

江苏丰县甜菜夜蛾田间种群虫源性质分析

韩兰芝¹, 翟保平^{1*}, 戴率善², 张孝羲¹, 刘培磊^{1**}

(1. 南京农业大学昆虫学系, 南京 210095; 2. 江苏省丰县植保站, 丰县 221700)

摘要:通过观察甜菜夜蛾雌蛾的卵巢形态和结构变化, 将其卵巢发育进度分为五级, 即乳白透明期 (I)、卵黄沉积期 (II)、成熟待产期 (III)、产卵盛期 (IV) 和产卵末期 (V)。气候资料分析表明, 甜菜夜蛾在江苏丰县越冬存活率极低, 个别年份甚至不能越冬。根据当地积温预测的发蛾期远远迟于黑光灯灯下见蛾期, 表明初上灯蛾是外来迁入虫源。以卵巢解剖法对 2002 年江苏丰县田间种群虫源性质的研究表明, 2、3 代雌虫的交配率均在 80% 左右, III 级以上卵巢比例均高于 70%; 而 4 代甜菜夜蛾的交配率为 64.80%, II 级卵巢比例为 45.66%, 再结合当地的发蛾特征, 可知当年 2、3 代甜菜夜蛾主要以外地迁入为主, 4 代主要以本地虫源为主。根据 1998 年以来历年发蛾特征的分析, 表明甜菜夜蛾存在明显的迁飞现象。

关键词:甜菜夜蛾; 卵巢发育进度; 虫源性质; 迁飞

Analysis on the population status of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) in Fengxian, Jiangsu Province, China

HAN Lan-Zhi¹, ZHAI Bao-Ping¹, DAI Shuai-Shan², ZHANG Xiao-Xi¹, LIU Pei-Lei¹ (1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; Fengxian Plant Protection Station, Fengxian 221700, Jiangsu Province, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1388~1398.

Abstract: The beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), is a polyphagous pest with worldwide distribution in tropical and subtropical regions. A number of investigations have demonstrated that this species is a strong migrant, and in temperate areas, the initiation of outbreaks by immigrants has been well documented. In recent years, the beet armyworm has risen to the status of an economically important pest of many kinds of crop in China. It has become a problem especially in the north of the country, even though this species cannot survive the cold winters typically in that region. In order to improve forecasting of the inter- and intra-annual population fluctuations of this species, the status of field populations in Fengxian County (34.79°N, 116.57°E), Jiangsu Province, was studied during 2002 by winter climatic analysis, simulation of spring emergence of the overwintered generation, light trap monitoring, field population survey and ovarian dissecting of the light trap catches. Historical light-trap data for this site, extending back to 1998, were also included in the analysis.

Beet armyworm adult populations were monitored with a 20-W black-light light trap operated from early April to late October. All females trapped were dissected and graded according to the development status of their ovaries, and their mating status noted. Laboratory populations were used to develop the grading scale, using images obtained with an SMZ-143 digital dissecting microscope and enhanced with Cg2000 image-processing software. Five development grades were recognized: transparent (pupae less than 5 days old), vitellogenesis (late pupae and newly emerged moths), matured (2nd and 3rd day after emergence), egg-laying (4th and 5th day after emergence), and late egg-laying (6th day after emergence, and later). The pattern of moth occurrence indicates that four generations occurred at this location in 2002. Analysis of winter climatic data for

基金项目: 国家“十五”攻关课题资助项目 (2001BA50BP01)

收稿日期: 2003-09-28; 修订日期: 2004-03-28

作者简介: 韩兰芝 (1976~), 女, 山东郓城人, 博士, 主要从事昆虫生态学研究。E-mail: lzhan@sina.com

* 通讯作者: Author for correspondence, E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

** 现工作单位为农业部科技发展中心基因安全管理处

Foundation item: the National “Tenth Five-years Plan” Key Project on Science and Technology (No. 2001BA50BP01)

Received date: 2003-09-28; Accepted date: 2004-03-28

Biography: HAN Lan-Zhi, Ph. D., mainly engaged in insect ecology. E-mail: lzhan@sina.com

Fengxian showed that the survival rate of overwintering pupae would be very low, possibly zero. There was a large gap between the emergence time predicted by degree-day analysis and the first light-trap catches, which strongly suggested that the moths appearing early in the season (April) were immigrants. Mating rates and the proportion of matured ovaries in the 2nd and 3rd generation (July and August) were about 80% and more than 70% respectively, but fell to 65% and 54% in the 4th generation (late-August-October). This suggests that the 2nd and 3rd generations were predominantly immigrants in 2002, but that the 4th generation mainly emerged locally.

Key words: *Spodoptera exigua*; ovarian development; population status; migration

文章编号:1000-0933(2004)07-1388-11 中图分类号:Q968.1;S436.341.2+9 文献标识码:A

甜菜夜蛾是一种世界性害虫,它源于南亚,常年发生于亚热带地区,但在温带地区也经常大发生。1990 年代以来,甜菜夜蛾在我国已由次要害虫上升为农作物和经济作物上的主要害虫,并连续多年大发生,特别在华北地区,其猖獗危害之重前所未有。已有许多关于甜菜夜蛾远距离迁飞的报道^[1~3],但其迁飞规律还不清楚,这给当前的预测预报工作带来极大的困难。而阐明田间种群的虫源性质,是预测甜菜夜蛾年际间和代际间数量变化的基本前提。

目前判断迁飞昆虫的虫源性质主要有以下几种方法:(1)当地的气候条件是否适合昆虫越冬;(2)积温预测的发蛾期是否与诱虫灯见蛾期吻合;(3)根据迁飞昆虫的卵巢发育进度来判断;(4)种群是否出现大规模的突增突减现象。

陈若箴等根据褐飞虱的卵巢发育进度将高级别卵巢(Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ)所占比例>60%、交配率在 80%以上的虫源判为迁入虫源;反之Ⅰ、Ⅱ级卵巢比例>70%,交配率<40%的为迁出虫源^[4]。张孝羲等根据稻纵卷叶螟蛾卵巢发育状况和各代虫源性质之间的关系,将其虫源性质划分为 4 类,(1)基本迁入型,Ⅰ级卵巢比例近于 0,交配率>80%;(2)部分迁入型,Ⅰ级卵巢占 5%~10%,交配率 70%~80%;(3)本地繁殖型,Ⅰ级卵巢占 11%~40%,交配率 30%~70%;(4)大部分迁出型,Ⅰ级卵巢占>60%,交配率<30%^[5]。郑祖强等运用此法比较了江苏丰县和辽宁朝阳两地第二、三代棉铃虫的虫源性质,表明朝阳二、三代棉铃虫全部或部分从外地迁入,而丰县种群则以本地虫源为主^[6]。翟保平等根据起飞前后稻田内外稻水象甲成虫卵巢和飞行肌发育程度的比例变化推测其飞行活动的起始和种群特性的变化,并用于稻水象甲春季迁入活动的预测^[7]。本文通过系统解剖分析了江苏丰县(34.79°N, 116.57°E)甜菜夜蛾田间种群的虫源性质,以期对甜菜夜蛾的预测预报提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 不同日龄甜菜夜蛾蛹和成虫的解剖

- (1)蛹 剪开表皮,用解剖针将其固定在蜡盘中央并放少许水,用两把眼状镊扒开腹部,寻找纤细的卵巢。
- (2)成虫 剪去头胸部,将截下的腹部背面向上固定在蜡盘中并放少许水,用眼状镊轻轻拨开腹部,清除消化系统;从腹部末端找到交配囊、中输卵管和侧输卵管,然后从下到上将卵巢小管慢慢拉直并轻轻与体壁剥离;用清水稍微清洗一下,再用镊子将脂肪体清除,最后将解剖好的卵巢小心移入盛有清水的另一培养皿中,将卵巢管拉直并固定好,用 SMZ-143 数码解剖镜(麦克奥迪厦门公司)成像并存储为位图文件供以后分析及分级标准的划分。

