研究论文

粘虫、小地老虎和棉铃虫三种鳞翅目害虫上灯行为节律研究*

张行国[1**] 贾艺凡[1] 温 洋[2] 张逸飞[1] 万贵钧[1] 陈法军[1***]

（1. 南京农业大学植物保护学院昆虫学系，南京 210095；2. 山东省济南市济阳县农业局，济阳 251400）

摘 要 **【目的】** 明确粘虫 *Mythimna separate* (Walker)、小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg)和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (HÜbner) 3 种鳞翅目蛾类害虫的上灯行为年度动态及上灯行为节律，为鳞翅目害虫迁飞规律研究奠定基础，服务于鳞翅目迁飞害虫种群暴发的预测预报。**【方法】** 本研究于 2014—2015 连续两年利用自主专利“分时段自动诱集装置”对粘虫、小地老虎和棉铃虫 3 种鳞翅目害虫种群上灯行为节律进行了系统监测研究。**【结果】** 粘虫、小地老虎和棉铃虫的上灯始见期、上灯最高峰日、日上灯虫量以及年灯诱总虫量年际间差异较大。与 2014 年相比，2015 年粘虫、小地老虎和棉铃虫上灯始见期分别提前 13、124、71 d，上灯最高峰日分别提前 41、44、71 d，年诱虫总量和上灯最高峰日虫量均明显提高。此外，通过对 3 种鳞翅目害虫夜间不同时段上灯捕获虫量分析发现，粘虫、小地老虎和棉铃虫的最大上灯高峰出现在凌晨 2:00—3:00 或 3:00—4:00，呈现“多峰型”上灯行为节律，与鳞翅目夜间迁飞性昆虫日出前降落的行为特性一致，并反映出害虫发生高峰期其上灯行为节律的群体效应。**【结论】** 3 种鳞翅目害虫发生年际动态与上灯行为节律均呈现年际变化并具有种的特异性。明确 3 种鳞翅目害虫的年际动态及上灯行为节律，对其迁飞种群的监测预报提供了科学依据。

关键词 鳞翅目迁飞昆虫，种群发生动态，上灯行为节律，种群效应，监测预报

Behavioral rhythms of three Lepidopteran pests; *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera*

ZHANG Xing-Guo[1**] JIA Yi-Fan[1] WEN Yang[2] ZHANG Yi-Fei[1]
WAN Gui-Jun[1] CHEN Fa-Jun[1***]

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;
2. Agricultural Bureau of Jiyang County, Shandong Province, Jinan 251400, China)

Abstract **[Objectives]** To clarify the behavioral rhythms of migratory populations of three species of Lepidopteran pests; *Mythimna separate* (Walker), *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) and *Helicoverpa armigera* (HÜbner), and thereby lay a foundation for studying the migration, and predicting outbreaks of, these pests. **[Methods]** The behavioral rhythms of the three species of moths were investigated by trapping with an automatic, black-light trapping device from 2010 to 2011. **[Results]** The results show large differences in the dates of first capture and peaks of species' abundance, and in the number of individual moths trapped daily, and yearly, between 2014 and 2015. First capture dates of *M. separata*, *A. ypsilon* and *H. armigera* were 13, 124 and 71 days earlier, respectively, and the peaks of abundance of these species occurred 41, 44 and 71 days earlier, respectively, in 2015 than in 2014. Total numbers of moths trapped per year were also higher in 2015 than in 2014. Most moths were trapped from 2:00–3:00 a.m. or 3:00–4:00 a.m.; all three species had a diurnal rhythm with multiple peaks of activity.

*资助项目 Supported projects：国家公益性行业（农业）科研专项“粘虫监控技术研究与示范”（201403031）

**第一作者 First author，E-mail：zhangxingguo19@outlook.com

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

收稿日期 Received：2016-01-11，接受日期 Accepted：2016-08-23

These findings confirm previously reported biological characteristics of some nocturnally migratory Lepidopteran moths, such as resting before sunup, and also reflect group effects on the behavioral rhythm of migratory insects during population outbreaks. **[Conclusion]** The annual dynamics and daily behavioral rhythms of the three species of *M. separata*, *A. ypsilon* and *H. armigera* had both yearly and species differences. This study can provide a scientific basis for monitoring, forecasting, and providing early warning of outbreaks, of these migratory, insect pests.

Key words migratory Lepidoptera insects, population occurrence dynamics, behavioral rhythm trapped by blacklamp, species specificity, forecasting and monitoring

