

引用格式: 金凯伦, 郭瑞, 王义平. 浙江清凉峰国家级自然保护区蝴蝶多样性[J]. 浙江农林大学学报, 2026, 43(X): 1–10. JIN Kailun, GUO Rui, WANG Yiping. Butterfly diversity in Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2026, 43(X): 1–10.

浙江清凉峰国家级自然保护区蝴蝶多样性

金凯伦¹, 郭瑞², 王义平¹

(1. 浙江农林大学 林学院 (生命科学学院), 浙江 杭州 311300; 2. 浙江清凉峰国家级自然保护区管理局, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】浙江清凉峰国家级自然保护区是黄山—怀玉山生物多样性保护优先区域的重要组成部分。明确该保护区蝴蝶多样性现状对生物多样性保护与管理具有重要意义。【方法】2025 年 3—10 月, 采用样线法对清凉峰国家级自然保护区内外共 19 条样线进行观测, 样线覆盖常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林、竹林和山顶矮林共 5 种生境类型, 分析蝴蝶物种组成、 α 多样性和 β 多样性的时空变化规律。【结果】调查共记录蝴蝶 5 科 88 属 175 种 3 002 头, 发现浙江省新记录蝴蝶 4 种, 分别为穆坪黛眼蝶 *Lethe moupinensis*、僧袈眉眼蝶 *Mycalesis sangaica*、斜线华灰蝶 *Wagimo asanoi*、素雅灰蝶 *Jamides cleodus*。蛱蝶科 Nymphalidae 和粉蝶科 Pieridae 为极优势类群, 菜粉蝶 *Pieris rapae* 与东方菜粉蝶 *P. canidia* 为优势种。 α 多样性分析表明: 6 月多样性指数最高 (3.646), 10 月均匀度指数最高 (0.898); 针阔混交林多样性指数最高 (3.983), 山顶矮林均匀度指数最高 (0.843); 龙塘山片区多样性指数最高 (4.060), 保护区外样线各项指数值低于保护区内样线。 β 多样性分析显示: 8 月与 9 月相似性最高 (0.659), 4 月与 8 月最低 (0.185); 针阔混交林与常绿落叶阔叶混交林的相似性最高 (0.484), 山顶矮林与常绿落叶阔叶混交林的相似性最低 (0.300); 龙塘山与千顷塘相似性最高 (0.509)。【结论】浙江清凉峰国家级自然保护区蝴蝶多样性丰富, 共记录 5 科 88 属 175 种, 其中浙江省新记录 4 种, 清凉峰自然保护区新记录 42 种。保护区内各项多样性指标均高于保护区外, 针阔混交林是蝴蝶多样性维护的核心生境。表 9 参 31

关键词: 蝴蝶多样性; 生境; 月份动态; 浙江清凉峰国家级自然保护区

中图分类号: Q968.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2026)00-0001-10

Butterfly diversity in Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve

JIN Kailun¹, GUO Rui², WANG Yiping¹

(1. College of Forestry (College of Life Sciences), Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China;
2. Administration Bureau of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] The aim is to clarify the current status of butterfly diversity in Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, a vital component of the Huangshan–Huaiyushan Biodiversity Conservation Priority Area, which is of great significance for biodiversity conservation and management. [Method] From March to October 2025, a total of 19 transects were observed inside and outside the reserve using the line transect method. The transects covered 5 habitat types: evergreen broad-leaved forest, evergreen deciduous broad-leaved mixed forest, coniferous broad-leaved mixed forest, bamboo forest, and montane elfin forest. The spatiotemporal variation patterns of butterfly species composition, α -diversity and β -diversity were analyzed. [Result] A total of 3 002 individuals belonging to 175 species, 88 genera, and 5 families were recorded, including 4 new species recorded for Zhejiang Province: *Lethe moupinensis*, *Mycalesis sangaica*, *Wagimo asanoi*, and *Jamides cleodus*. The Nymphalidae and Pieridae were the dominant families, and the *Pieris rapae*

收稿日期: 2026-05-28; 修回日期: 2026-09-07

基金项目: 浙江清凉峰国家级自然保护区管理局资助项目 (930 号)

作者简介: 金凯伦 (ORCID: 0009-0008-2323-7664), 从事森林保护研究。E-mail: 872809552@qq.com。通信作者: 王义平 (ORCID: 0000-0003-2027-9398), 教授, 博士, 从事森林保护研究。E-mail: wyp@zafu.edu.cn

and *P. canidia* were the dominant species. The α -diversity analysis showed that the diversity index was the highest in June (3.646), while the evenness index was the highest in October (0.898). The coniferous broad-leaved mixed forest had the highest diversity index (3.983), whereas the montane elfin forest exhibited the highest evenness index (0.843). Longtang Mountain area had the highest diversity index (4.060), and the values of all diversity indices for transects outside the reserve were lower than those within the reserve. The β -diversity analysis revealed that the highest similarity occurred between August and September (0.659) and the lowest between April and August (0.185). The similarity was the highest between coniferous broad-leaved mixed forest and evergreen deciduous broad-leaved mixed forest (0.484), and the lowest between montane elfin forest and evergreen deciduous broad-leaved mixed forest (0.300). Among spatial units, the highest similarity was found between Longtang Mountain and Qianqingtang (0.509). [Conclusion] Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve harbors rich butterfly diversity, with a total of 175 species belonging to 88 genera in 5 families recorded, including 4 species new to Zhejiang Province, and 42 species new to this reserve. All diversity indices inside the reserve are higher than those outside the reserve, and the coniferous broad-leaved mixed forest is the core habitat for maintaining butterfly diversity. [Ch, 9 tab. 31 ref.]

