

DOI: 10.5846/stxb202103300824

张文武, 王明鉴, 杨华, 肖能文, 黄国华. 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, 2022, 42(7): 2626-2635.

Zhang W W, Wang M J, Yang H, Xiao N W, Huang G H. Habitat character and ecological protection strategies of *Luehdorfia chinensis* Leech, 1893 population in Hunan. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2626-2635.

中华虎凤蝶湖南种群栖息地特性及其生态保护策略

张文武¹, 王明鉴¹, 杨 华¹, 肖能文², 黄国华^{3,4,*}

1 湖南乌云界国家级自然保护区管理局, 桃源 415700

2 中国环境科学研究院, 北京 100012

3 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128

4 植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室, 长沙 410128

摘要: 自 2009 年首次在湖南乌云界国家级自然保护区发现中华虎凤蝶种群以来, 在该保护区持续开展了 10 余年的野外调查监测。通过对中华虎凤蝶湖南种群 6 个分布点的野外观测数据分析, 结果表明中华虎凤蝶湖南种群栖息环境中的植被以禾本科、菊科、蔷薇科、百合科及豆科植物为主, 共计有 46 科 96 属 128 种; 不同栖息生境中种群数量差异较大, 高山灌草丛为中华虎凤蝶湖南种群的主要生境, 而梯田生境、乔木林生境中, 其种群数量均很低, 展现出与低矮芒草丛的保温遮阴特性以及寄主植物的分布密切相关。寄主植物的复壮和围栏的建设对中华虎凤蝶湖南种群的栖息环境起到了明显的保护作用、对其种群数量的增效作用显著。为深入研究中华虎凤蝶湖南种群的生物学和生态学特性提供了基础数据, 为中华虎凤蝶湖南种群的保育工作开展奠定了理论基础, 也为当地保护区的保护措施优化提供了科学依据。

关键词: 国家二级保护物种; 中华虎凤蝶; 野外监测; 生境调查; 植被组成

Habitat character and ecological protection strategies of *Luehdorfia chinensis* Leech, 1893 population in Hunan

ZHANG Wenwu¹, WANG Mingjian¹, YANG Hua¹, XIAO Nengwen², HUANG Guohua^{3,4,*}

1 Hunan Wuyunjie National Nature Reserve, Taoyuan 415700, China

2 Chinese Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China

3 College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

4 Hunan Provincial Key Laboratory for Biology and Control of Plant Diseases and Insect Pests, Changsha 410128, China

Abstract: Since 2009 with *Luehdorfia chinensis* Leech, 1893 population in Hunan Wuyunjie National Nature Reserve discovered, the field investigation and monitoring were carried out over ten years, and the field biological characters were observed. The results showed that the local vegetation was composed of 128 plant species belonging to 96 genera in 47 families, mainly Poaceae, Asteraceae, Rosaceae, Liliaceae and Fabaceae. The *L. chinensis* populations in Hunan was distinctly preferred to the shrub grass habitat on the top of mountain but rarely in terrace habitat and arbor forest habitat, which might be related to the heat preservation and shade characters of *Miscanthus* spp. and the distribution of host plants *Asarum sieboldii*. Planting of host plants and construction of fences have a direct impact on the habitat of *L. chinensis* and then observably effect to its population. The present study can provide some direct evidences for biology and ecology, and theoretical basis for the conservation of *L. chinensis*, and also can provide some scientific basis for the protection measures of

基金项目: 生态环境部生物多样性调查与评估项目(2019HJ2096001006); 国家重点研发计划(2018YFC0507206); 湖南农业大学与乌云界国家级自然保护区合作研究项目(WYJNRR00001-2019); 广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金项目(2020GDASYL-20200102021)

收稿日期: 2021-03-30; **采用日期:** 2022-02-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ghhuang@hunau.edu.cn

local reserves.

Key Words: National secondary protected species; *Luehdorfia chinensis* Leech, 1893; field detection; habitat survey; vegetation composition

随着全球人口增长、环境异化和资源过度利用,物种灭绝的速率较历史背景灭绝率高出 100—1000 倍,极有可能面临第六次大灭绝^[1]。物种的丧失将导致生态系统结构和生态功能变化,进而影响生态与资源安全,甚至威胁人类的生存^[2]。中国疆域辽阔,境内地貌多样、气候迥异,是世界上物种最丰富的国家之一,同时也是受威胁最为严重的国家之一^[3]。目前,我国的野生动植物资源保护面临着巨大的压力,许多物种的生存受到威胁甚至濒临灭绝,情况不容乐观,生物多样性保护亟待进一步加强^[4]。为保留自然本底,保护珍贵、稀有生态资源,我国从 1965 年开始建立自然保护区,此后 50 多年其数量和面积稳步增长,截止 2018 年,我国已建成包括自然保护区、风景名胜区、森林公园、湿地公园等在内的各类保护地 1.18 万处,总面积占国土面积的 18% 以上^[5-6]。自然保护区作为特殊生境、生态系统以及生物多样性的集中分布区域和承载地,也被认为是目前最有效的保护措施之一,非常适合珍稀物种就地保护^[3,7]。