粘虫 *Mythimna separata*、小地老虎 *Agrotis ypsilon* 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 都是鳞翅目夜蛾科害虫。近年来，粘虫、小地老虎和棉铃虫均有暴发危害趋势。粘虫为典型的远距离迁飞害虫，可为害小麦、水稻、玉米等禾谷类粮食作物，以及棉花、豆类等经济作物和蔬菜（李光博等，1964）。因其群聚性、迁飞性、杂食性、暴食性和突发性、暴发性以及毁灭性危害，向来是全国性重要农业害虫（张云慧等，2012）。粘虫最近一次大暴发是在 2012 年，东北玉米产区受其危害最重，严重减产（江幸福等，2014）。小地老虎又名土蚕、切根虫，以幼虫咬断幼苗根茎为食，年发生代数随各地气候不同而异，愈往南年发生代数愈多，以雨量充沛、气候湿润的长江中下游和东南沿海及北方的低洼内涝或灌区发生比较严重（洪晓月和丁锦华，2007）；在长江以南地区以蛹及幼虫形态越冬，适宜生存温度为 15~25℃（洪晓月和丁锦华，2007）。对农、林木幼苗危害很大，轻则造成缺苗断垄，重则毁种重播（王长政，1990）。棉铃虫是棉花蕾铃期主要害虫，主要蛀食棉花的蕾、花、铃，也取食嫩叶，广泛分布在中国及世界各地，中国棉区和蔬菜种植区均有发生，尤以黄河流域和长江流域棉区受害较重（洪晓月和丁锦华，2007）。近年来，新疆棉区棉铃虫也时有发生（吴孔明和郭予元，2007；张孝羲和张跃进，2013）。1992 年因棉铃虫危害全国棉花平均减产 30%左右，直接经济损失达 100 亿元（戴小枫和郭予元，1993）。

研究证实，直翅目、鳞翅目、蜻蜓目、半翅目、膜翅目、双翅目的许多昆虫种类都具有迁飞现象（ Williams，1957；陈若篪等，1989）。3 种鳞翅目害虫粘虫、小地老虎和棉铃虫成虫起飞有明显的日节律，在日落后半小时内起飞较多（陈若篪等，1979；Riley *et al.*，1991，1994；吴孔明和郭予元，2007），但其迁飞种群的降落节律如何却鲜有报道。以往的研究大多是在害虫迁飞高峰期，通过观察者连续 12 h 夜间不休息，分时段从诱虫灯人工取虫、分类鉴定和计数，以明确其迁飞种群的上灯行为节律，而整个发生季节迁飞种群的上灯行为节律如何却鲜有报道。本研究于 2014—2015 年利用自行设计制造的分时段自动诱集装置（专利申请号：2016 2 0123345.0），在山东省宁津县“气候变化与生物多样性和控害减排（联合）创新研究基地”（http://www. ccbpm.org）开展 3 种鳞翅目害虫粘虫、小地老虎和棉铃虫发生期夜间连续 12 h（晚 18:00—凌晨 6:00）的逐时、逐日灯诱试验，以分析其迁飞种群的年际发生动态及其上灯行为节律，为这 3 种鳞翅目害虫迁飞种群的预测预报与监测预警提供试验数据。

1　材料与方法

1.1　试验地设置

灯诱试验点设置在山东省宁津县“气候变化与生物多样性和控害减排（联合）创新研究基地”（http://www.ccbpm.org）（116.80°E，37.64°N）。该地区主要粮食作物为小麦、玉米和棉花，是粘虫、小地老虎和棉铃虫 3 种鳞翅目害虫的南北往返迁飞过境和为害区域。

1.2　灯诱装置

2014—2015 年期间，每年 3 月初至 10 月上

旬的每日 18:00—次日 6:00，分 12 个收集袋自动逐时收集上灯的粘虫、小地老虎和棉铃虫雌、雄成虫，灯诱第 2 天上午 8:00 回收各时段收集袋并分类计数，用以统计逐时、逐日及整个发生季节 3 种鳞翅目害虫上灯的雌、雄成虫虫量。

1.3 种鳞翅目害虫上灯峰期判定标准

根据灯诱收集的整个发生季节及每晚逐时的粘虫、小地老虎和棉铃虫迁飞过境种群的雌、雄成虫的上灯虫量，计算每日上灯的雌、雄成虫量占整个发生期灯诱的雌、雄成虫量的百分比，根据这一百分比将此 3 种鳞翅目害虫上灯日划分为 4 种类型，即特大高峰日（虫量≥10%）、高峰日（1%≤虫量<10%）、一般上灯日（0.1%≤虫量<1%）和零星上灯日（虫量<0.1%）。

1.4 种鳞翅目害虫上灯行为节律研究

分别计算特大高峰日、高峰日、一般上灯日和零星上灯日，以及整个发生季节粘虫、小地老虎和棉铃虫灯诱期间每晚各时段灯诱的雌、雄成虫量占当天灯诱总虫量的百分比，用以分析这 3 种鳞翅目害虫雌、雄成虫及成虫种群的上灯行为节律。

1.5 统计分析

2014—2015 期间灯诱结果发现，2014 年最早始见的是粘虫，最早于 2014 年 5 月 30 日上灯，最晚终见的是棉铃虫，最晚于 2014 年 10 月 6 日上灯；而 2015 年最早始见的是小地老虎，最早于 2015 年 3 月 18 日上灯，最晚终见的是粘虫，最晚于 2015 年 8 月 27 日上灯。因此，本研究所采用的监测数据选取每年的 3 月 18 日—10 月 6 日，该时间段可将 3 种鳞翅目害虫的迁飞发生期均包含其中。利用 Excel 2007 软件，分析处理计算粘虫、小地老虎和棉铃虫 3 种鳞翅目迁飞种群逐日上灯的雌、雄（雌+雄）成虫量占整个发生期灯诱的雌、雄（雌+雄）成虫总虫量的百分比，以及灯诱期间每晚逐时灯诱的雌、雄（雌+雄）成虫量占当天灯诱的雌、雄（雌+雄）成虫总虫量的百分比。

