

# 三种麦蚜在温度梯度中活动行为的临界高温

马 罡 ,马春森\*

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 农业部生物防治资源与利用重点开放实验室 ,北京 100081)

**摘要** 利用自制的温度梯度产生装置 ,研究了禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*、麦长管蚜 *Sitobion avenae* 和麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* 在寄主植物叶片温度梯度上栖息、爬行和取食时的躲避临界高温。温度梯度内 ,麦蚜在小于等于温度  $T$  的温度区域内的累积栖息分布量占温度梯度场内蚜虫栖息总量的百分比  $P_a = 90\%$  时 ,则把  $T$  记为栖息躲避临界高温。将蚜虫在温度梯度内从低温端向高温端爬行的过程中 ,受到热刺激后调转运动方向时的温度定义为蚜虫爬行时的躲避临界高温。将蚜虫在温度逐渐升高的叶片上取食时拔出口针开始挣扎逃跑时的温度定义为蚜虫取食时的躲避临界高温。为研究麦蚜栖息和爬行时的躲避临界高温 ,在盛有水的搪瓷托盘一端下方置一盏白炽灯加热水温 ,在漂浮于水面的小麦叶片上产生了叶片温度梯度 ,用照相机记录蚜虫在温度梯度内栖息时的分布状态。为研究麦蚜取食时的躲避临界高温 ,在盛有水的塑料培养皿的下方设置一盏白炽灯用于加热水温 ,在漂浮于水面的小麦叶片上产生逐渐升高的温度。两个装置的温度设置均可通过调节白炽灯泡顶端与托盘或培养皿底部的距离来控制 ,用红外测温仪测量叶片上的温度。试验明确了 3 种麦蚜的栖息躲避临界高温 ,在 26 ~ 43℃ 的叶片温度梯度内 ,禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜成蚜累积栖息分布达 90% 的临界高温分别为 30.2、28.8℃ 和 27.3℃ ,用 Sigmoidal 函数模型描述了麦蚜在温度梯度内的累积分布百分率与温度之间的关系。测定了 3 种麦蚜爬行和取食时的躲避临界高温 ,禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜爬行时的躲避临界高温分别为 42.0、39.1℃ 和 38.5℃ ,取食时的躲避临界高温分别为 39.3、40.2℃ 和 39.0℃。试验表明 3 种蚜虫中禾谷缢管蚜较耐高温。讨论了温度梯度本身的设置、湿度控制、供试蚜虫种群的不同对麦蚜在温度梯度内行为可能造成的影响 ,并指出在温度梯度中 ,研究麦蚜若蚜蜕皮、成蚜生殖及有翅蚜和无翅蚜对适宜温度的选择将是今后继续开展的工作内容。本研究的结果为提高麦蚜田间调查取样及预测预报的准确度提供了依据 ,同时也为今后开展其它昆虫对环境高温的行为对策研究提供方法上的参考。

**关键词** 麦蚜 温度梯度 活动 临界高温

文章编号 1000-0933 (2007) 06-2449-11 中图分类号 Q149 .Q968.1 文献标识码 :A

## Upper critical temperatures for behaviors of three species of cereal aphids in leaf temperature gradients

MA Gang , MA Chun-Sen \*

Key Laboratory of Biological Control , Ministry of Agriculture , Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development , Chinese Academy of Agricultural Sciences , Beijing 100081 , China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (6) 2449 ~ 2459.

**Abstract** : We carried out three experimental studies to investigate the upper critical temperatures of cereal aphids , *Rhopalosiphum padi* , *Sitobion avenae* and *Schizaphis graminum* , for inhabiting , crawling and feeding with self-made temperature gradient apparatus. The temperature gradient for testing inhabiting and crawling of aphids was generated across

基金项目 国家科技平台资助项目 (2005DKA31800 2005DKA21105)

收稿日期 2006-07-28 ; 修订日期 2007-04-19

作者简介 : 马罡 (1980 ~ ) , 男 , 黑龙江人 , 硕士 , 主要从事昆虫生态学. E-mail : gang1220\_2003@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail : ma\_chunsen@cjac.org.cn

致谢 : 西南大学 2003 级本科生赵蓉同学承担部分试验工作 , 在此谨表谢意

**Foundation item** : The project was financially supported by National Program for R&D Infrastructure and Facility (No. 2005DKA31800 2005DKA21105)

**Received date** 2006-07-28 ; **Accepted date** 2007-03-19

**Biography** : MA Gang , Master , mainly engaged in insect ecology. E-mail : gang1220\_2003@163.com

a wheat leaf which floated on the water in an enamelware tray by heating one side of the tray with an incandescent light under the tray. The gradually increasing temperature for testing feeding behavior of aphids was generated on a wheat leaf which floated on the water in a plastic petri dish by setting an incandescent light under the petri dish for heating. Temperatures of the two kinds of temperature gradients were controlled by lengthening or shortening the spatial distance between the top of the adjustable incandescent light and the bottom of enamelware tray or plastic petri dish. Infrared thermometer was used to measure the temperatures on wheat leaves in each study. Digital camera was used to record the distribution of tested aphids in leaf temperature gradient when studying the upper critical temperatures of cereal aphids for inhabiting. Upper critical temperature for inhabiting is defined as the temperature below which the accumulative percentage ( $P_a$ ) of tested aphids distributed in certain temperature gradient had reached to 90%. Our results indicate that, in the leaf temperature gradient (26—43°C), the upper critical temperatures of *R. padi*, *S. avenae* and *S. graminum* for inhabiting were 30.2, 28.8°C and 27.3°C respectively, when the  $P_a$  reached to 90%.  $P_a$  were influenced by the temperatures along the temperature gradient and can be described with a "Sigmoidal" model. Upper critical temperature for crawling is defined as the temperature at which the tested aphids began to turn back when they were moving along the temperature gradient from the cool side to the hot side. Meanwhile, upper critical temperature for feeding is defined as the temperature at which the tested aphids began to pull out the stylet from the host leaf and escape, when they were feeding on the increasingly heated plant leaves. Our results show that the upper critical temperatures of *R. padi*, *S. avenae* and *S. graminum* were 42.0, 39.1°C and 38.5°C respectively, for crawling; and 39.3, 40.2°C and 39.0°C for feeding. Our results show that *R. padi* has higher tolerance to high temperature than *S. avenae* and *S. graminum*. We discussed the potential effects of temperature extent, relative humidity and source of the tested aphid populations on the behavioral response of cereal aphids to temperature gradient. More detailed investigation should be carried out in the future on favourable temperatures for ecdysis of nymphs and reproduction of adults, and the differences between apterous and alatae for temperature preference. Our results may be helpful to improve the sampling method of the cereal aphids in the fields, and enhance the accuracy of forecasting the infestation of cereal aphids. Our experimental apparatus and methods supply an example in studies on temperature preference of other species of insects.

