

我国甜菜夜蛾间歇性暴发频度的大尺度地理差异及其成因分析*

文礼章^{1**} 文意纯¹ 诸凤丹^{1,2} 文雅峰¹ 杨中侠¹

(1. 湖南农业大学植物保护学院, 湖南省植物病虫害防控重点实验室 长沙 410128; 2. 湖南省常德市农科所 常德 415000)

摘要 【目的】为探索我国甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 间歇性大暴发频度的大尺度地理差异及其成因, 作者研究和分析了我国 1956—2008 年 52 年间共发生的 121 次甜菜夜蛾大暴发频次地理分布的行政区域特征、纬度特征和经度特征。【方法】首先查阅和整理我国历代以来有关甜菜夜蛾记载和研究的文献, 并按时间序列方式进行归纳和总结, 得出中国 1956—2008 年 52 年间共发生甜菜夜蛾大暴发频次为 121 年次, 然后分别按中国省级行政区域、纬度分级区域和经度分级区域进行重新整理分析, 在此基础上, 进一步细分出中国不同省区及不同经纬度地区甜菜夜蛾有暴发记录的历年总频次数, 然后进行统计分析。【结果】分析结果表明: 按省级行政区域进行统计, 中国有 17 省(直辖市)有甜菜夜蛾暴发的记录; 按暴发频次多少可分为低频暴发区(记录 1~4 次的共有 8 省市, 即天津 1、北京 1、海南 1、湖南 1、云南 2、广西 3、辽宁 3、福建 3)、中频暴发区(记录 5~9 次的共有 5 省市, 即湖北 5、安徽 7、上海 8、江西 8、陕西 8, 占总频次的 29.8%) 和高频暴发区(记录 10 次以上的 4 省市, 即山东 10、河南 13、浙江 13、江苏 34, 占总频次的 58%)。按经纬度值进行统计, 中国甜菜夜蛾有暴发记录的纬度范围为 21.44°~41.97°N, 即从中国南部的福建莆田至北部的辽宁抚顺都有甜菜夜蛾暴发的记录, 经度范围为 107.09°~123.97°E, 即从中国西部的陕西关中至东部的辽宁抚顺都有甜菜夜蛾暴发的记录。而暴发最频繁的纬度范围是 28°~38°N, 约占总频次的 89.3%; 暴发最频繁的经度范围是 113°~121°E, 约占总频次的 81.8%。【结论】中国甜菜夜蛾间歇性暴发区以华北平原和长江中下游平原地区为主, 暴发寄主以蔬菜和棉花为主, 暴发季节以 7—10 月为主。甜菜夜蛾间歇性高频暴发区, 其地理特征主要为低海拔地区, 即平均海拔低于 500 m (也有极少部分发生在平均海拔为 1 000~2 000 m 之间的盆地); 其气候特征主要为暖温带 3 400℃≤活动积温≤4 500℃及亚热带地区 4 500℃≤活动积温≤8 000℃、湿润(年降水量≥800 mm)及半湿润地区(400≤年降水量≤800 mm)和亚热带及温带季风气候区(这两个气候区的共同特点是夏季高温多雨, 冬季低温少雨或寒冷干燥)。

关键词 甜菜夜蛾, 间歇性暴发, 地理差异, 行政区域, 经纬度

Large-scale geographical variation and cause analysis on the frequency of intermittent outbreak of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*

WEN Li-Zhang^{1**} WEN Yi-Chun¹ ZHU Feng-Dan^{1,2} WEN Ya-Feng¹ YANG Zhong-Xia¹

(1. College of Plant Protection of Hunan Agricultural University and the Key Laboratory of Prevention and Control of Plant Pests of Hunan Province, Changsha 410128, China; 2. Hunan Changde Agricultural Science Research Institute, Changde 415000, China)

Abstract [Objectives] The author explored the large-scale geographical variation in the frequency of intermittent

* 资助项目: 国家自然科学基金项目(C030402/31070378); 农业部国家公益科研专项甜菜夜蛾行业项目(200803007)

**通讯作者, E-mail: weninsect123@aliyun.com

收稿日期: 2013-03-10, 接受日期: 2013-05-28

outbreaks of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) in China, in order to determine the causes of outbreaks.

[Methods] This was done by analysis of the characteristics of administrative regions, including latitude and longitude, within the geographical distribution of 121 large-scale outbreaks of beet armyworm which occurred in the 52 year period from 1956 to 2008. **[Results]** Records from each administrative region indicate that outbreaks occurred in 17 provinces or municipalities. These were divided into 3 groups based on the frequencies of outbreaks they experienced: low frequency (1 to 4 outbreaks), regular (5 to 9) and high frequency (10 or more). The number of outbreaks experienced in low outbreak frequency regions were 1 in each of Tianjing, Beijing, Hainan and Hunan, 2 in Yunnan and 3 in each of Guangxi, Liaoning and Fujian. The numbers of outbreaks in regular outbreak frequency regions were 5 in Hubei, 7 in Anhui and 8 in each of Shanghai, Jiangxi and Shanxi. The regular outbreak frequency regions accounted for 29.8 percent of total outbreaks. The numbers of outbreaks in the high outbreak frequency regions were 10 in Shandong, 13 each in Henan and Zhejiang and 34 in Jiangsu, together accounting for 58 percent of total outbreaks. Outbreaks occurred across latitudes 21.44°–41.97°N, from Putian in Fujian Province to Fushun in Liaoning province. The latitude range of the most frequent outbreaks was 28°–38°N, where almost 89.3 percent of outbreaks occurred. The range of longitudes in which outbreaks occurred was from 107.09° to 123.97°E, which is from Guangzhong in Shanxi to Fushun in Liaoning province. The longitude range of the most frequent outbreaks was 113°–121°E, in which around 81.8 percent of outbreaks occurred. **[Conclusion]** The major outbreak region was the Huabei Plain and the middle and lower reaches of the Yangtze River. The main outbreak hosts were vegetables and cotton, and the outbreak season was from July to October. The main geographical feature of high outbreak frequency areas was low altitude; that is, an average altitude of less than 500 m (a very small proportion of outbreaks occurred in a basin with an average altitude of 1 000–2 000 m). Climatic characteristics of this area include a temperature range from warm temperate ($3\ 400^{\circ}\text{C} \leq \text{active accumulated temperature} \leq 4\ 500^{\circ}\text{C}$) to subtropical ($4\ 500^{\circ}\text{C} \leq \text{active accumulated temperature} \leq 8\ 000^{\circ}\text{C}$), and moisture range from moist (annual precipitation $\geq 800\text{ mm}$) to sub-humid ($400\text{ mm} \leq \text{annual precipitation} \leq 800\text{ mm}$). High outbreak areas had sub-tropical and temperate monsoon climate zones with hot, rainy summers and cold, dry winters.

