粘虫专栏

我国粘虫研究现状及发展趋势*

江幸福** 张 蕾*** 程云霞 罗礼智

（植物病虫害生物学国家重点实验室，中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘 要 粘虫 *Mythimna separata*（Walker）是一种典型的季节性远距离迁飞害虫，也是我国及其它亚洲和澳洲国家粮食作物上重大害虫。具有发生范围广、危害世代多、受害作物种类和组织多、产量损失重以及发生危害历史长的特点。我国粘虫的研究进展主要体现在以下四个方面：揭示了粘虫越冬、迁飞及发生危害规律；解析了粘虫迁飞行为发生与调控的环境、生理、遗传、激素与分子机制；创建了以越冬、迁飞规律及生物学习性为基础的粘虫监测预警技术；组建了粘虫区域综合治理技术体系。针对粘虫研究现状及存在的问题，结合现代昆虫学技术的发展，提出了今后粘虫研究的主要方向。

关键词 粘虫，研究现状，发展趋势

Current status and trends in research on the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in China

JIANG Xing-Fu** ZHANG Lei*** CHENG Yun-Xia LUO Li-Zhi

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pest, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100193)

Abstract The oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) is a typical, seasonal, long distance, migratory insect pest that causes significant damage to food crops in China and other parts of Asia and Oceania. This species has a long history in China where its broad distribution and capacity for multigenerational infestation causes severe crop loss. This paper reviews four aspects of research on the oriental armyworm in China; firstly, research on the regularity of its overwintering, migration and occurrence in China, secondly, research on the environmental, physiological, hormonal, genetic, and molecular factors involved in the regulation of migration, thirdly, established monitoring and forecasting techniques based on the regularity of overwintering, migration and the species' biology, and finally, research on developing a regional integrated pest management system for the species. Future prospects for research on this species are evaluated based on the current state of knowledge in the above four areas and new developments in entomological technology.

Key words *Mythimna separata*, research status, research perspectives

粘虫 *Mythimna separata*（Walker）是一种典型的远距离迁飞害虫，也是严重威胁我国粮食生产安全的重大生物灾害（李光博等，1964；叶志华，1993）。其发生危害具有以下特点：一是发生范围广，危害世代多。我国除新疆外均可造成危害并暴发成灾，每年可有 4～5 次大范围迁飞危害，在亚洲和澳洲其它国家也常发生危害（Sharma and Davies，1983；Lee and Uhm，1995；Hirai，1995）；二是危害的作物种类和组织多。可以危害玉米、小麦和水稻等主要粮食作物以及其它 100 多种作物，并可将作物的叶片吃光，咬断麦穗、谷穗并造成严重减产和绝产（李光博，

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201403031，201303057）；国家自然科学基金（31371947）和北京市自然科学基金（6142017）

**通讯作者，E-mail: xfjiang@ippcaas.cn

***并列第一作者

收稿日期：2014-07-07，接受日期：2014-07-15

1996）；三是暴发性明显，造成的产量损失严重。从 1950—1989 这 40 年间，粘虫有 17 年暴发成灾，成灾面积 7 191 万 hm^2，损失粮食超过 1 643 万吨（叶志华，1993）。2012 年，3 代粘虫在华北、东北的发生面积达 397.4 万 hm^2，多数省分危害程度居历史之最（曾娟等，2013）；四是发生危害历史长。从公元 482—1360 年中，曾有 35 项粘虫暴发成灾的记录。从 1970—1989 这 20 年间，每 10 年就有 6 年大发生。1990 以来，粘虫的局部危害也一直没有停止过，直至 2012 年全国粘虫的大发生（张云慧等，2012）。

我国对粘虫灾害问题十分重视，中央政治局曾于 1958 年把粘虫作为要消灭的 10 种害虫的第 2 位。从 20 世纪 50—80 年代，我国曾组织全国力量对粘虫越冬、迁飞及危害规律、监测与防控技术进行过系统研究，取得了一系列显著进展。90 年代开始，又对粘虫迁飞行为发生与调控的机制以及新型防控技术进行过深入研究，揭示了粘虫迁飞危害及灾变的机制，促进了粘虫预测预报和防控水平的提高。本文综述了我国粘虫在越冬迁飞规律、迁飞行为机制、监测预警以及综合防控技术方面的研究进展，并针对当前农业生态系统的变化，结合现代昆虫学技术的发展，提出今后粘虫研究的主要方向。

1 粘虫越冬、迁飞及发生危害规律研究进展

1.1 揭示了粘虫越冬规律，揭开了发生危害的初始虫源之谜

20 世纪 50—70 年代，通过大量的越冬调查以及室内外试验，探明了我国粘虫越冬虫态以及越冬区划，揭开了每年我国粘虫发生危害的初始虫源之谜。粘虫是一种没有滞育特性的昆虫，其耐低温能力较弱，根据粘虫不同发育阶段的过冷却能力和耐低温能力以及越冬调查，结合各地冬季气象资料与粘虫种群动态的分析，首次提出了粘虫在我国东部地区的越冬北界为 1 月份 0℃等温线（大致为 33ºN），在 1 月份 0~8℃等温线间（大致为 27º～33ºN），粘虫多以幼虫或蛹潜伏于稻根茬、稻田埂和杂草等环境中越冬。在 1 月份 8℃等温线（大致为 27ºN）以南各地，粘虫可终年发生为害（李光博，1979，1980）。进一步对我国西部地区粘虫越冬区划的研究表明，西北地区粘虫在秦岭以北地区不能越冬，西南地区粘虫越冬呈立体垂直分布，海拔低的地区粘虫可终年危害，海拔超过 1 768 m 的地区很难越冬（李光博，1990）。

