

温度胁迫对点蜂缘蝽成虫呼吸代谢 关键酶活性的影响

陈菊红^{1,2}, 崔娟¹, 张金平², 毕锐¹, 高宇¹, 徐伟¹, 史树森^{1,*}

(1. 吉林农业大学农学院, 长春 130118;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 农业部-CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193)

摘要:【目的】为明确温度对点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris* 成虫呼吸代谢关键酶活性的影响。【方法】本研究利用生化方法测定了黑暗条件下经 16, 20, 24, 28, 32 和 36℃ 处理 4 h 的点蜂缘蝽成虫呼吸代谢关键酶 3-磷酸甘油醛脱氢酶 (GAPDH)、3-磷酸甘油脱氢酶 (GDH)、3-羟酰辅酶 A 脱氢酶 (HOAD)、柠檬酸合成酶 (CS) 和乳酸脱氢酶 (LDH) 的活性。【结果】点蜂缘蝽成虫体内 5 种呼吸代谢关键酶的活性均随温度升高呈现先增后减的趋势。其中点蜂缘蝽成虫雌、雄个体之间的 CS 活性在 16 和 28℃ 时存在显著差异, 16℃ 时雌虫 CS 活性较高, 28℃ 时雄虫 CS 活性较高; 雄虫 LDH 活性在 36℃ 时显著高于雌虫, 提示雌、雄个体间在低温下体内三羧酸循环代谢存在显著差异, 在高温下体内糖无氧酵解水平存在显著差异。不同温度处理下雌、雄成虫的 GAPDH 与 HOAD 活性比值均远大于 1.0, 说明在试验温度下点蜂缘蝽呼吸代谢消耗以糖类为主。【结论】在 16℃ ~ 36℃ 范围内, 随着温度的升高点蜂缘蝽雌、雄成虫体内呼吸代谢关键酶活性呈现先增后减的趋势, 点蜂缘蝽可通过调节呼吸代谢强度适应温度变化。

关键词: 点蜂缘蝽; 温度; 呼吸代谢; 酶活性; 能源物质

中图分类号: Q966 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2018)09-1003-07

Effects of temperature on the activities of key enzymes related to respiratory metabolism in *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Coreidae) adults

CHEN Ju-Hong^{1,2}, CUI Juan¹, ZHANG Jin-Ping², BI Rui¹, GAO Yu¹, XU Wei¹, SHI Shu-Sen^{1,*}

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. MoA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims to determine the effects of temperature on the activities of key enzymes related to respiratory metabolism in adults of the bean bug, *Riptortus pedestris*. 【Methods】 The activities of five key enzymes related to respiratory metabolism, *i. e.*, glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH), glycerol-3-phosphate (GDH), 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase (HOAD), citrate synthase (CS), and lactate dehydrogenase (LDH), in *R. pedestris* adults exposed to different temperatures (16, 20, 24, 28, 32 and 36℃) for 4 h in scotophase were assayed by using biochemical methods. 【Results】 The results showed that the activities of the five key enzymes in *R. pedestris* adults increased first and then decreased as the temperature increased. The CS activities at 16 and 28℃ differed

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-04); 吉林农业大学国家级大学生创新训练计划项目支持(201610193003)

作者简介: 陈菊红, 女, 1995 年 11 月生, 四川江油人, 硕士研究生, 研究方向为害虫综合治理, E-mail: 15181674153@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: sss-63@263.net

收稿日期 Received: 2018-04-24; 接受日期 Accepted: 2018-05-16

significantly between males and females, being higher in females than in males at 16°C, but lower in females than in males at 28°C. The LDH activities in males were higher than those in females at 36°C, suggesting that there are significant differences between males and females in the tricarboxylic acid cycle metabolism at low temperature and in the anaerobic glycolysis at high temperature. The ratios of GAPDH activity to HOAD activity in adult males and females exposed to different temperatures were much higher than 1.0, indicating that *R. pedestris* adults mainly consume carbohydrates in respiratory metabolism at the test temperatures. 【Conclusion】 In the temperature range from 16°C to 36°C, with the increase of temperature, the activities of key enzymes involved in respiratory metabolism in female and male adults of *R. pedestris* increase at first, and then decrease. *R. pedestris* can adjust its respiratory metabolic intensity to some extent to adapt to temperature change.

Key words: *Riptortus pedestris*; temperature; respiratory metabolism; enzyme activity; energy substance

