

DOI: 10.5846/stxb201303060355

郭振营, 高可, 李秀山, 张雅林. 太白虎凤蝶的生物学与生境研究. 生态学报, 2014, 34(23): 6943-6953.

Guo Z Y, Gao K, Li X S, Zhang Y L. Study on the bionomics and habitat of *Luehdorfia taibai* (Lepidoptera: Papilionidae). Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 6943-6953.

太白虎凤蝶的生物学与生境研究

郭振营¹, 高 可¹, 李秀山², 张雅林^{1,*}

(1. 西北农林科技大学昆虫博物馆, 植保资源与病虫害治理教育部重点实验室, 杨凌 712100;

2. 中国环境科学研究院, 生物多样性研究中心, 北京 100012)

摘要: 太白虎凤蝶 *Luehdorfia taibai* 主要分布于太白山南坡的局部地点, 是我国特有种, 种群数量稀少, 并且呈下降趋势。研究了野生状态下该种蝴蝶的生活史、习性、生命表、产卵地需求, 并对部分栖息地要素进行了调查分析。分析了濒危原因, 提出了保护建议。太白虎凤蝶 1 年 1 代, 以蛹越冬, 蛹期约 300d。翌年 4 月中下旬为成虫羽化盛期, 产卵于幼虫寄主植物马蹄香 *Saruma henryi* 叶片背面。1—2 龄幼虫聚集生活, 3 龄即扩散, 白天藏入枯叶层中躲避天敌, 晚上出来取食。老熟虫于枯叶或石缝中化蛹。产卵地多位于海拔 1000—1400 m 之间, 森林郁闭度低于 60%, 寄主植物密度低于 2 株/m², 并且伴有较厚的枯叶层, 较多石块的环境中。成虫访花、交尾活动和产卵地环境有所不同, 多在沟底较为开阔、多蜜源植物的地点。对太白虎凤蝶的保护建议采取适度干扰原则, 对栖息地生境定期实施矮林作业、割灌等经营管理措施, 保持 1 个栖息地斑块内有几块较为开阔的林间空地, 对寄主植物和寄主植物即可。对于人为干扰过重的秦岭南坡地区, 需进行人工管理恢复生境, 辅以人工繁殖恢复种群数量。此外, 应严格限制对太白虎凤蝶卵、幼虫和成虫的大量采集活动。

关键词: 太白虎凤蝶; 生物学习性; 产卵地; 栖息地; 保护

Study on the bionomics and habitat of *Luehdorfia taibai* (Lepidoptera: Papilionidae)

GUO Zhenying¹, GAO Ke¹, LI Xiushan², ZHANG Yalin^{1,*}

1 Key Laboratory of Plant Protection Resources and Pest Management of Ministry of Education, Entomological Museum of Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China

2 Biodiversity Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China

Abstract: *Luehdorfia taibai* is mainly found in specific localities on the south slopes of Taibai Mountain. Its host plant is *Saruma henryi*, but the larvae can also eat some species of *Asarum* and *Aristolochia* during starvation. It is an endemic species in China and its population is small and declining. In this paper, we record and analyze the life history, behavior, life table, ovipositional environment requirements and essential factor of the habitat of *Luehdorfia taibai* in its wild state. Finally, we analyze the causes it is endangered and develop a protection plan. It is univoltine and overwinter as pupae, the pupal period lasts about 300 days. Adults emerge in April. After eclosion adults then take flight and look for nectar plants along the river way. Nectar plants include *Cerasus pseudocerasus*, *C. polytricha*, *Delphinium giraldii* and others. When adults are captured, they flap and gradually lost vitality until they die. This is similar to the stress reaction of some birds, and most severe in gravid females. There are at most 54 fertilized eggs in a female adult, but there are fewer than 30 eggs in a cluster. The larvae remain together in the first and second instar. They then diffuse to avoid predators in the dead leaf layer after the third stage. They pupate on a dead leaf or in a crack in the stone at stage 5. Predation by natural enemies and a low pupation rate are the main factors limiting their population size. Their ovipositional environment is summarized as follows: elevation usually between 1000—1400 m above sea level, forest canopy density less than 60%, host plant density less than

基金项目: 中国环境科学研究院中央级科研院所基本科研基金项目(2010kyyw12); 陕西省科学院科技计划项目(K332021003)

收稿日期: 2013-03-06; **网络出版日期:** 2014-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yalinzh@nwsuaf.edu.cn

2 per square meter, with substrate of a thick layer of dead leaves. There is also a natal habitat preference induction due to the female choosing the ovipositional environment. Adults choose areas that are open with more nectar plants to visit, the flowers attracting mates to copulate; this environment is different from the ovipositional environment. Key factors that negatively affect the population of *Luehdorfia taibai* are high canopy density, habitat loss and deterioration, and collecting. These key factors differ on the south slope and north slope of the Qinling Mountains. On the northern slope of Qinling Mountain, too little human disturbance results in the secondary forest being extremely dense and this negatively affects the adults' activity of visiting flowers, copulation, egg laying and host plant survival. In contrast, on the southern slope of Qinling Mountain, too much human disturbance including lumbering and gardening are leading to the loss and deterioration of habitat. Since there is some collection of eggs and larvae on both the northern and southern slopes, we can take limited actions to protect *Luehdorfia taibai*. In the situations where there is a high canopy density, we can introduce regular coppicing and grazing. Because felling of too many canopy trees is unpractical and prohibited, it is only necessary to open a few areas to provide habitat patches. On the southern slope of the Qinling where there is habitat destruction, we must carry out strict labor management and use artificial propagation to restore the habitat and increase the population. Moreover, the government must strictly prohibit the collection of the eggs and larvae of *Luehdorfia taibai*.

