

温度对赤拟谷盗爬行和起飞活动的影响^{*}

李兆东^{1**} 王殿轩^{1***} 乔占民²

(1. 河南工业大学粮油食品学院 粮食储藏与安全教育工程研究中心 郑州 450052;

2. 河南国家粮食储备库 郑州 450052)

摘 要 在不同温度下研究了赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*(Herbst) 在固体物面、设定粮面、温度均匀的粮(小麦)柱和具有温度梯度粮柱内爬行扩散速度、起飞温度等。主要结果为:赤拟谷盗在 17℃ 开始有爬行为,25℃ 开始有飞行行为,在 15~25℃ 时水平爬行速度和 15~20℃ 时竖直运动速度与温度呈显著正相关,在无障碍固体物面上的爬行速度为在粮面上速度的 3.9~5.9 倍,在水平粮柱内的扩散速度约为在竖直粮柱内扩散速度的 1.2~3.1 倍,赤拟谷盗的适宜起飞温度在 25~30℃ 之间。

关键词 赤拟谷盗,温度,爬行,起飞

The influence of different temperature on the crawl and flight initiation of *Tribolium castaneum*(Herbst)

LI Zhao-Dong^{1**} WANG Dian-Xuan^{1***} QIAO Zhan-Min²

(1. School of Food Science and Technology, Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China;

2. Henan State Grain Storage Zhengzhou 450047, China)

Abstract The influence of temperature on the dispersal rate and flight initiation of *Tribolium castaneum*(Herbst) adults was studied at different temperatures and on different substrates. The dispersal rate was monitored both on a solid surface and on wheat in a perspex groove at both uniform temperatures and over a temperature gradient. The results indicate that the minimum temperature that initiated crawling was 17℃ both on the solid surface and wheat bulk. The minimum temperature for flight initiation was 25℃ on both substrates. The dispersal rate of adults significantly increased with temperature within the range of 15~25℃ for horizontal movement, and within the range of 15~20℃ for vertical movement in the wheat column. The dispersal rate on the solid surface was 3.9~5.9 times higher than that on wheat. The dispersal rate in wheat columns was 1.2~3.1 times higher than in vertical columns without wheat. The ideal flight temperature was 25~30℃ for both male and female *T. castaneum*.

Key words *Tribolium castaneum*, temperature, crawling, flying

储粮害虫的爬行和飞行是一种对环境的适应性行为,可以使其迅速离开原来生存环境,躲避不良的环境条件,这些有利于其利用随时间和空间进行变化的资源,以减轻其整个生活史中因环境恶化所带来的影响(吴先福等,2006)。正是这些行为,使得外界害虫易于爬行或飞行入仓,感染储粮。害虫爬行和飞行的行为受多种因素制约,其

中温度是最重要的影响因素之一(Cox et al., 2007)。储粮害虫属变温动物,保持和调节体温的能力有限,其生命活动只有在一定的温度范围内才能正常进行,超过一定的温度范围,生命活动将受到抑制,具体表现为行动迟缓,不能起飞,甚至麻痹(白旭光等,2002)。因此研究温度对储粮害虫活动的影响有助于适时的采取有效的防治措