1.2 甜菜夜蛾卵巢发育程度的分级

作者曾根据甜菜夜蛾室内种群的卵巢发育情况对分级标准做过描述^[8],现根据室内和田间甜菜夜蛾卵巢内部结构特征和交配情况等进一步整合,将其卵巢发育进度划分为 5 级(图 1):

I 级 乳白透明期 卵巢小管细长、无色透明,卵粒不清晰;腹腔内充满大量乳黄色的长圆形脂肪体。此级别出现在蛹期(5 日龄蛹前)。

II 级 卵黄沉积期 卵巢小管逐渐伸长,卵粒清晰,呈白色或淡黄色;本级后期,卵巢小管底部已有黄白色的成熟卵粒,但中输卵管和侧输卵管无卵粒;未交配,极少数交配 1 次;腹腔内仍充满大量脂肪体,在田间大多数卵巢小管的端丝呈红色。此级别出现在末日龄蛹和羽化第 1 天的蛾中。

III 级 成熟待产期 卵巢小管长而粗,中、侧输卵管和卵巢小管中充满大量的成熟和未成熟卵粒,且排列紧密,无空隙;大部分交配囊内有精包;脂肪体数量有所减少。此级别主要出现在羽化第 2~3 天的蛾中。田间雌蛾部分卵巢小管的端丝仍呈红色,且怀卵量远远低于室内雌蛾。

IV 级 产卵盛期 卵巢小管开始变短,卵巢管柄消失,卵巢小管和中、侧输卵管内的成熟卵粒稀疏,留有空隙;交配囊内大多有 1~2 个精珠,少数 3 个;脂肪体明显减少且成丝状。此级别主要出现在羽化第 4~5 天的蛾中。田间雌蛾部分卵巢小管的端丝仍呈红色。

V 级 产卵末期 卵巢小管很短,成熟卵粒排完或残留极少数;卵巢小管壁松弛,中、侧输卵管萎缩;交配囊内大多含 2~3 个精珠;腹腔内的脂肪体极少或消失。此级别出现在羽化 6~8d 的蛾中。

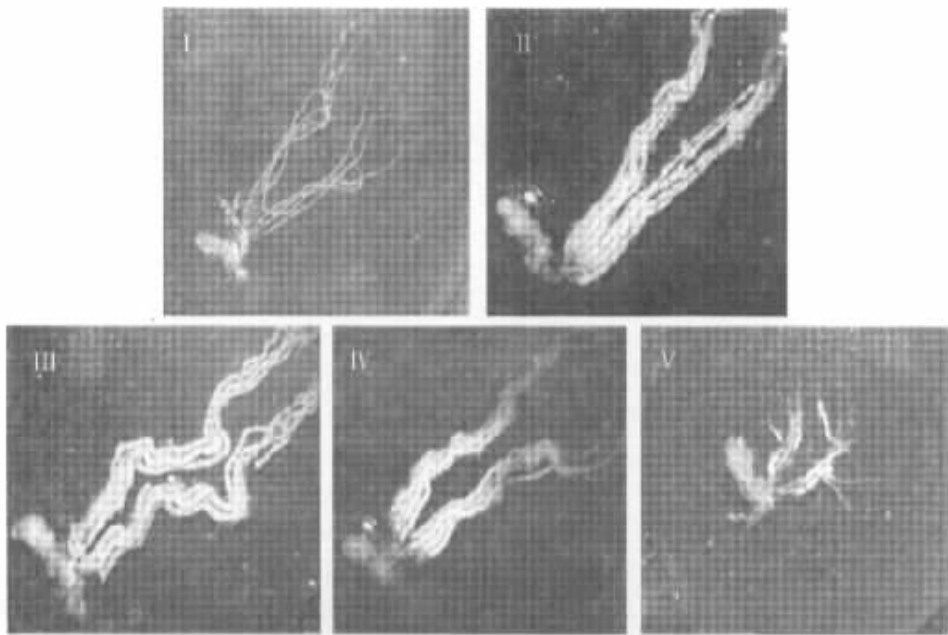


图 1 甜菜夜蛾卵巢发育分级图 (放大倍数 $10\times 0.5\times 1$)

Fig. 1 Ovarian development grading scale for beet armyworm(magnifying $10\times 0.5\times 1$ times)

I 乳白透明期,II 卵黄沉积期,III 成熟待产期,IV 产卵盛期,V 产卵末期

I Transparent stage;Ovarioles are thin,long and transparent and contain no eggs;abdominal cavity filled with rat;II Vitellogenesis stage: Large yoke deposited into chorionated eggs,No eggs in median and lateral oviducts. Still much fat in abdominal cavity,Moths mainly still virgin;III Matured stage;Ovarioles are crammed with many eggs without gaps,Most moths have copulated and have spermatophores in some bursa copulatrix;IV Egg-laying stage;Ovarioles becoming short and number of eggs present is reduced due to many eggs having been laid;There are 2~3 spermatophores in most bursa copulatrix and an obvious decrease in the amount of thread-like fat;V Late egg-laying stage;No or a few eggs in shout and small ovarioles,Walls of ovarioles are slack and medium oviduct shrunken;Fat has almost disappeared

1.3 甜菜夜蛾在江苏丰县的越冬气候分析

根据江幸福等^[9]的报道,蛹在 5℃低温下持续 16.2d 后其死亡率可达 50%,持续 29.4d 的死亡率达 90%;在 0℃下死亡 50%和 90%的持续时间分别为 9.5d 和 16.8d,而在-5℃下死亡 50%和 90%的持续时间分别为 2d 和 5.8d^[9]。因此,江苏丰县当年的越冬虫源基数与前一年 12 月份和当年 1、2 月份的气温密切相关。以 1997~2002 年为例,普查丰县每年 12 月到翌年 2 月的月均温和日均温,分析甜菜夜蛾在当地的越冬状况。

1.4 发蛾期预测

根据甜菜夜蛾蛹的发育起点温度和有效积温^[10]及丰县的气温资料,预测越冬代蛾的理论发蛾期。

1.5 田间诱蛾与雌蛾卵巢发育进度

在丰县市郊区蔬菜田安装一盏 20W 标准黑光灯,每天早晨检查灯下成虫数量、性比,并解剖其中的 30 头雌蛾,不足 30 头则全部解剖,直至发蛾末期为止。

1.6 田间种群虫源性质分析

如以本地虫源为主,发蛾前期和蛾峰期的卵巢均以低级别为主,交配率低,以后卵巢级别和交配率均逐步上升;如是迁入种群,发蛾初期和蛾峰期均有相当多的成熟个体,卵巢级别多数达Ⅲ级以上(所占比例>70%),交配率高(>70%);如是迁出种群,那么卵巢级别始终以低级别的未成熟个体为主。

1.7 气象资料及分析

丰县的地面要素资料由丰县气象站提供,全国地面资料取自国家气象局气候中心出版的地面气象记录月报光盘版,气候分析参考国家气候中心的年度天气气候分析报告和月分析报告^[11~15]。

