

高温胁迫对丽蚜小蜂死亡率和保护酶系的影响

龙佳芝¹, 郭文秀², 季敏³, 宋莹莹², 李丽莉², 门兴元², 崔洪莹², 于毅², 刘长仲^{1*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 山东省农业科学院植物保护研究所, 山东 济南 250100; 3. 山东农业工程学院, 山东 德州 253000)

摘要:【目的】探究不同温度和时间处理对丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)的致死作用, 明确丽蚜小蜂对温度胁迫的生理应答机制。【方法】测定不同温度(35、37和39℃)对丽蚜小蜂成虫24 h内存活率的影响和丽蚜小蜂成虫在35、37和39℃下胁迫4、8 h后体内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性。【结果】丽蚜小蜂成虫的死亡率随着胁迫温度上升和时间的延长而加剧, 在35℃以上1 h就出现死亡, 与对照25℃存在显著差异。丽蚜小蜂成虫的SOD和POD活性随着温度的升高, 呈现先升高后下降的趋势, 在4 h时, SOD活性在37℃达到峰值, 显著高于对照(25℃)的活性; POD活性在温度35℃、8 h时达到峰值且与其他温度和时间存在显著差异; CAT活性在37℃、4 h时达到最大值, 并与其他温度和时间存在显著差异。SOD、POD和CAT 3种保护酶在35℃、8 h之内和37℃、4 h之内对丽蚜小蜂可起到保护的作用。【结论】温度高于35℃的环境对丽蚜小蜂的种群数量具有显著影响。

关键词: 丽蚜小蜂; 高温胁迫; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 过氧化氢酶

中图分类号: S436.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)04-0130-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2023.04.017



温度胁迫会导致昆虫体内产生过量的活性氧(reactive oxygen species, ROS), 打破昆虫体内保护酶系的动态平衡, 最终影响昆虫的存活^[1]。活性氧包括超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$), 过氧化氢(H_2O_2)等^[2-3]。 $O_2^{\cdot-}$ 可以通过歧化反应产生 H_2O_2 , H_2O_2 再被 $O_2^{\cdot-}$ 还原为毒性更强的 $OH\cdot$ 等一系列自由基, 连锁反应产生更多的自由基和活性氧, 影响昆虫内环境的稳定等^[4-6]。超氧化物歧化酶(SOD)是昆虫体内抗氧化的第一道防线, 将 $O_2^{\cdot-}$ 还原为 H_2O_2 , 过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)再将 H_2O_2 分解为无害的 H_2O 和 O_2 , 维持昆虫体内活性氧含量的平衡^[7]。如蚜虫、二化螟、沙漠

甲虫、果蝇等的保护酶均在温度胁迫中出现不同程度的应激反应, 提高了昆虫对温度胁迫的耐受能力^[8-13]。

温室白粉虱、烟粉虱等粉虱类害虫的寄主植物广泛, 是多种经济作物和牧草、草坪草的主要害虫, 如一品红(*Euphorbia pulcherrima*)、叶牡丹(*Brassica oleracea* var. *acephala*)等观赏植物, 以及紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、白三叶(*Trifolium repens*)等豆科牧草及草坪草等。目前防治粉虱的主要方法是药剂防治, 但粉虱属于典型的r类对策害虫, 种群数量增长快, 一个生长季节需要多次施药防治, 不但使害虫产生抗药性, 同时还会污染牧草和环境, 急需寻求一种安全有效的防治方法。

丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)属膜翅目(Hymenoptera)蚜小蜂科(Aphelinidae), 是粉虱类害虫的专性寄生天敌昆虫, 对粉虱类害虫具有良好的控制效果。丽蚜小蜂在温度高于30℃的环境中种群发展会受到影响^[14-17]。但是丽蚜小蜂的寄主烟粉虱在45℃暴露1 h后, 存活率仍然超过42%, 同时对雌性成虫的寿命

收稿日期: 2022-03-30; 修回日期: 2022-04-09

基金项目: 国家中药材产业技术体系建设专项基金项目(CARS-21); 山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2016B11)

作者简介: 龙佳芝(1997-), 女, 贵州省雷山县人, 硕士研究生。E-mail: 1770914483@163.com

*通信作者。E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn

与26℃无差异性,并对生殖力也无影响,即使是不耐高温的温室白粉虱的存活率在45℃暴露1h后存活率也有13.5%^[18]。所以,研究高温胁迫对丽蚜小蜂死亡率和保护酶系的影响,可为丽蚜小蜂的耐热性机制提供一些理论依据,也可为更好地利用丽蚜小蜂防治粉虱提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试昆虫:丽蚜小蜂,购于衡水沃蜂生物科技有限公司。