Key words: butterfly diversity; habitat; monthly dynamics; Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve

蝴蝶隶属于节肢动物门 Arthropoda 昆虫纲 Insecta 鳞翅目 Lepidoptera^[1]。全球已记录蝶类约 2 万种, 中国记录 12 科 33 亚科 434 属 2 513 种^[2], 浙江记录蝴蝶 12 科 181 属 405 种^[3]。蝴蝶对栖息地质量、气候变化、人为干扰等因素极为敏感, 其种群数量和地理分布能有效反映生境质量和生态系统的健康状况^[4], 可作为生物多样性丧失的早期预警类群^[4]。因此, 对蝴蝶群落的物种组成和多样性进行系统调查与长期监测, 可以为评估区域生态环境质量和制定保护策略提供科学依据^[5]。

浙江清凉峰国家级自然保护区(以下简称“清凉峰自然保护区”)地处杭州市临安区西北部, 是黄山—怀玉山生物多样性保护优先区域的重要组成部分^[6]。该保护区由三大片区组成, 主峰清凉峰最高海拔为 1 787.4 m, 总面积为 112.52 km²。其中, 龙塘山片区面积为 44.82 km², 低海拔以常绿阔叶林为主, 中海拔为常绿落叶阔叶混交林, 高海拔以黄山松 *Pinus taiwanensis* 为主的针阔混交林和山顶矮林(如黄山杜鹃矮林 *Rhododendron huangshanicum*) 占主导; 千顷塘片区面积为 56.90 km², 海拔为 600~1 400 m, 地势相对开阔, 除了针阔混交林和阔叶林外, 还分布有灌丛和草甸; 顺溪坞片区, 面积为 10.80 km², 以天然阔叶混交林为主, 植被原生性强, 保留了诸多珍稀、特有的植物种类。2008 年, 许丽娟等^[7]首次对该保护区的蝴蝶进行了调查; 2015 年, 郭瑞等^[8]对该保护区内昆虫的物种组成、群落相似性和多样性等进行了分析。上述调查距今已超过 15 a, 且以调查物种名录的为主, 关于保护区蝴蝶群落组成、多样性的动态变化迄今未见报道。

为进一步了解清凉峰自然保护区蝴蝶多样性组成及其与环境的关系, 于 2025 年 3—10 月在清凉峰自然保护区区内及区外共设置 19 条样线, 并进行调查, 分析蝴蝶群落不同月份、生境类型及保护区内外的变化规律, 以期为该保护区蝴蝶资源的保护与利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查样区及样线

本研究共布设 19 条标准监测样线, 长度均为 2 km(表 1)。由表 1 可见: 有 14 条位于保护区内, 分别设在龙塘山(L1~L5)、千顷塘(Q1~Q7)和顺溪坞(S1、S2)。另外 5 条布设在保护区外围, 作为对照样线(W1~W5)。所选样线覆盖了常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林、竹林和山顶矮林 5 种生境。

1.2 研究方法

调查于 2025 年 3—10 月开展。参照全国蝴蝶多样性观测网络标准^[5], 选择气温高于 13.0 ℃, 风速小于 40 km·h⁻¹ 的晴朗天气, 调查时间为 9:00—17:00。每条样线每月调查 1 次, 共调查 8 次。调查人员

表 1 清凉峰自然保护区蝴蝶调查样线概况

Table 1 Overview of butterfly survey transects in Qingliangfeng Nature Reserve

片区	样线代号及名称	起点		终点		海拔/m	生境类型
		北纬(°N)	东经(°E)	北纬(°N)	东经(°E)		
龙塘山	L2 清凉峰顶	30.103 623 15	118.890 450 90	30.098 607 84	118.867 213 19	937~1 481	针阔混交林
龙塘山	L1 百步岭	30.108 404 24	118.907 565 02	30.103 743 40	118.890 606 26	950~972	针阔混交林
龙塘山	L5 十门峡	30.149 101 06	118.874 746 07	30.136 000 77	118.872 289 44	635~815	常绿落叶阔叶混交林
龙塘山	L4 谢家村庄	30.136 100 45	118.943 641 03	30.123 486 44	118.938 641 15	321~427	常绿落叶阔叶混交林
龙塘山	L3 长滩里	30.065 208 69	118.924 499 30	30.069 646 09	118.928 028 26	323~340	常绿落叶阔叶混交林
千顷塘	Q7 癞痢尖	30.301 405 85	119.125 460 89	30.304 526 02	119.136 776 89	1 254~1 313	山顶矮林
千顷塘	Q1 浙西天池	30.294955 32	119.120 875 64	30.298 068 47	119.122 008 22	1 105~1 118	山顶矮林
千顷塘	Q2 大源塘	30.265 362 92	119.144 222 88	30.270 872 76	119.140 332 25	1 052~1 076	针阔混交林
千顷塘	Q6 道场坪	30.299 100 85	119.215 816 29	30.299 156 29	119.206 003 57	907~1 105	山顶矮林
千顷塘	Q4 桃花仙境	30.305 391 98	119.075 889 20	30.314 009 74	119.072 280 22	785~868	针阔混交林
千顷塘	Q5 西坞源头	30.266 868 56	119.197 799 50	30.275 992 83	119.199 122 13	693~721	竹林
千顷塘	Q3 牛栏坪	30.264 402 57	119.175 450 70	30.275 488 52	119.165 152 92	612~744	针阔混交林
顺溪坞	S2 直源	30.041 986 93	118.942 046 45	30.030 203 49	118.936 002 13	450~546	针阔混交林
顺溪坞	S1 横源	30.041 844 09	118.942 713 83	30.039 011 25	118.948 217 95	463~535	常绿阔叶林
保护区外	W3 干坑	30.293 219 79	119.120 061 73	30.289 123 55	119.117 512 14	901~960	针阔混交林
保护区外	W2 良源	30.228 169 28	119.169 234 93	30.258 091 22	119.154 189 58	447~512	常绿阔叶林
保护区外	W1 金竹坞	30.060 127 37	118.940 828 11	30.062 183 09	118.949 020 90	351~365	常绿落叶阔叶混交林
保护区外	W5 都林山桥头	30.066 864 56	118.919 169 67	30.071 771 90	118.914 479 06	321~335	常绿落叶阔叶混交林
保护区外	W4 打鼓潭	30.087 238 24	118.944 379 92	30.092 767 55	118.940 783 63	300~334	竹林

