



李欣芸, 杨益春, 贺泽帅, 杨贵军. 宁夏贺兰山自然保护区蝴蝶群落多样性及其环境影响因子 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 660–673.

宁夏贺兰山自然保护区蝴蝶群落多样性及其环境影响因子

李欣芸, 杨益春, 贺泽帅, 杨贵军*

(宁夏大学生命科学学院, 银川 750021)

摘要: 宁夏贺兰山自然保护区蝴蝶群落多样性及其与环境因素的关系, 2017年5–9月采用样线法对贺兰山东麓6类生境和不同干扰类型10条样线的蝴蝶群落结构及其多样性季节动态进行调查。共记录蝴蝶5科36属45种, 蛱蝶科 Nymphalidae 的属和物种数最多, 为17属19种; 凤蝶科 Papilionidae 最少, 仅1属1种。菜粉蝶 *Pieris rapae*、云粉蝶 *Pontia daplidice*、斑缘豆粉蝶 *Colias erate* 和小檎绢粉蝶 *Aporia hippia* 是该地区的优势种, 个体数量分别占总个体数的11.76%、11.63%、11.21%和10.17%。不同生境样线优势类群和常见类群不同。蝴蝶的栖息地偏好与寄主植物有关, 蝴蝶的生境分布类型可分为生境广布型、湿润平原型、荒漠半荒漠草原型和山地森林型。蝴蝶群落 Shannon–Wiener 多样性和丰富度指数以灰榆疏林草地生境最高, 优势度最低。各物种在生境内的季节变化趋势与不同生境植被生长季节相关, 高峰期为7–8月。不同调查时间蝴蝶的优势种和常见种不同。物种数以7月份调查最多, 有33种, 占全年调查总物种数的73.33%; 5月份调查最少, 有20种。蝴蝶群落 Shannon–Wiener 多样性和丰富度指数以8月份最大, 5月份最小。蝴蝶成虫发生类型分为全年发生型、春季型、夏季型和夏秋季型。不同生境和季节发生的优势种可以作为对生境状况进行评估的指示类群。采用 CCA 分析物种分布与微环境因子的关系, 海拔对蝴蝶物种多样性分布格局有显著影响。蝴蝶丰富度与海拔、温度、风速显著正相关。适度干扰有利于蝶类多样性增加, 较强的人为干扰会影响蝶类栖息环境, 降低蝶类多样性。因此, 生境差异性和干扰与蝴蝶群落的物种多样性密切相关, 维持贺兰山垂直植被带的生境异质性和保持适度干扰是保护蝴蝶多样性的关键。

关键词: 蝴蝶; 多样性; 环境因子; 干扰; 贺兰山

中图分类号: Q968.2; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674–0858 (2020) 03–0660–14

Diversity of butterflies community and its environmental factors in Helan Mountain Nature Reserve, Ningxia

LI Xin-Yun, YANG Yi-Chun, HE Ze-Shuai, YANG Gui-Jun* (School of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan, 750021, China)

Abstract: The diversity of butterflies community and its relationship with environmental factors in Helan Mountain Nature Reserve of Ningxia was analyzed. The community structure and species diversity of butterfly were investigated from 10 line transects of six vegetation habitats and different interference types from May to September 2017 in the east of Helan Mountains in Ningxia. A total of 2 891 individuals of 45 butterfly species were observed belonging to 36 genera and 5 families from 10 sampling transects of six vegetation habitats along the elevation gradient. Lycaenidae had 17 genera and 19 species, with the most species number and genera, Papilionidae had 1 genus and 1 species, with the least number. *Pieris rapae*,

基金项目: 生态环境部生物多样性保护专项资助项目 (SDZXWJZ01045–2017); 国家自然科学基金 (31760618)

作者简介: 李欣芸, 女, 1993年生, 宁夏同心人, 硕士研究生, 研究方向为动物系统与进化, E-mail: 1179062798@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 杨贵军, 硕士, 教授, 研究方向为动物生态学及动物资源保护与利用, E-mail: yang_gj@nxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2019–04–15; 接受日期 Accepted: 2019–06–10

Pontia daplidice, *Colias erate* and *Aporia hippia* were dominant species in this area, accounting for 11.76%, 11.63%, 11.21% and 10.17% of the total number of individuals, respectively. The community composition and dominant species of butterfly were also significant differences among different habitats. The habitat preference of butterflies is often linked with the food source and can be divided into widely distributed type, wet plains type, desert and semi-desert grasslands type and mountain forest type. Among the plots, butterfly community of desert and semi-desert grassland had the highest Shannon-Wiener diversity and species richness, and lowest dominance. Butterflies seasonal activities peak were in July and August and various species in vertical vegetation zones have different seasonal trend. The number of species in July was the most with 33 species accounting for 73.33% of the total species for the year, but them in May was the lowest. The Shannon-Wiener diversity and species richness of butterfly communities were the largest in August and the smallest in May. The occurrence type of butterfly species can be divided into perennial occurrence type, spring type, summer type, summer and autumn type. Based on the distribution of butterfly species from the 10 sampling transects, CCA was performed to analyze the relationships between species and microenvironment factors. Elevation that had significant effects on the distribution patterns of total butterfly species. Using Pearson's correlation analysis, butterfly richness were highly correlated with altitude, temperature and wind speed. Therefore, the dominant species in different habitats and seasons can be used as indicator groups for evaluating habitat status. Moderate disturbance is beneficial to increase the butterflies diversity, but strong anthropogenic interference will affect the habitat of butterflies and reduce the butterflies diversity. Therefore, the community composition and diversity of butterfly were closely related to the spatial heterogeneity and moderate interference, which will help to maintain or increase the species diversity of butterfly.

Key words: Butterfly; diversity; environmental factors; interference; Helan Mountains

蝴蝶物种丰富度与海拔和植被特征显著相关(李密等, 2011; Bhardwaj *et al.*, 2012), 它们对温度、湿度和光照水平的变化高度敏感, 易受到森林火灾、采伐和家畜等干扰的影响, 非常适合用于监测生态系统的健康和多样性, 并能探测微环境变化 (Bonebrake *et al.*, 2010; Bhardwaj *et al.*, 2012; 周光益等, 2016; Franzén *et al.*, 2017; Riva *et al.*, 2018)。由于许多蝴蝶易受生境隔离而形成集合种群, 因此其也是研究生境大小、隔离和生境质量等景观效应的优秀模型生物 (Dover and Settele, 2009; Soga *et al.*, 2012)。与其他昆虫相比较, 蝴蝶还具有飞行时间短, 种类繁多, 易于识别等特点, 符合指示生物的许多标准, 已成为监测与评价栖息地环境的首选指示性生物 (Brown, 1997; Kumar *et al.*, 2009; 王义平等, 2009; 邓合黎等, 2012; 马方舟等, 2018)。

宁夏贺兰山国家级自然保护区位于宁夏西北部的贺兰山脉东坡的中段和北段, 是宁夏北部重要的水源涵养区和生态屏障, 具有较为丰富的动植物资源 (梁存柱等, 2012)。贺兰山地区蝶类区系和种类组成已有研究, 其中宁夏贺兰山区域

有蝴蝶 7 科 39 属 55 种 (贾彦霞等, 2008; 王新谱和杨贵军, 2010; 白晓栓等, 2013), 张云会等 (2014) 对宁夏贺兰山、罗山和六盘山三大天然林区的蝴蝶进行了比较, 贺兰山与罗山蝶类区系组成更相似。环境保护部 2016 年组建了“全国蝴蝶多样性观测网络”, 宁夏贺兰山作为其中的 1 个观测样区, 设定了 10 条观测样线, 对蝶类多样性及群落变化进行长期定点动态监测, 有助于掌握蝴蝶多样性的时空分布和动态变化规律, 识别威胁因素, 为自然保护区的资源保护、利用以及环境质量监测和生态系统健康评价提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样线设置

宁夏贺兰山位于宁夏西北部 ($E105^{\circ}49' \sim 106^{\circ}41'$, $N38^{\circ}19' \sim 39^{\circ}22'$), 海拔 1 200 ~ 3 556 m, 气候属于中温带干旱气候区, 具有典型的大陆性季风气候特点。年平均气温为 -0.7°C , 年平均降水量为 418.1 mm, 且季节变化差异明显。植被分布具有明显的垂直分异特征, 分为山前荒漠与荒

