6 965	-	-	-	-	-	-	-

## 2.2 不同生境蝴蝶群落多样性及蝴蝶种类相似性比较

在科级水平方面，各生境间没有差异，均为 5 科。然而，在属数和个体数方面，常绿阔叶林带 b 拥有最多的属数，而针阔混交林带则属数最少；灌丛区则记录到最多的个体数，而常绿阔叶林带 a 的个体数最少。

常绿阔叶林带 a 其物种多样性指数（3.7654）和均匀度指数（0.8431）均为最高，但优势度指数最低（0.1002）。灌丛区其物种多样性指数（3.3495）和均匀度指数（0.7426）均最低。常绿阔叶林带 b 其物种丰富度指数（13.2487）和优势度指数（0.1958）均达到最高。大型湖泊区物种丰富度指数（10.4000）最低（表 3）。

表 3 九万山国家级自然保护区不同生境蝴蝶群落多样性指数

Table 3 Diversity indices of butterfly communities in different habitats in the Jiuwan Mountain National Nature Reserve

主要生境类型 Main habitat types	科数 Family number	属数 Genera number	种数 Species number	个体数 Individuals number	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	优势度指数 Dominance index	物种丰富度指数 Richness index
灌丛区 Shrub	5	55	91	2 642	3.3495	0.7426	0.1597	11.4223

大型湖泊区	5	50	76	1 355	3.4006	0.7852	0.1218	10.4000
Large lake								
针阔混交林带	5	48	83	1 103	3.6067	0.8162	0.1097	11.7046
Theropencedrymion								
常绿阔叶林带 a	5	53	87	828	3.7654	0.8431	0.1002	12.7995
Evergreen broad-leaved forest a								
常绿阔叶林带 b	5	57	93	1 037	3.5582	0.7850	0.1958	13.2487
Evergreen broad-leaved forest b								

在不同海拔的生境中，蝴蝶的分布展现出显著的差异。只在低海拔（<500 m）的灌丛区和大型湖泊区观测到的蝴蝶种类共 60 种，其中宽边黄粉蝶 *Eurema hecabe*、东方菜粉蝶 *Pieris canidia*、菜粉蝶 *Pieris rapae*、中环蛱蝶 *Neptis hylas*、美眼蛱蝶 *Junonia almana* 为主要种类；而只在中海拔（500~1 000 m）的针阔混交林带观测到的蝴蝶共有 7 种，其中幽豕眼蝶 *Ypthima conjuncta* 个体数量最多；而只在高海拔（>1 000 m）的常绿阔叶林带 a 和常绿阔叶林带 b 中，观测到的蝴蝶种类共有 10 种，常绿阔叶林带 a 以连纹黛眼蝶 *Lethe syrcis* 为优势种，而常绿阔叶林带 b 则以银豹蛱蝶 *Childrena childreni* 为优势种。

所有生境共有的蝴蝶物种为 29 种，其中最为常见的是宽边黄粉蝶，共 547 头；其次是东方菜粉蝶，记录到 483 头，两者主要分布在低海拔的灌丛区和大型湖泊区（详见网络版增强出版材料附录 II）。

不同生境间蝴蝶种类的相似性系数表现出一定的差异性，灌丛区和大型湖泊区的蝴蝶群落相似性系数（0.56）最大，为中等相似；其他生境之间的蝴蝶种类的相似性系数均在 0.25~0.50 之间，为中等不相似，大型湖泊区和常绿阔叶林带 a 之间的蝴蝶群落相似性系数（0.30）最小（表 4）。

表 4 不同生境蝴蝶群落共有物种（对角线上）和相似性系数（对角线下）

Table 4 Number of the shared species (above diagonal) and similarity coefficient (below diagonal) between different habitats

