

吉林省中西部地区玉米蛾类害虫群落结构及多样性

孙 崑¹, 潘艺元², 姜媛媛¹, 李宇诗³, 苏前富¹,
杨 微¹, 周佳春¹, 高月波^{1,2}

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林农业大学, 长春 130118; 3. 长春海关技术中心, 长春 130062)

摘 要: 为探明吉林省中西部地区玉米蛾类害虫的种类及组成, 2017~2020年利用高空探照灯逐日诱集蛾类昆虫并分类, 阐明各蛾类种群的动态, 对蛾类群落多样性进行分析。结果表明, 共采集、鉴定玉米蛾类害虫4科16种, 优势科为夜蛾科, 种数占比达68.75%。明确各种害虫的虫源结构及危害方式, 分析9种种群数量大、可造成危害的关键害虫的种群动态。蛾类群落丰富度随时间的变化呈波浪式, 7月的群落丰富度、群落多样性都较高, 5月、10月的群落均匀度相对较高。5月、7月的群落相似性系数最高, 10月与各月的相似性系数都较低。明确各月优势度指数较高的种类, 可为此区域蛾类害虫的监测预警与综合治理提供理论依据。

关键词: 玉米; 鳞翅目; 高空探照灯; 群落多样性; 种群动态

中图分类号: S435.131

文献标识码: A

Study on the Structure and Diversity of Maize Moth Communities under Light-Trap in the Central and Western Jilin Province

SUN Wei¹, PAN Yi-yuan², JIANG Yuan-yuan¹, LI Yu-shi³, SU Qian-fu¹,

YANG Wei¹, ZHOU Jia-chun¹, GAO Yue-bo^{1,2}

(1. Jinlin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;

2. Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

3. Changchun Customs Technology Center, Changchun 130062, China)

Abstract: The moth communities of Lepidoptera were investigated by vertical-pointing searchlight-traps from 2017 to 2020 to reveal the maize pests and composition in the central and western Jilin province, and provide background information about insect diversity and population dynamics. The results showed that, there were 16 maize moth species belonging to 4 families, the dominant family is the Noctuidae, with 68.75% of individual species. The population source and harm way of these moths were analyzed, and the population dynamics of abundant nine species were analyzed. The varied richness exhibited a discreet picking phenomenon. The index of richness and diversity in July was relatively higher than other months. The index of evenness in May and October was relatively higher. The community similarity was very high between May and July, while those were very low between October and other months. The dominant species in different months were confirmed. This study provides a theoretical basis for monitoring, predicting and comprehensive protection of maize pests in this area.

Key words: Maize; Lepidoptera; Vertical-pointing searchlight-trap; Community diversity; Population dynamic

录用日期: 2021-07-23

基金项目: 吉林省农业科学院创新工程创新团队项目(CXGC2021TD001)、吉林省农业科学院基本科研经费项目(KYJF2021ZR015)、财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系、2021年吉林省乡村振兴专项资金“玉米化肥农药减施绿色安全生产技术示范”、吉林省农业科学院创新工程人才基金项目、吉林省科技发展计划项目(20200702037NC)

作者简介: 孙 崑(1982-), 吉林长春人, 博士, 副研究员, 研究方向为昆虫生态学。E-mail: swwsw1221@sina.com

高月波为本文通讯作者。E-mail: gaoyuebo8328@163.com

吉林省位于东北地区的中部, 是我国重要的农作物种植区及粮食输出省, 玉米年种植面积达400万 hm^2 以上, 素有“玉米之乡”美称。作物生长期为4~10月, 冬季寒冷漫长。按地貌主要分为东部山地和中西部平原。中西部平原位于松辽平原腹地, 适宜于玉米连片、大面积种植。玉米虫害是影响栽培玉米产量和品质的重要生物因子, 严重影响着此区域的玉米种植产业^[1]。依昆虫类别划分, 鳞翅目蛾类害虫是玉米害虫中至关重要的类群, 其以幼虫

危害,属完全变态类昆虫,主要包括玉米螟 *Ostrinia furnacalis*(Guenée)、地老虎、黏虫 *Mythimna separata* (Walker)、灯蛾、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* (Guenée)等^[2]。