以 $1.0\sim 1.5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度沿样线匀速行进,记录样线 2 侧各 2.5 m、前方 5.0 m 及上方 5.0 m 范围内所有蝴蝶的种类与数量。对于难以辨别的蝴蝶进行网捕并制作标本,依据《中国蝴蝶图鉴》^[2]《中国蝶类志》^[9]和《浙江昆虫志》^[3]等进行形态学鉴定。无法鉴定到种的个体,记录属级或科级分类单元。

1.3 数据分析

本研究将物种相对多度^[10](A_R)划分为 4 个等级:极优势物种($A_R\geq 30\%$),优势物种($10\%\leq A_R<30\%$)、常见物种($1\%\leq A_R<10\%$)与稀有物种($A_R<1\%$)。

采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[11]、Pielou 均匀度指数(J)^[12]、Margalef 物种丰富度指数(R)^[13]和 Simpson 优势度指数(D)^[14]分析不同月份、生境、海拔和保护区内外的 α 多样性。

所有指数在 Past 4.17c 中计算。由于数据不满足参数检验假设,采用非参数 Kruskal-Wallis 检验,当存在显著差异($P<0.05$)时使用 Dunn 检验进行事后两两比较。上述检验均在 R 4.5.1 中执行。

采用 Jaccard 相似性指数(I)分析不同月份、生境、海拔和保护区内外的蝴蝶群落组成相似性^[15]。将 Jaccard 指数划分为 4 个等级:当 $0\leq I<0.25$ 时,表示蝴蝶群落极不相似;当 $0.25\leq I<0.50$ 时,表示中等不相似;当 $0.50\leq I<0.75$ 时,表示中等相似;当 $0.75\leq I<1.00$ 时,表示极相似。在此基础上,运用置换多元方差分析(PERMANOVA),检验月份、生境因素对群落结构的影响是否显著。

2 结果与分析

2.1 蝴蝶物种组成与优势类群

本次调查共记录蝴蝶 3 002 头,隶属于 5 科 88 属 175 种,其中包含浙江省新纪录 4 种,分别为穆坪黛眼蝶 *Lethe moupinensis*、僧袈眉眼蝶 *Mycalesis sangaica*、斜线华灰蝶 *Wagimo asanoi*、素雅灰蝶 *Jamides cleodius*;清凉峰新纪录 42 种(不包括 4 种浙江新纪录,表 2)。

如表 3 所示:蛱蝶科属数和种数最多,其次为弄蝶科、灰蝶科、凤蝶科,粉蝶科最少。从个体数看,粉蝶科和蛱蝶科的个体数分别占个体总数的 31.88% 和 30.41%,为极优势类群;灰蝶科和凤蝶科为

表 2 清凉峰自然保护区新记录蝶类

Table 2 Newly recorded butterfly species in Qingliangfeng Nature Reserve				
序号	科名	属名	种名	记录方式
1	凤蝶科Papilionidae	凤蝶属Papilio	美姝凤蝶Papilio macilentus	生态照+标本
2		剑凤蝶属Pazala	四川剑凤蝶Pazala sichuanica	标本
3		青凤蝶属Graphium	黎氏青凤蝶Graphium leechi	生态照+标本
4		麝凤蝶属Byasa	中华麝凤蝶Byasa confusus	生态照
5	粉蝶科Pieridae	粉蝶属Pieris	华东黑纹粉蝶Pieris erutae	标本
6		黄粉蝶属Eurema	北黄粉蝶Eurema mandarinus	生态照+标本
7	蛱蝶科Nymphalidae	白眼蝶属Melanargia	黑纱白眼蝶Melanargia lugens	生态照+标本
8		翠蛱蝶属Euthalia	华东翠蛱蝶Euthalia rickettsi	生态照+标本
9		翠蛱蝶属Euthalia	明带翠蛱蝶E. yasuyukii	生态照+标本
10		翠蛱蝶属Euthalia	珀翠蛱蝶E. pratti	生态照+标本
11		带蛱蝶属Athyma	六点带蛱蝶Athyma punctata	生态照+标本
12		带蛱蝶属Athyma	珠履带蛱蝶A. asura	生态照+标本
13		黛眼蝶属Lethe	深山黛眼蝶Lethe hyrania	生态照+标本
14		黛眼蝶属Lethe	圆翅黛眼蝶L. butleri	生态照+标本
15		黛眼蝶属Lethe	直带黛眼蝶L. lanaris	生态照
16		黛眼蝶属Lethe	紫线黛眼蝶L. violaceopicta	生态照+标本
17		环蛱蝶属Neptis	玛环蛱蝶Neptis manasa	生态照+标本
18		环蛱蝶属Neptis	弥环蛱蝶N. miah	生态照
19		环蛱蝶属Neptis	娑环蛱蝶N. soma	标本
20		环蛱蝶属Neptis	耶环蛱蝶N. yerburii	生态照
21		矍眼蝶属Ypthima	阿矍眼蝶Ypthima argus	生态照+标本
22		矍眼蝶属Ypthima	密纹矍眼蝶Y. multistriata	生态照+标本
23		矍眼蝶属Ypthima	前雾矍眼蝶Y. praenubila	生态照+标本
24		线蛱蝶属Limenitis	断眉线蛱蝶Limenitis doerriesi	生态照+标本
25		荫眼蝶属Neope	黄荫眼蝶Neope contrasta	标本
26	灰蝶科Lycaenidae	锯灰蝶属Orthomiella	中华锯灰蝶Orthomiella sinensis	生态照+标本
27		金灰蝶属Chrysozephyrus	闪光金灰蝶Chrysozephyrus scintillans	生态照
28		冷灰蝶属Ravenna	冷灰蝶Ravenna nivea	生态照+标本
29		璐灰蝶属Leucantigius	璐灰蝶Leucantigius atayalicus	生态照
30		绿灰蝶属Artipe	绿灰蝶Artipe eryx	生态照+标本
31		玛灰蝶属Mahathala	玛灰蝶Mahathala ameria	生态照+标本
32		娆灰蝶属Arhopala	百娆灰蝶Arhopala bazaloides	生态照+标本
33		妩灰蝶属Udara	珍贵妩灰蝶Udara dilecta	生态照+标本
34		燕灰蝶属Rapala	霓纱燕灰蝶Rapala nissa	生态照+标本
35		银线灰蝶属Spindasis	豆粒银线灰蝶Spindasis syama	生态照+标本
36	弄蝶科Hesperiidae	钊弄蝶属Aeromachus	小钊弄蝶Aeromachus stigmata	生态照
37		孔弄蝶属Polytremis	黄纹孔弄蝶Polytremis lubricans	生态照+标本
38		拟钊弄蝶属Pseudoborbo	拟钊弄蝶Pseudoborbo bevani	生态照+标本
39		陀弄蝶属Thoressa	黄毛陀弄蝶Thoressa kuata	生态照
40		钊弄蝶属Borbo	钊弄蝶Borbo cinnara	生态照+标本
41		须弄蝶属Scobura	显脉须弄蝶Scobura cephaloides	生态照
42		腌翅弄蝶属Astictopterus	腌翅弄蝶Astictopterus jama	生态照+标本