主要生境类型 Main habitat types	灌丛区 Shrub	大型湖泊区 Large lake	针阔混交林带 Theropencedrymion	常绿阔叶林带 a Evergreen broad-leaved forest a	常绿阔叶林带 b Evergreen broad-leaved forest b
灌丛区 Shrub		60	53	43	54
大型湖泊区 Large lake	0.56		45	38	46
针阔混交林带 Theropencedrymion	0.44	0.39		55	54
常绿阔叶林带 a Evergreen broad-leaved forest a	0.32	0.30	0.48		58
常绿阔叶林带 b Evergreen broad-leaved forest b	0.42	0.37	0.44	0.48	

### 2.3 蝴蝶数量年际变化情况

2016年共记录蝴蝶114种，个体数达2 887头；2017年蝴蝶物种数为113种，个体数为2 047头；2018年，蝴蝶物种数为121种，个体数为2 031头。

其中，灌丛区和针阔混交林带的蝴蝶物种数呈现出先减少后增加的趋势；大型湖泊区和常绿阔叶林带a的蝴蝶物种数则呈现先增加后减少的趋势；常绿阔叶林带b的物种数则相对稳定。在个体数量方面，灌丛区和针阔混交林带的蝴蝶个体数表现出先减少后增加的趋势；大型湖泊区和常绿阔叶林带a的蝴蝶个体数则持续减少；常绿阔叶林带b的蝴蝶个体数量呈现出先增加后减少的趋势（表5）。

表5 不同年份各生境蝴蝶物种数和个体数动态变化

Table 5 Dynamics of the number of butterfly species and individuals at different habitats in the Jiuwan Mountain

主要生境类型 Main habitat types	2016年		2017年		2018年	
	物种数	个体数	物种数	个体数	物种数	个体数
	Species number	Individual number	Species number	Individual number	Species number	Individual number
灌丛区 Shrub	57	1 225	45	657	57	760
大型湖泊区 Large lake	44	499	48	438	47	418
针阔混交林带 Theropencedrymion	53	465	41	290	46	348
常绿阔叶林带 a Evergreen broad-leaved forest a	50	329	51	273	47	226
常绿阔叶林带 b Evergreen broad-leaved forest b	47	369	49	389	49	279
合计 Total	114	2 887	113	2 047	121	2 031

## 3 结论与讨论

经过连续3年观测，共记录蝴蝶6 965头，隶属于5科96属169种，其中2016年5科69属114种2 887头，2017年5科70属113种2 047头，2018年5科69属121种2 031头，研究结果为进一步开展九万山蝶类资源调查提供了重要的基础数据。调查结果显示，九万山地区的常见蝴蝶包括宽边黄粉蝶、东方菜粉蝶、美眼蛱蝶等3种；而稀有类群共有126种，其中28种蝴蝶仅观测到1个个体，占比均小于1%。此外，观测发现蝴蝶个体数量呈现逐年下降的趋势，说明九万山蝴蝶多样性保护迫在眉睫。

广西国家级自然保护区和国家森林公园是蝶类资源数据的重要来源，前人已经在多个区域开展了蝶类资源调查，为广西蝶类资源提供了宝贵的数据。位于广西北部地区的元宝山自然保护区和西北部的木论国家级自然保护区，分别观测到85属122种（刘建文和蒋国芳，2003）和61属77种（薛国喜等，2019）。大瑶山地区共记述蝴蝶81属124种（含亚种）（吴四暖等，1998），姑婆山国家森林公园记录了32属55种（肖素娟和周善义，2009）。南部的山口红树林自然保护区和十万大山国家森林公园地区分别记录到30属46

种（陆温等，2000）和 88 属 155 种（胡锦等，2021）。猫儿山国家级自然保护区记录了 149 属 280 种（王敏等，2012）。据不完全统计，广西境内已发现的蝴蝶种类数达 232 属 608 种（吴海盼等，2019），九万山的蝴蝶种类占广西已发现蝴蝶种类的 27.8%，仅次于猫儿山保护区（占比 46.1%）。九万山与元宝山和木论保护区相邻，但本研究结果表明九万山的蝴蝶物种数量均超过了这两个保护区，可能与样线设置、观测的时间跨度和频次有关。九万山丰富的蝶类资源可能与其生境复杂性和植物多样性丰富性有关。

