



李德伟, 罗亚伟, 黄杏, 易婷婷, 覃振强. 高温胁迫对新菠萝灰粉蚧不同地理种群保护酶活性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (3): 659–665.

高温胁迫对新菠萝灰粉蚧不同地理种群 保护酶活性的影响

李德伟, 罗亚伟, 黄杏, 易婷婷, 覃振强*

(广西甘蔗遗传改良重点实验室, 农业农村部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室,
广西壮族自治区农业科学院甘蔗研究所, 南宁 530007)

摘要: 为分析高温胁迫下新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley 不同地理种群保护酶活性的差异, 阐明该粉蚧对高温适应性的生理响应。本研究以室内 26℃ 处理为对照测定了高温胁迫下 (35℃、38℃、41℃、44℃) 新菠萝灰粉蚧 4 个不同地理 (广西、广东、海南和云南) 种群雌成虫过氧化物酶 (POD)、酚氧化酶 (PO) 及谷胱甘肽-S-转移酶 (GST) 的活性。结果表明, 在 35~44℃ 高温胁迫下, 新菠萝灰粉蚧不同地理种群雌成虫 POD 和 GST 活性均高于常温对照的, PO 活性均低于常温对照的 (除云南种群 38℃ 处理外); 在 35~44℃ 高温胁迫下该粉蚧 3 种酶活性变化均具有随着处理温度的升高呈先升高后降低趋势。在常温 26℃ 下, 该粉蚧除了广西、广东种群 POD 活性显著高于海南、云南种群外, 4 个种群的 PO、GST 间的活性无显著差异。在 38℃、41℃ 和 44℃ 高温处理下广西、广东、云南种群间的 POD 活性无显著差异。在相同高温处理下, 除广东种群 38℃ 处理的 GST 活性显著低于其它种群的外, 其它相同温度处理的不同种群间的 GST 活性无显著差异。说明新菠萝灰粉蚧广西、广东、云南种群的 POD 对 38℃、41℃、44℃ 高温适应性和该粉蚧 4 个种群的 GST 对 35℃、41℃、44℃ 高温适应性均无明显差异。而高温胁迫对不同地理种群粉蚧的酶活性影响不同, 不同地理种群的 POD、PO 和 GST 活性经不同的高温胁迫后出现了显著差异。本研究表明高温对新菠萝灰粉蚧不同地理种群雌成虫的 POD、PO 和 GST 活性有重要影响, POD 及 GST 对该粉蚧抵抗高温胁迫起到积极作用, 而 PO 可能在应对高温胁迫中没起到积极的抵抗作用, 而是通过调节体内 POD、GST 活性变化来适应高温的胁迫。

关键词: 新菠萝灰粉蚧; 高温胁迫; 过氧化物酶; 酚氧化酶; 谷胱甘肽-S-转移酶

中图分类号: Q965; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 03-0659-07

Effects of high temperature stress on the activities of three enzymes of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae) in different geographical populations

LI De-Wei, LUO Ya-Wei, HUANG Xing, YI Ting-Ting, QIN Zhen-Qiang* (Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: The differences of enzyme activities of *Dysmicoccus neobrevipes* from different geographical populations under high temperature stress were analyzed and the physiological response of this mealybug to high temperature adaptation was elucidated in this study. The activities of peroxidase (POD), phenol

基金项目: 国家自然科学基金 (31760540); 广西农业科学院基本科研业务专项 (2021YT013)

作者简介: 李德伟, 男, 广西北流人, 硕士, 正高级农艺师, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: ldw11023@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 覃振强, 男, 博士, 研究员, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: qinzqcn@163.com

