应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2018, 55(5): 834–842. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2018.100

粘虫迁飞的种群动态监测与夜间扑灯节律研究*

张 智[1,2**] 张云慧[1***] 刘 杰[3] 江珊珊[1,4] 汤清波[4]
李祥瑞[1] 李为争[4] 程登发[1] 祁俊锋[5]

（1. 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 100193；
2. 北京市植物保护站，北京 100029；3. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125；
4. 河南农业大学植物保护学院，郑州 450002；5. 北京绿富隆农业有限责任公司，北京 102100）

摘 要 【目的】 明确北京北部山区粘虫 *Mythimna separata*（Walker）的种群动态和扑灯规律，探索粘虫的早期监测预警技术。**【方法】** 2011 年，在北京延庆利用时控开关控制探照灯诱虫器对粘虫的种群动态进行监测，并对整夜诱虫数量自动分时段取样。获得逐日种群动态数据和相关的生物学参数，使用 Grads 分析粘虫数量与空中风场的关系。**【结果】** 全年诱集粘虫蛾 9 699 头，单日诱蛾最高 1 366 头。全年诱蛾可分为 3 个世代，各个世代种群均由多个高峰组成，并非陆续增加。性比分析发现雌虫数量显著多于雄虫。分时段数据显示粘虫整夜的扑灯节律可分为迁入型、迁出型或本地繁殖型、过境型和迁入迁出混合型。风场分析表明，诱虫高峰与空中风场偏南气流的频率与持续时间高度一致。**【结论】** 北京延庆全年发生粘虫 3 个世代，二代幼虫造成的危害最大。一代和二代诱蛾数与空中是否存在偏南气流密切相关。雌虫可能具有更强的迁飞能力。对粘虫扑灯节律数据深入分析，可为迁飞种群是否在本地降落繁殖提供参考依据。

关键词 粘虫，探照灯诱虫器，种群动态，性比，扑灯节律

Population dynamics and temporal patterns of abundance of *Mythimna separata* during migration

ZHANG Zhi[1,2**] ZHANG Yun-Hui[1***] LIU Jie[3] JIANG Shan-Shan[1,4] TANG Qing-Bo[4]
LI Xiang-Rui[1] LI Wei-Zheng[4] CHENG Deng-Fa[1] QI Jun-Feng[5]

(1. Institute of Plant Protection, CAAS, State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Beijing 100193, China; 2. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China; 3. National Agro-Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 4. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 5. Lvfulong Agricultural Co., Ltd, Beijing 102100, China)

Abstract [Objectives] To determine the population dynamics of *Mythimna separata* (Walker) and the temporal pattern of abundance of this pest in the north of Beijing, and to identify better methods for the early monitoring and forecasting of outbreaks. **[Methods]** Population information was obtained using searchlight traps operated with an exclusive time-switch. After population dynamics information was available, Grads was used to analyze the relationship between catches and the frequency of northward airflow at 925 hPa. **[Results]** In 2011, a total of 9 699 *M. separata* moths from 3 generations were trapped. The highest number caught on a single night was 1 366. Numbers of each generation did not increasing gradually, but rather had a temporal distribution pattern of many successive small peaks. Significantly more females were captured than males. Time-section-samples were used to classify nocturnal catches by searchlight traps into four types; immigration,

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（31571998）；北京市科技创新驱动发展投入项目（PXM2016_036203_000049）；公益性行业科研专项（201403031）；现代农业产业技术体系（CARS-3）；中国农业科学院植物保护研究所基本科研业务费专项（S2018XM04）

**第一作者 First author，E-mail：zhangzhicas@126.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：yhzhang@ippcaas.cn

收稿日期 Received：2018-08-25，接受日期 Accepted：2018-09-21

emigration or local breeding population, stopover, and a combination of immigration and emigration. Peak catches were highly correlated with the frequency and duration of northwards airflow. **[Conclusion]** There are 3 generations of *Mythimna separata* in the north of Beijing and larvae of the second generation cause serious damages to local maize crops. Peak captures of moths of the first and second generation are closely related to the frequency of northward airflow at 925 hPa. Females may have a stronger migration capacity. Intensive study of temporal peaks of abundance in searchlight traps of nocturnal, high-flying migrating armyworm moths will provide better evidence of whether the migrating population lands or not.

Key words *Mythimna separata*, searchlight trap, population dynamics, sex ratio, rhythm of catches for overnight time-sections

