北京市延庆区不同生境昆虫多样性特征调查分析*

邹 言** 刘佳文 李立坤 肖子衿 陈法军***

（南京农业大学植物保护学院昆虫学系，南京 210095）

摘 要 **【目的】** 不同的生境有不同的优势昆虫类群，基于对北京市延庆区的昆虫采集，研究昆虫与生境的关系。**【方法】** 在 2017 年 9 月-2018 年 8 月，采用样线法、马氏网法、灯诱法和陷阱法在北京市延庆区全区进行昆虫采集，并按生境类型对采集到的昆虫进行种类鉴定和数量统计。**【结果】** 调查期间共采集昆虫 25 885 头，隶属 15 目 132 科，共计 379 种。采集到的昆虫数量以双翅目最多，占比达 27.12%，其次为半翅目，占 25.25%。不同生境的昆虫个体数量大小依次为：湿地>农田>草地灌木>森林>人造林；昆虫科数高低依次为农田>湿地>森林>草地灌木>人造林。延庆区不同生境昆虫 Margalef 丰富度指数存在极显著差异（F=22.15；P<0.01），表现为湿地>人造林>森林>草地灌木>农田；均匀度指数表现为湿地=森林>草地灌木>人造林>农田。不同生境昆虫多样性指数 H存在极显著差异（F=25.50；P<0.01），表现为湿地>森林>人造林>草地灌木>农田；昆虫优势度指数存在极显著差异（F=20.6；P<0.01），表现为湿地>森林>人造林>草地灌木>农田。在延庆区的调查中，5 种生境类型的生境间昆虫相似度系数除湿地和草地灌木为极不相似（0.18）外，均高于 0.25 小于 0.50，表现为中等不相似。**【结论】** 昆虫对于不同生境有相应的选择倾向。湿地和森林等少有人涉足，人为影响较小的地区昆虫种类丰富，昆虫多样性高且群落稳定性好。延庆区的昆虫多样性保护应首先倾向于对湿地和森林区域采取措施。

关键词 生境类型；昆虫多样性；种类和数量；群落；相似性系数

Investigation and analysis of insect diversity in different habitats in Yanqing district of Beijing

ZOU Yan** LIU Jia-Wen LI Li-Kun XIAO Zi-Jin CHEN Fa-Jun***

(Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract **[Objectives]** Different habitats have different dominant insect groups. Based on the results of insect collection in Yanqing District of Beijing, the objective of this study was to analyze the relationship between insects and their habitats. **[Methods]** From September 2017 to August 2018, insects were collected in the Yanqing District of Beijing using the four sampling methods of sample line transect, Malaise trap, light trap, and trap with mixture of sugar and acetic acid and water. The species and number of collected insects from the respective habitat type were identified and counted by habitat types. **[Results]** During the whole sampling period, a total of 25 885 insects belonging to 15 orders and 132 families, a total of 379 species were collected fromYanqing district of Beijing. The most collected insects were Diptera (27.12%), followed by Hemiptera (25.25%). The order of these sampled habitats based on the collected insect abundances was following as wetland > farmland > grassland-shrub > forest > afforestation; The order of these sampled habitats based on the family number of collected insects was following as farmland > wetland > forest > grassland-shrub > afforestation. Moreover, there was significant difference in the Margalef richness index of insects among different habitats in Yanqing district of Beijing (F=22.15; P< 0.01), the order was following as wetland > afforestation > forest > grassland-shrub > farmland; and the order of these

*资助项目 Supported projects：《生物多样性保护专项》——生物多样性调查、观测与评估项目（2019HB2096001006）

**第一作者 First author，E-mail：2017102055@njau.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期 Received：2019-05-20；接受日期 Accepted：2019-12-24

sampled habitats based on the Evenness index of insects was following as wetland = forest > grassland-shrub > afforestation > farmland. Furthermore, there were significant difference in the insect diversity index *H′* among different habitats (*F*=25.50; *P*<0.01), and the order was following as wetland > forest > afforestation > grassland-shrub > farmland. And there were significant differences in the insect dominance index (*F*= 20.6; *P*< 0.01), and the order was following as wetland > forest > afforestation > grassland-shrub > farmland. In the survey of Yanqing district of Beijing, the insect Similarity coefficient between the five types of sampled habitats was between 0.25 and 0.50, which was shown as the low, with the exception of wetland and grassland-shrub, which were lower (0.185 1). **[Conclusion]** He results show that insects have specific selection tendency in response to different habitats. Areas with few people involved, such as wetlands and forests, are rich in insect species and abundances, and simultaneously have good community stability. So the protection of insect diversity in Yanqing district of Beijing should first take measures in wetland and forest areas.

Key words habitat type; insect biodiversity; species and abundance; community; similarity coefficient

昆虫多样性是生物多样性的重要组成部分，而生物多样性是人类社会生存和发展的基础，也是生态系统可持续发展的前提（Christensen *et al.*，1996；曹丽娟等，2018）。昆虫作为自然界中种类和数量最多的动物类群，在生态系统中具有重要作用（Haslett，2007；张茂林和王戎疆，2011）。生物圈中植物传粉和残体分解等都少不了昆虫的作用（李玉杰等，2018）。近些年，昆虫群落与其生态环境之间的关系研究愈来愈受到科研工作者的重视（Brittain *et al.*，2010；李志刚等，2010；顾伟等，2011；徐世才等，2016；孙广芳，2017）。

自 1939 年杀虫剂广泛使用以来，昆虫的数量和种类在大范围内有了明显的变化（霍腾达等，2015）。而随着城市化发展，城市生态系统正在侵蚀自然生态系统，昆虫群落结构也随之发生了改变，很多昆虫种类处在数量下降甚至濒临绝灭的状态（叶水送等，2013）。昆虫的种群繁衍对栖息地有高选择性，不同的生境有不同的昆虫优势类群。研究昆虫与其生境之间的关系，既可以获取昆虫生存信息，也为昆虫多样性保护提供了指导，通过了解害虫的环境或寄主选择倾向，针对害虫采取防控措施来降低农林业害虫带来的经济损失，还可为不同生境地域的环境评估提供辅助数据，进而对环境污染监测有重要意义（刘佳敏和徐华潮，2012；徐超和张红玉，2018）。

