

八仙山自然保护区蝴蝶群落多样性及区系组成

胡冰冰¹, 李后魂^{1,*}, 梁之聘¹, 赵铁建², 任秀柏²

(1. 南开大学生命科学学院, 天津 300071; 2. 八仙山国家级自然保护区, 天津蓟县 301900)

摘要:选取(a)小港、(b)山门→太平沟、(c)山门→栈道、(d)栈道→仙姑泉和(e)仙姑泉→明安梁5个样地,对天津八仙山国家级自然保护区内的蝴蝶群落进行了系统研究。共采集蝴蝶2218只,隶属于8科56属88种。蛱蝶科的种类数(35种)和个体数(784只)均为最多,是保护区的优势类群;喙蝶科(23只)和绢蝶科(1只)都只有1种,是保护区的稀有类群。计算并分析了5个生境中蝶类的多样性指数、物种丰富度、优势度指数、均匀度指数和生境间相似性系数。结果显示:生境条件的变化对蝴蝶多样性产生了明显的影响;总体上来讲,人类活动对环境 and 森林植被的干扰越大,蝴蝶多样性指数就越低。其中生境d的植物群落结构最为稳定和复杂,环境质量优越,最适合蝶类生存和繁衍,因此具有最高的多样性指数、物种丰富度、物种数和个体数以及最低的优势度指数;生境a的植物群落结构单一,环境质量相对较差,蝴蝶的多样性指数、物种丰富度和均匀度指数均为最低,而优势度指数最高;生境e的多样性指数 H' (FGS)低于生境d和c,这种现象符合中度干扰假说。因此对保护区提出以下建议:恢复和提高生境质量;保护濒危珍稀物种;适度合理地发展旅游资源;适度的开发和利用蝴蝶资源。对八仙山蝴蝶区系组成进行了分析,广布种、古北种和东洋种所占的比例分别为56.82%、35.23%和7.95%,可见八仙山保护区内的蝴蝶广布种占有绝对的优势,古北种明显多于东洋种。

关键词:天津;八仙山;蝴蝶;多样性;区系

Diversity and fauna of butterflies in Baxian Mountain State Nature Reserves

HU Bingbing¹, LI Houhun^{1,*}, LIANG Zhipin¹, ZHAO Tiejian², REN Xiubai²

¹ College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China

² Baxian Mountain State Nature Reserves, Ji County, Tianjin 301900, China

Abstract: The butterfly species in Baxian Mountain Nature Reserves of Tianjin was studied based on the collection in five samples: (a) Xiaogang, (b) Shanmen→Taiping Gou, (c) Shanmen→Zhandaog, (d) Shanmen→Xianggu Spring and (e) Xianggu Spring→Minganliang. A total of 2218 butterfly specimens were collected, of which 88 species in 56 genera under eight families were identified. Nymphalidae was the dominant family, with the most species number (35) and individuals (784); Parnassiidae and Libytheidae contain only one species each, which was regarded as the rare species. The diversity index, the specific richness, the dominance index, the evenness index and the similarity coefficient of the five habitats were calculated and analyzed. The results showed that the change of the environmental quality influenced the diversity of butterfly remarkably. The greater the influence of human activity on the environment and forest vegetation, the lower the diversity index of the butterfly was. In habitat (d), the favorable environmental quality led to the most stable and diverse plant community, which was fit for butterflies to exist and breed. So the diversity index and the specific richness were the greatest, but the dominance index was the lowest. In habitat (a), the simple plant community resulted in the relatively poor environmental quality, where the diversity index, the specific richness and evenness index were the lowest, but the dominance index was the highest. The diversity index in habitat (e) was lower than that in habitat (d) and (c), which accorded with the intermediate disturbance hypothesis. Therefore, we suggest that the Administrative Bureau of Baxian Mountain Reserves should restore and improve the environmental quality, exploit tourism reasonably, and exploit and utilize

基金项目:国家自然科学基金资助项目(J0630963)

收稿日期:2009-04-30; **修订日期:**2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lihoun@nankai.edu.cn

the butterfly resources moderately, so that the endangered and rare species can be protected effectively. The preliminary analysis of our material also revealed that the percentage of the widely distributed species, the Palearctic species and the Oriental species was 56.82%, 35.23% and 7.95% respectively in Baxian Mountain Nature Reserves, the widely distributed species were absolutely dominant, and the Palearctic species were obviously more than the Oriental species.

Key Words: Tianjin; Baxian Mountain; butterfly; diversity; fauna

群落生态学的—个主要目的是了解影响物种分布和丰富度的物理学和生物学因子^[1]。研究者发现了鸟类多样性和植被多样性之间的关系后,生态学家们证明了复杂和异质的生境可以提供更多的生态位,所以可以承载更多的物种^[2]。对于蝴蝶亦是如此。某个地区的蝴蝶群落结构除了受历史因素影响外^[3],生境局部特征的变化也会产生影响^[4],许多研究表明,蝶类群落结构的形成与地形、植被层次、植被干扰等因素有关^[5-6]。

蝴蝶对生境结构和植物组成的变化很敏感,对生境恶化做出反应的速度比其寄主植物做出的反应快3—30倍,从而被选为生境质量变化的指示生物^[7-9]。通过对其定点长期的动态监测,研究保护区内蝴蝶群落多样性的变化及其与生境变化的关系,可以对生境质量进行评价,对环境保护与生态恢复提出建设性的意见。

八仙山自然保护区内山高谷深,地形复杂,降水丰沛,土壤肥沃,为森林植被的生长发育和野生动物的繁衍、栖息提供了良好的生态环境。据不完全统计,八仙山自然保护区内有苔藓植物22科37属43种,维管植物96科310属524种,保护区内昆虫共有11目132科901种,动植物资源较为丰富^[10]。

20世纪80年代以来,有研究者曾先后对八仙山自然保护区内的蝴蝶资源进行过一些调查研究,1985—1988年,天津林业局主持的天津市蓟县八仙桌子自然保护区(八仙山保护区前身)综合调查,记录了蝴蝶6科13属14种^[11];2005年对保护区内的昆虫资源进行了调查和采集,记录了蝴蝶6科28属36种。2006—2007年,与天津自然博物馆一起对保护区内的昆虫资源进行了进一步调查和采集,记录了85种蝴蝶^[10]。但以往的调查均未对保护区内的蝴蝶群落多样性进行分析和评价。

为了解天津八仙山自然保护区内蝶类种类、种群动态、群落多样性以及保护区内不同样地的环境质量,进而为保护区的资源保护、利用以及环境质量监测提供基础资料,在2006—2007年研究的基础上^[10],于2007—2008年对保护区内的蝶类资源进行系统的调查,首次对保护区内的蝴蝶群落多样性及区系组成进行研究,并将结果用于评价保护区的生境质量。

1 八仙山保护区的自然概况

八仙山国家级自然保护区,坐落在天津市蓟县东北部燕山山脉南翼,居京、津、唐、承四市腹心,东临国家重点文物保护单位清东陵,西接天津市蓟县中上元古界自然保护区,南望天津市重点水源地于桥水库,北眺河北兴隆雾灵山自然保护区。东西宽8.7 km,南北长10.8 km,地理坐标N40°7'24"—40°13'53",E117°30'35"—117°36'24",一般海拔500—800 m,900 m以上的山峰有19座,其中八仙山聚仙峰海拔为1052 m,是天津市最高峰。总面积5360 hm²,其中核心区面积1583 hm²。八仙山保护区属于暖温带季风性大陆气候区,年平均气温8—10℃,7月平均气温23.4℃,1月平均气温-7.2℃,降雨集中在夏季,平均降雨量为968.5 mm,全年日平均气温稳定在10℃以上的天数为180d,全年积温3800—3900℃,无霜期一般为180d左右,具有雨热同期,冬无严寒,夏无酷暑的特点^[10]。

