

江苏省大丰区昆虫群落结构及多样性特征

程 攻, 罗 琚, 柳絮飞, 王晓宇* (南京大学环境规划设计研究院股份公司, 江苏南京 210003)

摘要 为掌握江苏省大丰区昆虫本底资源状况, 促进当地生物多样性的保护, 2019 年 4—8 月集中对大丰区昆虫资源进行调查。此次共采集到昆虫标本 6 614 号, 隶属于 10 目 85 科 231 种, 其中鞘翅目种类最多, 占总数的 22.51%, 蜻蜓目个体数量最多, 占总数的 20.79%。生物多样性分析显示, 大丰区城市公园绿地和珍禽自然保护区南侧昆虫多样性指数最高。以蝴蝶类群进行区系分析显示, 大丰区蝴蝶主要以广布种为主, 东洋种和古北种相互渗透。大丰区的昆虫构成中, 农林害虫最多, 有 113 种, 占总数的 48.92%, 天敌昆虫也较为丰富, 有 68 种, 占总数的 29.44%。大丰区作为候鸟迁徙通道的重要中转站, 是生物多样性的富集区, 掌握其昆虫资源的多样性对于该区域生物多样性保护十分重要。

关键词 昆虫; 种类调查; 群落结构; 生物多样性; 江苏省大丰区

中图分类号 Q968 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)17-0071-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.020



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Structure and Diversity of Insect Communities in Dafeng District, Jiangsu Province

CHENG Gong, LUO Ju, LIU Xu-fei et al (Academy of Environmental Planning and Design Co., Ltd., Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210000)

Abstract In order to obtain the status of insect resources in Dafeng District, Jiangsu Province, and promote the protection of local biodiversity, a survey of insect resources in Dafeng District was conducted from April to August 2019. A total of 6 614 insect specimens were collected this time, belonging to 231 species of 85 families and 10 orders, of which Coleoptera had the largest number in terms of species, accounting for 22.51% of the total, and Odonata had the largest number in terms of individuals, accounting for 20.79% of the total. The biodiversity analysis showed that the urban parks of Dafeng District's urban area and rare bird nature reserves had the highest insect diversity index. Faunal analysis based on butterfly groups showed that the butterflies in Dafeng District were predominantly broad-spread species, while the Oriental realm and Palaearctic realm species infiltrate each other. Among the insect composition in Dafeng District, agricultural and forestry pests were the largest, with 113 species, accounting for 48.92% of the total, and natural enemy insects were also abundant, with 68 species, accounting for 29.44% of the total. Dafeng District was an important transit station for migratory bird habitats and an area of biodiversity. Mastering the diversity of its insect resources was very important for the protection of biodiversity in the region.

Key words Insect; Species survey; Community structure; Biodiversity; Dafeng District, Jiangsu Province

昆虫, 作为动物界物种数目最多的类群, 在生物多样性保护中具有重要的地位^[1]。一方面, 昆虫在传粉、生物控制、物质分解与资源供给等方面发挥着重要作用, 另一方面, 昆虫在自然界中占据着多样性更高、空间尺度更小的生境, 对生境的变化十分敏感, 是用来指示生境细微变化和描述生境精细特征的理想材料^[2]。因此, 开展昆虫物种多样性本底调查, 并研究其群落多样性特征对实施生物多样性监测和保护都具有非常重大的意义。

近年来, 关于昆虫物种的多样性监测已取得很大进展。李玉杰等^[3]对北京市不同功能绿地的昆虫进行了调查研究, 表明不同功能绿地的植物组成、人类干扰和管理方式与昆虫的群落组成显著相关; 王珊珊等^[4]对武汉市解放公园和日月湖公园进行昆虫资源调查发现, 不同植物群落之间的昆虫多样性存在显著差异; 虞蔚岩等^[5]对 2005—2008 年南京地区蜻蜓目昆虫进行了 4 年的监测, 并对其区系构成和物种多样性进行了分析; 李朝晖等^[6]对 1995—2002 年江苏省各地的蝶类进行监测, 累计获得 4 500 余号蝶类标本, 隶属于 10 科 105 属 178 种。目前对昆虫物种多样性的监测主要集中于对自然保护区、城市绿地和公园的监测, 但是对以县域为单位的昆虫物种多样性监测研究的较少。大丰区是江苏省盐城