Key Words: *Luehdorfia taibai*; biological habit; ovipositional place; habitat; conservation

在中国过去的 30 年中,许多生物的栖息地退化和丧失,直接导致物种濒危和灭绝。就无脊椎动物而言,有 1171 种面临灭绝风险,濒危状况远比估计的要高,其中 70% 受威胁的无脊椎动物迄今还没有任何的保护措施^[1]。蝴蝶作为一类极具观赏价值和商业价值的昆虫还受到人为捕捉的威胁,尤其一些较为大型、美丽的珍稀种类。此外,许多蝴蝶的寄主植物是中药材,存在过度采挖而影响蝴蝶生存的状况。许多凤蝶科昆虫呈现下降的趋势或生存遭受威胁的状况^[2-6]。

蝴蝶保护是昆虫保护中最持久和最有影响力的主体部分^[7]。限制濒危蝴蝶进行有效保护的主要原因是缺乏有关此物种的分布、栖息地环境和受威胁的数据缺乏^[8]。在中国,据估计蝴蝶种类仅有极少种类(约 5%)被研究过,相比欧洲 90% 的种类已被研究显示明显的差距。太白虎凤蝶 *Luehdorfia taibai* 20 世纪 80 年代才为世人所认知,为中国特有物种,分布范围狭小,数量稀少,长期以来尚无系统的野外研究资料。走访了多年来关注太白虎凤蝶并曾有过采集经历的农民,了解到太白虎凤蝶于近些年来数量明显减少,且在部分栖息地斑块中已经消失。为了了解该种类的生活史及习性,查明其生境要求和生存状态,以及人为活动对其生存的影响,本文历经两年,调查了该种的野外栖息地,观察记录了野外环境下的生活习性和生活史,以期获得太白虎凤蝶的野外生存状况的基本资料,并归纳出最适生

境和对现有生境作出评价,提出保护与恢复措施,为该珍稀物种的保护提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究种类

太白虎凤蝶是中国的特有种类,中心分布区域为中国秦岭陕西太白山自然保护区^[9]。据调查,甘肃省小陇山百花林场亦有发现。多生存于海拔 1000—1600 m 的山沟溪旁阴湿处^[10],与虎凤蝶属另一种濒危蝴蝶中华虎凤蝶华山亚种 *Luehdorfia chinensis huashanensis* 同域分布,发生时间亦相近并有重叠,但栖息地海拔和寄主植物不同。数量十分稀少。《中国物种保护红色名录》将此种列为易危(VN)级别,并被列入《国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录》^[11]。

1.2 寄主植物

太白虎凤蝶的幼虫取食马蹄香属 *Saruma* 的马蹄香 *S. henryi* (图 1)。但在饥饿或缺乏马蹄香的状态下幼虫也可以取食细辛属 *Asarum* 的植物,如白细辛 *A. sieboldii*、毛细辛 *A. caulescen*,以及马兜铃属 *Aristolochia* 的植物,并可以完成生活史^[12]。野生环境中,太白虎凤蝶成虫产卵于马蹄香上,幼虫活动能力十分弱,故而认为:在自然状态下太白虎凤蝶的寄主为马蹄香。《秦岭植物志》记载马蹄香在秦岭仅见于陕西太白山、南五台、和甘肃的徽县和康县等地,属多年生草本植物,根状茎有芳香气味,生长于海拔

1000—1600 m 的山谷林下阴湿处。马蹄香最低分布海拔为 794 m,最高海拔 1608 m,1000 m 以下多为单株分布,1000 m 以上呈小片状聚集分布。马蹄香是一种中药材,但是商业价值不大,采挖较少,人为干扰对其破坏不大。



图 1 太白虎凤蝶的寄主植物马蹄香

Fig.1 Host Plant *S. henryi*

1.3 研究区域

根据文献和标本信息,走访了已报道过的有太白虎凤蝶分布的大部分栖息地,包括周至县厚畛子、西安长安区、户县,安康市旬阳坝、火地塘,太白县黄柏塬、汤峪等地,涵盖了太白山以及周边的山岭地区,调查了近期的生存状况和生境要素,并且在分布相对集中的厚畛子林场内对其生活史、行为学特征进行了观察研究。厚畛子林场,位于秦岭主梁以北,太白山以南,调查区域位于该林场西南,属秦岭腹地,地处我国暖温带与北亚热带过渡地带,中山、亚高山地貌,岭高谷狭,密被森林,平均森林覆盖率为 92.5%,山谷多乱石,土层薄,黑河贯穿而过(图 2)。年降雨量约 1001.7 mm,最高气温 29.7 °C (7 月),最低气温 -19 °C (1 月)平均气温 6.4 °C,属暖温带湿润性大陆季风气候^[13]。

1.4 研究方法

1.4.1 室内饲养

(1) 早春将寄主植物移栽至实验地内,雌虫羽化后将卵产于叶片上,或者从野外采集少量卵或 1 龄幼虫,放在移栽的寄主植物上,每天观察其孵化、取食、休息、脱皮、化蛹等行为习性,记录各个虫态的形态特征及发育历期。

(2) 将各虫态分别置于若干培养皿内,幼虫分龄

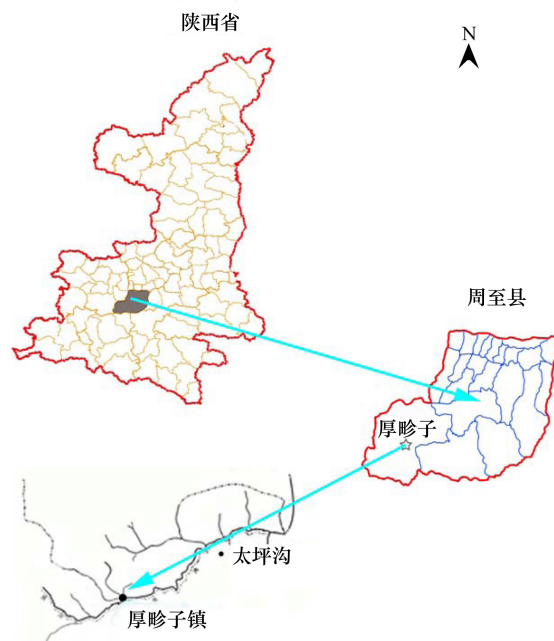


图 2 太白虎凤蝶的研究区域:厚畛子大坪沟

Fig.2 The study area of *Luehdorfia tai bai*: Daping Valley in Houzhenzi

期饲养,编号并记录各个虫态的形态特征,拍摄照片,测量各个虫态的体长,体宽,幼虫的头壳宽。

1.4.2 生命表

在野外每个斑块内寻找寄主植物上的卵块,挂上标签,定期观察记录卵块孵化,幼虫活动,直至其扩散化蛹。分别对卵、幼虫数量变化,死亡情况、致死原因和所在地点的生境要素进行详细记录。并计算各个因子的亚死亡率(k):

