

北京市西山试验林场昆虫资源调查*

王 雪^{1**} 郑 星^{1**} 刘 然² 王敏增^{3***} 赵亚周^{1***}

(1. 资源昆虫高效养殖与利用全国重点实验室, 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093;

2. 北京天宝康高新技术开发有限公司, 北京 100084; 3. 北京市西山试验林场, 北京 100083)

摘 要 【目的】通过建立长期的昆虫资源监测样点, 对北京地区昆虫资源现状和时空分布规律进行评价, 为制定有益昆虫的保护策略和有害昆虫的防治方法提供必要基础数据。【方法】2020 年和 2021 年的 3-10 月, 在西山试验林场内建立 2 个不同海拔的监测样点, 利用马氏网集虫法进行长期昆虫监测, 对采集到的昆虫进行分类鉴定和多样性分析, 实现林场内昆虫群落特征和时空动态的综合评价。【结果】共采集昆虫 11 619 头, 隶属 9 目 68 科 139 种。其中, 双翅目昆虫数量最多, 占昆虫总数的 50.74%, 涉及 19 科 48 种。从科的角度分析, 蝇、蛾和蜂的数量最多; 采集到的少数类群昆虫, 多属于鳞翅目和半翅目。山顶组的昆虫种类和数量显著高于山腰组, 2 年监测期内各监测样点的昆虫种类和数量总体保持稳定, 不存在显著差异; 但夏季昆虫的数量和种类显著多于春、秋季, 说明昆虫资源的分布与海拔和季节相关性较强。【结论】连续 2 年的昆虫调查数据初步揭示北京西山林场内昆虫资源的种类和数量丰富, 其分布规律与海拔和季节有较强的相关性。为实时掌握当地昆虫的种群动态变化, 及有针对性地提出相关保护或防治方案提供数据支持。

关键词 北京; 昆虫; 时空分布; 分类鉴定; 多样性分析

Survey of insect resources at the Xishan Forest Unit, Beijing

WANG Xue^{1**} ZHENG Xing^{1**} LIU Ran² WANG Min-Zeng^{3***} ZHAO Ya-Zhou^{1***}

(1. State Key Laboratory of Resource Insects, Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 2. Beijing Tianbaokang High Tech Development Co., Ltd. Beijing 100084, China;

3. Beijing Xishan Experiment Forest Unit, Beijing 100083, China)

Abstract 【Objectives】To evaluate the current status and spatiotemporal distribution patterns of insect resources in Beijing through the establishment of long-term monitoring sites, and thereby provide the necessary baseline data for the conservation of beneficial insects and the control of insect pests. 【Methods】Two monitoring sites at different altitudes were established in the Xishan Experimental Forestry Range in 2020 and 2021, where long-term insect monitoring was carried out from March to October of these years using the Malaise net collection method. 【Results】A total of 11 619 insects were collected, which were classified into 139 species, 68 families and 9 orders. The Diptera were the most common order, accounting for 50.74% of all specimens captured; 48 species and 19 families. In terms of families, flies, moths and bees were the most abundant. The least common families belonged to the Lepidoptera and Hemiptera. Significantly more individual insects and species were captured at the hilltop sampling site than at the hillside site, and the species and numbers of insects captured at each monitoring site remained generally stable over the 2-year monitoring period. However, significantly more individual insects and species were captured in summer than in spring and autumn, indicating that insect abundance was strongly correlated with both altitude and season. 【Conclusion】Survey data collected over two consecutive years indicates that insects are both abundant and diverse at the Beijing Xishan Forestry Unit, and that their distribution is strongly correlated with altitude and season. These data reveal the population dynamics of local insects in real time and thereby provide essential baseline

*资助项目 Supported projects: 科技基础资源调查专项 (2018FY100402)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: wangxue41996@163.com; zhengxing@caas.cn

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: wofosi@126.com; zhaoyazhou0301@126.com

收稿日期 Received: 2023-04-06; 接受日期 Accepted: 2023-05-08

information for the protection, or control, of specific species.

Key words Beijing; insects; spatial and temporal distribution; taxonomic identification; diversity analysis

昆虫纲是动物界中种类和数量最多的纲, 其种类繁多、形态各异, 在所有生物类群中占比超过 50%, 几乎在全球各个角落都可发现昆虫踪迹 (李昉聪, 2002)。昆虫既是人类可以开发利用的生物资源, 又能广泛地为植物尤其是农作物传粉, 在社会发展和农业生产中发挥着举足轻重的作用 (Basualdo *et al.*, 2022)。通过传粉昆虫为虫媒作物传播花粉, 可以促进野生或栽培作物的授粉受精, 助力农业生产。常见的传粉昆虫多属于双翅目、鞘翅目、鳞翅目和膜翅目, 如蝇、甲虫、蝶、蛾及蜜蜂等, 膜翅目传粉昆虫常服务于低海拔的作物, 而鳞翅目和双翅目传粉昆虫则是高海拔作物的主要传粉者 (Rohde and Pilliod, 2021; Sommaggio *et al.*, 2022)。这种群落分布特性在昆虫自身适应生态需求的同时, 又可满足不同作物的授粉需求, 是昆虫和植物之间协同进化的有力佐证。此外, 由于昆虫具有蛋白质含量高、蛋白纤维少、营养成分易被人体吸收、繁殖世代短、繁殖指数高、适于工厂化生产、资源丰富等特点, 成为一种理想的亟待开发的食物资源 (van Huis, 2016; Francuski and Beukeboom, 2020)。