优势类群；弄蝶科为常见类群。从不同种的个体数看，菜粉蝶 *Pieris rapae* 与东方菜粉蝶 *P. canidia* 为本次调查确定的保护区优势种。

表 3 清凉峰自然保护区蝴蝶群落组成

Table 3 Butterfly community composition in Qingliangfeng Nature Reserve										
科名	属		种		个体数		物种丰富度(R)	多样性指数(H')	均匀度指数(J)	优势度指数(D)
	属数/属	百分比/%	种数/种	百分比/%	数量/头	百分比/%				
蛱蝶科	29	32.95	79	45.14	913	30.41	11.440	3.746	0.857	0.096
弄蝶科	25	28.41	38	21.71	226	7.53	6.826	3.184	0.875	0.137
灰蝶科	24	27.27	30	17.14	525	17.49	4.630	2.467	0.725	0.231
凤蝶科	6	6.82	18	10.29	381	12.69	2.861	2.115	0.732	0.326
粉蝶科	4	4.55	10	5.71	957	31.88	1.311	1.295	0.563	0.489

2.2 不同月份的蝴蝶多样性与群落相似性

2.2.1 不同月份的蝴蝶多样性分析 如表 4 所示：6 月的物种数、多样性指数和物种丰富度最高，3 月的优势度指数最高，10 月的均匀度指数最高。

2.2.2 不同月份的蝴蝶群落相似性分析 如表 5 所示：8 月与 9 月的相似性最高，3 月与 4 月次之，4 月与 8 月的相似性最低。从共有物种数看，8 月与 9 月共享物种最多。整体上，相邻月份间的蝴蝶群落相似性较高，间隔较远的月份差异明显。

总体而言，蝴蝶群落的多样性指数和物种丰富度指数随月份呈现先升后降的单峰变化趋势，峰值出现在 6 月，均匀度指数则在 10 月最高，表明秋季群落结构更为均衡。

2.3 不同生境的蝴蝶多样性与群落相似性

2.3.1 不同生境的蝴蝶多样性分析 如表 6 所示：针阔混交林的物种数、个体数、多样性指数和物种丰富度最高，优势度指数最低；山顶矮林的均匀度指数最高，多样性指数和物种丰富度指数最低；竹林的优势度指数最高，均匀度指数最低。

2.3.2 不同生境的蝴蝶群落相似性分析 如表 7 所示：不同生境间的相似性系数均小于 0.500，说明群落组成存在差异，相似性不高。针阔混交林与常绿落叶阔叶混交林的 Jaccard 相似性系数最高，山顶矮林与常绿落叶阔叶混交林的相似性最低。从共有物种数看，针阔混交林与常绿落叶阔叶混交林共享物种最多。

不同生境间，多样性指数与植被结构复杂度呈正相关趋势——结构越复杂的生境(针阔混交林、常绿落叶阔叶混交林)多样性越高，结构越简单的生境(竹林、山顶矮林)多样性越低，与物种丰富度指数的变化趋势一致。

2.4 保护区内外的蝴蝶多样性与群落相似性

2.4.1 保护区内外的蝴蝶多样性分析 如表 8 所示：龙塘山的物种数、多样性指数和物种丰富度最高；千顷塘的个体数最多；顺溪坞的均匀度指数最高，优势度指数最低；保护区外样线的优势度指数最高，其余各项指标最低。

2.4.2 保护区内外的蝴蝶群落相似性分析 如表 9 所示：龙塘山与千顷塘的群落相似性系数最高，为中等相似，2 个片区共有蝴蝶 81 种；龙塘山与保护区外的相似性系数最低。保护区内 3 个片区之间的相似

表 4 清凉峰自然保护区不同月份蝴蝶物种多样性数值

Table 4 Monthly butterfly species diversity values in Qingliangfeng Nature Reserve						
月份	物种数/种	个体数/头	物种丰富度(R)	多样性指数(H')	均匀度指数(J)	优势度指数(D)
3	28	145	5.425	2.838	0.852	0.081
4	30	249	5.256	3.028	0.890	0.062
5	58	388	9.562	3.385	0.834	0.060
6	85	481	13.601	3.646	0.821	0.052
7	78	425	12.723	3.434	0.788	0.075
8	79	471	12.673	3.418	0.782	0.075
9	62	498	9.822	3.317	0.804	0.065
10	57	345	9.583	3.629	0.898	0.036

表 5 清凉峰自然保护区不同月份蝴蝶群落相似性系数及共有种数

Table 5 Monthly Jaccard similarity coefficients and shared species numbers of butterfly communities in Qingliangfeng Nature Reserve								
月份	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
3月		0.657	0.323	0.215	0.191	0.189	0.216	0.288
4月	23		0.294	0.186	0.213	0.185	0.227	0.299
5月	21	20		0.324	0.320	0.330	0.348	0.337
6月	20	18	35		0.347	0.367	0.387	0.315
7月	17	19	33	42		0.377	0.373	0.274
8月	17	17	34	44	43		0.659	0.320
9月	16	17	31	41	38	56		0.384
10月	19	20	29	34	29	33	33	