市市辖区, 地处江苏省东部、黄海之滨, 境内分布有麋鹿自然保护区和珍禽自然保护区, 是中国黄(渤)海候鸟栖息地(第一期)的关键地点之一^[7]。昆虫作为鸟类的主要食物来源, 摸清大丰区的昆虫资源对大丰区的环境监测管理以及鸟类保护尤为重要。笔者选取大丰区全境, 调查和分析大丰区昆虫物种多样性, 以为大丰区环境质量评估以及自然保护区的设计和管理等提供信息基础。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 大丰区地处江苏省沿海中部、盐城市东南部(32°56'~33°36'N、120°13'~120°56'E), 境内为平原地带, 水系众多, 且拥有 112 km 黄金海岸线, 串场河、疆界河、王港河、四卯西河、通榆河纵横全境。亚热带季风气候明显, 气候湿润, 热量资源丰富, 极适于水稻、油菜、花生等作物生长。大丰区的主要生态系统类型可分为农田生态系统、林地生态系统、沿海滩涂生态系统、内陆湿地生态系统和城市生态系统, 且以农田生态系统为主, 占大丰区总面积的 49.55%。

该研究根据全国陆域 10 km×10 km 网格, 选取与大丰区有共同区域的网格, 总计 33 个。按照每个网格至少设置一条样线的原则, 总计布设 33 条调查样线, 3 个昆虫夜间灯诱点, 3 个马氏网诱捕点, 涵盖盐城湿地珍禽国家级自然保护区(大丰)、大丰麋鹿国家级自然保护区、大丰饮用水水源保护区、清水通道维护区以及城市绿地、人工湿地、人工林等区域(图 1)。

基金项目 江苏省盐城市大丰区生态环境局项目(DFCG20190080)。
作者简介 程攻(1993—), 男, 河南南阳人, 硕士, 从事昆虫生态学
研究。*通信作者, 工程师, 硕士, 从事生物多样性保护研究。
收稿日期 2020-02-25

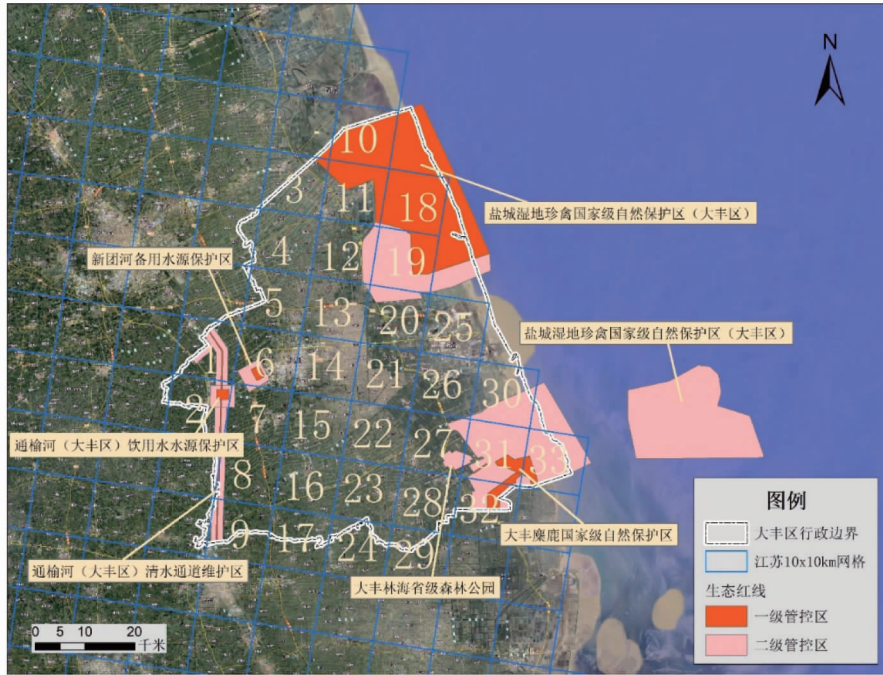


图1 大丰区昆虫物种多样性调查范围

Fig.1 Survey scope of insect species diversity in Dafeng District

1.2 调查方法 调查采样时间分别为2019年4、6和8月。针对每条样线,主要采用网捕法进行调查,记录并拍摄每条样线周围5 m范围内的昆虫种类和数量,所有昆虫至少鉴定到科,对于现场无法鉴定的昆虫进行标本采集和照片拍摄,带回实验室请相关专家鉴定。每条样线长度为2 km,调查在晴天的08:00—18:00进行,昆虫灯诱和马氏网采集分别于2019年6和8月各进行一次。

