

甜菜夜蛾的抗寒力研究

韩兰芝 翟保平* 张孝羲

(南京农业大学昆虫学系,南京 210095)

摘要: 抗寒力的强弱决定了甜菜夜蛾的分布范围及越冬存活情况,并直接影响下一代的种群数量。通过测定甜菜夜蛾三个地理种群(河北隆尧、湖南衡阳和江苏南京)的过冷却点和结冰点及田间埋蛹越冬试验,以明确甜菜夜蛾的抗寒能力。研究表明,在各虫态中甜菜夜蛾蛹的过冷却点最低(-16.61 ~ -15.18 °C),其次为成虫、卵和幼虫。蛹的过冷却现象也最明显,因而蛹是其最适宜越冬的虫态。三个地理种群中,以湖南衡阳的抗寒能力最强,其次为河北隆尧和江苏南京。在2001和2002连续两年的田间埋蛹越冬试验表明,甜菜夜蛾的越冬死亡率均为100%。分析南京多年的冬季气温,表明某些年份甜菜夜蛾不大可能在南京越冬。因此甜菜夜蛾的常年越冬区范围应在南京以南的区域。

关键词: 甜菜夜蛾; 过冷却点; 结冰点; 抗寒力

Cold hardiness of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner)

HAN Lan-zhi ZHAI Bao-ping* ZHANG Xiao-xi

(Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Cold hardiness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), was investigated by measuring the supercooling points and freezing points of three geographical populations (Longyao, Hebei Province; Hengyang, Hunan Province and Nanjing, Jiangsu Province) and the field overwintering test. The results showed that supercooling points of pupae were the lowest, followed by adults, eggs and larvae. Moreover, pupae have the most obviously supercooling phenomenon, so it was the most feasible stage for overwintering. Cold hardiness of the population from Hengyang, Hunan Province was the most powerful, followed by Longyao population (Hebei Province) and Nanjing population (Jiangsu Province). Overwintering mortality were 100%, estimated by field trials in Nanjing with pupae burying in 2001 and 2002. And the winter temperature analysis also showed that the beet armyworm did not survive the winter in some years. These results illustrate that the beet armyworm can possibly not overwinter in Nanjing during a chilly winter. So it is suggested that the northern limit of permanent overwintering regions for the beet armyworm be probably at the areas in the south of Nanjing.

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

甜菜夜蛾常年发生于亚热带地区,在温带地区时有暴发。该虫无滞育特性,在我国南方可终年繁殖危害。而在我国北方地区,越冬是甜菜夜蛾生活史中最关键的环节,其抗寒能力的强弱决定了甜菜夜蛾的分布范围及越冬存活情况,并直接影响下一

代的种群数量,因而明确其抗寒能力可为甜菜夜蛾的预测预报提供理论依据。目前,关于甜菜夜蛾的抗寒和越冬问题已有不少报道。Kim^[1]对韩国甜菜夜蛾的过冷却点和耐低温能力的测定表明,甜菜夜蛾不同发育阶段的过冷却点的变化范围为-27 ~ -

基金项目: 国家“十五”攻关课题资助项目(2001BA50BP01)

作者简介: 韩兰芝,女,1976年生,博士,主要从事昆虫生态学方面的研究(email: lzhan@sina.com)

