

深圳宝安机场绿地昆虫和植物群落多样性调查

毛孟飞^{1*}, 程寿杰^{2*}, 陈思琪¹, 袁倩敏³, 郑明轩^{4**}, 许益鏊^{1**}

(1. 华南农业大学昆虫学系, 广州 510642; 2. 深圳市机场股份有限公司, 广东深圳 518128; 3. 广东省科学院动物研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广州 510260; 4. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642)

摘要: 机场周边的环境特征以及生物多样性与鸟击事件密切相关。宝安国际机场地处亚热带地区, 为明确其周边绿地生物多样性特征, 于2021年12月至2022年8月按季度进行了调查。结果表明, 深圳宝安机场绿地昆虫群落由8目45科组成, 优势类群为叶蝉科; 各季节昆虫多样性变化明显, 夏季种类和数量最为丰富; C区的优势度、多样性和均匀度指数均最高; 机场飞行区共记录到维管植物67种, 隶属于21科57属, 周边区域植物共436种, 种类丰富, 植被群落比较稳定, 这为昆虫和鸟类提供了优质的栖息环境和丰富食物源。研究结果将为宝安机场在针对昆虫制定鸟击生态防范措施提供理论依据。

关键词: 宝安国际机场; 昆虫群落; 植物群落; 多样性

中图分类号: Q968.1;

文献标识码: A

Investigation on diversity of insect and plant communities in Shenzhen Bao'an Airport greenbelt

MAO Meng-Fei^{1*}, CHENG Shou-Jie^{2*}, CHEN Si-Qi¹, YUAN Qian-Min³, ZHENG Ming-Xuan^{4**}, XU Yi-Juan^{1**} (1. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Shenzhen Airport Co., Ltd., Shenzhen 518128, Guangdong Province, China; 3. Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangzhou 510260, China; 4. College of forestry and landscape architecture, SCAU, Guangdong, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The environmental characteristics and biodiversity around the airport are closely related to bird strike events. To clarify the biodiversity characteristics of greenbelt of Bao'an International Airport which is located in a subtropical region, a quarterly investigation was conducted from December 2021 to August 2022. The results indicate that the insect community at Bao'an Airport and its surrounding areas consists of 8 orders and 45 families, with the dominant group being Cicadellidae. The diversity of insects in the flight area of Bao'an Airport varies significantly by season, with the highest species richness and abundance in the summer. The dominance, diversity, and evenness indices of the C area are the highest. A total of 67 species of wild vascular plants belonging to 21 families and 57 genera were recorded in the airport flight area, and 436 species of plants were found in the surrounding area, providing a stable vegetation community and a

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFC2600404)

*共同第一作者: 毛孟飞, 男, 硕士研究生, 研究方向为植物检疫与生物入侵, E-mail: 2249358708@qq.com; 程寿杰, 男, 硕士研究生, 研究方向为植物检疫与生物入侵, E-mail: 642788010@qq.com

**共同通讯作者 Author for correspondence: 郑明轩, 男, 硕士, 研究方向为野生植物资源调查和应用, E-mail: zhengmx@scau.edu.cn; 许益鏊, 男, 博士, 教授, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: xuyijuan@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-11-17; 接受日期 Accepted: 2024-03-07

high-quality habitat and food source for insects and birds. The research results will provide a theoretical basis for Bao'an International Airport to formulate ecological precautions against Birdstrike by targeting insects.

Key words: Bao'an International Airport; insect community; plant community; diversity

植物、昆虫和鸟类都是自然生态系统中的重要成员，昆虫是种类最多和数量最庞大而复杂的无脊椎动物，人类已知的昆虫就有 100 余万种（孙晓慧，2022）。植被和昆虫的多样性与鸟类的多样性密切相关（王磊，2010），间接地决定了飞行的安全性。环境对鸟类的吸引主要表现为食物链关系，机场内植物的花、叶、果实和种子都是植食性鸟类的食物来源，机场植物和昆虫由于可以为鸟类提供直接或间接的食物来源，植物还为昆虫和鸟类提供良好的栖息环境，因此，明确机场植被和昆虫的多样性对理解鸟类发生具有重要意义（徐洁，2018）。