昆虫的生长发育与种群繁衍和温度密切相关, 温度直接影响昆虫种群的发育、生存、范围和丰度 (Bale *et al.*, 2002)。适宜的温度是昆虫正常生长发育的必要条件, 温度过高或过低都会对昆虫的生长发育产生不利影响。温度胁迫是指生物对正常生存温度之外温度的反应, 包括低温胁迫和高温胁迫 (王艳敏等, 2010)。昆虫在面对温度胁迫时, 会增强耐寒性和耐热性, 进而适应多样的环境。温度胁迫耐受性对昆虫的分布和扩散起着重要的作用 (陈兵和康乐, 2005)。当受到极端温度胁迫时, 昆虫会调整呼吸代谢水平以提高自身对温度胁迫的适应以及抵抗能力 (庞雄飞, 1963; 王冬梅等, 2014)。呼吸代谢一般指由多数酶、辅酶以及其他一些有机、无机因素参与的一系列酶反应过程, 是昆虫重要的生理活动指标 (戈峰, 1991)。昆虫呼吸代谢不仅受内在因素的控制, 还受外部条件的影响; 也是其机体能量代谢的基本过程, 呼吸代谢的强弱可通过相关酶活性变化来体现 (段亚飞等, 2016)。因此, 研究温度对昆虫呼吸代谢关键酶活性的影响, 可以了解昆虫适宜生存的温度范围及其对极端环境温度的适应性, 为昆虫种群动态预测提供科学依据。昆虫呼吸代谢消耗的能源物质主要包括糖类、脂类和蛋白质 (王满困和李周直, 2001), 其中糖类代谢相关酶主要为 3-磷酸甘油醛脱氢酶 (GAPDH) 和 3-磷酸甘油脱氢酶 (GDH), 脂类代谢酶主要为 3-羟酰辅酶 A 脱氢酶 (HOAD), 柠檬酸合成酶 (CS) 为三羧酸循环代谢酶, 乳酸脱氢酶 (LDH) 是糖无氧酵解及糖异生的一种重要酶, 可通过 GAPDH 和 HOAD 活性比值判断昆虫呼吸代谢对消耗能源物质的利用类型 (Beenackers *et al.*, 1984; 袁瑞玲等, 2015)。国内外已有诸多与昆虫呼吸代谢相关的研究报道 (郭春晖等, 2017; 刘亚秋等, 2017; 刘珍和曾玲, 2017;

Wasser, 2017; 聂鸿涛等, 2018), 但未见半翅目昆虫呼吸代谢酶活性的相关报道。

点蜂缘蝽 *Riptortus pedestris* 属半翅目 (Hemiptera) 缘蝽科 (Coreidae), 是一种为害豆科作物的常见刺吸类害虫, 主要分布在我国西北、华北等地区, 在东南亚和东亚地区也有发现。点蜂缘蝽寄主广泛, 主要为害豆科植物 (贾慧春, 2008; Kim *et al.*, 2014), 亦为害禾本科、十字花科、锦葵科等多种其他农作物 (高岱, 1998; 王正东, 2013; 张雷, 2014)。点蜂缘蝽主要以刺吸方式为害大豆, 使植株生长发育不良, 豆荚不饱满 (张文强和李元涛, 2017)。近几年点蜂缘蝽对北京周边地区的大豆危害严重, 造成大幅度减产 (谢皓等, 2016; 齐永悦等, 2017)。为了明确气候变化对点蜂缘蝽种群发生与为害的影响, 进而揭示其灾变规律。本研究探讨了环境温度对点蜂缘蝽虫体呼吸代谢关键酶活性的影响, 分析不同温度条件下其呼吸代谢能源物质的种类, 以掌握在不同温度胁迫下其能量来源及利用策略, 从而预测其应对不同温度胁迫时能量代谢途径调控的机制。

1 材料与amp;方法

1.1 试虫

点蜂缘蝽成虫于 2017 年 7 月采自南京农业大学教学试验基地 (32°2'14"N, 118°50'4"E), 带回吉林农业大学昆虫生物学研究室, 置于 24°C 条件下养虫箱 (光周期 16L: 8D, 相对湿度 60% ± 5%) 内并以新鲜芸豆 *Phaseolus vulgaris* 荚 + 盆栽结荚大豆 *Glycine max* 植株为寄主材料进行室内饲养, 将 F₁ 代 5 日龄成虫作为供试虫源。

1.2 不同温度条件下点蜂缘蝽呼吸代谢关键酶活性的测定

根据前期对点蜂缘蝽的生物学习性和生长发育特点的研究(史树森等, 未发表数据), 试验设置 16, 20, 24, 28, 32 和 36℃ 共 6 个温度梯度。选取在 24℃ 条件下饲养的日龄均为 5 d 的点蜂缘蝽成虫为材料, 分别将试虫置于试验设置的 6 个温度梯度的生化培养箱(BIR-80 DI, 上海三腾仪器有限公司)内黑暗条件下处理 4 h(确保试虫处于静息状态), 迅速取出置于液氮处死后于 -80℃ 冰箱保存。每个温度条件下雌、雄成虫分别处理, 每个处理保证虫体重量 >0.1 g (0.118 ~ 0.205 g), 重复 3 次。

取出 -80℃ 保存的虫体研磨后, 按 1:9 (m/m) 的比例将组织与 PBS 缓冲液(磷酸缓冲盐溶液 phosphate buffer saline, pH 7.4)混合, 用匀浆器将样本充分混匀, 此为 100 g FW/L 的组织匀浆, 3 000 r/min 离心 20 min, 仔细收集上清液, 利用酶试剂盒(上海江莱生物科技有限公司)提取 GAPDH, GDH, HOAD, CS 和 LDH 5 种酶, 按照 1:5 (v/v) 的比例将上清液与提取液混合提取, 此为 5 倍稀释倍数。提取后的酶液均利用 ELISA 试剂(上海江莱生物科技有限公司)测定蛋白质浓度, 采用酶标分析仪(Rayto RT-6100)在 450 nm 波长下测量相应酶液吸光度 OD 值。