延庆区位于北京市西北，南接昌平、西北分别与河北省的怀来、赤城接壤，三面环山一面临水，生态环境优良，生态景观多样，是首都西北重要的生态屏障。在延庆区有大小十余个风景保护区，植被覆盖率高，蕴藏着丰富的昆虫资源。前人多是对延庆区某一小型生境内的昆虫多样性进行研究，而鲜有对县域整体的昆虫种类进行系统的调查工作。如陶万强等（2009）系统调查了延庆区松山鳞翅目昆虫种类；张海周（2009）对延庆区野鸭湖地区昆虫多样性进行调查；张磊等（2014）及张东等（2011）分别对延庆区松山自然保护区的寄蝇科和卷蛾科昆虫多样性状况开展了较为深入的调查研究。为了解延庆区的昆虫多样性本底情况，探究不同生境昆虫生存水平，本研究对延庆区进行了为期一年的昆虫生物多样性调查，以期更好地保护延庆区的昆虫资源和生态环境。

1 实验方法

1.1 研究样地

延庆区位于北京市的西北部，东经 115°44′-116°34′、北纬 40°16′-40°47′之间，是首都的西北大门，也是首都主要的水源涵养及供给源地。区内地势较高，山势陡峭，平均海拔 500 m 以上。延庆区属于大陆季风气候，是暖温带与中温带、半干旱与半湿润的过渡地带，冬季干冷，夏季多雨，春季多风，秋季凉爽少雨（贾丹，2009）。在对延庆区不同生境的昆虫多样性的调查中，共设立 77 个调查点，基本覆盖延庆区全境（图 1）。

1.2 昆虫的采集与处理

2017 年 9 月-2018 年 9 月，主要采用样线法、马氏网法，辅助以陷阱法和灯诱法对延庆区全境昆虫多样性进行了 6 次调查，共计涉及调查样点 77 个，覆盖延庆区各类生境类型。调查点昆虫采集主要采取样线法和马氏网法，对野外各生境如林地、菜园、河边、灌丛、农田等区域进行仔细的昆虫捕

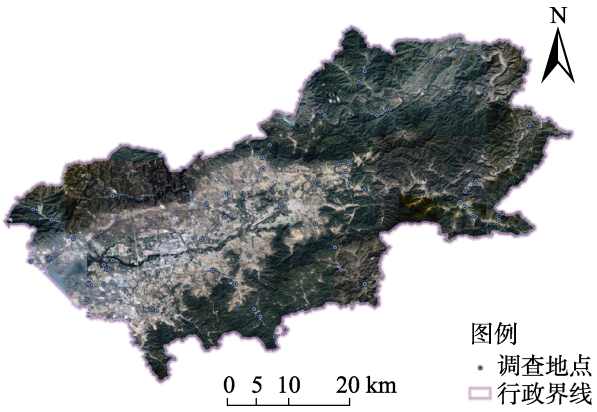


图 1　北京市延庆区昆虫多样性调查工作调查点示意图

Fig. 1　Schematic diagram of insect diversity survey sites in Yanqing district of Beijing

捉，并实时拍摄生境图片，做好地点记录。每次调查工作，人工匀速样线扫网 200 m。选取调查点布置马氏网法共 82 次，基本覆盖延庆区所有生境类型。其中，每个调查点布置马氏网收虫 30 d，样线调查 400 m。灯诱法（共 7 个样点，采集时间为 22:00-24:00，共计完成灯诱采集 22 次，灯诱采集在 5 种生境类型均有布置）和陷阱法（6 个样点，每个放置糖醋液陷阱 10 个，采集昆虫少量）仅在部分选点进行，作为调查补充手段。

将采集的昆虫带回实验室进行分类计数并制作标本，按昆虫采集地点生境的不同，将生境分为农田、人造林、湿地、森林、草地灌木 5 大类，每种生境选取 5 个调查样点（详见表 1），并对昆

表 1　α 多样性指数调查选点信息

Table 1　α diversity index survey site selection information

调查点 Survey point	采集经度 Longitude (°)	采集纬度 Latitude (°)	种数 Species	总数 Total	丰富度指数 Richness index (D)	多样性指数 Diversity index (H')	优势度指数 Dominance index (λ)	均匀度指数 Evenness index (E)	主要生境 Habitat
1	115.86	40.46	4	5	1.86	1.33	1.97	0.96	草地灌木
2	116.06	40.51	7	8	2.89	1.91	2.29	0.98	草地灌木
3	115.96	40.37	10	44	2.38	1.44	2.03	0.63	草地灌木
4	116.19	40.5	11	29	2.97	1.97	2.33	0.82	草地灌木
5	116.21	40.46	7	42	1.61	1.95	2.32	1.00	草地灌木
6	115.88	40.41	14	40	3.52	0.69	1.56	0.26	农田
7	115.94	40.37	4	66	0.72	0.96	1.74	0.69	农田
8	116.19	40.56	10	57	2.23	1.58	2.11	0.69	农田
9	116.26	40.72	5	27	1.21	1.36	1.99	0.85	农田
10	116.43	40.57	6	11	2.09	1.54	2.09	0.86	农田
11	115.95	40.42	11	47	2.60	1.93	2.31	0.80	人造林
12	116.09	40.45	47	144	9.26	3.21	2.96	0.83	人造林
13	116.11	40.58	23	107	4.71	1.88	2.28	0.60	人造林
14	116.24	40.56	34	217	6.13	2.66	2.69	0.75	人造林
15	116.23	40.43	10	44	2.38	1.36	1.98	0.59	人造林
16	115.90	40.51	10	32	2.60	2.15	2.43	0.93	森林
17	116.11	40.36	9	25	2.49	2.12	2.41	0.96	森林
18	116.18	40.66	12	24	3.46	2.25	2.48	0.91	森林
19	116.44	40.7	17	35	4.50	2.17	2.44	0.77	森林
20	116.48	40.59	20	51	4.83	2.66	2.69	0.89	森林
21	116.36	40.7	50	509	7.86	3.95	3.31	1.01	湿地
22	116.43	40.56	71	237	12.80	3.56	3.13	0.84	湿地
23	116.18	40.66	72	707	10.82	3.46	3.08	0.81	湿地
24	116.04	40.52	51	167	9.77	3.51	3.10	0.89	湿地
25	115.86	40.41	48	118	9.85	3.47	3.08	0.90	湿地