收稿日期 Received: 2022-01-07; 接受日期 Accepted: 2022-04-24

oxidase (PO) and glutathione-S-transferase (GST) in female adults of *D. neobrevipes* from four different geographical populations (Guangxi, Guangdong, Hainan and Yunnan) under high temperatures stress (35°C, 38°C, 41°C and 44°C) were determined in this paper, and the control temperature was at 26°C. The results showed that the activities of POD and GST in female adult of *D. neobrevipes* from different geographical populations were higher than those of at 26°C, and the activities of PO were lower than those of at 26°C (except Yunnan population at 38°C) under high temperature stress of 35 ~ 44°C. The activities of three enzymes increased first and then decreased with the increase of temperature under high temperature stress of 35 ~ 44°C. At 26°C, except the POD activities of Guangxi and Guangdong populations were significantly higher than those of Hainan and Yunnan populations, there were no significant differences in the activities of PO and GST among the four populations. There were no significant differences in POD activities among the populations in Guangxi, Guangdong and Yunnan under 38°C, 41°C and 44°C high temperature treatment. Under the same high temperature, except the GST activity of Guangdong population at 38°C was significantly lower than that of other populations, there were no significant differences in GST activities among different populations at the same temperature. This study indicated that there were no significant differences in the adaptabilities of POD to 38°C, 41°C, 44°C in the populations of Guangxi, Guangdong, Yunnan and GST to 35°C, 41°C, 44°C in all the populations. The effects of high temperature stress on enzyme activities of different geographical populations were different. The activities of POD, PO and GST of different geographical populations were significantly differences under different high temperature stress. Therefore, high temperature had an impact on the activities of POD, PO and GST in different geographical populations of *D. neobrevipes* female adults. POD and GST play a positive role in resisting high temperature stress, while PO may not play an active role in the resistance to the mealybug to high temperature stress. The female adults of *D. neobrevipes* was able to adapt to high temperature stress by adjusting the activities of POD and GST.

Key words: *Dysmicoccus neobrevipes*; high temperature stress; peroxidase; phenol oxidase; glutathione-S-transferase

新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley 属半翅目 Hemiptera 粉蚧科 Pseudococcidae, 主要为害剑麻、菠萝、柑橘、南瓜、番茄、可可和香蕉等 39 科 76 种寄主植物, 是热带和亚热带农林经济作物的重要害虫 (覃振强等, 2010; Qin *et al.*, 2013; 林晓佳等, 2013; 胡钟予等, 2017)。新菠萝灰粉蚧是一种高度危险的检疫性有害生物。该粉蚧于 1998 年在海南省昌江县青坎农场暴发危害剑麻, 2006 年开始在广东省湛江市剑麻种植区发生蔓延, 2015 年在广西壮族自治区钦州市剑麻种植区发生危害, 严重胁迫剑麻产业的稳定发展; 此外, 在台湾省菠萝种植区、云南省景洪市剑麻和金边龙舌兰等花卉植物上也发现该虫危害 (Jayma and Ronald, 2007; 中华人民共和国农业部, 2007; 覃振强等, 2010; Qin *et al.*, 2013; Qin *et al.*, 2019)。随着全球气候的变暖, 新菠萝灰粉蚧在我国有加害趋势, 至 2050 年该粉蚧的适生区将北移到上海、江苏和安徽的南部, 潜在危害性

十分巨大 (傅辽等, 2012)。因此应加强新菠萝灰粉蚧在不同生境的基础生物学及其防控方面的研究工作 (林晓佳等, 2013)。

温度升高对害虫种群生态及扩散产生重大影响, 从昆虫生理水平上研究温度胁迫可揭示其作用机制 (袁盛勇等, 2016)。研究表明, 新菠萝灰粉蚧最适宜生长发育和繁殖的温度范围是 23 ~ 29°C, 过高温度不利于其生长和繁殖 (Qin *et al.*, 2013)。不同地理种群的新菠萝灰粉蚧由于长期生长环境不一样, 因此对环境温度的适应性可能存在差异, 在生理上对高温胁迫的响应也可能会有差异。过氧化物酶 (Peroxidase, POD)、酚氧化酶 (Phenoloxidase, PO) 及谷胱甘肽-S-转移酶 (Glutathione-S-transferases, GST) 是昆虫抵抗不良因子的 3 种重要保护酶。研究表明, POD 可以清除昆虫在高温环境下产生的大量活性氧 (Reactive oxygen species, ROS), 降低 ROS 对虫体造成氧化损伤; PO 是昆虫体内重要的免疫蛋白, 是黑色素