说明：对角线上方为相似性系数，对角线下方为共有种数(种)。

表 6 清凉峰自然保护区不同生境蝴蝶物种多样性数值

Table 6 Diversity indices of butterflies in different habitats in Qingliangfeng Nature Reserve						
生境	物种数/种	个体数/头	物种丰富度(<i>R</i>)	多样性指数(<i>H'</i>)	均匀度指数(<i>J</i>)	优势度指数(<i>D</i>)
针阔混交林	130	1 207	18.180	3.983	0.818	0.039
常绿落叶阔叶混交林	109	833	16.059	3.730	0.795	0.052
常绿阔叶林	67	366	11.182	3.499	0.832	0.057
竹林	64	327	10.881	3.270	0.786	0.081
山顶矮林	47	269	8.222	3.244	0.843	0.070

性系数较高，而保护区外与各片区的相似性系数相对较低。

保护区内 3 个片区的多样性指数和均匀度指数均高于保护区外，优势度指数低于保护区外，表明保护区内物种分布更为均匀、群落结构更为稳定，保护区的设立对蝴蝶多样性具有显著的维持作用。

2.5 环境因子的统计检验

为系统评估月份、生境和保护强度对蝴蝶群落的影响，本研究分别采用 Kruskal-Wallis 和置换多元方差分析检验进行统计分析。

在时间上，Kruskal-Wallis 检验显示：不同月份的个体数存在显著差异 ($\chi^2=20.125$, $d_f=7$, $P=0.005$)；Dunn 事后检验表明：4 月的个体数显著高于 6 月 ($P=0.014$)、7 月 ($P=0.009$) 和 8 月 ($P=0.014$)。其余 α 多样性指数在月份间均无显著差异 ($P>0.05$)。置换多元方差分析检验进一步表明：月份变化对蝴蝶群落结构存在极显著影响 ($P<0.001$)。

在生境类型上，Kruskal-Wallis 检验显示：5 种生境类型的各项 α 多样性指数间均无显著差异 ($P>0.05$)。置换多元方差分析检验结果显示：生境类型对蝴蝶群落结构的影响不显著 ($P>0.05$)。

在保护片区上，Kruskal-Wallis 检验显示：不同片区间的物种数 ($\chi^2=8.030$, $d_f=3$, $P=0.045$)、Shannon-Wiener 多样性指数 ($\chi^2=8.511$, $d_f=3$, $P=0.037$) 和 Simpson 优势度指数 ($\chi^2=9.088$, $d_f=3$, $P=0.028$) 存在显著差异；Dunn 事后检验表明：保护区外与顺溪坞在物种数上差异显著 ($P=0.045$)，顺溪坞的物种数显著高于保护区外。其余 α 多样性指数在片区间的差异未达到显著水平 ($P>0.05$)。置换多元方差分析检验结果显示：不同片区对蝴蝶群落结构的影响未达到显著水平 ($P=0.051$)。

综合上述结果，月份是影响清凉峰自然保护区蝴蝶群落结构的主要因素，其效应强于生境类型和不同保护片区的影响。这一结果表明，蝴蝶群落的季节动态对清凉峰自然保护区蝴蝶群落结构的塑造作用比空间异质性更为突出。

表 7 清凉峰自然保护区不同生境蝴蝶相似性系数及共有种数

Table 7 Jaccard similarity coefficients and shared species numbers of butterfly communities in different habitats in Qingliangfeng Nature Reserve					
生境	常绿阔叶林	常绿落叶阔叶混交林	山顶矮林	针阔混交林	竹林
常绿阔叶林		0.386	0.326	0.397	0.394
常绿落叶阔叶混交林	49		0.300	0.484	0.373
山顶矮林	28	36		0.321	0.306
针阔混交林	56	78	43		0.376
竹林	37	47	26	53	

说明：对角线上方为相似性系数，对角线下方为共有种数(种)。

表 8 清凉峰自然保护区内外蝴蝶物种多样性数值

Table 8 Diversity indices of butterfly communities inside and outside Qingliangfeng Nature Reserve						
样区	物种数/种	个体数/头	物种丰富度(<i>R</i>)	多样性指数(<i>H'</i>)	均匀度指数(<i>J</i>)	优势度指数(<i>D</i>)
龙塘山	125	760	18.690	4.060	0.841	0.039
千顷塘	115	1 060	16.370	3.873	0.816	0.046
顺溪坞	94	666	14.300	3.924	0.864	0.034
保护区外	61	516	9.606	2.997	0.729	0.123

表 9 清凉峰自然保护区不同区域蝴蝶相似性系数及共有种数

Table 9 Jaccard similarity coefficients and shared species numbers of butterfly communities among different areas in Qingliangfeng Nature Reserve				
样区	龙塘山	千顷塘	顺溪坞	保护区外
龙塘山		0.509	0.480	0.398
千顷塘	81		0.462	0.455
顺溪坞	71	66		0.462
保护区外	53	55	49	

说明：对角线上方为相似性系数，对角线下方为共有种数(种)。

3 讨论

3.1 清凉峰自然保护区蝴蝶群落组成

本研究在清凉峰国家级自然保护区共调查到蝴蝶 5 科 88 属 175 种 3 002 头, 浙江省新纪录 4 种。调查发现, 蛱蝶科的属数和种数最多, 个体数稍低于粉蝶科, 而粉蝶科的属数和种数最少, 这与其他学者的研究结果相似^[16]。可能是因为蛱蝶科是全球种类最多的类群^[17], 其寄主植物种类繁多^[18], 飞行能力强^[19]; 而粉蝶科的部分物种, 如菜粉蝶, 繁殖能力极强^[20], 具备较强的扩散和迁徙能力^[21], 且保护区部分样线有较多的十字花科 Brassicaceae、蔷薇科 Rosaceae 等粉蝶科寄主植物, 为这一类群提供了合适的生境。灰蝶科的物种数、个体数均列第 3 位。灰蝶科物种体型较小, 体色暗淡且飞行迅速^[9], 其成虫活动范围小, 多栖息于特定的林缘、灌丛等微生境, 不易观测。凤蝶科物种数和个体数均位列第 4 位, 是因为多数凤蝶科种类食性较专一, 通常只取食特定科 (如芸香科 Rutaceae、马兜铃科 Aristolochiaceae) 的植物, 这限制了它们的分布范围^[22], 且凤蝶科飞行能力强, 不易观测和捕捉。弄蝶科的物种数虽列第 2 位, 但远低于蛱蝶科, 个体数最低, 也是因为其体型小和飞行迅捷, 偏好开阔草地、林下灌丛等生境^[1]。与许丽娟等^[7]2008 年的初步调查相比, 本研究在调查方法和数据深度上均有所拓展——前者以物种名录记述为主, 本研究则采用固定样线法开展了连续 8 个月的动态监测。与郭瑞等^[8]2015 年对清凉峰鳞翅目昆虫的调查相比, 本研究聚焦于蝴蝶类群, 不仅明确了保护区蝴蝶群落的优势科 (蛱蝶科和粉蝶科) 和优势种 (菜粉蝶、东方菜粉蝶), 还首次揭示了蝴蝶多样性随时间的动态变化规律和空间 (生境) 分布规律。