试验材料与仪器:一次性培养皿($d=9\text{ cm}$),96孔板,研磨棒,1.5 cm离心管,保温杯,移液枪,电子天平。

试验设备:人工气候培养箱,电热恒温鼓风干燥箱,4℃冰箱,-20℃冰箱,-80℃冰箱,酶标仪,紫外分光光度计,高速冷冻离心机,恒温水浴锅,金属浴。

试验试剂:测定SOD、POD、CAT和蛋白含量试剂盒均购于苏州科铭生物技术有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 不同温度和时间对丽蚜小蜂雌成虫死亡率的影响 设置处理温度35、37和39℃,以25℃为对照,设置35~39℃的处理时间为1~12 h,梯度间隔1 h,12~24 h的梯度间隔4 h;每处理设置5次重复,一次重复30只丽蚜小蜂雌成虫。每个培养皿内分别垫上两张湿润滤纸,并接入刚羽化24 h内的丽蚜小蜂成虫,培养皿盖用电烙铁戳 $d=0.5\text{ cm}$ 的孔,塞上脱脂棉并滴上10%蜂蜜水,后用封口膜封好。然后将培养皿分别置于相对应温度的人工气候箱内处理一定时间后,取出置于25℃的环境中,1 h后,用毛笔轻触,无任何反应,则判定为死亡,记录雌成虫的存活率。

1.2.2 不同温度和时间对丽蚜小蜂雌成虫保护酶系的影响 设置丽蚜小蜂的处理温度为35、37、39℃,并以25℃为对照。35℃和37℃的处理时间为4 h和8 h,39℃的处理时间为4 h(该温度处理时间根据预试验求得丽蚜小蜂在37~39℃的半数致死时间8 h和4 h)。

将存活虫体置于液氮中冷冻后,转移至-80℃冰箱保存待用。

1) 粗酶液提取 将约600头丽蚜小蜂成虫置于

1.5 cm的离心管内,再加入30 μL 提取液,后将离心管置于冰盒上,用研磨棒研磨至匀浆,后在冷冻离心机8 000 r/min,4℃离心10 min后,取上清液。保存于-20℃冰箱(一周内测完)。

2) 蛋白质含量确定 取粗酶液稀释21倍,后在冷冻离心机10 000 r/min,4℃进行离心10 min,取上清液,测定562 nm处的吸光值。

计算公式:

$$\text{蛋白质含量}(\text{mg/mL})=0.5 \times \frac{(A_{\text{测定管}} - A_{\text{空白管}})}{(A_{\text{标准管}} - A_{\text{空白管}})} \times \text{稀释倍数}$$

3) POD活性测定 取粗酶液后,根据说明书测定492 nm处的吸光值。

计算公式:POD活性(U/mg)=4 000 $\times\Delta A\div$ 蛋白质含量。

4) SOD活性测定 取粗酶液后,根据说明书测定562 nm处的吸光值。

计算公式:抑制百分率=($A_{\text{对照管}} - A_{\text{测定管}}$) $\div A_{\text{对照管}} \times 100\%$, (抑制百分率 $<10\%$ 或 $>90\%$,重新测定)。

SOD活性(U/mg)=[抑制百分率 $\div(1 - \text{抑制百分率}) \times V_{\text{反应}}$] $\div(V_{\text{样}} \times \text{蛋白质含量})=20 \times \text{抑制百分率} \div(1 - \text{抑制百分率}) \div \text{蛋白质含量}$ 。

5) CAT活性测定 取粗酶液后,根据说明书测定562 nm处的吸光值。

计算公式:CAT活性[nmol/(mg \cdot min)]=459 $\times\Delta A/\text{蛋白质含量}$ 。

1.3 数据分析

数据分析采用SPSS 21.0软件进行统计分析,差异显著性分析采用单因素方差分析中的Duncan(D)的检验方法。

2 结果与分析

2.1 不同温度和暴露时间对丽蚜小蜂雌成虫死亡率的影响

丽蚜小蜂雌成虫的死亡率随着温度的升高和时间的延长呈上升趋势(表1)。对照25℃下,16 h开始出现死亡,20 h之前的死亡率与24 h时的死亡率存在显著差异($P<0.05$)。