2 研究方法

2.1 调查地点、时间与方法

在保护区内依据生境和海拔的不同选定5条线路(研究地点)(图1)。

(a)小港(150—200 m),保护区管理局附近,地势较为平坦,海拔在5个生境中最低,受人为干扰也最大,植被以灌草丛、农作物和果树为主,主要有柿树 *Diospyros kaki*、板栗 *Castanea mollissima*、核桃 *Juglans regia*、益

母草 *Leonurus heterophyllus*、荆条 *Vitex chinensis* var. *heterophylla*、酸枣 *Zizyphus jujuba* var. *spinosa*、多花百日菊 *Zinnia peruviana*、阿尔泰狗娃花 *Heteropappus altaicus*、葎草 *Humulus scandens* 等。平均盖度 50% 左右。

(b) 山门(273 m)→太平沟(490 m), 植被以灌木丛和零散分布果树为主, 主要植物有柿树、板栗、核桃、核桃楸 *Juglans mandshurica*、苹果 *Malus pumila*、杜梨 *Pyrus betulifolia*、北京丁香 *Syrinus pekinensis*、大叶朴 *Celtis koraiensis*、花椒 *Zanthoxylum bungeanum*、荆条、益母草、多花百日菊、北马兜铃 *Aristolochia contorta*、透骨草 *Phryma leptostachya*、飞廉 *Carduus crispus* 等。植被以灌木和草本为主, 平均盖度 80% 左右。

(c) 山门(273 m)→栈道(417 m), 表现为高山、陡坡、深谷的中低山地貌, 灌木和草本植物丰富, 成片分布的高大阔叶林和针叶林较少, 主要植物有榆 *Ulmus pumila*、荆条、北京丁香、扁担木 *Grewia biloba*、大叶朴、小叶朴 *Celtis bungeana*、黄栌 *Cotinus coggygia*、小花溲疏 *Deutzia parviflora*、花椒、太平花 *Philadelphus pekinensis*、益母草、悬钩子 *Rubus corchorifolius*、雀儿舌头 *Leptopus chinensis*、大油芒 *Spodiopogon sibiricus*、求米草 *Oplismenus undulatifolius*、狼尾草 *Pennisetum alopecuroides*、牛尾蒿 *Artemisia dubia*、炸酱草 *Oxalis corniculata*、北马兜铃、短尾铁线莲 *Clematis revicandata* 等。平均盖度 80% 左右。

(d) 栈道(417 m)→仙姑泉(630 m), 木本与草本植物丰富, 属于典型的暖温带落叶阔叶林, 主要植物有油松 *Pinus tabulaeformis*、蒙古栎 *Quercus mongolica*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、槲栎 *Quercus aliena*、山杨、核桃楸、桑 *Morus alba*、裂叶榆 *Ulmus laciniata*、榆 *Ulmus pumila*、大叶朴、暴马丁香 *Syrinus reticulata*、悬钩子、太平花、锦带花 *Weigela florida*、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、接骨木 *Sambucus williamsii*、三裂绣线菊 *Spiraea trilobata*、荆条、雀儿舌头、求米草、穿山龙 *Dioscorea nipponica*、披针叶苔草 *Carex lanceolata*、大叶铁线莲 *Clematis heracleifolia*、矮紫苞鸢尾 *Iris ruthenica* var. *nana* 等。平均盖度 95% 以上。

(e) 仙姑泉(630 m)→明安梁(835 m), 海拔最高, 植被繁茂, 除了茂盛阔叶林之外, 还分布有成片的针叶林, 主要种类有油松、蒙古栎、鹅耳枥 *Carpinus turzhanowii*、槲栎、吴茱萸 *Evodia daniellii*、栎树 *Koelreuteria paniculata*、平基槭 *Acer truncatum*、大叶朴、北京丁香、大果榆 *Ulmus macrocarpa*、大叶白蜡 *Fraxinus rhynchophylla*、小花溲疏、大花溲疏 *Deutzia grandiflora*、迎红杜鹃 *Rhododendron mucronulatum*、三裂绣线菊、胡枝子、律叶蛇葡萄 *Ampelopsis humulifolia*、软枣猕猴桃 *Actinidia arguta*、银背凤毛菊 *Saussurea nivea*、异叶败酱 *Patrinia heterophylla*、龙牙草 *Agrimonia pilosa*、披针叶苔草等。平均盖度 95% 以上。

2005 年和 2006 年的 5 月至 9 月每月采集 1 次, 每次 1—2d; 2007 年和 2008 年的 5 月至 10 月中旬连续在八仙山自然保护区内调查蝴蝶资源, 每年在野外的工作时间都在 120d 左右。前两年以调查蝴蝶的种类为主, 后两年在调查种类的同时, 开始调查蝴蝶群落的多样性。一般选择晴朗或多云少风天气的时候, 于每天的 8:00 上山采集, 一直到 17:00 结束。在保护区内选定线路和地点, 每条路线和地点分配大概相同的采集时间, 尽量使 5 个生境的蝴蝶都能得到同等且充分的采集。采用网捕法采集, 沿途用捕虫网捕捉飞行, 访花, 休息中的蝴蝶, 然后装入三角纸袋, 记录日期、地点后放入盒中临时保存, 带回驻地后插针、展翅, 制成干制标本, 依据《中国蝶类志》和《中国蝴蝶分类与鉴定》等资料进行分类鉴定^[12-13], 并统计采集蝴蝶的种类、数量、采集地点

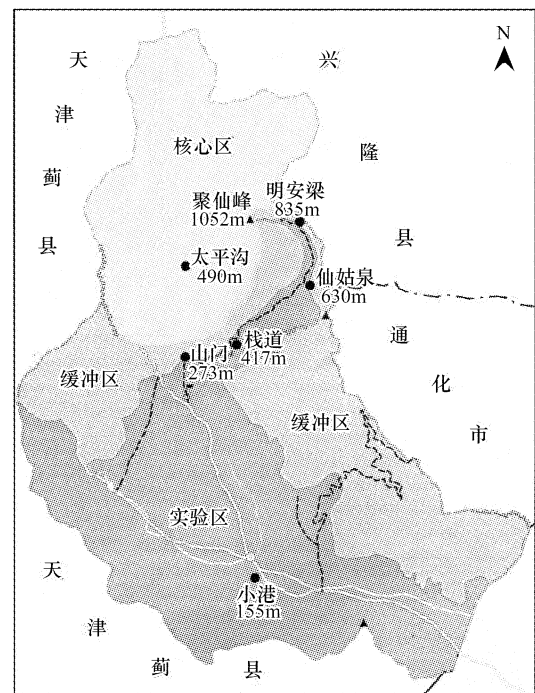


图 1 八仙山自然保护区蝴蝶研究地点

Fig. 1 Research sites of Butterflies in Baxian Mountain Nature Reserves (black dots)

● 研究地点

和采集日期等信息。

2.2 数据分析方法

2.2.1 多样性分析采用以下参数:

① 多样性指数(H')采用 Shannon-Wiener 公式:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i, p_i = N_i / N$$