* 资助项目 “十二五”国家科技支撑计划课题:储粮粮情关键因子调控及害虫生物防治技术的研究与示范(2011BAD03B02)。

**E-mail: dongbottle@126.com

***通讯作者,E-mail: wangdianxuan62@126.com

收稿日期:2010-11-08,接受日期:2010-11-26

施。

具有飞行能力的储粮害虫包括玉米象 *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)、谷蠹 *Rhizopertha dominica* (Fabricius)、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst)、杂拟谷盗 *Tribolium confusum* (Jacquelin duval)、麦蛾 *Sitotroga cerealella* (Olivier)、印度谷螟 *Plodia interpunctella* (Hübner)、粉斑螟 *Ephestia cautella* (Walker) 等(白旭光等, 2002)。其中赤拟谷盗食性杂, 寿命长, 危害期长, 适应性强, 繁殖能力强(白明杰等, 1999)。通常中国粮食存储期长, 在 2~3 年或 3~5 年或更长的存储期内, 赤拟谷盗常成为主要发生的害虫和防治对象(王殿轩等, 2007)。研究赤拟谷盗的温度行为学中的爬行和飞行行为, 可为及时检测害虫发生和适时有效预防提供依据。目前关于温度对储粮害虫爬行及飞行行为影响的研究还很少, 如 Jian 等(2002)报道锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) 在温度场内的二维扩散; Dowdy 和 McGaughey(1994)研究了谷蠹、米扁虫 *Ahasverus advena* (Waltl)、锈赤扁谷盗在不同季节的活动; Aslam 等(1994)研究了温度对谷蠹起飞的影响; Cox 和 Dolder(1995)报导了小室中一些小型害虫的起飞行为。关于温度对赤拟谷盗运动行为影响的研究还较匮乏, 本文研究了若干设定条件下温度对赤拟谷盗爬行和起飞行为活动的影响, 为此害虫的检测和合理防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试虫

试验所用赤拟谷盗采自湖南省益阳市某粮食仓库, 在河南工业大学储藏物昆虫研究室培养数代。试验采用羽化 2 周的成虫为试虫。

1.2 主要测试仪器与装置

温度控制采用 ZSD-A1430 全自动生化培养箱, 控温精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 上海智城分析仪器制造有限公司生产。

光照度测定采用 Victor 1010A 型自动量程数字照度计, 深圳市胜利高电子科技有限公司生产。

温度检测采用 LYLJ-II 型手持测温仪, 郑州贝博电子有限公司, 测温误差 $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

固体物面爬行测试装置: 为透明有机玻璃槽, 长 60 cm、宽 9 cm、高 8.5 cm, 可五面封闭, 底面设

有坐标纸, 4 个侧面涂有聚四氟乙烯以防沿侧壁上爬。分别进行未装粮时即无粮平面上试虫的爬行速度测试, 和在有机玻璃槽内放入厚度 20 mm 小麦后的有粮平面中的试虫爬行速度测试。

粮柱爬行测试装置: 为内径 16 cm 的 PVC 管, 高度 200 cm, 侧壁每隔 20 cm 设一取样孔, 底部取样孔高度为 10 cm, 顶部取样孔高度为 170 cm, 共设 9 个取样孔并依次编号。装置顶部封闭, 底部设 1 调节温度热源, 为封闭的水浴加热装置。分别在装置两端设连接管, 连接管串连 1 个微型环流风机, 与前述温度热源共同用以调节粮柱上下的温度梯度。装入粮食的同时, 置入测温电缆, 电缆内温度传感器的测温误差 $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

起飞测试装置: 采用容积 2.8 L, 外径 13.8 cm, 高度 27.5 cm 的广口瓶, 其中央距瓶底 15 cm 处悬吊内径 6.5 cm, 高 0.8 cm 的培养皿, 培养皿底部粘上定性滤纸, 内壁涂上聚四氟乙烯, 以防试虫沿侧壁爬出。

1.3 试验用粮

试验用粮为二等白色硬质冬小麦。先筛除杂质, 在 60°C 温度下处理 2 h 以处死其中害虫, 调节其水分含量为 12%, 不完善粒小于 1%。

1.4 方法

1.4.1 赤拟谷盗固体物面水平爬行速度测定

将赤拟谷盗成虫 200 头置于固体物面爬行测试装置一端, 用有机玻璃板限制其活动范围 $5\text{ cm} \times 9\text{ cm}$ 于原点, 适应 2 h 后移去限制板, 采用 640×480 像素的 Digital IXUS 70 数码相机分别记录无粮爬行测试装置和有粮时装置内害虫的运动情况, 在计算机中对录像进行检测, 分析检查害虫的运动行为与爬行速度。试验环境温度分别为 15、17、20、23、25、28、31 和 35°C 。每个温度下重复 3 次。