研究显示, 近年来全球范围内昆虫数量呈下降趋势, 主要原因包括栖息地丧失、生境改变、气候变化和人为因素等 (Pureswaran *et al.*, 2018; Powney *et al.*, 2019; 刘玉玲等, 2021)。随着现代农业集约化、工业化和城市化的快速发展, 原有植被类型的改变直接或间接破坏了当地生态系统平衡, 影响到昆虫栖息地和食物源, 进而限制或阻碍了昆虫多样性的发展 (Traylor and Ulyshen, 2022)。气候的急剧或缓慢变化均能影响昆虫的物种分布和种群动态, 当前全球变暖现象就是导致温度敏感型昆虫变化的重要因素, 如蝇类比蜂类和蝶类更偏爱凉爽气候, 其分布范围变化也逐渐在海拔或经纬度上有所体现 (Ghisbain *et al.*, 2021; Kimura, 2021; Sollai and Solari, 2022)。此外, 气温和降水直接影响植物

资源的分布和生长状况, 进而影响到赖以生存的昆虫群落组成 (Liebhold *et al.*, 2018)。随着农业生产的集约化程度提高, 化肥和杀虫剂的使用量也逐渐增多, 造成农田系统中昆虫种类和数量锐减 (Cappa *et al.*, 2022)。农业生产中为提高作物传粉效率, 而大量引入外来传粉昆虫, 也会改变本土昆虫种群结构 (Fortuna *et al.*, 2022)。因此, 定期开展昆虫资源调查工作十分必要, 有助于摸清某一地区昆虫的种类、分布情况以及预测其发展趋势等, 为全面评价昆虫资源现状及预测预警等工作提供全面、精准、客观的基础数据 (王明强等, 2022)。

北京市西山试验林场位于首都西郊小西山, 是北京市西北部地区的重要生态屏障, 是研究北京地区生物资源的热点区域。林场内最高峰克勒峪海拔 800 m, 平均海拔 300-400 m, 平均坡度 15°-35°。林区属于典型的华北石质山区, 干旱贫瘠, 土薄石多, 土壤多为砂质土, 多石砾, 保水能力差 (王雨等, 2019)。西山林场气候温和, 光照充足, 植物生长期长, 封冻期短。林场森林覆盖率为 93.29%, 林木绿化率为 96.94%, 共有维管束植物 442 种, 隶属于 82 科 264 属, 其中, 蕨类植物 7 科 7 属 10 种, 裸子植物 2 科 6 属 6 种, 被子植物 73 科 251 属 426 种。丰富的植物资源为昆虫的繁衍生息提供了大量的栖息地和食物源, 有助于维持昆虫的多样性水平 (张欢等, 2022)。但多年来, 缺乏对当地昆虫的调查研究, 存在家底不清、现状不明的特征, 亟待开展系统而持续的昆虫资源调查。为此, 本文在西山林场内不同海拔点建设了昆虫资源监测样点, 持续 2 年开展昆虫资源的采集和鉴定工作, 初步摸清了林场内昆虫的种类、数量、分布信息, 分析了昆虫资源的时空动态规律。为实时监测昆虫的种群动态变化, 掌握当地昆虫资源现状, 有针对性地提出相关保护或防治方案提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究样地

调查样地设在北京市西山试验林场,其位于北京西郊小西山,北起温泉,南到模式口,东自温颐公路,西至军庄寨口永定河,总面积 5 768.39 hm²。西山试验林场地跨海淀、石景山和门头沟三个行政区,辖区与香山公园、国家植物园、八大处公园等园林古迹相毗邻(梁洪柱等, 2015)。样地属太行山系余脉,总体呈现阳坡较缓、阴坡陡峭的地貌特征。样区的气候为暖温带半湿润大陆性季风气候,阳光充足,生长着大量侧柏、油松、刺槐、荆条、野菊等植物(宋明军等, 1996)。在林场阳坡山顶(东经 116°17′、北纬 40°01′、海拔 665.01 m)和山腰(东经 116°20′、北纬 40°01′、海拔 152.01 m)建立 2 个昆虫资源监测样点。

1.2 昆虫样本的采集与处理

用马氏网集虫法对样区进行调查,将马氏网各网面展开、伸平、固定,并安装集虫瓶(郑世仲等, 2023)。利用昆虫趋光和向上的习性,引导昆虫爬入收集瓶。在集虫瓶内装入 75%酒精,实

现样本的自动保存,该方法对人工需求少且对样本干扰小。

调查时间为 2020 和 2021 年的 3 月中旬-10 月中旬,涉及春(3-5 月)、夏(6-8 月)、秋(9-11 月)3 个季节。在此期间不间断地收集昆虫样品,每 10 d 收样一次,收样工作在 1 d 内完成,对采集瓶信息拍照留存,2 年间共进行 38 次收样。

将马氏网集虫瓶收集的昆虫样本带回实验室进行物种鉴定和分析,按采集样点将昆虫样本分为山顶组和山腰组,再按照采集时间细分为 2020 年春季、2021 年春季、2020 年夏季、2021 年夏季、2020 年秋季和 2021 年秋季(表 1),计算物种丰富度指数。

1.3 数据处理

通过统计监测样点的昆虫种类和数量,比较不同时间监测样点的 Margalef 丰富度指数(Margalef diversity index)(邹言等, 2020),计算公式如下:

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

式中, S 为物种数目, N 为所有物种的个体数。

表 1 昆虫检测样点信息
Table 1 Insect detection sample site information

调查点 Survey point	采集经度 (°) Longitude (°)	采集纬度 (°) Latitude (°)	采集海拔(m) Altitude (m)	采集时间 Time	种数 Species	总数 Total	丰富度指数 Richness index (D)
山顶组 Hilltop group	116°17′	40°01′	665.01	2020 年春季 Spring 2020	39	609	5.93
				2021 年春季 Spring 2021	12	626	1.71
				2020 年夏季 Summer 2020	117	2 848	14.58
				2021 年夏季 Summer 2021	30	2 935	3.63
				2020 年秋季 Autumn 2020	38	824	5.51
				2021 年秋季 Autumn 2021	16	623	2.33
山腰组 Hillside group	116°20′	40°01′	152.01	2020 年春季 Spring 2020	30	628	4.50
				2021 年春季 Spring 2021	16	730	2.28
				2020 年夏季 Summer 2020	59	770	8.73
				2021 年夏季 Summer 2021	20	738	2.88
				2020 年秋季 Autumn 2020	21	208	3.75
				2021 年秋季 Autumn 2021	11	80	2.28

利用 SIMCA 13.0 软件绘制 PLS-DA (Partial least square-discriminant analysis) 图, 分析监测点昆虫组成与海拔的关系。PLS-DA 方法属于有监督模式多变量统计方法, 在降维的同时结合分组间回归模型, 并利用一定的判别阈值对回归结果进行分析。

本调查基于林场 2 个监测点连续 2 年的昆虫监测数据, 利用 Prism 9 软件计算并分析试验林场昆虫多样性, 绘制监测点昆虫群落的累计柱状图, 展示所有样本内的物种占比情况。将林场连续 2 年的昆虫监测数据进一步归一化处理后, 导入欧易生物科研绘图平台 (<https://cloud.oebiotech.cn/task/>), 绘制聚类热图。

采用 SPSS 27.0 统计软件进行数据分析。满足正态性及方差齐性, 用单因素方差分析 (One-way ANOVA); 不满足正态分布, 采用非参数检验。以 $P < 0.05$ 表示数据之间存在显著性差异。

2 结果与分析

2.1 昆虫群落组成及分布

本调查利用马氏网对林场监测点的昆虫进行了连续 2 年的调查采集, 共采集到 11 619 头昆虫, 隶属于 9 目 68 科 (部分昆虫只鉴定到科) 139 种 (表 2)。其中采集昆虫数量最多的 4 个目是双翅目 (5 895 头)、膜翅目 (2 705 头)、鳞翅

目 (1 986 头)、鞘翅目 (744 头), 占比分别为 50.74%、23.28%、17.09%、6.04%。采集昆虫科数最多的 4 个目是膜翅目 (19 科)、双翅目 (14 科)、鞘翅目 (14 科)、鳞翅目 (8 科), 分别占总科数的 29.41%、20.59%、20.59%、11.76%。昆虫个体数量最多的 4 个科分别是蝇科 (2 997 头)、蝠蛾科 (1 861 头)、姬蜂科 (1 785 头)、食蚜蝇科 (1 459 头), 分别占昆虫总数的 25.79%、16.02%、15.36%、12.56%。对种数量进行对比分析, 发现膜翅目最多 (48 种), 鞘翅目次之 (38 种), 随后是双翅目 (22 种) 和鳞翅目 (14 种)。

上述分类鉴定数据表明, 在目水平上, 双翅目昆虫最多; 在科水平上, 膜翅目包含的科数量最多, 双翅目和鞘翅目次之; 在种水平上, 膜翅目包含种的数量最多, 其次为鞘翅目。综上, 双翅目、膜翅目、鳞翅目和鞘翅目 4 个目昆虫, 无论在个体数量上还是种的数量均远高于其他目昆虫, 说明 4 个目昆虫在林场昆虫群落中占主体, 属于优势类群 (表 2)。此外, 在连续 2 年的监测过程中, 收集到少量 (低于 0.08%) 縗蝇科、水虻科、龟甲科、虎甲科、隐翅虫科、象虫科、萤科、拟步甲科、刺蛾科、螟蛾科、羽蛾科、蛱蝶科、方头泥蜂科、异色泥蜂科、短柄泥蜂科、马蜂科、茧蜂科、叶蜂科、缘蝽科、盲蝽科、蝗科和锥头蝗科昆虫, 说明这些科的昆虫为试验林场的稀有类群。

表 2 北京市西山试验林场马氏网诱集的昆虫群落组成
Table 2 Community composition of insects trapped by Malaise net in Xishan Experimental Forest in Beijing

目 Order	科 Family	个体数 Number of individuals	个体比例 (%) Proportion of individuals (%)	物种数 Number of species	物种比例 (%) Proportion of species (%)
双翅目 Diptera		5 895	50.74	22	15.83
	大蚊科 Tipulidae	198	1.70	1	0.72
	广口蝇科 Platystomatidae	620	5.34	1	0.72
	食蚜蝇科 Syrphidae	1 459	12.56	5	3.60
	食虫虻科 Asilidae	171	1.47	1	0.72
	蝇科 Muscidae	2 997	25.79	3	2.16
	花蝇科 Anthomyiidae	129	1.11	1	0.72
	麻蝇科 Sarcophagidae	28	0.24	1	0.72

续表 2 (Table 2 continued)

