

龟纹瓢虫广东种群和北京种群的耐热性比较研究

程树兰^{1,2}, 张帆^{1,*}, 庞虹^{2,*}

(1. 北京市农林科学院植保环保所, 北京 100089; 2. 中山大学昆虫学研究所, 广州 510275)

摘要: 本文以龟纹瓢虫 *Propylea japonica* (Thunberg) 的广东和北京两地区种群为材料, 对其进行了在不同温度(26℃~36℃)下的发育历期、存活率、种群性比、产卵量的试验观察及对蛹重、幼虫致死高温、亚致死高温预处理、可溶性蛋白质含量的测定等。结果显示 (1) 34℃以上温度对两种群龟纹瓢虫的各世代历期均产生了不同程度的影响。广东种群, 34℃下的4龄幼虫、成虫产卵前期和世代历期开始延长, 在36℃时除1龄幼虫和蛹外, 其它虫态的发育历期均比34℃时的显著延长; 北京种群, 在36℃时2龄和4龄幼虫的发育历期开始表现为显著延长。雄性比例, 在26℃~36℃范围内随着温度上升而增大, 至36℃时, 两种群成虫均为雄性。从产卵量看, 两种群在34℃下急剧下降。(2) 在供试条件下, 两种群各龄期的存活率, 在36℃下开始明显下降, 其中对低龄幼虫和卵期影响最大。广东种群卵的孵化率从26℃时的64.3%下降到34℃时的42.3%, 36℃下的则降为20.7%, 下降了67.8%; 北京种群卵的孵化率从26℃处理的58.0%, 下降到34℃处理的44%, 36℃处理仅为12.3%, 下降了78.8%。(3) 广东种群和北京种群各龄幼虫致死温度相同, 分别为1、2龄幼虫44℃、3龄幼虫45℃、4龄幼虫46℃。经39℃亚致死高温预处理150 min后, 广东种群和北京种群4龄幼虫在46℃下的存活率分别提高了72%和43.5%。(4) 在26℃~34℃之间, 随着温度的上升, 成虫和4龄幼虫体内可溶性蛋白的含量上升。在常温下生长的4龄幼虫和成虫经39℃、41℃和43℃热激1 h后, 4龄幼虫体内可溶性蛋白含量上升, 成虫体内可溶性蛋白含量却下降。广东种群4龄幼虫和成虫经39℃热激后可溶性蛋白含量最高, 而北京种群经43℃热激后含量最高。本文结果初步明确了龟纹瓢虫对较高温度的忍耐性, 发现在36℃下龟纹瓢虫广东种群和北京种群的生长发育和繁殖会受到严重阻碍, 对其发育历期、性比、产卵量、存活率等均均有不良影响; 广东种群和北京种群在31℃下3龄幼虫的发育历期、36℃下世代存活率、经过亚致死高温预处理后的耐热性、热激后虫体内蛋白含量等均存在显著差异。

关键词: 龟纹瓢虫; 广东种群; 北京种群; 温度; 耐热性

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2007)04-0376-07

Comparative study on heat tolerance of Guangdong and Beijing populations of *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae)

CHENG Shu-Lan^{1,2}, ZHANG Fan^{1,*}, PANG Hong^{2,*} (1. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100089, China; 2. Institute of Entomology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The heat tolerance and sensitivity to temperature of Guangdong and Beijing populations of *Propylea japonica* (Thunberg), was studied at different temperatures (26℃–36℃). The growth and fecundity of *P. japonica* at different temperatures, the lethal high temperatures of *P. japonica* larvae, and the survival rates of 4th larvae at lethal temperatures after pretreatment at lethal high temperature were observed, and the soluble protein content of *P. japonica* after heat shock at high temperatures was assayed with Bradford's method. The growth and fecundity of two populations were significantly obstructed at 36℃, with durations of developmental stages extended, and survival rates and fecundity decreased. From 26℃ to 36℃, the sex ratio of female to male changed markedly as the temperature increased. At 36℃, the adults were all male. The lethal high temperatures to larvae of both Guangdong and Beijing populations were same, as 1st–2nd instar larva, 3rd instar larva, and 4th instar larva all died after treatment respectively at 44℃, 45℃, and 46℃ for an hour.

基金项目: 国家“973”计划项目(2002CB111407); 北京市科技计划项目(D0705002040191)

作者简介: 程树兰, 女, 1980年生, 硕士研究生, 主要从事昆虫生态学方面的研究

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhangfan31@sohu.com; Lshpang@mail.sysu.edu.cn

收稿日期 Received: 2006-06-05; 接受日期 Accepted: 2007-03-01

The survival rates of the 4th instar larvae of Guangdong and Beijing populations at 46°C were improved after pretreatment at lethal high temperature 39°C for 120 or 150 min, with the survival rate of Guangdong population higher than that of Beijing population. With the temperature increasing within 26°C to 34°C, the soluble protein content of adult and the 4th larvae increased. But after heated at 39°C, 41°C and 43°C for one hour, the soluble protein content of the 4th larvae increased while that of the adult decreased. The soluble protein content of adult and the 4th larvae of Guangdong population was highest after being heated at 39°C for one hour, as Beijing population was highest after being heated at 43°C for one hour. Within the temperature range of 26°C to 36°C, the heat tolerance were not much different between Guangdong and Beijing populations.

