

光周期对内蒙古三种草原蝗虫高龄若虫发育、存活、羽化、生殖的影响*

陈广平^{1, 2} 郝树广¹ 庞保平² 康 乐^{1**}

(1. 中国科学院动物研究所 农业虫害鼠害综合治理国家重点实验室 北京 100101;

2. 内蒙古农业大学农学院 呼和浩特 010019)

Effect of photoperiod on the development, survival, eclosion and reproduction of 4th instar nymph of three grasshopper species in Inner Mongolia. CHEN Guang-Ping^{1, 2}, HAO Shu-Guang¹, PANG Bao-Ping², KANG Le^{1**}

(1. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract The effect of three kinds of photoperiods (L8: D16, L12: D12, L16: D8) on 4th instar nymph of three grasshopper species were investigated in Inner Mongolia grassland. The results showed that under the condition of $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ during the day time and $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ at night, photoperiods had little effect on the development, eclosion, and reproduction of *Dasyhippus barbipes* (F.-W.) and *Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bidenko, but influenced the survival of these two species of grasshoppers significantly ($P < 0.01$). *D. barbipes* and *O. d. asiaticus* had the fastest developmental rate at middle photoperiod (L12: D12). Short photoperiod (L8: D16) was beneficial to development of *Chorthippus fallax* (Zub.), followed by middle photoperiod. *D. barbipes* had the highest eclosing rate at middle photoperiod, but long photoperiods (L16: D8) were beneficial to that of *O. d. asiaticus* and *C. fallax*. However, photoperiods had significant effect on oviposition ability of these three species. Middle and long photoperiod were beneficial to oviposition of *D. barbipes* and *O. d. asiaticus*, while short and middle photoperiod were beneficial to oviposition of *C. fallax*. This phenomena was matched with the phenology of these three grasshopper species.

Key words grasshopper, photoperiod, larval development, survival rates, eclosing rate, oviposition

摘 要 研究不同光周期(L8: D16、L12: D12及L16: D8)对毛足棒角蝗 *Dasyhippus barbipes* (F.-W.), 亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bidenko, 小翅雏蝗 *Chorthippus fallax* (Zub.) 3种草原蝗虫高龄若虫的发育、存活、羽化、生殖的影响。结果表明: 在白天温度 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$, 黑夜温度 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的恒定温度下, 不同光周期对毛足棒角蝗和亚洲小车蝗高龄若虫的发育、羽化、产卵影响不大, 但是对其存活率有极显著的影响: 毛足棒角蝗和亚洲小车蝗高龄若虫到成虫的发育速度在中光照下(L12: D12)最快。而在短光照(L8: D16)下更有利于小翅雏蝗若虫发育, 其次是中光照; 毛足棒角蝗的羽化在中光照条件下最适宜, 而长光照时数(L16: D8)更有利于亚洲小车蝗和小翅雏蝗的羽化; 光周期对亚洲小车蝗产卵影响最为明显, 毛足棒角蝗和亚洲小车蝗在中光照和长光照时数条件下有利于它们产卵, 而小翅雏蝗在短光照和中光照时数下有利于产卵。

关键词 草原蝗虫, 光周期, 发育速度, 存活率, 羽化, 产卵

蝗虫是一类草原生态系统内的初级消费者, 在世界范围内也是草原地带的主要害虫^[1, 2]。在我国历史上, 蝗灾、水灾、旱灾、称为三大自然灾害, 长期威胁农业生长的发展和人

* 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD16B04)。

** 通讯作者, E-mail: lkang@ioz.ac.cn

收稿日期: 2008-03-25, 修回日期: 2008-07-11

民生活^[3]。近几年来,由于全球气候的变化,人类活动的加剧,对自然资源的不当开发利用,造成生态与环境条件的严重破坏,更是加重了蝗灾的发生。从2000年开始,内蒙古草原连续5年(2000~2004年)大面积发生蝗灾,因此草原蝗害的防治已成为草地科学和草地管理中的一项重要任务^[4]。

