昆虫迁飞专栏

我国草地螟发生规律和监测治理技术研究现状与发展趋势*

张 蕾** 江幸福***

（植物病虫害综合治理全国重点实验室，中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘 要 草地螟 *Loxostege sticticalis* 是我国“三北”地区重大农牧业害虫，兼具滞育与迁飞特性，2020 年度由农业农村部列入《一类农作物病虫害名录》。自新中国成立以来已 3 次周期性发生为害，累计约 28 年。当前正进入第 4 个发生周期，对我国农牧业生产安全造成重大威胁。我国对草地螟的研究较为系统，分别在草地螟的发生危害规律、滞育越冬、迁飞行为、监测预警和综合防治等方面取得重要进展，为我国草地螟有效防控提供了重要理论与科技支撑。本研究针对草地螟研究现状及存在的问题，结合全球气候变化和我国农作物种植结构调整以及现代昆虫学技术的发展，提出了今后草地螟研究的主要方向。

关键词 草地螟；研究现状；发展趋势

Current state of research on the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Linnaeus) in China

ZHANG Lei** JIANG Xing-Fu***

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

Abstract The beet webworm, *Loxostege sticticalis (Linnaeus)*, is one of the most destructive pests of crops and livestock forage in northern China and was added to the List of Class I crop diseases and pests by the Ministry of Agriculture and Rural Areas in 2020. This species undergoes diapause and migration. There have been three periodic outbreaks of *L. sticticalis* in 28 years since the founding of new China, and it is currently entering the fourth periodic outbreak, which can pose a great threat to agricultural security. Research on this pest has been systematic, and important progress has been made in understanding its occurrence and in regulating the damage it causes to crops. Research on the diapause, overwintering, migration, monitoring, early warning, and integrated pest management of *L. sticticalis*, provide important theoretical, scientific, and technological support, for the effective control of this pest in China. This review covers progress in research in the above areas, and ongoing problems in managing *L. sticticalis*, in the context of global climate change, the adjustment of crop planting structure in China and the development of modern entomological technology.

Key words *Loxostege stictaialis*; research status; research perspectives

草地螟 *Loxostege sticticalis* L.是我国华北、东北和西北地区（简称“三北”地区）农牧业生产上重大迁飞性害虫（Jiang *et al.*，2010a；张蕾和江幸福，2022），2020 年由农业农村部列入

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2022YFD1400600）；国家绿肥产业技术体系（CARS-22）；农业农村部政府购买服务项目（15226006）；国家自然科学基金项目（32072420）；中国农业科学院基本科研业务费所级统筹项目（2022）

**第一作者 First author，E-mail：leizhang@ippcaas.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：xfjiang@ippcaas.cn

收稿日期 Received：2022-10-24；接受日期 Accepted：2023-05-25

《一类农作物病虫害名录》(农业农村部,2020)。其具有暴发性、多食性和周期性大发生的为害特点,远距离迁飞导致其常在迁入区短时间集中暴发(罗礼智等,2009a)。取食的寄主植物多达 48 科 259 种,包括粮食作物玉米、小麦和马铃薯等,油料作物大豆、向日葵、油菜和花生等,糖料作物甜菜,牧草或绿肥作物苜蓿、燕麦和草木樨等以及蔬菜、中药材和果树等(张跃进等,2008;姜玉英等,2011)。我国草地螟大发生年份局部造成的主要作物产量损失可达到 60%,严重发生地区甚至会导致作物绝收,对国家粮食、油料和牧草等作物生产安全造成重大威胁(罗礼智等,1996)。1996-2008 年全国年均发生面积约 367 万 hm^2,平均损失粮食 20 亿斤以上。其中,2008 年我国草地螟大发生,2 代幼虫在 7 省区发生为害,面积达 1 106.7 万 hm^2,为历年最重,严重地块几乎绝收(罗礼智等,2009a)。

周期性大发生是草地螟发生为害的重要特点,自新中国成立以来已 3 次周期性约 28 年发生为害,第 3 个周期的暴发势头大约于 2010 年结束(曾娟等,2018)。当前我国草地螟已进入第 4 个发生周期,种群数量和全国发生面积呈增加趋势,严重威胁我国农牧业生产安全(江幸福等,2019;刘杰等,2019);2018 年至今,草地螟种群开始在我国内蒙古自治区快速回升,此后发生区域进一步扩大,内蒙古、山西、河北等地多次出现高密度种群,密度之高为历史罕见。

我国对草地螟灾害问题十分重视,自 20 世纪 50 年代第一次发生周期开始时即对草地螟的生物学与预测预报技术等开展研究,随后分别对其发生危害规律、滞育越冬、迁飞行为、监测预警和综合防控技术进行了多年的系统研究,并取得了一系列重要进展,为我国草地螟有效防控提供了重要理论与技术支撑。本研究综述了我国草地螟在发生危害规律、滞育越冬、迁飞行为、监测预警以及综合防控技术方面的主要研究进展,并针对当前研究现状及存在的问题,结合全球气候变化和我国农作物种植结构调整可能对草地螟产生的影响,以及现代昆虫学技术的发展,提出了今后草地螟研究的主要方向。

1　草地螟发生危害规律研究进展

1.1　草地螟全国发生危害世代区划和寄主危害特性

草地螟主要分布在北纬 36°-55°之间,我国主要分布在东北、华北及西北农牧交错地区。依据有效积温与田间调查表明,草地螟在我国年发生 1-3 代,根据气候特点和发生为害规律,目前我国草地螟可划分为常发区、重发区和偶发区。不同发生区草地螟发生世代、危害作物和发生程度均有显著差异,但各区之间又通过远距离迁飞相互联系。常发区主要包括内蒙古大部,山西及河北北部等地区,该区主要为草地螟主要越冬区,主要为害世代为第 1 代,近年来 2 代为害呈增加趋势。重发区主要包括内蒙古东部,黑龙江、吉林和辽宁西北部等迁入区,主要危害世代为第 1 代,一般 2 代为害较轻。偶发区主要包括宁夏、甘肃和陕西大部、内蒙古西部以及新疆北部部分地区,一般年份草地螟危害相对较轻(罗礼智和李光博,1993)。

尽管草地螟是一种多食性害虫,但成虫对产卵寄主以及幼虫对取食寄主的选择性明显,特别是成虫对产卵寄主的喜好度差异明显,在查明产卵寄主植物 32 科 120 种植物中,不仅不同科的寄主选择性明显,同科不同种类植物选择性也表现不同。总体上,成虫喜欢在菊科、豆科、藜科、蓼科、十字花科等有限的植物上产卵,而幼虫在 48 科 259 种取食寄主植物中最喜取食菊科、豆科、藜科、蓼科、蔷薇科、禾本科、十字花科、唇形科、茄科等植物,但成虫对产卵寄主的选择与幼虫对取食寄主的选择并不完全一致。不同世代幼虫对作物的危害特点也有不同,其中 1 代幼虫主要在 6-7 月份取食作物叶片、心叶等营养生长部分,易造成毁种和绝收。2 代和 3 代幼虫主要在 8-9 月份除取食叶片外,还取食花器和果实等植物生殖器官,易造成作物产量损失(姜玉英等,2011)。草地螟寄主植物的选择行为为其诱集/驱避植物生态调控及除草防虫等技术的研发提供了重要依据。

为进一步揭示草地螟寄主植物选择性机理,

在寄主植物挥发性化合物功能鉴定以及草地螟寄主识别化学机制方面开展了大量研究，并取得重要进展。目前已对灰菜、大豆、玉米、马铃薯（尹姣等，2005b）和紫花苜蓿（张静静等，2019）等草地螟寄主植物主要挥发物成分及其引诱功能差异进行了鉴定。同时，利用草地螟转录组（Wei *et al.*，2017）以及基因表达与干涉技术等对草地螟多个气味受体（Wen *et al.*，2019)和结合蛋白（Yin *et al.*，2012，2015）功能进行了分析，共鉴定出草地螟 54 个气味受体、18 个离子型受体、13 个味觉受体、34 个信息素结合蛋白、10 个化学感受蛋白和 2 个感觉神经元膜蛋白，充分表明草地螟具备发达的化学感受分子基础与功能。

1.2 草地螟种群成灾的关键环境与生物因子

草地螟种群暴发成灾会受到各种环境、生物和生理及行为等因素的综合影响，其中温湿度、天敌和寄主植物是最为关键的环境与生物因子。温湿度影响草地螟个体生长发育、产卵繁殖以及种群增长，决定草地螟发生为害区域、时间和暴发成灾程度。最适合草地螟种群增长的温湿度范围较窄，约为 21-22 ℃和 RH60%-80%。在适宜的温湿度下，草地螟存活率高、生殖能力强、种群增长快、发生危害或成灾的可能性增加。超出这个温湿度范围，各项参数出现不同程度的下降。生产上常用成虫盛发期前后 5 d 降雨量大于 10 mm，气温 20-22 ℃，或温湿系数 3-4，在充足的虫源数量（迁入区成虫数量>5 000 头/灯/晚）时，草地螟就会暴发成灾，反之，即使成虫数量很大，也不会发生危害。因此，成虫产卵时期的温度和湿度条件是决定草地螟成灾的决定性因子（魏倩等，1987；罗礼智等，2016；唐继洪，2016）。

