

高尔夫球场草坪不同功能区的地表 昆虫多样性：以北京地区为例^{*}

刘明慧^{1,2**} 陈由峰^{1,2} 种海南¹ 杨馨妍¹
韩烈保^{1,2} 张丹丹^{1,2***} 肖海军^{1***}

(1. 北京林业大学草业与草原学院, 北京 100083; 2. 国家林业草原运动场与护坡草坪工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要 【目的】评估比较高尔夫球场草坪不同功能区的地表昆虫多样性。【方法】采用地表陷阱法系统调查了北京地区清河湾高尔夫球场草坪的昆虫群落, 分析并比较了高尔夫球场草坪高草区、果岭、发球台和球道 4 个功能区的地表昆虫群落的多样性指数差异、季节变化动态和 Jaccard 相似性系数。【结果】共采集昆虫 1 648 头, 隶属于 5 目 42 科, 93 种。高草区地表昆虫群落的 Margalef 丰富度指数 (2.15) 显著高于发球台 (1.70)、果岭 (1.67) 和球道 (1.49) ($P < 0.000 1$), 其 Shannon-Wiener 多样性指数 (1.50) 亦显著高于果岭 (1.19)、发球台 (1.06) 和球道 (0.99) ($P < 0.01$), 4 个功能区地表昆虫群落的均匀度指数和优势集中性指数无显著差异 ($P > 0.05$)。不同功能区地表昆虫群落多样性指数随季节变化的动态趋势基本一致。不同功能区之间的地表昆虫群落 Jaccard 相似性系数在 0.42–0.66 之间。【结论】鞘翅目为高尔夫球场草坪优势类群。在高尔夫球场草坪 4 个功能区中, 高草区的地表昆虫群落多样性指数和丰富度指数显著高于其他 3 个功能区, 其地表昆虫群落多样性最为丰富, 且不同功能区之间的地表昆虫种类存在一定差异。本研究可为城市人工草地生态系统的昆虫多样性监测与评估提供参考。

关键词 高尔夫球场草坪; 不同功能区; 昆虫多样性; 季节变化动态; 高草区

Insect community diversity in different kinds of golf course turf in Beijing, China

LIU Ming-Hui^{1,2**} CHEN You-Feng^{1,2} CHONG Hai-Nan¹ YANG Xin-Yan¹
HAN Lie-Bao^{1,2} ZHANG Dan-Dan^{1,2***} XIAO Hai-Jun^{1***}

(1. School of Grassland Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Engineering and Technology Research Center for Sports Field and Slope Protection Turf, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100083, China)

Abstract [Aim] To assess and compare the surface insect diversity of different kinds of golf course turf in Beijing. [Methods] We conducted a systematic surface trap survey of the insect community of golf course turf in Beijing Qinghe Bay. We analyzed and compared differences in surface insect community diversity indices, seasonal dynamics, and Jaccard similarity coefficients, among four turf types: Rough, green, tee and fairway. [Results] A total of 1 648 insects were captured, which belonged to 5 orders, 42 families and 93 species. The Margalef richness index of the surface insect community in the rough (2.15) was significantly higher than that in the tee (1.70), the green (1.67), or the fairway (1.49) ($P < 0.000 1$). Its Shannon-Wiener diversity index (1.50) was also significantly higher than that of the green (1.19), the tee (1.06), or the fairway (0.99) ($P < 0.01$). There was, however, no significant difference ($P > 0.05$) in the evenness index and dominant concentration index of surface insect communities in the four turf types. Insect diversity indices of the different turf types basically underwent the same seasonal changes. The Jaccard similarity coefficients of the insect communities in the different turf types

^{*}资助项目 Supported projects: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (BLX202168); 国家自然科学基金 (32202287)

^{**}第一作者 First author, E-mail: mhliu@bjfu.edu.cn

^{***}共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: zhangdandan@bjfu.edu.cn; hjxiao@bjfu.edu.cn

收稿日期 Received: 2025-04-02; 接受日期 Accepted: 2025-06-05

ranged from 0.42 to 0.66. **[Conclusion]** The Coleoptera are the dominant insect groups in golf course turf. Among the four types of golf course turf, the diversity and richness indices of the rough were significantly higher than those of the other three turf types. There were differences in insect species among the different turf types and the rough had the greatest abundance of surface insects. This research provides a valuable reference for monitoring and assessing insect diversity in urban, artificial, grassland ecosystems.

Key words golf course turf; different functional areas; insect diversity; seasonal dynamics; rough

昆虫多样性对于生态系统功能至关重要,不同生态系统的昆虫多样性差异较大,基于不同生态系统昆虫多样性的系统监测有助于全面了解昆虫多样性和群落结构。目前,对农田、森林、草原、湿地等生态系统中的昆虫多样性监测数据较丰富,而人工草地生态系统中昆虫多样性的监测相对缺乏。

昆虫是草地生态系统中数量和种类最为丰富的生物类群,涵盖了不同生物形态和生活方式,占据食物网的多个营养级。在草地上,昆虫不仅在维持生态系统多样性和稳定性中发挥重要作用,还具有一系列重要的生态服务功能,如天敌昆虫对草地植物害虫的防控作用、传粉昆虫通过授粉可提高草地植物产量等(欧阳芳等, 2015)。与农田、森林等生态系统相比,草地生态系统具有植被结构相对较简单、异质性较弱、昆虫多样性也相对较低等特点(Giweta, 2020; Bardgett *et al.*, 2021)。研究报道,在热带草原生态系统中,昆虫群落多样性相对较高,可达 200 余种(Godfray *et al.*, 1999);在广泛管理和低投入的温带草地生态系统中,昆虫种类约有 50-70 种(Andow, 1991);而在集中管理和高肥料的草地生态系统中昆虫种类大约只有 10-15 种(朱慧等, 2017)。昆虫多样性主要受寄主植物类型、气候、土壤和人为活动等因素的影响(王明强等, 2022)。其中,因受气候变化及人为活动干扰,全球昆虫种群数量和多样性均发生锐减(Deutsch *et al.*, 2018; Outhwaite *et al.*, 2022)。此外有研究表明,长期大量使用化学杀虫剂使传粉昆虫数量显著减少,从而导致草地植物年产量降低 15%。昆虫生物多样性丰富有助于抑制节肢动物群落中的害虫数量,从而减少化学药剂的使用(Nath *et al.*, 2023)。

