

近百年以来欧亚大陆草地螟发生的时空动态*

陈晓^{1,2,3**} 郝丽萍⁴ 姜玉英⁵ 翟保平^{6***}

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆特殊环境物种多样性应用与调控重点实验室, 乌鲁木齐 830054;
3. 中亚区域有害生物联合控制国际研究中心, 乌鲁木齐 830054; 4. 山西省植保总站, 太原 030001;
5. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 6. 南京农业大学植物保护学院昆虫系, 南京 210095)

摘要 【目的】草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 是一种世界性害虫, 主要分布在北温带 36°N–55°N 范围内。明确草地螟在整个欧亚大陆的发生动态, 对于阐明其灾变机理具有重要意义。【方法】通过查阅有关中国、俄罗斯草地螟的文献资料, 分析 1900 年以来欧亚大陆草地螟的发生情况。【结果】从 20 世纪 20 年代中期至今, 草地螟在欧亚大陆先后于 1925–1936 年、1948–1960 年、1969–1989 年和 1995–2014 年出现了 4 个大的群发期。在 1925–1936 年、1969–1989 年和 1995–2014 年 3 个群发期内, 存在着草地螟重发生区沿着欧亚大草原东西向蔓延的现象。在 1948–1960 年这个群发期, 草地螟主要发生范围局限在东北亚地区。此外, 草地螟种群在不同区域内呈现出不同的暴发周期。在俄罗斯欧洲部分, 草地螟的暴发周期为 10 年左右, 但在 1937–1968 年间出现了长达 30 余年的间歇期。在我国东北及华北地区, 草地螟的暴发周期为 20 年左右。在俄罗斯西伯利亚, 由于其位于欧亚大陆两个主要的发生基地之间, 无论草地螟重发生区自西向东还是自东向西传播, 都会在当地造成危害, 因此发生也更频繁。【结论】草地螟在欧亚大陆的猖獗为害具有群发性, 重发生区会沿着欧亚大草原东、西向蔓延。草地螟在一个地区内的间歇性猖獗不仅与当地的环境因素有关, 还可能受到草地螟重发生区在大陆尺度上转移的影响。

关键词 草地螟; 种群动态; 间歇性猖獗

Spatio-temporal dynamics of meadow moth outbreaks in Eurasia over the past 100 years

CHEN Xiao^{1,2,3**} HAO Li-Ping⁴ JIANG Yu-Ying⁵ ZHAI Bao-Ping^{6***}

(1. College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Key Laboratory of Special Environment Biodiversity Application and Regulation in Xinjiang, Urumqi 830054, China; 3. International Research Center for the Collaborative Containment of Cross Border Pests in Central Asia, Urumqi 830054, China; 4. Plant Protection Station of Shanxi Province, Taiyuan 030001, China; 5. National Agro-Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 6. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract 【Objectives】The meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. is a cosmopolitan pest inhabiting in the temperate zone between 36°N and 55°N. Clarifying the spatiotemporal dynamics of the meadow moth population in the whole of Eurasia is important to understand the outbreak mechanism of this species. 【Methods】Meadow moth infestations since 1900 were summarized by searching older Russian and Chinese literature and historical records. 【Results】There have been four periods with large outbreaks of meadow moths in Eurasia since the mid-1920 s; 1925–1936, 1948–1960, 1969–1989 and 1995–2014. In three of these, meadow moths spread eastward, or westward, along the Eurasian Steppe, except for 1948–1960 when outbreaks were mainly limited to Northeast Asia. In addition, the meadow moth population had different outbreak cycles in different regions. In the European part of Russia, meadow moths have a cycle of about 10 years, except for an interval of more than 30

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31760512); 新疆特殊环境物种多样性应用与调控重点实验室招标课题 (XJTSWZ-2018-03)

**第一作者 First author, E-mail: pqman3@163.com

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

收稿日期 Received: 2021-07-27; 接受日期 Accepted: 2021-12-09

years from 1937 to 1968. In Northeast and North China, outbreaks have occurred about once every 20-years. Meadow moth outbreaks have been more frequent in Siberia, probably because this is located between the two main Eurasian breeding areas. Outbreaks have occurred irrespective of whether the meadow moth infestation spreads from west to east or from east to west.

[Conclusion] Plague-like outbreaks of the meadow moth have periodically occurred in Eurasia causing severe damage that has spread eastward or westward along the Eurasian Steppe. This suggests that outbreaks of the meadow moth in a specific region may be related not only to local environment factors, but also to their spreads in the continental scale.

Key words *Loxostege sticticalis*; population dynamic; intermittent outbreak

草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 是北温带干旱少雨地区的一种暴发性害虫 (全国草地螟协作组, 1987), 主要分布在北纬 36°N-55°N 之间的 20 余个国家或地区, 以欧亚大陆受害最重 (罗礼智等, 2016)。在我国主要在华北、东北和西北为害 (曹卫菊等, 2006)。草地螟成虫具有远距离迁飞习性, 幼虫暴食性强, 能为害 200 余种植物, 是我国北方农牧业重要害虫之一, 在大发生年会给农牧业生产造成巨大损失 (全国草地螟科研协作组, 1987)。草地螟具有间歇性猖獗的特点, 建国以来已经出现 3 个暴发周期 (罗礼智等, 1996; 屈西峰等, 1999; 黄绍哲等, 2008)。2018 以来北方各省草地螟种群再次回升, 第 4 个周期可能已经形成 (江幸福等, 2019; 刘杰等, 2019)。

草地螟种群动态往往呈现出年际间和世代间异常波动的特征, 尤其是种群暴发和崩溃事件极具突发性。例如, 2004 年我国草地螟一代幼虫特大暴发, 然而秋季越冬基数却很低, 致使 2005 年的发生程度跌至谷底; 2008 年一代幼虫危害较轻, 一代成虫种群却铺天盖地地出现, 形成历史上最严重的 2 代幼虫危害, 发生面积达到 1 106.7 万 hm^2 , 横跨东西 7 个省 (罗礼智等, 2009; Chen *et al.*, 2016), 当年秋季越冬基数也创历史最高纪录 (姜玉英等, 2009)。

迁飞是草地螟成虫的主要生理行为特征, 也被认为是其监测、预报困难的主要原因 (曹卫菊等, 2006)。由于成虫具有远距离迁飞习性, 国内各发生区域之间的虫源交流非常频繁, 各地草地螟的发生往往都是本地虫源和异地虫源交互出现, 从而导致局地上年越冬基数与越冬代成虫种群量之间的相关性不显著 (屈西峰和邵振润, 1999; 康爱国等, 2004)。同时, 与我国三北地