式中, p_i 是第 i 种的个体比例, N_i = 第 i 种的个体数, N = 全部物种的个体总数。
等级多样性指数公式为:

$$H' (GS) = H' (G) + H' (S)$$

式中, $H' (G)$ 为属级多样性, $H' (S)$ 为种级多样性。

或 $H' (FGS) = H' (F) + H' (G) + H' (S)$

式中, $H' (F)$ 、 $H' (G)$ 、 $H' (S)$ 分别为科级、属级和种级的多样性指数^[14-16]。

② 均匀度指数(J)采用 Pielou 公式:

$$J = H' / \ln S$$

式中, J 为均匀度, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为物种数^[8, 14, 17]。

③ 优势度指数(D)采用 Berger-Parker 公式:

$$D = N_{\max} / N_t$$

式中, $N_{\max}$ 为优势种的种群数量, N_t 为全部物种的种群数量^[8, 15, 18]。

④ 物种丰富度(R)采用 Margalef 公式:

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

式中, S 为物种数, N 为个体数^[19]。

2.2.2 群落相似性指标

群落相似性系数采用 Jaccard 的相似性系数公式:

$$I = c / (a + b - c)$$

式中, a 为 A 生境物种数, b 为 B 生境物种数, c 为 A 、 B 两生境共有的物种数。根据 Jaccard 的相似性系数原理,当 I 为 0—0.25 时,为极不相似; I 为 0.25—0.50 时,为中等不相似; I 为 0.50—0.75 时,为中等相似; I 为 0.75—1.00 时,为极相似^[20-21]。

3 结果

3.1 八仙山蝴蝶群落的组成

八仙山保护区蝴蝶调查共获标本 2218 头,依据周尧的中国蝴蝶分类系统^[12-13],经过整理、统计可知,八仙山保护区共有蝴蝶 88 种,隶属 8 科 56 属,具体种类和数量分布见表 1。

表 1 八仙山保护区不同生境蝴蝶的种类与数量
Table 1 Species and individual number of butterflies in different habitats

种类 Species	数量 Number of individuals					总计 Total	区系成分 Fauna composition
	a	b	c	d	e		
凤蝶科 Papilionidae							
碧凤蝶 <i>Papilio bianor</i> Cramer, 1777	3	5	30	63	8	109	W
绿带翠凤蝶 <i>P. maackii</i> Ménétriers, 1859		7	9	29	3	48	W
柑橘凤蝶 <i>P. xuthus</i> Linnaeus, 1767	2	17	21	32	2	74	W
金凤蝶 <i>P. machaon</i> Linnaeus, 1758	2	1				3	W
丝带凤蝶 <i>Serycinus montelus</i> Gray, 1852	4	44	69	36		153	P
粉蝶科 Pieridae							

续表

种类 Species	数量 Number of individuals					总计 Total	区系成分 Fauna composition
	a	b	c	d	e		
斑缘豆粉蝶 <i>Colias erate</i> (Esper, 1805)	106	7	2	3	4	122	W
橙黄豆粉蝶 <i>C. fieldii</i> Ménétrière, 1855	3					3	W
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> (Linnaeus, 1758)	30	5	3	6	1	45	W
东方菜粉蝶 <i>P. canidia</i> (Sparman, 1768)	10	15	24	36	21	106	W
云粉蝶 <i>Pontia daplidice</i> (Linnaeus, 1758)	41	4	3	6	1	55	P
绢蝶科 Parnassiidae							
冰清绢蝶 <i>Parnassius glacialis</i> Butler, 1866				1		1	P
眼蝶科 Satyridae							
丝链荫眼蝶 <i>Neope yama</i> (Moore, [1858])				1		1	O
斗毛眼蝶 <i>Lasiommata deidamia</i> Eversmann, 1851	12	8	36	15	5	76	W
亚洲白眼蝶 <i>Melanargia asiatica</i> (Oberthür & Houlbert, 1922)			1	3		4	P
蛇眼蝶 <i>Minois dryas</i> (Scopoli, 1763)	4	3	4	3		14	P
绢眼蝶 <i>Davidina armandi</i> Oberthür, 1879				1		1	P
矍眼蝶 <i>Ypthima balda</i> Fabricius, 1775		1	2			3	W
乱云矍眼蝶 <i>Y. megalomma</i> Butler, 1874		3	3	7		13	W
东亚矍眼蝶 <i>Y. motschulskyi</i> (Bremer & Grey, 1852)	1	4			1	6	W
幽矍眼蝶 <i>Y. conjuncta</i> Leech 1891					1	1	O
牧女珍眼蝶 <i>Coenonympha amaryllis</i> Cramer, 1782	1	20	57	11	2	91	P
爱珍眼蝶 <i>C. oedippus</i> (Fabricius, 1787)	1	4	3	1	2	11	P
喙蝶科 Libytheidae							
朴喙蝶 <i>Libythea celtis</i> (Laicharting, 1782)		1	1	18	3	23	W
蛱蝶科 Nymphalidae							
二尾蛱蝶 <i>Polyura narcaea</i> (Hewitson, 1854)			8	7	1	16	O
紫闪蛱蝶 <i>Apatura iris</i> (Linnaeus, 1758)					1	1	P
柳紫闪蛱蝶 <i>A. ilia</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	2		1	2		5	P
白斑迷蛱蝶 <i>Mimathyma schrenckii</i> (Ménétrières, 1859)				9	1	10	W
猫蛱蝶 <i>Timelaea maculata</i> (Bremer & Grey, 1852)	4		4	10	1	19	W
明窗蛱蝶 <i>Dilipa fenestra</i> (Leech, 1891)			1	11	4	16	P
黄帅蛱蝶 <i>Sephisa princeps</i> Fixsen, 1887		1	2	6	1	10	W
黑脉蛱蝶 <i>Hestina assimilis</i> (Linnaeus, 1758)	1		8	24	3	36	W
拟斑脉蛱蝶 <i>H. persimilis</i> (Westwood, 1850)	5		17	43	3	68	W
大紫蛱蝶 <i>Sasakia charonda</i> (Hewitson, 1863)		2	1	10	2	15	W
绿豹蛱蝶 <i>Argynnis Paphia</i> (Linnaeus, 1758)			1	4	5	10	W
斐豹蛱蝶 <i>Argyreus hyperbius</i> (Linnaeus, 1763)		1		1		2	W
老豹蛱蝶 <i>Argyronome laodice</i> (Pallas, 1771)		1	1	2	1	5	P
曲纹银豹蛱蝶 <i>Childrena zenobia</i> (Leech, 1890)			13	22	16	51	W
蟾福蛱蝶 <i>Fabriciana nerippe</i> (Felder & Felder, 1862)	7			4	1	12	P
灿福蛱蝶 <i>F. adippe</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	7	11	10	54	10	92	P
隐线蛱蝶 <i>Limenitis camilla</i> (Linnaeus, 1764)			1			1	P
折线蛱蝶 <i>L. sydyi</i> Lederer, 1853				1		1	W
断眉线蛱蝶 <i>L. doerriesi</i> Staudinger, 1892			1	2		3	P
锦瑟蛱蝶 <i>Seokia pratti</i> (Leech, 1890)			2	8		10	W
小环蛱蝶 <i>Neptis sappho</i> (Pallas, 1771)	1	5	27	27	3	63	W
中环蛱蝶 <i>N. hylas</i> Linnaeus, 1758	6	3	44	33	9	95	W
啡环蛱蝶 <i>N. philyra</i> Ménétrière, 1858				8		8	P
黄环蛱蝶 <i>N. themis</i> Leech, 1893				18	4	22	W

