

温度对甜菜夜蛾生殖行为及生殖力的影响

王竑晟¹, 徐洪富^{1*}, 崔峰¹, 许永玉¹, 周真²

(1. 山东农业大学昆虫学系, 泰安 271018; 2. 淄博市植保站, 淄博 255000)

摘要:温度不仅是甜菜夜蛾生长发育最关键的生态因子, 而且对其生殖行为、交配节律和生殖力等也有显著影响。室内通过 15、20、25、30、35、40℃ 共 6 个温度处理, 结果表明, 甜菜夜蛾成虫交配高峰期随温度的升高而逐渐延迟, 交配持续时间也逐渐缩短; 在 40℃ 下交配行为明显受到抑制, 在 25~30℃ 下, 可以获得最大的生殖力; 15℃ 处理主要抑制了卵的形成, 而 40℃ 处理在抑制卵的形成的同时也降低了卵的产出率; 较高温度下的产卵前期、产卵期和雌雄虫寿命都明显缩短。15℃ 低温对卵的孵化率影响不显著(89%), 而 40℃ 处理卵的孵化率只有 37%。不同温度对甜菜夜蛾的每日产卵量也有很大的影响。在 15~40℃ 范围内, 温度越高, 产卵高峰期出现越早。

关键词:温度; 甜菜夜蛾; 生殖行为; 生殖力

Effects of temperature on mating behavior and fecundity of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner)

WANG Hong-Sheng¹, XU Hong-Fu^{1*}, CUI Feng¹, XU Yong-Yu¹, ZHOU Zhen² (1. Department of Entomology, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. Division of Plant Protection, Bureau of Agriculture, Zibo City, Shandong 255000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 162~166.

Abstract: The beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) is a worldwide insect pest that attacks >200 species of host plants in various botanical families. The calling, mating and oviposition behaviors, and reproductive capacity of *S. exigua* were studied at 15, 20, 25, 30, 35, and 40℃ in the laboratory. Results indicate that temperature significantly affected the calling, mating and ovipositing behaviors of *S. exigua*. We found that the calling behavior of the females involved three distinct phases: initiation, excitation, and desire to mate. Mating peaks were postponed by 1.3~1.7 h as the temperature increased from 15℃ to 30℃, but the mating peaks were not significantly different from that at 25℃ as temperature increased to 35 and 40℃. Mating duration shortened as temperatures increased. The mating rate was highest at 25 and 30℃ (96%) and lowest (44%) at 40℃. Temperature significantly affected oogenesis, oviposition, and egg hatching. Total eggs, eggs laid, and egg hatching rates increased as temperatures increased from 15℃ to 30℃, and then declined at 35℃ and 40℃. Remarkable effects were found at 40℃ at which only 13.5% of total eggs were laid, and of these, 37.2% hatched. Preoviposition periods gradually lengthened from 1.2 d at 15℃ up to 3.9 d at 40℃. In contrast, oviposition periods shortened as temperatures increased. The females deposited more eggs in the first d at 25, 30 and 35℃ than at 15, 20 and 40℃. The longevities of both the females and the males were negatively correlated with the temperatures.

Key words: temperature; mating behavior; reproduction; fecundity

文章编号: 1000-0933(2004)01-0162-05 中图分类号: Q143, Q965, Q968 文献标识码: A

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 是一种世界性分布的害虫。自 20 世纪 80 年代末以来, 逐渐成为我国北方地区多种作物特别是蔬菜上的重要害虫, 防治困难, 易产生抗药性^[1]。甜菜夜蛾繁殖力很强, 单雌产卵可达千粒左右, 极易在短时间内暴

基金项目: 山东省利用世界银行贷款资助项目

收稿日期: 2002-10-04; 修订日期: 2003-05-18

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

作者简介: 王竑晟(1977~), 男, 山东青岛人, 硕士, 主要从事昆虫生态与组织生理研究。

Foundation item: the Loan of World Bank in Shandong Province

Received date: 2002-10-04; Accepted date: 2003-05-18

Biography: WANG Hong-Sheng, Master, majoring in insect ecology and physiology.

