

海南省三沙市空中昆虫类群结构研究*

周先涌^{1,2**} 赵胜园² 陈少健³ 蔡波⁴ 唐海荣³ 吴孔明^{2***}

(1. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100093; 3. 三沙市气象局, 三沙 573199; 4. 海口海关, 海口 570311)

摘要 【目的】监测研究我国南海地区岛礁空中飞行昆虫群落结构, 为探明该地区昆虫迁飞路径, 建立重大农业迁飞性害虫跨区域转移危害测报系统提供依据。【方法】2017-2018 年在海南省三沙市永兴岛建立监测平台, 利用高空测报灯系统对永兴岛空中昆虫实时监测, 并采集标本鉴定种类。【结果】目前已鉴定 214 种, 隶属 11 目 70 科 183 属。主要类群为鳞翅目 90 种 (42.06%)、半翅目 42 种 (19.63%)、鞘翅目 36 种 (16.82%), 包括稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、小地老虎 *Agrotis ipsilon*、小菜蛾 *Plutella xylostella*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 等多种重要的迁飞性害虫, 以及中华草蛉 *Chrysoperla sinica*、黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 和黄蜻 *Pantala flavescens* 等迁飞性天敌昆虫。【结论】研究结果证实了多种重大害虫在南海区域跨海迁飞转移危害和天敌随迁行为, 丰富了对南海地区昆虫种群结构和物种多样性的认知。

关键词 永兴岛; 昆虫; 群落结构; 迁飞

Diversity of airborne insects in Sansha City, Hainan Province

ZHOU Xian-Yong^{1,2**} ZHAO Sheng-Yuan² CHEN Shao-Jian³
CAI Bo⁴ TANG Hai-Rong³ WU Kong-Ming^{2***}

(1. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 3. Sansha Meteorological Administration, Sansha 573199, China; 4. Haikou Customs, Haikou 570311, China)

Abstract [Objectives] Monitoring the species composition and migratory pathways of airborne insects on islands in the South China Sea can provide evidence of between-country migration of insect pests and help predict outbreaks of important agricultural insect pests in this region. [Methods] A monitoring platform was established on Yongxing Island, Sansha City, Hainan Province. One vertical search-light trap was used to collect aerial insect samples in real time from 2017 to 2018. [Results] A total of 214 insect species were identified belonging to 11 orders, 70 families and 183 genera. The main groups were the Lepidoptera (90 species, 42.06%), Hemiptera (42 species, 19.63%) and Coleoptera (36 species, 16.82%), and included many important migratory pests, such as *Cnaphalocrocis medinalis*, *Agrotis ipsilon*, *Plutella xylostella*, *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*, as well as migratory natural enemies, such as *Chrysoperla sinica*, *Cyrtorhinus lividipennis* and *Pantala flavescens* etc. [Conclusion] These results confirm that many insects undertake regular migratory activity between countries in the South China Sea, and improves our understanding of insect community structure and species diversity in the South China Sea.

Key words Yongxing Island; insect; community structure; migration

昆虫群落结构反映了一定自然区域内昆虫种群之间、昆虫与环境之间的互作过程, 是昆虫群落的重要特征之一 (庞雄飞和尤民生, 1996)。随着高空测报灯、昆虫雷达、气象雷达等研究工

*资助项目 Supported projects: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-15-19); 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2017056)

**第一作者 First author, E-mail: ZhouXY160721@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: E-mail: wukongming@caas.cn

收稿日期 Received: 2018-12-10; 接受日期 Accepted: 2019-02-25

具的投入使用,昆虫群落研究也由地面向空域拓展。高丽娜等(2013)利用高空探照灯诱虫器分析了豫北空中昆虫群落的结构和优势种,明确了棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 在豫北害虫昆虫群落中的优势地位;姜玉英等(2016, 2018)在2014-2017 年利用高空测报灯对全国粘虫 *Mythimna separata* 种群进行系统监测,阐释了我国粘虫的周年区域动态,并提出东南亚等境外国家是我国粘虫的重要虫源地的推断。英国洛桑试验站 Chapman 团队利用昆虫雷达发现英国南部地区 150 m 以上高空每年都存在高达 3 200 吨的昆虫生物量流动,且具有明显的季节性差异,秋季南迁昆虫生物量高出春季北迁昆虫生物量近 200 吨(Hu *et al.*, 2016)。迁飞是昆虫应对不良栖息环境而采取的一种生活史策略,迁飞性昆虫是空中昆虫群落的重要组成部分(Dingle and Drake, 2007)。空中昆虫生物量的季节性流动既是实现营养物质、能量、病原微生物的区域转移的重要途径(Hu *et al.*, 2016),也是导致病虫害异地爆发的重要原因(程遐年, 1992)。迁飞性害虫是影响中国水稻、小麦、玉米和棉花等多种作物生产的重要因素(吴孔明, 2018),已有研究证实许多重大农业害虫跨越渤海在不同区域间远距离迁飞,包括棉铃虫(Feng *et al.*, 2003)、小地老虎 *Agrotis ipsilon* (Liu *et al.*, 2015)、黄地老虎 *Agrotis segetum* (Guo *et al.*, 2015)、甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* (Wu *et al.*, 2015)、旋幽夜蛾 *Scotogramma trifolii* (He *et al.*, 2018)和宽胫夜蛾 *Protoschinia scutosa* (Zhao *et al.*, 2018)等。因此,研究明确中国南部海域空中昆虫群落结构组成和种群迁飞规律,对揭示中国迁飞性害虫成灾机制和建设区域性监测预警与控制技术体系有重要意义。

永兴岛(16°50.1'N, 112°19.8'E)是我国海南省三沙市政府驻地,地处我国南海北部海域,是西沙群岛最大的岛屿,面积 2.13 平方公里,属热带季风海洋性气候(孙立广等, 2005;黄清臻, 2017)。永兴岛无耕地和露天农作物种植,是开展迁飞性昆虫监测研究的理想之地。前人已

开展过永兴岛昆虫种类的调查工作(李桂祥和蔡邦华, 1976;印象初, 1979;朱康乐等, 1981;黄为良和肖森, 1985;章士美等, 1985;黄佳亮等, 1996;王树叶, 2011;王琰等, 2014),但都未涉及岛上空中昆虫群落的监测。

1 材料与方法

1.1 诱虫装置

高空测报灯诱捕器的设计参照封洪强(2003)。光源采用 1 000 W JLZ 型金属卤化物灯(光通量 90 000 lm、色温 4 000 K、显色指数 65, 上海亚明照明有限公司),与 GT75 型探照灯具配套使用,倒置于直径 1 m 的镀锌铁皮漏斗上,可产生>500 m 的垂直强光束,可有效诱集地面以上至 500 m 高空的空中飞行昆虫,底部用尼龙网袋(60 目)收集诱虫(Feng *et al.*, 2003)。

1.2 样本采集与鉴定

高空测报灯放置于三沙市气象局观测场(图 1),周围无高大建筑物、林木及强光源干扰。从 2017 年 2 月 28 日开始监测至 2018 年 10 月下旬(极端天气或停电除外),每天日落开灯,次日日出关灯并将诱虫网袋放于 -20℃ 冰柜冷冻处理 4 h。随后对昆虫样本进行分类和标本制作(针插标本和浸渍标本),并保存于标本盒以备鉴定。常见种类鉴定工作在永兴岛完成,非常见种类请国内相关类群专家帮助鉴定或复核。



图 1 永兴岛高空诱虫灯实物图

Fig. 1 Vertical search-light trap on Yongxing Island

2 结果与分析

2.1 鳞翅目 Lepidoptera

共计 16 科 70 属 90 种 (亚种) (表 1)。其中, 夜蛾科 Noctuidae 34 种, 占 37.78%; 天蛾科 Sphingidae 14 种, 占 15.56%; 草螟科 Crambidae

13 种, 占 14.44%; 灯蛾科 Arctiidae 8 种, 占 8.89%; 目夜蛾科 Erebidiae 5 种, 占 5.56%; 尺蛾科 Geometridae 3 种, 占 3.33%; 螟蛾科 Pyralidae 2 种, 占 2.22%; 蛱蝶科 Nymphalidae 2 种 1 亚种, 占 3.33%。

表 1 鳞翅目高空灯诱昆虫名录

Table 1 Catalogue of Lepidoptera insects captured by vertical search-light tarp on Yongxing Island

