

褐飞虱高温条件下应激反应及体内保护酶系活性的研究*

冯从经** 戴华国 武淑文 (南京农业大学植保系, 南京 210095)

【摘要】 利用 34、36、38 3 个温度处理褐飞虱的若虫和不同翅型成虫, 研究其在热休克过程中体内保护酶系活性及脂质过氧化物含量的变化. 结果表明, 热休克对 4 龄若虫过氧化氢酶 (CAT) 活性影响大于 3 龄、5 龄, 而其成虫期 CAT 活性则随日龄增加而增加, 36 为 CAT 清除 H₂O₂ 最适温度. 高龄若虫体内谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-px) 活性高于低龄若虫, 老熟成虫体内 GSH-px 清除 H₂O₂ 能力强于初羽化成虫. 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性与处理温度呈正相关, 而同一处理温度下 SOD 活性随成虫龄期和成虫日龄增加而降低. 长翅型成虫体内 CAT、GSH-px、SOD 活性均高于短翅型, 而雌、雄成虫间 CAT、GSH-px、SOD 活性无明显差异 (> 0.05). 褐飞虱体内脂质过氧化物 (LPO) 含量随处理温度升高而上升, 同一处理温度下随若虫龄期和成虫日龄的增加而增加, 短翅型成虫体内 LPO 含量高于长翅型.

关键词 褐飞虱 热休克反应 保护酶系 脂质过氧化物

文章编号 1001-9332(2001)03-0409-05 **中图分类号** Q969.36 **文献标识码** A

Stress response of *Nilaparvata lugens* at high temperature and activities of its protective enzyme systems. FENG Congjing, DAI Huaguo and WU Shuwen (Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095). -Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(3): 409 ~ 413.

The nymphae and different wing-form adults of Brown Planthopper (BPH) were treated intermittently at 34, 36 and 38. During the process of heat shock treatment, the variation of the activities of the endogenous enzymes of protective system and the content of lipid peroxides (LPO) in BPH were researched. The results showed that the effect of heat shock treatments on CAT activity in 4th instar of nymphae was higher than that in 3rd and 5th instar. The CAT activity in BPH adults increased with the day-age, and 36 was the suitable temperature at which H₂O₂ was scavenged by CAT. The GSH-px activity was higher in old than that in young nymphae, and the ability of GSH-px to scavenge H₂O₂ was higher in old adults than in those adults emerged early. The activity of SOD had a positive correlation with the treated temperatures, and decreased with the increase of nymphae instar and the day-age of adults after emergence at the same temperature. The activities of CAT, GSH-px, and SOD in macropterous adults were higher than those in brachypterous adults. There were no significant difference for the activities of CAT, GSH-px and SOD between female and male adults (> 0.05). The content of LPO in BPH increased with the rise of treated temperature, and also increased with the increase of instars in nymphae and day-age after emergence in adults at the same temperature. The LPO content was higher in brachypterous than in macropterous adults.

Key words *Nilaparvata lugens*, Heat shock response, Endogenous enzymes of protective system, Lipid peroxides.

1 引言

褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*) 是一种严重危害水稻的迁飞性害虫, 据报道, 其年度间发生级差主要由迁入虫量决定, 在水稻生长季节主要受高温控制^[1,3]. 国内外有关高温对褐飞虱发育、生殖、迁飞等方面研究较多, 但研究集中在温度对褐飞虱种群消长的影响、褐飞虱对高温的耐受性等方面, 而高温条件下的应激生理机制尚未见报道. 热休克 (heat shock) 是指短暂、迅速地由低温向高温转换所诱导出的一种固定的应激反应, 以维持机体自身生理平衡, 保护细胞免受应激环境变化而造成损伤. 细胞对热因子进行识别, 通过膜结构的改变使电子传递解偶联, 从而诱发细胞中活性氧, 造成超氧

阴离子自由基 (O₂⁻)、过氧化氢 (H₂O₂), 以及脂质过氧化物 (LPO) 增加, 这些生物自由基具备很强的氧化能力, 对许多生物分子产生破坏作用, 形成生物氧毒害. 而超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-px) 等抗氧化酶通过体内的协调作用, 能有效的清除 O₂⁻、H₂O₂ 和 LPO, 呈现热休克反应 (heat shock response)^[4,5]. 本文通过测定高温条件下褐飞虱不同龄期若虫与不同日龄成虫体内抗氧化酶的活性变化和 LPO 水平, 探索了各种保护酶间的协调作用, 以说明热休克条件下褐飞虱生理上的保护反应.