发成灾。且此虫较耐高温,在高温季节危害特别严重^[2]。关于温度对甜菜夜蛾未成熟期生长发育的影响国内外已有报道^[3,4];尹仁国^[3]、朱耀沂^[5]研究了成虫在适温条件下的生殖情况,但未能系统的阐明不同温度条件下甜菜夜蛾成虫的生殖特性;董双林报道了不同日龄成虫求偶节律与性信息素的关系^[6],但未对其交配节律作更深入研究。为进一步明确温度对甜菜夜蛾生殖行为和生殖力的影响,揭示其交配与产卵机制,提高田间种群动态的预测水平,作者系统的研究了 15℃ 以上 6 种饲养温度对甜菜夜蛾交配、产卵和寿命等方面的影响。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

采自山东省泰安市郊区葱田,在养虫室内(室温 28±1℃,相对湿度 70%~90%,光照周期 14L:10D)用苋菜饲育至化蛹,蛹在解剖镜下按雌雄分开,分别放入 30cm×40cm×40cm 的羽化笼中羽化。

1.2 方法

1.2.1 求偶与交配行为的观察 将同日羽化的甜菜夜蛾成虫按雌雄比 1:1 配对,置于马灯罩内,饲以 10% 的槐花蜜水,马灯罩内放蜡纸条,以利其产卵交配。室温下饲养,在暗期用红光灯连续观察其求偶与交配行为。

1.2.2 温度对甜菜夜蛾生殖力、寿命及交配节律的影响 将按雌雄 1:1 配对的成虫各 25 对,饲养在马灯罩内,饲以 10% 槐花蜜水,分别置于 10、15、20、25、30、35、40℃ 的光照培养箱中,从成虫羽化当日的暗期开始,每隔 30min 记录一次正在交配的甜菜夜蛾对数,连续观察 3d。同时记录交配持续时间。交配高峰期^[7]

$$T = \sum (Ti \times Ni) / \sum Ni \pm S. D.$$

式中, T 为暗期中交配高峰期, Ti 为每隔 30min 一次的观察时间, Ni 为该次观察中所见的交配成虫数, $S. D.$ 为标准差。

以成功交配的处理为观察对象,继续置于上述温度下饲养,每天更换蜜水和蜡纸条,记录雌虫产卵前期(雌虫羽化后到开始产卵的时间)、产卵期、每日产卵量、总产卵量、雌虫抱卵量(总产卵量+腹内残余卵量)、雌雄虫寿命、卵孵化率(从每对处理雌虫所产的卵中,挑出 100~200 粒,放在内铺滤纸的培养皿中,在 28℃ 条件下饲养观察)。各处理间的不同参数经方差分析统计差异显著后,用 Duncan 新复极差法进行差异显著性测定:

成虫交配率 = 已交配成虫对数/观察总对数

卵产出率 = 产卵量/雌虫抱卵量

卵孵化率 = (总卵量 - 未孵化卵量)/总卵量

2 结果与分析

2.1 甜菜夜蛾生殖行为观察

求偶是昆虫进入性成熟后的一种自发性行为。甜菜夜蛾雌雄虫的求偶过程均可以分为 3 个连续阶段:①萌动期,在进入暗期约 2h 后,雌雄蛾都由静止转向四处爬动,触角前伸且稍有摆动,翅膀不断轻微振动。②兴奋期,爬动片刻后,雌雄蛾翅膀开始高频振动。雌蛾翅膀向水平方向或向上举起,腹部末端上扬,同时产卵器外伸,性信息素腺体逐渐由瘪皱到饱满,由不透明到半透明,最后呈乳白色的半球状体,顶端有液滴透出;雄蛾腹部则间歇性向前弯曲。③欲交配期,雌蛾产卵器继续外伸,最终呈 90°角弯向腹面,且翅膀不断振动,如无雄虫交配,雌虫可较长时间保持此姿态;雄蛾表现为高度兴奋,围绕雌虫不断转动,抱握器张开,阴茎伸出,试图与雌虫交配。

