

甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究

江幸福, 罗礼智, 李克斌, 赵廷昌, 胡 毅

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100094)

摘要:研究了甜菜夜蛾不同虫态的过冷却点、耐低温能力、可能的越冬虫态及其越冬能力,并结合气象资料的分析,初步确定了我国甜菜夜蛾的越冬北界。甜菜夜蛾 3~5 龄幼虫的过冷却点较高,分别为 -11.17°C 、 -11.96°C 和 -10.50°C (平均 -11.21°C),预蛹期次之,为 -12.47°C ,蛹期最低,平均为 -17.16°C 。在 5°C 、 0°C 、 -10°C 和 -5°C 条件下,甜菜夜蛾各种虫态的 LT_{50} 、 LT_{90} 和 $LT_{99.9}$ 均随温度的降低而缩短,尽管不同虫态的耐低温能力有很大的差别。其耐低温能力由弱至强的排列顺序依次为卵<成虫<幼虫<蛹。这些结果表明,蛹是甜菜夜蛾的四个虫态中耐低温能力最强的,因而是最可能的越冬虫态。但由于蛹在 0°C 条件下的 $LT_{99.9}$ 为 38.06 d,表明甜菜夜蛾在冬季 0°C 以下的温度超过 38 d 的地区不能越冬。另外,连续两年冬春的田间试验结果表明,蛹在北京西郊越冬死亡率均为 100%,说明甜菜夜蛾在北京地区不能越冬。根据这些结果并结合我国气温的变化规律,初步将我国甜菜夜蛾的越冬北界定于北纬 38° 左右,即 1 月份 -4°C 等温线左右。

关键词:甜菜夜蛾;过冷却点;抗寒能力;越冬

A study on the cold hardiness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*

JIANG Xing-Fu, LUO Li-Zhi, LI Ke-Bin, ZHAO Ting-Chang, HU Yi (Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1575 ~ 1582.

Abstract: The beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hb.) is a long distance migratory insect. Although the species does not have diapause state during winter, its long distance migratory ability enable it to attack crops in temperate regions. In recent years the damage area for the species have broadened every year in China, however the overwintering conditions to survive during winter have been questioned. The study was undertaken to understand how well the beet armyworm survives cold temperature, to do this, we determined the supercooling points, degree of cold tolerance, field overwintering test and analyzed the geographic map for overwintering of the beet armyworm in China. The beet armyworm was provided by Hubei academy of agricultural science and reared in mass in laboratory at temperature $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 70% RH, and photoperiod L16:D8. Larvae were fed with fresh maize seedlings from larvae hatching to 2 instar, then transferred to glass tube at the density of 3~4 each tube and fed with artificial diets up to prepupal period, the moth were reared in pair in glass bottle of 850ml and fed with 5% honey(v/v) solution after eclosion. Supercooling points were measured with thermocouple instrument. The specimen were fixed to the thermocouple with plastic jaw. A thermocouple with an attached specimen was placed in low temperature box, the cooling rate was measured as $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. The data reflected the specimen temperature change then were put into computer, the cure diagram of temperature change was analyzed with computer and the data were analyzed by Duncan's multiple range test. Supercooling points of the beet armyworm were significantly different as the developmental stages varied. Pupae were with the lowest supercooling point (