内蒙古的草原蝗虫是一化性的(univoltine),以卵在土壤中越冬^[2]。在1龄蝗蛹的孵化时间上,根据种的物候学特性,形成了一定的先后顺序。毛足棒角蝗 *Dasyhippus barbipes* (F.-W.)、亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* B.-Bidenko 和小翅雏蝗 *Chorthippus fallax* (Zub.) 是内蒙古典型草原不同季节的优势蝗种^{*, [6]}。它们各在其适宜的植被生境内生存,主要取食禾本科(Graminae)的牧草植物。根据它们的孵化时间先后顺序的不同,可以将毛足棒角蝗作为早期种(early-hatching species)(4月下旬开始孵化,6月中下旬开始羽化),亚洲小车蝗为中期种(medium-hatching species)(5月下旬至6月上旬开始孵化,7月中开始羽化),小翅雏蝗为晚期种(late-hatching species)(7月上旬开始孵化,8月上、中旬开始羽化)^[7, 8]。由于温度和光照周期是昆虫生长发育和生活史对策的主要诱导因子,也是草原蝗虫形成其特定物候学规律的决定因素,所以对温度和光照周期对草原蝗虫生长发育、生殖产卵、滞育越冬及其物候学规律的作用就成为蝗虫学研究者关注的对象,用以探讨蝗虫的生物学特性和成灾规律。

过去对草原蝗虫的研究工作多集中在温度的作用方面,包括:发育起点温度、有效积温^[9~12]、产卵地点的选择^[13]、过冷却能力和抗寒性^[14~16]、胚胎发育、滞育特性^[17~27]等方面。光周期对其它昆虫的作用有大量的研究成果^[28~30],而对蝗虫生物学的影响只有在飞蝗 *Locusta migratoria* 中有过报道^[22],认为光照周期主要影响到飞蝗的滞育特性,蝗虫感受光周期诱导的敏感阶段是4~5龄等高龄若虫。草原蝗虫作为飞蝗的同类,对光照周期的反映是否

与飞蝗相同、光周期对草原蝗虫生长发育、物候规律和生活史对策的影响程度如何?是当前蝗灾预测和防治急需了解的课题。因此开展此项研究工作,以此为深刻理解草原蝗虫的发生、发展规律积累资料。

1 材料与方法

本研究在内蒙古锡林郭勒盟的中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站(43°26'~44°08'N, 116°04'~117°05'E)进行。在3种草原蝗虫4龄若虫的高峰期,集中采集选择刚蜕皮的个体用于试验。(3种蝗虫高龄若虫的采集时数分别为毛足棒角蝗5月下旬、亚洲小车蝗6月末到7月初、小翅雏蝗7月下旬),每种蝗虫4龄若虫放在一个木制的养虫笼(50 cm × 50 cm × 50 cm,笼底部有供蝗虫产卵的装有沙土的花盆)中用新鲜的小麦苗、麦麸皮饲养,养虫笼置于白天温度为(28±1)℃,黑夜温度为(23±1)℃的人工智能气候培养箱(宁波海曙赛福试验仪器厂,PRX-450D)中。

光周期设为短光照(L8:D16)、中光照(L12:D12)和长光照(L16:D8)3个处理,每个处理6个重复,每个重复100头4龄若虫(雌:雄=1:1)。每天观察并记录蝗虫若虫死亡数,成虫羽化数、死亡数,以此计算高龄若虫到成虫发育历期、高于10℃的积温量和累计羽化率,以及每种高龄若虫的存活曲线。每2天筛1次卵,记录每种蝗虫的产卵块数,计算每种蝗虫的产卵前期、产卵期。

3种蝗虫高龄若虫在3个光周期处理下的每天发育的积温量:

$$K' = \frac{(28-10) \times \text{光照(h)} + (23-1) \times \text{黑暗(h)}}{24}$$

由公式可得 $K'_{\text{短光照}} = 14.67$, $K'_{\text{中光照}} = 15.50$, $K'_{\text{长光照}} = 16.33$ 。这里以10℃作为3种蝗虫的高龄若虫发育起点温度。因为蝗虫卵的发育起

李鸿昌,陈永林. 内蒙古典型草原亚带锡林河流域蝗虫区系的研究. 草原生态系统研究, 1988, (2): 26~44.

点温度为 10~ 12℃^[12], 主要是为了比较不同光周期处理对 3 种蝗虫的高龄若虫发育历期、成虫产卵前期和产卵期的差异。

在 3 个处理下高龄若虫发育至羽化的平均积温量:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^L K' \times N \times L}{\sum N},$$

式中, N 为每天的羽化数, L 为高龄若虫发育至羽化的历期。

每种蝗虫的存活曲线是从开始饲养 4 龄若虫到成虫产卵结束的一个曲线图, 其中每种以 (1 000×存活率) 的自然对数值为纵坐标, 时间日期为横坐标作成折线图。试验数据处理采用 SPSS 13.0 软件分析: 不同处理间差异比较用 one-way ANOVA/Duncan 进行多重比较, 其中对每种蝗虫的羽化率和存活率数值首先进行反正弦转换, 然后再进行统计分析和多重比较。存活曲线采用 Paired-Sample T -Test 比较不同处理间的差异。其中的小翅雏蝗重复数不够, 试验中没有做多重比较。