进入欲交配期后,被雌蛾释放性信息素引诱的雄蛾高度兴奋,剧烈振翅,围绕雌蛾旋转,不断用触角触碰雌蛾已外伸的伪产卵器。然后爬行到雌蛾身侧,将腹部末端伸向雌蛾腹部末端,雄蛾抱握器一旦夹住雌蛾,立即转身与雌蛾呈“一”字形交配,交配时间持续 20~60min 不等。交配过程中不会随处移动。

雌蛾在产卵前,先在滤纸条表面爬行,伸出产卵管在滤纸表面摩擦,以寻找适宜的产卵地点。然后,腹部末端不断伸缩,且伴有间歇的左右摆动,将卵一粒粒挤出,粘于滤纸表面,每个卵块几十至几百粒不等。产卵完毕,借腹部颤动把鳞毛覆盖在卵块上。

表 1 温度对甜菜夜蛾交配率和交配高峰期的影响

Table 1 Effect of temperature on percentage and peak period of mating of *Spodoptera exigua*

温度 Temperature (°C)	处理 Pairs	交配高峰期(h)* Peak period of mating	交配持续时间 (min) Mating duration	交配率(%) Mating rate
15	25	5.82±1.44cC	52.84±7.49aA	76
20	25	6.52±1.36cC	42.19±7.68bB	84
25	25	8.19±1.25bB	35.29±7.24cBC	96
30	25	9.71±1.26aA	31.79±7.68cdCD	96
35	25	7.88±1.07bB	26.80±7.49deD	80
40	25	8.41±2.59bB	25.00±11.38eD	44

* 交配高峰期指进入暗期后的时间,表中数据为平均数±S. D.; 同一列中有不同字母的为 Duncan 新复极差法比较差异显著,小写字母为 $P<0.05$,大写字母为 $P<0.01$

Peak period of mating's data are presented as Mean±S. D.; Means in the same column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test. Capital letter is $P<0.01$. Small letter is $P<0.05$

每产一块卵需 5~30min。

2.2 不同温度下甜菜夜蛾的交配高峰期

温度变化对甜菜夜蛾成虫的交配高峰期、交配持续时间和交配率均有明显影响(表 1)。

交配高峰期的出现随温度的升高而延迟, 30℃下出现最晚;但当温度升高到 35℃时, 交配高峰期又有所提前;40℃处理时, 交配高峰期的出现无规律可循。交配持续时间随温度的升高而呈规律性渐趋缩短, 在 35℃条件下比 15℃时缩短了近一半。

交配率自 15℃开始逐渐升高, 至 25~30℃时达到最高;而自 35℃开始, 高温对交配行为开始产生抑制, 与 15℃时相近;在 40℃时, 交配率大大降低, 且大多是无效交配(产出的卵多为未受精卵, 不能正常孵化)。

2.3 温度对甜菜夜蛾生殖力及寿命的影响

温度对甜菜夜蛾生殖力的影响显著, 且同一温度处理对产卵量、抱卵量、卵的产出率及孵化率的影响趋势大体一致(表 2)。25~30℃是甜菜夜蛾繁殖的最适温度范围, 因而可以实现其最大生殖力, 即总抱卵量最多、产卵量最大、卵产出率最高、腹内残存卵量最少、卵孵化率最高。而低于 25℃或高于 30℃时, 其生殖力均受到不同程度的抑制, 特别是在 40℃高温条件下, 其生殖力比室温下明显降低, 产卵量、抱卵量、卵的产出率和孵化率 4 项指标分别比 30℃时减少 92%、44.9%、86.3%和 62.6%, 而腹内残存卵量增加 32 倍。

表 2 温度对甜菜夜蛾产卵量及孵化率的影响

Table 2 Effect of temperature on percentage of hatching and No. of egg laid of *Spodoptera exigua*