前人针对吉林省玉米蛾类害虫的研究工作,主要针对在当地能造成较大危害的两种害虫—玉米螟和黏虫,内容主要包括种群发生规律、迁飞行为、危害行为、发生世代等^[3-7],对其他玉米蛾类害虫的研究报道较少。吉林省鳞翅目昆虫的种类及群落结构的研究方面,杨斌等^[8]对于长白落叶松人工林的灯下蛾类昆虫的多样性进行研究,共收集、鉴定47种蛾类昆虫,以尺蛾科、天蛾科数量居多。刘生冬等^[9]分析长白山高山苔原带的昆虫种类及时间动态,共采集、鉴定鳞翅目昆虫149种,提出7月为昆虫活跃高峰期。目前缺乏对该区玉米蛾类群落结构及多样性的系统研究。本研究于2017~2020年,在中西部地区的公主岭市利用高空探照灯,对玉米蛾类害虫的种类进行系统调查,阐明关键种在此地区的种群消长动态,在此基础上研究蛾类群落及多样性水平,为明确此区域玉米蛾类害虫的种类组成、蛾类害虫的监测预警体系的建立及绿色防控技术的完善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验选择在吉林省农业科学院试验基地进行,地理坐标位于43°31'69" N, 124°49'28" E。基地农作物种类除大面积种植的玉米(*Zea mays* L.)外,还包括大豆(*Glycine max*(L.) Merr.)、高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)、小麦(*Triticum aestivum* L.)等。

1.2 群落调查

采用自制高空探照灯逐日诱集蛾类昆虫,高空探照灯的设计参照程登发等^[10],光源为ZJD 1000W金属卤化物灯、GT75型探照灯。设立1台高空探照灯,安装于四周空旷的空地,周围无遮挡光线的建筑物,距离玉米田约100 m。利用铁圈将灯固定在大漏斗内,灯光发出向上照射的光柱,诱集到的昆虫掉入装有洗衣粉溶液的塑料水桶中。利用定时器控制,日落开灯,日出关闭,每日清晨取虫,带回室内烘干、分类、统计。4年的调查时间分别为2017年5月9日~9月28日、2018年5月9日~9月28日、2019年3月13日~10月20日、2020年3月24日~10月19日。

对于采集的蛾类标本,分类鉴定主要参考《中国动物志》^[11-13]、《中国经济昆虫志》^[14-18]、中国蛾类图

鉴(I-IV)^[19]、《玉米病虫害防治彩色图谱》^[20]、《中国玉米病虫害草害图鉴》^[21]。为提高鉴定准确性,使用DNA分子鉴定方法确认部分蛾类物种。选用DNA条形码引物, LCO1490(5'-GGTCAACAAATCATAAA-GATATTGG-3'); HCO2198(5'-TAAACTTCAGGGT-GACCAAAAAATCA-3')^[22],对未知种基因组DNA进行PCR扩增,扩增成功后委托生工生物工程(上海)股份有限公司单项测序,测序结果在NCBI网站上进行BLAST比对、确认,与GenBank上已发表物种序列一致性达99%以上者,确认为该物种。详细的试验方法、分析方法参照孙崑等^[23]。

1.3 数据处理与分析

中国农业科学院的学者在渤海中间的山东省长岛县,系统监测并明确跨越渤海迁飞的昆虫种类^[24]。本研究据此确认所诱蛾类是否有跨海迁入吉林的行为。采用各种多样性指数对蛾类群落多样性进行分析。

丰富度(S)为灯下蛾类群落中调查到的物种数。

群落多样性指数(Shannon-Wiener):

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

式中, H' 为蛾类群落多样性指数, P_i 为第*i*种蛾的数量占蛾类总量的比例。

$$\text{均匀性指数}(J') J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

$$\text{不同月份蛾类群落相似性: } I = \frac{2J}{a+b}$$

I :相似性, a 为A月蛾类种类数, b 为B月蛾类种类数, J 为A、B两月相同种类数。

优势度指数(Berger-Parker 优势度指数) D_n 分析: $D_n = N_i/N$, N_i , N 分别为第*i*种蛾类数量和蛾类总量。

试验数据采用Excel 2010软件对各项数据进行分析并制图。

2 结果与分析

2.1 群落组成

2017~2020年对玉米田蛾类群落连续取样,利用高空探照灯共采集、鉴定玉米蛾类害虫16种,分属鳞翅目的4科(表1)。其中,夜蛾科为优势科(数量占比68.75%),其他包括草螟科(18.75%)、灯蛾科(6.25%)和枯叶蛾科(6.25%)。跨越渤海迁入吉林的种类为甜菜白带野螟、草地螟、亚洲玉米螟、黄地老虎、小地老虎、烟实夜蛾(烟青虫)、棉铃实夜蛾(棉铃虫)、黏虫。二点委夜蛾在其他区域有迁飞行为的记录。本研究统计在此区域以玉米为主要寄主的害虫