中华虎凤蝶 *Luehdorfia chinensis* Leech, 1893 隶属鳞翅目 Lepidoptera 凤蝶科 Papilionidae,是世界珍稀蝶类之一,乃中国特有种,被列为国家二级重点保护野生动物,因其独特性和珍贵性而被誉为“国宝”^[8]。1996 年被选为中国昆虫学会蝴蝶分会的会徽图案,2009 年作为江苏动物代表成为江苏的“生物名片”。作为国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值陆生野生动物,在国际濒危动物保护委员会(IUCN)受威胁物种红皮书中被列为 K 级保护对象^[9-11]。中华虎凤蝶仅分布于我国的秦岭山脉和长江中下游一带^[12-13],1 年发生 1 代,成虫出现在 3 月至 4 月,寿命仅 12—15 d,从蛹到成虫需要经历两次滞育进行越冬越夏,野外 1 龄幼虫至预蛹期的存活率约为 28.57%,该特性使其种群发展极大受限^[14]。而中华虎凤蝶的寄主植物杜衡 *Asarum forbesii* Maxim. 和细辛 *Asarum sieboldii* Miq., 作为紧俏的中草药具有散风驱寒、消痰、活血、平喘、定痛等功效^[15-16],人为的野生中草药采集导致其寄主植物大量减少,进一步影响了中华虎凤蝶的种群数量。例如,20 世纪 70 年代末的庐山,由于药农受经济利益驱使,使成片的杜衡、细辛被破坏,导致中华虎凤蝶数量在当地急剧减少^[8];另外,南京作为中华虎凤蝶的分布中心之一,2004 年被指数量消失了 2/3^[17]。随着盗采等人为活动以及环境变化、气候变化等因素,中华虎凤蝶种群数量受到了极大的影响,保护工作迫在眉睫。

2009 年 3 月首次在湖南乌云界国家级自然保护区海拔较高的草丛地带发现中华虎凤蝶野生种群及其寄主植物细辛^[18],保护区迅速实施中华虎凤蝶湖南种群保护措施,对其进行就地保护,并开展生物学和生态学观测以及种群保育研究工作。本文在此基础上,从环境变化、人为干扰等方面探讨了中华虎凤蝶湖南种群的栖息地特性及其生态保护策略,以期中华虎凤蝶保育提供理论基础和科学依据。

1 试验地概况

湖南乌云界国家级自然保护区(28°30'—28°39' N, 111°07'—111°29' E)位于湖南省桃源县南部,与益阳市安化县接壤。地处雪峰山余脉的北坡,属云贵高原向湘赣丘陵、湘西山地向洞庭湖平原过渡的典型地带。2006 年 2 月,经国务院正式批准建立国家级自然保护区,占地面积 33339.62 hm²,核心区 16385 hm²,属森林生态系统类型保护区。年平均气温 14.2℃,降雨量丰富,年降雨量在 1800—2500 mm 之间,属中亚热带向北亚热带过渡的季风湿润气候区域。海拔高差达 920 m。保护区内动植物资源较为丰富,珍稀濒危动物种类众多,是一座少有的动物资源库(乌云界科考报告,内部资料)。保护区地势南高北低,呈三级梯度,南部边界为海拔 700—1040 m 的高山脊岭,与益阳市安化县(非保护区)接壤,中间为海拔 300—600 m 的山地。北部为海拔 100—200 m 的平原丘陵。乌云界中华虎凤蝶的栖息地为南部与安化县接壤的一条长 29.7 km,宽约 150—250 m,海拔 700—1040 m,面积 815.5 hm²的狭长带状高山灌草丛。

2 研究方法

2.1 栖息地植被取样调查方法

针对中华虎凤蝶湖南种群栖息在湖南乌云界国家级自然保护区内一个狭长山脊地带的现状,根据其集中分布特点,自 2009 年起,规划设计 6 个调查样区:仙池界 (28°32'24"N,111° 12'38"E,825 m)、黄风坳 (28°31'41"N,111° 16'8"E,754 m)、神仙界 (28°31'37"N,111° 18'15"E,748m)、杨罗界 (28°32'28"N,111° 21'15"E,726 m)、乌云界哨所 (28°33'22"N,111° 22'28"E,929 m)以及乌云界碑记坳 (28°33'13"N,111° 24'51"E,768 m) (图 1)。

在整个栖息地内,针对所有植物种类采取网格样方取样结合样线普查,进行详细调查、采集和拍照,请相关植物学专家鉴定,以此了解其栖息地内植物种类的组成。此外,在 6 个调查样区内各选取一个 3 m× 3 m 的植被观测样方,对样方内的所有植物进行鉴定和计数,其中如芒草等丛生类植物以“丛”作为计数单位。

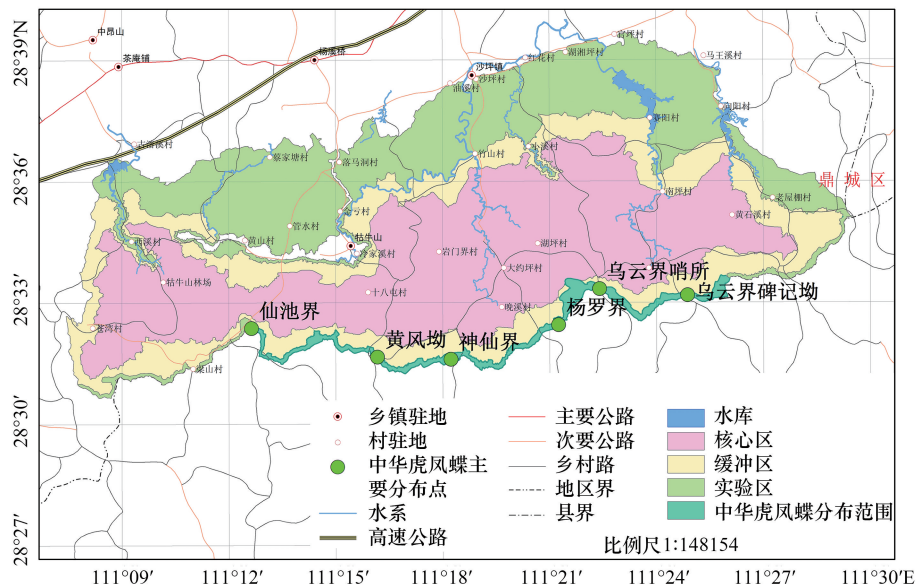


图 1 湖南乌云界国家级自然保护区中华虎凤蝶分布范围

Fig.1 Distribution of *Luehdorfia chinensis* in Wuyunjie National Nature Reserve, Hunan Province