基金项目: 国家“十五”攻关专题资助项目

收稿日期: 2000-09-29 修訂日期: 2001-04-15

万方数据

作者简介: 江幸福(1970~), 男, 安徽怀宁人, 博士, 助理研究员。主要从事昆虫害迁飞行为的生理、生态调控机制研究。

-17.16℃), followed by prepupae (-12.47℃) and the 3rd to 5th instar larvae (-11.12℃ in average) in an increasing order, suggesting that pupae is the most possible stage for hibernation of the beet armyworm. The viability of various developmental stages in beet armyworm was measured at low temperature of -10℃, -5℃, 0℃ and 5℃, respectively. Larvae and pupae were placed in a 12cm petri dish, About 15 larvae were placed in each petri dish, the bottom and top of petri dish were provided with filter paper for absorbing liquid materials from the specimen to prevent the possibility of inoculative ice nucleation and larvae escape. Eggs and adults were placed in a 850ml glass bottle, the bottom and top of glass bottle were provided with filter paper and 120 cohort gauze, respectively. The specimens at four low temperature were picked up every different period interval. About 1 000 eggs, 45 larvae, 30 pupae and 25 adults were picked up each time in a total of times. Survival of larvae and adults was determined 24h after recovering at temperature $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 70%RH, and photoperiod L16:D8. If specimens were able to move when they were prodded with forceps in the head, thorax and abdomen, they were considered alive. Survival of eggs and pupae was determined by hatch and emergence, respectively. Specimens were pretreated at 5℃ for 1h before subzero temperature (-10℃ and -5℃) bioassays were performed. The relationship between probit % mortality and natural log of exposure time was linear, indicating that probit analysis was appropriate for low temperature tolerance study. LT_{50} , LT_{90} , $LT_{99.9}$ are the period in days to 50%, 90% and 99.9% mortality for the developmental stage of beet armyworm at low temperature respectively. Capacity to survive low temperature also differed greatly as temperature and developmental stage of the beet armyworm varied. Mortality increased quickly as the tested temperature decreased from 5℃ to -10℃ with an interval of 5℃, regardless of developmental stages of the insect. Time needed to reach a given mortality of the tested individuals (i. e. LT_{90}) at all the tested temperature was usually shortened for the egg, adult, larva and pupa in an increasing order. The $LT_{99.9}$ for pupal stage were 11.0, 24.8, 38.1 and 67.9 days respectively as the temperature raised from -10℃ to 5℃ with an interval of 5℃, while for any other developmental stage was relatively smaller, depending on the stage they belonged to. These results reiterated that pupal stage is the most possible stage to overwinter in the temperate region. For further study, Pupa overwintering livability was measured with burying pupae in field. About 200 and 240 pupae were put into 850ml glass bottle containing soil with about 10% of water on December 30, 1997 and December 28, 1998, respectively, then the glass bottles were transferred to the field of Beijing suburban (39° 50'N). Survival of pupae was determined by emergence at temperature $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 70%RH and photoperiod L16:D8 next springs. The pupal mortality were 100% suggested all the pupae could not overwinter in Beijing. Based on the results obtained, it was presumably suggest that beet armyworm is not able to overwinter in areas where temperature below 0℃ exceed 38 days. The northern limit for overwintering of the beet armyworm is proximate at 38°N or the average low temperature in January is around -4℃. A geographic map for overwintering of the beet armyworm in China was also figured out by combined the results and temperature data, which provided an important bases for further investigating the relationship between the geographic populations of beet armyworm in the country.

Key words: *Spodoptera exigua*; supercooling points; cold hardiness; overwinter

文章编号: 1000-0933(2001)10-1575-08 中图分类号: Q969.436.4, S433.4, S435.66 文献标识码: A

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 是一种世界性农业害虫, 从北纬 40~57° 至南纬 35~40° 之间均有分布, 在亚洲、美洲、欧洲、澳洲及非洲均有为害的记录^[1]。在我国, 自 20 世纪 80 年代中后期以来, 甜菜夜蛾为害的地区逐年数据, 为害的程度也越来越严重。尤其是近年来, 甜菜夜蛾不仅连续多年在我国南方地区区和长江流域暴发为害^[2~7], 河南^[8]、河北^[9]、山东^[10]、山西^[11]等地也遭受甜菜夜蛾的严重为害。尽管各地

对该虫的抗寒及越冬能力的报道不相一致^[5~15],但已经明确甜菜夜蛾无滞育特性^[16]。在热带和亚热带地区能常年为害,我国台湾、广东、深圳等地一年发生 10~11 代,福建厦门地区一年发生 9~10 代,无越冬现象^[2~4]。长江流域和华北地区均有甜菜夜蛾以蛹或幼虫越冬的报道^[5~10],但这些地区的越冬死亡率仍不清楚。由于甜菜夜蛾的远距离迁飞能力能使其在一些温带地区暴发为害^[17]。因此这些地区的为害虫源是当地的越冬虫源,还是由别处迁飞而来仍存在疑问。为进一步明确甜菜夜蛾的抗寒能力,初步划分其在我国的越冬北界,并为甜菜夜蛾的迁飞研究奠定基础。作者在室内测定了甜菜夜蛾的过冷却点,耐低温能力并在北京市西郊进行了田间越冬试验,现将结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及饲养方法