目 Order	科 Family	个体数 Number of individuals	个体比例 (%) Proportion of individuals (%)	物种数 Number of species	物种比例 (%) Proportion of species (%)
鞘翅目 Coleoptera	丽蝇科 Calliphoridae	158	1.36	2	1.44
	缟蝇科 Lauxaniidae	3	0.03	1	0.72
	寄蝇科 Tachinidae	65	0.56	1	0.72
	蜣蝇科 Pyrgotidae	11	0.09	1	0.72
	水虻科 Stratiomyidae	1	0.01	1	0.72
	蜂虻科 Bombyliidae	32	0.28	2	1.44
	虻科 Tabanidae	23	0.20	1	0.72
		744	6.40	38	27.34
	金龟子科 Scarabaeidae	255	2.19	2	1.44
	鳃金龟科 Melolonthidae	25	0.22	2	1.44
	龟甲科 Cassididae	9	0.08	1	0.72
	瓢甲科 Coccinellidae	232	2.00	7	5.04
	叶甲科 Chrysomelidae	28	0.24	4	2.88
	天牛科 Cerambycidae	12	0.10	2	1.44
	虎甲科 Cicindelidae	5	0.04	1	0.72
	叩甲科 Elateridae	14	0.12	4	2.88
	隐翅虫科 Staphylinidae	2	0.02	1	0.72
	象虫科 Curculionidae	3	0.03	1	0.72
	郭公虫科 Cleridae	18	0.15	3	2.16
	萤科 Lampyridae	8	0.07	1	0.72
	拟步甲科 Tenebrionidae	8	0.07	3	2.16
	步甲科 Carabidae	125	1.08	6	4.32
		1 986	17.09	14	10.07
鳞翅目 Lepidoptera	蝠蛾科 Hepialidae	1 861	16.02	1	0.72
	刺蛾科 Limacodidae	2	0.02	1	0.72
	夜蛾科 Noctuidae	16	0.14	2	1.44
	螟蛾科 Pyralidae	1	0.01	1	0.72
	羽蛾科 Pterophoridae	2	0.02	1	0.72
	天蛾科 Sphingidae	39	0.34	5	3.60
	眼蝶科 Satyridae	64	0.55	2	1.44
	蛱蝶科 Nymphalidae	1	0.01	1	0.72
		2 705	23.28	48	34.53
膜翅目 Hymenoptera	姬蜂科 Ichneumonidae	1 785	15.36	2	1.44
	蜜蜂科 Apidae	212	1.82	6	4.32
	蚁科 Formicidae	12	0.10	1	0.72

续表 2 (Table 2 continued)

目 Order	科 Family	个体数 Number of individuals	个体比例 (%) Proportion of individuals (%)	物种数 Number of species	物种比例 (%) Proportion of species (%)
半翅目 Hemiptera	隧蜂科 Halictidae	140	1.20	2	1.44
	土蜂科 Scoliididae	36	0.31	1	0.72
	褶翅小蜂科 Leucospididae	13	0.11	1	0.72
	臀钩土蜂科 Tiphiidae	95	0.82	1	0.72
	蜾蠃科 Eumenidae	11	0.09	1	0.72
	方头泥蜂科 Crabronidae	8	0.07	2	1.44
	异色泥蜂科 Astatidae	1	0.01	1	0.72
	短柄泥蜂科 Pemphredonidae	5	0.04	1	0.72
	泥蜂科 Sphecidae	102	0.88	6	4.32
	马蜂科 Polistidae	8	0.07	2	1.44
	青蜂科 Chrysididae	33	0.28	3	2.16
	茧蜂科 Braconidae	4	0.03	1	0.72
	蛛蜂科 Pompilidae	22	0.19	1	0.72
	叶蜂科 Tenthredinidae	9	0.08	2	1.44
	切叶蜂科 Megachilidae	13	0.11	3	2.16
	胡蜂科 Vespidae	172	1.48	10	7.19
		98	0.84	10	7.20
	蝉科 Cicadidae	19	0.16	2	1.44
	瓢蜡蝉科 Issidae	17	0.15	1	0.72
	长蝽科 Lygaeidae	32	0.28	1	0.72
直翅目 Orthoptera	缘蝽科 Coreidae	4	0.03	1	0.72
	盲蝽科 Miridae	1	0.01	1	0.72
	蝽科 Pentatomidae	25	0.22	4	2.88
		34	0.29	3	2.16
	蝗科 Acrididae	6	0.05	1	0.72
脉翅目 Neuroptera	锥头蝗科 Pyrgomorphidae	1	0.01	1	0.72
	蟋蟀科 Gryllidae	27	0.23	1	0.72
		138	1.19	2	1.44
	蚁蛉科 Myrmeleontidae	24	0.21	1	0.72
	草蛉科 Chrysopidae	114	0.98	1	0.72
螳螂目 Mantodea		13	0.11	2	1.44
	螳科 Mantidae	13	0.11	2	1.44
革翅目 Dermaptera		30	0.26	1	0.72
	球螋科 Forficulidae	30	0.26	1	0.72

2.2 不同监测点昆虫群落组成及分布

利用 PLS-DA 法分析试验林场昆虫组成与海拔的关系。PLS-DA 得分 (图 1) 显示, PC1 和 PC2 的贡献值分别为 48.6% 和 13.9%, PC2 轴中, 山腰组呈正向分布, 山顶组呈负向分布, 2 组表现出分离趋势。