Key words *Spodoptera exigua*, intermittent outbreak, geographical variation, administrative region, latitude longitude

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 在亚洲、大洋洲、美洲、非洲及欧洲均有严重危害或成灾的记录,且每次成灾所造成的经济损失都十分惊人 (Kheyri, 1976; Kurdov, 1986; Bianchi *et al.*, 2002; Sumerford, 2003; False *et al.*, 2010; Underwood, 2011)。自 1986 年以来,甜菜夜蛾在中国的成灾频率也越来越高 (罗礼智和曹雅忠, 2000; 张宇杰和文礼章, 2010; 朱亮和文礼章等, 2010; 苏宏华和宋彬等, 2012; 司升云和周利琳等, 2012)。

为探索中国甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 间歇性暴发成灾的规律,作者曾研究了中国甜菜夜蛾间歇性暴发的时间序列波动规律,并归纳出,中国甜菜夜蛾在 1956—2008 年 (在此年份前未见有关于我国甜菜夜蛾大暴发的报道) 的 52 年中大尺度暴发总年频次为 121 次,且各年度暴发次数 (年频次) 存在着非均衡性周期波动特征,还建立了以时间序列为自变量的甜菜夜

蛾暴发指数非均衡周期性预测模型,经回代结果检验,理论值与实测值之间无显著差异 (文礼章等, 2011)。在此同时,作者还研究了中国广域 (较大范围) 温度和广域降雨量变化趋势对中国广域甜菜夜蛾年暴发频度的影响规律,并从 52 个因素 (当年和上年 1—12 月各月及全年日均温和月均降雨量) 中筛选出了具有显著回归影响 ($P < 0.05$ 或 0.01) 的 10 个因素进入回归模型,初步找出了能够预测广域甜菜夜蛾暴发趋势指数的温度与降雨量或其组合因素,并使其模型达到 99% 以上的历史符合率和预测准确度,因此认为,广域温度、降雨因素与广域甜菜夜蛾暴发趋势指数的这种密切相关性,不是偶然的巧合,而是必然的环境 (温度和降雨量) 作用于生物 (甜菜夜蛾) 的因果关系 (文礼章和张友军, 2010)。以上研究成果基本揭示了中国甜菜夜蛾种群数量近 50 年来的时间序列演变规律以及重要气候条件的影响规律,为进一步探索和建立甜菜夜蛾

中、长期种群预测模型,增强人们对甜菜夜蛾大发生的中、长期预警能力,并利用历史事件规律及时指导甜菜夜蛾的综合防治提供了重要理论依据。为了进一步了解甜菜夜蛾暴发在中国的广域地理分布规律,作者在原有研究基础上(石尚和文礼章,2010;张宇杰和文礼章,2010;朱亮等,2010),进一步应用相对暴发“年频次”比较法(文礼章和张友军,2010),研究和分析了甜菜夜蛾在中国大发生的行政地理分布以及经纬度分布特征及其形成的可能原因,并提出了甜菜夜蛾低频暴发区、中频暴发区和高频暴发区新概念及其相对划分标准,为中国高层植保部门制定全国性或区域性甜菜夜蛾的综合防治总策略和总方案提供了必要的依据。现将结果报道如下。

1 材料与方法

为系统研究甜菜夜蛾间歇性暴发频度的地理分布特征及其成因,作者对先前通过查阅大量文献并按时间序列方式(何书元,2003)进行归纳和总结出的中国1956—2008年52年间共发生的121次甜菜夜蛾大暴发频次(文礼章等,2011),分别按中国省级行政区域、纬度分级区域和经度

分级区域进行重新整理分析,得出中国不同省区及不同经纬度地区甜菜夜蛾有暴发记录的历年总频次数(表1)。为实际应用的方便,根据表1结果,作者首先将中国甜菜暴发区从主观上分为低频、中频和高频暴发区3个等次,然后应用聚类分析法归纳出所属各等次的省份及经纬度地区。由于本次分析是采用的相对比较法(文礼章等,2011),其收集的频次资料主要来源于历史文献的随机记载,而不是完整系统的调查实测值,因此,其统计结果具有一定的偶然性或非必然性,如,0频次地区并不代表该地区历史上就没有发生过甜菜夜蛾暴发事件,也许只是没有记载而已,同理,记载次数最多的地区,也不一定是历史上发生甜菜夜蛾实际暴发事件最多的地区,也许只是当地农学家的关注度或勤于写报道的兴趣比较高而已。为了尽可能减少等次分类的实际误差,我们在进行聚类分析时,首先去除原始频次表中的0频次和最高频次数据,然后,在分类结果出来以后,再将0频次地区和最高频次地区分别纳入到低频暴发区和高频暴发区,这样在一定程度上减少了0频次和最高频次这类极端数据对真实聚类结果的干扰。

表1 中国各省市甜菜夜蛾暴发频次及相关信息表(1956—2008)*

Table 1 The form of total year-frequency and the related information on beet armyworm outbreak of statistics according to administrative provinces*

编号 No.	省市名称 Province	暴发频次 Outbreak frequency	百分比值 (%) Percentage	主要年份(公元) (发生地域数) Years (A.D.) (Regional number of occurrence)	主要月份 Month	主要寄主 Host	发生地区(年次) Region
1	天津 Tianjin	1	0.8	2008	7—8	蔬菜 Vegetable	静海县 Jinghai county
2	北京 Beijing	1	0.8	2000	8—9	苜蓿 Alfalfa	昌平 Changping county
3	海南 Hainan	1	0.8	2008	10—12	蔬菜 Vegetable	定安县 Ding'an county
4	湖南 Hunan	1	0.8	1958	8—10	甜菜 Sugarbeet	凤凰 Fenghuang county

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	省市名称 Province	暴发频次 Outbreak frequency	百分比值 (%) Percentage	主要年份 (公元) (发生地域数) Years (A.D.) (Regional number of occurrence)	主要月份 Month	主要寄主 Host	发生地区(年次) Region
5	云南 Yunnan	2	1.7	1999, 2008	7—9, 4—5	蔬菜 Vegetable	昆明 Kunming city
6	广西 Guangxi	3	2.5	1999, 2000, 2008	4—6, 5—6, 8—10	蔬菜 Vegetable	邕宁(2)、南宁 Yongning, Nanning
7	辽宁 Liaoning	3	2.5	2000, 2006, 2007	7—9	蔬菜 Vegetable	辽中、抚顺(2) Liaozhong、 Fushun
8	福建 Fujian	3	2.5	1999, 1999, 2000	7—8, 11, 11	蔬菜、蚕豆 Vegetable and broad bean	莆田(2)、福州 Putian, Fuzhou
9	湖北 Hubei	5	4.1	1999, 2000(2), 2008(2)	7—9	蔬菜、棉花 Vegetable and cotton	孝感、武汉、荆 州(2)、黄冈 Xiaogan, Wuhan, Jingzhou, Huanggang
10	安徽 Anhui	7	5.8	1988, 1991, 2001(2) 2003, 2006, 2007	7—8, 8—10	蔬菜、棉花 Vegetable and cotton	全椒(2)、安庆、 宿松(3)、滁州 Quanjiao, An'qing, Susong, Chuzhou
11	上海 Shanghai	8	6.6	1985, 1986, 1988, 1990, 1991, 1992, 1994, 2003	7—8, 8—10	蔬菜 Vegetable	奉贤、上海郊区 (7) Fengxian, Shanghai suburbs
12	江西 Jiangxi	8	6.6	1990, 1991(2), 2000(2), 2001, 2002, 2008	6—10, 7—8	蔬菜 Vegetable	吉水、安福、宜 春(3)、南昌、新 余、鹰潭 Jishui, An'fu, Yichun, Nanchang, Xinyu, Yingtan

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	省市名称 Province	暴发频次 Outbreak frequency	百分比值 (%) Percentage	主要年份 (公元) (发生地域数) Years (A.D.) (Regional number of occurrence)	主要月份 Month	主要寄主 Host	发生地区(年次) Region
13	陕西 Shaanxi	8	6.6	1998, 1999—2000, 2001, 2002, 2003, 2007(2)	7—9	蔬菜 Vegetable	关中(4)、华阴、 西安(2)、韩城 Guanzhong, Huayin, Xi'an, Hancheng
14	山东 Shandong	10	8.3	1956, 1958, 1996, 1999(4), 2000, 2001, 2002	7—9	蔬菜、棉花、 玉米、花生、 甜菜 Vegetable, cotton, corn, peanut and sugarbeet	烟台、菏泽(2)、 莱西(2)、高唐、 曹县、章丘、聊 城(2) Yantan, Heze, Laixi, Gaotang, Caoxian, Zhangqiu, Liaocheng
15	河南 Henan	13	10.7	1994, 1997(3), 1999(6), 2001(2), 2003	7—8, 7—9, 7—10	蔬菜、棉花、 大豆 Vegetable, cotton and soybean	三门峡(2)、安 阳、灵宝(2)、驻 马店、修武(3)、 商丘、新乡、舞 钢(2) Sanmen Xia, An'yang, Lingbao, Zhumadian, Xiuwu, Shangqiu, Xinxiang, Wugang
16	浙江 Zhejiang	13	10.7	1991, 1994(2), 1996, 1997, 2000(3), 2001, 2003, 2004, 2005, 2006	7—8, 7—9	蔬菜、棉花、 茶树 Vegetable, cotton and tea plant	西湖、杭州(3)、 浙南(3)、海盐、 象山、温州、嘉 兴(3) West Lake, Hangzhou, Zhe'nan, Haiyan, Xiangshan, Wenzhou, Jiaxing