虫多样性指数进行对比分析（董会等，2017）。昆虫多样性指数分析选取点所用的昆虫采集方法均一致，仅采用样线法（200 m 匀速扫网）和马氏网法采集的昆虫样本。样点选择的标准为：农田生境规模大于 0.33 hm^2，作物类型为玉米或大豆；人造林生境选择为城镇周边绿化林，规模大于 0.33 hm^2；湿地生境需远离城镇，采集范围不得远离河流、水库 200 m；森林生境需远离城镇，植被以高大乔木为主，规模不得小于 0.33 hm^2；草地灌木生境植被允许有少量乔木，允许有硬化道路但不能有房屋和工程建设。

1.3 数据的处理

1.3.1 *α* 多样性指数 *α* 多样性指数与不同生境间的物种数和每种物种的个体数相关，为更加客观地控制变量因素，在此分析中取用规定的 25 个调查点的统计数据，采用 Margakef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Poelou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数等参数（孙军和刘冬艳，2004）来计算，计算公式如下：

Margalef 丰富度指数：

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

Simpson 优势度指数：

$$C = -\sum_{i=1}^{s} (P_i)^2$$

Poelou 均匀度指数：

$$J' = H' \div \ln S$$

Shannon-Wiener 多样性指数：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i$$

在式中，S 为物种数，N_i 为样地第 i 个物种的个体数；N 为样地内所有物种的个体数；P_i 为第 i 种个体数占总个体数 N 的比例，即 $P_i=N_i/N$。

1.3.2 *β* 多样性指数 *β* 多样性仅与不同生境间的物种的种类数相关，在分析中仅取用 25 个调查点的统计数据，采用 Jaccard 指数计算不同生境之间昆虫群落相似性参考刘棋等（2018）：

$$q = \frac{c}{a+b-c}$$

在式中，c 为两样地共有的物种数；a 和 b 分别为样地 A 和样地 B 的群落物种数。

数据的统计分析采用 SPSS 20.0 软件进行。采用单因素方差分析（One-way，ANOVA）比较不同生境的四类多样性指数之间的差异，并采用最小显著性差异（Least significant difference）比较方法比较不同生境的四类多样性指数之间的差异显著性水平（P<0.05）。

2 结果与分析

2.1 物种的组成及分布

本研究对北京市延庆区进行了 6 次调查采集工作，共采集到 25 885 头昆虫，制作昆虫标本 5 013 头。采集的昆虫隶属 15 个目 132 科（部分昆虫只鉴定到科），共计 379 种（表 2）。

经过对延庆区采集的昆虫分类鉴定，在科级水平进行统计分析。延庆区昆虫数量采集最多的 5 个目分别是双翅目（7 021 头）、半翅目（6 536 头）、鳞翅目（3 578 头）、膜翅目（2 677 头）、直翅目（2 568 头），占比分别为 27.12%、25.25%、13.82%、10.34%、9.92%；采集昆虫科数最多的 5 个目分别是半翅目（29 科）、鞘翅目（28 科）、鳞翅目（22 科）、膜翅目（17 科）、直翅目（13 科），分别占总科数的 0.22%、0.21%、0.17%、0.13%、0.09%。昆虫数目最多的 5 个科分别是蝇科（1 841 头）、叶蝉科（1 681 头）、寄蝇科（1 612 头）、蚜科（1 254 头）、盲蝽科（1 211 头），占昆虫总采集数的 7.11%、6.49%、6.23%、4.84%、4.68%。

对北京市延庆区昆虫多样性的统计分析表明，延庆区昆虫资源丰富。在昆虫采集数量上双翅目为第一；在昆虫采集科数上鞘翅目、鳞翅目排首位，半翅目次之；在科数上，半翅目高于鞘翅目；而鳞翅目、鞘翅目、半翅目、直翅目和膜翅目，无论是科数还是种数都占有明显优势。说明上述类群在延庆区昆虫群落中占主要地位，是延庆区昆虫群落中的优势目，且在 5 种生境均有分布（表 2）。此外，蜚蠊目、脉翅目、膜翅目、啮虫目在 5 种生境亦有分布，但在农田中尚未采集到毛翅目昆虫，在人造林生境中未采集到蜻蜓目昆虫。此外，在湿地生境仅采集到少量的蜉蝣目、毛翅目和襀翅目昆虫，为稀有类群。

延庆区不同生境采集的昆虫数量表现为：湿地（6 451 头）>农田（6 080 头）>草地灌木（4 695 头）>森林（4 628 头）>人造林（4 031 头）；昆虫

表 2　北京市延庆区不同生态类型昆虫资源列表

Table 2　The list of insect resources in 5 types of habitat in Yanqing district of Beijing, China

目（科）Order (Family)	个体数 Individual numbers	个体比例 Individual proportion	物种数 Number of species	物种比例 Species proportion	生境类型 Type of habitat				
					农田 Farmland	人造林 Afforestation	湿地 Wetland	森林 Forest	草地灌木 Grassland-shrub
半翅目 Hemiptera	6 536	25.25%	49	12.93%	+	+	+	+	+
飞虱科 Delphacidae	34	0.13%	2	0.53%	+	+	+	+	+
蚜科 Aphididae	1 254	4.84%	4	1.06%	+	+	+	+	+
蝉科 Cicadidae	54	0.21%	1	0.26%			+	+	
蝽科 Pentatomidae	331	1.28%	9	2.37%	+	+	+	+	+
盾蚧科 Diaspididae	12	0.05%	1	0.26%		+			
飞虱科 Delphacidae	210	0.81%	2	0.53%	+				+
粉虱科 Aleyrodidae	442	1.71%	1	0.26%	+				
角蝉科 Membracidae	124	0.48%	1	0.26%	+	+	+	+	+
沫蝉科 Cercopidae	12	0.05%	1	0.26%	+		+	+	+
蜡蝉科 Fulgoridae	335	1.29%	2	0.53%	+	+	+	+	+
猎蝽科 Reduviidae	29	0.11%	3	0.79%	+	+	+	+	+
盲蝽科 Miridae	1 211	4.68%	4	1.06%	+	+	+	+	+
黾蝽科 Gerridae	12	0.05%	1	0.26%			+	+	
木虱科 Psyllidae	243	0.94%	2	0.53%	+	+	+	+	+
同蝽科 Acanthosomatidae	21	0.08%	1	0.26%	+	+	+	+	+
象蜡蝉科 Dictyopharidae	155	0.60%	1	0.26%	+	+	+	+	
蝎蝽科 Nepidae	34	0.13%	1	0.26%	+		+		
袖蜡蝉科 Derbidae	135	0.52%	2	0.53%	+	+	+		+
叶蝉科 Cicadellidae	1 681	6.49%	3	0.79%	+	+	+	+	+
缘蝽科 Coreidae	172	0.66%	3	0.79%	+	+	+	+	
长蝽科 Lygaeidae	32	0.12%	3	0.79%	+	+	+	+	+
蛛缘蝽科 Alydidae	3	0.01%	1	0.26%		+	+		
蜚蠊目 Blattaria	39	0.15%	2	0.53%	+	+	+	+	+
蜚蠊科 Blattidae	2	0.01%	1	0.26%	+	+			
地鳖科 Polyphagidae	37	0.14%	1	0.26%	+	+	+	+	+
蜉蝣目 Ephemeroptera	3	0.01%	1	0.26%			+		
蜉蝣科 Ephemeridae	3	0.01%	1	0.26%			+		
鳞翅目 Coleoptera	3 578	13.82%	144	37.99%	+	+	+	+	+
蚕蛾科 Bombycidae	33	0.13%	1	0.26%	+	+	+	+	+
草螟科 Crambidae	121	0.47%	1	0.26%	+	+	+	+	+
尺蛾科 Geometridae	454	1.75%	15	3.96%	+	+	+	+	+
刺蛾科 Limacodidae	123	0.48%	3	0.79%	+	+	+	+	+
大蚕蛾科 Saturniidae	6	0.02%	1	0.26%			+	+	
袋蛾科 Psychidae	41	0.16%	1	0.26%			+	+	+