1.2 揭示了粘虫迁飞规律，解开了不同发生区的虫源之谜

20 世纪 60—70 年代，通过田间标记-释放-回收试验，基本摸清了我国东部地区粘虫的迁飞路线和迁飞时间，使我国昆虫迁飞研究处于当时世界先进水平。标记回收的结果表明粘虫具有很强的迁飞能力，迁飞的直线距离最远的为 1 482 km，大多为 500～1 000 km，而实际迁飞距离可能更远。迁飞是造成粘虫危害的主要方式，在我国每年至少有 4 次较大范围的迁飞为害活动：第 1 次北迁是在每年 2—4 月份，33ºN 以南地区，越冬代或第 1 代成虫羽化后，绝大部分成虫向北迁飞到江淮流域，少数成虫可继续北迁至华北和东北地区，形成这些地区的第 1 代虫源。第 2 次北迁是在每年 5 月中旬至 6 月上旬江淮流域成虫羽化后，除有一小部分留在本区继续繁殖外，大部分成虫又迁飞到华北、东北、西北和西南地区繁殖为害，特别是在东北地区常引起暴发危害。第 3 次迁飞是东北和西北地区的 2 代粘虫于 7 月上旬至下旬陆续化蛹羽化，除有少部分成虫留在本区繁殖外，大部分成虫向南回迁到华北和西南地区繁殖为害。第 4 次迁飞发生于 8 月下旬至 9 月中下旬，华北地区 3 代粘虫绝大部分再向南回迁到越冬区越冬或华南地区繁殖为害。一年之中，粘虫就这样一个世代接着一个世代地由南向北往返迁飞为害，使各个发生区间形成互为虫源基地关系（李光博等，1964）。进一步对西部地区粘虫迁飞规律研究表明，西南地区粘虫迁飞除具有水平迁飞外（纬度），还具有明显的垂直迁飞（海拔）模式。西部与东部地区粘虫有明显的虫源交流，主体现在东部江淮流域 1 代粘虫成虫羽化后，除迁往东北继续繁殖为害外，也向西北和西南等地迁飞为害，而华北等地 3 代粘虫发生的虫源，除来自东北和内蒙等地外，也可来自西北等地（李光博等，1987）。

20 世纪 80 年代始，成功研制了昆虫飞行磨计算机数据采集系统，系统研究了粘虫飞行生物学（张志涛和李光博，1985），并通过雷达观测和模拟试验，明确了粘虫起飞的适宜时期是在羽化后第 2 晚（陈瑞鹿等，1985；罗礼智等，1995b，1999），日落前后起飞，天亮时降落，每晚迁飞

的时间约为 7~12 h。迁飞高度一般在 200～900 m，有时高达 1 500 m 以上，随不同季节而迁飞高度不同（Zhang *et al.*，2013）。迁飞方向和速度与飞行时的风向和风速基本一致，迁飞过程中多数不是连续飞行数日一次到达迁入区，而是要经过几次夜晚的迁飞与取食补充营养，白天降落休息的昼夜节律，完成其远距离迁飞的全过程（Chen *et al.*，1989；陈瑞鹿，1990）。

1.3　阐明了粘虫发生危害规律，揭示了成灾的关键因子

粘虫的发生危害与虫源基数和环境、生物因素密切相关。20 世纪 60—80 年代，通过大量的田间调查，明确了我国南方越冬区和终年发生区的冬季虫源直接决定翌年江淮流域 1 代乃至全国粘虫的发生危害程度（李光博，1979）。同时，揭示了温湿度不仅显著影响粘虫生长发育和繁殖，而且还决定其迁飞种群数量、发生世代数和危害时期，因而是粘虫成灾的关键因子。粘虫是一种喜低温和高湿的害虫，成虫发育与产卵适温为 15～30℃，产卵最适宜温度为 19～22℃，当温度低于 15℃或高于 25℃时，产卵数量均呈下降趋势，尤其在高温低湿下，产卵更少。相对湿度 75%以上对成虫产卵有利，低于 40%时，即使在适温条件下产卵量也很少（李光博，1979）。除温湿度，空气中 SO_2 浓度上升对粘虫发生危害也具有重要的促进作用（吴坤君等，1990）。尽管粘虫是一种多食性害虫，但寄主植物对其发生危害也有显著的影响。禾本科植物或杂草有利于粘虫种群增长（李光博，1961），蜜源植物是粘虫能否成功迁飞的重要决定因素，因而寄主植物是影响粘虫发生危害的重要因子（Wang *et al.*，2006）。

除环境因素外，天敌也对粘虫发生危害也有重要影响。粘虫的天敌种类很多，寄生性天敌有寄生蜂和寄生蝇等，捕食性天敌有步甲、青蛙、蟾蜍等。已查明我国粘虫的寄生蜂有 43 种，寄生蝇有 33 种（林昌善，1990）。病原线虫也对粘虫有重要的控制作用，其中最为明显的为中华卵索线虫 *Ovomenmis sinensis*（Chen *et al.*，1995），1975—1989 年期间，中华卵索线虫对河南上蔡县 1 代粘虫的自然寄生率平均为 46.4%。历年最高寄生率平均为 76.9%（陈果等，1991）。导致粘虫感病死亡的其他病原物还有病毒、真菌和细菌等，其中核多角体病毒对粘虫的田间感染率可达 77.8%～90.0%（蔡秀玉，1965）。

2　粘虫迁飞行为机制研究进展

自 20 世纪 90 年代开始，围绕粘虫迁飞行为发生与调控的环境、生理、遗传、激素与分子调控机制研究取得了显著进展。在此基础上，发现了在粘虫羽化后 24 h 的关键时期内，还存在迁飞型向居留型转化的不可逆的第 2 次调控机制，从而系统揭示了粘虫迁飞危害的内在原因与适应机制（Jiang *et al.*，2011）。

2.1　揭示了粘虫迁飞行为发生与调控的环境、生理、遗传、激素与分子调控机制

粘虫的迁飞行为的发生是受环境和遗传相互作用的结果，同时，在生理、内分泌等方面产生相应的适应机制。在环境调控方面：明确了幼虫密度较高、幼虫期饥饿、短光照和高温等因素是诱导成虫迁飞行为发生的主要原因（罗礼智等，1995a；曹雅忠等，1996，1997；李克斌和罗礼智，1998；江幸福和罗礼智，1997，1998，2000，2003）。在生理调控方面：明确了粘虫迁飞的生理基础符合“卵子发生-飞行拮抗”综合症（江幸福和罗礼智，2005）。迁飞的能源物质为甘油酯和糖类（海藻糖和糖原），分别在持续飞行和起飞初期动用，飞行肌所利用的脂肪酸主要是棕榈酸和油酸，蛋白质和氨基酸不是飞行能源物质（邹运鼎等，1984；王宗舜和欧阳迎春，1995；Wang and OuYang，1995；曹雅忠等，1995；蔡彬，1996；李克斌和罗礼智，1999；蔡彬等，2002）。粘虫飞行肌具有较善飞行的结构，但会随发育阶段的不同而异，并与飞行能力密切相关（罗礼智和李光博，1996；罗礼智，1996）。根据飞行与生殖的互作关系、3-羟辅酶 A 脱氢酶活性、甘油酯含量及飞行肌发育等方面的结果分析，确定了羽化后的 1～2 日是成虫的迁出时期（李克斌和罗礼智，1999；罗礼智等，1999）。在激素调控方面：明确了粘虫体内保幼激素（JH）对卵黄蛋白发生（卵巢发育）或飞行能力的作用相反，应用外源 JH 可加速卵巢发育但会降低飞行能力和甘油酯含量（Luo *et al.*，2001），田间迁出种群 JH 滴度显著低于迁入种群的（江幸福等，2005）。近年来研究还发现 JH 在粘虫迁飞型与居留型转换中起重要作用，外源 JH 可显著促进成虫由迁飞型转化为居留型（Zhang *et al.*，