1.4.2 赤拟谷盗在柱内运动速度测试 在粮柱内装满小麦, 调节到设定温度后, 由粮柱中部取样孔用导虫管将 1 000 头成虫引入。以后每间隔 1 h 从各取样孔取粮样 50 g, 检查其中的害虫数量。每次取样后再补充入等量小麦, 取样检查至粮柱最远端有害虫检出。采用同样装置在粮柱等温情况下分别测试害虫在竖直和水平粮柱中的运动情况。试验温度分别为 15、17、20、23、25、28、31 和 35°C , 重复 3 次。

另外, 采用同样粮柱竖立后在其底部设置水

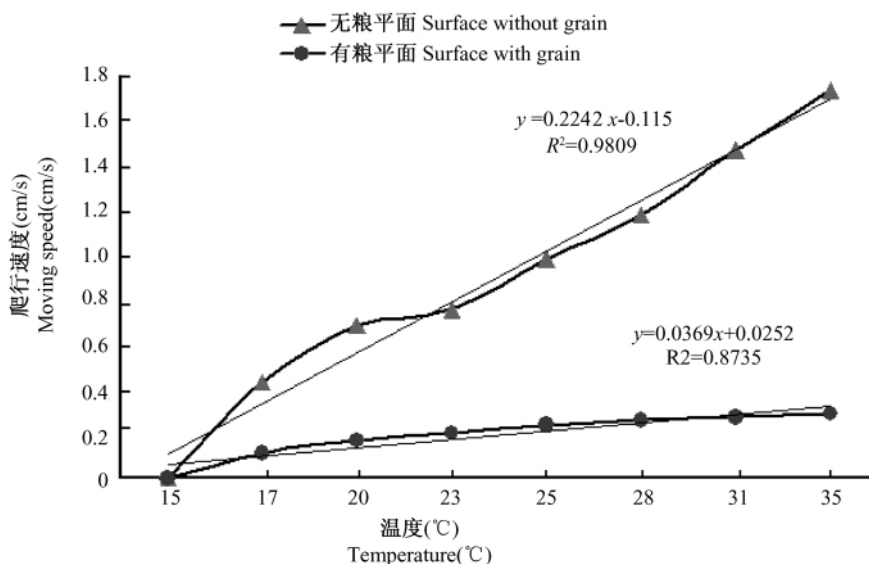


图 1 不同温度下赤拟谷盗在无粮平面上和有粮平面中的爬行速度

Fig. 1 Moving speed of *Tribolium castaneum* on solid surface at different temperature

浴热源,经气体环流后使粮柱产生由下至上 40 ~ 20℃ 的温度差别。再采用同前的方法进行试虫置入和取样检查。每个相同条件测试 3 次。

1.4.3 赤拟谷盗起飞情况的测定 取 100 头试虫于培养皿中并盖好皿盖,分别置于 (150 ± 5) lx 的光照和黑暗的培养箱内的广口瓶中,2 h 后去掉培养皿盖,用洁净棉布封闭广口瓶口。24 h 后检查记录飞出的赤拟谷盗成虫的数量,并通过解剖确定起飞试虫的雌雄。测定温度为 20、23、25、28、31、34 和 37℃。每个温度下测定 3 次。

1.5 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 处理,采用 DPS 软件和 Duncan 氏新复极差法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 温度对赤拟谷盗爬行的影响

赤拟谷盗成虫在无粮平面和有粮平面上的爬行速度(取样点至原点的距离与试虫达到取样点的时间的比)对应温度的关系如图 1。经回归分析,赤拟谷盗在无粮平面上的爬行速度与温度变化回归方程为 $y = 0.224x - 0.115$ ($R^2 = 0.980$)。害虫有粮平面中的爬行速度与温度变化,回归方程为 $y = 0.0369x + 0.0252$ ($R^2 = 0.8735$)。结果表明,无粮的固体物面上,随温度升高害虫的爬行速度增加较快;赤拟谷盗在平整的粮面运动时受到