Key words: *Propylea japonica*; Guangdong population; Beijing population; temperature; heat tolerance

夏季高温常常会影响天敌昆虫的生长发育,从而减少种群数量,削弱其对害虫的控制作用(任顺祥等,1991;杨孝龙等,1998;詹根祥等,2002)。随着全球气候的普遍变暖,夏季温度进一步提高,对天敌昆虫产生温度胁迫。在农业生产上常采用的高温闷棚等植保措施,也可使害虫天敌遭到损害。

龟纹瓢虫 *Propylea japonica* (Thunberg) 属鞘翅目瓢虫科瓢虫亚科,龟纹瓢虫属。龟纹瓢虫捕食量大,主要捕食蚜虫,包括棉蚜、玉米蚜、烟草蚜、苹果黄蚜、梨蚜、桃蚜及豆蚜等,还可捕食叶螨、粉虱、木虱以及棉铃虫等(杨建华,1983;杨永乐,1985;崔素贞,1996)。其耐热性强(钟壬模和洪建涛,1983;崔素贞,1996),分布广泛,在我国南北方均有分布。龟纹瓢虫是夏季农田和果园的优势种之一。龟纹瓢虫耐热性研究将会为其在生物防治中进一步发挥作用、繁殖饲养、引种推广和选育抗逆品种等提供依据,也可为昆虫耐热性机制研究提供参考,有助于了解生物适应性的产生过程和原理,并为其他复杂问题的解决提供思路 and 基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

龟纹瓢虫北京种群采自北京市农科院玉米地,在实验室内(25±1)°C下饲养;广东龟纹瓢虫采自广东鹤山,在实验室内(28±1)°C下饲养。湿度均为(80±5)%RH,试虫放在16 cm×12 cm×6 cm长方形塑料养虫盒中,塑料盒以纱布封上,每盒放成虫20~30只,于RXZ-3000智能人工气候箱内饲养。以蚕豆蚜 *Aphis medicaginis* Koch 喂养,每天饲喂一次。在养虫盒中放入有褶皱的纸条,瓢虫在纸上产卵,便于取卵。两种群龟纹瓢虫均在室内饲养1代后用于试验。

1.2 温度对龟纹瓢虫生长发育的影响

实验选用26°C、31°C、34°C、36°C 4个温度,温度差幅为±1°C,相对湿度均为80%。分别取恒温25°C下饲养的北京种群和28°C下饲养的广东种群12 h内产的卵100粒放在各温度下。卵先放在养虫盒内,待孵化后用毛笔蘸水轻轻将刚孵化的幼虫挑出,放入试管(φ2 cm×15 cm)中单头饲养,放入充足的蚕豆蚜 *A. medicaginis*,并且放入一张1 cm×4 cm的纸条,便于观察幼虫蜕皮。每天观察幼虫蜕皮、化蛹和成虫羽化情况,记录卵孵化数和各虫态存活数,以及测量蛹重和获得成虫的性比和产卵量等。蛹重采用万分之一的分析天平测定,产卵量取的是每10对成虫自第一次产卵开始后一周所产的卵数。每处理重复3次。每天观察3次(8:00, 15:00, 22:00)。实验在RXZ-3000智能人工气候箱内进行。

1.3 幼虫致死高温的测定

在每龄幼虫初期,随机取出常温下饲养(广东种群在28°C下饲养,北京种群在25°C下饲养)的龟纹瓢虫各龄幼虫30头,装在试管内,以棉球封住试管口,在41°C~46°C(每间隔1°C为一变级)水浴中处理,并使幼虫活动空间完全浸没在水浴中,1 h后,取出试管置于25°C中恢复10 h,记录幼虫死亡率。每次处理重复3次。

幼虫死亡的确定:幼虫身体僵硬,萎缩弯曲,6只足不能伸展,向腹部弯折,部分身体颜色变暗或变黄,且多次用镊子触动其足或身体,没有反应。

1.4 亚致死高温预处理

取在常温下饲养(广东种群在28°C下饲养,北京种群在25°C下饲养)的两种群4龄幼虫30头,先在39°C水浴中处理30、60、90、120、150 min,在常温(25°C)下恢复2 h后,再置于致死高温水浴中处理1 h。观察记录幼虫存活情况。重复3次。与未经亚致死高温预处理的幼虫做比较。热激处理均在水浴