样品酶活力的计算:(1)标准曲线制作:取酶活力分别为 0, 3, 6, 12, 24 和 48 U/L 的标准品, 测定其 OD 值, 以酶活力为纵坐标, 对应的 OD 值为横坐标绘出标准曲线, 分别为 HOAD: $y = 36.12x - 3.5414$; LDH: $y = 4.3498x - 0.0722$; CS: $y =$

$12.722x - 0.2944$; GDH: $y = 81.906x - 8.5916$; GAPDH: $y = 61.624x - 1.8994$ 。(2)样品实际酶活力的计算:将样品的 OD 值代入标准曲线计算出样品酶活力(U/L), 再乘以稀释倍数, 即为样品实际酶活力(U/L)。(3)样品折算酶活力的计算:样品折算酶活力(U/g FW) = 样品实际酶活力/组织匀浆, 组织匀浆即为 100 g FW/L。以样品折算酶活力作为结果中样品的酶活性。

1.3 数据分析

使用单因素方差分析(ANOVA)分析不同处理温度下点蜂缘蝽成虫呼吸代谢关键酶活性的差异显著性($P < 0.05$), 并采用 LSD 测验进行多重比较。利用独立样本 T 检验分析同一处理温度下点蜂缘蝽雌、雄成虫间呼吸代谢关键酶活性的差异显著性($P < 0.05$)。采用 SPSS18.0 统计软件对数据进行处理。

2 结果

2.1 温度对点蜂缘蝽成虫体内糖类代谢关键酶活性的影响

温度显著影响点蜂缘蝽雌、雄成虫体内糖类代谢关键酶 GAPDH 活性(♀: $F = 3.908$, $df = 5$, $P = 0.025$; ♂: $F = 6.182$, $df = 5$, $P = 0.005$)和 GDH 活性(♀: $F = 5.773$, $df = 5$, $P = 0.006$; ♂: $F = 4.892$, $df = 5$, $P = 0.011$), 随着温度的升高, 点蜂缘蝽成虫体内 GAPDH 和 GDH 活性均呈现先增后减的趋势(图 1)。在不同温度条件下, 点蜂缘蝽雌、雄

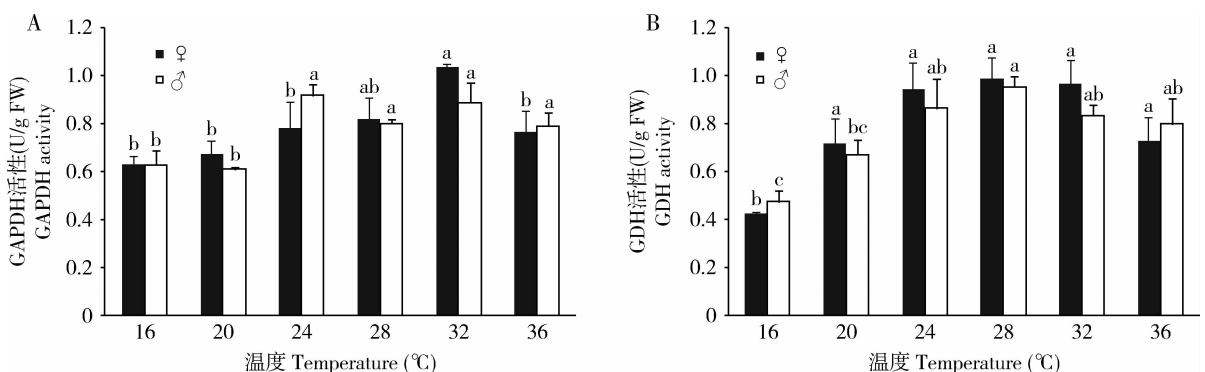


图 1 温度对点蜂缘蝽成虫体内糖类代谢关键酶 GAPDH (A) 和 GDH (B) 活性的影响

Fig. 1 Effects of temperature on the activities of GAPDH (A) and GDH (B) involved in carbohydrate metabolism in *Riptortus pedestris* adults

GAPDH: 3-磷酸甘油醛脱氢酶 Glycerinaldehyde-3-phosphate dehydrogenase; GDH: 3-磷酸甘油脱氢酶 Glycerol-3-phosphate. 图中数据为平均值 ± 标准误, 柱上不同字母表示不同温度之间酶活性差异显著 (Duncan 氏新复极差法检验, $P < 0.05$)。图 2 和 3 同。Data in the figure are mean ± SE. Different small letters above bars indicate significant difference in enzyme activities among different temperatures (Duncan's new multiple range test, $P < 0.05$). The same for Figs. 2 and 3.

成虫间 GAPDH 活性有差异,雌成虫在 32℃ 时 GAPDH 活性最高,为 1.035 U/g,16℃ 时最低,为 0.630 U/g;而雄成虫 GAPDH 活性在 24℃ 达到最高,为 0.918 U/g,在 20℃ 最低,为 0.609 U/g (图 1: A)。在不同温度条件下,点蜂缘蝽雌、雄成虫的 GDH 活性表现一致,在 28℃ 时 GDH 活性最高,分别为 0.986 和 0.956 U/g;在 16℃ 时 GDH 活性最低,分别为 0.425 和 0.474 U/g (图 1: B)。

在相同试验温度条件下,点蜂缘蝽雌、雄成虫之间 GAPDH 和 GDH 活性差异均不显著。相同温度测定条件下雌、雄成虫 GAPDH 活性变化无规律(图 1: A),但在 20 ~ 32℃ 之间,点蜂缘蝽雌虫的 GDH 活性始终高于雄虫的活性,在 16℃ 和 36℃ 时,雌虫的 GDH 活性则低于雄虫(图 1: B)。