区相邻的俄罗斯、蒙古及哈萨克斯坦均是草地螟的主要发生危害区 (Shek and Telepa, 1981; Matov and Chimidtseren, 1984; Frolov, 2012, 2015), 境外虫源对我国草地螟种群动态也有着极为重要影响, 越冬代成虫和一代成虫均可能大规模迁入我国 (陈晓等, 2008; 张云慧等, 2008; 罗礼智等, 2009; 刘杰等, 2019)。

草地螟在不同国家、地区都有间歇性猖獗的记载。我国东北、华北地区草地螟的发生与蒙古国、俄罗斯东西伯利亚地区、远东地区存在高度同步性, 但与俄罗斯欧洲部分及中亚地区在时间上有明显差异 (黄绍哲, 2010; Frolov, 2015)。既然草地螟远距离迁飞会导致局地种群数量的世代间或年际间异常波动, 那么从更大的时空尺度上来说, 草地螟在欧亚大陆不同地区的间歇性猖獗是否也与其跨国的远距离迁移有关? 从文献报道中, 能够找到个别案例。例如, 1983 年 6 月, 东北亚地区严重低温多雨导致我国东北地区草地螟种群崩溃 (陈晓等, 2016), 而俄罗斯东西伯利亚草地螟种群则大规模向西西伯利亚迁飞 (Knorr, 1986), 导致西西伯利亚 1983 年草地螟严重发生, 开启了当地新一轮暴发周期。1984 年草地螟重发生区继续向西扩展到乌拉尔地区, 而东西伯利亚草地螟种群则进入萧条阶段 (Knorr, 1990)。那么, 这次草地螟重发生区沿着欧亚大草原蔓延是一个偶然的特例, 还是一个在每个发生周期中都会出现的现象? 欧亚大陆北部不同地区内草地螟间歇性猖獗是各自独立起源的, 亦或是异地种群迁入的结果? 如果我们把视野扩大到整个欧亚大陆, 在宏观尺度上审视草地螟消长动态, 可能会对其时空演变规律有一个更深刻和全面的认识。

为此, 本文通过查阅大量的国内外的文献资

料, 搜集及整理草地螟发生记录, 探索了近百年来欧亚大陆草地螟种群暴发的时空动态。明确草地螟发生动态是揭示草地螟间歇性猖獗机制的基础性工作, 对提高草地螟种群中长期预测水平和保障农牧业生产安全具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 资料来源

为了掌握草地螟在历史上的发生动态, 本文收集了大量国内外相关的文献和报导。俄文资料包括 1930 年以来俄文论文和通报, 2011 年以来全俄植保所年度总结报告, 以及近年来的网络上的俄文新闻报道。中文资料包括我国的草地螟论文、各地病虫害情报、年度病虫害发生总结报告及草地螟研讨会材料。英文资料包括英文论文、应用昆虫学年评 (RAE) 和 CAB 摘要。从各类文献中, 摘录有关草地螟发生时间、地点、幼虫密度或发生程度的描述。

1.2 草地螟历史发生记录的整合与显示

有关草地螟的最早信息可追溯到 1761 年, 林奈首次描述了该物种。俄罗斯 (俄罗斯帝国、前苏联、俄罗斯联邦) 有超过 200 年的草地螟研究历史, 关于草地螟大量繁殖的记录最早可追溯到德国博物学家 Pallas 在 1773 年发表的, 关于其在 1769 年观测到成虫大量出现的简讯 (Akhanaev, 2014)。1900 年以后, 文献中有关草地螟发生为害的记载开始逐渐丰富。为此, 本文对草地螟历史发生记录整合的起止年限为 1900-2019 年。

1.2.1 欧亚大陆草地螟发生区划分 本文将欧亚大陆草地螟主要发生区划分为 10 个区域 (图 1), 并按照不同地区, 对草地螟历史发生记录进行归纳整理, 以便于年际间的比较。俄罗斯境内的发生区域基本是按照俄罗斯联邦管区的范围来划分, 同时合并了周边国家相邻的区域。2018 年年底, 俄罗斯政府将东西伯利亚的布里亚特和赤塔地区被划归远东联邦管区。本文为方便起

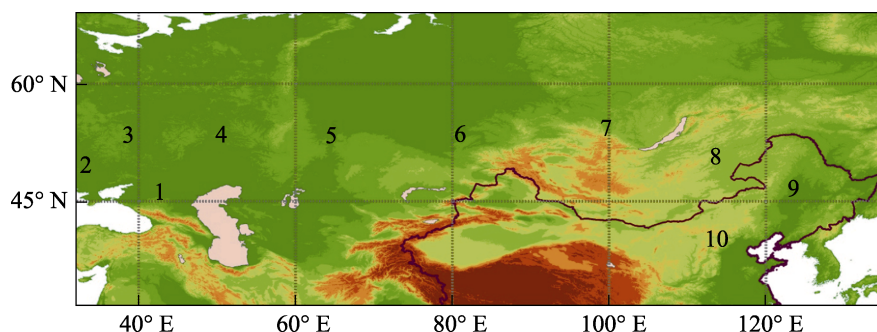


图 1 欧亚大陆北部草地螟的主要发生区域

Fig. 1 Main occurrence areas of meadow moth in northern Eurasia

粗实线为中国国境线, 采用全国 1 : 1 000 000 基础地理数据绘制, 数据下载自全国地理信息资源目录服务系统 (<https://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W>)。彩色阴影为地形, 采用 GTOPO30 全球数字高程模型数据集绘制, 分辨率为 30 弧度秒 (即 0.008 333 33°), 下载自 <ftp://edcftp.cr.usgs.gov/data/gtopo30/global/>。1: 俄罗斯南部联邦管区和北高加索联邦管区; 2: 乌克兰东部; 3: 俄罗斯中部联邦管区; 4: 俄罗斯伏尔加联邦管区和西哈萨克斯坦; 5: 俄罗斯乌拉尔联邦管区和北哈萨克斯坦; 6: 俄罗斯西西伯利亚和东哈萨克斯坦; 7: 俄罗斯东西伯利亚西部和蒙古国北部; 8: 俄罗斯东西伯利亚东部和蒙古国东部; 9: 中国东北和俄罗斯远东管区; 10: 中国华北。

Thick solid line is country boundary of China, extracted from 1 : 1 000 000 national fundamental geographic information database of China. The data was downloaded from National Catalogue Service For Geographic Information (<https://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W>). Colorful shadows indicate terrain, extracted from GTOPO30 which is a global digital elevation model with a horizontal grid spacing of 30-arc seconds (0.008 333 33°). The data was downloaded from <ftp://edcftp.cr.usgs.gov/data/gtopo30/global/>. 1: Southern Federal District, North Caucasus Federal District of Russia; 2: East Ukraine; 3: Central Federal District of Russia; 4: Volga Federal District of Russia/West Kazakhstan; 5: Ural Federal District of Russia/North Kazakhstan; 6: West Siberia and East Kazakhstan; 7: West part of East Siberia / North Mongolia; 8: East part of East Siberia/East Mongolia; 9: Northeast China / Far-east Federal District of Russia; 10: North China.