生物合成的关键酶, 在昆虫的变态发育、免疫和防御系统中都起着重要的作用; GST 是昆虫解毒酶系统中的一类重要的多功能超基因家族酶, 昆虫通过调节自身体内 GST 活力变化来代谢或清除高温胁迫产生的有害物质, 从而维持其机体的正常生理代谢 (Felton & Summers, 1995; 徐亚玲和李文楚, 2010; 崔娟等, 2021; 王常清等, 2021)。高温对昆虫的 POD、PO 及 GST 活性均会产生影响, POD、PO 及 GST 活性的变化差异体现出其影响昆虫对高温的适应性 (袁盛勇等, 2016; 张志虎等, 2018; 崔娟等, 2021)。因此, 研究高温胁迫下不同地理环境新菠萝灰粉蚧的 POD、PO 及 GST 的酶活性差异有助于阐明其对温度的适应性。目前尚未见有相关的研究报道。本研究拟从新菠萝灰粉蚧不同地理种群在高温胁迫下体内 3 种酶活力的变化中分析该粉蚧对高温胁迫的生理响应机理, 进而了解其田间不同地理种群对极端高温环境的适应性, 为研究该害虫的生态适应性评价及其全球区域性分布扩张趋势分析提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫

所用的新菠萝灰粉蚧, 广西种群采自于广西钦州市浦北县张黄镇的广西农垦东方农场有限公司的剑麻作物上, 广东种群采自于广东省湛江市雷州市英利镇剑麻作物上, 海南种群采自于海南省昌江县石碌镇青坎村剑麻作物上, 云南种群采自于云南省西双版纳州景洪市西双版纳热带花卉园的剑麻作物上。将新菠萝灰粉蚧不同种群分别置于不同的实验室用南瓜进行继代繁殖, 饲养温度为 $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 继代繁殖 5 代以上作不同地理种群的供试虫源。

1.1.2 试剂与仪器

主要试剂: POD、PO、GST 试剂盒均购于苏州格锐思生物科技有限公司。

主要仪器: 恒温培养箱 (RXZ-280B-LED, 宁波江南仪器厂)、多功能酶标仪 (Spark, 帝肯上海贸易有限公司)、冷冻台式离心机 (Mikro 200R, 德国 Hettich 科学仪器公司)、可调式移液器 (德国艾本德股份公司)、电子天平 (AL-204, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司) 等。

1.2 方法

1.2.1 试虫处理

本试验选择 35°C 、 38°C 、 41°C 、 44°C 共 4 个高温梯度为胁迫温度, 处理时间为 2 h, 以室温 26°C 为对照处理。用柔软的小毛笔挑取健康雌成虫移入放置有新鲜剑麻叶片的培养皿内, 每个不同地理种群按以上各温度处理分别选取 120 ~ 130 头, 挑够数量后用保鲜膜覆盖皿口, 并用昆虫针在保鲜膜上插些小孔, 放入相应温度梯度, 相对湿度为 $75\% \pm 5\%$ 的恒温培养箱内处理 2 h, 每个不同地理种群及温度处理均随机称取经处理后的成虫 0.1 g 为测定样本, 3 次重复。

POD、PO 和 GST 的活力测定严格按照检测试剂盒 (苏州格锐思生物科技有限公司) 说明书进行, 根据说明书中的公式计算活力值。POD、PO 和 GST 的活力测定波长分别为 470 nm、490 nm 和 340 nm。POD 活性单位定义为每克样品每分钟在反应体系中使 470 nm 处吸光值增加 1 为 1 个酶活力单位; PO 活性单位定义为每克样品每分钟在反应体系中使 490 nm 处吸光值变化 0.001 为 1 个酶活力单位; GST 活性单位定义为每克样品每分钟催化 1 nmol 的 CDNB 与 GSH 结合为 1 个酶活力单位。

1.2.2 数据分析

所有数据经 Excel 整理后, 计算活力值。采用 DPS 9.01 统计软件, 使用单因素方差分析 (ANOVA) 分析不同地理种群各高温胁迫下新菠萝灰粉蚧成虫 3 种保护酶活性的差异显著性 ($P < 0.05$), 并采用 Duncan's 法检验进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫对新菠萝灰粉蚧不同地理种群 POD 活性的影响