随着航空业的快速发展，鸟击事故也日益严重化，为了长期有效的解决鸟击问题，众多学者也将研究方向转移到鸟击的生态防治上，研究机场内的植被和昆虫，从食物链角度控制机场内鸟的种类和数量（王占彬，2009；Coghlan *et al.*，2013）。天津滨海国际机场通过人工调节机场草地植被可有效降低机场草地昆虫的丰度、生物量和多样性，为机场昆虫的生态防治提供了理论依据（Zhao *et al.*，2013）。罗方梅等（2022）对成都双流国际机场地表昆虫多样性及其与植被群落的关系研究也表明不同植被群落地表昆虫构成和多样性存在差异。周贵平（2018）对成都温江机场范围内的昆虫种类和数量进行了系统调查，并对温江机场主要昆虫展开了药剂防治试验，集成了一套针对温江机场的害虫防治技术，间接达到高效的控鸟效果。也有研究报道了陇南机场周边地区昆虫种类及数量分布（陈耀年等，2021），对南京禄口国际机场、呼和浩特白塔国际机场、新桥国际机场、临海机场、抚远东极机场、济宁机场等的昆虫多样性进行详细调查研究，并提出针对性鸟击预防措施，从而长期高效的预防鸟击事故的发生（郑向前，2017；徐洁，2018；曹天棋等，2020；刘振江等，2021；孙晓慧，2022）。

深圳市宝安国际机场位于珠江口东岸的一片滨海平原上，西面靠海，场地辽阔，总占地面积 28.3 km²，属于亚热带季风气候，气候温和，日照充足，雨量充沛，具有丰茂的植被。机场周边的林地、城市休闲绿地可为鸟类提供了觅食、栖息的场所，这也增加了鸟击事件的潜在风险（张志强，2007）。本研究旨在摸清宝安国际以及周边植被和昆虫数量和组成，为进一步分析植物和昆虫对鸟类分布的影响以及制定科学的机场防鸟措施提供科学依据，以期减少宝安国际机场鸟类的数量，有效防范机场鸟击事件发生奠定基础。

1 材料与方法

1.1 调查区域的划分

宝安国际机场内生境以草坪为主，根据机场的地理状况及主要植被情况，在宝安国际机场跑道周围草坪的四个方位各选一个调查点进行昆虫多样性调查，各调查点标记为 A~D 区。

A 区经纬度：113.801622°E；22.6157874°N，B 区经纬度：113.783550°E；22.6483074°N，C 区经纬度：113.817927°E；22.6279671°N，D 区经纬度：113.805022°E；22.6516708°N。在机场周边区域选择了四个植被丰富的区域，标记为 E~H 区，对区域内的植被及昆虫进行调查（图 1，表 1）。



图 1 宝安国际机场调查点分布图

Fig. 1 Distribution of investigation sites at Bao'an International Airport

表 1 各调查区域主要植被

Table 1 Main vegetation in each investigation site

调查点 Investigation site	主要植被 Main vegetation
A	水烛 <i>Typha angustifolia</i> 、异形莎草 <i>Cyperus difformis</i> 、高秆莎草 <i>Cyperus exaltatus</i>
B	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> 、狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> 、臭根子草 <i>Bothriochloa bladhii</i>
C	芒草 <i>Miscanthus</i> 、白茅 <i>Imperata cylindrica</i> 、狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>
D	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> 、臭根子草 <i>Bothriochloa bladhii</i>
E	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i> 、桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>
F	秋枫 <i>Bischofia javanica</i> 、黄金香柳 <i>Melaleuca bracteata</i> 、大叶油草 <i>Axonopus compressus</i>
G	尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i> 、大叶相思 <i>Acacia aurixulaeformis</i> 、台湾相思 <i>Acacia confusa</i>
H	桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> 、芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> 、五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>

1.2 昆虫调查方法

扫网法：深圳市宝安国际机场位于广东省深圳市宝安区，机场有飞机起落跑道 2 条，跑道两侧是宽阔的土道面，多草本植物，人工修剪强度高，修剪高度多为 10~20 cm 左右，各处生境基本相同，跑道两端有较大面积的蓄水池，生境相对复杂。在 A~D 区内各选 1 个小