粘虫 *Mythimna separata*（Walker）是一种世界性迁飞害虫。在中国大陆除新疆和西藏地区发生情况不明外，其他各省、市、自治区均有分布（陈瑞鹿，1990）。李光博先生根据粘虫种群数量变化规律和发生危害特点，建立了粘虫的“异地测报”方法，提出了通过控制虫源地的种群数量从而减少迁入区虫害的设想（李光博等，1964；李光博，1993）。20 世纪 80 年代以后，随着种植结构的调整，南方小麦种植面积大幅压缩，粘虫越冬种群密度被大大压低，致使江淮麦区粘虫危害大大降低（郭予元，2006）。进入 21 世纪，随着全球气候变化、我国农作物种植结构、品种布局和耕作栽培制度等农田生态系统变化，以及粘虫自身适应性和致害性变化，粘虫在我国发生危害呈现出新的特点和严重之势（江幸福等，2014）。2002 年，晋冀鲁豫津 3 代粘虫突然暴发，秋粮受害面积近 100 万 hm^2（潘蕾和翟保平，2009）。2012 年，华北、东北等地 3 代粘虫大暴发，发生面积近 374 万 hm^2，严重发生面积 54.47 万 hm^2（张云慧等，2012）。2013 年，延庆成虫诱集量再创历史新高，东北、华北部分地区粘虫再次普遍大发生，发生面积约 280 万 hm^2，部分地区幼虫密度创历史之最（Zhang *et al.*，2018）。2014-2017 年在华北、东北、黄淮地区均有局部发生危害报道，造成部分作物受害（刘杰等，2018）。但粘虫间歇性暴发成灾的机制迄今尚不清楚，需要对其开展系统性的长期监测，为研究其种群数量变化和暴发机制提供基础数据。

探照灯诱虫器具有诱集空中迁飞昆虫种群的优势，广泛被应用到棉铃虫、草地螟、粘虫、稻纵卷叶螟、稻飞虱等迁飞昆虫监测与研究之中（封洪强，2003；张云慧等，2008；蒋春先等 2011；Qi *et al.*，2014）。2008 年 8 月上旬草地螟成虫突然迁入北京地区，对北京奥运会的召开构成了潜在威胁，本研究团队通过分析，建议实施空中阻截计划，最终利用 300 台探照灯诱虫器在北京北郊建立两条阻截带拦截空中虫群，并辅以频振式杀虫灯形成立体式防控，确保了奥运会的顺利召开（张云慧等，2009）。自 2014 年以来，全国农技中心在全国 23 个省（市、区）设立了 31 个高空测报灯观测点全年系统监测逐日蛾量。多点探照灯的联合监测，体现出区域间粘虫种群数量相关性。此方法为做好其他迁飞性害虫的监测提供了可借鉴的手段和方法（姜玉英等，2016，2018）。尤其是探照灯诱虫器夜间昆虫扑灯节律可以直接用于昆虫迁飞轨迹模拟的参数设置（齐会会等，2014a，2014b；Zhang *et al.*，2018），也为昆虫雷达的目标识别提供了直接的依据（Zhang *et al.*，2013；Qi *et al.*，2014c；张智等，2017）。

北京延庆位于华北的最北部，北邻燕山山脉，南部是广阔的华北平原，燕山山脉的阻挡是我国主要农业昆虫继续北迁的天然屏障，受气流和地形的综合影响，该地区是昆虫降落和偏转进入东北地区的重要迁飞通道。为了解北京北部山区的粘虫发生规律，探索北方地区粘虫早期监测预警方法，本文利用 2011 年在北京延庆监测获取的粘虫成虫数据，对种群动态、性比和扑灯节律等进行了综合分析，以期为今后粘虫的预测预报及综合防治提供借鉴。

1　材料与方法

1.1　探照灯诱虫器和时控开关

探照灯诱虫器具体参数参考封洪强（2003）。时控开关是根据用户设定时间，自动接通和切断

各种设备电源的微电脑控制器。使用前，需调整时控开关时钟，与当地时间一致，然后根据探照灯诱虫器运行要求设置接通和关闭时间，并选择自动运行模式运转。

1.2 监测地点

野外监测地点位于北京市延庆县东龙湾村绿富隆有机蔬菜基地院内（N40°31′，E116°5′）。北京延庆整体地形为盆地，监测点所在地的海拔约为 486 m，地势平坦，周围大面积农田主要种植春玉米和蔬菜。延庆耕作制度为 1 年 1 熟，以春玉米为主，面积近 2 万 hm^2，播期为每年 4 月下旬至 5 月上旬，收获时间为每年 9 月底至 10 月初。

1.3 风场数据

高空风场数据是从由美国国家环境预报中心（National Centers for Environmental Prediction，简称 NCEP）和美国国家大气研究中心（National Center for Atmospheric Research，简称 NCAR）网站上下载的再分析数据。

1.4 虫情收集

2011 年 7 月 29 日之前，监测点安放 5 盏探照灯诱虫器，每盏各配 1 个时控开关，设定开启和关闭时间。整夜取样时间平均分为 5 段。7 月 29 日，随着虫量的明显增加，探照灯诱虫器数量增加至 9 盏，整夜取样时间平均分为 9 段，每段时间持续约 1 h。监测期间一直使用 0.5%洗衣粉溶液收集诱捕到的昆虫。取样结束后，及时捞出诱集昆虫，室内进行分类鉴定，记录数量和性比。

1.5 数据分析

比较实际性比与理论性比之间差异时，使用 SPSS for Windows 19.0 进行卡方检验。风场分析与制图时，使用 Grads 2.0。数据制图通过 Excel 2016 完成。无特殊说明，平均值以 Mean ± SE 表示。