3.2 不同月份与蝴蝶群落多样性关系

气温是影响蝴蝶多样性季节变化的关键因素^[23-24]。春季气温回升但昼夜温差大, 寄主和蜜源植物刚发芽展叶, 资源相对匮乏, 蝴蝶活动受到限制^[25]。因此, 3 月仅少数粉蝶占据主导, 优势度较高; 随着气温进一步回升, 4 月更多蝶种进入成虫期, 各物种个体数量分布趋于均衡, 均匀度增加。由于 3 月与 4 月同属春季, 许多越冬蝴蝶的成虫活动期可延续至 4 月, 故这 2 个月群落相似性较高^[26]。至 5 月, 越冬个体大量羽化, 物种丰富度明显增加。夏季气温升高, 多种蝴蝶集中羽化进入种群数量高峰期, 6 月丰富度和多样性达全年最高。7—8 月气温过高, 部分蝴蝶进入夏滞育或隐匿于凉爽微生境躲避高温, 多样性和丰富度下降, 而少数耐热物种逐渐占据主导, 优势度上升。研究表明: 适宜的温湿度条件 (气温 24.0~30.0 ℃, 相对湿度 70%~85%) 最利于蝴蝶生存和活动, 有助于维持群落结构的稳定^[16]。由于春季与夏季的寄主植物和蝴蝶组成发生明显更替, 4 月与 8 月的群落相似性在所有月份对中最低。进入秋季后, 夏季优势种数量下降, 但其他种类仍维持稳定, 群落结构趋于均衡^[23]。9 月气温仍然较高, 多样性和丰富度低于夏季, 但均匀度增加。10 月气温适中、降水减少, 高温胁迫消失, 各物种个体数量分布均匀, 优势度降至最低。8 月与 9 月为夏秋过渡期, 气候条件相对稳定, 因此群落相似性最高; 而 10 月寄主植物物候变化导致夏季型种群衰退、越冬型种群兴起, 群落结构发生明显改变, 故与各月份的群落相似性均较低^[27]。

3.3 不同生境与蝴蝶群落多样性关系

生境质量与蝴蝶多样性密切相关, 复杂完整的生境通常支持更高的蝴蝶多样性^[28]。本研究中, 针阔混交林的蝴蝶多样性指数和物种丰富度最高, 这是因为该生境植被类型复杂多样, 能提供从林下阴湿环境到林缘开阔地带等多种微生境, 同时作为针叶林和阔叶林的交汇带, 能吸引 2 类生境的蝶类并孕育特有种, 比如深山黛眼蝶、紫线黛眼蝶等多种黛眼蝶属在针阔混交林中较为常见。常绿落叶阔叶混交林各项蝴蝶多样性指数较高, 属数与针阔混交林并列第 1 位。这与该生境结构复杂、受人为干扰程度较低有关。山顶矮林蝴蝶多样性最低但均匀度最高, 该生境环境严酷、植被结构简单, 但包含特有蝶类, 如显脉须弄蝶, 反映了极端条件下特殊的物种共存机制^[29]。竹林蝴蝶优势度最高、均匀度最低, 高郁闭度导致的弱光环境对阳生性蝶类产生过滤效应, 蝴蝶多样性低于阔叶林^[30]。这一结果与邻近的湖南洞庭湖区^[31]和高纬度的秦岭西段^[16]的研究结果相似, 但清凉峰自然保护区与上述两地蝴蝶群落组成存在明显差异, 这与不同区域的气候条件密切相关。洞庭湖区和清凉峰自然保护区地处中亚热带季风气候区, 秦岭西段地处暖温带半湿润气候区。洞庭湖区地处碟形盆地, 以农田和人工林为主, 海拔较低 (9~300 m), 植被群落复杂性较低, 人为干扰强度较大 (农耕活动、农药使用、旅游开发等); 清凉峰自然保护区植被带以亚

热带常绿阔叶林为基带,海拔跨度大(300~1 787 m),植被原生性强,生境异质性较高;秦岭西段地处暖温带半湿润气候区,位于古北界和东洋界的分界线,植被带属于暖温带山地森林类型,落叶阔叶林和针阔混交林为主要生境类型,海拔跨度大(700~1 900 m),植被异质性高。不同地区的蝴蝶群落组成受气候带和植被带的共同驱动,呈现出明显的空间分异格局。

从科级水平看,清凉峰自然保护区、秦岭西段及洞庭湖区均为蛱蝶科物种数最多,菜粉蝶为常见优势种的相似格局。但从属级组成来看,气候带差异导致的蝴蝶组成分化更为明显:秦岭西段中的绢蝶属 *Parnassius* 等古北界属数量较多,说明暖温带半湿润气候更适合北方分布的蝴蝶生存;洞庭湖区属级组成以广布属为主,如粉蝶属、蓝灰蝶属 *Everes* 等;清凉峰自然保护区中翠蛱蝶属、带蛱蝶属、眉眼蝶属 *Mycalesis* 等东洋界属的种类和数量都远高于秦岭西段及洞庭湖区。