$$k = \lg N - \lg N_s$$

式中, N 为因子作用前的个体数, N_s 为因子作用后存活下来的个体数。

1.4.3 产卵地及栖息地生境调查

马蹄香多分布于林下阴湿处呈小片状集中分布。因此,对马蹄香有可能分布的地方进行调查。调查时沿山间的河道行走,记录海拔高度、植被郁闭度、蜜源植物密度、人为干扰情况等。选取若干样方,样方大小为 2 m×2 m 正方形,分为产卵与不产卵两种情况,产卵样方以产卵植株为中心,非产卵样方随机选取。在样方内的每一株马蹄香上仔细寻找卵或幼虫,记录卵或幼虫的数量,有虫株数、寄主植物数量。调查海拔高度范围以客观情况而定,根据寄主植物海拔基本在 1600 m 以下的情况,在海拔低于 1800 m 的区域,调查到山顶处。若海拔高于 1800

m,调查区域的上限截止到 1800 m,部分由于山地过于陡峭人无法到达,则调查到可到达的海拔为止,尽量将调查区域覆盖的太白虎凤蝶可能存在的海拔范围。

2 结果与分析

2.1 生活史

表 1 秦岭太白山地区太白虎凤蝶生活史
Table 1 Life history of *Luehdorfia taibai*

虫态 Stages	月份 Months														
	1—3 月			4 月 April			5 月 May			6 月 June			7 月 July		
	Jan.—Mar.			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
				F	S	L	F	S	L	F	S	L	F	S	L
蛹 Pupae	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙									
成虫 Adults				⊕	⊕	⊕	⊕								
卵 Eggs						●	●	●	●						
幼虫 Larvae							—	—	—	—	—	—			
蛹 Pupae												⊙	⊙	⊙	⊙

⊙ 蛹 Pupae; ⊕ 成虫 Adults; ● 卵 Eggs; — 幼虫 Larvae; 时间 Time: 2011—2012 年; 地点 Place: 太白山地区 Taibai Mountain

2.2 形态特征及生活习性

(1) 成虫

越冬蛹羽化时间在 13:00 左右。初羽化的成虫展翅、排蛹便、振翅,1 h 后开始飞翔,飞翔多沿河道边缘,高度低,速度相对较慢,在沟底河道边缘寻找蜜源植物。蜜源植物主要有樱桃 *Cerasus pseudocerasus*(图 3),多毛樱桃 *C. polytricha*,秦岭翠雀花 *Delphinium giraldii* 等。成虫被捕捉后有类似于某些野生鸟类被捕捉后出现的应激性反应^[14-15],不停振翅,会在 0.5h 至 1h 内逐渐丧失生理机能,直至不能动而后死亡,尤其出现在孕卵期的雌成虫中。成虫产卵时在伴有乱石堆的林间空地寻找寄主植



图 3 访花中的太白虎凤蝶
Fig.3 *Luehdorfia taibai* visiting the flower

太白虎凤蝶在太白山地区 1 年发生 1 代,以蛹越冬。翌年 4 月上旬越冬蛹开始羽化,中下旬为羽化盛期,至 5 月上旬结束。4 月下旬产卵,卵历期约 10—14 d,遇到多雨或天气寒冷,卵期可延长。5 月上旬卵开始孵化,5 月上中旬为孵化盛期。幼虫共 5 龄,历期约 33 d,6 月中下旬 5 龄幼虫开始化蛹(表 1)。

物,找到寄主植物后将卵产于叶片背面。

(2) 卵

半球球形,表面光滑,初产卵为淡黄色(图 4),孵化前卵壳呈白色透明状,内可看到黑色点状头壳。卵聚产,一只雌虫的最大孕卵量可达 54 粒,但一个卵块中卵的数量最多可有 30 粒,最少为 3 粒。卵期有天敌捕食,卵的孵化率可高达 90%以上。



图 4 太白虎凤蝶的卵
Fig.4 Eggs of *Luehdorfia taibai*

(3) 幼虫

初孵化的幼虫为灰白色,随着幼虫的成长,体色逐渐加深。幼虫白天活动较少,多聚集于叶片背面不食不动,傍晚或夜间开始取食。取食时多数情况

下会将叶片和卵壳一起吃掉,而留下较为粗大的叶脉(图 5)。4—6 d 之后第 1 次蜕皮,3 龄以后开始分散活动。白天单独或结伴躲在寄主植物下主要由栎属 *Quercus* 树木落叶形成的枯叶层中,卷曲枯叶里躲避敌害(图 6),夜间爬上寄主植物取食,3 龄后食量开始暴增。老熟幼虫在枯枝落叶下或石缝中化蛹(图 7)。各龄幼虫体长、头壳宽及发育历期见表 2。



图 5 太白虎凤蝶的初孵幼虫

Fig.5 Newly hatched larvae of *Luehdorfia taibai*



图 6 白天藏于枯叶中的 3 龄幼虫

Fig.6 3rd instar larva hiding in dead leaves during the daytime

(4) 蛹

蛹为缢蛹,黑色,体面凸凹不平(图 8)。蛹期持续约 300 d。

2.3 生命表

2011 年生命表见表 3。

由自然种群生命表可以看出,太白虎凤蝶在卵期和 1—2 龄幼虫期死亡率较高,而 3 龄幼虫开始扩散以后死亡率较低。天敌捕食是导致太白虎凤蝶数量减少的一个主要原因。由于野外数量少和蛹期较长的特点,无法准确确定蛹期的死亡率和羽化率,但



图 7 太白虎凤蝶的老熟幼虫

Fig.7 Mature larva of *Luehdorfia taibai*



图 8 化于枯叶上的缢蛹

Fig.8 Succincts of *Luehdorfia taibai* pupating on dead leaves

在 2012 年同一栖息地仅发现有两个卵块来看,雌虫数量乃至整个太白虎凤蝶成虫的数量是一个非常低的水平,间接表明,蛹的羽化率较低。

2.4 产卵地

产卵地生境要素调查结果见表 4。

用 Mann-Whitney U 检验对各生境要素作对比分析,结果见表 5。以卵块数对各产卵地的生境因子进行相关性分析,结果见表 6。

Mann-Whitney U 检验显示在 $P=0.05$ 的置信区间内,海拔,郁闭度和周围寄主植物在产卵样方和非产卵样方之间有显著的差别,且产卵样方的上述 3 个因子明显小于非产卵样方。相关性分析表明,卵块数与寄主植物密度和植被覆盖度呈负相关,而与海拔则不相关。虽然卵块数与海拔相关性不明显,但是 Mann-Whitney U 检验表明,产卵多选择于海拔较低的区域,在 1350 m 以上没有产卵。总的来讲,雌蝶在适宜条件下,更易于选择海拔较低,植被覆盖