天敌也是决定草地螟成灾的关键因子之一。草地螟不同发育阶段均有不同类型天敌起主要控害作用，包括捕食性、寄生性天敌和病原微生物等。捕食性天敌种类有步甲、拟步甲、瓢虫、叩头虫、蚂蚁、胡蜂、蜘蛛等，其中步甲种类较多，捕食功能较强，既可捕食幼虫，也可捕食蛹等（李红等，2007）。寄生草地螟卵、幼虫和蛹的天敌种类也很多，目前我国已从草地螟卵中发现暗黑赤眼蜂 *Trichogramma pintoi* Voegele，但对卵的寄生率不到 1%（田晓霞等，2010）。幼虫和蛹期寄生性天敌有寄生蜂和寄生蝇，其中直接从国内草地螟中发现的有 25 种，国外有报道并在国内草地螟发生区发现的 11 种，分别隶属于赤眼蜂科、巨胸小蜂科、茧蜂科和姬蜂科，其中以茧蜂科和姬蜂科种类最多（罗礼智等，2018）。寄生蝇种类有 22 种，优势种为双斑截尾寄蝇 *Nemorilla maculosa* Meigen 和伞裙追寄蝇 *Exorista civilis* Rondani 等大卵生种类，主要寄生 5 龄幼虫，寄生率通常达 50%以上，是控制下代草地螟虫源基数的重要生物因子（陈海霞和罗礼智，2007；李红等，2007，2008；李红和罗礼智，2007；陈海霞等，2008；）。病原微生物有真菌、病毒和微孢子虫等，调查、采集田间死亡草地螟幼虫，通过室内分离鉴定和生测，明确了白僵菌 *Beauveria bassiana* 是感染我国草地螟的主要病原物，主要感染土中做茧的幼虫和蛹，也可感染地面上幼虫，并且湿度越高对草地螟的致病力越强（曹艺潇等，2009；曹艺潇和刘爱萍，2010）。

寄主植物也是影响草地螟成灾的关键因子。不同寄主植物对草地螟的生长发育和种群增长具有显著的影响（尹姣等，2004；范锦胜等，2016；张同强等，2020），而草地螟也形成了对不同寄主植物的选择性与适应性机制（陈静等，2010；尹姣等，2012；王倩倩等，2015）。草地螟成虫主要选择藜科、菊科、伞形花科等双子叶杂草产卵，环境湿度较高时则选择单子叶杂草，如稗草、狗尾草和大画眉草产卵，幼虫 3 龄后会有转主危害特性，导致孵化后幼虫取食形成了“先杂草后作物”或“先双子叶后单子叶植物”的田间发生危害规律（姜玉英等，2011；江幸福等，待发表）。

1.3 草地螟周期性发生的危害特点与影响因子

间歇性周期性发生是草地螟发生危害的明显特点，自新中国建立后我国草地螟已有 3 个发生周期，当前正处于第 4 个周期中（张蕾和江幸

福，2022）。第 1 个发生周期是 1953-1959 年间，主要发生在内蒙古地区，持续 7 年。第 2 个发生周期是 1979-1985 年间，主要发生在黑龙江、吉林、山西、内蒙古及辽宁等地，也持续 7 年。第 3 个发生周期是 1996-2009 年间，主要发生在“三北”地区的大部分地区，持续 14 年之久（罗礼智等，1996）。第 4 个发生周期从 2018 年开始，其发生范围可能更广，危害程度可能更重，持续时间可能更长（张蕾和江幸福，2022）。综合分析草地螟周期性发生特点，表现为每个周期持续的年份呈增加趋势，危害程度呈加重趋势。影响草地螟周期性发生的因子很多，如极端气候条件、天敌和病原物、种群密度以及太阳黑子活动等，尽管已有一些研究进展（黄绍哲等，2008；陈晓等，2016），但目前对其影响作用机制还不完全清楚。

2　草地螟滞育越冬规律研究进展

2.1　草地螟滞育特性以及诱导和解除条件

草地螟以老熟幼虫滞育越冬，1 代和 2 代幼虫均可发生滞育，为兼性滞育，不同世代的滞育比例依环境条件而异（陈瑞鹿等，1987），光周期、温度及其交互作用均对草地螟滞育诱导具有重要影响。其中光周期起主导作用，是一种典型的短日照滞育型，温度伴随着光周期起作用，低温有利于诱导其滞育。不同温度条件下，对幼虫滞育诱导最有效的光周期均为 L12∶D12，其中温度为 18-26 ℃时滞育率能达到 98%以上或 100%，即使是温度为 30 ℃时的滞育率也能达 80%以上。随着光照时间的延长，各种温度条件下的幼虫滞育率迅速下降，尽管不同温度条件下幼虫滞育率的下降速度不同，但当光照时间达到 16 h 时，无论温度如何变化，其幼虫均不发生滞育（黄少虹等，2009）。临界光周期随着温度的升高呈缩短趋势，对光照反应最敏感的虫态为 5 龄幼虫，但卵孵化后 7-11 d（约 4 龄幼虫）的短光照积累有利于提高滞育率，可将滞育率从 40.0%提高到 90.0%（黄少虹等，2009）。

在适宜的温度条件下，草地螟滞育幼虫不需要经过低温或长日照刺激便可解除滞育，但低温处理（刺激）对其滞育的解除有明显的促进作用，未经过低温处理的滞育幼虫化蛹前期约为 36 d，而经过低温处理的滞育幼虫化蛹前期可缩短到 9 d 左右。5 ℃或 0 ℃低温处理 20-30 d 是草地螟滞育解除的最佳条件，此时化蛹前期仅为 8 d 左右，死亡率低于 4%（Jiang *et al.*，2010b）。

2.2　草地螟滞育的生理特征与调控机制

草地螟进入滞育状态后，生理上出现一系列变化，为了抵御滞育越冬时的低温环境，滞育幼虫需要减少自身的水分含量，降低过冷却点和结冰点（李朝绪等，2006），贮藏并在滞育过程中动用一定的脂肪以维持滞育（李朝绪，2005）。同时，总 RNA 含量降低、RNA/DNA 比值下降，并在滞育过程中合成与滞育相关的蛋白质以及总蛋白含量升高是草地螟幼虫滞育的主要生理特征（张健华等，2012）。

保幼激素（Juvenile hormone, JH）和蜕皮激素（Molting hormone, MH）对草地螟滞育的诱导、维持和解除均有重要的调控作用，较高的 JH 滴度有利于老熟幼虫滞育的维持。在进入滞育虫龄（5 龄）的初期，JHⅠ滴度保持在较高的水平，随着 5 龄幼虫天数的延长，血淋巴中 JHⅠ滴度呈下降趋势，到第 5 天 达到最低，但之后进入老熟状态时，血淋巴中仍保持较高滴度的 JHⅠ（可达 140 ng/mL），从而诱导草地螟幼虫滞育。滞育期间血淋巴中 JHⅠ的滴度一直维持在较高的水平（达 100 ng/mL 左右），而滞育解除后化蛹前 5 d 虫体血淋巴中 JHⅠ滴度显著下降（Jiang *et al.*，2011）。相反，较低的蜕皮激素滴度有利于滞育的维持，较高则有利于滞育的解除。当幼虫进入老熟状态开始滞育时，血淋巴中 MH 的滴度开始下降，并维持在一个较低的水平（40 ng/mL），整个滞育持续期间 MH 都维持在一个很低的水平，而在滞育解除后化蛹前 5 d 虫体血淋巴中的 MH 滴度显著上升，直至化蛹前 1 d 达到最大值，之后开始打破滞育并化蛹（吕晓飞，2013）。这表明保幼激素与蜕皮激素相互作用可诱导、维持和解除草地螟的

滞育行为。

2.3 草地螟滞育在种群增长中的作用

草地螟 1 代和 2 代幼虫均可发生滞育进入越冬，翌年 5 月份幼虫开始解除滞育，随后进入化蛹、羽化、生殖和迁飞等一系列影响种群动态的生活史环节。滞育后个体生长发育、飞行与生殖的变化直接决定其种群增长与成灾程度，不同滞育持续期对滞育后草地螟蛹重、化蛹前期、蛹期以及蛹的存活率等均有显著的影响，总体上表现为滞育解除后的蛹的发育具有一定的发育与存活代价（Xie *et al.*，2012；吕晓飞，2013）。同时，滞育也会使得成虫付出一定的生殖代价，表现在与非滞育幼虫相比，滞育幼虫解除后发育而来的成虫总产卵量呈下降趋势，并且成虫产卵延迟，发育延缓等，均不利于种群增长（Jiang *et al.*，2010b）。