区, 每小区 900 m² 左右, 利用五点取样法进行网捕采集, 采用 5 m×5 m 的样方, 调查人员从草坪样方的一端开始, 手持捕虫网, 以固定次数 (10 次)、力度、幅度扫过地面植被, 在 E~H 区内各选择 5 个点进行网捕采集, 然后收集捕虫网内的昆虫, 用无水乙醇保存, 带回实验室鉴定、记录主要昆虫的种类和数量, 调查自 2021 年 12 月至 2022 年 8 月, 经过 4 次调查发现 (具体时间: 2021 年 12 月、2022 年 3 月、2022 年 5 月、2022 年 8 月), 即每个季度调查一次。

1.3 植物群落调查方法

主要采用样方调查法和踏查法对深圳宝安国际机场主跑道两侧的草地进行调查, 在有代表性的草地群落中设置调查样点, 每个样点布设 10 个 1 m×1 m 样方, 每个样点的样方总面积为 10 m²。采用样方调查法和样线调查法对深圳宝安国际机场周边的山地、市政道路、市政公园以及主跑道两侧的草地进行调查, 在有代表性的草地群落中设置调查样点, 对样方中草本植物进行调查, 观察并记录植物的种类、群落以及生长状况。在进行植物调查过程中对无法就地鉴定以及较难辨认的植物进行标本采集以及拍摄照片, 带回华南农业大学林学与风景园林学院实验室后通过查阅文献如《广东植物志》、《中国植物志》、《广州野生植物》以及参考权威的植物分类网站等进行鉴定。

1.4 数据处理

采用 Excel 进行数据整理, 利用 Originpro 2023 作图, 本研究所采用的计算方法如下 (吴坤君等, 2005; 王佳宁等, 2020; 王岩等, 2021):

Margalef 丰富度指数 $R = (S-1) / \ln N$ 。式中 S 为群落中的类群数目, N 为整个研究区域所采集到的昆虫总数。

Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = - \sum_i^S P_i \ln P_i$; $P_i = N_i / N$ 。式中 P_i 为第 i 个类群的个体数在整个类群中占的比例, N_i 为第 i 个类群的数量, N 为整个类群的数量。

Simpson 优势度指数 $D = \sum_{i=1}^S (p_i)^2$ 。式中 P_i 为第 i 个类群个体数的比例, D 值越大, 说明昆虫群落的集中性越高, 多样性越低。

Pielou 均匀度指数 $J = H' / \ln S$ 。上式中 H' 为多样性指数, S 为物种数。

物种相似性采用 Jaccard 相似性系数计算公式 $I = c / (a + b - c)$ 。式中 a 为 A 区域类群数, b 为 B 区域类群数, c 为 A、B 两区域共有的类群数, 根据 Jaccard 相似性系数原理, 当 I 为 0~0.25 时, 为极不相似; I 为 0.25~0.5 时, 为中等不相似; I 为 0.5~0.75 时, 为中等相似; I 为 0.75~1 时, 为极相似。

2 结果与分析

2.1 昆虫群落组成及多样性特征

经过 4 次调查发现, 宝安国际机场以及周边地区昆虫群落由 8 目 45 科组成, 涉及蜻蜓目、鳞翅目、直翅目、双翅目、膜翅目、半翅目、鞘翅目和蜚蠊目。宝安国际机场昆虫群落

的优势类群为半翅目，其个体数量最多，占群落个体总数的 62.51%，其次是膜翅目、直翅目和双翅目，分别占群体个体总数的 18.49%、5.82%和 5.04%（表 2），所有昆虫中，叶蝉科昆虫的数量最多，占昆虫总体数量的 52.68%。宝安国际机场昆虫各目分类单元情况如表 2，半翅目类群最丰富，统计到 10 个科，膜翅目 8 科，双翅目 7 科，直翅目和鳞翅目 6 科，鞘翅目 4 科，蜻蜓目 3 科，蜚蠊目 1 科。

表 2 宝安国际机场昆虫组成情况

Table 2 Insect composition at Bao'an International Airport

目名 Order	不同目昆虫个体数比例 (%) Proportion of insect numbers in different orders	科数 Number of family	科数比例 (%) Proportion of number of family
半翅目 Hemiptera	62.51	10	22.22
膜翅目 Hymenoptera	18.49	8	17.78
直翅目 Orthoptera	5.82	6	13.33
双翅目 Diptera	5.04	7	15.56
鳞翅目 Lepidoptera	2.97	6	13.33
鞘翅目 Coleoptera	2.65	4	8.89
蜻蜓目 Odonata	1.55	3	6.67
蜚蠊目 Blattaria	0.97	1	2.22