**Key Words** : cereal aphids ; temperature gradient ; behavior ; critical temperature

能自由活动的昆虫可通过自主运动避开极端温度,以利其栖息、迁移、生长发育、取食、交配和生殖<sup>[1]</sup>。大多数研究中昆虫被迫接受人为设定的恒温或变温,并未体现出昆虫本身对适宜温度的主动选择性。而在一定温度梯度中昆虫趋温行为的研究揭示了其主动选择的适宜温度,这对了解昆虫的空间动态、提高测报准确性和开发防治新方法有重要意义。国外已有一些关于昆虫对温度梯度行为反应的研究报道,如在植物体上(内)<sup>[2,3]</sup>及空气<sup>[4,5]</sup>、下垫面<sup>[6-8]</sup>、粮食<sup>[9-11]</sup>和土壤<sup>[12]</sup>等介质中产生温度梯度的方法及装置。各装置以水浴<sup>[1,6,8]</sup>或电器设备<sup>[5,5,6]</sup>制冷或加热,肉眼观察手工记录<sup>[1]</sup>或以摄像机<sup>[6-8]</sup>、声音信号采集系统<sup>[11]</sup>等方法记录昆虫的行为。所得结论主要有:性别、发育阶段和生态型等生理因素及光照、湿度和预适应温度等环境因子对昆虫偏好温度变化有重要影响;昆虫的趋温性因种而异,同种昆虫不同发育阶段<sup>[3]</sup>或不同生命活动<sup>[7]</sup>所趋温度不同;多数种类昆虫雄性成虫的偏好温度比雌性略高<sup>[4,13,14]</sup>;某些昆虫的多型现象可能导致其种内不同生态型的偏好温度存在差异<sup>[5,16]</sup>;光照<sup>[7]</sup>和湿度<sup>[1]</sup>的变化影响某些昆虫对温度的反应;有些昆虫经预适应温度训练后,其偏好温度发生改变<sup>[1,5,15]</sup>;某些昆虫对温度的偏好呈现出一定的日变化<sup>[6-8]</sup>和季节变化<sup>[4]</sup>规律,饥饿条件下昆虫的偏好温度降低<sup>[8,18]</sup>;温度梯度的有无及其方向、温度的高低、温差的大小等因素<sup>[3,19-21]</sup>都会影响昆虫的活动性等。这些结论对开展温度梯度下昆虫自主选择行为的研究有一定参考作用。马春森等<sup>[22]</sup>对该方面的研究进行了系统的综述。

从以往的研究来看,研究对象涉及医学昆虫和储粮害虫较多,而对重要的农林害虫,尤其是蚜虫的研究很

少。麦蚜是麦类作物最重要的害虫之一,关于其最适温度的报导虽有很多,但多是将蚜虫置于恒温条件下,通过比较其发育、繁殖、存活以及内禀增长率等生物学参数得出的。这类研究得出蚜虫的不同生命过程要求的最适温度不尽相同,而麦蚜在自然条件下究竟喜欢栖息于怎样的环境温度目前尚不十分清楚。本文对我国小麦上的 3 种主要蚜虫——禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*、麦长管蚜 *Sitobion avenae* 和麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* 在寄主植物上栖息、爬行和取食时的躲避高温进行了研究,以了解其自然状态下在植株上的空间分布规律与田间植株上垂直温度梯度之间的关系,揭示其躲避高温的行为,为提高麦蚜田间取样和预测预报的准确性提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

试验所用禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜虫源均为中国农业科学院植物保护研究所提供的实验室种群,饲以新鲜麦苗,小麦品种为中优 9507。养虫室内温度为  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,湿度为 50% ~ 70% RH,光周期为 16L 8D。3 种供试麦蚜不同发育阶段的个体按其发育历期在恒温培养箱中饲养获得。方法是从养虫室饲养的 3 种麦蚜种群中挑取有活力的成蚜个体,分别置于自制叶片夹笼(直径 = 35mm)内,每个夹笼内置虫 5 头,在人工气候箱中  $20^\circ\text{C}$  恒温下饲养。12h 后移去夹笼内成蚜,并将成蚜所产的 1 龄若蚜在培养箱内继续饲养,按本实验室所得麦蚜 1 龄、2 龄、3 龄和 4 龄的发育历期(h),分别为:禾谷缢管蚜 32、30、29 和 35;麦长管蚜 32、40、42 和 43;麦二叉蚜 38、43、46 和 48,经过 1 龄若蚜的历期后即可得到 1 龄若蚜,作试验材料用,其余的继续在培养箱内饲养,再经过 2 龄若蚜的历期后,获取 2 龄若蚜。3 龄和 4 龄若蚜用同样的方法获得。在养虫室内的麦苗上挑选有活力的个体直接作为试验用成蚜。

### 1.2 试验装置

为试验需要,自制了试验装置。

#### 1.2.1 麦蚜栖息躲避临界高温的试验

将一搪瓷托盘(32cm × 22cm)平放在铁制支架上,托盘一端的下方固定一个 100W 的白炽灯泡作为热源。取 200ml 清水倒入托盘内,用 2 枚图钉(钉尖朝上,图钉的高度略高于水的深度,从而保证麦叶正好固定于水面)分别刺入事先已备好的新鲜小麦叶片距叶片两端约 0.5cm 处,以防止其在水中漂移,将该叶片放在托盘内水面的中心处(图 1-A)。该装置的原理是:白炽灯泡散发的热量通过搪瓷托盘,以水为导热媒介,将漂浮于水面的叶片一端加热,而叶片的另一端不加热,这样就在叶片上产生了温度梯度,并可通过调节灯泡顶端与托盘底部的距离来控制温度梯度高温端的温度。控制室温一定,接通电源使白炽灯泡发光,当托盘中水的热量收支达到平衡(即吸收和散发的热量相等)时,被加热一端的温度不再升高,从而可得到稳定的温度梯度。该试验中,灯泡顶端与托盘底部的距离为 0.8cm,室温  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,30min 后即可在叶片上产生 26 ~ 43 $^\circ\text{C}$  稳定的温度梯度。在托盘的上方用支架固定数码照相机以拍照记录试验观察蚜虫在叶片温度梯度上的栖息分布数据。