2.2 温度对点蜂缘蝽成虫体内脂类代谢关键酶活性的影响

温度显著影响点蜂缘蝽成虫体内脂类代谢酶 HOAD 活性(♀: $F=2.132$, $df=5$, $P=0.131$; ♂: $F=4.651$, $df=5$, $P=0.014$) (图 2),随着温度的升高,点蜂缘蝽雌、雄成虫 HOAD 活性先增后减。16℃ 时点蜂缘蝽雌、雄成虫 HOAD 活性最低,分别为 0.270 U/g 和 0.219 U/g。随着温度的不断升高,HOAD 活性持续增高,在 32℃ 时点蜂缘蝽雌、雄成虫 HOAD 活性达到最高,分别为 0.436 U/g 和 0.408 U/g,之后随着温度的升高 HOAD 活性呈现下降的趋势。在相同温度处理条件下,点蜂缘蝽雌、雄成虫之间 HOAD 活性差异不显著。

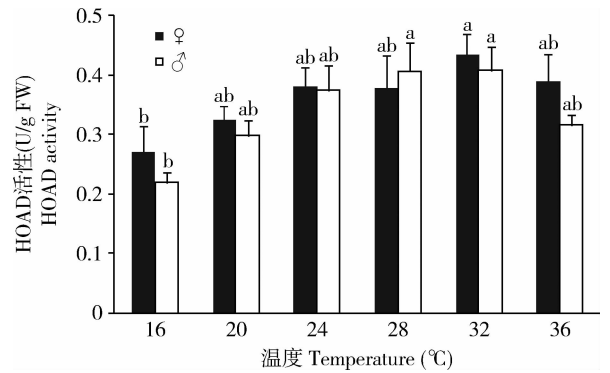


图 2 温度对点蜂缘蝽成虫体内脂类代谢关键酶 3-羟酰辅酶 A 脱氢酶 (HOAD) 活性的影响

Fig. 2 Effects of temperature on the activity of 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase (HOAD) involved in lipid metabolism in *Riptortus pedestris* adults

2.3 温度对点蜂缘蝽成虫体内三羧酸循环代谢和糖无氧酵解酶活性的影响

温度显著影响点蜂缘蝽成虫体内 CS 活性(♀: $F=8.231$, $df=5$, $P=0.001$; ♂: $F=6.816$, $df=5$, $P=0.003$)和 LDH 活性(♀: $F=17.169$, $df=5$, $P=0.000$; ♂: $F=4.852$, $df=5$, $P=0.012$) (图 3),在试验温度范围内,点蜂缘蝽雌、雄成虫 CS 活性与 LDH 活性均呈现先增后减的趋势。点蜂缘蝽雌成虫的 CS 活性与雌、雄成虫的 LDH 活性均在 16℃ 时为最低,分别为 0.113, 0.052 和 0.055 U/g。随着温度的升高,点蜂缘蝽雌、雄成虫 CS 活性与 LDH 活性均缓慢增强,28℃ 时点蜂缘蝽雌成虫的 CS 活性和 LDH 活性均达到最高,分别为 0.202 U/g 和

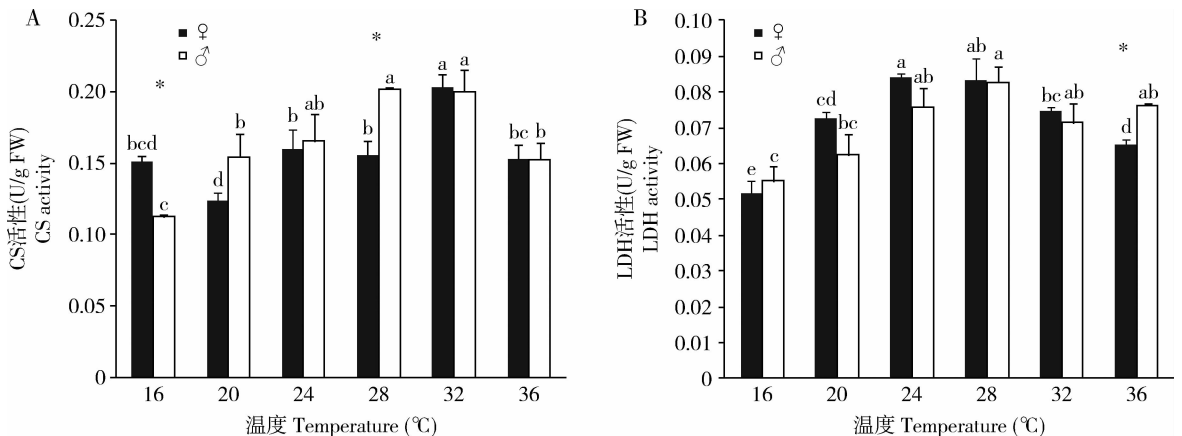


图 3 温度对点蜂缘蝽成虫体内三羧酸循环关键酶 CS (A) 和糖无氧酵解关键酶 LDH (B) 活性的影响

Fig. 3 Effects of temperature on the activities of CS (A) involved in tricarboxylic acid cycle and LDH (B) involved in anaerobic glycolysis in *Riptortus pedestris* adults

CS: 柠檬酸合成酶 Citrate synthase; LDH: 乳酸脱氢酶 Lactate dehydrogenase. 柱上星号表示同一温度下酶活性在雌雄虫之间存在显著差异(独立样本 T 检验, $P < 0.05$). The asterisk above bars indicates significant difference in enzyme activity between females and males exposed to the same temperature (independent-sample T test, $P < 0.05$).