续表 2 (Table 2 continued)

目（科）Order (Family)	个体数 Individual numbers	个体比例 Individual proportion	物种数 Number of species	物种比例 Species proportion	生境类型 Type of habitat				
					农田 Farmland	人造林 Afforestation	湿地 Wetland	森林 Forest	草地灌木 Grassland-shrub
灯蛾科 Arctiidae	209	0.81%	10	2.64%	+	+	+	+	+
毒蛾科 Lymantridae	47	0.18%	2	0.53%	+	+	+	+	+
粉蝶科 Pieridae	56	0.22%	5	1.32%		+			+
凤蝶科 Papilionidae	6	0.02%	1	0.26%		+		+	+
灰蝶科 Lycaenidae	62	0.24%	3	0.79%		+	+	+	
蛱蝶科 Nymphalidae	52	0.20%	3	0.79%	+	+	+	+	+
卷蛾科 Tortricidae	55	0.21%	3	0.79%	+	+			+
枯叶蛾科 Lasiocampidae	88	0.34%	5	1.32%	+	+	+	+	
麦蛾科 Gelechiidae	32	0.12%	2	0.53%		+	+	+	
螟蛾科 Pyralidae	599	2.31%	13	3.43%	+				
木蠹蛾科 Cossidae	29	0.11%	2	0.53%	+				
弄蝶科 Hesperiidae	19	0.07%	1	0.26%	+				
天蛾科 Sphingidae	196	0.76%	14	3.69%	+				
透翅蛾科 Sesiidae	25	0.10%	1	0.26%	+				
舞毒蛾科 Erebidae	20	0.08%	1	0.26%	+	+	+	+	
眼蝶科 Satyridae	47	0.18%	1	0.26%	+		+	+	+
夜蛾科 Noctuidae	1 094	4.23%	43	11.35%	+	+	+	+	+
舟蛾科 Notodontidae	164	0.63%	12	3.17%	+				
脉翅目 Neuroptera	351	1.36%	6	1.58%	+	+	+	+	+
草蛉科 Chrysopidae	184	0.71%	3	0.79%	+	+	+	+	+
褐蛉科 Hemerobiidae	39	0.15%	1	0.26%		+	+	+	
螳蛉科 Mantispidae	6	0.02%	1	0.26%			+	+	
蚁蛉科 Myrmeleontidae	122	0.47%	1	0.26%	+	+	+	+	+
毛翅目 Trichoptera	5	0.02%	1	0.26%			+	+	
石蛾科 Phryganeidae	5	0.02%	1	0.26%			+	+	
膜翅目 Hymcnoptera	2 677	10.34%	42	11.08%	+	+	+	+	+
蜾蠃科 Eumenidae	44	0.17%	1	0.26%	+	+			+
胡蜂科 Vespidae	461	1.78%	7	1.85%	+	+	+	+	+
姬蜂科 Ichneumonidae	485	1.87%	9	2.37%	+	+	+	+	+
茧蜂科 Braconidae	321	1.24%	3	0.79%	+	+	+	+	+
金小蜂科 Pteromalidae	131	0.51%	1	0.26%		+	+		
蜜蜂科 Apoidea	332	1.28%	3	0.79%	+	+	+	+	+
泥蜂科 Sphecidae	122	0.47%	3	0.79%	+	+	+	+	+
青蜂科 Chrysididae	69	0.27%	3	0.79%	+	+	+	+	+
三节叶蜂科 Argidae	110	0.42%	1	0.26%	+		+	+	

续表 2 (Table 2 continued)