漠草原带、山麓与低山草原、疏林和灌丛带、中山针叶林带、高山或亚高山灌丛、草甸带(梁存柱等,2012)。

根据宁夏贺兰山东麓及其边缘的植被特征和

干扰类型,选择6类不同的生境共10条样线,见图1和表1,同类生境分别在保护区内外设置不同样线。每条样线2 km,样线间距大于2 km,按200 m分段统计蝴蝶种类和数量。

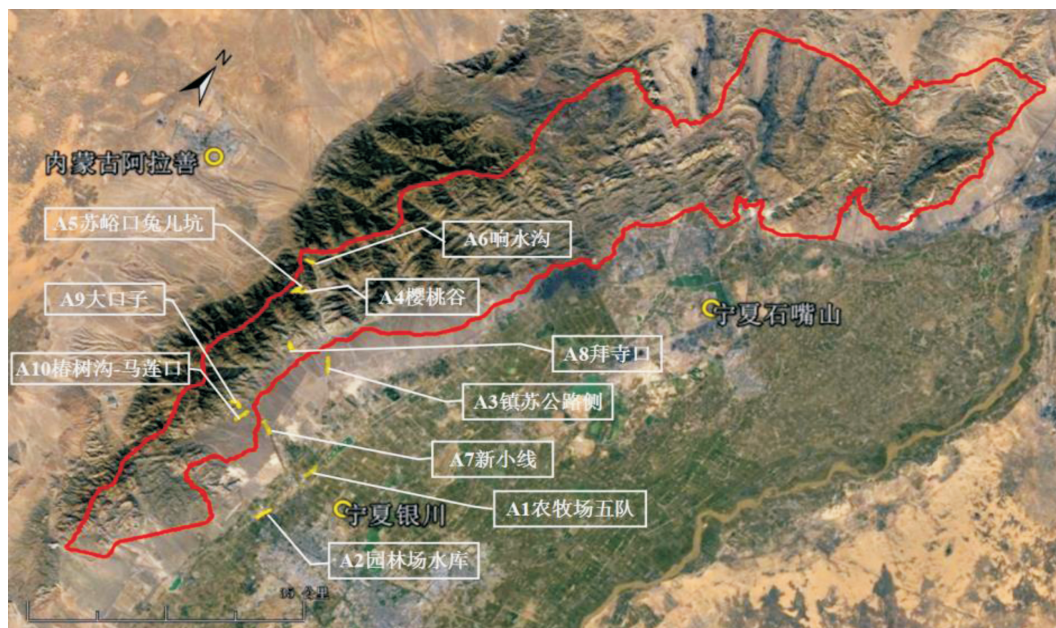


图1 宁夏贺兰山蝴蝶调查样线图

Fig. 1 Spatial distribution of butterflies sampling transects in the Ningxia Helan Mountains

注: 地理底图源自谷歌地球。Note: The geographical base map origins from Google Earth.

1.2 调查方法

2017年5月至9月期间的每月初调查1次,共调查5次,2次调查时间间隔不少于20 d,调查方法依据《生物多样性观测技术导则-蝴蝶》,尽量选择晴朗的天气进行观察,一般选择9:00-17:00时进行调查,每条样线每次调查的时间保持一致。采用LM-8000A气象仪记录调查时样线起点、中点和终点的空气温度、湿度和风速。调查时沿样线以约1.5 km/h速度匀速前进,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。对不确定的种类,网捕后进行鉴定,种类确定后原地释放。不能确定的种类,少量网捕并编号,采集到的蝴蝶装入三角纸袋保存,带回实验室后制成针插标本,参考相关资料进行分类鉴定(周尧,1994;王敏和范晓凌,2002;武春生等,2007;王新谱和杨贵军,2010),统计蝴蝶的种类、个体数量,并记录采集地点和采集日期等信息。

1.3 数据处理

采用Estimates 9.10软件估计不同样线蝴蝶物

种数目。按照群落生态学的统计方法,采用相对多度、物种丰富度、Shannon-Wiener指数、Pielou均匀度指数和优势度指数分析蝴蝶的群落结构和物种多样性。相对多度 $Ra(\%) = N_i/N \times 100$,以相对多度大于等于10%者为优势种类,在1%~10%之间为常见种类,小于1%者为稀有种;Margalef丰富度指数 $D = (S-1)/\ln N$,Shannon-Wiener多样性指数 $H = -\sum P_i \ln P_i$,Pielou均匀度指数 $E = H/\ln S$,优势度指数Berger-Parker指数 $I_b = N_{\max}/N$,其中, S 为每个样线的物种总数, $P_i = N_i/N$, P_i 是第*i*种个体数占总个体数的比例; $N_{\max}$ 是优势种的种群数量, N 为观察到的个体总数(马克平和刘玉明,1994)。

选用Origin pro9.0中的单因素方差分析(One-way ANOVA)对蝴蝶群落多样性特征进行差异显著性检验,用新复极差法进行多重比较。采用CANOCO 5.0软件对蝴蝶物种分布与非生物因子进行典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA),对不同月份蝴蝶群落结构进行对应分析(Correspondence analysis, CA)并作图。

表 1 蝴蝶调查样线概况

Table 1 Characteristic of butterflies sampling transects in the Ningxia Helan Mountains

样线 Transects	位置 Location	海拔范围(m) Elevation range	生境类型 Habitat types	主要植被 Main vegetation	干扰类型及强度 Interference type and intensity
A1 农牧场五队 (保护区外)	E106. 075678° ~ 106. 069895° N38. 576275° ~ 38. 558987°	1 110 ~ 1 116	农田	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> 、玉米 <i>Zea mays</i> 、柳 <i>Salix babylonica</i> 、独行菜 <i>Lepidium apetalum</i> 苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> 、鹅绒藤 <i>Cynanchum chinense</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> 、杨树 <i>Populus alba</i> 、柳树 <i>Salix matsudana</i> 和沙枣树 <i>Elaeagnus angustifolia</i> 等	D 耕作、施肥等农艺措施; (苜蓿刈割 4 次、农药等, 植 被短期消失, 仍可恢复) 干扰强度中等
A2 园林场水库 (保护区外)	E106. 052212° ~ 106. 042888° N38. 505273° ~ 38. 489145°	1 114 ~ 1 138	水域	芦苇 <i>Phragmites communis</i> 、独行菜、稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> 、白刺 <i>Nitraria tangutorum</i> 、苦苣菜、蒲公英等	B 农牧渔业活动(河蟹养殖), C 环境污染(水体污染), D 其他(钓鱼、放牧等) 干扰强度中等
A3 镇苏公路侧 (保护区外)	E105. 004148° ~ 105. 017317° N38. 692752° ~ 38. 67668°	1 186 ~ 1 266	荒漠半荒漠草地	斑种草 <i>Ephedra rhytidospema</i> 、猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> 、刺旋花 <i>Convolvulus tragacanthoides</i> 、酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> 、野果芥 <i>Torularia humilis</i> 、胀萼黄耆 <i>Astragalus ellipsoideus</i> 等	D 其他(短期灌溉管道施工, 样线旁 100 m 公路车流量约 78 辆/h) 干扰强度弱
A4 樱桃谷 (保护区内)	E105. 927308° ~ 105. 914876° N38. 746541° ~ 38. 740645°	1 890 ~ 2 187	落叶阔叶林及灌丛	毛樱桃 <i>Cerasus tomentosa</i> 、灰榆 <i>Ulmus glaucescens</i> 、山杨 <i>Populus davidiana</i> 、山杏 <i>Armeniaca sibirica</i> 、紫丁香 <i>Syringa oblata</i> 、鄂尔多斯小檗 <i>Berberis caroli</i> 、西北栒子 <i>Cotoneaster zabelii</i> 等	A 开发建设(旅游, 人流量 65 人/h) 干扰强度中等
A5 苏峪口兔儿坑 (保护区内)	E105. 916402° ~ 105. 910878° N38. 746717° ~ 38. 735634°	2 027 ~ 2 318	针阔混交林及针叶林缘	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i> 、青海云杉 <i>Picea crassifolia</i> 、灰榆、山杨、西北栒子、鄂尔多斯小檗、贺兰山荨麻 <i>Urtica helanshanica</i> 等	A 开发建设(旅游, 人流量 126 人/h) 干扰强度中等