2 结果与分析

2.1 粘虫灯下种群动态监测

2011 年北京延庆粘虫始见期是 5 月 13 日，10 月 23 日结束，共持续 158 d，其中 73 d 分 5 段取样，54 d 分 9 段取样，其余 31 d 未分时段取样。全年累计诱集粘虫成虫 9 399 头，单日诱虫量最高为 1 366 头，平均每日诱虫（226.34±55.96）头。根据诱虫峰期的间歇时间，全年成虫可划分为 3 个世代。5 月下旬至 6 月中下旬为一代成虫期；7 月中旬至 8 月上旬为二代成虫期，8 月底至 9 月初为三代成虫期，剩余时间为世代重叠期（图 1）。从诱虫数量来看，二代（160.57±58.32）头、三代（161.19±51.60）头期内的平均诱虫数量较多，但与一代期（60.97±15.10）头相比差异不显著（$df = 2$，$F = 2.17$，$P = 0.12 > 0.05$）。全年各代诱虫数量的变化均不符合本地种群特征，均有明显波动，次数分别为 9 次、7 次和 4 次。各代成虫期持续时间逐步缩短，3 代持续时间分别为 36、28、16 d。

2.2 粘虫灯下种群季节内性比变化

全年对粘虫成虫性别鉴定 91 d，雌虫多于雄虫有 66 d（72.5%），雌雄虫数量相等有 6 d，剩余 19 d 雄虫多于雌虫。全年累计鉴定成虫 4 640 头（♂：♀=2 859：1 781），雌虫极显著多于雄虫（$\chi^2_{(1)}=250.4$，$P<0.001$）。20 次诱蛾高峰期中 17 次雌虫多于雄虫。各世代期内，性比>1 的天数所占比例不同，分别为 87.5%，69.2%，93.3%。32 d（仅运算雌雄鉴定总数超过 30 头的天数）的性比非参数检验结果显示实际性比显著或极显著高于 1 的有 20 次，与 1 相比差异不显著的有 12 次，其中仅有 1 次性比小于 1，其余 11 次性比均大于 1（图 1）。

2.3 粘虫夜间不同时间的扑灯节律

2011 年粘虫扑灯节律可分为 4 种类型：第 1 种是迁入型即当晚 50%以上诱捕个体的上灯时间是黎明前的两个时段，这些个体在临近白昼的影响下，将被动降落在监测点周围，形成迁入峰（图 2：A）；第 2 种为迁出型或本地繁殖型，即当晚大部分个体的上灯时间是日落后 1-2 h（图 2：B）。该类型由迁飞个体外迁或本地繁殖个体近距离扩散引发；第 3 种是过境型即诱虫数量主

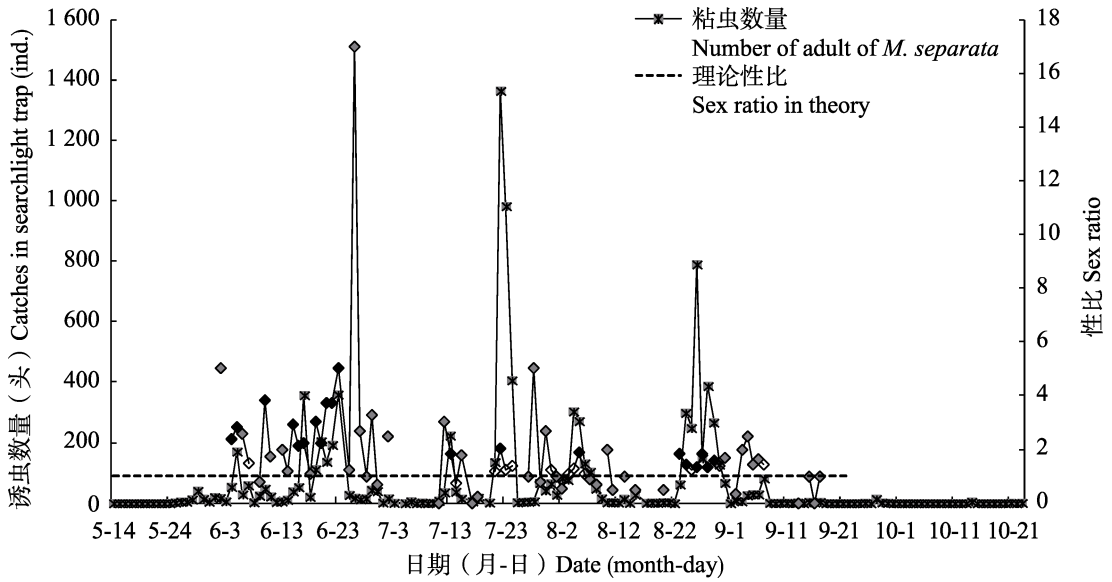

图 1　2011 年北京探照灯诱虫器内粘虫的逐日数量及性比变化

Fig. 1　The nightly catch sizes and sex ratio of adult *Mythimna separata* in searchlight trap in Yanqing, Beijing in 2011

◇：当日雌雄总虫数多于 30 头且实际性比与理论性比差异不显著；◆当日雌雄总虫数多于 30 头且实际性比与理论性比差异显著或极显著；◇雌雄总虫数少于 30 头，未进行性比检验。

◇: The days when total females and males are more than 30, and there is no significant difference between real sex ratio and 1; ◆: The days when total females and males are more than 30, and there is significant or extremely significant difference between real sex ratio and 1; ◇: The days when total females and males are less than 30, and no tests are conducted.