2 结果与分析

2.1 3 种鳞翅目害虫灯诱虫量动态

根据 2014—2015 期间逐日灯诱数据可得，粘虫灯上始见日分别为 5 月 30 日（2014 年）和 5 月 17 日（2015 年），诱虫量分别为 3 头和 1 头雄成虫（图 1：A，B）；小地老虎灯上始见日分别为 7 月 20 日（2014 年）和 3 月 18 日（2015 年），诱虫量分别为 5 头（3 雌+2 雄）和 1 头（雌）成虫（图 1：C，D）；棉铃虫灯上始见日分别为 7 月 20 日（2014 年）和 5 月 10 日（2015 年），诱虫量分别为 36 头（22 雌+14 雄）和 8 头（1 雌+7 雄）成虫（图 1：E，F）。与 2014 年相比，2015 年粘虫、小地老虎和棉铃虫始见期分别提早 13、124、71 d。此外，粘虫峰日最高虫量分别为 128 头（2014：7 月 20 日）和 342 头（2015: 6 月 9 日）（图 1：A，B）；小地老虎峰日最高虫量分别为 43 头（2014：7 月 22 日）和 38 头（2015：6 月 8 日）（图 1：C，D）；棉铃虫峰日最高虫量分别为 2 815（2014：9 月 1 日）和 4 043 头（2015：6 月 22 日）（图 1：E，F）。2014 和 2015 年，粘虫、小地老虎和棉铃虫迁飞种群灯诱总虫量分别为 1 150 头和 2 601 头（图 1：A，B）、181 头和 326 头（图 1：C，D）、14 152 头和 19 004 头（图 1：E，F）。可见，2015 年度粘虫、小地老虎和棉铃虫诱虫总量均明显多于 2014 年。

2.2 3 种鳞翅目害虫上灯行为节律

根据昆虫夜间扑灯高峰数量可将昆虫的上灯节律分为单峰型、双峰型或多峰型。2014—2015 连续两年的灯诱数据显示，3 种鳞翅目害虫粘虫、小地老虎和棉铃虫上灯行为节律均为多峰型，在整个夜间有一至多个上灯高峰，但上灯最大高峰主要集中在凌晨；同时，因为年份不同，3 种鳞翅目害虫的上灯最大高峰时段略有不同。其中，2014 年粘虫主要在凌晨 1:00—4:00 期间上灯，且以 2:00—3:00 时间段达上灯最大高峰，此时段上灯百分比达 20.33%（图 2：A）；2015 年粘虫主要在凌晨 2:00—5:00 上灯，且以 3:00—4:00 时间段达上灯最大高峰，此时段上灯百分比