度低,寄主植物不太密集且较为开阔,乔木层、灌木层,包括草本层都较为稀疏的地带。

表 2 太白虎凤蝶各龄幼虫发育情况

Table 2 Instar larval growth						
龄期 Stage	体长 Body length /mm	平均体长 Average body length/mm	头壳宽 Width of head rind/mm	平均头壳宽 Width of average head rind/mm	相邻头壳比例 Proportion of head rind of neighbor instar	历期 Duration/d
1	2.62—5.76	4.19	0.30—0.66	0.48		4—6
2	6.76—9.22	7.99	1.02—1.32	1.17	2.4	5—6
3	9.72—16.08	12.9	1.42—1.58	1.5	1.3	5—6
4	15.88—22.94	19.41	2.26—2.58	2.42	1.6	7—9
5	23.54—34.17	28.86	3.48—3.48	3.48	1.4	6—8

表 3 太白麝凤蝶自然种群生命表

Table 3 Natural population life table of <i>Luehdorfia taibai</i>						
发育期 Developmental stages	虫数(Lx) numbers	死亡关键 因子(dxF) The key factors of death	死亡数(dx) Died numbers	死亡率/% Death percentage	存活率/% Survival rate	消亡因子 致死力(K 值) Lethality of death factor
卵 Eggs	73	未孵化	2	2.74	97.26	$K_1 = 0.012$
		天敌捕食	11	15.07	84.93	$K_2 = 0.071$
1—2 龄幼虫 1—2 Larval Instars	60	天敌捕食或逃逸	33	55	45	$K_3 = 0.35$
		细菌感染	2	3.33	96.67	$K_4 = 0.015$
3 龄—5 龄幼虫 3—5 Larval Instars	25					$K = \sum k_i = 0.448$

时间 Time: 2011 年 4 月—6 月; 地点 Place: 大坪沟 Daping Valley

表 4 2011—2012 年太白虎凤蝶部分栖息地斑块产卵统计

Table 4 Statistics of eggs of <i>Luehdorfia taibai</i> in some habitat patches in 2011—2012				
调查地点 Location	海拔高度 Altitude/m	森林郁闭度 Canopy Density/%	寄主植物密度 Host plant density/ (株/ m ²)	卵块/卵粒数 Clusters eggs/ (块/粒)
三合村大坪沟 Daping Valley in Sanhe Village	1203	30	1	1/25
	1214	90	2.75	0/0
	1250	90	3	0/0
	1277	70	2	2/7
	1282	60	1.25	2/41
	1340	90	3.5	0/0
板房子磨子沟 Mozi Valley in Banfangzi	1111	50	1.5	1/16
	1134	40	0.5	1/30
	1245	40	1.75	0/0
	1370	90	2	0/0
太平森林公园 Taiping Forest Park	1142	70	0.75	1/11
	1205	50	2.5	1/28
	1266	70	1.5	0/0
	1280	80	3.25	0/0
	1553	90	4	0/0
	1589	50	2.25	0/0
老庄子梭长沟 Suochang Valley in Laozhuangzi	1255	90	4.75	0/0
	1290	60	1	1/25
	1303	60	2.25	1/4
沔峪九龙沟 Jiulong Valley in Feng Valley	1073	50	1.75	1/19
	1224	90	2.25	0/0
	1345	70	3.5	0/0

表 5 产卵样方与非产卵样方平均值±标准误差及 Mann-Whitney U 检验结果

Table 5 Means ± 1 SE for various parameters of oviposition quadrat being or not being occupied by *Luehdorfia taibai*; differences were tested for significance with Mann-Whitney U-tests

环境因子 Environmental factors	产卵样方 Oviposition quadrat	非产卵样方 Non oviposition quadrat	Z	P
海拔 Altitude/m	1208±82	1323±123	-1.8	0.036
周围郁闭度 Canopy density	50%±16.7%	80%±1.2%	-2.8	0.002
周围寄主植物密度 Host plant density/(株/m ²)	1.35±0.53	2.96±0.85	-3.5	<0.001

表 6 产卵地样方卵块数与产卵地环境因子的相关性分析

Table 6 Correlation of the number of eggs and ovipositional environmental factors

Pearson 相关分析 Pearson correlations	海拔 Altitude	覆盖度 Canopy density	寄主植物密度 Host plant density
Pearson 相关系数 Pearson related coefficient	-0.384	-0.498	-0.578
P	0.077	0.018	0.005

此外,产卵环境还有一些共同的特点,产卵植株地势较为突出;都伴有大量的石块,石缝可以作为太白虎凤蝶的化蛹地;边缘乔木优势种为栎属且地上较厚的枯叶层,方便 3 龄以后的幼虫躲藏等。

2.5 栖息地

栖息地调查涵盖了秦岭南北坡,6 个县(区),约 21 条山沟,调查结果见附表 1。

调查结果显示有太白虎凤蝶分布的区域基本都在秦岭北坡,以周至县最多,大坪沟为其主要的栖息地。栖息环境多为高山之间的狭长深沟,森林覆盖率低于 60%,有寄主植物分布的林间空地为其适合的栖息地(图 9)。秦岭梁南坡(宁陕县)过去曾经有过标本记录,但本次调查却未发现成虫、幼虫甚至寄