不同高温胁迫处理下新菠萝灰粉蚧不同地理种群 POD 活性表明 (表 1): 在常温下广西、广东种群 POD 活性远高于海南、云南种群, 差异显著 ($P < 0.05$); 在高温胁迫处理 2 h 后, 各高温胁迫处理下不同地理种群的 POD 活性值相比常温均有所提高, 但广西、广东种群在各高温胁迫处理间及与常温的 POD 活性均差异不显著 ($P > 0.05$), 海南种群在 41°C 高温胁迫下的 POD 活性显著高于常温的 ($P < 0.05$), 而其它高温胁迫处理下的 POD 活性与常温的相比差异不显著 ($P > 0.05$),

云南种群在 35℃、44℃ 高温胁迫下的 POD 活性与常温的相比差异不显著 ($P > 0.05$), 而在 38℃、41℃ 高温胁迫下的 POD 活性显著高于常温的 ($P < 0.05$); 从不同温度处理下不同地理种群 POD 活性及其变化来看, 海南种群 POD 活性最低, 且各温度处理下其 POD 均维持较低活性, 而广西种群和广东种群各温度处理下 POD 均维持较高活性, 其活性值是海南种群相应处理下 POD 活性的

2.7~6.5 倍, 云南种群在 26℃、35℃ 温度处理下 POD 活性较低, 但 38℃、41℃ 和 44℃ 高温处理下其 POD 活性迅速提升; 除了广东种群在 44℃ 高温处理下其 POD 活性还在提升外, 其它各种群在 38℃ 或 41℃ 高温处理下其 POD 活性达到高峰后均开始回落; 在高温胁迫中云南种群变化幅度最大, POD 活性从最低的常温 6.33 U/g/min 经高温胁迫后达到最高 36.67 U/g/min。

表 1 高温胁迫下新菠萝灰粉蚧不同地理种群雌成虫 POD 活性 (U/g/min)

Table 1 POD activity of female adults of *Dysmicoccus neobrevipes* in different geographic populations under high temperature stress

温度 (℃) Temperature	种群 Population			
	广西 Guangxi	广东 Guangdong	海南 Hainan	云南 Yunnan
26 (CK)	16.00 ± 2.05 aA	18.57 ± 2.97 aA	4.33 ± 0.33 bB	6.33 ± 0.33 bB
35	18.63 ± 3.28 aA	21.33 ± 4.13 aA	6.00 ± 1.15 abB	7.67 ± 1.86 bB
38	28.07 ± 2.00 aA	24.73 ± 2.52 aA	4.33 ± 0.67 bB	30.67 ± 9.21 aA
41	26.30 ± 6.18 aAB	25.20 ± 0.26 aAB	9.33 ± 2.67 aB	36.67 ± 9.17 aA
44	25.27 ± 18.30 aA	32.93 ± 14.48 aA	6.33 ± 0.67 abA	23.33 ± 6.89 abA

注: 表中同一列数据后不同小写字母表示同一地理种群在不同处理温度间的差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法); 表中同一行数据后不同大写字母表示同一温度处理下不同地理种群在间的差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法)。下同。Note: In the table, different lowercase letters after the same column of data indicated that the same geographical population had significant difference between different treatment temperatures ($P < 0.05$, Duncan's method). Different capital letters after the data in the same row indicated that there were significant differences among different geographical populations at the same processing temperature ($P < 0.05$, Duncan's method). The same below.

2.2 高温胁迫对新菠萝灰粉蚧不同地理种群 PO 活性的影响

不同温度处理下新菠萝灰粉蚧不同地理种群 PO 活性检测结果表明 (表 2): 在常温下各地理种群间的 PO 活性差异不显著 ($P > 0.05$); 在 35℃、38℃ 高温处理下广西、广东、海南 3 个种群间的 PO 活性差异不显著 ($P > 0.05$), 但均显著低于云南种群的 PO 活性 ($P < 0.05$); 在 41℃ 高温处理下 4 个种群间 PO 活性差异不显著 ($P > 0.05$); 在 44℃ 高温处理下广西种群 PO 活性显著低于广东、海南种群的 ($P < 0.05$)。从不同温度处理下不同地理种群 PO 活性及其变化来看, 在高温胁迫处理 2 h 后, 除了 38℃ 处理的云南种群外, 其它各高温胁迫处理下不同地理种群的 PO 活性相比常温均出现不同程度的下降; 35℃ 处理下各种群的 PO 活性急剧下降, 均显著低于常温的 ($P < 0.05$); 38℃ 处理下各种群的 PO 活性相比于 35℃ 的又急剧上升, 均显著高于 35℃ 处理的 ($P < 0.05$), 云南种