续表

种类 Species	数量 Number of individuals					总计 Total	区系成分 Fauna composition
	a	b	c	d	e		
朝鲜环蛱蝶 <i>N. philyroides</i> Staudinger, 1887				8		8	W
单环蛱蝶 <i>N. rivularis</i> (Scopoli, 1763)			4	4		8	P
链环蛱蝶 <i>N. pryri</i> Butler, 1871			5	20	2	27	W
重环蛱蝶 <i>N. alvina</i> (Bremer & Grey, 1852)		2	1	5		8	P
大红蛱蝶 <i>Vanessa indica</i> (Herbst, 1794)	5	3	5	8	10	31	W
小红蛱蝶 <i>V. cardui</i> (Linnaeus, 1758)	5	1		1	8	15	W
白矩朱蛱蝶 <i>Nymphalis vau-album</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)				1	1	2	W
白钩蛱蝶 <i>Polygonia c-album</i> (Linnaeus, 1758)				2		2	P
黄钩蛱蝶 <i>P. c-aureum</i> (Linnaeus, 1758)	44	19	16	22	7	108	W
斑网蛱蝶 <i>Melitaea didymoides</i> Eversmann, 1847				2		2	P
帝网蛱蝶 <i>M. diamina</i> (Lang, 1789)				2		2	P
灰蝶科 Lycaenidae							
癩灰蝶 <i>Araragi enthea</i> (Janson, 1877)				3	4	7	W
艳灰蝶 <i>Favonius orientalis</i> (Murray, 1875)			2	6	2	10	P
亲艳灰蝶 <i>F. cognatus</i> (Staudinger, 1892)			1			1	P
霓纱燕灰蝶 <i>Rapala nissa</i> Kollar, 1844	3	10		6		19	O
彩燕灰蝶 <i>R. selira</i> (Moore, 1874)	2	8	7	14	4	35	W
蓝燕灰蝶 <i>R. caerulea</i> (Bremer & Grey, [1851])			3	2		5	W
优秀洒灰蝶 <i>Satyrrium eximium</i> (Fixsen, 1887)			2	1	1	4	W
红灰蝶 <i>Lycaena phlaeas</i> (Linnaeus, 1761)	24	14	2			40	W
黑灰蝶 <i>Niphanda fusca</i> Bremer & Grey, 1853	7	1	2	8		18	P
蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i> (Pallas, 1771)	37	14	20	12	1	84	W
玄灰蝶 <i>Tongeia fischeri</i> (Eversmann, 1843)		5	6	4		15	W
琉璃灰蝶 <i>Celastrina argiolus</i> (Linnaeus, 1758)	2	4	19	13	5	43	W
中华爱灰蝶 <i>Aricia mandschurica</i> Staudinger, 1892	11					11	P
红珠灰蝶 <i>Lycæides argyrognomon</i> (Bergstrasser, 1779)	2					2	P
东北梳灰蝶 <i>Ahlbergia frivaldszkyi</i> (Lederer 1855)			2	1		3	W
诗灰蝶 <i>Shirozua jonsi</i> (Janson, 1887)					2	2	P
弄蝶科 Hesperidae							
双带弄蝶 <i>Lobocla bifasciata</i> (Bremer & Grey, 1853)		2	6	12		20	W
黑弄蝶 <i>Daimio tethys</i> (Ménétrières, 1857)	1	12	18	27	3	61	W
飒弄蝶 <i>Satarupa gopala</i> Moore, 1866				2		2	O
密纹飒弄蝶 <i>S. monbeigi</i> Oberthür, 1921				1		1	O
直纹稻弄蝶 <i>Parnara guttata</i> (Bremer & Grey, 1852)	1			1		2	W
中华谷弄蝶 <i>Pelopidas sinensis</i> Mabille, 1877	1	4	22	7		34	W
南亚谷弄蝶 <i>P. agna</i> (Moore, 1866)	1					1	O
隐纹谷弄蝶 <i>P. mathias</i> (Fabricius, 1798)					1	1	W
小赭弄蝶 <i>Ochlodes venata</i> (Bremer & Grey, 1853)			1	5		6	P
白斑赭弄蝶 <i>O. subhyalina</i> (Bremer & Grey, 1853)	2	8	9	8		27	W
黑豹弄蝶 <i>Thymelicus sylvaticus</i> (Bremer, 1861)				1		1	P
曲纹黄室弄蝶 <i>Potanthus flavus</i> (Murray, 1875)				2		2	W
黄斑银弄蝶 <i>Carterocephalus alcinoides</i> Lee, 1962				7		7	W
深山珠弄蝶 <i>Erynnis montana</i> (Bremer, 1861)			2	2	3	7	P
合计 The total	401	280	565	798	174	2218	

P: 古北种, O: 东洋种, W: 广布种

3.2 八仙山蝴蝶群落的特征

根据调查结果,统计各科蝴蝶群落数量特征的各项指数,统计结果见表 2。从表 2 中可以看出,在科一级,蛱蝶科(Nymphalidae)在属、种和个体数量上均最多,占有明显的优势。其中按物种丰富度大小,各科的顺序是蛱蝶科(Nymphalidae)、灰蝶科(Lycaenidae)、弄蝶科(Hesperiidae)、眼蝶科(Satyridae)、粉蝶科(Pieridae)、凤蝶科(Papilionidae)、喙蝶科(Libytheidae)和绢蝶科(Parnassiidae),喙蝶科和绢蝶科都只有 1 种,是保护区的稀有类群;多样性指数的顺序为:蛱蝶科、灰蝶科、弄蝶科、眼蝶科、粉蝶科、凤蝶科、喙蝶科和绢蝶科,以蛱蝶科最高;各科中优势种的优势度指数的大小分别为:喙蝶科和绢蝶科、眼蝶科、凤蝶科、粉蝶科、弄蝶科、灰蝶科、蛱蝶科,可见蛱蝶科最低。从物种丰富度上分析,蛱蝶最高,从大到小的顺序为:蛱蝶科、灰蝶科、弄蝶科、眼蝶科、粉蝶科、凤蝶科、喙蝶科和绢蝶科。

在属级,多样性指数最高的是蛱蝶科,其中以蛱蝶科的环蛱蝶属(*Neptis*)物种数量最多,有 8 种,为优势属,其次为凤蝶属(*Papilio*)和矍眼蝶属(*Ypthima*)(4 种),线蛱蝶属(*Limenitis*)、燕灰蝶属(*Rapala*)和谷弄蝶属(*Pelopidas*)(3 种),其中 12 个属包括 2 种,其余属为单种,有 39 属,占总属数(57)的 68.42%,优势属不明显,表明八仙山保护区的蝴蝶在属一级也有较高的多样性。

在种级,共有 5 种蝴蝶的数量超过 100 只,为八仙山保护区的优势种,其中以丝带凤蝶 *Sericanus montelus* 最多,共 153 只,以下依次是斑缘豆粉蝶(122 只)、碧凤蝶(109 只)、黄钩蛱蝶(108 只)和东方菜粉蝶(106 只)。调查发现,冰清绢蝶、丝链荫眼蝶、绢眼蝶、幽矍眼蝶、紫闪蛱蝶、隐线蛱蝶、折线蛱蝶、亲艳灰蝶、密纹飒弄蝶、南亚谷弄蝶、隐纹谷弄蝶和黑豹弄蝶这 12 种蝴蝶极为稀少,只采集到 1 只标本,为八仙山保护区的稀有种,占总物种数的 13.64%。紫闪蛱蝶、断眉线蛱蝶、斑网蛱蝶、优秀洒灰蝶、飒弄蝶、橙黄豆粉蝶等 20 种蝴蝶为少见种(标本总数 ≤ 5 头),占总物种数的 22.73%。建议保护区将这 32 种蝴蝶列为重点保护对象,给予特别的关注与保护。