粮粒障碍、粮面高低变化和粮粒间隙等的影响,水平爬行速度随温度升高的增加幅度显著降低。从以上回归关系还可得出 2 种情况下,赤拟谷盗爬行速度为 0 cm/s 的对应温度均为 15℃,即显示此为赤拟谷盗成虫的爬行起始温度。由此温度升高,赤拟谷盗在无粮平面和粮面上的爬行速度都有增加。从回归关系也可以看出,赤拟谷盗在粮面上的爬行速度要比无粮平面上慢得多,二者差异显著,且温度越高,2 种情况下的速度差异越显著。结果也说明,15℃ 及其以下温度时,赤拟谷盗不仅生长发育几乎停止,而且在一般平面上和粮堆中也不运动。

2.2 等温粮柱中赤拟谷盗的爬行速度

在等温粮柱中赤拟谷盗成虫的爬行速度对应温度变化的关系见图 2。从图 2 可以看出,成虫在水平放置的粮柱中爬行的速度与温度相关性的回归方程为 $y = 0.235x - 0.160$ ($R^2 = 0.974$)。在竖直粮柱中的对应回归方程为 $y = 0.0674x + 0.0582$ ($R^2 = 0.7968$)。即同样在粮柱内,赤拟谷盗更容易在水平方向进行扩散,这除了与竖直方向上受重力影响大以外,还可能与其偏爱水平爬行有关。从回归方程还可以得出,在粮柱内该害虫的起始爬行温度也为 15℃。

2.3 赤拟谷盗在温差梯度粮柱中的爬行速度与分布

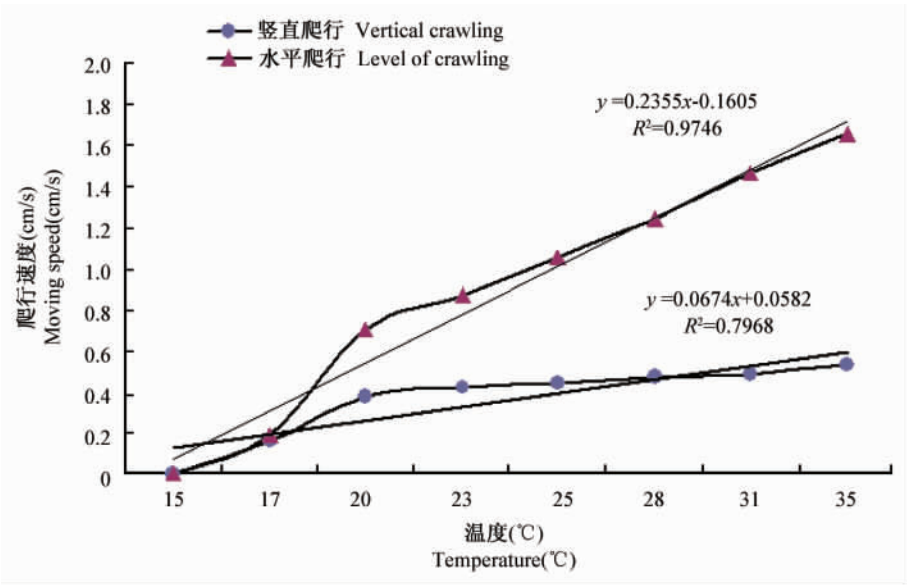


图 2 不同温度下赤拟谷盗在水平和竖直粮柱中的爬行速度

Fig. 2 Moving speed of *Tribolium castaneum* in level and vertical wheat column

在存在有上下温度梯度的粮柱内赤拟谷盗的爬行和分布情况见表 1。从表 1 可以看出,从温度

表 1 赤拟谷盗在温度梯度粮柱内的移动和数量分布
Table 1 Moving speed and distribution of *Tribolium castaneum* in wheat column with temperature gradient