锅内进行。

1.5 可溶性蛋白质含量测定

采用 Bradford 法,即考马斯亮蓝 G-250 法(李琳和焦新之,1980)。

1.5.1 不同恒温下成虫和幼虫体内总蛋白含量测定:分别取 26℃、31℃、34℃ 下的成虫和 4 龄幼虫,用以上方法测定蛋白含量。

1.5.2 不同高温热激后成虫和幼虫蛋白含量测定:将在常温下饲养的成虫和 4 龄幼虫在 39℃、41℃ 和 43℃ 下热激 1 h,立即测定其体内蛋白含量。

1.6 数据的统计分析

采用 SPSS10.0 for Windows 统计分析。数据经 One-way ANOVA 进行方差分析,用 Duncan 多重比较进行差异显著性测定。

2 结果与分析

2.1 温度对发育历期的影响

从表 1 可见,在 26℃ ~ 34℃ 范围内,广东种群卵、各龄幼虫及预蛹的发育历期和成虫产卵前期都有随着温度的升高而逐渐缩短的趋势。但在 34℃

下,1 龄、4 龄幼虫、成虫产卵前期和世代历期开始延长,可见 34℃ 高温已经对广东种群一些发育阶段的发育历期产生了一定的不利影响;36℃ 下除蛹期外,其他各虫态的发育历期均比 34℃ 下的有明显延长,且除 1 龄幼虫外,其他各虫态发育历期在 34℃ 和 36℃ 两种温度下差异显著;卵、1 龄、2 龄、3 龄、4 龄幼虫历期在各温度间均有显著差异,温度对低龄幼虫的发育历期的影响大于高龄幼虫、预蛹和蛹期。在 26℃、31℃ 和 34℃ 下,其世代历期差异性显著。

北京种群的发育历期变化与广东种群相似,在 26℃ ~ 34℃ 之间,各阶段发育历期随温度升高而缩短,而 34℃ 下的 3 龄幼虫的发育历期、预蛹期和蛹期比 31℃ 下有所延长;36℃ 下,1 龄、2 龄和 4 龄幼虫的发育历期明显比 34℃ 下的长。

两种种群在 36℃ 下蛹羽化后全部为雄虫,因此没有产卵前期的比较。

种群间比较表明,仅 3 龄幼虫在 31℃ 下的发育历期在种群间差异显著;36℃ 下,北京种群除 2 龄和 3 龄幼虫外其他各虫态的发育历期均比广东种群要长,但无显著差异。

表 1 龟纹瓢虫广东种群和北京种群在各温度下的发育历期(d)

Table 1 Development duration (d) of Guangdong and Beijing populations of *Propylea japonica* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	种群 Population	26℃	31℃	34℃	36℃
卵期 Egg	广东 Guangdong	2.14 ± 0.01 aA	1.63 ± 0.04 bdA	1.55 ± 0.10 bcA	1.73 ± 0.07 dA
	北京 Beijing	1.93 ± 0.34 aA	1.79 ± 0.02 aA	1.61 ± 0.06 aA	1.80 ± 0.34 aA
1 龄幼虫 1st instar	广东 Guangdong	1.62 ± 0.05 aA	1.13 ± 0.08 bA	1.20 ± 0.07 bA	1.33 ± 0.13bA
	北京 Beijing	1.65 ± 0.11 aA	1.28 ± 0.11 bA	1.17 ± 0.06 cA	1.50 ± 0.06 abA
2 龄幼虫 2nd instar	广东 Guangdong	1.16 ± 0.03 abA	1.05 ± 0.17 aA	0.97 ± 0.01 aA	1.42 ± 0.05 bA
	北京 Beijing	1.24 ± 0.06 aA	1.03 ± 0.04 bcA	0.93 ± 0.05 bA	1.15 ± 0.10 acA
3 龄幼虫 3rd instar	广东 Guangdong	1.16 ± 0.02 aA	1.07 ± 0.02 bB	0.96 ± 0.02 cA	1.09 ± 0.10 aA
	北京 Beijing	1.30 ± 0.08 aA	1.00 ± 0.01 bA	1.02 ± 0.09 bA	0.95 ± 0.07 bA
4 龄幼虫 4th instar	广东 Guangdong	1.83 ± 0.06 aA	1.07 ± 0.02 bA	1.72 ± 0.04 aA	2.13 ± 0.12 cA
	北京 Beijing	2.06 ± 0.07 aA	1.77 ± 0.13 bA	1.73 ± 0.04 bA	2.23 ± 0.02 aA
预蛹 Prepupa	广东 Guangdong	0.64 ± 0.08 aA	0.51 ± 0.03 aA	0.47 ± 0.03 bA	0.49 ± 0.01 aA
	北京 Beijing	0.73 ± 0.06 aA	0.46 ± 0.07 bA	0.47 ± 0.04 bA	0.66 ± 0.09 abA
蛹期 Pupa	广东 Guangdong	2.89 ± 0.12 aA	2.16 ± 0.03 bA	2.38 ± 0.13 bA	2.28 ± 0.07 bA
	北京 Beijing	2.99 ± 0.10 aA	2.29 ± 0.06 bA	2.44 ± 0.15 bA	2.33 ± 0.14 bA
产卵前期 Pre-oviposition	广东 Guangdong	3.65 ± 0.20 abA	3.30 ± 0.40 bA	4.53 ± 0.26 aA	
	北京 Beijing	4.06 ± 0.03 aA	3.79 ± 0.39 aA	3.77 ± 0.68 aA	
世代 Generation	广东 Guangdong	15.08 ± 0.34 aA	12.41 ± 0.44 bA	13.67 ± 0.20 cA	
	北京 Beijing	15.65 ± 0.32 aA	13.43 ± 0.64 bA	12.72 ± 0.67 bA	