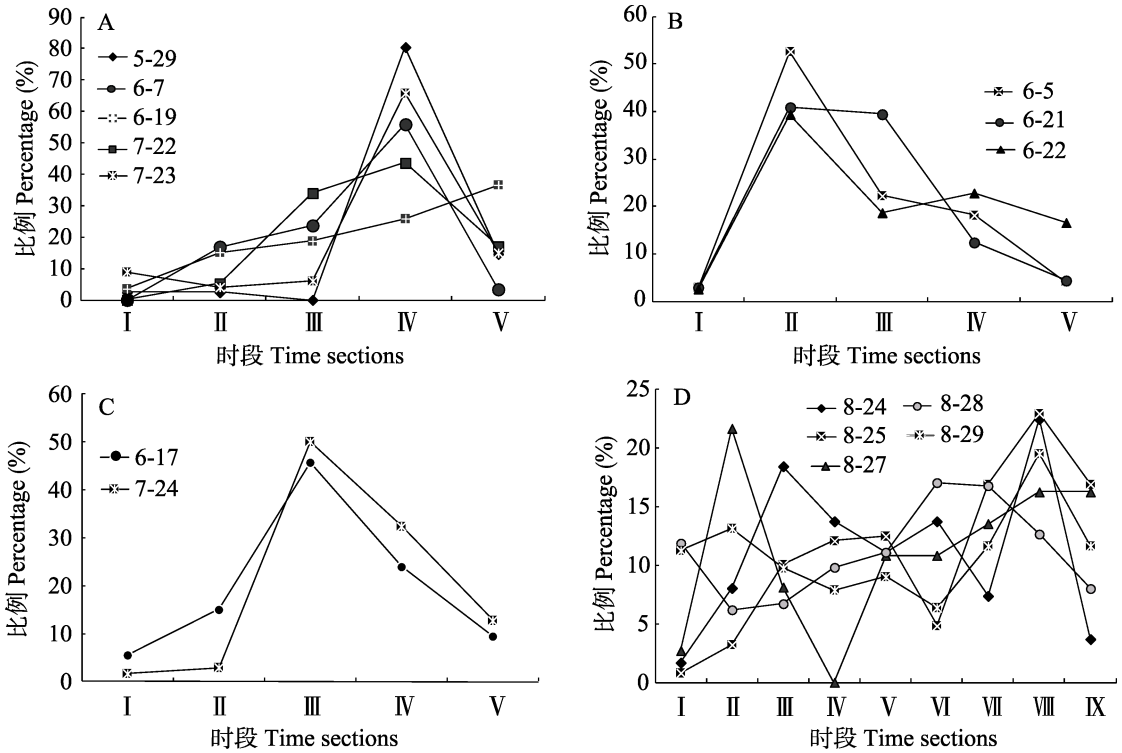

图 2　不同时段诱集粘虫的百分比

Fig. 2　Percentages of trapped adult *Mythimna separata* for different time sections

A. 迁入型；B. 迁出型；C. 过境型；D. 迁入迁出混合型。

A. Immigration type; B. Emigration; C. Stop over; D. Mix of immigration and emigration.

要集中于中间时段（图 2：C），至黎明如无其他被动降落因素，这些成虫可持续飞行 3-4 h，迁往其他地方；第 4 种为迁入迁出混合型，即上半夜有大量成虫外迁，但后半夜又有大量虫源迁入，中间时段诱虫较少（图 2：D）。2011 年粘虫种群波动时，不同类型扑灯节律的频率也呈现一定规律。5 月底始见一代粘虫成虫时，以迁入型为主，随后开始出现其余 3 种类型。其余世代高峰期扑灯类型均以迁入型、过境型或迁入迁出混合型为主。

2.4 风场对诱虫数量的影响

2011 年，在 1 代成虫种群上升或出现高峰时，空中均有利于成虫向北迁飞的偏南气流，峰期的持续时间与空中偏南气流的持续时间比较一致，且当空中气流转为不利迁飞的偏北气流时，种群明显下降（图 3：A，B）。2 代成虫前期诱虫量与空中风场的关系与一代期类似，但 7 月底气流转为偏北气流时，种群仍在缓慢上升，待 8 月初偏南气流盛行时，种群快速上升（图 3：C，D）。3 代成虫期时，诱虫高峰期也均有偏南气流出现，偏北气流时诱虫数量较少（图 3：D，E）。