2008a，2008b）。在遗传调控方面：应用数量遗传学和群体遗传学方法研究了粘虫飞行和生殖行为的遗传力及遗传相关等（江幸福，2004）。明确了遗传因素在其迁飞行为的发生与调控中所起的作用较小，雌蛾求偶前期和产卵前期的遗传可能受少数基因控制并为性连锁（Han and Gatehouse，1991； 江幸福等，2005），成虫飞行能力的遗传力值仅为 0.27～0.45（江幸福，2004）。这表明粘虫迁飞行为的发生很大程度上取决于环境条件，正是这种环境加遗传的调控机制，使粘虫在长期的进化过程中形成了对不同环境的适应能力。近年来，调控粘虫迁飞与生殖行为的蛋白质基因表达和功能也得到了研究，明确了与 JH 合成相关的神经肽（AT 和 AST）和关键酶（JHE）以及与生殖相关的卵黄原蛋白及其受体（Vg 和 VgR）、性信息素合成激活肽及其受体（PBAN 和 PBANR）等在粘虫迁飞行为的发生与调控中起重要作用（张蕾，2006；江幸福和罗礼智，2008）。

2.2 发现了迁飞型向居留型转化的第 2 次调控机制

由幼虫期环境因素决定粘虫向迁飞型或居留型发育外，在成虫期还存在一个关键时期，即成虫羽化后的 24 h。在此时期内，成虫在不利的环境因素诱导下，迁飞型成虫可以转化为居留型，但这种转化是非可逆的。低温、饥饿和长光照均能产生这种诱导作用，但这些环境因子的诱导须要达到一定的程度才能产生作用（Zhang *et al.*，2008a）。

进一步对关键时期内环境因子诱导粘虫迁飞型向居留型转化机制的研究表明，不利的环境因子刺激下，迁飞型成虫卵巢发育速度明显加快，但飞行肌降解速度明显加速、飞行能力显著降低，咽侧体（CA）活性增强，JH（JHI 和 JHII）合成与分泌也显著提前，AT 的基因表达量显著增加。这说明，粘虫关键时期内环境因子的刺激显著促进了咽侧体活性，提高了 JH 滴度，加速成虫生殖系统发育而降低飞行能力，从而调控居留型产生（张蕾，2006；Zhang *et al.*，2008b）。

3 粘虫监测预警技术研究进展

3.1 创建了以雷达监测为中心的多种监测技术，制定了《粘虫测报调查规范》国家标准

粘虫的发生危害具有暴发性、迁飞性和毁灭性特点，控制其危害的前提是充分做好种群的监测预警工作，从而掌握有利防治时期，将灾害控制在经济损失允许水平之下。目前，粘虫成虫监测技术主要有雷达、灯光和糖酒醋诱蛾器监测等。我国第一台昆虫扫描雷达于 1982 年在吉林省公主岭建成，并最早应用于粘虫迁飞种群的监测（陈瑞鹿等，1985；Chen *et al.*，1989； 陈瑞鹿，1990）。雷达不仅能够监测粘虫空中迁飞行为特征及其与气象因素的关系，而且还比地面监测到的日期提前（孙雅杰和高月波，2000），同时，还可以利用轨迹分析法推算迁飞种群的来源，有利于粘虫的早期预警（Chen *et al.*，1995；Zhang *et al.*，2013）。灯光监测主要根据夜蛾科昆虫的趋光性原理研发的，目前主要有黑光灯、自动虫情测报灯和探照灯等（张国彦等，2005；张云慧等，2012）。糖酒醋诱蛾器监测主要根据粘虫的趋化性原理以及成虫在迁飞过程中需取食补充营养的习性研发的，其适宜重量比例为酒 1∶水 2∶糖 3∶醋 4（姜玉英等，2009）。应用成虫监测技术不仅能够系统观测粘虫种群的发生时期与消长趋势，还可通过调查雌雄性比、卵巢发育进度、产卵量及交配率等能鉴定种群虫源性质，对预测预报有很好的指导作用。此外，根据粘虫的生物学习性，发展了田间卵量和幼虫调查技术。综合成虫监测和幼虫发生危害调查技术，制定了《粘虫测报调查规范》国家标准，已广泛应用于全国粘虫的监测调查（姜玉英等，2009）。

3.2 创建了基于粘虫越冬与迁飞规律的异地测报技术

由于粘虫具有远距离迁飞危害习性，仅有短期本地测报是不够的，根据粘虫在我国越冬与迁飞规律，20 世纪 60 年代创造性设计了粘虫异地测报技术。即根据迁出区危害情况，测报迁入区的发生趋势，可使预报时间大大提前。1963—1979 年间发布的 50 期异地测报的准确率达 85%以上，该方法已被农业部批准为粘虫全国统一测报技术（李光博，1985）。

根据粘虫迁飞危害习性，每年可进行 4 次异

地测报。具体为：第 1 次是每年 2 月间在越冬代成虫迁出区的广东、广西、福建等地调查冬季防治后的残虫基数、群体发育进度、天敌寄生率、性比和虫体发育情况，结合越冬代成虫迁入区的江苏、浙江、安徽、河南、山东、湖北、上海等地麦类作物的苗情长势、3—5 月份的天气预报等，预测江淮流域 1 代粘虫的发生消长趋势；第 2 次是 5 月间根据江淮流域麦田 1 代粘虫防治后的残虫基数等，结合辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古、北京、河北、山西、云南等地的农作物长势和天气预报等，预测东北、华北、西北和西南等地 2 代粘虫的发生趋势；第 3 次是 7 月间根据 2 代粘虫多发区防治后的残虫基数等，结合东北南部、华北等地本地虫源和作物长势及天气预报等，预测 3 代粘虫的发生趋势；第 4 次是 8 月下旬由华北、西北等地 3 代粘虫防治后的残虫基数等情况，结合南方地区晚稻等作物长势和天气预报，预测 4 代或 5 代粘虫的发生趋势（李光博，1985）。