尽管草地螟滞育在个体发育与成虫产卵方面存在一定的代价，但滞育解除后发育的成虫却有利于迁飞行为的发生。主要体现在滞育后的成虫产卵前期显著延长，飞行能力显著增强，滞育后发育而来的 3 日龄成虫飞行速度、飞行时间和飞行距离均显著高于源于非滞育幼虫的，而不同滞育持续期对成虫在飞行能力各参数影响不显著。同时，由滞育幼虫发育而来的 3 日龄成虫的飞行肌重量和飞行能源物质含量显著高于源于由非滞育幼虫发育而来的成虫（吕晓飞，2013）。

除滞育引起的草地螟发育、生殖和迁飞能力的变化对其种群动态和发生危害有重要影响外，不同世代的幼虫滞育比例对草地螟发生危害也具有重要作用。草地螟第 3 个发生周期内，随着全球气候变暖，我国草地螟 1 代幼虫滞育比例下降，导致生产上 2 代幼虫频繁暴发成灾，是生产上草地螟发生危害程度越来越重的主要原因之一（唐继洪，2011）。

2.4 我国草地螟滞育越冬区划

滞育是草地螟重要的生活史环节，每年只有进入滞育的幼虫才能抵御冬季低温成为翌年越冬代成虫的有效虫源。因此，草地螟滞育发生的区域和发生数量对越冬虫源基数影响显著。草地螟越冬范围在北纬 36°N-54°N，我国草地螟 1、2 代幼虫均可发生滞育越冬，但不同世代幼虫滞育比例主要取决于当代幼虫所处的光温等环境条件。随着全球气候变暖，1 代幼虫滞育比例下降，2 代幼虫发生区域扩大，滞育比例上升，导致我国草地螟滞育越冬区由前两个发生周期时的华北地区主要越冬区向东北扩展，从而形成目前我国草地螟越冬区分为主要和次要越冬区，前者位于河北北部、山西北部和内蒙古中西部等华北地区，后者位于吉林西部、黑龙江西部以及内蒙古东部等东北地区，但主要越冬区的越冬年份、面积、密度和虫源数量一般都高于次要越冬区（屈西峰和邵振润，1999；罗礼智等，2009b；姜玉英等，2009）。

3 草地螟迁飞规律研究进展

3.1 草地螟迁飞行为特征与迁飞规律

草地螟具有较强的飞行能力，在室内飞行磨吊飞下可连续飞行 24 h，距离可超 100 km（罗礼智和李光博，1992）。田间标记-释放-回收试验表明其直线迁飞距离通常为几百公里，最远可达 1 117 km（张树坤等，1987；陈阳等，2012）。雷达观测表明，草地螟在 15 ℃以下不起飞，适宜迁飞温度为 18-21 ℃，多数为傍晚起飞，黎明降落，一次远距离迁飞要持续几个晚上，顺风迁飞，迁飞高度大多在 100-500 m，并随季节和纬度的不同而升降（陈瑞鹿等，1992；Feng *et al.*，2004；张云慧等，2008；张丽等，2012）。与大多数迁飞性害虫相同，草地螟迁飞型的分化与迁飞行为的发生均受到环境、生理等因子影响。其中温湿度（Cheng *et al.*, 2015；唐继洪等，2016）、幼虫密度（Kong *et al.*，2010）、寄主植物（杨志兰，2013）、滞育状态（Xie *et al.*，2012；吕晓飞，2013）、蛾龄（罗礼智和李光博，1992）和生殖状态（Cheng *et al.*，2016）等均对其迁飞行为产生重要影响。

我国草地螟迁飞规律较为复杂，这主要是其迁飞行为易受到环境条件的影响。目前较为稳定的迁飞路线是每年华北地区主要越冬区的越冬代成虫于 5-6 月份向东北地区的次要越冬区迁

飞，在东北地区降落后完成 1 代幼虫的发育，1 代成虫于 7-8 月份再由次要越冬区向主要越冬区回迁，从而在华北地区形成 2 代幼虫危害。其中越冬代成虫从华北向东北迁飞的途径已被标记-释放-回收方法所证实（张树坤等，1987；陈阳等，2012）。此外，包括华北和东北在内的东西 6 个省共 11 个地理种群之间遗传相似性较高，没有明显的遗传分化也间接证明了这些区域间的迁飞导致种群间基因交流频繁（曹卫菊等，2006；Jiang *et al.*，2010a），但这条迁飞路线也可能受到气象因素的阻止，导致部分年份华北越冬代成虫向东北迁飞及东北 1 代成虫回迁受阻（陈晓等，2008）。此外，华北地区越冬代成虫也可北上迁飞，经由蒙古国再向东北地区迁飞（杨素钦和马桂椿，1987），以及蒙古国、俄罗斯等国的 1 代成虫向我国华北地区迁飞（张云慧等，2008；张丽等，2012）也是草地螟可能的迁飞路线。除不同纬度之间的水平迁飞外，草地螟还存在不同海拔之间的垂直迁飞（张树坤等，1987）。

3.2　草地螟迁飞致灾机制

尽管昆虫迁飞是一种耗能活动，但迁飞性害虫可通过取食补充营养或自身生理调节来实现不同行为之间的权衡。昆虫可根据自身生理发育调节适宜的起飞年龄、飞行强度和迁飞频次等迁飞模式来保障对后代繁衍无不利影响。多数迁飞性害虫有各自不同的适宜迁飞模式，在这种模式下迁飞，不但不会对繁衍后代产生代价，反而会促进种群增殖，在生产上引起暴发或成灾（江幸福等，2016；王天硕等，2021）。草地螟飞行促进生殖的适宜方式为成虫 3 日龄开始迁飞，每晚飞行可超过 12 h，5 日龄以前飞行均可显著促进成虫生殖（Cheng *et al.*，2012）。这种飞行方式有利于提高产卵整齐度，而产卵量、卵孵化率等均无显著变化。进一步对田间草地螟迁入种群生殖参数的研究也表明，尽管经历迁飞的草地螟成虫产卵量未显著增加，但到达迁入地后将很快多次交配、产卵且产卵前期显著提前、产卵同步性显著增加,从而加剧后代种群的集中暴发（宋文一等，2016）。

另一个迁飞有利于草地螟成灾的机制是迁飞型草地螟抵抗病原物和天敌的能力显著增强，抑制天敌控害功能。在发育为迁飞型个体的幼虫中高密度（10 头/650 mL）饲养条件下，草地螟幼虫对白僵菌和伞裙追寄蝇的抵抗能力均最强，表现在该密度下幼虫因白僵菌感染和伞群追寄蝇寄生的死亡率最低，而伞群追寄蝇因草地螟免疫的死亡率最高（Kong *et al.*，2010，2013）。进一步对草地螟防御能力增强的机制研究表明，随着幼虫密度的升高，向迁飞型发育的草地螟幼虫血细胞数目明显增加，特别是与免疫能力相关的浆血细胞和颗粒体细胞数量显著增加（杨志兰等，2013）。同时，迁飞型草地螟幼虫血淋巴抗菌活力和溶菌酶基因表达显著高于居留型（Kong *et al.*，2013，2016），且向迁飞型发育的幼虫黑化程度、表皮和血淋巴酚氧化酶活性均显著增强（Kong *et al.*, 2013）。这表明，血细胞数量增加、血淋巴抗菌活力和不同组织酚氧化酶活性的增强以及溶菌酶基因上调等是草地螟迁飞型免疫能力增强的重要原因。

3.3　草地螟迁飞行为“二次调控”的灵活对策

在内翅类迁飞昆虫中发现，其除具备在一定的环境条件下产生迁飞型和居留型分化的“一次调控”外，部分内翅类昆虫，如草地螟 *L. sticticalis*、粘虫 *Mythimna separata*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 在成虫期仍具备第 2 次对迁飞行为调控的能力，从而体现出灵活的“二次调控”生存对策。而这种“二次调控”只发生在其成虫的一个关键时期内，在该时期内昆虫可根据所处的环境条件调整最终的发育方向。草地螟迁飞型成虫在一个特定时期内受到环境因素的胁迫，会发生迁飞行为的“二次调控”，这种特定的时期是成虫羽化后 48 h 内，目前已经明确的是迁飞型草地螟成虫在饥饿的条件下能够再次调整发育方向，由迁飞型向居留型转化（程云霞，2012）。这种迁飞行为的“二次调控”策略显著提高了种群对环境变化的适应能力，增加了其生活史的弹性，有利于迁飞型在特殊环境