宝安国际机场飞行区各季节昆虫多样性变化明显，夏季种类和数量均最为丰富，共发现了 8 目 28 科，数量占比 49.37%；冬季昆虫种类最少，仅发现 5 目 7 科，春季昆虫的数量最少；其中叶蝉科每个季节都有发生，并且数量较多（图 2）。

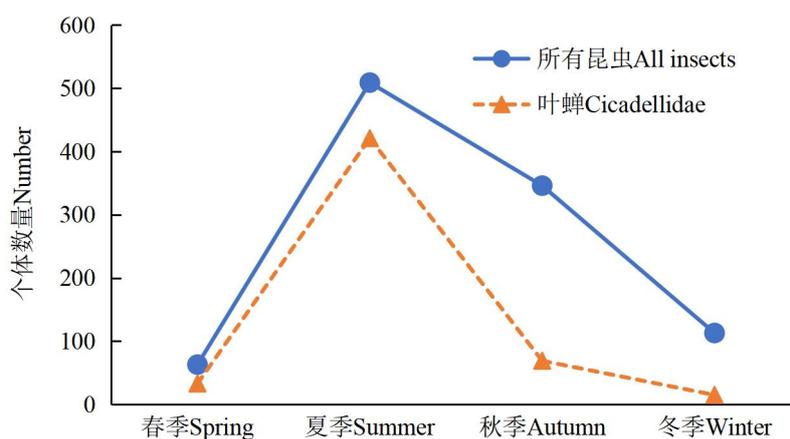


图 2 不同季节昆虫的个体数

Fig. 2 Individual numbers of insects in different Seasons

宝安国际机场不同区域昆虫多样性特征如图（3）所示，昆虫的个体数、simpson 优势度指数、shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数间均存在差别。4 个区域中，C 区域植被最高，其次为 A 区域，B 和 D 区域的植被较矮。A 区域捕捉到的昆虫个体数量最丰富，占

飞行区个体总数的 48.98%。虽然四个区域捕捉到的昆虫类别差别不大（分别为 23 科、24 科、28 科、23 科），但在 simpson 优势度指数、shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数方面，A 区域均为最低，这是由于 A 区域聚集着数量较多的叶蝉，使得种类中个体分配不均匀，从而降低了 A 区域的优势度、多样性和均匀度指数。C 区域的芒草群落生长茂盛，优势度、多样性和均匀度指数均最高，说明该区域容易爆发虫害。