4　粘虫综合防治技术研究进展

4.1　研发出多项粘虫关键防治技术

粘虫的防治技术在 20 世纪 70—90 年代得到了较快发展，主要体现在：①生态调控：根据粘虫对寄主植物的嗜好性，通过大量压缩南方冬小麦的种植面积，极大地减少越冬代粘虫种群数量，并使我国江淮流域 1 代粘虫的初始虫源显著减少，这是通过栽培制度生态调控宏观控制远距离迁飞害虫发生为害的一个典型实例（李光博，1979；郭予元，2006）。根据粘虫喜食杂草以及田间杂草提高了农田小气候相对湿度并降低了温度这一有利于种群增长的规律，研发了粘虫除草防虫技术；根据中耕培土可以大量杀死幼虫发展了中耕培土防治技术（李光博，1979）。②物理防治：根据粘虫趋光性和趋化性，研发了粘虫灯光和糖醋酒诱杀技术；根据粘虫喜欢在禾本科植物的干叶和叶鞘中产卵的习性，研发了采卵防治方法；利用粘虫的假死性，制定了人工拍打作物植株，震落幼虫集中消灭的方法；根据大发生时高龄幼虫具有群体爬行扩散危害的习性，研发了挖沟撒药阻截幼虫扩散的方法（李光博，1979）。③生物防治：我国粘虫天敌资源十分丰富，从卵、幼虫到蛹都有多种捕食和寄生天敌。生产上进行天敌防治的主要有粘虫黑卵蜂、中华卵索线虫等规模化饲养和释放（刘崇乐等，1960；陈果，1992）。近年来研究表明 Bt、植物源等生物杀虫剂对粘虫也有较好的防治效果（周琳等，2006；蒋善军等，2010）。④化学防治：由于粘虫每年固定的远距离迁飞习性导致不同种群间基因交流频繁，粘虫对化学农药抗药性不明显。因此，生产上可选用一些高效、安全、环境友好型的药剂如昆虫生长调节剂类、菊酯类和有机磷类进行防治。

4.2　组建了粘虫区域治理模式和综合防治技术体系

根据粘虫迁飞为害规律和各地区间互为虫源地的特点，制定了既要加强对本地主要为害世代的防治保护当地作物，又要压低虫源基数控制其迁飞到别处为害的防治策略。因此，根据粘虫各个发生危害区的特点组建了区域治理模式和综合防治技术体系。如南方越冬和终年发生区治理模式：以压低虫源基数为目标，以农业防治为基础，生态调控为重点，结合药剂防治，重点压低越冬虫源。江淮流域治理模式：该区为粘虫 1 代多发区，种植作物较为单一，发生区域较为集中，因此，应重点防治小麦 1 代粘虫，采用大面积灯光防治成虫和药剂防治低龄幼虫相结合的综合措施，降低迁入种群的虫源基数，并将其主力消灭在幼虫低龄阶段，同时可保护利用本地天敌，控制外迁虫源数量。东北、西北和西南地区治理模式：应主治 2 代粘虫，采取灯光诱杀、药剂防治低龄幼虫为主，将主力消灭在成虫和低龄幼虫阶段。在平原和草原地区，可适时地进行飞机超低容量喷雾，控制其为害。华北、华东地区治理模式：该区域主害代为回迁的 3 代粘虫，应重点防治 3 代迁入虫源，主要采取灯光诱杀迁入种群、药剂防治低龄幼虫为主，同时保护利用本地天敌（李光博，1979）。

5　粘虫综合治理的发展趋势

尽管我国对粘虫的研究取得了举世瞩目的进展，但随着全球气候、作物品种、布局、耕作栽培制度以及农业投入品的改变等农田生态系统的变化，近年来粘虫在我国的越冬与迁飞、发生危害规律可能产生了变化（李淑华，1994），粘虫本身发生了遗传变异（刘红兵和罗礼智，2004；Jiang *et al.*，2007），已有的监测预警和防控技术已经满

足不了生产需求。因此，今后实现粘虫的可持续治理还应在以下几个方面取得突破：

（1）加强粘虫越冬、迁飞和发生危害规律变化及其机理研究，揭示其灾变规律

随着全球气候变暖的加剧，南方作物品种、布局和耕作的改变，可能会导致粘虫越冬北界北移，越冬区域扩大，越冬存活率提高（李淑华，1994），这些变化直接影响翌年全国粘虫的发生危害程度，因此，研究粘虫越冬规律变化不仅有利于提高其监测预警准确率，还有利于科学治理粘虫越冬虫源。在迁飞规律方面，一是要明确当前农田生态系统变化下，全国范围内粘虫迁飞路线与迁飞时间的变化，挖掘影响迁飞的关键因子。二是要加强我国粘虫东西部地区以及与境外虫源之间的关系研究，明确东西部地区虫源交流以及境外虫源对我国粘虫发生危害的影响。在发生危害规律方面，要在阐明全国范围内种群世代发生规律演变的基础上，着重研究当前气候变化和空气污染、作物品种、防治措施、栽培措施等外因对种群增长及危害的影响，同时还要加强粘虫种群和个体水平上的遗传变异等内因对致灾影响的研究。