2 结果与分析

2.1 甜菜夜蛾在江苏丰县的越冬状况

1997/1998 冬季平均气温与常年相比,北方大部一般偏高 1~2℃,为自 1987 年度以来连续第 12 个暖冬,但 1 月份气温起伏变化较大,受两次中等强度冷空气的影响,中旬气温急剧下降,全国旬平均气温大范围偏低 2~3℃,其中东北、华北、西北等地的部分地区偏低 4~5℃。从表 1 可知,丰县气温连续<0℃的最长天数 1997 年 12 月为 4d(本月除了 5 日、16 日和 18 日外日均温都≤5℃),1998 年 1 月为 13d,其中 1 月 15~21 日 7d 的平均气温为 -5.9℃,本冬季处于连续≤5℃低温状态的天数共 54d(1997 年 12 月 19 日至 1998 年 2 月 10 日,不含 12 月份连续<0℃的 4d),故 1998 年当地越冬虫源的存活率极低。

受全球气候异常的影响(1997/1998 的强厄尔尼诺事件),1998 年是近一个多世纪以来中国最暖的一年(年气温距平达 1.38℃)^[16]。1999 年我国出现了连续第 13 个暖冬,冬季平均气温偏暖范围之广、偏暖幅度之大均为近 50a 之最。但丰县 1999 年 1 月气温连续<0℃的天数仍达 9d(表 1),连续≤5℃的天数为 22d(含连续<0℃的 9d);1998 年 12 月上旬和中旬初 12d 的平均气温为 1.04℃,其中 12 月 1 日和 12 日分别为 3.4℃和 3.0℃,其余均<2.2℃,含本月<0℃的 4d;本冬季共出现连续低温 12d 和 30d(1998 年 12 月 1~12 日、12 月 24 日至 1999 年 1 月 22 日),可知 1999 年甜菜夜蛾越冬虫源的死亡率仍在 90%以上。

表 1 江苏丰县 1997~2002 年冬季气温

Table 1 Air temperature in Fengxian from December to February, 1997~2002									
年份 Year	1 月份 January			2 月份 February			12 月份 December		
	月均温 (℃)	<0℃ 天数(d)	连续<0℃的 最长天数(d)	月均温 (℃)	<0℃ 天数(d)	连续<0℃的 最长天数(d)	月均温 (℃)	<0℃ 天数(d)	连续<0℃的 最长天数(d)
	Mean	Days	Duration	Mean	Days	Duration	Mean	Days	Duration
	monthly temperature	below 0℃	continuously below 0℃	monthly temperature	below 0℃	continuously below 0℃	monthly temperature	below 0℃	continuously below 0℃
1997	—	—	—	—	—	—	2.5	6	4
1998	-0.7	17	13	4.6	1	1	3.1	4	2
1999	2.2	9	9	5.1	0	0	2.5	5	5
2000	-1.5	23	20	2.2	6	4	3.9	0	0
2001	-0.1	13	6*	2.9	3	3	0.8	12	8
2002	2.7	3	2	6.4	0	0	—	—	—

* 2001 年 1 月出现 2 次连续 6d 的日均温<0℃ Occurred twice

在持续了 13 个暖冬后,我国 1999/2000 冬季气温转为正常。1999 年 12 月中旬后期至下旬初受强冷空气影响,全国出现大范围剧烈降温。其中 15~23 日强冷空气过程使华北南部、黄淮、江淮等地的气温下降了 6~10℃。正是在这次强冷空气过程中,丰县 12 月 19~23 日连续 5d 出现 0℃以下的日均温(-3.6℃,-5.3℃,-5.4℃,-4.6℃,-1.8℃)。2000 年 1 月,我国大部地区持续严寒,淮河、洪泽湖区全线封冻;本月丰县月均温为 -1.5℃,气温连续<0℃的最长天数长达 24d(1 月 12 日~2 月 4 日)(表 1),其中 1 月 25~27 日 3d 的平均气温为 -5.8℃,1 月 30~31 日 2d 的平均气温为 -5.25℃。另有 1999 年 12 月 24 日至 2000 年 1 月 11 日和 2 月 5~26 日两个时段(19d 和 22d)的日均温连续≤5℃,这样,在这个冬季共有连续 72d(1999 年 12 月 17 日至 2000 年 2 月 26 日)处于对甜菜夜蛾越冬种群非常不利的低温状态,可见本地越冬虫源在 2000 年有可能全军覆没。但当年的诱蛾量并不比往年少,且 9 月 1 日和 11 日的单灯诱蛾量达 3000 头以上,说明当地的甜菜夜蛾是由外地迁入的。

2001 年冬季又是一个暖冬。2000 年 12 月,华北大部、黄淮、江淮等地区偏高 2~4℃,晋豫苏皖的月均温分别为 1961 年以来同期最大或次大值,本月丰县未出现日均温<0℃的情况,但连续≤5℃的天数达 23d(2000 年 12 月 19 日至 2001 年 1 月 10 日)。2001 年 1 月,冷空气活动频繁,气温变化较大,黄淮地区中旬的旬均温偏低 3~5℃。随着 6~16 日的较强冷空气过程和 23~28 日的弱冷空气过程,丰县 2001 年 1 月分别在 11~16 日和 24~29 日各出现一次日均温连续 6d 低于 0℃(表 1),当月月均温也在 0℃以下(-0.1℃)。本冬季共有连续 59d(2000 年 12 月 19 日至 2001 年 2 月 14 日)处于低温状态,因此可推测 2001 年丰县越冬虫源的存活率也很低。

2001、2002 冬季的全国平均气温比常年同期偏高 1.4℃,仅次于 1999 年冬季,为近 50 多年来第 2 个最暖的冬天。这次暖冬的特点是:初冬偏冷,隆冬和后冬异常偏暖。2001 年 12 月,丰县气温连续<0℃的最长天数为 8d(表 1),是这几年中 12 月份最冷的一年。2002 年 1 月,全国大部地区月均温明显偏高,其中,黄淮大部、江淮等地区偏高 2~4℃。本月丰县气温连续<0℃的天数只有 2d(表 1),但连续≤5℃的天数达 20d(1 月 15 日~2 月 3 日)。本冬季出现连续低温的时段有两个,即 2001 年 12 月 2 日至 2001 年 1 月 15 日和 1 月 15 日~2 月 3 日(20d),由此推测 2002 年的本地虫源基数可能与 1999 年相似但更低些。

2.2 积温预测的发蛾期与黑光灯见蛾期比较

由黑光灯诱蛾资料可知,甜菜夜蛾在江苏丰县一年发生 4 代,从 2、3 代起开始出现世代重叠(表 2)。4 月上旬至 5 月中旬为越冬代,蛾峰期在 4 月下旬至 5 月上旬;6 月上旬至 7 月上旬为 1 代蛾发生期,蛾峰期在 6 月中下旬;2 代蛾发生期为 7 月上旬至 8 月上旬,蛾峰期为 7 月中下旬;3 代蛾发生期为 7 月下旬至 9 月上旬,蛾峰期为 8 月中下旬;4 代蛾发生期为 9 月上旬至 10 月下旬,蛾峰期为 9 月中旬。根据蛹的发育起点温度和有效积温预测的甜菜夜蛾春季羽化时间远远迟于灯下见蛾期(表 3),而灯下见蛾期前 10d 江苏丰县的平均气温低于蛹的发育起点温度(如 1999、2000 和 2001 年)。因此可推测初始上灯蛾是从外地迁入的。

表 2 甜菜夜蛾世代划分(江苏丰县, 1998~2002 年)

Table 2 Beet armyworm generations at Fengxian established by light trap catches (1998~2002)