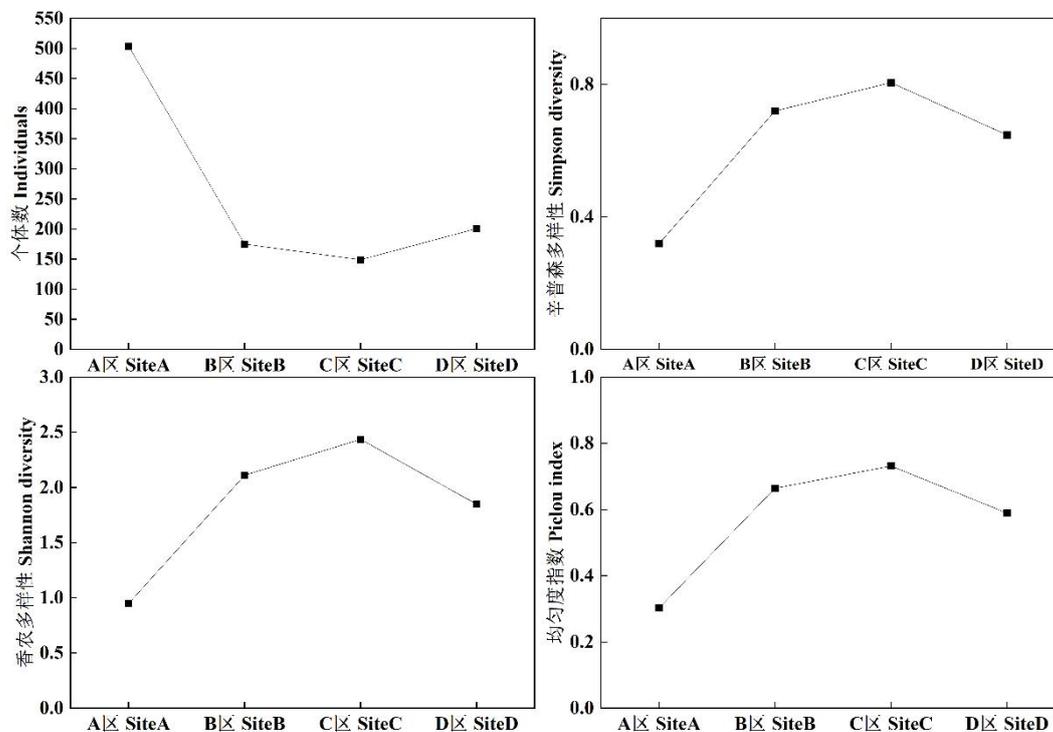


图3 宝安国际机场不同区域昆虫的多样性特征

Fig. 3 Diversity characteristics of insects in different regions of Bao'an International Airport

2.2 宝安国际机场飞行区昆虫群落相似性

宝安国际机场不同昆虫群落相似性如表 3，各样地的相似性指数在 0.25~0.75 之间，包含中等不相似和中等相似两个级别。A 区域和 B 区域（0.621）、A 区域和 D 区域（0.586）为中等相似，其中 A 区域和 B 区域共有科数最多（18 科），相似性指数也最大。A 区域和 C 区域（0.379）、B 区域和 C 区域（0.468）、B 区域和 D 区域（0.343）、C 区域和 D 区域（0.417）为中等相似。

表 3 宝安国际机场飞行区昆虫群落相似性

Table 3 Insect community similarity in the flight area of Bao'an International Airport

	A 区 Site A	B 区 Site B	C 区 Site C	D 区 Site D
A 区 Site A		18	14	17
B 区 Site B	0.621		17	12
C 区 Site C	0.379	0.486		15
D 区 Site D	0.586	0.343	0.417	

2.3 飞行区的植被多样性

在机场飞行区的样地调查共记录到野生维管植物共 67 种，隶属于 21 科 57 属。包括蕨类植物 3 科 3 属 3 种，双子叶植物 14 科 30 属 34 种，单子叶植物 4 科 25 属 30 种。在机场净空区跑道两侧所设样方中共记录到植物 6 科 11 属 12 种，表明机场跑道两侧草坪草种类单一，且皆为草本植物。优势种为狗牙根、臭根子草、白茅、多穗扁莎、芒草、水烛，其中狗牙根是机场跑道内引种的主要人工草坪草种类，因此其分布最广，在所有样地的植物数量组成中占绝对优势。其余的杂草是深圳地区常见的杂草种类，以禾本科、菊科和莎草科杂草为主，这 3 个科的植物共有 36 种，占所有种总数的 53.7%，该 3 科植物在机场跑道两侧的生境中最为常见（表 4）。而在这些杂草种类里外来植物有 12 种，隶属于 8 科 12 属，菊科植物有 5 种，占外来杂草的 41.7%，这些外来杂草皆为珠三角常见的杂草种类。每种植物的花期和果期有所不同，但总体表现为花果期大致集中夏季和秋季，植物开花会招引来大量昆虫，植物的果实又为昆虫和鸟类提供大量的食物。

表 4 宝安国际机场飞行区植物群落组成

Table 4 Plant Community Composition in the flight area of Bao'an International Airport

科名 Family	种数 Number of species	比例 (%) Percentage
禾本科 Poaceae	19	28.36
莎草科 Cyperaceae	9	13.43
菊科 Compositae	8	11.94
蝶形花科 Papilionaceae	4	5.97
蓼科 Polygonaceae	3	4.48
玄参科 Scrophulariaceae	3	4.48
苋科 Amaranthaceae	2	2.99
旋花科 Convolvulaceae	2	2.99
酢浆草科 Oxalidaceae	2	2.99
大戟科 Euphorbiaceae	2	2.99
茜草科 Rubiaceae	2	2.99
马齿苋科 Portulacaceae	2	2.99
海金沙科 Lygodiaceae	1	1.49
胡椒科 Piperaceae	1	1.49
凤尾蕨科 Pteridaceae	1	1.49
柳叶菜科 Onagraceae	1	1.49
含羞草科 Mimosaceae	1	1.49
香蒲科 Typhaceae	1	1.49
鸭跖草科 Commelinaceae	1	1.49
金星蕨科 Thelypteridaceae	1	1.49
藜科 Chenopodiaceae	1	1.49