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
小地老虎 <i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel, 1766)	地夜蛾属 <i>Agrotis</i>	夜蛾科 Noctuidae	1-3 月, 6 月, 10 月, 12 月
干煞夜蛾 <i>Anticarsia irrorata</i> (Fabricius, 1781)	干煞夜蛾属 <i>Anticarsia</i>		
银纹夜蛾 <i>Ctenoplusia agnata</i> (Staudinger, 1892)	梳状夜蛾属 <i>Ctenoplusia</i>		1-12 月
白条夜蛾 <i>Ctenoplusia albostrata</i> (Bremer et Grey, 1853)			3 月, 9-10 月
马蹄二色夜蛾 <i>Dichromia sagitta</i> (Fabricius, 1775)	二色夜蛾属 <i>Dichromia</i>		7 月
棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner, [1808])	铃夜蛾属 <i>Helicoverpa</i>		1-11 月
烟青虫 <i>Helicoverpa assulta</i> (Guenée, 1852)			1-3 月, 5 月, 7-12 月
白点粘夜蛾 <i>Leucania loreyi</i> (Duponchel, 1827)	粘夜蛾属 <i>Leucania</i>		1-12 月
白脉粘夜蛾 <i>Leucania venalba</i> (Moore, 1867)			7 月
银锭夜蛾 <i>Macdunnoughia crassisigna</i> (Warren, 1913)	银锭夜蛾属 <i>Macdunnoughia</i>		1-12 月
暗灰秘夜蛾 <i>Mythimna consanguis</i> (Guenée, 1852)	秘夜蛾属 <i>Mythimna</i>		1-12 月
粘虫 <i>Mythimna separata</i> (Walker, 1865)			10, 12 月
肖金夜蛾 <i>Plusiodonta coelonota</i> (Kollar, 1844)	肖金夜蛾属 <i>Plusiodonta</i>		10 月
尖纹幻夜蛾 <i>Sasunaga apiciplaga</i> Warren, 1912	幻夜蛾属 <i>Sasunaga</i>		10 月
长斑幻夜蛾 <i>Sasunaga longiplaga</i> Warren, 1912			1 月, 10 月
圆灰翅夜蛾 <i>Spodoptera cilium</i> Guenée, 1852	灰翅夜蛾属 <i>Spodoptera</i>		1-12 月
甜菜夜蛾 <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner, 1808)			4-10 月
斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i> (Fabricius, 1775)			1-12 月
灰翅夜蛾 <i>Spodoptera mauritia</i> (Boisduval, 1833)			5-10 月
拟中金翅夜蛾 <i>Thysanoplusia orichalcea</i> (Fabricius, 1775)	金杂翅夜蛾属 <i>Thysanoplusia</i>		1 月, 3 月
网纹夜蛾 <i>Thysanoplusia reticulata</i> (Moore, 1882)			9-10 月
分夜蛾 <i>Trigonodes hyppasia</i> (Cramer, 1779)	分夜蛾属 <i>Trigonodes</i>		1-12 月
三角夜蛾 <i>Chalciope mygdon</i> (Cramer, 1777)	三角夜蛾属 <i>Chalciope</i>		1-12 月
实毛胫夜蛾 <i>Mocis frugalis</i> (Fabricius, 1775)	毛胫夜蛾属 <i>Mocis</i>		6 月, 9-10 月
毛胫夜蛾 <i>Mocis undata</i> (Fabricius, 1775)			6 月, 9-10 月
粉斑夜蛾 <i>Trichoplusia ni</i> (Hübner, [1803])	粉纹夜蛾属 <i>Trichoplusia</i>		9-10 月
黄夜蛾 <i>Xanthodes albago</i> (Fabricius, 1794)	黄夜蛾属 <i>Xanthodes</i>		
象夜蛾 <i>Grammodes geometrica</i> (Fabricius, 1775)	象夜蛾属 <i>Grammodes</i>		7-8 月, 10 月

续表 1 (Table 1 continued)

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
暗艳叶夜蛾 <i>Eudocima cajeta</i> (Cramer, 1775)	艳叶夜蛾属 <i>Eudocima</i>		8 月
艳叶夜蛾 <i>Eudocima salamina</i> (Cramer, 1777)			10 月
钩鹰夜蛾 <i>Hypocala rostrata</i> (Fabricius, 1794)	鹰夜蛾属 <i>Hypocala</i>		10 月
苹梢鹰夜蛾 <i>Hypocala subsatura</i> Guenée, 1852			9-10 月
佩夜蛾 <i>Oxyodes scrobiculata</i> (Fabricius, 1775)	佩夜蛾属 <i>Oxyodes</i>		9, 10 月份
庸肖毛翅夜蛾 <i>Thyas junco</i> (Dalman, 1823)	肖毛翅夜蛾属 <i>Thyas</i>		9 月
鬼脸天蛾 <i>Acherontia lachesis</i> (Fabricius, 1798)	面形天蛾属 <i>Acherontia</i>	天蛾科 Sphingidae	1-12 月
芝麻鬼脸天蛾 <i>Acherontia styx</i> Westwood, 1848			8-10 月
甘薯天蛾 <i>Agrius convolvuli</i> (Linnaeus, 1758)	薯天蛾属 <i>Agrius</i>		1-12 月
鹰翅天蛾 <i>Ambulyx ochracea</i> Butler, 1885	鹰翅天蛾属 <i>Ambulyx</i>		6 月
咖啡透翅天蛾 <i>Cephonodes hylas</i> (Linnaeus, 1771)	透翅天蛾属 <i>Cephonodes</i>		4 月, 6 月, 10 月
芒果天蛾 <i>Compsogene panopus</i> (Cramer, 1779)	芒果天蛾属 <i>Compsogene</i>		
夹竹桃天蛾 <i>Daphnis nerri</i> (Linnaeus, 1758)	白腰天蛾属 <i>Daphnis</i>		1-2 月, 4-5 月, 8 月, 11-12 月
云斑斜线天蛾 <i>Hippotion velox</i> (Fabricius, 1973)	斜线天蛾属 <i>Hippotion</i>		1-12 月
九节木长喙天蛾 <i>Macroglossum heliophila</i> Boisduval, 1875	长喙天蛾属 <i>Acroglossum</i>		10 月
黑长喙天蛾 <i>Macroglossum pyrrhosticta</i> Butler, 1875			9-10 月
北京长喙天蛾 <i>Macroglossum saga</i> Butler, 1878			
霜天蛾 <i>Psilogramma menephron</i> (Cramer, 1780)	霜天蛾属 <i>Psilogramma</i>		6-8 月
雀纹天蛾 <i>Theretra japonica</i> (Boisduval, 1869)	斜纹天蛾属 <i>Theretra</i>		1-12 月
青背斜纹天蛾 <i>Theretra nessus</i> (Drury, 1773)			10 月
亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i> (Guenée, 1854)	秆野螟属 <i>Ostrinia</i>	草螟科 Crambidae	6-8 月, 10 月
三化螟 <i>Scirpophaga incertulas</i> (Walker, 1863)	白禾螟属 <i>Scirpophaga</i>		8 月
稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> (Guenée, 1854)	纵卷叶野螟 <i>Cnaphalocrocis</i>		1-3 月, 5-12 月
瓜绢野螟 <i>Diaphania indica</i> (Saunders, 1851)	绢野螟属 <i>Diaphania</i>		1-12 月
菜螟 <i>Hellula undalis</i> (Fabricius, 1781)	野螟属 <i>Hellula</i>		8-10 月
豆荚野螟 <i>Maruca vitrata</i> (Fabricius, 1787)	豆荚野螟属 <i>Maruca</i>		5 月, 9 月
麦牧野螟 <i>Nomophila noctuella</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	牧野螟属 <i>Nomophila</i>		4 月, 9-10 月
黄环绢须野螟 <i>Palpita annulata</i> (Fabricius, 1794)	绢须野螟属 <i>Palpita</i>		9-10 月
绿翅绿野螟 <i>Parotis athysanota</i> (Hampson, 1912)	绿野螟属 <i>Parotis</i>		5-12 月
褐缘绿野螟 <i>Parotis marginata</i> (Hampson, 1893)			1-5 月, 8-12 月
白斑黑野螟 <i>Pygospila tyres</i> (Cramer, 1780)	黑野螟属 <i>Pygospila</i>		6 月
甜菜青野螟 <i>Spoladea recurvalis</i> (Fabricius, 1775)	青野螟属 <i>Spoladea</i>		1-12 月
火红环角野螟 <i>Syngamia floridalis</i> (Zeller, 1852)	环角野螟属 <i>Syngamia</i>		7 月
枯安钮夜蛾 <i>Ophiura coronata</i> (Fabricius, 1775)	安钮夜蛾属 <i>Ophiura</i>	目夜蛾科 Erebidae	7-8 月, 10 月
同安钮夜蛾 <i>Ophiura disjungens</i> (Walker, 1858)			

续表 1 (Table 1 continued)