草坪是城市建设及运动场不可或缺的部分,

具有重要的生态价值,在释放氧气、净化空气、改善小气候、减少噪音、保持水土、防止土壤侵蚀、保护生物多样性和维护生态系统平衡等方面发挥重要作用(Smith *et al.*, 2015)。除此之外,草坪还可为人们提供舒适优美、赏心悦目的休闲和运动的场所(吴晓红, 2016; 李浩铭等, 2021)。

高尔夫球场草坪是草坪的主要类型之一,可作为研究草坪昆虫多样性的典型代表。本研究以北京清河湾高尔夫球场草坪为研究对象,采用地表陷阱法对草坪昆虫群落的种类和数量进行调查,并对其多样性进行分析,明确其昆虫群落结构,比较并分析不同功能区地表昆虫群落组成、生物多样性差异及季节变化动态,为进一步探究人工草地生态系统昆虫多样性和生物多样性提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究样地

调查地点位于北京市北五环清河湾高尔夫俱乐部(40.04°N, 116.38°E)。该球场球洞数为 36 洞,地跨朝阳区和海淀区,处于奥北区域的核心位置,南临国家奥林匹克公园和国家森林公园,海拔低于 100 m,气候为典型的半湿润大陆性季风气候,夏季多雨高温,冬季干燥寒冷。草坪草植物种类主要为草地早熟禾 *Poa pratensis*、高羊茅 *Festuca arundinacea* 和匍匐剪股颖 *Agrostis stolonifera*。

高尔夫草坪的高草区作为半自然栖息地,植被复杂且人为干扰少,能够支持较高的昆虫多样性和丰富度,尤其是鞘翅目和传粉昆虫;球道的定期修剪和灌溉管理导致昆虫多样性中等,以适应短草环境的地表活动性昆虫(如蚂蚁、步甲)

为主;发球台由于面积小、使用频繁且维护强度高(如频繁剪草、压实),昆虫多样性较低,常见少数耐受干扰的广适性物种;果岭因超短修剪、频繁施用农药及高度均质化的环境,生态条件最为严苛,昆虫多样性最低,仅存少量耐药剂的小

型土壤昆虫或偶发性访花种类。

该球场草坪于 2023 年 4 月 10 日、7 月 10 日、8 月 7 日和 9 月 4 日分别灌根施用吡虫啉、噻虫嗪、氯虫苯甲酰胺和高氯噻虫嗪,使用剂量分别为 0.05、0.10、0.05 和 0.25 g/m²(表 1)。

表 1 2023 年清河湾高尔夫球场杀虫剂使用情况
Table 1 Pest control record of Westgate Driving range golf course

施用日期(年-月-日) Application date (year-month-day)	杀虫剂 Insecticide	防治方法 Prevention method	施用浓度(g/m ²) Concentration(g/m ²)
2023-04-10	吡虫啉 Imidacloprid	灌根 Root irrigation	0.05
2023-07-10	噻虫嗪 Thiamethoxam	灌根 Root irrigation	0.10
2023-08-07	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	灌根 Root irrigation	0.05
2023-09-04	高氯噻虫嗪 Homoclothiamethoxam	灌根 Root irrigation	0.25

1.2 取样方法

于 2023 年 4-10 月,使用地表陷阱法对清河湾高尔夫球场高草区、果岭、发球台和球道 4 个功能区草坪的地表昆虫群落进行取样(Siewers *et al.*, 2014; 段美春等, 2021),此方法相较扫网法更适用于长期监测和取样,人为影响因素更小(毛孟飞等, 2024)。每个功能区在 3 个不同方位设置取样点,每个取样点布置 4 个陷阱杯,每个陷阱杯间隔 3 m,每个功能区共 12 个陷阱杯。陷阱设置先采用土钻在取样点地表钻洞,然后将陷阱杯埋入地表。陷阱杯为高度 12 cm、杯口直径 8 cm 的硬质塑料杯。杯内添加 1/2 的饱和食盐水和少量的洗洁精杀死掉落陷阱的昆虫。塑料杯边缘稍低于或持平于地表面。每两周左右取 1 次样,共采集 13 次,收集昆虫样本并更换溶液。收集时,将塑料杯取出,摇晃后将溶液和杯底部样本倒入 80 目纱网,滤除液体后将盛有昆虫样本的纱网折叠放入自封袋,带回实验室进行鉴定,地表昆虫鉴定参考《中国动物志》。通过体视显微镜(SZM-7045TR, 宁波舜宇仪器有限公司)对地表昆虫标本进行鉴定、分类和统计(张圣芳等, 2016)。

1.3 昆虫群落多样性分析

采用 Marglef 丰富度指数(D)、Pielou 均匀

度指数(E)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)和优势集中性指数(C)对地表昆虫群落多样性进行分析。Marglef 丰富度指数 D 用于衡量样本中物种丰富度的指标,指数越大表明该区域内物种种类越丰富;Pielou 均匀度指数 E 用于衡量物种分布均匀性的指标,指数越大物种分布越均匀;Shannon-Wiener 多样性指数 H 是一种综合考虑物种丰富度和均匀度的多样性指数。优势集中性指数(C)是多样性的反面即集中性的度量。

各参数具体计算方法如下(Fedor and Zvaríková, 2019):

Marglef 丰富度指数:

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

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = -\sum_{i=1}^S P_{ix} \ln P_i \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数:

$$E = H / H_{\max}, \quad H_{\max} = \ln S \quad (3)$$

优势集中性指数:

$$C = \sum_{i=1}^S (P_i)^2 \quad (4)$$

式中: S 为物种数; N_i 为第 i 个物种个数; N 为群落物种的总个数; P_i 为第 i 个物种个数(N_i)占群落物种总个数(N)的比例。

1.4 昆虫群落相似性分析

群落相似性分析在一定程度上反映了群落物种的时空变化,可揭示物种多样性形成和维持的机理(蒙洋等,2017)。Jaccard 相似性系数是一种用于衡量两个集合之间相似性的指标,常被用于相似性分析。