表中数据为平均值 ± 标准误,同行数据后不同小写字母表示处理间差异显著(Duncan 新复极差检验, $P < 0.05$);表中不同大写字母表示同处理温度下种群间差异显著(Duncan 新复极差检验, $P < 0.05$),下同。The data in the table are mean ± SE. The data in the same row followed by different small letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$); the different capital letters in the table indicate significant difference between Guangdong and Beijing population of *Propylea japonica* at the same temperatures by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

2.2 温度对存活率的影响

高温逆境直接影响龟纹瓢虫的存活,从表 2 可以看出,在 26℃ 和 31℃ 下,广东种群和北京种群各

发育阶段的存活率相对都很高,但在 34℃ 下,广东种群的卵孵化率和世代存活率显著下降,北京种群的世代存活率也有明显下降,但差异性不显著;36℃

时,两供试种群除 4 龄幼虫和预蛹期、北京种群的 3 龄幼虫和广东种群的蛹期外,其余各虫期的存活率均显著下降。如 1 龄幼虫存活率,从 34℃ 下的广东种群(76.3%)和北京种群(78.5%)降至 36℃ 时的广东种群(49.7%)和北京种群(38.9%);世代存活率,从 34℃ 下的广东种群(20.0%)和北京种群(26.7%)降至 36℃ 时的广东种群(4.0%)和北京种群(2.0%)。从龄期来看,高温对低龄幼虫的影响比高龄幼虫更大。卵的孵化率受高温影响最大,广东种

群在 26℃ 和 31℃ 处理中卵的孵化率较高(分别为 64.3% 和 60.3%),二者之间无差异;但在 34℃ 时明显下降(42.3%),仅为 26℃ 时的 34.2%。36℃ 下卵孵化率只有 20.7%,比 26℃ 时下降了 67.8%。北京种群与广东种群相似,卵孵化率在 26℃(58.0%)和 31℃(62.2%)温度处理间无差异;在 34℃ 下卵的孵化率比 26℃ 时下降了 24.1%,36℃ 时下降了 78.8%。

表 2 龟纹瓢虫广东种群和北京种群在不同温度下的存活率(%)

Table 2 Survival rates(%) of Guangdong and Beijing populations of *Propylaea japonica* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	种群 Population	26℃	31℃	34℃	36℃
卵期 Egg	广东 Guangdong	64.3 ± 3.7 aA	60.3 ± 4.3 aA	42.3 ± 5.8 bA	20.7 ± 2.9 cA
	北京 Beijing	58.0 ± 2.6 aA	62.2 ± 0.6 aA	44.0 ± 11.0 aA	12.3 ± 2.0 bA
1 龄幼虫 1st instar	广东 Guangdong	87.0 ± 6.7 aA	89.4 ± 3.5 aA	76.3 ± 3.6 aA	49.7 ± 2.6 bA
	北京 Beijing	93.1 ± 0.3 aA	85.7 ± 3.3 aA	78.5 ± 8.9 aA	38.9 ± 10.0 bA
2 龄幼虫 2nd instar	广东 Guangdong	96.8 ± 0.9 aA	93.1 ± 1.7 aA	87.7 ± 4.6 aA	72.4 ± 4.1 bA
	北京 Beijing	95.5 ± 3.0 aA	94.9 ± 1.8 abA	86.1 ± 4.1 aA	48.8 ± 24.4 cA
3 龄幼虫 3rd instar	广东 Guangdong	96.7 ± 1.6 aA	98.0 ± 0.1 aA	100 ± 0.0 aA	86.0 ± 1.6 bA
	北京 Beijing	98.8 ± 1.2 aA	100 ± 0.0 aA	95.4 ± 0.3 aA	55.6 ± 29.4 aA
4 龄幼虫 4th instar	广东 Guangdong	96.6 ± 1.0 aA	95.3 ± 1.7 aA	87.6 ± 4.9 aA	93.3 ± 6.7 aA
	北京 Beijing	98.8 ± 1.2 aA	96.5 ± 1.8 aA	96.6 ± 1.7 aA	66.7 ± 33.3 aA
预蛹 Prepupa	广东 Guangdong	98.5 ± 0.8 aA	98.5 ± 0.8 aA	91.7 ± 2.3 aA	84.7 ± 9.7 aA
	北京 Beijing	100 ± 0.0 aA	100 ± 0.0 aA	95.7 ± 1.1 aA	66.7 ± 33.3 aA
蛹期 Pupa	广东 Guangdong	97.0 ± 1.6 aA	97.1 ± 0.7 aA	87.4 ± 4.6 aA	82.1 ± 8.9 aA
	北京 Beijing	98.7 ± 1.3 aA	97.4 ± 1.3 aA	98.0 ± 2.0 aA	50.0 ± 28.9 bA
世代 Generation	广东 Guangdong	49.0 ± 7.2 aA	44.7 ± 2.7 aA	20.0 ± 3.5 bA	4.0 ± 0.6 cA
	北京 Beijing	49.7 ± 3.2 aA	47.7 ± 3.7 abA	26.7 ± 10.0 bA	2.0 ± 1.5 cB