表 2 蝴蝶群落的数量特征

Table 2 Quantity indexes of butterfly community

科名 Families	属数 Genera	种数 Species	个数 Individual	多样性指数 Diversity index			均匀度 指数(<i>J</i>) Evenness index	优势度 指数(<i>D</i>) Dominance index	物种丰 富度(<i>R</i>) Specific richness
				<i>H'</i> (<i>GS</i>)	<i>H'</i> (<i>G</i>)	<i>H'</i> (<i>S</i>)			
蛱蝶科 Nymphalidae	19	35	784	5.1438	2.2242	2.9196	0.8212	0.1378	5.1017
灰蝶科 Lycaenidae	13	16	299	4.2776	2.0460	2.2316	0.8049	0.2809	2.6314
弄蝶科 Hesperiidae	10	14	172	3.6084	1.7267	1.8817	0.7130	0.3547	2.5255
眼蝶科 Satyridae	7	11	221	2.7811	1.2557	1.5254	0.6361	0.4118	1.8525
粉蝶科 Pieridae	3	5	331	2.3687	1.0240	1.3447	0.8355	0.3686	0.6894
凤蝶科 Papilionidae	2	5	387	2.0078	0.6711	1.3367	0.8305	0.3953	0.6713
喙蝶科 Libytheidae	1	1	23	0	0	0	0	1	0
绢蝶科 Parnassiidae	1	1	1	0	0	0	0	1	0

3.3 不同生境蝴蝶群落多样性

从表 3 可以看出,生境 d 的属级、种级和总的多样性指数最高,分别为 3.1523、3.7537 和 8.4415,生境 b 的科级多样性最高,为 1.7508,而生境 d 的科级多样性排在 b 和 c 之后,为 1.5355,生境 a 的科级、属级、种级和总的多样性指数均为最低,分别是 1.3243、2.5318、2.7117 和 6.5678;均匀度指数按从大到小分别为生境 e、b、d、c、a;优势度指数按从小到大分别为生境 d、e、c、b、a;物种丰富度按从大到小分别为生境 d、e、c、b、a。

从总体来看,蝶类群落的多样性指数、物种丰富度、物种数和个体数是一致的。生境 d 具有最高的物种数、个体数、总的多样性指数和物种丰富度,以及最低的优势度指数,表明生境 d 的植物群落相对稳定和复杂,环境质量相对较好,适合蝶类生存。物种多样性指数与优势度指数表现出负相关性,说明在像生境 a 这样物种多样性较低的生境中,具有明显的优势种群,优势种的种群个体数量占有明显的优势。蝶类的多样性指数

与均匀度不一致。

表 3 不同生境蝴蝶群落的多样性指数
Table 3 Diversity index of butterfly community in different habitats

生境 Habitat	科数 Family	属数 Genus	种数 Species	个体数 Individual	多样性指数 Diversity index				均匀度 指数(J) Evenness index	优势度 指数(D) Dominance index	物种丰 富度(R) Specific richness
					H'(F)	H'(G)	H'(S)	H'(FGS)			
a	6	27	38	401	1.3243	2.5318	2.7117	6.5678	0.7455	0.2643	6.1729
b	7	28	39	280	1.7508	2.9004	3.2110	7.8622	0.8765	0.1571	6.7438
c	7	41	55	565	1.6719	2.9652	3.3189	7.956	0.8282	0.1221	8.5216
d	8	53	74	798	1.5355	3.1523	3.7537	8.4415	0.8721	0.0789	10.9247
e	7	34	45	174	1.4312	3.0452	3.4024	7.8788	0.8938	0.1207	8.5287

3.4 不同生境蝴蝶分布的特点

从 5 个不同生境来看,各个生境均有分布的蝴蝶共 6 科 18 种,见表 4,从表 4 中可以看出,蛱蝶科有 5 种,粉蝶科有 4 种在 5 个生境均有分布,是跨 5 个生境分布的主要科。其中粉蝶科 4 种,占粉蝶科物种总数(5 种)的 80%,这表明粉蝶寄主植物广泛,有较强的适应性,能够适应不同生境的变化。而弄蝶科仅 1 种,占弄蝶物种总数的 7.14%,表明弄蝶对环境条件变化的适应能力较弱。

仅在 1 个生境中有分布的蝴蝶共有 24 种,其中生境 d 分布有 14 种,在 5 个生境中最多,占总数的 58.33%,生境 a 和 e 各有 4 种,生境 c 分布有 2 种,其中生境 b 没有。特有种是评价生物多样性的一个重要方面,生境 d 中的特有蝴蝶种类最多,表明了该生境的蝶类多样性最高,从另一方面也反应出该生境的生态环境质量在 5 个生境中是最好的。

表 4 5 个生境均有分布的蝴蝶组成
Table 4 Composition of butterfly distributed in all 5 habitats

科 Family	种 Species	科 Family	种 Species
凤蝶科 Papilionidae	碧凤蝶 <i>Papilio bianor</i>	蛱蝶科 Nymphalidae	灿福蛱蝶 <i>Fabriciana adippe</i>
	柑橘凤蝶 <i>Papilio xuthus</i>		小环蛱蝶 <i>Neptis sappho</i>
粉蝶科 Pieridae	斑缘豆粉蝶 <i>Colias erate</i>		中环蛱蝶 <i>Neptis hylas</i>
	菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>		大红蛱蝶 <i>Vanessa indica</i>
	东方菜粉蝶 <i>Pieris canidia</i>		黄钩蛱蝶 <i>Polygonia c-aureum</i>
	云粉蝶 <i>Pontia daplidice</i>	灰蝶科 Lycaenidae	彩燕灰蝶 <i>Rapala selira</i>
眼蝶科 Satyridae	斗毛眼蝶 <i>Lasiommata deidamia</i>		蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>
	牧女珍眼蝶 <i>Coenonympha amaryllis</i>		琉璃灰蝶 <i>Celastrina argiolus</i>
	爱珍眼蝶 <i>Coenonympha oedippus</i>	弄蝶科 Hesperidae	黑弄蝶 <i>Daimio tethys</i>

3.5 不同生境蝴蝶分布的相似性

不同生境蝴蝶分布的相似性系数见表 5。从表 5 中可以看出,生境 a 和 b,b 和 c,c 和 d,c 和 e,d 和 e 的物种相似性系数都在 0.50—0.75 之间,为中等相似。中等相似的生境多为相邻的或相近的,同时,蝴蝶在白天有较强的扩散性,蝴蝶种类数量的变化不大。其中生境 c 和生境 d 的相似性系数最高,为 0.6538,共有蝴蝶 51 种。其余各生境间的物种相似性均在 0.25—0.50 之间,为中等不相似。其中生境 a 和 d 的物种相似性最低,仅为 0.3827,这主要是由于

表 5 不同生境中相同蝴蝶种数(对角线上)及相似性系数(对角线下)

Table 5 Number of the shared species between two habitats (above diagonal) and similarity coefficient (below diagonal)

生境 Habitat	a	b	c	d	e
a		28	28	31	24
b	0.5714		34	35	25
c	0.4308	0.5667		51	34
d	0.3827	0.4487	0.6538		40
e	0.4068	0.4237	0.5152	0.5063	