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	省市名称 Province	暴发频次 Outbreak frequency	百分比值 (%) Percentage	主要年份 (公元) (发生地域数) Years (A.D.) (Regional number of occurrence)	主要月份 Month	主要寄主 Host	发生地区(年次) Region
17	江苏 Jiangsu	34	28.1	1980, 1986, 1991(4), 1993, 1994, 1995(2), 1997, 1999(3), 2000, 2001(3), 2002(6), 2004(6), 2006(3), 2007	5—9, 5—10, 7—8, 7—9	蔬菜、棉花、 甜菜、大豆 Vegetable, cotton, sugarbeet and soybean	大丰(4)、丰县 (7)、东台(5)、 东辛、兴化(2)、 阜宁(3)、射阳 (5)、盐城(5)、 淮北、黄海 Dafeng, Feng county, Dongtai, Dongxin, Xinghua, Funing, Sheyang, Yancheng, Huaibei, Huanghai
合计 Total		121	100.0				

*本表由本文作者根据百余篇历史文献和地方害虫测报调查档案资料所记录的甜菜夜蛾暴发实况整理而成, 引用文献因数量过多, 本文从略, 如有读者需要, 请直接向作者索取。

The table is finished according to the beet armyworm outbreak resources recorded by nearly 100 history literatures and local pest monitoring files, its cited literatures are so many as to list, if there are readers who want these resources please contact with us.

为便于统计不同经纬度地区甜菜夜蛾暴发的“年频次”数, 我们对经纬度这一连续型不可数变量, 通过分级, 将其转换为离散型可数变量。具体分级方法是: 根据表 1 中的统计结果可知, 中国甜菜夜蛾有暴发记录的经纬度范围分别为东经 102.73°~123.97°E 和北纬 19.68°~41.97°N, 取其整数(四舍五入)则为东经 103°~124°E 和北纬 20°~42°N, 即经距跨度为 21°, 纬距跨度为 22°。由于经距和纬距在跨度数上极为接近, 即分别为 21°和 22°, 因此, 我们对经纬度以同样的尺度进行分级, 即分别以 103°E 和 20°N 为起点, 按每 2° 范围为一个单元统计其所包含的甜菜夜蛾暴发的“年频次”数。并定义: 凡大于当级整数值的经度或纬度值则记为高一级的经度分级值或纬度分级值范畴, 如 102.73°E 至

103.00°E, 均记为 103°E, 而 103.001°E 至 105.000°E 范围内的甜菜夜蛾暴发的“年频次”数则均记为 105°E 级范围内“年频次”数, 又如在 19.001°N 至 21.000°N 范围内的甜菜夜蛾暴发的“年频次”数均记为 20°N 级范围内“年频次”数, 而 20.001°N 至 22.000°N 范围内的甜菜夜蛾暴发的“年频次”数则均记为 22°N 级范围内“年频次”数, 其余依此类推。具体分级统计结果见表 3 和表 4。

值得说明的是, 本文采用相对“年频次”数作为甜菜夜蛾暴发量的“评价指标”(文礼章和张友军, 2010) 比较不同地理区域甜菜夜蛾的暴发程度的主要生物学理论依据是: 前人记载的暴发“年频次量”主要受制于甜菜夜蛾暴发次数、暴发量和暴发面的大小, 即发生量越大、面越广、

危害越重,关注的人就越多,记载的暴发“年频次”数也就越多,反之,记载的暴发“年频次”数就会少,因此,全国各观测点的暴发“年频次”在地域空间上的变化规律即可以显现出甜菜夜蛾在中国的地理动态规律。本文正是基于上述理念,利用不同地理区域所发生的甜菜夜蛾暴发总频次数的差异来分析中国甜菜夜蛾间歇性暴发频度的地理分布特征及其成因。

2 结果与分析

2.1 中国甜菜夜蛾暴发频度分布的行政地理特征

中国各省市甜菜夜蛾暴发频次统计(频次按由少至多排序)及相关信息详见表1。从表1可知,在1956—2008年52年间,中国共有甜菜夜蛾暴发记录121次,并分布于17个省(自治区或直辖市)份,其中以江苏省报道的暴发次数最多,达34次,占全国总频次数(121)的28.1%,其次是河南13次、浙江13次、山东10次、上海8次、陕西8次、江西8次、安徽7次,7个省份共计67次,占总次数的55.4%。

经去除总频次极端值34(江苏省)后,对其余16组总频次数据进行3组(低频组、中频组和高频组)聚类,结果所得3组聚类的省(市)序号(表1)分别为1~9号,10~14号和15~16号。即1~9号地区(天津、北京、海南、湖南、云南、广西、辽宁、福建、湖北)可归类为甜菜夜蛾低频暴发区,10~14号地区(安徽、上海、江西、陕西、山东)可归类为甜菜夜蛾中频暴发区,而15~17号地区(河南、浙江、江苏)则可归类为甜菜夜蛾高频暴发区。如果将中国大陆其余甜菜夜蛾暴发0频次记录地区都归入低频暴发区,则中国大陆甜菜夜蛾低频暴发区有23个省级行政地区(辽宁、吉林、黑龙江、河北、山西、甘肃、青海、湖北、湖南、福建、云南、海南、四川、贵州、广东、内蒙古、新疆、广西、西藏、宁夏、北京、天津、重庆),占中国大陆31个省级行政地区数的74.19%,而甜菜夜蛾中、高频暴发区共有8个省级行政地区(安徽、上海、江西、陕西、山东、河南、浙江、江苏),占中

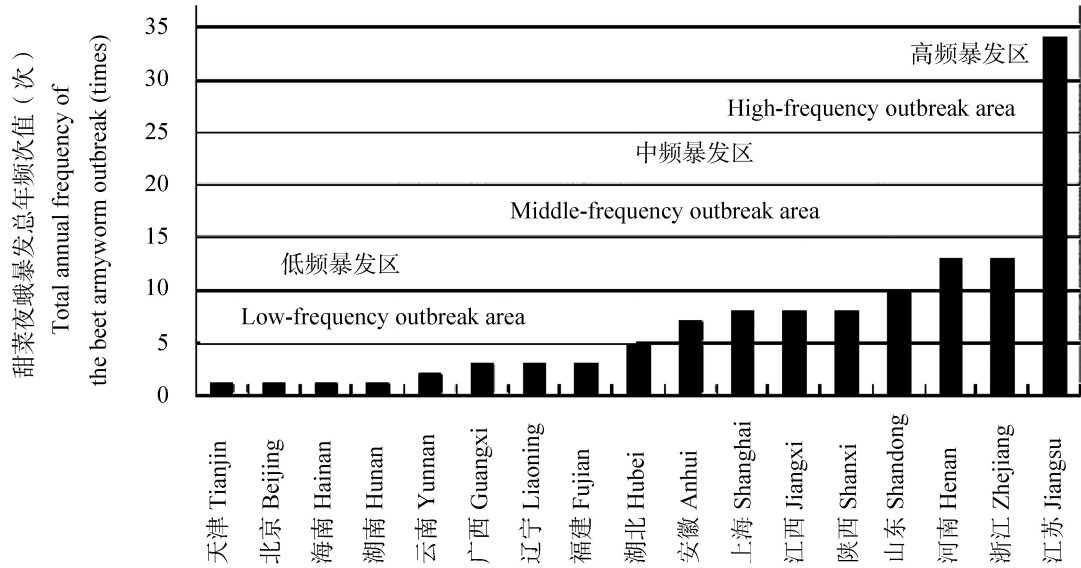
国大陆31个省级行政地区数的25.81%。由此可见,甜菜夜蛾虽然是一种广布性害虫,但在中国各地发生大暴发的频度在不同地区间存在着较大的差异,尤其是有25.81%(8个)省级行政地区有较多(中、高频暴发区)甜菜夜蛾大发生的记录(图1,图4),因此,值得当地有关部门加以重视和预防。