温度(℃) Temperature	处理对数 Pairs	产卵量(粒) Egg laid	腹内残余卵量*(粒) Residual eggs in ovary	抱卵量(粒) (产卵量+腹内残余卵量) Total eggs	卵产出率(%) Oviposition rate	卵孵化率(%) Hatching rate
15	17	425.76±45.97cC	57.24±10.50bB	483.00±51.10cB	88.15±1.76dD	89.00±2.95cC
20	20	485.05±61.13bBC	37.75±9.06cC	527.80±64.33bcB	92.82±1.69cC	95.83±3.21bB
25	19	617.21±90.76aA	12.42±5.40deD	629.63±91.28aA	98.01±0.87aA	99.32±1.06aA
30	24	641.21±71.18aA	9.13±4.27eD	650.33±70.03aA	98.58±0.69aA	99.63±0.71aA
35	16	523.38±80.00bB	21.50±8.24dD	544.88±75.57bB	95.88±1.99bB	96.44±2.83bB
40	5	51.00±28.33dD	307.80±60.68aA	358.80±81.73dC	13.48±6.17eE	37.22±5.70dD

* 为死后解剖统计数 The calculation that residual eggs in ovary is a result after female adult died; 表中数据为平均数±S.D. Data are presented as Mean±S.D.

温度对甜菜夜蛾产卵前期、产卵期和成虫寿命的影响, 大体趋势均随温度升高而逐渐缩短(图 1)。在 15、20、25、30 和 35℃时, 雌蛾的产卵前期分别为 3.22、2.91、2.25、1.59 和 1.24d, 即在 30℃和 35℃条件下, 雌虫羽化当晚交配, 第 2 天就可以产卵。但当温度升高到 40℃时, 产卵又明显受到抑制, 产卵前期延长至 3.88d。雌虫产卵期在 15、20、25 和 30℃时无显著差异(分别为 7.94、7.15、7.00 和 6.75d), 在 35℃时开始明显缩短(5.50d), 40℃下仅为 2.40d。甜菜夜蛾成虫的寿命雄蛾明显短于雌蛾(图 2), 在 15℃和 40℃时, 雄蛾的平均寿命分别为 7.00d 和 2.80d, 而在相同温度条件下, 雌蛾的平均寿命可长达 13.24d 和 5.00d。温度变化对甜菜夜蛾每日产卵量及产卵高峰期也有极大影响(图 3), 15、20℃条件下产卵高峰均出现于交配后第 3 天(81.47 粒