所用虫源为 1996 年 9 月由湖北省农业科学院提供的甜菜夜蛾。在室内温度为 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度约 70%,光周期为 L16:D8 的条件下饲养。幼虫食物为自己研制的人工饲料^[18]。幼虫孵出后先用新鲜幼嫩的玉米苗饲养到 2 龄,然后转移到玻璃管($3.4\text{cm}^2 \times 10\text{cm}$)中用人工饲料饲养,每管接入发育较为一致的 2 龄幼虫 3~4 头。在饲养过程中,人工饲料不必更换,幼虫老熟时在原人工饲料中化蛹。成虫羽化后,配对置于 850ml 的玻璃瓶($65\text{cm}^2 \times 13\text{cm}$)内,每天饲以 5% 的蜂蜜水。

1.2 过冷却点的测定

将热敏电阻的测温探头固定在待测样品上,然后置于低温箱内,箱内温度以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率降温。样品温度的变化由数据采集器采集后输入计算机。计算机中相应的软件对数据进行自动记录、分析测试样品的温度变化,并绘出温度变化曲线图。测定时,样品温度随着环境温度的下降而逐渐降低,当降到一定温度时,昆虫体液开始结冰,此时的温度即为过冷却点。由于体液结冰而释放出凝固热,致使样品温度迅速升高,此后温度又逐渐下降。这样在温度变化曲线图上出现一个明显的峰形,其峰值即为结冰点。

1.3 低温条件下生存能力的测定

分别 -10°C 、 -5°C 、 0°C 和 5°C 4 种低温条件下测定甜菜夜蛾不同虫态的耐低温能力。 -10°C 和 -5°C 的测定是在低温恒温箱内进行, 0°C 和 5°C 的测定在冰箱内进行,其中, 0°C 用冰水混合物控温。待测样品(幼虫和蛹)置于直径为 12cm 的培养皿中,每皿放入幼虫约 15 头。培养皿底部放有滤纸,顶部夹盖吸水纸,以吸收样品在低温条件下释放出的水,并防止幼虫逃逸。卵和成虫置于 850ml 的玻璃瓶($65\text{cm}^2 \times 13\text{cm}$)内,底放入滤纸和 5% 的蜂蜜水,瓶口网上 120 目夹有吸水纸的尼伦纱。在各测定温度下按不同时间梯度分批取出待测样品。总共取 5~6 批,每批取出卵 1000 粒,幼虫 45 头,蛹 30 头,成虫 25 头左右,幼虫和成虫取出后在温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$,湿度约 70%,光周期为 L16:D8 的条件下恢复,24 h 后检查死亡率。卵和蛹则在上述条件下观察孵化和羽化情况。待测样品在 -10°C 和 -5°C 中测定之前于冰箱中(5°C)预冷 1h。

1.4 田间越冬试验

蛹的越冬存活率采用埋蛹法测定。将蛹置于装有含水量约 10% 的土粒的玻璃瓶中,每瓶约 40 头,重复 5 次。将玻璃瓶置于室外的浅坑内,瓶顶盖上玻璃板,并用蜡纸隔开缝隙(供通风用),玻璃板上盖一层约 2cm 厚的土层。埋蛹地点为北京市西郊野外($39^\circ 50' \text{N}$)。埋蛹时间分别为 1997 年 12 月 30 日和 1998 年 12 月 28 日,并分别于 1998 年 3 月 1 日和 1999 年 1 月 8 日、18 日、28 日检查蛹的存活情况。蛹在温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$,湿度约 70%,光周期为 L16:D8 的条件下羽化出成虫即为活蛹。

1.5 资料的统计分析

甜菜夜蛾不同虫态的过冷却点数据经方差分析统计差异显著后,用 Duncan 多重比较法进行差异显著性测定。其在低温条件下的生存能力采用机率值分析法。即昆虫在低温条件下的生存时间的对数值与死亡率的机率值呈线性关系^[19,20]。利用计算机软件分析甜菜夜蛾不同虫态分别在不同温度下的回归方程,并计算出 LT_{50} 、 LT_{90} 和 $LT_{99.9}$ 。

2 结果与分析

2.1 过冷却点与数据

对甜菜夜蛾可能越冬虫态(幼虫、预蛹和蛹)过冷却点的测定结果表明(表 1),不同虫态的过冷却点差

异显著($P<0.05$)。其中蛹的过冷却点最低,除 5 日龄蛹过冷却点明显低于 1 日龄蛹外,其它日龄的蛹无显著差异($P>0.05$)。整个蛹期过冷却点平均值为 -17.16°C ,预蛹期次之,3~5 龄幼虫过冷却点较高,平均值为 -11.21°C 。结冰点与过冷却点的变化趋势基本一致。即蛹期的结冰点最低,幼虫和预蛹期较高。从不同虫态的过冷却点与结冰点之间的温度差值来看,预蛹期温度差值最高(10.44°C),其次为蛹期(平均为 9.94°C),3~5 龄幼虫的平均温度差值也达到 7.98°C ,这表明甜菜夜蛾的过冷却现象非常明显。