代次 Generation	年份 Year	日期 Date	始盛 Rise	高峰 Peak	盛末 Fall	全代累计诱蛾量 Total catches
越冬代 Overwintering generation	1998	04-20~05-17	04-23	05-01	05-06	49
	1999	04-23~05-11	05-01	05-04	05-06	21
	2000	04-07~05-07	04-25	04-29	05-04	36
	2001	04-19~05-19	04-15	05-04	05-14	23
	2002	04-01~05-04	04-02	04-03	04-30	17
第 1 代 1st generation	1998	06-04~07-15	06-16	06-21	06-29	382
	1999	06-05~06-29	06-07	06-17	06-21	375
	2000	06-02~06-30	06-03	06-16	06-24	180
	2001	06-01~06-30	06-11	06-20	06-25	253
	2002	06-04~06-30	06-10	06-19	06-27	131
第 2 代 2nd generation	1998	07-19~08-04	07-24	07-25	07-29	599
	1999	06-30~07-27	07-16	07-20	07-24	1042
	2000	07-08~07-27	07-10	07-17	07-23	347
	2001	07-04~07-28	07-12	07-18	07-22	4402
	2002	07-01~07-29	07-13	07-20	07-24	645
第 3 代 3rd generation	1998	08-06~09-06	08-14	08-17	08-25	12798
	1999	07-28~08-28	08-01	08-17	08-24	3012
	2000	07-28~08-25	08-09	08-17	08-23	6151
	2001	07-29~08-28	08-09	08-18	08-23	8883
	2002	07-31~08-29	08-09	08-13	08-20	16597
第 4 代 4th generation	1998	09-07~10-20	09-09	09-12	09-19	2984
	1999	08-30~10-27	09-05	09-10	09-11	5898
	2000	08-26~10-29	08-30	09-08	09-15	22301
	2001	08-29~10-28	09-07	09-14	09-18	8687
	2002	08-30~10-27	09-02	09-14	09-28	8603

2.3 丰县 2002 年甜菜夜蛾卵巢发育进度与虫源性质分析

由 1.2 可知,甜菜夜蛾与夜蛾科的其它种类不同,其Ⅰ级卵巢出现在蛹期,Ⅱ级卵巢也仅出现在羽化第 1 天的蛾子中;在解剖中还常见到Ⅱ级卵巢的蛾子已交配过,说明甜菜夜蛾羽化当天即可交配;故在判定虫源性质时只有Ⅱ级卵巢可作为低级别卵巢,并以Ⅱ级卵巢的比例和交配率为据。

2002 年江苏丰县各代甜菜夜蛾卵巢发育解剖结果如表 4 所示。丰县 2~3 代甜菜夜蛾的交配率均为 80%左右,2、3 代蛾子Ⅲ级以上卵巢的比例分别为 86.0%和 72.9%,表明 2~3 代以外地虫源迁入为主。第 4 代甜菜夜蛾的Ⅱ级卵巢比例为 45.7%,交配率也不到 65%,因而推测其种群以本地虫源为主。

从每一句次的解剖结果来看(表 5),在 2、3 代发生期,7 月上旬和 8 月下旬的交配率和Ⅲ级以上卵巢的比例均高于 70%,7 月中、下旬的交配率和高级卵巢比例均在 80%以上,8

表 3 积温预测的甜菜夜蛾发蛾期与黑光灯灯下见蛾期

Table 3 Predicted emergence date of *Spodoptera exigua* and earliest captures in the light trap

年份 Year	积温预测的发蛾期 Emergence date predicted by degree-days	灯下见蛾期 Date of Earliest captures in light trap
1998	04-28	04-19(16.6℃)
1999	05-05	03-31(7.0℃)
2000	05-01	04-06(14.0℃)
2001	05-08	04-08(11.8℃)
2002	05-12	04-12(14.5℃)

* 甜菜夜蛾蛹的发育起点温度和有效积温分别为 15.1℃和 73.8 日度,括号内为见蛾期前 10d 的平均气温 The threshold temperature and the effective cumulative temperature for the pupae of *Spodoptera exigua* are 15.1℃ and 73.8 degree-day respectively. Temperatures in parentheses show the 10day averages before the capture date

月上、中旬的交配率也高于 80%,Ⅲ级以上卵巢比例在 70%以上,可见丰县 2、3 代甜菜夜蛾属于大部迁入型。第 4 代的主要发生期为 9 月份,9 月上旬的交配率为 69.3%,Ⅱ级卵巢比例为 33.1%,属于少量迁入、大本 地繁殖型;但自 9 月中旬始,交配率明显降低,Ⅱ级卵巢比例超过 50%,故属于本地繁殖型。

表 4 各代灯诱甜菜夜蛾卵巢系统解剖(江苏丰县,2002 年)

代次 Generation	雌蛾 Female	雄蛾 Male	剖蛾数 Females dissected	交配率(%) Mated ratio	卵巢发育各级比例(%) Ovarian development grades ^①			
					II	III	IV	V
越冬(04-01~05-04)Overwintered	2	15	2	50	—	—	—	—
1st (06-04~06-30)	46	85	29	79.3	—	—	—	—
2nd (07-01~07-29)	310	335	215	84.2	14.0	4.2	25.6	56.3
3rd (07-31~08-29)	8932	7665	812	79.8	27.1	8.7	25.7	38.4
4th (08-30~10-27)	3624	4979	830	64.8	45.7	5.2	20.1	29.0

① See figure 1

表 5 逐旬灯诱甜菜夜蛾卵巢系统解剖(江苏丰县,2002 年)

日期 Date	雌蛾 Female	雄蛾 Male	交配率(%) Mated ratio	卵巢发育各级比例(%) Ovarian development grades %			
				II	III	IV	V
07-01~07-10	37	31	78.8	27.3	3.0	12.1	57.6
07-11~07-20	181	106	86.6	10.2	3.2	22.1	64.6
07-21~07-31	92	200	83.3	15.0	6.7	36.7	41.7
08-01~08-10	2451	1391	83.3	28.5	6.9	26.4	38.2
08-11~08-20	5306	5263	80.5	28.7	8.6	26.1	36.6
08-21~08-31	1692	1423	75.6	26.3	9.7	22.2	44.1
09-01~09-10	1248	1392	69.3	33.1	2.8	17.4	46.7
09-11~09-20	1012	1483	60.1	55.4	5.7	22.5	16.4
09-21~09-30	487	1023	56.7	52.9	11.0	17.2	18.6

* 逐日解剖上灯蛾中的 30 头雌蛾,不足 30 头则全部解剖 30 females were dissected every day, If fewer than 30 females were caught, all were dissected

再从 4 代甜菜夜蛾灯下蛾峰日(图 2)的交配率和Ⅱ级卵巢比例(图 3)来看,09-02 日(324 头)、09-09 日(374 头)、09-17 日(518 头)、09-26 日(145 头)、09-28 日(174 头)上灯蛾的交配率和Ⅱ级卵巢比例分别为 16.7%、90%、40%、63.3%、40%、80%、40%、63.3%、25%、75%。故可推测四代甜菜夜蛾在 9 月份有相当一部分个体外迁。

2.4 丰县 1998~2002 年发蛾特征分析

1998 年丰县 2 代甜菜夜蛾的迁入峰期出现在 7 月 23~27 日,5d 上灯 449 头,全世代上灯蛾 648 头。如前所述,当年越冬种群的越冬存活率很低,但 8 月中旬仍出现一个很大的突增(图 4)。首先,8 月 4 日和 9 日的两次降雨(51mm 和 29.2mm)后出现两个小的迁入峰,8 月 5 日灯下见蛾 128 头,10 日 116 头;接着,8 月 12 日(上灯 7 头)之后连续突增,13~16 日的灯下蛾量分别为 612、1880、1873 和 2776 头;到 8 月 20 日仍有 440 头。与此次突增过程相对应,8 月 12~15 日的分别降雨 37.8、29.4、6.8 和 36.0mm,可见这次突增是随降雨而出现的迁入事件。4 代发生期只有一个较大的上灯峰(9 月 10 日,521 头),累计诱蛾量为 2984 头。当年 5 月上旬和下旬及 8 月上中旬丰县雨量异常偏多,距平高达 52.6mm、43.6mm 和 120.3mm(图 5)。充沛的降水带来了连续的迁入峰(3 代发生期累计诱蛾达 12798 头,为历史同期次高值),但土壤水分含量过大也影响蛹的存活和正常羽化,还可能对成虫的生殖力也有不利影响,从而使前期迁入的甜菜夜蛾种群的存活率大大降低,当年田间甜菜夜蛾的发生危害只达到中等程度。