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
飞扬阿夜蛾 <i>Achaea janata</i> (Linnaeus, 1758)	阿夜蛾属 <i>Achaea</i>		1-12 月
棉小造桥虫 <i>Anomis flava</i> (Fabricius, 1775)	桥夜蛾属 <i>Anomis</i>		1-12 月
超桥夜蛾 <i>Anomis fulvida</i> Guenée, 1852			10 月
纹散灯蛾 <i>Argina argus</i> (Kollar, 1844)	散灯蛾属 <i>Argina</i>	灯蛾科 Arctiidae	1 月, 2 月, 4 月
一点拟灯蛾 <i>Asota caricae</i> (Fabricius, 1775)	拟灯蛾属 <i>Asota</i>		6-9 月
榕拟灯蛾 <i>Asota ficus</i> Fabricius, 1775			9 月
八点灰灯蛾 <i>Cretonotos transiens</i> (Walker, 1855)	灰灯蛾属 <i>Cretonotos</i>		10 月
铅拟灯蛾 <i>Euplocia memblaria</i> (Cramer, 1780)	铅拟灯蛾属 <i>Euplocia</i>		8 月
闪拟灯蛾 <i>Neochera dominia</i> (Cramer, 1780)	闪拟灯蛾属 <i>Neochera</i>		
粉蝶灯蛾 <i>Nyctemera adversata</i> (Schaller, 1788)	蝶灯蛾属 <i>Nyctemera</i>		2 月
美星灯蛾梳角亚种 <i>Utetheisa pulchelloides pectinata</i> Hampson, 1907	星灯蛾属 <i>Utetheisa</i>		1-10 月
豆荚斑螟 <i>Etiella zinckenella</i> (Treitschke, 1832)	荚斑螟属 <i>Etiella</i>	螟蛾科 Pyralidae	9-10 月
大蜡螟 <i>Galleria mellonella</i> (Linnaeus, 1758)	蜡螟属 <i>Galleria</i>		2 月, 4-6 月
樟翠尺蛾 <i>Thalassodes quadraria</i> (Guenée, 1857)	樟翠尺蛾属 <i>Thalassodes</i>	尺蛾科 Geometridae	4-5 月, 8-10 月
缺口姬尺蛾 <i>Traminda avertiaria</i> (Guenée, [1858])	姬尺蛾属 <i>Traminda</i>		6-7 月
小四点波姬尺蛾 <i>Idaea trisetata</i> (Prout, 1922)	波姬尺蛾属 <i>Idaea</i>		
双线盗毒蛾 <i>Porthesia scintillans</i> (Walker, 1856)	盗毒蛾属 <i>Porthesia</i>	毒蛾科 Lymantriidae	
费氏灰白蚕蛾 <i>Trilocha friedeli</i> Dierl, 1978	灰白蚕蛾属 <i>Trilocha</i>	蚕蛾科 Bombycidae	1-5 月, 11-12 月
多斑豹蠹蛾 <i>Zeuzera multistrigata</i> Moore, 1881	豹蠹蛾属 <i>Zeuzera</i>	木蠹蛾科 Cossidae	
扁刺蛾 <i>Thosea sinensis</i> (Walker, 1855)	扁刺蛾属 <i>Thosea</i>	刺蛾科 Limacodidae	5 月
分月扇舟蛾 <i>Clostera anastomosis</i> (Linnaeus, 1758)	扇舟蛾属 <i>Clostera</i>	舟蛾科 Notodontidae	7 月
小菜蛾 <i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus, 1758)	菜蛾属 <i>Plutella</i>	菜蛾科 Plutellidae	1-12 月
波蛱蝶海南亚种 <i>Ariadne ariadne altenus</i> (Moore, 1878)	波蛱蝶属 <i>Ariadne</i>	蛱蝶科 Nymphalidae	
翠袖锯眼蝶海南亚种 <i>Elymnias hypermnestra hainana</i> Moore, 1878	锯眼蝶属 <i>Elymnias</i>		
金斑蛱蝶 <i>Hypolimnas misippus</i> (Linnaeus, 1764)	斑蛱蝶属 <i>Hypolimnas</i>		
毛眼灰蝶 <i>Zizina otis</i> (Fabricius, 1787)	毛眼灰蝶属 <i>Zizina</i>	灰蝶科 Lycaenidae	8 月
迁粉蝶指名亚种 <i>Catopsilia pomona pomona</i> (Fabricius, 1775)	迁粉蝶属 <i>Catopsilia</i>	粉蝶科 Pieridae	

2.2 半翅目 Hemiptera

共计 13 科, 38 属, 42 种 (亚种) (表 2)。其中, 飞虱科 Delphacidae 17 种, 占 40.48%; 蝽

科 Pentatomidae 5 种, 占 11.90%; 叶蝉科 Cicadellidae 4 种, 占 9.52%; 盲蝽科 Miridae 4 种, 占 9.52%; 地长蝽科 Rhyparochromidae 3 种, 占 7.14%; 缘蝽科 Coreidae 2 种, 占 4.76%。

表 2 半翅目高空灯诱昆虫名录

Table 2 Catalogue of Hemiptera insects captured by vertical search-light tarp on Yongxing Island

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
锚纹二星蝽 <i>Eysarcoris montivagus</i> Distant, 1904	二星蝽属 <i>Eysarcoris</i>	蝽科 Pentatomidae	1-4 月, 6-9 月, 11-12 月
稻绿蝽 <i>Nezara viridula</i> (Linnaeus, 1758)	绿蝽属 <i>Nezara</i>		1 月, 3-11 月
豆壁蝽 <i>Piezodorus hybneri</i> (Gmelin, 1790)	壁蝽属 <i>Piezodorus</i>		9 月
珀蝽 <i>Plautia crossota</i> (Dallas, 1851)	珀蝽属 <i>Plautia</i>		1-11 月
突蝽 <i>Udonga spinidens</i> Distant, 1921	突蝽属 <i>Udonga</i>		5 月
绿盲蝽 <i>Apolygus lucorum</i> (Meyer-Dür, 1843)	后丽盲蝽属 <i>Apolygus</i>	盲蝽科 Miridae	3-10 月
黑肩绿盲蝽 <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> Reuter, 1884	盔盲蝽属 <i>Cyrtorhinus</i>		3-10 月
统帅军配盲蝽 <i>Stethoconus praefectus</i> (Distant, 1909)	军配盲蝽属 <i>Stethoconus</i>		1-10 月
中华淡翅盲蝽 <i>Tytthus chinensis</i> (Stål, 1860)	淡翅盲蝽属 <i>Tytthus</i>		9-10 月
凹缘菱纹叶蝉 <i>Hishimonus sellatus</i> (Uhler, 1896)	菱纹叶蝉属 <i>Hishimonus</i>	叶蝉科 Cicadellidae	5-10 月
电光纹叶蝉 <i>Recilia dorsalis</i> Motschulsky, 1859	纹叶蝉属 <i>Recilia</i>		7-8 月
黑尾叶蝉 <i>Nephotettix cincticeps</i> (Uhler, 1896)	黑尾叶蝉属 <i>Nephotettix</i>		9 月
二点黑尾叶蝉 <i>Nephotettix virescens</i> (Distant, 1908)			9 月
六斑微长蝽 <i>Botocudo formosanus</i> (Hidaka, 1959)	微长蝽属 <i>Botocudo</i>	地长蝽科 Rhyparochromidae	6-10 月
白斑地长蝽 <i>Panaorus albomaculatus</i> (Scott, 1874)	斑地长蝽属 <i>Panaorus</i>		1-12 月
圆眼长蝽 <i>Pseudopachybrachius guttus</i> (Dallas, 1852)	圆眼长蝽属 <i>Pseudopachybrachius</i>		1-10 月
稻棘缘蝽 <i>Cletus punctiger</i> (Dallas, 1852)	棘缘蝽属 <i>Cletus</i>	缘蝽科 Coreidae	7-8 月, 11 月
刺副黛缘蝽 <i>Paradasynus spinosus</i> Hsiao, 1963	副黛缘蝽属 <i>Paradasynus</i>		12 月
红彩瑞猎蝽 <i>Rhynocoris fuscipes</i> (Fabricius, 1787)	瑞猎蝽属 <i>Rhynocoris</i>	猎蝽科 Reduviidae	
黄螳蛄 <i>Platypleura hilpa</i> Walker, 1850	螳蛄属 <i>Platypleura</i>	蝉科 Cicadidae	1 月, 4-9 月
小斑红蝽 <i>Physopelta cincticollis</i> Stål, 1863	斑红蝽属 <i>Physopelta</i>	红蝽科 Pyrrhocoridae	3 月
角盾蝽 <i>Cantao ocellatus</i> (Thunberg, 1784)	角盾蝽属 <i>Cantao</i>	盾蝽科 Scutelleridae	10 月
香蕉冠网蝽 <i>Stephanitis typic</i> (Distant, 1903)	冠网蝽属 <i>Stephanitis</i>	网蝽科 Tingidae	1-11 月
黑点纹翅飞虱 <i>Cemus nigromaculosus</i> (Muir, 1917)	纹翅飞虱属 <i>Cemus</i>	飞虱科 Delphacidae	1-9 月, 12 月
索特纹翅飞虱 <i>Cemus sauteri</i> (Muir, 1917)			3 月, 6-7 月, 9 月, 11 月
乳翅小飞虱 <i>Horcoma colorata lacteipennis</i> (Muir, 1971)	小飞虱属 <i>Horcoma</i>		8 月
小宽头飞虱 <i>Ishiharodelphax matsuyamensis</i> (Ishibara, 1952)	宽头飞虱属 <i>Ishiharodelphax</i>		1 月, 4-10 月
灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallén, 1826)	灰飞虱属 <i>Laodelphax</i>		4-11 月
黑边梅塔飞虱 <i>Metadelphax propinqua</i> (Fieber, 1866)	梅塔飞虱属 <i>Metadelphax</i>		1-11 月
褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål, 1854)	褐飞虱属 <i>Nilaparvata</i>		3-12 月
瓶额飞虱 <i>Numata muii</i> (Kirkaldy, 1907)	瓶额飞虱属 <i>Numata</i>		5 月, 7 月

续表 2 (Table 2 continued)

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
黑皱茎飞虱 <i>Opiconsiva nigra</i> Ding et Tian, 1980	皱茎飞虱属 <i>Opiconsiva</i>		7-9 月
黑距扁角飞虱 <i>Perkinsiella bakeri</i> Muir, 1916	扁角飞虱属 <i>Perkinsiella</i>		7-8 月
喙头飞虱 <i>Sardia rostrata</i> Melichar, 1903	喙头飞虱属 <i>Sardia</i>		7-9 月
白背飞虱 <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth, 1899)	白背飞虱属 <i>Sogatella</i>		3-11 月
烟翅白背飞虱 <i>Sogatella kolophon</i> (Kirkaldy, 1907)			1 月, 3 月, 5-10 月
稗飞虱 <i>Sogatella vibix</i> (Haupt, 1927)			8 月, 10 月
长突宽片飞虱 <i>Syndelphax disonimos</i> (Kirkaldy, 1907)	宽片飞虱属 <i>Syndelphax</i>		1-5 月, 7-12 月
丽中带飞虱 <i>Tagosodes pusanus</i> (Distant, 1912)	中带飞虱属 <i>Tagosodes</i>		7-9 月
黑面托亚飞虱 <i>Toya terryi</i> (Muir, 1917)	托亚飞虱属 <i>Toya</i>		7-9 月
拱弧角蝉 <i>Leptocentrus arcuatus</i> Funkhouser, 1927	弧角蝉属 <i>Leptocentrus</i>	角蝉科 Membracidae	5 月, 7 月
银合欢异木虱 <i>Heteropsylla cubana</i> Crawford, 1914	异木虱属 <i>Heteropsylla</i>	木虱科 Psyllidae	10 月

