• 研究报告 •

秦岭国家植物园蝴蝶群落结构与多样性

房丽君^{1*} 张宇军¹ 邢小宇²¹ (陕西省植物资源保护与利用工程技术研究中心, 陕西省西安植物园(陕西省植物研究所), 西安 710061)² (秦岭国家植物园, 西安 710061)

摘要: 为了查明秦岭国家植物园蝴蝶资源和多样性状况, 本研究选取了5种生境, 利用样线法进行了3年的蝴蝶多样性观测。结果表明: 秦岭国家植物园蝴蝶共有5科76属134种; 物种丰富度指数、物种多样性指数、均匀度指数和优势度指数分别为1.3295、3.4616、0.7068和0.7656; 其中蛱蝶科属数及物种数最多(33属65种), 凤蝶科最低(5属10种); 蛱蝶科物种多样性指数及物种丰富度指数最高, 分别为2.8525及1.3622; 凤蝶科多样性指数最低(1.4936); 粉蝶科物种丰富度指数最低(0.2790)。5种生境中, 随着植被丰富度的增加, 蝴蝶多样性指数上升。

关键词: 昆虫纲; 鳞翅目; 蝴蝶多样性; 物种丰富度

Butterfly community structure and diversity in Qinling National Botanical Garden, China

Lijun Fang^{1*}, Yujun Zhang¹, Xiaoyu Xing²¹ Shaanxi Engineering Research Centre for Conservation and Utilization of Botanical Resources, Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province (Institute of Botany of Shaanxi Province), Xi'an 710061² Qinling National Botanical Garden, Xi'an 710061

Abstract: In order to determine butterfly resources and diversity status of the Qinling National Botanical Garden, we used the transect method across three years to observe butterflies within five habitats. A total of 134 species were recorded, belonging to 5 families and 76 genera. The species richness index, diversity index, evenness index and dominance index were 1.3295, 3.4616, 0.7068 and 0.7656, respectively, among them, Nymphalidae had the largest number of genera (33) and species (65), while Papilionidae had only 5 genera and 10 species. Nymphalidae had the highest diversity index (2.8525) and richness index (1.3622). Papilionidae had the lowest diversity index (1.4936) and Pieridae had the lowest richness index (0.2790). The comparison of butterfly diversity indicators in different habitats showed that butterfly diversity index increased with the increase of vegetation richness. These results show an abundance of butterfly diversity, indicating that Qinling National Botanical Garden may be of significant conservation value.

Key words: Insecta; Lepidoptera; butterfly biodiversity; species richness

秦岭国家植物园是目前全世界面积最大、植被分带最清晰、最具自然风貌的植物园, 也是我国第一个国家级植物园。该园以保护生物多样性为宗旨, 是兼具物种保育、科学研究、公众教育、生态旅游等功能为一体的综合性植物园。除了保护优良的生态环境和丰富的植物资源, 植物园还是熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、朱鹮(*Nipponia nippon*)、

川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)、羚牛(*Budorcas taxicolor*)、三尾凤蝶(*Bhutanitis thaidina*)等数十种国家珍稀保护动物的栖息地。

蝴蝶以其在自然界中容易观察、捕捉、标记及鉴定等特性, 成为种群及生态系统水平研究的良好材料(Nowicki et al, 2008); 同时, 它们具有多样的生态特性和生境要求, 对栖息地植被及微环境变化

收稿日期: 2020-02-13; 接受日期: 2020-09-18

基金项目: 生态环境部生物多样性保护重大工程、国家自然科学基金(31750002)、陕西省科学院重点项目(2016K-06)和陕西省科学院科技计划配套与奖励项目(2019K)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fanglijunn@hotmail.com

十分敏感,具有广泛生物地理学和生态学探针的功能,可以用来监测环境变化趋势,从而成为环境监测的有效指示物种,研究其多样性既有理论意义,又有应用价值。

近年来,国内许多地区开展的蝴蝶研究主要有蝴蝶群落结构与多样性(如杨大荣, 1998; 胡冰冰等, 2010; 梅杰等, 2015; 翁锦泗等, 2017)及多样性与环境变化的相关性(如左自途等, 2008; 邓合黎等, 2012; 郝淑莲等, 2019)等。对陕西秦岭地区蝴蝶多样性进行的研究主要有:周欣等(2001)记录秦岭南坡大熊猫保护区蝶类191种;周尧和邱琼华(1962)记录太白山蝴蝶98种,并对种类及其海拔分布和寄主植物做了描述;高可等(2013)对太白山南坡的蝴蝶多样性及区系特征进行了研究,记录蝶类126种;苑彩霞等(2012)对陕西秦岭平河梁自然保护区的蝶类进行了资源调查和区系分析,记录蝶类68种;郭荣和李静平(2010)对秦岭佛坪国家级自然保护区蝶类进行调查,分析了该地区蝶类资源的垂直分布,发现蝴蝶种类及其活动规律随着植被带谱的变化而变化,植物种类是决定蝴蝶种类组成和分布的主要因素。

秦岭国家植物园是秦岭北坡最具代表性的区域之一,蝴蝶资源丰富,但目前尚未见到对秦岭国家植物园蝴蝶多样性的研究报道。为此,我们在承担生态环境部蝴蝶多样性观测课题时,选取了该植物园作为观测调查的样区,于2016–2018年进行了蝴蝶多样性观测,并对其群落结构及多样性进行分析探讨,以期揭示秦岭国家植物园蝴蝶物种资源和多样性现状及不同生境的蝴蝶多样性特征,为秦岭地区蝴蝶资源保护、利用以及环境质量的监测和评价提供基础资料。

1 研究方法

1.1 研究地概况

秦岭国家植物园规划总面积639 km²,位于108°13'–108°29' E、33°43'–34°04' N,由北向南依次为平原、丘陵、低山、中山和高山五种地貌单元,形成了一个完整的立体生态系统。该园地处亚热带和暖温带分界线,属暖温带大陆性山地气候。园内共有13条河流,年平均降水量800–900 mm,年平均温度8–10℃。海拔跨度480–3,000 m,由低到高依次为杂果林、次生灌丛及阔叶林带、针阔混交林带(侧柏

