昆虫经山东省向南迁飞的种类及迁飞路线探讨*

宋海燕** 李丽莉 张晴晴 宋莹莹 朱振国 卢增斌 于 毅 门兴元***

（山东省农业科学院植物保护研究所，济南 250100）

摘 要 **【目的】** 山东省地处我国昆虫南北季节性迁飞的主要通道，明确迁飞性害虫在山东省的迁飞过程和迁飞规律，对于全国迁飞性害虫监测与防控均具有重要意义。**【方法】** 2018 年在山东省 14 个地区设置监测站点，利用探照灯诱虫器和地面灯诱虫器对迁飞性昆虫进行了实时监测，分析了 9 月初-10 月底迁飞性昆虫的种群动态，首次探讨了昆虫经山东省向南迁飞的种类及迁飞路线。**【结果】** 诱集到棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)、玉米螟 *Ostrinia nubilalis* (Hübner)、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* Guenée、劳氏粘虫 *Leucania loreyi* 等重要害虫以及中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*、大草蛉 *Chrysop pallens* 等天敌。根据迁飞性昆虫种群数量“突增突减”的现象，以及探照灯诱虫器和地面灯诱虫器诱集数量比值，明确了棉铃虫、亚洲玉米螟、桃蛀螟、劳氏粘虫、黄地老虎 *Agrotis segetum*、大地老虎 *Agrotis tokionis*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、银纹夜蛾 *Ctenoplusia agnata*、甘薯天蛾 *Agrius convolvuli* 、瓜绢野螟 *Diaphania indica*、甜菜白带野螟 *Hymenia recurvalis*、黄翅缀叶野螟 *Botyodes diniasalis* (Walker)、豆荚斑螟 *Limabean podborer*、东方蝼蛄 *Gryllotalpa orientalis*、中华通草蛉、大草蛉 17 种昆虫出现了明显的迁飞过程，这些昆虫由北向南迁飞时，主要途经地点是宁津（25.90%）和济阳（20.81%），其次为庆云（12.31%）、曹县（9.26%）、菏泽（7.09%）、临清（5.47%）。**【结论】** 经山东省向南迁飞的昆虫种类丰富，主要从山东西部通过。

关键词 昆虫迁飞；迁飞路线；探照灯；地面灯

Southward migration routes of insect species in Shandong province

SONG Hai-Yan** LI Li-Li ZHANG Qing-Qing SONG Ying-Ying ZHU Zhen-Guo
LU Zeng-Bin YU Yi MEN Xing-Yuan***

(Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract **[Objectives]** To clarify the migration of migratory pests in Shandong province, which is located on the main north-south insect migration passageway in China, and is therefore important to the monitoring and control of migratory pests in the rest of China. **[Methods]** Searchlight-traps and ground light-trap were used to monitor migratory insects from early September to the end of October 2018 at 14 monitoring stations in Shandong province. This is the first investigation of the migration routes of species migrating southward in Shandong province. **[Results]** Many important insect pests, such as *Helicoverpa armigera*, *Ostrinia nubilalis*, *Conogethes punctiferalis*, *Leucania loreyi*, and several of their natural enemies, such as *Chrysoperla sinica*, *Chrysop pallens*, were trapped. Based on sudden fluctuations in the numbers of insects trapped by searchlight-traps, and the ratio of insect populations trapped by searchlight-traps and ground light-traps, we found that 17 species undergo obvious migrations in this period, including *H. armigera*, *O. furnacalis*, *C. punctiferalis*, *L. loreyi*, *Agrotis*

*资助项目 Supported projects：山东省重点研发计划（重大科技创新工程项目）（2020CⅩGC010802）；山东省农业科学院创新工程“主要农作物病虫害监测和预警”（CXGC2021A38）

**第一作者 First author，E-mail：shy_810903@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：menxy2000@hotmail.com

收稿日期 Received：2021-04-14；接受日期 Accepted：2021-05-07

segetum, *Agrotis tokionis*, *Spodoptera exigua*, *Spodoptera litura*, *Ctenoplusia agnata*, *Agrius convolvuli*, *Diaphania indica*, *Hymenia recurvalis*, *Botyodes diniasalis*, *Limabean pod borer*, *Gryllotalpa orientalis*, *Chrysoperla sinica* and *Chrysop pallens*. The main sites of north to south insect migration were Ningjing (25.90%), Jiyang (20.81%), Qingyun (12.31%), Caoxian (9.26%), Heze (7.09%) and Linqing (5.47%). **[Conclusion]** Numerous insect species migrate from north to south through Shandong province, mainly through the western part of the province.