2.2 蝴蝶种群数量动态的调查方法

在调查样区内,采用 10 m×10 m 的蝴蝶成虫观测样方,于中华虎凤蝶成虫羽化盛期在各成虫观测样方内用计数器记录 1 h 内观察到的成虫数目。

为研究栖息地生境对中华虎凤蝶种群数量的影响,在杨罗界样区及其周边选取不同生境样点,包括高山灌草丛生境(保护区内的中华虎凤蝶集中分布区)、梯田生境(非保护区范围的保护区边缘地带,环境破坏严重)和乔木林生境(保护区内的林相带,潮湿郁闭且有大量寄主植物和蜜源植物),各设置 3 个 10 m × 10 m 成虫观测样方,分别进行定时观测并记录成虫数量(表 1,图 2)。

为研究生态保护策略对中华虎凤蝶种群数量的影响,于 2015 年在神仙界和仙池界两样区各设置一个 10 m × 10 m 的样方,在样方附近 100 m 处各种植 100 m²约 2500 株细辛,并于 2018 年 7 月中华虎凤蝶幼虫全部化蛹后,将在设置的样方处种植细辛采收。另外,于 2015 年在乌云界哨所样区,建立了 100 m × 100 m,高 1.6 m 的铁丝网围栏,以减少附近居民的放牧与采药等活动,避免牛羊啃食中华虎凤蝶的寄主植物细辛和栖息地内的芒草(图 2)。在围栏内 (28°32'22"N 111° 22'28"E929m) 和相距约 200m 的围栏外 (28°32'20"N 111°22'35"E920 m) 各建立了一个成虫观测样方。于 2015 年至 2021 年期间,逐年定时记录样方内中华虎凤

蝶成虫数量和芒草及寄主植物细辛数量。

表 1 不同生境样方概况
Table 1 Basic condition of different habitat quadrat

样方 Quadrat	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Elevation/m	样方 Quadrat	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Elevation/m
灌草丛 1 Shrub grass 1	28°32'28"N	111° 21'15"E	726	梯田 3 Terrace 3	28°32'14"N	111° 20'58"E	600
灌草丛 2 Shrub grass 2	28°32'26"N	111°21'15"E	696	乔木林 1 Arbor forest 1	28°33'29"N	111° 22'8"E	748
灌草丛 3Shrub grass 3	28°32'23"N	111°21'4"E	654	乔木林 2 Arbor forest 2	28°33'32"N	111° 22'32"E	749
梯田 1 Terrace 1	28°32'36"N	111° 21'38"E	640	乔木林 3 Arbor forest 3	28°33'32"N	111° 22'53"E	750
梯田 2 Terrace 2	28°32'21"N	111° 21'24"E	630				



图 2 不同生境类型样方
Fig.2 Different habitat quadrat

2.3 数据分析

所有记录的数据,使用 Microsoft Excel 进行数据处理分析,统计分析后采用平均值和标准误组合的方式表述,并使用 SPSS 20.0 进行显著性差异分析和相关性系数分析。

3 结果与分析

3.1 中华虎凤蝶湖南种群生物学特性和发生规律

中华虎凤蝶湖南种群以蛹越冬,在天气晴朗、气温 10 ℃ 以上的上午羽化。其蛹在不同年份的不同天气情况下羽化时间差异较大:极端天气条件下,前后相差最高可达 20 d。羽化前一个月温度较高则羽化日期提前,温度较低则推迟,反之遇到阴雨天气则适度延迟。

成虫刚出蛹时,个体较小,呈三角形,翅膀未展开,不能飞行,常迎着阳光爬到干燥的九节芒枯杆上。随着

喙的不断弯曲、伸直,翅膀逐渐展开,整个过程需时 20—60 min 不等。其羽化期能观测到的成虫持续存在时间约为 20.6 d,整个种群在自成虫始出 7—10 d 后达到羽化高峰期。

成虫蜜源植物为堇菜科 *Violaceae* 堇菜属 *Viola* L 的紫花地丁 *V. yedoensis* 和紫花堇菜 *V. grypoceras*。雄虫通常早于雌虫羽化,待雌虫羽化后,即可进行交尾。羽化后的成虫喜欢在微风的山头盘旋飞舞,交尾时,空中飞舞的雌雄成虫腹部骤然弯曲交接在一起,然后掉落在草地上。交尾完成后雌虫便可进行产卵,通常聚集产于寄主植物细辛嫩叶背面,偶尔产于正面,一片叶上聚集卵粒数为 7—25 枚。卵初始为嫩绿色,随着时间的推移逐渐变为淡黄色,老熟时呈黑色。卵期通常 4—5 d,在海拔低温环境中可达 14 d。幼虫共 5 龄,1—2 龄幼虫群集取食,室内饲养的 3 龄后分散取食,老熟幼虫通常于寄主植物的叶背、茎秆等隐蔽处化蛹。初蛹呈淡黄色,长约 15 mm,5—6 h 后逐渐变成深褐色(图 3)。