在24 h之内,35、37和39℃的死亡率均与对照25℃的死亡率存在显著差异($P<0.05$)。4 h之后的

表1 不同温度及不同时间下的丽蚜小蜂雌成蜂死亡率

Table 1 Mortality of female adults of *Encarsia formosa* under different temperature and exposure time

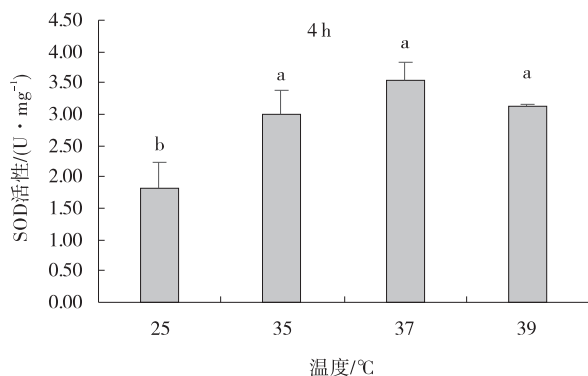
时间/h	温度/°C			
	25(CK)	35	37	39
1	0.00±0.00 ^{bb}	2.00±0.82 ^{fab}	6.00±2.67 ^{fa}	4.67±1.70 ^{ca}
2	0.00±0.00 ^{bc}	3.33±1.49 ^{efb}	5.33±1.70 ^{fab}	9.33±2.87 ^{ca}
3	0.00±0.00 ^{bb}	8.00±1.70 ^{deA}	6.67±1.83 ^{fa}	8.67±1.33 ^{ca}
4	0.00±0.00 ^{bc}	8.00±3.27 ^{defb}	8.67±0.82 ^{efb}	27.33±8.12 ^{ba}
5	0.00±0.00 ^{bd}	13.33±3.33 ^{cdB}	6.00±1.94 ^{fc}	95.33±3.27 ^{aA}
6	0.00±0.00 ^{bc}	6.67±1.83 ^{defb}	12.67±3.40 ^{efA}	
7	0.00±0.00 ^{bc}	10.00±1.49 ^{cdB}	18.00±2.91 ^{deA}	
8	0.00±0.00 ^{bc}	18.00±4.29 ^{cb}	26.00±2.21 ^{dA}	
9	0.00±0.00 ^{bc}	14.00±1.63 ^{cdB}	42.00±11.04 ^{ca}	
10	0.00±0.00 ^{bc}	15.33±2.26 ^{cdB}	54.67±2.71 ^{ca}	
11	0.00±0.00 ^{bc}	30.67±4.14 ^{bb}	86.00±4.14 ^{ba}	
12	0.00±0.00 ^{bc}	37.33±5.91 ^{bb}	100.00±0.00 ^{aA}	
16	2.00±1.33 ^{bb}	95.33±2.49 ^{aA}		
20	2.00±1.33 ^{bc}	97.33±1.25 ^{aA}		
24	5.33±2.71 ^{ad}	99.33±0.67 ^{aA}		

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);同行不同大写字母表示同一处理时间下不同温度差异显著($P<0.05$)。

处理时间 35 °C 与 37 °C 的死亡率存在显著差异 ($P<0.05$)。在 3 h 之后, 35 °C 和 37 °C 的死亡率与 39 °C 的死亡率差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 不同温度和暴露时间对丽蚜小蜂雌成虫 SOD 活性的影响

丽蚜小蜂雌成蜂受到温度胁迫时, SOD 活性均呈现出先升高后下降的趋势。在 4 h 时, 35, 39 °C 和 37 °C 的 SOD 活性均显著高于对照, 并在 37 °C 时达到峰值,



为 3.54 U/mg ($P<0.05$)。在 8 h 时, SOD 活性在 35 °C 达到峰值, 为 3.40 U/mg, 与其他温度差异不显著。

2.3 不同温度和暴露时间对丽蚜小蜂雌成虫的 POD 活性影响

丽蚜小蜂雌成蜂受到温度胁迫时, POD 活性呈现先升高后降低的趋势。在 4 h 时, POD 活性在 35 °C 时达到峰值, 并与对照和 39 °C 存在显著差异 ($P<0.05$)。