Key words insect migration; migration route; searchlight-trap; ground light-trap

昆虫迁飞是指昆虫在长期进化过程中应对生境变化所产生的一种行为反应，可以保证其生活史的延续和种群的繁衍（Southwood，1962；Roff，1990；Dingle，1996；Dingle and Drake，2007），同时害虫迁飞会导致虫害异地突然暴发，给农业生产造成巨大的经济损失（程遐年，1992）。棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 、粘虫 *Mythimna separata*、黄地老虎 *Agrotis segetum* 、小地老虎 *Agrotis ipsilon*、草地螟 *Loxostege sticticalis*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 等许多我国重大农业害虫都是迁飞性昆虫。由于全球气候变暖和耕作制度的改变，导致迁飞害虫在我国的发生日趋严重（安丽芬和战继春，2005；张云慧等，2007，2010，2012）。

对于迁飞性害虫主要治理策略是早期预警和源头治理，因此开展迁飞性害虫监测预警、明确其迁飞规律尤为重要。治理迁飞性害虫，最重要的就是发展有效的监测手段及技术，以便采取及时有效的防治措施（Magor，1995）。目前的研究方法有标记释放回收、高空取样、灯光诱集、迁飞轨迹分析和雷达观测等，姊妹诱虫灯技术以其简便实用的特点，在迁飞性昆虫的监测中得到了广泛应用（郭江龙，2016）。利用诱虫灯长期监测，可以通过诱虫灯诱集昆虫数量对昆虫的迁飞事件进行判断（张智，2013）。计算探照灯诱虫器和地面灯诱虫器诱虫量之间的差值和比值，当两者之间差值大于 0，且比值高于 1，通常可认为该昆虫从外地迁入而非本地种群（封洪强，2003；Feng *et al.*，2004a，2004b）。

华北与东北地区是我国主要的小麦、玉米、大豆产区，山东省地处华北农区和东北农区的交汇处，是昆虫南北迁飞的重要通道，明确迁飞性害虫在山东省的迁飞过程对于全国迁飞性害虫监测与防控均具有重要意义。本研究在山东省 14 个地区设立监测点，利用灯诱数据分析了山东省迁飞性昆虫种类，探讨迁飞途径，为掌握山东省迁飞性昆虫的迁飞规律，提高迁飞性害虫的预测预报和综合防治水平提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　昆虫监测点分布

研究了 14 处监测点 2018 年 9 月-10 月底的高空诱捕监测数据，监测点分别位于山东省的菏泽市牡丹区、曹县、莒南县、郯城县、德州市德城区、宁津县、庆云县、临清县、济宁市任城区、潍坊市寒亭区、昌邑县、日照市、威海市环翠区、济阳县。

1.2　探照灯诱虫器、地面灯诱虫器

研究中使用的探照灯的灯体主要采用不锈钢材料，主体部分呈漏斗状，垂直向上照射，用以诱集高空飞行的昆虫。光源为 1 000 W 的 GT75 型探照灯，光源可以投射到 300 m 以上的高空，形成一个巨大的光柱。漏斗集虫口直径为 5 cm，接一个 60 目集虫网袋（50 cm×50 cm×50 cm），用以收集被灯光诱集的昆虫。地面灯整体采用不锈钢结构，装备 1 000 W 金属卤化物灯泡，灯泡上方有一个直径 35 cm 的圆形防雨罩阻挡灯光射向高空。在每个监测地点，探照灯、地面灯之间的距离超过 100 m。

1.3　监测方法

各监测点在 9 月中旬开灯开始监测，10 月底关灯结束监测。定时器控制开灯和关灯时间，每日在日落开灯、日出关灯。每天关灯后，将集虫网袋带到实验室，进行昆虫分拣、种类鉴定，并记录各种昆虫的种群数量。

表 1　14 个监测点探照灯诱虫器和地面灯诱虫器诱虫量之间的比值

Table 1　The ratio of searchlight trap and ground light-trap in 14 monitoring areas