对 4 个功能区的地表昆虫群落进行相似性分析, Jaccard 相似性系数 $=S_C/(S_A+S_B-S_C)$, 式中, S_A 为功能区 A 的物种数, S_B 为功能区 B 的物种数, S_C 为功能区 A 和 B 的共有物种数。Jaccard 相似性系数取值范围为[0, 1], Jaccard 相似性系数越接近 1, 表示不同功能区的地表昆虫群落多样性越相似, 越接近 0, 表示不同功能区的地表昆虫群落多样性越不相似。

1.5 数据分析

采用 Excel 2016、Graphpad Prism 10.0 等软件进行各多样性指数的计算和作图,采用 Turkey 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 高尔夫球场草坪昆虫群落组成

整个采样过程共采集 13 次,采集昆虫样本 1 648 头,隶属于 5 目 42 科,超过 90 种(表 2)。包括双翅目、鞘翅目、膜翅目、半翅目和革翅目,主要优势科有隐翅虫科(31.49%)、步甲科(18.99%)、木虱科(1.15%)、蚁科(1.52%)

和禾蝇科(4.37%)等。其中,鞘翅目和双翅目科数最多,分别为 14 科,各占总科数的 33.34%;其次为膜翅目、半翅目和革翅目,科数分别为 7、6 和 1,科数百分率分别为 16.67%、14.29%和 2.38%。个体数最多的为鞘翅目,共 1 305 头,占总个体数的 79.19%,其次为膜翅目、双翅目和半翅目,分别为 164、100 和 78 头,个体数百分率分别为 9.95%、6.07%和 4.73%。在 42 个科中,鞘翅目隐翅虫科昆虫个体数最多,共 692 头,占总个体数的 41.99%。

鹊背筋隐翅虫 *Oxytelus piceus* 和中华布里隐翅虫 *Bledius chinensis* 等为高尔夫球场草坪地表昆虫群落的优势种。在球道功能区,中华布里隐翅虫占昆虫总数量的 33.94%,为优势种,路舍蚁 *Tetramorium caespitum* 等则为稀有种。在高草区,常见种主要有大青叶蝉 *Cicadella viridis*、垂柳喀木虱 *Cacopsylla babylonica* 和路舍蚁等,稀有种主要有广二星蝽 *Stollia ventralis*、黑伊土蝽 *Aethus nigratus* 和掘穴蚁 *Formicia cunicularia* 等。在果岭功能区,满斜结蚁 *Plagiolepis manczshurica*、四斑小步甲 *Elaphropus gradatus* 和铜翅菲隐 *Philonthus aeneipennis* 等为常见种,玛氏举腹蚁 *Crematogaster matsumurai*、柳虫瘿叶蜂 *Pontania pustulator*、半点锥须步甲 *Bembidion semipunctatum* 和大麻蚤跳甲 *Psylliodes attenuata* 等为稀有种。发球台采集到的昆虫中,大眼长蝽 *Geocoris pallidipennis*、满斜结蚁和路舍蚁等为常见种(表 3)。

表 2 高尔夫球场草坪地表昆虫群落组成各目科数与个体数统计
Table 2 Composition of surface insect communities on golf course lawns
and statistics of the number of each order

目 Order	科 Family		种 Species		个体 Individual	
	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)
半翅目 Hemiptera	6	14.29	7	7.45	78	4.73
革翅目 Dermaptera	1	2.38	1	1.06	1	0.06
膜翅目 Hymenoptera	7	16.67	10	10.64	164	9.95
鞘翅目 Coleoptera	14	33.33	55	58.51	1 305	79.19
双翅目 Diptera	14	33.33	21	22.34	100	6.07
总数 Total	42	-	93	-	1 648	-

Table 3 Community structure of insects in four functional areas of golf course turf

[illegible]

续表 3 (Table 3 continued)

昆虫种类 Insects species	高草区 Rough			果岭 Green			发球台 Tee			球道 Fairway		
	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type
大麻蚤跳甲 <i>Psylliodes attenuata</i>	6	0.52	+	1	0.16	+	3	0.59	+	7	1.27	++
多岩锥须步甲 <i>Bembidion scopulinum</i>	4	0.35	+	4	0.65	+	3	0.59	+	4	0.73	+
福婆鳃金龟 <i>Brahmina faldermanni</i>	1	0.09	+	1	0.16	+	-	-	-	-	-	-
沟跗通缘步甲 <i>Trigonognatha cuprescens</i>	2	0.17	+	2	0.33	+	-	-	-	-	-	-
谷婪步甲 <i>Harpalus calceatus</i>	1	0.09	+	-	-	-	1	0.20	+	-	-	-
褐藁甲 <i>Cryptophilus integer</i>	1	0.09	+	-	-	-	-	-	-	1	0.18	+
褐缘粪隐翅虫 <i>Coprophilus</i> sp.	7	0.61	+	6	0.98	+	1	0.20	+	2	0.36	+
红角婪步甲 <i>Harpalus amplicollis</i>	6	0.52	+	5	0.81	+	1	0.20	+	2	0.36	+
黄斑青步甲 <i>Chlaenius micans</i>	4	0.35	+	1	0.16	+	2	0.39	+	1	0.18	+
灰脊盾隐翅虫 <i>Falagria caesa</i>	3	0.26	+	3	0.49	+	1	0.20	+	2	0.36	+
桔黄菲隐翅虫 <i>Philonthus spinipes</i>	1	0.09	+	-	-	-	-	-	-	1	0.18	+
宽重唇步甲 <i>Diplocheila zeelandic</i>	2	0.17	+	-	-	-	1	0.20	+	1	0.18	+
龙骨薪甲 <i>Enicmus histrio</i>	58	5.07	++	26	4.23	++	36	7.10	++	31	5.63	++
毛婪步甲 <i>Harpalus griseus</i>	4	0.35	+	2	0.33	+	2	0.39	+	2	0.36	+
平台珠婪步甲 <i>Dyschiriodes</i> sp.	9	0.79	+	-	-	-	8	1.58	++	6	1.09	++
鞘背筋隐翅虫 <i>Oxytelus piceus</i>	138	12.05	+++	83	13.52	+++	32	6.31	++	47	8.53	++
双斑锥须步甲 <i>Bembidion scopulinum</i>	8	0.70	+	1	0.16	+	7	1.38	++	1	0.18	+
四斑小步甲 <i>Elaphropus gradatus</i>	41	3.58	++	30	4.89	++	9	1.78	++	38	6.90	++
梭毒隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i>	11	0.96	+	6	0.98	+	3	0.59	+	4	0.73	+
铜翅菲隐翅虫 <i>Philonthus aeneipennis</i>	11	0.96	+	9	1.47	++	-	-	-	2	0.36	+
铜绿婪步甲 <i>Harpalus chalcatus</i>	2	0.17	+	2	0.33	+	-	-	-	-	-	-
网目土甲 <i>Gonocephalum reticulatum</i>	8	0.70	+	4	0.65	+	3	0.59	+	6	1.09	++
西伯利亚锥须步甲 <i>Bembidion sibiricum</i>	1	0.09	+	-	-	-	1	0.20	+	1	0.18	+
小边捷步甲 <i>Badister marginellus</i>	3	0.26	+	1	0.16	+	1	0.20	+	1	0.18	+
小黄鳃金龟 <i>Metabolus flavescens</i>	1	0.09	+	-	-	-	1	0.20	+	-	-	-