2.3 鞘翅目 Coleoptera

共计 15 科 31 属 36 种 (亚种) (表 3)。其中, 步甲科 Carabidae 5 种, 占 13.89%; 天牛科 Cerambycidae 4 种, 占 11.11%; 叩甲科 Elateridae 4 种, 占 11.11%; 金龟甲科 Scarabaeidae 3 种, 占 8.33%; 叶甲科 Chrysomelidae 3 种, 占 8.33%; 瓢虫科 Coccinellidae 3 种, 占 8.33%; 长蠹科 Bostrichidae 2 种, 占 5.56%; 豆象科 Bruchidae 2 种, 占 5.56%; 龙虱科 Dytiscidae 2 种, 占 5.56%; 小蠹科 Scolytidae 2 种, 占 5.56%; 虎甲科

Cicindelidae 2 种, 占 5.56%。

2.4 其他

其他昆虫种类共计 8 目 26 科 44 属 46 种 (亚种) (表 4)。其中, 直翅目 Orthoptera 11 种, 占 23.91%; 双翅目 Diptera 10 种, 占 21.74%; 蜚蠊目 Blattodea 7 种, 占 15.22%; 膜翅目 Hymenoptera 6 种, 占 13.04%; 蜻蜓目 Odonata 6 种, 占 13.04%; 脉翅目 Neuroptera 4 种, 占 8.70%。

表 3 鞘翅目高空灯诱昆虫名录

Table 3 Catalogue of Coleoptera insects captured by vertical search-light trap on Yongxing Island

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
隐线角步甲 <i>Aephnidius adelioides</i> (Macleay, 1825)	线角步甲属 <i>Aephnidius</i>	步甲科 Carabidae	6-10 月
双斑青步甲香港亚种 <i>Chlaenius bimaculatus lynx</i> Chaudoir, 1856	青步甲属 <i>Chlaenius</i>		5, 9 月
宽逗斑青步甲 <i>Chlaenius hamifer</i> Chaudoir 1856			5, 9 月
亮颈青步甲 <i>Chlaenius leucops</i> (Wiedemann, 1823)			2 月, 8-11 月
拟背裂跗步甲 <i>Dischissus notulatoides</i> Xie et Yu, 1991	裂跗步甲属 <i>Dischissus</i>		9 月
竹绿虎天牛 <i>Chlorophorus annularis</i> (Fabricius, 1787)	绿虎天牛属 <i>Chlorophorus</i>	天牛科 Cerambycidae	4 月
本氏截突天牛 <i>Prosopius bankii</i> (Fabricius, 1775)	截突天牛属 <i>Prosopius</i>		1-11 月
长角凿点天牛 <i>Stromatium longicorne</i> Newman, 1842	凿点天牛属 <i>Stromatium</i>		5 月

续表 3 (Table 3 continued)

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	时间 Time
合欢双条天牛 <i>Xystrocera globosa</i> (Olivier, 1795)	双条天牛属 <i>Xystrocera</i>		
扁毛膨跗叩甲 <i>Anathesis laconoides</i> Candèze, 1865	膨跗叩甲属 <i>Anathesis</i>	叩甲科 Elateridae	5-9 月
舟形皮叩甲 <i>Lanelater fusiformis</i> (Candèze, 1857)	皮叩甲属 <i>Lanelater</i>		5-9 月
爪哇齿爪叩甲 <i>Platynychus javanus</i> (Candèze, 1860)	齿爪叩甲属 <i>Platynychus</i>		3-9 月
脊角弓背叩甲 <i>Priopus vafer</i> (Erichson, 1841)	弓背叩甲属 <i>Priopus</i>		5-9 月
古黑异丽金龟 <i>Anomala antiqua</i> (Gyllenhal, 1817)	异丽金龟属 <i>Anomala</i>	金龟甲科 Scarabaeidae	2-11 月
清玛绢金龟 <i>Maladera detersa</i> (Erichson, 1834)	玛绢金龟属 <i>Maladera</i>		1-12 月
滩沙蜉金龟 <i>Psammodyus convexus</i> Waterhouse, 1875	沙蜉金龟属 <i>Psammodyus</i>		6-10 月
椰心叶甲 <i>Brontispa longissima</i> (Gestro, 1885)	凸额扁叶甲属 <i>Brontispa</i>	叶甲科 Chrysomelidae	5 月
旋花凹胫跳甲 <i>Chaetocnema confinis</i> Crotch, 1873	凹胫跳甲属 <i>Chaetocnema</i>		
甘薯肖叶甲指名亚种 <i>Colasposoma dauricum dauricum</i> Mannerheim, 1849	甘薯肖叶甲属 <i>Colasposoma</i>		1 月, 4-10 月
狭臀瓢虫 <i>Coccinella transversalis</i> Fabricius, 1781	瓢虫属 <i>Coccinella</i>	瓢虫科 Coccinellidae	
茄二十八星瓢虫 <i>Henosepilachna vigintioctopunctata</i> (Fabricius, 1775)	裂臀瓢虫属 <i>Henosepilachna</i>		3 月, 8-9 月
稻红瓢虫 <i>Micraspis discolor</i> (Fabricius, 1798)	兼食瓢虫属 <i>Micraspis</i>		9 月
芽斑虎甲 <i>Cicindela gemmata</i> Falderman, 1835	虎甲属 <i>Cicindela</i>	虎甲科 Cicindelidae	7 月
金斑虎甲 <i>Cicindela aurulenta</i> Fabricius, 1801			7 月, 9 月, 10 月
黄缘真龙虱 <i>Cybister bengalensis</i> Aubé, 1838	真龙虱属 <i>Cybister</i>	龙虱科 Dytiscidae	9-10 月
齿缘龙虱 <i>Eretes sticticus</i> (Linnaeus, 1767)	齿缘龙虱属 <i>Eretes</i>		6-7 月
双钩异翅长蠹 <i>Heterobostrychus aequalis</i> (Waterhouse, 1844)	异翅长蠹属 <i>Heterobostrychus</i>	长蠹科 Bostrichidae	2-5 月, 9 月, 11 月
二突异翅长蠹 <i>Heterobostrychus hamatipennis</i> (Lesne, 1895)			5 月, 9 月
银合欢豆象 <i>Acanthoscelides macrophthalmus</i> (Schaeffer, 1907)	三齿豆象属 <i>Acanthoscelides</i>	豆象科 Bruchidae	1-12 月
绿豆象 <i>Callosobruchus chinensis</i> (Linnaeus, 1758)	瘤背豆象属 <i>Callosobruchus</i>		3 月
对粒材小蠹 <i>Xyleborus perforans</i> (Wollaston, 1857)	材小蠹属 <i>Xyleborus</i>	小蠹科 Scolytidae	4 月, 6 月
四粒材小蠹 <i>Xyleborus similis</i> Ferrari, 1867			7 月
甘薯小象甲 <i>Cylas formicarius</i> (Fabricius, 1798)	甘薯象甲属 <i>Cylas</i>	三锥象甲科 Brentidae	1-12 月
绿鳞象甲 <i>Hypomeces squamosus</i> (Fabricius, 1792)	蓝绿象属 <i>Hypomeces</i>	象虫科 Curculionidae	1 月, 3-9
梭毒隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i> Curtis, 1826	毒隐翅虫属 <i>Paederus</i>	隐翅虫科 Staphylinidae	1-4 月, 6-12 月
T 形斑锯谷盗 <i>Monanus concinnulus</i> (Walker, 1858)	斑谷盗甲属 <i>Monanus</i>	锯谷盗科 Silvanidae	6-10 月

表 4 其他昆虫目高空灯诱昆虫名录

Table 4 Catalogue of other Orders insects captured by vertical search-light trap on Yongxing Island