续表 1 Continued table 1

样线 Transects	位置 Location	海拔范围(m) Elevation range	生境类型 Habitat types	主要植被 Main vegetation	干扰类型及强度 Interference type and intensity
A6 响水沟 (保护区内)	E105. 913859° ~ 105. 89767° N38. 777144° ~ 38. 777471°	2 130 ~ 2 530	针阔混交林 及针叶林缘	油松、青海云杉、山杨、西北栒子、鄂尔多斯小檗、束 叶千里光 <i>Senecio</i> 、披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i> R. Br. 等	无干扰
A7 新小线 (保护区外)	E105. 974336° ~ 105. 995421° N38. 590689° ~ 38. 580495°	1 219 ~ 1 261	落叶阔叶林 防护林带	杨 <i>Populus bolleana</i> 、刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> 、柠条 <i>Caragana korshinskii</i> 、斑 麻黄、虻果芥、胀萼黄耆等	D 其他(样线旁 20 m 公路车 流量为 83 辆/h) 干扰强度弱
A8 拜寺口 (保护区内)	E105. 958975° ~ 105. 943929° N38. 679998° ~ 38. 684794°	1 347 ~ 1 458	灰榆疏林草地	灰榆、猪毛蒿、单瓣黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i> 、束叶千里 光	A 开发建设(样线前 400 m 段有旅游,人流量 56 人/h) 干扰强度弱
A9 大口子 (保护区内)	E105. 93758° ~ 105. 921028° N38. 589324° ~ 38. 592186°	1 375 ~ 1 537	灰榆疏林草地	灰榆、猪毛蒿、单瓣黄刺玫、束叶千里光	D 其他(护林员巡山道路,岩 羊密度大) 干扰强度弱
A10 椿树沟 - 马莲口 (保护区内)	E105. 939633° ~ 105. 948697° N38. 575146° ~ 38. 59203°	1 287 ~ 1 344	荒漠半荒漠草地	斑籽麻黄、猪毛蒿、刺旋花、酸枣、虻果芥、胀萼黄耆	D 其他(护林员巡山道路) 干扰强度弱

注:干扰类型及强度参照《生物多样性观测技术导则 - 蝴蝶, HJ710. 9 - 2014)》,干扰类型包括 A 开发建设, B 农牧渔业活动, C 环境污染, D 其他;干扰强度分强、中、弱、无 4 个等级。Note: Interference types and intensities refer to "Technical guidelines for biodiversity observation, Butterfly, HJ710. 9 - 2014)". Interference types include A development and construction, B agricultural, pastoral and fishery activities, C environmental pollution and D others. Interference intensity is strong, medium, weak, no.

2 结果与分析

2.1 蝴蝶物种组成和丰富度估计

经鉴定统计, 全年对 10 条样线 5 次调查共统计蝴蝶 2 891 头, 隶属于 5 科 36 属 45 种 (表 2), 蛱蝶科的属和物种数量最多, 为 17 属 19 种, 灰蝶科 Lycaenidae 10 属 12 种, 粉蝶科 Pieridae 4 属 9 种, 弄蝶科 Hesperidae 4 属 4 种, 凤蝶科最少, 仅 1 属 1 种。其中菜粉蝶、云粉蝶、斑缘豆粉蝶和小蓿绢粉蝶个体数量最多, 分别占总个体数的 11.76%、11.63%、11.21% 和 10.17%, 为该区域的优势种类 (≥ 10%)。夜迷蛱蝶 *Mimathyma nycteis*、蟾眼蝶 *Triphysa phryne*、绢粉蝶 *Aporia crataegi*、红珠灰蝶 *Lycaides argyrognomon*、荨麻蛱

蝶 *Aglais urticae*、红眼蝶 *Erebia alcmena*、仁眼蝶 *Eumenis autonoe*、寿眼蝶 *Pseudochazara hippolyte*、斗毛眼蝶 *Lasiommata deidamia*、多眼灰蝶 *Polyommatus erotides*、华夏爱灰蝶 *Aricia chinensis*、单环蛱蝶 *Neptis rivularis*、小红蛱蝶 *Vanessa cardui*、灿福蛱蝶 *Fabriciana adippe*、暗色绢粉蝶 *Aporia bieti*、伊眼灰蝶 *Polyommatus icarus*、银斑豹蛱蝶 *Speyeria aglaja*、罗网蛱蝶 *Melitaea romanovi* 等 18 种个体数量在 1% ~ 10% 之间, 为该研究区域的常见类群。花弄蝶 *Pyrgus maculatus*、蛇眼蝶 *Minois dryas*、大红蛱蝶 *Vanessa indica*、天山饰弄蝶 *Spialia struvei*、牧女珍眼蝶 *Coenonympha amaryllis* 等 23 种个体数量少于 1%, 其总体数量占调查蝴蝶总个体数的 9.06%, 为该研究区域的稀有种类。

表 2 不同生境样线蝴蝶物种组成和相对多度 (%)
Table 2 Species composition and relative abundance (%) of butterflies in different habitats

编号 No.	物种 Species	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	合计 Total
凤蝶科 Papilionidae												
1	金凤蝶 <i>Papilio machaon</i>	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.43	0.63	0.31	0.97	0.90	0.42
粉蝶科 Pieridae												
2	橙黄豆粉蝶 <i>Colias fieldi</i>	0.69	0.00	2.60	0.00	0.00	1.42	0.31	0.00	0.00	0.00	0.55
3	斑缘豆粉蝶 <i>Colias erate</i>	21.33	17.07	12.99	1.80	0.00	4.82	29.47	16.25	1.45	3.60	11.21
4	黎明豆粉蝶 <i>Colias hoes</i>	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
5	菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>	58.26	46.95	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.31	0.72	0.90	11.76
6	云粉蝶 <i>Pontia daplidice</i>	13.76	21.34	48.05	0.00	1.69	8.65	7.52	10.00	11.35	33.33	11.63
7	绿云粉蝶 <i>Pontia chloridice</i>	0.00	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.42
8	绢粉蝶 <i>Aporia crataegi</i>	0.00	0.00	2.60	25.15	0.00	9.65	0.31	1.56	0.00	0.00	4.08
9	小蓿绢粉蝶 <i>Aporia hippia</i>	0.00	0.00	0.00	13.17	37.29	28.65	0.00	0.63	0.48	0.00	10.17
10	暗色绢粉蝶 <i>Aporia bieti</i>	0.00	0.00	0.00	7.19	0.00	3.55	0.00	0.63	0.00	0.00	1.35
蛱蝶科 Nymphalidae												
11	罗网蛱蝶 <i>Melitaea romanovi</i>	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	1.57	0.94	3.86	6.31	1.11
12	白钩蛱蝶 <i>Polygonia c-album</i>	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.63	0.31	0.00	0.00	0.45
13	黄缘蛱蝶 <i>Nymphalis antiopa</i>	0.00	0.00	0.00	0.60	1.13	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.21
14	朱蛱蝶 <i>Nymphalis xanthomelas</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
15	小红蛱蝶 <i>Vanessa cardui</i>	0.46	2.44	10.39	2.40	0.56	2.27	0.00	0.31	0.72	1.80	1.42
16	大红蛱蝶 <i>Vanessa indica</i>	0.23	1.22	1.30	0.60	0.00	0.14	0.00	0.94	3.86	0.00	0.86
17	荨麻蛱蝶 <i>Aglais urticae</i>	0.00	0.00	0.00	2.99	24.86	7.23	0.00	1.88	0.97	0.00	3.80
18	银斑豹蛱蝶 <i>Speyeria aglaja</i>	0.23	0.00	0.00	0.60	1.69	2.98	0.00	1.25	0.97	0.00	1.18