1.3 数据处理 所有数据均使用Excel软件处理。①多样性指数(H')采用Shannon-Wiener公式^[8]: $H' = -\sum P_i \ln P_i$,式中, P_i 为物种*i*的个体数占样地内总个体数的比例, $i=1,2,\dots,S$ 。②均匀度指数(J)采用Pielou公式^[9]: $J = H' / \ln S$,式中, H' 为Shannon-Wiener多样性指数, S 为群落中物种数。③优势度指数(D)采用Berger-Parker公式^[10]: $D = N_{\max} / N_t$,式中, $N_{\max}$ 为优势类群数量, N_t 为全部的种群数量。④物种丰富度(S)直接用物种数表示^[5]。

2 结果与分析

2.1 大丰区昆虫群落组成结构 该研究共采集昆虫标本6 614号,隶属于10目85科231种(表1)。其中,鞘翅目(Coleoptera)种类最多,有52种,占总种数的22.51%;其次为鳞翅目(Lepidoptera),有46种,占总种数的19.91%;第三为双翅目(Diptera),有39种,占总种数的16.88%;第四为半翅目(Hemiptera),有33种,占总种数的14.29%;第五为膜翅目(Hymenoptera),有26种,占总种数的11.26%;剩下的依次为蜻蜓目(Odonata)、直翅目(Orthoptera)、螳螂目(Mantodea)、蜚蠊目(Blattaria)和革翅目(Dermaptera),分别为16、13、2、2和2种。

从各类群数量上来说,蜻蜓目最多,有1 375只,占总数量的20.79%;半翅目次之,有1 285只,占总数量的19.43%;

第三为鳞翅目,有1 150只,占总数量的17.39%;其他种群较多的还有直翅目和鞘翅目,分别有880和873只,分别占总数量的13.31%和13.20%;以上5个目昆虫数量占昆虫总数量的84.12%。

根据调查到的昆虫数量占总数的百分比确定昆虫的数量等级(优势种为相对多度>2%),大丰区的优势种包括菜粉蝶 *Artogeia rapae*、短额负蝗 *Atractomorpha sinensis*、黑蚱蝉 *Cryptotympana atrata*、中华剑角蝗 *Acrida cinerea*、黄蜻 *Pantala flavescens*、东亚异痣螳 *Ischnura asiatica*、中华蓍萝肖叶甲 *Chrysoschus chinensis*、玉带蜻 *Pseudothemis zonata*、菜蜻 *Eurydema dominulus*、红脊长蜻 *Tropidothorax elegans*、小家蚁 *Monomorium pharaonis*。此外,大丰区常见的昆虫种类有麻皮蜻 *Erthesina fullo*、异色多纹蜻 *Deilinia phaon*、小青花金龟 *Oxycetonia jucunda*、黄钩蛱蝶 *Polygonia caureum*等,这些昆虫虽然数量不及总种数的2%,但是遇见频次较高。

2.2 大丰区昆虫多样性分析 基于33条样线调查到的昆虫数据,计算大丰区对应网格的物种丰富度(S)、Shannon-Wiener多样性指数(H')、均匀度指数(J)和优势度指数(D),所得各网格指数的最大值、最小值、中位数、平均数如表2所示。总体而言,大丰区昆虫多样性由高到低排序依次为沿海、内陆农田,其中在大丰珍禽保护区及城市公园绿地中昆虫多样性较为丰富。

如图2所示,从物种丰富度分布来看,昆虫丰富度较高的区域依次为网格14($S=40$)、网格19($S=35$)、网格7($S=29$);从Shannon-Wiener多样性指数的区域分布来看,昆虫多样性指数较高的区域依次为网格14($H'=3.19$)、网格19($H'=3.08$)、网格7($H'=2.92$)。网格14和网格7均位于大丰区城镇地区,网格19位于江苏省盐城湿地珍禽国家级自

然保护区的南侧。

表 1 江苏省大丰区昆虫群落结构
Table 1 The structure of insect communities in Dafeng District, Jiangsu Province