3.4 不同保护强度下蝴蝶群落多样性

龙塘山的物种数、多样性指数和丰富度指数最高;千顷塘的个体数最高,顺溪坞的均匀度指数最高。除优势度指数外,保护区内各项指数均高于保护区外,表明保护区具有显著的保护成效。由于生境与植被类型的差异,清凉峰自然保护区3个片区群落之间相似性系数不高。龙塘山为森林生态系统保护区域,海拔跨度大,从山顶到谷底层次分明的阶梯状植被带,蕴藏着极为丰富的动植物资源,占地面积大,所以物种多样丰富;千顷塘拥有高山草甸、竹林和灌木丛等多种植被类型,虽然是3个片区中面积最大的片区,但是植被多样性不如龙塘山片区,蛱蝶科和粉蝶科偏好这种高山湿地开阔向阳的生境,也导致了该地区的优势种数量多,个体数最高;顺溪坞珍稀濒危植物保护区域是众多植物的模式标本产地,这里分布着多种珍稀、濒危植物及特有属种,面积最小,但是物种多样性仅次于龙塘山,且群落分布均匀,多样的寄主植物与蜜源植物为许多蝶类提供了生存条件。

4 结论

本研究调查了清凉峰自然保护区蝴蝶多样性,共记录5科88属175种,其中浙江省新记录4种。与许丽娟等^[7]相比,本研究中的物种组成发生了明显变化,并记录到清凉峰自然保护区新记录42种。与郭瑞等^[8]以昆虫整体为对象的研究相比,本研究聚焦蝴蝶类群,首次系统揭示了清凉峰自然保护区蝴蝶群落的月份动态规律和生境偏好。保护区内各项多样性指标均高于保护区外,表明保护区的设立对蝴蝶多样性具有显著的维持作用。针阔混交林是蝴蝶多样性维护的核心生境。竹林蝴蝶多样性较低。建议后续结合气候与植被因子开展长期动态研究,为生物多样性保护提供科学依据。

5 参考文献

- [1] 朱建青. 中国蝴蝶生活史图鉴[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2018. ZHU Jianqing. *The Life Histories of Chinese Butterflies*[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2018.
- [2] 武春生, 徐培峰. 中国蝴蝶图鉴[M]. 福州: 海峡书局, 2017. WU Chunsheng, XU Yufeng. *Butterflies of China*[M]. Fuzhou: Strait Publishing House, 2017.
- [3] 王敏, 范晓凌. 浙江昆虫志 第13卷 鳞翅目 蝶类[M]. 北京: 科学出版社, 2024. WANG Min, FAN Xiaoling. *Insect Fauna of Zhejiang Volume 13 Lepidoptera Butterflies*[M]. Beijing: Science Press, 2024.
- [4] THOMAS J A, TELFER M G, ROY D B, *et al.* Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis[J]. *Science*, 2004, **303**(5665): 1879–1881. DOI: [10.1126/science.1095046](https://doi.org/10.1126/science.1095046).
- [5] 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**(1): 27–36. MA Fangzhou, XU Haigen, CHEN Mengmeng, *et al.* Progress in construction of China Butterfly Diversity Observation Network (China BON-Butterflies)[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, **34**(1): 27–36. DOI: [10.11934/j.issn.1673-4831.2018.01.004](https://doi.org/10.11934/j.issn.1673-4831.2018.01.004).
- [6] 王伟. 通过扩区统筹保护与发展议题——以天目山-清凉峰世界生物圈保护区为例[J]. *中国科学院院刊*, 2025, **40**(9): 1596–1605. WANG Wei. Integrating protection and development issues through expansion: a case study of Tianmushan-Qingliangfeng World Biosphere Reserve[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2025, **40**(9): 1596–1605. DOI: [10.3724/j.issn.1000-3045.20250421005](https://doi.org/10.3724/j.issn.1000-3045.20250421005).
- [7] 许丽娟, 刘伟, 翁东明. 浙江清凉峰蝶类资源初探[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2008, **32**(增刊): 191–193. XU Lijuan,

