

三峡坝区昆虫资源本底调查与多样性评估*

禹云超^{1,2**} 吴锦华^{1,2} 张云慧³ 黄桂云^{1,2***} 吴笛^{1,2}
唐荣彬^{1,2} 杨兰芳^{1,2} 张广欣^{1,2} 詹鹏^{1,2} 吴刚^{3***}

(1. 中国长江三峡集团长江生物多样性研究中心, 武汉 430000; 2. 长江经济带生态环境国家工程研究中心, 北京 100038; 3. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘要 【目的】生物多样性是地球生命的基础, 昆虫作为地球上多样性最高的生物, 对维持生态系统的稳定具有重要意义。随着三峡工程建设, 三峡工程对生物多样性的影响成为具有争议的话题, 且在三峡工程建成以来, 至今尚未有对三峡坝区昆虫多样性调查的系统研究。本研究旨在摸清三峡坝区昆虫种群种类和数量, 明确三峡坝区昆虫多样性和种群分布。【方法】2022年于5月、8月和10月通过样线法、灯诱法和马来氏网法对三峡坝区昆虫的种类进行3次调查。【结果】本试验设置84条样线、4次灯诱及3个马来氏网, 共采集昆虫1276头, 隶属于11目84科158属174种, 优势类群分别是鳞翅目、鞘翅目和半翅目。以样线法调查到的昆虫数据进行多样性分析, 三峡坝区分水岛珍稀植物科研示范区 Shannon-Wiener多样性指数和 Margalef丰富度指数最高, 分别为3.1356和6.1310; 三峡东岳庙大数据中心沿江区域 Pielou均匀度指数最高, 为0.9830。【结论】三峡坝区内昆虫资源丰富, 发现中国物种红色名录易危 (Vulnerable, VU) 昆虫密纹矍眼蝶 *Ypthima multistriata*、阳彩臂金龟 *Cheirotonus jansoni*, 以及无危 (Least concern, LC) 昆虫16种, 说明三峡坝区生态环境良好, 为昆虫的栖息和繁衍提供了理想的场所。

关键词 三峡坝区; 昆虫多样性; Shannon-Wiener多样性指数; Margalef丰富度指数; Pielou均匀度指数

Background survey and evaluation of insect resource diversity in the Three Gorges Dam Area

YU Yun-Chao^{1,2**} WU Jin-Hua^{1,2} ZHANG Yun-Hui³ HUANG Gui-Yun^{1,2***} WU Di^{1,2}
TANG Rong-Bin^{1,2} YANG Lan-Fang^{1,2} ZHANG Guang-Xin^{1,2} ZHAN Peng^{1,2} WU Gang^{3***}

(1. Yangtze River Biodiversity Research Center of China Three Gorges Corporation Limited, Wuhan 430000, China;

2. National Engineering Research Center of Eco-Environment Protection for Yangtze River Economic Belt, Beijing 100038, China;

3. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract [Aim] Biodiversity is the foundation of life on earth, and insects represent the most diverse organisms. Maintaining the stability of the ecosystem is vital. The construction of the Three Gorges Project has attracted controversy due to its impact on biodiversity. Since the completion of the Three Gorges Project, no systematic research has been carried out on the insect diversity within the Three Gorges Dam Area. This study aimed to explore the diversity and density of insect species and their population distributions within the Three Gorges Dam Area. [Methods] During May, August, and October of 2022, we sampled insect activity, including occurrence period, outbreak period, and overwinter period, in the Three Gorges Dam Area using transect lines, light traps, and Malay nets. [Results] A total of 1276 insects, belonging to 11 orders, 84 families, 158 genera, and 174 species, were collected from 84 transect lines, 4 light traps, and 3 Malay nets. The dominant groups were Lepidoptera, Coleoptera, and Hemiptera. Insect diversity analysis using the sample line method showed that the Shannon-Wiener index and Margalef richness index were the highest in the Rare Plant Research Demonstration Area of Binshui Island in the Three Gorges

*资助项目 Supported projects: 中国长江三峡集团有限公司生态环保基金 (WWKY-2021-0185); 中国工程科技发展战略湖北研究院长江流域农业生态系统修复与生态产品价值链构建路径 (HB2023B06)

**第一作者 First author, E-mail: yuyunchao@ctg.com.cn

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: huangguiyun@ctg.com.cn; wugang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-10-27; 接受日期 Accepted: 2024-04-26

Dam Area, with 3.135 6 and 6.131 0, respectively. Furthermore, the Pielou evenness index was highest in the riverine area of the Three Gorges Dongyuemiao Big Data Center, with 0.983 0. **[Conclusion]** The results indicate abundant insect resources in the Three Gorges Dam Area, including two species, *Ypthima multistriata* and *Cheirotonus jansoni*, listed in the China Species Red List as vulnerable (VU) and 16 species listed as insects of least concern (LC). Furthermore, the findings suggest that the ecological environment of the Three Gorges Dam Area is suitable for insect habitation and breeding.

Key words Three Gorges Dam Area; insect diversity; Shannon-Wiener diversity index; Margalef richness index; Pielou evenness index

生物多样性是地球生命共同体的血脉和根基,也是衡量一个地区生态环境质量和生态文明建设程度的重要指标(何卿等, 2022; 刘宇琛等, 2023)。生物多样性一般可分为遗传、物种、生态系统以及景观四个层次,其主要内容为物种多样性,研究物种的组成以及共存条件,对于维持生态系统正常运作具有重要作用(周宸宇, 2023)。目前,生物多样性的研究及保护已成为当今社会关注的热点问题。而昆虫主宰着全球的生物多样性,据统计,生物圈中已命名的生物有 200 多万种,其中无脊椎动物昆虫有 100 多万种,占到整个生物圈中一半以上,(Mhlanga *et al.*, 2022)。相较兽类和鸟类,昆虫对环境因素的变化更加敏感(Ravi and Priyadarsanan, 2021; Banks *et al.*, 2022),适于反映较小尺度生境中的细微变化,在生物多样性调查中占有不可替代的地位(王明强等, 2022; 周阳等, 2023)。因此昆虫不仅是生物多样性、进化及生态学的重要研究对象,也是反映生态环境稳定与健康的重要指标(Sollai and Solari, 2022)。

目前,国内外大量学者对高山、园林自然保护区都已逐步开展昆虫多样性的调查研究(曹天棋等, 2021)。林芳森等(2012)曾对三峡库区不同生境的蝶类多样性开展调查,研究表明,蝴蝶分布特征与生境关系密切,蝴蝶生境保护对于三峡库区蝶类多样性保护具有重要意义。广春梅等(2022)对临夏太子山国家级自然保护区昆虫多样性调查研究发现,保护区内昆虫种类有限且主要分布于灌木和乔木,应优化自然保护区生态环境。张传敏(2022)对太行山猕猴自然保护区(济源段)昆虫物种进行了调查分析,发现保护区内昆虫物种多样性主要受季节变化和生境类型等因素的影响。韩艺茹等(2022)研究发现,

燕山地区的灌丛为访花昆虫提供了较为稳定的生存环境,灌丛生境访花昆虫的 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数以及 Simpson 优势度指数均最高。陈志敏等(2021)调查了喀斯特高原山区灌丛草地昆虫,发现灌丛草地的环境因子与昆虫群落多样性呈现一定的相关性,其中土壤温度、空气温度、植被物种数与之呈极显著正相关关系。邹言等(2020)对北京延庆区昆虫多样性分析发现,昆虫对于不同生境有相应的选择倾向,人为影响较小的地区昆虫种类丰富,昆虫多样性高且群落稳定性好。

三峡坝区位于中国湖北省宜昌市境内的长江干流西陵峡河段,处于我国亚热带东部气候区与西部气候区的过渡地带,具有冬季温暖、夏季炎热湿润、秋季多雨的基本气候特征(杨荆安和陈正洪, 2002)。三峡工程是目前世界上最大的水利枢纽工程,也是治理和开发长江的关键性骨干工程,具有防洪、发电和航运等巨大的综合效益。从 2000 年起,国家利用 10 年左右的时间,在三峡库区所有县(市、区)及长江上游地区全面停止天然林采伐,对 25°以上的坡耕地全部实行退耕还林,对荒山荒坡进行植树造林(谭雪等, 2023),从根本上改善了三峡坝区生态环境,保障了坝区内生物多样性的丰富。据 1993-1999 年调查显示,三峡库区有 144 个植物群系,6 388 种高等植物,3 418 种昆虫和 500 种陆生脊椎动物(黄真理, 2001)。随着三峡工程的建设,三峡工程对生物多样性的影响也成为具有争议的话题,且在三峡工程建成以来,至今尚未有对三峡坝区昆虫多样性调查的系统研究。