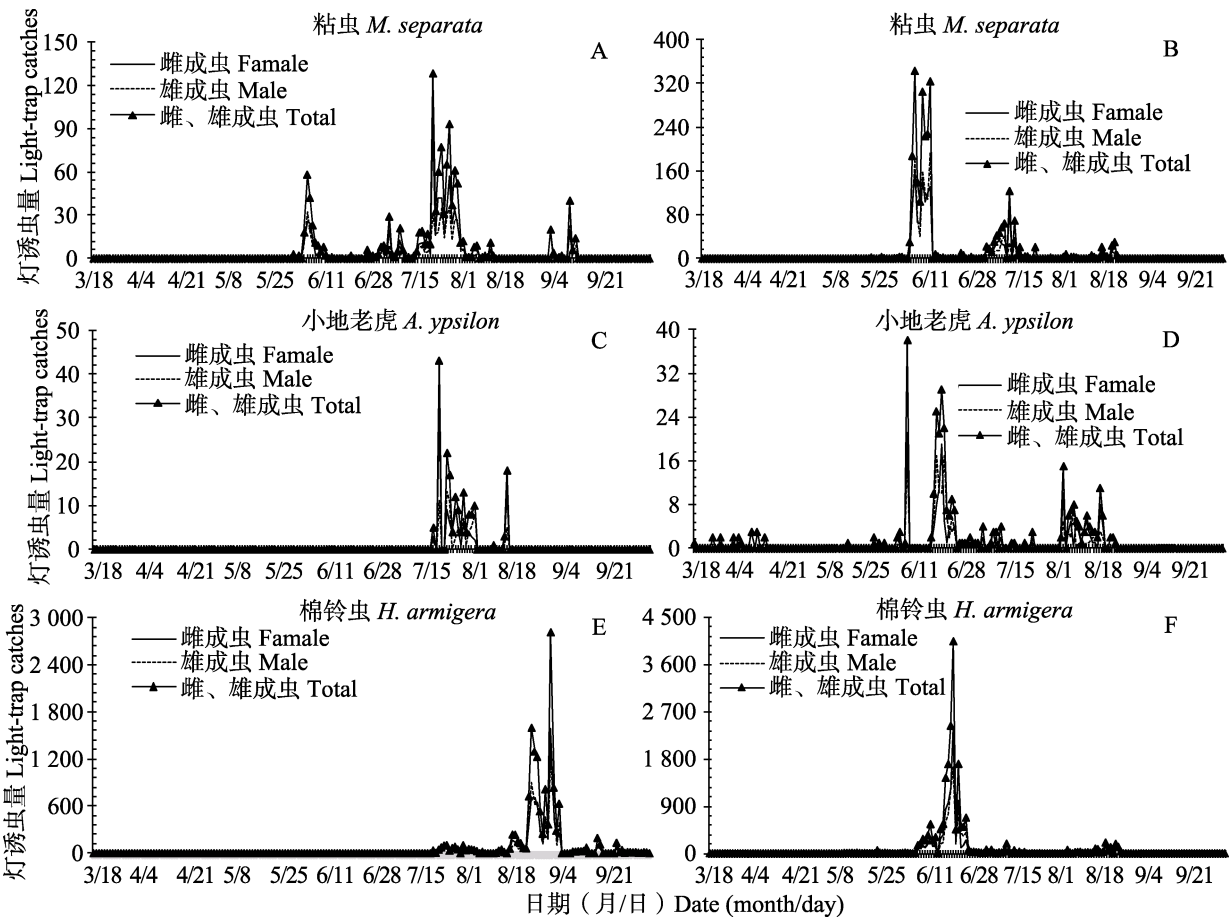

图 1　3 种鳞翅目害虫粘虫、小地老虎和棉铃虫灯诱虫量动态（2014—2015，山东德州）

Fig. 1　Adundance dynamics of light-trapped female and male adults of three species of Lepidoptera insect pests; *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera* in 2014 and 2015 at Dezhou of Shandong Province

A, C, E. 2014; B, D, F. 2015.

达 17.30%（图 2：B）。

此外，2014 年小地老虎上灯集中在下半夜，且上灯最大高峰在凌晨 3:00—4:00 时间段，此时段上灯百分比高达 35.36%（图 2：C）；2015 年小地老虎主要在凌晨 2:00—5:00 期间上灯，且在 3:00—4:00 时段达上灯最大高峰，此时段上灯百分比为 17.79%（图 2：D）。棉铃虫 2014 年主要在凌晨 1:00—4:00 期间上灯，且在 2:00—3:00 时段达上灯最大高峰，上灯百分比达 23.65%（图 2：E）；2015 年主要在凌晨 1:00—5:00 期间上灯，上灯最大高峰在凌晨 1:00—2:00 时段，该时段上灯百分比为 18.49%（图 2：F）。

与此同时，我们根据 2014—2015 年不同上灯峰期做 3 种鳞翅目害虫逐时上灯行为节律图发现，在虫量大于 10%和虫量在 1%~10%的诱虫高峰期间，3 种鳞翅目的害虫上灯行为表现出群体效应，即 3 种鳞翅目害虫均在下半夜有明显上灯高峰，即于凌晨 2:00—3:00 或 3:00—4:00 达到上灯最大百分比（图 3，图 4）。而虫量在 0.1%~1%的一般上灯日和虫量在 0~0.1%的零星上灯日，3 种鳞翅目害虫上灯行为节律之间差异较大，未表现出群体效应（图 3，图 4）。

3　讨论

粘虫、小地老虎和棉铃虫都是重要的农业害虫，危害玉米、棉花、小麦等主要作物，在害虫暴发时期会造成严重的危害甚至绝收。如 2012 年粘虫在东北地区大暴发，造成东北地区严重减产（姜玉英等，2014）；20 世纪 90 年代棉铃虫大暴发，危害棉花等经济作物，给我国棉花种植造成巨大的破坏（戴小枫和郭予元，1993）。研