[illegible]

续表 3 (Table 3 continued)

昆虫种类 Insects species	高草区 Rough			果岭 Green			发球台 Tee			球道 Fairway		
	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type	数量 Number	占比 (%) Proportion (%)	类别 Type
双蚁形甲 <i>Omonadus formicarius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.23	+
中华萝藦叶甲 <i>Chrysoschus chinensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.23	+
双翅目 Diptera												
斑蹠黑蝇 <i>Ophyra chalcogaster</i>	1	0.09	+	-	-	-	1	2.0	++	-	-	-
黄腹小丽水虻 <i>Microchrysa flaviventris</i>	1	0.09	+	1	0.16	+	-	-	-	-	-	-
灰地种蝇 <i>Delia platyura</i>	5	0.44	+	2	0.33	+	1	0.20	+	3	10.71	+++
家蝇 <i>Musca domestica</i>	15	1.31	++	5	0.81	+	5	0.99	+	8	28.57	+++
刻点小食蚜蝇 <i>Paragus tibialis</i>	1	0.09	+	-	-	-	1	0.20	+	-	-	-
宽带优食蚜蝇 <i>Eupeodes confrater</i>	1	0.09	+	-	-	-	1	0.20	++	-	-	-
宽尾细腹蚜蝇 <i>Sphaerophoria rueppellii</i>	3	0.26	+	2	0.33	+	1	0.20	+	-	-	-
离斑指突短柄大蚊 <i>Nephrotoma scalaris parvinotata</i>	2	0.17	+	-	-	-	1	0.20	+	1	3.57	+
棉蛉斑腹蝇 <i>Leucopis silesiaca</i>	1	0.09	+	-	-	-	-	-	-	1	3.57	+
食蚜瘿蚊 <i>Aphidoletes aphidimyza</i>	2	0.17	+	-	-	-	1	0.20	+	1	3.57	+
食叶螨瘿蚊 <i>Feltiella acarisuga</i>	1	0.09	+	1	0.16	+	-	-	-	-	-	-
瘦弱秽蝇 <i>Coenosia attenuata</i>	5	0.44	+	1	0.16	+	3	0.59	+	1	3.57	+
丝光绿蝇 <i>Lucilia sericata</i>	5	0.44	+	6	0.98	+	4	0.79	+	1	3.57	+
乡蜗寄蝇 <i>Voria ruralis</i>	2	0.17	+	1	0.16	+	-	-	-	1	3.57	+
小金蝇 <i>Physiphora alceae</i>	27	2.36	++	11	1.79	++	16	3.16	++	10	35.71	+++
眼蕈蚊 <i>Sciaridae</i> sp.	1	0.09	+	-	-	-	-	-	-	1	3.57	+
银白齿小斑腹蝇 <i>Leucopis argentata</i>	2	0.17	+	2	0.33	+	-	-	-	-	-	-
月斑鼓额食蚜蝇 <i>Scaeva selenitica</i>	1	0.09	+	1	0.16	+	-	-	-	-	-	-
蚤蝇 <i>Megaselia halterata</i>	3	0.26	+	1	0.16	+	2	0.39	+	-	-	-
花翅摇蚊 <i>Chironomus kiiensis</i>	-	-	-	1	0.16	+	-	-	-	-	-	-
疣适蛱蝇 <i>Adapsilia verrucifer</i>	-	-	-	1	0.16	+	-	-	-	-	-	-

+: 稀有种; ++: 常见种; +++: 优势种; -: 无数据。
+: Rare species; ++: Common species; +++: Dominant species; -: No data.