生境 a(38 种)和 d(74 种)蝴蝶种类数量差距较大造成的,其次二者在植被组成上差异很大,而且在空间距离上也较远。

3.6 蝴蝶群落的时间变化

对各月份蝴蝶的种类数、个体数、多样性指数(H')、物种丰富度(R)进行了统计(图 2 和图 3)。可以看出,蝴蝶种类数量的高峰出现在 7 月份,共 69 种,5 月份的种类最少,共 32 种;个体数量的高峰出现在 8 月份,共 641 只,6 月份的个体数量最少,共 229 只。从图 3 中可以看出,多样性指数从 5 月份到 7 月份逐渐上升,并于 7 月份达到最高点,从 8 月份到 10 月份缓慢下降,达到最低点。丰富度在 5 月份最低,6 月份迅速上升,7 月份达到最高点,然后到 8 月份迅速下降,从 8 月份到 9 月份缓慢下降。蝴蝶群落的多样性指数和物种丰富度都在 7 月份达到最高值,此时多数蝴蝶寄主植物较为繁茂,温度和水分最佳。

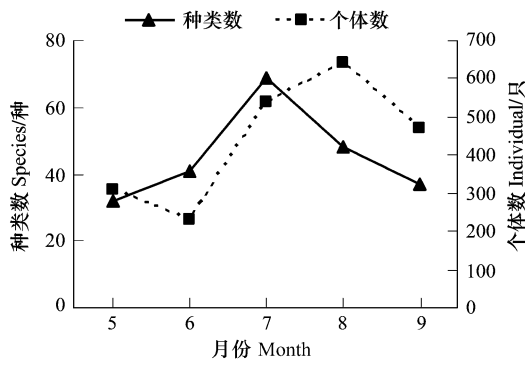


图 2 八仙山蝴蝶物种数和个体数的时间动态
Fig. 2 Temporal dynamics of the number of the butterfly species and individuals in Baxian Mountain Nature Reserves

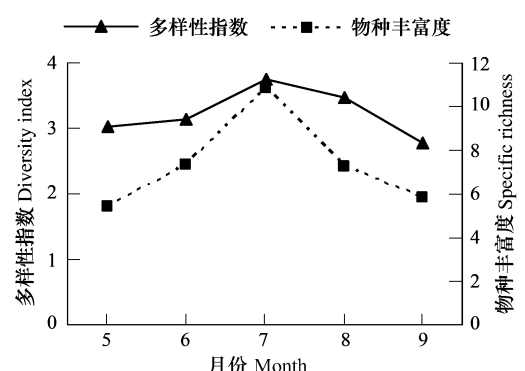


图 3 八仙山蝴蝶多样性(H')指数和丰富度(R)的时间动态
Fig. 3 Temporal dynamics of diversity index (H') and richness (R) of butterfly in Baxian Mountain Nature Reserves

3.7 区系研究

以《中国农林昆虫地理分布》和《中国蝴蝶志》等资料为主要依据^[12, 21-23],将八仙山 88 种蝴蝶划分为古北种、东洋种和广布种,见表 1。古北种、东洋种和广布种所占比例及在各科中的分布见表 6。

古北种指主要分布于古北界的种类。多数分布于我国东北、西北、华北、青藏高原以及欧洲、西伯利亚、日本北部、朝鲜等地区。统计的 88 种中,有 31 种属于古北区系种类,占总数的 35.23%,其中凤蝶科 1 种,粉蝶科 1 种,绢蝶科 1 种,眼蝶科 5 种,蛱蝶科 14 种,灰蝶科 6 种,弄蝶科 3 种。

东洋种指完全和主要分布于东洋界的种类。包括我国东洋界内的南方各省区以及越南、老挝、缅甸、泰国、锡金、不丹、印度和南亚诸岛等地区。据统计 88 种中,有 7 种属于东洋区系种类,占总数的 7.95%,其中眼蝶科 2 种,蛱蝶科 1 种,灰蝶科 1 种,弄蝶科 3 种。

广布种指分布范围跨越两界的种类。此种分布可从我国南方各省及南亚、东南亚到我国北方各省及朝鲜、日本北部、西伯利亚、欧洲等地区。统计的 88 种中,有 50 种属于广布种类,占总数的 56.82%,其中

表 6 八仙山蝴蝶区系成分分析
Table 6 Analysis of fauna composition of butterflies in Baxian Mountain Nature Reserves

项目 Item	古北种 The Palearctic species	东洋种 The Oriental species	广布种 The widely distributed species
蛱蝶科 Nymphalidae	14	1	20
灰蝶科 Lycaenidae	6	1	9
弄蝶科 Hesperidae	3	3	8
眼蝶科 Satyridae	5	2	4
凤蝶科 Papilionidae	1	0	4
粉蝶科 Pieridae	1	0	4
喙蝶科 Libytheidae	0	0	1
绢蝶科 Parnassiidae	1	0	0
总计 The total	31	7	50
占比 Rate/%	35.23	7.95	56.82

凤蝶科 4 种,粉蝶科 4 种,眼蝶科 4 种,喙蝶科 1 种,蛱蝶科 20 种,灰蝶科 9 种,弄蝶科 8 种。

综上所述,八仙山国家级自然保护区地处古北界南部,在中国动物地理区划中位于华北区,通过对保护区 88 种蝶类在古北、东洋、古北东洋两界共有种区系中的归属及所占比例的分析可知,区系构成以东洋古北两界共有的广布种为主,说明八仙山蝶类具有东洋界与古北界相互交汇和渗透的特点。古北界成分十分明显,占主导地位,表现出很强的古北界特征;而其它成分的存在说明八仙山自然保护区区系成分的复杂性。

4 讨论

最近几年,人为干扰和环境污染对保护区内蝴蝶资源的影响日益严重,导致一些蝴蝶种类数量锐减或甚至消失,如冰清绢蝶,2006—2008 年一头标本都没有采到,也从未见过,如果不采取有效措施加强保护和繁育,这种珍贵的蝴蝶在八仙山保护区内就有可能消失。八仙山保护区的蝴蝶等资源及其环境亟待保护。

4.1 生境条件的变化对蝴蝶多样性的影响

生境 a 在小港(155 m)保护区管理局附近,植被种类较为单一,很难见到成片分布的高大乔木。附近有居民区、道路等,人为干扰很大,再加上农业生产中使用农药,严重威胁了蝴蝶的生存环境质量,致使蝴蝶多样性的丧失很严重,很少看到大型、美丽的蝴蝶。很多种类与人关系密切,其中一些是为害农作物的种类,主要有菜粉蝶、云粉蝶和斑缘豆粉蝶等,数量很多,因此该区虽然蝴蝶种类很少,但是总体数量却较多。

生境 b 的范围从山门(273 m)→太平沟(490 m),虽然位于保护区的大环境中,但是有一些当地的百姓生活在该区内,在居民区附近分布有较多的果树林,植物群落的组成发生了一些变化,果树喷洒的农药和居民的日常活动也对环境质量造成一定的影响,是生境 a 到 c、d 和 e 的过渡阶段,从生境 b 的物种多样性、丰富度和优势度指数也可以看出这一点。此外,5 个生境中,只有 b 没有特有种分布,反应出该区较低的物种多样性。这种状况如果长期持续下去,该区蝶类的物种多样性势必遭受更严重的损失。在该区,解决好当地居民的生产生活方式与生态环境保护的关系对于保护生态环境和物种多样性显得十分重要。