2.2 中国甜菜夜蛾间歇性暴发区的经纬度地理特征

2.2.1 中国甜菜夜蛾间歇性暴发区的纬度地理特征 为进一步分析造成不同行政地区甜菜夜蛾大发生频次差异的地理原因或环境原因,作者对1956—2008年52年间甜菜夜蛾有暴发记录,按不同纬度分级范围分别统计其甜菜夜蛾大发生频次数(表2),以分析不同纬度范围是否对甜菜夜蛾大发生频次有一定的影响作用。

从表2可知,中国甜菜夜蛾有暴发记录的纬度范围为北纬 18°N 至 42°N ,即从中国南部的福建莆田至北部的辽宁抚顺都有甜菜夜蛾暴发的记录。但是,高频暴发区主要发生在北纬 26°N 至 36°N 之间地区(图2),即跨越10个纬距的约1100 km(按每纬距110 km计算)范围内,而中国 26°N 以南和 36°N 以北地区则可被认为是甜菜夜蛾低频暴发区。从分布纬度图形(图2)分析,中国甜菜夜蛾高频暴发区主要发生在中纬度地区,而中频暴发区恰处于高频暴发区的南北两侧(更多偏于南侧较低纬度地区),中间没有间断,具有近似正态分布的连续性分布特征。

2.2.2 中国甜菜夜蛾间歇性暴发区的经度地理特征 从表3可知,中国甜菜夜蛾有暴发记录的经度范围为东经 101°E 至 123°E ,即从中国西部的陕西关东至东部的辽宁抚顺都有甜菜夜蛾暴发的记录。但是,高频暴发区主要发生在东经 107°E 至 121°E 之间地区(图3),即跨越14个经距的约1400 km(按每经距100 km计算)范围内。从分布经度分析,中国甜菜夜蛾高频暴发区则主要发生在东部沿海高经度地区,而中频暴发区则是由东部沿海高经度地区向内陆西部低经度地区延伸而至,从图3看,具有东向性偏态分布特征。



甜菜夜蛾暴发总年频次记录所属省级行政地区
The provinces of the beet armyworm outbreak's total year-frequency

图 1 中国甜菜夜蛾暴发频次的行政地理分布比较图
Fig. 1 The chart of administrative and geographical distribution in outbreak frequency of the beet armyworm in China

表 2 不同纬度范围甜菜夜蛾年暴发频次表（1956—2008）
Table 2 The statistic form of total year-frequency and the related information on beet armyworm outbreak according to latitude (1956—2008)

纬度范围 Range of latitude (北纬°N)	纬度分级值 Latitude (北纬°N)	暴发频次 Outbreak frequency	百分比值 Percentage (%)	累计百分比值 Cumulative percentage(%)
18.01-20.00	20.00	1	0.8	0.8
20.01-22.00	22.00	3	2.5	3.3
22.01-24.00	24.00	0	0	0
24.01-26.00	26.00	5	4.1	7.4
26.01-28.00	28.00	13	10.7	18.2
28.01-30.00	30.00	19	15.7	33.9
30.01-32.00	32.00	18	14.9	48.8
32.01-34.00	34.00	42	34.7	83.5
34.01-36.00	36.00	14	11.6	95.0
36.01-38.00	38.00	2	1.7	96.7
38.01-40.00	40.00	1	0.8	97.5
40.01-42.00	42.00	3	2.5	100.0
合计 Total		121	100.0	100.0

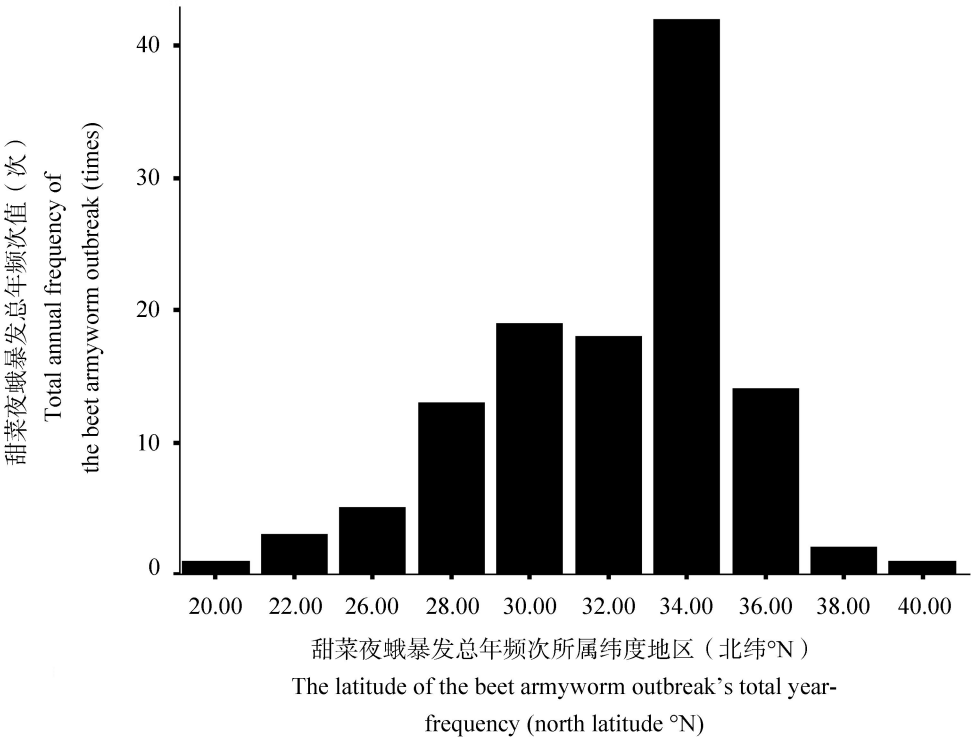


图 2 中国甜菜夜蛾暴发频次的地理纬度分布比较图
Fig. 2 The chart of latitude distribution in outbreak frequency of the beet armyworm in China

表 3 不同经度范围甜菜夜蛾年暴发频次表 (1956—2008)
Table 3 The statistic form of total year-frequency and the related information on beet armyworm outbreak according to longitude (1956—2008)

经度范围 Range of longitude (东经°E)	经度分级值 Longitude (东经°E)	暴发频次 Outbreak frequency	百分比值 Percentage(%)	累计百分比值 Cumulative percentage(%)
101.01-103.00	103.00	2	1.7	1.7
103.01-105.00	105.00	0	0	0
105.01-107.00	107.00	4	3.3	5.0
107.01-109.00	109.00	6	5.0	9.9
109.01-111.00	111.00	7	5.8	15.7
111.01-113.00	113.00	9	7.4	23.1
113.01-115.00	115.00	17	14.0	37.2
115.01-117.00	117.00	16	13.2	50.4
117.01-119.00	119.00	9	7.4	57.9
119.01-121.00	121.00	48	39.7	97.5
121.01-123.00	123.00	3	2.5	100.0
合计 Total		121	100.0	100.0