1998 年 7 月,20 世纪最强的 1997~1998 年厄尔尼诺事件刚刚结束,1998~1999 年冬季,20 世纪 80 年代以来最强的一次拉尼娜事件形成(持续 18 个月)。受其影响,自 1998 年秋季始,我国北方大部及江淮区降水持续偏少(减少 5~9 成),冬春连旱、夏秋连旱,部分地区出现了 1949 年以来最严重的干旱。丰县地处黄淮区,从 1998 年 8 月下旬到 1999 年 2 月,连续 6 个多月降水出现负距平;1999 年 6~8 月及 9 月上旬又是连续 3 个月多月的降水负距平(图 5,表 6)。本年度丰县甜菜夜蛾的迁入峰期出现较早,一代蛾方量 13 日有一小峰(82 头),2、3 代蛾 7 月 15 日见第 1 峰(107 头),此后又有 23 日(149 头)、29 日(285 头)、8 月 3 日(238 头)、7 日(205 头)、17 日(206 头)、21 日(202 头)和 24 日(288 头)几个峰(图 4);其中 2 代累计见蛾 1042 头,3 代 3012

头(表 2)。1999 年 9 月副高异常偏强,全国南北在上旬末至中旬初出现高温酷热的秋老虎天气,不少地方创下了 50a 来历史同期的最高纪录;丰县也在 9 月 8~10 日连续 3d 出现 30℃左右的日均温(图 6),恰在这期间出现一个明显的甜菜夜蛾突增过程:9 月 8 日上灯 16 头,第 2 天突增至 3376 头,第 3 天又降到 328 头;到 13 日,整个突增过程中灯下共见蛾 4200 头(图 4);9 月 12~17 日的一次强冷空气过程使得气温下降了 5~10℃,9 月 14 日丰县降水 20.7mm,灯下仅见蛾 3 头,此后每天灯下蛾量也都在 10 头以下。4 代甜菜夜蛾累计诱蛾量达 5898 头。持续高温干旱的气候条件使丰县甜菜夜蛾 1999 年大暴发。

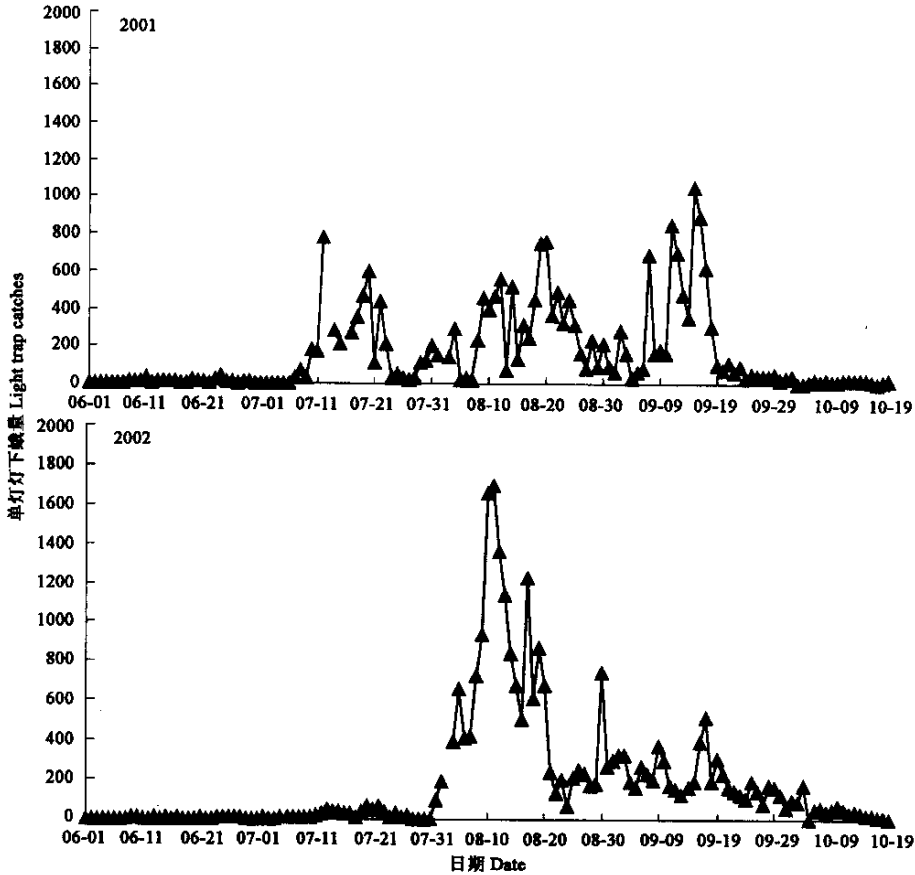


图 2 江苏丰县甜菜夜蛾突增峰次(2001~2002 年)
Fig. 2 Peak immigrations of *Spodoptera exigua* in Fengxian, 2001~2002

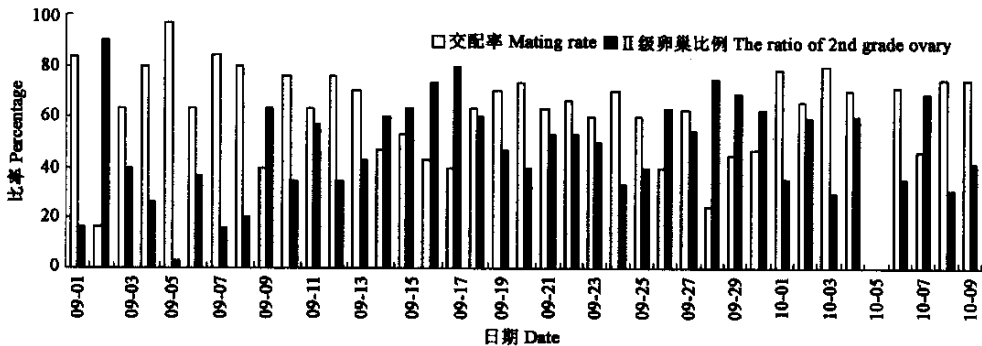


图 3 江苏丰县四代甜菜夜蛾上灯蛾的交配率与Ⅱ级卵巢的比例(2002 年 9~10 月)

Fig. 3 Mating rate and proportion of 2nd grade of ovarian development for *Spodoptera exigua* caught at light trap in Fengxian, September ~October 2002