* 通讯作者 Author for correspondence (email: bpzhai@njau.edu.cn); 收稿日期: 2004-07-05

10℃,卵的过冷却点最低($-26.8 \pm 2.9^\circ\text{C}$),其次为预蛹($-17.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$),蛹、成虫及各龄幼虫的过冷却点依次降低,且差异显著。冯殿英^[2]测定了山东菏泽地区甜菜夜蛾的过冷却点,其中,蛹的过冷却点为 -11.96°C ,结冰点为 -4.86°C ;田间越冬试验表明,甜菜夜蛾虽能在菏泽越冬,但越冬存活率极低(0.79%)^[2]。江幸福等^[3]的研究结果表明,在幼虫、预蛹和蛹三种虫态中,蛹的过冷却点最低,平均值为 -17.6°C ,预蛹次之,3~5龄幼虫过冷却点较高,平均值为 -11.21°C ;耐寒力试验表明,在5、0、-5和 -10°C 条件下,甜菜夜蛾各虫态的 LT_{50} 、 LT_{90} 和 LT_{99} 均随温度的降低而缩短,其耐低温能力依次为卵<成虫<幼虫<蛹;埋蛹试验表明,甜菜夜蛾在北京地区不能越冬。迄今为止,对甜菜夜蛾的越冬问题的认识仍很混乱。(1)越冬虫态不明确:有人认甜菜夜蛾可以各种虫态越冬^[4],但认为以蛹越冬的资料居多^[5-6]。(2)越冬北界尚无定论:有报道称在湖北未发现甜菜夜蛾的越冬场所^[7];但另有文献说在我国长江流域和华北地区均有甜菜夜蛾的越冬现象^[8-10];江幸福等曾推测其越冬北界大致位于北纬 38° 左右,即1月份 -4°C 等温线左右^[3];还有报道称越冬北界可达 40°N (北京附近)^[4]。此外,在韩国、日本南部、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、南欧、北美南部均以蛹在土中越冬^[11-12]。(3)甜菜夜蛾的耐低温能力和抗寒力仍存在较大争议:陆致平报道在江苏吴江,甜菜夜蛾幼虫的抗低温能力较差,日平均温度低于 2°C 时即大量死亡^[9]。这与“甜菜夜蛾幼虫有很强的抗寒能力,在湖北大悟12月上旬雪后仍见幼虫为害,12月中旬才陆续死亡”的报道不相一致^[13]。此外, Kim、江幸福、冯殿英等的测定结果也有一定的差异^[1-3]。

鉴于以上问题,作者以南京虫源为代表,研究了长江中下游地区的甜菜夜蛾的抗寒与越冬情况,并测定了南京、湖南和河北种群的过冷却点和抗寒力,比较了不同地理种群抗寒力的差异,以期明确甜菜夜蛾在长江流域的抗寒和越冬情况,以及不同地理种群之间的抗寒性差异。

1 材料与方法

1.1 供试虫源 从江苏南京郊区甘蓝田(32.04°N , 118.78°E)、湖南衡阳郊区豆角田(26.98°N , 112.39°E)和河北隆尧大葱田(37.35°N , 114.75°E)分批采集甜菜夜蛾蛹,在室内繁殖一代,取各虫

态个体供过冷却点和结冰点的测定。埋蛹试验所用虫源为江苏南京种群。

1.2 过冷却点的测定 用温差热电偶装置测定甜菜夜蛾的过冷却点,具体操作参照张孝羲(1991)的方法^[14],每处理至少30头。将待测虫体与热电偶装置的探头直接接触,并置于低温冰箱中(-25°C 以下),以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度降温,然后调节光电检流计测定其过冷却点和结冰点。

1.3 田间越冬试验 在直径9cm、高10cm的罐头瓶中盛土(土壤含水量约10%),每瓶内置蛹25~60头不等,重复2~3次。将罐头瓶埋入南京农业大学试验田中(118.78°E , 32.04°N),其上覆盖2cm厚的土层。埋蛹时间分别为2001年12月和2002年12月,并分别于当年或第2年检查蛹的存活情况。蛹在温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、光周期为14L:10D、RH为70%的条件下羽化出成虫的即为活蛹。

1.4 统计方法 甜菜夜蛾不同虫态和不同地理种群的过冷却点和结冰点经方差分析后,再用 Duncan 氏多重比较进行差异显著性分析,所有结果均由统计软件 SAS 6.12 处理分析。