续表 2 Continued table 2

编号 No.	物种 Species	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	合计 Total
19	灿福蛱蝶 <i>Fabriciana adippe</i>	0.00	0.00	0.00	0.60	1.69	1.70	0.00	1.56	4.59	0.00	1.38
20	单环蛱蝶 <i>Neptis rivularis</i>	0.00	0.00	0.00	11.38	4.52	1.56	0.00	0.94	0.00	0.00	1.42
21	夜迷蛱蝶 <i>Mimathyma nycteis</i>	0.00	0.00	1.30	5.39	7.91	1.70	0.00	16.56	24.40	0.00	6.57
22	银豹蛱蝶 <i>Childrena childreni</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.07
23	蟾眼蝶 <i>Triphysa phryne</i>	0.00	0.00	11.69	0.00	0.00	0.00	26.33	0.00	4.83	44.14	5.60
24	蛇眼蝶 <i>Minois dryas</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.57	0.00	2.19	2.66	0.00	0.83
25	红眼蝶 <i>Erebia alcmena</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11	12.54	0.94	2.90	0.90	2.94
26	斗毛眼蝶 <i>Lasioommata deidamia</i>	0.00	0.00	0.00	6.59	1.13	4.54	0.00	2.81	2.66	0.00	2.25
27	寿眼蝶 <i>Pseudochazara hippolyte</i>	0.00	0.00	0.00	0.60	1.13	0.85	0.31	5.63	9.66	0.00	2.35
28	牧女珍眼蝶 <i>Coenonympha amaryllis</i>	0.00	0.00	0.00	1.80	1.13	2.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76
29	仁眼蝶 <i>Eumenis autonoe</i>	0.00	0.00	0.00	1.20	0.56	6.52	0.00	2.50	5.31	0.00	2.73
灰蝶科 Lycaenidae												
30	豆灰蝶 <i>Plebejus aigus</i>	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
31	华夏爱灰蝶 <i>Aricia chinensis</i>	0.23	0.00	2.60	0.60	0.00	0.14	2.51	4.69	3.62	5.41	1.69
32	玄灰蝶 <i>Tongeia fischeri</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.14	0.00	0.00	0.97	0.00	0.21
33	大卫玄灰蝶 <i>Tongeia davidi</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.14
34	伊眼灰蝶 <i>Polyommatus icarus</i>	0.23	2.44	1.30	0.60	0.00	0.43	5.96	0.94	0.48	0.00	1.18
35	多眼灰蝶 <i>Polyommatus erotides</i>	0.00	0.00	0.00	2.40	3.95	0.71	0.94	5.00	0.00	0.00	1.21
36	红珠灰蝶 <i>Lycaeides argyrognomon</i>	1.61	0.61	0.00	4.19	3.39	3.12	5.02	9.38	5.80	0.00	3.91
37	喇层灰蝶 <i>Lycaena labrangi</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.07
38	橙层灰蝶 <i>Thersamonia dispar</i>	0.00	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
39	秦岭婀灰蝶 <i>Albulina qinlingensis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.31	0.00	0.00	0.00	0.24
40	优秀洒灰蝶 <i>Satyrium eximium</i>	0.23	0.00	0.00	7.19	4.52	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.80
41	蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.51	0.00	0.00	0.00	0.28
弄蝶科 Hesperiidae												
42	花弄蝶 <i>Pyrgus maculatus</i>	0.00	0.00	2.60	0.00	0.00	0.14	0.31	5.00	1.69	0.90	0.97
43	天山饰弄蝶 <i>Spialia struvei</i>	0.00	0.00	0.00	2.99	0.56	0.14	1.57	1.88	1.69	0.00	0.87
44	星点弄蝶 <i>Muschampia tessellum</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	0.97	0.00	0.55
45	基点银弄蝶 <i>Carterocephalus argyrostigma</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.03
个体数量合计 Total number of individuals		436	164	77	167	177	705	319	320	414	111	2 891

基于稀疏法估计蝴蝶物种数目 (图 2), 全年总体调查曲线在急剧上升后变为一渐近线, 上升舒缓, 说明抽样充分, 全年基于物种多度的 ACE 预测值为 45.91, 基于调查样地物种二元有无数据的 ICE 预测值为 50.36, 从抽样效果来看, 实际观

测到的物种数目约为全部物种的 89.35% ~ 98.02%, 表明调查效果良好。5 月调查蝴蝶有 20 种, 约为全部物种数的 81.10% ~ 84.40%, 6 月调查蝴蝶有 29 种, 约为全部物种数的 69.69% ~ 96.44%, 7 月调查蝴蝶有 33 种, 约为全部物种数

的 93.70% ~ 98.07% , 8 月调查蝴蝶有 31 种, 约为全部物种数的 88.93% ~ 89.36% , 9 月调查蝴蝶有 24 种, 约为全部物种数的 71.88% ~ 93.86% 。

2.2 不同生境样线蝴蝶群落多样性

不同生境样线蝴蝶群落多样性见图 3。物种丰富度以 A8 样线最高, A9 样线次之, 样线 A1、A2、A3 和 A10 较低, 且显著低于样线 A8 和 A9。Shannon-Wiener 多样性在不同生境样线的变化趋势与物种丰富度指数基本一致, 以 A8 样线最高、A10 样线最低。均匀度指数以 A10 样线最高, A7 样线最低, 各生境样线之间没有显著差异。优势度指数以 A10 样线最高, 样线 A9、A8、A4 都较低, 且显著低于 A10 样线。

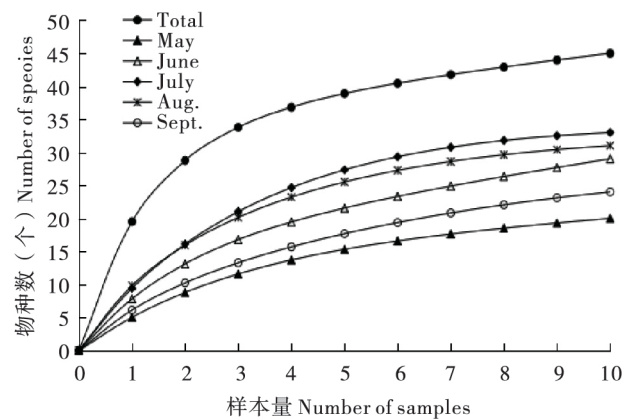


图2 宁夏贺兰山 10 条样线 5 次调查蝴蝶累积曲线

Fig. 2 Cumulative curve of butterflies from ten sampling transects in the Helan Mountains

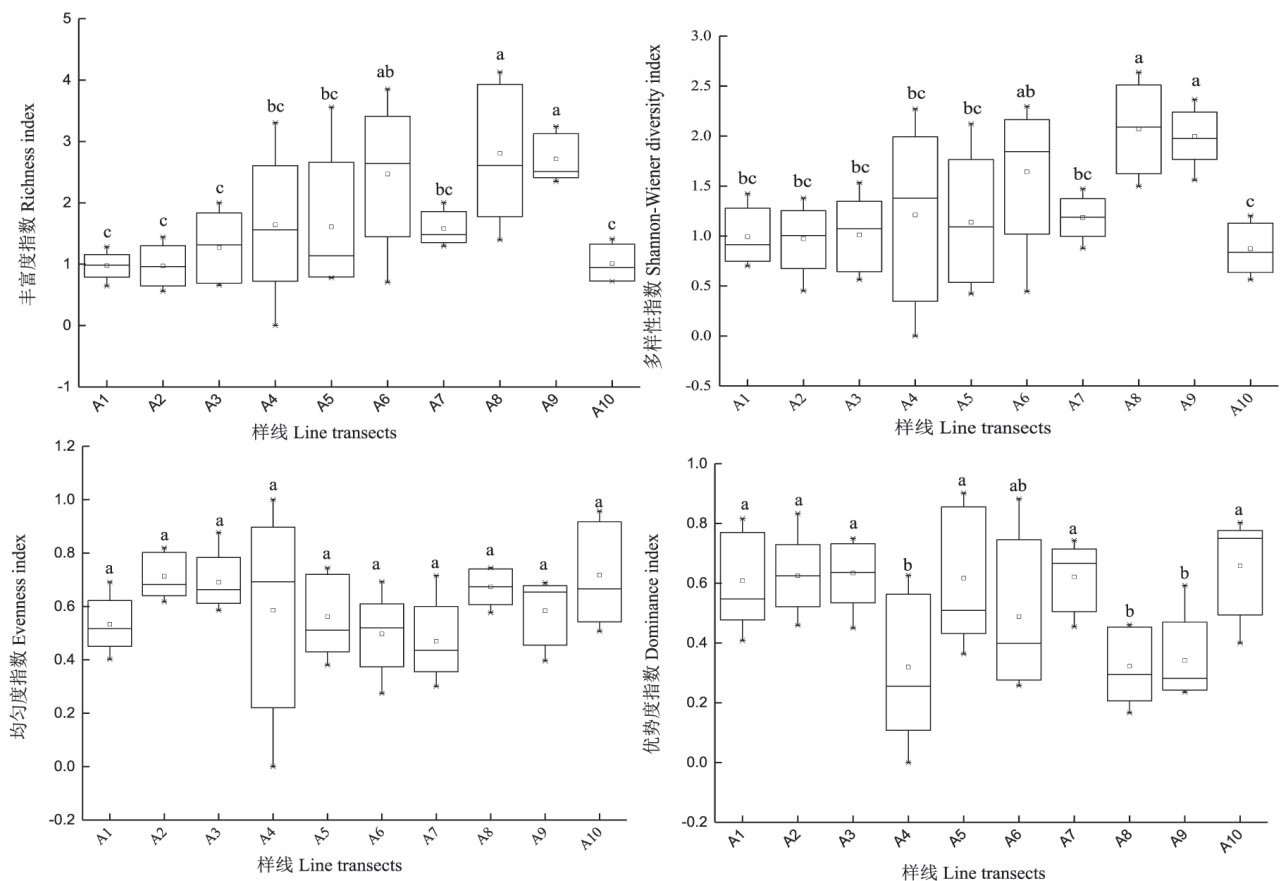


图3 不同生境样线蝴蝶群落多样性比较

Fig. 3 Comparison of butterfly community diversity indices among different line transects in the Helan Mountains

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different small letters meant significant difference at the 0.05 level.