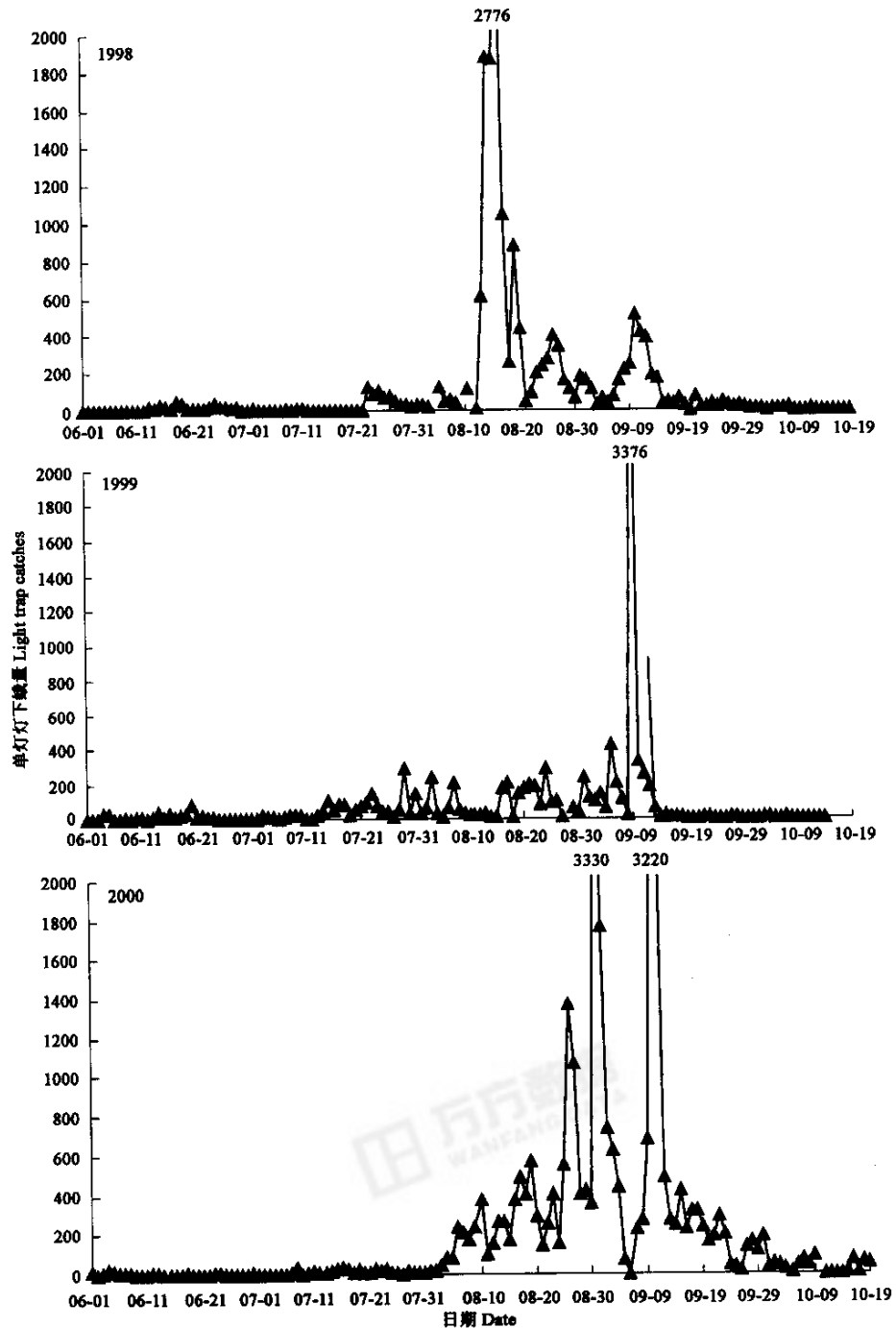


图 4 江苏丰县甜菜夜蛾突增峰次(1998~2000 年)
Fig. 4 Peak immigrations of *Spodoptera exigua* in Fengxian, 1998~2000

1998 年 10 月形成的强拉尼娜事件于 1999 年 1 月达到峰值后,春季减弱,秋季加强,到 2000 年 1 月再次达到峰值并于春季结束。受其影响,我国在经历了 1999 年的大旱之后,2000 年又遭受了罕见的全国性的干旱,特别是北方地区春夏季遭遇多年来罕见的特大干旱,为 1949 年以来干旱最严重的年份之一。持续的高温干旱致使当年蝗虫、棉铃虫和甜菜夜蛾大发生。2000 年甜菜夜蛾的迁入峰期出现偏晚,自 8 月初开始迁入蛾量才日渐增多。从 8 月上旬中到中旬中,每日灯下蛾量都在 400 头以下;此后到下甸中,每日蛾量在 600 头以下;这期间的峰日包括 8 月 6 日(240 头)、10 日(382 头)、13 日(270 头)、19 日(570 头)、23 日

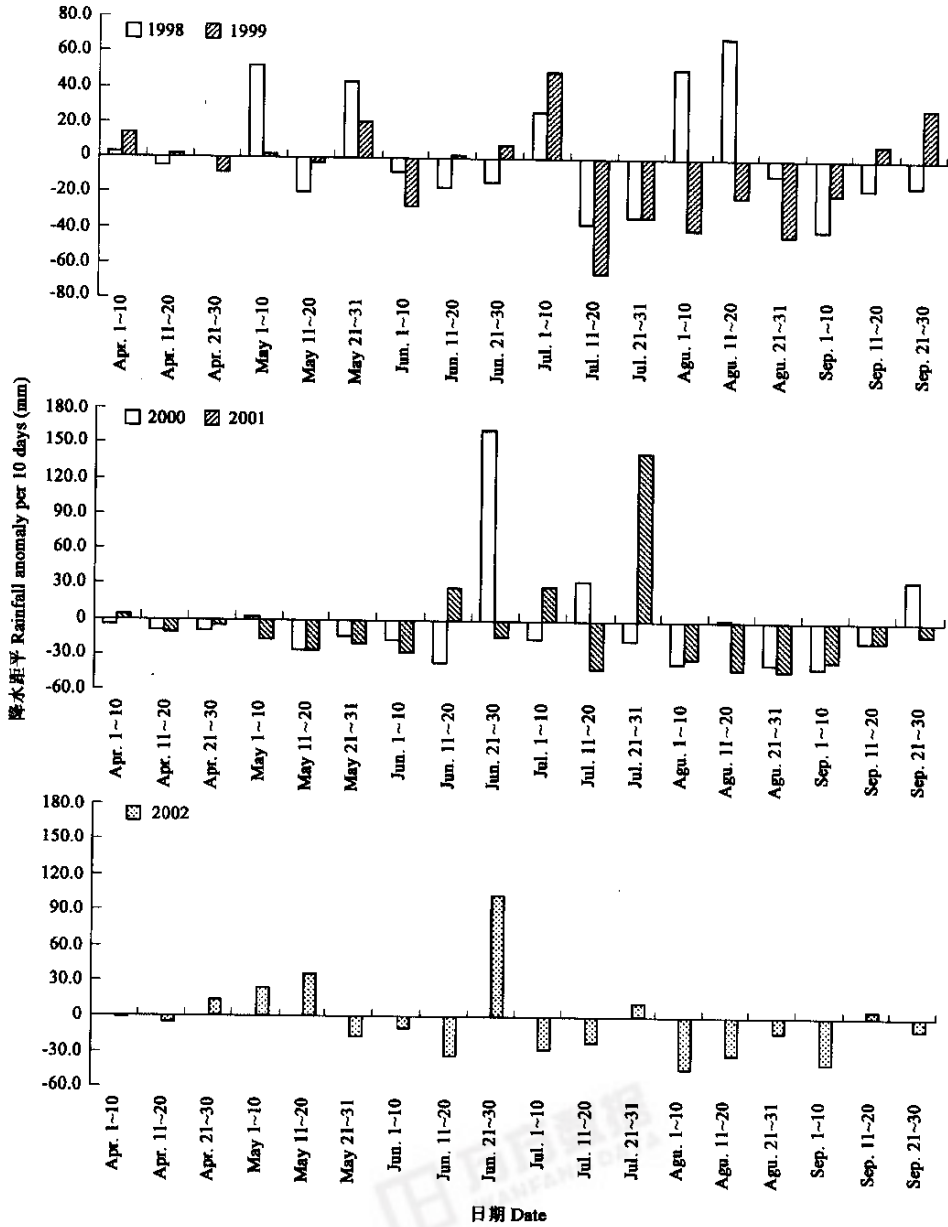


图5 江苏丰县 1998~2002 年甜菜夜蛾发生期逐旬降水距平

Fig. 5 Rainfall anomaly for 10-day periods from spring to autumn in Fengxian, 1998~2002