主植物(图 10)。栖息地中的成虫数量非常少,一个栖息地在一天之内大约仅能观察到 0—2 只成虫。

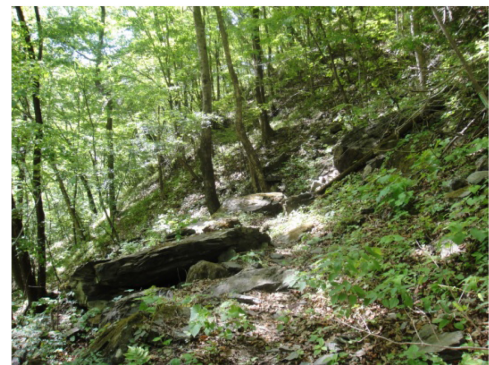


图 9 太白虎凤蝶栖息地环境

Fig.9 The habitat of *Luehdorfia taibai*

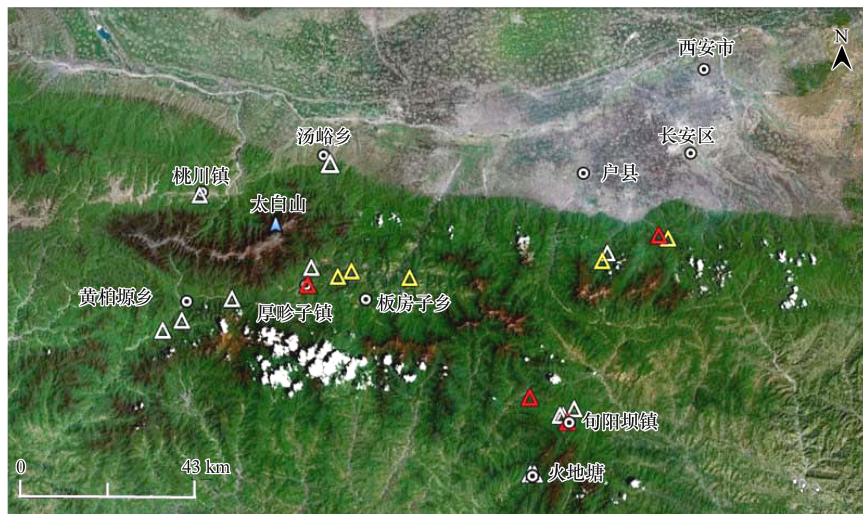


图 10 2012 年太白虎凤蝶分布

Fig.10 Distribution of *Luehdorfia taibai* in 2012

三角形代表调查区域;黄色代表有太白虎凤蝶分布的区域;红色代表有分布记录,本次调查没有发现太白虎凤蝶的区域,白色代表无太白虎凤蝶分布资料且本次没有发现任何个体的区域

Triangles indicate survey area, yellow ones indicate the distribution areas of *Luehdorfia taibai*; red ones indicate the documented distribution sites but we do not discover *Luehdorfia taibai*; white ones indicate the areas without any distribution record and we do not find *Luehdorfia taibai*

选取 2012 年栖息地中种群数量与各生境因子的数据做相关性分析,结果见图 11、12、表 7。

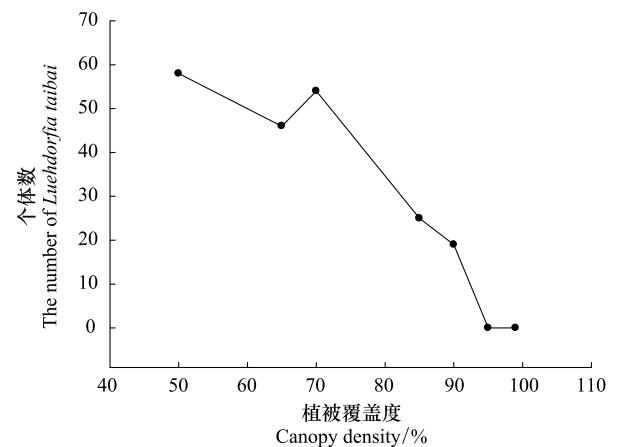


图 11 栖息地植被覆盖度与太白虎凤蝶个体数的关系

Fig. 11 Relationship of canopy density to the number of *Luehdorfia taibai* in the habitat

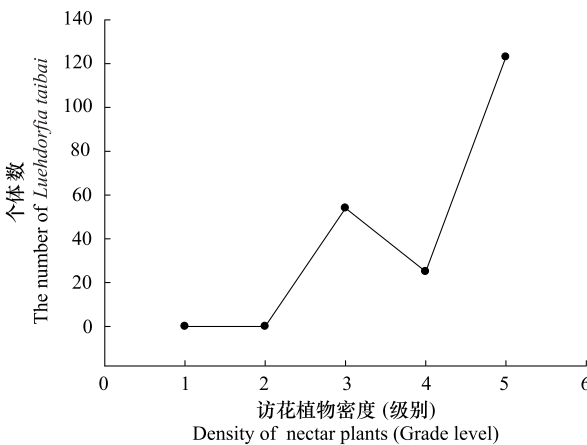


图 12 栖息地访花植物密度与太白虎凤蝶个体数的关系

Fig. 12 Relationship of nectar flower density and the number of *Luehdorfia taibai* in the habitat

表 7 2012 年太白虎凤蝶栖息地的个体数量与生境因子的相关性分析结果

Table 7 Correlations of *Luehdorfia taibai* number and habitat factors in each habitat in 2012

环境因子 Environmental factors	均值 Mean	标准误差 SE	Pearson 相关系数 Pearson related coefficient	P
覆盖度 Canopy density/%	83	15	-0.912	<0.001
寄主植物密度 Host plants density/(株/m ²)	2.23	1.69	0.120	0.726
访花植物密度 (级别表示) Nectar flower density	3	1	0.701	0.016

在 $P=0.05$ 的显著水平下,栖息地的太白虎凤蝶个体数与覆盖度呈现负相关,与蜜源植物密度呈正相关,而与总体寄主植物密度不相关。太白虎凤蝶的栖息地仍是以低覆盖度,而且基本集中于覆盖度 50%—70% 范围内。蜜源植物数量多的栖息地则会存在较多的太白虎凤蝶的个体。太白虎凤蝶数量与寄主植物总量不相关,说明太白虎凤蝶的分布并不受限于寄主植物的多少。因为太白虎凤蝶数量极少,需求的寄主植物数量有限。在调查的祥峪森林公园,太平峪二道河等地方寄主植物非常多,但是没有发现任何生活阶段的太白虎凤蝶个体。

3 讨论

3.1 太白虎凤蝶的生境需求

产卵地选择:分析产卵地特征是科学评价斑块质量的方法之一^[16]。太白虎凤蝶产卵于狭窄的海拔范围,甚至较为固定的位置,说明太白虎凤蝶对产卵地选择有出生地偏好的因素。同其他动物一样,太白虎凤蝶的分布首先受限于寄主植物的有无,然