条件下调整发育方向，专注生殖以保障后代种群繁衍，也有利于后代种群的集中暴发或成灾。

4 草地螟监测预警技术研究进展

4.1 建立了以灯光为核心的监测技术

草地螟成虫趋光性很强，灯光监测是目前生产上应用最为广泛且效果显著的监测方法。对草地螟趋光性与光波和光强的关系研究表明，成虫对单色光和白光刺激均具有明显的趋光行为反应，在 340-605 nm 内，趋光最为明显的两个峰值分别在紫外区 360 nm 和近紫外的 400 nm，成虫趋光反应率随单色光和白光强度的增强而升高，性别、蛾（日）龄对光谱和光强反应均有一定影响，雌性较雄性趋光反应率高，初羽化（1 日龄）成虫趋光反应不明显，但随蛾龄的增长成虫趋光反应率明显升高，10 日龄雌蛾还具有明显的趋光行为（江幸福等，2010）。草地螟这种趋光行为特征为灯光监测技术研发奠定了理论基础。目前生产上多用高空测报灯、黑光灯和虫情测报灯进行监测，不同灯具具有不同的监测作用，高空测报灯由于其产生的光柱高达 500 m 以上，基本覆盖了草地螟空中迁飞种群的迁飞高度，且产生的光强高，引诱力明显，对空中迁飞过境种群有很好的监测和拦截作用（张云慧等，2009）。黑光灯和虫情测报灯主要用于地面种群监测，但其监测效果会受到种群数量以及迁飞状态的影响（张跃进等，2008；江幸福等，2009）。

雷达监测也是对草地螟迁飞种群有效的监测手段，我国第一台昆虫扫描雷达在 20 世纪 80 年代就对山西雁北地区的草地螟越冬代迁飞高度、起飞行为与迁飞方向等行为进行了有效监测（陈瑞鹿等，1992）。其后，在吉林省又监测到了草地螟春季迁入种群的迁飞行为（孙雅杰和高月波，2000）。20 世纪 90 年代至今，中国农业科学院植物保护研究所分别在河北廊坊、山东长岛、内蒙古集宁、锡林浩特和北京延庆等地对草地螟的空中迁飞行为进行了季节性监测预警（Feng *et al.*，2004；张云慧等，2008；张丽等，2012；张鹿平等，2018）。雷达监测为草地螟大区域范围内的迁飞方向和迁飞路线等规律提供了重要依据。

尽管性诱剂在多种昆虫种群动态监测中应用广泛，但目前我国草地螟性诱剂监测技术还不成熟，性诱剂监测效果还不稳定，引诱到的种群数量低，持效期短，还未能在生产上广泛应用（康爱国等，2013）。因此，迫切需要加强对草地螟的性外激素活性成分、诱芯配方及缓释载体等进行系统研究，提高诱集效果和持效性。

4.2 创建了基于草地螟越冬与迁飞规律的异地测报技术

由于草地螟远距离迁飞危害习性，种群密度大时常常一夜之间吃光所有作物。早期预警对控制其灾害损失非常重要，异地测报技术则是实现早期预警的重要方法，主要是通过对上一世代发生区的虫源基数、种群发育进度、天敌寄生情况以及气象等因素进行综合分析，结合迁飞动态、气象因素和寄主条件，对下一世代发生区的发生为害进行早期预警。具体来说，草地螟主要有 3 次异地测报，一是每年秋冬季节，根据华北主要越冬区越冬调查情况，结合长期气象预报，对翌年华北和东北等 1 代草地螟发生区进行异地测报；二是每年 5-6 月份根据华北主要越冬区越冬代成虫的监测结果，如越冬代成虫数量、发生时间和卵巢发育状况等，结合 6 月份气象条件、内蒙古中东部和东北地区西部的寄主植物等，对 1 代草地螟发生情况进行更加精准的异地测报；三是每年 7-8 月份根据内蒙古中东部、东北地区西部的 1 代幼虫的虫源数量、发育进度、天敌情况以及 1 代成虫监测情况，结合气象等因素、迁飞规律和寄主植物等，对华北地区的 2 代草地螟进行异地测报（张蕾和江幸福，2022）。异地测报技术能够为草地螟防控提供充足的准备时间，已广泛应用于全国草地螟发生趋势预报（罗礼智和屈西锋，2005；姜玉英等，2009），在草地螟可持续防控中发挥了重要作用。

4.3 制定了《农区草地螟预测预报技术规范》

标准化预测预报是草地螟防控的重要措施。

基于农区草地螟秋季越冬基数调查、春季越冬存活率调查、成虫监测、卵量调查、幼虫调查等方法，结合短、中、长期测报方法等主要内容，形成了我国《农区草地螟预测预报技术规范》（NY/T 1675-2008）农业行业标准（全国农业技术推广服务中心，2008）。以此规范为依据，每年开展秋季越冬基数调查、春季越冬幼虫存活率调查、化蛹羽化进度观察、成虫诱测、卵量调查、幼虫调查，依调查结果对我国草地螟不同发生区的发生时间、发生程度、防治时期等做出预测预报，在生产上及时发出早期预警，实现了全国草地螟测报技术标准化，为防止草地螟突发和暴发发挥了重要作用。

5　草地螟综合防治技术研究进展

5.1　研发出多项草地螟防治技术

5.1.1　除草防虫技术　根据草地螟成虫对产卵寄主植物的选择性和转主危害特性研发出除草防虫（卵）技术，即在草地螟卵孵化期或成虫产卵前期适时中耕除草能起到显著的灭卵（幼虫）作用。对亚麻、豌豆、大豆和胡萝卜田的除草防虫效果一般可达到 80%以上（康爱国等，2007），而对玉米和马铃薯田除草防虫效果可达 90%以上（尹姣等，2005c）。因此，除草防虫是防治草地螟关键技术之一（张跃进等，2008）。

5.1.2　灯光诱杀技术　根据草地螟成虫对紫外光区和近紫外光区趋光性强烈，且雌蛾较雄蛾趋光反应率高的习性（江幸福等，2010），生产上使用黑光灯、频振式杀虫灯以及高空探照灯均可产生显著的防治效果（张跃进等，2008，2009；江幸福等，2009；张云慧等，2009）。在内蒙古赤峰地区对越冬代草地螟应用频振式杀虫灯防治试验表明，灯控区草地螟种群显著下降，基本不用化学防治，节本增效显著，并减少环境污染（宫瑞杰等，2008）。

5.1.3　生物防治技术　草地螟卵、低龄幼虫和高龄幼虫等不同发育阶段均有不同种类的天敌优势种群。其中寄生蜂主要对低龄幼虫有较好的控制作用，对控制当代草地螟种群发生危害效果显著（康爱国等，2015）。寄生蝇主要对高龄幼虫控制作用明显，对控制下代草地螟发生危害效果显著（康爱国等，2006）。因此，保护利用天敌种群，减少化学农药的使用，种植一些有利于天敌富集的绿肥、牧草和开花植物等，可有效发挥天敌对草地螟的控制作用（王恩东等，2008；张跃进等，2008，2009）。此外，一些环保型生物农药对草地螟也有较好的防治效果（尹姣等，2005a；李克斌等，2006）。

5.1.4　化学防治技术　由于草地螟的远距离迁飞常导致种群的集中迁入而致幼虫暴发危害，因此应急科学化学防治是控制草地螟暴发的必要手段。同时，草地螟每年均会在越冬区和发生危害区之间进行远距离迁飞，也导致不同地理种群间基因交流频繁，难以形成抗药性种群，目前尚未发现我国草地螟对化学农药产生明显的抗药性，生产上主要是选用成本低的化学药剂品种，并配以无人机和高杆喷雾机等进行规模化防治，但环境友好型化学药剂筛选、剂型创制和智慧型施药装备配套等还存在不足。

5.2　组建了我国草地螟区域治理模式和综合防治技术体系

我国草地螟发生区可分为重发区、常发区和偶发区。不同发生区的发生特点、危害程度和作物损失等均有不同，且不同发生区之间成虫通过远距离迁飞导致发生虫源关系密切。因此，草地螟可持续防控需实行分区治理和联防联控。我国在草地螟的第 3 个发生周期内，通过对不同发生区的为害特点研究，组建了 3 套可供虫源区（常发区）、迁入重发区和偶发区使用的分区治理模式和综合防治技术体系。其中，虫源区（常发区）以灯光诱杀成虫和生态调控技术为主，配以化学防治和生物防治等综合防控措施；迁入重发区以灯光诱杀成虫、除草灭卵防虫、物化阻隔和化学防治等多措并举；偶发区以除草灭卵防虫和天敌保护技术为主，协调应用其他防治措施。草地螟分区治理和联防联控措施的推广应用取得了显著效果，对我国草地螟防控发挥了重要作用（张跃进等，2009）。

6 草地螟可持续治理发展趋势

尽管我国对草地螟的研究基础较好，但在全球气候变化、种植结构调整以及境外虫源迁入等背景下灾变规律与成灾机制还不清楚，监测预警自动化、智能化水平还不高，成虫防治技术如空-地一体化拦截技术还未有效建立，综合防控核心技术和产品还很缺乏，区域化联防联控和可持续防控体系等重大科学问题和关键技术仍未解决。因此，草地螟可持续治理的发展趋势还应在以下几个方面取得突破。