- LIU Wei, WENG Dongming. A preliminary study on butterfly resources in Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve[J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2008, **32**(suppl): 191–193.
- [8] 郭瑞, 王义平, 翁东明, 等. 浙江清凉峰昆虫物种组成及其多样性[J]. *环境昆虫学报*, 2015, **37**(1): 30–35. GUO Rui, WANG Yiping, WENG Dongming, *et al.* Composition and diversity of insect in Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, **37**(1): 30–35. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2015.01.5](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2015.01.5).
- [9] 周尧. 中国蝶类志[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994. ZHOU Yao. *Monograph of Chinese Butterflies*[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1994.
- [10] CARUSO T, PIGINO G, BERNINI F, *et al.* The Berger-Parker index as an effective tool for monitoring the biodiversity of disturbed soils: a case study on Mediterranean oribatid (Acari: Oribatida) assemblages[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2007, **16**(12): 3277–3285. DOI: [10.1007/s10531-006-9137-3](https://doi.org/10.1007/s10531-006-9137-3).
- [11] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. *Taxon*, 1972, **21**(2-3): 213–251. DOI: [10.2307/1218190](https://doi.org/10.2307/1218190).
- [12] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, **13**: 131–144. DOI: [10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- [13] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. *General Systems*, 1958, **3**: 36–71.
- [14] GREGORIUS H R, GILLET E M. Generalized Simpson-diversity[J]. *Ecological Modelling*, 2008, **211**(1/2): 90–96. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2007.08.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.08.026).
- [15] 高艳美, 吴鹏飞. 高寒草甸退化对土壤昆虫多样性的影响[J]. *生态学报*, 2016, **36**(8): 2327–2336. GAO Yanmei, WU Pengfei. Effects of alpine meadow degradation on soil insect diversity in the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(8): 2327–2336. DOI: [10.5846/stxb201411042173](https://doi.org/10.5846/stxb201411042173).
- [16] 张超, 李娟, 程海云, 等. 秦岭西段地区蝴蝶群落多样性与环境因子相关性[J]. *生物多样性*, 2023, **31**(1): 215–240. ZHANG Chao, LI Juan, CHENG Haiyun, *et al.* Patterns and environmental drivers of the butterfly diversity in the western region of Qinling Mountains[J]. *Biodiversity Science*, 2023, **31**(1): 215–240. DOI: [10.17520/biods.2022272](https://doi.org/10.17520/biods.2022272).
- [17] SLIPINSKI S A, LESCHEN R A B, LAWRENCE J F. Order Coleoptera Linnaeus, 1758[M]//ZHANG Z Q. *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-Level Classification and Survey of Taxonomic Richness*[J]. Sanford: Magnolia Press, 2011: 203–208. DOI: [10.11646/zootaxa.3148.1.39](https://doi.org/10.11646/zootaxa.3148.1.39).
- [18] MO Shifang, ZHU Yaowei, BRAGA M P, *et al.* Rapid evolution of host repertoire and geographic range in a young and diverse genus of montane butterflies[J]. *Systematic Biology*, 2025, **74**(1): 141–157. DOI: [10.1093/sysbio/syae061](https://doi.org/10.1093/sysbio/syae061).
- [19] RAUT N B, PENDHARKAR A. Butterfly (Rhopalocera) fauna of Maharashtra Nature Park, Mumbai, Maharashtra, India[J]. *Check List*, 2010, **6**(1): 22. DOI: [10.15560/6.1.022](https://doi.org/10.15560/6.1.022).
- [20] 徐世才, 延志连, 贺民, 等. 菜粉蝶在不同温度下的实验种群生命表[J]. *植物保护*, 2011, **37**(1): 79–81. XU Shicai, YAN Zhilian, HE Min, *et al.* Life table of the laboratory populations of *Pieris rapae* under different temperatures[J]. *Plant Protection*, 2011, **37**(1): 79–81. DOI: [10.3969/j.issn.0529-1542.2011.01.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.0529-1542.2011.01.016).
- [21] HUSSAIN R, MIAO P, REHMAN A, *et al.* Species richness and spatial distribution of three Pieridae subfamilies across mainland China under past and future climates[J]. *Scientific Reports*, 2025, **15**(1): 45685. DOI: [10.1038/s41598-025-21555-9](https://doi.org/10.1038/s41598-025-21555-9).
- [22] 袁改霞, 张大川, 张国发, 等. 大庆市蝶类多样性及其影响因素[J]. *草业科学*, 2024, **41**(4): 845–855. YUAN Gaixia, ZHANG Dachuan, ZHANG Guofa, *et al.* Butterfly diversity and its influencing factors in Daqing City[J]. *Pratacultural Science*, 2024, **41**(4): 845–855. DOI: [10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0035](https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0035).
- [23] 李金涛, 苗白鸽, 彭艳琼. 西双版纳热带植物园蝴蝶的多样性及变化[J]. *环境昆虫学报*, 2023, **45**(3): 563–572. LI Jintao, MIAO Baige, PENG Yanqiong. Butterfly diversity and variation in Xishuangbanna tropical botanical garden[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, **45**(3): 563–572. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2023.03.1](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2023.03.1).
- [24] MIYA M S, SHRESTHA S, DHAKAL A, *et al.* Seasonal variation of forest butterfly diversity in tropical lowland Nepal[J]. *Ecology and Evolution*, 2025, **15**(6): e71550. DOI: [10.1002/ece3.71550](https://doi.org/10.1002/ece3.71550).
- [25] 贾玉珍, 赵秀海, 孟庆繁. 温度和降雨对长白山阔叶红松林蝶类组成和多样性的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2010, **16**(1): 7–12. JIA Yuzhen, ZHAO Xiuhai, MENG Qingfan. Effects of temperature and rainfall on composition and diversity of butterflies in broad-leaved and Korean pine mixed forests in the Changbai Mountains, China[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2010, **16**(1): 7–12. DOI: [10.3724/SP.J.1145.2010.00007](https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2010.00007).

- [26] MAHATA A, NAIK A, PALITA S K. The composition and phenology of butterflies are determined by their functional trait in Indian tropical dry forests[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2024, **33**(12): 3417–3439. DOI: [10.1007/s10531-024-02798-w](https://doi.org/10.1007/s10531-024-02798-w).
- [27] IZADI H, CUTHBERT R N, HAUBROCK P J, *et al.* Advances in understanding Lepidoptera cold tolerance[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2024, **125**: 103992. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2024.103992](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103992).
- [28] EL-BAZ D A, FONTANA P E. Effect of habitat fragmentation on butterfly diversity in tropical forests[J]. *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 2025, **65**(1): 48–52. DOI: [10.64526/phyton-annales.v65i1.109](https://doi.org/10.64526/phyton-annales.v65i1.109).
- [29] 尚素琴, 吴兴波, 王召龙, 等. 兴隆山国家级自然保护区不同生境的蝴蝶群落结构与种-多度分布[J]. *生物多样性*, 2020, **28**(8): 983–992. SHANG Suqin, WU Xingbo, WANG Zhaolong, *et al.* Butterfly community structure and species-abundance distribution in different habitats in the Xinglong Mountains National Nature Reserve[J]. *Biodiversity Science*, 2020, **28**(8): 983–992. DOI: [10.17520/biods.2019386](https://doi.org/10.17520/biods.2019386).
- [30] van VU L, QUANG V C. Diversity pattern of butterfly communities (Lepidoptera, Papilionoidae) in different habitat types in a tropical rain forest of southern Vietnam[J]. *ISRN Zoology*, 2011, **2011**: 818545. DOI: [10.5402/2011/818545](https://doi.org/10.5402/2011/818545).
- [31] 汪洋, 何杰, 周琼, 等. 湖南洞庭湖区蝶类群落多样性动态及其影响因素分析[J]. *生命科学研究*, 2022, **26**(3): 247–255. WANG Yang, HE Jie, ZHOU Qiong, *et al.* Diversity dynamics of butterfly communities and analysis of its influence factors in Dongting Lake Region, Hunan Province[J]. *Life Science Research*, 2022, **26**(3): 247–255. DOI: [10.16605/j.cnki.1007-7847.2021.07.0177](https://doi.org/10.16605/j.cnki.1007-7847.2021.07.0177).