	曹县 Caoxian	昌邑 Changyi	德州 Dezhou	菏泽 Heze	济宁 Jining	莒南 Junan	临清 Linqing	宁津 Ningjin	庆云 Qingyun	日照 Rizhao	郯城 Tancheng	威海 Weihai	潍坊 Weifang	济阳 Jiyang
棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)	15.34^{++++++}	15.06^{+++}	1.71^{+++}	23.69^{++++}	5.33^{++}	1.77^{+++}	2.96^{+++++}	$24.67^{++++++++}$	20.08^{++++}	25.75^{++++}	7.96^{++++}	12.00^{+}	17.47^{+++}	13.48^{++++}
亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée)	25.14^{+++}	10.75^{+}	2.50^{+}	1.60^{+}	2.50	1.26^{++}	2.57^{++}	1.15^{+}	1.86	1.57	1.57^{++}	2.66^{++}	8.60^{+}	8^{++++}
桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* (Guenée)	11.55^{+++}	5.74^{+++}	2.05^{+++}	2.63^{++}	3.05	1.81^{++}	1.21^{+++}	1.02^{++++}	3.86^{+++}	4.75^{+++++}	1.75^{++}	1.67^{++}	5.16^{+++}	$13.28^{+++++++}$
劳氏粘虫 *Leucania loreyi* (Duponchel)	6.06^{++++++}	34.70^{+++}	2.41^{+}	3.20^{+++++}	13.41^{+++}	6.43^{+}	5.16^{++}	1.46^{+++++}	4.86^{+}	21.06^{++++}	2.66^{++}	1.80	4.27	19.56^{++}
二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Möschler)	0.02^{+}	0.00	0.60	1.00	0.00	0.53^{+}	0.14	0.00	0.25	2.47^{++}	0.00	4.00	1.00	2.25^{+}
黄地老虎 *Agrotis segetum* (Schiffermütiller)	14.00^{+}	60.00^{++}	3.45	1.47	2.52	1.51^{+}	2.00	1.03^{++}	63.50^{+++}	5.77^{+}	12.00^{+}	6.55^{++}	6.46^{+}	15.25
小地老虎 *Agrotis ipsilon* (Hufnagel)	1.19^{+}	11.00^{+}	1.64	1.50	1.38	1.74^{+}	1.29	1.18	5.83	38.00^{+}	11.33^{+}	19.00	9.33^{+}	20.00
大地老虎 *Agrotis tokionis* (Butler)	3.94^{+}	10.60	1.33^{++}	2.00	4.25	1.87^{+}	1.63	1.30^{+}	5.93^{+}	3.94^{+}	2.67	5.32^{++}	3.38^{+}	26.00^{+}
甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)	1.52^{+++}	9.23^{++++}	1.76^{++++}	1.48^{+++}	1.56^{++++}	1.00^{++}	1.77^{++++}	1.36^{+++++}	11.00^{++++++}	3.52^{+++}	1.96^{++}	1.14^{+++}	2.07^{++++}	5.01^{++++}