种类,部分昆虫危害植物范围广,除危害主要寄主植物外,也危害玉米,此类昆虫灯下可见贪夜蛾(甜菜夜蛾)*Spodoptera exigua* (Hübner)、旋幽夜蛾*Anarta trifolii* (Hufnagel)、古毒蛾*Orgyia antique* (Linnaeus)、人纹污灯蛾(红腹白灯蛾)*Spilarctia subcarnea* (Walker)、星白雪灯蛾*Spilosoma lubricipedum* (Linnaeus)、黄刺蛾*Cnidocampa flavescens*(Walker)、褐边绿刺蛾*Parasa consocia* Walker、中国绿刺蛾*Parasa sinica* Moore等。

表1 吉林省中西部玉米蛾类昆虫群落组成
Table 1 Moth species composition in the central and western Jilin province

科 Family	种 名 Species	拉丁名 Grus japonensis
灯蛾科 Arctiidae	美国白蛾	<i>Hyphantria cunea</i> (Drury, 1773)
枯叶蛾科 Lasiocampidae	黄褐幕枯叶蛾	<i>Malacosoma neustria testscea</i> (Motschulsky, 1861)
草螟科 Crambidae	甜菜白带野螟*	<i>Spoladea recurvalis</i> (Fabricius, 1775)
	草地螟	<i>Loxostege sticticalis</i> (Linnaeus, 1761)
夜蛾科 Noctuidae	亚洲玉米螟	<i>Ostrinia furnacalis</i> (Guenée, 1854)
	黄地老虎*	<i>Agrotis segetum</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)
	小地老虎*	<i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel, 1766)
	三叉地老虎	<i>Agrotis trifurca</i> Eversmann, 1837
	麦刍夜蛾*	<i>Amphipoea fucosa</i> (Freyer, 1830)
	后委夜蛾*	<i>Athetis gluteosa</i> (Treitschke, 1835)
	甜菜黎夜蛾*	<i>Cotogramma trifolii</i> Rottemberg
	烟实夜蛾	<i>Helicoverpa assulta</i> (Guenée, 1852)
	棉铃实夜蛾	<i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner, [1805])
	粘虫	<i>Mythimna separata</i> (Walker, 1865)
	稻螟蛉夜蛾	<i>Naranga aenescens</i> Moore, 1881

注:*表示测序确认物种。
Note: *, the species were confirmed by molecular marker.