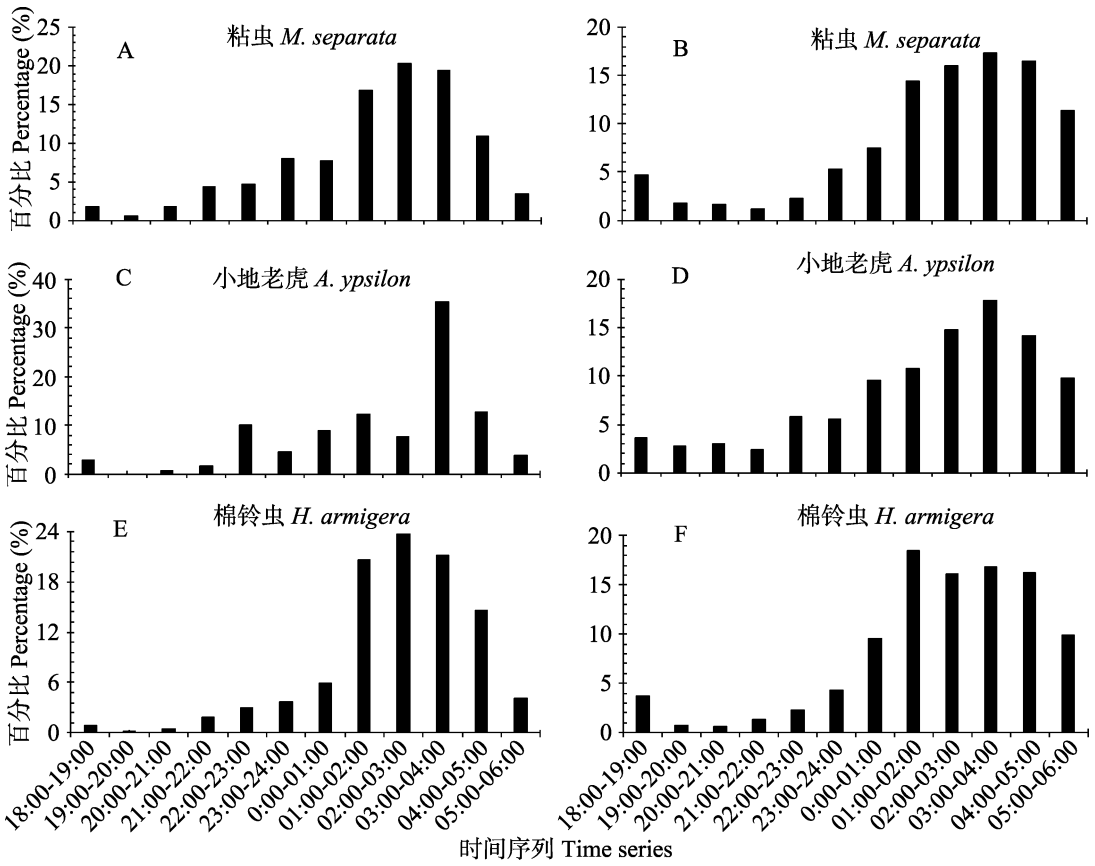

图 2　3 种鳞翅目害虫粘虫、小地老虎、棉铃虫逐时灯诱虫量占当日灯诱总虫量的百分比（2014–2015，山东德州）

Fig. 2　The percentage of the hourly light-trapped adults against the daily light-trapped individuals of three species of Lepidoptera insect pests; *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera* during 2014–2015 in Dezhou, Shandong Province

A, C, E. 2014; B, D, F. 2015.

究这 3 种鳞翅目害虫迁飞种群的年际发生动态及其上灯行为节律等，可服务于 3 种害虫的预测预报与监测预警。2014—2015 两年的灯诱结果表明，这 3 种害虫上灯虫量年际差异较大。与 2014 年相比，2015 年粘虫始见期提早 13 d，小地老虎始见期提早 124 d（4 个多月），棉铃虫始见期提早 71 d（2 个多月）。此外，与 2014 年相比，2015 年粘虫和小地老虎日最大上灯期都提前 1 个多月，而 2015 年棉铃虫日最大上灯期提前达 2 个多月。2015 年粘虫、小地老虎和棉铃虫的诱虫总量明显多于 2014 年；其中，粘虫和小地老虎 2015 年诱虫总量约为 2014 年诱虫总量的近 2 倍。3 种鳞翅目害虫迁飞种群迁入迁出时期及灯诱虫量年际差异较大的原因可能与每次大规模迁入迁出过程的大气环流背景、温度、降水、气流等气象因子密切相关（沈慧梅等，2011）。

3 种鳞翅目害虫的上灯高峰期都出现在下半夜，都呈现“多峰型”上灯行为节律，表现为从凌晨 1:00 到凌晨 5:00 左右的持续高峰。其中，2014 年粘虫在凌晨 2:00—3:00 时段达上灯最大高峰（上灯百分比为 20.33%），小地老虎在凌晨 3:00—4:00 时段有最大上灯高峰（上灯百分比高达 35.36%），棉铃虫在凌晨 2:00—3:00 时段达上灯最大高峰（上灯百分比为 23.65%）；2015 年粘虫和小地老虎都在凌晨 3:00—4:00 时段达上灯最大高峰（上灯百分比分别为 17.30%和 17.79%），棉铃虫在凌晨 2:00—3:00 时段达上灯最大高峰（上灯百分比达 23.65%）。有研究表明粘虫和棉铃虫为日落后半小时内起飞并进行远距离迁飞，次日天亮时迁飞种群降落（陈若篪等，1979；Riley *et al.*，1991，1994；吴孔明和郭予元，2007）。本研究通过 2014—2015 连续两年的