(*Platycladus orientalis*)林带和锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)林带, 2,000–2,400 m)、红桦(*Betula albosinensis*)林带(2,400–2,600 m)、巴杉冷杉(*Abies fargesii*)林带(2,600–2,800 m)、太白红杉(*Larix chinensis*)林带(2,900 m左右)、灌丛及草甸(2,900 m以上)。主要景区分A、B、C及D四个区域,其中C区为生物就地保护区和植被恢复区,规划面积575.31 km²,以保护现有生物的栖息地和生存环境为目标,进行科学观测和监测,按照保护分区有针对性地开展研究和保护,同时对受到破坏的浅山地区进行植被恢复重建。

1.2 调查地点及样线设置

按照全国蝴蝶多样性观测要求,在秦岭国家植物园根据不同的植被类型、生境和人类活动影响等因素,参考不同蝴蝶的栖息特点、生态习性、寄主分布范围等,选取纯天然林、天然林(沿园区旅游主干道)、半人工林、河岸带及农耕地等5种生境,每个生境内设置1条样线(图1)。各生境植被及海拔状况如下:

图1 秦岭国家植物园蝴蝶调查样线分布图

Fig. 1 Map of survey transects of butterfly in Qinling National Botanical Garden

(1)纯天然林生境。位于秦岭国家植物园的纯天然林内,林内道路为羊肠小道,植被覆盖率为93%,海拔650–860 m,植被类型为阔叶林带。主要植物为栓皮栎(*Quercus variabilis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏、杜仲(*Eucommia ulmoides*)、胡桃(*Juglans regia*)、山杨(*Populus davidiana*)、青麸杨(*Rhus potaninii*)、陕西鹅耳枥(*Carpinus shensiensis*)、陕西小檗(*Berberis shensiensis*)、刚竹(*Phyllostachys*

bambusoides)、陕西荚蒾(*Viburnum schensianum*)、连翘(*Forsythia suspensa*)、互叶醉鱼草(*Buddleja alternifolia*)、多花胡枝子(*Lespedeza floribunda*)、小白酒草(*Conyza canadensis*)等。

(2)天然林生境。位于秦岭国家植物园的天然林内,但有园区的主干道(水泥路)贯穿其间,并有游客活动,植被覆盖率为90%,海拔700–730 m,植被类型为阔叶林带。主要植物有青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)、栓皮栎、陕西鹅耳枥、垂柳(*Salix babylonica*)、胡桃、山杨、国槐(*Sophora japonica*)、红叶李(*Prunus cerasifera*)、尖叶女贞(*Ligustrum lucidum*)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)、苦皮藤(*Celastrus angulatus*)、互叶醉鱼草、小白酒草、地榆(*Sanguisorba officinalis*)等。

(3)半人工林生境。位于秦岭国家植物园的园林展览区,海拔580–670 m,植被类型为阔叶林带。主要植物有油松、侧柏、玉兰(*Magnolia denudata*)、红叶李、垂柳、杏(*Armeniaca vulgaris*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、国槐、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、刚竹、大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、小白酒草、狗尾草(*Setaria viridis*)、毛茛子(*Iicia villosa*)等。

(4)河岸带生境。位于田峪河的村落附近的河岸带,海拔440 m,植被类型为次生草灌丛。主要植物有构树(*Broussonetia papyifera*)、多花胡枝子、迎春花(*Jasminum nudiflorum*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、艾草(*Artemisia argyi*)、毛茛子、苜蓿(*Medicago sativa*)、小白酒草、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、播娘蒿(*Descurainia sophia*)等。

(5)农耕地。位于紧邻植物园的平原农耕带,海拔460 m,植被类型为农作物及人工果园,种植的作物主要有玉米(*Zea mays*)、李子(*Prunus salicina*)、桃(*Prunus persica*)、猕猴桃(*Actinidia chinensis*)、小麦(*Triticum aestivum*)、油菜(*Brassica napus*)等。

1.3 调查方法

根据生态环境部蝴蝶多样性观测网络的统一要求(马方舟等, 2018), 于2016–2018年每年的5–8月采用样线法进行观测调查, 每月1次, 每次在蝴蝶活动频繁的9:00–17:00进行观测记录。每条样线长2 km, 划分成10个样段, 每个样段长200 m, 各样线、样段设置明显标识物并编号标记, 每个样段内的生境类型或土地利用方式相同(马方舟等, 2018)。

利用GPS记录样线位置。观测时沿样线缓慢匀速前行, 速度1–1.5 km/h。记录样线左右2.5 m、上方5 m、前方5 m范围内见到的所有蝴蝶的种类和数量, 不重复计数同一只个体和身后的蝴蝶(马方舟等, 2018)。在悬崖或水边, 可沿样线仅记录一侧宽度为5 m范围内的数据(HJ 710.9-2014)。

对于不能确定的种类, 网捕后进行鉴定, 种类确定后原地释放; 当时不能确定的种类, 每种网捕1–2只, 用三角纸袋包好并编号, 带回实验室鉴定、统计记录。

1.4 分类依据

采用Jong等(1996)、Wahlberg等(2003)的五科分类系统, 眼蝶、环蝶及喙蝶归入蛱蝶科, 绢蝶归入凤蝶科。依据《中国蝶类志》(周尧, 1994)、《中国蝴蝶分类与鉴定》(周尧, 1998)和《中国蝴蝶图鉴》(武春生和徐堉峰, 2017)等资料进行分类鉴定。