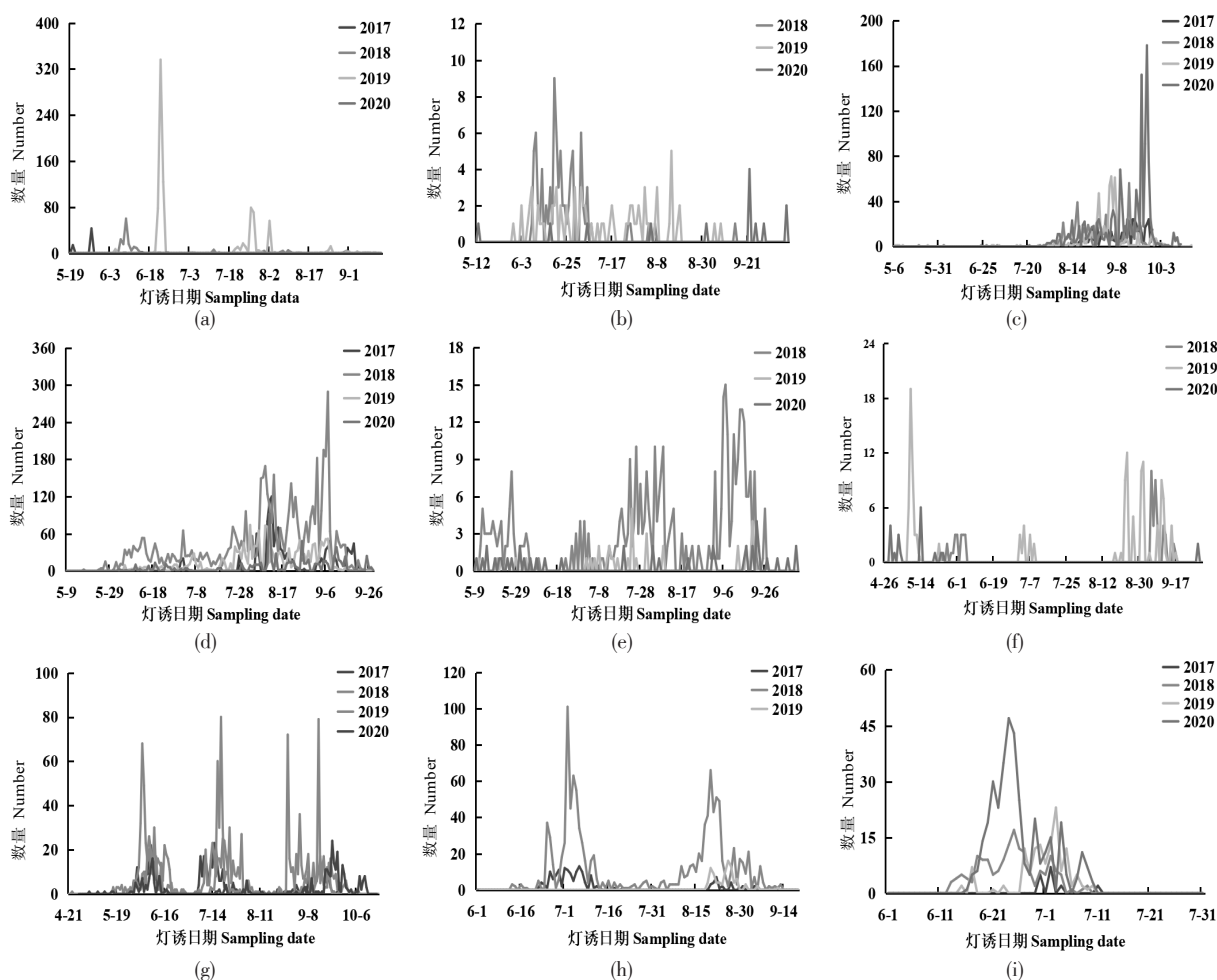
2.2 群落时间动态

部分蛾类的种群数量处于较低水平,麦刍夜蛾(7月中下旬)、后委夜蛾(5月至7月)、三叉地老虎(9月)、甜菜黎夜蛾(6月至8月)、烟实夜蛾(7月、9月)、稻螟蛉夜蛾(7月中下旬)、甜菜白带野螟(9月中下旬)可少量调查到。部分蛾类发生种群动态在整个发生期呈多峰型,亚洲玉米螟有两个成虫世代的发生峰期,分别在6月、8月至9月;黏虫有3个世代的成虫发生峰期,分别为6月上中旬、7月中下旬、9月;亚洲玉米螟、黏虫年度间种群动态差异不大,有较强的规律性,各年度之间的峰值差异较大,直接导致各年度田间危害程度的差异;美国白蛾峰期在6月下旬至7月中旬、8月中旬至9月上旬,2018年呈现典型的双峰型;黄褐幕枯叶蛾发生期较为集中,各年度均在6月中旬到7月上旬,但峰值日有所差异;棉铃实夜蛾发生在8月至10月,包括迁入期和迁出期,除2020年的诱集数量在较高水平之外,其他年份数值差异不大;黄地老虎主要发生在5月至9月,各时期种群数量较为均匀;草地螟在5月至8月可见,2019年诱集数量在较高水平,此年度在局部地区形成了危害;

二点委夜蛾在5月、8月至9月可见;小地老虎在6月至8月可见(图1)。

2.3 群落多样性

研究表明,蛾类昆虫群落的丰富度随时间呈波浪式变化(图2),不同年度之间变化趋势相近,以7月的群落丰富度最高,物种数以2019年7月调查最多,共11种。3、4、5、10月都处于较低水平,种类数均在5种以下,这与此时期当地较低的温度有直接关系。群落的多样性指数显示,7月的多样性较高,4年的数值为1.093~1.49,说明此时期昆虫较为活跃,群落结构最为稳定。5、10月的多样性指数相对较低,5月的群落多样性指数为0.607~1.055,10月的群落多样性指数为0.765~0.797,与丰富度的变化趋势相近。群落的均匀性指数随时间的变化规律不明显,各年度之间也无明显规律。相对而言,5、10月的均匀性指数较高,5月的群落均匀性指数为0.648~0.876,10月的群落均匀性指数在0.697~0.725之间。说明此时期群落物种间平衡性最佳,这与调查到的物种数不多,且分布数量均匀有关。