2.5 宝安国际机场周边绿地的植物组成以及植物群落概况

调查统计深圳机场周边区域植物共含维管植物 436 种,其中蕨类植物 12 科 15 属 18 种,裸子植物 6 科 9 属 10 种,被子植物 94 科 315 属 408 种。包括在深圳机场周边的市政、森林公园绿地、道路绿化等地的栽培植物 52 科 102 属 127 种。

深圳宝安国际机场净空保护区范围内的环境的主要植被类型主要有人工植被和天然植被两个类型。而人工植被主要为机场周边的山地和滨海湿地中的人工林植被、果园、公园和高尔夫球场的绿化用地、市政道路绿化、机场内部的人工草坪为主;天然植被主要为周边的路旁荒地灌草丛、机场零星红树林植被、机场周边堤岸草坡等。

3 结论与讨论

2021 年 12 月至 2022 年 8 月在深圳宝安国际机场及周边地区共采集鉴定昆虫 8 目 45 科,其中优势类群为叶蝉科。叶蝉体型小,年发生代数多,世代重叠,个体数量多,能够迅速占领机场及周边地区生境。叶蝉的猖獗吸引了捕食性天敌瓢虫和猎蝽,这可能为食虫鸟类提供更多的食物来源。因此,有必要对优势种叶蝉进行重点防治,黄色对半翅目昆虫具有吸引作用,可以在机场草坪悬挂黄板诱杀以降低其种群数量。机场绿地昆虫分布具有明显季节差异,昆虫种类和数量均是夏、秋两季较多,春季和冬季较少,这可能是因为夏秋季温度高、降雨量多,植物生长旺盛,昆虫食物充足,而春冬季节温度低、降雨量少,大多植物处于枯萎期,昆虫缺乏食物,以及该时期部分昆虫处于虫卵或蛹期,导致调查到的昆虫种类、数量均较夏秋季少(蔡志平等,2022)。昆虫群落多样性分析表明,C 区域 simpson 优势度指数、shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数方面均最高,说明该区域昆虫种类丰富具有明显的优势类群,若采用单一的防治方法难以奏效,因此建议采用了物理防治及化学防治相结合的方法,对该区域昆虫进行防治。

通过植被的调查结果发现,宝安国际机场飞行区及周边绿地的植物种类丰富,植被群落比较稳定,这为昆虫和鸟类提供了优质的栖息环境和丰富食物来源。王国秀等(2001)的研究表明武汉天河机场所捕获鸟类的 93%以上是捕食机场草坪中的草籽及以昆虫。深圳宝安国际机场内以草地群落居多,靠近跑道的区域由于得到妥善的管养,因此草本群落高度都得到有效的控制,减少了昆虫和鸟类栖息的生境;但距离跑道稍远的区域,尤其是两条跑道东南尽头围栏外的堤岸上有芒草为主的高草群落。草地杂草的高度是影响昆虫群落种类和数量的重要因素,杂草高度越高,给昆虫提供的栖息空间就越多,昆虫群落的数量就越大,在调查期间就发现不少水鸟和林鸟到其中栖息或觅食,为机场的安全管理带来一定的隐患。对机场外围这类高草生境的控制,是对机场鸟类有效防控的手段之一。因此,增加个别区域草地割剪频次,在花期和果期前修剪,将草坪控制在一定高度,这样可以破坏昆虫的生活环境,从而降低草坪昆虫的数量,而且减少了种子、果实的形成,减少鸟类的食源(岩温龙等,2022)。另外,对于割除的杂草,要及时清理,尽快运离机场飞行区,否则杂草腐烂,容易导致部分土壤昆虫的滋生。

参考文献 (References)