1.5 数据分析

采用 Menhinick 物种丰富度指数(d_s)、Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J')、Berger-Parker优势度指数(d)和Jaccard群落相似性系数(C_j)分析蝶类群落 α 及 β 多样性(马克平, 1994; 马克平和刘玉明, 1994; 马克平等, 1995; 吴坤君等, 2005; Magurran, 2011)。

$$d_s = G/N_s^{1/2} \quad (1)$$

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$J' = H'/\ln S \quad (3)$$

$$d = N_{\max}/N_t \quad (4)$$

式中, G 为各科的物种数, N_s 为各科所包含的个体数之和。 $P_i = N_i/N$, N_i 为物种 i 的个体数, N 为样本总个体数。 S 为物种数。 $N_{\max}$ 为优势种的个体数量之和, N_t 为全部种类的个体数量之和。

$$C_j = j / (a + b - j) \quad (5)$$

其中, j 为两个生境共有种数; a 和 b 分别为生境A和B的物种数。 C_j 为0.00–0.25时, 为极不相似; C_j 为0.25–0.50时, 为中等不相似; C_j 为0.50–0.75时, 为中等相似; C_j 为0.75–1.00时, 为极相似。

计算属种比值, 即属数/种数。

当某种蝴蝶的个体数 ≥ 150 只时定为优势种; 仅记录到1只个体的定为稀有种, 记录个体数为2–5只的定为少见种(胡冰冰等, 2010)。

2 结果

2.1 秦岭国家植物园蝴蝶群落组成

2016–2018年共记录到蝴蝶10,158只, 隶属5科76属134种(附录1)。

由表1可知, 各科中属数由高到低排序为: 蛱蝶科 > 灰蝶科 > 弄蝶科 > 粉蝶科 > 凤蝶科; 各科中物种数由高到低排序为: 蛱蝶科 > 灰蝶科 > 弄蝶科 = 粉蝶科 > 凤蝶科; 属及种的数量以蛱蝶科最丰富, 达33属65种, 分别占蝴蝶总属数及种数的43.42%和48.51%; 凤蝶科的属及种数最少, 仅5属10种, 分别占总属数和种数的6.58%和7.46%。个体数量排序为粉蝶科 > 灰蝶科 > 蛱蝶科 > 凤蝶科 > 弄蝶科, 以粉蝶科最多, 达3,714只, 占总个体数的36.58%, 弄蝶科的个体数最少, 为299只, 占总个体数的2.95%。

据属种比值系数分析, 秦岭国家植物园蝶类为0.57, 小于该比值的科有蛱蝶科、凤蝶科和粉蝶科,

其中蛱蝶科属种比值为0.51, 与整个蝶类的属种比值(0.57)最为接近; 灰蝶科及弄蝶科属种比值大于0.57, 分别为0.72及0.71, 说明这两科在该地区分布的属级单元较为丰富。

2.2 秦岭国家植物园蝴蝶优势种及稀有种

由表2可知, 该地区个体数量在150只以上的优势种有17种, 占总种数的12.69%, 但它们的个体数量(7,777只)却占到总个体数的76.56%, 其中粉蝶科的优势种数量最多, 占到总个体数的33.59%。这些种构成了秦岭国家植物园蝴蝶的优势类群。

调查发现, 该地区的稀有种有姝美凤蝶(*Papilio macilentus*)、残锷线蛱蝶(*Limenitis sulphita*)、虬眉带蛱蝶(*Athyma opalina*)、蛛环蛱蝶(*Neptis arachne*)、棕褐黛眼蝶(*Lethe christophi*)、陕灰蝶(*Shaanxiana takashimai*)、华灰蝶(*Wagimo sulgeri*)、绿弄蝶(*Choaspes benjaminii*)等23种, 占总蝴蝶物种数的17.16%; 少见种有迷蛱蝶(*Mimathyma chevana*)、戟眉线蛱蝶(*Limenitis homeyeri*)、羚环蛱蝶

表1 秦岭国家植物园蝴蝶种、属、个体数及其比值和所占百分比

Table 1 Number of the species, genera, individuals, ratio of genus / species and percentage of butterfly on the level of families in Qinling National Botanical Garden

科 Family	属数 Genera number (%)	种数 Species number (%)	属种比值系数 Ratio of genus / species	个体数 Individuals number (%)
凤蝶科 Papilionidae	5 (6.58)	10 (7.46)	0.50	473 (4.66)
粉蝶科 Pieridae	8 (10.53)	17 (12.69)	0.47	3,714 (36.58)
蛱蝶科 Nymphalidae	33 (43.42)	65 (48.51)	0.51	2,277 (22.42)
灰蝶科 Lycaenidae	18 (23.68)	25 (18.66)	0.72	3,395 (33.42)
弄蝶科 Hesperidae	12 (15.79)	17 (12.69)	0.71	299 (2.95)
合计 Total	76 (100)	134 (100)	0.57	10,158 (100)

表2 秦岭国家植物园蝴蝶优势种(个体数 ≥ 150只)

Table 2 The dominant species (individual ≥ 150) of butterflies in Qinling National Botanical Garden

优势种 Dominant species	个体数 Individual numbers (%)	优势种 Dominant species	个体数 Individual numbers (%)
凤蝶科 Papilionidae	307 (3.02)	蛱蝶科 Nymphalidae	1,203 (11.84)
碧凤蝶 <i>Prinsepia bianor</i>	154 (1.52)	扬眉线蛱蝶 <i>Limenitis helmanni</i>	609 (6.00)
冰清绢蝶 <i>Parnassius glacialis</i>	153 (1.51)	小环蛱蝶 <i>Neptis sappho</i>	250 (2.46)
粉蝶科 Pieridae	3,412 (33.59)	黄钩蛱蝶 <i>Polygonia c-aureum</i>	344 (3.39)
斑缘豆粉蝶 <i>Colias erate</i>	633 (6.23)	灰蝶科 Lycaenidae	2,855 (28.11)
橙黄豆粉蝶 <i>C. fieldii</i>	170 (1.67)	大紫璃灰蝶 <i>Celastrina oreas</i>	780 (7.68)
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>	1,670 (16.44)	蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>	680 (6.69)
东方菜粉蝶 <i>P. canidia</i>	386 (3.80)	锯灰蝶 <i>Orthomiella pontis</i>	603 (5.94)
绢粉蝶 <i>Aporia crataegi</i>	202 (1.99)	酢浆灰蝶 <i>Pseudozizeeria maha</i>	262 (2.58)
普通绢粉蝶 <i>A. genestieri</i>	178 (1.75)	红珠灰蝶 <i>Lycaides argyrognomon</i>	530 (5.22)
大翅绢粉蝶 <i>A. largeaui</i>	173 (1.70)		