见,仍将其归属于东西伯利亚地区,并将东西伯利亚地区,以贝加尔湖为界,划分为东、西两部分。在图 1 中所标注的 10 个区域中,区域 1 和区域 10,分别位于欧亚大草原东西两侧,是草地螟在欧亚大陆范围内的两个最主要的“发生基地”。一个位于前苏联欧洲部分的东南部,包括北高加索和伏尔加河下游 (Polyakov *et al.*, 1989),另一个位于我国华北北部,包括山西北部、内蒙古乌兰察布市和河北张家口坝上地区部分县 (全国草地螟科研协作组, 1987)。在这 10 个主要发生区域之外,草地螟于个别年份中,在罗马尼亚、保加利亚、匈牙利、波兰、南斯拉夫和意大利等中东欧各国也造成过危害,在日本、朝鲜及印度 (西北部) 等国亦偶有报道。鉴于上述地区不是草地螟常发区,本文未对这些地区的历史发生记录进行整合。

1.2.2 历史发生记录整合 首先,对收集到的 1900-2019 年各地的历史发生记录,按照草地螟的主要发生区域进行了分类汇总。然后,根据历史文献中对草地螟发生程度、分布范围和虫口密度的描述,确定各区域内当年的草地螟发生程度等级。发生程度划分为 6 个级别,分别为轻发生、中等偏轻发生、中等发生、中等偏重发生、大发生和特大暴发。最后,在一个横轴为发生区域,纵轴为发生年份的图上,将草地螟发生程度用不同深浅的颜色进行展示。

2 结果与分析

近百年来草地螟在欧亚大陆各地猖獗危害的时空动态如图 2 所示。在 20 世纪 20 年代末之前,我国没有草地螟的记载,俄罗斯和前苏联有关草地螟发生的记载也较为粗略。但根据现有的资料,仍能看出一个大致的发生概况。1900-1902 年及 1912-1913 年草地螟在俄罗斯欧洲部分及西伯利亚地区大发生 (Konakov, 1930; Zverezome-Zubovskii, 1931; Бережков, 1936; Stankevych *et al.*, 2019)。1916-1921 年草地螟出现持续猖獗危害 (Konakov, 1930),但这一时期草地螟严重发生区似乎局限在欧洲部分,西伯利亚仅在 1921-1923 年出现中等程度的发生 (Knorr *et al.*,

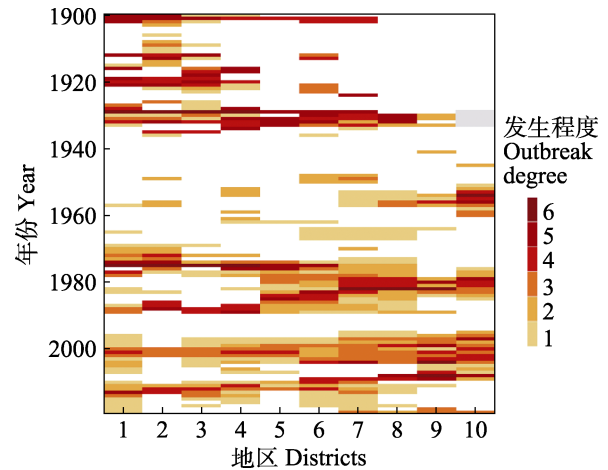


图 2 欧亚大陆北部近百年来草地螟发生动态
Fig. 2 Occurrence dynamic of meadow moth over northern Eurasia in the past 100 years

彩色阴影指示不同的发生程度,灰色阴影指示 20 世纪 20 年代末 30 年代初草地螟在中国华北的发生危害。横坐标数值所指示的草地螟在欧亚大陆主要的发生区域,详见图 1。

Colorful shadows indicate different outbreak degree. Grey shadow indicates the infestation of meadow moth occurred in north China from the end of 1920s to the beginning of 1930s. Numbers under X-axis indicate main occurrence areas of meadow moth in northern Eurasia. For details, see Fig. 1.

1981)。从 20 世纪 20 年代中期至今,欧亚大陆草地螟种群先后经历了四个大的群发期。

2.1 20 世纪草地螟第一群发期 (1926-1935 年)

在第一群发期开始后的几年中,欧亚大陆草地螟的暴发呈现出明显的自西向东的扩展。

1926 年草地螟种群首先在乌克兰出现回升。1928 年,种群规模急剧上升,北高加索、伏尔加下游和中央黑土区南部等地都出现高密度种群 (Konakov, 1930; Zverezome-Zubovskii, 1931; Пятницкий, 1936)。1929 年前苏联出现了极为罕见的大暴发,草地螟在从黑海、里海、明斯克、斯摩棱斯克到西伯利亚大草原和森林草原区的广泛区域内发生 (Yaroslavtzev and Molchanova, 1932)。有苏联学者估算,1929 年 5 月仅在乌克兰的哈尔科夫一个市,就飞过 5 吨以上草地螟成虫 (Znamensky, 1932)。乌克兰制糖类甜菜由于受到草地螟的损害,减产 179 000 吨糖,总价值相当于一座第聂伯河水电站 (Omelyuta, 1987)。

同时,草地螟还波及到东欧各国,波兰、罗马尼亚、保加利亚和南斯拉夫等国农作物遭受了严重的损失,许多地块绝产^①。1930 年草地螟发生区向东进一步扩展到贝加尔湖以东地区(Fedorova and Kachaeva, 1937),而在欧洲和中亚地区则普遍出现回落。

1931 年再次在前苏联不同地区出现了大发生(Yaroslavtzev and Molchanova, 1932)。1932 年,乌克兰有 255 000 hm² 的甜菜苗绝产,哈萨克斯坦草地螟的数量也迅速增长,虫茧数量高达 300-400 个/m²(Филатова, 1935)。1933 年哈萨克斯坦北部地区草地螟大量繁殖,布拉耶沃区幼虫密度之大,甚至都影响到了火车运行,人们在火车头前挡板上挂上扫帚,以清扫铁轨上的幼虫(Филатова, 1935)。东西伯利亚 1932-1935 年草地螟种群数量出现了大的增长(Shurovenkov and Alekhin, 1984)。1936 年以后,前苏联各地草地螟种群都进入了长期的萧条状态,仅在北高加索和苏联欧洲部分的东南部,以及西西伯利亚个别地块造成一定危害(Petrukha and Tribel', 1974)。