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	目 Order	时间 Time
花胫绿纹蝗 <i>Aiolopus tamulus</i> (Fabricius, 1798)	绿纹蝗属 <i>Aiolopus</i>	蝗科 Acrididae	直翅目 Orthoptera	8-10 月
西沙卫蝗 <i>Armatacris xishaensis</i> Yin, 1979	卫蝗属 <i>Armatacris</i>			
棉蝗 <i>Chondracris rosea</i> (De Geer, 1773)	棉蝗属 <i>Chondracris</i>			8-11 月
印度黄脊蝗 <i>Patanga succincta</i> (Johnnson, 1763)	黄脊蝗属 <i>Patanga</i>			
疣蝗 <i>Trilophidia annulata</i> (Thunberg, 1815)	疣蝗属 <i>Trilophidia</i>			7-9 月
双斑蟋 <i>Gryllus bimaculatus</i> De Geer, 1773	蟋属 <i>Gryllus</i>	蟋蟀科		7 月
印度树蟋 <i>Oecanthus indicus</i> Saussure, 1878	树蟋属 <i>Oecanthus</i>	Gryllidae		3-5 月, 7-9 月
南方油葫芦 <i>Teleogryllus mitratus</i> (Brumeister, 1838)	油葫芦属 <i>Teleogryllus</i>			1 月, 8-9 月
东方蝼蛄 <i>Gryllotalpa orientalis</i> Burmeister, 1838	蝼蛄属 <i>Gryllotalpa</i>	蝼蛄科 Gryllotalpidae		1 月, 9 月
短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i> Bolívar, 1905	负蝗属 <i>Atractomorpha</i>	锥头蝗科 Pyrgomorphidae		5-11 月
竹草螽 <i>Conocephalus bambusanus</i> Ingrisch, 1990	草螽属 <i>Conocephalus</i>	螽斯科 Tettigoniidae		9 月
安逸岩蜂虻 <i>Anthrax aygulus</i> Fabricius, 1805	岩蜂虻属 <i>Anthrax</i>	蜂虻科 Bombyliidae	双翅目 Diptera	6 月
大头金蝇 <i>Chrysomyia megacephala</i> (Fabricius, 1794)	金蝇属 <i>Chrysomyia</i>	丽蝇科 Calliphoridae		9-10 月
铜绿蝇 <i>Lucilia cuprina</i> (Wiedemann, 1830)	绿蝇属 <i>Lucilia</i>			7-8 月
黄褐鼻蝇 <i>Rhinia apicalis</i> (Wiedemann, 1830)	鼻蝇属 <i>Rhinia</i>			7 月, 9-10 月
棕尾别麻蝇 <i>Sarcophaga peregrina</i> Robineau-Desvoidy, 1830	麻蝇属 <i>Sarcophaga</i>	麻蝇科 Sarcophagidae		7-8 月
亮斑扁角水虻 <i>Hermetia illucens</i> (Linnaeus, 1758)	扁角水虻属 <i>Hermetia</i>	水虻科 Stratiomyidae		10 月
棕腿斑眼蚜蝇 <i>Eristalinus arvorum</i> (Fabricius, 1787)	斑眼蚜蝇属 <i>Eristalinus</i>	食蚜蝇科 Syrphidae		2 月, 7 月, 10 月
大灰优食蚜蝇 <i>Eupeodes corollae</i> (Fabricius, 1794)	优食蚜蝇属 <i>Eupeodes</i>			6 月
东方粗股蚜蝇 <i>Syrirta orientalis</i> Macquart, 1842	粗股蚜蝇属 <i>Syrirta</i>			4-6 月
橘小实蝇 <i>Bactrocera dorsalis</i> (Hendel, 1912)	果实蝇属 <i>Bactrocera</i>	实蝇科 Tephritidae		1 月, 8 月, 10 月
苏里南蔗蠊 <i>Pycnoscelus surinamensis</i> (Linnaeus, 1758)	蔗蠊属 <i>Pycnoscelus</i>	硕蠊科 Blaberidae	蜚蠊目 Blattodea	2-11 月
美洲大蠊 <i>Periplaneta americana</i> (Linnaeus, 1758)	大蠊属 <i>Periplaneta</i>	蜚蠊科 Blattidae		4-5 月, 8 月
澳洲大蠊 <i>Periplaneta australasiae</i> Fabricius, 1775				2017 年 6 月
维丽巴蠊 <i>Balta vilis</i> (Brunner von Wattenwyl, 1865)	巴蠊属 <i>Balta</i>	斜翅姬蠊科 Ectobiidae		6-7 月, 10 月
德国小蠊 <i>Blatella germanica</i> Linnaeus, 1767	小蠊属 <i>Blatella</i>			5-6 月

续表 4 (Table 4 continued)

种 (亚种) Species (subspecies)	属 Genus	科 Family	目 Order	时间 Time
截头堆砂白蚁 <i>Cryptotermes domesticus</i> (Haviland, 1898)	堆砂白蚁属 <i>Cryptotermes</i>	木白蚁科 Kalotermitidae		5-10 月
台湾乳白蚁 <i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki, 1909	乳白蚁属 <i>Coptotermes</i>	鼻白蚁科 Rhinotermitidae		1-11 月
中华真径茧蜂 <i>Euagathis chinensis</i> (Holmgren, 1868)	真径茧蜂属 <i>Euagathis</i>	茧蜂科 Braconidae	膜翅目 Hymenoptera	6 月
棉大卷叶螟绒茧蜂 <i>Apanteles opacus</i> (Ashmead, 1905)	绒茧蜂属 <i>Apanteles</i>			
东方蜜蜂 <i>Apis cerana</i> Fabricius, 1793	蜜蜂属 <i>Apis</i>	蜜蜂科 Apidae		1-12 月
齿胫芦蜂 <i>Ceratina dentipes</i> Friese, 1914	芦蜂属 <i>Ceratina</i>			6 月, 8-10 月
林氏尼蚊蜂南海亚种 <i>Nemka limi nanhai</i> (Chen, 1957)	尼蚊蜂属 <i>Nemka</i>	蚊蜂科 Mutillidae		5 月
缘微节土蜂 <i>Micromeriella marginella</i> (Klug, 1810)	微节土蜂属 <i>Micromeriella</i>	土蜂科 Scoliidae		
纹蓝小蜻 <i>Diplacodes trivialis</i> (Rambur, 1842)	蓝小蜻属 <i>Diplacodes</i>	蜻科 Libellulidae	蜻蜓目 Odonata	9 月
黄蜻 <i>Pantala flavescens</i> (Fabricius, 1798)	黄蜻属 <i>Pantala</i>	蜻科 Libellulidae	蜻蜓目 Odonata	4-5 月, 7-11 月
云斑蜻 <i>Tholymis tillarga</i> (Fabricius, 1798)	云斑蜻属 <i>Tholymis</i>			10 月
华斜痣蜻 <i>Tramea virginia</i> (Rambur, 1842)	斜痣蜻属 <i>Tramea</i>			10 月
绿眼细腰蜻 <i>Zyxomma petiolatum</i> Rambur, 1842	细腰蜻属 <i>Zyxomma</i>			8 月
斑伟蜓 <i>Anax guttatus</i> (Boissonneau, 1839)	伟蜓属 <i>Anax</i>	蜓科 Aeshnidae		4-11 月
大草蛉 <i>Chrysopa pallens</i> (Rambur, 1838)	草蛉属 <i>Chrysopa</i>	草蛉科 Chrysopidae	脉翅目 Neuroptera	4 月
叶色草蛉 <i>Chrysopa phyllochroma</i> Wesmael, 1841				2-12 月
中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica</i> Tjeder	通草蛉属 <i>Chrysoperla</i>			1-12 月
索氏多脉蚁蛉 <i>Cueta sauteri</i> (Esben-Petersen, 1913)	多脉蚁蛉属 <i>Cueta</i>	蚁蛉科 Myrmeleontidae		1-10 月
广斧螳 <i>Hierodula patellifera</i> Serville, 1839	斧螳属 <i>Hierodula</i>	螳螂科 Mantidae	螳螂目 Mantodea	3-5 月, 8-9 月, 11-12 月
蠼螋 <i>Labidura riparia</i> (Pallas, 1773)	蠼螋属 <i>Labidura</i>	蠼螋科 Labiduridae	革翅目 Dermaptera	10 月

2.5 类群结构

经过形态学鉴定, 诱集昆虫共计 214 种 (亚种), 隶属于 11 目 70 科 183 属。其中, 在种分类阶元上, 鳞翅目昆虫达到 90 种 (亚种), 占总已知所有种的 42.06%, 丰富度最高; 半翅目昆虫的丰富度次之, 达 42 种 (亚种), 占总已知所有种的 19.63%; 鞘翅目昆虫 36 种 (亚种), 占已知所有种的 16.82%, 丰富度相对较低 (图 2)。

永兴岛空中昆虫群落丰富度由高到低依次为: 鳞翅目、半翅目、鞘翅目、直翅目、双翅目、蜚蠊目、蜻蜓目、膜翅目、脉翅目、螳螂目、革翅目。

3 结论与讨论

永兴岛位于南中国海的重要地理位置, 距离海南岛约 300 km, 中南半岛约 400 km, 菲律宾群岛约 850 km。东南亚地区为热带气候, 是世

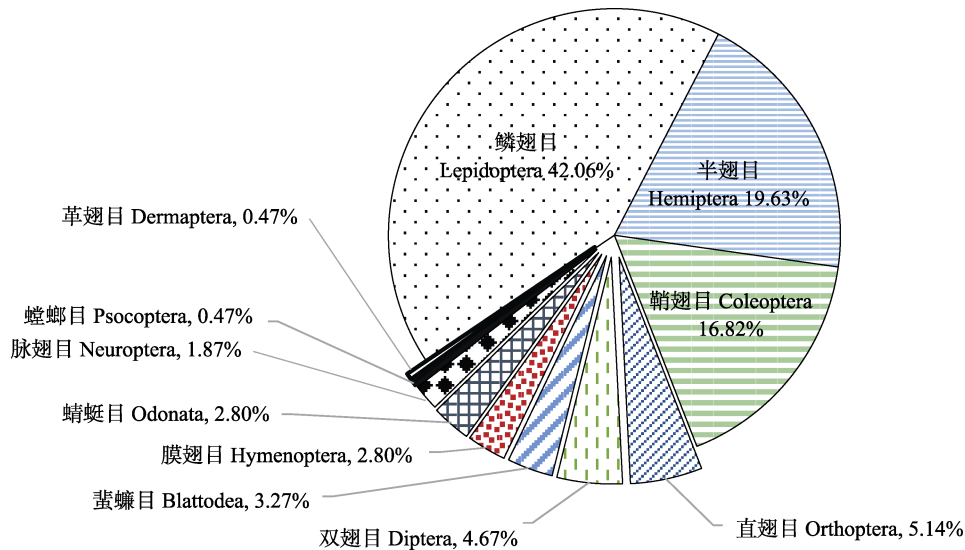


图 2 永兴岛高空灯诱昆虫群落结构

Fig. 2 Community structure of insects trapped by the vertical search-light trap on Yongxing Island