（2）加强粘虫迁飞行为发生与调控机制研究，奠定行为控制技术基础

粘虫的迁飞行为包括“起飞”、“运转”和“降落”三个过程，已有的研究主要集中在前两个过程，而对粘虫降落机制的研究较少，而降落与危害密切相关。已有研究手段主要集中在昆虫生理生态学方法，而从分子水平上研究较少。因此，今后应加强其降落的定向机制、降落种群寻找适宜寄主植物的化学生态机制等研究。另外，随着昆虫基因组学技术的发展，具有远距离迁飞习性的帝王蝶 *Danaus plexippus* 和飞蝗 *Locusta migratoria* 的全基因组已被测序，大量调控迁飞行为的基因功能得以注释，这无疑从遗传角度很好地解析了昆虫迁飞的内在机制（Zhan *et al*.，2011；Wang *et al*.，2014）。粘虫的迁飞具有环境与遗传相互作用独特的特点，从遗传学角度揭示调控其迁飞行为的靶标基因功能不仅能够有助于揭示夜蛾科昆虫迁飞的内在机制，而且还可以为设计分子靶标，通过药物模型、基因干涉或转基因技术调控其迁飞行为而达到防治的目标奠定基础。

（3）加强粘虫轻简化、自动化和网络化监测预警技术研发，建立全国粘虫监测技术体系和数据共享平台

《粘虫测报调查规范》中规定的粘虫谷草把、黑光灯和糠醋酒监测方法能够很好地应用于田间监测，但这些技术存在劳动强度高、自动化程度低以及监测效果不稳定等缺点，因此，除研发新型监测技术外，如何改进已有监测技术，并针对粘虫不同发生世代、发育阶段和危害作物的特点，科学合理地配置监测技术体系，在此基础上，建立全国粘虫监测网络和数据共享平台，实现虫情的实时监测和早期预警尤为必要。目前，粘虫的雷达监测站已在吉林、北京、山东等地建立，下一步可根据粘虫迁飞路线，进一步形成全国粘虫雷达监测网络，并建立雷达监测的空中种群密度与地面幼虫发生危害之间的关系预测模型，实现雷达网络化监测和早期预警。鉴于黑光灯对粘虫的监测效果不稳定，下一步可研制对粘虫高效的替代光源（如特异性粘虫光谱灯或高压卤素灯）及其配套预报技术。在性诱剂监测方面，要进一步鉴定粘虫性信息素的特征成份，筛选配方，研发高效、持久的诱芯，并规范诱捕器等配套技术。在改进、研制自动化、网络化单项关键监测技术的基础上，针对粘虫迁飞危害特点建立全国监测技术体系和数据共享平台，实现粘虫大区范围内早期预警和及时发布。

（4）加强粘虫规模化、机械化和区域化关键防控技术研发与集成创新，实现无公害、可持续治理

由于粘虫的远距离迁飞习性导致不同种群之间的基因交流频繁，目前还未发现粘虫明显的抗药性（杨春龙等，1994），因此，对粘虫防治技术的研发应符合现代农业生产发展的要求，化学防治药剂应选择环境友好型无公害新型农药，防治手段应朝着规模化统防统治、机防和飞机防治等机械化方向发展。同时，加强粘虫的生物防治技术研发，除研发保护天敌措施外，对一些优势天敌要开发规模化生产和田间释放技术，如粘虫水稻区的黑卵蜂，螟蛉绒茧蜂、小麦区的中华卵索线虫、以及病毒、真菌、细菌制剂等。另外，粘虫抗虫品种（水稻、小麦和玉米）也可能作为防治技术的另一突破点。最后，粘虫的综合防治应针对不同重发世代区分区治理，区域联防，集成越冬虫源区、本地粘虫、迁入重发区、迁出区、偶发区等几套粘虫综防技术体系，实现区域间联防联控和可持续治理。

参考文献 (References)

Chen RL, Sun YJ, Wang SY, Zhai BP, Bao XZ, 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. I. Northeastern China // Drake VA, Gatehouse AG (eds.). Insect Migration: Tracking Resource in Space and Time. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. 93–104.

Chen RL, Bao XZ, Drake VA, Farrow RA, Wang SY, Sun YJ, Zhai BP, 1989. Radar observations of the spring migration into northeastern China of the oriental armyworm, *Mythimna separata* and other insects. *Ecol. Entomol.* , 14 (2) : 149–162.

Han EN, Gatehouse AG, 1991. Genetics of precalling period in the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae), and implications for migration. *Evolution*, 45: 1502–1510.

Hirai K, 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. III. Japan // Drake VA, Gatehouse AG (eds.). Insect Migration: Tracking Resource in Space and Time. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. 117–129.

Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, Sappington TW, Hu Y, 2011. Regulation of migration in the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in China: A review integrating environmental, physiological, hormonal, genetic, and molecular factors. *Environ. Entomol.* , 40(3): 516–533.

Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, 2007. Relative Fitness of Near Isogenic Lines for melanic and typical forms of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Environ. Entomol.*, 36(5): 1296–1301.

Lee JH, Uhm KB, 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. II. Korea // Drake VA , Gatehouse AG (eds.). Insect Migration. Great Britain: Cambridge University Press. 105–116.

Luo LZ, Li KB, Jiang XF, Hu Y, 2001. Regulation of flight capacity and contents of energy substances by methoprene in the moths of Oriental armyworm, *mythimna separata* (Walker). *Entomologica Sinica*, 8(1): 63–72.

Sharma HC, Davies JC, 1983. The oriental armyworm, *Mythimna separata* (Wal.) distribution, biology and control: a literature review. Center for Oversea Pest Research, ODA Miscellaneous Report 59. London, Center for Oversea Pest Research.

Wang GP, Zhang QW, Ye ZH, Luo LZ, 2006. The role of nectar plants in the severe outbreaks of armyworm *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) in China. *Bull. Entomol. Res.*, 96 (5) : 445–455.

Wang XH, Fang XD, Yang PC, Jiang XT, Jiang F, Zhao DJ, Li B, Cui F, Wei JN, Ma C, Wang YD, He J, Luo Y, Wang ZF, Guo XJ, Guo W, Wang X, Zhang Y, Yang ML, Hao SG, Chen B, Ma ZY, Yu D, Xiong Z, Zhu Y, Fan D, Han L, Wang B, Chen Y, Wang J, Yang L, Zhao W, Feng Y, Chen G, Lian J, Li Q, Huang Z, Yao X, Lv N, Zhang G, Li Y, Wang J, Wang J, Zhu B, Kang L, 2014. Locust genome sequence provides insight into swarm formation and long-distance flight. *Nature Communications*, 10.1038/ncomms3957.

Wang ZS， OuYang YC, 1995． Flight activity and fatty acid utilization in *Mythimna separata* (Walker) moths. *Entomologica Sinica*, 2 (4): 370–376.