广东种群和北京种群在同一温度下存活率随着生长发育的变化趋势基本相同,卵期孵化率、1 龄和 2 龄幼虫存活率较低,预蛹期和蛹期较高。两种群各龄期存活率在 34℃ 下的存活率与 26℃ 和 31℃ 下的相比略有下降,但在 36℃ 下均比较低;在 36℃ 下,广东种群世代存活率显著高于北京种群。

龟纹瓢虫存活率与温度的关系基本符合抛物线型,因此采用抛物线拟合世代存活率与温度关系曲线,设 y 为存活率, x 为温度(℃),得到广东种群 $y = -0.6763x^2 + 37.262x - 462.3$, $R = 0.9903$,可得到 $x = 27.5$ 时, y 值最大;北京种群 $y = -0.8871x^2 +$

$50.272x - 657.78$, $R = 0.9994$,可得到 $x = 28.3$ 时, y 值最大。存活率达最高时的温度即最适温度,则广东种群的最适温度是 27.5℃,北京种群的最适温度是 28.3℃。

2.3 温度对蛹重的影响

从表 3 可以看出,广东种群和北京种群在 31℃ 和 34℃ 下的蛹重均大于 26℃ 下的,且广东种群以 31℃ 下的蛹重最重,北京种群以 34℃ 下的最重,但各温度处理间的蛹重没有显著差异。在 26℃、31℃ 和 34℃ 三种温度下,广东种群的蛹重均大于北京种群,但差异性不显著。

表 3 龟纹瓢虫广东种群和北京种群在不同温度下的蛹重

Table 3 Weight of *Propylaea japonica* pupa at different temperatures

种群 Population	26℃		31℃		34℃	
	蛹数 Number of pupae	蛹重(mg) Weight of pupa	蛹数 Number of pupae	蛹重(mg) Weight of pupa	蛹数 Number of pupae	蛹重(mg) Weight of pupa
广东 Guangdong	32	6.375 ± 0.183 A	69	7.670 ± 0.174 A	20	6.925 ± 0.267 A
北京 Beijing	45	5.827 ± 0.188 A	30	6.407 ± 0.210 A	16	6.531 ± 0.300 A

2.4 温度对种群性比的影响

温度对龟纹瓢虫性比的影响很大(表 4),随着

温度的上升,雌雄比例的不协调性增强。在 26℃ 下,广东和北京种群的雌性性比均接近于 1:1,在

31℃下性比在 1:3 左右,在 34℃下,广东种群与北京种群性比差别较大,广东种群雌雄比接近 1:4,北京种群为 1:6,而在 36℃下,广东种群和北京种群虽然可以获得成虫,但全部为雄性,不利于种群的继续繁殖。

表 4 龟纹瓢虫广东种群和北京种群在不同温度下的性比
Table 4 Sex ratio of Guangdong and Beijing populations of *Propylaea japonica* at different temperatures

种群 Population	性比 Sex ratio (♀:♂)			
	26℃	31℃	34℃	36℃
广东 Guangdong	1:1.10	1:2.34	1:3.75	全为♂ All male
北京 Beijing	1:1.36	1:3.00	1:6.00	全为♂ All male

2.5 高温对产卵量的影响

表 5 为两种群在不同温度下成虫自产卵开始起前一周的产卵量。两种群均是 26℃和 31℃下的产卵量较高,且两种群间差异不大,在 34℃下产卵量

表 6 龟纹瓢虫幼虫在高温热激后的死亡率(%)

Table 6 Mortality (%) of *Propylaea japonica* larvae after heat shock at different high temperatures

种群 Population	发育阶段 Developmental stage	41℃	42℃	43℃	44℃	45℃	46℃
		广东 Guangdong	1 龄 1st instar	0	26.7	73.3	100
	2 龄 2nd instar	0	7.8	34.4	100	100	100
	3 龄 3rd instar	0	0	11.1	22.5	100	100
	4 龄 4th instar	0	0	3.9	26.1	67.7	100
北京 Beijing	1 龄 1st instar	0	18.9	80.0	100	100	100
	2 龄 2nd instar	0	3.3	47.8	100	100	100
	3 龄 3rd instar	0	0	7.0	18.8	100	100
	4 龄 4th instar	0	0	6.7	25.0	72.7	100

2.7 亚致死高温预处理的影响

从表 7 可以看出,经亚致死高温预处理后,4 龄幼虫在致死高温(46℃)中的存活率提高,从而改变 4 龄幼虫的致死高温,预处理时间影响 4 龄幼虫在致死高温中的存活率,在 39℃下预处理 150 min,幼虫存活率(72%)最大。综合表 6 和表 7 结果可以看出,在未经过亚致死高温预处理时,广东种群和北京种群在高温下的死亡率差异不大,但经过亚致死高温预处理后,种群间耐热性差异表现明显。结果表明亚致死高温预处理有助于提高龟纹瓢虫的耐热性,但两种群受到的影响存在差异。

表 7 龟纹瓢虫 4 龄幼虫经非致死高温(39℃)不同时间预处理后在致死高温(46℃)中的存活率(%)