群的 PO 活性甚至还高于常温处理的; 41℃ 相比于 38℃ 处理, 除了广西种群 PO 活性上升外其它 3 个种群的 PO 活性均又开始下降; 44℃ 处理下各种群 PO 活性相比于 41℃ 处理继续下降; 各种群在不同高温胁迫中云南种群变化幅度最大, PO 活性从常温的 1152.11 U/g/min 上升到 38℃ 处理的 1369.86 U/g/min, 再降低到 44℃ 处理的 806.59 U/g/min。

2.3 高温胁迫对新菠萝灰粉蚧不同地理种群 GST 活性的影响

不同温度处理下新菠萝灰粉蚧不同地理种群 GST 活性检测结果表明 (表 3): 在相同温度处理下除了 38℃ 处理下广东种群的 GST 活性显著低于其它种群的外, 其它相同温度处理的不同种群间的 GST 活性无显著差异 ($P > 0.05$); 从不同温度处理下各地理种群 GST 活性及其变化来看, 通过 35℃、38℃、41℃ 和 44℃ 高温胁迫处理后不同地理种群 GST 活性均比常温处理高, 广西、海南和云南种群在 38℃ 高温胁迫处理的 GST 活性达到最

高，相比其它温度处理的活性差异显著 ($P < 0.05$)，GST 活性值是相应种群常温的 11 ~ 18 倍，广东种群在 41℃ 胁迫处理下 GST 活性达到最高；不同地理种群随着胁迫温度的升高其 GST 活性呈先升高后下降的趋势，其中海南种群 GST 活性变化幅度最大，广东种群 GST 活性变化幅度最小。

表 2 高温胁迫下新菠萝灰粉蚧不同地理种群雌成虫 PO 活性 (U/g/min)
Table 2 PO activity of female adults of *Dysmicoccus neobrevipes* in different geographic populations under high temperature stress

温度 (℃) Temperature	种群 Population			
	广西 Guangxi	广东 Guangdong	海南 Hainan	云南 Yunnan
26 (CK)	1024.47 ± 45.51 aA	1107.66 ± 125.10 aA	1072.12 ± 39.64 aA	1152.11 ± 35.29 bA
35	668.82 ± 12.81 cB	766.59 ± 55.00 cB	722.15 ± 10.60 dB	982.12 ± 39.31 cA
38	908.80 ± 42.30 aB	1074.33 ± 57.76 abB	992.12 ± 12.52 bB	1369.86 ± 88.37 aA
41	971.02 ± 33.13 aA	1029.90 ± 60.49 abA	913.24 ± 33.83 cA	911.80 ± 54.43 cdA
44	784.36 ± 31.29 bB	861.02 ± 12.37 bcA	863.25 ± 5.77 cA	806.59 ± 23.33 dAB

表 3 高温胁迫下新菠萝灰粉蚧不同地理种群雌成虫 GST 活性 (U/nmol/min/g)
Table 3 GST activity of female adults of *Dysmicoccus neobrevipes* in different geographic populations under high temperature stress

温度 (℃) Temperature	种群 Population			
	广西 Guangxi	广东 Guangdong	海南 Hainan	云南 Yunnan
26 (CK)	25.00 ± 0.00 bA	30.55 ± 2.78 cA	30.56 ± 5.56 bA	27.78 ± 2.78 cA
35	44.45 ± 2.78 bA	69.44 ± 15.47 bA	52.78 ± 11.11 bA	36.11 ± 10.01 cA
38	277.77 ± 106.75 aAB	80.55 ± 10.02 bB	563.86 ± 153.07 aA	408.32 ± 54.22 aAB
41	125.00 ± 0.00 bA	136.11 ± 2.78 aA	141.66 ± 8.33 bA	138.89 ± 10.01 bA
44	52.78 ± 2.78 bA	67.66 ± 10.35 bA	75.00 ± 0.00 bA	73.89 ± 8.68 bcA