0.083 U/g, 而其雌成虫的 CS 活性在 32℃ 达到最高, LDH 活性在 24℃ 最高。之后随着温度的升高, CS 活性与 LDH 活性逐渐降低。点蜂缘蝽成虫雌、雄个体之间的 CS 活性在 16℃ ($t = 10.004$, $P = 0.001$) 和 28℃ ($t = -4.904$, $P = 0.008$) 时存在显著差异, LDH 活性在 36℃ ($t = -6.836$, $P = 0.002$) 时存在显著差异, 提示故推测可能雌、雄个体间在低温下体内三羧酸循环代谢存在显著差异, 在高温下体内糖无氧酵解水平存在显著差异。而在其他试验温度下, 点蜂缘蝽成虫雌、雄个体之间 LDH 和 CS 活性均无显著差异。

2.4 不同温度条件下点蜂缘蝽成虫体内呼吸代谢能源物质的利用分析

昆虫呼吸代谢消耗的能源物质包括糖类、脂类和蛋白质, 可通过糖代谢与脂代谢中的相关酶 GAPDH 和 HOAD 的活性比值大小判断昆虫呼吸代谢能源物质的利用类型, GAPDH 与 HOAD 的活性比值远大于 1.0 时为糖类利用型, 小于 1.0 时为脂类利用型, 接近 1.0 则为糖类和脂类混合利用型 (韩兰芝等, 2005)。不同温度条件下点蜂缘蝽成虫体内呼吸代谢酶 GAPDH 与 HOAD 的活性比值在 1.96 ~ 2.87 之间, 均远大于 1.0 (表 1), 提示点蜂缘蝽雌雄成虫的呼吸代谢能源物质利用类型均为糖类利用型。

表 1 不同处理温度下点蜂缘蝽成虫体内 GAPDH 活性与 HOAD 活性比值

Table 1 Ratios of GAPDH activity to HOAD activity in *Riptortus pedestris* adults at different temperatures

性别 Sex	GAPDH/HOAD 活性比					
	Ratio of GAPDH activity to HOAD activity					
	16℃	20℃	24℃	28℃	32℃	36℃
雌虫 Female	2.33	2.09	2.06	2.16	2.37	1.97
雄虫 Male	2.87	2.04	2.45	1.96	2.17	2.50

3 讨论

本研究结果表明, 在 16 ~ 36℃ 范围内, 点蜂缘蝽成虫体内所测定的 5 种呼吸代谢关键酶 GAPDH, GDH, HOAD, CS 和 LDH 活性的变化趋势基本一致, 随着温度升高均呈现先增后减的趋势, 即点蜂缘蝽成虫糖代谢与脂代谢能力呈现先增后减的趋势。说明低温和高温使点蜂缘蝽成虫受到环境胁迫, 从而使体内相关酶活性降低, 导致点蜂缘蝽成虫在低温或高温环境下机体活力减弱。在 16℃ 和 28℃ 时,

点蜂缘蝽成虫雌、雄个体间 CS 活性存在显著差异, 36℃ 时点蜂缘蝽成虫雌、雄个体间 LDH 活性也存在显著差异, 由于乳酸脱氢酶 (LDH) 是糖无氧酵解及糖异生的一种重要酶, 催化丙酮酸与乳酸之间的氧化与还原反应, 其活性可以反映动物体无氧代谢的能力 (Beenackers, 1969), 说明在低温和高温情况下, 点蜂缘蝽雌、雄成虫间无氧代谢能力存在显著差异。

在受到低温 (16℃) 和高温 (36℃) 胁迫时, 点蜂缘蝽雄成虫糖代谢的相关酶 GDH 和 GAPDH 活性均高于雌成虫, 这可能是由于雄成虫对温度敏感程度较低以及雄成虫体内能量储备以糖类为主的原因; 而雄成虫脂代谢的相关酶 HOAD 活性均低于雌成虫, 可能是由于雌成虫卵巢发育使得雌成虫需要更多的能量。无论是在低温或高温下, 雄成虫 LDH 活性均高于雌成虫, 说明雄成虫的无氧代谢高于雌成虫。在低温下, 雌成虫 CS 活性高于雄成虫, 由于柠檬酸合成酶 (CS) 是三羧酸循环中的一个调控酶, 而三羧酸循环是糖、脂肪和蛋白质 3 种主要有机物在体内彻底氧化供能的共同通路, 也是能源物质相互转化的核心生化过程 (王荫长, 2004)。三羧酸循环途径产生的能量最多, 是机体利用糖氧化获得能量的最有效方式 (郭嵩光, 2009), 所以雌成虫在低温下所消耗的能量高于雄虫, 这是否与雌成虫卵巢的发育有关还有待进一步验证。