于试验开始前测量叶片温度梯度。将事先备好的只用于测温的新鲜小麦叶片(12cm × 1cm)用直尺和记号笔以 0.5cm × 1cm 的面积为单位均匀分成 24 个区域(图 1-B),放在托盘内的水面上,待温度梯度稳定后,用红外测温仪(精确度为 0.1 $^\circ\text{C}$ )测量小麦叶片上各区域内的温度。共测量 5 条小麦叶片,每条叶片上的每个区域测量 3 次。

#### 1.2.2 麦蚜爬行时躲避临界高温的试验

所用装置如图 1-A 中描述的试验装置,灯泡顶端紧贴托盘底部,使二者间没有缝隙,试验中无需使用照相机。试验时控制室温为  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,可在叶片上得到 26 ~ 60 $^\circ\text{C}$  的温度梯度。

#### 1.2.3 麦蚜取食时躲避临界高温的试验

所用装置见图 2。将一直径为 12cm 的塑料培养皿用铁架支起并固定,在其正下方设一盏 40W 的白炽灯泡,其顶端距培养皿底部约 2cm(图 2-A)。在培养皿内注入 15ml 清水,将粘有小麦叶片(上有若干供试蚜虫)

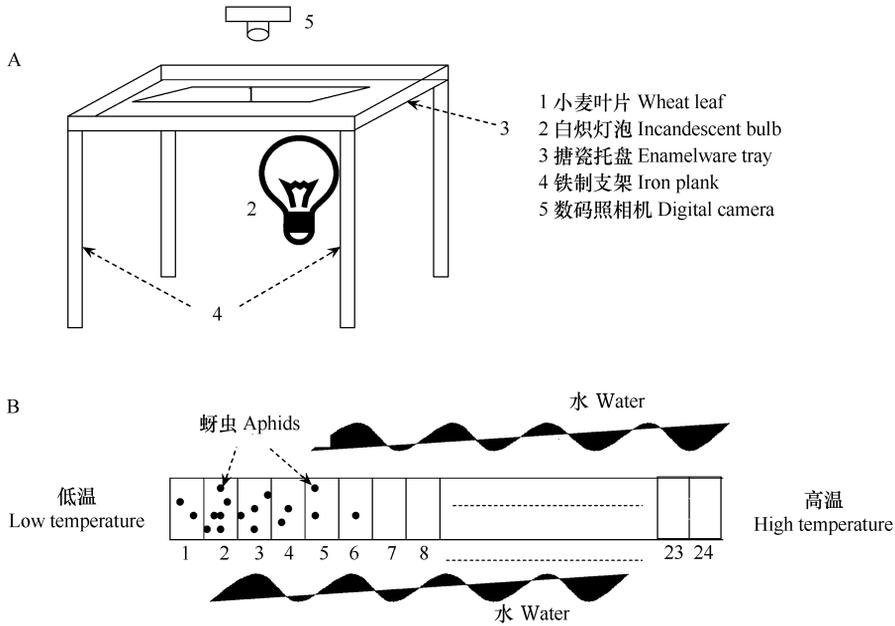


图 1 温度梯度试验装置图

Fig. 1 Experimental apparatus to generate leaf temperature gradient.

A 试验装置 Experimental apparatus B 叶片温度梯度 Leaf temperature gradient

的 8.5cm × 8.5cm 的正方形薄塑料片放在塑料培养皿里,使其漂浮于水面上(图 2-B)。该装置的原理是:接通电源使白炽灯泡发光,散发的热量通过塑料培养皿,以水为导热媒介,将漂浮于水面的与薄塑料片相粘结的小麦叶片加热,这样就在叶片上产生了逐渐升高的温度。

### 1.3 试验设计和方法

#### 1.3.1 麦蚜栖息躲避临界高温的试验

试验设禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜的成蚜共 3 个处理,每个处理重复 5 次(即 5 组供试蚜虫),每组用蚜虫 20 头左右。试验时将准备好的小麦叶片放在搪瓷托盘的水面上后,将一组供试蚜虫均匀地接到叶片上,待其在叶片上自由扩散 10min 后,将白炽灯泡打开,约 30min 后温度梯度达到稳定时,拍摄第 1 张照片,以后每 5min 拍摄 1 张,每组蚜虫共计拍摄 5 张照片。

#### 1.3.2 麦蚜爬行时躲避临界高温的试验

试验设禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜 3 个种类 3 龄、4 龄若蚜和成蚜 3 个发育阶段的全组合试验共 9 个处理。每种蚜虫每个龄期用虫 20 头,每头重复 3 次。试验期间有些蚜虫运动到高温区域时会出现休克现象,不能完成 3 次重复试验,故需补充一定数量的蚜虫,使每个处理的重复数在 60 次左右。试验方法为将供试蚜虫放在叶片(长 30cm)温度梯度上的低温端处,观察其向高温端运动的情况,当蚜虫运动到某高温位点而不再向更高温度处或转向低温端运动时,用红外测温仪测量并记录其在该高温位点处的温度,出现休克现象的蚜虫记录其休克位置的温度,也记为其躲避高温。

#### 1.3.3 麦蚜取食时躲避临界高温的试验

试验设禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜 3 个种类,1 龄、2 龄和 3 龄若蚜 3 个发育阶段的全组合试验共 9

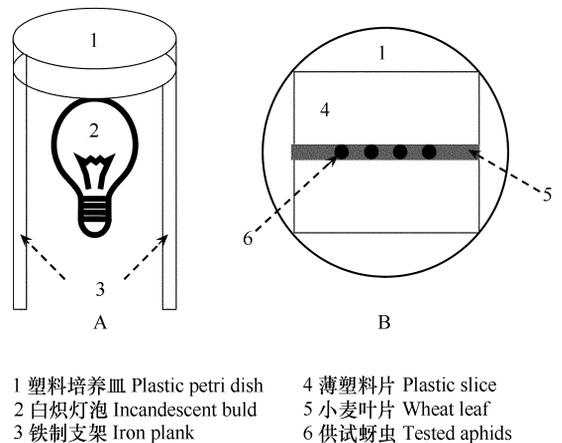


图 2 使叶片温度逐渐升高的试验装置示意图

Fig. 2 Experimental apparatus to generate gradually increasing temperature

个处理。每个处理用虫 50 头, 每头只进行 1 次试验。试验方法为: 将一薄塑料片放在一水平放置的树脂玻璃板上(图 3-A), 在薄塑料片上贴一层与麦苗叶片宽度相等的双面胶, 将盆栽麦苗的新鲜叶片抻平, 粘在双面胶上(图 3-B), 把供试蚜虫放入一夹笼盖中, 倒扣在薄塑料片上(图 3-C), 用夹子将夹笼盖、麦苗叶片、薄塑料片及树脂玻璃板夹住, 使蚜虫在夹笼内寻找叶片取食。每笼放蚜虫 5 头。4~5h 后, 夹笼内蚜虫在麦苗上取食不动, 此时将麦苗剪断, 轻轻取下薄塑料片, 放入盛有清水的塑料培养皿中使其漂浮在水面上, 接通电源使培养皿下的白炽灯泡发光即可使麦苗的温度逐渐升高, 用红外测温仪测量并记录每头蚜虫从叶片中拨出口针开始移动时的温度。