3 结论与讨论

昆虫是变温动物，保持和调节体内温度的能力不强。环境温度影响昆虫生命活动中全部化学反应的速率，从而通过影响昆虫的酶及酶促反应速率来影响昆虫的生长、发育、生殖及存活等生命活动 (杜尧等, 2007)。POD 与其它抗氧化酶一起形成一整套高效清除 ROS 的保护机制 (Felton & Summers, 1995)，清除昆虫在高温环境下产生的大量 ROS，降低 ROS 对虫体造成氧化损伤 (李毅平等, 1998；崔娟等, 2021)。本研究发现，新菠萝灰粉蚧不同地理种群在 35 ~ 44℃ 高温胁迫处理 2 h 后其 POD 活性均比 26℃ 常温对照处理下的活性有所提高，且除广东种群外，其它 3 个种群均随处理温度的升高 POD 活性表现为先升高后降低的变化，这与高温胁迫对双斑长跗蚧叶甲 *Monolepta*

hieroglyphica、双齿多刺蚁 *polyrhachis dives* 和梨小食心虫 *Grapholita molesta* 的影响结果相似 (刘缠民等, 2007；刘彦飞, 2013；张志虎等, 2018)，但与高温胁迫对扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 成虫 POD 活性均低于常温对照的结果不同 (袁盛勇等, 2016)。新菠萝灰粉蚧成虫在 35 ~ 44℃ 高温处理下 POD 活性随温度先升高后降，这是因为该虫在高温胁迫下 ROS 在体内大量产生，抗氧化机制通过提高 POD 活性清除体内在高温环境下产生的大量 ROS，对自身起到保护作用；然而随着处理温度继续升高，POD 活性开始降低，说明在较高温度条件下新菠萝灰粉蚧体内 POD 酶活性开始下降甚至抑制。本研究中新菠萝灰粉蚧广西种群雌成虫在 41℃、44℃ 高温胁迫处理下的 POD 活性开始下降，说明这温度下对该种群产生了不利影响，这与前期高温胁迫对新菠萝灰粉蚧广西种群成虫死亡率影响试验中 35℃、38℃ 高温胁迫死亡率为

0, 而 41℃、44℃ 高温胁迫下开始出现较低的死亡率的结果相附, 但在 47℃ 高温胁迫 2 h 下该粉蚧死亡率为 100% (李德伟等, 2021)。新菠萝灰粉蚧云南种群 POD 活性变化幅度最激烈, 说明 POD 在云南种群应对高温胁迫中发挥较大的作用, 而海南种群在高温胁迫下 POD 一直在低活性下变动, 可能 POD 在海南种群应对高温胁迫中发挥的作用相对于其它种群小, 这也可能是该种群适应了海南热带地区高温, 不会因高温胁迫而产生大量的 ROS, 从而导致 POD 活性不高, 是海南种群对高温适应性的一种表现。

PO 是生物体内一类含铜氧化酶, 在昆虫的变态发育、免疫和防御系统中都起着重要的作用。本研究的 4 个新菠萝灰粉蚧不同地理种群成虫在高温胁迫处理下除了云南种群在 38℃ 高温胁迫处理外其它处理的 PO 活性均比 26℃ 对照处理低; 35℃ 处理下各种群的 PO 活性急剧下降, 均显著低于常温; 38℃ 处理下各种群的 PO 活性相比于 35℃ 又急剧上升, 均显著高于 35℃ 处理, 之后随着胁迫的温度升高又开始缓慢下降。这与东亚飞蝗酚氧化酶在 25℃ 时有最高活性, 超过 35℃ 后酶活性降低的结果相似 (赵卓等, 2011)。新菠萝灰粉蚧雌成虫在高温胁迫下相比于最适温度, PO 活性是显著下降, 这说明高温对 PO 活性影响显著, 但 PO 活性的下降说明新菠萝灰粉蚧雌成虫在高温胁迫下的免疫能力下降, 影响其对高温的适应能力, 也说明其在应对高温胁迫中没有起到积极的抵抗作用。