3 讨论

越冬调查表明，粘虫的越冬北界为 1 月份 0 ℃等温线（相当于北纬 33°-34°）（李光博，1993）。北京延庆地处粘虫越冬北界以北，粘虫无法在该地区越冬存活，该地区早春诱集到的成虫为迁飞种群。研究表明，北京延庆属于粘虫二代多发区，全年发生 2-3 个世代，第 1 和第 3 世代发生量较少（李光博等，1964）。2011 年监测结果与前人研究结果并不完全一致，全年诱虫虽可划分为 3 个世代，但第 2 和第 3 世代成虫相对较多。北京延庆一年一熟，春玉米是主要的禾谷类作物，幼苗期为 5 月至 6 月。监测表明，一代成虫期为 5 月下旬至 6 月中下旬，二代幼虫期与玉米苗期高度吻合。如果成虫虫源充足，再恰遇适合繁殖的气象条件，二代幼虫将造成较大危害。7 月中旬至 8 月上旬为 2 代成虫期，该时期当地玉米为拔节或抽雄期，耐害补偿能力较强，三代幼虫一般不会造成严重危害。3 代成虫期为 8 月底至 9 月初，当地玉米已进入乳熟期，不适于粘虫取食为害。综上所述，在北京延庆春玉米区，二代粘虫幼虫的危害最大，但在个别年份，三代粘虫也会大暴发（潘蕾和翟保平，2009；张云慧等，2012）。

很多灯诱试验发现，不同种类的雌雄虫上灯比例并不相同（Kiss *et al.*，2002）。早期研究认为，粘虫迁飞种群的性比可分为三个阶段，第一阶段为羽化后 1-4 d，性比接近于 1；第 2 阶段羽化后 5-10 d，随着雌雄的性成熟，雌蛾受卵巢发育的影响，飞行能力下降，雌蛾数量减少；第三阶段羽化 10 d 后，雄蛾占绝大多数（赵万源，1977）。王玉正（2001）对粘虫迁飞行为的观察发现，自然迁飞个体中雌蛾（52.47%）的比例明显低于雄蛾（97.14%）（王玉正和张孝羲，2001）。利用探照灯诱虫器对其他种类例如旋幽夜蛾（现为旋岐夜蛾）*Anarta trifolii*（Hufnagel）和二点委夜蛾 *Athetis lepigone* (Moschler)等种类的监测发现，诱蛾的性比也处于不断的变化之中，当种群上升时，性比极显著高于 1，当种群进入平缓期后，性比接近于 1 或极显著小于 1（张云慧等，2010；张智等，2013）。与前人相比，本文对粘虫成虫的性比统计却得到了不同结果：无论是雌雄虫的绝对数量，还是性比>1 的天数，均表明北京延庆粘虫自然种群中雌虫数量多于雄虫（图 1）。性比结果可能说明雌蛾具有较强的迁飞能力。但是否存在其他影响因素，需进一步开展研究。

对于趋光性昆虫而言，不同昆虫种类在本身活动节律的影响下，从而形成特定的扑灯节律。对粘虫的活动节律观察表明，海面上粘虫活动主要有两个活动高峰期，一个是清晨 4:00-5:00 时，另外一个是傍晚 19:00-22:00 时（夏曾铣等，1963）。而侯无危（1964）观察发现，粘虫从傍晚至黎明具有 3 个明显的活动峰，分别为日落始高峰、午夜峰和黎明峰，且风、温度等因子虽可影响活动峰的强弱但是不能抑制活动峰的出现。此外，各地开展灯诱，得到的粘虫扑灯节律也不尽相同。有些研究发现，粘虫扑灯节律为戌、丑时双峰型（胡梅操和敖春秋，1984），而有些研