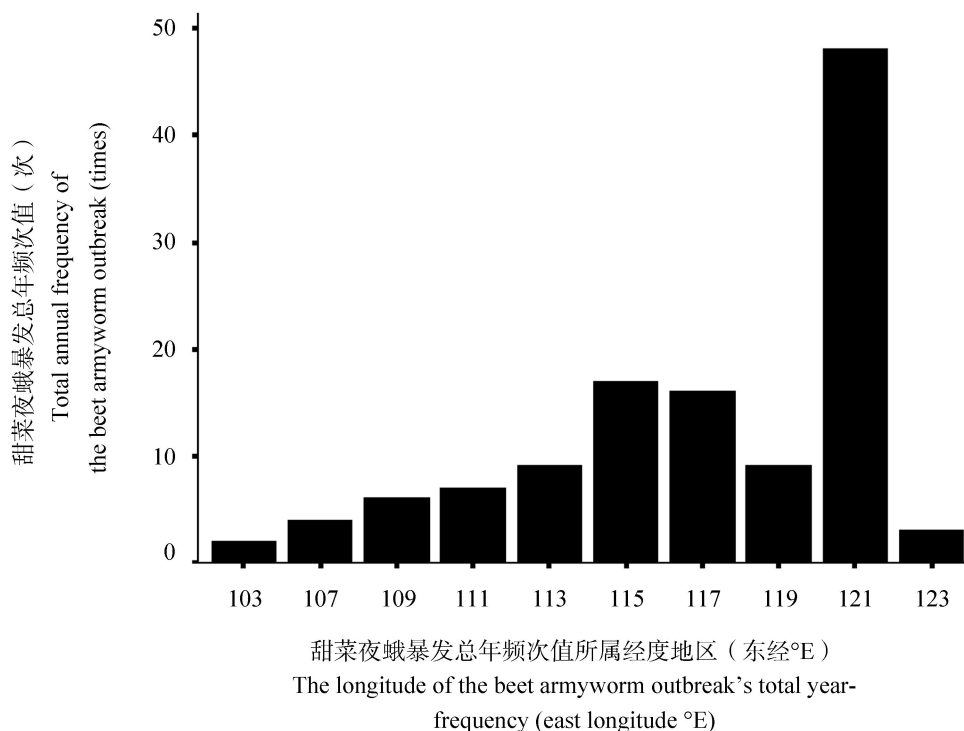


图3 中国甜菜夜蛾暴发频次的地理经度分布比较图

Fig. 3 The chart of longitude distribution in outbreak frequency of the beet armyworm in China

2.2.3 中国甜菜夜蛾间歇性暴发区的经纬度地理位置图 将中国甜菜夜蛾历年每次暴发的具体地区(间于省-县之间的市级地区)的平均经度值和平均纬度值的坐标点描绘在中国轮廓地图的对应位置上,制成中国甜菜夜蛾暴发频度分布的地理位置图(图4)。图4表明,中国甜菜夜蛾历年高频暴发区主要位于北纬20°至北纬42°和东经103°至东经122°的三角形框区域内,该区域的甜菜夜蛾暴发的高频地带主要包括安徽、上海、江西、陕西、山东、河南、浙江、江苏等省市,而低频地带主要包括天津、北京、云南、辽宁、福建、湖北等省市。而位于三角形框区域以外的记录只有4次(位于梯形框内),且分别位于湖南(1次)、广西(2次)、海南(1次)。从图4形状直观分析可知,中国甜菜夜蛾暴发频度具有明显的地域边界性和地域连续性。最为有趣的是,甜菜夜蛾暴发区在中国中纬度最东部沿海大陆架地区所覆盖的纬度范围最宽,即跨越19个纬距(从北纬23°至42°)

达2 000 km之远,而在向内陆西部延伸过程中,所覆盖的纬度范围却越来越窄,直至东经100°处收缩为一个点,即跨越20余个经距,其距离也约为2 000 km,以至形成中国甜菜夜蛾中、高频暴发区为一近似的等边三角形区域(图4),约按三角形面积公式计算,则中国甜菜夜蛾中、高频暴发区所覆盖的地理面积约为200万 km² ($2\,000 \times 2\,000 / 2 / \text{km}^2$)。

2.3 中国甜菜夜蛾间歇性高频暴发地区的地形地势特征

按中国地形图(中国地理地图集编委会,2012)分析,甜菜夜蛾间歇性高频暴发的三角形区域主要属于华北平原和长江中、下游平原(含丘陵)地区。华北平原的主要生态特点是:一望无际,地势平坦,主要水域是黄河、淮河和海河(金帛,2005;王静爱,2007)。长江中下游平原的主要生态特点是:地势平,河网密布,农业发达,主要水域是长江(金帛,2005;王静爱,

2007)。

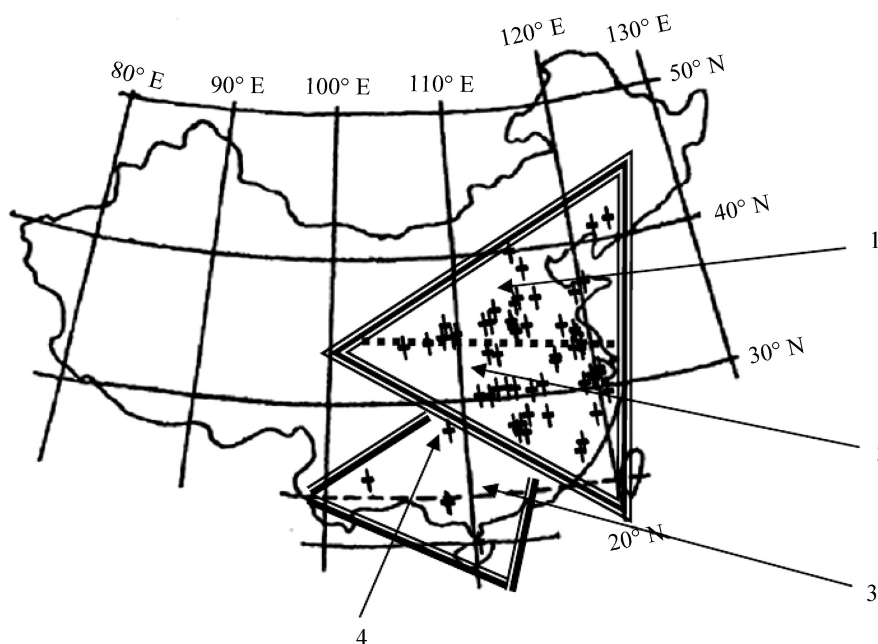


图 4 中国甜菜夜蛾间歇性暴发区的经纬度地理位置图

Fig. 4 The chart of latitudinal and longitudinal distribution in intermittent outbreak region of the beet armyworm in China