2.2 高尔夫球场草坪不同功能区的地表昆虫群落多样性

高草区地表昆虫群落的 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数分别为 2.15 和 1.50, 均显著高于其他 3 种功能区 ($P <$

0.000 1)。发球台 Margalef 丰富度指数为 1.70, 果岭为 1.67, 球道为 1.49; Shannon-Wiener 多样性指数果岭为 1.19、发球台为 1.06、球道为 0.99。但 4 个功能区的 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势集中性指数均无显著差异 ($P > 0.05$) (图 1)。

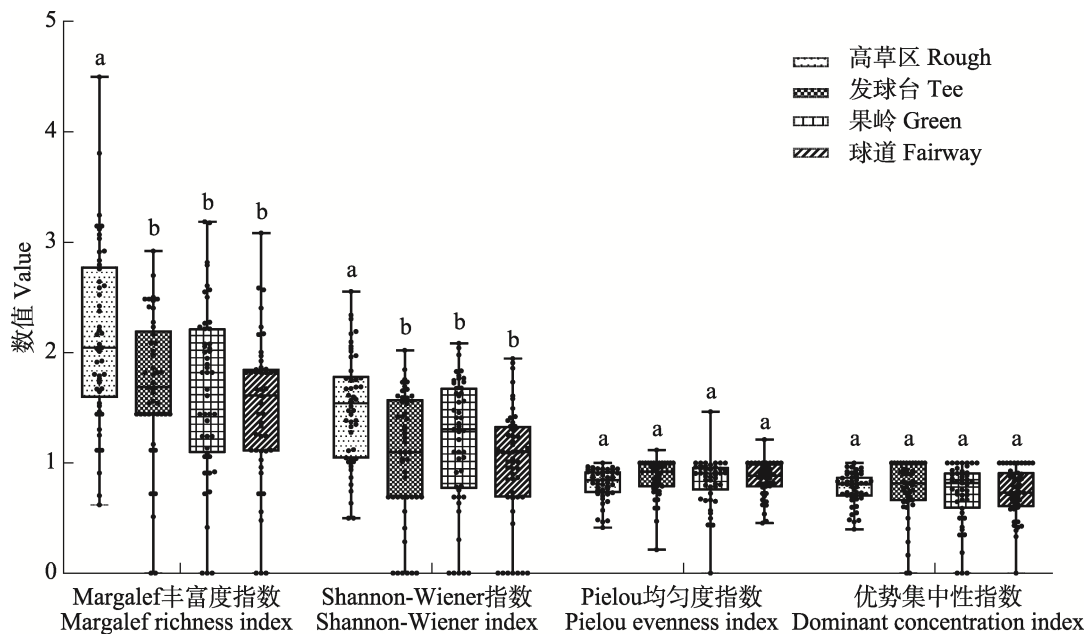


图 1 高尔夫球场草坪地表昆虫群落多样性分析

Fig. 1 Diversity analysis of surface insect community in golf course turf

图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。

Different lowercase letters in the figure indicate significant difference ($P < 0.05$, Tukey test).

2.3 高尔夫球场草坪不同功能区地表昆虫群落多样性变化动态分析

从 4 月至 10 月, 高草区、果岭、发球台及球道 4 个功能区的地表昆虫群落 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数变化动态总体呈现先下降后回升的趋势 (图 2: A, B)。高草区贡献了调查中的大部分个体, 其 Margalef 丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数高于其他 3 个功能区。不同功能区草坪地表昆虫群落丰富度及 Shannon-Wiener 多样性指数在 7 月份均较低, 可能与高温高湿天气及噻虫嗪的施用有关, 其余月份波动幅度相对较小。8 月份, 高尔夫球场草坪地表昆虫群落多样性指数整体出现小幅度回升, 其中, 球道区域的 Shannon-Wiener 多样性指数达到高峰; 9 月末和 10 月初, 高尔夫球场草坪

地表昆虫群落多样性指数总体呈现上升趋势, 这可能与不再施用杀虫剂等因素有关。

4 个功能区的 Pielou 均匀度指数均在 0.40-1.00 之间, 变化趋势大体一致。与果岭、发球台和球道相比, 高草区草坪地表昆虫群落的 Pielou 均匀度指数在不同月份间的范围在 0.45-0.90 之间, 波动幅度相对较小 (图 2: C)。6 月底, 隐翅虫科在球道草坪地表昆虫群落中占据绝对优势, 使得该功能区草坪地表昆虫群落的 Pielou 均匀度指数降低; 8 月中旬, 步甲科在果岭与发球台草坪昆虫群落中占据优势、步甲科与隐翅虫科在高草区草坪昆虫群落中共同占据优势, 导致以上功能区草坪地表昆虫群落的 Pielou 均匀度指数最低。高草区草坪地表昆虫群落的优势集中性指数变化范围在 0.50-1.00 之间 (图 2: D),