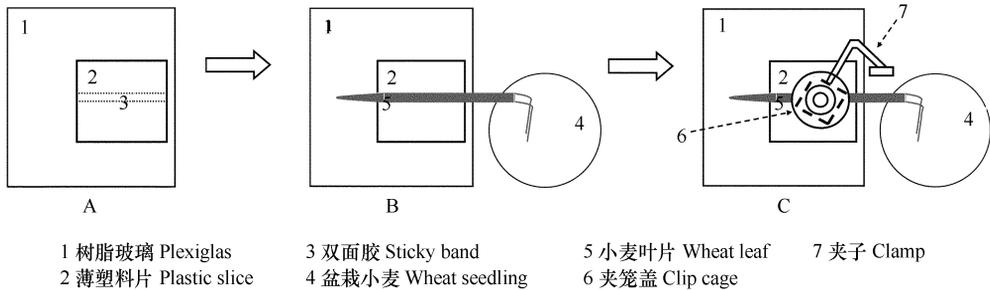


图 3 麦蚜取食时躲避临界高温试验方法操作流程

Fig. 3 Approach for testing the upper critical temperature of aphids for feeding

## 1.4 数据分析方法

### 1.4.1 麦蚜栖息躲避临界高温的试验

由于叶片温度梯度中高温区域的温度变化较大, 而低温区域较平缓, 因此叶片上温度的变化并不均匀, 故将先前的 24 个温度区域按从低温到高温, 重新划分成 11 个温度区域, 每个温度区域的面积和平均温度见表 1。以每个温度区域内单位面积上的蚜虫数量分析麦蚜在小麦叶片上栖息临界高温的数据。

表 1 叶片温度梯度区域划分及每个区域的平均温度

Table 1 Different areas of temperature gradient of leaves and their mean temperatures

温度区域 Temperature area	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
区域面积 Area (cm <sup>2</sup> )	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
平均温度 Mean temperature (°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	35	38	43

将试验记录的照片在 Adobe Photoshop CS2 中进行处理, 按叶片温度梯度上 11 个温度区域的大小将每个区域划分出来, 即可计算出叶片上每个区域内蚜虫数量的数据。以单位面积上每个温度区域内蚜虫的数量占该照片中每个温度区域内蚜虫相对数量总和的百分比, 计算出每个温度区域内蚜虫相对分布量的百分比, 再将每一温度及其以下温度区域的蚜虫相对分布量的百分比数据累加, 计算出蚜虫在某一温度以下分布的累积百分比  $P_a$ , 以  $P_a$  为纵坐标, 各温度区域的平均温度  $T$  为横坐标, 来分析累积分布百分率  $P_a$  与温度  $T$  之间的关系。

### 1.4.2 麦蚜爬行和取食时躲避临界高温的试验

将试验所得温度数据进行整理, 获得各种处理组合下蚜虫爬行时开始转向的温度和取食时开始移动的温度, 分别记为蚜虫“爬行躲避高温”和“取食躲避高温”数据。用 SAS 分析软件进行方差分析, 比较蚜虫种类和发育阶段 2 个因子分别对爬行和取食躲避高温影响的显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种麦蚜成蚜的栖息躲避临界高温

从在 Excel 里作出的每种麦蚜在温度梯度下累积分布百分率  $P_a$  与温度  $T$  之间的关系图可以看到,  $P_a$  随温

度  $T$  的变化趋势较接近 Sigmoidal 函数曲线。因此,以温度梯度下某一区域的温度  $T$  为自变量,蚜虫在该温度及其以下区域的累积分布百分率  $P_a$  为因变量,用非线性回归法在 Systat6.0 中用麦夸算法 (Marquardt) 拟合 Sigmoidal 模型方程 (1)。该模型中,参数  $a$  表示最大累积分布百分率,  $T_0$  表示达最大累积分布百分率一半时的温度  $b$  为常数。拟合效果用  $R^2$  和  $F$  检验。

$$P_a = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{T-T_0}{b}\right)}} \tag{1}$$

禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜成蚜的累积分布百分率与温度之间的关系模型的参数估计和拟合效果见表 2。从中可以看出,在 26 ~ 43℃ 的温度梯度下,3 种供试麦蚜成蚜的累积分布百分率与温度之间的关系均能用 Sigmoidal 模型很好地拟合。从 Sigmoidal 模型参数拟合的方程曲线 (图 4) 中可计算出,禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜累积栖息分布达 90% 的临界高温分别为 30.2、28.8℃ 和 27.3℃。

表 2 麦蚜成蚜在叶片温度梯度内累积分布百分率与温度之间关系模型的参数估计

Table 2 Model parameters of the relationship between accumulative distribution  $P_a$  of adult cereal aphids and the temperature in leaf temperature gradient

蚜虫种类 Species	模型参数 Model parameters			$R^2$	$F$	$P$
	$a$	$T_0$	$b$			
禾谷缢管蚜 <i>R. padi</i>	1.022	27.519	1.343	0.761	3166.0	<0.01
麦长管蚜 <i>S. avenae</i>	1.010	24.473	2.045	0.573	9892.0	<0.01
麦二叉蚜 <i>S. graminum</i>	1.004	24.873	1.110	0.534	8487.7	<0.01

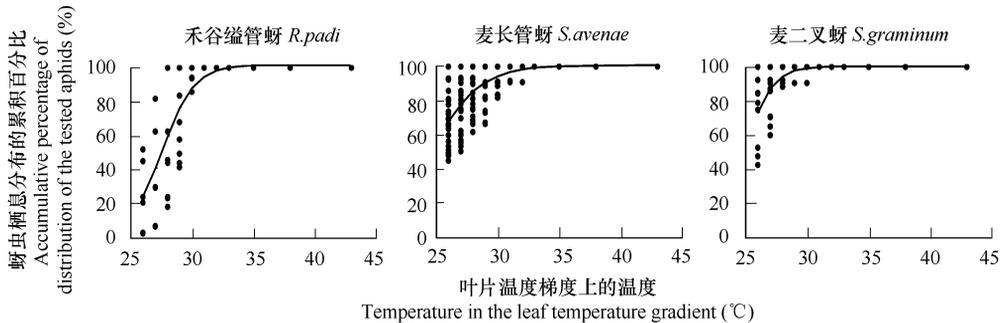


图 4 麦蚜成蚜在温度梯度内的累积分布百分率与温度之间的关系

Fig. 4 Relationship between distribution  $P_a$  of adult cereal aphids and the temperature in leaf temperature gradient