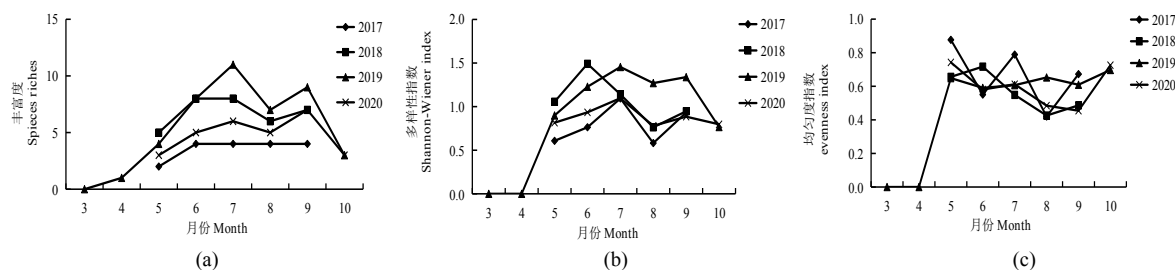


注:a代表草地螟;b代表小地老虎;c代表棉铃实夜蛾;d代表玉米螟;e代表黄地老虎;f代表二点委夜蛾;g代表粘虫;h代表美国白蛾;i代表黄褐幕枯叶蛾。

Note: a, *Loxostege sticticalis*; b, *Agrotis ipsilon*; c, *Helicoverpa armigera*; d, *Ostrinia furnacalis*; e, *Agrotis segetum*; f, *Athetis lepigone*; g, *Mythimna separata*; h, *Hyphantria cunea*; i, *Malacosoma neustria testscea*.

图1 2017~2020年垂直探照灯下蛾类种群动态图

Fig.1 Population dynamics of pest moths by vertical-pointing searchlight-traps during 2017-2020



注:a代表群落丰富度;b代表群落多样性;c代表群落均匀性。

Note: a, richness; b, diversity; c, evenness.

图2 2017~2020年不同月份间蛾类群落多样性指数的变化

Fig.2 Monthly variation of diversity indices of moth communities in different months during 2017-2020

利用相似性系数计算各月间蛾类群落相似系数,未见规律性,均值为0.698 2(表2)。10月与各月群落相似性水平均较低。6月至8月各月之间群落相似性水平均较高。不同月份昆虫群落相似性指数

最高的是5月和7月(0.923 1);6月与10月调查所得蛾类的共有种少,相似度系数最低(0.428 6);5月蛾类群落优势度指数较为平均,黄褐幕枯叶蛾、草地螟、亚洲玉米螟、棉铃实夜蛾优势度指数均为0.1;6

月蛾类群落优势度指数较高的是羽化越冬代亚洲玉米螟(0.292 6)及迁入吉林省的春季黏虫(0.243 4);7月蛾类群落优势度指数较高的是亚洲玉米螟(0.437 1)及二代黏虫(0.242 7);8月蛾类群落优势度指数较高的是一代亚洲玉米螟(0.706 1)及此时期迁

入吉林省的棉铃实夜蛾(0.143 9);9月蛾类群落优势度指数较高是亚洲玉米螟(0.454 7)及棉铃实夜蛾(0.377 9)。总体看来,各月群落优势度指数较高的种类均为当月此区域重要的玉米害虫。

表2 不同月份蛾类群落间的相似性
Table 2 Monthly variation of moth communities on similarity indices

月 份 Month	5	6	7	8	9	10
5						
6	0.833 3					
7	0.923 1	0.909 1				
8	0.636 4	0.888 9	0.800 0			
9	0.833 3	0.700 0	0.727 3	0.777 8		
10	0.444 4	0.428 6	0.500 0	0.500 0	0.571 4	

3 结论与讨论

本研究通过4年调查,明确了吉林省中西部地区灯下玉米蛾类害虫的种类。这些种类中,部分害虫是在吉林省区域性气候及种植模式下,出现危害玉米现象(如黄褐幕枯叶蛾,其以幼虫危害桃、杏、苹果、梨、栎、杨等多种落叶树的叶子,是果树上的常见害虫,在吉林省已成为需监测及防控的玉米害虫)。根据周燕等^[24]等研究,本文明确跨海迁入吉林的玉米蛾类害虫,其中小地老虎、棉铃实夜蛾、黏虫为吉林省外来侵入害虫,其发生情况决定于虫源地的发生量,涉及异地预报^[25]。部分种类属于混合发生,既有跨海迁入的虫源也有本地越冬的虫源,包括草地螟、亚洲玉米螟、黄地老虎、烟实夜蛾、甜菜白带野螟^[26],需通过卵巢解剖等研究方法,才能明确其当季虫源性质。美国白蛾、黄褐幕枯叶蛾、三叉地老虎、稻螟蛉夜蛾、后委夜蛾、甜菜黎夜蛾、麦奂夜蛾能在本区域越冬的本地害虫,可根据历年的发生时期进行预测预报及防治。二点委夜蛾是我国夏玉米区的新发害虫^[27,28],缺少在东北地区的越冬实证,无法确定其虫源。