昆虫是目前整个生物圈中最大的一个类群。昆虫多样性在维持自然生态平衡方面扮演着重要角色,对于环境的监测也具有指示功能。本研

究于 2022 年 5 月、8 月和 10 月对三峡坝区昆虫多样性开展调查, 并对该区域的昆虫多样性指数进行分析, 旨在摸清三峡坝区昆虫种群种类和数量, 以期为该区域的生态保护工作提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料 捕虫网、三角袋、乙酸乙酯毒瓶、酒精、离心管、标本盒、马来氏网、尼龙绳、高压汞灯(功率 250 W)、白色幕布(3 m × 2 m)、电线和灯诱固定架。

1.1.2 试验区域 本试验选取三峡坝区境内, 包括长江珍稀植物培育基地(宜昌)新所、三峡东岳庙大数据中心沿江区域、东园和西园、分水岛珍稀植物专类园、185 平台珍稀植物科研示范区和长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所种质资源圃上围及下围, 调查范围包含三峡坝区内所有生境及重点保护树种所在区域。采集样点信息如下: 长江珍稀植物培育基地(宜昌)新所: 30.808 7° N, 111.018 7° E; 三峡东岳庙大数据中心沿江区域: 30.814 1° N, 111.031 6° E; 东园和西园: 30.835 5° N, 111.045 1° E; 分水岛珍稀植物专类园: 30.828 0° N, 111.033 8° E; 185 平台珍稀植物科研示范区: 30.834 3° N, 111.018 2° E; 长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所种质资源圃上围: 30.811 1° N, 110.990 0° E; 长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所种质资源圃下围: 30.815 0° N, 110.984 9° E。

1.2 方法

1.2.1 调查方法

1.2.1.1 样线法 于 2022 年 5 月、8 月和 10 月在三峡坝区 7 个调查区域开展调查, 设置样线均匀分布, 样线间保持足够的距离以防止样线间的干扰效应, 同时, 为了避免边缘效应, 样线距离应依据河流及植被情况保持足够的距离, 样线长度不少于 500 m, 特殊情况下, 可适当加大距离以保证采样的准确性。

1.2.1.2 灯诱法 于 2022 年 5 月、8 月和 10 月在三峡坝区长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所

(30.815 3° N, 110.981 9° E)开展调查, 使用常规的高压汞灯(450 W)进行灯诱昆虫, 用支杆撑挂用于收集昆虫的白色幕布(3.0 m × 2.0 m), 并在幕布前方 0.1 m 处安置高压汞灯(450 W), 于傍晚 20:00-02:00 时间段进行灯诱有趋光性的昆虫, 重点关注鳞翅目、鞘翅目、半翅目、直翅目、广翅目和膜翅目昆虫的上灯。对于鳞翅目昆虫, 主要用毒瓶杀死后保存于三角袋内; 鞘翅目及半翅目昆虫(叶蝉等)直接保存于 70%-80% 的酒精中, 直翅目、广翅目、半翅目(蝉类)和膜翅目等用毒瓶杀死后, 保存于棉层中。

1.2.1.3 马来氏网法 于 2022 年 5 月、8 月和 10 月在三峡坝区长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所(30.815 3° N, 110.981 9° E)开展调查。将马氏网设置于昆虫飞行路径上, 用绳与钉子固定于较平整的地面。马氏网的顶部倾斜, 下部垂直, 一面或多面向外开放让昆虫进入, 并有一个垂直网面拦截昆虫飞行。由于昆虫具有向上爬行或趋光的特性, 在网内最高处设置一个收集瓶, 收集爬到网顶部的昆虫。收集瓶内盛放 100% 酒精, 用于杀死昆虫并保存标本(何帅洁, 2023)。

1.2.2 数据分析 将昆虫种类和数量数据利用 Excle 2021 软件通过多样性指数公式进行统计分析, 主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数; Margalef 丰富度指数; Pielou 均匀度指数, 具体计算如下:

Shannon-Wiener 多样性指数, 表示的是生物多样性的综合指标, 指数越大, 说明多样性越高。计算公式如下:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i, \quad P_i = \frac{n_i}{N} (i=1, 2, 3 \cdots s);$$

Margalef 丰富度指数, 表示群落中物种数目的多少, 丰富度指数越大, 群落物种数目越多。计算公式如下:

$$ds = \frac{S-1}{\ln N};$$

Pielou 均匀度指数, 反映物种个体数目在群落中分配的均匀程度的指数。指数越高表示群落越均匀。计算公式如下:

$$J = \frac{H'}{H_{\text{Max}}}, \quad H_{\text{Max}} = \ln S;$$

以上公式中, n_i 为样线内第 i 个物种的个体数 S ; N 为样线内所有物种的个体数; S 为样线内调查到的物种数; P_i 为第 i 个物种个体数占总个体数 N 的比例。

2 结果与分析

2.1 昆虫本底调查种类分析

本试验于 2022 年通过样线法、灯诱法和马来

氏网法对三峡坝区共计进行 3 次调查采集工作, 共鉴定出 11 目 84 科 159 属 174 种昆虫。其中, 菜粉蝶 *Pieris rapae* 分布范围最广, 在所有地点均有分布。菊方翅网蝽 *Corythucha marmorata* 分布数量最多。具体昆虫名录如下 (表 1)。

2.2 昆虫的组成与种类分析

调查鉴定出的 11 目 84 科 158 属 174 种昆虫, 分属鳞翅目、半翅目、鞘翅目、双翅目、直翅目、

表 1 三峡坝区本底调查昆虫名录
Table 1 List of insects in the background survey in the Three Gorges Dam Area

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
半翅目 Hemiptera	蝉科 Cicadidae	透翅蝉属 <i>Hyalessa</i>	斑透翅蝉 <i>Hyalessa maculaticollis</i>
		蚱蝉属 <i>Cryptotympana</i>	黑蚱蝉 <i>Cryptotympana atrata</i>
		稻绿蝽属 <i>Nezara</i>	稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i>
		茶翅蝽属 <i>Halyomorpha</i>	茶翅蝽 <i>Halyomorpha halys</i>
		二星蝽属 <i>Eysarcoris</i>	北二星蝽 <i>Eysarcoris aeneus</i>
	蝽科 Pentatomidae	角蝽属 <i>Lelia</i>	弯角蝽 <i>Lelia decempunctata</i>
		巨蝽属 <i>Eusthenes</i>	巨蝽 <i>Eusthenes robustus</i>
		麻皮蝽属 <i>Erthesina</i>	麻皮蝽 <i>Erthesina fullo</i>
		珀蝽属 <i>Plautia</i>	珀蝽 <i>Plautia crossota</i>
	蛾蜡蝉科 Flatidae	碧蛾蜡蝉属 <i>Geisha</i>	碧蛾蜡蝉 <i>Geisha distinctissima</i>
		广翅蜡蝉属 <i>Ricania</i>	八点广翅蜡蝉 <i>Ricania speculum</i>
	广翅蜡蝉科 Ricaniidae	宽广翅蜡蝉属 <i>Pochazia</i>	阔带宽广翅蜡蝉 <i>Pochazia confuse</i>
		曲广翅蜡蝉属 <i>Ricanula</i>	丽纹广翅蜡蝉 <i>Ricanula pulverosa</i>
		疏广翅蜡蝉属 <i>Euricania</i>	透翅疏广翅蜡蝉 <i>Euricania clara</i>
	龟蝽科 Plataspidae	豆龟蝽属 <i>Megacopta</i>	筛豆龟蝽 <i>Megacopta cribraria</i>
	红蝽科 Pyrrhocoridae	斑红蝽属 <i>Physopelta</i>	小斑红蝽 <i>Physopelta cincticollis</i>
	姬缘蝽科 Rhopalidae	伊缘蝽属 <i>Rhopalus</i>	褐伊缘蝽 <i>Rhopalus sapporensis</i>
	蜡蝉科 Fulgoridae	斑衣蜡蝉属 <i>Lycorma</i>	斑衣蜡蝉 <i>Lycorma delicatula</i>
	猎蝽科 Reduviidae	光猎蝽属 <i>Ectrychotes</i>	黑光猎蝽 <i>Ectrychotes andreae</i>
	盲蝽科 Miridae	后丽盲蝽属 <i>Apolygus</i>	绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i>
		泡盾盲蝽属 <i>Pseudodoniella</i>	肉桂泡盾盲蝽 <i>Pseudodoniella chinensis</i>
	黽蝽科 Gerridae	黽蝽属 <i>Gerris</i>	黽蝽 <i>Gerris</i> sp.
	沫蝉科 Cercopidae	赤斑沫蝉属 <i>Callitettix</i>	稻赤斑沫蝉 <i>Callitettix versicolor</i>
		丽沫蝉属 <i>Cosmoscarta</i>	黑斑丽沫蝉 <i>Cosmoscarta dorsimacula</i>
	同蝽科 Acanthosomatidae	同蝽属 <i>Sastragala</i>	伊锥同蝽 <i>Sastragala esakii</i>
		方翅网蝽属 <i>Corythucha</i>	菊方翅网蝽 <i>Corythucha marmorata</i>
	网蝽科 Tingidae	冠网蝽属 <i>Stephanitis</i>	杜鹃冠网蝽 <i>Stephanitis pyrioides</i>
			梨网蝽 <i>Stephanitis nashi</i>