温度(°C) Temperature	爬行速度(cm/min) Moving speed	赤拟谷盗分布(%) Distribution
40 – 38	0. 5270 ± 0. 0166 bc	0. 9168 ± 0. 178 f
38 – 36	0. 5800 ± 0. 0040 a	6. 8902 ± 0. 5121 de
36 – 34	0. 5400 ± 0. 0071 ab	19. 6796 ± 0. 9603 b
34 – 32	0. 5217 ± 0. 0082 bc	25. 3109 ± 0. 8713 a
32 – 30	0. 5097 ± 0. 0094 bc	18. 0532 ± 0. 5222 b
30 – 28	0. 4867 ± 0. 0090 cd	12. 4859 ± 0. 6033 c
28 – 26	0. 4587 ± 0. 0102 de	9. 2645 ± 0. 3643 d
26 – 24	0. 4517 ± 0. 0018 de	4. 6832 ± 0. 5618 e
24 – 22	0. 4343 ± 0. 0044 ef	1. 7311 ± 0. 2375 f
22 – 20	0. 3910 ± 0. 0106 f	0. 9845 ± 0. 1243 f

注:表中结果为平均值 ± 标准误,同列数据后不同英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$),相同字母代表差异不显著。下表同。

Data in the table are mean ± SE. Means followed by different letters in the same column are significantly different at 0.05 level. The same below.

为 30℃ 的中部取样点接入试虫后,赤拟谷盗向高温端移动速度逐渐加快,且数量显著多,向低温移动较慢,数量显著较少。从各温度区段的害虫数

量可以看出,在 26 ~ 36℃ 的温度区间内害虫数量较为集中。尽管在试验温度下,害虫表现了一定的趋温性,但也有一些个体可以向低温区移动。即在试虫爬行始点温度以上的粮柱内,都会有赤拟谷盗分布,分布的个体数量与温度大小正相关。

2.4 温度对赤拟谷盗起飞行为的影响

在光照和黑暗条件下,温度对赤拟谷盗成虫起飞的影响结果见表 2。从表 2 可以看出,在 23℃ 及以下温度该虫没有起飞,在 25℃ 及以上温度后其成虫都有一定的个体起飞,且起飞高峰温度为 28℃,更高温度时起飞比率又降低,即 28℃ 为此害虫的最适宜起飞温度。同样温度下,光照条件下成虫起飞的数量比在黑暗条件下时起飞数量多。对比解剖结果,赤拟谷盗的雌虫和雄虫在适宜条件下都能起飞,且性别间飞行能力似乎没有明显差异。

3 讨论

储粮中发生的害虫来源主要有 2 个方面,即粮食中自身带有害虫,或无虫粮在后期储藏中感染害虫。有虫粮经过熏蒸杀虫处理后可以实现无虫,在长期(3 年以上)储藏粮食中后期发生的害虫主要为后期感染,这也意味着后期防止害虫感染也是储粮工作的重要内容。了解害虫在一定环境条件下的感染能力对防止害虫很重要,由此可

以结合环境温度针对性地防止害虫感染,尤其是飞行性害虫的侵入。

表 2 不同温度和光照条件下赤拟谷盗的起飞率(%)及雌雄比

Table 2 Flight initiation and sex ratio of *Tribolium castaneum* under the condition of different temperature and light

温度(℃) Temperature	光照 Illumination	黑暗 Dark	
	起飞率 Flight initiation	♀:♂	起飞率 Flight initiation
20	0 e	0 e	
23	0 e		0 e
25	47.00 ± 1.75 b	13:07	37.67 ± 1.97 bc
28	71.67 ± 1.89 a	11:09	66.00 ± 1.36 a
31	51.00 ± 1.93 b	9:11	43.50 ± 1.23 b
34	40.50 ± 1.41 c	10:10	37.50 ± 2.09 c
37	28.00 ± 1.18 d	12:08	20.17 ± 0.95 d