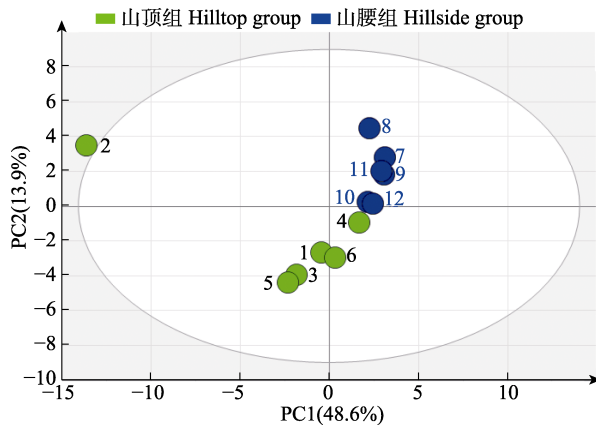


图 1 2 组昆虫群落组成 PLS-DA 得分

Fig. 1 PLS-DA scores of insect community composition for 2 groups

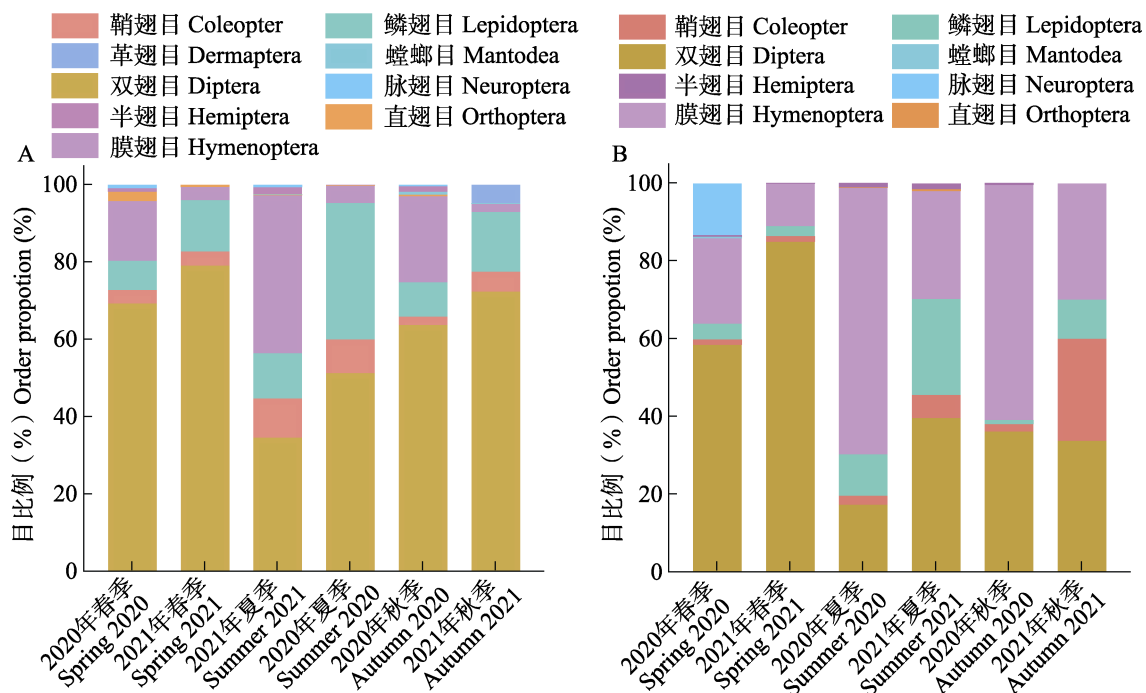


图 2 昆虫群落累计柱状图

Fig. 2 Cumulative histogram of insect communities

A. 山顶组; B. 山腰组。

A. Hilltop group; B. Hillside group.

2.3 西山试验林场昆虫群落累计柱状图分析

本研究连续比较了 2 个监测点不同年份采集的昆虫种类, 物种累计柱状图 (图 2) 显示, 2 年中昆虫种类组成相对稳定, 存在一定程度的差异。2021 年春、夏、秋 3 个季节中, 山顶组和山腰组的双翅目和鳞翅目昆虫相较于 2020 年同期, 均有所增加, 而膜翅目昆虫则有所减少。2020 年采集到的直翅目、螳螂目、革翅目、脉翅目昆虫, 数量明显高于 2021 年。山顶组的鞘翅目和鳞翅目昆虫明显多于山腰组。2 年间, 仅在 2021 年秋季山顶组采集到革翅目昆虫。

2.4 不同季节的昆虫生物多样性分析

通过聚类热图对昆虫采集数据进行归类、分析, 有利于发现昆虫群落间在不同季节的复杂关系。图 3 横向反映了不同科之间的聚类关系, 纵向以热图颜色深浅反映了不同季节昆虫类群的差异性, 即依据色带识别数据的疏密和频率高低。结果显示, 夏季昆虫数量显著高于春季和秋