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
	象蜡蝉科 Dictyopharidae	伯瑞象蜡蝉属 <i>Raivuna</i>	伯瑞象蜡蝉 <i>Raivuna patruelis</i>
		丽象蜡蝉属 <i>Orthopagus</i>	丽象蜡蝉 <i>Orthopagus splendens</i>
		彩象蜡蝉属 <i>Raivuna</i>	中野象蜡蝉 <i>Raivuna nakanonis</i>
	蚜科 Aphididae	益管蚜属 <i>Brevicoryne</i>	菜蚜 <i>Brevicoryne brassicae</i>
	叶蝉科 Cicadellidae	凹大叶蝉属 <i>Bothrogonia</i>	凹大叶蝉 <i>Bothrogonia ferruginea</i>
		单突叶蝉属 <i>Olidiana</i>	黑颜单突叶蝉 <i>Olidiana brevis</i>
		黑尾叶蝉属 <i>Nephotettix</i>	黑尾叶蝉 <i>Nephotettix cincticeps</i>
	缘蝽科 Coreidae	稻缘蝽属 <i>Leptocorisa</i>	大稻缘蝽 <i>Leptocorisa oratoria</i>
			中稻缘蝽 <i>Leptocorisa chinensis</i>
		蜂缘蝽属 <i>Riptortus</i>	点蜂缘蝽 <i>Riptortus pedestris</i>
			条蜂缘蝽 <i>Riptortus linearis</i>
		棘缘蝽属 <i>Cletus</i>	稻棘缘蝽 <i>Cletus punctiger</i>
		侏缘蝽属 <i>Mictis</i>	曲胫侏缘蝽 <i>Mictis tenebrosa</i>
		同缘蝽属 <i>Homoeocerus</i>	瓦同缘蝽 <i>Homoeocerus walkerianus</i>
			纹须同缘蝽 <i>Homoeocerus striicornis</i>
蜚蠊目 Blattodea	白蚁科 Termitidae	大白蚁属 <i>Macrotermes</i>	黄翅大白蚁 <i>Macrotermes barneyi</i>
	蜚蠊科 Blattidae	大蠊属 <i>Periplaneta</i>	美洲大蠊 <i>Periplaneta americana</i>
		小蠊属 <i>Blattella</i>	德国小蠊 <i>Blattella germanica</i>
革翅目 Dermaptera	蠼螋科 Labiduridae	蠼螋属 <i>Labidura</i>	蠼螋 <i>Labidura riparia</i>
鳞翅目 Lepidoptera	波纹蛾科 Thyatiridae	华波纹蛾属 <i>Habrosyne</i>	华波纹蛾 <i>Habrosyne pyritoides</i>
	菜蛾科 Plutellidae	菜蛾属 <i>Plutella</i>	小菜蛾 <i>Plutella xylostella</i>
	草螟科 Crambidae	秆野螟属 <i>Helicoverpa</i>	玉米螟 <i>Helicoverpa zea</i>
	尺蛾科 Geometridae	<i>Bizia</i>	焦边尺蛾 <i>Bizia aexaria</i>
		桦尺蛾属 <i>Biston</i>	油桐尺蛾 <i>Biston suppressaria</i>
		金星尺蛾属 <i>Abraxas</i>	金星尺蛾 <i>Abraxas suspecta</i>
			丝棉木金星尺蛾 <i>Abraxas suspecta</i>
		绿尺蛾属 <i>Comibaena</i>	肾纹绿尺蛾 <i>Comibaena procumbaria</i>
		眼尺蛾属 <i>Problepsis</i>	佳眼尺蛾 <i>Problepsis eucircota</i>
	刺蛾科 Limacodidae	奕刺蛾属 <i>Phlossa</i>	枣奕刺蛾 <i>Phlossa conjuncta</i>
	灯蛾科 Arctiidae	滴苔蛾属 <i>Agrisius</i>	煤色滴苔蛾 <i>Agrisius fuliginosus</i>
		灰灯蛾属 <i>Cretonotus</i>	八点灰灯蛾 <i>Cretonotus transiens</i>
		瓦苔蛾属 <i>Vamuna</i>	白黑瓦苔蛾 <i>Vamuna ramelana</i>
		网苔蛾属 <i>Macrobrochis</i>	乌闪网苔蛾 <i>Macrobrochis staudingeri</i>
	毒蛾科 Lymantriidae	黄毒蛾属 <i>Arna</i>	茶黄毒蛾 <i>Arna pseudoconspersa</i>
			折带黄毒蛾 <i>Euproctis flava</i>
	粉蝶科 Pieridae	豆粉蝶属 <i>Colias</i>	橙黄豆粉蝶 <i>Colias fieldii</i>
			东亚豆粉蝶 <i>Colias poliographus</i>

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
	粉蝶科 Pieridae	粉蝶属 <i>Pieris</i>	菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>
		黄粉蝶属 <i>Eurema</i>	北黄粉蝶 <i>Eurema mandarina</i>
			黄粉蝶 <i>Eurema blanda</i>
	凤蝶科 Papilionidae	凤蝶属 <i>Papilio</i>	碧凤蝶 <i>Papilio bianor</i>
			玉带凤蝶 <i>Papilio polytes</i>
		青凤蝶属 <i>Graphium</i>	青凤蝶 <i>Graphium sarpedon</i>
			碎斑青凤蝶 <i>Graphium chironides</i>
	虎蛾科 Agaristidae	豪虎蛾 <i>Scrobiger</i>	豪虎蛾 <i>Scrobiger amatrix</i>
	灰蝶科 Lycaenidae	蓝灰蝶属 <i>Everes</i>	蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>
		亮灰蝶属 <i>Lampides</i>	亮灰蝶 <i>Lampides boeticus</i>
		玄灰蝶属 <i>Tongeia</i>	点玄灰蝶 <i>Tongeia filicaudis</i>
		眼灰蝶属 <i>Polyommatus</i>	多眼灰蝶 <i>Polyommatus eros</i>
		银灰蝶属 <i>Curetis</i>	尖翅银灰蝶 <i>Curetis acuta</i>
		酢浆灰蝶属 <i>Pseudozizeeria</i>	酢浆灰蝶 <i>Pseudozizeeria maha</i>
	蛱蝶科 Nymphalidae	斐豹蛱蝶属 <i>Argynnis</i>	斐豹蛱蝶 <i>Argynnis hyperbius</i>
		脉蛱蝶属 <i>Hestina</i>	黑脉蛱蝶 <i>Hestina assimilis</i>
		眼蛱蝶属 <i>Junonia</i>	翠蓝眼蛱蝶 <i>Junonia orithya</i>
	卷蛾科 Tortricidae	裳卷蛾属 <i>Cerace</i>	豹裳卷蛾 <i>Cerace xanthocosma</i>
	螟蛾科 Pyralidae	白带野螟属 <i>Spoladea</i>	甜菜白带野螟 <i>Spoladea recurvalis</i>
		绢野螟属 <i>Diaphania</i>	瓜绢野螟 <i>Diaphania indica</i>
		切叶野螟属 <i>Herpetogramma</i>	褐切叶野螟 <i>Herpetogramma rudis</i>
		纵卷叶野螟属 <i>Cnaphalocrocis</i>	稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i>
	弄蝶科 Hesperiiidae	稻弄蝶属 <i>Parnara</i>	曲纹稻弄蝶 <i>Parnara ganga</i>
			直纹稻弄蝶 <i>Parnara guttata</i>
	裳蛾科 Erebididae	雅苔蛾属 <i>Ammatho</i>	台放射雅苔蛾 <i>Ammatho tairadiata</i>
	苔蛾科 Lithosiidae	苔蛾属 <i>Cyana</i>	桔红雪苔蛾 <i>Cyana interrogationis</i>
	天蛾科 Sphingidae	六点天蛾属 <i>Marumba</i>	桃六点天蛾 <i>Marumba gaschkewitschi</i>
		长喙天蛾属 <i>Macroglossum</i>	长喙天蛾 <i>Macroglossum corythus</i>
	眼蝶科 Satyridae	矍眼蝶属 <i>Ypthima</i>	矍眼蝶 <i>Ypthima baldus</i>
			密纹矍眼蝶 <i>Ypthima multistriata</i>
		暮眼蝶属 <i>Melanitis</i>	睇暮眼蝶 <i>Melanitis phedima</i>
	夜蛾科 Noctuidae	分夜蛾属 <i>Trigonodes</i>	短带三角夜蛾 <i>Trigonodes hyppasia</i>
		亥夜蛾属 <i>Hydrillodes</i>	楞亥夜蛾 <i>Hydrillodes lentalis</i>
		朽叶夜蛾属 <i>Bastilla</i>	玫瑰巾夜蛾 <i>Bastilla arctotaenia</i>
		巾夜蛾属 <i>Dysgonia</i>	石榴巾夜蛾 <i>Dysgonia stuposa</i>
		毛胫夜蛾属 <i>Mocis</i>	懈毛胫夜蛾 <i>Mocis annetta</i>