A1 样线和 A2 样线位于保护区外, Shannon-Wiener 多样性和 Margalef 丰富度指数都较低, 是由于农田生境和湿地生境植被单一, 且人为干扰严重。A5 和 A6 样线为针阔混交林生境, A6 样线

郁闭度较 A5 低, 平均气温较高, 所以 A6 样线的蝶类多样性和丰富度指数高于 A5, 而且 A5 样线在旅游路线上, 生态环境受旅游干扰严重。A4 样线和 A7 样线均为落叶阔叶林及灌丛生境, 蝶类多

样性差异不明显,但 A4 样线位于保护区内针阔混交林缘垂直植被带下,郁闭度较高,植被以灰榆 *Ulmus glaucescens* 和毛樱桃 *Cerasus tomentosa* 为主且有较严重旅游干扰,A7 样线是位于保护区外公路防护林带,主要植被是杨树 *Populus alba*、刺槐 *Robinia pseudoacacia*、臭椿 *Ailanthus altissima* 和柠条 *Caragana korshinskii*,这两类生境植被差异大,蝶类组成差异较大,A4 样线记录 22 种,A7 样线有 19 种,共有种仅有 5 种,群落组成差异较大。A8 和 A9 样线均为灰榆疏林草地生境,蝶类 Shannon-Wiener 多样性和 Margalef 丰富度指数没有显著差异,A8 样线起点 400 m 范围有轻度旅游开发,但对蝶类群落组成和多样性影响不大。A10 样线和 A3 样线分别位于保护区内、外,属于荒漠半荒漠草地,A3 样线有轻微干扰,A3 样线蝶类丰富度和多样性略高于 A10 样线。

2.3 不同调查时间蝴蝶群落多样性及相似性

2.3.1 不同调查时间蝴蝶群落多样性

不同调查时间蝴蝶的优势种和常见种不同。

5 月初优势种为蟾眼蝶、荨麻蛱蝶和菜粉蝶,常见种有金凤蝶 *Papilio machaon*、斑缘豆粉蝶、云粉蝶等 10 种。6 月初优势种为绢粉蝶和夜迷蛱蝶,常见种有橙黄豆粉蝶 *Colias fieldi*、斑缘豆粉蝶、菜粉蝶等 15 种。7 月初优势种为小檗绢粉蝶和云粉蝶,常见种有斑缘豆粉蝶、菜粉蝶、绿云粉蝶 *Pontia chloridice* 等 18 种。8 月初优势种为菜粉蝶、云粉蝶和斑缘豆粉蝶,常见种有小檗绢粉蝶、银斑豹蛱蝶、灿福蛱蝶等 12 种。9 月初优势种为斑缘豆粉蝶、菜粉蝶和云粉蝶,常见种有白钩蛱蝶 *Polygonia calbum*、小红蛱蝶、大红蛱蝶等 8 种。

物种丰富度以 8 月初最高,显著高于物种丰富度最低的 5 月。Shannon-Wiener 多样性在不同时间的变化趋势与物种丰富度指数基本一致,以 8 月初最高、5 月初最低。不同调查时间均匀度指数大小顺序为 6 月 > 9 月 > 8 月 > 7 月 > 5 月,每次调查间差异不显著。优势度指数以 5 月初最高,8 月最低,每次调查间差异亦不显著。

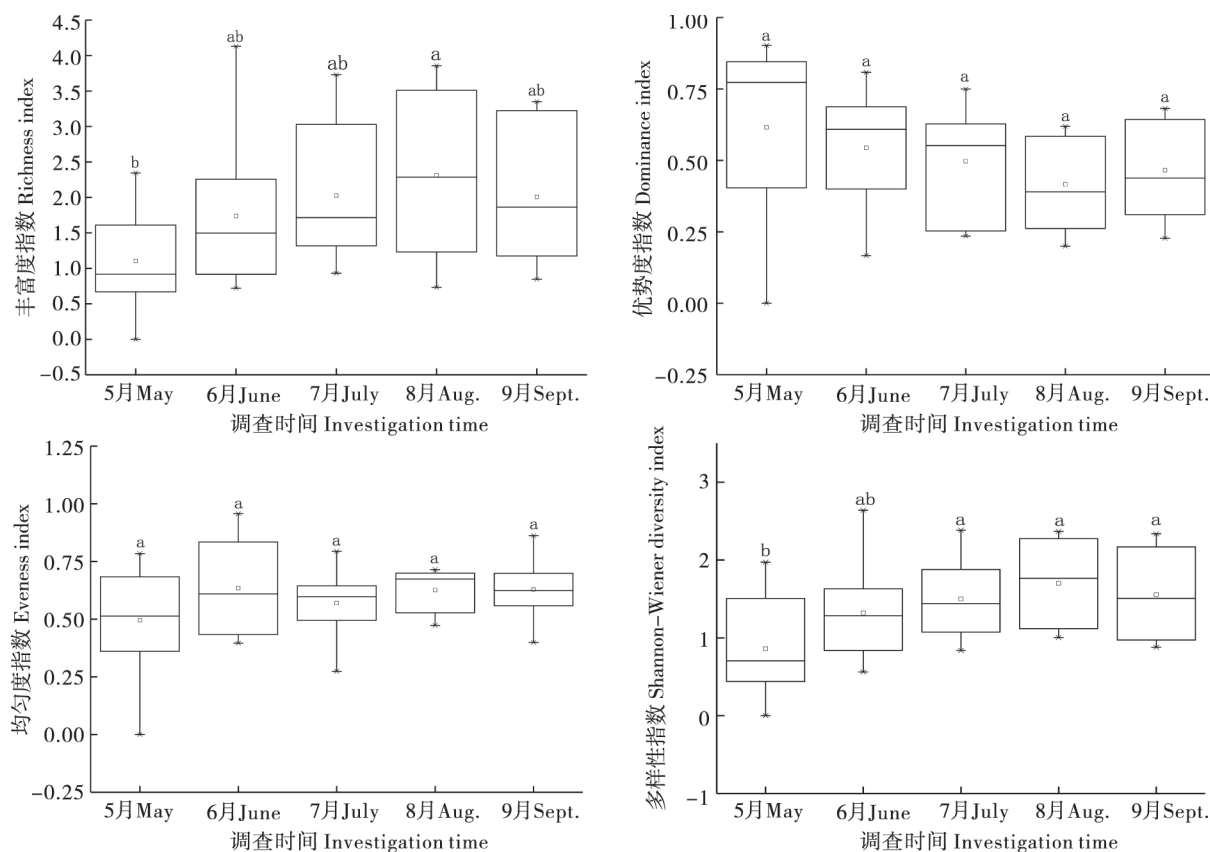


图 4 不同调查时间蝴蝶群落多样性比较

Fig. 4 Comparison of butterfly community diversity indices among different investigation time in the Helan Mountains

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different small letters meant significant difference at the 0.05 level.