表 1 甜菜夜蛾的过冷却点和结冰点*

Table 1 Mean supercooling and freezing points of the beet armyworm

虫态 Stages	样本数 No.	过冷却点($^{\circ}\text{C}$) Supercooling point	结冰点($^{\circ}\text{C}$) Freezing point
3 龄幼虫 3rd instar	22	-11.17 ± 2.79 de	-3.95 ± 1.57 a
4 龄幼虫 4th instar	21	-11.96 ± 1.66 cd	-4.00 ± 1.64 b
5 龄幼虫 5th instar	23	-10.50 ± 0.63 e	-1.75 ± 0.60 c
幼虫 Larvae	66	-11.21 ± 1.69	-3.23 ± 1.27
预蛹 Prepupae	9	-12.47 ± 1.71 c	-2.03 ± 1.51 c
1 日龄蛹 day 1	19	-17.55 ± 0.78 a	-7.54 ± 1.39 a
3 日龄蛹 day 3	21	-17.35 ± 0.71 ab	-6.94 ± 1.78 a
5 日龄蛹 day 5	9	-16.40 ± 0.35 b	-6.94 ± 1.14 a
7 日龄蛹 day 7	17	-17.32 ± 1.30 ab	-7.45 ± 3.38 a
蛹 Pupae	66	-17.16 ± 0.79	-7.22 ± 1.92

* 表中所列的数据为平均数±标准差 Data are presented as Mean±SD,同一列中具有不同字母的为 Duncan 多重比较差异显著($P<0.05$) Means in the same column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$)

2.2 耐低温能力

对甜菜夜蛾不同虫态在 4 种低温条件下的死亡率回归方程及有关死亡参数的分析结果表明,甜菜夜蛾在低温条件下的生存能力随着发育阶段的变化而有较大的差别(表 2)。在所观察的 4 个虫态中,耐低温能力由弱到强的顺序排列依次为卵<成虫<幼虫<蛹。卵在所有测试温度中,经 12 d 左右基本不能孵化。成虫在 -5°C 和 -10°C 中经过 6 d 左右即可全部死亡。幼虫在 -5°C 和 -10°C 中,生存能力较弱。蛹的生存能力最强,在 5°C 、 0°C 、 -5°C 、 -10°C 条件下死亡 99.9%需要的时间分别为 67.90 d、38.06 d、24.84 d 和 11.01 d。由此可见,蛹是甜菜夜蛾最有可能越冬的虫态之一,并且在冬季温度连续低于 0°C 的时间超过 38 d 的地区,甜菜夜蛾不能越冬。

另外,虽然甜菜夜蛾各虫态死亡到一定比例所需的时间均随温度的降低而缩短,但不同虫态在低温下的生存能力随温度的不同而有较大的变动。这种现象在幼虫期表现尤为明显,在 $0\sim5^{\circ}\text{C}$ 低温中,各龄幼虫和预蛹的生存能力很强,但温度低于 -5°C 时,生存能力迅速下降,尤其是 -10°C 的 $LT_{99.9}$ 值在各虫态中是最小的。

在所用的死亡参数中(LT_{50} , LT_{90} , $LT_{99.9}$),不同虫态的 3 个死亡参数值并非完全一致。如蛹期在 -10°C 中的 LT_{90} 和 $LT_{99.9}$ 均大于其它虫态的相应值,而 LT_{50} 小于相同温度的卵和 1~3 龄幼虫的。这说明尽管蛹在 -10°C 中死亡一半的时间稍小于卵和 1~3 龄幼虫,但死亡 90%和 99.9%的时间均大于卵和 1~3 龄幼虫的。从而也表明蛹的抗寒能力较强。所以在测试抗寒能力中应对 3 个死亡参数进行综合考虑。

2.3 越冬试验结果

既然过冷却点和耐低温能力的测定结果均表明,蛹是甜菜夜蛾最有可能越冬的虫态,那么甜菜夜蛾的蛹在野外的越冬能力如何呢? 1997 年冬在北京西郊的室外土表中埋入 200 头甜菜夜蛾蛹,1998 年春检查时发现埋入的蛹尽管蛹体颜色变黑,但均无成虫羽化(表 3)。为了进一步确定其野外越冬能力,又于 1998 年 12 月 28 日另取数据 200 头蛹,并分别于 10d、20d 和 30 d 时检查其存活情况。结果(表 3)发现所处理的蛹到检查之日已全部死亡。这些结果表明,甜菜夜蛾在北京野外不能越冬。