2 结果与分析

2.1 过冷却点和结冰点

甜菜夜蛾南京种群不同虫态的过冷却点如表1所示。不同虫态的过冷却点差异显著($P < 0.05$),其中以预蛹的过冷却点最低,其次是蛹和成虫,再就是卵和幼虫。不同日龄蛹的过冷却点差异不显著,而不同日龄幼虫的过冷却点差异显著,其中以1日龄幼虫为最低,然后2~5日龄的过冷却点依次升高。结冰点却恰恰相反,以卵和1龄幼虫的结冰点最低,其次是2、3龄幼虫和成虫,再次为蛹。

河北隆尧种群不同虫态过冷却点的变化趋势与南京种群基本相似(表2),蛹和成虫的过冷却点最低,但卵的过冷却点却高于1龄幼虫,各龄幼虫的过冷却点也随龄期的增加而逐渐升高。其结冰点也是卵和低龄幼虫为最低,再者为成虫、蛹和高龄幼虫。湖南衡阳种群不同虫态的过冷却点的变化趋势(表3)与隆尧种群一致。

从表4可以看出,不同地理种群中,南京种群卵的过冷却点最低与其他两个种群表现差异显著,而隆尧与衡阳种群之间差异不显著;三个种群中,卵结冰点和过冷却点的变化趋势是相同的。就幼虫来说,以湖南衡阳的过冷却点最低,其次为江苏南京,

表 1 江苏南京甜菜夜蛾不同虫态的过冷却点和结冰点

Table 1 Mean supercooling and freezing points in different stages of *Spodoptera exigua* in Nanjing, Jiangsu Province

虫态 Stage	样本数 Sample number	过冷却点 Supercooling point	结冰点 Freezing point
卵 Egg	29	-14.60 ± 1.80 c	-13.25 ± 2.41 a
1 龄幼虫 1st instar larva	18	-15.86 ± 1.43 ab	-13.83 ± 1.50 a
2 龄幼虫 2nd instar larva	20	-14.70 ± 1.44 c	-10.54 ± 1.38 b
3 龄幼虫 3rd instar larva	22	-13.5 ± 1.11 d	-8.37 ± 1.39 c
4 龄幼虫 4th instar larva	31	-10.43 ± 2.45 e	-3.79 ± 2.20 f
5 龄幼虫 5th instar larva	30	-9.37 ± 2.10 f	-2.75 ± 1.10 g
幼虫 Larva	121	-12.41 ± 3.27	-7.01 ± 4.37
预蛹 Prepupa	15	-16.13 ± 0.59 a	-6.29 ± 3.86 d
1 日龄蛹 1 day pupa	30	-15.27 ± 0.83 ab	-5.44 ± 1.23 de
3 日龄蛹 3 days pupa	33	-15.46 ± 0.99 aabc	-5.55 ± 1.76 de
5 日龄蛹 5 days pupa	34	-15.12 ± 1.43 bc	-5.14 ± 1.45 e
蛹 Pupa	97	-15.55 ± 1.13	-5.38 ± 1.50
成虫 Adult	30	-15.65 ± 1.62 ab	-7.49 ± 2.00 c

注:表中数据为平均数 ± 标准差,其后不同的字母表示差异显著(Duncan 氏新复极差检验, $P < 0.05$),下同。Note: The data in the table are presented as mean ± SD and different letters show significant difference by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). The same for the following tables.

表 2 河北隆尧不同虫态甜菜夜蛾的过冷却点和结冰点

Table 2 Mean supercooling and freezing points in different stages of *Spodoptera exigua* in Longyao, Hebei Province