而太白虎凤蝶的寄主植物分布范围并不广,但在适合的地点却又密度较高。但密集的寄主植物不利产卵,马蹄香的聚集分布容易成为雌蝶进入寄主中心的物理障碍。雌蝶产卵多选择成片分布的马蹄香边缘或是较为孤立的马蹄香,即处于较为稀疏环境的寄主上。孤立的马蹄香多是由于成片的马蹄香中部分地势突起形成相对单独的植株。太白虎凤蝶产卵环境还需要伴随厚枯叶层,以方便幼虫藏身。

成虫生境:飞翔多选择阳光充足的空旷河道边缘,高度低,速度慢,在沟底河道边缘寻找访花植物。产卵地点则选择森林郁闭度低于 60% 林间空地,有寄主植物分布,且有较厚枯枝落叶层和砾石的地点。过高的森林郁闭度,尤其地上灌木过密可能成为雌蝶进入的物理障碍,不利于许多蝴蝶的生存^[17-18],且对产卵行为有较大的影响^[19]。

3.2 太白虎凤蝶的种群趋势

单就有数据记载的太平森林公园一处栖息地来讲,两年观测到的卵粒数相比 5a 前下降了 90% 以上^[20]。大坪沟 2012 年比 2011 年种群降低了 20% 左

右。就原有栖息地斑块极低频率观察到成虫,或是明确有部分记载的栖息地 2012 年没有发现成虫的情况看,太白虎凤蝶的种群的呈现急剧下降的趋势。这主要是由于自天然林保护工程实施以来,停止天然林的采伐,山区原有居民不断迁出,人为干扰减少,次生林生长逐年茂密,秦岭北坡的森林覆盖率过高,林间空地消失,影响了太白虎凤蝶的飞翔、访花、交尾和产卵。与北坡情况相反,秦岭南坡则人为干扰过大,原有栖息地有许多伐木造田行为,使得太白虎凤蝶生境丧失。另一个原因是存在大量的卵和成虫的采集行为。本属另一种中华虎凤蝶被证明有巨大的经济价值,且在秦岭地区被证明有民间行为导致的国外流向^[21]。由于和中华虎凤蝶极为相似,在一些地区,太白虎凤蝶有采卵养殖,或直接捕捉的情况。另外尚有学者以研究为借口大量采集卵和幼虫。太白虎凤蝶即使在较为自然的栖息地中种群也维系在一个很低的水平(卵粒数<100,成虫一日得见 0—2 头),这与它本身蛹期过长(约 300 d),受自然灾害影响和天敌影响的几率较大有很大关系,从野外移植于实验田块(基本与野外环境相同)的蛹的羽化率在 5% 以下。以上多方面的原因,造成了太白虎凤蝶的种群数量少,并且处于急剧下降的趋势,面临绝灭的风险。

3.3 关于太白虎凤蝶的濒危等级评估

《中国物种保护红色名录》将太白虎凤蝶列为易危(VN)级别。这是根据 IUCN 的评估标准确定的,即个体数量少于 250 只为易危。但是这个标准主要是针对哺乳动物的,对于蝴蝶,由于对环境敏感,种群数量波动大,这个标准并不适用^[22]。因为根据 Hanski, Erhlich 的研究,600 只、100 只的蝴蝶种群,在 2a 内可能灭绝^[23-24]。与同濒危级别、同域分布的三尾褐凤蝶 *Bhutanitis thaidina* (主要分布于太白山、小陇山、四川、云南、湖北等地,2011—2012 年调查显示在太白山厚畛子,1d 内成虫可以看到 3—5 只,一块栖息地斑块最多 357 粒卵,生命表调查区域后沟卵粒数两年波动 357 粒、117 粒)相比^[25],太白虎凤蝶的分布地点、局部种群数量都少于三尾褐凤蝶,且仅分布于秦岭及小陇山局部地点,2011—2012 年调查显示,1d 内成虫可看到 0—3 只成虫,一个栖息地斑块最多 73 粒,生命表调查区域大坪沟两年卵粒数波动为 73、58 粒。由此看来,太白虎凤蝶比三尾褐

凤蝶濒危。因此,建议太白虎凤蝶的濒危等级应确定为濒危!

3.4 太白虎凤蝶的保护

建议对太白虎凤蝶的保护采取适度干扰,对最适生境采取割灌、放牧、矮林作业和树冠层的管理^[26],尤其是有太白虎凤蝶分布的采伐迹地,适当的经营管理,易于保持最适覆盖度 50%—60%。对于南坡原栖息地破坏严重的地点,可以依托于天然林保护工程、退耕还林工程,进行生境恢复。并借助于就近在细密网室中人工养殖,减少天敌捕食,羽化后释放到野外生境,以增加野外种群数量。对于人为捕捉成虫、采集卵和幼虫的现象,必需严加限制,对以商业为目的采集行为要坚决杜绝,对于以研究为目的的需建立完善的许可机制,许可的范围和数量不致影响种群生存和恢复。

致谢:在本项研究开展过程中,陕西周至县厚畛子镇吴万勇先生帮助提供厚畛子太白虎凤蝶栖息地信息,并且帮助进行寄主移植及实验田块饲养,宁陕县旬阳坝镇雷生辉先生提供宁陕县早年标本信息和栖息地信息,美国 J. R. Schrock 教授(Emporia State University)帮助修改文章,特此致谢。

References:

- [1] Wang S, Xie Y. China species red list. Vol. III: Invertebrates. Beijing: Higher Education Press, 2005: 5-11, 575-575.
- [2] Yi C H, He Q J, Wang L, Chen Y, Yi W. Distribution, endangered reasons and protective research of *Bhutanitis thaidina*. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(14): 2851-2854.
- [3] Zeng J P, Zhou S Y, Luo B T, Qin K, Ling Y L. Morphology and bionomics of the endangered butterfly golden kaiserhind, *Teinopalshanus pusaureus*, in Dayaoshan of Guangxi. Chinese Bulletin of Entomology, 2008, 45(3): 457-464.
- [4] Huang G H, Li M, Zhou H C. Study on the biological conservation of *Agehana elvesi* (Leech). Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2009, 35(6): 660-663.
- [5] Li X S, Zhang Y L, Luo Y Q, Settele J. Studies on life history, life table, habitat and conservation of *Byasa impediens* (Lepidoptera: Papilionidae). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3184-3197.
- [6] Li X S, Luo Y Q, Zhang Y L, Schweiger O, Settele J, Yang Q S. On the conservation biology of a Chinese population of the birdwing *Troides aeacus* (Lepidoptera: Papilionidae). Journal of Insect Conservation, 2010, 14(4): 257-268.
- [7] New T R. Forty years of butterfly conservation. Journal of Insect Conservation, 2009, 13(1): 1-2.