界重要的水稻、玉米、蔬菜、橡胶和木薯产区(唐冲等, 2015), 许多害虫可在该地区终年繁殖, 是中国多种重要害虫, 如稻飞虱(程遐年等, 1979; 邓望喜等, 1980; 全国褐稻虱科研协作组, 1981; 全国白背飞虱科研协作组, 1981; Hu *et al.*, 2017a, 2017b)、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fu *et al.*, 2015b)、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (齐国君等, 2013; 陆明红等, 2018) 的越冬区。本项研究工作明确了永兴岛地区的迁飞昆虫种类, 为进一步阐明这些害虫在东南亚和中国之间的转移危害规律奠定了基础。

关于西沙群岛的昆虫种类研究, 前人已有多次科考记录, 并取得许多重要成果, 如西沙原鼻白蚁 *Prorhinotermes xishaensis* (李桂祥和蔡邦华, 1976)、西沙卫蝗 *Armatacris xishaensis* (印象初, 1979) 等新种的记述。1975 年 4-5 月份黄为良和肖森(1985)研究了西沙群岛蚊蝇种类组成, 共计鉴定 5 科 18 种。与其相比, 本研究监测到双翅目 11 种, 新增 3 种食蚜蝇(棕腿斑眼蚜蝇 *Eristalinus arvorum*、大灰优食蚜蝇 *Eupeodes corollae*、东方粗股蚜蝇 *Syrirta orientalis*) 和 1 种检疫性昆虫(橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*)。章士美等(1985)于 4 月份利用网捕或灯诱等手段对西沙群岛的农业昆虫进行了比较系统的考察, 共采集昆虫标本 107

种, 其中鳞翅目 32 种, 半翅目 24 种, 鞘翅目 20 种, 膜翅目 11 种, 双翅目 10 种。与其研究结果相比, 在目分类阶元上各目丰富度趋势相似, 鳞翅目、半翅目和鞘翅目仍是永兴岛丰富度比较高的目。另外, 本监测结果新增几十种重要的农业害虫, 包括棉铃虫、粘虫、小地老虎、苹梢鹰夜蛾 *Hypocala subsatura*、灰飞虱 *Laodelphax striatellus*、稻纵卷叶螟、小菜蛾 *Plutella xylostella*、黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps*、椰心叶甲 *Brontispa longissima* 等。王琰等(2014)对西沙群岛医学害虫进行调查, 发现蚊类 4 属 5 种, 蠓 4 属 8 种, 并首次记述了斑美铗蠓 *Forcipomyia chrysolopha* 和泥泽铗蠓 *Forcipomyia borbonica* 在我国的分布, 其中泥泽铗蠓为印度洋和太平洋岛屿的特有种; 杨明磊等(2014)针对吸血昆虫开展地面灯诱, 发现库蚊 *Culex*、阿蚊 *Armigeres* 和库蠓 *Culicoides* 为永兴岛优势种群, 而本研究未发现有蚊蠓类群, 可能是灯诱方式所致。

本研究系首次在我国南海地区开展空中昆虫群落监测研究, 经过两年的系统监测, 已经采集并鉴定出 11 目, 70 科, 183 属, 214 种昆虫。由于使用高空测报灯取样, 诱虫多为趋光性较强并有较强飞行能力的成虫, 包含了迁飞过境种群及本地种群。永兴岛及周边岛屿植被比较单调, 主要以热带区系植被为主, 如大叶榄仁 *Terminalia*

catappa、海岸桐 *Guettarda speciosa*)、椰子树 *Cocos nucifera*、草海桐 *Scaevola sericea*、银毛树 *Tournefortia argentea*)、厚藤 *Ipomoea pescaprae* 等(童毅等, 2013), 岛上没有自然状态下的农作物种植。粘虫、棉铃虫、小地老虎、稻纵卷叶螟、稻飞虱及黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 等迁飞性昆虫应远距离跨海迁飞而来。

所收集的鳞翅目昆虫目录中, 已被证实的迁飞性昆虫种类有 26 种, 包括棉铃虫(陈永林等, 1963; 吴孔明和郭予元, 1996) 粘虫(Feng et al., 2008) 小地老虎(Liu et al., 2015) 圆灰翅夜蛾 *Spodoptera ciliatum* (Sparks et al., 2007) 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Fu et al., 2017) 斜纹夜蛾(Fu et al., 2015b) 白点粘夜蛾 *Leucania loreyi* (Pedgley and Yathom, 1993) 银锭夜蛾 *Macdunnoughia crassisigna* (Fu et al., 2015a) 粉斑夜蛾 *Trichoplusia ni* (Michelle et al., 2011) 小菜蛾(Fu et al., 2014b) 干煞夜蛾 *Anticarsia irrorata* (Holloway, 1982) 银纹夜蛾 *Ctenoplia agnata* (Li et al., 2014) 白条夜蛾 *Ctenoplia albostriata*、飞扬阿夜蛾 *Achaea janata* (Fox, 1978) 棉小造桥虫 *Anomis flava* (陈永林等, 1963)、同安钮夜蛾 *Ophiusa disjungens* (Holloway, 1982) 稻纵卷叶螟(Riley et al., 1995) 豆荚野螟 *Maruca vitrata* (Feng et al., 2003; Ba et al., 2009) 菜螟 *Hellula undalis*、麦牧野螟 *Nomophila noctuella* (Sparks et al., 2007) 白斑黑野螟 *Pygospila tyres* (Holloway, 1982) 甜菜青野螟 *Spoladea recurvalis* (Shirai, 2006) 豆荚斑螟 *Etiella zinckenella* (Tabata and Yasuda, 2011) 甘薯天蛾 *Agrius convolvuli* (Sparks et al., 2007) 云斑斜线天蛾 *Hippotion velox* (Holloway, 1982) 黑长喙天蛾 *Macroglossum pyrrhosticta* (Kawazu et al., 2008); 半翅目目录中已被证实的迁飞性昆虫有 6 种, 分别是褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (全国褐稻虱科研协作组, 1981; Hu et al., 2017b) 白背飞虱 *Sogatella furcifera* (全国白背飞虱科研协作组, 1981; Hu et al., 2017a)、稗飞虱 *Sogatella vibix*

(邓望喜, 1981) 灰飞虱(Otuka et al., 2010) 黑肩绿盲蝽(Riley et al., 1991) 绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Fu et al., 2014a); 脉翅目中已被证实有迁飞性昆虫有中华草蛉 *Chrysoperla sinica* (Liu et al., 2011); 蜻蜓目中迁飞性昆虫有黄蜻 *Pantala flavescens* (Cao et al., 2018) 斑伟蜓 *Anax guttatus*、纹蓝小蜻 *Diplacodes trivialis* 和云斑蜻 *Tholymis tillarga* (Anderson, 2009)。

此外, 白背飞虱和褐飞虱的种群数量在 7、8 月份有明显的“突增突减”现象, 与程遐年等(1979) 的研究结果相一致。海南地区的热带季风气候的风向季变十分明显, 7、8 月份盛行南风(周淑贞, 1981), 稻飞虱借助南风北上迁飞, 可进入我国海南和华南稻区。黑肩绿盲蝽为褐飞虱、白背飞虱和二点黑尾叶蝉 *Nephotettix virescens* 等重要捕食性天敌(陈建明等, 1992), 黑肩绿盲蝽和稻飞虱存在明显的天敌伴迁行为(翟保平, 2001)。日本学者 Matsumoto 等(2013) 的研究表明亚洲地区的白背飞虱和褐飞虱的线粒体序列特异性较低。白背飞虱是南方水稻黑条矮缩病毒(*Southern rice black-streaked dwarf virus*, SRBSDV) 的重要媒介, 轨迹分析表明越南北部是中国南方的 SRBSDV 直接来源, 而越南南部则是该病毒的起源地(Wu et al., 2017)。因此, 西沙群岛的稻飞虱及其捕食性天敌可能是往返于华南地区、海南岛和越南、菲律宾、印度尼西亚的迁飞种群。本研究已基本探明了海南省三沙市永兴岛高空昆虫的种类组成情况, 证实了多种重大害虫在南海地区跨海迁飞转移危害及天敌随迁行为, 丰富了对南海地区昆虫种群结构和物种多样性的认知。但关于该地区各迁飞性害虫的迁飞行为机制尚不明确, 仍需要利用昆虫雷达、稳定同位素溯源分析和轨迹分析等手段长期监测, 以期揭示这些重大迁飞性害虫在南海地区的跨海迁飞规律, 为实现精准测报和阻截境外虫源提供理论依据。