我国在 20 年代末 30 年代年代初,草地螟曾在山西和黑龙江等地发生危害(山西省草地螟科研协作组, 1987^②),但现在已经无法查到详细的记载。

2.2 草地螟第二群发期(1948-1960 年)

在第二群发期中,草地螟主要为害区域是在东北亚。在多数年份中,猖獗区域局限东亚荒漠带以南的地区,即我国华北北部。

东西伯利亚在 1948-1950 年出现草地螟短暂的暴发(Shurovenkov and Alekhin, 1984)。50 年代期间发生较轻,幼虫仅在 1957-1958 年在贝加尔湖沿岸地区造成危害(Knorr *et al.*, 1981)。

我国华北地区从 1951 年开始,草地螟发生面积逐年扩大,而后几乎连年发生。1953 年是建国后第一个大发生年份。1954 年为特大发生年份,发生区域向南扩展到晋中盆地;向西扩展

到内蒙古巴彦淖尔盟(巴彦淖尔市)、鄂尔多斯,青海民和县;向北扩展赤峰市及吉林中部。草地螟幼虫危害极为严重,内蒙古乌兰察布盟(乌兰察布市)察右前旗甚至有草地螟幼虫高密度种群迁移为害时穿越铁轨,以致火车停运几个小时的记载(胡伯海等, 2003)。最后一次局部为害出现在 1960 年赤峰市。在这个暴发周期中,我国东北地区草地螟发生频率很低,发生面积小,仅在 1956 年局部地区危害较为严重。

在此期间,欧洲和中亚草地螟种群处于长期的萧条状态。欧洲仅在 1957 年和 1965 年在北高加索有草地螟轻微危害的报道(Tril' and Baikov, 1976)。哈萨克斯坦在 1951-1962 年出现过成虫,但幼虫没有造成危害(Shek and Telepa, 1981)。

2.3 草地螟第三群发期(1969-1989 年)

在第三群发期中,草地螟种群最先在欧洲开始回升,而后草地螟主要发生区出现了两次沿着欧亚大草原蔓延的过程。

1969 年草地螟在欧洲开始回升,而后逐渐蔓延到亚洲。

前苏联欧洲部分在 1935 年大发生以后,草地螟种群出现了长达 35 年的萧条,直到 1969 年种群数量才开始回升。1969 年首先在北高加索发现草地螟种群数量增加,而后扩展到乌克兰的东南部和中央黑土区,此后每年防治草地螟的范围都在增加,1974 年形势恶化,防治面积超过 150 万 hm²(Orishchenko, 1976)。1975 年草地螟在前苏联出现了罕见的大暴发,发生区从摩尔达维亚到东西伯利亚赤塔州的西部,覆盖了前苏联大部分地区(Orishchenko, 1976; Polyakov *et al.*, 1977),同时草地螟对保加利亚、匈牙利和罗马尼亚等国的农作物也造成了严重威胁(Petrukha and Tribel', 1975; Tribel' and Ponomarenko, 1976)。从 1978 年开始,欧洲区域的草地螟种群逐渐回落(Tribel' and Kolmaz, 1981)。

西西伯利亚 1974-1975 年草地螟严重暴发,1976 年危害面积急剧减少。1977 年暴发已经完全回落(Knorr and Tibatina, 1978)。

哈萨克斯坦在 1974 年部分地区种群开始回

① 黑龙江省植保植检站, 1981, 《草地螟资料》(油印本)

② 顾成玉, 1980. 草地螟发生危害及其防治. 见: 嫩江地区植保植检站汇编的《嫩江地区草地螟的发生及防治》: 36-39. (油印本)

升,1975-1976 年发生面积增长到 300-400 万 hm^2 , 1977-1980 年由于干旱,种群数量急剧回落(Shek and Telepa, 1981)。

东西伯利亚 1973-1976 年种群数量逐年上升(Bykova and Novozhilov, 1985), 我国华北草地螟种群则是在 1976 年开始回升, 1979 年大发生。而后草地螟在东北亚地区几乎连年暴发, 1982 年达到顶峰。1982 年是我国乃至整个东北亚地区历史上草地螟暴发最严重的年份, 草地螟在我国华北地区为中等发生, 东北地区为特大暴发, 在蒙古国中北部、俄罗斯东西伯利亚及远东地区均有严重危害的报道(Shurovenkov and Alekhin, 1984; Matov and Chimidtseren, 1984; 全国草地螟科研协作组, 1987; Makarova and Doronina, 1994^{①②})。1983 年春, 受恶劣的低温多雨天气影响, 前苏联东西伯利亚及我国东北草地螟种群急剧回落(Poplavskii, 1984; Shurovenkov and Alekhin, 1984; 顾成玉等, 1987; 吉林省草地螟科研协作组, 1987; 魏倩等, 1987), 部分蛾群从东西伯利亚向西西伯利亚迁飞(Knorr, 1986; Naumova *et al.*, 1994)。此后我国和东西伯利亚草地螟种群迅速进入萧条阶段。

1982-1989 年草地螟发生区逐渐由亚洲到欧洲推进。1982 年重发区位于东西伯利亚、远东和中国北方; 1983 年重发区向西转移至西西伯利亚和东西伯利亚西部(Knorr, 1986, 1990); 1984 年扩展到乌拉尔; 1985 年俄罗斯欧洲区域草地螟在沉寂 8 年之后, 种群数量开始增长(Polyakov *et al.*, 1989); 1986 年北高加索、中央黑土区、伏尔加流域以及西西伯利亚的种群数量急剧扩大, 防治面积达到 400 万 hm^2 ; 1988-1989 年发生规模达到顶峰, 防治面积分别达到 570 万 hm^2 和 490 万 hm^2 (Alekhin, 2002)。

2.4 草地螟第四群发期(1995-2014 年)