GST 是昆虫解毒酶系统中的一类重要的多功能超基因家族酶, 可以催化还原型谷胱甘肽 (Glutathione, GSH) 和疏水、亲电底物的共价结合, 形成共轭物, 隔离在液泡或转移到质体外, 从而对内源和外来有害物质进行降解, 以达到降低细胞损害的作用 (袁盛勇等, 2016; 宋文等, 2020)。在本研究中, 不同温度处理下各地理种群 GST 活性及其变化来看, 通过 35 ~ 44℃ 高温胁迫处理后不同地理种群 GST 活性均比 26℃ 常温处理高, 广西、海南和云南种群在 38℃ 高温及广东种群在 41℃ 高温胁迫处理下的 GST 活性达到最高, 与其它温度处理下的 GST 活性差异显著, 这说明高温对 GST 活性的有显著影响, GST 在高温胁迫适应性中起到积极作用; GST 活性升高可能是由于高温胁迫导致昆虫体内脂质过氧化物的积累, 诱导了 GST 的活力提升来加快代谢脂质过氧化物,

减少活性氧的伤害; 然而随着温度的继续升高, 其活力发生显著性的下降, 可能较高的温度损伤了体内某些机能而影响 GST 发挥作用。

综上所述, 高温胁迫对新菠萝灰粉蚧不同地理种群成虫的 POD、PO 及 GST 活性均会产生影响。在一定范围的高温胁迫下, POD 及 GST 活性均比常温高, 对抵抗高温胁迫起到积极作用; 而 PO 活性却通常比常温低, 可能在应对高温胁迫中没有起到积极的抵抗作用。然而, 在 38℃、41℃ 和 44℃ 高温处理下广西、广东、云南种群间的 POD 活性无显著差异; 在相同高温处理下除了广东种群 38℃ 处理的 GST 活性显著低于其它种群的外, 其它相同温度处理的不同种群间的 GST 活性无显著差异; 这说明 POD 在广西、广东、云南种群应对 38℃、41℃、44℃ 高温适应性和 GST 在广西、广东、海南、云南种群应对 35℃、41℃、44℃ 高温的适应性均无明显差异。新菠萝灰粉蚧不同地理种群成虫间在某一温度处理下的 POD、PO 及 GST 活性差异可能不同, 这可能是新菠萝灰粉蚧不同地理种群对环境温度适应性差异的反映。

参考文献 (References)

- Cui J, Qiao F, Hu YL, *et al.* Antioxidant responses of *Megacopta cribraria* (Hemiptera: Plataspidae) adults exposed to high temperature stress [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (5): 1244 - 1249. [崔娟, 乔方, 胡英露, 等. 高温胁迫对筛豆龟蜡成虫抗氧化能力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (5): 1244 - 1249]
- Du Y, Ma CS, Zhao QH, *et al.* Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects: A literature review [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 4: 1565 - 1572. [杜尧, 马春森, 赵清华, 等. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展 [J]. 生态学报, 2007, 4: 1565 - 1572]
- Felton GW, Summers CB. Antioxidant systems in insects [J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 1995, 29: 187 - 197.
- Fu, L, Huang GS, Li ZH, *et al.* The current and future potential geographic distribution of *Dysmicoccus neobrevipes* in China [J]. *Plant Quarantine*, 2012, 26 (4): 1 - 5. [傅辽, 黄冠胜, 李志红, 等. 新菠萝灰粉蚧在中国目前及未来的潜在地理分布研究 [J]. 植物检疫, 2012, 26 (4): 1 - 5]
- Hu ZY, Shao WD, He YJ, *et al.* Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28 (2): 651 - 657. [胡钟予, 邵炜冬, 何雨健, 等. 温度对新菠萝灰粉蚧生长发育和繁殖的影响 [J]. 应用生态学报, 2017, 28 (2): 651 - 657]
- Li DW, Wu JH, Qin ZQ. Study on the survival and heat resistance of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae)