2.3.2 不同调查时间样线蝴蝶群落相似性和季节变化

物种和调查时间的二维排序图(图5)结果表明,第1和第2排序轴对群落变化的累积解释度达到81.43%,能较好反应不同调查时间蝴蝶群落结构和物种的发生特征。不同调查时间蝴蝶群落组成可明显的分为3类,5月调查单独归为一类,反映了春季蝴蝶的群落组成;6月和7月归为一类,代表了该区域夏季蝴蝶群落组成;8月和第9月归为第3类,代表了夏末和秋初该区域的蝴蝶群落组成。

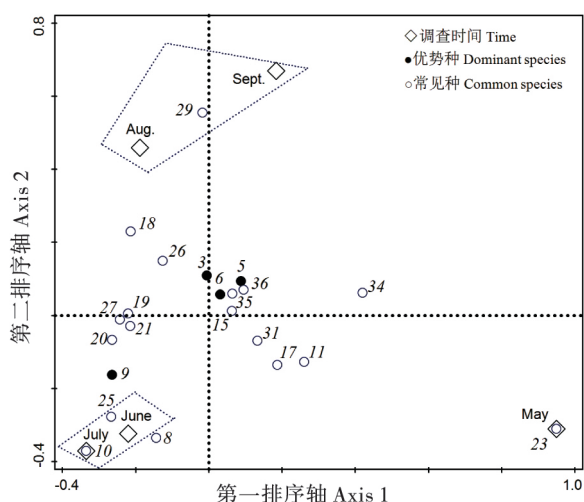


图5 不同调查时间蝴蝶 CA 二维排序图
(图中物种编号同表2)

Fig. 5 Correspondence analysis ordination diagram of different investigation time based on butterfly species
(The serial number of species are shown in table 2)

由排序图也反映了不同种类蝴蝶成虫的季节发生特征,优势种云粉蝶、菜粉蝶和斑缘豆粉蝶,常见种类小红蛱蝶、红珠灰蝶、多眼灰蝶和华夏爱灰蝶在排序图中接近坐标原点,属于全年发生类群;常见种蟾眼蝶、罗网蛱蝶和荨麻蛱蝶在春季发生;小檗绢粉蝶、绢粉蝶、暗色绢粉蝶、红眼蝶、灿福蛱蝶、单环蛱蝶、夜迷蛱蝶和寿眼蝶属于夏季发生类群;银斑豹蛱蝶、仁眼蝶和斗毛眼蝶属于夏秋季发生类群。

优势种云粉蝶、菜粉蝶和斑缘豆粉蝶在调查时间内个体数量逐渐增加,云粉蝶、菜粉蝶在八月份为发生高峰,斑缘豆粉蝶在九月份为发生高峰。小檗绢粉蝶仅在夏季观测到,七月份为发生高峰(图6)。

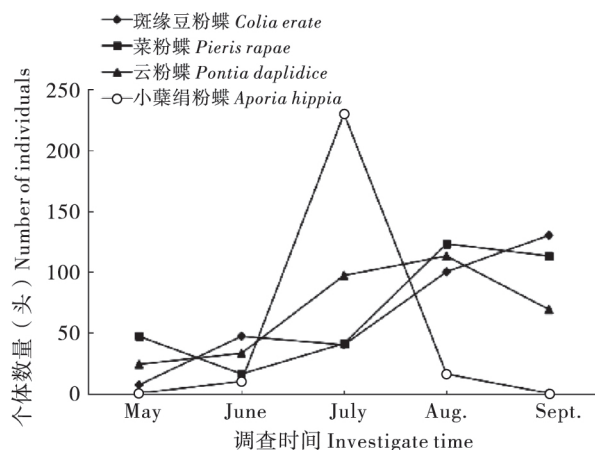


图6 蝴蝶优势种季节变化

Fig. 6 Seasonal variation of the butterfly dominant species

2.3 蝴蝶多样性与环境因子的关系

对10条样线蝴蝶物种分布进行CCA排序分析(图7和表3),蒙特卡洛置换检验表明,所有轴均具有显著统计学意义($F = 3.80$, $P = 0.002$),第1排序轴和第2排序轴的特征值分别为0.674和0.365,前两个排序轴累积解释了蝴蝶群落分布85.20%的变异,说明排序结果良好。4个因子对蝴蝶群落分布变化的独立影响分析结果表明,海拔和气温对蝴蝶的分布格局有显著影响,4个因子对蝴蝶物种分布的解释力度顺序为海拔 > 气温 > 湿度 > 风速。第1轴与海拔存在显著负相关($P < 0.05$),与气温呈显著正相关,第2轴与湿度相关系数最大,其次为海拔,均为负相关。在样线海拔范围内,全年调查蝴蝶物种数随海拔梯度呈显著正向变化($r = 0.198$, $P = 0.048$),即在随海拔升高蝶类物种数显著增加,但不同调查时间变化不同,5月($r = -0.309$, $P = 0.002$)和9月($r = -0.182$, $P = 0.069$)蝴蝶物种数随海拔增加而递减,6月($r = 0.173$, $P = 0.086$)、7月($r = 0.457$, $P < 0.001$)和8月($r = 0.315$, $P = 0.0014$)蝴蝶物种数随海拔增加而递增。蝴蝶物种数与气温呈显著的正相关($r = 0.800$, $P = 0.05$),与相对湿度呈不显著的正相关($r = 0.735$, $P > 0.05$),与风速显著正相关($r = 0.878$, $P < 0.05$)。

从图7排序图可以看出,不同样线蝴蝶群落可以分为4类,A4样线、A5样线和A6样线这3条样线位于海拔1800 m以上的山地森林,聚为一类,为山地森林生境型;A8样线和A9样线,同为灰榆疏林草地,聚为一类;A3样线和A10样

线同为荒漠半荒漠草地，和 A7 落叶阔叶林生境样线聚为一类，因为 A7 落叶阔叶林生境位于荒漠半荒漠草地边缘，这 3 条样线蝴蝶群落结构组成更为相似；A1 样线和 A2 样线聚为一类，说明农田生境和湿地生境蝴蝶群落组成较为相似，为湿润平原型生境型。

表 3 宁夏贺兰山蝴蝶群落 CCA 排序轴的特征值、物种与地形因子的相关性
Table 3 Eigenvalues of the CCA ordination and species-terrain correlation of the butterflies community in the Ningxia Helan Mountains

参数 Parameter	第 1 轴 Axis 1	第 2 轴 Axis 2	前项选择 Forward selection		
			贡献率 (%) Contribution	<i>F</i>	<i>P</i>
特征值 Eigenvalues	0.674	0.365			
物种 - 环境因子相关系数 Species-environmental factor correlation coefficient	0.930	0.935			
累积解释因变量变异的百分数 Cumulative percentage of variation explained	55.27	85.20			
蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test of significance	<i>F</i> = 2.800	<i>P</i> = 0.002			
海拔 (m) Elevation	-0.879	-0.408	49.10	3.80	0.002
气温 (°C) Temperature	0.840	0.305	21.60	2.10	0.034
湿度 (%) Humidity	0.322	-0.570	20.30	1.70	0.114
风速 (m/s) Wind speed	-0.179	-0.332	9.10	0.90	0.532

根据 CCA 排序图中蝴蝶物种与不同生境样线的分布关系，也反映了不同蝴蝶种类的生境分布特征，云粉蝶、小红蛱蝶、多眼灰蝶、红眼蝶、灿福蛱蝶和红珠灰蝶在排序图中接近坐标原点，属于生境广布型；菜粉蝶属于湿润平原类型；罗网蛱蝶、蟾眼蝶、华夏爱灰蝶、伊眼灰蝶和寿眼蝶属于浅山荒漠半荒漠草原类型，绢粉蝶、小蘗绢粉蝶、暗色绢粉蝶、荨麻蛱蝶、银斑豹蛱蝶、单环蛱蝶、斗毛眼蝶、仁眼蝶属于山地森林类型。

3 结论与讨论

3.1 蝴蝶群落结构和多样性的时空分布特征

2017 年对研究区域 10 条样线 5 次调查共记录蝴蝶 5 科 36 属 45 种，本结果统计种类占该区域已知种类（贾彦霞等，2007；王新谱和杨贵军，2010；张云会等，2014）的 81.82%，绿云粉蝶、天山饰弄蝶、白钩蛱蝶、朱蛱蝶 *Nymphalis xanthomelas* 和蟾眼蝶是该区域新发现种类。蛱蝶科物种数最多，菜粉蝶、云粉蝶、斑缘豆粉蝶和