在第四群发期中, 草地螟种群最先于 1995 年在华北北部开始回升, 欧洲种群回升略晚一些, 且发生程度明显轻于亚洲。

俄罗斯全境在 1989 年的越冬基数很低, 草地螟种群从 1990 年开始进入萧条阶段, 1996 年防治面积达到了最低水平(Alekhin, 2002)。然而, 在 1995 年我国华北草地螟种群出现明显回升, 进入一个新的暴发周期。1997 年我国华北草地螟大发生(王睿文等, 1998; 贾淑英等, 2000), 俄罗斯东西伯利亚也出现大量成虫(Smirnova, 2000)。而后, 草地螟在东北亚几乎连年猖獗, 尤其是 2004 年我国东北平原地区草地螟一代幼虫特大暴发(罗礼智和屈西峰, 2005; 王春荣等, 2005), 2008 年东北亚地区草地螟 1 代成虫、2 代幼虫出现了历史上最严重的暴发(Bukhanistaya and Pozdysheva, 2009; Domchuk and Polozhieva, 2009; 罗礼智等, 2009; Tayurskaya and Dashevskii, 2009), 甚至波及到了日本北海道地区(Miyake *et al.*, 2009)。

在此期间, 俄罗斯欧洲部分草地螟种群数量仅在 2000-2001 年出现了大幅上升, 而后在 2002-2003 年又出现明显的衰退(Frolov, 2004)。随后几年欧洲的发生程度明显轻于亚洲。

2009 年 6 月, 受极端低温多雨天气影响, 我国东北及俄罗斯远东地区、东西伯利亚东部草地螟的发生普遍受到抑制(陈晓等, 2016), 此后迅速进入萧条阶段。与此同时, 草地螟从东西伯利亚大量迁飞至西西伯利亚, 致使当地种群数量急剧上升, 开始了新一轮暴发(Knorr *et al.*, 2011)。2010 年草地螟继续向西迁移(Frolov, 2012), 在东哈萨克斯坦造成严重危害(网络新闻)。2011 年重发区进一步向西扩展到伏尔加河沿岸联邦区, 而此时在东北亚地区已经基本销声匿迹。2012 年草地螟大量繁殖区推进到中央联邦区和乌克兰, 2013 年在南部联邦区和北高加索联邦区大发生(Akhanaev, 2014)。

3 结论与讨论

通过查阅大量的国内外文献, 探索了欧亚大陆近百年来草地螟发生的时空动态。由于早期草地螟文献报导相对较少而且较难获取, 尤其对于 20 世纪 30 年代之前的发生情况, 目前搜集到的记录较为零散, 致使本研究对草地螟种群动态的

① 黑龙江省植保植检站, 1982.《草地螟资料选编》(油印本)

② 河北省农作物病虫害测报站, 1984.《河北省 1979-1983 年草地螟工作小结》(油印本)

刻画非常粗略。另外,文献中关于草地螟发生程度描述,在不同地区、不同年代间所采用的标准也不尽一致,这也在一定程度上影响着所整合资料的精确性。尽管如此,本研究仍然能揭示草地螟种群在宏观尺度上的一些演变规律。

3.1 草地螟的暴发存在着沿欧亚大草原东西向蔓延的现象

从 20 世纪 20 年代至今,欧亚大陆草地螟的发生可以划分为四个大的群发期,分别为 1926-1935 年、1948-1960 年、1970-1989 年和 1995-2014 年。在同一个群发期内,各地的发生不是彼此孤立的,而是像链条一样连接在一起。在这四个群发期中,除了第二群发期(1948-1960 年)主要局限在东北亚以外,草地螟发生范围都波及到整个欧亚大草原,出现过沿着欧亚大草原东西向蔓延的现象。在第一个群发期中,草地螟重发区在 1928-1930 年期间,从欧洲向亚洲逐步推进;在 1933-1935 年期间,从乌拉尔向乌克兰转移。在第三群发期中,草地螟重发区在 1975-1979 年期间,从欧洲向亚洲逐步推进;在 1983-1986 年期间,亚洲向欧洲转移。在第四群发期中,草地螟重发区在 2009-2013 年期间,从亚洲转移到欧洲。

草地螟重发生区的转移可能与天气条件、气候条件的变化有关。比如 1978 年以后,前苏联欧洲部分频繁出现恶劣天气,促使欧洲草地螟种群进入萧条阶段,而亚洲种群却呈现上升态势,致使重发区向亚洲转移;1983 年、2009 年东北亚地区低温多雨促使成虫大规模向西西伯利亚远距离迁飞,导致东北亚地区草地螟种群回落、西西伯利亚草地螟种群上升,而后重发区又继续向欧洲转移。

Frolov (2015) 将中、俄草地螟发生在时间上存在差异的原因,归结为在草地螟发生区域内存在两个种群系统,一个位于俄罗斯、乌克兰和哈萨克斯坦,另一个位于中国和蒙古国。这个结论可能不是很确切。草地螟发生区域辽阔,将其发生情况仅按两个区域来归纳,似乎过于粗略,很多空间上变化的信息会被掩盖。本文将欧亚大陆草地螟主要发生区划分为 10 个区域,从结果

中可以清楚地看到,草地螟在不同区域内的发生存在时空上相互衔接的特征。

周期性种群波动穿越较大地理区域,进而形成行波(Travelling wave)的现象,已在很多物种类群中被发现。然而,目前涉及昆虫类群行波报道还很少。Bjørnstad 等(2002)研究表明,红杉小卷蛾 *Zeiraphera diniana* Gn. 的暴发以每年 220 km 的速度横跨阿尔卑斯山脉。Tenow 等(2012)分析了 60 年的欧洲冬尺蛾 *Operophtera brumata* L. 为害记录,认为其种群暴发每隔 10 年左右横跨一次欧洲大陆,沿着 ESE-WNW 方向,从东欧传播到西欧大西洋沿岸。本研究所揭示的草地螟重发生区的转移,出现在东欧和东北亚之间,其空间距离远远大于目前已知的其它周期性暴发昆虫种群的行波现象。

3.2 草地螟沿欧亚大草原东西向蔓延的现象与局地间歇性猖獗的联系

草地螟沿欧亚大草原东西向蔓延的现象可以解释部分地区草地螟种群暴发的原因。例如,新疆北疆地区草地螟在 2005-2016 年持续危害,危害顶峰出现在 2010-2013 年。2010 年 7 月有境外一代成虫大量迁入阿勒泰(王晗等, 2011),导致新疆北疆地区首次出现当地越冬。结合本文分析可见,2010 年新疆北疆草地螟种群的上升并不是一个孤立的现象,而是在草地螟沿着欧亚大草原从亚洲向欧洲方向蔓延的背景下出现的,2010 年草地螟重发生区恰好是转移到了西西伯利亚地区。