- [8] Monte P S. Improving conservation and management of the imperiled Carson Valley silverpot butterfly *Speyeria nokomis carsonensis* (Lepidoptera: Nymphalidae) based on rapid assessments of distribution, habitat, and threats. *Journal of Insect Conservation*, 2011, 15(5): 715-725.
- [9] Chou I. Monograph of Chinese butterflies (First Volume). Zhengzhou: Henan Scientific and Technological Publishing House, 1994: 190-190.
- [10] Wu C S. Fauna Sinica. Insecta Vol. 25; Lepidoptera Papilionidea. Beijing: Science Press, 2001: 258-260.
- [11] Shou J X, Chou I, Li Y F. Systematic butterfly names of the world. Shaanxi: Shaanxi Science and Technology Press, 2006: 8-8.
- [12] Yao X Y, Xing L X, Takayoshi M, Su X H. The food plant replacing experimentation of *Luehdorfia* butterflies. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2008, 38(3): 339-442.
- [13] Zhu D F. Investigation report for wild animals of houzhenzi forestry farm in Zhouzhi County. Shaanxi: Houzhenzi Forestry Farm in Zhouzhi County, 2002.
- [14] Bian J H, Wu Y. Physiological stress response and its ecological adaptability in mammals. *Acta Theriologica Sinica*, 2009, 29(4): 352-358.
- [15] Zhang S P, Chen C, Wang P Z, Liu S L, Chen X Y. Physiological mechanism and ecological implications of wild bird stress response. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(11): 2280-2285.
- [16] Liu W H, Wang Y F, Xu R M. Egg cluster pattern of two coexisting melitacine butterfly species and oviposition site selection of their adult females. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7): 1254-1258.
- [17] Stephanie S B, Anett T. Patch occupancy in the endangered butterfly *Lycaena helle* in a fragmented landscape: effects of habitat quality, patch size and isolation. *Journal of Insect Conservation*, 2009, 13(3): 271-277.
- [18] Matsumura T. Analysis of ovipositional environment using Quantification Theory Type I: the case of the butterfly, *Luehdorfia puziloi inexpecta* (Papilionidae). *Journal of Insect Conservation*, 2004, 8(1): 59-67.
- [19] Hatada A, Matsumoto K. Effects of vegetation coverage on oviposition by *Luehdorfia japonica* (Lepidoptera: Papilionidae). *Journal of Forest Research*, 2008, 13(2): 96-100.
- [20] Yao X Y. The Study of *Luehdorfia* in Qinling [D]. Shaanxi: Northwest University, 2007.
- [21] Yuan D C, Mai G Q, Xue D Y, Hu C, Ye G Y. The habitat, biology and conservation status of *Luehdorfia chinensis* (Lepidoptera: Papilionidae). *Chinese Biodiversity*, 1999, 6(2): 105-115.
- [22] Li X S, Zhang Y L, Fang J H, Schweiger O, Settele J. A butterfly hotspot in Western China, its environmental threats and conservation. *Journal of Insect Conservation*, 2011, 15(5): 617-632.
- [23] Hanski I, Pakkala T, Kuussaari M, Lei G C. Metapopulation persistence of an endangered butterfly in a fragmented landscape. *Oikos*, 1995, 72(1): 21-28.
- [24] Ehrlich P R, Murphy D D. Conservation lessons from long-term studies of checkerspot butterflies. *Conservation Biology*, 1987, 1(2): 122-131.
- [25] Gao K, Li X S, Guo Z Y, Zhang Y L. The bionomics, habitat requirements and population threats of the butterfly *Bhutanitis thaidina* in Taibai Mountain. *Journal of Insect Conservation*, 2014, DOI 10.1007/s10841-014-9612-1.
- [26] Konvicka M, Novak J, Benes J, Fric Z, Bradley J, Keil P, Hrecek J, Chobot K, Marhoul P. The last population of the Woodland Brown butterfly (*Lopinga achine*) in the Czech Republic: habitat use, demography and site management. *Journal of Insect Conservation*, 2008, 12(5): 549-560.

参考文献:

- [1] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录 第三卷 无脊椎动物. 北京: 高等教育出版社, 2005: 5-11, 575-575.
- [2] 易传辉, 和秋菊, 王琳, 陈友, 易伟. 三尾褐凤蝶的分布现状、濒危原因与保护性研究. *湖北农业科学*, 2011, 50(14): 2851-2854.
- [3] 曾菊平, 周善义, 罗保庭, 覃琨, 梁艳丽. 广西大瑶山濒危物种金斑喙凤蝶(广西亚种)的形态学、生物学特征. *昆虫知识*, 2008, 45(3): 457-464.
- [4] 黄国华, 李密, 周红春. 宽尾凤蝶的保护生物学研究. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2009, 35(6): 660-663.
- [5] 李秀山, 张雅林, 骆有庆, Settele J. 长尾麝凤蝶生活史、生命表、生境及保护. *生态学报*, 2006, 26(10): 3184-3197.
- [9] 周尧. 中国蝶类志(上册). 郑州: 河南科学技术出版社, 1994: 190-190.
- [10] 武春生. 中国动物志 昆虫纲 第二十五卷. 鳞翅目: 凤蝶科. 北京: 科学出版社, 2001: 258-260.
- [11] 寿建新, 周尧, 李宇飞. 世界蝴蝶分类名录. 陕西: 陕西科学技术出版社, 2006: 8-8.
- [12] 姚肖永, 邢连喜, 松村行荣, 苏晓红. 虎凤蝶取食不同寄主植物试验研究. *西北大学学报: 自然科学版*, 2008, 38(3): 339-442.
- [13] 朱东峰. 周至县厚畛子林场野生动物调查报告. 陕西: 周至县厚畛子林场, 2002.
- [14] 边疆晖, 吴雁. 哺乳动物的生理应激反应及其生态适应性. *兽类学报*, 2009, 29(4): 352-358.
- [15] 张淑萍, 陈聪, 王培哲, 刘盛林, 陈晓宇. 野生鸟类应激反应的生理机制及其生态意义. *生态学杂志*, 2010, 29(11): 2280-2285.
- [16] 刘文华, 王义飞, 徐汝梅. 两种共存网蛱蝶的卵块特征及其雌性成虫对产卵地的选择. *应用生态学报*, 2006, 17(7): 1254-1258.
- [20] 姚肖永. 秦岭地区虎凤蝶(*Luehdorfia*)的研究 [D]. 陕西: 西北大学, 2007.
- [21] 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*, 1999, 6(2): 105-115.