昆虫可通过调节呼吸代谢强度适应环境的变化 (Addo-Bediako *et al.*, 2002)。大多数的研究表明, 在适宜的温度范围内, 随着温度升高, 虫体呼吸代谢增强 (高峰等, 2007; 陈爱端等, 2011; 王冬梅等, 2014), 酶活性增加 (李娟等, 2014); 而超过适宜的温度范围, 昆虫的生命活动就会减弱。本研究结果与上述结论一致。昆虫对环境的适应性除表现在通过调节呼吸代谢强度以外, 也表现在对不同能源物质的利用方面。相关报道表明, 在昆虫的呼吸代谢中, 消耗的主要能源物质是糖类。但当环境因子发生改变如受极端温度 (王娟等, 2016)、干燥 (Marron *et al.*, 2003)、不利光照 (Gao *et al.*, 2016) 以及化学试剂 (Xiao *et al.*, 2017) 等胁迫的条件下, 主要能源物质之间的积累或利用会随之发生改变, 从而增强昆虫对不良因子的抵抗能力 (张洁等, 2013)。本研究通过在 16 ~ 36℃ 范围内探讨温度胁迫对点蜂缘蝽成虫呼吸代谢关键酶活性的影响, 明确了不同温度条件下点蜂缘蝽呼吸代谢能源物质为糖类, 揭示了点蜂缘蝽成虫通过调节糖代谢水平来适应环境温

度变化的生理生化机制。另有研究报道始红蝽 *Pyrrhocoris apterus* 可通过调节其呼吸代谢强度以及对能源利用的不同来适应季节变化,春、夏、秋季进行糖代谢,冬季进行脂代谢(钱雪等, 2016),本研究虫源取自室内续代种群,其越冬成虫是否进行脂代谢有待进一步研究。然而,西伯利亚蝗 *Calliptamus italicus* 在低温下进行糖代谢,受到高温胁迫时同时进行糖代谢与脂代谢(钱雪等, 2017),这可能是由于刺吸取食寄主植物汁液的点蜂缘蝽与咀嚼取食寄主植物固体组织的西伯利亚蝗其食物类型及营养组分明显不同而造成的差异。Hou 等(2015)曾报道埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 在不同的发育阶段以及吸食不同寄主时其体内糖代谢水平存在较大差异。综上所述,通过分析研究温度对点蜂缘蝽呼吸代谢关键酶活性的影响,明确了点蜂缘蝽在 16 ~ 36°C 条件下,其呼吸代谢消耗的能源物质均为糖类。随着环境温度升高,点蜂缘蝽雌、雄成虫呼吸代谢关键酶 GDH 和 LDH 在 32°C 条件下活性开始呈降低趋势, GAPDH, HOAD 和 CS 则在 36°C 条件下活性降低,表现为虫体代谢水平下降,生命活动减弱。

参考文献 (References)