2 结果与分析

2.1 光周期对 3 种草原蝗虫高龄若虫发育的影响

不同光周期对毛足棒角蝗高龄若虫到成虫的积温量影响没有显著差异。但毛足棒角蝗高龄若虫到成虫的积温量(均值±标准误差,下同)随着光照时数的延长依次为 196.27±12.81、193.89±8.90 和 233.08±27.51 日·度, 在长光照下积温量有较大幅度的增加。亚洲小车蝗依次为 227.08±14.74、201.18±3.36 和 201.37±5.81 日·度, 之间也没有显著差异, 但在短光照下延长幅度较大; 小翅雏蝗高龄若虫到成虫积温量随着光照时数的延长有升高的趋势, 依次为 168.64、174.60 和 184.35 日·度(图 1)。这表明, 中、长光照时数更有利于亚洲小车蝗高龄若虫的生长发育, 而小翅雏蝗高龄若虫在短光照和中光照时数更有利于其生长发育, 并且在短光照下发育速度最快。结果与 3 种蝗

虫的物候学规律是完全吻合的。

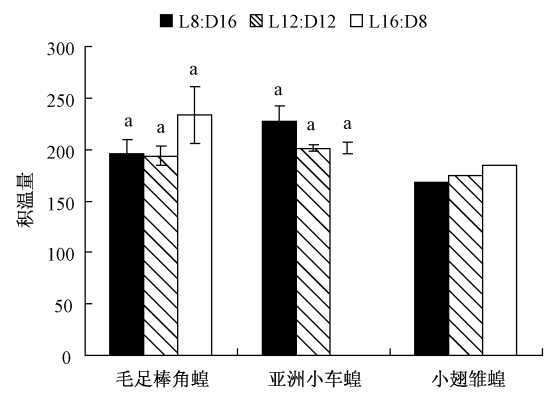


图 1 不同光周期对 3 种草原蝗虫高龄若虫发育到成虫所需积温量的影响(平均值±标准误)。注: 同种之间的具有相同字母的, 表示差异不显著, 根据 one-way ANOVA/Duncan, spss13.0 (图 2、图 3 同)。

2.2 光周期对 3 种蝗虫高龄若虫存活率的影响

每种蝗虫存活曲线采用 Paired-Sample T Test 分析可以得出(图 2), 不同光周期对毛足棒角蝗和小翅雏蝗高龄若虫存活率都有极显著 ($P<0.01$) 的影响。毛足棒角蝗在中光照下的存活率都极显著高于其它 2 个处理, 其次为长光照。亚洲小车蝗高龄若虫在不同光周期下的存活率随着光照时数的延长而极显著升高, 说明亚洲小车蝗高龄若虫在光照时数长的条件下更有利于它们的存活, 小翅雏蝗也是在长光照时数的条件下有利于存活。

2.3 光周期对 3 种草原蝗虫羽化率的影响

不同的光周期对毛足棒角蝗和亚洲小车蝗的羽化率影响不显著。但毛足棒角蝗的羽化率在中光照(L12:D12)最高, 羽化率随着光照时数的延长依次为 61.64%±7.28%、77.88%±6.25% 和 62.85%±8.46%; 亚洲小车蝗的羽化率随着光照时数的延长而逐渐升高, 羽化率依次为 73.14%±8.41%、79.30%±5.61% 和 83.33%±3.33%, 处理之间没有显著差异; 小翅雏蝗的羽化率也随着光照时数的延长而逐渐升高, 羽化率依次为 75.12%、82.31% 和 87.08%(图 3)。这表明毛足棒角蝗的羽化在中