续表 1（Table 1 continued）

	曹县 Caoxian	昌邑 Changyi	德州 Dezhou	菏泽 Heze	济宁 Jining	莒南 Junan	临清 Linqing	宁津 Ningjin	庆云 Qingyun	日照 Rizhao	郯城 Tancheng	威海 Weihai	潍坊 Weifang	济阳 Jiyang
斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)	18.10^{++++++}	7.70^{++}	2.45^{++++}	2.58^{+++}	1.44^{+++}	2.10^{++++}	1.31^{+++++}	1.01^{++++++}	3.51^{+++++}	4.14^{+++}	5.66^{++++}	5.00	6.34^{++}	12.03^{++++}
银纹夜蛾 *Ctenoplusia agnata* (Staudinger)	6.81^{++++}	145.33^{+++}	1.98^{+}	5.91^{++}	2.88^{+}	2.21^{+++}	2.36^{++}	12.24^{++++++}	2.41^{++}	13.50	12.90^{++}	15.50	77.71^{++}	6.29^{++++}
白条夜蛾 *Ctenoplusia albostriata* (Bremer et Grey)	111.00^{++}	7.33^{++}	5.50^{+}	3.93^{+++}	4.57	0.81	1.58^{++}	2.67^{+}	2.15^{++}	17.67^{+}	2.83^{++}	∞	6.38^{+}	91.50^{+++}
甘薯天蛾 *Agrius convolvuli* (Linnaeus)	3.49^{+}	4.44^{++}	2.24^{+}	3.07^{++}	4.67	1.43^{+}	2.12^{+}	28.40^{++}	17.26^{+++}	6.50	15.40^{++}	2.86	5.70^{+}	5.00^{++}
瓜绢野螟 *Diaphania indica* (Saunders)	31.36^{++++++}	23.40^{++}	12.39^{++}	4.62^{++}	2.50	1.03^{++}	1.64^{+++}	10.62^{++++}	1.03^{+}	8.25	2.77^{++}	2.50	41.73^{++++}	37.50^{++++}
豆荚斑螟 *Etiella zinckenella* (Treitschke）	1.34^{+++++}	3.33^{++}	1.58^{+++}	1.61^{++++}	1.50^{++}	0.61^{++}	1.47^{+++++}	0.61^{+++}	3.09^{++}	2.80^{++++}	0.69^{++}	5.80^{++}	4.35^{+}	6.12^{+++++}
豆荚野螟 *Maruca testulalis* (Geyer)	0.67	7.00	63.00^{+}	0.85^{+}	0.86^{+}	0.23^{+}	15.00^{+}	0.10	∞	72.00^{+}	2.38	7.00	1.83	48.60^{+}
甜菜白带野 *Hymenia recurvalis* (Fabricius)	10.18^{+++++}	25.66^{++++}	8.85^{++++}	5.21^{+++}	3.70^{+++}	2.03^{+}	2.94^{+++}	5.94^{++++++}	1.17^{+}	13.96^{+++}	3.65^{++}	7.49^{+++}	34.98^{++++}	17.96^{++++++}
黄翅缀叶野螟 *Botyodes diniasalis* (Walker)	25.50^{++++}	13.00	14.40^{++}	4.06^{++}	6.67	2.68^{++}	1.59^{+}	2.24^{+}	10.40^{++}	8.00^{+}	7.96^{+}	8.00	83.40^{+}	6.52^{++}
草地螟 *Loxostege sticticalis* (Linne)	∞^{++}	2.69^{+++}	0.73^{+++}	1.17^{+}	1.38^{+++}	1.26^{+}	3.10^{+++++}	8.50^{++}	0.34^{+}	0.00	68.00^{+}	14.33^{+}	1.78^{+++}	3.25^{+}

续表 1（Table 1 continued）

	曹县 Caoxian	昌邑 Changyi	德州 Dezhou	菏泽 Heze	济宁 Jining	莒南 Junan	临清 Linqing	宁津 Ningjin	庆云 Qingyun	日照 Rizhao	郯城 Tancheng	威海 Weihai	潍坊 Weifang	济阳 Jiyang
东方蝼蛄 *Gryllotalpa orientalis* (Burmeister)	79.24^{++++}	35.60^{++}	13.63^{++}	29.46^{+++}	∞	2.31^{+}	8.00	70.91^{++++}	31.13^{+++++}	25.71^{+}	28.55^{++}	18.08^{++}	51.27^{++}	2.50
中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* (Tjeder)	89.00^{+}	8.33^{+}	9.11^{++}	5.33^{+}	4.44^{+}	2.00	2.21^{+}	2.01^{+}	6.60	24.50^{+}	7.00	36.00^{+}	136.90^{+}	6.33^{++++}
大草蛉 *Chrysop pallens* (Rambur)	75.00^{++}	9.00^{+}	6.92^{+++}	6.35^{++}	6.50^{++}	10.00	1.20	1.15^{++}	11.60	15.60^{+++}	9.00	17.50^{+}	6.21^{+++}	9.33^{+++++}
异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)	0.89	0.00	5.11^{+}	1.76^{+}	0.33	∞	0.81	2.71^{++}	1.85	2.78	0.36	1.17	0.50	7.33^{++}
多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Goeze)	0.67	∞	17.00	1.69^{+}	1.40	∞	11.00	2.00	0.18	17.00	0.00	0.00	∞	6.50
梭毒隐翅虫 *Paederus fuscipes* (Curtis)	4.00	1.26^{+}	12.86^{+}	1.49^{++++}	2.00	1.26^{+++}	1.00	0.69^{+}	171.38	3.60^{+}	2.14	4.68^{++++}	2.80	17.00^{+++}

+表示探照灯诱集种群突增突减次数；∞表示地面灯诱集数量为 0。

+ indicates the number of sudden increase and decrease of insect population trapped by searchlight; ∞ indicates the number of trapped by ground light-trap was 0.