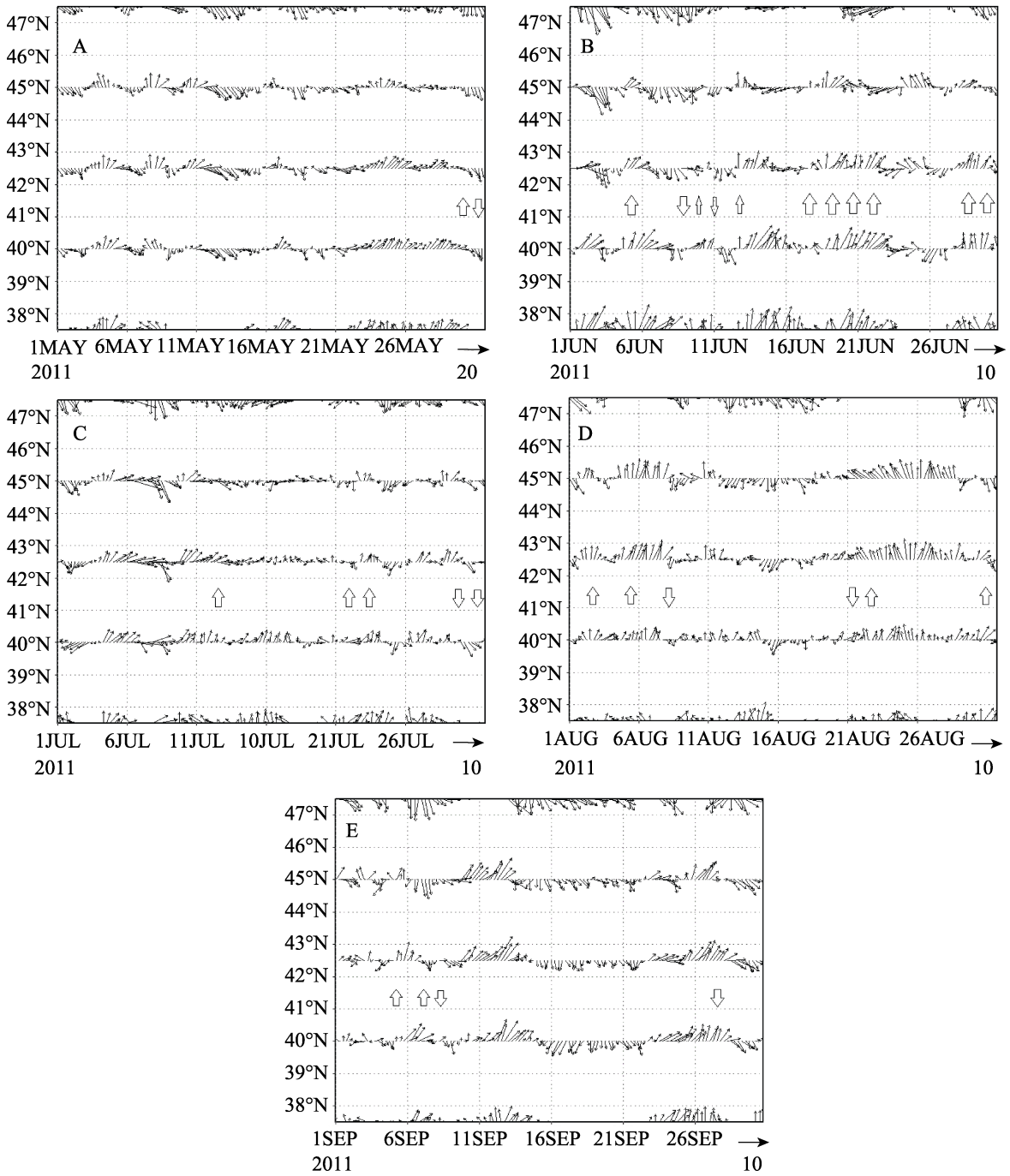

图 3　2011 年 925 hPa 风场在 115°E 上时间-纬度的剖面图（m/s）

Fig. 3　Time-latitude cross section of wind field along 115°E at 925 hPa in 2011 (m/s)

⇧ 种群上升或出现峰值 Increasing or peaking periods；⇩ ：种群下降 Declining periods.

A. 5 月 May; B. 6 月 June；C. 7 月 July; D. 8 月 August; E. 9 月 September.

究表明粘虫下半夜扑灯频率要多于上半夜（刘立春和朱月英，1997）。昆虫的扑灯节律受温度、湿度、光照、降雨、月周期和风力等多种因素的影响（Nowinszky and Puskás，2010；Steinbauer *et al.*，2011；Nowinszky *et al.*，2012）。张行国等（2017）年通过探照灯诱虫器的定时取样研究了粘虫、小地老虎和棉铃虫的上灯节律显示 3 种夜蛾科昆虫上灯节律具有群体效应，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。与传统的灯光诱虫器相比，探照灯诱虫器主要用迁飞昆虫的监测，因此，探照灯诱虫内粘虫的扑灯节律可能主要取决于空中迁飞粘虫的种群数量。监测发现，2011 年粘虫扑灯节律可分为 4 种类型：迁入型、迁出型或本地繁殖型、过境型、迁入迁出混合型（图 2）。5 月底始见代粘虫成虫时，以迁入型为主，随后开始出现其余 3 种类型。其余世代高峰期扑灯类型均以迁入型、过境型或迁入迁出混合型为主。与以往灯诱相比，本次获得的扑灯类型更为丰富。对扑灯节律开展持续研究，可提前预测迁飞种群是否在本地降落繁殖，从而指导下一代幼虫的监测预警，因此，开展粘虫扑灯节律研究具有非常重要的意义。今后，随着数据积累，要尝试定量判断粘虫种群迁入迁出的比例，为监测预警提供决策依据。

研究表明，东北地区早春粘虫是以一个个高峰出现，而不是持续增多，大批蛾子出现时往往都是西南风较强的日子（林昌善等，1963）。2011 年监测结果也发现各世代粘虫都是由多个高峰组成，诱蛾高峰期与偏南气流出现的频率一致。一代粘虫的诱捕量与偏南气流的频率和持续时间高度一致，加之，延庆不具备一代幼虫大发生的条件，因此，一代成虫大部分应属于借助气流迁飞的迁入种群。以往研究认为，7 月中旬至 8 月上旬的二代粘虫蛾应向南迁飞，进入 3 代为害区（李光博等，1964）。2011 年监测发现，北京延庆二代诱蛾高峰也出现在空中盛行偏南气流的日子，且高峰期的持续时间也与偏南气流的持续时间一致，因此，二代诱蛾中也可能存在迁入个体。三 3 代幼虫大发生年份，二代成虫迁入个体部分降落在北京北部，一部分可继续北上，可进入河北北部、内蒙古东部、辽宁和吉林等地区（张云慧等，2012）。三代诱蛾量变化也与空中是否盛行偏南气流有关，但此时气流方向并不是诱蛾数量增长的主要原因，影响较大可能主要是气温。偏南气流时，气温偏高，有利于本地种群活动，偏北气流较强，偏低气温会抑制了本地种群的活动。综合分析表明，一代和二代成虫期，北京延庆诱蛾量变化与空中是否盛行偏南气流密切相关。