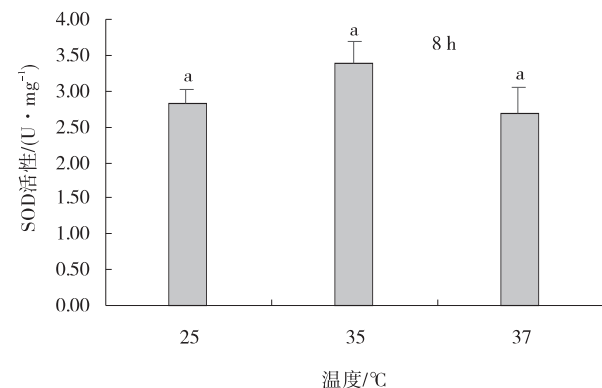
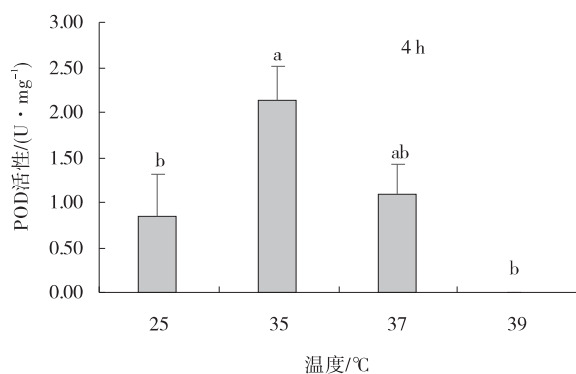


图1 不同温度下的 SOD 活性

Fig. 1 Changes of SOD activity at different temperatures

注:小写字母表示不同温度下的酶活性在 0.05 水平上的差异

在 8 h 时,POD 在 35 °C 时达到峰值,并与对照和 37 °C



存在极显著差异($P < 0.01$)。

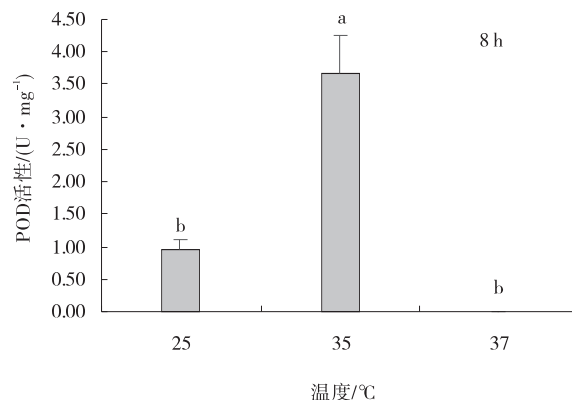


图 2 不同温度条件下的 POD 活性

Fig. 2 POD activity under different temperature conditions

2.4 不同温度和暴露时间对丽蚜小蜂雌成虫的 CAT 活性影响

在 4 h 时,CAT 活性在温度 37 °C 达到峰值且极显著高于其他温度($P < 0.01$)。在 8 h 时,丽蚜小蜂体内

的保护酶不存在显著性差异。35 °C CAT 活性与 25 °C CAT 活性不存在差异,并随着时间的延长而呈现先升高后下降的趋势,在 8 h 时,达到峰值。

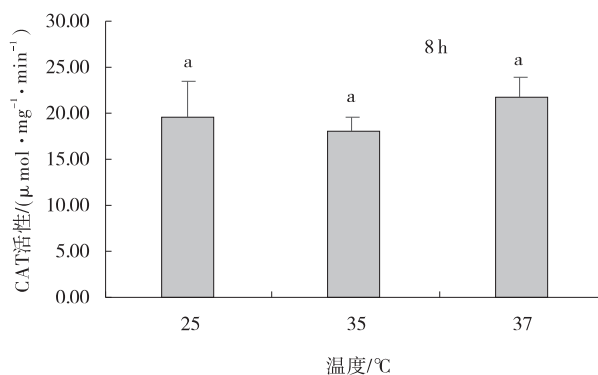
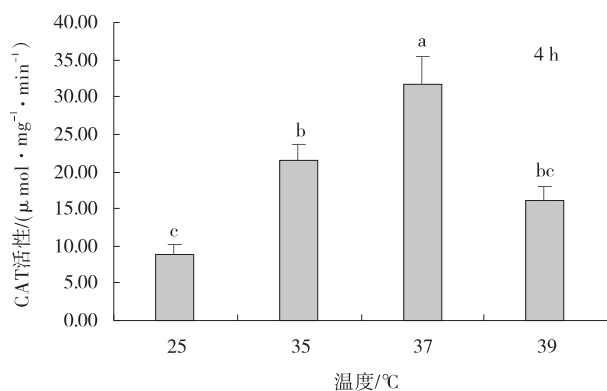