致谢: 感谢王书永先生(中国科学院动物研究所) 陈学新教授(浙江大学) 彩万志教授(中

国农业大学)、刘星月教授(中国农业大学)、王建国教授(江西农业大学)、石福明教授(河北大学)、韩辉林博士(东北林业大学)、周正湘博士(贵州大学)、史宏亮博士(北京林业大学)、江世宏教授(深圳职业技术学院)、阮用颖博士(深圳职业技术学院)、刘万岗博士(中国科学院地球与环境研究所)、王旭博士(西北农林科技大学)、徐业博士(西北农林科技大学)、李俊兰博士(内蒙古师范大学)、于昕博士(重庆师范大学)、李廷景博士(重庆师范大学)、何祝清博士(华东师范大学)、邱鹭博士(西南大学)、许静杨博士(天津市植保所)、朱卫兵博士(中国科学院上海植生所)、王瀚强博士(中国科学院上海植生所)、张婷婷博士(山东农业大学)、周周一博士等多位专家在昆虫鉴定过程中给予的帮助;感谢三沙市气象局工作人员对本研究的大力支持。

参考文献 (References)

- Anderson RC, 2009. Do dragonflies migrate across the western India Ocean? *Journal of Tropical Ecology*, 25(4): 347–358.
- Ba NM, Margam VM, Binso-Dabire CL, Sanon A, McNeil JN, Murdock LL, Pittendrigh BR, 2009. Seasonal and regional distribution of the cowpea pod borer *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) in Burkina Faso. *International Journal of Tropical Insect Science*, 29(3): 109–113.
- Cao LZ, Fu XW, Hu CX, Wu KM, 2018. Seasonal migration of *Pantala flavescens* across the Bohai Strait in northern China. *Environmental Entomology*, 47(2): 264–270.
- Chen JM, Cheng JA, He JH, 1992. Overview of domestic and foreign research on *Cyrtorhinus lividipennis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 29(6): 370–373. [陈建明, 程安家, 何军华, 1992. 黑肩绿盲蝽的国内外研究概况. *昆虫知识*, 29(6): 370–373.]
- Chen YL, Song SZ, Deng XS, 1963. A preliminary observations of migratory insects in Bohai and Yellow sea of China. *Acta Entomologica Sinica*, 12(2): 137–148. [陈永林, 宋绍宗, 邓小山, 1963. 中国渤海及黄海海面迁飞昆虫的初步观察. *昆虫学报*, 12(2): 137–148.]
- Cheng XN, 1992. Recent advances in research on the migrating insects in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 29(3): 146–149. [程遐年, 1992. 中国迁飞昆虫的研究进展. *昆虫知识*, 29(3): 146–149.]
- Cheng XN, Chen RC, Xi X, Yang LM, Zhu ZL, Wu JC, Qian RG, Yang JS, 1979. Studies on the migration of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 22(1): 1–21. [程遐年, 陈若簾, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生, 1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. *昆虫学报*, 22(1): 1–21.]
- Deng WX, 1981. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections. *Acta Phytophylacica Sinica*, 8(2): 73–82. [邓望喜, 1981. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. *植物保护学报*, 8(2): 73–82.]
- Deng WX, Xu KJ, Rong XL, Xu JZ, 1980. A preliminary study on the collections of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) by means of plane-catch. *Acta Entomologica Sinica*, 17(3): 97–102. [邓望喜, 许克进, 荣秀兰, 许甲柱, 1980. 飞机网捕褐稻虱及白背飞虱的研究初报. *昆虫学报*, 17(3): 97–102.]
- Dingle H, Drake VA, 2007. What is migration? *Bioscience*, 57(2): 113–121.
- Feng HQ, 2003. Community aloft and radar observations of seasonal migration of insects in northern China. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [封洪强, 2003. 华北地区空中昆虫群落及昆虫季节性迁移的雷达观测. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Feng HQ, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2003. Radar observations of the autumn migration of the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in northern China. *Bulletin of Entomological Research*, 93(2): 115–124.
- Feng HQ, Zhao XC, Wu XF, Wu B, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2008. Autumn migration of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) over the Bohai Sea in northern China. *Environmental Entomology*, 37(3): 774–781.
- Fox KJ, 1978. The transoceanic migration of Lepidoptera to New Zealand -A history and a hypothesis on colonisation. *The New Zealand Entomologist*, 6(4): 368–380.
- Fu XW, Feng HQ, Liu ZF, Wu KM, Luthe DS, 2017. Trans-regional migration of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), in North-East Asia. *PLoS ONE*, 12(8): e0183582.
- Fu XW, Hu CX, Feng HQ, Liu ZF, Wu KM, 2015a. Whether *Macdunnoughia crassignia* (Lepidoptera: Noctuidae) is a long-distant migrant? *Journal of Insect Behavior*, 28(2): 211–225.
- Fu XW, Liu YQ, Li Chao, Lu YH, Li YH, Wu KM, 2014a. Seasonal migration of *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) over the Bohai Sea in northern China. *Journal of Economic Entomology*, 1079(4): 1399–1410.
- Fu XW, Xing ZL, Liu ZF, Abid A, Wu KM, 2014b. Migration of diamondback moth, *Plutella xylostella*, across the Bohai Sea in northern China. *Crop Protection*, 64: 143–149.
- Fu XW, Zhao XY, Xie BT, Abid A, Wu KM, 2015b. Seasonal pattern of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) migration across the Bohai Strait in northern China. *Journal of Economic Entomology*, 108(2): 525–538.

- Guo JL, Fu XW, Wu X, Zhao XC, Wu KM, 2015. Annual migration of *Agrotis segetum* (Lepidoptera: Noctuidae): observed on a small island in northern China. *PLoS ONE*, 10(6): e0131639.
- Gao LN, Tian CH, Feng HQ, Li GP, Qiu F, Wang YB, 2013. Preliminary investigation of nocturnal aerial insect community in northern Henan Province. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 42(2): 83–88. [高丽娜, 田彩虹, 封洪强, 李国平, 邱峰, 王运兵, 2013. 河南省北部夜间空中昆虫群落的初步研究. *河南农业科学*, 42(2): 83–88.]
- He LM, Fu X, Huang YX, Shen XJ, Sun XT, Wu KM, 2018. Seasonal patterns of *Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera: Noctuidae) migration across the Bohai Strait in northern China. *Crop Protection*, 106: 34–41.
- Holloway JD, 1982. Further notes on the Lepidoptera of Norfolk Island, with the particular reference to migrant species. *Journal of Natural History*, 16(3): 351–365.
- Hu CX, Fu XW, Wu KM, 2017a. Seasonal migration of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* Horváth (Hemiptera: Delphacidae) over the Bohai Sea in northern China. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4): 1358–1363.
- Hu G, Lim KS, Horvitz N, Clark SJ, Reynold DR, Sapir N, Chapman JW, 2016. Mass seasonal bioflows of high-flying insect migrants. *Science*, 354(6354): 1584–1587.
- Hu G, Lu MH, Tuan HA, Liu WC, Xie MC, McInerney CE, Zhai BP, 2017b. Population dynamics of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* (Hemiptera, Delphacidae) in Central Vietnam and its effects on their spring migration to China. *Bulletin of Entomological Research*, 107: 369–381.
- Huang JL, Long ZM, Lu ZZ, Zan DC, Liu JH, Zhou PS, 1996. Investigation of murine-like animals and their external parasites in Xisha Islands. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, (1): 25–28. [黄佳亮, 龙芝美, 陆振豸, 詹道成, 刘金华, 周培盛, 1996. 西沙群岛鼠型动物及体外寄生虫的调查. *中国媒介生物学及控制杂志*, (1): 25–28.]
- Huang QZ, 2017. Pest monitoring and control in Yongxing Island. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides et Equipments*, 23(3): 283–285. [黄清臻, 2017. 永兴岛有害生物的监控. *中国卫生杀虫药械*, 23(3): 283–285.]
- Huang WL, Xiao S, 1985. A preliminary report of explorations on mosquitoes and flies from Xisha Islands of China. *Zoological Research*, 6(1): 19–22. [黄为良, 肖森, 1985. 西沙群岛常见蚊蝇调查初报. *动物学研究*, 6(1): 19–22.]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, 2016. Using vertical-pointing searchlight-traps to monitor population dynamics of the armyworm *Mythimna separate* (Walker) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 191–199. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 2016. 高空测报灯监测粘虫区域性发生动态规律探索. *应用昆虫学报*, 53(1): 191–199.]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, 2018. Using a national searchlight trap network to monitoring the annual dynamics of the oriental armyworm in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 778–793. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 2018. 我国粘虫周年区域动态规律的监测. *应用昆虫学报*, 55(5): 778–793.]
- Kawazu K, Otuka A, Adat T, Tonogouchi H, Yase J, 2008. Lepidoptera captured on the east China in 2005 and predicted migration sources. *Entomological Science*, 11(3): 315–322.
- Li C, Fu XW, Feng HQ, Abid A, Li CR, Wu KM, 2014. Seasonal migration of *Ctenoplusia agnata* (Lepidoptera: Noctuidae) over the Bohai Sea in northern China. *Journal of Economic Entomology*, 107(3): 1003–1008.
- Li GX, Tsai PH, 1976. Investigation of termites and description of new species in Xisha Islands in China. *Acta Entomologica Sinica*, 19 (1): 94–100, 122. [李桂祥, 蔡邦华, 1976. 我国西沙群岛白蚁调查及新种描述. *昆虫学报*, 19(1): 94–100, 122.]
- Liu YQ, Fu XW, Feng HQ, Liu ZF, Wu KM, 2015. Trans-region migration of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) in north-east China. *Annals of the Entomological Society of America*, 108(4): 519–527.
- Liu ZF, Wychhuys KAG, Wu KM, 2011. Migratory adaptations in *Chrysoperla sinica* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*, 40(2): 449–454.
- Lu MH, Liu WC, Hu G, Zhai BP, Tuan HA, Khanh DH, 2018. Analysis of the relationships of rice planthopper and rice leaf folder occurrence between China and Vietnam. *Plant Protection*, 44(3): 31–36, 60. [陆明红, 刘万才, 胡高, 翟保平, Hoang Anh Tuan, Do Hong Khanh, 2018. 中越水稻迁飞性害虫稻飞虱、稻纵卷叶螟发生关系分析. *植物保护*, 44(3): 31–36, 60.]
- Matsumoto Y, Matsumura M, Sanada-Morimura S, Hirai Y, Sato Y, Noda H, 2013. Mitochondrial *cox* sequences of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* (Hemiptera, Delphacidae): Low specificity among Asian planthopper populations. *Bulletin of Entomological Research*, 103(4): 382–392.
- Michelle TA, Carol ER, Judith HM, 2011. Genetic analysis of cabbage looper *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae), a seasonal migrant in western North America. *Evolutionary Applications*, 4(1): 89–99.
- National Cooperated Research Group for White Back Planthopper, 1981. Studies on the migration of white back planthopper (*Sogatella fucifera* Horváth). *Scientia Agricultura Sinica*, (5): 25–31. [全国白背飞虱科研协作组, 1981. 白背飞虱迁飞规律的初步研究. *中国农业科学*, (5): 25–31.]
- National Cooperated Research Group of Brown Planthopper, 1981. Advances in the study of the migration of brown planthopper in China. *Scientia Agricultura Sinica*, (2): 52–59. [全国褐稻虱科研协作组, 1981. 我国褐稻虱迁飞规律研究的进展. *中国农业科学*, (2): 52–59.]
- Otuka A, Matsumura M, Sanadamorimura S, Takeuchi H, Watanabe T, Ohtsu R, 2010. The 2008 overseas mass migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, and subsequence outbreak of rice stripe disease in western Japan. *Applied Entomology and Zoology*, 45(2): 259–266.
- Pang XF, You MS, 1996. Insect Community Ecology. Beijing: China Agricultural Press. 3–12. [庞雄飞, 尤民生, 1996. 昆虫群落生态学. 北京: 中国农业出版社. 3–12.]