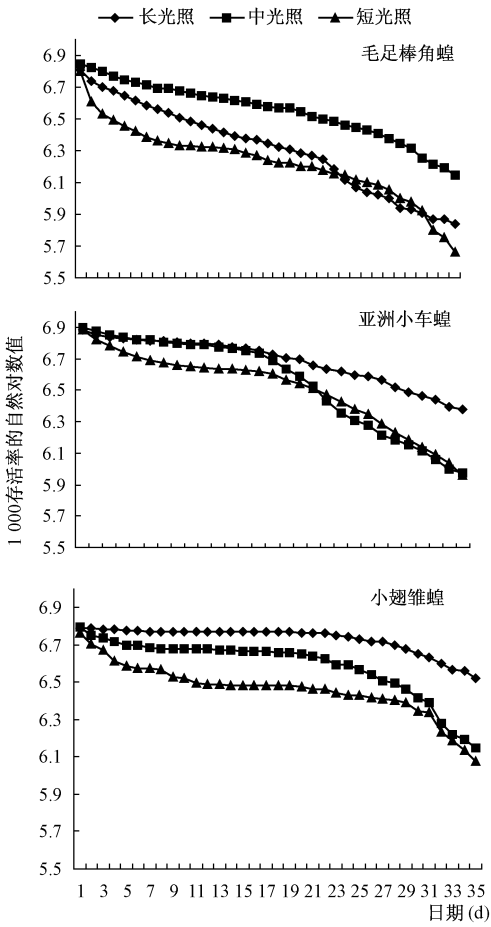


图2 不同光周期对3种蝗虫存活率的影响

光照条件下最适宜,而长光照时数更有利于亚洲小车蝗和小翅雏蝗的羽化。

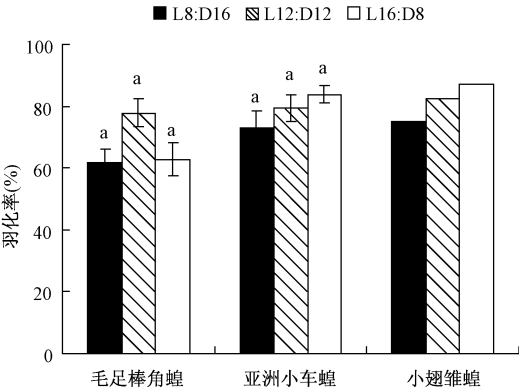


图3 不同光周期对3种蝗虫羽化率的影响(均值±标准误)

2.4 光周期对3种草原蝗虫产卵前期积温量

和产卵期积温量的影响

毛足棒角蝗在3个光周期之间的产卵前期积温量没有显著差异,并且在中光照下稍低于其它2个处理,产卵前期积温量随着光照时数的延长依次为 180.89 ± 9.01 、 178.25 ± 13.12 和 179.67 ± 15.21 日·度。而产卵期积温量在短光照下显著低于长光照($P < 0.05$),依次为 246.89 ± 20.19 、 279.00 ± 6.93 和 312.58 ± 16.22 日·度;亚洲小车蝗的产卵前期积温量在短光照下极显著高于中光照($P < 0.01$),其它处理间没有显著差异,产卵前期积温量随着光照时数的延长依次为 256.67 ± 18.06 、 195.56 ± 11.77 和 229.78 ± 10.49 日·度。而产卵期积温量短光照显著低于长光照($P < 0.05$),其它处理间没有显著差异,并且随着光照时数的延长而有升高的趋势,依次为 242.00 ± 34.24 、 300.67 ± 30.93 和 366.67 ± 21.75 日·度;小翅雏蝗产卵前期积温量随着光照时数的延长依次为 190.67 、 190.67 和 180.33 日·度,产卵期积温量依次为 344.67 、 354.44 和 339.78 日·度(图4),这表明中、长光照时数有利于毛足棒角蝗和亚洲小车蝗成虫产卵,而短光照和中光照时数有利于小翅雏蝗产卵,上述结果与3种蝗虫发生物候期是一致的。

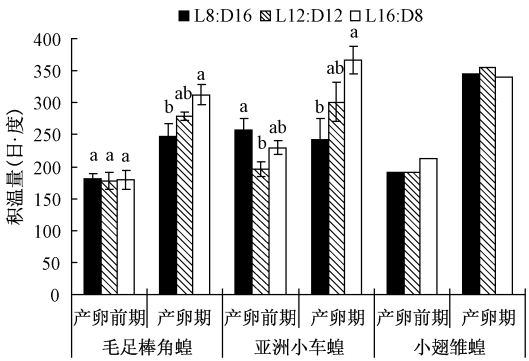


图4 不同光周期对3种蝗虫产卵前期积温量和产卵期积温量的影响

3 结论与讨论

光周期作为一种影响昆虫生活节律的信息,对昆虫的发育、内在的生理代谢、羽化、交配

产卵和孵化、取食活动以及种群季节性变动规律等都表现出强烈的作用^[32, 33]。前人的工作认为光周期对昆虫生长发育都有一定的影响^[19, 25, 27~32]。本研究发现不同的光周期处理(L8 D16、L12 D12 及 L16 D8)对毛足棒角蝗和亚洲小车蝗高龄若虫生长发育、羽化、产卵的影响不大,但是对这2种草原蝗虫的存活率有极显著的影响。