种群动态分析结果阐明了各蛾类害虫的消长规律。麦奂夜蛾、后委夜蛾、三叉地老虎、甜菜黎夜蛾、烟实夜蛾、稻螟蛉夜蛾、甜菜白带野螟在不同年度的调查数量均较少,无法进一步分析其发生规律性,这几种害虫在田间也较少见。其他蛾类害虫在不同年度的发生时期相近,说明无论是迁入虫源还是本地越冬虫源,都有着较为稳定的种群动态规律。不同年度之间,峰值有较大差异。这一方面是由迁入虫

量的不同,迁入虫量多,该年度的种群数量就相对较高;另一方面,本地虫源的发生量与气候、越冬虫源等因素有关,如这些因素有利于害虫的发生,该年度的峰值就会较高。蛾量的高低与当年危害程度有直接关系,如黏虫危害较重的年份,均是峰值较高的年度。部分蛾类害虫种群动态图呈波动式增长,有多峰型,说明害虫在田间有世代重叠及多世代发生的现象。各月优势度高的害虫应作为重点防治对象,预测预报时,可根据成虫动态,应用有效积温预测式确定幼虫的危害时期。在危害方式上,第一类是地下害虫(小地老虎、黄地老虎、二点委夜蛾)以幼虫啃食大豆幼苗根基部,致使幼苗死亡,严重时可导致毁种^[29];第二类是食叶害虫,取食叶片,造成叶片残缺,严重影响玉米产量和品质,包括草地螟、黏虫、黄褐幕枯叶蛾、美国白蛾^[30];第三类是钻蛀及穗部的两种害虫(棉铃实夜蛾、玉米螟),在吉林省中西部常常混合发生,均可蛀茎危害,取食玉米子粒,被害果穗极易引起穗腐病^[31]。

群落丰富度体现蛾类物种的多寡,玉米蛾类害虫丰富度与温度、植物生长状态有关。7月是昆虫活跃高峰期,蛾类物种丰富,对7月份气候适应性最强。群落多样性相关指数是测定群落组成与结构水平的重要指标,反映群落物种富集度、变异程度及环境适应度^[32~36]。群落多样性受生境中植被类型、温湿度等环境因素影响。7月的蛾类群落多样性与丰富度的变化趋势一致,处于相对较高水平。丰富的群落多样性,能促进蛾类自然种群的稳定均匀性,是衡量群落均匀程度的指数,个体数分配越均匀,数值就越大,群落趋于更加稳定。均匀性数值与上述指

数的变化趋势不同,没有体现出时间规律性。群落的相似性反映了蛾类群落物种组成的相似程度,可为划分群落之间的相近程度提供可靠依据。10月与其他月份相似系数低,说明因时间跨度较大及物种变少,群落结构差别较大。6~8月群落相似系数较大,表明这几个月的昆虫群落结构较为相似,生物与环境之间形成了适应性。因为部分蛾类生长周期长、世代重叠及多世代现象所导致的,各月之间的相似性并未体现出太强的规律性。本研究所选的监测区域具较高的代表性,研究结果可为玉米害虫的分布提供有益的理论数据,为蛾类害虫有效管理及综合治理提供科学依据。由于吉林省区域内气候差异、生境复杂、植物多样性高,相同害虫在不同区域有着不同发生世代及危害规律(如玉米螟)。在今后研究工作中,应扩大取样范围,进一步明确玉米蛾类害虫在吉林省的分布情况。

本研究2017~2020年,通过灯光监测共采集鉴定4科16种以玉米为主要寄主的蛾类害虫,种类以夜蛾科最多,种类数占比超过一半。虫群来源属本地越冬及异地迁入。按危害方式区分,可分为地下害虫、食叶害虫以及蛀茎害虫。根据逐日调查数据对9种数量较高、可造成严重危害的害虫的消长规律进行分析,基于此推测其自然条件下各虫态的时间动态,以便制定科学的测报、防控策略。蛾类群落多样性与所处环境如气候、作物等因素关系密切,相关参数随时间变化。蛾类群落7月份有较高的多样性指数、丰富度指数,说明其对7月份的适应性较强。

参考文献:

- [1] 石 洁,王振营.玉米病虫害防治彩色图谱[M].北京:中国农业出版社,2010.
- [2] 王晓鸣,王振营.中国玉米病虫害草害图鉴[M].北京:中国农业出版社,2018.
- [3] 鲁 新,张国红,李丽娟,等.吉林省亚洲玉米螟的发生规律[J].植物保护学报,2005,32(3):241-245.
Lu X, Zhang G H, Li L J, et al. The occurrence of the Asian corn borer in Jilin province[J]. Journal of Plant Protection, 2005, 32(3): 241-245. (in Chinese)
- [4] 高月波,孙雅杰,张 强,等.东北黏虫春季空中虫群的迁飞行为[J].应用昆虫学报,2014,51(4):906-913.
Gao Y B, Sun Y I, Zhang Q, et al. The spring migration behavior of the oriental armyworm, *Mythimna separata*, in northeastern China[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2014, 51(4): 906-913. (in Chinese)
- [5] 鲁 新,周淑香,李丽娟,等.吉林省不同地区亚洲玉米螟发生世代的变化[J].植物保护学报,2015,42(6):978-984.
Lu X, Zhou S X, Li L J, et al. Generation distribution change of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*(Guenée) in Jilin province[J]. Journal of Plant Protection, 2015, 42(6): 978-984. (in Chinese)
- [6] 程志加,孙 崑,高月波,等.东北地区三代黏虫玉米田危害行为研究[J].应用昆虫学报,2018,55(5):849-856.
Cheng Z J, Sun W, Gao Y B, et al. Damage to maize crops in North-eastern China caused by the third generation of the armyworm *Mythimna separata*(Walker)[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2018, 55(5): 849-856. (in Chinese)
- [7] 孙 崑,程志加,赫思聪,等.吉林省黏虫种群发生规律研究[J].环境昆虫学报,2019,41(6):1260-1267.
Sun W, Cheng Z J, He S C, et al. The research of occurrence regularity of *Mythimna separate* (Walker) in Jilin province[J]. Journal of Environmental Entomology, 2019, 41(6): 1260-1267. (in Chinese)
- [8] 杨 斌,王海峰,郝建秀.长白落叶松人工林灯下蛾类昆虫多样性研究[J].吉林农业,2011(9):93-95.
Yang B, Wang H F, He J X. Study on the diversity of moths under light in *Larix olgensis* plantation[J]. Agriculture of Jilin, 2011(9): 93-95. (in Chinese)
- [9] 刘生冬,吕松瞳,史佳琦,等.长白山高山苔原带蛾类物种组成与时间动态[J].生态学报,2021,41(2):1-12.
Liu S D, Lü S T, Shi J Q, et al. Species composition and temporal dynamic of moths in alpine tundra in Changbai Mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(2): 1-12. (in Chinese)
- [10] 程登发,封洪强,吴孔明.扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测[M].北京:科学出版社,2005.
- [11] 朱弘复,王林瑶.中国动物志:第十一卷鳞翅目天蛾科[M].北京:科学出版社,1997.
- [12] 薛大勇,朱弘复.中国动物志:第十五卷鳞翅目尺蛾科花尺蛾亚科[M].北京:科学出版社,1999.
- [13] 陈一心.中国动物志:第十六卷鳞翅目夜蛾科[M].北京:科学出版社,1999.
- [14] 朱弘复,陈一心.中国经济昆虫志:第三册鳞翅目夜蛾科(一)[M].北京:科学出版社,1963.
- [15] 朱弘复,方承莱,王林瑶.中国经济昆虫志:第七册鳞翅目夜蛾科(三)[M].北京:科学出版社,1963.
- [16] 朱弘复,杨集昆,陆近仁,等.中国经济昆虫志:第六册鳞翅目夜蛾科(二)[M].北京:科学出版社,1964.
- [17] 赵仲苓.中国经济昆虫志:第十二册鳞翅目毒蛾科[M].北京:科学出版社,1978.
- [18] 赵仲苓.中国经济昆虫志:第四十二册鳞翅目毒蛾科(二)[M].北京:科学出版社,1994.
- [19] 中国科学院动物研究所.中国蛾类图鉴(I-IV)[M].北京:科学出版社,1983.
- [20] 石 洁,王振营.玉米病虫害防治彩色图谱[M].北京:中国农业出版社,2010.
- [21] 王晓鸣,王振营.中国玉米病虫害草害图鉴[M].北京:中国农业出版社,2018.
- [22] Folmer O, Black M, Hoeh W, et al. DNA primers for amplification of mitochondrial *cytochrome c oxidase* subunit I from diverse metazoan invertebrates[J]. Molecular Marine Biology and Biotechnology, 1994, 3(5): 294-299.
- [23] 孙 崑,张柱亭,董辉,等.基于线粒体 COI 基因序列的黄胫小车蝗不同地理种群的遗传分化及基因流分析[J].昆虫学报,2013,56(8):907-916.