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
脉翅目 Neuroptera	夜蛾科 Noctuidae	陌夜蛾属 <i>Trachea</i>	白斑陌夜蛾 <i>Trachea auriplena</i> 斑陌夜蛾 <i>Trachea auriplena</i>
		旋目夜蛾属 <i>Speiredonia</i>	晦旋目夜蛾 <i>Speiredonia martha</i>
		夜蛾属 <i>Spodoptera</i>	斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i>
		舟蛾科 Notodontidae	掌舟蛾属 <i>Phalera</i> 苹掌舟蛾 <i>Phalera flavescens</i>
	草蛉科 Chrysopidae	通草蛉属 <i>Chrysoperla</i>	中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i>
	蝶角蛉科 Ascalaphidae	锯角蝶角蛉属 <i>Acheron</i>	锯角蝶角蛉 <i>Acheron trux</i>
		石蛾科 Phryganeidae	须角石蛾属 <i>Mystacides</i> 齿须长角石蛾 <i>Mystacides dentatus</i>
	毛翅目 Trichoptera	角石蛾属 <i>Stenopsyche</i>	天目山角石蛾 <i>Stenopsyche tienmushanensis</i>
		赤眼蜂科 Trichogrammatidae	赤眼蜂属 <i>Trichogramma</i> 松毛虫赤眼蜂 <i>Trichogramma dendrolimi</i>
	姬蜂科 Ichneumonidae	齿腿姬蜂属 <i>Pristomerus</i>	中国齿腿姬蜂 <i>Pristomerus chinensis</i>
膜翅目 Hymenoptera	蜜蜂科 Apidae	胡蜂属 <i>Vespa</i>	墨胸胡蜂 <i>Vespa velutina</i>
		蜜蜂属 <i>Apis</i>	东方蜜蜂 <i>Apis cerana</i>
		熊蜂属 <i>Bombus</i>	黑足熊蜂 <i>Bombus atripes</i>
		泥蜂科 Sphecidae	锯齿泥蜂属 <i>Sceliphron</i> 黄柄壁泥蜂 <i>Sceliphron madraspatanum</i>
	三节叶蜂科 Argidae	三节叶蜂属 <i>Arge</i>	玫瑰三节叶蜂 <i>Arge geei</i>
	土蜂科 Scoliididae	土蜂属 <i>Megacampsomeris</i>	金毛长腹土蜂 <i>Megacampsomeris prismatica</i>
	鞘翅目 Coleoptera	龟甲科 Cassididae	龟甲属 <i>Cassida</i> 甘薯台龟甲 <i>Cassida circumdata</i>
		金龟科 Scarabaeidae	星花金龟属 <i>Protaetia</i> 白星花金龟 <i>Protaetia brevitarsis</i>
			彩臂金龟属 <i>Cheirotonus</i> 阳彩臂金龟 <i>Cheirotonus jansoni</i>
		叩甲科 Elateridae	丽叩甲属 <i>Campsosternus</i> 朱肩丽叩甲 <i>Campsosternus gemma</i>
	拟步甲科 Tenebrionidae	邻烁甲属 <i>Plesiophthalmus</i>	中型邻烁甲 <i>Plesiophthalmus spectabilis</i>
		沙潜属 <i>Opatrum</i>	网目拟地甲 <i>Opatrum subaratum</i>
		瓢虫科 Coccinellidae	和谐瓢虫属 <i>Harmonia</i> 异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>
			宽柄月瓢虫属 <i>Menochilus</i> 六斑月瓢虫 <i>Menochilus sexmaculata</i>
		裂臀瓢虫属 <i>Henosepilachna</i>	茄二十八星瓢虫 <i>Henosepilachna vigintioctopunctata</i>
		瓢虫属 <i>Coccinella</i>	七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>
		鳃金龟科 Melolonthidae	齿爪鳃金龟属 <i>Holotrichia</i> 暗黑鳃金龟 <i>Holotrichia parallela</i> 大黑鳃金龟 <i>Holotrichia oblita</i>
		三锥象科 Brentidae	梨象属 <i>Rhynchites</i> 梨象甲 <i>Rhynchites foveipennis</i>
	天牛科 Cerambycidae	星天牛属 <i>Anoplophora</i>	黄斑星天牛 <i>Anoplophora nobilis</i>
	叶甲科 Chrysomelidae	凹缘跳甲属 <i>Podontia</i>	黄色凹缘跳甲 <i>Podontia lutea</i>
		直缘跳甲属 <i>Ophrida</i>	黄斑直缘跳甲 <i>Ophrida xanthospilota</i>
	伪瓢虫科 Endomychidae	伪瓢虫属 <i>Ancylopus</i>	彩弯伪瓢虫 <i>Ancylopus pictus</i>
	犀金龟科 Dynastidae	叉犀金龟属 <i>Allomyrina</i>	双叉犀金龟 <i>Allomyrina dichotoma</i>
	肖叶甲科 Eumolpidae	萝蓂肖叶甲属 <i>Chrysochus</i>	中华萝蓂肖叶甲 <i>Chrysochus chinensis</i>
	大蕈甲科 Erotylidae	艾蕈甲属 <i>Episcapha</i>	黄斑艾蕈甲 <i>Episcapha xanthopustulata</i>