目 Order	科 Family	个体数 Individual number//只	个体比例 Individual proportion//%	物种数 Number of species	物种比例 Species proportion//%
蜻蜓目 Odonata		1 375	20. 79	16	6. 93
	蜻科 Libellulidae	943	14. 26	7	3. 03
	蟌科 Coenagrionidae	428	6. 47	6	2. 60
	蜓科 Aeshnidae	2	0. 03	2	0. 87
	扇蟌科 Platynemididae	2	0. 03	1	0. 43
螳螂目 Mantodea		4	0. 06	2	0. 87
	螳科 Mantidae	4	0. 06	2	0. 87
直翅目 Orthoptera		880	13. 31	13	5. 63
	锥头蝗科 Pyrgomorphidae	446	6. 74	2	0. 87
	剑角蝗科 Acrididae	420	6. 35	2	0. 87
	斑翅蝗科 Oedipodidae	8	0. 12	4	1. 73
	蟋蟀科 Gryllidae	3	0. 05	2	0. 87
	螽斯科 Tettigoniidae	2	0. 03	2	0. 87
	蝼蛄科 Gryllotalpidae	1	0. 02	1	0. 43
半翅目 Hemiptera		1 285	19. 43	33	14. 29
	蝽科 Pentatomidae	454	6. 86	12	5. 19
	蝉科 Cicadidae	449	6. 79	3	1. 30
	长蝽科 Lygaeidae	164	2. 48	3	1. 30
	黾蝽科 Gerridae	115	1. 74	1	0. 43
	叶蝉科 Cicadellidae	36	0. 54	1	0. 43
	缘蝽科 Coreidae	33	0. 50	4	1. 73
	盲蝽科 Miridae	10	0. 15	2	0. 87
	盾蝽科 Scutelleridae	9	0. 14	1	0. 43
	红蝽科 Pyrrhocoridae	7	0. 11	2	0. 87
	猎蝽科 Reduviidae	6	0. 09	2	0. 87
	土蝽科 Cydnidae	1	0. 02	1	0. 43
	蛛缘蝽科 Alydidae	1	0. 02	1	0. 43
蜚蠊目 Blattaria		2	0. 03	2	0. 87
	蜚蠊科 Blattidae Handlirsch	2	0. 03	2	0. 87
革翅目 Dermaptera		15	0. 23	2	0. 87
	蠹螋科 Labiduridae	12	0. 18	1	0. 43
	肥螋科 Anisolabididae	3	0. 05	1	0. 43
鞘翅目 Coleoptera		873	13. 20	52	22. 51
	肖叶甲科 Eumolpidae	308	4. 66	1	0. 43
	金龟科 Scarabaeidae	145	2. 19	4	1. 73
	瓢甲科 ladybirds	143	2. 16	11	4. 76
	虎甲科 Cicindelidae	135	2. 04	3	1. 30
	叶甲科 Chrysomelidae	54	0. 82	4	1. 73
	步甲科 Carabidae	27	0. 41	9	3. 90
	锹甲科 Lucanidae	26	0. 39	1	0. 43
	天牛科 Cerambycidae	12	0. 18	3	1. 30
	丽金龟科 Rutelinae	6	0. 09	1	0. 43
	象甲科 Curculionidae	4	0. 06	4	1. 73
	绢金龟科 Melolonthidae	3	0. 05	2	0. 87
	鳃金龟科 Melolonthidae	3	0. 05	2	0. 87
	叩甲科 Elateroidea	2	0. 03	2	0. 87
	花萤科 Cantharidae Imhoff	1	0. 02	1	0. 43
	吉丁虫科 Buprestidae	1	0. 02	1	0. 43
	伪叶甲科 Lagriini	1	0. 02	1	0. 43
	萤科 Watasenia scintillans	1	0. 02	1	0. 43
	芫菁科 Meloidae	1	0. 02	1	0. 43