表 2 甜菜夜蛾不同发育阶段在低温下的死亡率回归方程 *

Table 2 Time-mortality lines in all stages of beet armyworm at selected low temperatures

虫态	温度(℃)	回归方程	LT_{50}	LT_{90}	$LT_{99.9}$
Stage	Temp.	Regression equation	Day	Day	Day
卵 Eggs	5	$y=6.4661x+1.0728$	4.05	6.39	12.17
	0	$y=6.3022x+1.4357$	3.68	5.87	11.37
	-5	$y=3.4795x+0.3575$	0.90	2.11	6.98
	-10	$y=2.7721x+2.5915$	0.31	0.89	4.01
1 龄幼虫 1st instar	5	$y=2.9515x+2.4427$	7.35	19.98	81.92
	0	$y=3.9057x+2.0346$	5.74	12.23	39.06
	-5	$y=8.1241x-10.2266$	3.12	4.49	7.49
	-10	$y=2.8690x+2.7470$	0.25	0.71	3.04
2 龄幼虫 2nd instar	5	$y=3.6350x+1.4097$	9.72	21.89	68.84
	0	$y=4.0107x+1.7063$	6.63	13.83	39.06
	-5	$y=6.6625x-6.2393$	2.03	3.16	5.90
	-10	$y=2.9398x+2.5671$	0.28	0.76	3.15
3 龄幼虫 3rd instar	5	$y=6.6645x-2.6793$	14.20	22.11	41.30
	0	$y=10.5902x-4.6849$	8.21	10.85	16.08
	-5	$y=12.5644x-16.8516$	2.29	2.89	4.03
	-10	$y=2.9591x+2.2746$	0.35	0.94	3.85
4 龄幼虫 4th instar	5	$y=7.8440x-4.3874$	15.73	22.92	38.97
	0	$y=7.1289x-1.9017$	9.29	14.06	25.21
	-5	$y=24.9168x-38.1784$	2.25	2.54	3.00
	-10	$y=3.9348x+2.6449$	0.17	0.35	1.01
5 龄幼虫 5th instar	5	$y=11.0244x-8.2939$	16.06	20.99	30.63
	0	$y=7.7979x-2.9999$	10.61	15.50	26.44
	-5	$y=8.2594x-9.7092$	2.52	3.60	5.95
	-10	$y=3.9869x+3.5629$	0.10	0.20	0.57
预蛹 Prepupae	5	$y=3.8444x+1.3492$	8.91	19.19	56.68
	0	$y=4.2714x+1.6863$	5.97	11.91	31.57
	-5	$y=2.8360x+0.8542$	1.21	3.42	14.83
	-10	$y=3.7970x+2.9123$	0.15	0.32	0.96
蛹 Pupae	5	$y=4.9751x-1.0234$	16.24	29.40	67.90
	0	$y=5.1072x+0.0183$	9.45	16.84	38.06
	-5	$y=2.8479x+0.1865$	2.04	5.76	24.84
	-10	$y=1.8676x+3.5669$	0.24	1.18	11.01
成虫 Adults	5	$y=4.4433x+1.2212$	7.09	13.77	35.15
	0	$y=6.7071x-0.2922$	6.15	9.55	17.77
	-5	$y=2.7468x+2.1617$	0.45	1.32	6.00
	-10	$y=1.6521x+1.7453$	0.07	0.39	4.81

* LT_{50} , LT_{90} , $LT_{99.9}$ 分别表示致死 50%, 90% 和 99.9% 试虫所需要的时间 LT_{50} , LT_{90} , $LT_{99.9}$ are the period in days to 50%, 90% and 99.9% mortality rate for the developmental stage of beet armyworm at low temperature respectively

3 讨论

甜菜夜蛾原产于亚洲南部^[21], 是一种热带或亚热带昆虫, 对高温有较强的适应能力, 在热带和亚热带地区能常年为害。但对甜菜夜蛾在温带地区越冬及抗寒能力的报道存在许多令人困惑的问题。主要表现在: (1) 甜菜夜蛾的越冬虫态不明确。有的认为以卵越冬, 有的认为可能以幼虫越冬^[12], 也有的认为以各种虫态越冬^[13], 但以蛹越冬的文献资料最多^[5~10]。(2) 甜菜夜蛾的越冬北界不清楚。已有研究表明在湖北未发现甜菜夜蛾的越冬场所^[22], 但也有许多文献报道在我国长江流域和华北地区均有甜菜夜蛾的越冬现