Table 7 Survival rate (%) of 4th instar larvae of *Propylaea japonica* at lethal high temperature (46℃) after pretreatment of different time at non-lethal high temperature (39℃)

种群 Population	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min
	广东 Guangdong	0	0	3.3	26.7
北京 Beijing	0	0	0	7.4	43.5

急剧下降,可见 34℃高温不利于龟纹瓢虫产卵,种群繁殖力下降。在观察成虫产卵期间,发现北京种群产卵量极少,后期几乎不产卵。

表 5 龟纹瓢虫广东种群和北京种群在不同温度下的产卵量(粒/雌虫)

Table 5 Fecundity in a week after eclosion of *Propylaea japonica* at different temperatures

种群 Population	26℃	31℃	34℃
广东 Guangdong	121.7	118.2	38.0
北京 Beijing	145.7	108.5	13.9

2.6 幼虫致死高温的测定

本实验记录了不同高温热激对龟纹瓢虫幼虫的影响,从而推断其致死高温。广东种群和北京种群各龄幼虫的致死高温相同,在各种高温下的死亡率也相差不大,1 龄和 2 龄幼虫的致死温度为 44℃,3 龄幼虫为 45℃,4 龄幼虫为 46℃(表 6)。

2.8 对可溶性蛋白质含量的影响

2.8.1 不同恒温下成虫和幼虫体内可溶性蛋白含量:从表 8 可以看出,在 26℃~34℃之间,随着温度的上升,龟纹瓢虫两种群 4 龄幼虫和成虫体内可溶性蛋白含量上升;在种群内,各温度下 4 龄幼虫的蛋白含量均小于成虫蛋白含量。广东种群 4 龄幼虫和成虫蛋白含量在高温和低温之间的差异显著,34℃下幼虫蛋白含量是 26℃下的 2.1 倍,成虫蛋白含量是 26℃下的 1.14 倍;北京种群 4 龄幼虫和成虫蛋白含量在 3 种温度下均有显著差异,34℃下幼虫蛋白含量是 26℃下的 2.4 倍,成虫是 26℃下的 1.21 倍。种群之间,在 26 和 34℃下,幼虫和成虫体内蛋白含量差异均不显著,31℃下,广东和北京种群间幼虫体内蛋白含量差异性显著,成虫蛋白含量差异不显著;蛋白含量的高低与昆虫耐受高温能力相关,这与前面高温对两种群生长发育的影响的结果相符。

表 8 不同温度下龟纹瓢虫的可溶性蛋白含量 (mg/g)

Table 8 Soluble protein content (mg/g) of *Propylea japonica* at different constant temperatures

种群 Population	虫态 Stage	26℃	31℃	34℃
北京	幼虫 Larva	158.7 ± 7.6 b	323.4 ± 4.9 a	333.6 ± 4.5 a
Beijing	成虫 Adult	343.8 ± 4.0 b	376.9 ± 10.4 a	392.4 ± 11.1 a
广东	幼虫 Larva	143.5 ± 7.7 c	212.5 ± 2.6 b	344.6 ± 2.3 a
Guangdong	成虫 Adult	338.7 ± 19.0 c	359.8 ± 11.0 b	408.9 ± 11.8 a

2.8.2 不同高温热激后可溶性蛋白含量变化: 龟纹瓢虫经不同高温热激后, 与热激处理前 26℃ 下体内蛋白含量相比, 幼虫体内蛋白均有升高, 但成虫蛋白

含量却降低。热激后南北种群蛋白含量差异显著, 广东种群幼虫以经 39℃ 热激后含量最高, 北京种群以经 43℃ 热激后蛋白含量最高 (表 9)。

表 9 高温热激后龟纹瓢虫体内蛋白含量 (mg/g)

Table 9 Soluble protein content (mg/g) of *Propylaea japonica* after heat shock at high temperatures

种群 Population	虫态 Stage	26℃	39℃	41℃	43℃
广东	幼虫 Larva	158.7 ± 7.6 d	341.2 ± 15.7 a	194.4 ± 7.3 c	244.6 ± 11.4 b
Guangdong	成虫 Adult	343.8 ± 4.0 a	318.4 ± 17.3 a	175.6 ± 8.4 c	230.7 ± 12.0 b
北京	幼虫 Larva	143.5 ± 7.7 a	239.9 ± 14.5 b	259.3 ± 10.6 b	349.1 ± 15.1 c
Beijing	成虫 Adult	338.7 ± 19.0 a	232.4 ± 15.7 b	242.5 ± 8.1 b	316.8 ± 4.6 a

3 讨论

3.1 温度对广东种群和北京种群生长和繁殖的影响

26℃ ~ 36℃ 的温度处理对龟纹瓢虫广东和北京两个不同地理种群的影响差别不大。两种群在 34℃ 以上的温度下生长发育和繁殖都受到严重影响, 尤其是幼虫, 存活率很低, 而且即使发育到成虫, 部分成虫个体畸形, 发育不良, 产卵量极低或不产卵, 甚至出现雌性比例失调, 种群数量减少。而在自然情况下, 夏季白天的温度经常超过 36℃, 甚至达到 40℃ 以上, 龟纹瓢虫种群仍能生存发育。有报道称在温度上升至 38℃ 时, 龟纹瓢虫仍能照常产卵 (钟壬模和洪建初, 1983)。产生这种差别的原因, 可能是由于在自然情况下, 温度是渐渐变化, 昼夜温度不同, 高温集中在白天较短的时间内。因此推测, 在相同高温下, 恒定高温对龟纹瓢虫生存繁殖的影响比变温高温要大。这同时也可能说明通过恒定温度试验, 不能使广东种群和北京种群耐热性差异完全显现出来, 试验环境与田间环境相差较大, 有必要进行变温高温或田间的耐热试验。