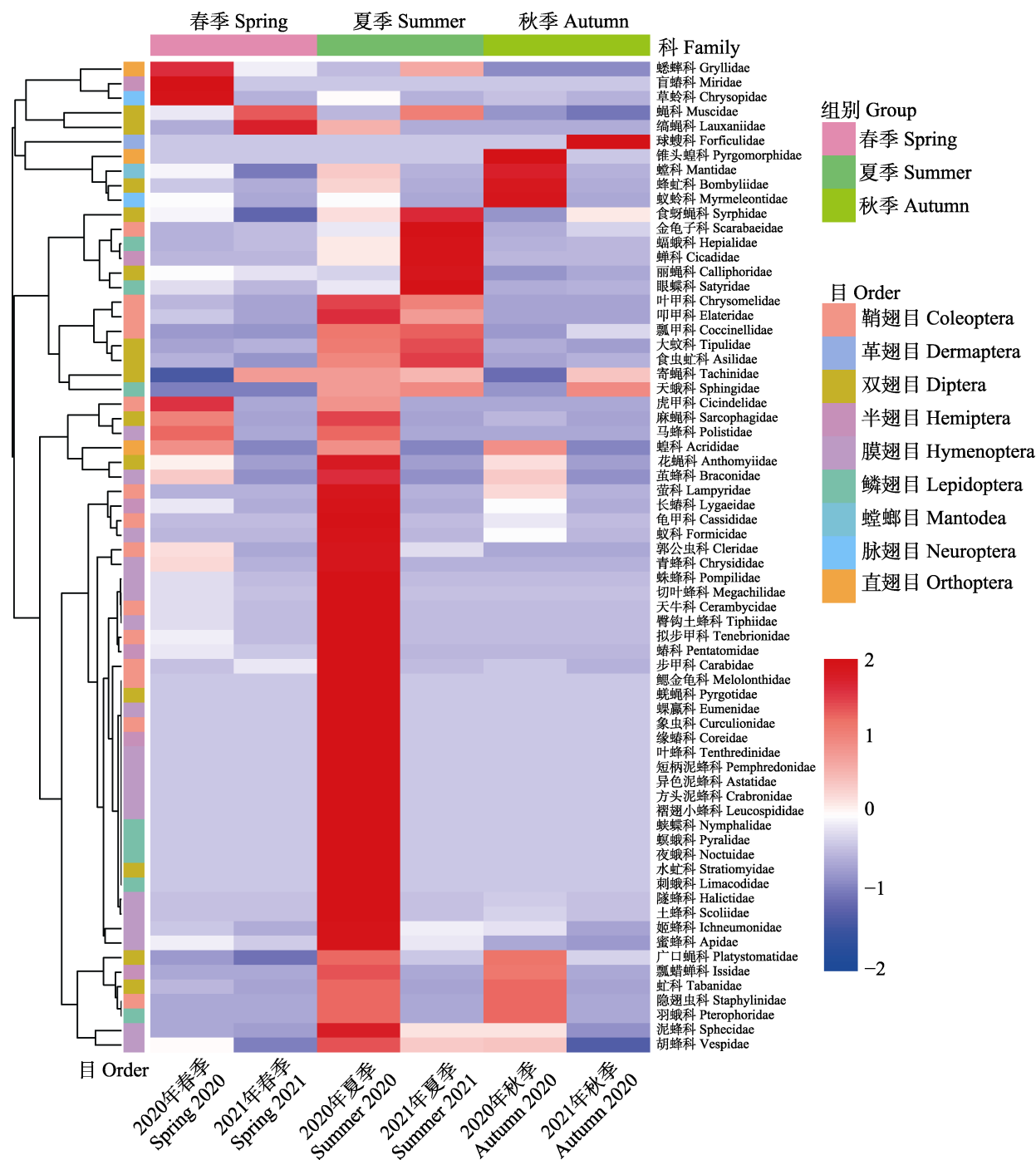


图 3 昆虫群落的聚类热图分析

Fig. 3 Cluster heatmap analysis of insect communities

季 ($P < 0.05$), 特别是 2020 年夏季采集到大量膜翅目昆虫, 春季蟋蟀科、盲蝽科和草蛉科的昆虫活动量大, 球螋科、锥头蝗科、螳科、蜂虻科以及蚊蛉科昆虫则主要在秋季出现。依据不同季节中昆虫的活动数据, 可将 68 个昆虫科聚为 20 类, 第一类 (I) 中包含蟋蟀科、盲蝽科、草蛉

科, 这 3 个科的昆虫在 2020 年春季数量最多; 第二类 (II) 包含蝇科、蝇科, 二者数量在夏季明显多于春季; 第三类 (III) 仅包含球螋科; 第四类 (IV) 包含锥头蝗科、螳科、蜂虻科、蚊蛉科; 第五类 (V) 包含食蚜蝇科、金龟子科、蝠蛾科、蝉科、丽蝇科、眼蝶科; 第六类 (VI)

包含叶甲科、叩甲科；第七类（Ⅶ）包含瓢甲科、大蚊科、食虫虻科；第八类（Ⅷ）包含寄蝇科、天蛾科；第九类（Ⅸ）虎甲科、麻蝇科、马蜂科；第十类（Ⅹ）包含蝗科、麻蝇科、茧蜂科；第十一类（Ⅺ）包含萤科、长蝽科、龟甲科、蚁科；第十二类（Ⅻ）包含郭公虫科、青蜂科；第十三类（Ⅼ）包含蛛蜂科、切叶蜂科、天牛科、臀钩土蜂科；第十四类（Ⅽ）包含拟步甲科、蝽科；第十五类（Ⅾ）包含步甲科；第十六类（Ⅿ）包含鳃金龟科、蛱蝶科、蝶科、象虫科、缘蝽科、叶蜂科、短柄泥蜂科、异色泥蜂科、方头泥蜂科、褶翅小蜂科、蛱蝶科、螟蛾科、夜蛾科、水虻科、刺蛾科；第十七类（ⅰ）包含隧蜂科、土蜂科；第十八类（ⅱ）包含姬蜂科、蜜蜂科；第十九类（ⅲ）包含广口蝇科、瓢蜡蝉科、虻科、隐翅虫科、羽蛾科；第二十类（ⅳ）包含泥蜂科、胡蜂科。第三（Ⅲ）、四（Ⅳ）类昆虫在秋季数量明显多于春季和夏季；第五（Ⅴ）-第十八（ⅱ）类昆虫数量在夏季多于春季和秋季；第十九（ⅲ）和二十（ⅳ）类昆虫数量在夏季和秋季多于春季。此外，3个季节的昆虫种类和数量存在明显差异，在夏季采集的昆虫类群和数量远高于平均水平（ $P < 0.05$ ）。