海拔是影响物种分布的关键因素之一，蝴蝶的丰富度随海拔升高而降低，且物种组成随海拔变化而发生转换。低海拔地区物种易受人类活动干扰，高海拔地区物种则更可能受到气候条件的限制（Gallou *et al.*, 2017; Pires *et al.*, 2020）。在本研究中，灌丛区由于海拔最低，所观测到的蝴蝶个体数量最多；而常绿阔叶林带 b 尽管海拔最高，其蝴蝶个体数量却比中海拔的常绿阔叶林带 a 多出 209 头，优势度指数也最高，同时蝴蝶的属数和种数均为最多，四个多样性指数均高于海拔最低的灌丛区。本研究发现蝴蝶物种数和多样性指数随着海拔升高呈上升趋势，这与部分学者的研究结果相一致（徐志峰等，2020；王帅兵等，2023），但与刘建文和蒋国芳（2003）、王群等（2020）的研究结果不同。本研究还发现，不同海拔高度的生境具有其独特的物种组成，低海拔生境特有蝴蝶物种最多，达到 29 种；中海拔样线的特有蝴蝶物种最少，只有 7 种；高海拔样线的特有蝴蝶物种为 10 种。可能与寄主植物和蜜源植物在不同海拔区域的分布有关，因为海拔影响了植物的分布，进而影响了蝴蝶种类的分布。然而，不同海拔如何影响蝴蝶的分布仍需进一步研究。

栖息地和气候的变迁及人为因素的干扰，已被广泛证实可直接影响蝴蝶多样性（陈洁君等，2004；邓敏等，2020；Miao *et al.*, 2021；Habel *et al.*, 2023）。物种对栖息地变化的敏感性不容忽视（Schmitt *et al.*, 2021），尤其是人为活动导致的原生栖息地丧失，已成为全球生物多样性面临的核心挑战（Davison *et al.*, 2021；Warren *et al.*, 2021）。随着人类活动范围的日益扩张，动物类群的栖息地遭受了前所未有的破坏和干扰，蝴蝶群落亦受此影响，表现出显著的多样性下降（廖娟和杨卫诚，2020）。在本研究中，灌丛区样线两侧，植物多样性丰富，为蝴蝶提供了多样的寄主植物和蜜源植物，其栖息环境相对稳定，因此该样线蝴蝶个体数量及物种数量均较为丰富。然而，其多样性指数和均匀度指数却相对较低，这可能与样线两侧寄主植物的分布不均及人为干扰程度有关（邓敏等，2020）。

大型湖泊作为蝴蝶的栖息环境，虽能为蝶类提供充足的水源，但因其占用了大片面积，导致蝴蝶的有效栖息地减少，限制了蝴蝶的繁衍和生存，因此呈现出蝴蝶个体数较多而物种数及物种丰富度指数最低的现象（Mtui *et al.*, 2022）。针阔混交林带样线的生境由针阔混交林与较多的人工林构成，这种生境类型的转变影响了蝴蝶对原生寄主植物的需求和偏好，进而导致该样线的蝴蝶物种数减少（Ram *et al.*, 2022）。相比较之下，常绿阔叶林区域植被丰富，其多样性指数、均匀度指数及物种丰富度均较高，而优势度指数最低，这表明该生境优越且稳定，为多种蝴蝶提供了理想的繁衍生息环境（徐世才等，2016；李雷雷



等, 2019)。

九万山地域范围较广, 物种多样性丰富, 观测到的蝴蝶物种也十分丰富, 达到 169 种。然而, 在 3 年的观测中, 每年都观测到的蝴蝶物种只有 63 种, 只占物种总数的 37.3%, 说明九万山蝴蝶资源仍有待进一步研究。针对九万山蝴蝶多样性的保护, 提出了以下策略: 首先, 要优先保护该地区的植物多样性, 因为植物不仅是蝴蝶的栖息地, 还是其食物来源。通过减少人为干扰因素, 如禁止乱砍滥伐、非法开垦、过度放牧等, 以及降低道路建设对生态环境的影响, 有效地保护植物群落的完整性和稳定性, 从而间接保护蝴蝶的生存环境。其次, 要加强生物多样性保护的宣传教育工作。通过向当地居民普及生物多样性保护的重要性, 让其意识到保护环境、保护植被、保护生物多样性就是保护我们共同的家园, 是确保经济可持续发展的基石。通过广泛的宣传教育, 我们希望能够提高公众对生物多样性保护的认识和参与度, 形成全社会共同保护生物多样性的良好氛围。