然而,对于草地螟主要发生基地内的种群回升来说,其影响因素可能比较复杂。例如,建国后草地螟第二个发生周期是在 1976-1977 年开始回升。考察气候因素可见,在 70 年代中期,华北北部夏季降水处于偏多时期,这似乎能够解释发生基地内草地螟种群数量回升的原因。然而,也恰恰是在这一时期,草地螟重发生区沿着欧亚大草原,从前苏联欧洲部分转移到了东西伯利亚。从图 2 可见,我国华北、东北地区及俄罗斯东西伯利亚 1978-1983 年的暴发构成了欧亚大陆草地螟第三群发期中的一个环节。由此看来,草

地螟从欧洲向亚洲的蔓延似乎也对东北亚地区草地螟种群回升产生重要影响。那么,异地种群迁入和当地气候条件改善,这两个因素中究竟哪个对种群的回升起到主导作用,现在还不清楚,需要将来进行深入研究。

3.3 不同区域内的草地螟种群具有不同的暴发周期

从近百年来欧亚大陆草地螟发生动态中,我们可以看到草地螟间歇性猖獗的频率在不同区域内存在明显的差异(图2)。

在俄罗斯欧洲部分,草地螟的发生周期为10年左右,但呈现明显的年代际变化。从19世纪末到20世纪30年代,平均10年左右会出现一次暴发,为害的最高峰年份出现在1901年、1912年、1921年和1929年。然而1936年开始出现了长达35年的间歇期。从70年代以后,又呈现出10年左右的暴发周期,为害的最高峰年份分别出现在1975年、1988年、2001年及2013年。关于草地螟周期性暴发原因,最流行的一个理论是太阳黑子影响学说。早在20世纪30年代,俄罗斯学者就将草地螟发生与太阳黑子活动11年周期联系起来。Konakov(1930)汇总了中央黑土区1854-1915年草地螟的发生情况,结果发现草地螟大量繁殖5次,均出现在太阳黑子数值最低的年份或者之前的一年。Knorr等(1981)认为,1885-1980年西伯利亚草地螟发生周期与太阳黑子存在密切的关系。Frolov(2015)计算了俄罗斯联邦1965-2013年草地螟化学防治面积与太阳黑子的相关系数,结果表明,两者之间存在滞后2-3年的极显著正相关。

而在我国,草地螟的间歇性猖獗却呈现着大约20年左右的周期,与俄罗斯欧洲部分截然不同,这是一个非常有趣的现象。近百年来,我国先后在20年代末30年代初、50年代、70年代末至80年代前期和1995-2009年出现了4个发生周期。为此,黄绍哲等(2008)将我国草地螟的周期性暴发与太阳黑子22年磁周期联系起来。2018年我国草地螟种群再次开始回升(江幸福等,2019;刘杰等,2019)。可见,截至目前,

这个20年左右的发生周期仍在完美地延续着。

俄罗斯西伯利亚地区处于欧亚两个主要的草地螟发生基地之间,当草地螟沿着欧亚大草原蔓延时,无论自东向西,还是自西向东,都会途径西伯利亚。因此西伯利亚草地螟的发生相对更频繁一些。

太阳活动可能对草地螟的发生确实有一定的影响,但其作用机理还不清楚。太阳活动可能通过影响紫外线辐射的强度,对草地螟种群产生直接影响;也可能通过影响草地螟寄主植物或天敌的新陈代谢、生理生化过程,即通过营养层之间的相互作用间接地影响草地螟的种群动态;还有可能是通过改变气候条件,对各营养层产生影响。太阳活动对昆虫种群的影响机制尚有待于将来进一步研究。

致谢: 本文在研究中得到新疆师范大学校级重点学科生物学科和新疆师范大学沙漠藻研究院的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