致谢：野外监测工作由河南农业大学植物保护学院 2008 级本科生高苗、陈青召、李佳佳、牛亚娟、王丽等同学协助完成，在此一并致谢。

参考文献 (References)

Chen RL, 1990. Migration modelof the armyworm // Lin CS (ed.). The Physiological Ecology of Annywonn. Beijing: Beijing University Press. 322–335. [陈瑞鹿. 1990. 粘虫迁飞的模式// 林昌善主编. 粘虫生理生态学. 北京:北京大学出版社. 322–335.]

Feng HQ, 2003. Community aloft and radar observation of seasonal migration of insects in northern China. Ph. D. 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.]

Guo YY, 2006. Illustrations with real examples of using ecological regulation strategies against crop pests in China. *Plant Protetion*, 32(2): 1–4. [郭予元, 2006. 我国农作物病虫害生态调控实例分析. 植物保护, 32(2): 1–4.]

Hou WW, 1964. Observation on the activity habit of armyworm *Mythimna separate* (Walker). *Entomological Knowledge*, 8(5): 197–200. [候无危, 1964. 粘虫 *Leucania separata* Walker 蛾的活动习性观察. 昆虫知识, 8(5): 197–200.]

Hu HC, Ao QC, 1984. Studies on the rhythm of the main nocturnal insects to lieht trap in Nanchane suburbs. *Jianexi Forestry Science and Technology*, (1): 25–34. [胡梅操, 敖秋春, 1984. 南昌郊区主要夜出性昆虫扑灯规律的探讨. 江西林业科技, (1): 25–34.]

Jiang CX, Qi HH, Yang XL, Zhang YH, Cheng DF, 2001. Using vertical pointing searchlight trap to monitor the population dynanics of *Cnarphalocrocis medinalis* Guare. *Journal of Plant Protection*, 38(3): 193–201. [蒋春先, 齐会会, 杨秀丽, 张云慧, 程登发, 2011. 稻纵卷叶螟种群动态变化的探照灯诱虫器监测. 植物保护学报, 38(3): 193–201.]

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2014. Novel features, occurrence trends and economic impact of the orientalarmyworm, *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, 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. Monitoring annual dynamics of armyworm by national searchlight trap network 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.]

Kiss M, Nowinszky L, Puskas J, 2002. Examination of female proportion of light trapped turnip moth (*Scotia segetum* Schiff.). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 37(1/3): 251–256.

Li GB, 1993. Research summary and major advances of *Myzhimna separaza* in China. *Plan Protetion*, 19(4): 2–4. [李光博, 1993. 我国粘虫研究概况及主要进展. 植物保护, 19(4): 2–4.]

Li GB, Wang HX, Hu WX, 1964. The armyworm seasonal migration damage hypothesis and marker recovery test. *Jonrnal of Plant Protecrion*, 3(2): 101–109. [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): 101–109.]

Lin CS, Sun JR, Chen RL, Zhang ZB, 1963. Studies on the regularity of the outbreak of the oriental armyworm, *Leucania separata* Walker. I. The early spring migration of the oriental armyworm moths and its relation to winds. *Acta Entomologyica Sinica*, 12(3): 243–261. [林昌善, 孙金如, 陈瑞鹿, 张宗炳, 1963. 粘虫发生规律的研究—Ⅰ. 东北春季粘虫发生与风的关系. 昆虫学报, 12(3): 243–261.]

Liu J, Jiang YY, Zeng JY, Yang QP, Zhang YH, 2018. Analysis of occurring characteristics of armyworm *Myzhimna separata* Walker) in China in 2017. *China Plant Protection*, 38(5): 27–31. [刘杰, 姜玉英, 曾娟, 杨清坡, 张云慧, 2018. 2017 年我国粘虫发生特点分析. 中国植保导刊, 38(5): 27–31.]

Liu LC, Zhu YY, 1997. A preliminary study on the behavior of four moth species under lamplight. *Entomological Knowledge*, 34(2): 96–99. [刘立春, 朱月英, 1997. 四种蛾类灯下行为特点初步研究. 昆虫知识, 34(2): 96–99.]

Nowinszky L, Puskás J, 2010. Possible reasons for reduced light trap catches at a full moon: Shorter collecting distance or reduced flight activity? *Advances in Bioresearch*, 1(1): 205–220.

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

Pan L, Zhai BP, 2009. Analysis of source population and immigration process of *Mythimna separata* (Walker) caused an outbreak in North China in 2002. *Acta Ecologica Sinica*, 29(11): 6248–6256. [潘蕾, 翟保平, 2009. 2002 年我国华北三代粘虫大发生的虫源分析. 生态学报, 29(11): 6248–6256.]