目（科）Order (Family)	个体数 Individual numbers	个体比例 Individual proportion	物种数 Number of species	物种比例 Species proportion	生境类型 Type of habitat				
					农田 Farmland	人造林 Afforestation	湿地 Wetland	森林 Forest	草地灌木 Grassland-shrub
熊蜂科 Bombidae	88	0.34%	2	0.53%	+	+			
蚜茧蜂科 Aphidiidae	65	0.25%	1	0.26%		+		+	+
蚜小蜂科 Aphelinidae	55	0.21%	1	0.26%	+			+	+
叶蜂科 Tenthredinidae	29	0.11%	1	0.26%		+	+	+	
蚁科 Formicidae	334	1.29%	5	1.32%	+	+	+	+	+
蛛蜂科 Pompilidae	31	0.12%	1	0.26%			+	+	
啮虫目 Psocoptera	132	0.51%	2	0.53%	+	+	+	+	+
啮虫科 Psocidae	112	0.43%	1	0.26%	+	+		+	+
蛾啮虫科 Thyrsophoridae	20	0.08%	1	0.26%			+		
鞘翅目 Coleoptera	2 439	9.42%	67	17.68%	+	+	+	+	+
步甲科 Carabidae	201	0.78%	7	1.85%	+	+	+	+	+
龟甲科 Cassididae	13	0.05%	2	0.53%	+		+	+	
郭公虫科 Cleridae	9	0.03%	1	0.26%		+	+	+	
虎甲科 Cicindelidae	29	0.11%	1	0.26%	+				
花金龟科 Cetoniidae	56	0.22%	1	0.26%	+				
花萤科 Cantharidae	126	0.49%	2	0.53%	+	+	+	+	
吉丁甲科 Buprestidae	33	0.13%	1	0.26%	+			+	+
卷叶象科 Attelabidae	67	0.26%	1	0.26%	+	+	+	+	+
叩甲科 Elateridae	20	0.08%	3	0.79%	+			+	
丽金龟科 Rutelinae	126	0.49%	3	0.79%	+		+		+
龙虱科 Dytiscidae	26	0.10%	1	0.26%			+		
埋葬甲科 Silphidae	49	0.19%	3	0.79%	+	+	+	+	+
拟步甲科 Tenebrionidae	55	0.21%	2	0.53%	+		+	+	
瓢甲科 Coccinellidae	286	1.10%	8	2.11%	+	+	+	+	+
锹甲科 Lucanidae	31	0.12%	1	0.26%	+		+	+	
蠼螋科 Chelisochidae	112	0.43%	1	0.26%	+		+	+	
鳃金龟科 Melolonthidae	51	0.20%	4	1.06%	+			+	+
天牛科 Cerambycidae	171	0.66%	8	2.11%	+			+	+
跳甲科 Alticinae	265	1.02%	1	0.26%	+	+			
伪瓢虫科 Endomychidae	3	0.01%	1	0.26%			+		
犀金龟科 Dynastidae	31	0.12%	1	0.26%	+		+	+	
象甲科 Curculionidae	259	1.00%	6	1.58%		+		+	+
叶甲科 Chrysomelidae	337	1.30%	7	1.85%	+	+	+	+	+
隐食甲科 Cryptophagidae	83	0.32%	1	0.26%	+	+	+	+	+

续表 2 (Table 2 continued)

目（科）Order (Family)	个体数 Individual numbers	个体比例 Individual proportion	物种数 Number of species	物种比例 Species proportion	生境类型 Type of habitat				
					农田 Farmland	人造林 Afforestation	湿地 Wetland	森林 Forest	草地灌木 Grassland-shrub
蜻蜓目 Odonata	36	0.14%	4	1.06%	+		+	+	+
蟌科 Coenagrionidae	16	0.06%	1	0.26%	+		+		
蜻科 Libellulidae	17	0.07%	2	0.53%			+	+	
蜓科 Aeshnidae	3	0.01%	1	0.26%	+		+		+
双翅目 Diptera	7 021	27.12%	43	11.35%	+	+	+	+	+
大蚊科 Tipulidae	810	3.13%	1	0.26%	+		+	+	+
蛾蠓科 Psychodidae	122	0.47%	1	0.26%	+	+	+	+	+
缟蝇科 Lauxaniidae	39	0.15%	3	0.79%			+	+	
摇蚊科 Chironomidae	27	0.10%	2	0.53%	+	+	+	+	
长足虻科 Dolichopodidae	61	0.24%	2	0.53%	+		+		+
杆蝇科 Chloropidae	21	0.08%	3	0.79%		+		+	
麻蝇科 Sarcophagidae	120	0.46%	5	1.32%	+	+	+	+	+
头蝇科 Pipunculidae	32	0.12%	3	0.79%			+	+	+
蜂虻科 Bombylioidea	23	0.09%	1	0.26%	+		+	+	+
寄蝇科 Tachinidae	1 612	6.23%	1	0.26%	+	+	+	+	+
丽蝇科 Calliphoridae	482	1.86%	2	0.53%	+	+	+	+	+
食虫虻科 Asilidae	865	3.34%	2	0.53%	+	+	+	+	+
虻科 Tabanidae	538	2.08%	2	0.53%	+	+	+	+	+
食蚜蝇科 Syrphidae	253	0.98%	10	2.64%	+	+	+	+	+
水虻科 Stratiomyidae	64	0.25%	2	0.53%			+	+	
蚊科 Culicidae	88	0.34%	1	0.26%	+		+	+	+
小金蝇科 Ulidiidae	23	0.09%	1	0.26%		+	+		
蝇科 Muscidae	1 841	7.11%	1	0.26%	+	+	+	+	+
螳螂目 Mantodea	32	0.12%	2	0.53%	+				+
螳科 Mantidae	32	0.12%	2	0.53%	+				+
缨翅目 Thydsnoptera	457	1.77%	3	0.79%	+				
蓟马科 Thripidae	132	0.51%	1	0.26%	+				
纹蓟马科 AEolothripidae	325	1.26%	2	0.53%	+				
直翅目 Orthoptera	2 568	9.92%	12	3.17%	+	+	+	+	+
斑翅蝗科 Oedipodidae	167	0.65%	2	0.53%	+	+		+	+
蝗科 Acrididae	456	1.76%	1	0.26%	+	+		+	+
菱蝗科 Tetrigidae	279	1.08%	1	0.26%	+	+	+		+
蝼蛄科 Gryllotalpidae	503	1.94%	2	0.53%	+				+
蟋蟀科 Gryllidae	543	2.10%	3	0.79%	+		+	+	+
螽斯科 Tettigoniidae	266	1.03%	2	0.53%	+				+
锥头蝗科 Pyrgomorphidae	354	1.37%	1	0.26%	+			+	+
襀翅目 Plecoptera	11	0.04%	1	0.26%			+		
襀科 Perlidae	11	0.04%	1	0.26%			+		

采集科数为农田（98 科）>湿地（92 科）>森林（90 科）>草地灌木（74 科）>人造林（73 科）（图 2）。

2.2　不同生态系统的昆虫生物多样性

2.2.1　α 多样性指数　北京市延庆区不同生境昆虫 Margalef 丰富度指数存在极显著差异（P<0.01），表现为湿地>人造林>森林>草地灌木>农田，其中湿地为 10.22，农田最小为 1.95；均匀度指数表现为湿地=森林>草地灌木>人造林>农田。不同生境昆虫多样性指数 H' 也存在极显著差异（P<0.01），表现为湿地>森林>人造林>草地灌木>农田。昆虫优势度指数存在极显著差异（P<0.01），表现为湿地>森林>人造林>草地灌木>农田（表 3）。