图 3 不同温度条件下的 CAT 活性

Fig. 3 CAT activity under different temperature conditions

3 讨论

昆虫是变温动物,外界环境温度的变化对昆虫的生殖、发育、种群分布和种群数量发展都具有重要的影响^[19]。在本试验中,丽蚜小蜂雌成虫的死亡率随着温度的升高而呈现上升趋势。徐维红等^[20]的研究亦表明不同龄期的丽蚜小蜂的死亡率亦随着温度的升高而呈现上升趋势(25~30 °C)。本试验中丽蚜小蜂雌成虫在 35、37 °C 的寿命时长分别为 24、12 h。而美国品系丽蚜小蜂和北京品系丽蚜小蜂在不同温度(18~23 °C)的寿命存在显著差异^[14]。有研究表明丽蚜小蜂雌成虫在恒温 36 °C 和 37.5 °C 的寿命分别为 10、9 h^[21]。本试验与该研究存在差异,可能是由于丽蚜小蜂的品系差异而造成的差异。丽蚜小蜂在温度

高于 35 °C 以上的死亡率均显著高于对照 25 °C,所以温度对丽蚜小蜂的死亡率具有显著的影响。

不良环境对昆虫具有一定的胁迫作用,从而影响昆虫体内酶的代谢和基因的调控等。如热胁迫会导致昆虫体内过量活性氧如超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)和过氧化氢(H_2O_2)等,其中 $O_2^{\cdot-}$ 会衍生出羟基自由基($OH\cdot$)和单线态氧(1O_2),而这两种活性氧是最活泼的形式,它们使许多不饱和有机分子如多不饱和脂肪酸、胆固醇和 DNA 过氧化,从而导致脂质氧化^[22]。而 SOD、POD 和 CAT 保护酶对高温胁迫产生的活性氧进行清除,在一定程度上起到抵抗高温胁迫作用^[23-24]。

SOD 普遍存在于所有的生物中,可以将 $O_2^{\cdot-}$ 转化为 H_2O_2 ,达到清除 $O_2^{\cdot-}$ ^[22-23,25]。在本试验中,4 h 的 35~39 °C 的 SOD 活性均显著高于 25 °C 的 SOD 活性,

说明在此时的温度内,丽蚜小蜂产生大量的 $O_2^{\cdot-}$,诱导了SOD的表达。在4 h时,SOD活性在37℃后呈下降趋势,在8 h时,在35℃后呈下降趋势,则说明了在这两组时间和温度后,SOD的活性被过量的 $O_2^{\cdot-}$ 抑制。这亦与茶淡黄刺蛾的SOD活性在26~40℃的变化趋势相似^[26]。

$O_2^{\cdot-}$ 被SOD转化为 H_2O_2 ,再进一步被POD和CAT催化为 H_2O 和 O_2 ,但POD和CAT两者的催化条件存在差异,在 H_2O_2 浓度高于0.003%时POD的酶活性被抑制,而 H_2O_2 浓度低于0.03%CAT无法发挥作用, H_2O_2 浓度高于0.06%时CAT活性则被抑制^[7,22-23]。在本试验,POD活性均随着时间的延长和温度的升高,呈现先升高后降低的趋势,并在35℃的8 h时达到最大值,与25℃(对照),37℃均存在显著性差异。说明在8 h之内,在35℃温度条件下,丽蚜小蜂体内的 H_2O_2 主要由POD来控制。而在4 h和37℃时产生过量的 H_2O_2 则由CAT来清除,而在高于这个时间和温度之后,CAT的活性被过量的 H_2O_2 抑制。这亦与西藏飞蝗在30~45℃和筛豆龟蝻在25~46℃的POD和CAT活性的变化趋势相似^[27-28]。