卵和 1、2 龄幼虫与 3、4 龄幼虫相比, 更易受高温影响, 这直接影响了种群数量, 因此, 提高卵的孵化率和低龄幼虫的存活率是提高龟纹瓢虫种群数量的关键, 这在天敌的大量繁殖中有重要的意义。在实验期间观察到, 在较高温下 (34℃ 以上) 各龄幼虫的死亡多发生在幼虫蜕皮期间, 多为不能蜕皮或旧皮不能完全蜕下, 蜕皮不完全的幼虫可以存活几天, 发育时间延长, 但往往不能发育至下一龄期。因此, 幼虫蜕皮期间的抵抗力比较差, 可能与蜕皮期间的

生理状态有关, 也许因为高温影响幼虫体内的某些蛋白酶的活性和正确合成, 导致幼虫不能顺利蜕皮。需进一步的深入实验加以验证。

值得注意的是高温对龟纹瓢虫种群性比的影响, 在 26℃ 下, 广东和北京种群的雌雄性比均接近于 1:1, 随着温度上升, 雄性增多, 在 36℃ 下成虫均为雄性。两种群差别较大的就是在 34℃ 下的雌雄比例, 广东种群为 1:3.75, 北京种群为 1:6。这从一定程度上说明 34℃ 高温对北京种群的影响大于广东种群。性比直接影响种群的数量, 应该作为评价耐热性的一个重要标准。进一步研究温度影响种群性比变化也具有很大的意义。Sasaki 和 Obara (2001) 提到环境因素在决定蜜蜂性比中的作用, 但没有深入探讨高温对昆虫性比的影响, 其机制也不清楚, 有待进一步的研究。可以推测, 高温影响了昆虫体内与性比决定有关的激素含量或离子浓度, 或有其他因素, 导致昆虫性别发生改变。

另外, 本研究中北京种群和广东种群的龟纹瓢虫成虫均于 5 月采集, 考虑到当时两地的田间温度及室内实验饲养群的建立等因素, 故选择种群的维持温度分别为北京种群 25℃ 和广东种群 28℃。如果能够采集足够数量的龟纹瓢虫供试个体, 在当代和原本的生活温度下进行试验研究, 也许会得出更符合实际的研究结果。

3.2 亚致死高温预处理对耐热性的影响

亚致死高温预处理可以提高昆虫在更高温度的存活率 (Yocum and Denlinger, 1992; Nearing et al., 2003), 这在本实验中也得到初步证实。不同的预处理温度及不同的处理时间其效果不同, 龟纹瓢虫 4 龄幼虫经 39℃ 高温处理不同时间后, 在 46℃ 高

温下得到不同的存活率,同时,预处理使广东种群和北京种群的耐热性差异显示出来,经过相同的处理后,在致死高温下广东种群的存活率要大于北京种群,且差异性显著;另外,预处理的时间和温度也直接影响耐热性的提高,但并不是预处理的亚致死高温越高或处理时间越长越好。有研究表明,预处理有一个最佳温度和时间(Yocum and Denlinger, 1992; Krebs and Loeschke, 1998)。不同种群应选择不同的预处理温度和时间,这一结果将有助于选育较耐热的地理种群。

本研究结果表明热激后龟纹瓢虫广东种群和北京种群幼虫和成虫体内可溶性蛋白含量都发生了变化。预处理可能使昆虫体内产生了某一种或多种热保护剂,如热激蛋白或其他酶的活性的改变,为昆虫经受更高温度提供了保护。但昆虫耐受更高温度的能力大小是否决定于预处理后这些蛋白和酶在体内的持续存在或是应激机制的提高,尚需进一步研究证实。目前关于热激蛋白的研究较多,也将它与动植物的耐热性联系起来(Lindquist, 1986, 1988; Feder *et al.*, 1996; Dahlgard *et al.*, 1998; Feder, 1999; Sorensen *et al.*, 2001)。但 Yocum 和 Denlinger(1992)提出热激蛋白对耐热性获得不一定是必需的,而且,非致死高温的预处理并不是对所有生物体都起到保护作用,如预处理不会提高酵母 *Saccharomyces cerevisiae* 的耐热性(Hall, 1983)。

3.3 耐热机制有待研究

在 26°C ~ 34°C 之间,龟纹瓢虫体内总蛋白含量随着所处温度的上升而提高。在高温下,蛋白合成量增加,其中是否有热激蛋白的合成,在本试验中没有检测。蛋白质是基因表达的产物,细胞发生应激反应时,细胞内基因表达改变,基因表达改变的程度与热激的程度和持续时间有关。热激过程中酶活性的变化及耐热基因的表达机制等,皆有待进一步的研究。另外,其他因素也影响着耐热性,各种环境因子是相互影响相互作用的,因此在研究昆虫耐热性同时,应考虑其他因子对耐热性的影响,比如湿度等。