(408 头),此间灯下共见蛾 5397 头。8 月 26 日出现了 1375 头蛾子的上灯峰,31 日又见 3330 头的突增峰,这个峰期灯下见蛾 11334 头;9 月 10 日再次突增 3220 头,第 2 天上灯 2400 头,峰期内见蛾 7567 头。此后,又有 9 月 15 日(426 头)、17~18 日(318 头)、22 日(292 头)和 30 日(190 头)几个小迁入峰,共上灯 3505 头(图 4)。从 2.1 可知,丰县 2000 年越冬虫源未能过冬,但本年度甜菜夜蛾 3 代累计上灯量 6151 头,4 代累计见蛾 22301 头(当地历史最高纪录);丰县 2000 年 3~9 月份的月均温一直是正距平,降水除 6 月外,7 月中旬和 9 月下旬外全是负距平(图 5),

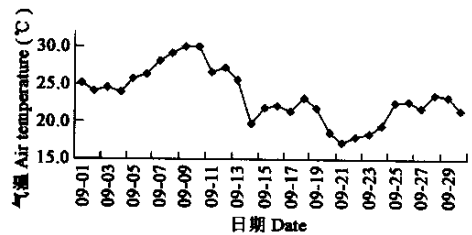


图6 江苏丰县 1999 年 9 月逐日平均气温

Fig. 6 Mean daily air temperature in Fengxian in September 1999

长期的高温干旱使其大发生种群得以形成并猖獗为害。

2001 年是我国在 1999 年和 2000 年连续大旱之后的又一个特大旱灾年,尤其是北方地区又一次遭受了旱魔的严重威胁,甜菜夜蛾再次暴发。2001 年自 2 月开始降水持续偏少,华北大部、黄淮大部等地区 2 月至 6 月上旬总降水量一般只有 30~80mm,比常年同期偏少 4~7 成,为 1949 年以来同期最少的一年。自 8 月开始气温持续偏高,北方大部继春旱或伏旱之后又出现了不同程度的秋旱,8 月上旬至 10 月中旬降水量一般不足 200mm(偏少 5~7 成)。丰县从 4 月中旬到 6 月上旬降水一直是负距平,8 月中旬到 9 月上旬又是连续负距平,但在 6 月中旬、7 月上旬和下甸分别出现了 27.1mm、29.4mm 和 142.7mm 的正距平(图 5)。6、7 月份的多雨使本年度甜菜夜蛾的迁入峰期大大提前,7 月中旬初便开始一波又一波地迁入,虽然每波迁入量较大且峰次密集但突增不明显(图 2)。2、3 代发生期出现了 7 月 12 日(782 头,7 月 10~11 日降水 73.8mm)、20 日(597 头)、22 日(435 头)、31 日(206 头,30 日降水 87.2mm)、8 月 4 日(299 头)、12 日(561 头)、14 日(517 头)、19~20 日(751 和 763 头)、24 日(443 头)和 28 日(230 头)几个较大的迁入峰(图 2),迁入蛾量达 12885 头;其中 2 代蛾迁入量创历史纪录,累计 4402 头,比常年平均蛾量(1990 年代之前,428 头)大一个数量级;3 代见蛾量也仅次于 1998 年,累计 8883 头(表 2)。4 代有 9 月 2 日(288 头)、7 日(695 头)、11 日(854 头)和 15 日(1053 头)4 个峰次,全代累计诱蛾 8687 头,上灯蛾量仅次于 2000 年。

表 6 江苏丰县 1998、1999 年的月降雨量

Table 6 Monthly rainfall for Fengxian in 1998 and 1999															
年 Year	1998					1999									
月 Month	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨量(mm) Rainfall	241.6	0	13.5	2.3	5.5	1.6	1.5	35.6	34.4	82.6	60.3	79.3	24.2	80.3	53.9
距平(mm) Anomaly	129.5	-70.4	-30.6	-20.9	-6.1	-13.9	-13.9	4.4	4.1	22.0	-32.1	-63.2	-87.9	9.9	9.8

我国北方地区继 1999~2001 年连续 3a 大旱之后,2001 年 12 月下旬至 2002 年 3 月华北大部、黄淮中北部等广大地区又出现了严重的春旱,7 月份中东部地区再次出现大范围的夏秋连旱。2002 年度,除了 4 月下旬到 5 月中旬及 6 月下旬和 7 月下旬外,丰县的降水一直是负距平(图 5),甜菜夜蛾也再次大发生。本年度甜菜夜蛾的迁入峰期偏晚,虽然 2 代蛾在 7 月 13 日(48 头)和 20 日(64 头)有过两个小峰,但直到 8 月上旬才开始大规模迁入,并创当地甜菜夜蛾迁入虫量的历史最高纪录(3 代累计见蛾 16597 头,见表 2)。3 代甜菜夜蛾的大发生种群由四波连续的迁入峰构成(图 2),其主峰持续了长达 10d 之久(8 月 7 日~16 日),上灯蛾量达 9953 头。4 代也有 4 个上灯峰,累计诱蛾 8603 头。2002 年没有明显的种群突增突减现象,但种群持续增长,而且随着本地虫源基数的增加,外地虫源所占比例逐渐降低,到 4 代蛾即以本地虫源为主。

3 讨论

3.1 Feng 等报道,2001、2002 连续两年在河北廊坊用昆虫雷达观测到甜菜夜蛾秋季南迁,根据卵巢解剖结果分析,认为甜菜夜蛾存在远距离迁飞现象^[17]。根据 5a 的发蛾特征分析和 2002 年卵巢解剖结果分析,同样可以认定甜菜夜蛾是一种远距离迁飞性害虫。这主要体现在种群存在大规模的突增突减现象,2、3 代雌蛾的交配率和高级别卵巢比例均高于 70%,而 4 代雌蛾则相反,这也说明甜菜夜蛾田间种群前期主要以外地迁入为主,后期则主要以本地虫源为主,并有相当一部分个体在秋后将外迁。

3.2 甜菜夜蛾在江苏丰县的越冬死亡率很高,某些年份甚至不能越冬,因此丰县甜菜夜蛾的前期田间种群也应是来自外地迁入的。冯殿英报道甜菜夜蛾可以在华北地区越冬,但越冬存活率非常低(0.48%)^[18],与本文的结论基本相符。有效积温预测的越冬代蛾发蛾期与灯下见蛾期存在时间差,而且见蛾期前 10d 的平均气温低于越冬蛹的发育起点温度 15.1℃,可知灯下始见蛾是从外地迁入的。越冬代蛾发蛾期上灯零星而田间查不到虫,故尽管积温法有一定的局限性,但与卵巢解剖、越冬气候分析和发蛾特征分析等相互印证,也不失为一种有力的旁证。另外,设施农业也许会形成早于当地越冬种群羽化期的始见蛾,但丰县地处经济不发达的苏北地区,不多的保护地不会造成怎样的影响,也不可能形成如此稳定的越冬代灯下蛾量(表 2)。

3.3 由生命表资料可知,甜菜夜蛾的产卵前期非常短,26℃下仅 2.6d,29℃仅 1.8d^[10]。从迁飞性昆虫一般的生理特征来看,甜菜夜蛾似乎不可能进行远距离迁飞。但从室内吊飞结果来看,交配和未交配条件下甜菜夜蛾的飞行能力没有显著差异;交配后的 7 日龄蛾吊飞 12h 的平均飞行时间为 5.73h,最长仍可达 12h^①。由此可见,甜菜夜蛾具有独特的迁飞生理和行为而不存在“卵子发生与飞行共轭”,因而有别于其它典型的迁飞性昆虫。沙漠蝗(*Schistocerca gregaria*)、枞色卷蛾(*Choristoneura fumiferana*)、小地老虎(*Agrotis ypsilon*)等也都无卵子发生与飞行共轭现象,在产卵过程中和产卵之后仍能继续迁飞^[19~21]。

3.4 2003 年主要降水带位置偏北,梅雨期及出梅后的一段时间里长江以北大部降水偏多,淮河流域发生严重洪涝。在江苏省,

—— 万方数据 ——
① 韩兰芝.甜菜夜蛾迁飞的生态机制研究.南京农业大学博士学位论文,2004,140.