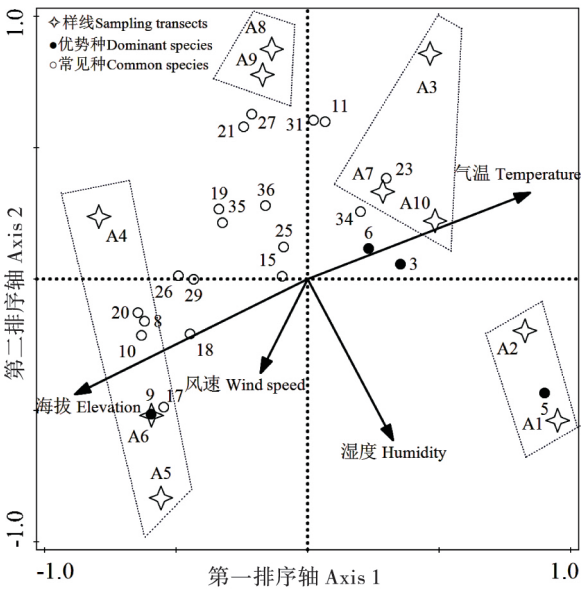


图 7 宁夏贺兰山蝴蝶分布与 4 个环境因子的 CCA 排序图
Fig. 7 CCA two-dimensional ordination diagram of carabid beetles distribution and 4 environmental factors in the Helan Mountains

小檗绢粉蝶个体数量最多, 为该区域的优势种类。

蝴蝶和植物之间有着密切的联系, 大多数蝴蝶在幼虫阶段依赖于一种或几种植物, 而成虫则或多或少与某些开花的蜜源植物有很强的联系 (Kunte, 2000; Tudor *et al.*, 2004; 李密等, 2011), 植物往往是影响蝴蝶的分布、数量和活动的最具决定性的因素, 蝴蝶的多样性反映植物多样性, 特别是在特定地区的草本植物和灌木的多样性 (Silambarasan *et al.*, 2016)。贺兰山植被垂直带谱明显, 不同样线生境蝶类的组成明显不同, 蝴蝶优势种与寄主 (访花) 植物的关系在各生境样线内一致性共存 (Wei and Yang, 2012), A1 和 A2 样线优势种为菜粉蝶、斑缘豆粉蝶和云粉蝶, 这两条样线的优势植物是豆科、菊科和十字花科的种类。A4、A5 和 A6 样线都有优势种小檗绢粉蝶, 在样线内鄂尔多斯小檗 *Berberis caroli* 是优势灌丛, A5 样线荨麻蛱蝶为优势种, 其寄主植物贺兰山荨麻 *Urtica helanshanica* 也是样线内优势植物。夜迷蛱蝶是 A8 和 A9 样线的优势种, 其寄主植物灰榆、束叶千里光 *Senecio* 是样线内的优势植物。蟾眼蝶是 A3、A7 和 A10 样线的优势种, 其访花植物虬果芥 *Torularia humilis*、斑 子 麻 黄 *Ephedra rhytidospema* 和胀萼黄耆 *Astragalus ellipsoideus* 等植物是样线内的优势类群。所以, 蝶类对不同生境内植物的偏好, 在生境上表现为生境广布型、湿润平原类型、浅山荒漠半荒漠草原类型、山地森林类型, 其中山地森林类型又分为喜干旱的浅山灰榆疏林类型和喜湿润的针阔混交林林缘类型。不同生境偏好类型的优势类群可以作为对生境状况进行准确和快速评估的指示类群。调查发现, 由于每条样线生境的不完全一致, 蝶类在样线内的分布呈现在不同季节开花植物周围聚集, 成虫对林缘灌丛草本植物层中尤其是多年生植物的花蜜资源利用具有明显的偏向性。Kitahara 等 (2008) 研究发现生境中草本植物物种丰富度对其中蜜源植物物种丰富度起着关键作用, 维持蝴蝶生境中草本植物物种丰富度, 对于保护温带地区林地景观中的蝴蝶多样性具有重要意义。对于贺兰山山地森林景观花蜜植物和草本植物的物种丰富度之间的相关性以及对蝶类多样性的作用有待进一步深入研究。

本研究调查时间涵盖了该区域蝴蝶成虫所有发生期, 结果表明, 每个月份优势类群明显不同, 8 月份具有最高的多样性和丰富度, 蝴蝶群落组成

明显分为春季型、夏季型和夏末秋初型, 说明蝴蝶群落随着春季、夏季、秋季的季节变化具有明显的时序特征, 显示出蝶类群落结构具有较强的恢复力稳定性。蝴蝶成虫羽化的时间是对山地景观微气候、寄主植物和蜜源资源 (Spitzer *et al.*, 1993; 陈洁君, 2004; Wagner *et al.*, 2013; Franzén *et al.*, 2017) 等表现的一种适应特性, 蝴蝶成虫的寿命差异 (Beck, 2008) 也会影响到可观测到的季节模式。一些物种的活动在特定月份达到高峰, 例如蟾眼蝶、罗网蛱蝶在春季为发生高峰, 且发生在低山荒漠半荒漠及灰榆梳林草地, 夏季后几乎观测不到。荨麻蛱蝶发生高峰在春末和夏初, 春季观测到的荨麻蛱蝶翅膀破损, 可能是越冬成虫。小檗绢粉蝶在夏季为发生高峰。同一种蝴蝶在不同的海拔发生期也存在差异, 绢粉蝶在低海拔春季为发生高峰, 在中海拔夏初为发生高峰。

3.2 非生物因素对蝴蝶分布的影响分析

海拔梯度作为决定山地生境差异的主导因子, 影响其他环境因子, 决定昆虫群落结构及物种多样性 (Bhardwaj *et al.*, 2012; Wei and Yang, 2012; Acharya and Vijayan, 2015; 杨益春等, 2017)。蝴蝶群落结构随海拔梯度与贺兰山山地植被垂直带谱表现出一定的相关性, 蝴蝶的分布类型分为生境广布型、湿润平原类型、浅山荒漠半荒漠草原生境类型、山地森林类型。在本文海拔范围内, 蝴蝶成虫全年发生期调查和夏季调查物种数随海拔梯度呈显著正向变化, 春季和秋季蝴蝶物种数随海拔梯度呈显著负向变化, 这可能是因为春季和秋季高海拔气温低, 蝴蝶迁移到较低海拔的温暖地区, 在气温上升时, 蝴蝶迁移回山谷较高海拔区域。蝴蝶活动的温度范围是 16 ~ 34℃, 在 23 ~ 34℃ 时最活跃。在蝴蝶生存活动的温度范围内, 基本上蝴蝶的种类和数量随着温度的升高而增加。关于干扰会降低蝴蝶可生存种群或吸引蝴蝶聚集的问题一直富有争议。该区域的不同生境样线均有不同程度的扰动, A1 样线和 A2 样线位于保护区外, 人为干扰严重, 但影响其蝴蝶组成的主要因素是植被单一。A4、A5 和 A6 样线有旅游干扰, A6 样线旅游干扰小于 A4、A5 样线, A6 样线蝶类多样性和丰富度高于 A4、A5 样线。A8 样线起始段有旅游干扰, 蝶类多样性和丰富度高于 A9 样线。有研究表明, 局部扰动比影响蝴蝶组成的景观因素更为重要, 会提高蝴蝶的丰富度, 在景观互补或资源补充的情况下, 扰动会提供额

外的资源,以维持较大的蝴蝶群落结构 (Bhardwaj *et al.*, 2012; Riva *et al.*, 2018; 洪雪萌等, 2018)。对于干扰对贺兰山区域蝴蝶群落的影响需要量化干扰变量做深入研究。不可预测的天气事件也可能会减少蝴蝶的数量 (Franzén *et al.*, 2017), 2016 年 8 月 19–22 日, 研究区域遭受了严重的暴风雨灾害, A8、A9 和 A10 样线沟谷河道地被层被严重冲刷, 观察到的蝴蝶种类和数量明显减少, 例如 A8 和 A9 样线 2017 年没有观测到东方菜粉蝶、橙昙灰蝶 *Thersamonis dispar* 和鼠李新灰蝶 *Neolycaena rhymnus*, A10 样线没有观测到红眼蝶、天山饰弄蝶、多眼灰蝶、红珠灰蝶、鼠李新灰蝶、荨麻蛱蝶。

致谢: 感谢全国蝴蝶多样性观测网络成员在标本鉴定中提供的帮助; 感谢宁夏贺兰山自然保护区工作人员的支持与配合。

参考文献 (References)