参 考 文 献 (References)

Cui SZ, 1996. Studies on biological characteristics of *Propylea japonica* and its predation function to *Helicoverpa armigera*. *Acta Gossypii Sinica*, 8 (5): 269 - 275. [崔素贞, 1996. 龟纹瓢虫生物学特性及其对棉铃虫捕食功能的研究. 棉花学报, 8(5): 269 - 275]

Dahlgard J, Loeschke V, Michalak P, Justesen J, 1998. Induced thermotolerance and associated expression of the heat-shock protein Hsp70 in adult *Drosophila melanogaster*. *Functional Ecology*, 12: 786 - 793.

Feder ME, Cartano NV, Milos L, Krebs RA, Lindquist SL, 1996. Effect of engineering Hsp70 copy number on Hsp70 expression and tolerance of

ecologically relevant heat shock in larvae and pupae of *Drosophila melanogaster*. *Journal of Experimental Biology*, 199: 1 837 - 1 844.

Feder ME, 1999. Organismal, ecological, and evolutionary aspects of heat-shock proteins and the stress response: established conclusions and unresolved issues. *Amer. Zool.*, 39: 857 - 864.

Krebs RA, Feder ME, 1998. Hsp70 and larval thermotolerance in *Drosophila melanogaster* how much is enough and when is more too much? *Journal of Insect Physiology*, 44: 1 091 - 1 101.

Li L, Jiao XZ, 1980. Use Coomassie Brilliant Blue G250 (Bradford) to determine proteins. *Plant Physiology Communications*, 6: 52 - 54. [李琳, 焦新之, 1980. 应用蛋白质染色剂考马斯亮蓝 G-250 测定蛋白质的方法. 植物生理学通讯, 6: 52 - 54]

Lindquist S, 1986. The heat shock response. *Ann. Rev. Biochem.*, 55: 1 151 - 1 159.

Lindquist S, Craig EA, 1988. The heat-shock proteins. *Annu. Rev. Genet.*, 22: 631 - 677.

Neargarder G, Dahlhoff EP, Rank NE, 2003. Variation in thermal tolerance is linked to phosphoglucose isomerase genotype in a montane leaf beetle. *Functional Ecology*, 17(2): 213 - 221.

Ren SX, Guo ZZ, Xiong JW, 1991. Effects of temperature on experimental population of *Chilocorus bijugus* Mulsant. *Acta Ecologica Sinica*, 11 (3): 237 - 241. [任顺祥, 郭振中, 熊继文, 1991. 温度对二双斑唇瓢虫实验种群的影响. 生态学报, 11(3): 237 - 241]

Sorensen JG, Dahlgard J, Loeschke V, 2001. Genetic variation in thermal tolerance among natural populations of *Drosophila buzzatii*: down regulation of Hsp70 expression and variation in heat stress resistance traits. *Functional Ecology*, 15: 289 - 296.

Sasaki K, Obara Y, 2001. Nutritional factors affecting the egg sex ratio adjustment by a honeybee queen. *Insectes Sociaux*, 48: 1 - 5.

Yang JH, 1983. The primary observation of *Propylea japonica*. *Entomological Knowledge*, 20(5): 215 - 217. [杨建华, 1983. 龟纹瓢虫的初步观察. 昆虫知识, 20(5): 215 - 217]

Yang XL, Shen MQ, Guo ZZ, Xiong JW, 1998. Effects of temperature on experimental population of *Chilocorus kuwanai* Silvestri. *Zoological Research*, 19(1): 84 - 86. [杨孝龙, 沈妙青, 郭振中, 熊继文, 1998. 温度对红点唇瓢虫实验种群的影响. 动物学研究, 19(1): 39 - 44]

Yang YL, 1985. Effects of temperature on growth of *Propylea japonica*. *Natural Enemies of Insects*, 7(2): 82 - 86. [杨永乐, 1985. 温度对龟纹瓢虫生长发育的影响. 昆虫天敌, 7(2): 82 - 86]

Yocum GD, Denlinger DL, 1992. Prolonged thermotolerance in the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*, does not require continuous expression or persistence of the 72 kDa heat-shock protein. *J. Insect Physiol.*, 38 (8): 603 - 609.

Zhong RM, Hong JT, 1983. Studies on biological characteristics of *Propylea japonica*. *Entomological Knowledge*, 20(1): 22 - 25. [钟壬模, 洪建涛, 1983. 龟纹瓢虫生物学特性的研究. 昆虫知识, 20(1): 22 - 25]

Zhan GX, Liang GW, Zeng L, 2002. Effects of temperature on *Chrysocharis pentheus* of vegetable leafminer. *Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition)*, 23(4): 15 - 17. [詹根祥, 梁广文, 曾玲, 2002. 温度对底比斯粗姬小蜂的影响. 华南农业大学学报(自然科学版), 23(4): 15 - 17]