1.4　昆虫鉴定

主要依据《北京飞蛾类图谱》(虞国跃，2014)、《王家园昆虫》(虞国跃，2016)、《中国昆虫生态大图鉴》(张巍巍和李元胜，2011）进行昆虫种类鉴定。

1.5　昆虫迁飞性判断

本研究拟根据两个标准来判断昆虫是否具有迁飞性，一是昆虫种群数量存在“突增突减”现象（张智，2013），二是探照灯诱虫器和地面灯诱虫器诱虫量之间的比值高于 1（封洪强，2003），两个条件同时具备时，就认为该昆虫具有迁飞性。

2　结果与分析

2.1　主要昆虫迁飞性判定

本文对诱集到的种群数量较多的 25 种昆虫进行分析。结果表明，棉铃虫、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*、劳氏粘虫 *Leucania loreyi*、黄地老虎、大地老虎 *Agrotis tokionis*、甜菜夜蛾、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、银纹夜蛾 *Ctenoplusia agnata*、甘薯天蛾 *Agrius convolvuli* 、瓜绢野螟 *Diaphania indica*、甜菜白带野螟 *Hymenia recurvalis*、黄翅缀叶野螟 *Botyodes diniasalis* (Walker)、豆荚斑螟 *Limabean podborer*、东方蝼蛄 *Gryllotalpa orientalis*、中华通草蛉 *Chrysoperla sinica*、大草蛉 *Chrysop pallens* 等在大部分监测点都有明显的突增突减现象，并且探照灯诱虫器和地面灯诱虫器诱虫量之间的比值高于 1，认为发生了迁飞过程。小地老虎在 14 个监测点比值均大于 1，但种群数量在仅 6 个监测点有明显的突增突减现象（表 1）。

2.2　14 个监测点诱集迁飞性昆虫数量比较

9-10 月昆虫在山东省主要由北向南迁飞，宁津（25.90%）和济阳（20.81%）的探照灯诱虫器诱集昆虫数量最多，其次为庆云（12.31%）、曹县（9.26%）、菏泽（7.09%）、临清（5.47%），济宁最少（0.90%）(图 1)。