### 2.2 3 种麦蚜爬行时的躲避临界高温

方差分析结果表明,3 种麦蚜在叶片温度梯度上爬行时的躲避临界高温受蚜虫的种类 ( $F = 58.75 ; df = 2, 533 ; P = 0.0001 < 0.01$ ) 和发育阶段 ( $F = 74.02 ; df = 2, 533 ; P = 0.0001 < 0.01$ ) 的影响均达极显著水平。二者互作关系亦达极显著水平 ( $F = 16.68 ; df = 2, 533 ; P = 0.0001 < 0.01$ )。图 5 显示了不同种类及不同发育阶段麦蚜在小麦叶片温度梯度上爬行时躲避临界高温的多重比较结果。

不同发育阶段之间爬行时躲避高温的差异:从图 5-A 中可以看出,麦长管蚜爬行时的躲避温度由高到低依次是 4 龄若蚜 > 成蚜 > 3 龄若蚜,两两之间的差异均达显著水平,麦二叉蚜爬行时躲避温度,成蚜的明显高于 3 龄和 4 龄若蚜,但后两者之间无显著性差异,禾谷缢管蚜爬行时的躲避温度,以 4 龄若蚜的最高,但与成蚜的无显著差异,这两者的均显著高于 3 龄若蚜。

不同种类麦蚜之间爬行时躲避高温的差异:从图 5-B 中可以看出,在 3 龄若蚜期,麦蚜爬行时躲避温度由高到低依次为禾谷缢管蚜、麦二叉蚜、麦长管蚜,前两者间无显著差异,但均显著高于麦长管蚜;在 4 龄若蚜期,麦蚜爬行时躲避温度依次为禾谷缢管蚜、麦长管蚜、麦二叉蚜,两两之间的差异均达显著水平;成蚜期麦蚜

爬行时躲避温度的高低关系与 3 龄若蚜期相同,但麦长管蚜与麦二叉蚜间无显著差异,二者的均显著低于禾谷缢管蚜。

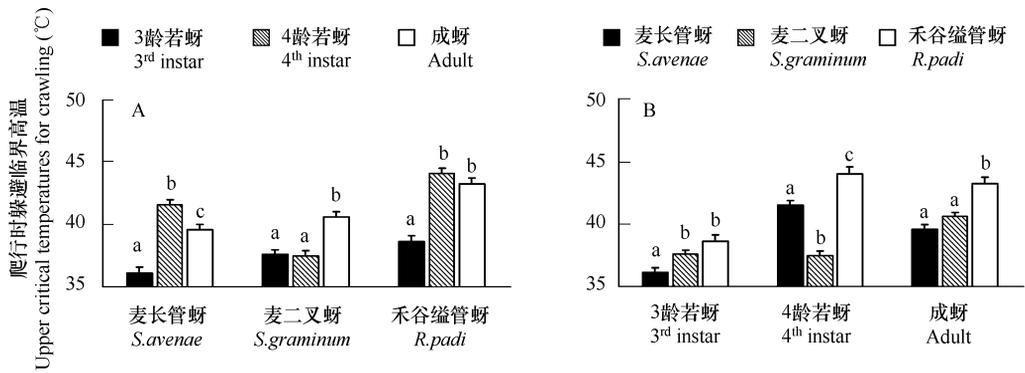


图 5 不同种类 (A) 及不同发育阶段 (B) 的麦蚜在小麦叶片温度梯度上爬行时躲避临界高温的比较

Fig. 5 The least square means and standard errors of upper critical temperatures of different species (A) and developmental stages (B) of cereal aphids for crawling across the leaf temperature gradient

图中数据为以最小二乘法所估计的平均数和标准误,以邻近的 3 个立柱为一组的进行分析,立柱上方的字母不同,则表示在  $P=0.05$  水平上该立柱代表的平均数与另一个立柱之间差异显著。Among the three bars closely stand, different letters above each bar indicate significant differences between the bars at  $P=0.05$  based on least square means

### 2.3 3 种麦蚜取食时的躲避临界高温

方差分析表明 3 种麦蚜 1 龄、2 龄和 3 龄若蚜取食时的躲避临界高温因蚜虫种类而显著不同 ( $F=4.61$ ;  $df=2, 499$ ;  $P=0.0104 < 0.05$ ), 蚜虫发育阶段对其的影响则不显著 ( $F=2.33$ ;  $df=2, 499$ ;  $P=0.0988 > 0.05$ ), 但二者互作达极显著水平 ( $F=7.37$ ;  $df=2, 499$ ;  $P=0.0001 < 0.01$ )。图 6 显示了不同种类及不同发育阶段的麦蚜在小麦叶片温度梯度上取食时躲避临界高温的多重比较结果。

不同发育阶段的麦蚜取食时躲避高温的差异:从图 6-A 中可以看出,麦长管蚜取食时躲避温度在 1 龄若蚜、2 龄若蚜和 3 龄若蚜之间无显著差异;麦二叉蚜若蚜取食的躲避高温随其龄期增长而降低,1 龄若蚜和 2 龄若蚜间无显著差异,但二者均显著高于 3 龄若蚜;禾谷缢管蚜 2 龄若蚜和 3 龄若蚜的取食躲避高温无显著差异,均高于 1 龄若蚜。

不同种类的麦蚜取食时躲避高温的差异:从图 6-B 中可以看出,1~3 龄 3 个发育阶段的麦蚜之间取食时躲避温度的差异并无明显规律。在 1 龄若蚜期,禾谷缢管蚜取食的躲避高温显著低于麦长管蚜和麦二叉蚜,后两者无显著差异;在 2 龄若蚜期,这 3 种麦蚜取食时的躲避温度无显著差异;3 龄若蚜期,麦蚜取食时躲避温度麦长管蚜和禾谷缢管蚜显著高于麦二叉蚜,但前两者间无显著差异。