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
蜻蜓目 Odonata	叶甲科 Chrysomelidae	光叶甲属 <i>Smaragdina</i>	黑额光叶甲 <i>Smaragdina nigrifrons</i>
		守瓜属 <i>Aulacophora</i>	黄足黄守瓜 <i>Aulacophora indica</i>
			黄足黑守瓜 <i>Aulacophora lewisii</i>
		条跳甲属 <i>Aulacophora</i>	黄曲条跳甲 <i>Phyllotreta striolata</i>
		阿萤叶甲属 <i>Arthrotus</i>	中华阿萤叶甲 <i>Arthrotus chinensis</i>
		瓢萤叶甲属 <i>Oides</i>	十星瓢萤叶甲 <i>Oides decempunctata</i>
	隐翅虫科 Staphylinidae	圆叶甲属 <i>Plagioderia</i>	柳圆叶甲 <i>Plagioderia versicolora</i>
		毒隐翅虫属 <i>Paederus</i>	小毒隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i>
	虻科 Coenagrionidae	黄虻属 <i>Ceriagrion</i>	长尾黄虻 <i>Ceriagrion fallax</i>
		异痣虻属 <i>Ischnura</i>	褐斑异痣虻 <i>Ischnura senegalensis</i>
	蜻科 Libellulidae	灰蜻属 <i>Orthetrum</i>	异色灰蜻 <i>Orthetrum melania</i>
		丽翅蜻属 <i>Rhyothemis</i>	黑翅丽蜻 <i>Rhyothemis fuliginosa</i>
双翅目 Diptera	大蚊科 Tipulidae	短柄大蚊属 <i>Nephrotoma</i>	短柄大蚊 <i>Nephrotoma wulpiana</i>
	果蝇科 Drosophilidae	果蝇属 <i>Drosophila</i>	黑腹果蝇 <i>Drosophila melanogaster</i>
	丽蝇科 Calliphoridae	丽蝇属 <i>Aldrichina</i>	巨尾阿丽蝇 <i>Aldrichina grahami</i>
		绿蝇属 <i>Lucilia</i>	丝光绿蝇 <i>Lucilia sericata</i>
	麻蝇科 Sarcophagidae	麻蝇属 <i>Sarcophaga</i>	黑尾黑麻蝇 <i>Sarcophaga melanura</i>
	食虫虻科 Asilidae	羽芒食虫虻属 <i>Ommatius</i>	羽芒食虫虻 <i>Ommatius sp.</i>
	食蚜蝇科 Syrphidae	管蚜蝇属 <i>Eristalis</i>	灰带管蚜蝇 <i>Eristalis cerealis</i>
			长尾管蚜蝇 <i>Eristalis tenax</i>
		黑带食蚜蝇属 <i>Musca</i>	黑带食蚜蝇 <i>Musca domestica</i>
	蝇科 Muscidae	家蝇属 <i>Episyrphus</i>	家蝇 <i>Episyrphus balteatus</i>
	蚊科 Culicidae	按蚊属 <i>Anopheles</i>	中华按蚊 <i>Anopheles sinensis</i>
		库蚊属 <i>Culex</i>	淡色库蚊 <i>Culex pipiens</i>
		伊蚊属 <i>Aedes</i>	白纹伊蚊 <i>Aedes albopictus</i>
		摇蚊属 <i>Oedaleus</i>	摇蚊 <i>Oedaleus infernalis</i>
直翅目 Orthoptera	斑翅蝗科 Oedipodidae	车蝗属 <i>Aiolopus</i>	黄胫小车蝗 <i>Aiolopus thalassinus</i>
		绿纹蝗属 <i>Oxya</i>	花胫绿纹蝗 <i>Oxya chinensis</i>
	斑腿蝗科 Catantopidae	稻蝗属 <i>Tetrix</i>	中华稻蝗 <i>Tetrix japonica</i>
	蝗科 Acrididae	蚱属 <i>Acrida</i>	中华剑角蝗 <i>Acrida cinerea</i>
		剑角蝗属 <i>Velarifictorus</i>	中华蚱蜢 <i>Velarifictorus micado</i>
	蟋蟀科 Gryllidae	斗蟋属 <i>Teleogryllus</i>	中华斗蟋 <i>Teleogryllus emma</i>
		油葫芦属 <i>Conocephalus</i>	黄脸油葫芦 <i>Conocephalus maculatus</i>
	螽斯科 Tettigoniidae	草螽属 <i>Ducetia</i>	斑翅草螽 <i>Ducetia japonica</i>
		条螽属 <i>Atractomorpha</i>	日本条螽 <i>Atractomorpha sinensis</i>
	锥头蝗科 Pyrgomorphidae	负蝗属 <i>Hyalessa</i>	短额负蝗 <i>Hyalessa maculaticollis</i>

膜翅目、蜚蠊目、脉翅目、蜻蜓目、革翅目和毛翅目。优势科分别是鳞翅目 21 科, 占 25.30%; 半翅目 18 科, 占 21.69%; 鞘翅目 15 科, 占 18.07% (图 1: A)。

优势种分别是鳞翅目 59 种, 占 34.30%; 半翅目 43 种, 占 25%; 鞘翅目 28 种, 占 15.70%。鳞翅目在科数和物种数上均排首位, 鞘翅目、半翅目的科数和种数紧随其后 (图 1: B)。

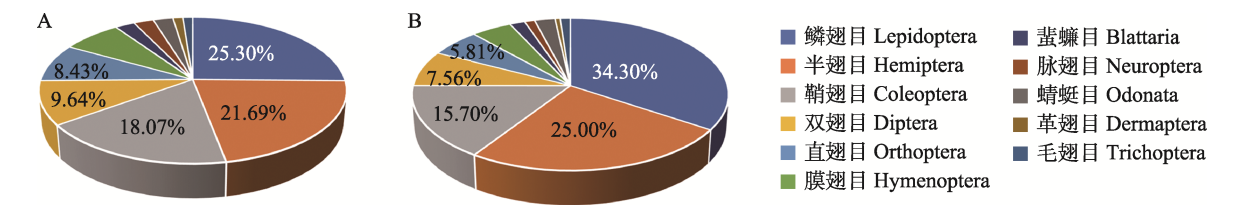


图 1 三峡坝区昆虫科数 (A) 和种数 (B) 组成示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the composition of the number of insect families (A) and species (B) in the Three Gorges Dam Area

2.3 昆虫的多样性组成

以 2022 年通过样线法在三峡坝区内采集鉴定的昆虫进行多样性分析, 各时期的昆虫种类存在较大差异, 结果显示:

(1) 采集到昆虫多样性较高的区域是分水岛珍稀植物专类园, 所采集的昆虫物种数为 32 种, 个体数为 157 头, 该调查区域昆虫 Shannon-Wiener

多样性指数为 3.135 6, Margalef 丰富度指数为 6.131 0, Pielou 均匀度指数为 0.904 8 (表 2)。

(2) 采集昆虫多样性较低的区域有三峡东岳庙大数据中心沿江区域, 所采集的昆虫物种数仅为 13 种, 个体数为 50 头, 该调查区域昆虫 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.521 4, Margalef 丰富度指数为 3.067 5, Pielou 均匀度指数为 0.983 0 (表 2)。

表 2 三峡坝区 2022 年昆虫多样性指数统计表
Table 2 Statistical table of insect diversity index in the Three Gorges Dam Area in 2022

调查地点 Survey location	物种数 Species	个体数 Number	H'	ds	J
长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所上围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) upper perimeter of the old house	21	105	2.829 6	4.297 4	0.929 4
长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所下围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) lower perimeter of the old house	19	204	2.452 5	3.384 7	0.832 9
长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 新所 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) new institute	26	125	3.113 3	5.17 8	0.955 5
三峡东岳庙大数据中心沿江区域 Three Gorges Dongyue Temple big data center along the river	13	50	2.521 4	3.067 5	0.983 0
分水岛珍稀植物专类园 Watershed Island rare plant garden	32	157	3.135 6	6.131 0	0.904 8
185 平台珍稀植物科研示范区 185 platform rare plant scientific research demonstration area	22	84	2.884 1	4.739 5	0.933 1
东园和西园 East Park and West Park	29	202	2.963 4	5.274 7	0.880 1

2.4 昆虫多样性指数分析

2.4.1 第 1 次昆虫调查多样性指数分析 在 2022 年 5 月通过样线法对三峡坝区 7 个地点所采集的昆虫资源进行多样性分析, 由表 3 可知, 分水岛珍稀植物专类园昆虫种类和多样性最高, 其昆虫物种数达 12 种, 个体数达到 76 头; Shannon-

Wiener 多样性指数为 2.276 7、Margalef 丰富度指数为 2.540 0; Pielou 均匀度指数为 0.916 2, 此调查点物种分布最为丰富。三峡东岳庙大数据中心沿江区域和 185 平台珍稀植物科研示范区 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数最低, 此调查点因多处喷施农药, 导致物种多样性降低 (表 3)。

表 3 三峡坝区第 1 次昆虫调查多样性指数统计表
Table 3 Statistical table of diversity index of the first insect survey in the Three Gorges Dam Area

调查地点 Survey location	物种数 Species	个体数 Number	H'	ds	J
长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所上围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) upper perimeter of the old house	4	47	1.141 5	0.779 2	0.823 4
长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所下围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) lower perimeter of the old houser	3	20	0.856 8	0.667 6	0.779 9
长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 新所 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) new institute	7	37	1.709 0	1.661 6	0.878 3
三峡东岳庙大数据中心沿江区域 Three Gorges Dongyue Temple big data center along the river	1	3	0	0	0
分水岛珍稀植物专类园 Watershed Island rare plant garden	12	76	2.276 7	2.540 0	0.916 2
185 平台珍稀植物科研示范区 185 platform rare plant scientific research demonstration area	1	1	0	0	0
东园和西园 East Park and West Park	8	51	1.428 0	1.780 3	0.686 7