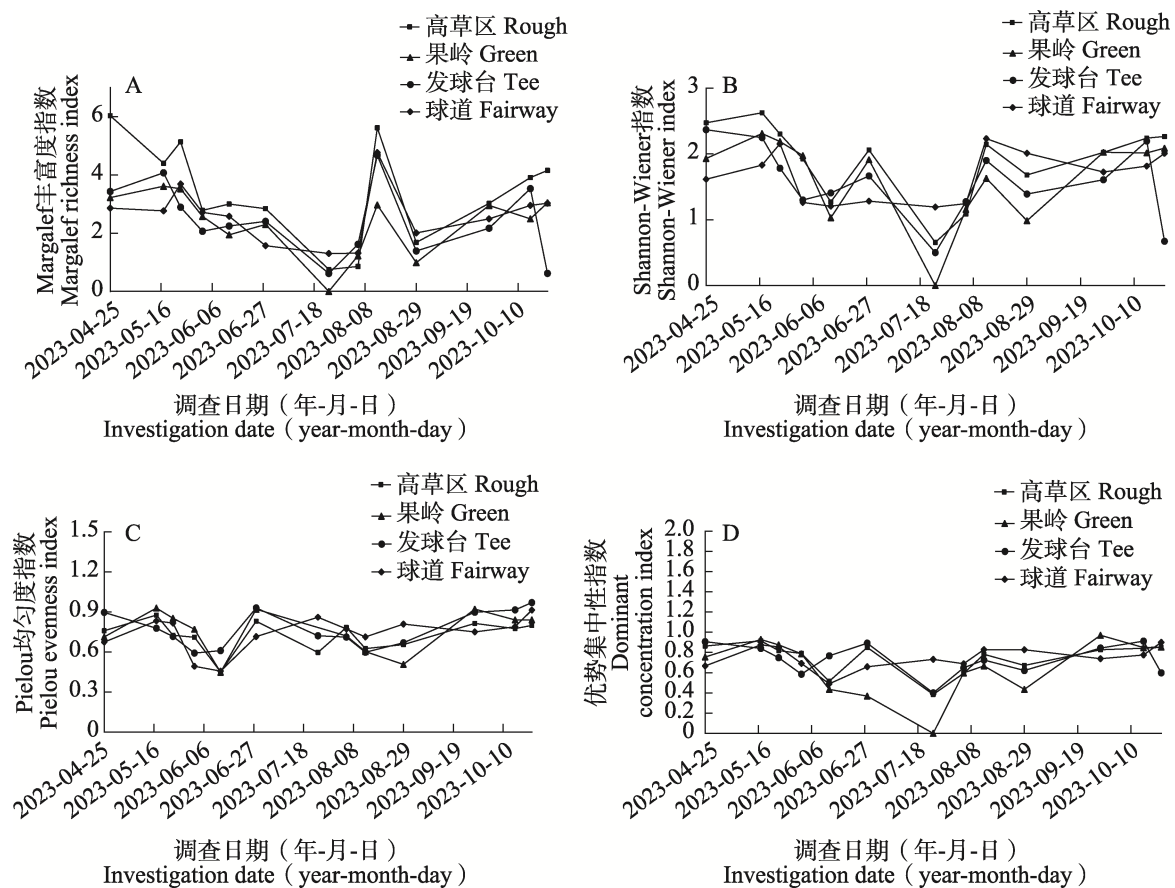


图 2 高尔夫球场草坪地表昆虫群落多样性季节动态分析
Fig. 2 Diversity seasonal dynamic analysis of surface insect community in golf course turf

A. Margalef 丰富度指数季节变化动态; B. Shannon-Wiener 多样性指数季节变化动态;
C. Pielou 均匀度指数季节变化动态; D. 优势集中性指数季节变化动态。
A. The Margalef richness index seasonal dynamics; B. The Shannon-Wiener diversity index seasonal dynamics;
C. The Pielou evenness index seasonal dynamics; D. The dominant concentration index seasonal dynamics.

在 4 个功能区中变化趋势最为平稳; 7 月底, 由于果岭草坪中噻虫嗪的使用, 该功能区草坪地表昆虫群落的优势集中性指数为 0。

2.4 高尔夫球场不同功能区地表昆虫群落的 Jaccard 相似性系数

4 种功能区地表昆虫群落的 Jaccard 相似性系数均小于 0.70, 表明各功能区之间地表昆虫种类存在差异; 其中果岭和球道地表昆虫群落的 Jaccard 相似性系数最小, 仅为 0.42; 高草区和球道地表昆虫群落的 Jaccard 相似性系数最大, 为 0.66, 相同地表昆虫种类为 56 种 (表 4)。

表 4 高尔夫球场草坪 4 种功能区地表昆虫群落的 Jaccard 相似性系数和相同种类数量
Table 4 Jaccard similarity coefficient and number of shared surface insect species across four functional areas in golf course

功能区 Functional area	高草区 Rough	果岭 Green	发球台 Tee	球道 Fairway
高草区 Rough	—	0.55	0.60	0.66
果岭 Green	48	—	0.43	0.42
发球台 Tee	49	32	—	0.47
球道 Fairway	56	34	36	—

倒三角数据表示 Jaccard 相似性系数, 正三角数据表示相同种类数量。
The inverted triangle data represent the Jaccard similarity coefficient, and the positive triangle data represent the number of same types.

3 讨论

昆虫多样性研究是生物多样性保护的基础工作和重要手段,明确昆虫群落结构组成对理解生态系统功能、维持生物多样性和制订科学管理措施具有重要意义。本研究在北京清河湾高尔夫球场草坪上采集地表昆虫 93 种,隶属于 5 目 42 科,主要为鞘翅目、双翅目和膜翅目昆虫,其中鞘翅目隐翅虫科昆虫个体数量最多。这与其他草地昆虫多样性研究结果相似(陈志敏等, 2021; 何应等, 2022)。

昆虫群落多样性特征分析结果显示,与果岭、发球台和球道等低矮草坪功能区相比,高草区的地表昆虫群落多样性指数较高,个体数量的分布较为均匀,群落稳定性较高;且其 Margalef 丰富度也较高。研究表明,植被高度和丰富度是直接或间接影响昆虫群落多样性的重要因素之一(殷怡婷等, 2024)。高草区由于草坪草较高,群落空间维度相对较大,其中丰富的凋落物和土壤腐殖质等可为昆虫提供丰富的食物资源与适宜的栖息地等(Korösi *et al.*, 2012; Streitberger and Fartmann, 2016)。此外,其他动物的行为或活动会降低昆虫多样性和数量(Joern, 2005; O'Neill *et al.*, 2010; Spalinger *et al.*, 2012),与高草区相比,发球台、球道和果岭等区域,人类活动频率和强度较高,一定程度上影响了这些功能区的地表昆虫群落多样性。

高尔夫球场草坪不同功能区在不同月份间的地表昆虫群落组成与分布不同。春季是各类群昆虫发生初期,群落多样性指数与丰富度指数较高。6 月份入夏后,气温升高,隐翅虫科、步甲科、蚁科等优势类群个体数量大幅上升,在群落空间较为狭窄,昆虫基数较小的低草区对于群落结构起到了明显的调控作用(马玲等, 2012)。不同时间不同分类群的昆虫数量存在差异,这可能与不同分类群昆虫的生物学与生态学特性等有关(朱慧, 2017)。此外高尔夫球场的人为管理措施如喷施农药、灌溉和修建频率对昆虫多样性有影响。在采样期间对高尔夫草坪喷施农药 4 次,其中,吡虫啉和噻虫嗪为烟碱类杀虫剂(温舒元, 2023),具有内吸性,能够有效防治如蚜虫、飞