## 3 讨论

### 3.1 3 种麦蚜躲避临界高温的差异

在小麦叶片温度梯度内,禾谷缢管蚜栖息和爬行时的躲避临界高温比麦长管蚜和麦二叉蚜都高,可能与 3 种麦蚜间的耐热能力不同有关。Asin & Pons 的研究发现,禾谷缢管蚜的耐热性较强,在恒温  $30^{\circ}\text{C}$  下时仍有 55% 的若蚜存活,而麦长管蚜在此温度下则全部死亡,禾谷缢管蚜较耐高温,表现在高温下其若蚜的死亡率较低,发育历期和生殖前期较短,内禀增长率较高<sup>[23]</sup>。在澳大利亚南部炎热的草原地区,禾谷缢管蚜甚至在超过  $39^{\circ}\text{C}$  的温度下,仍有近 10% 存活下来<sup>[24]</sup>。国内也有报道指出,麦长管蚜种群增长的最适温度较低,为  $21 \sim 22^{\circ}\text{C}$ <sup>[25, 26]</sup>,麦二叉蚜在  $20^{\circ}\text{C}$  下的种群净增殖率最大<sup>[27]</sup>,新疆塔里木地区的田间调查发现,均温接近  $22^{\circ}\text{C}$  时麦二叉蚜的蚜量上升最快<sup>[28]</sup>,可见麦二叉蚜的最适温度为  $20 \sim 22^{\circ}\text{C}$ 。而禾谷缢管蚜的最适温度则较高,其在  $25^{\circ}\text{C}$  下的发育历期最短<sup>[29]</sup>,平均每天每头产仔量最大<sup>[30]</sup>。然而,麦蚜的躲避临界高温是否决定于其生理耐受临界高温,以及二者有怎样的关系尚有待进一步深入研究。

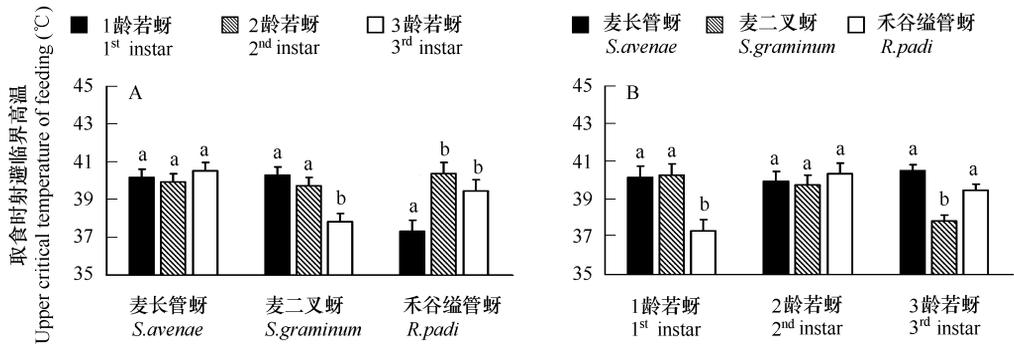


图6 不同种类(A)及不同发育阶段(B)的麦蚜在温度逐渐升高的小麦叶片上取食时躲避临界高温的比较

Fig. 6 The least square means and standard errors of upper critical temperatures of different species (A) and developmental stages (B) of cereal aphids for feeding on wheat leaf on which temperature gradually increasing

图中数据为以最小二乘法所估计的平均数和标准误差;以邻近的3个立柱为一组的进行分析,立柱上方的字母不同,则表示在 $P=0.05$ 水平上该立柱代表的平均数与另一个立柱之间差异显著。Among the three bars closely stand, different letters above each bar indicate significant differences between the bars at  $P=0.05$  based on least square means

### 3.2 影响麦蚜对温度梯度行为反应的因素

麦蚜对温度梯度行为反应的文献目前为止仅见于 Wikteliu 对禾谷缢管蚜在温度梯度内分布的研究<sup>[31]</sup>,本试验所得禾谷缢管蚜累计栖息分布达 90% 的临界高温为 30.2°C,可以认为是禾谷缢管蚜的栖息适宜温度上限,但与 Wikteliu 所得“所有蚜虫均分布在 25°C 以下区域”的结果有很大不同,其原因可能有以下几个方面:

(1) 温度梯度本身的设置存在差异 本研究的温度梯度范围为 26~43°C,而 Wikteliu 所用为 20~40°C,这是否说明禾谷缢管蚜喜好温度梯度中较低的区域还有待进一步研究考证。温度梯度的设置对某些昆虫的适宜温度有一定影响,如美国散白蚁 *Reticulitermes hesperus* 在 26~47°C 温度梯度下栖息的适宜温度为 29~32°C,而在 5.8~43.6°C 的温度梯度下则为 14~19°C<sup>[32]</sup>。

(2) 温度梯度的传播介质(材料)和湿度控制不同 Wikteliu 试验时的温度梯度是在一张铺在培养皿底部的湿润滤纸上产生的,与本研究在新鲜小麦叶片上产生的温度梯度不同。试验时温度梯度上的湿度也不相同,而这恰恰是影响某些昆虫选择适宜温度的关键因素,如相对湿度对弹尾虫 *Cryptopygus antarcticus* 在温度梯度内的分布就有较大影响<sup>[1]</sup>。

(3) 试验种群的差异 一般认为禾谷缢管蚜的最适温度不超过 25°C<sup>[33-35]</sup>,但 Asin & Pons 的研究已证实了分布在伊比利亚半岛的禾谷缢管蚜种群的最适温度较高(28.5°C)<sup>[23]</sup>,以适当地较为炎热的气候条件。Wikteliu 试验所用禾谷缢管蚜为分布在瑞典的野外种群,而本研究所用蚜虫为室内恒温条件下繁殖若干代后的实验种群。野外种群与实验种群之间,温度低温差较小的北欧地区和夏季炎热温差大的我国华北地区的种群之间的差异都会影响禾谷缢管蚜的栖息适宜温度。

研究表明,昆虫在进行不同生命活动时的适宜温度并不相同,如大锥蝽 *Panstrongylus megistus* 成虫产卵的偏好温度为 25~29°C,而幼虫蜕皮温度为 30°C<sup>[7]</sup>,蚂蚁 *Formica polyctena* 产卵和孵化温度为 24.6°C,而蛹分布在 26.7°C 的区域<sup>[16]</sup>。蚜虫若蚜蜕皮和成蚜生殖是影响其生命进程和种群繁衍的重要行为,麦蚜在这 2 个过程中的适宜温度是多少还有待进一步研究。本研究所用蚜虫均为无翅型蚜,有翅蚜作为蚜虫的另一重要形态,其适宜和躲避温度也应是今后开展的工作。此外,有研究表明,温度变化速率的大小是影响某些营寄生生活变温动物的重要因素,如以 0.005°C/s 逐渐升高的温度对鸡皮刺螨 *Dermanyssus gallinae* 的行为策略有明显的影响<sup>[36]</sup>。本研究在分析麦蚜取食的躲避临界高温时未记录小麦叶片温度逐渐升高的变化率,温度变化率对麦蚜的行为是否有影响有待进一步研究。