因此丽蚜小蜂体内的3种保护酶协同互作在35℃8 h和37℃4 h之内共同清除过量的活性氧,而在这之后3种抗氧化酶被抑制住,丽蚜小蜂的死亡率增加。

4 结论

结果表明,过氧化是丽蚜小蜂在高温胁迫下死亡的重要原因之一。因此,要充分的发挥丽蚜小蜂防治粉虱的潜能,需要避免丽蚜小蜂在高于35℃以上的温度中使用。或者经过温度锻炼提高丽蚜小蜂的耐热能力,而这需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Li-Hong Yang, Hai Huang. Antioxidant responses of citrus red mite, *Panonychus citri* (Mc Gregor) (Acari: Tetranychidae), exposed to thermal stress[J]. Journal of insect physiology, 2010, 56(12): 1871-1876.
- [2] Livingstone D R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms[J]. Marine pollution bulletin, 2001, 42(8): 656-666.
- [3] Davies K. The broad spectrum of responses to oxidants in proliferating cells: a new paradigm for oxidative stress. [J]. Iubmb Life, 2010, 48(1): 41-47.
- [4] Sami, Ahmad, Chris, *et al.* Antioxidant Enzymes of Larvae of the Cabbage Looper Moth, *Trzschoplusia Ni*: Subcellular Distribution and Activities of Superoxide Dismutase, Catalase and Glutathione Reductase[J]. Free Radical Research, 1988, 4(6): 403-408.
- [5] 杨淑慎, 高俊凤. 活性氧、自由基与植物的衰老[J]. 西北植物学报, 2001, 21(2): 215-220.
- [6] 夏铁骑. 自由基、活性氧、SOD及植物衰老机理研究的现状与进展[J]. 濮阳职业技术学院学报, 2005, 18(2): 23-24.
- [7] 唐维媛, 强奉群, 邢丛丛, 等. 不利环境对昆虫抗氧化酶影响的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(1): 75-79.
- [8] Durak R, Dampc J, Kula-Maximenko M, *et al.* Changes in Antioxidative, Oxidoreductive and Detoxification Enzymes during Development of Aphids and Temperature Increase [J]. Antioxidants (Basel), 2021, 10(8): 1181-1193.
- [9] Dampc J, Kula-Maximenko M, Molon M, *et al.* Enzymatic Defense Response of Apple Aphid *Aphis pomi* to Increased Temperature[J]. Insects, 2020, 11(7): 436-451.
- [10] Li MY, Wang Y, Lei X, *et al.* Molecular characterization of a catalase gene from the green peach aphid (*Myzus persicae*) [J]. Arch Insect Biochem Physiol, 2021, 108(2): e21835-21853.
- [11] Lu Y, Bai Q, Zheng X, *et al.* Expression and Enzyme Activity of Catalase in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) Is Responsive to Environmental Stresses[J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1803-1812.
- [12] Xikeranmu Z, Abdunasir M, Ma J, *et al.* Characterization of two copper/zinc superoxide dismutases (Cu/Zn-SODs) from the desert beetle *Microdera punctipennis* and their activities in protecting *E. coli* cells against cold [J]. Cryobiology, 2019, 87: 15-27.
- [13] Sestini E A, Carlson J C, Allsopp R. The effects of ambient temperature on life span, lipid peroxidation, superoxide dismutase, and phospholipase A2 activity in *Drosophila melanogaster* [J]. Exp Gerontol, 1991, 26(4): 385-95.
- [14] 周淑香, 李玉, 张帆. 高温冲击对沃尔巴克氏体 (*Wolba-*

- chia)诱导孤雌产雌的丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)生殖和发育的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4732—4737.
- [15] 朱楠, 王玉波, 张海强, 等. 光周期、温度对丽蚜小蜂生长发育的影响[J]. 植物保护学报, 2011, 38(4): 381—382.
- [16] 尹园园, 翟一凡, 林清彩, 等. 周期性高温对丽蚜小蜂田间应用效果的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 115—118.
- [17] 张世泽, 郭建英, 万方浩, 等. 温度对不同品系丽蚜小蜂发育、存活和寿命的影响[J]. 中国生物防治, 2004(3): 174—177.
- [18] 崔旭红, 谢明, 万方浩. 短时高温暴露对B型烟粉虱和温室白粉虱存活以及生殖适应性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 424—430.
- [19] 董兆克, 戈峰. 温度升高对昆虫发生发展的影响[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1141—1148.
- [20] 徐维红, 朱国仁, 李桂兰, 等. 温度对丽蚜小蜂寄生烟粉虱生物学特性的影响[J]. 中国生物防治, 2003, 19(3): 103—106.
- [21] Wang T, Keller M A, Hogendoorn K. The effects of temperature on the development, fecundity and mortality of *Eretmocerus warrae*: is *Eretmocerus warrae* better adapted to high temperatures than *Encarsia formosa*? [J]. *Pest Management Science*, 2019, 75(3): 702—707.
- [22] Sami Ahmad. Cabbage looper antioxidant enzymes: Tissue specificity [J]. *Insect Biochemistry*, 1991, 21(5): 563—572.
- [23] 王梦龙, 朱未, 张继红, 等. 氧化损伤是热胁迫下小金蝇蛾幼虫不能存活的重要原因[J]. 昆虫学报, 2014, 57(7): 769—776.
- [24] Anderson Ricardo Soares, Maria de Lourdes Lucio Ferrarese, Rita de Cássia Siqueira—Soares, *et al.* The Allelochemical L—DOPA Increases Melanin Production and Reduces Reactive Oxygen Species in Soybean Roots [J]. *Journal of chemical ecology*, 2011, 37(8): 891—898.
- [25] 董亮, 何永志, 王远亮, 等. 超氧化物歧化酶(SOD)的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(5): 53—58.
- [27] 李庆, 吴蕾, 杨刚, 等. 温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3189—3197.
- [28] 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.