Zhan S, Merlin C, Boore JL, Reppert SM, 2011. The monarch butterfly genome yields insights into long-distance migration. *Cell* , 147 (5) : 1171–1185.

Zhang L, Jiang XF, Luo LZ, 2008a. Determination of sensitive stage for switching migrant oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker), into residents. *Environ. Entomol.*, 37(6): 1389–1395.

Zhang L, Luo LZ, Jiang XF, 2008b. Starvation influences allatotropin gene expression and juvenile hormone titer in the female adult oriental armyworm, *Mythimna separata*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 68(2): 63–70.

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

蔡彬, 1996.温、湿度对粘虫飞行及飞行能源物质利用的影响. 硕士学位论文. 北京：中国农业科学院. [CAI B, 1996. Influences of temperature and humidity on flight and utilization of energy substances during flight in the moths of oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker).Dissertation of master degree.Beijing:Chinese Academy of Agricultural Science]

蔡彬, 江幸福, 罗礼智, 曹雅忠, 2002. 温、湿度对粘虫蛾飞行能源物质利用的影响. 生态学报, 22(7): 1068−1074. [CAI B, JIANG XF, LUO LZ, CAO YZ, 2002. Influences of temperature and humidity on utilization of energy substances during flight in the moths of oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker). Acta Ecologica Sinica, 22(7) :1068-1074.]

蔡秀玉, 1965. 粘虫核型多角体病毒的研究. 昆虫学报, 14(6): 534−540.[CAI XY, 1965. Studies on a nuclear polyhedrosis of Pseudaletia separata (Walk.). Acta Entomologica Sinica, 14(6) :534-540.]

曹雅忠, 李光博, 胡毅, 1997.光周期对粘虫生殖与飞翔影响的初步研究. 生态学报, 17(4): 402−406.[CAO YZ, LI GB, HU Y, 1997. Effect of photoperiod on reproduction and flight of oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker). Acta Ecologica

Sinica, 17(4) :402-406.]

曹雅忠, 罗礼智, 郭军, 1996. 粘虫生殖和飞翔与幼虫期营养的关系. 昆虫学报, 39(1): 105−108.[CAO YZ, LUO LZ, GUO J, 1996. Performance of adult reproduction and flight in relation to larval nutrition in the oriental armyworm, Mythimna separata (Walker). Acta Entomologica Sinica, 39(1) :105-108.]

曹雅忠, 罗礼智, 李光博, 胡毅, 1995. 粘虫飞翔能源物质及其消耗. 昆虫学报, 38(3): 290−295. [CAO YZ, LUO LZ, LI GB, H Y, 1995. The relationship between utilization of energy materials and sustained flight in the moths of oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker). Acta Entomologica Sinica, 38(3) :290-295.]

曾娟, 姜玉英, 刘杰, 2013. 2012年黏虫暴发特点分析与监测预警建议. 植物保护, 39(2): 117−12l.[ZENG J, JIANG YY, LIU J, 2013. Analysis of the armywormoutbreak in 2012 and suggestions of monitoring and forecasting. Plant Protection, 39(2) :117-121.]

陈果, 1992. 在玉米喇叭口中释放中华卵索线虫防治粘虫初探. 生物防治通报, 1: 15. [CHEN G, 1992. Releases of omermis sinensis[Nematoda, mermithidae] in the whorl leaves of corn to control armyworwm, Mythimna separata (Walker).Chinese Journal of Biological Control, 1 :15.]

陈果, 简恒, 任惠芳, 罗良文, 周三旺, 张自亮, 雷书芳, 陈宾卿, 1991.中华卵索线虫对粘虫自然控制作用的研究. 生物防治通报, 7 (4): 145−150. [CHEN G, JIAN H, REN HF, ZHOU LW, ZHOU SW, ZHANG ZL, LEI SF, CHEN BQ, 1991. A 15-year study on the natural control of Mythimna separata [Lep: Noctuidae] by Ovomermis sinensis[Nematoda,Mermithidae].Chinese Journal of Biological Control, 7(4) :145-150.]

陈瑞鹿, 1990. 迁飞害虫的雷达监测.病虫测报, 2: 36−41. [CHEN RL, 1990 .The radar monitoring of migratory pests. Pest Monitoring, 2: 36−41.]

陈瑞鹿, 暴祥致, 王素云, 孙雅杰, 李立群, 刘继荣, 张德宽, 卢加, 1985. 公主岭昆虫雷达的装置和初步应用.中国农业科学, 3:93. [CHEN RL, BAO XZ, WANG SY, SUN YJ, LI LQ, LIU JR, ZHANG DK, LU J, 1985. The Gongzhuling entomological radar and observation on migration of armyworm and meadow moths. Scientia Agricultura Sinica, 3:93.]

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. [GUO YY, 2006. Illustrations with real examples of using ecological regulation strategies against crop pesta in China. Plant Protection, 32(2) :1-4.]

江幸福, 2004. 粘虫迁飞行为的生理、遗传特征以及遗传多样性的 AFLP 分析.博士学位论文.北京:中国农业科学院.[JIANG XF, 2004. The physiological and genetic characteristics of migratory behavior and genetic diversity, as determined by AFLP in the oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker). Ph.D.Dissertation, Beijing:Chinese Academy of Agricultural Science.]

江幸福, 蔡彬, 罗礼智, 曹雅忠, 刘悦秋, 胡毅, 2003. 温、湿度综合作用对粘虫蛾飞行能力的影响. 生态学报, 23(4): 738−743.[JIANG XF, CAI B, LUO LZ, CAO YZ, LIU YQ,HU Y, 2003. Influences of temperature and humidity synthesize on f light capacity in the moths of Oriental armyworm,Mythimna separata (Walker) . Acta Ecologica Sinica, 23(4): 738−743.]

江幸福, 刘悦秋, 罗礼智, 胡毅, 1998. 高温对粘虫未成熟期生长发育的影响. 北京农学院学报, 13(2): 20−26. [JIANG XF, LIU YQ, LUO LZ, HU Y, 1998. Effects of high temperature on the immature stages of the oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker).Journal of Beijing agricultural college, 13(2) :20-26.]

江幸福, 罗礼智, 1997. 粘虫蛹期及成虫期环境温度对成虫飞行能力的影响. 生态环境研究与可持续发展. 北京:环境科学出版社. 274−280. [JIANG XF, LUO LZ, 1997. Influences of environment and temperature on flight ability in the pupae and adults of oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker) . Ecological Environment and Sustainable Development. Beijing: China Environmental Science Press. 274−280.]