表 3 甜菜夜蛾蛹在北京地区越冬死亡率(1997,1998 年)
Table 3 Mortality rate of pupal beet armyworm in Beijing field during winter

埋蛹时间	埋蛹数	取样时间	埋放天数(d)	死亡数	死亡率(%)
Date buried	No. of pupae	Sampling date	Time exposed	Mortality	Mortality rate
1997-12-30	200	1998-03-01	60	200	100
1998-12-28	80	1999-01-08	10	80	100
	80	1999-01-18	20	80	100
	80	1999-01-28	30	80	100

象,最北的越冬北界可达北纬 40 度(北京)左右^[13]。另外在韩国、日本南部、土库曼等地均有甜菜夜蛾以蛹越冬的报道^[23~25]。(3)甜菜夜蛾的耐低温能力存有较大的争议。如据湖北大悟报道“甜菜夜蛾幼虫有很强的抗寒能力,12 月上旬雪后仍见幼虫为害,12 月中上旬才陆续死亡”^[15]。但据《农业昆虫学》和陆致平等报道“甜菜夜蛾幼虫抗低温能力较差,日平均温度低于 2℃时即大量死亡”^[6,14]。这样甜菜夜蛾的越冬问题不仅较为模糊,而且争论较多。

为了阐明甜菜夜蛾在温带的耐低温能力及越冬规律,冯殿英^[26]曾经对甜菜夜蛾在山东菏泽地区的越冬可能性及过冷却点进行过研究。测定结果表明,蛹的过冷却点为-11.96℃,结冰点为 4.86℃。但其仅仅是对甜菜夜蛾蛹进行过冷却点和田间越冬试验测定的结果,而对甜菜夜蛾各虫态在低温条件下的生存能力并未进行研究。Kim 等^[27]对甜菜夜蛾的过冷却点及耐低温能力进行过较为系统的研究,测定表明甜菜夜蛾不同发育阶段的过冷却点的变化范围为-10~-27℃。卵的过冷却点最低(为-26.8±2.9℃),其次为预蛹(为-17.0±1.0℃),蛹、各龄幼虫以及成虫的过冷却点较高且差异不显著。本文研究结果表明,在甜菜夜蛾幼虫、预蛹和蛹 3 种虫态中,蛹的过冷却点最低,平均值为-17.6℃,预蛹次之,3~5 龄幼虫过冷却点较高,平均值为-11.21℃。显然,本文结果与已有报道不相一致。影响昆虫过冷却点的因素很多,如不同的地理种群,不同季节的虫源以及昆虫本身的生长发育状况^[28]。另外,野外和室内饲养的种群,取食状态(食物种类、中肠食物浓度等)以及过冷却点的测定方法(如霜箱的降温速率)等也会影响过冷却点的变化^[29]。关于甜菜夜蛾在低温中的生存能力,Kim 等^[27]也作过报道,但其结果均为低温处理时间小于 8 h 的存活率,并不能完全反映其耐低温能力。本文通过对死亡率回归方程和死亡参数的分析表明,甜菜夜蛾不同发育阶段耐低温能力也有很大的差别。蛹仍然是所有虫态中生存能力最强的虫态,因而是最有可能越冬的虫态。另外,所有虫态在其过冷却点以上时即发生死亡,也就是说,甜菜夜蛾体内结冰时即不能生存,因此甜菜夜蛾属于不耐冻类的昆虫。这与 Kim 等的结果基本一致。甜菜夜蛾不同发育阶段的过冷却点与其耐低温能力并不完全相关。如在幼虫、预蛹和蛹 3 种虫态中,虽然蛹的过冷却点最低,其耐低温能力也最强。但 3,5 龄幼虫的过冷却点显著高于预蛹,而其耐低温能力却并不比预蛹差。Kim 等的结果表明,在甜菜夜蛾的所有虫态中,卵的过冷却点最低,其在零度以下温度中的存活能力也最强。而在本文的研究中,虽然卵的过冷却点没能测定,但从卵对 4 种低温的忍受能力来看,卵的耐低温能力均不如其它虫态。这种差异可能是所采用的研究方法不同而造成的。