接下表

续表 1

目 Order	科 Family	个体数 Individual number//只	个体比例 Individual proportion//%	物种数 Number of species	物种比例 Species proportion//%
双翅目 Diptera		604	9. 13	39	16. 88
	丽蝇科 Calliphoridae	228	3. 45	6	2. 60
	花蝇科 Anthomyiidae	81	1. 22	1	0. 43
	蝇科 Muscidae	80	1. 21	1	0. 43
	麻蝇科 Sarcophagidae	46	0. 70	1	0. 43
	食蚜蝇科 Syrphidae	39	0. 59	5	2. 16
	摇蚊科 Chironomidae	36	0. 54	1	0. 43
	蚊科 Culicidae	24	0. 36	2	0. 87
	虻科 Tabanidae	23	0. 35	4	1. 73
	水虻科 Stratiomyidae	15	0. 23	5	2. 16
	食虫虻科 Asilidae	10	0. 15	2	0. 87
	扁口蝇科 Platypezidea	9	0. 14	1	0. 43
	大蚊科 Tipulidae	5	0. 08	3	1. 30
	寄蝇科 Tachinidae	3	0. 05	2	0. 87
	长足虻科 Dolichopodidae	2	0. 03	2	0. 87
	头蝇科 Pipunculidae	1	0. 02	1	0. 43
	指角蝇科 Neriidae	1	0. 02	1	0. 43
	蜂虻科 Bombyliidae	1	0. 02	1	0. 43
鳞翅目 Lepidoptera		1 150	17. 39	46	19. 91
	粉蝶科 Pieridae	687	10. 39	4	1. 73
	蛱蝶科 Nymphalidae	176	2. 66	4	1. 73
	灰蝶科 Lycaenidae	101	1. 53	4	1. 73
	弄蝶科 Hesperidae	39	0. 59	3	1. 30
	凤蝶科 Papilionidae	29	0. 44	5	2. 16
	眼蝶科 Satyridae	24	0. 36	3	1. 30
	草螟科 Crambidae	22	0. 33	4	1. 73
	鹿蛾科 Ctenuchidae	22	0. 33	2	0. 87
	斑蛾科 Zygaenidae	21	0. 32	2	0. 87
	绢蛾科 Scythrididae	9	0. 14	1	0. 43
	夜蛾科 Noctuidae	7	0. 11	4	1. 73
	螟蛾科 Pyralidae	4	0. 06	3	1. 30
	尺蛾科 Geometridae	3	0. 05	3	1. 30
	刺蛾科 Eucleridae	2	0. 03	1	0. 43
	毒蛾科 Lymantridae	2	0. 03	1	0. 43
	凤蛾科 Epicopeiidae	1	0. 02	1	0. 43
	卷蛾科 Tortricidae	1	0. 02	1	0. 43
膜翅目 Hymenoptera		426	6. 44	26	11. 26
	蚁科 Formicidae	280	4. 23	5	2. 16
	胡蜂科 Vespidae	68	1. 03	6	2. 60
	蜜蜂科 Apidae	50	0. 76	3	1. 30
	叶蜂科 Tenthredinidae	20	0. 30	5	2. 16
	姬蜂科 Ichneumonidae	3	0. 05	3	1. 30
	蛛蜂科 Pompilidae	3	0. 05	2	0. 87
	三节叶蜂科 Argidae	1	0. 02	1	0. 43
	土蜂科 Scoliidae	1	0. 02	1	0. 43
总计 Total		6 614	100. 00	231	100. 00

2.3 大丰区昆虫区系分析 该研究以蝴蝶类群作为代表,对大丰区昆虫区系进行统计分析^[5-6],如表 3。由表 3 可见,大丰区蝶类以广布种为主,占大丰区全部蝶类的 65. 22%;东洋种和古北种各 4 种,均占大丰全部蝶类的 17. 39%。

2.4 大丰区昆虫资源分析 根据昆虫食性和生活史以及与人类生产生活的关系,将捕食性昆虫(如中华大刀螳)和寄生

性昆虫(如赤眼蜂)归入天敌昆虫;将危害农作物和林木的昆虫归入农林害虫;将传播疾病、危害人类身体健康的昆虫归为卫生害虫;以路亚北^[11]在江苏药用昆虫资源概述中出现的 81 种药用昆虫名录为依据,将具有药用价值的昆虫归为药用昆虫;将植食性但对农作物和林地未造成损害的归为中性昆虫^[12]。

表 2 大丰区各网格昆虫物种多样性分析

Table 2 Analysis of insect species diversity in various grids in Dafeng District

项目 Item	物种丰 富度 Diversity index (S)	多样性指数 Richness index (H')	均匀 度指数 Evenness index (J)	优势 度指数 Dominance index (D)
最大值 Maximum	40	3.191 2	0.916 2	0.946 7
最小值 Minimum	10	1.785 1	0.663 5	0.770 8
中位数 Median	22	2.445 4	0.840 4	0.892 3
平均数 Average	22	2.529 6	0.834 9	0.905 1