注：1. 甜菜夜蛾间歇性中高频暴发区 1（华北平原区），属于暖温带区($3\,400^{\circ}\text{C} \leq \text{活动积温} \leq 4\,500^{\circ}\text{C}$)，半湿润区(年降水量 400 mm 以上)，温带季风气候区，平均海拔低于 500 m。The number 1 of intermittent middle and high frequency outbreak area of the beet armyworm(the plain of Huabei): it belongs to warm-temperate region($3\,400^{\circ}\text{C} \leq \text{active accumulated temperature} \leq 4\,500^{\circ}\text{C}$), subhumid area(annual precipitation ≥ 400 mm), temperate-monsoon climatic region, average elevation < 500 m; 2. 甜菜夜蛾间歇性中高频暴发区 2（长江中下游平原区），属于亚热带地区($4\,500^{\circ}\text{C} \leq \text{活动积温} \leq 8\,000^{\circ}\text{C}$)，湿润区(年降水量 800 mm 以上)，亚热带季风气候区，平均海拔低于 500 m。The number 2 of intermittent middle and high frequency outbreak area of the beet armyworm(the plain of the Lower Yangtze Region): it belongs to subtropical region($4\,500^{\circ}\text{C} \leq \text{active accumulated temperature} \leq 8\,000^{\circ}\text{C}$), humid area(annual precipitation ≥ 800 mm), subtropical monsoon climate area, average elevation < 500 m; 3. 甜菜夜蛾低频暴发区或常规发生区，属于华南亚热带地区。境内有山地、丘陵、盆地、台地、平原、海岛和海域。东部海拔在 300~800 m 之间，少数山峰超过 1 000 m；西部海拔多在 1 000~1 500 m，少数在 2 000 m 以上；该区属热带、亚热带季风气候，高温多雨，冬暖夏长，干湿季节比较分明，年降水量一般为 1 200~2 000 mm。The low or common frequency outbreak area of the beet armyworm belongs to the south of China of subtropical area. In the territory there are mountains, hills, basins, plateaus, plains, islands and waters. Eastern elevation between 300–800 m, a few peaks exceed 1 000 m; west elevation more in 1 000–1 500 m, 2 000 m or more in a few; that belonged to the tropical and subtropical monsoon climate, hot and rainy summer and winter long, wet and dry compare distinct seasons, the annual precipitation is generally 1 200–2 000 mm. 4. 图中“+”号，表示甜菜夜蛾暴发年，“+”号越多表示暴发年频次越多。The “+” in the chart is the outbreak year of the beet armyworm, the more “+” show that the more times, the beet armyworm outbreak have taken.

按中国地势图（中国地理地图集编委会，2012）分析，甜菜夜蛾间歇性高频暴发的三角形区域主要属于第三级阶梯低海拔地势，即平均海拔低于 500 m。也有极少部分（向西部延伸部分）属于第二级阶梯中海拔地势，即平均海拔间于

1 000~2 000 m 之间，其中有高原和盆地，但主要发生在盆地。而在第一级阶梯高海拔地区（4 000 m 以上）则未见有甜菜夜蛾暴发的记录。

2.4 中国甜菜夜蛾间歇性高频暴发地区的气候特征

2.4.1 温度特征 活动积温是划分温度带的主要指标, 中国从北到南可以划分为 5 个温度带 (崔读昌, 1999 ; 金帛, 2005) 寒温带、中温带、暖温带、亚热带和热带。经与中国 5 个温度带地区分布图对比分析, 甜菜夜蛾间歇性高频暴发的三角形区域主要属于暖温带 $3\,400^{\circ}\text{C}\leq$ 活动积温 $\leq 4\,500^{\circ}\text{C}$ 和亚热带地区 $4\,500^{\circ}\text{C}\leq$ 活动积温 $\leq 8\,000^{\circ}\text{C}$ 。

2.4.2 降水和湿度特征 划分干湿地区的依据是 (崔读昌, 1999) : 降水量与蒸发量的对比关系, 即当降水量>蒸发量: 为①湿润地区(年降水量>800 mm)或②半湿润区(400 mm≤年降水量<800 mm)。当降水量<蒸发量则为③半干旱区(200 mm≤年降水量<400 mm)和④干旱地区(年降水量<200 mm)。中国干湿地区三条分界线为: 800 mm 等降水量线、400 mm 等降水量线和 200 mm 等降水量线。经与中国四类干湿地区分布图对比分析, 中国甜菜夜蛾间歇性高频暴发的三角形区域主要属于湿润地区(年降水

量≥800 mm)和半湿润区(400 mm<年降水量<800 mm)。

2.4.3 季风区特征 习惯上, 以大兴安岭-阴山-贺兰山-巴颜喀拉山-冈底斯山脉为界, 把中国分为季风区与非季风区 (金帛, 2005)。季风区受夏季风影响明显, 降水丰富, 主要集中在夏季; 非季风区受海陆位置、地形因素的制约, 夏季风难以到达, 降水稀少, 全年比较干旱。经与中国季风区与非季风区分布图对比分析, 中国甜菜夜蛾间歇性高频暴发的三角形区域属于季风区内。

2.4.4 气候类型特征 中国气候复杂多样, 既有多种多样的温度带, 又有多种多样的干湿地区, 加上中国地势高低悬殊, 地形多样, 更增加了中国气候类型的复杂多样。综合温度高低和降水量多少, 气象学家将中国分为 5 个气候类型区 (中国地理地图集编委会, 2012) (表 4, 图 5)。经与中国主要的气候类型分布图 (图 4) 对比分析, 中国甜菜夜蛾间歇性高频暴发的三角形区域属于亚热带和温带季风气候区。两个气候区的共同特点是夏季高温多雨, 冬季低温少雨或寒冷干燥。

表 4 中国主要的气候类型区与甜菜夜蛾暴发频次状况对比
Table 4 Status comparison with the major climate type and outbreak frequency of the beet armyworm in China

气候类型 Climate type	气候特点 Climate character	分布 Distribution	代表性城市 Typical city	甜菜夜蛾暴发频次 Outbreak frequency
热带季风气候 Tropical monsoon climate	全年高温, 分干湿两季 High temperature, drought and wet season	雷州半岛、海南岛、台湾、云南南部 Leizhou Peninsula, Hainan Island, Taiwan, Southern Yunan	海口、三亚、高雄等 Haikou, Sanya, Gaoxiong, etc.	中频 Media frequency
亚热带季风气候 Subtropical monsoon climate	夏季高温多雨, 冬季低温少雨 High temperature and rainy in summer, low temperature and less rainfall in winter	秦岭-淮河以南 South of Qinling-Huai River	广州、武汉、上海、重庆、杭州、南京等 Guangzhou, Wuhan, Shanghai, Chongqing, Hangzhou, Nanjing, etc.	高频 High frequency

温带季风气候 Extratropical monsoon climate	夏季高温多雨， 冬季寒冷干燥 High temperature and rainy in summer, cold and drying in winter	秦岭-淮河以北 North of Qinling-Huai River	北京、天津、 哈尔滨、济南等 Beijing, Tianjin, Ha'erbin, Ji'nan, etc.	中频 Media frequency
续表 4 (Table 4 continued)				
气候类型 Climate type	气候特点 Climate character	分布 Distribution	代表性城市 Typical city	甜菜夜蛾暴发频次 Outbreak frequency
温带大陆性气候 Temperate continental climate	夏季炎热，冬季寒冷， 全年干旱少雨 Torridity in summer, cold in winter, drought and less rainfall in whole year	新疆大部、 内蒙古高原西部 Greater part of Xinjiang, west part of Inner Mongolia plateau	乌鲁木齐等 Urumchi, etc.	低频 Low frequency
高原、山地气候 Plateau and mountain climate	气候垂直变化明显， 气温随高度升高而减低 Significant and vertical changes in climate, lower temperature associated with higher height	青藏高原大部 Greater part of Tibetan Plateau	拉萨、西宁等 Lasa, Xining, etc.	低频 Low frequency

2.5 中国甜菜夜蛾暴发频度的寄主作物特征

将表 1 中 1956—2008 年 52 年的甜菜夜蛾暴发的年频次，按寄主种进行统计（表 4），由表 4 可知，中国甜菜夜蛾有暴发记录的寄主作物以蔬菜和棉花两大作物为主，其次有豆类（大豆、蚕豆）、旱粮（玉米、花生）、花卉（菊花）、糖类（甜菜）、牧草（苜蓿）、茶树等。其中蔬菜包括豆科（豆角）、十字花科（白菜等）、茄科（辣椒）、百合科（大葱、香葱）、芦笋、菠菜、槟榔芋等。按作物类别统计，有甜菜夜蛾暴发记录的作物种类及其暴发次数见表 5 其中以蔬菜报道的暴发次数最多，达 83 次，占全国总次数（121）的 68.60%，其次是棉花，共计 35 次，占全国总次数（121）的 30.0%，棉花和蔬菜之和达 96 次，占总次的 84.2%。可见，尽管有诸多文献报道甜菜夜蛾食性杂，寄主种类多，但最易发生甜菜夜蛾暴