由于蝗虫对光的反映都是正趋性的,只有在光照条件下才开始活动和取食,因而光周期变化可直接或间接地影响蝗虫的生长发育和其它生物学特性,从而影响其整体的生活史对策和物候规律。不同的蝗虫种类适应于不同的光照条件,从而形成年度内特定的发生序列。另外,光周期对昆虫滞育的发生和解除有重要的作用,光周期诱导产生的滞育不仅是昆虫克服不良环境条件(如低温、干旱、食物短缺)的一种适应机制,也是昆虫使其生活史保持与季节同步的一种生活史策略^[5],对蝗虫这种一化性昆虫来说,光周期可能对其滞育、越冬和调节其发生时间,形成特定的物候期起着更为关键的诱导和限制作用。我们的试验结果提示草原蝗虫的早期种和中期种适应于中、长光照周期,而晚期种更适应于短、中光照周期,这与其发生物候是完全吻合的。

在自然中,光周期的变化常常与温度和湿度的变化耦联在一起,三者的共同或交叉效应是非常复杂的,往往优于单一因素的作用。光周期对昆虫活动节律的影响,往往和温、湿度等其它环境条件共同起作用,因此在讨论和评价光周期的作用时,应该联系温度的作用。

参 考 文 献

- Anderson N. L. Some relationships between grasshoppers and vegetation. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 1964, **57**: 736~742.
- Lockwood J. A., Li H. C., Dohl J. L., et al. Comparison of grasshopper ecology on the grassland of the Asian steppe in Inner Mongolia and the Great plains of North America. *J. Orthoptera Res.*, 1994, **3**(2): 4~14.
- 康乐,陈永林.关于蝗虫灭灾减灾对策的探讨.中国减灾, 1992, **2**(1): 50~52.
- 刘玲,郭安.2004年内蒙古草原蝗虫大发生的气象生态条件分析.气象,2004, **30**(11): 55~57.
- Tauber M. J., Tauebr C. A., Masaki S. Seasonal adaptations of insect. New York and Oxford: Oxford University Press, 1986.
- 李鸿昌,康乐.内蒙古的自然环境与草地昆虫区系.北京:天则出版社,1991. 31~33
- 康乐,陈永林.草原蝗虫生态位的研究.昆虫学报,1994, **37**(2): 178~189.
- Kang L., Chen Y. L. Multidimensional analysis of resource utilization in assemblages of grassland grasshoppers. *Entomol. Sin.*, 1994, **1**(3): 264~282.
- Fisher J. R. Temperature effect on postdiapause development and survival of embryos of three species of *Melanoplus*. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 1994, **87**(5): 604~608.
- Fisher J. R., Kemp W. P., Pierson F. B. *Aulocara dliotti*: diapause termination, postdiapause development, and prediction of hatching. *Environ. Entomol.*, 1996, **25**: 1158~1166.
- Fisher J. R., Kemp W. P., Pierson F. B. Postdiapause development and prediction of hatch of *Ageneotettix deorum*. *Environ. Entomol.*, 1999, **28**(3): 347~352.
- Hao S. G., Kang L. Effects of temperature on the post-diapause embryonic development and the hatching time in three grasshopper species. *J. Appl. Ent.*, 2004, **128**: 95~101.
- Kemp W. P., Sanchez N. E. Differences in postdiapause thermal requirements for eggs of two rangeland grasshoppers. *Can. Entomol.*, 1987, **119**: 653~661.
- Block W., Li H. C., Worland R. Parameters of cold resistance in eggs of three species of grasshoppers from Inner Mongolia. *Cryoletters*, 1995, **16**: 73~78.
- Jing X. H., Kang L. Geographical variation in egg cold hardiness: a study on the adaptation strategies of the migratory locust *Locusta migratoria* L. *Ecol. Entomol.*, 2003, **28**: 151~158.
- Hao S. G., Kang L. Supercooling capacity and cold hardiness of the eggs of the grasshopper *Chorthippus fallax*. *Eur. J. Entomol.*, 2004, **101**: 231~236.
- Church N. S., Salt R. W. Some effects of temperature on development and diapause in eggs of *Melanoplus bivittatus*. *Can. J. Zool.* 1952, **30**: 173~184.
- Groeters F. R. The adaptive role of facultative embryonic diapause in the grasshopper *Caledia captiva* in southeastern Australia. *Ecography*, 1994, **17**(3): 221~228.
- Sabrosky C. W., Lasron I., Nabours R. K. Experiments with light upon reproduction growth and diapause in grouse locusts. *Trans. Kans. Acad. Sci.*, 1933, **36**: 298~300.
- Ingrish S. Effect of photoperiod on the maternal induction of an egg diapause in the grasshopper *Chorthippus borehalm*. *Entomol. Exper. Appl.*, 1987, **45**(2): 133~138.