- Akhanaev YB, 2014. Population structure of beet webworm and ways of improvement of prognosis of his abundance [Russian]. Doctoral dissertation. St. Petersburg: Russia Academy of Agricultural Sciences.
- Alekhin VT, 2002. Beet webworm [Russian]. *Zashchita i Karantin Rastenii*, 2002(6): 50-71.
- Bjørnstad ON, Peltonen M, Liebhold AM, Baltensweiler W, 2002. Waves of larch budmoth outbreaks in the European Alps. *Science*, 298(5595): 1020-1023.
- Bukhanistaya GF, Pozdysheva OG, 2009. An emergency situation revealed gaps in the legislation [Russian]. *Zashchita i Karantin Rastenii*, 2009(1): 14-15.
- Bykova EP, Novozhilov KV, 1985. The meadow moth in eastern Siberia [Russian]. *Puti Avtomatizatsii Fitosanitarnoi Diagnostiki*. Leningrad: Vsesoyuznyi Nauchno-issledovatel'skii Institut Zashchity Rastenii. 89-99.
- Cao WJ, Luo LZ, Xu JH, 2006. The migratory behavior and pathways of meadow moth, *Loxostege sticticalis* in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 279-283. [曹卫菊, 罗礼智, 徐建华, 2006. 我国草地螟的迁飞规律及途径. 昆虫知识, 43(3): 279-283.]
- 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素. 昆虫学报, 59(12): 1363–1375.]
- Chen X, Zeng J, Zhai BP, 2016. A series of abnormal climate conditions caused the most severe outbreak of summer population of meadow moth, *Loxostege sticticalis*. *International Journal of Biometeorology*, 60(6): 789–800.
- Chen X, Zhai BP, Gong RJ, Yin MH, Zhang Y, Zhao KJ, 2008. The source area of spring populations of meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in northeastern China. *Acta Ecol. Sin.*, 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.]
- Domchuk NP, Polozhieva YV, 2009. It is necessary to be ready for control of a new outbreak of spread of the pest [Russian]. *Zashchita i Karantin Rastenii*, 2009(1): 17–18.
- Fedorova LV, Kachaeva ZF, 1937. The beet webworm in the east siberian territory [Russian]//West Siberian Plant Protection Station (eds.). Beet Webworm. Novosibirsk: West Siberia Press. 60–86.
- Frolov AN, 2012. The beet webworm is a threat to Russian agriculture [Russian]. *Kartofel Ovoshchi*, 2012(4): 28–29.
- Frolov AN, 2015. The beet webworm *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera, Crambidae) in the focus of agricultural entomology objectives: I. The periodicity of pest outbreaks [Russian]. *Entomol. Rev.*, 95(2): 147–156.
- Frolov AN, Kuznetsova TL, Malyshev YM, Mitrofanov VB, Issi IV, 2004. Cyclicity of outbreaks of beet webworm [Russian]//Pest, diseases, and weeds control. St. Petersburg: St. Petersburg Agric. Univ. 63–71.
- Gu CY, Liang YC, Zhang GZ, 1987. Population fluctuation and forecast of meadow moth. *Plant Disease and Insect Pest Forecasting*, 7(Suppl.): 26–31. [顾成玉, 梁艳春, 张广芝, 1987. 草地螟种群数量变动及预测预报技术的研究. 病虫测报, 7 (增刊): 26–31.]
- Hu BH, Zhao ZH, Li CG, 2003. A brief introduction to the advance in plant protection in China over the past 50 years// Chen DS, Hu BH (eds.). Plant Protection in China Over the Past 50 Years. Beijing: China Agriculture Press. 3–37. [胡伯海, 赵中华, 李春广, 2003. 中国植物保护五十年发展概况//陈斗生, 胡伯海主编. 中国植物保护五十年. 北京: 中国农业出版社. 3–37.]
- Huang SZ, 2010. Study on spatiotemporal population dynamics of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in China. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences.
- [黄绍哲, 2010. 我国草地螟 (*Loxostege sticticalis*) 种群时空动态规律研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Huang SZ, Jiang XF, Lei CL, Luo LZ, 2008. Correlation analysis between the periodic outbreaks of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and solar activity. *Acta Ecol. Sin.*, 28(10): 4823–4829. [黄绍哲, 江幸福, 雷朝亮, 罗礼智, 2008. 草地螟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.]
- Jia SY, Meng ZP, Yang ZM, 2000. Characteristics and reasons for the outbreak of meadow moth at Ulanqab in 1997. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2000(2): 31–32. [贾淑英, 孟正平, 杨振明, 2000. 乌兰察布盟 1997 年草地螟大发生特点及原因分析. 内蒙古农业科技, 2000(2): 31–32.]
- 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 YY, Zhang YJ, Yang BS, Ma CJ, Wang HJ, Feng XD, Wang CR, 2009. Overwintering larva distribution characteristics of *Loxostege sticticalis* in 2008 and forecasting of its occurring trend 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.]
- Jilin Cooperated Research Group of Meadow Moth, 1987. Report on the occurrence and control of meadow moth in Jilin province. *Plant Disease and Insect Pest Forecasting*, 7(Suppl.): 34–52. [吉林省草地螟科研协作组, 1987. 吉林省草地螟发生规律及防治技术研究报告. 病虫测报, 7(增刊): 34–52.]
- Kang AG, Yang HZ, Li Q, Fan RX, Zhang YH, Shen C, Zhao XJ, 2004. Relationship between the overwintering generation and the first generation of the beet webworm. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(1): 70–72. [康爱国, 杨海珍, 李强, 樊荣贤, 张玉慧, 沈成, 赵晓娟, 2004. 草地螟越冬代虫量与第一代草地螟发生关系的研究. 昆虫知识, 41(1): 70–72.]
- Knorr IB, 1986. The problem of outbreak of the meadow in Siberia [Russian]. *Trydy Vsesoyuznogo Entomologicheskogo Obshchestva*, 68: 162–165.
- Knorr IB, 1990. *Loxostege sticticalis* in the Asian part of the USSR [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1990(11): 52–56.
- Knorr IB, Lyubimets YV, Kirov EI, Makarov VI, 2011. A new outbreak of *Loxostege sticticalis* reproduction in the Novosibirsk region. [Russian]. *Zashchita i Karantin Rastenii*, (1): 41–42.
- Knorr IB, Ryabko BY, Rjabko BJ, 1981. Relation between outbreak of the meadow moth in Siberia and solar activity [Russian]. *Izvestiya*

- Sibirskogo Otdeleniya Akademii Nauk SSSR B*, 5(1): 113–116.
- Knorr IB, Tibatina IA, 1978. The meadow moth in Siberia [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1978(8): 18–19.
- Konakov NN, 1930. Historical notes on the outbreaks of the meadow moth in the black soil zone of central Russia [Russian]//Sta. Zashch. Rast. Oblzemupravl. Tz. Ch. O.(eds.). Materials for the Study of the Meadow Moth, *Loxostege sticticalis* L., in the central Black Soil Zone. Voronezh: Izd. Kommuna. 3–38.
- 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, Tang JH, Zhang L, Jiang XF, 2016. Temperature and relative humidity are the key factors for 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, 2009. 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, 2009. 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, Li GB, Cao YZ, 1996. The third outbreak period of meadow moth has come. *Plant Protection*, 22(5): 50–51. [罗礼智, 李光博, 曹雅忠, 1996. 草地螟第 3 个猖獗危害周期已经来临. 植物保护, 22(5): 50–51.]
- Luo LZ, Qu XF, 2005. Analysis of the occurrence characters of beet webworm, *Loxostege sticticalis* Linnaeus in 2004 and occurrence tendency of its 1st generation in 2005. *Plant Protection*, 31(3): 69–71. [罗礼智, 屈西峰, 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.]
- Makarova LA, Doronina GM, 1994. The Synoptic Approach to Forecasting Long-range Migration of Insect Pests [Russian]. St.-Petersburg: Gidrometeoizdat. 106–108.
- Matov G, Chimidtseren B, 1984. The meadow moth *Loxostege sticticalis* L. in the Mongolian People's Republic [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1984(6): 53.
- Miyake N, Yoshimatsu S, Nakao H, 2009. Occurrence of beet webworm *Margaritia sticticalis* (Lepidoptera, Crambidae) in Hokkaido Prefecture in 2008, with special reference to crop damage and observed localities [Japanese]. *Ann. Rept. Plant Prot. North Japan*, 60: 223–226.
- National Cooperated Research Group of Meadow Moth, 1987. Studies on the occurrence, forecast and control of meadow moth. *Plant Disease and Insect Pest Forecasting*, 7(Suppl.): 1–9. [全国草地螟科研协作组, 1987. 草地螟发生及测报和防治的研究. 病虫测报, 7(增刊): 1–9.]
- Naumova EN, Gorbunov BZ, Knorr IB, Rozhina OV, 1994. Study of mass migration of beet-webworm moths *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyralidae) on the basis of analysis of their elemental composition [Russian]. *Russian Journal of Ecology*, 25(4): 294–298.
- Omelyuta VP, 1987. The beet webworm [Russian]. *Zashchita Rastenii (Moskva)*, 1987(6): 51–53.
- Orishchenko AD, 1976. The meadow pyralid [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1976(1): 42–44.
- Petrukha OI, Tribel' SA, 1974. *Loxostege sticticalis* in the Ukraine [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1974(4): 40–43.
- Petrukha OI, Tribel' SA, 1975. The population dynamic of *Loxostege sticticalis* [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1975(4): 41–43.
- Polyakov IY, Doronina GM, Makarova LA, 1989. On *Loxostege sticticalis* reproduction [Russian]. *Zashchita Rastenii (Moskva)*, 1989(5): 29–31.
- Polyakov IY, Khomyakova VD, Kub' yas LM, 1977. Causes of mass outbreaks of the meadow moth [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1977(2): 40–41.
- Poplavskii VV, 1984. The serious danger presented by the meadow moth [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1984(5): 43.
- 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. 对我国北方年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.]
- Qu XF, Shao ZR, Wang JQ, 1999. Analysis of periodic outbreak of meadow moth in agricultural and pastoral area of north China. *Entomological Knowledge*, 36(1): 11–14. [屈西峰, 邵振润, 王建强, 1999. 我国北方农牧区草地螟暴发周期特点及原因剖析. 昆虫知识, 36(1): 11–14.]
- Shanxi Cooperated Research Group of Meadow Moth, 1987. Studies on the occurrence, forecast and integrated control of meadow moth in Shanxi province. *Plant Disease and Insect Pest Forecasting*, 7(Suppl.): 82–97. [山西省草地螟科研协作组, 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, 7(增刊): 82–97.]
- Shek GK, Telepa NG, 1981. The meadow moth in Kazakhstan [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1981(6): 23–24.
- Shurovenkov YB, Alekhin VT, 1984. The meadow moth in eastern Siberia and in the Far East [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1984(2): 40–41.