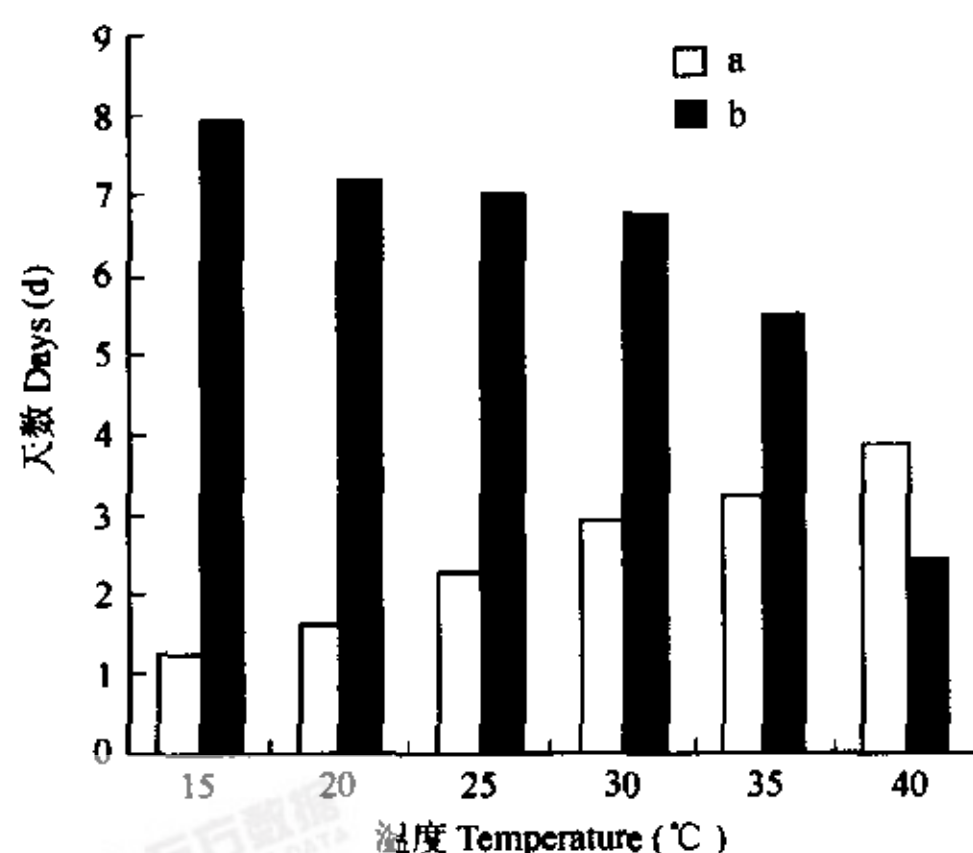


图 1 温度对甜菜夜蛾产卵前期(a)与产卵期(b)的影响

Fig. 1 Effect of temperature on pre-oviposition (a) and oviposition (b) period of *Spodoptera exigua*