江幸福, 罗礼智, 2005. 粘虫迁出与迁入种群的行为和生理特性比较. 昆虫学报, 48(1): 61−67.[JIANG XF, LUO LZ, 2005. Comparison of behavioral and physiological characteristics between the emigrant and immigrant populations of the oriental armyworm, Mythimna separata (Walker). Acta Entomologica Sinica, 48(1) :61-67.]

江幸福, 罗礼智, 胡毅, 2000. 饲养温度对粘虫蛾飞行与生殖能力的影响. 生态学报, 20(2): 288−299.[JIANG XF, LUO LZ, HU Y, 2000. Influences of rearing temperature on flight and reproductive capacity of adult oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker). Acta Ecologica Sinica, 20(2) :288-299.]

江幸福, 罗礼智, 胡毅, 2005. 粘虫产卵前期的遗传特征. 生态学报, 25(1): 68−72. [JIANG XF, LUO LZ, HU Y, 2005.Genetic characteristics of pre-oviposition period in the oriental armyworm, Mythimna separata (Walker). Acta Ecologica Sinica, 25(1) :68-72.]

江幸福,罗礼智, 2008. 昆虫迁飞的调控基础及展望. 生态学报, 28(6): 2835−2842. [JIANG XF, LUO LZ, 2008.Regulation basis and perspectives on insect migration. Acta Ecologica Sinica, 28(6) :2835-2842.]

姜玉英, 屈西峰, 夏冰, 曾娟, 2009. 粘虫测报调查规范(GB/T15798-2009).中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.[JIANG YY, QU XF, XIA B, CENG J, 2009. Rules for investigation and forecast of the

armyworm [Mythimna separate(Walher)] (GB/T15798-2009).General Administration of Quality Supervision,Inspection and Quarantine of People's Republic of China ,Standardization Administration of the People's Republic of China.]

蒋善军, 罗礼智, 胡毅, 张蕾, 2010. Cry1Ac 毒蛋白对粘虫生长发育、繁殖及飞行能力的影响. 昆虫学报, 53(12): 1360−1366. [JIANG YY, QU ZF, XIA B, CENG J, 2010. Effects of Cry1Ac protein on growth and development, reproduction and flight potential of the oriental armyworm, Mythimna separata [Lepidoptera: Noctuidae]. Acta Entomologica Sinica, 53(12) :1360-1366.]

李光博, 1961. 粘虫发生规律和防治策略//中国植物保护科学.北京：科学出版社. 446−466. [LI GB, 1964. Occurrence and chemical control strategy of the oriental armyworm //Chinese Plant Protection Science. Beijing: Science Press. 446−466.]

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．[LI GB, WANG HX, HU WX, 1964. Route of the seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern part of China as indicated by a three-year result of releasing ang recapturing of marked moths. Journal of Plant Protection, 3(2) :101-109.]

李光博, 1979. 粘虫的综合防治//中国科学院动物研究所主编. 中国主要害虫综合防治. 北京: 科学出版社. 301−319. [LI GB, 1979. Integrated control of the oriental armyworm.// Compiled by Institute of zoology, Chinese academy of sciences. Integrated management of major pests in China. Beijing: Science Press. 301−319.]

李光博, 1980. 粘虫发生规律与综合防治技术. 农业科技情报, 3: 3−37. [LI GB,1980.The occurrence rules and integratedcontrol technology of oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker). Agricultural Science and Technology Information, 3: 3−37.]

李光博, 1985. 粘虫综合防治研究的设计与实践. 中国植物保护学会第四届年会会刊. 24−30. [LI GB,1985. The design and practice of integrated control of the oriental armyworm. The Fourth Annual Conference Of China Plant Protection Society , 24−30.]

李光博, 王恒祥, 李淑华, 1987．我国西部地区粘虫迁飞规律及预测预报研究. 1957-1987 庆祝中国农业科学院建院 30 周年(专辑): 68−74．[LI GB, WANG HX, LI SH, 1987. Migration regularity and forecasting research on the oriental armyworwm, Mythimna separata (Walker) in west China. 1957-1987 to celebrate the 30th anniversary of the founding of Chinese Academy of Agricultural Sciences (Album) : 68−74．]

李光博, 1993. 我国粘虫研究概况及主要进展. 植保保护, 19 (6): 2−4. [LI GB, 1993. Research situation and main progress in research on the oriental armyworm, Mythimna separata (Walker) in China. Plant Protection, 19 (6): 2−4.]

李光博, 1993. 小麦害虫综合防治关键技术及其协调应用 //李光博, 郭予元主编. 全国主要粮棉作物病虫草鼠害综合防治关键技术研究. 北京: 中国科学技术出版社. 1−4. [LI GB, 1993. The key technology of integrated pest control and coordinate the application of Wheat .Li Guangbo,Guo Yuyuan. Research on key technology of comprehensive prevention and control of diseases and pests of national major grain and cotton crop..Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1−4.]

李光博, 1996．粘虫 // 中国农业科学院植物保护研究所主编. 中国农作物主要病虫害．北京: 中国农业出版社. 657−723. [LI GB, 1996. Mythimna separata (Walker) //Compiled by Institute of Plant Protection, Academy of Agricultural Sciences of China.main diseases and pests of Chinese Crops.Beijing: China Agriculture Press, 657−723.]

李克斌, 罗礼智, 1999. 粘虫飞行肌中与能量代谢有关的酶活性研究. 昆虫学报, 42(1): 37−43. [LI KB, LUO LZ,, 1999. Studies on related enzymes of fight muscle and energy metabolism in Mythimna separata(Walker). Acta Entomology Sinica, 42(1): 37−43.]

李克斌, 罗礼智, 1998. 粘虫幼虫密度对成虫能源物质含量的影响. 昆虫学报, 41(3): 250−257. [LI KB, LUO LZ,, 1998. Effect of larval density on energy levels of adult.Acta Entomology Sinica, 41(3): 250−257.]

李淑华, 1994．气候变化与害虫的生长繁殖、越冬和迁飞. 华北农学报, 9(2): 110−114. [LI SH , 1994. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 9(2): 110−114.]