- Smirnova MP, 2000. The meadow moth: Still a dangerous pest [Russian]. *Zashchita i Karantin Rastenii*, 2000(2): 10–11.
- Stankevych SV, Baidyk HV, Lezhenina IP, Filatov MO, Martynenko VI, D'yakonov VI, Nepran IV, Mykhailenko VO, Havva DV, Bondarenko SV, Novosad KB, Kava LP, Yakovlev RV, Nemerytska LV, Golovan LV, Klymenko IV, 2019. Wandering of mass reproduction of harmful insects within the natural habitat. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(4): 578–583.
- Tayurskaya IY, Dashevskii SV, 2009. Khabarovsk krai: The solution lies not just in monitoring [Russian]. *Zashchita i Karantin Rastenii*, 2009(1): 16–17.
- Tenow O, Nilssen AC, Bylund H, Pettersson R, Battisti A, Bohn U, Carouille F, Ciornei C, Csoka G, Delb H, Prins WD, Glavendekić M, Gninenko YI, Hrašovec B, Matošević D, Meshkova V, Moraal L, Netoiu C, Pajares J, Rubtsov V, Tomescu R, Utkina I, 2012. Geometrid outbreak waves travel across Europe. *Journal of Animal Ecology*, 82(1): 84–95.
- Tribel' SA, Kolmaz GV, 1981. Ecological factors and the abundance of the meadow moth [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1981(2): 40–41.
- Tribel' SA, Ponomarenko LI, 1976. A dangerous enemy of beet [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1976(5): 33–34.
- Tril' OR, Baikov AM, 1976. How they coped with the meadow pyralid in the Timashevsk region [Russian]. *Zashchita Rastenii*, 1976(5): 23–24.
- Wang CR, Xu ZF, Xu BC, Yin LJ, Meng FH, Wang ZG, Jin H, 2005. Characteristic and causes for the outbreak to meadow moth in Heilongjiang province in 2004. *Soybean Bulletin*, 2005(4): 21–22. [王春荣, 徐兆飞, 许百成, 殷丽娟, 孟凡华, 王智贵, 金辉, 2005. 2004 年黑龙江省草地螟发生特点与暴发成因分析. 大豆通报, 2005(4): 21–22.]
- Wang H, Mu C, Ni YF, Lin J, Yu F, Wu LN, Xu GQ, Ji R, 2011. Study on *Loxostege sticticalis* ovary development and its resource in Altay, Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 48(7): 1324–1328. [王晗, 穆晨, 倪亦非, 林俊, 于非, 吴乐年, 徐光青, 季荣, 2011. 新疆阿勒泰地区草地螟一代成虫卵巢发育与虫源性探讨. 新疆农业科学, 48(7): 1324–1328.]
- Wang RW, Tang TC, Kang AG, Fan RX, Meng CM, Cheng HX, Meng ZJ, 1998. Analysis of the eruption causes of meadow moth (*Loxostege sticticalis*) in 1997 and the control measures. *Plant Protection Technology and Extension*, 18(2): 16–19. [王睿文, 唐铁朝, 康爱国, 樊荣贤, 孟翠勉, 程红霞, 孟兆君, 1998. 1997 年草地螟暴发原因分析及其防治对策. 植保技术与推广, 18(2): 16–19.]
- Wei Q, Cui WL, Du JL, Sun MJ, Zhao XL, Gu CY, Liang YC, Zhang GZ, Li CX, Huang ZF, Jia ZY, 1987. Studies on the occurrence regularity, forecast and integrated control of meadow moth. *Plant Disease and Insect Pest Forecasting*, 7(Suppl.): 98–107. [魏倩, 崔万里, 杜俊岭, 孙明江, 赵晓丽, 顾成玉, 梁艳春, 张广芝, 李长祥, 黄自芳, 贾宗谊, 1987. 黑龙江省草地螟发生规律、预测预报及综合防治的研究. 病虫测报, 7(增刊): 98–107.]
- Yaroslavtzev GM, Molchanova OP, 1932. The autumn investigation on the amount of the sugar beet webworm [Russian]. *Plant Prot.*, 1932(2): 1–24.
- Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Jiang YY, Lu 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.]
- Znamensky AV, 1932. The Beet Webworm [Russian]. *Sbornik VIZR*, (1): 23–26.
- Zverezome-Zubovskii EV, 1931. On the periodical appearance of the meadow moth and some of its other peculiarities [Russian]// Zverezome-Zubovskii EV (ed.). The Meadow Moth in 1929–1930. Kiev: Izd. Ukr. nauchno-issled. Inst. sakharn. Promuishl. 3–8.
- Бережков ПП, 1936. Луговой мотылек в лесной зоне восточной части Западной Сибири. *Тр. Биол. НИИ при ТГУ*, 2: 98–130.
- Пятницкий ГК, 1936. К вопросам экологии и теории массовых размножений лугового мотылька. Ленинград: ЦУЕМГС. 15.
- Филатова тн, 1935. Луговой мотылек в Карагандинской области. *Защ. раст.*, 1935 (4): 111–120.