附表 1 2011—2012 年太白虎凤蝶部分栖息地生境调查表
Appendix 1 Habitat investigation of *Luehdorfia taibai* in 2011—2012

县、地点 County/Place	时间 time	寄主分 布海拔 The altitude of host plant/m	生境覆 盖率 Canopy density/%	有虫株数及 卵块或幼虫 组数 the Quantity of eggs or Larvae and host plant having larvae		幼虫(卵粒)数量 Larvae (or eggs)		寄主植物 密度/ (株/m ²) Density of host plant	访花植 物密度 Density of nectar plants**	土地利用与 人为干扰 Land use and human interference**	备注 Remarks
				卵块或幼虫 组数 the Quantity of eggs or Larvae and host plant having larvae	幼虫(卵粒)数量 Larvae (or eggs)	卵 Eggs	幼虫 Larvae				
周至县 姜家坪瓦窑沟	2011-04-22/ 2012-04-25	1290—1300	90	0	0	0	0	2.75	中 3 级	放牧 1 级	过去有采集
三合村大坪沟	2011-04-24	1290—1300	90	0	0	0	0	2.75	中 3 级	放牧及割草 1 级	—
	2012-04-28	1203—1340 1203	50	5/6	73	0	0	2.75	极多 5 级		
	2012-04-28			2/2	58	0	0	2.25	极多 5 级		
	2012-04-21	1111—1134	65	2/2	46	0	0	1.75	多 4 级	砍柴 1 级	
	2012-06-18	1290—1300	85	2/2	25	0	0	1.5	多 4 级	伐木、挖药 1 级	
太白县 核桃坪响水沟	2012-05-18	1176, 1189, 1261	99	0	0	0	0	<0.1	少 2 级	无人干扰 0 级	
	2012-04-27	缺 none	90	0	0	0	0	0	少 2 级	伐木 1 级	
	2012-04-28	1230	95	0	0	0	0	<0.1	极少 1 级	水产养殖 2 级	
	2012-04-28	缺 none	95	0	0	0	0	0	砍柴 1 级		
	2012-04-28	缺 none	98	0	0	0	0	0	无人干扰 0 级		
眉县 汤峪凤山	2012-04-29	750—1200	90	0	0	0	0	<0.1	极少 1 级	无人干扰 0 级	
	2012-05-05	877, 1073—1340	90	1/1	19	0	0	3.25	极多 5 级	旅游线路 2 级	有分布记录
	2012-05-6	1079, 1220—1608	85	0	0	0	0	4.5	中 3 级	旅游线路 2 级	
户县 太平森林公园	2012-05-8	1140—1360 1553—1589	70	2/2	54	0	0	3.5	中 3 级	旅游线路 2 级	有分布记录
	2012-04-23/05-07	794 1068—1180	95	0	0	0	0	4.75	中 2 级	旅游及挖药 1 级	
宁陕县 旬阳坝斜字沟	2012-05-11	缺 none	85	0	0	0	0	0	少 2 级	挖药及伐木 2 级	标本信息: 2003 年 4 月 27 日,
	2012-05-12	缺 none	90	0	0	0	0	0	少 2 级	伐木及标本 采集 2 级	采集人:雷生辉
	2012-05-12	缺 none	99	0	0	0	0	0	极少 1 级	无人干扰 0 级	采集人:雷生辉
	2012-05-13/05-28	缺 none	65	0	0	0	0	0	极多 5 级	放牧及伐木 3 级	
	2012-05-13/05-28	缺 none	60	0	0	0	0	0	极多 5 级	伐木及开田 3 级	标本信息:
	2012-05-30	缺 none	95	0	0	0	0	0	极少 1 级	无人干扰 0 级	2001 年 4 月 14 日
	2012-05-30	缺 none	90	0	0	0	0	0	极少 1 级	动植物标本 采集 2 级	采集人:雷生辉
	2012-05-30	缺 none	90	0	0	0	0	0	极少 1 级		

* 访花植物采取分级记录, 0 级为没有, 1 级为极少小于 2 株/m², 2 级为少 2—4 株/m², 3 级为中等 4—6 株/m², 4 级为多 6—8 株/m², 5 级为极多大于 8 株/m². Density of nectar plants is recorded by grade level, 0 means no flowers, 1 means very few [fewer than 2 per square meter], 2 means few [2—4 per square meter], 3 means middle [4—6 per square meter], 4 means many [6—8 per square meter], 5 means most [more than 8 per square meter]; * 人为干扰程度按严重程度划分为 4 个等级, 0 级为无人干扰, 1 级为轻度人为干扰, 2 级为中度, 3 级为重度, 4 级为极重度. Human interference divided into 4 grade levels by damaged condition; 0 means no human interference [natural environment]; 1 means slight human interference [minority of plants damaged, little insect collecting behavior]; 2 means moderate plant damage or insect collecting behavior; 3 means serious [much plant damage or serious insect collecting behavior]; 4 means extreme [most plants damaged, little insect collecting behavior].

** 访花植物密度按访花植物种类分为 4 个等级, 0 级为无人干扰, 1 级为轻度人为干扰, 2 级为中度, 3 级为重度, 4 级为极重度. Density of nectar plants is recorded by grade level, 0 means no flowers, 1 means very few [fewer than 2 per square meter], 2 means few [2—4 per square meter], 3 means middle [4—6 per square meter], 4 means many [6—8 per square meter], 5 means most [more than 8 per square meter]; ** 人为干扰程度按严重程度划分为 4 个等级, 0 级为无人干扰, 1 级为轻度人为干扰, 2 级为中度, 3 级为重度, 4 级为极重度. Human interference divided into 4 grade levels by damaged condition; 0 means no human interference [natural environment]; 1 means slight human interference [minority of plants damaged, little insect collecting behavior]; 2 means moderate plant damage or insect collecting behavior; 3 means serious [much plant damage or serious insect collecting behavior]; 4 means extreme [most plants damaged, little insect collecting behavior].