- Addo-Bediako A, Chown SL, Gaston KJ, 2002. Metabolic cold adaptation in insects: a large-scale perspective. *Funct. Ecol.*, 16 (3): 332–338.
- Bale JS, Masters GJ, Hodkinson ID, Awmack C, Bezemer TM, Brown VK, Butterfield J, Buse A, Coulson JC, Farrar J, Good JEG, Harrington R, Hartley S, Jones TH, Lindroth RL, Prss MC, Symmioudis I, Watt AD, Whittaker J, 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Chan. Biol.*, 8(1): 1–16.
- Beenackers AMT, 1969. Carbohydrate and fat as a fuel for insect flight: a comparative study. *J. Insect Physiol.*, 15: 353–361.
- Beenackers AMT, Van der Horst DJ, Van Marrewijk WJA, 1984. Insect flight muscle metabolism. *Insect Biochem. Molec. Biol.*, 14 (3): 243–260.
- Chen AD, Li KB, Yin J, Cao YZ, 2011. Effects of environmental factors on the respiratory metabolism in larvae of *Pleonomus canaliculatus* (Coleoptera: Elateridae). *Acta Entomol. Sin.*, 54(4): 397–403. [陈爱端, 李克斌, 尹姣, 曹雅忠, 2011. 环境因子对沟金针虫呼吸代谢的影响. 昆虫学报, 54(4): 397–403]
- Chen B, Kang L, 2005. Insect adaptation to environmental temperature stress and population differentiation. *Prog. Nat. Sci.*, 15 (3): 265–271. [陈兵, 康乐, 2005. 昆虫对环境温度胁迫的适应与种群分化. 自然科学进展, 15(3): 265–271]
- Duan YF, Dong HB, Wang Y, Li ZJ, Zhang JS, 2016. Respiratory metabolic enzyme activities and RNA/DNA ratio of *Marsupenaeus japonicus* after desiccation. *Marine Fish.*, 38(1): 42–50. [段亚
- 飞, 董宏标, 王芸, 李卓佳, 张家松, 2016. 干露胁迫对日本囊对虾呼吸代谢酶活性和 RNA/DNA 比值的影响. 海洋渔业, 38 (1): 42–50]
- Gao D, 1998. A preliminary study on the origin of *Riptortus pedestris* Fabricius. *Fujian Agric. Sci. Tech.*, (2): 16. [高岱, 1998. 点蜂缘蝽为害莲子的初步研究. 福建农业科技, (2): 16]
- Gao F, Su JW, Ge F, Wu G, Liu XH, 2007. Effect of temperature on the respiration and metabolism of ladybeetles, *Propylaea japonica*. *Hubei Agric. Sci.*, 46(4): 562–564. [高峰, 苏建伟, 戈峰, 吴刚, 刘向辉, 2007. 温度对龟纹瓢虫呼吸代谢的影响. 湖北农业科学, 46(4): 562–564]
- Gao XL, Zhang M, Tian HQ, Zheng JM, Li X, Song CB, Liu Y, 2016. Effect of LED light quality on respiratory metabolism and activities of related enzymes of *Haliothis discus hannai*. *Aquaculture*, 452: 52–61.
- Ge F, 1991. Factors affecting insect respiratory metabolism. *Entomol. Knowl.*, 28(5): 319–321. [戈峰, 1991. 影响昆虫呼吸代谢的因素. 昆虫知识, 28(5): 319–321]
- Guo AG, 2009. Basic Biochemistry. Higher Education Press, Beijing. 165. [郭嵩光, 2009. 基础生物化学. 北京: 高等教育出版社. 165]
- Guo CH, Yang SR, Yang ZD, Wang RR, Wu G, Zhao PF, 2017. Effects of fenvalerate and phoxim on respiratory metabolism, detoxification enzymes and protective enzymes activity of the 4th instar larvae of *Diaphania angustalis*. *China Plant Prot.*, 37(10): 19–22. [郭春晖, 杨士芮, 杨振德, 王蕊蕊, 吴广, 赵鹏飞, 2017. 氰戊·辛硫磷对绿翅绢野螟 4 龄幼虫呼吸代谢、解毒酶及保护酶活性的影响. 中国植保导刊, 37(10): 19–22]
- Han LZ, Zhai BP, Zhang XX, Liu PL, 2005. Activity of enzyme related to energy metabolism in flight muscles of beet armyworm. *Acta Ecol. Sin.*, 25(5): 1101–1106. [韩兰芝, 翟保平, 张孝羲, 刘培磊, 2005. 甜菜夜蛾飞行肌中与能量代谢有关的酶活性. 生态学报, 25(5): 1101–1106]
- Hou Y, Wang XL, Saha TT, Roy S, Zhao B, Raikhe AS, Zou Z, 2015. Temporal coordination of carbohydrate metabolism during mosquito reproduction. *PLoS Genet.*, 11(7): e1005309.
- Jia HC, 2008. Occurrence and control of *Riptortus pedestris* Fabricius. *Xiandai Horticult.*, (7): 30. [贾慧春, 2008. 菜豆点蜂缘蝽的发生与防治. 现代园艺, (7): 30]
- Kim E, Park CG, Lim UT, 2014. Evaluation of three plant seeds as potential pre-season diets for *Riptortus pedestris*. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 17(3): 521–524.
- Li J, Li S, Wang DM, Ji R, 2014. Changes in the contents of stress resistant substances in *Gomphoceris sibiricus* (Orthoptera: Acrididae) under high temperature stress. *Acta Entomol. Sin.*, 57 (10): 1155–1161. [李娟, 李爽, 王冬梅, 季荣, 2014. 高温胁迫下西伯利亚蝗体内抗逆物质含量变化. 昆虫学报, 57 (10): 1155–1161]
- Liu YQ, Li XH, Zhao JR, Wang ZJ, 2017. Effect of intestinal air-breathing restriction on respiratory metabolism and antioxidant capability of loach (*Paramisgurnus dabryanus*). *Chin. J. Zool.*, 52 (5): 857–864. [刘亚秋, 李新辉, 赵健蓉, 王志坚, 2017. 肠