致谢: 感谢广西九万山国家级自然保护区管理中心对观测工作提供帮助和协助。

### 参考文献 (References)

- Batool S, Hussain M. Diversity and distribution of butterflies in Pakistan: A review [J]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2016, 4: 579-585.
- Chen JJ, Wang YF, Lei GC, *et al.* Impact of habitat quality on metapopulation structure and distribution of two melitaeine butterfly species [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47 (1): 59-66. [陈洁君, 王义飞, 雷光春, 等. 栖息地质量对两种网蛱蝶集合种群结构和分布的影响 [J]. 昆虫学报, 2004, 47 (1): 59-66]
- Chen TL, Zheng DL, Wang XF, *et al.* Study on the morphological diversity and correlation of ancient tea tree resources in Jiuwan Mountain of Liuzhou [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17 (16): 5488-5503. [陈涛林, 郑丹琳, 王熙富, 等. 柳州九万山古茶树资源形态多样性及相关性研究 [J]. 分子植物育种, 2019, 17 (16): 5488-5503]
- Chen ZN, Zeng Y. The butterfly diversity of different habitat types in Qilian, Qinghai Province [J]. *Biodiversity Science*, 2001, 9: 109-114. [陈振宁, 曾阳. 青海祁连山地区不同生境类型蝶类多样性研究 [J]. 生物多样性, 2001, 9: 109-114]
- Davison CW, Rahbek C, Morueta-Holme N. Land-use change and biodiversity: Challenges for assembling evidence on the greatest threat to nature [J]. *Global Change Biology*, 2021, 27 (21): 5414-5429.
- Deng M, Liao MW, Wang CB, *et al.* Influence of human disturbance on butterfly diversity in the Hupingshan National Nature Reserve [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28: 931-939. [邓敏, 廖明玮, 王晨彬, 等. 人为干扰对壶瓶山国家级自然保护区蝴蝶物种多样性的影响 [J]. 生物多样性, 2020, 28: 931-939]
- Duan MY, Zhu H, Qu YK, *et al.* Diversity of butterfly communities in different habitats in Songnen Plain and conservation suggestions [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43 (18): 7682-7692. [段明祎, 朱慧, 曲叶宽, 等. 松嫩平原不同生境蝴蝶群落多样性及其保护建议 [J]. 生态学报, 2023, 43 (18): 7682-7692]
- Gao KX, Li FF, Liu XY, *et al.* Elevational patterns of invasive nonnative and native herbaceous species in Jiuwan Mountain National Nature Reserve of Guangxi [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27 (10): 1047-1055. [高珂晓, 李飞飞, 柳晓, 等. 广西九万山国家级自然保护区外来入侵和本地草本植物多样性垂直分布格局 [J]. 生物多样性, 2019, 27 (10): 1047-1055]
- Habel JC, Ulrich W, Gros P, *et al.* Butterfly species respond differently to climate warming and land use change in the northern Alps [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 890: 164268.
- HJ710.9—2014. Technical Guidelines for Biodiversity Monitoring Butterflies [M]. Beijing: China Environmental Science Press, Environmental Protection Department, 2014. [HJ710.9—2014, 生物多样性观测技术导则—蝴蝶 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 环境保护部, 2014]
- Hu J, Li J, Wu HP, *et al.* Structure and diversity of butterfly communities in Guangxi Shiwandashan National Forest Park [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40 (5): 1478-1490. [胡锦, 李俊, 吴海盼, 等. 广西十万大山国家森林公园地区蝴蝶群落结构与多样性 [J]. 生态学报, 2021, 40(5): 1478-1490]
- Jaccard P. Contribution au probleme de l'immigration post-glaciaire de la flora alpine [J]. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 1900, 36: 732-739.