6.1 加强草地螟滞育越冬、跨境迁飞、周期性暴发和迁飞致灾机制研究

滞育是草地螟越冬存活唯一方式，滞育率的变化显著影响草地螟 1 代和 2 代幼虫的发生量，也直接影响草地螟发生危害程度，全球气候变化将对滞育产生影响，其影响程度以及滞育越冬区域发生的变化需要研究。与我国相邻的俄罗斯、蒙古国和哈萨克斯坦发生的草地螟与我国的虫源交流时间和空间关系、影响区域虫源交流的气候特征以及跨境迁飞规律尚不清楚，严重影响我国草地螟预测预报准确率。周期性发生是草地螟灾变重要特征，但在全球气候变化和种植结构调整下，但周期发生的驱动因素和终结因素还不清楚；迁飞影响生殖、免疫功能等迁飞致灾机制还不明确。这些问题严重影响草地螟成灾机制的理论发展，也阻碍了精准测报和有效治理。

6.2 加强草地螟自动化、智能化监测预警和空-地一体化灯光拦截技术研发

草地螟跨境、跨区域远距离迁飞是其暴发成灾的重要因素，但目前采用的雷达、灯诱和性诱技术还存在不完善之处，自动化、智能化水平不高，特别是草地螟性诱和食诱监测与防控技术成熟度不高，生产上还未广泛应用。因此，研发草地螟雷达自动化识别技术，科学设置雷达监测站点，建设雷达区域监测网格；研发草地螟嗜好性光波、光强的灯光诱蛾和种类自动识别技术，实现物联网灯具自动化监测；筛选草地螟专一性、高效性诱剂和食诱剂配方以及缓释载体，筛选适合的自动化计数诱捕器，建立专一且高效的自动化性诱和食诱监测技术，提高监测预警自动化、智能化水平与预测预报精准性。当前草地螟正进入新的大发生周期，其发生危害和迁飞规律呈现出新的特点（张蕾和江幸福，2022），对草地螟迁飞路线、迁飞规律变化与影响因子等研究，揭示草地螟区域性迁飞路线变迁与迁飞规律，阐明关键影响因子与作用机制，对于指导及时发布草地螟预警信息有重要意义。尽管草地螟趋光性，灯光监测效果显著，但综合草地螟空中迁飞种群与地面降落的本地种群的成虫空-地一体化拦截技术还未有效建立，因此，研发布置基于草地螟嗜好性光谱的高空灯和地面杀虫灯，构建雷达实时预警驱动的高空灯空中成虫种群和杀虫灯等地面种群的空-地一体化拦截系统，并在草地螟越冬虫源区、迁飞过境区和迁入区加以集成应用，对于降低成虫种群数量，实现成虫高效防治意义重大。

6.3 加强草地螟生态调控、理化诱控和生物防治技术研发

尽管我国对草地螟的寄主植物调控、灯光防控、天敌和生物农药防治技术的基础研究方面取得了较好进展，但仍缺乏便于基层使用、分区施策的一体化核心技术与产品。随着草地螟防控对环境友好要求的提高，绿色非化学防治技术是草地螟重要的防控措施。特别是草地螟寄主植物和景观生态调控技术、特异性、自动化灯光诱蛾技术、天敌产品与释放技术、微生物源和植物源生物药剂防治技术等均需进一步研发突破。

6.4 加强草地螟应急性科学化学防治技术研发

草地螟迁入种群具有突发性和暴发性危害特点，生产上及时开展应急防治，短时间内压低成灾种群数量，防止作物毁灭性损失非常必要。但目前我国草地螟化学防治药剂登记产品稀少，配套的施药器械等精准施药技术缺乏。因此，需要在监测不同生态区（农牧交错区和农区）草地螟对常用化学农药的抗药性水平基础上，制订相应的精准筛选药剂策略，科学筛选对草地螟高效、低毒、绿色环境友好型化学农药种类。筛选

适用于草地螟“飞防”和“机防”的功能助剂产品，并创制以纳米材料为载体的高效剂型。研发适合草地螟防治的智慧无人机、高杆喷雾机等对靶精准施药技术和装备，建立一套高效安全的智能化精准用药技术模式。

6.5　加强草地螟区域化绿色可持续防控技术体系研究

分区治理和联防联控是实现草地螟可持续防控的重要措施。当前系统研究草地螟在新的发生周期内不同生态区、不同作物、不同代次的种群发生演变规律以及为害特点，建立各生态区轻简化防控技术体系，研究针对重发区、常发区和偶发区特点的分区治理模式，协调应用生态调控、理化诱控、生物防治和科学化防等综合防治技术措施，建立区域间联防联控，实现我国草地螟可持续治理。

参考文献 (References)

Cao WJ, Luo LZ, Xu JX, 2006. The migratory behavior and pathways of meadow moth, *Loxostege sticticalis* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 43(3): 279–283. [曹卫菊, 罗礼智, 徐建祥, 2006. 我国草地螟的迁飞规律及途径. 应用昆虫学报, 43(3): 279–283.]

Cao YX, Liu AP, Xun LP, 2009. Isolation and identification of pathogenic fungi of meadow moth *Loxostege sticticalis* larvae. 2009 Annual Conference of Chinese Plant Protection Society. Wuhan: 327–329. [曹艺潇, 刘爱萍, 徐林波, 2009. 草地螟幼虫病原真菌的分离和鉴定. 中国植物保护学会 2009 年学术年会. 武汉: 327–329.]

Cao YX, liu AP, 2010. Impacts of different temperatures and humidity on pathogenicity of *Beauveria bassiana* to *Loxostege sticticalis*. *Grassland and Turf*, 30(4): 68–70 [曹艺潇, 刘爱萍, 2010. 不同温湿度对草地螟白僵菌的致病力影响. 草原与草坪. 30 (4): 68–70]

Chen HX, Luo LZ, 2007. Host species, instar and position preference of a tachinid parasitoid, *Nemorilla maculosa* (Diptera: Tachinidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(11): 1129–1134. [陈海霞, 罗礼智, 2007. 双斑截尾寄蝇对寄主种类及草地螟幼虫龄期和寄生部位的选择性. 昆虫学报, 50(11): 1129–1134.]

Chen HX, Zhang L, Luo LZ, 2008. Bionomics of the tachinid parasitoid *Nemorilla maculosa* (Diptera: Tachinidae) adults. *Acta Entomologica Sinica*, 51(12): 1313–1319. [陈海霞, 张蕾, 罗礼智, 2008. 双斑截尾寄蝇成虫的生物学特性研究. 昆虫学报, 51(12): 1313–1319.]

Chen J, Luo LZ, Pan XL, Kang AG, 2010. Evidences and causes for selecting stinkgrass rather than lambsquarters as ovipositing plants by the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 36(2): 75–79. [陈静, 罗礼智, 潘贤丽, 康爱国, 2010. 草地螟选择大画眉草而非藜产卵的证据及原因. 植物保护, 36(2): 75–79.]

Chen RL, Bao XZ, Wang SY, Sun YJ, Li LQ, Liu JR, 1992. An observations on the migratory of ,meadow moth by radar. *Journal of Plant Protection*, 19(2): 171–174. [陈瑞鹿, 暴祥致, 王素云, 孙雅杰, 李立群, 刘继荣, 1992. 草地螟迁飞活动的雷达观测. 植物保护学报, 19(2): 171–174.]

Chen RL, Wang SY, Bao XZ, Sun YJ, 1987. Study on diapause of webworm, *Loxostege sticticalis*: Effect of photoperido and temperature on development and diapause. *Journal of Plant Protection*, 14(4): 253–258. [陈瑞鹿, 王素云, 暴祥致, 孙亚杰, 1987. 草地螟滞育的研究:光照周期、温度与发育及滞育的关系. 植物保护学报, 14(4): 253–258.]

Chen X, Jiang YY, Meng ZP, Chen K, Kang AG, Li CM, Zhai BP, 2016. Extreme climate has become an important factor causing the termination of outbreak periods of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(12): 1363–1375. [陈晓, 姜玉英, 孟正平, 陈阔, 康爱国, 李春民, 翟保平, 2016. 极端气候成为我国草地螟暴发周期终结的重要因子. 昆虫学报, 59(12): 1363–1375.]

Chen X, Zhai BP, Gong RJ, Yin MH, Zhang Y, Zhao KJ, 2008. The source area of spring population of meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 28(4): 1521–1535. [陈晓, 翟保平, 宫瑞杰, 尹明浩, 张友, 赵奎军, 2008. 东北地区草地螟(*Loxostege sticticalis*)越冬代成虫虫源地轨迹分析. 生态学报, 28(4): 1521–1535.]

Chen Y, Jiang YY, Liu JX, Lv Y, Meng ZP, Chen J, Tang JH, 2012. Mark-release-recapture validation of the migration of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae), in northern China. *Acta Entomological Sinica*, 55(2): 176–182. [陈阳, 姜玉英, 刘家骧, 吕英, 孟正平, 陈静, 唐继洪, 2012. 标记回收法确认我国北方地区草地螟的迁飞. 昆虫学报, 55(2): 176–182.]