虫态 Stage	样本数 Sample number	过冷却点 Supercooling point	结冰点 Freezing point
卵 Egg	35	-12.28 ± 2.56 d	-10.75 ± 2.67 b
1 龄幼虫 1st instar larva	32	-15.13 ± 2.52 bc	-14.21 ± 2.59 a
2 龄幼虫 2nd instar larva	30	-14.24 ± 2.10 cd	-10.61 ± 2.57 b
3 龄幼虫 3rd instar larva	31	-11.08 ± 1.80 e	-6.66 ± 2.20 d
4 龄幼虫 4th instar larva	29	-10.19 ± 2.76 e	-4.75 ± 2.49 e
5 龄幼虫 5th instar larva	29	-8.26 ± 2.72 f	-4.78 ± 2.56 e
幼虫 Larva	151	-11.88 ± 3.48	-8.34 ± 4.46
预蛹 Prepupa	21	-15.10 ± 1.45 bc	-3.44 ± 2.69 f
1 日龄蛹 1 day old pupa	41	-15.87 ± 2.08 ab	-6.14 ± 2.32 d
3 日龄蛹 3 days old pupa	48	-16.30 ± 0.88 a	-6.14 ± 1.96 d
5 日龄蛹 5 days old pupa	44	-16.41 ± 0.93 a	-5.63 ± 1.95 de
蛹 Pupa	134	-16.43 ± 0.89	-5.93 ± 1.95
成虫 Adult	38	-15.18 ± 2.25 bc	-7.99 ± 2.99 c

再次为河北隆尧,但衡阳与隆尧表现差异显著,而江苏南京与上述两者差异不显著。蛹的结冰点和过冷却点的变化趋势是一致的,以湖南衡阳的最低,然后是河北隆尧和江苏南京,其过冷却点和结冰点依次升高。成虫的耐寒性也比较强,仅次于蛹,其过冷却点和结冰点的变化趋势基本相似,湖南衡阳成虫的过冷却点和结冰点显著低于隆尧种群,而隆尧和南京种群的结冰点和过冷却点均表现差异不显著。就过冷却点和结冰点的差值来说,蛹最大,卵最小(蛹 8.77 ~ 10.8,成虫 6.23 ~ 8.16,幼虫 1.84 ~ 6.66,卵 1.35 ~ 1.53)。由此可见,蛹的过冷却现象最明显,

耐寒性最强,因而蛹是甜菜夜蛾最适宜越冬的虫态;甜菜夜蛾三个地理种群的抗寒能力差异显著,以湖南衡阳的越冬抗寒能力最强,其次是河北隆尧,再次为江苏南京。

2.2 越冬能力测定

过冷却点和结冰点的测定结果表明,蛹是最适宜越冬的虫态。2001 年 12 月 22 日埋蛹 240 头,分别于 60 天后和 75 天后检查,其死亡率均为 100%。2002 年 12 月份再次埋蛹并分批检查。处理 15 天后,其死亡率为 88%;30 天后死亡率为 96.7%,60 天后则全部死亡(表 5)。

表 3 湖南衡阳甜菜夜蛾不同虫态的过冷却点和结冰点

Table 3 Mean supercooling and freezing points in different stages of *Spodoptera exigua* in Hengyang, Hunan Province

虫态 Stage	样本数 Sample number	过冷却点 Supercooling point	结冰点 Freezing point
卵 Egg	30	-12.62 ± 2.33 e	-11.12 ± 2.86 b
1 龄幼虫 1st instar larva	33	-15.96 ± 1.93 abc	-14.12 ± 2.39 a
2 龄幼虫 2nd instar larva	32	-14.54 ± 1.57 d	-10.51 ± 2.79 bc
3 龄幼虫 3rd instar larva	31	-12.88 ± 1.49 e	-6.22 ± 2.68 e
4 龄幼虫 4th instar larva	33	-11.60 ± 2.82 f	-5.87 ± 3.4 e
5 龄幼虫 5th instar larva	32	-8.65 ± 3.13 g	-2.75 ± 1.90 g
幼虫 Larva	161	-12.74 ± 3.40	-7.93 ± 4.81
预蛹 Prepupa	34	-15.61 ± 1.16 bc	-4.40 ± 1.57 f
1 日龄蛹 1 day old pupa	41	-16.72 ± 1.22 a	-7.61 ± 1.71 d
3 日龄蛹 3 days old pupa	43	-16.30 ± 0.88 ab	-8.01 ± 1.74 d
5 日龄蛹 5 days old pupa	44	-16.41 ± 0.93 ab	-7.89 ± 1.64 d
蛹 Pupa	128	-16.61 ± 1.83	-7.84 ± 1.71
成虫 Adult	43	-16.03 ± 1.15 cd	-9.80 ± 1.80 c