- Acharya BK, Vijayan L. Butterfly diversity along the elevation gradient of eastern Himalaya, India [J]. *Ecological Research*, 2015, 30 (5): 909–919.
- Beck J. Phylogenetic and ecological correlates with male adult life span of rainforest butterflies [J]. *Evolutionary Ecology*, 2008, 22 (4): 507–517.
- Bhardwaj M, Uniyal VP, Sanyal AK, *et al.* Butterfly communities along an elevational gradient in the Tons valley, western Himalayas: Implications of rapid assessment for insect conservation [J]. *Journal of Asia Pacific Entomology*, 2012, 15 (2): 207–217.
- Bonebrake TC, Ponisio LC, Boggs CL, *et al.* More than just indicators: A review of tropical butterfly ecology and conservation [J]. *Biological Conservation*, 2010, 143 (8): 1831–1841.
- Brown KS. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: Insects as indicators for conservation monitoring [J]. *Journal of Insect Conservation*, 1997, 1 (1): 25–42.
- Bai XS, Cai WZ, Neng NZB. Insects of Helan Mountains in Inner Mongolia [M]. Hohhot: Inner Mongolia People's Publishing House, 2013. [白晓栓, 彩万志, 能乃扎布. 内蒙古贺兰山区昆虫 [M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2013]
- Chen JJ, Wang YF, Lei GC, *et al.* Impact of habitat quality on metapopulation structure and distribution of two melitaeine butterfly species [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 47 (1): 59–66. [陈洁君, 王义飞, 雷光春, 等. 栖息地质量对两种网蛱蝶集合种群结构和分布的影响 [J]. 昆虫学报, 2004, 47 (1): 59–66]
- Deng HL, Ma Q, Li AM. The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (16): 5208–5218. [邓合黎, 马琦, 李爱民. 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 [J]. 生态学报, 2012, 32 (16): 5208–5218]
- Dover J, Settele J. The influences of landscape structure on butterfly distribution and movement: A review [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2009, 13 (1): 3–27.
- Franzén M, Schrader J, Sjöberg G. Butterfly diversity and seasonality of Ta Phin mountain area (N. Vietnam, Lao Cai province) [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2017, 21 (3): 465–475.
- HJ710.9–2014. Technical Guidelines for Biodiversity Monitoring Butterflies [M]. Beijing: China Environmental Science Press, Environmental Protection Department, 2014. [HJ710.9–2014, 生物多样性观测技术导则—蝴蝶 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 环境保护部, 2014]
- Hong XM, Ge XY, Li JL. Butterfly diversity and its influencing factors in Saihanwula nature reserve [J]. *Biodiversity Science*, 2018, 26 (6): 590–600. [洪雪萌, 戈昕宇, 李俊兰. 赛罕乌拉自然保护区蝶类多样性及其影响因素 [J]. 生物多样性, 2018, 26 (6): 590–600]
- Jia YX, Hu TH, Yang GJ, *et al.* Study on community diversity of butterfly in Helan mountain nature reserve [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36 (30): 13197–13199. [贾彦霞, 胡天华, 杨贵军, 等. 宁夏贺兰山国家级自然保护区蝴蝶多样性研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (30): 13197–13199]
- Kitahara M, Yumoto M, Kobayashi T. Relationship of butterfly diversity with nectar plant species richness in and around the Aokigahara primary woodland of Mount Fuji, central Japan [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17 (11): 2713–2734.
- Kumar S, Simonson SE, Stohlgren TJ. Effects of spatial heterogeneity on butterfly species richness in Rocky mountain national park, CO, USA [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18 (3): 739–763.
- Kunte, KJ. Butterflies of Peninsular India. Indian academy of sciences [J]. *A Report Submitted to Center for Ecological Sciences Press*, 2000.
- Li M, Zhou HC, Tan JC, *et al.* Butterfly species diversity and its conservation in Wuyun jie national nature reserve [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (6): 1585–1591. [李密, 周红春, 谭济才, 等. 乌云界国家级自然保护区蝴蝶物种多样性及其保护 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (6): 1585–1591]
- Liang CZ, Zhu ZY, Li ZG. The Vegetation of Helan Mountain [M]. Yinchuan: Sun Press, 2012. [梁存柱, 朱宗元, 李志刚. 贺兰山植被 [M]. 银川: 阳光出版社, 2012]
- Ma FZ, Xu HG, Chen MM, *et al.* Progress in construction of China butterfly diversity observation network, China BON – Butterflies [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34 (1): 27–36. [马方舟, 徐海根, 陈萌萌, 等. 全国蝴蝶多样性观测网络, China BON – Butterflies 建设进展 [J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34 (1): 27–36]
- Ma KP, Liu YM. Biodiversity measurement method: α – variety [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2 (4): 231–239. [马克平, 刘玉明. 生物多样性测度方法: α – 多样性 [J]. 生物多样性, 1994, 2 (4): 231–239]
- Riva F, Acorn JH, Nielsen SE. Localized disturbances from oil sands

- developments increase butterfly diversity and abundance in Alberta's boreal forests [J]. *Biological Conservation*, 2018, 217: 173 – 180.
- Silambarasan K, Sujatha K, Joice AA, *et al.* A preliminary report on the butterfly diversity of Kurumpuram reserve forest, Marakkanam, Tamil Nadu [J]. *Proceedings of the Zoological Society, Springer India*, 2016, 69 (2): 255 – 258.
- Soga M, Koike S. Relative importance of quantity, quality and isolation of patches for butterfly diversity in fragmented urban forests [J]. *Ecological Research*, 2012, 27 (2): 265 – 271.
- Spitzer K, Novotny V, Tonner M, *et al.* Habitat preferences, distribution and seasonality of the butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) in a montane tropical rain forest, Vietnam [J]. *Journal of Biogeography*, 1993, 20 (1): 109 – 121.
- Tudor O, Dennis RLH, Gatreux – Davies JN, *et al.* Flower preferences of woodland butterflies in the UK: Nectaring specialists are species of conservation concern [J]. *Biological Conservation*, 2004, 119 (3): 397 – 403.
- Wagner KD, Krauss J, Steffan – Dewenter I. Butterfly diversity and historical land cover change along an altitudinal gradient [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2013, 17 (5): 1039 – 1046.
- Wang M, Fan XL. Butterflies Fauna Sinica: Lycaenidae [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2002. [王敏, 范晓凌. 中国灰蝶志 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2002]
- Wang XP, Yang GJ. Insects of Helan Mountains in Ningxia [M]. Yinchuan: Ningxia People's Press, 2010. [王新谱, 杨贵军. 宁夏贺兰山昆虫 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2010]
- Wang YP, Mao XP, Weng GH, *et al.* Butterfly diversity and evaluation of forest environmental health in Wuyan ling of Zhejiang [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2009, 31 (1): 14 – 19.
- [王义平, 毛晓鹏, 翁国杭, 等. 浙江乌岩岭国家级自然保护区蝴蝶多样性及其森林环境健康评价 [J]. 环境昆虫学报, 2009, 31 (1): 14 – 19]
- Wei Z, Yang Y. Species diversity of butterflies in Changbai mountain in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (6): 279 – 284.
- Wu CS, Meng XL, Wang H. Handbook of Butterfly Identification in China [M]. Beijing: Science Press, 2007. [武春生, 孟宪林, 王衡. 中国蝶类识别手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2007]
- Yang YC, Yang GJ, Wang J. Effects of topographic factors on the distribution pattern of carabid species diversity in the Helan mountains, northwestern China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 60 (9): 1060 – 1073. [杨益春, 杨贵军, 王杰. 地形对贺兰山步甲群落物种多样性分布格局的影响 [J]. 昆虫学报, 2017, 60 (9): 1060 – 1073]
- Zhou Y. Classification and Identification of Chinese Butterflies [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998. [周尧. 中国蝴蝶分类与鉴定 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998]
- Zhang YH, Wang ZX, Wang XP, *et al.* Species diversity and fauna characteristics of butterfly in 3 major forest areas of Ningxia province [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2014, 43 (5): 76 – 80, 86. [张云会, 王章训, 王新谱, 等. 宁夏 3 大林区蝶类多样性及其区系特征 [J]. 西部林业科学, 2014, 43 (5): 76 – 80, 86]
- Zhou GY, Gu MB, Gong YN, *et al.* Diversity and fauna of butterflies in Nanling national nature reserve [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (5): 971 – 978. [周光益, 顾茂彬, 龚粤宁, 等. 南岭国家级自然保护区蝴蝶多样性与区系研究 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (5): 971 – 978]