Cheng YX, 2012. The regulation and interaction of migration and reproduction in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [程云霞, 2012. 草地螟 *Loxostege sticticalis* 迁飞与生殖行为的调控及互作关系. 博士

学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Cheng YX, Luo LZ, Jiang XF, Sappington TW, 2012. Synchronized oviposition triggered by migratory flight intensifies larval outbreaks of beet webworm. *PLoS ONE*, 7(2): e31562.

Cheng YX, Luo LZ, Sappington TW, Jiang XF, Zhang L, Frolov AN, 2016. Onset of oviposition triggers abrupt reduction in migratory flight behavior and flight muscle in the female beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *PLoS ONE*, 11(11): e.0166859.

Cheng YX, Wang K, Sappington TW, Luo LZ, Jiang XF, 2015. Response of reproductive traits and longevity of beet webworm to temperature, and implications for migration. *Journal Insect Science*, 15(1): 154.

Fan JS, Zhang LX, Wang GQ, Ma X, Han X, 2016. Life tables for experimental populations of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Crambidae) on five host plants. *Plant Protection*, 42(3): 104–109. [范锦胜, 张李香, 王贵强, 马昕, 韩笑, 2016. 草地螟在 5 种寄主上的实验种群生命表. 植物保护, 42(3): 104–109.]

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

Gong RJ, Wang LM, Yu FL, Yang CX, Li P, Zhao SY, 2008. Application effect test of frequency vibration insecticidal lamp to trap and kill adult meadow moth. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2008(5): 64. [宫瑞杰, 王利民, 于风玲, 杨春喜, 李萍, 赵素英, 2008. 频振式杀虫灯诱杀草地螟成虫应用效果试验. 内蒙古农业科技, 2008(5): 64.]

Huang SH, Jiang XF, Luo LZ, 2009. Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in the beet webworm *Loxostege sticticalis* L. innaeus (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 52(3): 274–280. [黄少虹, 江幸福, 罗礼智, 2009. 光周期和温度对草地螟滞育诱导的影响. 昆虫学报, 52(3): 274–280.]

Huang SZ, Jiang XF, Lei CL, Luo LZ, 2008. Correlation analysis between the periodic outbreaks of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and solar activity. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10): 4823–4829. [黄绍哲, 江幸福, 雷朝亮, 罗礼智, 2008. 草地螟 (*Loxostege sticticalis*) 周期性大发生与太阳黑子活动的相关性. 生态学报, 28(10): 4823–4829.]

Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, Kang AG, Zhang YJ, Jiang YY, 2009. Comparison of Jiaduo automatic pest forecast light trap and blacklight trap for monitoring and trapping the meadow moth, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 35(2): 109–113. [江幸福, 罗礼智, 张蕾, 康爱国, 张跃进, 姜玉英, 2009. 佳多虫情测报灯和普通黑光灯对草地螟种群监测与防治效果比较. 植物保护, 35(2): 109–113.]

Jiang XF, Cao WJ, Zhang L, Luo LZ, 2010a. Beet webworm (Lepidoptera: Pyralidae) migration in China: Evidence from genetic markers. *Environmental Entomology*, 39(1): 232–242.

Jiang XF, Huang SH, Luo LZ, 2011. Juvenile hormone changes associated with diapause induction, maintenance and termination in the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 77(3): 134–144.

Jiang XF, Huang SH, Luo LZ, Zhang L, Liu YQ, 2010b. Diapause termination, postdiapause development and reproduction in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Physiology*, 56(9): 1325–1331.

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Jiang YY, Liu J, 2019. The fourth occurrence cycle of the beet webworm *Loxostege sticticalis* may be coming in China. *Plant Protection*, 45(4): 79–81. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 姜玉英, 刘杰, 2019. 草地螟第 4 个发生周期或将来临. 植物保护, 45(4): 79–81.]

Jiang XF, Zhang ZZ, Luo LZ, 2010. Phototaxis of the beet webworm *Loxostege sticticalis* to different wavelengths and light intensity. *Plant Protection*, 36(6): 69–73. [江幸福, 张总泽, 罗礼智, 2010. 草地螟成虫对不同光波和光强的趋光性. 植物保护, 36(6): 69–73.]

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2016. Research advances and perspectives on migration-induced mechanisms promoting outbreaks of major lepidopteran insect pests in China. *Scientia Sinica Vitae*, 46(5): 565–572. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2016. 中国主要鳞翅目农业害虫迁飞致灾机制研究与展望. 中国科学: 生命科学, 46(5): 565–572.]

Jiang YY, Kang AG, Wang CR, Meng ZP, Zeng J, 2011. Preliminary report on the ovipositing and feeding host species of the meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(7): 266–278. [姜玉英, 康爱国, 王春荣, 孟正平, 曾娟, 2011. 草地螟产卵和取食寄主种类初报. 中国农学通报, 27(7): 266–278.]

Jiang YY, Zhang YJ, Yang BS, Ma CJ, Wang HJ, Feng XD, Wang CR, 2009. Distribution characteristics of overwintering insect sources of the meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in 2008 and occurrence trend analysis in 2009. *China Plant Protection*, 29(1): 39–41. [姜玉英, 张跃进, 杨宝胜, 马苍江, 王贺军, 冯晓东, 王春荣, 2009. 草地螟 2008 年越冬虫源分布特点和 2009 年发生趋势分析. 中国植保导刊, 29(1): 39–41.]

Kang AG, Zhang LP, Shen C, Li Q, Zhang YH, Zhao ZY, 2006. Control effects of tachinid flies on the meadow moth, *Loxotego stictialis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 43(5): 709–712. [康爱国, 张莉萍, 沈成, 李强, 张玉慧, 赵志英,

2006. 草地螟寄生蝇与寄主间的关系及控害作用. 应用昆虫学报, 43(5): 709–712.]

Kang AG, Yang LJ, Zhang YH, Liu DJ, Zhao ZY, Zhang FY, Feng LR, 2015. Species of wasp parasitioids and their roles in regulating meadow moth, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) populations in the agro-pastoral ecotone of northwestern Hebei. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(1): 215–222. [康爱国, 杨立军, 张玉慧, 刘栋军, 赵志英, 张凤英, 冯丽荣, 2015. 冀西北农牧交错区草地螟寄生蜂及其控害作用. 应用昆虫学报, 52(1): 215–222.]

Kang AG, Zeng J, Liu DJ, Jiang YY, Zhang YH, Pang HY, Wang P, Liang SH, 2013. The meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) sex inducement test and evaluation of its application effectiveness. *China Plant Protection*, 33(7): 44–48. [康爱国, 曾娟, 刘栋军, 姜玉英, 张玉慧, 庞红岩, 王平, 梁树海, 2013. 草地螟性诱试验及其应用效果评价. 中国植保导刊, 33(7): 44–48.]

Kang AG, Zhang YJ, Jiang YY, Wang HJ, Zhang YH, Zhao ZY, 2007. A study on the oviposition behavior of adult *Loxostege sticticalis* and control effect of inter-tillage and weeding on its eggs. *China Plant Protection*, 27(11): 5–7. [康爱国, 张跃进, 姜玉英, 王贺军, 张玉慧, 赵志英, 2007. 草地螟成虫产卵行为及中耕除草灭卵控害作用研究. 中国植保导刊, 27(11): 5–7.]

Kong HL, Cheng YX, Luo LZ, Sappington TW, Jiang XF, Zhang L, 2013. Density-dependent prophylaxis in crowded beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae to a parasitoid and a fungal pathogen. *International Journal of Pest Management*, 59(3): 174–179.

Kong HL, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2010. Effects of larval density on flight performance of the beet webworm *Loxostege sticticalis*. *Environmental Entomology*, 39(5): 1579–1585.

Kong HL, Lv M, Mao N, Wang C, Cheng YX, Zhang L, Jiang XF, Luo LZ, 2016. Molecular characterization of a lysozyme gene and its altered expression profile in crowded beet webworm (*Loxostege sticticalis*). *PLoS ONE*, 11(8): e0161384.

Li CX, 2005. Influences of related physiological and environmental factors on development and cold tolerance of the meadow moth, *Loxostege sticticalis*. Master dissertation. Hainan: South China University of Tropical Agriculture. [李朝绪, 2005. 相关环境生理因素对草地螟幼虫发育和抗寒能力的影响. 硕士学位论文. 海南: 华南热带农业大学.]

Li CX, Luo LZ, Pan XL, 2006. Cold-hardiness in the diapause and non-diapause larvae of meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. *Plant Protection*, 32(2): 41–44. [李朝绪, 罗礼智, 潘贤丽, 2006. 草地螟滞育和非滞育幼虫抗寒能力的研究. 植物保护, 32(2): 41–44.]

Li H, Luo LZ, 2007. The tachinids parasitizing on the meadow moth, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae): species, types of parasitism and their roles in controlling the host population. *Acta Entomologica Sinica*, 50(8): 840–849. [李红, 罗礼智, 2007. 草地螟的寄生蝇种类、寄生方式及其对寄主种群的调控作用. 昆虫学报, 50(8): 840–849.]