2.2.2　β 多样性指数　在北京市延庆区的调查中，5 种生境类型的生境间昆虫物种相似度系数均低于 0.5，表现为中等不相似或极不相似。其中，湿地生境类型和草地灌木的生境类型之间相似度最低，为 0.185 1；草地灌木生境类型和农田生境类型最高为 0.458 3，湿地生境类型和森林生境类型之间的相似度系数高，为 0.421 7（表 4）。

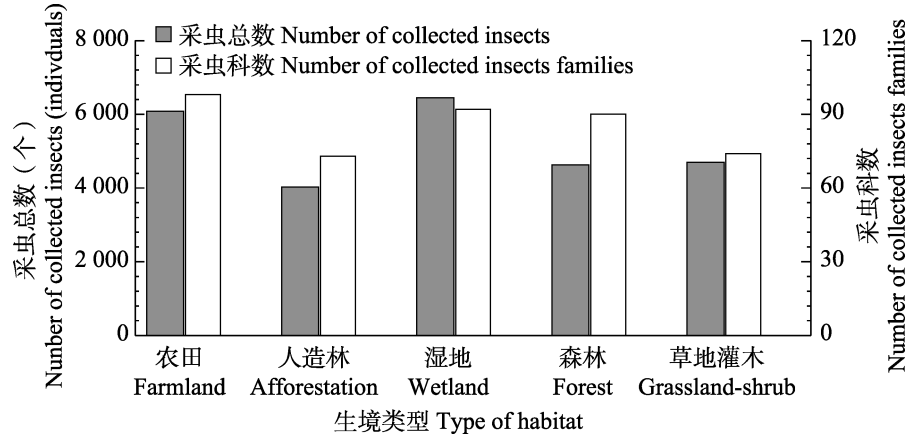


图 2　北京市延庆区不同生境采集的昆虫数量和科数

Fig. 2　Number and families of collected insects in different types of habitats in Yanqing district of Beijing

表 3　北京市延庆区 5 种生境昆虫物种多样性指数

Table 3　Biodiversity indexes of collected insects in 5 types of habitats in Yanqing district of Beijing

α 物种多样性指数 Biodiversity indexes (α)	农田 Cropland	人造林 Plantation	湿地 Wetland	森林 Forest	草地灌木 Grassland-shrub
丰富度指数 Richness index (D)	1.95±0.48	5.01±1.27	10.22±0.80a	3.58±0.48	2.34±0.27
均匀度指 Evenness index (E)	0.67±0.11	0.72±0.05	0.89±0.03	0.89±0.03	0.88±0.07
多样性指数 Diversity index (H')	1.23±0.17c	2.21±0.01b	3.59±0.09a	2.27±0.10b	1.72±0.14bc
优势度指数 Dominance index (λ)	1.90±0.11c	2.44±0.17b	3.14±0.04a	2.49±0.05b	2.19±0.08bc

表中数据为均值±标准误。数据后标有不同小写字母表示经 LSD 检验不同生境的昆虫多样性指数之间存在显著性差异（P<0.05）。

Data are mean±SE, and followed by different letters indicate significant difference in the insect diversity indexes among different habitats at 0.05 level.

表 4　延庆区 5 种生境昆虫物种相似度指数比较

Table 4　Similarity index of insect in 5 types of habitat in Yanqing

生境类型 Type of habitat	农田 Cropland	人造林 Plantation	湿地 Wetland	森林 Forest	草地灌木 Rassland-shrub
农田 Cropland	−	0.365 4	0.256 1	0.400 0	0.458 3
人造林 Plantation	−	−	0.299 0	0.274 7	0.256 1
湿地 Wetland	−	−	−	0.421 7	0.185 1
森林 Forest	−	−	−	−	0.302 3

3 结论与讨论

本研究首次对北京市延庆区昆虫种类进行县域范围的系统性调查，共采集的昆虫涉及 15 个目，体现出该区域昆虫类群的多样性。研究中昆虫采集的方式主要为样线扫网，结合马氏网两种方法，而灯诱法、陷阱法仅作为补充以获得更多的昆虫种类，在采集中获取的昆虫数量较少。调查结果显示北京市延庆区优势昆虫隶属于半翅目、双翅目、鳞翅目、鞘翅目和膜翅目等。采集的最优势的 5 个科的昆虫有 2 种隶属短脚亚目，3 种为半翅目作物害虫且多采集于农田生境。在延庆区不同生境的昆虫多样性指数的分析中，农田的各类指标均处于较低水平，但是昆虫采集的数量却为各类生境之冠，这表明在农田生境中，害虫的发生情况普遍，天敌昆虫的生存水平较低，是一种稳定性较差的生态类型，害虫易暴发为害（何云川等，2018）。在延庆区东部平原农田中发现多种半翅目类群的昆虫，数量较多但不同调查点优势科不同，如在八达岭镇的采集中获得大量的点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris*（Fabricius），在永宁镇采集大量角红长蝽 *Lygaeus hanseni* Jakovlev。北京市延庆区作物一年一收，部分天敌昆虫不能在田间完成越冬，而田间农药的使用对天敌昆虫有高的致死率。在高的选择压力下会缩短害虫产生抗药性的时间，促进田间害虫的暴发为害（何玉仙，2006）。另外，农田的植物种类单一，也有利于害虫的暴发（梁菊花，2013）。在北京市延庆区的人造林中也有较为频繁的农药使用情况。与农田情况不同，在多个人造林调查点一次 200 m 的样线扫网仅能采集到少量昆虫，这与在农田的采集情况差别较大。推测导致这一现象的原因是人造林的主要昆虫类群与农田的昆虫类群差异较大，人造林相对植被种类更丰富，可以涵养更多种类的昆虫且相对于农田生态系统更为稳定。林地灌木生境类型多为两类生境的中间过渡带，有多种的植被覆盖，也多有人为活动的影响，就昆虫多样性指数所展示出来的情况符合预期。湿地和森林生态类型的昆虫多样性指数高，与这些地区植被类型丰富，环境污染程度低，人类涉足少关系密不可分（葛洋，2014）。