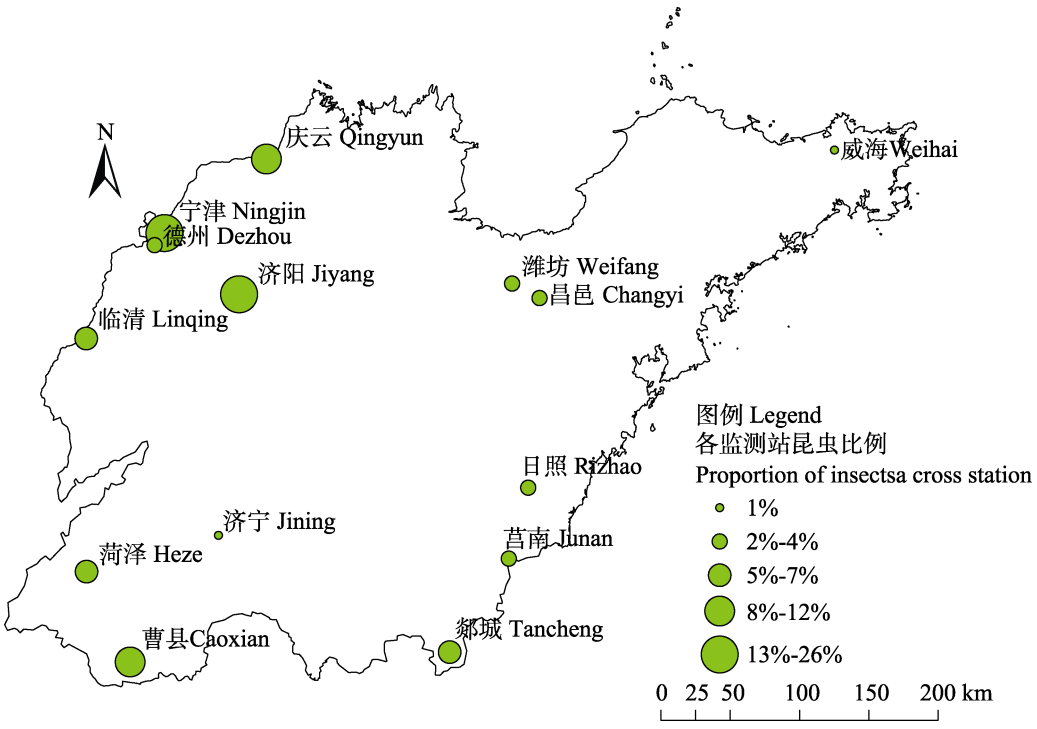

图 1　14 个监测点探照灯诱集昆虫比例

Fig. 1　Proportion of insects trapped by searchlight trap in 14 monitoring sites

对诱集数量较多的 5 种害虫进行分析（图 2），宁津诱捕到的棉铃虫最多，占总诱捕量（14 个监测点诱集棉铃虫数量总和）的 47.53%，其次为曹县（13.77%）、庆云（10.12%）、菏泽（10.07%），威海数量最少（0.07%）。在济阳诱捕到的玉米螟占总诱捕量（14 个监测点诱集玉米螟数量总和）的 70.26%，其次为临清（14.77%）、曹县（3.79%），济宁最少（0.22%）。在济阳诱捕到的桃蛀螟占总诱捕量（14 个监测点诱集桃蛀螟数量总和）的 74.36%，其次为菏泽（4.86%）、日照（3.97%）、潍坊（3.24%），济宁最少（0.21%）。在菏泽诱捕到的劳氏粘虫占总诱捕量（14 个监测点诱集劳氏粘虫数量总和）的 22.58%，其次为曹县（21.02%）、济阳