图 3 中华虎凤蝶生物学特征

Fig.3 Biological character of *Luehdorfia chinensis*

3.2 中华虎凤蝶湖南种群的栖息环境及植被组成

中华虎凤蝶湖南种群核心栖息地为湖南乌云界国家级自然保护区山脊地带(海拔 700—1040 m),土壤以黄棕壤为主,生境类型为高山灌草丛。人为干扰主要为保护区周边的经济建设和牧民放牧,以及寄主植物华细辛的根作为药材采挖。

栖息地植被调查结果表明,中华虎凤蝶栖息环境的植物种类共计 128 种(附表 1),隶属于 46 科 96 属,其中蕨类植物有 4 科 4 属 4 种、单子叶植物有 3 科 20 属 28 种、双子叶植物 39 科 72 属 96 种。从科级水平来看,单子叶的禾本科种类最多为 16 种,约占总数的 12.5%;其次为菊科有 11 种,约占 8.6%;而蔷薇科、百合科及

豆科均达到 10 种,2—9 种的科有 15 个,剩余 27 科均只有 1 种(图 4)。从植被数量来看,禾本科的芒和马兜铃科的华细辛是优势种群,分别占整个植被数量的 34.6%和 26.5%。

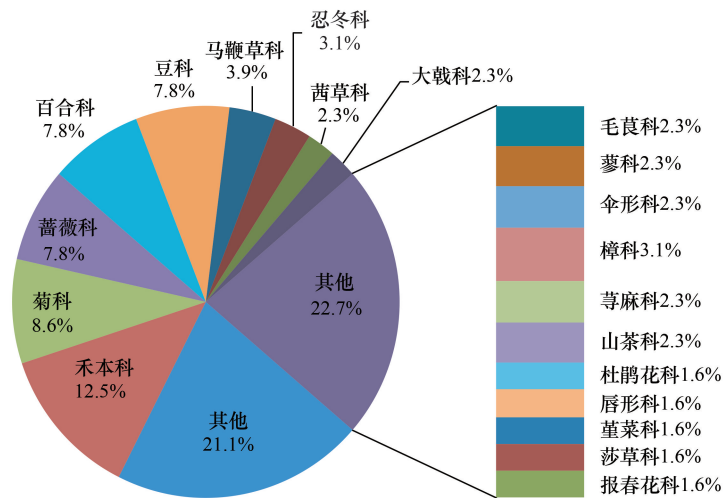


图 4 中华虎凤蝶栖息地植被种类组成

Fig.4 The specific composition of vegetation in habitat of *Luehdorfia chinensis*

中华虎凤蝶湖南种群栖息地 6 个调查样区内的植物组成调查结果表明,观测样方中记录共计有 29 种植物,其中芒草和细辛是所有观测样方中的共有组成成分,其中乌云界哨所观测样方中的植物种类和数量均为最高,分别为 22 种和 81 株,其次为碑记坳,为 18 种和 81 株,剩余 4 个调查样区的观测样方中植物种类和数量相差不大(图 5)。

3.3 栖息地生境对中华虎凤蝶湖南种群数量的影响

调查结果表明,高山灌草丛生境的中华虎凤蝶种群数量较大,连续 3 年样方观测数均保持在 25—30 只,显著高于梯田生境和乔木林生境($P < 0.01$)。梯田生境中由于过渡的开发和利用,导致该区域芒草和寄主植物细辛大量减少,调查样方内植株数量仅为中华虎凤蝶栖息地样方内的 1/10,中华虎凤蝶的成虫观测数量极为稀少。而乔木林生境中尽管有着较为丰富的寄主植物,但中华虎凤蝶的种群数量与梯田生境相近,无显著性差异(表 2)。由此,中华虎凤蝶湖南种群适宜、喜好的生境不是梯田生境和乔木林生境,而是高山灌草丛生境。

表 2 中华虎凤蝶在不同生境下的种群数量

Table 2 The population numbers of *Luehdorfia chinensis* in different habitats

年 Year	高山灌草丛 Shrub grass	梯田 Terrace	乔木林 Arbor forest
2019	28.3±0.9a	1.3±0.7b	2.3±0.3b
2020	27.3±1.2a	1.7±0.7b	2.3±0.3b
2021	26.7±1.8a	2.0±0.6b	2.7±0.3 b

表中不同字母表示不同生境间具有显著性差异, $P < 0.01$

3.4 生态保护策略对中华虎凤蝶湖南种群数量的影响

自神仙界和仙池界两处调查样区内的观测样方中大量种植寄主植物后,结果表明中华虎凤蝶成虫种群数量连续 3 年呈现明显增加的趋势,直至 2018 年随着寄主植物的采收,其种群数量开始下降,并逐渐恢复到 2016 年之前未种寄主植物时的水平(图 6)。由此可见,寄主植物的种群密度对中华虎凤蝶种群数量的维持和扩大有着显著的影响。