2.4.2 第 2 次昆虫调查多样性指数分析 在 2022 年 8 月通过样线法对三峡坝区 7 个地点所采集昆虫资源进行多样性分析, 由表 4 可知, 分水岛珍稀植物专类园物种数最高, 为 20 种; 东园和西园的昆虫个体数最高, 为 127 头; 分水岛珍稀植物专类园的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数最高, 分别为 2.709 8 和 4.487 4; 长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 新所 Pielou 均匀度最高为 0.9365, 此调查点物种分布最为平均。三峡东岳庙大数据中心沿江区域 Shannon-Wiener 多样性指数最低为 1.761 7; 185 平台珍稀植物科研示范区 Margalef 丰富度指数最低为 1.968 9; 长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所下围 Pielou 均匀度指数最低为 0.717 2 (表 4)。

2.4.3 第 3 次昆虫调查多样性指数分析 在 2022

年 10 月通过样线法对三峡坝区 7 个地点所采集昆虫资源进行多样性分析, 由表 5 可知, 185 平台珍稀植物科研示范区昆虫物种数最高, 为 14 种; 长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所下围调查到的昆虫个体数最多, 为 75 头; 185 平台珍稀植物科研示范区的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数最高, 分别为 2.163 4 和 3.358 1; 三峡东岳庙大数据中心沿江区域均匀度最高为 0.938 8, 此调查点物种分布最为平均。长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所上围 Shannon-Wiener 多样性指数最低为 0.900 3, 此调查点刚进行割草处理, 导致物种多样性降低; 分水岛珍稀植物专类园 Margalef 丰富度指数最低为 0.804 9; 长江珍稀植物培育基地 (宜昌) 老所下围 Pielou 均匀度指数最低为 0.605 9 (表 5)。

表 4 三峡坝区第 2 次昆虫调查多样性指数统计表

Table 4 Statistical table of diversity index of the second insect survey in the Three Gorges Dam Area

调查地点 Survey location	物种数 Species	个体数 Number	H'	ds	J
长江珍稀植物培育基地（宜昌）老所上围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) upper perimeter of the old house	15	50	2.297 3	3.578 7	0.848 3
长江珍稀植物培育基地（宜昌）老所下围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) lower perimeter of the old house	12	109	1.782 1	2.344 7	0.717 2
长江珍稀植物培育基地（宜昌）新所 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) new institute	11	35	2.245 5	2.812 7	0.936 5
三峡东岳庙大数据中心沿江区域 Three Gorges Dongyue Temple big data center along the river	8	29	1.761 7	2.078 8	0.847 2
分水岛珍稀植物专类园 Watershed Island rare plant garden	20	69	2.709 8	4.487 4	0.904 6
185 平台珍稀植物科研示范区 185 platform rare plant scientific research demonstration area	8	35	1.866 0	1.968 9	0.897 4
东园和西园 East Park and West Park	15	127	2.145 3	2.890 1	0.792 2

表 5 三峡坝区第 3 次昆虫调查多样性指数统计表

Table 5 Statistical table of diversity index of the third insect survey in the Three Gorges Dam Area

调查地点 Survey location	物种数 Species	个体数 Number	H'	ds	J
长江珍稀植物培育基地（宜昌）老所上围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) upper perimeter of the old house	3	8	0.900 3	0.961 8	0.819 4
长江珍稀植物培育基地（宜昌）老所下围 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) lower perimeter of the old house	5	75	0.975 2	0.926 5	0.605 9
长江珍稀植物培育基地（宜昌）新所 Yangtze River rare plant cultivation base (Yichang) new institute	8	53	1.916 5	1.763 1	0.921 6
三峡东岳庙大数据中心沿江区域 Three Gorges Dongyue Temple big data center along the river	4	18	1.301 5	1.037 9	0.938 8
分水岛珍稀植物专类园 Watershed Island rare plant garden	3	12	1.028 2	0.804 9	0.935 9
185 平台珍稀植物科研示范区 185 platform rare plant scientific research demonstration area	14	48	2.163 4	3.358 1	0.819 8
东园和西园 East Park and West Park	6	24	1.646 8	1.573 3	0.919 1

2.5 昆虫红色名录物种

由表 6 可知, 此次调查共发现 18 种中国红色名录物种, 17 种为鳞翅目蝶类昆虫, 分别为粉蝶科 2 种, 凤蝶科 2 种, 灰蝶科 5 种, 蛱蝶科 3 种, 弄蝶科 2 种, 眼蝶科 3 种, 其中密纹矍眼蝶 *Ypthima multistriata* (图 2) 评估等级为易危 (VU) 昆虫, 其余 16 种评估等级为无危, 在野外较为常见。此外, 还发现 1 种鞘翅目金龟科昆

虫阳彩臂金龟 *Cheirotonus jansoni* (图 3), 评估等级为易危昆虫, 为国家二级保护动物。

3 结论与讨论

经过从古至今的探索, 世界上已鉴定的动物约有 134.69 万种, 其中昆虫包含 100 多万种, 约占已知动物种类的 75%(Kareem *et al.*, 2022)。昆虫是当前人类验证气候变化和生态系统的良

好指标, 已有研究表明随着全球气候变暖, 昆虫种群随之发生了变化(李雪梅等, 2020; 王凯等, 2022)。三峡工程在创造巨大社会效益和经济效益的同时, 对生态环境的影响也引起了热议。研究表明, 三峡水库蓄水后库区鱼类多样性显著下降(吴强等, 2007; 魏念等, 2021)。肖红艳和

表 6 三峡坝区中国红色名录物种信息表
Table 6 China species red lists of insects in the Three Gorges Dam Area

种 Species	中国物种红色名录 评估等级 Assessment level of Chinese species red list
橙黄豆粉蝶 <i>Colias fieldii</i>	无危 LC
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>	无危 LC
青凤蝶 <i>Graphium sarpedon</i>	无危 LC
碎斑青凤蝶 <i>Graphium chironides</i>	无危 LC
蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>	无危 LC
亮灰蝶 <i>Lampides boeticus</i>	无危 LC
点玄灰蝶 <i>Tongeia filicaudis</i>	无危 LC
多眼灰蝶 <i>Polyommatus eros</i>	无危 LC
尖翅银灰蝶 <i>Curetis acuta</i>	无危 LC
斐豹蛱蝶 <i>Argynnis hyperbius</i>	无危 LC
黑脉蛱蝶 <i>Hestina assimilis</i>	无危 LC
翠蓝眼蛱蝶 <i>Junonia orithya</i>	无危 LC
曲纹稻弄蝶 <i>Parnara ganga</i>	无危 LC
直纹稻弄蝶 <i>Parnara guttata</i>	无危 LC
矍眼蝶 <i>Ypthima balda</i>	无危 LC
晚暮眼蝶 <i>Melanitis phedima</i>	无危 LC
密纹矍眼蝶 <i>Ypthima multistriata</i>	易危 VU
阳彩臂金龟 <i>Cheironotus jansoni</i>	易危 VU

无危: 当一分类单元被评估未达到极危、濒危、易危或者近危标准, 该分类单元即列为无危, 广泛分布和种类丰富的分类单元都属于该等级; 易危: 当一分类单元未达到极危或者濒危标准, 但是在未来一段时间后其野生种群面临绝灭的机率较高。

LC: A taxon is classified as least concern when it is assessed as not meeting the criteria for critically endangered (CR), endangered (EN), vulnerable (VU) or near threatened (NT). Widely distributed and diverse taxa belong to this class; VU: When a taxon does not meet the criteria for critically endangered or endangered, but its wild population has a high chance of extinction after a period of time.