本文的试验结果揭示了麦蚜具有在栖息、爬行和取食时躲避高温的行为,对解释麦蚜在植株上的空间分

布与温度梯度之间的关系有一定理论意义。麦蚜不耐高温,其发生期田间实际的每日最高温度常超过麦蚜的耐受高温,并持续数小时之久<sup>[23,37]</sup>。日间自然条件下,在空间上,麦田常出现上高下低的温度梯度<sup>[8]</sup>;在时间上,小麦叶温从清晨开始逐渐升高,至午后达最高值<sup>[39]</sup>。本文的结果意味着,麦蚜以主动行为寻找适宜栖息温度,躲避高温的行为方式减少高温对自身不利的影 响。当叶表温度逐渐升高直至超过麦蚜耐受温度时,正在栖息或取食的蚜虫拔出口针向麦株较低温度处移动的可能。本文的试验结果对了解麦蚜在田间自然条件下栖息和取食的适宜温度,以及高温躲避行为,进而制定正确的田间取样对策,提高预测预报的准确性有一定参考价值。

#### 4 小结

设置一定的温度梯度,让动物在温度梯度中自由选择其喜欢的温度,是研究变温动物“选择体温”和“适宜温度”的较好方法,因能够模拟动物在其生存环境中的自然状态而被广泛应用。本研究以自主设计的温度梯度产生装置为研究手段,研究了禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜栖息、爬行和取食时的躲避临界高温,所得结论对指导生产实际中麦蚜的田间调查取样方法有现实意义,为提高麦蚜预测预报的准确性提供了科学依据。对开展其它昆虫对高温的行为反应策略的研究也有一定的参考价值。麦蚜在田间自然状态下的运动行为除与温度变化有较大关系外,还受营养、光照、湿度等多种因素的影响,麦蚜在田间的转移率与温度之间的关系及其影响因素还有待进一步深入研究。

#### References :

- [1] Hayward S A, Worland M R, Convey P, et al. Temperature preferences of the mite, *Alaskozetes antarcticus*, and the collembolan, *Cryptopygus antarcticus* from the maritime Antarctic. *Physiological Entomology*, 2003, 28 : 114 – 121.
- [2] Skinner R H. Leaf temperature effects on *Bemisia argentifolii* (Homoptera : Aleyrodidae) oviposition. *Environmental Entomology*, 1996, 25 : 1371 – 1375.
- [3] Kuhrt U, Samietz J, Dorn S. Thermoregulation behaviour in codling moth larvae. *Physiological Entomology*, 2005, 30 : 54 – 61.
- [4] Nielsen E T, Nielsen H T. Temperatures preferred by the pierid *Ascia monuste* L. *Ecology*, 1959, 40 : 181 – 185.
- [5] Krstevska B, Hoffmann A A. The effect of acclimation and rearing conditions on the response of tropical and temperate populations of *Drosophila melanogaster* and *D. simulans* to a temperature gradient (Diptera : Drosophilidae). *Journal of Insect Behavior*, 1994, 7 : 279 – 288.
- [6] Grodzicki P, Caputa M. Social versus individual behaviour : a comparative approach to thermal behaviour of the honeybee (*Apis mellifera* L.) and the American cockroach (*Periplaneta americana* L.). *Journal of Insect Physiology*, 2005, 51 : 315 – 322.
- [7] Pires H H R, Lazzari C R, Schilman P E, et al. Dynamics of thermopreference in the Chagas disease vector *Panstrongylus megistus* (Hemiptera : Reduviidae). *Journal of Medical Entomology*, 2002, 39 : 716 – 719.
- [8] Lazzari C R. Temperature preference in *Triatoma infestans* (Hemiptera : Reduviidae). *Bulletin of Entomological Research*, 1991, 81 : 273 – 276.
- [9] Jian F, Jayas D S, White N D G. Movement and distribution of adult *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera : Laemphloeidae) in stored wheat in response to temperature gradients, dockage, and moisture differences. *Journal of Stored Products Research*, 2005, 41 : 401 – 422.
- [10] Jian F, Jayas D S, White N D G. Effects of temperature acclimation and age on movement of *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera : Laemphloeidae) adults in response to temperature gradients. *Canadian Entomologist*, 2005, 137 : 71 – 82.
- [11] Hagstrum D W, Flinn P W, Gaffney J J. Temperature gradient on *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) adult dispersal in stored wheat. *Environmental Entomology*, 1998, 27 : 123 – 129.
- [12] Edney E B, Franco P, Wood R. The responses of *Arenivaga investigata* (Diptera) to gradients of temperature and humidity in sand studied by tagging with technetium 99m. *Physiological Zoology*, 1978, 51 : 241 – 255.
- [13] Madge D S. The response of cotton stainers (*Dysdercus fasciatus* Sign.) to relative humidity and temperature, and the location of their hygroreceptors. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1965, 8 : 135 – 152.
- [14] Youdewei A. The behaviour of a cotton stainer *Dysdercus intermedius* (Heteroptera, Pyrrhocoridae) in a temperature gradient and the affect of temperature on aggregation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1968, 11 : 68 – 80.
- [15] Forsman A, Ringblom K, Civantos E, et al. Coevolution of color pattern and thermoregulatory behavior in polymorphic pygmy grasshoppers *Tetrix*

undulata. *Evolution* ,2002 ,56 :349 — 360.