沿江苏北地区许多市县梅雨期的总降水量超过了 500mm,达到了历史同期平均值的 3 倍左右。丰县 4~7 月份有 6 次暴雨或大暴雨过程,是常年同期的 5 倍;其中 7 月中旬 6d 连续降雨,全县 4.8 万 hm^2 农田受淹,1.3 万 hm^2 蔬菜、棉花、玉米因多日积水而死苗、改种;长时间、大面积土壤水分饱和和状态导致甜菜夜蛾蛹大量死亡,因而 2003 年度丰县甜菜夜蛾发生极轻,其 2、3 代均是有记载的近 6a 中最轻的一年。2 代灯下蛾量为常年的 1.2%,田间难见 3 代卵块,普查 3 代残虫,多数寄主未查到,仅在其嗜食芦笋上查见幼虫 2.7 头/百株,是 2002 年同期虫量的 3.4%。但位于苏南的吴江市的甜菜夜蛾却大发生,因当地梅雨季节的雨量雨日仅为常年的三分之一,出梅后又遭遇了 50a 未见过的高温干旱气候,而梅期雨量少、出梅后遇持续高温干旱是甜菜夜蛾大暴发的触发因子。

References:

- [1] French R. A. Migration of *Laphygma exigua* to the British Isles in relation to large-scale weather system. *Journal of Animal Ecology*, 1968, **38**: 199~210.
- [2] Mikkola K. The interpretation of long-range migration of *Spodoptera exigua*. *Journal of Animal Ecology*, 1970, **39**: 593~598.
- [3] Mitchell E R. Migration by *Spodoptera exigua* and *S. frugiperda*. In: Rabb R L & Kennedy, eds. *Movement of highly mobile insects: concepts and methodology in research*, Raleigh: North Carolina State University, 1979, 386~393.
- [4] Chen J C, Cheng X N, Yang L M, et al. The ovarian development of the brown planthopper and it's relation to migration. *Acta Entomologica Sinica*, 1979, **22**(3): 280~288.
- [5] Zhang X X, Lu Z Q, Geng J G, et al. Research on migration route of rice leaf roller. *Acta Entomologica Sinica*, 1980, **23**(2): 130~140.
- [6] Zheng Z Q, Zhang X X, Xie J Y, et al. Flight capacity and facultative migration of the cotton bollworm. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11** (4): 603~608.
- [7] Zhai B P, Shang H W, Cheng J A. Classifying the ovarian development of Rice Water Weevil and its application. *Chinese Journal of Rice Science*, 1999, **13**(2): 109~113.
- [8] Han L Z, Zhai B P, Zhang X X, et al. Occurrence and damages of beet armyworm population in vegetable crops in Taicang. *Entomological Knowledge*, 2003, **40** (2): 1~5.
- [9] Jiang X F, Luo L Z, Li K B, et al. A study on the cold hardness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(10): 1575~1582.
- [10] Han L Z, Zhai B P, Zhang X X. Life table of the laboratory population of *Spodoptera exigua* (Hübner) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, **46** (2): 184~189.
- [11] Zhang Q. Some Characteristics of Weather/Climate in China in 1998. *Meteorological Monthly*, 1999, **25**(4): 26~29.
- [12] Sun L. Features of Weather/Climate over China in 1999. *Meteorological Monthly*, 2000, **26**(4): 20~24.
- [13] Chen Y. Features of Weather/Climate over China in 2000. *Meteorological Monthly*, 2001, **27**(4): 20~24.
- [14] Chen Y. Features of Weather/Climate over China in 2001. *Meteorological Monthly*, 2002, **28**(4): 29~33.
- [15] Lu J T. Features of Weather/Climate over China in 2002. *Meteorological Monthly*, 2003, **29**(4): 32~36.
- [16] Gong D Y, Wang S W. 1998: the warmest year on record of the century in China. *Meteorological Monthly*, 1999, **25**(8): 3~5.
- [17] Feng H Q, Wu K M, Cheng D F, Guo Y Y. Radar observation of the autumn migration of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, and other moths in northern China. *Bulletin of Entomological Research*, 2003, **93**: 115~12.
- [18] Feng D Y. The cold hardness of overwintered pupae of beet armyworm. In: CSPP, eds. *Advances in plant protection in China*. Beijing: China Sci-Tech Press, 1997, 262.
- [19] Schaefer G W. Radar observations of insect flight. In: Rainey R C, ed. *Insect Flight*. Oxford: Blackwell Scientific, 1976, 157~197.
- [20] Greenbank D O, Schaefer G W, Rainey R C. Spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) moth flight and dispersal: new understanding from canopy observations, radar, and aircraft. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 1980, **110**: 1~49.
- [21] Sappington T W, Showers W B. Reproductive maturity, mating status, and long duration flight behavior of *Agrotis ipsilon* (Lpidoptera: Noctuidae) and the conceptual misuse of the oogenesis-flight syndrome by entomologists. *Environmental Entomology*, 1992, **21**: 677~688.

参考文献:

- [4] 陈若簋,程遐年,杨联民,等. 褐飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. *昆虫学报*, 1979, **22**(3): 280~288.
- [5] 张孝羲,陆自强,耿济国,等. 稻纵卷叶螟迁飞途径的研究. *昆虫学报*, 1980, **23**(2): 130~140.
- [6] 郑祖强,张孝羲,谢俊英,等. 棉铃虫的飞行能力及兼性迁飞. *应用生态学报*, 2000, **11** (4): 603~608.
- [7] 翟保平,商晗武,程家安. 稻水象甲卵巢发育程度的分级及其应用. *中国水稻科学*, 1999, **13**: 109~113.
- [8] 韩兰芝,翟保平,张孝羲,等. 甜菜夜蛾在太仓菜田的发生与危害特征. *昆虫知识*, 2003, **40**(2): 136~140.
- [9] 江幸福,罗礼智,李克斌,等. 甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究. *生态学报*, 2001, **21**(10): 1575~1582.
- [10] 韩兰芝,翟保平,张孝羲. 不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究. *昆虫学报*, 2003, **46**(2): 184~189.
- [11] 张清. 1998 年我国天气气候特点. *气象*, 1999, **25**(4): 26~29.
- [12] 孙冷. 1999 年我国天气气候特点. *气象*, 2000, **26**(4): 20~24.
- [13] 陈峪. 2000 年我国天气气候特点. *气象*, 2001, **27**(4): 20~24.
- [14] 陈峪. 2001 年我国天气气候特点. *气象*, 2002, **28**(4): 29~33.
- [15] 陆均天. 2002 年我国天气气候特点. *气象*, 2003, **29**(4): 32~36.
- [16] 龚道溢,王绍武. 1998 年: 中国近一个世纪以来最暖的一年. *气象*, 1999, **25**(8): 3~5.
- [18] 冯殿英. 甜菜夜蛾越冬蛹的抗寒能力测定. 见: 中国植物保护学会主编. *中国植物保护研究进展*. 北京: 中国科学技术出版社, 1997. 262.