- Cai ZP, Zhu Yh, Zi LB, et al. Research on insect communities of inner outer ecosystems of Kunming Changshui International Airport [J] *Journal of Green Science and Technology*, 2022, 24 (18): 87-90, 96. [蔡志平, 朱玉怀, 字龙斌, 等. 昆明长水国际机场围界内和外围生态系统昆虫群落研究 [J]. 绿色科技, 2022, 24 (18): 87-90, 96]
- Cao TQ, Wang YT, Yang SH, et al. Investigation and faunal analysis of insect resources at Fuyuan East Polar Airport [J] *Biological Disaster Science*, 2020, 43 (2): 196-200. [曹天棋, 王一桐, 杨舒涵, 等. 抚远东极机场昆虫资源调查及区系分析 [J]. 生物灾害科学, 2020, 43 (2): 196-200]
- Chen YN, Ye WB, Wang YF, et al. Investigation and analysis of insect resources in the Surrounding Areas of Longnan Airport [J] *Journal of Ningxia Normal University*, 2021, 42 (4): 67-73. [陈耀年, 叶文斌, 王一峰, 等. 陇南机场周边地区昆虫资源调查分析 [J]. 宁夏师范学院学报, 2021, 42 (4): 67-73]
- Coghlan ML, White NE, Murray DC, et al. Metabarcoding avian diets at airports: Implications for birdstrike hazard management planning [J]. *Investigative Genetics*, 2013, 4 (1): 27.
- Liu ZJ, Fan LH, Qiao N, et al. Biodiversity investigation and bird strike prevention strategies at Linhai Airport [J] *Journal of Safety and Environment*, 2021, 21 (3): 1361-1368. [刘振江, 范丽红, 乔宁, 等. 临海机场生物多样性调查与鸟击防范策略 [J]. 安全与环境学报, 2021, 21 (3): 1361-1368]
- Luo FM, Bai XT, Luo G, et al. Surface insect diversity and its relationship with vegetation communities at Chengdu Shuangliu International Airport [J] *Sichuan Zoology*, 2022, 41 (5): 556-564. [罗方梅, 白小甜, 罗概, 等. 成都双流国际机场地表昆虫多样性及其与植被群落的关系 [J]. 四川动物, 2022, 41 (5): 556-564]
- Sun XH. Insect Diversity and its Relationship with Birds at Hohhot Baita International Airport [D] Hohhot: Inner Mongolia University, 2022. [孙晓慧. 呼和浩特白塔国际机场昆虫多样性及与鸟类的关系 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2022]
- Wang GX, Liu JW, Dai ZX, et al. A Preliminary Study on the Relationship Between Insect and Bird Feeding Habits on the Lawn of Wuhan Tianhe Airport [C] Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2001: 5. [王国秀, 刘家武, 戴宗兴, 等. 武汉天河机场草坪昆虫与鸟类食性关系的初步研究 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 5]
- Wang JN, Xie H, Liu YX, et al. Insect diversity and its impact on bird distribution at Mohe Gulian Airport [J] *Biological Disaster Science*, 2020, 43 (3): 288-293. [王佳宁, 谢辉, 刘懿轩, 等. 漠河古莲机场昆虫多样性及其对鸟类分布的影响 [J]. 生物灾害科学, 2020, 43 (3): 288-293]
- Wang L, Tang SX, Chu FY, et al. The relationship between vegetation and birds in the flight area of Shanghai Hongqiao International Airport [J] *Sichuan Zoology*, 2010, 29 (04): 536-542. [王磊, 唐思贤, 褚福印, 等. 上海虹桥国际机场飞行区植被与鸟类的关系 [J]. 四川动物, 2010, 29 (4): 536-542]
- Wang Y, Yang SH, Wang JN, et al. Investigation and diversity analysis of butterfly resources in Zhalong Nature Reserve [J] *Biological Disaster Science*, 2021, 44 (1): 60-63. [王岩, 杨舒涵, 王佳宁, 等. 扎龙自然保护区蝶类资源调查及多样性分析 [J]. 生物灾害科学, 2021, 44 (1): 60-63]
- Wang ZB, Cheng XC, Sun P, et al. Ecological prevention and control of bird collisions at airports [J] *Biological Bulletin*, 2009, 44 (9): 1-3. [王占彬, 程相朝, 孙平, 等. 机场鸟撞的生态防治 [J]. 生物学通报, 2009, 44 (9): 1-3]
- Wu KJ, Gong PY, Sheng CF. Measurement and expression of insect diversity parameters [J] *Insect Knowledge*, 2005, 3: 338-340. [吴坤君, 龚佩瑜, 盛承发. 昆虫多样性参数的测定和表达 [J]. 昆虫知识, 2005, 3: 338-340]
- Xu J. The Occurrence Patterns of Arthropods and Herbaceous Plants on the Lawn of Nanjing Lukou International Airport and Their Relationship with Birds [D] Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018. [徐洁. 南京禄口国际机场草坪节肢动物和草本植物发生的规律及与鸟类关系 [D]. 南京: 南京农业大学, 2018]
- Yan WL, Ling RG, Lin K, et al. Bird fitness index analys Vegetation Dominant species in Xishuangbanna Gasa International Airport [J] *Cao Xue*, 2022, 4: 61-68, 73. [岩温龙, 另如贵, 林凯, 等. 西双版纳嘎洒国际机场植被优势种群鸟类适宜指数分析 [J]. 草学, 2022, 4: 61-68, 73]
- You S, Cheng L, Xue WW, et al. The correlation between insect communities and bird occurrence at Xinqiao International Airport [J] *Journal of Anhui Agricultural University*, 2022, 49 (2): 307-312. [游硕, 程雷, 薛委委, 等. 新桥国际机场昆虫群落与鸟类发生的相关性 [J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49 (2): 307-312]
- Zhang ZQ, Yang DD, Hu MW, et al. Species diversity analysis of bird community at Changsha Huanghua International Airport [J] *Journal of Zoology*, 2007, 1: 112-120. [张志强, 杨道德, 胡毛旺, 等. 长沙黄花国际机场鸟类群落物种多样性分析 [J]. 动物学杂志, 2007, 1: 112-120]
- Zhao S, Li Z, Duo L. Effects of vegetation management on the composition and diversity of the insect community at Tianjin Binhai International Airport, China [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2021, 111 (5): 553-559.