(*Neptis antilope*)、白钩蛱蝶(*Polygonia c-album*)、黛眼蝶(*Lethe dura*)、蛱灰蝶(*Taraka hamada*)、钩形黄斑弄蝶(*Ampittia virgata*)等24种, 占总蝴蝶物种数的17.91%。建议将上述47种蝴蝶列为重点关注对象, 给予特别的关注与有效的保护。

2.3 蝶类群落的多样性特征

从表3可看出, 秦岭国家植物园蝶类群落的物种丰富度指数为1.3295, 物种多样性指数达3.4616, 均匀度指数为0.7068, 优势度指数为0.7656, 表明该地区生态条件良好, 蝶类物种丰富, 群落结构较为稳定。

各科间物种丰富度指数由高到低依次为: 蛱蝶科 > 弄蝶科 > 凤蝶科 > 灰蝶科 > 粉蝶科; 蛱蝶科的物种数最多, 而个体数居中, 故其物种丰富度指数最高; 粉蝶科物种丰富度指数最低, 因其物种数较凤蝶科多, 而个体数量是凤蝶科的 7.85 倍。

Shannon-Wiener 多样性指数为蛱蝶科 > 弄蝶科 > 灰蝶科 > 粉蝶科 > 凤蝶科。Pielou 均匀度指数为弄蝶科 > 蛱蝶科 > 粉蝶科 > 凤蝶科 > 灰蝶科。Berger-Parker 优势度指数为粉蝶科 > 灰蝶科 > 凤蝶科 > 蛱蝶科 > 弄蝶科。

蛱蝶科物种丰富度指数(1.3622)和多样性指数(2.8525)最高, 均匀度指数(0.6833)仅低于弄蝶科, 优势度指数(0.5283)次低, 说明蛱蝶科在该地区物种丰富, 群落结构较为稳定。弄蝶科的多样性指数(2.1919)较高, 仅次于蛱蝶科, 均匀度指数(0.7737)最高, 优势度指数为0, 表明弄蝶科的物种丰富, 种类间的个体数量差异不明显, 无特别显著的优势种, 整个弄蝶科群落结构稳定, 物种相对平衡。灰蝶科的多样性指数(2.0823)居中, 优势度指数(0.8409)次高, 而均匀度指数(0.6469)最低, 说明在秦岭国家植物园灰蝶科种类相对较多, 优势种相对集中, 种群

结构处于较不稳定状态。粉蝶科的优势度指数(0.9187)最高, 多样性指数(1.8496)次低, 均匀度指数(0.6528)处于相对低位, 说明粉蝶科的物种较为贫乏, 优势种突出, 其生存与繁育处于较不稳定的状态。凤蝶科的多样性指数(1.4936)最低, 均匀度指数(0.6487)次低, 优势度指数(0.6491)中等, 说明该科的物种较为贫乏, 物种分布不太均匀, 有部分突出的优势种, 种群处于中度稳定的状态。

2.4 不同生境蝶类物种组成、多样性及相似性比较

2.4.1 不同生境蝴蝶物种组成

从表4可以看出, 不同生境蝴蝶群落的物种数和个体数存在差异, 其中以纯天然林的物种数和个体数最多, 为110种3,460只; 农耕地的物种数和个体数最少, 为13种1,341只。种类数各生境由高到低依次为: 纯天然林 > 天然林 > 半人工林 > 河岸带 > 农耕地; 个体数各生境由高到低依次为: 纯天然林 > 河岸带 > 天然林 > 半人工林 > 农耕地。

2.4.2 不同生境蝴蝶群落多样性指数

由表4可以看出, 不同生境蝴蝶群落各多样性指数间存在差异。纯天然林、天然林及半人工林3种生境的多样性明显好于河岸带和农耕地; 河岸带和农耕地的优势度指数远高于纯天然林、天然林及半人工林, 表明多样性指数越好的生境, 其群落结构越稳定, 各种蝴蝶种群较为平衡, 而生境较差的环境蝴蝶种类少, 优势种类发生数量较多, 蝴蝶群落结构处于较不稳定状态。

2.4.3 不同生境蝴蝶相似性比较

不同生境蝴蝶群落的相似性系数见表5。由表中可以看出各生境蝴蝶群落间的相似性系数在0.00–0.75之间, 其中相似性系数在0.00–0.25之间的生境有纯天然林和河岸带、纯天然林和农耕地、

表3 秦岭国家植物园蝴蝶多样性指数
Table 3 The diversity indices of butterfly communities in Qinling National Botanical Garden

科 Family	物种丰富度指数 Species richness index	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	优势度指数 Dominance index
凤蝶科 Papilionidae	0.4598	1.4936	0.6487	0.6491
粉蝶科 Pieridae	0.2790	1.8496	0.6528	0.9187
蛱蝶科 Nymphalidae	1.3622	2.8525	0.6833	0.5283
灰蝶科 Lycaenidae	0.4291	2.0823	0.6469	0.8409
弄蝶科 Hesperidae	0.9831	2.1919	0.7737	0
合计 Total	1.3295	3.4616	0.7068	0.7656

表4 秦岭国家植物园不同生境蝴蝶物种组成和多样性指数

Table 4 Species composition and diversity indices of butterflies in different habitats in Qinling National Botanical Garden

生境 Habitat	种数 Number of species	个体数 Number of individuals	物种丰富度指数 Species richness index	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	优势度指数 Dominance index
纯天然林 Pure natural forest	110	3,460	1.8701	3.5627	0.7579	0.3812
天然林 Natural forest	98	1,801	2.3328	3.3842	0.7365	0.3298
半人工林 Semi-plantation	69	1,361	1.8703	3.1187	0.7366	0.2785
河岸带 Riparian zone	21	2,195	0.4482	2.1137	0.6943	0.8105
农耕地 Farmland	13	1,341	0.3550	0.8596	0.3351	0.7867