生境 c 范围从山门(273 m)→栈道(417 m),这一段是天津蓟县国家地质公园的“八仙山石英岩峰林峡谷景区”的典型代表,山高谷深,地形复杂,高大乔木少见,灌木与草本植物生长繁茂,水源丰富,附近没有居民居住,只是有时游客较多,对路边附近生长、活动的蝴蝶造成一定的影响。总体上人为干扰较小,生态环境较好,适合蝴蝶生长发育,因此蝴蝶多样性较高。

生境 d 的范围从栈道(417 m)→仙姑泉(630 m),水源丰富,植被茂盛,木本和草本植物种类和空间结构复杂多样,整个生态环境复杂而稳定,具备各种蝶类生存与繁衍的优良条件,受人为干扰极少。因此该区内蝴蝶种类、数量、多样性指数和物种丰富度都是保护区内最高的,而且只在该区分布的蝴蝶有 14 种,占全部种类(88 种)的 15.91%,占全部单区分布种类(24 种)的 58.33%,是八仙山保护区蝶类多样性的中心,应当给予重点保护。同时,作为与生境 d 蝴蝶分布相似度最高的生境 c 和 e,在地理位置上与生境 d 相邻,生态环境良好,蝴蝶多样性也较为丰富,可以为生境 d 缓冲来自外界的人为干扰的压力和扩展蝴蝶的活动空间,建议同样给予重点保护。

生境 e 的范围从仙姑泉(630 m)→明安梁(835 m),阔叶林高大、茂盛,常有成片分布的纯林,郁闭度很高,草本和小灌木植物种类和数量较少,结构较为单一,还分布有较多的成片油松林,油松林下枯落物分解产生的酸性物质不利于一些草本植物生长,因此油松林内的灌木和草本植物也较少。该区许多蝴蝶喜欢在树冠层活动,给调查采集带来困难,在一定程度上影响了调查结果的准确性,这可能也是蝴蝶的种类和数量减少的一个原因。从生境 d 到生境 e,植被从阔叶林变为了针阔混交林,使得蝴蝶的组成发生了较大的变化,这也说明了蝴蝶对环境变化的反应比较敏感。

从 5 个样地的生境条件变化以及样地内蝴蝶多样性、丰富度、均匀度和优势度的分析比较可知,生境条件的变化对蝴蝶多样性产生了明显的影响。各样地的生态环境质量及植物群落的差异是导致蝶类群落结构差别的主要因素。从生境 a 至 e,生境质量不断提升,人为干扰程度呈下降的趋势,多样性指数在总体上呈上升的趋势,即人类活动越频繁,对环境和森林植被的干扰越大,开发程度越高,蝴蝶多样性指数就越低,这与其他

研究者对森林环境与蝴蝶多样性相互关系的调查结果相一致^[8, 25-29]。但是生境 e 的多样性指数并不符合这一规律,该生境的种级多样性指数低于生境 d,甚至科级多样性指数 $H'(F)$ 和总体多样性指数 $H'(FGS)$ 还低于生境 c。这种现象可以用“中度干扰假说”来解释^[30],在其他类似的研究中也发现过这样的规律^[8, 31]。人为活动对生境 d 和 c 的干扰程度达到了中等水平,适当的干扰有利于其他植物物种的入侵、定居和种群的扩大,从而导致了其多样性的最大。由于寄主植物的多样性达到了最大,所以这些生境内的蝴蝶多样性也就达到了最大。生境 e 受到外界的干扰最小,阔叶和针叶的高大乔木占绝对优势,往往形成块状分布的纯种群落,草本植物和灌木较少,从而导致了其多样性偏低,因而导致了蝴蝶多样性偏低。生境 a 受到人类居住,农业开垦,交通等干扰十分严重,抑制了大多数植物和蝴蝶的生长发育,导致了最低的多样性。

植被破坏和环境污染等人为干扰的加剧,严重制约了蝶类生长、繁衍和扩散,从而影响和制约蝶类多样性。因此,保护和发展蝴蝶适宜的生存环境是蝴蝶多样性保护的最基本、最有效的途径。尽量减少和控制人类活动对以森林为主体的生态系统的破坏,对保护生态环境和昆虫资源是非常必要的,对人类的发展与繁荣亦是十分有益的^[16]。

4.2 建议

根据本文的研究结果,对八仙山自然保护区的蝴蝶保护和利用提出以下建议:

(1)恢复和提高生境质量 生境的减少退化与破碎化是生物多样性面临的最重要的威胁。加强生物多样性保护,尽量减少和控制人类活动对保护区生态系统的干扰和破坏,增加有效核心区的生境面积,在害虫发生的林区尽量采用除化学药剂外的其它防治方法,减少森林大气和土壤的污染,才会有利于保护区物种多样性的稳定和生态环境的健康持续发展。

(2)保护濒危珍稀物种 在我国 1997 年及 2002 年调整后的野生动物保护名录中,八仙山自然保护区内有绢蝶科绢蝶属的冰清绢蝶,具有较高观赏价值但八仙山保护区内数量较少的金凤蝶、大紫蛱蝶、白斑迷蛱蝶等,以及数量极少的丝链荫眼蝶、绢眼蝶、幽翼眼蝶、紫闪蛱蝶、亲艳灰蝶、黑豹弄蝶等,对于这些珍贵稀有的种类,应对其进行生物学方面的观察研究,了解其发生规律、习性及其寄主植物等方面的情况,开展人工饲养或抚育,增加其种群的数量,尽快解决濒临灭绝的问题。

(3)适度合理地发展旅游资源。最近几年,森林旅游成为人们流行的外出旅游方式,八仙山保护区也逐步发展旅游事业,这就需要管理者协调好生境保护与旅游资源开发之间的矛盾。因此建议在旅游高峰时段控制游客人数,管理好登山游客,禁止对动植物资源乱采乱挖;保护区内的游览观光车辆应使用没有尾气排放的电瓶车,严格控制常规机动车辆上山,以减少空气污染;在修建进山道路时,应该尽量保护好路边的灌木、草本和开花植物。

(4)适度的开发和利用蝴蝶资源 可以在保护蝶类多样性的基础之上适度地开发保护区的蝴蝶资源,在保护中开发,在开发中保护,相辅相成。如碧凤蝶、柑橘凤蝶、丝带凤蝶等都是大型美丽的蝴蝶,具有较高的观赏价值,而且种群数量较大,便于人工饲养繁殖,大量繁殖后,可将它们用药物处理和整肢后,压膜塑封成科学标本和工艺标本,供应教学、科研单位,保护区游客,蝴蝶爱好者等,既能为八仙山保护区和珍贵的蝴蝶资源起到很好的宣传作用,又能为保护区的经济发展和拓宽保护经费来源发挥作用。但是在开发中一定要遵纪守法,严禁经营国家和保护区珍稀濒危的蝴蝶种类,维护生物多样性。

References:

- [1] Ramos F A. Nymphalid butterfly communities in an amazonian forest fragment. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 2000, 35: 29-41.
- [2] Pianka E R. Convexity, desert lizards, and spatial heterogeneity. *Ecology*, 1966, 47: 1055-1059.
- [3] Thomas C D. Habitat use and geographic ranges of butterflies from the wet lowlands of Costa Rica. *Biological Conservation*, 1991, 55: 269-281.
- [4] Devries P J. The Butterflies of Costa Rica and Their Natural History: Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae. New Jersey: Princeton University Press, 1987: 327.
- [5] Saunders D A, Hobbs R J, Margules C R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 1991, 5: 18-32.