Zheng XQ. Research on Vegetation, Insect and Bird Species and Their Population Dynamics at Jining Airport [D] Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017. [郑向前. 济宁机场植被、昆虫与鸟类种类及其种群动态研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017]

Zhou GP. Research on Insect Biodiversity and Major Pest Control Technologies at Wenjiang Airport [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2018. [周贵平. 温江机场昆虫生物多样性及主要害虫防控技术研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2018]

附表 各调查点捕获昆虫名录

Appendix List of Insects Captured at Various Survey Sites

目 Order	科 Family	目 Order	科 Family
蜻蜓目 Odonata	蜻科 Libellulidae	膜翅目 Hymenoptera	姬蜂科 Ichneumonidae
	蜓科 Aeshnidae		跳小蜂科 Encyrtidae
	虻科 Caenagrionidae		小蜂科 Chalcididae
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	半翅目 Hemiptera	蜜蜂科 Apidae
	尺蛾科 Geometridae		熊蜂科 Bombidae
	螟蛾科 Pyralidae		叶蜂科 Tenthredinidae
	蛱蝶科 Nymphalidae		胡蜂总科 Vespoidea
	灰蝶科 Lycaenidae		蚁科 Formicidae
	粉蝶科 Pieridae		蝽科 Pentatomidae
直翅目 Orthoptera	蚱科 Tetrigoidea	缘蝽科 Coreidae	
	剑角蝗科 Acrididae	长蝽科 Lygaeidae	
	斑腿蝗科 Catantopidae	猎蝽科 Reduviidae	
	蝗科 Acrididae	龟蝽科 Plataspidae	
	螽斯科 Tettigoniidae	盲蝽科 Miridae	
	蟋蟀科 Gryllidae	蚜虫科 Aphididae	
	蝇科 Muscidae	飞虱科 Delphacidae	
双翅目 Diptera	实蝇科 Tephritidae	鞘翅目 Coleoptera	蚱总科 Coccoidea
	食蚜蝇科 Syrphidae		叶蝉科 Cicadellidae
	果蝇科 Drosophilidae		叶甲科 Chrysomelidae
	虻科 Tabanidae		象甲科 Curculionidae
	丽蝇科 Calliphoridae		金龟科 Scarabaeoidea
	蚊科 Culicidae		瓢虫科 Coccinellidae
	蜚蠊目 Blattaria		蜚蠊科 Blattidae