乌云界哨所样区的观测样方中,围栏内样方中寄主植物和芒草的种群数量呈现持续增长趋势,而中华虎

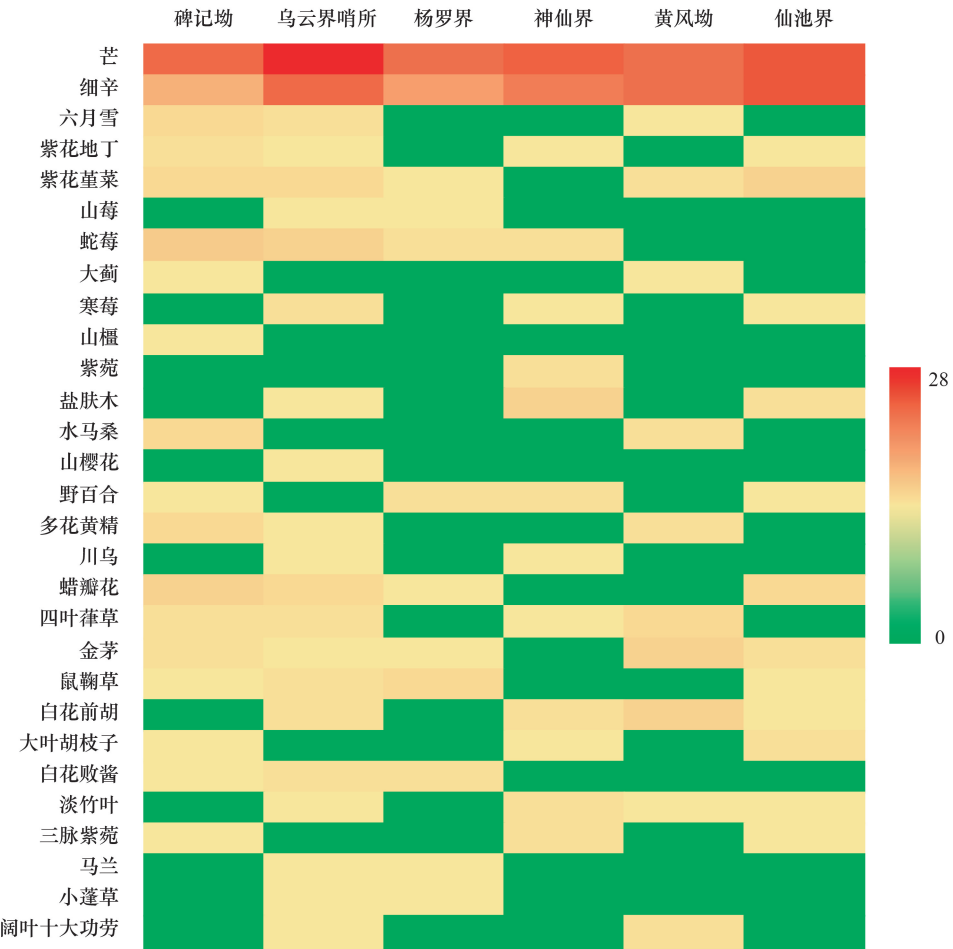


图 5 中华虎凤蝶不同样地间植物组成热图
Fig.5 The heatmap of plant composition in different samplings

凤蝶成虫数量则在出现明显增长后维持在一个较为稳定的水平。而围栏外样方中寄主植物和芒草数量均呈现显著下降的趋势,同时中华虎凤蝶成虫数量也明显降低(图 7)。围栏内的中华虎凤蝶种群数量与寄主植物和芒草的种群密度均有着较强的正相关性(其相关性系数 R 分别为 0.73 和 0.60),而围栏外的中华虎凤蝶与寄主植物和芒草的种群密度有着强烈的正相关性(R 分别为 0.98 和 0.96),由此可见,栖息地的寄主植物和芒草的数量和密度对中华虎凤蝶湖南种群数量有显著影响。

4 讨论

中华虎凤蝶湖南种群的栖息地域狭窄,仅为一条狭长带状孤岛。近年来面对部分区域内的环境破坏和不法分子对中华虎凤蝶标本的捕捉,以及寄主植物细辛的采挖,中华虎凤蝶湖南种群野外数量面临下降的危险。围栏的设立在一定程度上阻止了放牧活动对寄主植物和芒草的破坏,也可以阻止当地百姓采挖寄主植物,让中华虎凤蝶幼虫有充足的食物来源,维持种群的良性发展。而野外补充种植寄主植物对野外种群数量有着显

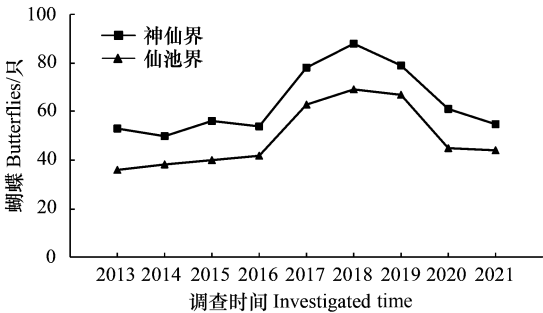


图 6 2013—2021 年神仙界与仙池界的中华虎凤蝶成虫观测数量
Fig.6 The observed number of adults of *Luehdorfia chinensis* in Shenxianjie and Xianchijie from 2013 to 2021

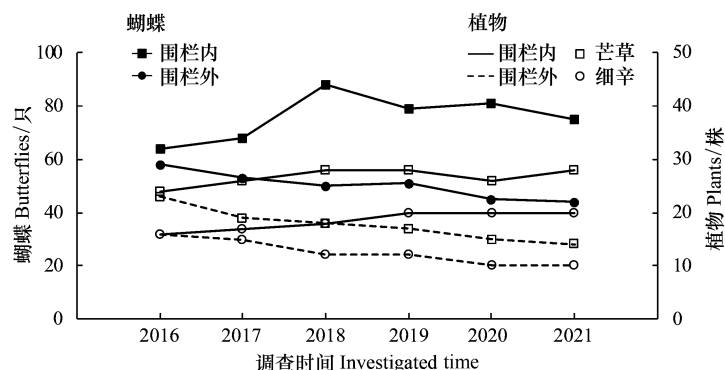


图7 围栏建设后芒草和细辛的数量变化

Fig.7 The change of observed numbers of *Miscanthus sinensis* and *Asarum sieboldii* after fence constructed