- under short-term high temperature stress [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2021, 41 (12): 74–80. [李德伟, 吴建辉, 覃振强. 短时高温胁迫对新菠萝灰粉蚧的耐热性及存活影响研究 [J]. 热带农业科学, 2021, 41 (12): 74–80]
- Li YP, Gong H. Research progress of antioxidant system in insects [J]. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 1998, 10 (5): 241–243. [李毅平, 龚和. 昆虫体内抗氧化系统研究进展 [J]. 生命科学, 1998, 10 (5): 241–243]
- Lin XJ, Wu R, Chen WJ, et al. Research progress on *Dysmicoccus neobrevipes* (Beardsley) [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2013, 11: 1387–1391. [林晓佳, 吴蓉, 陈吴健, 等. 新菠萝灰粉蚧研究进展 [J]. 浙江农业科学, 2013, 11: 1387–1391]
- Liu CM, Ma JQ. Effects of different temperature on cultivating and protection enzymes of *Polyrhachis dives* [J]. *Journal of Xuzhou Normal University*, 2007, 25 (1): 72–74. [刘继民, 马捷琼. 不同温度对双齿多刺蚁养殖及其保护酶系的影响 [J]. 徐州师范大学学报 (自然科学版), 2007, 25 (1): 72–74]
- Liu YF. Physiological Responses of Adult *Grapholita molesta* Busck to High Temperature Stress [D]. Yangling: Northwest Agriculture Forestry University, 2013. [刘彦飞. 高温胁迫下梨小食心虫 *Grapholita molesta* Busck 成虫生理响应的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013]
- Ministry of agriculture and rural affairs of the people's republic of China (MOA). Announcement No. 862 of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs 《List of Import Plant Quarantine Pests of The People's Republic of China》, 2007. [中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业部公告第 862 号《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》, 2007]
- Qin ZQ, Qiu BL, Wu JH, et al. Effects of temperature on the life history of *Dysmicoccus neobrevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae): An invasive species of gray pineapple mealybug in South China [J]. *Crop Protection*, 2013, 45: 141–146.
- Qin ZQ, Wu JH, Qiu BL, et al. The impact of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) on control of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Insects*, 2019, 10 (5): 131.
- Qin ZQ, Wu JH, Ren SX, et al. Risk analysis of the alien invasive gray pineapple mealybug (*Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley) in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43 (3): 626–631. [覃振强, 吴建辉, 任顺祥, 等. 外来入侵害虫新菠萝灰粉蚧在中国的风险性分析 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (3): 626–631]
- Song W, Shan CH, Ning M, et al. Advances in research of glutathione-S-transferase in response to cold stress in plants [J]. *The Food Industry*, 2020, 41 (7): 239–244. [宋文, 单春会, 宁明, 等. 谷胱甘肽-S-转移酶在植物响应冷胁迫方面的研究进展 [J]. 食品工业, 2020, 41 (7): 239–244]
- Wang CQ, Han YJ, Cao JG, et al. The response of physiological of *Tetranychus urticae* to heat stress [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (1): 181–190. [王常清, 韩永金, 曹进刚, 等. 二斑叶螨雌成螨对高温胁迫的生理响应 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 181–190]
- Xu YL, Li WC. Research progress on the mechanism of insect phenol oxidase [J]. *Anhui Agricultural Science*, 2010, 38 (27): 14844–14846. [徐亚玲, 李文楚. 昆虫酚氧化酶作用机制的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (27): 14844–14846]
- Yuan SY, Kong Q, Wu JY, et al. Effect of high temperature stress on enzyme activity of peroxidase and glutathione-S-transferases in adult of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (4): 723–727. [袁盛勇, 孔琼, 吴晶莹, 等. 高温胁迫对扶桑绵粉蚧成虫过氧化物酶和谷胱甘肽-S-转移酶活性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (4): 723–727]
- Zhang ZH, Wang Z, Chen J, et al. Effects of high temperature stress on total protein and two protective enzymes in adult *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (2): 440–445. [张志虎, 王中, 陈静, 等. 高温胁迫对双斑长跗蚧叶甲成虫总蛋白和两种保护酶的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (2): 440–445]
- Zhao Z, Li XK, Jin LB, et al. Temperature effect on phenoloxidase activity in different stage of *Locusta migratoria manilensis* Meyen [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2011, 33 (6): 613–616. [赵卓, 李校堃, 金立波, 等. 温度对不同发育阶段东亚飞蝗酚氧化酶活性的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33 (6): 613–616]