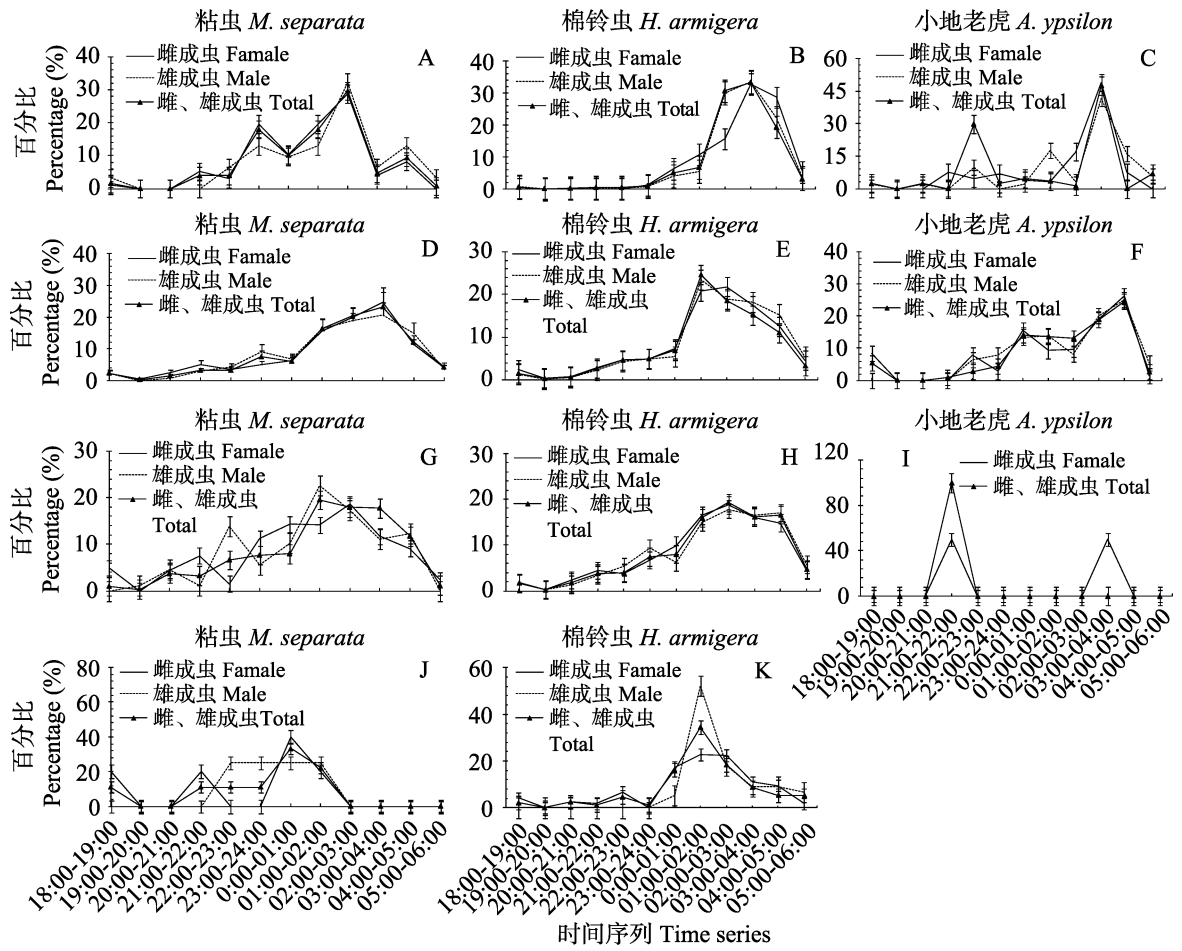

图 3　2014 年各诱虫峰期粘虫、棉铃虫、小地老虎种群逐时上灯百分比（山东德州）

Fig. 3　The percentage of the hourly light-trapped adults against the daily light-trapped individuals of *Mythimna separata, Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera* at different light-trapping peak dates in 2014 in Dezhou, Shandong Province

A~F. 单日灯诱虫量分别大于年灯诱总虫量 10%，介于 1%和 10%之间的诱虫高峰；G~I. 单日灯诱虫量分别大于年灯诱总虫量在 0.1%~1%和 0~0.1%的上灯日。

A-F. Peak dates that the daily light-trapped adults are more than 10%, and no fewer than 1% and no more than 10% of the yearly light-trapped individuals, respectively; G-I. Dates that the daily light-trapped adults are no fewer than 0.1% and no more than 1%, and no more than 0.1% of the yearly light-trapped individuals, respectively.

灯诱监测结果表明，粘虫、小地老虎和棉铃虫这 3 种鳞翅目害虫的上灯最高峰都出现在凌晨 2:00—3:00 或 3:00—4:00，直接验证了其迁飞种群白天降落等行为学特性。同时这 3 种鳞翅目害虫夜间上灯行为节律也表现出不同年际间以及不同种群间的差异。有研究表明，即使同一种昆虫不同环境条件下得到的扑灯节律也不尽一致（张智，2013）。

昆虫属变温动物，温度是其行为活动的限制性因子，环境温度可影响其活动规律，可能亦成为影响其上灯行为节律的因素之一。除温度之外，影响昆虫上灯行为节律的环境因素还有湿度、光照、降雨、月周期和风力等（顾国华等，2004；Nowinszky and Puskás，2010；Nowinszky *et al.*，2012；Steinbauer *et al.*，2012）。此外，同期发生的生态相似种（如白背飞虱和灰飞虱）的上灯行为节律也不尽相同（蔡磊等，2016）。本研究中，粘虫、小地老虎和棉铃虫这 3 种鳞翅目害虫表现的凌晨 2:00—3:00 或 3:00—4:00 的上灯高峰与前人研究相吻合，而且也揭示了此 3 种鳞翅目害虫大发生（虫量大于 10%的诱虫高峰和虫量在 1%~10%之间的诱虫高峰）期间，其上灯行为节