表 3 大丰区蝶类区系组成

Table 3 Composition of butterflies in Dafeng District

地点 Site	东洋种 Oriental realm	广布种 Wide spread	古北种 Palearctic realm	合计 Total
大丰区 Dafeng District	4	15	4	23
江苏省 Jiangsu Province	88	67	24	179

经调查发现(表4),大丰地区共有农林害虫113种,占总种数的48.92%;天敌昆虫68种,占总种数的29.44%;药用昆虫20种,占总种数的8.66%;卫生害虫15种,占总种数的6.49%;中性昆虫36种,占总种数的15.58%。

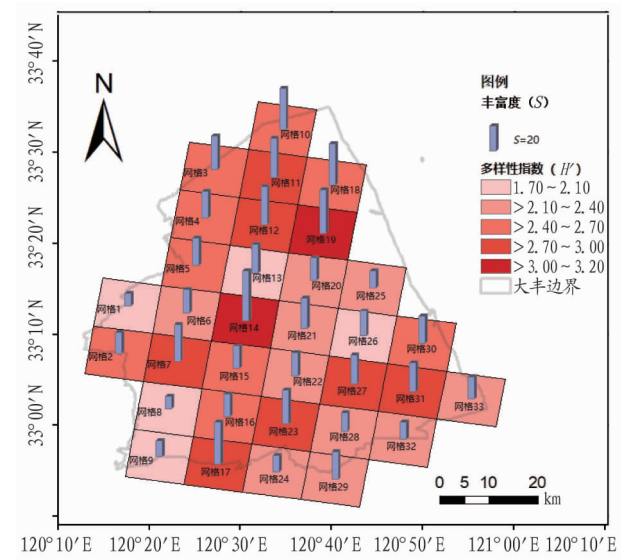


图 2 大丰区昆虫多样性分布格局

Fig. 2 Distribution pattern of insect diversity in Dafeng District

表 4 大丰区昆虫资源组成

Table 4 Composition of insect resources in Dafeng District

昆虫资源组成 Composition of insect resources	种数 Species	占比 Percent/%
农林害虫 Agricultural and forestry pests	113	48.92
天敌昆虫 Natural enemy insect	68	29.44
药用昆虫 Medicinal insect	20	8.66
卫生害虫 Health pests	15	6.49
中性昆虫 Neutral insects	36	15.58

注:一种昆虫可能扮演多个生态角色,如红蜻既为天敌昆虫,又为药用昆虫
Note: An insect may play multiple ecological roles. For example, Red Dragon is both a natural enemy insect and a medicinal insect

3 小结与讨论

生物多样性是城市可持续发展的基础,生物多样性本底调查是生物多样性保护的前提^[13]。如何保护昆虫的生物多样性是当前一个重要课题^[14]。该研究于2019年4—8月对大丰区的昆虫资源进行了系统调查,共调查到昆虫标本6614号,隶属于10目85科231种。菜粉蝶个体数量在大丰区各种生境中均占较大优势,可能是由于在此调查期间该生境区域的菜粉蝶正处于大发生时期。在我国南方,菜粉蝶危害盛期主要在每年的4—6和9—11月^[15],这也与该研究的调查时间相吻合。

许多研究结果证实,生境区域的景观格局与植物丰度对昆虫类群的生活和分布具有显著影响^[16-18]。通过此次调查,发现在大丰区植被丰富、蜜源较多、河道交错的生境,其昆虫分布较多,多样性丰富;反之,植物极少或单调,周围无蜜源植物及水源,地面硬质化严重的生境,昆虫则分布较少且多样性低下。例如,以物种丰富度和多样性指数最高的区域网格14和网格19为例,网格14位于大丰区城镇地区,其中的公园绿地、公共设施绿地栽培的各种草本、灌木、藤本及常绿木本植物,丰富的植被及多样化的景观格局为昆虫提供了丰富的食物及隐蔽场所,因此昆虫物种数和个体数量均较高。孟雪松等^[19]研究也表明,城区公共设施(大学校园)和居民绿地草本植物物种数和丰富度最高。网格19位于江苏省盐城湿地珍禽国家级自然保护区的南侧,该地区受人为干扰较小,水分充足,植被生长茂盛,因此昆虫多样性也较高。