3 结论与讨论

北京西山试验林场以森林培育和保护为主，地形总体呈现阳坡较缓、阴坡陡峭，属于暖温带半湿润大陆性季风气候区，年平均气温 11.6℃，年日照时数 2 662 h，年平均降水量 626 mm（王娟等，2007）。以上生境和气候条件为大量昆虫提供了良好的栖息地和食物源，丰富了当地的昆虫资源，是研究昆虫分布及多样性的理想场地。为了探明北京西部地区昆虫分布和种群结构现状，本研究对西山林场昆虫资源进行连续 2 年的系统性调查，共采集到 9 目 68 科 139 种昆虫，展现了该区域昆虫类群的多样性现状。总体来看，林场优势目为双翅目、膜翅目、鳞翅目和鞘翅目，占比达总数的 97.15%。其中，鞘翅目昆虫的个体数量相对较少，但种类较丰富，有 14 科 38 种。林场优势科为蝇科、蝠蛾科、姬蜂科和食蚜蝇科，

占总数的 69.73%。通过昆虫采集时间和海拔的丰富度指数可见，最优势的科为蝇科，属于双翅目，多采集于春季。

通过对昆虫的分布季节进行分析，发现春季蝇科昆虫占多数，其隶属于双翅目，夏季多采集到蝇科和蝠蛾科昆虫，秋季则食蚜蝇科昆虫占据优势。与春季和秋季相比，夏季昆虫的总体数量较多，尤其是优势科更加明显，造成这种差异的原因可能是夏季雨水充沛、植被茂盛，为昆虫提供了良好的栖息地和食物源（Rohde and Pilliod, 2021）。其中，2020 年夏季收集到的昆虫种数最多，2021 年夏季收集到的昆虫个体数量最多，该结果与昆虫丰富度指数结果相符。与夏季昆虫丰富度水平较高的结果相对应，本研究还发现 2020 和 2021 年的春季山顶组昆虫丰富度水平均较低，表明该林场生态系统相对稳定。

林场优势昆虫类群的丰富度指数随海拔变化而差异明显，即山顶组的昆虫丰富度指数明显高于山腰组，其原因可能是不同海拔所形成的植被及气候存在一定程度的差异。随海拔的变化，土壤、植被、生境等的垂直分布不同，进而影响到昆虫群落的自然分布（Adedjoja *et al.*, 2020）。人为因素可能也会带来一定的影响，低海拔地区人类活动多，对环境产生较多的干扰，使得昆虫生境受到一定影响（Baaren and Candolin, 2018）。总的来说，昆虫类群的多样性是与生境、气候相协调、相适应的结果，植被丰富度、空气湿度、环境温度和海拔均会对昆虫的多样性、分布情况以及群落结构产生重要影响。

总体来说，本文利用马氏网集虫法基本探明了北京市西山试验林场的昆虫种群和时空动态分布情况，为分析北京地区昆虫资源现状，制定有益昆虫的保护策略和害虫的防治提供了基础数据。

参考文献 (References)

- Adedjoja O, Kehinde T, Samways MJ, 2020. Asynchrony among insect pollinator groups and flowering plants with elevation. *Scientific Reports*, 10(1): 13268.
- Baaren JV, Candolin U, 2018. Plasticity in a changing world: Behavioural responses to human perturbations. *Current Opinion in Insect Science*, 27: 21–25.