表 4 甜菜夜蛾三个不同地理种群的过冷却点和结冰点

Table 4 Supercooling and freezing points of *Spodoptera exigua* in three different geographical populations

虫态 Stage		地理种群 Geographical populations		
		南京 Nanjing	隆尧 Longyao	衡阳 Hengyang
卵 Egg	过冷却点 Supercooling point	-14.60 ± 1.80 a	-12.28 ± 2.56 b	-12.62 ± 2.33 b
	结冰点 Freezing point	-13.25 ± 2.45 a	-10.75 ± 2.67 b	-11.12 ± 2.86 b
幼虫 Larva	过冷却点 Supercooling point	-12.41 ± 3.27 ab	-11.88 ± 3.48 b	-12.74 ± 3.40 a
	结冰点 Freezing point	-7.01 ± 4.37 b	-8.34 ± 4.46 a	-7.93 ± 4.81 ab
蛹 Pupa	过冷却点 Supercooling point	-15.55 ± 1.13 c	-16.43 ± 0.89 b	-16.61 ± 1.83 a
	结冰点 Freezing point	-5.38 ± 1.50 c	-5.63 ± 1.95 b	-7.84 ± 1.71 a
成虫 Adult	过冷却点 Supercooling point	-15.65 ± 1.62 ba	-15.18 ± 2.25 b	-16.03 ± 1.15 a
	结冰点 Freezing point	-7.49 ± 2.00 b	-7.99 ± 2.99 b	-9.80 ± 1.80 a

表 5 甜菜夜蛾越冬试验

Table 5 Mortality of the buried pupae of beet armyworm in Nanjing during winter (南京 Nanjing)

埋蛹时间 Date of burying pupae	取样时间 Sampling date	处理时间(d) Duration exposed	处理虫数(头) Pupae number treated	死亡数 Dead pupae	平均死亡率(%) Mean mortality
2001.12.22	2002.02.22	60	60	60	100.00
		60	60	60	
2001.12.22	2002.03.08	75	60	60	100.00
		75	60	60	
2002.12.09	2002.12.24	15	25	23	88.00
		15	25	21	
2002.12.02	2003.01.01	30	30	30	96.67
		30	30	30	
		30	30	27	
2002.12.26	2003.02.10	45	25	24	98.32
		45	30	30	
		45	30	30	
2002.12.08	2003.02.08	60	30	30	100.00
		60	30	30	
		60	30	30	

3 讨论

本研究测定的过冷却点与江幸福等的结果基本相符^[3],而低于冯殿英的测定结果^[2]。影响昆虫过冷却点的因素很多,如不同地理种群、不同季节的虫源、昆虫本身的生长发育状况、室内和野外种群、取食状态的不同以及过冷却点测定方法的不同等都会影响其测定结果。此外,甜菜夜蛾三个地理种群蛹的过冷却点差异显著,其中以湖南衡阳的过冷却点最低,其次是河北隆尧,再次为江苏南京。这里,南方虫源比北方虫源的过冷却点还低;商晗武测定河北唐海和浙江镇海的稻水象甲的过冷却点时,也出现了同样的现象(商晗武. 稻水象甲种群生态学及治理策略的研究. 浙江大学博士学位论文, 2003)。这可能与取样的时间有关,如河北隆尧的甜菜夜蛾于2001年9月上旬采集,湖南和南京种群也均采自9月中下旬,这时大多数个体远未进入越冬状态;河北唐海的稻水象甲则是采自2000年9月16日,同样尚未进入越冬状态。另外,本试验供试虫源均又在室内繁殖了一代,完全脱离了越冬状态,故与自然越冬虫源有一定差异,这可能是造成南方虫源过冷却点偏低的一个重要因素。