虱、叶蝉、蓟等害虫,但可能会影响到地表活动的天敌例如步甲、蜘蛛等;氯虫苯甲酰胺对鳞翅目害虫具有特效(宋立, 2024),如棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、粘虫 *Mythimna separata* 等,其在土壤中的残留可能会对一些土壤昆虫产生影响,如蚯蚓等土壤有益生物;高氯噻虫嗪是高效氯氰菊酯和噻虫嗪的复配制剂,对草坪上的多种害虫都有较好的防治效果。由于其成分复杂,对昆虫多样性的影响也更为复杂。它可能会对更多种类的昆虫产生毒性作用,不仅包括害虫,还涉及到一些中性昆虫和益虫,喷施农药虽能控制害虫,但会伤害非目标昆虫,降低多样性,建议减少化学农药使用;灌溉改变土壤湿度和植被生长,适度灌溉有利于昆虫栖息,但过度灌溉可能破坏栖息环境;频繁修剪草坪会减少植被高度和密度,影响昆虫栖息和食物来源。通过优化农药使用、精准灌溉和减少修剪频率,可以在维持球场功能的同时促进昆虫多样性,维护生态平衡。

综上,本文对高尔夫球场草坪不同功能区的地表昆虫群落多样性分析结果表明,各功能区之间地表昆虫种类存在差异,高草区的地表昆虫群落多样性指数和丰富度指数显著高于果岭、发球台和球道,其地表昆虫群落多样性最为丰富;其中鞘翅目(隐翅虫科)与膜翅目(步甲科)昆虫为优势类群,可作为高尔夫球场草坪的指示性昆虫,研究结果可为保护草地生态系统及其生物多样性提供参考和理论支撑。未来关于草地生态系统的昆虫多样性及其生态服务功能如何响应不同草地管理方式、植被组成调整以及气候变化等多种因素的影响,需要进行长期监测和评价研究。

参考文献 (References)

- Andow DA, 1991. Vegetational diversity arthropod population. *Annual Review of Entomology*, 36: 561–566.
- Bardgett R, Bullock J, Lavorel S, Manning P, Schaffner U, Ostle N, Chomel M, Durigan G, Fry E, Johnson D, Lavallee J, Le Provost G, Luo S, Png K, Sankaran M, Hou X, Zhou H, Ma L, Ren W, Li X, Ding Y, Li Y, Shi H, 2021. Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10):

- 720–735.
- Chen ZM, Huang XD, Zhang M, Li ZS, Chang ZM, Long JK, 2021. Study on insect community diversity of shrub grassland in Karst Plateau Mountainous Area. *Journal of Environmental Entomology*, 43(5): 1178–1189. [陈志敏, 黄秀东, 张茂, 李中森, 常志敏, 龙见坤, 2021. 喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性研究. 环境昆虫学报, 43(5): 1178–1189.]
- Deutsch C, Tewksbury J, Tigchelaar M, Battisti D, Merrill S, Huey R, Naylor R, 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405): 916–919.
- Duan MC, Qin RX, Zhang HB, Chen BX, Jin B, Zhang SB, Ren SP, Jin SQ, Zhu SH, Hua JN, 2021. Comprehensive comparison of different sampling methods for arthropod diversity in farmland. *Biodiversity Science*, 29(4): 477–487. [段美春, 覃如霞, 张宏斌, 陈宝雄, 金彬, 张松柏, 任少鹏, 金树权, 朱升海, 华家宁, 2021. 农田节肢动物不同取样方法的综合比较. 生物多样性, 29(4): 477–487.]
- Fedor P, Zvaríková M, 2019. Biodiversity indices. *Encyclopedia Ecology*, 2: 337–346.
- Godfray HCJ, Lewis OT, Memmott J, 1999. Studying insect diversity in the tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 354(1391): 1811–1824.
- Giweta M, 2020. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: A review. *Journal of Ecology and Environment*, 44(1): 11.
- He Y, Yang CL, Ren J, Dai WR, 2022. Insect community structure and population dynamic of dominant species in Guiyang mixed lawns. *Shandong Agricultural Sciences*, 54(2): 123–128. [何应, 杨昌利, 任健, 代微然, 2022. 贵阳混播草坪昆虫群落组成及优势种群动态研究. 山东农业科学, 54(2): 123–128.]
- Joern A, 2005. Disturbance by fire frequency and bison grazing modulate grasshopper assemblages in tallgrass prairie. *Ecology*, 86(4): 861–873.
- Korösi A, Batáry P, Orosz A, Rédei D, Báldi A, 2012. Effects of grazing, vegetation structure and landscape complexity on grassland leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) and true bugs (Hemiptera: Heteroptera) in Hungary. *Insect Conservation and Diversity*, 5(1): 57–66.
- Li HM, Chen DN, Li S, 2021. Exploring the development trends of lawn landscape. *Contemporary Horticulture*, 44(2): 134–136. [李浩铭, 陈丹宁, 李胜, 2021. 草坪景观发展趋势探究. 现代园艺, 44(2): 134–136.]
- Ma L, Gu W, Wang LD, Zhang C, Ding XH, Meng QF, 2012. Insect community niche in the Zhalong wetland. *Scientia Silvae Sinicae*, 48(5): 81–87. [马玲, 顾伟, 王利东, 张琛, 丁新华, 孟庆繁, 2012. 扎龙湿地的昆虫群落生态位. 林业科学, 48(5): 81–87.]
- Mao MF, Cheng SJ, Chen SQ, Yuan QM, Zheng MX, Xu YX, 2024. Investigation on diversity of insect and plant communities in Shenzhen Bao'an airport greenbelt. *Journal of Environmental Entomology*, 46(6): 1457–1465. [毛孟飞, 程寿杰, 陈思琪, 袁倩敏, 郑明轩, 许益鏖, 2024. 深圳宝安机场绿地昆虫和植物群落多样性调查. 环境昆虫学报, 46(6): 1457–1465.]
- Meng Y, Qiu Y, Zhang L, Wang CL, Zang ZH, Zhang XY, Shen GZ, Yan CF, Chen QS, 2017. Effects of geographical distance and differences in climate and altitude on species dissimilarity of vascular plant communities in the Dulongjiang River Watershed Area. *Biodiversity Science*, 25(12): 1313–1320. [蒙洋, 邱月, 张亮, 王翠玲, 臧振华, 张学耀, 申国珍, 闫彩凤, 陈全胜, 2017. 地理距离, 海拔和气候差异对独龙江流域维管植物群落物种空间相异性的影响. 生物多样性, 25(12): 1313–1320.]
- Nath R, Singh H, Mukherjee S, 2023. Insect pollinators decline: An emerging concern of Anthropocene epoch. *Journal of Apicultural Research*, 62(1): 23–38.
- Outhwaite CL, McCann P, Newbold T, 2022. Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature*, 605(7908): 97–102.
- O'Neill K, Olson B, Wallander R, Rolston M, Seibert C, 2010. Effects of livestock grazing on grasshopper abundance on a native rangeland in Montana. *Environmental Entomology*, 39(3): 775–786.
- Ouyang F, Lü F, Men XY, Zhao ZH, Zeng JP, Xiao YL, Ge F, 2015. The economic value of ecological regulating services provided by agricultural insects in China. *Acta Ecologica Sinica*, 35(12): 4000–4006. [欧阳芳, 吕飞, 门兴元, 赵紫华, 曾菊平, 肖云丽, 戈峰, 2015. 中国农业昆虫生态调节服务价值估算. 生态学报, 35(12): 4000–4006.]
- Siewers J, Schirmel J, Buchholz S, 2014. The efficiency of pitfall traps as a method of sampling epigeal arthropods in litter rich forest habitats. *European Journal of Entomology*, 111(1): 69–74.
- Spalinger L, Haynes A, Schütz M, Risch A, 2012. Impact of wild ungulate grazing on Orthoptera abundance and diversity in subalpine grasslands. *Insect Conservation and Diversity*, 5(6): 444–452.
- Smith L, Broyles M, Larzleer H, Fellowes M, 2015. Adding ecological value to the urban lawnscape. Insect abundance and diversity in grass-free lawns. *Biodiversity and Conservation*, 24(1): 47–62.
- Streitberger M, Fartmann T, 2016. Vegetation heterogeneity caused by an ecosystem engineer drives oviposition-site selection of a