林昌善, 1990. 粘虫生理生态学. 北京： 北京大学出版社. 518−526. [LIN CS, 1990. Physiological ecology of Mythimna separata Beijing: Peking University Press.518−526.]

刘崇乐, 傅贻玲, 陈泰鲁, l960．粘虫黑卵蜂 Telenomus Cirphivorus Liu 的生物学及田间散放．昆虫学报, 10(3): 283−288. [LIU CL, FU YL, CHEN TL, 1960. Biology and releasing in field of Telenomus Cirphivorus Liu.Acta Entomology Sinica, 10(3): 283−288.]

刘红兵, 罗礼智, 2004．黑化粘虫的形态特征及其遗传模式．昆虫学报, 47(3): 287−292 ． [LIU HB, LUO LZ, 2004. Morphological characteristics and inheritance of the melanic form of the oriental armyworm,Mythimna separata(Walker) (Lepidoptera: Noctuidae).Acta Entomology Sinica, 47(3): 287−292.]

罗礼智, 1996. 粘虫蛾飞行肌的发育: 超微结构特征分析. 昆虫学报, 39(4) : 366−374. [LUO LZ, 1996. The development of

fight muscle in armyworm moth:analysis of Ultrastructure characteristics.Acta Entomology Sinica, 39(4) : 366−374.]

罗礼智, 江幸福, 李克斌, 胡毅, 1999. 粘虫飞行对生殖及寿命的影响. 昆虫学报, 42(2): 150−158. [LUO LZ, JIANG XF, LI KB, HU Y, 1999. Effect of flight on reproduction and longevity in Mythimna separata.Acta Entomology Sinica, 42(2): 150−158.]

罗礼智, 李光博, 1996. 粘虫蛾飞行肌超微结构的研究. 昆虫学报, 39(2): 141−148. [LUO LZ, LI GB, 1996. Ultrastructure studyies on the fight muscle in armyworm moth. Acta Entomology Sinica, 39(2): 141−148.]

罗礼智, 李光博, 曹雅忠, 胡毅, 1995a. 粘虫幼虫密度对成虫飞行与生殖的影响. 昆虫学报, 38(1): 38−45. [LUO LZ, LI GB, CAO YZ, HU Y, 1995a. Effect of larval density of Mythinmna separata on flight and reproduction of adult. Acta Entomology Sinica, 38(1): 38−45.]

罗礼智, 李光博, 胡毅, 1995b. 粘虫飞行与产卵的关系. 昆虫学报, 38(3): 284−289. [LUO LZ, LI GB, HU Y, 1995b. Relationship between flight and oviposition in Mythinmna separata. Acta Entomology Sinica, 38(3): 284−289.]

孙雅杰, 高月波, 2000. 粘虫和草地螟空中迁飞种群的雷达监测与地面发生预报. 中国昆虫学会 2000 年学术年会论文集. 457−460. [SUN YJ, GAO YB, 2000. Radar observation and occurrence forecast the population of Mythinmna separata and Loxostege Sticticalis L. migration.The Entomological Society of China, 457−460.]

王宗舜, 欧阳迎春, 1995. 东方粘虫飞行初期糖类的动用和消耗. 昆虫学报, 38(2): 146−151. [WANG ZS, OU YYC, 1995. The use and consumption of carbohydrate in the initial stage of the oriental armyworm flight . Acta Entomology Sinica, 38(2): [146−151.]

吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 1990. SO2 熏蒸小麦对粘虫生长的影响. 环境科学学报, 19(1): 78−83. [WU KJ,GONG PY , LI XZ, 1990. The effect of SO2 fumigating wheat on the growth of Mythinmna separata (Walke) .Journal of Environmental Sciences, 19(1): 78−83.]

杨春龙, 龚国玑, 谭福杰, 尤子平, 1994. 粘虫抗药性监测及其机制的初步研究. 植物保护, 21(3): 2−5. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. Preliminary studies on monitoring and mechanisms of the insectieide resistanee in Mythimna separota.Plant Protection, 21(3): 2−5.]

叶志华, 1993. 中国重大农业生物灾害及减灾对策. 国家科委全国重大自然灾害综合研究组编. 中国重大自然灾害及减灾对策分论. 北京: 科学出版社. 549−602. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. The major agricultural pest and disater mitigation.The major natural disasters of National Science and Technology Commission compiled.The major natural disaters and disater mitigation sub-pandect. Chinese Journal of Applied Entomology, 49−602.]

张国彦, 张跃进, 苏战平, 王贵生, 谈孝风, 刘小英, 周天云, 2005. 佳多自动虫情测报灯和普通黑光灯灯下主要害虫消长规律的比较. 植物保护, 31(3): 74−76. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. Comparing the growth and decline rule of major pests in jiaduo automatic-pest forecast lamp and blacklight.Plant Protection, 31(3): 74−76.]

张蕾, 2006. 粘虫迁飞型转为居留型的关键时期和调控基础. 博士学位论文. 北京：中国农业科学院. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. The sensitive period and regulatory mechanisms for the shitfing of migrant into resident in the oriental armyworm, Mythinmna separata (Walke) (Lepidoptera:Noetuidae).Chinese Journal of Applied Entomology, 51(1) :1-12.]

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. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. Analysis of the armyworm outbreak in 2012 and suggestions monitoring and forecasting.Plant Protection, 38(5): 1−8.]

张志涛, 李光博, 1985. 粘虫飞翔生物学特性初步研究. 植物保护学报, 12(2): 93−100. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. Preliminary study of biological characteristics of Mythimna separate(W alker) (Lepidoptera: Noctuidae). Chinese Journal of Applied Entomology, 12(2): 93−100.]

周琳, 冯俊涛, 马志卿, 张兴, 2006. 雷公藤总生物碱对粘虫的生物活性. 植物保护学报, 33(4): 401−406. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. Insecticidal activity of total alkaloid from Tripterygium wilfordii Hook against Mythimna separate(W alker) (Lepidoptera: Noctuidae). Chinese Journal of Applied Entomology, 33(4): 401−406.]

邹运鼎, 王士槐, 王弘法, 1984. 粘虫迁飞能源物质的研究. 生态学报, 4(4): 372−376. [CHEN XX, LIU YQ, REN SX, ZHANG F, ZHANG WQ, GE F, 2014. Research the energy material of armyworm migration.Chinese Journal of Applied Entomology, 4(4): 372−376.]