表5 秦岭国家植物园不同生境中共有蝴蝶种数(对角线上)及相似性系数(对角线下)

Table 5 Number of the shared species (above diagonal) and similarity coefficient (below diagonal) between different habitats in Qinling National Botanical Garden

生境 Habitat	纯天然林 Pure natural forest	天然林 Natural forest	半人工林 Semi-plantation	河岸带 Riparian zone	农耕地 Farmland
纯天然林 Pure natural forest		84	59	17	13
天然林 Natural forest	0.67		58	15	11
半人工林 Semi-plantation	0.49	0.53		16	11
河岸带 Riparian zone	0.15	0.14	0.22		12
农耕地 Farmland	0.12	0.11	0.16	0.55	

天然林和河岸带、天然林和农耕地、半人工林和河岸带及半人工林和农耕地,表明纯天然林、天然林和半人工林与河岸带和农耕地之间的蝴蝶相似性为极不相似;纯天然林和半人工林间蝴蝶的相似性系数在0.25–0.50之间,为中等不相似;纯天然林和天然林、天然林和半人工林及河岸带和农耕地之间蝴蝶的相似性系数在0.50–0.75之间,为中等相似,其中纯天然林和有人类干扰的天然林之间蝴蝶的相似性系数最高,为0.67,说明天然林中,虽有人类干扰但蝴蝶种类依然近似,从中也可以看出蝴蝶发生的种类受植被类型的影响更大。

3 讨论

植被类型、寄主植物丰富度、蜜源植物及人为干扰等因素对蝴蝶的群落结构和动态变化具有较大影响(Corbet, 2000; Inoue, 2003; Dennis et al, 2004; Andrea et al, 2005; Kotiaho et al, 2005), 秦岭国家植物园的蝴蝶种类丰富、群落结构稳定,与该地丰富的植物资源以及近年来实施退耕还林、天然林及水源涵养区保护等措施密切相关。

纯天然林生境内道路为羊肠小道,几无游人干扰,植被覆盖率达到93%,其蝶类群落多样性指数和均匀度指数最高,物种丰富度指数和优势度指数居中,表明该生境植被良好,蝶类种类丰富,群落

结构较为稳定。天然林生境内有园区的主干道(水泥路)贯穿其间,有一定的人为干扰,植被覆盖率为90%,该生境蝶类的物种丰富度指数最高,物种多样性指数和均匀度指数次高,优势度指数次低。主干道的建设可能产生两方面的影响:一方面降低了郁闭度,更有利于蝴蝶的活动和繁殖,从而使物种丰富度上升;另一方面道路的建设破坏了生境,加之游人的活动干扰,降低了物种多样性,增加了优势种类。半人工林生境在秦岭国家植物园的园林展览区,为天然林和人工林的混合植被带,游人可在其间活动,其物种丰富度指数、多样性指数及均匀度指数居中,而优势度指数最低,由于展区内部部分种植了人工林,加之游人的干扰,多样性指数稍有下降,但其他指数均处于较好水平,说明该生境较好,仍然适宜于蝴蝶的生存和繁殖。河岸带植被类型为次生草灌丛,其物种丰富度指数、多样性指数及均匀度指数处于次低,优势度指数最高,这可能与植被条件较为单一密切相关。农耕地植被类型为人工果园(猕猴桃、李子及桃)及农作物(小麦和油菜),其物种丰富度指数、多样性指数及均匀度指数为最低,而优势度指数为次高,这与其植物组成单一、且大面积栽植、大量喷洒农药和施用化肥密切相关。由以上不同生境的蝶类多样性指标比较可以看出,随着植被丰富度的增加,蝴蝶物种丰富度、

多样性指数和均匀度指数随之上升。

梅杰等(2015)的研究表明, 蝶类群落的相似度与生境质量及植被类型的差异有关。本文的各生境蝴蝶相似性分析结果表明: 纯天然林与天然林生境蝴蝶相似度最高, 为中等相似。这两种生境属天然林, 植被均以阔叶林为主, 植物种类组成较复杂, 类型多样, 且人为干扰较少; 而天然林与农耕地生境蝴蝶的相似度最低, 这可能与其植被结构及人类干扰程度差异较大密切相关。

致谢: 参与调查的还有吕璇及侯力等多位人员, 在此一并致谢!