- threatened grassland insect. *Arthropod-Plant Interactions*, 10(6): 545–555.
- Song L, 2024. Synthesis and insecticidal activity of quaternary ammonium salt derivatives based on chlorantraniliprole skeleton. Master dissertation. Guiyang: Guizhou University. [宋立, 2024. 基于氯虫苯甲酰胺骨架的季铵盐类衍生物的合成及杀虫活性. 硕士学位论文. 贵阳: 贵州大学.]
- Wang MQ, Luo AR, Zhou QS, Chen JT, Xie TT, Li Y, Chesters D, Shi XY, Xiao H, Liu HJ, Ding Q, Zhou X, Luo YP, Lu YY, Tong YJ, Zhao ZY, Bai M, Guo PF, Chen S, Akihiro Nakamura, Peng YQ, Zhao YH, Wei SH, Lin XL, Chen HY, Luo SX, Lu YH, Lu L, Yu JP, Zhou X, Zou Y, Lu H, Zhu CD, 2022. Research progress on insect diversity. *Biodiversity Science*, 30(10): 121–149. [王明强, 罗阿蓉, 周青松, 陈婧婷, 谢婷婷, 李逸, Douglas Chesters, 石晓宇, 肖晖, 刘桓吉, 丁强, 周璇, 罗一平, 路园园, 佟一杰, 赵政宇, 白明, 郭鹏飞, 陈思, 中村彰宏, 彭艳琼, 赵延会, 魏淑花, 林晓龙, 陈华燕, 罗世孝, 陆宴辉, 鲁亮, 余建平, 周欣, 邹怡, 路浩, 朱朝东, 2022. 昆虫多样性三十年研究进展. *生物多样性*, 30(10): 121–149.]
- Wen SY, 2023. Cytochrome P450 mediates the function of imidacloprid and thiamethoxam resistance from *Aphis gossypii* Glov. Master dissertation. Jilin: Jilin University. [温舒元, 2023. 细胞色素 P450 介导棉蚜对吡虫啉与噻虫嗪抗性功能研究. 硕士学位论文. 吉林: 吉林大学.]
- Wu XH, 2016. A brief discussion on the importance of lawn in landscape architecture and its planting and maintenance management techniques. *Jilin Vegetable*, 2016(1): 47–48. [吴晓红, 2016. 浅谈草坪在园林景观中的重要性及其种植养护管理技术. *吉林蔬菜*, 2016(1): 47–48.]
- Yin YT, Zhang N, Yan C, Zha G, Wang DM, Guo YP, Qin GL, Li SW, Chang X, Tu XB, Li S Wang GJ, 2024. Analysis of insect diversity and its correlation with vegetation in the natural grasslands of Bayannur. *Journal of Plant Protection*, 51(5): 1158–1168. [殷怡婷, 张能, 闫冲, 查干, 王冬梅, 郭永平, 勤格勒, 李胜旺, 畅笑, 涂雄兵, 李霜, 王广君, 2024. 巴彦淖尔市天然草地昆虫多样性及其与植被的相关性分析. *植物保护学报*, 51(5): 1158–1168.]
- Zhu H, Wang DL, Ren BZ, 2017. Effects of grazing by large herbivores on insect diversity in grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 37(21): 7368–7374. [朱慧, 王德利, 任炳忠, 2017. 放牧对草地昆虫多样性的影响研究进展. *生态学报*, 37(21): 7368–7374.]
- Zhang SF, Yang YM, Pan W, Jia R, Xun H, Wang Y, Yang M, 2016. The diversity of flying insects collected with a vehicle-mounted net in Guizhou Province. *Journal of Guizhou Medical University*, 41(11): 1249–1253. [张圣芳, 杨曜铭, 潘威, 贾若, 寻慧, 王毅, 杨明, 2016. 利用车载式采集方法研究贵州飞行昆虫多样性. *贵州医科大学学报*, 41(11): 1249–1253.]