Li H, Luo LZ, Hu Y, Kang AG, 2007. Regulatory effects of major natural enemy species on alfalfa meadow moth populations. Plant Protection and Modern Agriculture-Proceedings of the 2007 Annual Conference of the Chinese Society of Plant Protection. Guilin: 905. [李红, 罗礼智, 胡毅, 康爱国, 2007. 主要天敌种类对苜蓿地草地螟种群的调控作用. 植物保护与现代农业——中国植物保护学会 2007 年学术年会论文集. 桂林: 905.]

Li H, Luo LZ, Hu Y, Kang AG, 2008. Parasitism characteristics of two tachinid parasitoids *Exorista civilis* Rondani and *Nemorilla maculosa* Meigen (Diptera: Tachinidae) on the beet webworm *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(10): 1089–1093. [李红, 罗礼智, 胡毅, 康爱国, 2008. 伞裙追寄蝇和双斑截尾寄蝇对草地螟的寄生特性. 昆虫学报, 51(10): 1089–1093.]

Li KB, Yin J, Hua HT, Lu DL, Cao YZ, 2006. Control efficacy test of 5 kinds of biopesticides on the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. larvae. 2006 Annual Conference of Chinese Plant Protection Society. Kunming: 490–493. [李克斌, 尹姣, 滑海涛, 鲁东林, 曹雅忠, 2006. 5 种生物农药对草地螟幼虫的防效试验. 中国植物保护学会 2006 学术年会. 昆明: 490–493.]

Liu J, Jiang YY, Zeng J, Chen Y, Wang CR, Zhang YH, Tao YL, 2019. Meadow moth *Loxostege sticticalis* occurred severely in partial area of northeast of China in 2018. *China Plant Protection*, 39(5): 36–41. [刘杰, 姜玉英, 曾娟, 陈阳, 王春荣, 张云慧, 陶元林, 2019. 2018 年我国东北局部草地螟重发. 中国植保导刊, 39(5): 36–41.]

Luo LZ, Cheng YX, Jiang XF, Zhang L, 2018. Hymenopteran parasitoids attacking the beet webworm, *Loxostege sticticalis* in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(3): 327–335. [罗礼智, 程云霞, 江幸福, 张蕾, 2018. 我国草地螟的寄生蜂及其与寄主的关系. 中国生物防治学报, 34(3): 327–335.]

Luo LZ, Cheng YX, Tang JH, Zhang L, Jiang XF, 2016. Temperature and relative humidity are the key factors population dynamics and outbreak of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 42(4): 1–8. [罗礼智, 程云霞, 唐继洪, 张蕾, 江幸福, 2016. 温湿度是影响草地螟发生为害规律的关键因子. 植物保护, 42(4): 1–8.]

Luo LZ, Huang SZ, Jiang XF, Zhang L, 2009a. Characteristics and

causes for the outbreaks of beet webworm , *Loxostege sticticalis* in northern China during 2008. *Plant Protection*, 35(1): 27–33. [罗礼智, 黄绍哲, 江幸福, 张蕾, 2009a. 我国 2008 年草地螟大发生特征及成因分析. 植物保护, 35(1): 27–33.]

Luo LZ, Jiang YY, Huang SZ, Yang BS, 2009b. The first generation of beet webworm *Loxostege sticticalis* will be seriously outbreak in Northern China in 2009. *Plant Protection*, 35(3): 96–101. [罗礼智, 姜玉英, 黄绍哲, 杨宝胜, 2009b. 2009 年 1 代草地螟将为我国发生最重的世代. 植物保护, 35(3): 96–101.]

Luo LZ, Li GB, 1992. Study of the flight ability and behavior of adults of different ages of moth age of beet webworm *Loxostege sticticalis*. National Symposium on Insect Ecology. Changsha: 303–308. [罗礼智, 李光博, 1992. 草地螟不同蛾龄成虫飞行能力和行为的研究. 全国昆虫生态学学术研讨会. 长沙: 303–308.]

Luo LZ, Li GB, 1993. The effective temperature accumulation of the meadow moth *Loxotego stictialis* L. and its division of generation zones. *Acta Entomologica Sinica*, 36(3): 332–339. [罗礼智, 李光博, 1993. 草地螟的有效积温及其世代区的划分. 昆虫学报, 36(3): 332–339.]

Luo LZ, Li GB, Cao YZ, 1996. The third rampant cycle of the meadow moth *Loxotego stictialis* L. has arrived. *Plant Protection*, 22(5): 50–51. [罗礼智, 李光博, 曹雅忠, 1996. 草地螟第 3 个猖獗为害周期已经来临. 植物保护, 22(5): 50–51.]

Luo LZ, Qu XF, 2005. Analysis of the hazard characteristics of beet webworm *Loxostege sticticalis* in 2004 and the trend of the generation of harm in 2005. *Plant Protection*, 31(3): 69–71. [罗礼智, 屈西锋, 2005. 我国草地螟 2004 年危害特点及 2005 年一代危害趋势分析. 植物保护, 31(3): 69–71.]

Lv XF, 2013. Effects of diapause duration on postdiapause reproduction and flight capacity in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae). Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [吕晓飞, 2013. 滞育持续期对草地螟成虫飞行和生殖能力的影响. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2020. Announcement No. 333 of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China: List of diseases and insect pests of class i[EB/OL]. [2022-04-24], http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202009/t20200917_6352227.htm. [农业农村部, 2020. 中华人民共和国农业农村部公告第 333 号: 一类农作物病虫害名录[EB/OL]. [2022-04-24], https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/17/content_5544165.htm.]

National Agricultural Technology Extension Service Center, Ministry of Agriculture, 2008. Rules for forecast technology of the meadow moth [*Loxostege sticticalis* (Linnaeus)] in agricultural areas. China, Industry Standard-Agriculture,NY/T 1675-2008. 2008-08-28. [全国农业技术推广服务中心, 2008. 农区草地螟预测预报技术规范. 中国, 行业标准, NY/T 1675-2008. 2008-08-28]

Qu XF, Shao ZR, 1999. Tentative analysis emergence amount of over-winter larve of meadow moth in agricultural and pastoral area of north China. *Plant Protection Technology and Extension*, 19(6): 5–7. [屈西峰, 邵振润, 1999. 对我国北方近几年草地螟越冬虫源的初步分析. 植保技术与推广, 19(6): 5–7.]

Song WY, Cheng YX, Luo LZ, Zhang L, Wu JX, Jiang XF, 2016. Effects of migration on reproduction and population outbreak in the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 42(2): 26–30. [宋文一, 程云霞, 罗礼智, 张蕾, 仵均祥, 江幸福, 2016. 迁飞对草地螟生殖行为及种群暴发的影响. 植物保护, 42(2): 26–30.]

Sun YJ, Gao YB, 2000. Radar monitoring and ground-based forecasting of airborne populations of *Mythimna separata* (Walker) and beet webworm, *Loxostege sticticalis* L. 2000 Annual Conference of the Entomological Society of China. Yichang: 474–477. [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. 宜昌: 474–477.]

Tang JH, 2011. Responses of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) to the climate warming in northern China. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [唐继洪, 2011. 我国草地螟对气候变暖的响应. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Tang JH, 2016. Responses and adaptation of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Carambidiae) to the variations in temperature and humidity. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [唐继洪, 2016. 草地螟对温湿度变异的适应与反应. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Tang JH, Cheng YX, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2016. Effects of age, temperature and relative humidity on free flight activity of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 42(2): 79–83. [唐继洪, 程云霞, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2016. 蛾龄、温度和相对湿度对草地螟自主飞行能力的影响. 植物保护, 42(2): 79–83.]

Tian XX, Luo LZ, Hu Y, Kang AG, 2010. *Trichogramma pintoi*, a new parasitoid of *Loxostege sticticalis* eggs found firstly in the field of Northern China. *Plant Protection*, 36(3): 152–154. [田晓霞, 罗礼智, 胡毅, 康爱国, 2010. 我国首次发现草地螟卵寄生蜂—暗黑赤眼蜂. 植物保护, 36(3): 152–154.]

Wang ED, Xu XN, Li KB, Li FM, Huang QL, Cao YZ, 2008. Effects of field the Beet Webworm, *Loxostege sticticalis* L. larvae on natural enemies of insects. 2008 Annual Conference of Chinese Plant Protection Society. Chongqing, China: 835–840. [王恩东, 徐学农, 李克斌, 李凤敏, 黄啟良, 曹雅忠, 2008. 田间草地螟幼虫药效试验对天敌昆虫的影响. 中国植物保护学会 2008 年学术年会. 中国重庆: 835–840.]

Wang QQ, Wang L, Li KB, Cao YZ, Yin J, Xiao C, 2015. Influences of different host plants on the nutrition and digestive enzymes of *Loxostege sticticalis*. *Plant Protection*, 41(4): 46–51. [王倩倩, 王蕾, 李克斌, 曹雅忠, 尹姣, 肖春, 2015. 不同寄主植物对草地螟的营养作用及消化酶的影响. 植物保护, 41(4): 46–51.]