江幸福等的研究表明,蛹在5℃条件下连续暴露29.4天,在0℃条件下连续暴露16.84天,在-5℃条件下连续暴露5.76天,其死亡率均达到90%以上^[3]。在南京的田间埋蛹试验表明,某些年份甜菜夜蛾不大可能在南京越冬。分析埋蛹试验期间南京的气温条件,2001年冬分别有连续19天和22天两段时间(2001.12.22~2002.1.9日均温3.4℃和2002.1.16~2.6日均温4.05℃)持续低温,2002年12月23日至2003年2月7日连续47天持续低温(日均温2.4℃),这种持续低温导致了甜菜夜蛾越冬种群的全军覆没。但在某些暖冬年份,如1988和1997年等南京地区冬季日均温持续≤5℃的天数均小于15天,甜菜夜蛾蛹有可能在南京越冬。不过,由于田间越冬调查存在一定的难度,迄今尚无甜菜夜蛾在田间实际越冬情况的报道。另如前所述,在越冬期间很难从田间采集到足够的自然越冬个体,所以本研究中只能以人工饲养虫源来供试,且越冬埋蛹的数量相对较少;而室内饲养虫源一直生活在比较适宜的温度下,未经逐渐降温的低温环境的锻

炼,可能其越冬存活力偏低,导致对甜菜夜蛾实际越冬能力的低估。此外,埋蛹于罐头瓶中,其有限空间与自然越冬环境也有所不同,可能也会造成其越冬死亡率偏高。

根据作者以上分析及对江苏丰县甜菜夜蛾越冬状况的分析^[15],甜菜夜蛾在丰县基本上无法越冬,在南京某些年份也不能越冬,故江幸福等将甜菜夜蛾在我国的越冬北界划在38°N附近^[3]值得商榷。其常年越冬区应在南京以南的广大地区,所以在具体划定越冬区和非越冬区时,应根据连续多年、多点的田间越冬调查和越冬试验才能确定。

参考文献(References)

- 1 Kim S Y, Kim N. Cold hardness in *Spodoptera exigua*. *Environment Entomology*, 1997, 26 (2): 1117 - 1123
- 2 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
- 3 江幸福, 甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究. *生态学报*, 2001, 21 (10): 1575 - 1582
- 4 王就光(主编). 蔬菜病虫害防治及杂草防除. 北京: 中国农业出版社, 1990
- 5 江幸福, 罗礼智. 甜菜夜蛾爆发原因及防治对策. *植物保护*, 1999, 25 (3): 32 - 33
- 6 韩兰芝, 翟保平, 张孝羲. 甜菜夜蛾在太仓菜田的发生及危害特征. *昆虫知识*, 2003, 40 (2): 136 - 140
- 7 伊仁国, 欧阳本友, 刘爱媛. 甜菜夜蛾生物学特性研究. *昆虫知识*, 1994, 31 (1): 7 - 10
- 8 刘效明. 甜菜夜蛾生物学特性及防治技术. *植物保护*, 1995, 21 (6): 29 - 30
- 9 陆致平, 谢贻格. 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
- 10 周传金, 徐学芹. 甜菜夜蛾生物学特性及防治研究. *中国甜菜*, 1993, 1: 24 - 27
- 11 Fey R E, Carranza R L. Cotton pest: overwintering of three Lepidoptera species in Arizona. *Journal of Economic Entomology*, 1973, 66: 657 - 659
- 12 Fey R E. Pupation preferences of bollworms, tobacco budworms and beet armyworms and impact on mortality resulting from cultivation of irrigated cotton. *Journal of Economic Entomology*, 1978, 71: 570 - 572
- 13 浙江农业大学主编. 农业昆虫学, 第二版. 上海: 上海科学技术出版社, 1982
- 14 张孝羲, 张建新, 耿济国. 昆虫生态与预测预报实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1991
- 15 韩兰芝, 翟保平, 戴率善, 等. 江苏丰县甜菜夜蛾田间种群虫源性质分析. *生态学报*, 2004, 24 (7): 1388 - 1398