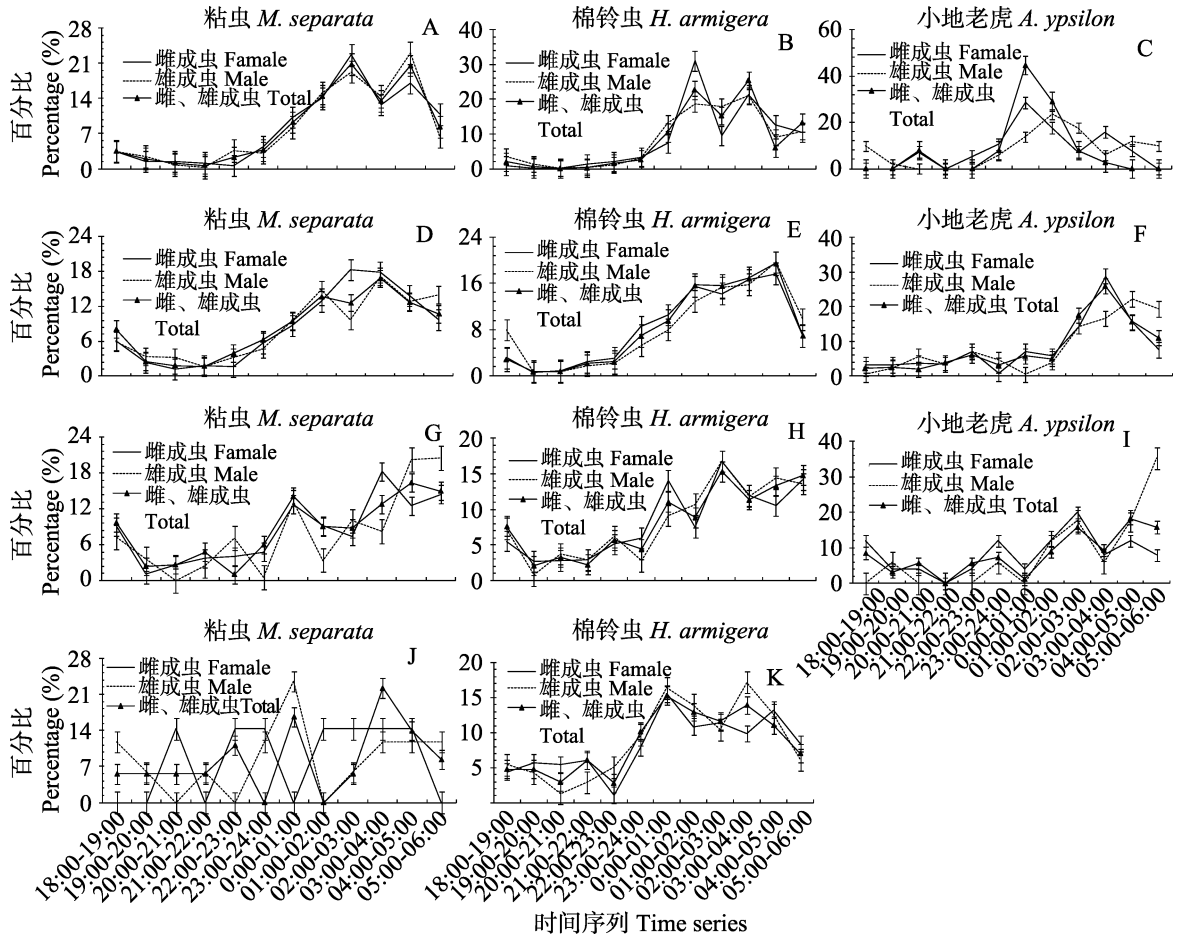

图 4　2015 年各诱虫峰期粘虫、棉铃虫、小地老虎种群逐时上灯百分比（山东德州）

Fig. 4　The percentage of the hourly light-trapped adults against the daily light-trapped individuals of *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera* at different light-trapping peak dates in 2015 at Dezhou of Shandong Province

A~F. 单日灯诱虫量分别大于年灯诱总虫量 10%，介于 1%和 10%之间的诱虫高峰；G~I. 单日灯诱虫量分别大于年灯诱总虫量在 0.1%~1%和 0~0.1%的上灯日。

A-F. Peak dates that the daily light-trapped adults are more than 10%, and no fewer than 1% and no more than 10% of the yearly light-trapped individuals, respectively; G-I. Dates that the daily light-trapped adults are no fewer than 0.1% and no more than 1%, and no more than 0.1% of the yearly light-trapped individuals, respectively.