著提高,因此在每年的日常调查监测中,若发现种群数量明显下降或周边寄主植物数量减少,可采取人工补种细辛,以维持中华虎凤蝶的野外种群繁衍数量。

值得注意的是区别于中华虎凤蝶在国内的其他地理种群选择低海拔乔木林^[12, 19],乌云界国家级自然保护区内的中华虎凤蝶种群喜好高山灌草丛生境。袁德成等人认为,树太密、草太高均会影响中华虎凤蝶及其寄主植物^[12],而乌云界种群则因当地独特的植被环境正好达到这种条件。中华虎凤蝶飞行高度一般在1.5—3.0 m,当地的芒草一般在0.8—1.2 m左右,成虫出现时,芒草尚处枯叶期,既不阻碍成虫的飞行,又因其良好的热量吸收和保存效果,使得成虫喜好在其枯枝上停歇与过夜。此外,芒草的繁盛又为中华虎凤蝶的寄主植物细辛提供了所需的荫蔽条件以及足够的阳光散射条件,以此得以为中华虎凤蝶的产卵和幼虫取食提供了良好的条件。由此可见,对中华虎凤蝶来说,高山茅草灌丛可能是一个更为良好的生存环境。

人类活动造成中华虎凤蝶栖息地生境的破坏,对中华虎凤蝶野外种群的数量影响极大。包括梯田的开垦及厚朴林的大片种植,导致中华虎凤蝶的生境被严重破坏,成虫数量急剧减少,说明生境破坏对中华虎凤蝶野外种群的影响可能是灭绝性的。生境对蝴蝶种群影响的结果与陈梦悦等、邓敏等报道的相似^[20-21],进一步说明保护中华虎凤蝶的野外种群,首要保护的就是其栖息环境——高山芒草丛(如完善法律法规、加强科普宣传、禁止滥采乱伐、适当清理部分树种等),以及提高其野外种群的羽化率(如加强野外种群监测、深入室内饲养研究、野外种群释放和保护等)。

综上所述,为切实保护国家二级保护物种中华虎凤蝶的野生种群,针对乌云界保护区当地独特的栖息环境和人文条件,作者认为应该采取以下保护措施:1)加强宣传教育,制定相关法律法规,在成虫羽化期和幼虫期加强巡逻力量,禁绝不法蝶商对标本的采集,减少当地百姓的药材采挖行为;2)成虫羽化期加强种群数量监测,一旦发现种群数量下降较大或当地寄主植物数量明显降低,应及时补种寄主植物;3)适当建设围栏并及时维护,对当地独特的高山芒草灌丛生境进行保护,并对已破坏的生境进行恢复;4)开展人工养殖,羽化后于各分布地进行放飞,以补充当地野生种群数量;5)加强对中华虎凤蝶野生种群进行一系列的生态学研究,为中华虎凤蝶的保育工作提供理论指导和科学依据。

致谢:湖南农业大学廖承清先生、邓敏女士协助制作图表,吉首大学张代贵教授鉴定植被,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB Marshall C, McGuire JL, Lindsey EL, Maguire KC, Mersey B, Ferrer EA. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, 2010, 471 (7336): 51-57.
- [2] 魏辅文. 大熊猫演化保护生物学研究. *中国科学: 生命科学*, 2018, 48 (10): 1048-1053.
- [3] 夏欣, 张昊楠, 郭辰, 钱者东, 高军, 徐网谷, 周大庆, 蒋明康. 我国哺乳动物就地保护状况评估. *生态学报*, 2018, 38 (10): 3712-3717.