图 2 密纹矍眼蝶野外生态照
Fig. 2 Ecological photograph of *Ypthima multistriata* in the field



图 3 阳彩臂金龟野外生态照
Fig. 3 Ecological photograph of *Cheironotus jansoni* in the field

岳俊生(2016)曾对三峡库区澎溪河消落带地表昆虫进行初步的调查研究, 共发现 8 目 33 科昆虫, 主要优势类群均集中于半翅目, 在不同生境中, 地表昆虫类群分布不均。

此次三峡坝区的昆虫多样性本底调查, 共调查发现 11 目 83 科 155 属 173 种昆虫, 优势类群集中于鳞翅目、鞘翅目和半翅目。除长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所下围和三峡东岳庙大数据中心沿江区域内植物为人工造景种植或受到人为害虫防控的干扰, 导致 Shannon-Wiener 多样性及 Pielou 均匀度指数较低外, 其余地区 Shannon-Wiener 多样性指数在 2.8-3.1 之间, Margalef 丰富度指数在 4.2-6.2 之间; Pielou 均匀度指数均在 0.9 左右。调查数据表明坝区内昆虫分布均匀且丰富, 侧面印证了三峡坝区生态环境良好, 且坝区内植物分布种类较多, 给昆虫生存和繁衍提供了丰富的栖息地。

中国物种红色名录是生物多样性状况最具权威的指标之一,其分类等级决定了物种保护程度以及未来灭绝的可能性(蒋志刚和罗振华, 2012)。本次调查发现了 18 种红色名录昆虫,其中 17 种为鳞翅目蝶类昆虫。据报道,蝴蝶可以对生境破碎化做出反应,被认为是代表生物多样性状况和关键生态系统功能的重要指标(Rybicki *et al.*, 2020),并被国际上公认是陆地生态系统生态环境健康最佳指示生物(袁迪等, 2023)。1976 年英国将蝴蝶纳入生物多样性观测,2007 年苏格兰将蝴蝶纳入环境健康的官方指示生物,随后,美国、澳大利亚和日本等国均将蝴蝶纳入到生态环境健康的指示物种。中国生态环境部于 2016 年首次启用蝴蝶进行生物多样性监测。此次在三峡坝区发现大量红色名录蝴蝶,说明三峡坝区目前生态环境质量健康,植被和寄主植物丰富,为上述中国物种红色名录蝶类的栖息和繁殖提供了适宜场所。

对三峡坝区 2022 年调查结果进行分析,我们发现:(1)坝区内杜鹃冠网蝽 *Stephanitis pyrioides* 分布较广,由于寄主杜鹃花在园区内也广泛分布,导致杜鹃冠网蝽危害严重,使叶片背面呈现锈黄色,叶片正面出现针点状白色斑点。(2)由于 185 平台珍稀植物科研示范区种植大量珍稀植物,园区内施用了成分为 25%氯氰菊酯(商品名毒死蜱),园区内几乎没有害虫分布,大部分为膜翅目蜜蜂科昆虫。(3)坝区内以鳞翅目昆虫居多,鳞翅目昆虫主要为蝶、蛾两类,具有高度灵敏特异的嗅觉系统,可以识别各类植物挥发物,从而寻找到寄主植物并完成取食和产卵等行为。绝大多数种类的幼虫为害各类栽培植物,体形较大者常食尽叶片或钻蛀枝干。体形较小者往往卷叶、缀叶、结鞘、吐丝结网或钻入植物组织取食,成虫多以花蜜等作为补充营养,或口器退化不再取食,一般不造成直接危害。(4)坝区内发现多种珍稀保护动物,国家二级保护珍稀野生动物阳彩臂金龟于东园和西园发现,中国红色物种名录易危昆虫密纹矍眼蝶于长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所上围区域发现。东园和西园及长江珍稀植物培育基地(宜昌)老所上围区

域植被类型丰富、植物密度高,且寄主植物丰富,为上述保护昆虫的栖息和繁殖提供了适宜场所。

通过对三峡坝区气候变化指示昆虫蝶类的调查,以密纹矍眼蝶为例,我们认为威胁蝴蝶的因素包括:(1)全球气候变暖是威胁因素之一:蝴蝶是变温昆虫,自身不能调节温度,随着近年来全球气候变暖,极大地影响了密纹矍眼蝶的生命活动和种群繁衍(Hansen *et al.*, 2012);(2)寄主植物的减少威胁种群取食和繁殖:密纹矍眼蝶主要取食寄主植物芒、棕叶狗尾草等禾本科和莎草科植物,近年来人为活动导致野外禾本科和莎草科植物的生长和繁殖受到影响,直接威胁到密纹矍眼蝶的生存和种群繁衍;(3)旅游开发威胁到密纹矍眼蝶的交配和繁殖:近年来,随着社会的发展和人民生活水平的提高,旅游开发极大的干扰了密纹矍眼蝶正常的取食、栖息和交配等行为,对密纹矍眼蝶的栖息和繁殖威胁较大。

通过对三峡坝区昆虫资源本底调查,以及中国物种红色名录及环境指示昆虫威胁因子的评估,三峡坝区的昆虫多样性保护建议如下:(1)保护昆虫种群栖息地:确保昆虫栖息地的完整性、连通性和多样性,保障昆虫的生存和繁殖(张文武等, 2022);(2)减少农业化肥农药等污染源:化肥农药对昆虫的栖息地和繁殖场所构成了极大的威胁,并杀死了大量传粉昆虫,建议减少化肥农药的施用,使用绿色农药;(3)加大水环境保护:调查过程中发现过去常见的萤火虫,现在几乎绝迹,因此,需要加强水源的监管,减少农业和工业水源污染;(4)加大蝴蝶寄主植物种植:本次调查发现三峡坝区蝴蝶种类较多,建议相关部门在野外种植芸香科、马兜铃科、樟科、木兰科、朴树、榆树和堇菜科等植物,为蝴蝶幼虫提供充足的食物来源;(5)加大蜜源植物种植:针对旅游区人为干扰等问题,建议在三峡坝区周围种植蜜源植物,如蜀葵科和锦葵科植物,为传粉昆虫提供取食和繁殖的“避难所”;(6)加强昆虫多样性保护教育:宣传昆虫多样性的重要性,以及人类与昆虫之间的相互依赖关系,促进人与自然和谐共生。

参考文献 (References)