- 21 Tanaka S. The significance of embryonic diapause in a Japanese strain of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. *J. Entomol.*, 1992, **60**(3): 503~ 520.
- 22 Tanaka H. Embryonic diapause and life cycle in the migratory locust, *Locusta migratoria* L., in Kyoto. *Appl. Entomol. Zool.*, 1994, **29**(2): 179~ 191.
- 23 Dingle H., Mousseau T. A. Geographic variation in embryonic development time and stage of diapause in a grasshopper. *Oecologia*, 1994, **97**(2): 179~ 185.
- 24 Fisher J. R. Embryonic diapause in *Aulocara ellioti* and *Ageneotettix deorum*: low-temperature relationships. *Environ. Entomol.*, 1997, **26**: 906~ 911.
- 26 Kawano S., Ando Y. Effects of photoperiod on nymphal development, pre-oviposition period and egg diapause in the subtropical rice grasshopper, *Oxya chinensis formosana*. *Appl. Entomol. Zool.*, 1997, **32**(3): 465~ 470.
- 27 Zhao Y. X., Hao S. G., Kang L. Variations in the embryonic stages of overwintering eggs of eight grasshopper species in Inner Mongolian grasslands. *Zool. Stud.*, 2005, **44**: 536~ 542.
- 28 Tanaka S. Effects of changing photoperiod on nymphal development in *Pteronemobius nitidus* Bolivar. *Kontyu*, 1978, **46**: 135~ 151.
- 29 Nithizuka M., Azuma A., Masaki S. Diapause response to the photoperiod and temperature in *Leptismia sacharina*. *Entomol. Sci.*, 1998, **4**(1): 7~ 14.
- 30 Zhu D. H., Tanaka S. Photoperiod and temperature affect the life cycle of a subtropical cockroach, *Qisoplatia orientalis*: seasonal pattern shaped by winter mortality. *Physiol. Entomol.*, 2004, **29**(1): 16~ 25.
- 31 Tanaka S., Hakomori J., Hasegawa H. Effects of day length and hopper density on reproductive traits in a Japanese population of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. *J. Insect Physiol.*, 1993, **39**: 571~ 580.
- 32 Beck S. D. Insect photoperiodism. Academic press, New York and London, 1968.
- 33 Saunders D. C. Insect Clocks (Second edition). Pergamon press, Oxford, 1982.

气象要素的时间分布对五代桑螟数量影响分析*

毛美红 白锡川**

(浙江省湖州市吴兴区农林技术推广服务中心 浙江 湖州 313000)

Impact of time distribution of meteorological elements on population of the 5th generation of *Diaphania pyralis*. MAO MeiHong¹, BAI XiChuan^{2*} (Wuxing Extending Center of Agriculture and Forestry Technology, Huzhou, Zhejiang 313000, China)

Abstract The effect of meteorological elements on amount of 5th generation of *Diaphania pyralis* Walker was analyzed with integral regression method. The results showed that there was great variation in the effect of time distribution of meteorological elements. The element with greatest impact was relative humidity, daily average temperature secondly, and precipitation and sunshine played decorating roles for humidity and temperature. High temperature and humid weather in early August, and high temperature and dry weather in mid-August may promote the increasing of 5th generation of *D. pyralis*. Humid weather and moderate low temperature in early September and dry weather and moderate high temperature in mid-September were beneficial for the increasing of 5th generation of *D. pyralis*. Humid environment was advantageous to egg survival and hatching, and dry environment is advantageous to the survival of larvae and pupae. Tested with 11-year record, it fitted significantly. The deviation between estimated values and investigation in the field in 2007 was 13.6%, which proved that the simulation with mathematical model can accurately reflect natural population dynamics of 5th generation of *D. pyralis*.

Key words *Diaphania pyralis*, meteorological element, time distribution

* 浙江省科技厅农业科技成果转化类科技计划(浙科 2005D70030)。

** E-mail: bxc2022995@163.com

收稿日期: 2008-01-30, 修回日期: 2008-04-15, 2008-06-19 再修回