- [6] Steffan-Dewenter, Tschamtk T. Butterfly community structure in fragmented habitats. *Ecology Letters*, 2000, 3: 449-456.
- [7] Maes D, Van Dyck H. Butterfly diversity loss in Flanders (north Belgium): Europe's worst case scenario? *Biological Conservation*, 2001, 99: 263-276.
- [8] Wang Y P, Wu H, Xu H C. Butterfly diversity and evaluation of forest eco-system health in important ecological areas of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (11): 5259-5269.
- [9] Qi B, Yang P, Deng H L. The diversity indexes, richness and evenness of butterfly communities in the Three Gorge Reservoir Area of Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (9): 3049-3059.
- [10] Li H H, Lü J M, Hao S L. Yang C W. Lepidoptera // Li Q K ed. Biodiversity Investigation in Baxian Mountains Nature Reserve in Tianjin. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2009: 97-142
- [11] Xu N. Investigation of Baxianzhuozi Nature Reserves in Ji County, Tianjin. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1990: 1-120.
- [12] Zhou Y. Monographia Rhopalocerorum Sinensium. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1994: 93-745.
- [13] Zhou Y. Classification and Identification of Chinese Butterflies. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998: 1-313.
- [14] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity I: α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2 (4): 231-239.
- [15] Cha Y P, Luo Q G, Wang G X, Wu S B, Huang D Q, Deng C S, Kui Q. Community diversity of butterfly in Houhe National Nature Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (2): 265-268.
- [16] Yang D R. Studies on the structure of the butterfly community and diversity in the fragmentary tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41 (1): 48-55.
- [17] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Species diversity of litter-layer beetles in four forest types in Eastern Hengduan Mountain Region. *Zoological Research*, 2004, 25 (1): 7-14.
- [18] Liu G L, Pang H, Zhou C Q, Wen R Z, Chen H D, Jia F L, Mo Z Q. Diversity of butterflies in Lianhua Mountain Nature Reserve of Dongguan City, Guangdong Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (4): 571-574.
- [19] Zuo Z T, Yuan X Z, Liu H, Li X. Butterfly diversity in different types of habitat in Chongqing urban area. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27 (6): 946-950.
- [20] Chen Z N, Zeng Y. The butterfly diversity of different habitat types in Qilian, Qinghai Province. *Biodiversity Science*, 2001, 9 (2): 109-114.
- [21] Zhao Y M. Fauna of butterflies in Changbai Mountains and its geographic division. *Journal of Northeast Forestry University*, 2005, 33 (2): 106-107.
- [22] Zhang S M, Zhao Y X. The Geographical Distribution of Agricultural and Forest Insects in China. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 302-315.
- [23] Li C L. Study on the fauna and division of butterflies in Yunnan. *Entomotaxonomia*, 1996, 18 (2): 150-156.
- [24] Yang H, Wang C H. Original Color Iconographia of Beijing Butterflies. Beijing: Scientific and Technological Literature Press, 1994: 1-55.
- [25] Shahabuddin G, Ponte C A. Frugivorous butterfly species in tropical forest fragments: correlates of vulnerability to extinction. *Biodiversity and Conservation*, 2005, 14: 1137-1152.
- [26] Bobo K S, Waltert M, Fermon H, Njokagbor J, Mühlenberg M. From forest to farmland: butterfly diversity and habitat associations along a gradient of forest conversion in Southwestern Cameroon. *Journal of Insect Conservation*, 2006, 10: 29-42.
- [27] Warren M S, Hill J K, Thomas J A, Asher J, Fox R, Huntley B, Royk D B, Telfer M G, Jeffcoate S, Harding P, Jeffcoate G, Willis S G, Greatorex-Davies J N, Moss D, Thomas C D. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature*, 2001, (414): 65-69.
- [28] Beck J, Schulze C H, Linsenmair K E, Fiedler K. From forest to farmland: diversity of geometrid moths along two habitat gradients on Borneo. *Journal of Tropical Ecology*, 2002, 18: 33-51.
- [29] Maes D, Van Dyck H. Habitat quality and biodiversity indicator performances of a threatened butterfly versus a multispecies group for wet heathlands in Belgium. *Biological Conservation*, 2005, 123: 177-187.
- [30] Connell J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 1978, 199: 1302-1310.
- [31] Lu T, Ma K M, Ni H W, Fu B J, Zhang J Y, Lu Q. Variation in species composition and diversity of wetland communities under different disturbance in intensity in the Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (5): 1893-1900.

参考文献:

- [8] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 浙江重点生态地区蝶类生物多样性及其森林生态系统健康评价. *生态学报*, 2008, 28 (11): 5259-5269.
- [9] 漆波, 杨萍, 邓合黎. 长江三峡库区蝶类群落的物种多样性. *生态学报*, 2006, 26 (9): 3049-3059.
- [10] 李后魂, 吕锦梅, 郝淑莲, 杨春旺. 鳞翅目 // 李庆奎主编. 天津八仙山国家级自然保护区生物多样性考察. 天津: 天津科学技术出版社,

2009: 97-142.

- [11] 许宁. 天津市蓟县八仙桌子自然保护区综合调查. 天津:天津科学技术出版社, 1990: 1-120
- [12] 周尧主编. 中国蝶类志(上、下册). 郑州:河南科学技术出版社, 1994: 93-745.
- [13] 周尧主编. 中国蝴蝶分类与鉴定. 郑州:河南科学技术出版社, 1998: 1-313.
- [14] 马克平,刘玉明. 生物生境类型多样性的测度方法 I: α 多样性测试方法(下). 生物多样性, 1994, 2 (4): 231-239.
- [15] 查玉平,骆启桂,王国秀,吴少斌,黄大钱,邓长盛,隗权. 后河国家级自然保护区蝴蝶群落多样性研究. 应用生态学报, 2006, 17 (2): 265-268.
- [16] 杨大荣. 西双版纳片段热带雨林蝶类生境类型结构与多样性研究. 昆虫学报, 1998, 41 (1): 48-55.
- [17] 于晓东,罗天宏,周红章. 横断山区东部四种林型地表甲虫的物种多样性. 动物学研究, 2004, 25 (1): 7-14.
- [18] 刘桂林,庞虹,周昌清,温瑞贞,陈海东,贾凤龙,莫震球. 东莞莲花山自然保护区蝴蝶群落多样性研究. 应用生态学报, 2004, 15 (4): 571-574.
- [19] 左自途,袁兴中,刘红,黎璇. 重庆市主城区不同生境类型的蝴蝶多样性. 生态学杂志, 2008, 27 (6): 946-950.
- [20] 陈振宁,曾阳. 青海祁连地区不同生境类型蝶类多样性研究. 生物多样性, 2001, 9 (2): 109-114.
- [21] 赵玉敏. 长白山区蝶类区系与地理区划. 东北林业大学学报. 2005, 33 (2): 106-107.
- [22] 章士美,赵泳祥. 中国农林昆虫地理分布. 北京:中国农业出版社, 1996: 302-315
- [23] 李昌廉. 云南蝴蝶区系及其区划的研究. 昆虫分类学报, 1996, 18 (2): 150-156.
- [24] 杨宏,王春浩. 北京蝶类原色图鉴. 北京:科学技术文献出版社, 1994: 1-55.
- [31] 卢涛,马克明,倪红伟,傅伯杰,张洁瑜,陆琦. 三江平原不同强度干扰下湿地植物群落的物种组成和多样性变化. 生态学报, 2008, 28 (5): 1893-1900.