参考文献

- Andrea G, Barbara K, Cleary DFR, Vassiliki K (2005) Butterfly, spider, and plant communities in different land-use types in Sardinia, Italy. *Biodiversity and Conservation*, 14, 1281–1300.
- Chou I, Chiu CH (1962) Butterflies from Mount Taipai and their vertical distribution. *Acta Entomologica Sinica*, 11(Suppl.), 90–102. (in Chinese with English abstract) [周尧, 邱琼华 (1962) 太白山的蝶类及其垂直分布. *昆虫学报*, 11(增刊), 90–102.]
- Chou I (1994) *Monographia Rhopalocerorum Sinensium*. Henan Science and Technology Publishing House, Zhengzhou. (in Chinese) [周尧 (1994) 中国蝶类志. 河南科学技术出版社, 郑州.]
- Chou I (1998) *Classification and Identification of Chinese Butterflies*. Henan Science and Technology Publishing House, Zhengzhou. (in Chinese) [周尧 (1998) 中国蝴蝶分类与鉴定. 河南科学技术出版社, 郑州.]
- Corbet SA (2000) Butterfly nectaring flowers: Butterfly morphology and flower form. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96, 289–298.
- Deng HL, Ma Q, Li AM (2012) The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing. *Acta Ecologica Sinica*, 32, 5208–5218. (in Chinese with English abstract) [邓合黎, 马琦, 李爱民 (2012) 重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建. *生态学报*, 32, 5208–5218.]
- Dennis RLH, Hodgson JG, Grenyer R, Shreeve TG, Roy DB (2004) Host plants and butterfly biology. Do host-plant strategies drive butterfly status? *Ecological Entomology*, 29, 12–26.
- Gao K, Fang LJ, Shang SQ, Zhang YL (2013) Butterfly diversity and faunal characteristics on the south slope of Taibai Mountain, Shaanxi Province of Northwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24, 1559–1564. (in Chinese with English abstract) [高可, 房丽君, 尚素琴, 张雅林 (2013) 陕西太白山南坡蝶类的多样性及区系特征. *应用生态学报*, 24, 1559–1564.]
- Guo R, Li JP (2010) Vertical distribution of butterfly in Foping National Nature Reserve. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (3), 28–30. (in Chinese with English abstract) [郭荣, 李静平 (2010) 陕西佛坪国家级自然保护区蝶类垂直分布调查. *陕西林业科技*, (3), 28–30.]
- Hao SL, Xue QQ, Feng DD, Li XF, Liu Y, Zhang ZW, Men LN (2019) Comparative study on butterfly diversity and niche difference in mountainous region of southern Shanxi Province. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 35, 1314–1321. (in Chinese with English abstract) [郝淑莲, 薛琪琪, 冯丹丹, 李晓菲, 刘杨, 张志伟, 门丽娜 (2019) 山西南部山地蝴蝶多样性与生态位差异比较研究. *生态与农村环境学报*, 35, 1314–1321.]
- Hu BB, Li HH, Liang ZP, Zhao TJ, Ren XB (2010) Diversity and fauna of butterflies in Baxian Mountain State Nature Reserves. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 3226–3238. (in Chinese with English abstract) [胡冰冰, 李后魂, 梁之聘, 赵铁建, 任秀柏 (2010) 八仙山自然保护区蝴蝶群落多样性及区系组成. *生态学报*, 30, 3226–3238.]
- Inoue T (2003) Chronosequential change in a butterfly community after clear-cutting of deciduous forests in a cool temperate region of central Japan. *Entomological Science*, 6, 151–163.
- Jong R, Vane-Wright RI, Ackery PR (1996) The higher classification of butterflies (Lepidoptera): Problems and prospects. *Entomologica Scandinavica*, 27, 65–101.
- Kotiaho JS, Kaitala V, Komonen A, Päävinen JP, Ehrlich PR (2005) Predicting the risk of extinction from shared ecological characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 102, 1963–1967.
- Ma FZ, Xu HG, Chen MM, Tong WJ, Wang CB, Cai L (2018) Progress in construction of China Butterfly Diversity Observation Network (China BON-Butterflies). *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34, 27–36. (in Chinese with English abstract) [马方舟, 徐海根, 陈萌萌, 童文君, 王晨彬, 蔡蕾 (2018) 全国蝴蝶多样性观测网络(China BON-Butterflies)建设进展. *生态与农村环境学报*, 34, 27–36.]
- Ma KP (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part 1). *Chinese Biodiversity*, 2, 162–168. (in Chinese) [马克平 (1994) 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 2, 162–168.]
- Ma KP, Liu YM (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*, 2, 231–239. (in Chinese) [马克平, 刘玉明 (1994) 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 2, 231–239.]
- Ma KP, Liu CR, Liu YM (1995) Measurement of biotic community diversity. II. β diversity. *Chinese Biodiversity*, 3, 38–43. (in Chinese) [马克平, 刘灿然, 刘玉明 (1995)

生物群落多样性的测度方法. II. β 多样性的测度方法. 生物多样性, 3, 38–43.]

Magurran AE (2011) Measuring Biological Diversity. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张峰 (主译) (2011) 生物多样性测度. 科学出版社, 北京.]

Mei J, Ran H, Yang TY, Xu QZ (2015) Species diversity of butterflies in Fanjing Mountain National Nature Reserve of Guizhou. Chinese Journal of Ecology, 34, 504–509. (in Chinese with English abstract) [梅杰, 冉辉, 杨天友, 许勤智 (2015) 贵州梵净山国家级自然保护区蝴蝶多样性. 生态学杂志, 34, 504–509.]

Nowicki P, Settele J, Henry PY, Woyciechowski M (2008) Butterfly monitoring methods: The ideal and the real world. Israel Journal of Ecology and Evolution, 54, 69–88.

Wahlberg N, Weingartner E, Nylin S (2003) Towards a better understanding of the higher systematics of Nymphalidae (Lepidoptera: Papilionoidea). Molecular Phylogenetics and Evolution, 2, 473–484.

Weng JQ, Lü WL, Hu SJ, Zheng JH, Li ZG (2017) Butterfly species diversity in Gutian Provincial Nature Reserve, Guangdong. Chinese Journal of Ecology, 36, 132–136. (in Chinese with English abstract) [翁锦泗, 吕文龙, 胡诗佳, 郑基焕, 李志刚 (2017) 广东古田自然保护区蝶类群落多样性. 生态学杂志, 36, 132–136.]

Wu CS, Xu YF (2017) Butterflies of China. The Straits Publishing House, Fuzhou. (in Chinese) [武春生, 徐增峰 (2017) 中国蝴蝶图鉴. 海峡书局, 福州.]

Wu KJ, Gong PY, Sheng CF (2005) Estimation and expression of insect diversity parameters. Chinese Bulletin of Entomology, 42, 338–340. (in Chinese with English

abstract) [吴坤君, 龚佩瑜, 盛承发 (2005) 昆虫多样性参数的测定和表达. 昆虫知识, 42, 338–340.]

Yang DR (1998) Studies on the structure of the butterfly community and diversity in the fragmentary tropical rainforest of Xishuangbanna, China. Acta Entomologica Sinica, 41, 48–55. (in Chinese with English abstract) [杨大荣 (1998) 西双版纳片断热带雨林蝴蝶群落结构与多样性研究. 昆虫学报, 41, 48–55.]

Yuan CX, Liu CH, Xu SC, Zhao YL (2012) Faunal analysis of butterflies in Pingheliang Nature Reserve of Shaanxi Province. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 40, 4478–4481. (in Chinese with English abstract) [苑彩霞, 刘长海, 徐世才, 赵盈利 (2012) 陕西省平河梁自然保护区蝶类资源调查及区系研究. 安徽农业科学, 40, 4478–4481.]