综合甜菜夜蛾不同虫态的过冷却点以及耐低温能力的结果表明,甜菜夜蛾蛹是各虫态中最有可能越冬的虫态之一,这与各地对甜菜夜蛾的发生为害规律及以蛹越冬的调查报道一致^[6~10]。于是由于甜菜夜蛾无滞育特性,其越冬北界受到冬季低温的限制,同时,由于蛹在 0℃的条件下超过 38 d 就几乎全部死亡,因此,可以认为冬季温度低于 0℃的时间多于 38 d 的地区,甜菜夜蛾不能越冬。另外,连续两年(1997,1998)在北京西郊以蛹模拟越冬的越冬死亡率均为 100%也支持这一推断。参照我国的气候区划,北纬 35°左右,1 月份 0℃等温线大约位于淮河、秦岭一带。按照纬度每升高 1°,平均气温约下降 1~2℃推测,甜菜夜蛾在我国的越冬北界大约位于北纬 38°左右,即 1 月份-4℃等温线左右。根据甜菜夜蛾耐低温能力和 1 月份气温变化的情况,甜菜夜蛾的越冬地区初步划分为 3 类(图 1):

I 非越冬区 为 1 月份-4℃等温线以北广大地区。其中包括华北的北部、东北、西北等地区。在这

些地区,虽然甜菜夜蛾有分布和为害,但由于其不能忍受冬季长时间的低温条件,因而不可能越冬。另外也没有看到甜菜夜蛾可在这些地区越冬的报道。

Ⅱ 可能越冬区 为1月份 $-4\sim 12^{\circ}\text{C}$ 等温线之间的广阔地区,也是我国甜菜夜蛾发生为害最严重的地区。冬季气温接近于甜菜夜蛾的发育起点温度或更低,因此该地区存在着越冬的可能性。

Ⅲ 常年活动区 为1月份 12°C 等温线以南,即华南和福建南部等地区。其中包括广东的深圳、广州、海南省、福建的厦门、台湾、广西东南部等地区。在这些地区,甜菜夜蛾可常年发生为害,在冬季也能正常生长发育。

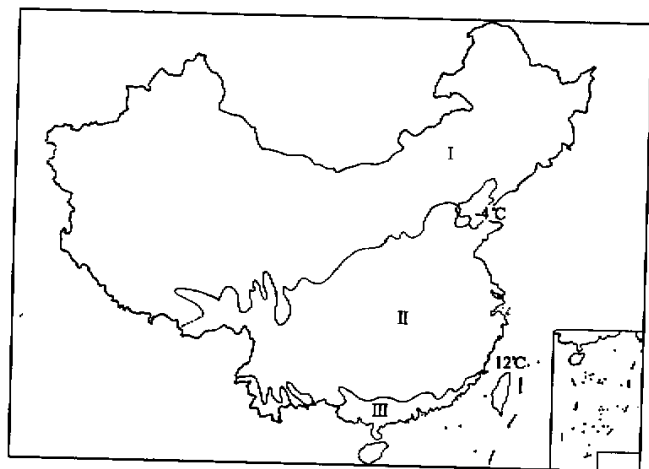


图1 甜菜夜蛾在我国越冬区的划分

I:非越冬区 为1月份 -4°C 等温线以北广大地区。II:可能越冬区 为1月份 $-4\sim 12^{\circ}\text{C}$ 等温线之间地区。III:为1月份 12°C 等温线以南地区

由图1可知,甜菜夜蛾的越冬北界大约位于河北省中南部、河南、山西、陕西一带。在我国的主要越冬区域大约位于长江以南和华南地区之间,淮河流域以及华北部分地区虽然能够越冬,但越冬死亡率很高,越冬虫源不足以导致甜菜夜蛾的大发生,而每年7~9月份的高温季节在长江流域、淮河流域以及华北部分地区严重发生的甜菜夜蛾很有可能不是当地的越冬虫源,而是从南方地区迁飞而来。这些结果是根据室内外的试验数据和气象资料分析所获得的,至于甜菜夜蛾在野外的实际越冬情况,尚需进一步结合野外的实际越冬调查后方可下结论。此外,温室及塑料大棚的大量出现可能也会对甜菜夜蛾的实际越冬情况产生一定的影响作用。