- Basualdo M, Cavigliasso P, Cavigliasso P, de Avila RS, Aldea-Sánchez P, Correa-Benítez A, Harms JM, Ramos AK, Rojas-Bravo V, Salvarrey S, 2022. Current status and economic value of insect-pollinated dependent crops in Latin America. *Ecological Economics*, 196(6): 1–10.
- Cappa F, Baracchi D, Cervo R, 2022. Biopesticides and insect pollinators: Detrimental effects, outdated guidelines, and future directions. *Science of the Total Environment*, 837: 155714.
- Fortuna TM, Gall PL, Mezdoor S, Calatayud PA, 2022. Impact of invasive insects on native insect communities. *Current Opinion in Insect Science*, 51: 100904.
- Francuski L, Beukeboom LW, 2020. Insects in production-an introduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(6/7): 422–431.
- Ghisbain G, Gérard M, Wood TJ, Hines HM, Michez D, 2021. Expanding insect pollinators in the Anthropocene. *Biological Reviews*, 96(6): 2755–2770.
- Kimura MT, 2021. Altitudinal migration of insects. *Entomological Science*, 24(1): 35–47.
- Liang HZ, Wen J, Wang MZ, Lan X, Lin DY, Zhou XW, Bao WD, 2015. Bird diversity survey and analysis at Xishan Forest Unit in Beijing. *Journal of Biology*, 32(3): 63–67. [梁洪柱, 温静, 王敏增, 兰欣, 林大影, 周许伟, 鲍伟东, 2015. 北京市西山试验林场鸟类多样性调查与分析. 生物学杂志, 32(3): 63–67.]
- Liebold AM, Yamanaka T, Roques A, Augustin S, Chown SL, Brockerhoff EG, Pyšek P, 2018. Plant diversity drives global patterns of insect invasions. *Scientific Reports*, 8(1): 12095.
- Liu YL, Xv K, Wang Z, Wang Q, Lan FM, Niu QS, 2021. Factors contributing to the decline of bumblebee diversity. *Apiculture of China*, 72(7): 50–51. [刘玉玲, 徐凯, 王志, 王琦, 兰凤明, 牛庆生, 2021. 导致熊蜂多样性下降的因素. 中国蜂业, 72(7): 50–51.]
- Li YC, 2002. Insects and human socioeconomics. *Journal of Harbin Vocational & Technical College*, 2002(3): 40–44. [李映聪, 2002. 昆虫与人类社会经济. 哈尔滨市经济管理干部学院学报, 2002(3): 40–44.]
- Powney GD, Carvell C, Edwards M, Morris RKA, Roy HE, Woodcock BA, Isaac NJB, 2019. Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nature Communications*, 10(1): 1018.
- Pureswaran A, Roques A, Battisti A, 2018. Forest insects and climate change. *Current Forestry Reports*, 4: 35–50.
- Rohde AT, Pilliod DS, 2021. Spatiotemporal dynamics of insect pollinator communities in sagebrush steppe associated with weather and vegetation. *Global Ecology and Conservation*, 29: e01691.
- Sollai G, Solari P, 2022. An overview of "insect biodiversity". *Diversity*, 14(2): 134.
- Sommaggio D, Zanotelli L, Vettorazzo E, Burgio G, Fontana P, 2022. Different distribution patterns of hoverflies (Diptera: Syrphidae) and bees (Hymenoptera: Anthophila) along altitudinal gradients in Dolomiti Bellunesi National Park (Italy). *Insects*, 13(3): 293.
- Song MJ, Yan HP, Song XM, Zhang LL, Chang BC, 1996. A preliminary study on forest resource asset appraisal in Beijing Xishan Experimental Forest Farm. *Forest Resources Management*, 1996(6): 22–25. [宋明军, 阎海平, 宋新民, 张莉莉, 常宝成, 1996. 北京市西山试验林场森林资源资产评估初探. 林业资源管理, 1996(6): 22–25.]
- Traylor CR, Ulyshen MD, 2022. Compositional attributes of invaded forests drive the diversity of insect functional groups. *Global Ecology and Conservation*, 35: e02092.
- van Huis A, 2016. Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3): 294–305.
- Wang J, Wu G, Zhou RW, Dong FJ, Liu HL, 2007. Study on forest fire forecast system of West Mountain Trial Forest Farm in Beijing. *Forest Inventory and Planning*, 32(2): 146–149. [王娟, 武刚, 周荣伍, 董丰俊, 刘海龙, 2007. 北京市西山试验林场火险等级预报系统研究. 林业调查规划, 32(2): 146–149.]
- Wang MQ, Luo AR, Zhou QS, Chesters D, Chen JT, Guo SK, Yang JJ, Guo PF, Li Y, Zhang F, Peng YQ, Luo SX, Ge SQ, Bai M, Xiao ZZ, Chen J, Zhou HZ, Yu JP, Zhu CD, 2022. Progress on the Sino BON-Insects diversity monitoring network. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1192–1204. [王明强, 罗阿蓉, 周青松, Chesters D, 陈婧婷, 郭士琨, 杨娟娟, 郭鹏飞, 李逸, 张峰, 彭艳琼, 罗世孝, 葛斯琴, 白明, 肖治术, 陈军, 周红章, 余建平, 朱朝东, 2022. 中国昆虫多样性监测与研究网进展. 应用昆虫学报, 59(6): 1192–1204.]
- Wang Y, Jin YS, Jiang BX, Wen J, 2019. Standardized benefit evaluation of Beijing Xishan Experimental Forest Farm. *Forest Science and Technology*, 2019(4): 53–55. [王雨, 金莹杉, 姜博鑫, 温静, 2019. 北京市西山试验林场标准化效益评价. 林业科技通讯, 2019(4): 53–55.]
- Zhang H, Liu WP, Wei W, Zhao KX, Lu HH, Li HY, Zhou ZY, Niu ZQ, Zhu CD, Huang DY, 2022. Pollinator communities diversity in the main *Camellia oleifera* producing areas of China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1223–1239. [张欢, 刘文平, 魏玮, 赵凯旋, 陆欢欢, 李红英, 周泽扬, 牛泽清, 朱朝东, 黄敦元, 2022. 中国油茶主产区传粉昆虫群落多样性分析. 应用昆虫学报, 59(6): 1223–1239.]
- Zheng SZ, Liu CF, Jin S, Chen MX, Yu JL, Fang YL, Liang JY, 2023. Insect community structure and diversity investigated by Malaise traps from ecological tea plantation in Fuding City, Fujian province. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/35.1255.S.20230317.0959.004.html>. [郑世仲, 刘楚非, 金珊, 陈美霞, 俞佳乐, 方玉玲, 梁家源, 2023. 马氏网集虫法调查福鼎生态茶园昆虫群落结构及多样性. 福建农林大学学报(自然科学版), <https://kns.cnki.net/kcms/detail/35.1255.S.20230317.0959.004.html>]
- Zou Y, Liu JW, Li LK, Xiao ZJ, Chen FJ, 2020. Investigation and analysis of insect diversity in different habitats in Yanqing district of Beijing. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1161–1172. [邹言, 刘佳文, 李立坤, 肖子衿, 陈法军, 2020. 北京市延庆区不同生境昆虫多样性特征调查分析. 应用昆虫学报, 57(5): 1161–1172.]