- Sun W, Zhang Z T, Dong H, et al. Analysis of genetic differentiation and gene flow among different geographic populations of *Oedaleus infernalis* (Orthoptera: Acrididae) based on mtDNA COI gene sequences[J]. Acta Entomologica Sinica, 2013, 56(8): 907–916. (in Chinese)
- [24] 周 燕, 张浩文, 吴孔明. 农业害虫跨越渤海的迁飞规律与控制策略[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(2): 233–243.
- Zhou Y, Zhang H W, Wu K M. Frequency of migration of agricultural pests across the Bohai Sea in northern China and a control strategy for these species[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2020, 57(2): 233–243. (in Chinese)
- [25] 吴孔明, 翟保平, 封洪强, 等. 华北北部地区二代棉铃虫成虫迁飞行为的雷达观测[J]. 植物保护学报, 2006, 33(2): 163–167.
- Wu K M, Zhai B P, Feng H Q, et al. Radar observations on them migratory behavior of the second generation cotton bollworm moths in the north part of northern China[J]. Journal of Plant Protection, 2006, 33(2): 163–167. (in Chinese)
- [26] 张 智, 王 健, 刘 宇, 等. 北京延庆甜菜白带野螟的种群动态分析[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(5): 37–41.
- Zhang Z, Wang J, Liu Y, et al. Analysis on population dynamics of Hawaiian beet webworm moth *Spoladea recurvalis* Fabricius in Yanqing district of Beijing[J]. China Plant Protection, 2017, 37(5): 37–41. (in Chinese)
- [27] 张 智, 张云慧, 姜玉英, 等. 华北二点委夜蛾种群动态监测及北京北部地区虫源性质分析[J]. 昆虫学报, 2013, 56(10): 1189–1202.
- Zhang Z, Zhang YH, Jiang Y Y, et al. Monitoring of the population dynamics of *Proxenus lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) in North China and analysis of the source of its populations in northern Beijing[J]. Acta Entomologica Sinica, 2013, 56(10): 1189–1202. (in Chinese)
- [28] 李丽莉, 李静雯, 门兴元, 等. 夏玉米苗期二点委夜蛾防治指标[J]. 植物保护学报, 2015, 42(6): 1014–1019.
- Li L L, Li J W, Men X Y, et al. Economic threshold of *Aethis lepigone* at seedling stage of summer maize[J]. Journal of Plant Protection, 2015, 42(6): 1014–1019. (in Chinese)
- [29] 高 燕, 雷朝亮, 黄求应. 我国地下害虫防治现状[J]. 湖北植保, 2011(6): 1–5.
- Gao Y, Lei C L, Huang Y Q. Current situation of underground pest control in China[J]. Hubei Plant Protection, 2011(6): 1–5. (in Chinese)
- nese)
- [30] 刘 健, 赵奎军. 中国东北地区大豆主要食叶害虫空间动态分析[J]. 中国油料作物报, 2012, 34(1): 69–73.
- Liu J, Zhao K J. Distribution characteristics and spatial distribution pattern of leaf-feeding pest species in soybean in Northeast China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(1): 69–73. (in Chinese)
- [31] 孙 崑, 程志加, 赫思聪, 等. 吉林省中西部棉铃虫发生规律及虫源分析[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 234–238, 284.
- Sun W, Cheng Z J, He SC, et al. Occurrence and resource of *Helicoverpa armigera* (Hubner) in mid-west of Jilin province[J]. Plant Protection, 2020, 46(1): 234–238, 284. (in Chinese)
- [32] 杨向东, 董建臻, 李瑞军, 等. 冀西北坝上地区灯下蛾类群落结构特征[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4234–4240.
- Yang X D, Dong J Z, Li R J, et al. Characteristics of community structure of moth under light-trap in northwestern Bashang plateau of Hebei province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(15): 4234–4240. (in Chinese)
- [33] Kefford B J, Schäfer R B, Metzeling L. Risk assessment of salinity and turbidity in Victoria (Australia) to stream insects' community structure does not always protect functional traits[J]. Science of the Total Environment, 2011, 415: 61–68.
- [34] Shin YM, Kim IK, Nam JW, et al. Insect community structures along elevation gradients on Mt. Seongak-san, South Korea[J]. Journal of Forestry Research, 2015, 26(4): 1013–1018.
- [35] 王玉芹, 丁文静, 刘 岩, 等. 丹参田花期昆虫群落结构及多样性研究[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(4): 910–915.
- Wang Y Q, Ding W J, Liu Y, et al. The study on structure and diversity of insect community in *Salvia miltiorrhiza* fields during flowering period[J]. Journal of Environmental Entomology, 2020, 42(4): 910–915. (in Chinese)
- [36] 王彦苏, 韩善捷, 韩宝瑜. 盛夏西湖龙井茶园色板诱杀的昆虫类群的组成及其趋色性差异[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 7093–7103.
- Wang Y S, Han S J, Han B Y. Difference in phototaxis of insect groups and their community composition trapped on sticky colored boards in Xihu Longjing tea plantations in the mid-summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(19): 7093–7103. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)