参考文献

- [1] 章士美,赵淑祥.中国农林昆虫地理分布.北京:中国农业出版社,1996,260~261.
- [2] Chen W S, Tu C C, Chang F I Ecological studies on the new insect pests of asparagus. *Asparagus Res. Newsletter*, 1988, 6: 1, 107~111.
- [3] 戴淑慧,杨亚萍.甜菜夜蛾的生物学特性及防治.植物保护,1993,19(2): 20~21.
- [4] 方文杰,龚进兴,李金景.厦门地区甜菜夜蛾的发生与防治.华东昆虫学报,1998,7(2): 73~79.
- [5] 周传金,徐学芹.甜菜夜蛾的生物学特性及防治研究.中国甜菜,1993,(1): 24~27.
- [6] 陆致平,谢谕格.甜菜夜蛾的发生规律及其防治研究.中国植物保护研究进展,北京:中国科技出版社,1995.
- [7] 尹仁国,陈爱媛.甜菜夜蛾生物学特性的研究.昆虫知识,1994,31(1): 7~10.
- [8] 刘殿选,李海廷,马志含,等.内黄地区甜菜夜蛾严重为害大葱.植物保护,1998,(3): 49.

- [9] 夏志贤. 甜菜夜蛾的发生为害与综合防治. 中国棉花, 1995, **22**(9): 24.
- [10] 冯殿英, 王继藏, 任兰花, 等. 甜菜夜蛾生物学特性及防治研究. 山东农业科学, 1995, (4): 39~41.
- [11] 姚徒义, 解新胜, 任义, 等. 山西省甜菜病虫害名录. 中国甜菜, 1990, (3): 59~64.
- [12] 忻介六译. 甜菜夜蛾冬眠的特性与抗寒能力. 昆虫学译报, 1956, **4**: 44~46.
- [13] 王就光主编. 蔬菜病虫害防治及杂草防除. 北京: 农业出版社, 1990.
- [14] 华南农学院主编. 农业昆虫学. 北京: 农业出版社, 1981. 588~589.
- [15] 浙江农业大学编著. 农业昆虫学. 第二版. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [16] Fye R E, Carranza R L. Cotton Pest: Overwintering of three Lepidopterous Species in Arizona. *J. Econ. Entomol.*, 1973, **66**: 657~659.
- [17] Mikkola K, Salmensuu P. Migration of *Laphygma exigua* (Lep., Noctuidae) in northwestern Europe in 1964. *Ann. Zool. Fenn.*, 1965, **2**: 124~39.
- [18] 江幸福, 罗礼智, 胡毅. 幼虫食物对甜菜夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. 昆虫学报, 1999, **42**(3): 270~276.
- [19] Eger J E, Witz J A, Hartstack A W, *et al.* Survival of pupae of *Heliothis virescens* and *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae) at low temperatures. *Can. Ent.*, 1982, **114**: 289~301.
- [20] Casagrande R A, Haynes D L. A predictive model for cereal leaf beetle mortality from sub-freezing temperatures. *Environ. Entomol.*, 1976, **5**: 761~769.
- [21] 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, **49**: 386~393.
- [22] 朱树勋, 司升云, 邹丰, 等. 甜菜夜蛾抗药性测定及田间监测. 昆虫知识, 1996, **33**(2): 82~85.
- [23] Goh H G, Park J D, Choi Y, *et al.* The host plants of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), (Lepidoptera: Noctuidae) and its occurrence. *Korean Jour. of Appl. Entomol.*, 1991, **30**(2): 111~116.
- [24] Kimura S. Immigration of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* Hubner, to northern coastal area of Akita Prefecture, 1990, in relation to atmospheric conditions. *Annual Rep. of the Soci. of Plant Prot of North Japan*, 1991, **42**: 148~151.
- [25] Kurdov M. Forecasting of mass reproduction of the lesser cotton worm *Spodoptera exigua* Hbn. (*Laphygma exigua* Hbn.) in Turkmenistan. *Izvestiya Akademii Nauk Turkmenskoi SSR, Biologicheskikh Nauk.*, 1987, **2**: 70~73.
- [26] 冯殿英. 甜菜夜蛾越冬蛹的抗寒能力测定. 中国植物保护研究进展, 北京: 中国科学技术出版社, 1997. 262.
- [27] Kim Y, Kim N. Cold hardiness in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 1997, **26**(5): 1117~1123.
- [28] 南京农学院主编. 昆虫生态及预测预报. 农业出版社, 1985. 56~60.
- [29] Somme L. Supercooling and winter survival in terrestrial arthropods. *Comp Biochem. Physiol. A Physiol.*, 1982, **73**: 519~543.
- [30] 中国气象局编. 中国气候资源地图集. 北京: 中国地图出版社, 1994.