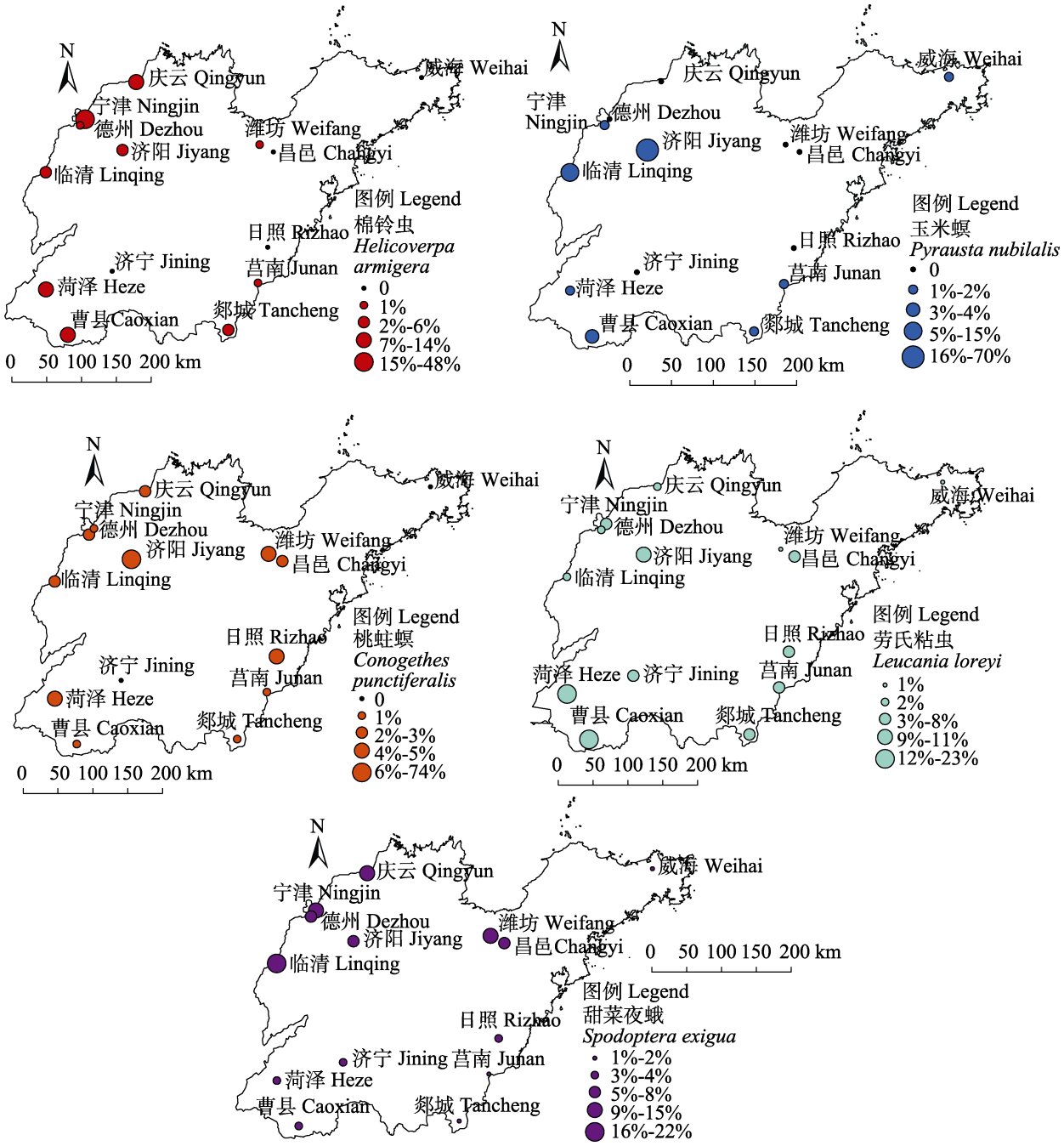

图 2　14 个监测点探照灯诱集 5 种主要害虫比例

Fig. 2　Proportion of 5 insects trapped by searchlight trap in 14 monitoring sites

（11.42%）。在临清诱捕到的甜菜夜蛾占总诱捕量（14 个监测点诱集甜菜夜蛾数量总和）的21.60%，其次为庆云（14.82%）、宁津（14.21%）、潍坊（12.27%）。

3　结论与讨论

棉铃虫、玉米螟、桃蛀螟、劳氏粘虫、甜菜夜蛾、斜纹夜蛾、银纹夜蛾、甘薯天蛾、瓜绢野螟、甜菜白带野螟、黄翅缀叶野螟、豆荚斑螟、东方蝼蛄、中华通草蛉、大草蛉等是常见的迁飞性昆虫，在本研究中均观测到它们迁飞的过程。异色瓢虫和龟纹瓢虫是北方优势天敌种类，有研究显示其具有迁飞性，但在本研究中诱集数量较少，一些监测点地面灯比探照灯数量多，未发现明显的从北向南迁飞的过程。小地老虎是常见的迁飞性昆虫，但仅在 6 个监测点观测到突增突减的现象。

Feng 等（2004b）研究跨海迁飞昆虫时发现，棉铃虫春季向东北定向，夏季无明确飞行方向，粘虫、草地螟、甜菜夜蛾、小地老虎等秋季向西南定向（Feng *et al.*，2003；2008）。目前还没有利用多点监测迁飞性昆虫经山东从北向南迁飞过程的报道。本研究发现，宁津、济阳、庆云、曹县、菏泽、临清是迁飞性昆虫诱捕量最多的 6 个监测点，均位于山东省西部，据此我们推测山东西部迁飞性昆虫由北往南迁飞时是主要通道。鲁西北地区属于温带季风气候区，具有显著的季节变化和季风气候特征，有利于昆虫的跨区域转移，同时该区也是小麦、玉米、棉花的主要种植区，有利于昆虫迁飞过程中补充食物。

由于昆虫个体小，飞行能力有限，其迁飞过程极大程度上受大气环境（气象因子、天气系统或过程）的影响（胡高等，2020）。在我国，昆虫迁飞与东亚地区低层大气环流季节性变化有密切关系（吴孔明等，1998）。9、10 月秋季来临，副热带反气旋减弱，盛行的西南气流在我国逐渐消失，西北气流控制了东北、华北，其它地区都逐步转为东北气流控制，迁飞性昆虫随着气流往南回迁（赵圣菊，1981）。本研究首次利用多点的监测数据分析了迁飞性昆虫经山东由北向南的过程，初步明确了昆虫迁飞主要经由山东西部向南迁飞，具体的迁飞路径还需要通过昆虫雷达观测、结合气象的迁飞轨迹分析，进一步确定。

参考文献 (References)

An LF, Zhan JC, 2005. The first widespread outbreak of *Scotogramma trifolii* Rottemberg in Baicheng. *China Plant Protection*, 25(8): 38. [安丽芬, 战继春, 2005. 旋幽夜蛾在白城市首次大面积暴发为害. 中国植保导刊, 25(8): 38.]

Cheng XN, 1992. Recent advances in research on the migrating insects in China. *Entomolgical Knowledge*, 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.]

Dingle H, 1996. Migration: The Biology of Life on the Move. New York: Oxford University Press. 474.