发的作物主要还是蔬菜和棉花。

2.6 中国甜菜夜蛾暴发频度的季节性特征

将表 1 中 1956—2008 年 52 年间甜菜夜蛾的暴发记录，按暴发季节开始月和结束月进行统计，结果列于表 6。表 6 结果显示，中国甜菜夜蛾暴发的季节性特征是，以一年中 7、8、9、10 月为主要暴发季节，特别是开始月以 7 月为主，其次为 8 月，结束月则以 9 月为主，其次为 8 月和 10 月。也有极少数地区可于 4~6 月间或 11 月间进入开始月。

3 讨 论

江幸福和罗礼智(2010)根据甜菜夜蛾的迁飞特性以及不同发育阶段的过冷却能力和耐低温能力，并结合我国地理气候区划，初步将甜菜夜蛾在我国的越冬区划分为不能越冬区（1 月份—4℃等温线以北的广大地区）、可能越冬区（1

月份-4~12℃等温线之间的广阔地区) 和常年活动区(1 月份 12℃等温线以南地区) 3 类。这种划分无疑为我国甜菜夜蛾暴发频度的地理差异性提供了一定的解释性依据, 但由于缺乏实际的全国性多年系统调查资料, 所以仍难以从理论上明确或预测未来我国甜菜夜蛾暴发的可

能发生区。

本文运用非传统方法, 通过统计 1956—2008 年的 52 年中大尺度甜菜夜蛾暴发年频次, 较为系统地分析比较了中国甜菜夜蛾间歇性暴发频度的地理、寄主及季节性分布特征。主要观点如下:

表 5 中国甜菜夜蛾暴发总“年频次”按作物种类统计表(1956—2008)

Table 5 The statistic form of total year-frequency on beet armyworm outbreak according to crop types

作物类别 Crop category	作物名称 Crop name	记录次数 Outbreak frequency	作物类别 Crop category	作物名称 Crop name	记录次数 Outbreak frequency
豆类 Bean	大豆 Soybean	2	蔬菜 Vegetable	芦笋 Asparagus	3
豆类 Bean	蚕豆 Broad bean	2	蔬菜 Vegetable	花椰菜 Cauliflower	2
旱粮 Dry crop	玉米 Corn	1	蔬菜 Vegetable	豆角 Snap bean	1
花卉 Flower	菊花 Chrysanthemum	1	蔬菜 Vegetable	槟榔芋 Pinang-taro	2
花卉 Flower	花卉 Flower	1	蔬菜 Vegetable	辣椒 Pepper	3
糖类 Sugar	甜菜 Sugarbeet	4	蔬菜 Vegetable	复合蔬菜 Compound vegetable	46
牧草 Forage	苜蓿 Alfalfa	1	蔬菜 Vegetable	棉花, 蔬菜 Cotton and vegetable	15
茶树 Tea plant	茶树 Tea plant	2	棉花 Cotton	棉花 Cotton	20
蔬菜 Vegetable	大葱 Welsh onion	5	棉花 Cotton	(棉花, 蔬菜)* Cotton and vegetable	(15)*
蔬菜 Vegetable	香葱 Shallot	3	其它作物 Other crops	其它作物 Other crops	4
蔬菜 Vegetable	白菜 Cabbage	3	合计 Total		121

*此数值为重复“蔬菜”项目中的“棉花蔬菜”项数值, 故未计入“合计”项中。

The result has been totaled in the “vegetable”-“cotton vegetable”, then it is not added to the “total”.

表 6 中国甜菜夜蛾暴发总“年频次”按暴发开始月和结束月统计表(1956—2008)

Table 6 The form of total year-frequency on beet armyworm outbreak of statistics according to the month of outbreak starting and ending

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计 Total
暴发开始月频次数 Outbreak-frequency of begin month	0	0	0	1	3	7	74	32	2	0	2	0	121
暴发结束月频次数 Outbreak-frequency of end month	0	0	0	0	0	2	1	30	69	17	2	0	121

1. 初次以“年暴发频度”为评价指标,提出了划分中国甜菜夜蛾发生轻重区的相对标准,同时,运用聚类分析方法选择其临界值,将甜菜夜蛾在中国大陆发生的地理区划分为三类暴发区,即低频暴发区、中频暴发区和高频暴发区,并提出了各类暴发区所对应的行政区域(省级)和经纬度坐标区域。与传统的“害虫分布区”概念相比,更具应用性和可操作性,从而为中国高层植保部门制定全国性或区域性甜菜夜蛾的综合防治总策略和总方案提供了更为具体的依据。

2. 运用“年暴发频度”大小与其分布之相应地区的地形地势特征和气候特征进行对照分析,提出了中国甜菜夜蛾中高频暴发区的地形地势特征为平原区,且主要发生在华北平原区和长江中下游平原区,两地平均海拔均低于 500 m。而这两个区域所对应的气候特征则分别为:前者属于暖温带区, $3\ 400^{\circ}\text{C} \leq \text{活动积温} \leq 4\ 500^{\circ}\text{C}$ 、半湿润区(年降水量 400 mm 以上)和温带季风气候区;后者则属于亚热带地区 ($4\ 500^{\circ}\text{C} \leq \text{活动积温} \leq 8\ 000^{\circ}\text{C}$),湿润区(年降水量 800 mm 以上),亚热带季风气候区。两个区域的共同特点是:都属于季风气候区,即夏季高温多雨,冬季低温少雨(崔读昌, 1999)。结合本文前述甜菜夜蛾大暴发季节主要发生在 7—10 月夏秋高温季节特征,进一步印证了前人关于甜菜夜蛾属喜温性物种的观点(江幸福和罗礼智, 1999;陈宗麒等, 2010)。值得注意的是,文献虽然报道,甜菜夜蛾大暴发年大多属高温干旱年(敖成光等, 2002;朱亮等, 2010),但是在中国西北大片常年干旱地区并没有甜菜夜蛾大暴发的记录。

3. 适宜寄主的存在是甜菜夜蛾暴发的必备条件。本文分析表明,甜菜夜蛾虽然取食多类农作物,但是主要发生大暴发的作物仍是蔬菜和棉

花两大类,这进一步说明,华北平原区和长江中下游平原区除气候条件适合甜菜夜蛾大发生外,还种植有大量的棉花和蔬菜为甜菜夜蛾提供了必备的适宜食物条件,因而导致甜菜夜蛾经常大发生。

4. 值得注意的是,中国华南地区诸省关于甜菜夜蛾大暴发的文献记录虽然较少,但笔者认为,这并不能表明这些地区不暴发甜菜夜蛾,而可能是因为:1) 这些地区长期发生严重,没有明显的大小年之分,所以就没有所谓暴发与不暴发年之说;2) 甜菜夜蛾在这些地区发生与其他更重要的害虫(如小菜蛾、斜纹夜蛾)相比并不显得特别突出,一般在防治后者的同时也防治了甜菜夜蛾,所以人们感觉不到特别严重的年份;3) 由于这些地区的蔬菜生产者大多为商业性规模生产,生产管理者对害虫防治过程和环节特别谨慎,不容害虫对蔬菜造成重大损失,故在害虫测报和防治技术方面足以有能力将甜菜夜蛾种群数量控制在暴发数量以下。

5. 华北平原区和长江中下游平原区,均位于大兴安岭-太行山-雪峰山脉连线的东侧(崔读昌, 1999),这是否与甜菜夜蛾迁入虫源地可能来源于东南亚国家以及迁飞路线受至山脉的阻隔以至难以扩展至该山脉西侧地区有关,值得迁飞研究者加以研究探讨。