律具有群体效应，即 3 种鳞翅目害虫在下半夜均有明显的上灯高峰，基本符合多峰型上灯行为节律，且在凌晨 2:00—3:00 或 3:00—4:00 达到最高峰。以上研究结果为指导 3 种鳞翅目害虫迁飞种群的预测预报、监测预警，以及开展高效的灯光诱杀提供了数据支撑。

参考文献 (References)

Chen RC, Cheng XN, Yang LM, Yin XD, 1979. The ovarial development of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and its relation to migration. *Acta Entomologica Sinica*, 22(3): 49–57. [陈若篪, 程遐年, 杨联民, 殷向东, 1979. 褐飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. 昆虫学报, 22(3): 49–57.]

Chen RC, Ding JH, Tan HQ, Hu GW, 1989. Migratory Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 1–12. [陈若篪, 丁锦华, 谈涵秋, 胡国文, 1989. 迁飞昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 1–12.]

Cai L, Jia YF, Zhang XG, Wang RL, Li T, Zhang YF, Chen FJ, 2016. Study on the behavioral rhythms of migratory population of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus*, light-trapped by blacklamp. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 604–611. [蔡磊, 贾艺凡, 张行国, 王瑞林, 李腾, 张逸飞, 陈法军, 2016. 稻飞虱迁飞种群的上灯行为节律研究. 应用昆虫学报, 53(3): 604–611.]

Dai XF, Guo YY, 1993. Causality exploration for cotton bollworm plague occurred in China and its solutlion strategy. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, (5): 38–43. [戴小枫, 郭予元, 1993. 1992 年棉铃虫暴发危害的特点及成因分析. 中国农学通报, (5): 38–43.]

Gu GH, Ge H, Chen XB, Han J, Yin JF, Shen YF, Ji H, Cui J, 2004. Study on and application of the rhythm of several night-active insects tolight trap in the night. *Journal of Hubei Agricultural College*, 24(3): 174–177. [顾国华, 葛红, 陈小波, 韩娟, 印建峰, 沈一飞, 季桦, 崔娟, 2004. 几种夜出性昆虫夜间扑灯节律研究及应用. 湖北农学院学报, 24(3): 174–177.]

Hong XY, Ding JH, 2007. Agricultural Entomology. Beijing: China Agriculture Press. 204–210. [洪晓月, 丁锦华, 2007. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 46–210.]

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2014. Novel features, occurrence trends and economic impact of the oriental armyworm, *Mythimna separata*(Walker) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1444–1449. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2014. 我国粘虫发生危害新特点及趋势分析. 应用昆虫学报, 51(6): 1444–1449.]

Jiang YY, Li CG, Zeng J, Liu J, 2014. Population dynamics of the armyworm in China: A review of the past 60 years' research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, (4): 890–898. [姜玉英, 李春广, 曾娟, 刘杰, 2014. 我国粘虫发生概况: 60 年回顾. 应用昆虫学报, (4): 890–898.]

Li GB, Wang HX, Hu WS, 1964. Route of the seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern part of China as indicated by a threeyear result of releasing and recapturing of marked moths. *Journal of Plant Protection*, 3(2): 101–110. [李光博, 王恒祥, 胡文绣, 1964. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报, 3(2): 101–110.]

Nowinszky L, Puskás J, 2010. Possible reasons for reduced light trap catches at a full moon: shorter collecting distance or reduced flight activity. *Adv. Biores.*,1 (1): 205–220.

Nowinszky L, Kiss O, Szentkirályi F, 2012. Influence of illumination and polarized moonlight on light-trap catch of caddisflies (Trichoptera). *Research Journal of Biology*, 2(3): 79–90.

Riley JR, Cheng XN, Zhang XX, Reynolds DR, Xu GM, Smith AD, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, 1991. The long–distance 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, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observations on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central China. *Bulletin of Entomological Research*, 84(3): 389–402.

Shen HM, LV JP, Zhou JY, Zhang XX, Ceng XN, Zhai BP, 2011. Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan, 2009. *Acta Ecologica Sinica*, 31(15): 4350–4364. [沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 张孝羲, 程遐年, 翟保平, 2011. 2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制. 生态学报, 31(15): 4350–4364.]

Steinbauer MJ, Haslem A, Edwards ED, 2012. Using meteorological and lunar information to explain catch variability of Orthoptera and Lepidoptera from 250 W farrow light traps. *Insect Conservation and Diversity*, 5(5): 367–380.

Wang CZ, 1990. Study on overwintering, migration and forecasting of *Agrotis ypsilon*. *China Plant Protection*, 4: 10-16. [王长政, 1990. 小地老虎越冬, 迁飞与预测预报的研究. 中国植保导刊, 4: 10-16.]

Williams CB, 1957. Insect migration. *Annual Review of Entomology*, 2(1): 163–180.

Wu KM, Guo YY, 2007. Geotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China. *Plant Protection*, 33(5): 6–11. [吴孔明, 郭予元, 2007. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律. 植物保护, 33(5): 6–11.]

Zhang XX, Zhang YY, 2013. Crop Pest Prediction and Forecast. Beijing: China Agriculture Press. 153–155. [张孝羲, 张跃进, 2013. 农作物有害生物预测学. 北京: 中国农业出版社. 153–155.]

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 Academy 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.]