赤拟谷盗是储粮常见害虫之一,本研究中 15℃ 及其以下温度时其在一般平面上和粮堆中不运动的结果提示,温度低于 15℃ 时此虫不具有感染能力,温度 17℃ 以上,其成虫可运动扩散,且温度越高,爬行感染能力越强。该害虫在粮柱内水平方向移动速度大于竖立粮柱中移动速度的结果说明,当粮堆中有赤拟谷盗发生时,尤其是当粮温适合于其运动时,其在粮中感染的趋向是水平方向大于竖直方向。一些成虫既可以向高温区移动也可向低温区移动的情况说明,虽然储粮害虫通常都表现出一定的趋温性,但在适生温区 17 ~ 39℃ 内的粮堆中都有赤拟谷盗分布的可能。通常,采用防虫线可以防止爬行昆虫感染,对于飞行性害虫感染则防虫线难以奏效,除了目前较少采用的防虫网外,在检查管理过程中防止飞虫入仓也很值得注意,如避免在温度高的时间进出仓房等。Sokoloff 等(1980)曾报道赤拟谷盗较其它储粮害虫的起飞能力强,且起飞高度可达 6 m。本研究中赤拟谷盗起飞高峰是在其最适宜温度 28℃,且光照条件下成虫起飞数量大于黑暗条件下,由

此提示在害虫易于发生感染的温度适生时期,在仓储管理中更应注意白天作业时防止飞虫的感染。

参考文献(References)

- Aslam M, Hagstrum DW, Dover BA, 1994. The effect of photoperiod on the flight activity of *Rhyzopertha dominica*. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 67(1): 107—115.
- 白明杰, 党保华, 曹阳, 张建军, 张友春, 1999. 赤拟谷盗生活史参数变化的研究. *粮食储藏*, 28(3): 8—14.
- 白旭光, 王殿轩, 吕建华, 周玉香, 赵英杰, 曹阳, 鲁玉杰, 2008. 储藏物害虫与防治(第二版). 北京: 科学出版社. 231—232.
- Cox PD, Dolder HS, 1995. A simple flight chamber to determine flight activity in small insects. *Journal of Stored Products Research*, 31(4): 311—316.
- Cox PD, Wakefield ME, Jacob TA, 2007. The effects of temperature on flight initiation in a range of moths, beetles and parasitoids associated with stored products. *Journal of Stored Products Research*, 43(2): 111—117.
- Dowdy AK, McGaughey WH, 1994. Seasonal activity of stored-product insects in and around farm-stored wheat. *J. Econ. Entomol.*, 87(5): 1351—1358.
- Jian F, Jayas DS, White NDG, 2002. Temperature and geotaxis preference by *Cryptolestes ferrugineus* adults in response to 5℃/m temperature gradients at optimum and hot temperatures in stored wheat and their mortality at high temperatures. *Environ. Entomol.*, 31(5): 816—826.
- Sokoloff A, Albers JC, Cavataio P, Mankau SK, McKibben S, Mills S, Perkins R, Roberts LD, Sandri JJ, 1980. Observations on populations of *Tribolium brevicornis* (Le Conte) (Coleoptera, Tenebrionidae). I. Laboratory observations of domesticated strains. *Researches on Population Ecology*, 22(1): 1—12.
- 王殿轩, 林颢, 邱丽华, 郎涛, 李磊, 2007. 赤拟谷盗密度对不同破碎率小麦重量变化影响的研究. *河南工业大学学报*, 28(3): 36—39.
- 吴先福, 封洪强, 薛芳森, 吴孔明, 2006. 昆虫飞过程中的定向行为. *植物保护*, 32(5): 1—5.