- [16] Ceusters R. Social homeostasis in colonies of *Formica polyctena* Foerst. (Hymenoptera , Formicidae) : nest form and temperature preferences. In : Wilde , J. de ed. Proceedings of the Eighth International Congress of the International Union for the Study of Social Insects. Wageningen , The Netherlands , September 5 — 10 , 1977. Wageningen , The Netherlands ; Centre for Agricultural Publishing and Documentation , 1977. 111 — 112
- [17] King E W , Riley R C. Effect of light on the temperature preferendum of larvae of the Mexican bean beetle , *Epilachna varivestis*. *Annals of the Entomological Society of America* , 1960 , 53 : 591 — 595.
- [18] Minoli S A , Lazzari C R. Chronobiological basis of thermopreference in the haematophagous bug *Triatoma infestans*. *Journal of Insect Physiology* , 2003 , 49 : 927 — 932.
- [19] Cabrera B J , Rust M K. Behavioral responses to light and thermal gradients by the western drywood termite (Isoptera : Kalotermitidae). *Environmental Entomology* , 1996 , 25 : 436 — 445.
- [20] Jian F , Jayas D S , White N D G. Movement of adult rusty grain beetles , *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera : Laemophloeidae) , in wheat in response to 5°C/m temperature gradients at cool temperatures. *Journal of Stored Products Research* , 2003 , 39 : 87 — 101.
- [21] Jian F , Jayas D S , White N D G. Movement and distribution of adult rusty grain beetle , *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera : Laemophloeidae) , in stored wheat in response to different temperature gradients and insect densities. *Journal of Economic Entomology* , 2004 , 97 : 1148 — 1158.
- [22] Ma C S , Ma G , Du Y , *et al.* Current status and future perspectives for behavioural response of insects to temperature gradient. *Acta Ecologica Sinica* , 2005. 25 (12) : 3390 — 3397.
- [23] Asin L , Pons X. Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (homoptera : Aphididae) and implications for their population dynamics on the Northeastern Iberian Peninsula. *Environmental Entomology* , 2001 , 30 (6) : 1127 — 1134.
- [24] De Barro P J. The impact of spiders and high temperatures on cereal aphid (*Rhopalosiphum padi*) numbers in an irrigated perennial grass pasture in South Australia. *Annals of Applied Biology* , 1992 , 121 : 19 — 26.
- [25] Li H M. Studies On the population ecology of english grain aphid. *Journal of Jishou University* , 1990 , 11 (5) : 59 — 70.
- [26] Yin Q Y , Zheng W Y , Xie X S , *et al.* The effect of temperature on the development and fertility of *Macrosiphum avenae*. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* , 2003 , 18 (3) : 71 — 73.
- [27] Yang X W. The effect of temperature and light on the population increasing of *Schizaphis graminum*. *Chinese Bulletin of Entomology* , 1990 , 27 (5) : 263 — 266.
- [28] Liangfan agricultural corps. The analysis of the reason for the breakout and happen rule of *Schizaphis graminum* in Tarim farm. *Xinjiang Agriculture Science and Technology* , 1973 , 5 : 17 — 20.
- [29] Guo L Z , Liu S Y. Developmental threshold and active temperature content of *Rhopalosiphum pad*. *Chinese Bulletin of Entomology* , 2001 , 38 (1) : 31 — 32.
- [30] Wang J H , Liu S Y. The effect of temperature on the population increasing of *Rhopalosiphum pad*. *Shanxi Journal of Agricultural Sciences* , 1994 , (1) : 15 — 17.
- [31] Wikteliuss S. Distribution of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera : Aphididae) on spring barley plants. *Annals of Applied Biology* , 1987 , 110 : 1 — 7.
- [32] Smith J L , Rust M K. Temperature preferences of the western subterranean termite , *Reticulitermes hesperus* Banks. *Journal of Arid Environments* , 1994 , 28 : 313 — 323.
- [33] Hu G F , Wang K L , Zhang X R , *et al.* Studies on the developmental threshold temperature and thermal constant of *Rhopalosiphum pad* (Linnaeus) at variable temperature. *Chinese Bulletin of Entomology* , 1996 , 33 (1) : 10 — 13.
- [34] Balde M , Richter S , Einfluss der photoperiode auf ackerbohne und vermehrung von *Acyrtosiphon pisum* Harris und *Rhopalosiphum padi* L. *Arch. Phytopath. Pflanz* , 1994 , 28 : 463 — 469.
- [35] Richter S , Balde M. Einfluss der temperature auf entwicklung und vermehrung der erbsen-und haferblattlause an ackerbohne und sommergerste. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent* , 1993 , 8 : 591 — 597.
- [36] Kilpinen O L. Activation of the poultry red mite *Dermanyssus gallinae* (Acari : Dermanyssidae) , by increasing temperature. *Experimental and Applied Acarology* , 2001 , 25 : 859 — 867.
- [37] Guo L Z , Liu S Y. Effect of temperature on the development and reproduction of *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). *Journal of Zhanjiang Ocean*

University, 1998, 18 (1): 73—76.

- [38] Mao S C, Song M Z, Zhang C J, *et al.* Researches on the flow of light energy and substance in cotton and wheat under a double cropping system in the Huanghuaihai cotton growing area III The temperature distribution and total cumulative temperature in growth strata of the cotton wheat compound population in co-growing period. *Acta Gossypii Sinica*, 1997, 9 (4): 183—192.
- [39] Liu J, Wang L X, Ma L W, *et al.* An experimental study for daily changes of environment factors and physiological parameter of *Lycium barbarum* L. *Agricultural Research in the Arid Area*, 2003, 21 (1): 77—82.

#### 参考文献:

- [22] 马春森, 马罡, 杜尧, 等. 连续温度梯度下昆虫趋温性的研究现状与展望. *生态学报*, 2005, 25 (12): 3390~3397.
- [25] 李鹤鸣. 麦长管蚜实验种群的研究. *吉首大学学报*, 1990, 11 (5): 59~70.
- [26] 尹青云, 郑王义, 谢咸升, 等. 温度对麦长管蚜发育和生殖力的影响. *华北农学报*, 2003, 18 (3): 71~73.
- [27] 杨效文. 温度和光照对麦二叉蚜种群增长的影响. *昆虫知识*, 1990, 27 (5): 263~266
- [28] 兵团农二师三十四团良繁站. 农二师塔里木垦区麦二叉蚜发生规律及导致大发生原因分析. *新疆农业科技*, 1973, 5: 17~20.
- [29] 郭良珍, 刘绍友. 禾谷缢管蚜发育起点温度和有效积温的研究. *昆虫知识*, 2001, 38 (1): 31~32.
- [30] 王金花, 刘绍友. 温度对禾谷缢管蚜种群增长的影响. *陕西农业科学*, 1994, (1): 15~17.
- [33] 胡冠芳, 王克兰, 张新瑞, 等. 变温条件下禾谷统管蚜发育起点温度和有效积温研究. *昆虫知识*, 1996, 33 (1): 10~13.
- [37] 郭良珍, 刘绍友. 温度对禾谷缢管蚜生长发育和繁殖的影响. *湛江海洋大学学报*, 1998, 18 (1): 73~76.
- [38] 毛树春, 宋美珍, 张朝军, 等. 黄淮海棉区棉麦两熟光能流与物质流研究 III 麦棉共生期复合群体作物层温度分布与总积温. *棉花学报*, 1997, 9 (4): 183~192.
- [39] 刘静, 王连喜, 马力文, 等. 枸杞的生理特性与外环境气象因子的日变化规律研究. *干旱地区农业研究*, 2003, 21 (1): 77~82.