- Pedgley DE, Yathom S, 1993. Windborne moth migration over the Middle East. *Ecological Entomology*, 18(1): 67–72.
- Qi GJ, Lv LH, Lan RQ, Xie JH, Zhang WQ, 2013. Tracking the source regions of *Cnaphalocrocis medinalis* in the rice growing region of northern Guangdong Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 601–607. [齐国君, 吕利华, 蓝日青, 谢金宏, 张伟群, 2013. 粤北稻区稻纵卷叶螟的虫源地分析. 应用昆虫学报, 50(3): 601–607.]
- Riley JR, Cheng XN, Zhang XX, Reynolds DR, Xu GM, Smith AD, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, 1991. The long-distant migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) in China: Radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, 16(4): 471–489.
- Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Edwards AS, Zhai BP, 1995. Observations of the autumn migration of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and other moths in eastern China. *Bulletin of Entomological Research*, 85(3): 397–414.
- Shirai Y, 2006. Flight activity, and adult nutrition of the beet webworm, *Spoladea recurvalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Applied Entomology and Zoology*, 41(3): 405–414.
- Sparks TH, Dennis RLH, Croxton PJ, Martin C, 2007. Increased migration of Lepidoptera linked to climate change. *European Journal of Entomology*, 104(1): 139–143.
- Sun LG, Zhao SP, Liu XD, Xie ZQ, Yin XB, Liu KX, Wu XH, 2005. An eco-environmental report on Xisha Archipelago, South China Sea. *Chinese Journal of Nature*, 27(2): 79–84, 126. [孙立广, 赵三平, 刘晓东, 谢周清, 尹雪斌, 刘克新, 吴小红, 2005. 西沙群岛生态环境报告. 自然杂志, 27(2): 79–84, 126.]
- Tabata J, Yasuda K, 2011. The sex pheromone of the lima bean pod borer *Etiella zinckenella* (Treitschke). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45(1): 47–50.
- Tang C, Chen WZ, Shen YM, 2015. Strengthening agricultural cooperation in Southeast Asia in the prespective of the strategic focus and layout. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 36(2): 84–93. [唐冲, 陈伟忠, 申玉铭, 2015. 加强东南亚农业合作开发的战略重点和区域规划. 中国农业资源与规划, 36(2): 84–93.]
- Tong Y, Jian SG, Chen Q, Li YL, Xing FW, 2013. Vascular plant diversity of the Paracel Islands, China. *Biodiversity Science*, 21(3): 364–374. [童毅, 简曙光, 陈权, 李玉玲, 邢福武, 2013. 中国西沙群岛植物多样性. 生物多样性, 21(3): 364–374.]
- Wang SY, 2011. Taxonomic study of the subtribe Numatina in Delphacini (Hemiptera: Fulgoroidea: Delphacidae) from China. Master thesis. Yangling: Northwest A&F University. [王树叶, 2011. 中国飞虱族瓶额飞虱亚族昆虫分类研究(半翅目: 蜡蝉总科: 飞虱科). 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Wang Y, Ma YJ, Yang ZG, Zheng JQ, Yu TF, 2014. Identification of rodents and blood-sucking insects in Xisha Islands of China and the first report of *Anopheles* mosquitoes and midges. *Academic Journal of Second Military Medical University*, 35(6): 581–585. [王琰, 马雅军, 杨振洲, 郑锦旗, 俞天峰, 2014. 我国西沙群岛鼠形动物和吸血昆虫的鉴定并首次记述按蚊和蠓. 第二军医大学学报, 35(6): 581–585.]
- Wu KM, 2018. Development direction of crop pest control science and technology in China. *Journal of Agriculture*, 8(1): 35–38. [吴孔明, 2018. 中国农作物病虫害防控科技的发展方向. 农学报, 8(1): 35–38.]
- Wu KM, Guo YY, 1996. Flight activity in *Helicoverpa armigera*. *Acta Ecology Sinica*, 16(6): 612–617. [吴孔明, 郭予元, 1996. 棉铃虫的飞翔活动. 生态学报, 16(6): 612–617.]
- Wu X, Fu XW, Guo JL, Zhao XC, Wu KM, 2015. Annual migration of cabbage moth, *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae), over the sea in northern China. *PLoS ONE*, 10(7): e0132904.
- Wu Y, Zhang G, Chen X, Li XJ, Xiong K, Cao SP, Hu YY, Lu MH, Liu WC, Tuan HA, Qi GJ, Zhai BP, 2017. The influence of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) migratory events on the South rice black-streaked dwarf virus epidemics. *Journal of Economic Entomology*, 110(3): 854–864.
- Yang ML, Li YM, Chen HY, Li KL, Wang Y, Ma YJ, Yang ZZ, Zhan DC, 2016. Population dynamic of the blood-sucking insects and detection of pathogens in the rodents from Xisha Islands of China. *Academic Journal of Second Military Medical University*, 37(3): 355–359. [杨明磊, 李逸明, 陈辉莹, 李凯利, 王琰, 马雅军, 杨振洲, 詹道成, 2016. 我国西沙群岛吸血昆虫的种群动态和鼠形动物病原感染检测. 第二军医大学学报, 37(3): 355–359.]
- Yin XC, 1979. A new genus and species of grasshopper from Xisha Islands of China a description of *Coptacra hainanensis* Tinkham (Orthoptera: Acrididae). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 4(1): 26–29, 99. [印象初, 1979. 我国西沙群岛一新属新种及海南切翅蝗雄性的发现 (直翅目: 蝗科). 动物分类学报, 4(1): 26–29, 99.]
- Zhang SM, Lin YJ, Liang GQ, Wu YN, Lin M, Lin MG, 1985. A preliminary report of investigation into agricultural insects in Xisha Islands of China. *Jiangxi Plant Protection*, (2): 25–26, 11. [章士美, 林毓鉴, 梁广勤, 吴亚宁, 林明, 林明光, 1985. 西沙群岛农业虫考察初志. 江西植保, (2): 25–26, 11.]
- Zhai BP, 2001. Accompanying migration of natural enemies and biodiversity. *Biodiversity Science*, 9(2): 176–180. [翟保平, 2001. 天敌伴迁与生物多样性. 生物多样性, 9(2): 176–180.]
- Zhao SY, Fu XW, Guo JL, Zhou Y, Kris AGW, Wu KM, 2018. Seasonal patterns of *Protoschinia scutosa* (Lepidoptera: Noctuidae) migration across China's Bohai Strait. *Environmental Entomology*, 47(4): 927–934.
- Zhou SZ, 1981. Climate characteristics of Hainan Island. *Journal of East China Normal University (Natural Science Edition)*, 1: 61–71. [周淑贞, 1981. 海南岛的气候特征. 华东师范大学学报 (自然科学版), 1: 61–71.]
- Zhu KL, Zhang YN, Zhang HC, Guo ZP, 1981. Report of investigation into mosquitoes and flies in Xisha Islands of China. *Guangdong Journal of Health and Epidemic Prevention*, (2): 6–9. [朱康乐, 张裕能, 张恒才, 郭争平, 1981. 西沙群岛蚊蝇类调查报告. 广西卫生防疫资料, (2): 6–9.]