- Banks JE, Reyes-Gallegos E, Njoroge L, 2022. Insect diversity and abundance measured two decades after farmland conversion to forest using different human-assisted restoration strategies in Gede, Kenya. *The Pan-Pacific Entomologist*, 98(1): 28–41.
- Cao TQ, Zhao XY, Yang SH, Luo ZW, 2021. Analysis of insect community diversity in different habitats of Yinglongshan Forest Park. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 49(16): 130–135. [曹天祺, 赵馨宇, 杨舒涵, 罗志文, 2021. 应龙山森林公园不同生境昆虫群落多样性分析. 安徽农业科学, 49(16): 130–135.]
- Chen ZM, Huang XD, Zhang M, Li ZS, Chang ZM, Long JK, 2021. A study on the diversity of insect communities in scrub grassland of Karst Plateau Mountainous Area. *Journal of Environmental Entomology*, 43(5): 1178–1189. [陈志敏, 黄秀东, 张茂, 李中森, 常志敏, 龙见坤, 2021. 喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性研究. 环境昆虫学报, 43(5): 1178–1189.]
- Guang CM, Wang HL, Zhang YH, Fan YX, Li Y, 2022. Insect diversity survey in Linxia Taizishan National Nature Reserve. *Modern Agricultural Science and Technology*, 20: 149–152. [广春梅, 王洪亮, 张玉华, 范译心, 李铀, 2022. 临夏太子山国家级自然保护区昆虫多样性调查. 现代农业科技, 20: 149–152.]
- Hansen J, Sato M, Ruedy R, 2012. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37): E2415–E2423.
- Han YR, Xue QQ, Song HJ, Qi YJ, Gao RH, Cui SH, Men LN, Zhang ZW, 2022. Diversity of flower-visiting insects and their influencing factors in Yanshan Area. *Biodiversity Science*, 30(3): 48–59. [韩艺茹, 薛琪琪, 宋厚娟, 祁靖宇, 高瑞贺, 崔绍朋, 门丽娜, 张志伟, 2022. 燕山地区访花昆虫多样性及其影响因素. 生物多样性, 30(3): 48–59.]
- He Q, Yang GD, Wang Y, Ji XY, Wang PC, 2022. Progress, problems and suggested countermeasures for biodiversity conservation in Jiangsu Province. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 14(4): 5–10. [何卿, 杨国栋, 王雨, 季芯悦, 王鹏程, 2022. 江苏生物多样性保护进展、问题及对策建议. 环境监控与预警, 14(4): 5–10.]
- He SJ, 2023. Survey and diversity of insect resources in Laifeng and Hefeng Counties, Wuling Mountain Region. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [何帅洁, 2023. 武陵山区来凤县和鹤峰县昆虫资源调查与多样性研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Huang ZL, 2001. Biodiversity conservation in the Three Gorges project. *Biodiversity Science*, 9(4): 472–481. [黄真理, 2001. 三峡工程中的生物多样性保护. 生物多样性, 9(4): 472–481.]
- Jiang ZG, Luo ZH, 2012. Assessing the threatened status of species: Research progress and the case of China. *Biodiversity Science*, 20(5): 612–622. [蒋志刚, 罗振华, 2012. 物种受威胁状况评估: 研究进展与中国的案例. 生物多样性, 20(5): 612–622.]
- Kareem A, Aljaafari RK, Abaas MA, Al-Zurfi SM, Fazaa NA, Al-Sheikhly OF, Haba MK, Whittingham MJ, 2022. Study of insect diversity in areas surrounding the central marsh in southern Iraq. *Earth and Environmental Science*, 1002(1): 012002.
- Li XM, Xiao NW, He SJ, Zheng XX, Liu YC, Wu G, 2020. Survey and evaluation of insect diversity in Hefeng County, Hubei Province, Wuling Mountain Region. *Journal of Plant Protection*, 47(6): 1381–1382. [李雪梅, 肖能文, 何帅洁, 郑晓旭, 刘宇琛, 吴刚, 2020. 武陵山区湖北省鹤峰县昆虫多样性调查与评价. 植物保护学报, 47(6): 1381–1382.]
- Lin FM, Deng HL, Yuan XZ, Liu H, Wu YY, 2012. Survey and analysis of butterfly diversity in different habitat types in the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 29(5): 26–30. [林芳森, 邓合黎, 袁兴中, 刘红, 吴玉源, 2012. 三峡库区不同生境类型蝶类多样性调查及分析. 重庆师范大学学报(自然科学版), 29(5): 26–30.]
- Liu YC, Xiao NW, Lin YH, Huang F, Shang FG, Zhang YH, Li XM, He SJ, Wu G, 2023. Insect resource survey and diversity analysis in Laifeng County, Wuling Mountain Area. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(3): 971–979. [刘宇琛, 肖能文, 林银海, 黄峰, 尚方格, 张云慧, 李雪梅, 何帅洁, 吴刚, 2023. 武陵山区来凤县昆虫资源调查与多样性分析. 应用昆虫学报, 60(3): 971–979.]
- Mhlanga L, Kapembeza C, Sithole R, Kativu S, 2022. Variation in ground insect diversity, composition and abundance across land use types in an African savanna, Zimbabwe. *Scientific African*, 16(133): e01204.
- Ravi R, Priyadarsanan RD, 2022. Habitat quality and edge area of fragments determine insect diversity in a heavily used landscape: Implications for forest landscape restoration. *Biotropica*, 54(6): 1440–1456.
- Rybicki J, Abrego N, Ovaskainen O, 2020. Habitat fragmentation and species diversity in competitive communities. *Ecology Letters*, 23(3): 506–517.
- Sollai G, Solari P, 2022. An overview of “insect biodiversity”. *Diversity*, 14(2): 134.
- Tan X, Dong Z, Zhang LM, Yuan ZX, Li CX, 2023. Seasonal variation characteristics and functional prediction of rhizosphere bacterial communities of two suitable herbaceous plants in the Three Gorges reservoir zone. *Acta Ecologica Sinica*, 43(23): 9699–9709. [谭雪, 董智, 张丽苗, 袁中勋, 李昌晓, 2023. 三

- 峡库区消落带两种适生草本植物根际细菌群落季节变化特征及功能预测. *生态学报*, 43(23): 9699–9709.]
- Wang K, Wang C, Feng XY, Wu X, Bo BJ, 2022. Progress in the study of the relationship between biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Acta Ecologica Sinica*, 42(1): 11–23. [王凯, 王聪, 冯晓明, 伍星, 傅伯杰, 2022. 生物多样性与生态系统多功能性的关系研究进展. *生态学报*, 42(1): 11–23.]
- Wang MQ, Luo AR, Zhou QS, Douglas C, Chen JT, Guo SK, Yang JJ, Guo PF, Li Y, Zhang F, Peng YQ, Luo SX, Ge SQ, Bai M, Xiao ZS, Chen J, Zhou HZ, Yu JP, Zhu CD, 2022. Progress of China's Insect Diversity Monitoring and Research Network. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1192–1204. [王明强, 罗阿蓉, 周青松, DOUGLAS Chesters, 陈婧婷, 郭士琨, 杨娟娟, 郭鹏飞, 李逸, 张峰, 彭艳琼, 罗世孝, 葛斯琴, 白明, 肖治术, 陈军, 周红章, 余建平, 朱朝东, 2022. 中国昆虫多样性监测与研究进展. *应用昆虫学报*, 59(6): 1192–1204.]
- Wei N, Zhang Y, Wu F, Shen ZW, Ru HJ, Ni ZH, 2021. Current status and changes in fish assemblages in the Three Gorges Reservoir. *Resources and Environment in The Yangtze Basin*, 30(8): 1858–1869. [魏念, 张燕, 吴凡, 沈子伟, 茹辉军, 倪朝辉, 2021. 三峡库区鱼类群落结构现状及变化. *长江流域资源与环境*, 30(8): 1858–1869.]
- Wu Q, Duan XB, Xu SY, Xiong CX, 2007. Studies on fishery resources in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River. *Freshwater Fisheries*, 37 (2): 70–75. [吴强, 段辛斌, 徐树英, 熊传喜, 陈大庆, 2007. 长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状. *淡水渔业*, 37(2): 70–75.]
- Xiao HY, Yue JS, 2016. A preliminary study on the diversity of surface insects in the Pengxi River floodplain in the Three Gorges Reservoir Area. *Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges*, 1(2): 58–64. [肖红艳, 岳俊生, 2016. 三峡库区澎溪河消落带地表昆虫多样性初步研究. *三峡生态环境监测*, 1(2): 58–64.]
- Yang JA, Chen ZH, 2002. Regional climate characteristics of the Three Gorges Dam Area. *Meteorological Science and Technology*, 30(5): 292–299. [杨荆安, 陈正洪, 2002. 三峡坝区区域性气候特征. *气象科技*, 30(5): 292–299.]
- Yuan D, Zhang Z, Gao M, Li LY, Shan XY, 2023. Characterization of butterfly diversity in urban green spaces and its influencing elements. *World Forestry Research*, 36(3): 39–44. [袁迪, 张喆, 高敏, 李兰英, 单新钰, 2023. 城市绿地蝶类多样性特点及其影响要素. *世界林业研究*, 36(3): 39–44.]
- Zhang CM, 2022. A preliminary study of insect diversity in the Taihang Mountains Macaque Nature Reserve (Jiyuan section). Master dissertation. Zhengzhou: Zhengzhou University. [张传敏, 2022. 太行山猕猴自然保护区(济源段)昆虫多样性初步研究. 硕士学位论文. 郑州: 郑州大学.]
- Zhou CY, 2023. Biodiversity and ecosystem multifunctionality in alpine meadows with different degradation levels. Master dissertation. Xining: Qinghai Normal University. [周宸宇, 2023. 不同退化程度高寒草甸生物多样性与生态系统多功能性的研究. 硕士学位论文. 西宁: 青海师范大学.]
- Zhang WW, Wang MJ, Yang H, Xiao NW, Huang GH, 2022. Habitat characteristics of the Hunan population of *Luehdorfia chinensis* and its ecological conservation strategy. *Acta Ecologica Sinica*, 42(7): 2626–2635. [张文武, 王明鉴, 杨华, 肖能文, 黄国华, 2022. 中华虎凤蝶湖南种群栖息地特性及其生态保护策略. *生态学报*, 42(7): 2626–2635.]
- Zhou Y, Quan ZH, Duan MW, Yan F, Li X, HuY, Zhang D, 2023. Analysis of the effect of improvement of traditional lamp trapping method based on forest stand insect diversity survey. *Acta Ecologica Sinica*, 43(16): 6851–6861. [周阳, 权子豪, 段曼微, 严飞, 李香, 胡阳, 张东, 2023. 基于林分昆虫多样性调查的传统灯诱法改进效果分析. *生态学报*, 43(16): 6851–6861.]
- Zou Y, Liu JW, Li LK, Xiao ZJ, Chen FJ, 2020. Characterization of insect diversity in different habitats in Yanqing District, Beijing, China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1161–1172. [邹言, 刘佳文, 李立坤, 肖子衿, 陈法军, 2020. 北京市延庆区不同生境昆虫多样性特征调查分析. *应用昆虫学报*, 57(5): 1161–1172.]