在探讨大丰区昆虫区系构成时,以蝴蝶类群作为代表进行分析。蝶类是一个比较特殊的昆虫类群,它们往往个体较大,在踏查中易于发现及辨认,因此对该类群的群落结构调查精度较高,蝶类往往对环境变化也更为敏感且具有一定的迁飞能力^[20-24],常被用作监测和评价环境的指示生物^[25]。通过分析发现,大丰区蝶类物种整体以广布种为主,古北、东洋两界相互融合渗透。与江苏省蝶类区系对比发现,江苏省蝶类整体以东洋种占优,广布种次之,古北种最少^[6]。大丰区位于江苏省东部,东临黄海,属淤积平原,而江苏整体以平原为主,东洋界和古北界之间地形平坦、无天然的地理阻隔,因此容易形成南北种类混杂和过渡的局面。

昆虫是地球上最为繁盛的类群,它们对人类社会的生存和发展有着重要的影响。人类的生产生活特别是种植业和养殖业,都与昆虫有着极其密切的关系^[26]。根据人类的利益观,该研究对此次调查到的昆虫资源组成为5类,包括农林害虫、天敌昆虫、药用昆虫、卫生害虫和中性昆虫。大丰地区昆虫类群主要为农林害虫,天敌昆虫次之,大丰区生境类型主要以平原水田和平原旱地为主,众多的粮食作物为农业害虫提供了充足的食物和隐蔽场所。虽然农林害虫种类占大多数,但是数量并不多,未见某类害虫有大规模暴发的现象,并且大丰地区也存在相对丰富的捕食性和寄生性天敌等资源昆虫,因此大丰地区的农林害虫不足以危害粮食生产安全。大丰区也存在较多的资源昆虫可以利用,如黄蜻、红蜻等干燥成虫可入药,具有补肾益精、清热解毒的功效;中华

螳螂干燥卵鞘入药,具有定惊止痛、缩尿止带等功效^[11];美洲大蠊既可入药亦可大量饲养处理厨余垃圾等^[27]。

总体而言,大丰区昆虫类群结构完整,多样性丰富,物种区系组成以广布种为主,东洋、古北两界相互交融,体现出我国东部平原南北物种交汇分布的特点,常见物种也均为本地土著物种,但也存在某些物种分布区域较窄且数量较低。因此要做好后续监管保护工作,提高生境质量,增加不同植被的覆盖度,依法加强农药销售、使用的安全管理,从而提高昆虫类群群落稳定性。