- Jonathan B, Joseph L, Damien B. A global database to catalogue the impacts of agricultural management practices on terrestrial biodiversity [J]. *Data in Brief*, 2023, 50: 109555.
- Li LL, Bao M, Zhang Y, *et al.* Butterfly community characteristics and monthly variation in different habitats in Qilian County, Qinghai Province [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2019, 35 (4): 484-490. [李雷雷, 鲍敏, 张营, 等. 青海省祁连县不同生境蝶类群落特征与月度变化规律 [J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35 (4): 484-490]
- Li S, Zhu YP, Cao M, *et al.* Current situation, challenges and recommendation of biodiversity conservation standard system in China [J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30 (11): 192-200. [李爽, 朱彦鹏, 曹萌, 等. 我国生物多样性保护标准体系现状、问题与建议 [J]. 生物多样性, 2022, 30 (11): 192-200]
- Li XY, Yang YC, He ZS, *et al.* Diversity of butterflies community and its environmental factors in Helan Mountain Nature Reserve, Ningxia [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42, 660-673. [李欣芸, 杨益春, 贺泽帅, 等. 宁夏贺兰山自然保护区蝴蝶群落多样性及其环境影响因子 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42: 660-673]
- Liao J, Yang WC. Survey on diversity of butterfly in the Getu River National Scenic Area, Guizhou [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2020, 39 (5): 572-578. [廖娟, 杨卫诚. 贵州格凸河国家级风景名胜区蝴蝶多样性调查 [J]. 四川动物, 2020, 39 (5): 572-578]
- Liu JW, Jiang GF. Faunal component and vertical distribution of butterflies in Yuanbao Mountain Nature Reserve of Guangxi, China [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2003, 22 (3): 162-165. [刘建文, 蒋国芳. 广西元宝山自然保护区蝴蝶种类组成及垂直分布 [J]. 四川动物, 2003, 22 (3): 162-165]
- Liu T, Ge ZW, Chen TL, *et al.* Genetic diversity of wild tea germplasm resources in Liuzhou Jiuwan Mountain revealed by ISSR markers [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2015, 46 (11): 1943-1948. [刘彤, 葛智文, 陈涛林, 等. 柳州九万山野生茶树种质资源遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. 南方农业学报, 2015, 46 (11): 1943-1948]
- Lu W, Wei SG, Qin AZ, *et al.* Survey of butterfly resources of Shankou Natural Reserve of Mangrove in Guangxi [J]. *Guangxi Science*, 2000, 7 (2): 150-153. [陆温, 韦绥概, 覃爱枝, 等. 广西山口红树林自然保护区蝶类资源考察报告 [J]. 广西科学, 2000, 7 (2): 150-153]
- Ma FZ, Xu HG, Chen MM, *et al.* Progress in construction of China butterfly diversity observation network (China BON-Butterflies) [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34: 27-36. [马方舟, 徐海根, 陈萌萌, 等. 全国蝴蝶多样性观测网络 (China BON-Butterflies) 建设进展 [J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34: 27-36]