Zhou X, Sun L, Pan WS, Lü Z, Ni YN (2001) The faunal study of the butterflies of the south slope of Qinling Mountains. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 37, 454–469. (in Chinese with English abstract) [周欣, 孙路, 潘文石, 吕植, 倪一农 (2001) 秦岭南坡蝶类区系研究. 北京大学学报(自然科学版), 37, 454–469.]

Zuo ZT, Yuan XZ, Liu H, Li X (2008) Butterfly diversity in different types of habitat in Chongqing urban area. Chinese Journal of Ecology, 27, 946–950. (in Chinese with English abstract) [左自途, 袁兴中, 刘红, 黎璇 (2008) 重庆市主城区不同生境类型的蝴蝶多样性. 生态学杂志, 27, 946–950.]

(责任编辑: 白明 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 秦岭国家植物园不同生境分布的蝴蝶种类

Appendix 1 Butterfly species of the different habitats in Qinling National Botanical Garden

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020041-1.pdf>

附录1 秦岭国家植物园不同生境分布的蝴蝶种类

Appendix 1 Butterfly species of the different habitats in Qinling National Botanical Garden

种类 Species	纯天然林 Pure natural forest	天然林 Natural forest	半人工林 Semi-plantation	河岸带 Riparian zone	农耕地 Farmland
凤蝶科 Papilionidae					
金裳凤蝶 <i>Troides aeacus</i>	√	√	√		
麝凤蝶 <i>Byasa alcinous</i>	√	√	√		
碧凤蝶 <i>Papilio bianor</i>	√	√	√		
蓝凤蝶 <i>P. protenor</i>	√	√	√		
妹美凤蝶 <i>P. macilentus</i>	√				
牛郎凤蝶 <i>P. bootes</i>	√				
金凤蝶 <i>P. machaon</i>				√	
柑橘凤蝶 <i>P. xuthus</i>	√	√	√	√	√
丝带凤蝶 <i>Sericanus montelus</i>		√			
冰清绢蝶 <i>Parnassius glacialis</i>	√	√	√		
粉蝶科 Pieridae					
斑缘豆粉蝶 <i>Colias erate</i>	√	√	√	√	√
橙黄豆粉蝶 <i>C. fieldii</i>	√	√	√	√	√
宽边黄粉蝶 <i>Eurema hecabe</i>	√	√	√		
尖钩粉蝶 <i>Gonepteryx mahaguru</i>		√			
绢粉蝶 <i>Aporia crataegi</i>	√	√	√		
普通绢粉蝶 <i>A. genestieri</i>	√	√	√		
灰姑娘绢粉蝶 <i>A. intercostata</i>	√	√	√		
大翅绢粉蝶 <i>A. largeteaudi</i>	√	√	√		
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>	√	√	√	√	√
东方菜粉蝶 <i>P. canidia</i>	√	√	√	√	√
暗脉菜粉蝶 <i>P. napi</i>	√	√	√	√	
黑纹粉蝶 <i>P. melete</i>	√	√	√		
大展粉蝶 <i>P. extensa</i>	√				
云粉蝶 <i>Pontia daplidice</i>	√		√	√	√
红襟粉蝶 <i>Anthocharis cardamines</i>	√	√			
黄尖襟粉蝶 <i>A. scolymus</i>	√	√	√		
突角小粉蝶 <i>Leptidea amurensis</i>	√	√			
蛱蝶科 Nymphalidae					
二尾蛱蝶 <i>Polyura narcaea</i>	√	√	√		
柳紫闪蛱蝶 <i>Apatura ilia</i>	√		√		
曲带闪蛱蝶 <i>A. laverna</i>	√				
迷蛱蝶 <i>Mimathyma chevana</i>		√			
夜迷蛱蝶 <i>M. nycteis</i>	√	√	√		
白斑迷蛱蝶 <i>M. schrenckii</i>	√	√			
猫蛱蝶 <i>Timelaea maculata</i>		√	√		
明窗蛱蝶 <i>Dilipa fenestra</i>	√	√			
累积蛱蝶 <i>Lelecella limenitoides</i>	√	√			
黄帅蛱蝶 <i>Sephisa princeps</i>	√	√			

种类 Species	纯天然林 Pure natural forest	天然林 Natural forest	半人工林 Semi-plantation	河岸带 Riparian zone	农耕地 Farmland
黑脉蛱蝶 <i>Hestina assimilis</i>	√	√	√		
拟斑脉蛱蝶 <i>H. persimilis</i>	√	√	√		
大紫蛱蝶 <i>Sasakia charonda</i>	√	√	√		
绿豹蛱蝶 <i>Argynnis paphia</i>	√	√	√		
斐豹蛱蝶 <i>Argyreus hyperbius</i>	√	√	√	√	
老豹蛱蝶 <i>Argyronome laodice</i>	√	√		√	
红老豹蛱蝶 <i>A. ruslana</i>	√				
云豹蛱蝶 <i>Nephargynnis anadyomene</i>	√		√		
灿福蛱蝶 <i>Fabriciana adippe</i>			√		
扬眉线蛱蝶 <i>Limenitis helmanni</i>	√	√	√		
戟眉线蛱蝶 <i>L. homeyeri</i>		√	√		
断眉线蛱蝶 <i>L. doerriesi</i>	√	√	√		
残鐔线蛱蝶 <i>L. sulphitia</i>			√		
虬眉带蛱蝶 <i>Athyma opalina</i>	√				
幸福带蛱蝶 <i>A. fortuna</i>		√			
婀蛱蝶 <i>Abrota ganga</i>	√	√	√		
锦瑟蛱蝶 <i>Seokia pratti</i>	√	√			
小环蛱蝶 <i>Neptis sappho</i>	√	√	√		
啡环蛱蝶 <i>N. philyra</i>	√	√	√		
羚环蛱蝶 <i>N. antilope</i>		√			
矛环蛱蝶 <i>N. arandina</i>	√	√			
折环蛱蝶 <i>N. beroe</i>	√	√			
茂环蛱蝶 <i>N. nemorosa</i>	√	√			
蛛环蛱蝶 <i>N. arachne</i>	√				
黄环蛱蝶 <i>N. themis</i>	√	√	√		
海环蛱蝶 <i>N. thetis</i>		√			
朝鲜环蛱蝶 <i>N. philyroides</i>	√	√	√		
链环蛱蝶 <i>N. pryri</i>	√	√	√		
重环蛱蝶 <i>N. alwina</i>	√	√	√		
提环蛱蝶 <i>N. thisbe</i>	√	√	√		
黑条伞蛱蝶 <i>Aldania raddei</i>	√	√			
大红蛱蝶 <i>Vanessa indica</i>	√	√			
小红蛱蝶 <i>V. cardui</i>	√		√	√	
琉璃蛱蝶 <i>Kaniska canace</i>	√	√	√		
黄钩蛱蝶 <i>Polygonia c-aureum</i>	√	√	√	√	√
白钩蛱蝶 <i>P. c-album</i>		√	√		
曲纹蜘蛱蝶 <i>Araschnia doris</i>	√				
断纹蜘蛱蝶 <i>A. dohertyi</i>	√				
布网蜘蛱蝶 <i>A. burejana</i>	√	√			
帝网蛱蝶 <i>Melitaea diamina</i>	√	√			
大网蛱蝶 <i>M. scotosia</i>	√	√			
大卫绢蛱蝶 <i>Calinaga davidis</i>	√	√	√		