Effect of high temperature stress on mortality and protective enzymes of *Encarsia formosa*

LONG Jia-zhi¹, GUO Wen-xiu², JI Min³, SONG Ying-ying², LI Li-li², MEN Xing-yuan², CUI Hong-ying², YU Yi², LIU Chang-zhong^{1*}

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 3. Shandong Agriculture and Engineering University, Dezhou 253000, China)

Abstract: [Objective] In order to explore the lethal effects of different temperatures and time duration on *Encarsia formosa*, and to understand the physiological response mechanism of *E. formosa* to temperature stress. [Method] We recorded the survival rates of *E. Formosa* adults within 24 h at 35, 37 and 39 °C, as well as the changes of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) activities in vivo after 4h and 8h at 35, 37 and 39 °C. [Result] The mortality rate of the adults was aggravated with the increase of temperature and the prolongation of time. The death of *E. Formosa* adults was occurred in 1 hour above 35 °C, which was significantly differed from that of the control at 25 °C. With the increase of temperature, the SOD and POD activities in adults of *E. formosa* showed a trend of first increasing then decreasing. At 4 h, SOD activity peaked at 37 °C, which was significantly higher than

that of the control (25 °C). POD activity peaked at 35 °C at 8h and was significantly different from other treatments. CAT activity reached the maximum value at 37 °C at 4 h, and was significantly different from other treatments. SOD, POD and CAT can protect the *E. formosa* within 8h at 35 °C and 4 h at 37 °C. 【Conclusion】 The temperature higher than 35 °C had a significant effect on the population of *E. formosa*.

Key words: *Encarsia formosa*; high temperature stress; superoxide dismutase; peroxidase; catalase

(上接 129 页)

Effects of disturbance degree on quantitative characteristics and species diversity in typical steppe plant communities

WANG Min, ZHANG Xian-hua*, YUAN Xiao-qiang, YUAN Hui

(College of Grassland Industry, Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Xinjiang, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: As a typical type of grassland in Xinjiang, mountain grassland is an important pasture in Xinjiang grassland. In order to understand the effect of different degrees of disturbance on the quantitative characteristics and species diversity in typical steppe plant communities, grassland with four disturbance levels including non—disturbance, mild disturbance, moderate disturbance and severe disturbance were selected in grazing and non—grazing interaction areas through field investigation and remote sensing image interpretation data. The changes of grassland community under disturbance were analyzed from two aspects of community quantity characteristics and species diversity. The results showed that with the intensification of disturbance, (1) the number of dominant species decreased, and the importance value decreased by 1.21 times. The number of miscellaneous grass increased, and the importance value increased 59.70%. (2) The community height, coverage and density were significantly decreased by 79.74%, 70.99% and 59.39%, respectively ($P < 0.05$). (3) The aboveground biomass of the community first decreased and then increased, and there were significant differences among disturbance degrees ($P < 0.05$). The underground biomass of communities and soil layers tended to be stable after decreasing, and the underground roots mainly concentrated in 0—10 cm soil layer. (4) Species diversity did not show a consistent change. Species richness index and Simpson index were the highest in severely disturbed grassland. The shannon—Wiener index and Pielou index were the highest in lightly disturbed grassland. The results provided basic data for the degradation control of mountain steppe.

Key words: typical steppe; different interference levels; quantitative characteristics of community; species diversity