- [4] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 张雁云, 蔡波. 国家濒危物种红色名录的生物多样性保护意义. 生物多样性, 2020, 28 (5): 558-565.
- [5] 高吉喜, 徐梦佳, 邹长新. 中国自然保护区 70 年发展历程与成效. 中国环境管理, 2019, 11 (4): 25-29.
- [6] 黄宝荣, 张丛林, 邓冉. 我国自然保护区历史遗留问题的系统解决方案. 生物多样性, 2020, 28 (10): 1255-1265.
- [7] Xu W H, Xiao Y, Zhang J J, Yang W, Zhang L, Hull V, Wang Z, Zheng H, Liu J G, Polasky S, Jiang L, Xiao Y, Shi X W, Rao E M, Lu F, Wang X K, Daily G C, Ouyang Z Y. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114 (7): 1601-1606.
- [8] 黄国华. 中华虎凤蝶湖南乌云界种群的调研. 国家濒危科委公众号, 2021, 0610. <http://www.cites.org.cn>.
- [9] Collins N M, Morris M G. Threatened swallowtail butterflies of the world. Gland: IUCN, 1985.
- [10] Flesness N R, Foose T J. 1990 IUCN red list of threatened animals. Gland: IUCN, 1990.
- [11] Baillie J, Gärdenfors U, Groombridge B, Rabb G, Stattersfield A J. 1996 IUCN red list of threatened animals. Gland: International Union for Conservation of Nature, 1996.
- [12] 袁德成, 买国庆, 薛大勇, 胡萃, 叶恭银. 中华虎凤蝶栖息地、生物学和保护现状. 生物多样性, 1998, 6 (2): 105-115.
- [13] 向颖, 董婉未, 蒋国芳, 洪芳, 张佑祥, 张文武. 基于线粒体基因和核基因的中华虎凤蝶指名亚种地理种群遗传分化分析. 昆虫学报, 2020, 63 (11): 1377-1384.
- [14] Li M, Zhou H C, Tan J C, Liu G H, Huang G H. Discovery of a Hunan population of *Luehdorfia chinensis* (Lepidoptera: Papilionidae) in China with preliminary notes on its conservation. Lepidoptera Science, 2011, 62 (1): 35-40.
- [15] 程孟春, 张峰, 徐青, 肖红斌, 梁鑫森. 三种细辛属植物挥发油的镇痛消炎作用研究. 中华中医药杂志, 2006, 21 (5): 307-308.
- [16] 吴昊, 温晓茵, 颜鹏, 沈水容, 刘晓东, 赖克方. 细辛的化学成分及药理作用研究进展. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27 (4): 186-195.
- [17] Chen T, Chen X N, Wang J, Wu S J, Zhang H H, Xing L X, You P. The complete mitochondrial genomes of three populations in *Luehdorfia chinensis* Leech, 1893 (Lepidoptera: Papilionidae), with a phylogenetic analysis of Papilionidae. Oriental Insects, 2019, 53 (3): 320-339.
- [18] 谭济才, 李密, 周红春, 王鹏, 刘国华, 张文武. 湖南首次发现中华虎凤蝶种群及其栖息地. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36 (6): 683-684.
- [19] 胡萃, 洪健, 叶恭银. 中华虎凤蝶. 上海: 上海科学技术出版社, 1992.
- [20] 陈梦悦, 吴雨恒, 廖承清, 马方舟, 王星. 八大公山国家级自然保护区不同生境蝶类群落特征与月动态. 生物多样性, 2020, 28 (8): 950-957.
- [21] 邓敏, 廖明玮, 王晨彬, 廖承清, 康祖杰, 马方舟, 黄国华. 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. 生物多样性, 2020, 28 (8): 931-939.

附表 1 中华虎凤蝶栖息地植物种类组成

Supplemental table 1 Composition of plant species in habitats of *Luehdorfia chinensis*

科 Family	种 Species	科 Family	种 Species
禾本科 Poaceae	芒 <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.	忍冬科 Caprifoliaceae	水马桑 <i>Weigela japonica</i> Thunb.
	刺芒野古草 <i>Arundinella setosa</i> Trin.		莢蒾 <i>Viburnum dilatatum</i> Thunb.
	野古草 <i>Arundinella anomala</i> Steud.		宜昌莢蒾 <i>Viburnum erosum</i> Thunb.
	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i> Brongn.	茜草科 Rubiaceae	茶莢蒾 <i>Viburnum setigerum</i> Hance
	阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i> (Keng)		六月雪 <i>Serissa japonica</i> (Thunb.)
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (Linn.)		鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i> (Lour.)
	棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> (Koen)	大戟科 Euphorbiaceae	四叶葎草 <i>Galium bungei</i> Stend.
	黄背草 <i>Themeda japonica</i> (Willd.) Tanaka		白背叶 <i>Mallotus apelta</i> (Lour.)
	苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i> (Keng) Keng		红背山麻杆 <i>Alchornea treuioides</i> (Benth.)
	金茅 <i>Eulalia speciosa</i> (Debeaux)	毛茛科 Ranunculaceae	算盘子 <i>Glochidion puberum</i> (Linn.)
	四脉金茅 <i>Eulalia quadrinervis</i> (Hack.)		打破碗花花 <i>Anemone hupehensis</i> Lemoine
	小颖羊茅 <i>Festuca parvigluma</i> Steud.		毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i> Thunb.
	油芒 <i>Spodiopogon cotulifer</i> (Thunberg)	蓼科 Polygonaceae	川乌 <i>Aconitum carmichaelii</i> Debx.
	橘草 <i>Cymbopogon goeringii</i> (Steud.)		篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i> Linn.
	细柄草 <i>Capillipedium parviflorum</i> (R. Br)		辣蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> Linn.