- Ma KP, Liu YM. Measurement of biotic community diversity. I.  $\alpha$  variety (Part 2) [J]. *Biodiversity Science*, 1994, 2: 231-239. [马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法. I.  $\alpha$ 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 2: 231-239]
- Marselle MR, Lindley SJ, Cook PA, *et al.* Biodiversity and health in the urban environment [J]. *Current Environmental Health Reports*, 2021, 8: 146-156.
- Miao BG, Peng YQ, Yang DR, *et al.* Climate and land-use interactively shape butterfly diversity in tropical rainforest and savanna ecosystems of southwestern China [J]. *Insect Science*, 2021, 28: 1109-1120.
- Mtui DT, Ogutu JO, Okick RE, *et al.* Elevational distribution of montane Afrotropical butterflies is influenced by seasonality and habitat structure [J]. *PLoS One*, 2022, 17 (7): e0270769.
- Peng YH, Zeng J, Shen WH, *et al.* Analysis of species composition and spatial structure characteristics of evergreen broad-leaved forest in Jiuwan mountain [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2020, 40 (12): 17-25. [彭玉华, 曾健, 申文辉, 等. 九万山常绿阔叶林物种组成及空间结构特征分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40 (12): 17-25]
- Pu ZY, Shi JY, Yao J, *et al.* Analysis on threat factors of Chinese butterfly diversity [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31 (11): 148-155. [蒲正宇, 史军义, 姚俊, 等. 中国蝶类多样性威胁因子分析 [J]. 中国农学通报, 2015, 31 (11): 148-155]
- Qin GL, Li XD, Shi CY, *et al.* Diversity of soil animals in Jiuwanshan National Nature Reserve [J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2016, 44 (7): 125-129. [覃国乐, 李晓东, 史沉鱼, 等. 九万山国家级自然保护区土壤动物的多样性 [J]. 贵州农业科学, 2016, 44 (7): 125-129]
- Ram D, Lindström Å, Pettersson LB, *et al.* Forest clear-cuts as habitat for farmland birds and butterflies [J]. *Forest Ecology and Management*, 2020, 473: 118239.
- Salih K, Saeed ZO, Almkhtar A. Lessons from New York High Line Green Roof: Conserving biodiversity and reconnecting with nature [J]. *Urban Science*, 2021, 6 (1): 2.
- Schmitt T, Ulrich W, Delic A, *et al.* Seasonality and landscape characteristics impact species community structure and temporal dynamics of East African butterflies [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11: 15103.
- Tian Y, Zhang JF, Tian TA, *et al.* Survey on species diversity of butterflies in Fanjingshan National Nature Reserve of Guizhou [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2022, 41 (6): 6-13. [田宇, 张金发, 田太安, 等. 梵净山国家级自然保护区蝴蝶物种多样性调查 [J]. 山地农业生物学报, 2022, 41 (6): 6-13]
- Wang GH, Song HT, Huang WL, *et al.* Preliminary report on camera trapping survey for mammals and birds in the Jiuwanshan National

- Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2022, 43 (4): 999-1008. [汪国海, 宋海婷, 黄婉玲, 等. 九万山国家级自然保护区鸟兽多样性红外相机监测初报 [J]. 野生动物学报, 2022, 43 (4): 999-1008]
- Wang M, Tang DM. Butterflies of Guangxi Maoershan National Nature Reserve [M]. Nanning: Guangxi Minorities Press, 2012. [王敏, 唐东明. 广西猫儿山国家级自然保护区蝴蝶 [M]. 南宁: 广西民族出版社, 2012]
- Wang Q, Guo ZX, Li JB, *et al.* Population dynamics and diversity of butterflies in Ailaoshan and Wuliangshan national nature reserves, Yunnan Province [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28: 921-930. [王群, 郭志祥, 李进斌, 等. 云南哀牢山、无量山国家级自然保护区蝴蝶种群动态及多样性 [J]. 生物多样性, 2020, 28: 921-930]
- Wang SB, He CL, Fang QB, *et al.* Diversity and fauna analysis of butterflies in the southern Taihang Mountains of Henan [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (3): 573-585. [王帅兵, 贺春玲, 方全博, 等. 河南南太行山区蝴蝶群落多样性与区系分析 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (3): 573-585]
- Warren MS, Maes D, van Swaay CAM, *et al.* The decline of butterflies in Europe: Problems, significance, and possible solutions [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, 118 (2): e2002551117.
- Wei LY, Qin WG. Plant resources of Jiuwan Mountain Nature Reserve [J]. *Forestry Construction*, 2007, 3: 65-68. [韦凌云, 覃文更. 九万山自然保护区植物资源 [J]. 林业建设, 2007, 3: 65-68]
- Wu CS, Xu YF. Butterflies of China [M]. Fuzhou: The Straits Publishing & Distribution Group, 2017. [武春生, 徐培峰. 中国蝴蝶图鉴 [M]. 福州: 海峡出版发行集团, 2017]
- Wu HP, Li J, Lu W, *et al.* Species diversity and faunal analysis of butterflies in Guangxi of China (I) [J]. *Guangxi Plant Protection*, 2019, 32 (1): 1-5. [吴海盼, 李俊, 陆温, 等. 广西蝴蝶种类多样性及其区系分析(一) [J]. 广西植保, 2019, 32 (1): 1-5]
- Wu RX, Yu TL, Feng CZ, *et al.* Diversity of migratory birds in Jiuwan Mountain, Guangxi, China [J]. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2020, 38 (1): 140-148. [吴冉昕, 庾太林, 冯昌章, 等. 广西九万山迁徙鸟类多样性 [J]. 广西师范大学学报 (自然科学版), 2020, 38 (1): 140-148]
- Wu SN, Yan ZG, Jiang GF. A survey of butterflies in Dayao Mountain, Guangxi [J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 1998, 14 (4): 1-4. [吴四暖, 颜增光, 蒋国芳. 广西大瑶山蝶类调查 [J]. 广西科学院学报, 1998, 14 (4): 1-4]
- Xiao SJ, Zhou SY. Study on the butterfly diversity in Guposhan National Forest Park of Guangxi [J]. *Guangxi Plant Protection*, 2009, 22 (4): 1-3. [肖素娟, 周善义. 广西姑婆山国家森林公园蝴蝶物种多样性初步研究 [J]. 广西植保, 2009, 22 (4): 1-3]
- Xu SC, Wang L, Shen XJ, *et al.* Butterfly diversity of different types of habitats in Ziwuling National Nature Reserve of Shaanxi Province [J]. *Forest Resources Management*, 2016, 10 (5): 104-106, 143. [徐世才, 王莉, 沈雪健, 等. 陕西子午岭国家级自然保护区不同生境蝶类昆虫多样性 [J]. 林业资源管理, 2016, 10 (5): 104-106, 143]
- Xu ZF, Zhong W, Zhang DK, *et al.* Diversity of butterfly community in Jimusar County, Xinjiang [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28 (8): 993-1002. [徐志峰, 钟问, 张东康, 等. 新疆吉木萨尔县蝴蝶群落多样性 [J]. 生物多样性, 2020, 28 (8): 993-1002]
- Xue GX, Tan WN, Wang X. Preliminary investigation of butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) in Mulun National Nature Reserve of Guangxi [J]. *Guangxi Forestry Science*, 2019, 48 (1): 111-115. [薛国喜, 谭卫宁, 王香. 广西木论国家级自然保护区蝶类调查初报 [J]. 广西林业科学, 2019, 48 (1): 111-115]
- Zha YP, Luo QG, Wang GX, *et al.* Community diversity of butterfly in Houhe National Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (2): 265-268. [查玉平, 骆启桂, 王国秀, 等. 后河国家级自然保护区蝴蝶群落多样性研究 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (2): 265-268]
- Zhang YC, Wang GJ. Dynamic changes of vegetation cover based on MODIS/NDVI in Jiuwan Mountain of Guangxi [J]. *Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2015, 28 (3): 368-371. [张艺成, 王光军. 基于 MODIS/NDVI 时序数列的广西九万山植被覆盖动态变化 [J]. 信阳师范学院学报 (自然科学版), 2015, 28 (3): 368-371]
- Zhou X, Tan YH, Wu SR, *et al.* Study of communities of aquatic insects in rice fields in Hainan Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (5): 1252-1259. [周霞, 谭燕华, 伍苏然, 等. 海南稻田水生昆虫生物多样性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (5): 1252-1259]
- Zhou Y. Butterfly Species in China [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2000. [周尧. 中国蝶类志 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000]
- Zuo ZT, Yuan XZ, Liu H, *et al.* Butterfly diversity in different types of habitat in Chongqing urban area [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27: 946-950. [左自途, 袁兴中, 刘红, 等. 重庆市主城区不同生境类型的蝴蝶多样性 [J]. 生态学杂志, 2008, 27: 946-950]