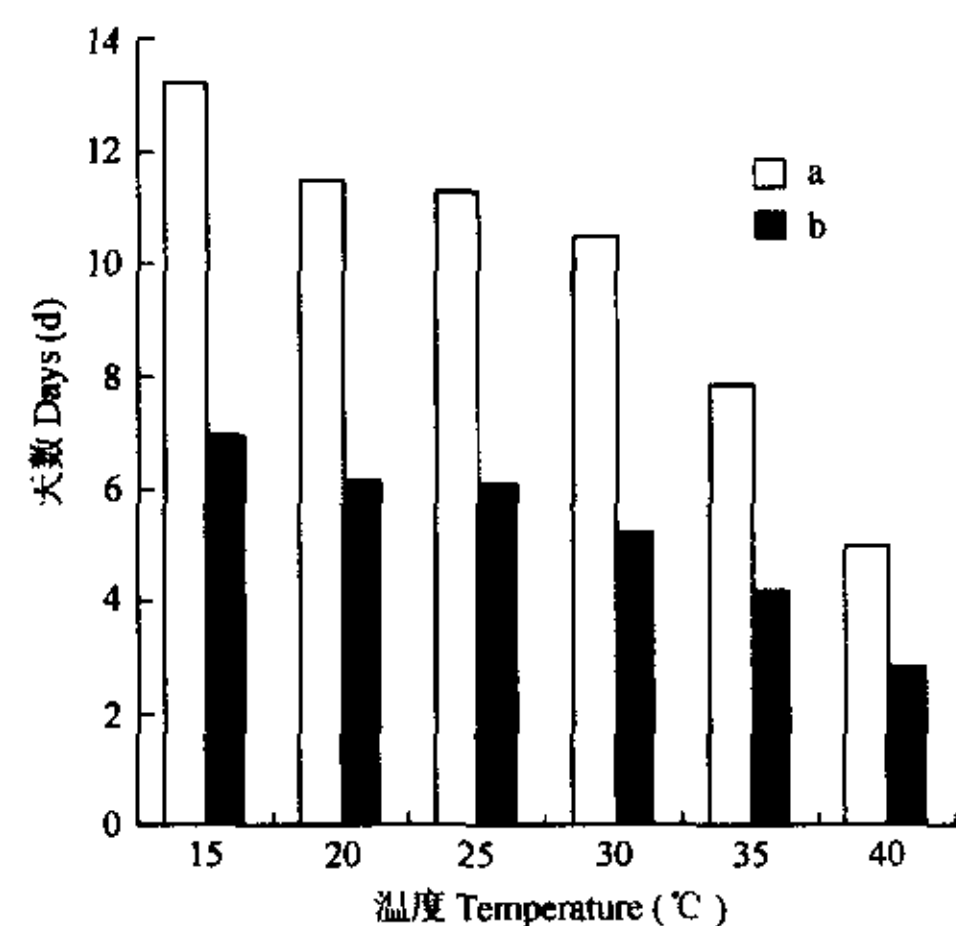


图 2 温度对甜菜夜蛾雌(a)雄(b)虫寿命的影响

Fig. 2 Effect of temperature on longevity of *Spodoptera exigua*

和 96.90 粒),且第 1 天无产卵;25℃和 30℃时产卵高峰出现于交配后第 2 天(112.37 粒和 122.58 粒),第 1 天也有少量产卵;35℃下交配后第 1 天就出现产卵高峰(118.88 粒)。表明温度越高产卵高峰出现越早,且在较高温度下,每日产卵量也多。

在 10℃条件下的试验结果未列出,因为在此温度下,甜菜夜蛾的生殖行为处于被抑制状态,即完全停止交配与产卵,但雌雄虫寿命均明显延长(雌虫最长可达 52d,雄虫为 39d),这一生理状态与粘虫成虫的滞育行为相类似。

3 讨论

夜蛾科昆虫的求偶和交配行为多发生在夜间,具有明显的昼夜节律性,而且这种节律受到外界环境因子(如温度、湿度、光周期等)的综合影响,这种影响已在对一点粘虫^[8]*Pseudaletia unipuncta*、粉纹夜蛾^[9]*Trichoplusia ni*、洋葱羽蛾^[10]*Platyptilia carduidactyla*、美洲棉铃虫^[11]*Heliothis zea*、小地老虎^[12]*Agrotis ipsilon* 的生殖行为的研究中得到证实。甜菜夜蛾在 30℃下,进入

暗期 9.71h 为其交配高峰期,这与朱耀沂在 28℃下的观察结果基本吻合^[5],Wakamura 也观察到在 25℃、光暗比 14:10 的条件下,甜菜夜蛾在进入暗期后 5~7h 开始交配^[13]。甜菜夜蛾交配高峰期随温度的升高而逐渐后推的现象,也可见于枣粘虫^[14]*Ancylis sativa*、一点粘虫^[15]和一种灯蛾 *Holomelina immaculata*^[16]中。但本研究中甜菜夜蛾在 35℃时的交配高峰期又再次提前的现象,有待进一步研究。40℃时,不仅打破了甜菜夜蛾交配的时辰节律,而且导致雌雄虫不能互相寻找,大多丧失交配能力,即使部分能够交配的成虫在交配后也不能顺利分离,说明 40℃是甜菜夜蛾交配的抑制温度。

在 30、35℃条件下,甜菜夜蛾也可以保持很高的生殖力,而粘虫在 35℃时几乎不能产卵^[17],33℃时已不能交配^[18];棉铃虫在 35℃下也不能繁殖后代^[19]。从而表明,甜菜夜蛾是一种亚热带昆虫,对高温有较强的适应能力。夏秋季节,我国北方地区温度可长期维持在 30~35℃,而且食物资源充足,其它害虫因高温而减少,而甜菜夜蛾在此温度下可迅速建立种群,大量繁殖危害。

在 40℃高温下,甜菜夜蛾雌虫腹内残存较多卵量却不能顺利产出,说明温度过高对其繁殖力的影响主要是在抑制卵子形成的同时也抑制了产卵行为。而 15℃时残存卵量很低,大都可以顺利产出,说明低温的影响主要是抑制卵的形成,而对产卵行为无明显影响。40℃高温下卵的孵化率大大降低,而 15℃低温对卵的孵化率影响不大,可能是由于高温不仅对雌虫卵黄发生产生了影响,而且也影响了雄虫精子的形成,因而使雌成虫产出较多不受精卵所致,这与叶恭银在高温对天蚕卵黄和精子发生影响的结果相吻合^[20,21]。有关这方面的机理有待于进一步研究。

References:

- [1] Su J Y. Migration and occurrence of beet armyworm in our country. *Entomological Knowledge*, 1998, 35(1):55~57.
- [2] Gill K S. Insect pests of linseed. *linseed, New Delhi India(ICAR)*, 1987, 342~355.
- [3] Yin R G, Ouyang B Y, Liu A Y. The research on biological feature of beet armyworm. *Entomological Knowledge*, 1994, 31(1):7~10.
- [4] Abbas A and M J Gaylor. Effects of temperature and larval diet on development of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 1992, 21(4): 780~786.
- [5] Zhu Y Y and Wu X T. The studies on emergence, copulation and oviposition of adult Beet Armyworm (*Spodoptera exigua* Hübner). *Chinese J. Entomol.*, 1992, 12:91~99.
- [6] Dong S L and Du J W. Diel rhythms of calling behavior and sex pheromone production of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomologia Sinica*, 2001, 8(1):89~96.
- [7] Yang Z H, Tang X H, Du J W. Effect of environmental temperature on calling behavior and sex pheromone release in *Ostrinia furnacalis*. *Chemical Ecology*, Shanghai: Technology Publishing, 1991. 1:19~24.
- [8] Delisle J and Mcneil J N. Calling behavior and pheromone titre of the true armyworm *Pseudaletia unipuncta*, under different temperature and photoperiodic condition. *J. Insect Physiol.*, 1987, 33:315~324.
- [9] Sower L L. Sex pheromone of noctuid moths XX I. Light:dark cycle regulation and light inhibition of sex pheromone release by females of *Trichoplusia ni*. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 1970, 63:1090~1092.
- [10] Haynes K F. Rate and periodicity of pheromone release from individual artichoke plume moths, *Platyptilia carduidactyla* (Lepidoptera: Pterophoridae). *Environ. Entomol.*, 1983, 12:1597~1600.