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 Acdemy 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, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2004a. Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and other months in early summer observed with radar in northern China. *Journal of Economic Entomology*, 97(6): 1874–1883.

Feng HQ, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2004b. Spring migration and summer dispersal of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and other insects observed with radar in northern China. *Environmental Entomology*, 33(5): 1253–1265.

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.

Guo JL, 2016. Study on moth migratory principle across the Bohai Strait and flight capacity in *Agrotis segetum* (Lepidoptera: Noctuidae). Master dissertation. Zhengzhou: Henan Agricultural University. [郭江龙, 2016. 黄地老虎渤海湾迁飞规律及飞行能力研究. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学.]

Hu G, Gao BY, Feng HQ, Jiang XF, Zhai BP, Wu KM, 2020. Insect

migration: Individual behaviour, population dynamics and ecological consequences. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 34(4): 456–463. [胡高, 高博雅, 封洪强, 江幸福, 翟保平, 吴孔明, 2020. 迁飞昆虫的个体行为、种群动态及生态效应. 中国科学基金, 34(4): 456–463.]

Magor J, 1995. Forecasting migrant insect pests//Drake VA, Gatehouse AG (eds.). Insect Migration: Tracking Resources Through Space and Time. Cambridge: Cambridge University Press. 399–426.

Roff DA, 1990. The evolution of flightlessness in insects. *Ecological Monographs*, 60(4): 389–421.

Southwood TRE, 1962. Migration of terrestrial arthropods in relation to habitat. *Biological Reviews*, 37(2): 171–214.

Wu KM, Xu G, Huo YY, 1998. Obserations on migratory actiity of cotton bollworm moths across the Bohai gulf in China. *Acta Phytophylacica Sinica*, 25(4): 337–340. [吴孔明, 徐广, 郭予元, 1998. 棉铃虫一代成虫在渤海海面迁飞的考察. 植物保护学报, 25(4): 337–340.]

Yu GY, 2014. Moths in Beijing. Beijing: Science Press.1–478. [虞国跃, 2014. 北京蛾类图谱. 北京: 科学出版社.1–478.]

Yu GY, 2016. Insects of Wangjiayuan. Beijing: Science Press.1–544. [虞国跃, 2016. 王家园昆虫. 北京: 科学出版社.1–544.]

Zhao SJ, 1981. Relation between long-distance migration of the oriental armyworm ang the seasonal variation of the general circulation over east asia. *Acta Ecologica Sinica*, 1(4): 315–326. [赵圣菊, 1981. 东亚地区低层大气环流季节性变化与粘虫远距离迁飞. 生态学报, 1(4): 315–326.]

Zhang WW, Li YS, 2011. Chinese Insects Illustrated. Chongqing: Chongqing Uniersity Press.1–691. [张巍巍, 李元胜, 2011. 中国昆虫生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社. 1–691.]

Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Zhang YJ, Jiang YY, Jiang JW, 2007. Radar observation and population analysis on the migration of the clover cutworm, *Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(5): 494–500. [张云慧, 陈林, 程登发, 张跃进, 姜玉英, 蒋金炜. 2007. 旋幽夜蛾迁飞的雷达观测和虫源分析. 昆虫学报, 50(5): 494–500.]

Zhang YH, Cheng DF, Jiang YY, Zhang YJ, Sun JR, 2010. Analysis on the population status of the overwintering generation of the clover cutworm *Scotogramma trifolii* (Lepidoptera: Noctuidae) in Beijing. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(9): 1815–1822. [张云慧, 程登发, 姜玉英, 张跃进, 孙京瑞, 2010. 北京地区越冬代旋幽夜蛾迁飞的虫源分析. 中国农业科学, 43(9): 1815–1822.]

Zhang YH, Zhang Z, Jiang YY, Zeng J, Gao YB, Cheng DF, 2012. Preliminary analysis of the outbreak of the third-generation armyworm *Mythimna separata* in China in 2012. *Plant Protection*, 38(5): 1–8. [张云慧, 张智, 姜玉英, 曾娟, 高月波, 程登发, 2012. 2012 年三代黏虫大发生原因初步分析. 植物保护, 38(5): 1–8.]

Zhang Z, 2013. Monitoring and population dynamics analyses of important migratory pest insects in northern china. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Acdemy of Agricultural Sciences. [张智, 2013. 北方地区重大迁飞性害虫的监测与种群动态分析. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]