相似度系数体现出了北京市延庆区不同生境昆虫生态结构的相似性。在本调查中，生境之间相似性系数除草地灌木和湿地间为极不相似（0.185 1）外，均表现为中等不相似，这与调查选点的规定有关。在相似度系数的计算选点中，为了直观体现不同生境间昆虫的种类差异，尽量避免在生境过度带进行调查。湿地和森林的相似度最高，在延庆区分布的野外湿地主要有官厅水库湿地（野鸭湖）、白河堡水库湿地、白河湿地、珍珠泉湿地、龙庆峡湿地 5 块较大型湿地，湿地生境周围多有密林环绕，生境间体现出镶嵌连接的特点，其中除去龙庆峡因过度的旅游开发，在其他湿地类型均有很好的采集收获，在湿地周边森林的采集也有相似的采集特点。湿地和草地灌木的昆虫相似性指数最低，这与植被的种类和人类活动有关系。草地灌木多为农田和城镇周边的过度型生境，与农田生境中的昆虫相似度较高，这里的植被类型多样但多为一年生草本和多年生低矮灌木，昆虫多样性较低，与湿地的昆虫类型区别较大。

在北京市延庆区湿地的昆虫包括蜉蝣目、毛翅目和襀翅目昆虫，这些昆虫是水源地水质的指示型昆虫（柯欣等，1996；黄小清和蔡笃程，2006）。在珍珠泉湿地、官厅水库湿地和白河堡水库湿地均采集到了这 3 类昆虫。此外，在珍珠泉湿地也采集到了蜉蝣。这表明在延庆区这些地区的水源水质均处于较好水平。官厅水库和白河堡水库受到政府的大力保护，周边的旅游资源开发较少，这就形成了较为完整的湿地生态系统。官厅水库曾经是北京主要供水水源地之一。20 世纪 80 年代后期，库区水受到严重污染，90 年代水质继续恶化，1997 年水库被迫退出城市生活饮用水体系。之后在 2007 年 8 月被重新启用作为北京饮用水水源地，这也体现出了北京地区湿地生态的保护措施较为优秀（杨垒等，2018）。

昆虫生物多样性对生态可持续发展有重要意义。延庆区总体的生态环境保护工作较为到位，各地域昆虫类型丰富，植被覆盖率高，环境污染程度低。在延庆区的昆虫调查中共采集昆虫 25 885 头，共鉴定 15 个目 132 科（部分昆虫只鉴定到科）379 种昆虫。采集的昆虫数量最多的几个目分别是双翅目、半翅目、鳞翅目、膜翅目，占比达总数的 76.53%。采集昆虫数量最多的几个科分别是蝇科、叶蝉科、寄蝇科、蚜科，采集数量占到昆虫总数的 29.35%。采集昆虫数量最多的生境为湿地，采集昆

虫科数最多的生境为农田。不同生境类型昆虫Margalef丰富度指数、多样性指数和优势度指数存在极显著差异（P<0.01），湿地和森林生境的多样性指数大于其他生境。昆虫在不同生境的均匀度指数无显著性差异，湿地和森林均匀度指数相等。农田生境采集昆虫数量多但多样性指数低，湿地的多样性指数位于首位。不同生境的昆虫相似度指数较低，处于0.185 1-0.458 3，其中湿地和森林的相似度最高，湿地与草地灌木的相似度最低。不同生境采集的昆虫显示出不同的结果，但都显示出了较低的相似性。调查结果体现出昆虫对不同生境有选择倾向。湿地和森林等少人涉及，人为影响较小的地区昆虫种类丰富，生境稳定性好，生物多样性的保护应首先倾向于对此类生境采取措施。

参考文献 (References)

Brittain CA, Vighi M, Bommarco R, Settele J, Potts SG, 2010. Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology*, 11(2): 106–115.

Cao LJ, Zhao HR, Du XL, 2018. Community diversity of forest insect in Baihe forestry bureau. *Journal of Northeast Forestry University*, 46(3): 74–79. [曹丽娟, 赵红蕊, 杜祥林, 2018. 白河林业局森林昆虫群落多样性. 东北林业大学学报, 46(3): 74–79.]

Christensen NL, Bartuska AM, Brown JH, Carpenter S, Antonio CD, Francis R, Franklin JF, MacMahon JA, Noss RF, Parsons DJ, Peterson CH, Turner MG , Woodmansee RG, 1996. The report of the ecological society of america committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications*, 6(3): 665–691.

Dong H, Yang GL, Kong LG, Zhang WG, 2017. Collection, production and preservation of insect specimen. *Journal of Laboratory Science*, 20(1): 37–39. [董会, 杨广玲, 孔令广, 张卫光, 2017. 昆虫标本的采集、制作与保存. 实验室科学, 20(1): 37–39.]

Ge Y, Guo M, Cao YY, Wu YY, Wan X, 2014. Insect community diversity of different habitats in Caizihu wetland at the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Ecology*, 33(8) : 2084–2090. [葛洋, 郭苗, 曹玉言, 武元园, 万霞, 2014. 长江中下游菜子湖湿地不同生境昆虫群落多样性. 生态学杂志, 33(8) : 2084–2090.]

Gu W, MA L, Ding XH, Zhang J, Han ZW, 2011. Insect diversity of different habitat types in Zhalong Wetland, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(9): 2405–2412. [顾伟, 马玲, 丁新华, 张静, 韩争伟, 2011. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性. 应用生态学报, 22(9): 2405–2412.]

Haslett JR, 2007. European Strategy for the Conservation of Invertebrates. Nature and Environment, No. 145. Brussels : Council of Europe. 14–50.

He YC, Yang GJ, Wang XP, 2018. Diversity and stability of terrestrial insect communities in different wetlands in Yinchuan. *Acta Entomologica Sinica*, 61(12): 1439–1452. [何云川, 杨贵军, 王新谱, 2018. 银川不同湿地陆生昆虫群落多样性与稳定性. 昆虫学报, 61(12): 1439–1452.]

He YX, 2006. Study on the insecticide resistance and its mechanisms in *Bemisia rabaci* (Gennadius). Doctoral dissertation. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University. [何玉仙, 2006. 烟粉虱种群抗药性及其机理研究. 博士学位论文. 福建: 福建农林大学.]

Huang XQ, Cai DC, 2006. The application of aquatic insects in monitoring and assessing water quality. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 12(2): 72–75. [黄小清, 蔡笃程, 2006. 水生昆虫在水质生物监测与评价中的应用. 华南热带农业大学学报, 12(2): 72–75.]

Huo TD, Wu XK, Huang DZ, 2015. The response of insect community diversity to low toxicity and broad-spectrum insecticide in pear garden. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 30(2): 160–165. [霍腾达, 武小恺, 黄大庄, 2015. 低毒广谱杀虫剂对梨园昆虫群落物种多样性的影响. 河北林果研究, 30(2): 160–165.]