- 呼吸抑制胁迫对大鳞副泥鳅呼吸代谢和抗氧化能力的影响. 动物学杂志, 52(5): 857-864]
- Liu Z, Zeng L, 2017. Respiratory metabolism of *Bactrocera dorsalis* larvae. *Anhui Agric. Sci.*, 45(22): 104-106. [刘珍, 曾玲, 2017. 桔小实蝇幼虫呼吸代谢研究. 安徽农业科学, 45(22): 104-106]
- Marron MT, Markow TA, Kain KJ, Gibbs AG, 2003. Effects of starvation and desiccation on energy metabolism in desert and mesic *Drosophila*. *J. Insect Physiol.*, 49(3): 261-270.
- Nie HT, Li WH, Li DD, Li DL, Yan XW, 2018. Effects of temperature and salinity on activity of respiratory metabolism-related enzymes in cockle clam *Clinocardium californiense*. *J. Econ. Anim.*, 22(2): 85-89, 95. [聂鸿涛, 李文昊, 李东东, 李东霖, 闫喜武, 2018. 温度和盐度对加州扁鸟蛤 (*Clinocardium californiense*) 呼吸代谢酶活性的影响. 经济动物学报, 22(2): 85-89, 95]
- Pang XF, 1963. Effect of temperature on oxygen uptake of several insects. *Entomol. Knowl.*, (2): 56-63. [庞雄飞, 1963. 温度对几种昆虫吸氧量的影响. 昆虫知识, (2): 56-63]
- Qi YY, Zhao CX, Shao WX, Cui SY, Zhang GZ, Hua JX, 2017. Occurrence and control techniques of *Riptortus pedestris* Fabricius in soybean spot in Langfang area. *Modern Rural Sci. Tech.*, (9): 34. [齐永悦, 赵春霞, 邵维仙, 崔绍玉, 张桂珍, 华建鑫, 2017. 廊坊地区大豆点蜂缘蝽的发生与防治技术. 现代农村科技, (9): 34]
- Qian X, Wang DM, Li S, Dou J, Ji R, 2016. Seasonal variation in respiratory metabolism and its adaptive value in *Pyrrhocoris apterus*. *Acta Ecol. Sin.*, 36(20): 6602-6606. [钱雪, 王冬梅, 李爽, 窦洁, 季荣, 2016. 始红蝽呼吸代谢的季节变化及对温度的适应性. 生态学报, 36(20): 6602-6606]
- Qian X, Wang YY, Xie HH, Dou J, Li ZW, Jashhenko R, Ji R, 2017. Effects of temperature on the activities of key enzymes related to respiratory metabolism in adults of *Gomphoceris sibiricus* (Orthoptera: Acrididae). *Acta Entomol. Sin.*, 60(5): 499-504. [钱雪, 王月莹, 谢欢欢, 窦洁, 李占武, Jashhenko R, 季荣, 2017. 温度对西伯利亚蝗呼吸代谢关键酶活性的影响. 昆虫学报, 60(5): 499-504]
- Wang DM, Li J, Li S, Hu HX, Ji R, 2014. Effects of temperature on the respiratory metabolism of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Acta Entomol. Sin.*, 57(3): 373-378. [王冬梅, 李娟, 李爽, 扈鸿霞, 季荣, 2014. 温度对意大利蝗呼吸代谢的影响. 昆虫学报, 57(3): 373-378]
- Wang J, Li BL, Wu JX, Xu XL, 2016. Effects of fluctuating temperature on the reproduction and metabolism of primary energy substances in *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomol. Sin.*, 59(9): 917-924. [王娟, 李伯辽, 仵均祥, 许向利, 2016. 变温对粘虫生殖及主要能源物质代谢的影响. 昆虫学报, 59(9): 917-924]
- Wang MQ, Li ZZ, 2001. Respiratory metabolism during the larval stage of the cypress sawfly, *Chinolyda flagellicornis*. *Acta Entomol. Sin.*, 44(3): 311-315. [王满国, 李周直, 2001. 鞭角华扁叶蜂幼虫期的呼吸代谢. 昆虫学报, 44(3): 311-315]
- Wang YC, 2004. *Insect Physiology*. China Agriculture Press, Beijing. 116-123. [王荫长, 2004. 昆虫生理学. 北京: 中国农业出版社. 116-123]
- Wang YM, Wu JX, Wan FH, 2010. Response of insects to extremely high and low temperature stress. *J. Environ. Entomol.*, 32(2): 250-255. [王艳敏, 仵均祥, 万方浩, 2010. 昆虫对极端高低温胁迫的响应研究. 环境昆虫学报, 32(2): 250-255]
- Wang ZD, 2013. Identification and control of major sucking pests in soybean. *Agric. Tech. Serv.*, 30(7): 711, 713. [王正东, 2013. 大豆主要刺吸害虫的识别与防治. 农技服务, 30(7): 711, 713]
- Wasser J, 2017. Every breath you take: physiology and the ecology of knowing in meditative practice. *Int. J. Dhar. Stud.*, 5: 2.
- Xiao D, Tan X, Wang W, Zhang F, Desneux N, Wang S, 2017. Modification of flight and locomotion performances, respiratory metabolism, and transcriptome expression in the lady beetle *Harmonia axyridis* through sublethal pesticide exposure. *Front. Physiol.*, 8: 33.
- Xie H, Chen LJ, Han J, Wang C, 2016. Damage characteristics and control methods of *Riptortus pedestris* in soybean. *Soybean Sci. Tech.*, (6): 11-13. [谢皓, 陈立军, 韩俊, 王程, 2016. 大豆害虫点蜂缘蝽的危害特点与防治方法. 大豆科技, (6): 11-13]
- Yuan RL, Wang XW, Yang S, Chen P, 2015. Changes in the activities of enzymes related to energy metabolism in flight muscles of adult *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) at different ages and during tethered flight. *Acta Entomol. Sin.*, 58(5): 471-478. [袁瑞玲, 王晓渭, 杨珊, 陈鹏, 2015. 不同日龄和吊飞过程中桔小实蝇成虫飞行肌能量代谢相关酶活性的变化. 昆虫学报, 58(5): 471-478]
- Zhang J, Qin XW, Zheng X, Dong JH, Zhang ZK, 2013. Effects of SRBSDV-infected rice on the accumulation of energy substances of the virus vector, *Sogatella furcifera* (Horváth). *J. Environ. Entomol.*, 35(5): 597-602. [张洁, 秦小娃, 郑雪, 董家红, 张仲凯, 2013. 饲食感染 SRBSDV 的水稻病株对传毒介体白背飞虱相关能源物质含量的影响. 环境昆虫学报, 35(5): 597-602]
- Zhang L, 2014. Identification and control of the common soybean insect pests. *J. Agric. Catastrophol.*, 4(12): 21-23, 28. [张雷, 2014. 大豆常见虫害的识别与防治. 农业灾害研究, 4(12): 21-23, 28]
- Zhang WQ, Li YT, 2017. The control method of *Riptortus pedestris* Fabricius damage in Beijing suburbs. *Jilin Agric.*, (9): 80. [张文强, 李元涛, 2017. 京郊大豆点蜂缘蝽虫害防治方法. 吉林农业, (9): 80]