酢浆灰蝶生物学特性研究*

庄海玲** 虞蔚岩 周泉澄 蔡 垚 封 腾 刘 慧 张海燕 李朝晖***

(南京晓庄学院应用生态研究所 南京 211171)

摘 要 通过野外观察、室内饲养等方法研究了酢浆灰蝶 *Pseudozizeeria maha* (Kollar) 的生活史及生物学特性。在南京地区,该蝶幼虫以酢浆草科 Oxalidaceae 的黄花酢浆草 (*Oxalis corniculata* L.) 为食,1 年 5 代,世代交替发生。酢浆灰蝶在 10 月末以蛹在枯枝落叶或土壤表层浅洞中越冬,越冬代成虫次年 5 月始见,中旬为高峰期,5 月中旬始见第 1 代卵及幼虫,6—10 月间各月各虫态均同时发生,期间每月中下旬为成虫活动高峰期。幼虫共 4 龄,野外 2~4 龄幼虫具迁移、避热与适蚁行为。在室内饲养条件下,卵期为 3~4 d,幼虫期为 22~26 d,蛹期为 6~7 d。

关键词 鳞翅目,灰蝶科,生活史,行为

Bionomics of the butterfly, *Pseudozizeeria maha* (Kollar)

ZHUANG Hai-Ling** YU Wei-Yan ZHOU Quan-Cheng CAI Yao

FENG Teng LIU Hui ZHANG Hai-Yan LI Zhao-Hui***

(Institute of Applied Ecology, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract The life history and bionomics of *Pseudozizeeria maha* (Kollar) were studied in both the field and the laboratory. The host plant of this species is *Oxalis corniculata* L. This butterfly has five generations per year in Nanjing, China. It begins to overwinter as a pupa in a hole in the soil surface, or on shrubs, in late October. The adults emerge in early May with the peak of emergence in mid-May. The eggs and larvae of the first generation emerge in mid-May. Different developmental states are present at the same time but adults have a peak of emergence at the middle and end of every month from June to October. The larvae have four instars; larvae of the 2nd to 4th instars display myrmecophily, are migratory and display heat avoidance behaviors. The durations of the egg, larval, and pupal periods were 3–4, 22–26 and 6–7 days respectively, under the same laboratory conditions.

Key words Lepidoptera, Lycaenidae, life history, behavior

酢浆灰蝶 *Pseudozizeeria maha* (Kollar) 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 灰蝶科 Lycaenidae 眼灰蝶亚科 Polyommattinae 酢浆灰蝶属 *Pseudozizeeria* Beuret, 英文名 Pale grass blue, 为东洋界常见的小型蝶种(周尧, 1994, 1998)。我国分布有 *P. maha maha* 与 *P. maha okinawana* 2 个亚种, 前者广泛分布于中国大部分地区及东南亚地区, 后者仅分布于我国台湾及日本(王敏和范晓凌, 2002)。酢浆灰蝶的寄主植物为田间杂草——黄花酢浆草 (*Oxalis corniculata* L.) (江苏省植物研究所, 1982), 因其食性专一, 对环境变化有较强的指示性作用, 是我

国重要的生态指示蝶种之一(李朝晖等, 2001, 2004; 李朝晖, 2005)。国外学者利用其研究转基因抗虫玉米对非靶性昆虫的影响 (Shirai and Takahashi, 2005; Wolt *et al.*, 2005) 以及酢浆灰蝶与其寄主植物所含类黄酮物质的相关性 (Hiroki *et al.*, 2008; Mizokami and Yoshitama, 2009), 日本学者试图利用该蝶建立蝶类生理学与遗传学研究的标准模型 (Hiyama *et al.*, 2010)。笔者于 2008—2010 年对该蝶进行了详细的全虫态研究。现将研究结果报道如下。

* 资助项目: 江苏省 2009 年大学生实践创新训练计划项目、南京晓庄学院生态学开放实验室项目。

** 为南京晓庄学院 2007 级生物科学专业本科生。

*** 通讯作者, E-mail: lizhh6710@126.com

收稿日期: 2010-11-01, 接受日期: 2010-12-29