参考文献

- [1] FOOTITT R G, ADLER P H. Insect biodiversity: Science and society; Volume II[M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2018.
- [2] SAMWAYS M J. Insects in biodiversity conservation: Some perspectives and directives[J]. Biodiversity & conservation, 1993, 2(3): 258-282.
- [3] 李玉杰, 张晋东, 白文科, 等. 北京不同功能绿地昆虫群落组成和生物多样性特征[J]. 生态环境学报, 2018, 27(6): 1044-1051.
- [4] 王珊珊, 欧克芳, 夏文胜, 等. 武汉市湿地公园昆虫群落多样性及季节动态研究[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(3): 265-276.
- [5] 虞蔚岩, 李朝晖, 黄成, 等. 江苏南京地区蜻蜓目(Odonata)昆虫区系及多样性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(5): 514-521.
- [6] 李朝晖, 陈建秀, 黄诚, 等. 江苏省蝶类名录及分布研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(4): 73-78.
- [7] 黄(渤)海候鸟栖息地(第一期)正式列入世界遗产名录[Z]. 新华社, 2019-07-15.
- [8] 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, 42(3): 338-340.
- [9] 韩争伟, 马玲, 曹传旺, 等. 太湖湿地昆虫群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4387-4397.
- [10] 李志刚, 张碧胜, 翟欣, 等. 广州不同生境类型区域昆虫多样性[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 357-362.
- [11] 路亚北. 江苏药用昆虫资源概述[J]. 江苏林业科技, 2004, 31(2): 44-48.
- [12] 刘雨芳, 古德祥. 稻田中性昆虫多样性及其生态功能分析[J]. 中国生物防治, 2002, 18(4): 149-152.
- [13] 武建勇, 薛达元, 赵富伟, 等. 中国生物多样性调查与保护研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(2): 146-151.
- [14] FATTORINI S. Insect rarity, extinction and conservation in urban Rome (Italy): A 120-year-long study of tenebrionid beetles[J]. Insect conservation and diversity, 2011, 4(4): 307-315.
- [15] 黄文功, 张树权, 刘岩, 等. 小菜蛾和菜粉蝶田间药效评价[J]. 黑龙江农业科学, 2019(10): 56-58.
- [16] MINOR E S, ANDERSON E C, BELAIRE J A, et al. Urban green infrastructures and ecological networks for urban biodiversity conservation[M]//OSSOLA A, NIEMELÄ J. Urban biodiversity: From research to practice. London: Routledge, 2017: 186-199.
- [17] FRANKIE G, PAWELEK J, CHASE M H, et al. Native and non-native plants attract diverse bees to urban gardens in California[J]. Journal of pollination ecology, 2019, 25(3): 16-23.
- [18] 蒋智林, 邓丹丹, 刘万学, 等. 紫茎泽兰入侵对不同植物群落类型中昆虫多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(12): 2008-2015.
- [19] 孟雪松, 欧阳志云, 崔国发, 等. 北京城市生态系统植物种类构成及其分布特征[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2200-2206.
- [20] SAARINEN K. A comparison of butterfly communities along field margins under traditional and intensive management in SE Finland[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2002, 90(1): 59-65.
- [21] NELSON S M. The Western Viceroy butterfly (Nymphalidae: *Limenitis archippus* obsoleta): An indicator for riparian restoration in the arid south-western United States? [J]. Ecological indicators, 2003, 3(3): 203-211.
- [22] BARLOW J O S, OVERAL W L, ARAUJO I S, et al. The value of primary, secondary and plantation forests for fruit-feeding butterflies in the Brazilian Amazon[J]. Journal of applied ecology, 2007, 44(5): 1001-1012.
- [23] KOH L P. Impacts of land use change on South-east Asian forest butterflies: A review[J]. Journal of applied ecology, 2007, 44(4): 703-713.
- [24] UEHARA-PRADO M, BROWN K S, JR, FREITAS A V L. Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest: Comparison between a fragmented and a continuous landscape[J]. Global ecology and biogeography, 2007, 16(1): 43-54.
- [25] 张帆, 李姝, 王魁. 可持续利用天敌昆虫防治设施蔬菜害虫的进展及模式创新[J]. 农业工程技术, 2017, 37(31): 16-20.
- [26] 魏美才, 聂海燕. 昆虫资源学与昆虫资源管理初论[J]. 中南林业学院学报, 1998, 18(4): 82-87.
- [27] 郭建军, 檀军, 张平. 贵州省药用昆虫名录[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(2): 51-65.

(上接第 52 页)

- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010 年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 265-266.
- [3] 李桂峰, 李进进, 许继勇, 等. 铁皮石斛研究综述[J]. 中药材, 2010, 33(1): 150-153.
- [4] VELLUPILLAI M, SWARUP S, GOH C J. Histological and protein changes during early stages of seed germination in the orchid, *Dendrobium crumenatum*[J]. The journal of horticultural science, 1997, 72(6): 941-948.
- [5] 金银兵. 铁皮石斛的生物学特性与开花授粉技术研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5280-5282.
- [6] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书——稀有濒危植物[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 492-493.
- [7] 赵天榜, 陈志秀, 陈占宽, 等. 石斛组织培养与栽培技术的研究[J]. 河南农业大学学报, 1994, 28(2): 128-133.
- [8] 莫昭展, 贝学军, 覃贵毕, 等. 铁皮石斛丛生芽增殖研究[J]. 西北林业

学院学报, 2008, 23(6): 104-107.

- [9] 张书萍, 白石, 陈丽静. 铁皮石斛的组织培养与快速繁殖[J]. 辽宁农业科学, 2008(6): 12-15.
- [10] 施丰华, 王海波, 张瑞西, 等. LED 对植物生长促进作用的研究进展[J]. 中国照明电器, 2011(3): 1-4.
- [11] 张勤, 陈卫军, 唐文林, 等. 灵武长枣日光温室环境因子变化规律研究[J]. 宁夏农林科技, 2010(1): 13-14.
- [12] 惠婕, 杜静, 黄丛林, 等. 植物光敏色素的研究进展[J]. 北方园艺, 2010(7): 203-205.
- [13] 王蒂, 陈劲枫. 植物组织培养[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 54-55.
- [14] 鲍顺淑. 密闭式植物工厂中药用铁皮石斛组培生产的适宜光照环境[D]. 北京: 中国农业大学, 2007: 1-79.
- [15] 白美发, 黄敏. 铁皮石斛组培技术研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 15802-15803.