续表

科 Family	种 Species	科 Family	种 Species
	黄茅 <i>Heteropogon contortus</i> (Linn.)		酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i> Linn.
菊科 Compositae	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i> (Linn.)	伞形科 Umbelliferae	紫花前胡 <i>Angelica decursiva</i> (Miq.)
	马兰 <i>Kalimeris indica</i> (Linn.)		白花前胡 <i>Peucedanum praeruptorum</i> Dunn
	三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i> Turcz.		积雪草 <i>Centella asiatica</i> (Linn.)
	三脉叶马兰 <i>Aster trinervius</i> D. Don		红马蹄草 <i>Hydrocotyle nepalensis</i> Hook.
	鼠鞠草 <i>Gnaphalium affine</i> D. Don	樟科 Lauraceae	山胡椒 <i>Lindera glauca</i> (Sieb. et Zucc.)
	一枝黄花 <i>Solidago decurrens</i> Lour.		山榧 <i>Lindera reflexa</i> Hemsl.
	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i> Patrín ex Widder		山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i> (Lour) Pers.
	天名精 <i>Carpesium abrotanoides</i> Linn.	荨麻科 Urticaceae	糯米团 <i>Gonostegia hirta</i> (Bl.) Miq.
	大蓟 <i>Cirsium japonicum</i> Fisch. ex DC.		苎麻 <i>Boehmeria nivea</i> (Linn.) Gaudich.
	刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i> (Willd.)		紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i> (Thunb.) Miq.
	乌莓莓 <i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.	杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i> Planch.
蔷薇科 Rosaceae	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i> Tratt.		满山红 <i>Rhododendron mariesii</i> Hemsl. et Wils.
	金樱子 <i>Rosa laevigata</i> Michx.	山茶科 Theaceae	铃木 <i>Eurya japonica</i> Thunb
	高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i> Ser.		格药铃木 <i>Eurya muricata</i> Dunn
	茅莓 <i>Rubus parvifolius</i> Linn.		木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.
	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i> Linn.	冬青科 Aquifoliaceae	枸骨 <i>Ilex cornuta</i> Lindl. et Paxt.
	寒莓 <i>Rubus buergeri</i> Miq.	虎耳草科 Saxifragaceae	伞形绣球 <i>Hydrangea chinensis</i> Maxim.
	空心泡 <i>Rubus rosaefolius</i> Smith	堇菜科 Violaceae	紫花地丁 <i>Viola yedoensis</i> Makino
	麻叶绣线菊 <i>Spiraea cantoniensis</i> Lour.		紫花堇菜 <i>Viola grypceras</i> A. Gray
	山樱花 <i>Cerasus serrulata</i> (Lindl.) G. Don	莎草科 Cyperaceae	莎草 <i>Cyperus rotundus</i> Linn.
	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke		苔 <i>Carex hirta</i> Linn.
黄杨科 Buxaceae	雀舌黄杨 <i>Buxus bodinieri</i> Levl.	三白草科 Saururaceae	鱼腥草 <i>Houttuynia cordata</i> Thunb.
木犀科 Oleaceae	小腊树 <i>Fraxinus mariesii</i> Hook.	小檗科 Berberidaceae	阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i> (Fort.) Carr.
蕨科 Pteridiaceae	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> (Linn.)	漆树科 Anacardiaceae	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.
百合科 Liliaceae	多花黄精 <i>Polygonatum cyrtoneura</i> Hua	苋科 Amaranthaceae	牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i> Bl.
	野百合 <i>Lilium brownie</i> F. E. Brown ex.	车前科 Plantaginaceae	平车前 <i>Plantago depressa</i> Willd.
	牛尾菜 <i>Smilax riparia</i> A. D. C.	金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i> (Kze.)
	小叶菝葜 <i>Smilax microphylla</i> C. H. Wright	蚌壳蕨科 Dicksoniaceae	狗脊 <i>Cibotium barometz</i> (Linn.)
	光叶菝葜 <i>Smilax glabra</i> Roxb.	桔梗科 Campanulaceae	杏叶沙参 <i>Adenophora hunanensis</i> Nannf.
	菝葜 <i>Smilax china</i> Linn.	川续断科 Dipsacaceae	续断 <i>Dipsacus asper</i> Wall. ex Henry
	油点草 <i>Tricyrtis macropoda</i> Miq.	卫矛科 Celastraceae	南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb.
	萱草 <i>Hemerocallis fulva</i> (Linn.)	旋花科 Convolvulaceae	葛藤 <i>Argyrea seigninii</i> (Levl.) Van. ex Levl
	山麦冬 <i>Liriope spicata</i> (Thunb.) Lour.	金缕梅科 Hamamelidaceae	蜡瓣花 <i>Corylopsis sinensis</i> Hemsl.
	阔叶麦冬 <i>Liriope muscari</i> (Decne.)	紫金牛科 Myrsinaceae	紫金牛 <i>Ardisia japonica</i> (Thunb.) Blume
豆科 Leguminosae	大叶胡枝子 <i>Lespedeza davidii</i>	山矾科 Symplocaceae	白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.
	美丽胡枝子 <i>Lespedeza thunbergii</i> (Vogel)	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.
	细梗胡枝子 <i>Lespedeza virgata</i> (Thunb.)	安息香科 Styracaceae	垂珠花 <i>Styrax dasyantha</i> Perk.
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	胡颓子科 Elaeagnaceae	胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.
	山豆花 <i>Lespedeza tomentosa</i> (Thunb.) Sieb.	马鞭草科 Verbenaceae	紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i> Levl.
	截叶扫帚 <i>Lespedeza cuneata</i> (Dum.-Cours.)		白毛紫珠 <i>Callicarpa candicans</i> (Burm. f.)
	紫藤 <i>Wisteria sinensis</i> (Sims) Sweet		牡荆 <i>Vitex negundo</i> Linn.
	紫云英 <i>Astragalus sinicus</i> Linn.		黄荆 <i>Vitex negundo</i> Linn.
	锦鸡儿 <i>Caragana sinica</i> (Buc'hoz) Rehder		豆腐柴 <i>Premna microphylla</i> Turcz.
	藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i> Benth	败酱科 Valerianaceae	白花败酱 <i>Patrinia villosa</i> Thunb.
椴树科 Tiliaceae	扁担杆 <i>Grewia biloba</i> G. Don	马兜铃科 Aristolochiaceae	细辛 <i>Asarum sieboldii</i> Miq.
唇形科 Labiatae	连钱草 <i>Glechoma longituba</i> (Nakai) Kupr.	报春花科 Primulaceae	过路黄 <i>Lysimachia christinae</i> Hance
	夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i> Linn.		疏头过路黄 <i>Lysimachia pseudo</i> Pamp.
桑科 Moraceae	构棘 <i>Maclura cochinchinensis</i> (Loureiro)		