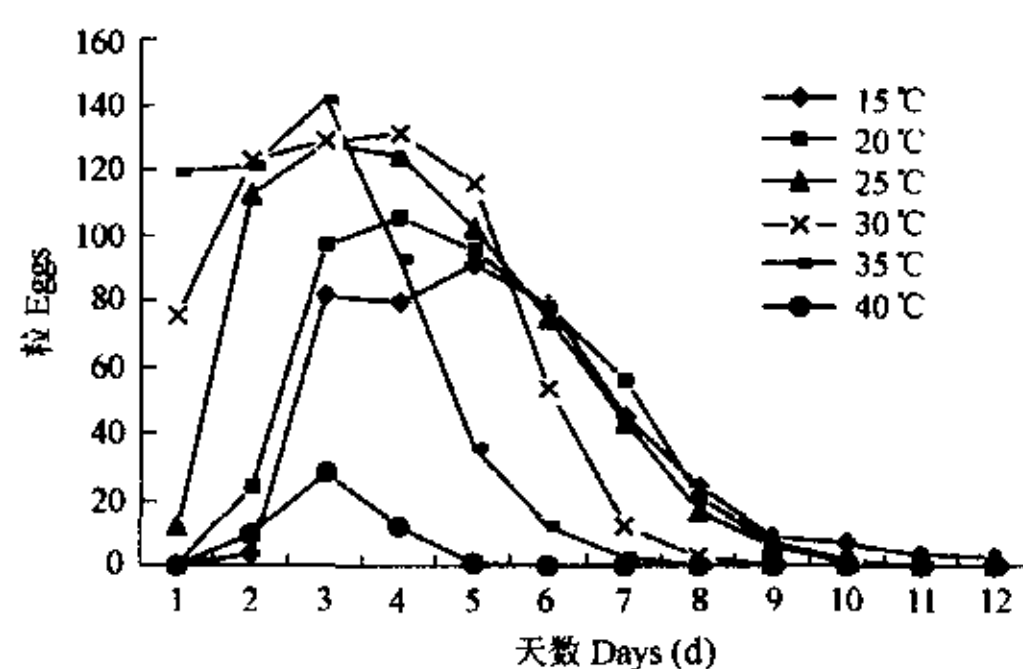


图 3 温度对甜菜夜蛾每日产卵量的影响

Fig. 3 Effect of temperature on No. of egg laid of *Spodoptera exigua*

产卵天数从甜菜夜蛾交配开始算起 The days of laying eggs count from mating of *Spodoptera exigua*

- [11] Pope M M. Composition, quantification and periodicity of sex pheromone volatiles from individual *Heliothis zea* female. *J. Insect Physiol.*, 1984, **12**: 943~945.
- [12] Mats G E. Mating behavior and reproductive potential in the Turnip moth *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Behavior*, 1998, **11**: 343~359.
- [13] Wakamura S. Mating behavior of beet armyworm moth *Spodoptera exigua* (Hübner) (L; N). *Appl. Ent. Zool.*, 1989, **33**: 31~33.
- [14] Han G B and Du J W. Mating behavioral ecology of *Ancylis sativa* adult. *Chinese J. Appl. Eco.*, 2000, **11**(1): 99~102.
- [15] McNeil J N and J J Turgeon. Pheromone biology in the population dynamics of *Pseudaletia unipuncta*, a sporadic pest. *Les Mediateurs chimiques*, Versailles, 1991. 16~20.
- [16] Carde R T and Roelofs W L. Temperature modification of male sex pheromone response and factors affecting female calling in *Holomelina immaculata*. *Can. Entomol.*, 1973, **105**: 1505~1512.
- [17] Liu Z Y, Chen R L, Li M C. *Bulletin of Agri. Sci. of Armyworm*, 1956, **3**: 167~172.
- [18] Jiang X F, Luo L Z, Hu Y. Influences of rearing temperature on flight and reproductive capacity of adult oriental armyworm *Mythimna separata*. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(2): 288~292.
- [19] Zhang X X. Research of cotton bollworm population's rampancy. *Entomological Knowledge*, 1996, **33**(2): 121~125.
- [20] Ye G Y, Hu C, Gong H. Impact of high temperature on testicular growth and development of valuable silkworm *Antheraea yamamai* (Lepidoptera: Saturniidae). *J. Appl. Eco.*, 2000, **11**(6): 851~855.
- [21] Ye G Y, Hu C, Gong H. Effect of a high temperature on vitellogenesis in the Japanese oak silkworm, *Antheraea yamamai* (Lepidoptera: Saturniidae). *Entomologia Sinica*, 1999, **6**(3): 242~252.

参考文献:

- [1] 苏建亚. 甜菜夜蛾的迁飞及在我国的发生. *昆虫知识*, 1998, **35**(1): 55~57.
- [3] 尹仁国, 欧阳本友, 刘爱媛. 甜菜夜蛾生物学特性的研究. *昆虫知识*, 1994, **31**(1): 7~10.
- [5] 朱耀沂, 乌晓天. 甜菜夜蛾成虫之羽化、交尾与产卵能力. *中华昆虫*, 1992, **12**: 91~99.
- [7] 杨智化, 唐贤汉, 杜家纬. 环境温度对亚洲玉米螟求偶活动及性信息素释放的影响. *化学生态学*. 上海科学技术文献出版社, 1991. 1: 19~24.
- [14] 韩桂彪, 杜家纬. 枣粘虫交配行为生态学研究. *应用生态学报*, 2000, **11**(1): 99~102.
- [17] 刘增义, 陈瑞鹿, 李绵春. 粘虫农业科学通讯. 1956, **3**: 167~172.
- [18] 江幸福, 罗礼智, 胡毅. 饲养温度对粘虫飞行和生殖能力的影响. *生态学报*, 2000, **20**(2): 288~292.
- [19] 张孝羲. 棉铃虫种群猖獗的剖析. *昆虫知识*, 1996, **33**(2): 121~125.
- [20] 叶恭银, 胡萃, 龚和. 高温对珍贵绢丝昆虫——天蚕睾丸生长发育的影响. *应用生态学报*, 2000, **11**(6): 851~855.