Wang TS, Chen FJ, Zhang L, Jiang XF, 2021. Effects of flight at different ages on reproduction and longevity of *Spodopera frugiperda*. *Plant Protection*, 47(6): 115–120. [王天硕, 陈法军, 张蕾, 江幸福, 2021. 草地贪夜蛾不同日龄飞行对生殖及寿命的影响. 植物保护, 47(6): 115–120.]

Wei HS, Li KB, Zhang S, Cao YZ, Yin J, 2017. Identification of candidate chemosensory genes by transcriptome analysis in *Loxostege sticticalis* Linnaeus. *PLoS ONE*, 12(4): e0174036.

Wei Q, Zhao XL, Du JL, Cui WL, Sun MJ, 1987. Study on the relationship between adult fertility and temperature and humidity of the Beet Webworm, *Loxostege sticticalis*. *Pest and Disease Detection*, 1987(S1): 9–13. [魏倩, 赵晓丽, 杜俊岭, 崔万里, 孙明江, 1987. 草地螟成虫生殖力与温湿度关系的研究. 病虫测报, 1987(S1): 9–13.]

Wen M, Li ET, Chen Q, Kang H, Zhang S, Li KB, Wang YL, Yin J, Ren BZ, 2019. A herbivore-induced plant volatile of the host plant acts as a collective foraging signal to the larvae of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Physiology*, 118: 103941.

Xie DS, Luo LZ, Sappington TW, Jiang XF, Zhang L, 2012. Comparison of reproductive and flight capacity of *Loxostege sticticalis* developing from diapause and non-diapause larvae. *Environmental Entomology*, 41(5): 1199–1207.

Yang SQ, Ma GC, 1987. Discussion of the migration path of the beet webworm, *Loxostege sticticalis*. *Pest and Disease Detection*, 1987(S1): 122–128. [杨素钦, 马桂椿, 1987. 草地螟迁飞路径的探讨. 病虫测报, 1987(S1): 122–128.]

Yang ZL, 2013. Swarming advantage of *Loxostege Sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) on the growth, fecundity, migration and its physiological causes. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agticultural University. [杨志兰, 2013. 草地螟生长发育、繁殖及飞行的集群优势及其生理原因. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

Yang ZL, Cheng YX, Luo LZ, Sun HL, Zhang L, Lei CL, 2013. Effects of larval density on the number and composition of hemocytes in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(6): 630–637. [杨志兰, 程云霞, 罗礼智, 孔海龙, 张蕾, 雷朝亮, 2013. 幼虫密度对草地螟血细胞数量和组成的影响. 昆虫学报, 56(6): 630–637.]

Yin J, Cao Y, Li KB, Cao YZ, Zhang H, Zhang DD, 2005a. A study on the control effect of different agents on the meadow moth, *Loxostege sticticalis*. *China Plant Protection*, 25(9): 39–41. [尹姣, 曹煜, 李克斌, 曹雅忠, 张华, 张东东, 2005a. 不同药剂对草地螟控制效果的研究. 中国植保导刊, 25(9): 39–41.]

Yin J, Cao YZ, Luo LZ, Hu Y, 2004. Effects of host plants on the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. population growth. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(2): 173–178. [尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅, 2004. 寄主植物对草地螟种群增长的影响. 植物保护学报, 31(2): 173–178.]

Yin J, Cao YZ, Luo LZ, Hu Y, 2005b. Oviposition preference of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L., on different host plants and its chemical mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 25(8): 1844–1852. [尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅, 2005b. 草地螟对寄主植物的选择性及其化学生态机制. 生态学报, 25(8): 1844–1852.]

Yin J, Feng HL, Li KB, Cao YZ, 2012. Effects of host plants on the activities of some detoxification enzymes and protective enzymes in the meadow moth. *Plant Protection*, 38(1): 35–39. [尹姣, 冯红林, 李克斌, 曹雅忠, 2012. 寄主植物对草地螟中肠解毒酶及保护性酶活性的影响. 植物保护, 38(1): 35–39.]

Yin J, Feng HL, Sun HY, Xi JH, Cao YZ, Li KB, 2012. Functional analysis of general odorant binding protein 2 from the meadow moth *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *PLoS ONE*, 7(3): e33589.

Yin J, Luo LZ, Li KB, Cao YZ, Zhang H, Zhang DD, 2005c. Control effects of handing weeds on meadow moth in fields of corn and potato// Research on the Prevention and Control of Agricultural Biological Disasters. China Agricultural Science and Technology Press. 617–621. [尹姣, 罗礼智, 李克斌, 曹雅忠, 张华, 张东东, 2005c. 田间除草对草地螟控制效果的研究//农业生物灾害预防与控制研究. 中国农业科学技术出版社. 617–621.]

Yin J, Zhuang XJ, Wang QQ, Cao YZ, Zhang S, Xiao C, Li KB, 2015. Three amino acid residues of an odorant-binding protein are involved in binding odours in *Loxostege sticticalis* L. *Insect Molecular Biology*, 24(5): 528–538.

Zeng J, Jiang YY, Liu J, 2018. The regional pattern of *Loxostege sticticalis* L. varied during a new occurrence intermission in China. *Acta Ecologica Sinica*, 38(5): 1832–1840. [曾娟, 姜玉英,

刘杰, 2018. 我国草地螟发生间歇期的区域格局变化. 生态学报, 38(5): 1832–1840.]

Zhang JH, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2012. Changes in protein and nucleic acid contents in diapause larvae of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(2): 156–161. [张健华, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2012. 草地螟滞育幼虫的蛋白和核酸含量变化. 昆虫学报, 55(2): 156–161.]

Zhang JJ, Bai ZZ, Li YY, Yang MH, Zhao X, 2019. Analysis of volatile components from different parts of *Medicago satica*. *Grassland and Turf*, 39(6): 11–18. [张静静, 白泽珍, 李亚勇, 杨美红, 赵祥, 2019. 紫花苜蓿不同部位的挥发性成分分析. 草原与草坪, 39(6): 11–18.]

Zhang L, Jiang XF, 2022. Occurrence tendency and management strategies of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* in China. *Plant Protection*, 48(4): 68–72. [张蕾, 江幸福, 2022. 我国草地螟发生趋势与防控策略. 植物保护, 48(4): 68–72.]

Zhang L, Zhang YH, Zeng J, Jiang YY, Cheng DF, 2012. Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010. *Acta Ecologica Sinica*, 32(8): 2371–2380. [张丽, 张云慧, 曾娟, 姜玉英, 程登发, 2012. 2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析. 生态学报, 32(8): 2371–2380.]

Zhang LP, Zhang Z, Ji R, Jiang YY, Zhang YH, Feng HQ, Yang JG, Xie AT, Zhou CJ, 2018. New technological developments in the development of entomological radar. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(2): 153–159. [张鹿平, 张智, 季荣, 姜玉英, 张云慧, 封洪强, 杨建国, 谢爱婷, 周春江, 2018. 昆虫雷达建制技术的发展方向. 应用昆虫学报, 55(2): 153–159.]

Zhang SK, Liu MF, Li QR, Li JQ, 1987. Research on the occurrence law, prediction and forecast of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* in Shanxi Province and its comprehensive management. *Pest and Disease Detection*, 1987(S1): 82–97. [张树坤, 刘梅凤, 李齐仁, 李吉庆, 1987. 山西省草地螟发生规律、预测预报及其综合治理的研究. 病虫测报, 1987(S1): 82–97.]

Zhang TQ, Cheng YX, Zhang L, Luo LZ, Zhang BQ, Jiang XF, 2020. Population dynamics of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Crambidae) on different host plants by using age-stage two-sex life table. *Plant Protection*, 46(1): 101–107. [张同强, 程云霞, 张蕾, 罗礼智, 张宝琴, 江幸福, 2020. 用年龄-阶段两性种群生命表研究不同寄主上草地螟种群动态的差异. 植物保护, 46(1): 101–107.]

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 Entomological Sinica*, 51(7): 720–727. [张云慧, 陈林, 程登发, 姜玉英, 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, 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 Protection*, 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 YJ, Jiang YY, Jiang XF, 2008. Advances on the key control techniques of *Loxostege sticticalis* in China. *China Plant Protection*, 28(5): 15–19. [张跃进, 姜玉英, 江幸福, 2008. 我国草地螟关键控制技术研究进展. 中国植保导刊, 28(5): 15–19.]

Zhang YJ, Jiang YY, Yang BS, Wang HJ, Ma CJ, Chen JG, 2009. Research, demonstration and promotion of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* monitoring technology. *China Plant Protection*, 29(1): 36–38. [张跃进, 姜玉英, 杨宝胜, 王贺军, 马苍江, 陈继光, 2009. 草地螟监控技术研究与示范推广. 中国植保导刊, 29(1): 36–38.]