Qi HH, Zhang YH Wang J, Peng H, Zhang Z, Cheng DF, 2014a. Rhythm of rice planthoppers and *Cyrtorhinus lividipennis* to the searchlight trap. *Journal of Plant Protection*, 41(3): 277–284. [齐会会, 张云慧, 王健, 彭赫, 张智, 程登发, 2014. 稻飞虱及黑肩绿盲蝽在探照灯下的扑灯节律. 植物保护学报, 41(3): 277–284.]

Qi HH, Zhang YH, Wang J, Peng H, Zhang Z, Cheng DF, 2014b. Rhythm of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*) to the searchlight trap. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(22): 4436–4444. [齐会会, 张云慧, 王健, 彭赫, 张智, 程登发, 2014. 稻纵卷叶螟在探照灯下的扑灯节律. 中国农业科学, 47(22): 4436–4444.]

Steinbauer MJ, Haslem A, Edwards ED, 2011. 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 YZ, Zhang XX, 2001. Studies on the behaviours of oriental armyworm, *Mythimna separata*(Walker). *Acta Ecologica Sinica*, 21(5): 772–779. [王玉正, 张孝曦, 2001. 粘虫迁飞行为研究, 生态学报, 21(5): 772–779.]

Xia ZX, Cai XM, Deng XS, 1963. Studies of the regularity of outbreak of the oriental armyworm, *Leucania separata* Walker II. Observations on migratory activity of the moths across the chili gulf and yellow sea of China. *Acta Entomologyica Sinica*, 12(5/6): 552–564. [夏曾铣, 蔡晓明, 邓小山, 1963. 粘虫发生规律的研究——Ⅱ. 中国渤海和黄海海面粘虫迁飞的观察. 昆虫学报, 12(5/6): 552–564.]

Zhang XG, Jia YF, Wen Y, Zhang YF, Wan GJ, Chen FJ, 2017. Behavioral rhythms of three Lepidopteran pests; *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Helicoverpa armigera*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(2): 190–197. [张行国, 贾艺凡, 温洋, 张逸飞, 万贵钧, 陈法军, 2017. 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. 应用昆虫学报, 54(2): 190–197.]

Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Tian Z, Jiang YY, Zhang YJ, 2008. Nocturnal migration of Coleoptera: Carabidae in north China. *Scientia Agricultura Sinica*, 41(1): 108–115. [张云慧, 陈林, 程登发, 田喆, 姜玉英, 张跃进, 2008. 步甲夜间迁飞的研究.

中国农业科学, 41(1): 108–115.]

Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Jiang YY, Lv Y, 2008. The migratory behaviour and population source of the first generation of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in 2007. *Acta Entomologica Sinica*, 51(7): 720–727. [张云慧, 陈林, 程登发, 姜玉, 吕英, 2008. 草地螟 2007 年越冬代成虫迁飞行为研究与虫源分析. 昆虫学报, 51(7): 720–727.]

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 年三代粘虫大发生原因初步分析. 植物保护, 38(5): 1–8.]

Zhang YH, Zhang Z, Li C, Jiang YY, Zeng J, Cheng DF, 2013. Seasonal migratory behavior of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) In Northeast China. *Acta Entomologica Sinica*, 56(12): 1418–1429.

Zhang YH, Yang JG, Jin XH, Cheng DF, Tian Z, Li YL, 2009. Aerial band barrier formed by vertical-pointing searchlight-traps against the migrating *Loxostege sticticalis*. *Plant Protetion*, 35(6): 104–107. [张云慧, 杨建国, 金晓华, 程登发, 田喆, 李云龙, 2009. 探照灯诱虫带对迁飞草地螟的空中阻截作用. 植物保护, 35(6): 104–107.]

Zhang Z, Wang J, Liu Y, Zhang YH, Qi JF, Xie AT, Guo SC, Yang JG, Zheng SH, 2017. Analysis on population dynamics of Hawaiian beet webworm moth *Spoladea recurvalis* Fabricius in Yanqing district of Beijing. *China Plant Protection*, 37(5): 37–41. [张智, 王健, 刘宇, 张云慧, 祁俊锋, 谢爱婷, 郭书臣, 杨建国, 郑书恒, 2017 北京延庆甜菜白带野螟的种群动态分析, 中国植保导刊, 37(5): 37–41.]

Zhang Z, Zhang YH, Jiang YY, Xie AT, Wei SJ, Cheng DF, Jiang JW, Zhang FM, Peng H, 2013. Monitoring of the population dynamics of *Proxenus lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) in north China and analysis of the source of its populations in northern Beijin. *Acta Entomologica Sinic*, 56(10): 1189–1202. [张智, 张云慧, 姜玉英, 谢爱婷, 魏书军, 程登发, 蒋金炜, 张方梅, 彭赫, 2013. 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. 昆虫学报, 56(10): 1189–1202.]

Zhang Z, Zhang YH, Wang J, Liu J, Tang QB, Li XR, Cheng DF, Zhu X, 2018. Analysis on the migration of first-generation *Mythimna separate* (Walker) in China in 2013. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(7): 1527–1537.

Zhao WY, 1977. Reproduction and migration of armyworm *Mythimna separate* (Walker). *Entomological Knowledge*, 14 (1): 13–14. [赵万源, 1977. 粘虫生殖与迁飞. 昆虫知识, 14(1): 13–14.]