Jia D, 2009. Landscape ecological risk assessment and landscape pattern optimization in Yanqing sandstorm region. Doctoral dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [贾丹, 2009. 延庆风沙区景观生态风险评价及景观格局优化. 博士学位论文. 北京：北京林业大学.]

Ke X, Yang LF, Sun CH, Tian LX, 1996. Diversity of aquatic insects and bio-assessment of water quality of Fengxi river in Anhui province. *Journal of Nanjing Agricultural University,* 19(3): 37–42. [柯欣, 杨莲芳, 孙长海, 田立新, 1996. 安徽丰溪河水生昆虫多样性及其水质生物评价. 南京农业大学学报, 19(3): 37–42.]

Li YJ, Zhang JD, Bai WK, Ouyang ZY, 2018. Insect community composition and diversity of different green spaces in Beijing, China. *Ecology and Environmental Sciences*, 27(6): 1044–1051. [李玉杰, 张晋东, 白文科, 欧阳志云, 2018. 北京不同功能绿地昆虫群落组成和生物多样性特征. 生态环境学报, 27(6): 1044–1051.]

Li ZG, Zhang BS, Zhai X, Gong PB, Huang NS, Kuang YQ, Guo MF, Han SC, 2010. Insect diversity indifferent habitats in Guangzhou of China. *Chinese Journal of Ecology*, 29(2):

357–362. [李志刚, 张碧胜, 翟欣, 龚鹏博, 黄宁生, 匡耀求, 郭明昉, 韩诗畴, 2010. 广州不同生境类型区域昆虫多样性. 生态学杂志, 29(2): 357–362.]

Liang JH, 2013. Study of hybrid models based on integrated pest management. Doctoral dissertation. Shaanxi: Shaanxi Normal University. [梁菊花, 2013. 基于综合害虫治理策略的混合模型研究. 博士学位论文. 陕西: 陕西师范大学.]

Liu JM, Xu HC, 2012. Indicative insects for monitoring and evaluating the quality of forestry environment. *Journal of Environmental Entomology*, 34(2): 148–153. [刘佳敏, 徐华潮, 2012. 指示性昆虫用于监测和评价森林环境质量的研究. 环境昆虫学报, 34(2): 148–153.]

Liu Q, Cheng WZ, Bai RX, Dong JC, Jiang ZL, 2018. Insect community structure on *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f in Pu'er District, Yunnan province. *Journal of Environmental Entomology,* 40(5): 1036–1050. [刘棋, 成文章, 拜如霞, 董竞成, 蒋智林, 2018. 云南普洱紫花三叉白及昆虫群落多样性研究. 环境昆虫学报, 40(5): 1036–1050.]

Sun GF, 2017. Study of pollinator diversity under different time and habitat types. Master dissertation. Nanjing: Nanjing University. [孙广芳, 2017. 不同时间和生境类型下传粉昆虫物种多样性的研究. 硕士学位论文. 南京: 南京大学.]

Sun J, Liu DY, 2004. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies. *Journal of Acta Oceanologica Sinica*, (1): 62–75. [孙军, 刘东艳, 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, (1): 62–75.]

Tao WQ, Pan YP, Liu H, Yan GZ, Wang JL, 2009. Insect fauna of Lepidoptera in Songshan national nature reserve of Beijing. *Journal of Anhui Agriculture Science.* 37(6): 2592–2595. [陶万强, 潘彦平, 刘寰, 闫国增, 王金利, 2009. 北京松山国家自然保护区鳞翅目昆虫区系分析. 安徽农业科学, 37(6): 2592–2595.]

Xu C, Zhang HY, 2018. Indicative effects of orthoptera on different habitats of rocky desertification grassland. *Jiangsu Agricultural Science*, 46(1): 247–251. [徐超, 张红玉, 2018. 直翅目昆虫对不同石漠化草地生境的指示作用. 江苏农业科学, 46(1): 247–251.]

Xu SC, Wang L, Shen XJ, Liu L, 2016. Butterfly diversity of different types of habitats in Ziwuling national nature reserve of Shaanxi province. *Forest Resources Management*, (5): 103–143. [徐世才, 王莉, 沈雪健, 刘璐, 2016. 陕西子午岭国家级自然保护区不同生境蝶类昆虫多样性. 林业资源管理, (5): 103–143.]

Yang L, Wu YX, Wang YQ, 2018. Analysis of water quality monitoring and assessment of Guanting reservoir black soil depression wetland system in 2016. Municipal·Traffic·*Water Resources Engineering Design*, (6): 137–139. [杨垒, 吴玉欣, 王彦芹, 2018. 官厅水库黑土洼湿地系统 2016 年水质监测评价分析. 工程建设与设计, (6): 137–139.]

Ye SS, Fang Y, Li K, 2013. Impacts of urbanization process on insect diversity. *Biodiversity Science,* 21(3): 260–268. [叶水送, 方燕, 李恺, 2013. 城市化对昆虫多样性的影响.生物多样性, 21(3): 260–268.]

Zhang D, Wan XY, Wei WH, Zhang CT, Sui JL, Jiang WJ, Wu JG, Li K, 2011. Study on Tachinidae fauna in Songshan national nature reserve of Beijing, China. *Chinese Journal Vector Biology and Control*, 22(5): 459–465. [张东, 万心怡, 魏婉红, 张春田, 隋金玲, 蒋万杰, 吴记贵, 李凯, 2011. 北京松山国家级自然保护区寄蝇科昆虫分类区系研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 22(5): 459–465.]

Zhang HZ, 2009. The study on species diversity of litter-layer insects in Yeyahu wetland. Master dissertation. Beijing: Capital Normal University. [张海周, 2009. 野鸭湖湿地地表昆虫多样性研究. 北京: 首都师范大学.]

Zhang L, Wang Y, Zhang AH, Du YL, Xu S, Fang Y, Li YK, Li YG, 2014. Preliminary report on catalogue of Tortricidae from Songshan natural reserve in Beijing. *Journal of Beijing University of Agriculture,* 29(3): 47–52. [张磊, 王胤, 张爱环, 杜艳丽, 徐澍, 方月, 李延奎, 李银鸽, 2014. 北京松山自然保护区卷蛾科昆虫名录初报. 北京农学院学报, 29(3): 47–52.]

Zhang ML, Wang RJ, 2011. The status and trend of insect diversity conservation. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 739–745. [张茂林, 王戎疆, 2011. 昆虫多样性的保护现状与趋势. 应用昆虫学报, 48(3): 739–745.]