综上所述,中国甜菜夜蛾大暴发地区或暴发年的综合条件应该是:客观上有迁入(或本地越冬)的有效虫源,有适宜的寄主作物蔬菜或棉花,有高温适湿的气候条件;主观上未进行准确的中长期预测预报,未采取有效的预防措施。因此,进一步明确甜菜夜蛾大暴发的综合条件,开发准确的中、长期预测预报技术,提前采取有效的预

防措施, 是抑制甜菜夜蛾大暴发的必由之路。

参考文献 (References)

- Bianchi FJ, Vlak JM, Werf WD, 2002. Evaluation of the control of beet armyworm, *Spodoptera exigua*, with baculoviruses in greenhouses using a process-based simulation model. *Biol. Control*, 24(3): 277–284.
- False SS, Sayyed AH, Ahmad I, 2010. Effect of host plants on life-history traits of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Pest Sci.*, 83(2): 165–172.
- Kheyri M, 1976. Investigation on outbreak of the beet armyworm *Spodoptera exigua* Hb. (Lepidoptera, Noctuidae) [title translated from Philippine]. *Entomol. Phytopathol. Appl. Plant Pests Dis. Res. Inst.*, 42: 1–15.
- Kurdov M, 1986. Forecast of an outbreak of *Spodoptera exigua* population in Turkmenistan. *Izvestia Akademii nauk Turkmenskoi SSR. Seriya biologicheskikh Nauk*, (1): 25–28. (in Russia).
- Sumerford DV, 2003. Larval development of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on artificial diet and cotton leaves containing a *Bacillus thuringiensis* toxin: heritable variation to tolerate Cry1AC. *The Florida Entomologist*, 86(3): 295–299.
- Underwood N, 2011. Density dependence in insect performance within individual plants: induced resistance to *Spodoptera exigua* in tomato. *Oikos*, 119(12): 1993–1999.
- 敖成光, 王金良, 朱晓群, 姜伟峰, 2002. 甜菜夜蛾灾变原因及农业防治技术. 长江蔬菜, (5): 17–18. [Ao CG, Wang JL, Zhu XQ, Jiang WF, 2002. The disaster causes of *spodoptera exigua* and its agricultural control technology. *Yangtze River Vegetable*, (5): 17–18.]
- 陈宗麒, 李志敏, 袁琼芬, 徐光辉, 金振华, 毕艳芳, 陈福寿, 王燕, 2010. 昆明地区甜菜夜蛾种群动态与成灾原因初析. 长江蔬菜, (18): 72–75. [Chen ZQ, Li ZM, Yuan QF, Xu GH, Jin ZH, Bi YF, Chen FS, Wang Y, 2010. Study on the population dynamics of *spodoptera exigua* and outbreak reason in Kunming. *Journal of Changjiang Vegetables*, (18): 72–75.]
- 崔读昌, 1999. 中国农业气候学. 杭州: 浙江科学技术出版社. 235–280. [Cui DC, 1999. *China Agriculture Climatology*. Hangzhou: *Zhejiang Science and Technology Press*, 235–280]
- 何书元, 2003. 应用时间序列分析. 北京: 北京大学出版社. 1–332. [He SY, 2003. *Application time series analysis*. Beijing: *Peking University Press*, 1–332.]
- 江幸福, 罗礼智, 1999. 甜菜夜蛾暴发原因及防治对策. 植物保护, 25(3): 32–33. [Jiang XF, Luo LZ, 1999. Outbreak reasons of *spodoptera exigua* and its control strategy. *Plant Protection*, 25(3): 32–33.]
- 江幸福, 罗礼智, 2010. 我国甜菜夜蛾迁飞与越冬规律研究进展与趋势. 长江蔬菜, (18): 36–37. [Jiang XF, Luo LZ, 2010. Progress and tendency on migration and overwintering of beet armyworm (*Spodoptera exigua*) in China. *Journal of Changjiang Vegetables*, (18): 36–37.]
- 金帛, 2005. 图说中国. 北京: 五洲传播出版社. 19–20. [Jin B, 2005. *China in diagrams*. Beijing: *China International Press*. 19–20.]
- 罗礼智, 曹雅忠, 2000. 甜菜夜蛾发生危害特点及其趋势分析. 植物保护, 26(3): 37–39. [Luo LZ, Cao YZ, 2000. The occurrence and damage analysis of the characteristics of *spodoptera exigua* and its tendency. *Plant Protection*, 26(3): 37–39.]
- 石尚, 文礼章, 2010. 不同地理区域甜菜夜蛾生存发育和繁殖力的对比分析. 长江蔬菜, (18): 47–54. [Shi S, Wen LZ, 2010. Comparative analysis of development, survival and fecundity of *spodoptera exigua* among different geographical area. *Journal of Changjiang Vegetables*, (18): 47–54.]
- 司升云, 周利琳, 王少丽, 江幸福, 许再福, 慕卫, 王冬生, 王小平, 陈浩涛, 杨亦桦, 吉训聪, 2012. 甜菜夜蛾防控技术与示范——公益性行业(农业)科研专项“甜菜夜蛾防控技术与示范”研究进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1432–1438. [Si SY, Zhou LL, Wang SL, Jiang XF, Xu ZF, Mu W, Wang DS, Wang XP, Chen HT, Yang YH, Ji XC, 2012. Progress in research on prevention and control of beet armyworm, *spodoptera exigua* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1432–1438.]
- 苏宏华, 宋彬, 李丽, 陆永威, 杨益众, 2012. 甜菜夜蛾的抗性及其抗性机理研究进展. 应用昆虫学报, 49(6): 1659–1663. [Su HH, Song B, Li L, Lu YW, Yang ZY, 2012. Occurrence and resistance status of the beet armyworm, *spodoptera exigua* (Hübner). *Cotton Science*, 49(6): 1659–1663.]
- 王静爱, 2007. 中国地理教程. 北京: 高等教育出版社. 611. [Wang JA, 2007. *China geography tutorial*. Beijing: *Higher Education Press*. 611]
- 文礼章, 张友军, 2010. 中国甜菜夜蛾大尺度暴发频度与广域温度和广域降雨量关系的预测模型. 昆虫学报, 53(12): 1367–1381. [Wen LZ, Zhang YJ, 2010. Modelling of the relationship between the frequency of large-scale outbreak of the beet armyworm, *spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and the wide-area temperature and rainfall trends in China. *Acta Entomologica Sinica*, 53(12): 1367–1381.]
- 文礼章, 张友军, 朱亮, 王少丽, 肖强, 杨中侠, 2011. 我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动. 生态学报, 31(11): 1367–1381.]

- 2978–2989. [Wen LZ, Zhang YJ, Zhu L, Wang SL, Xiao Q, Yang ZX, 2011. Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm *spodoptera exigua* (Hübner) in China. *Acta Ecologica Sinica*, 31(11): 2978-2989.]
- 张宇杰, 文礼章, 2010. 我国甜菜夜蛾为害寄主作物及发生季节与世代的地域性变动规律. 长江蔬菜, (18): 79–82. [Zhang YJ, Wen LZ, 2010. Host Crops and seasonal occurrences dynamic regulation of *spodoptera exigua* (Hübner) among different regions in China. *Journal of Changjiang Vegetables*. (18): 79–82.]
- 中国地理地图集编委会, 2012. 中国地理地图集. 北京: 中国大百科全书出版社. 236. [Geographic Atlas China editorial board, 2012. *Geographic Atlas China*. Beijing: China Encyclopedia press. 236.]
- 朱亮, 文礼章, 毕冰峰, 张钰, 许浩, 2010. 甜菜夜蛾暴发成灾的重要因子分析. 长江蔬菜, (18): 64–68. [Zhu L, Wen LZ, Bi BF, Zhang J, Xu H, 2010. Analysis of important factors of beet armyworm outbreak. *Journal of Changjiang Vegetables*, (18): 64–68.]