种类 Species	纯天然林 Pure natural forest	天然林 Natural forest	半人工林 Semi-plantation	河岸带 Riparian zone	农耕地 Farmland
黑绢蛱蝶 <i>C. lhatso</i>	√	√			
朴喙蝶 <i>Libythea celtis</i>		√			
黛眼蝶 <i>Lethe dura</i>	√				
棕褐黛眼蝶 <i>L. christophi</i>			√		
蒙链荫眼蝶 <i>Neope muirheadii</i>	√				
稻眉眼蝶 <i>Mycalesis gotama</i>		√			
拟稻眉眼蝶 <i>M. francisca</i>	√	√	√		
白眼蝶 <i>Melanargia halimede</i>	√				
蛇眼蝶 <i>Minois dryas</i>		√			
古眼蝶 <i>Palaeonympha opalina</i>		√			
矍眼蝶 <i>Ypthima baldus</i>	√	√	√		
中华矍眼蝶 <i>Y. chinensis</i>	√				
东亚矍眼蝶 <i>Y. motschulskyi</i>	√	√	√		
灰蝶科 Lycaenidae					
蛱灰蝶 <i>Taraka hamada</i>	√				
陕灰蝶 <i>Shaanxiana takashimai</i>			√		
华灰蝶 <i>Wagimo sulgeri</i>	√				
霓纱燕灰蝶 <i>Rapala nissa</i>			√		
蓝燕灰蝶 <i>R. caerulea</i>	√	√	√		
红斑洒灰蝶 <i>Satyrium rubicundulum</i>	√				
优秀洒灰蝶 <i>S. eximia</i>	√				
刺痣洒灰蝶 <i>S. spini</i>		√			
红灰蝶 <i>Lycaena phlaeas</i>	√	√		√	√
莎菲彩灰蝶 <i>Heliophorus saphir</i>	√				
黑灰蝶 <i>Niphanda fusca</i>	√	√			
锯灰蝶 <i>Orthomiella pontis</i>	√	√	√	√	
中华锯灰蝶 <i>O. sinensis</i>	√	√			
酢浆灰蝶 <i>Pseudozizeeria maha</i>	√	√	√	√	√
蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>	√	√	√	√	√
玄灰蝶 <i>Tongeia fischeri</i>	√	√	√		
点玄灰蝶 <i>T. filicaudis</i>	√	√	√	√	√
雾驳灰蝶 <i>Bothrinia nebulosa</i>	√				
璃灰蝶 <i>Celastrina argiola</i>	√	√			
大紫璃灰蝶 <i>C. oreas</i>	√	√	√	√	√
靛灰蝶 <i>Caerulea coeligena</i>	√	√	√		
珞灰蝶 <i>Scolitantides orion</i>	√	√			
豆灰蝶 <i>Plebejus argus</i>				√	
红珠灰蝶 <i>Lycaeides argyrognomon</i>			√	√	
多眼灰蝶 <i>Polyornmatus erotides</i>				√	
弄蝶科 Hesperidae					
绿弄蝶 <i>Choaspes benjaminii</i>	√				
双带弄蝶 <i>Lobocla bifasciata</i>	√	√	√		

种类 Species	纯天然林 Pure natural forest	天然林 Natural forest	半人工林 Semi-plantation	河岸带 Riparian zone	农耕地 Farmland
深山珠弄蝶 <i>Erynnis montanus</i>		√			
白弄蝶 <i>Abraximorpha davidii</i>	√	√	√		
黑弄蝶 <i>Daimio tethys</i>	√	√	√		
花窗弄蝶 <i>Coladenia hoenei</i>	√	√	√		
梳翅弄蝶 <i>Ctenoptilum vasava</i>	√	√			
直纹稻弄蝶 <i>Parnara guttata</i>	√		√		
南亚谷弄蝶 <i>Pelopidas agna</i>	√	√			
中华谷弄蝶 <i>P. sinensis</i>	√				√
隐纹谷弄蝶 <i>P. mathias</i>	√	√			
小赭弄蝶 <i>Ochlodes venata</i>	√	√	√		
透斑赭弄蝶 <i>O. linga</i>	√	√	√		
白斑赭弄蝶 <i>O. subhyalina</i>	√	√			
豹弄蝶 <i>Thymelicus leoninus</i>	√	√			
黑豹弄蝶 <i>T. sylvaticus</i>	√				
钩形黄斑弄蝶 <i>Ampittia virgata</i>	√	√			