* 国家自然科学基金资助项目 (39970125).

** 通讯联系人. 现为中国科学院上海昆虫研究所博士研究生.
1999 - 09 - 27 收稿, 2000 - 03 - 16 接受.

2 材料与方法

2.1 材料

褐飞虱虫源来自广西桂林,温室饲养,自然繁殖.将实验虫态的前一虫态接入试管内,在室内(27 ± 1),相对湿度 > 90%,16L 8D 条件下,取汕优 63 分蘖拔节期稻苗插入直径 3cm、长 20cm 的试管内,加入少量水稻营养液,定时检查发育进度,定期更换稻苗及营养液.

2.2 化学试剂与仪器

聚乙烯吡咯烷酮(PVP),乙二胺四乙酸(EDTA),5,5-二硫双硝基苯甲酸(DTNB)为上海化学试剂站进口分装产品;其它试剂均为国产分析纯试剂或生化试剂.超声波仪器为上海超声波仪器厂 CSF-1A 超声波发生仪;比色计为上海第三分析仪器厂 752-C 型紫外线可见分光光度计.

2.3 供试昆虫热休克处理

热休克处理温度为 34、36、38 3 种,对照为 27.实验虫态为 3~5 龄若虫及羽化后 1~5 日龄成虫.每天在光照培养箱内高温处理 5h,至进入下一虫态即放入液氮罐 - 70 冷冻保存.

2.4 粗酶液制备

供试褐飞虱用预冷的含 1% PVP、0.04% 苯基硫脲、10mmol L⁻¹ EDTA、50mmol L⁻¹ pH7.0 磷酸缓冲液在冰浴中用玻璃匀浆器研磨,匀浆液经超声破碎 10min 后,在 4 条件下 4000r·min⁻¹、离心 15min,取上清液置低温冰箱保存,分析前解冻.

2.5 保护酶系活性测定

过氧化氢酶(CAT)活性采用改进的方允中等的方法^[2]测定,取 30% H₂O₂ 0.5~0.6ml,加水至 50ml.从中取出 4ml,加入 pH7.0,0.05mol L⁻¹ 的磷酸缓冲液 26ml,测定 230nm 处 1cm 光路 OD 值,如其 OD 值在 0.5~0.55,即作为过氧化氢酶的底物溶液.取已预温至 25 的底物溶液 3ml,在 25 条件下加入粗酶液 20μl,立即测定 230nm 处的 OD 值,1min 后再测 1 次.按下列公式计算 CAT 活性:K = (2.303/60) × lg(OD₁/OD₂) (OD₁ 为零时 OD₂₃₀,OD₂ 为 1min 后 OD₂₃₀).

超氧化物歧化酶活性(SOD)参照李周直等的方法^[4]测定,反应液总体积为 3ml,内含 50mmol L⁻¹ pH7.8 磷酸缓冲液,13mmol L⁻¹ 蛋氨酸,100mmol L⁻¹ EDTA,75μmol L⁻¹ NBT 和 50μl 粗酶液,最后加入 2μmol L⁻¹ VB₂;以不加酶液管作为最大光还原管.4klx 下光照 10min 后立即避光迅速测定 A₅₆₀ 值,以未光照的相同反应管为对照管,50%抑制率所需的酶量为一个酶活性单位(U).测定重复 3 次,计算 SOD 酶活性,酶活性大小以 U·g⁻¹DW 表示.

谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)活性采用改进的方允中等的方法^[2]测定,通过不同浓度的还原型 GSH 与饱和量 DTNB 反应制备标准曲线.设置空白管、样本管、对照管,每管总体积为 3ml,其中包括 0.2mol L⁻¹ pH7.0 的磷酸缓冲液、0.01mol L⁻¹ NaN₃、1mmol L⁻¹ GSH、0.04% DTNB、H₂O. 样品管中加入 50μl 粗酶液.上述溶液 30 预温 5min 后,样本管和对照管

与 30 预温 5min 的 0.15ml 1.25mmol L⁻¹ H₂O₂ 混合.3 个管分别在 412nm 处测定,2min 后读出 OD 值.扣除非酶反应(OD_{样品} - OD_{非酶}),得出每分钟 log(GSH) 下降值,按 Hafeman 法,以 log(GSH) 每分钟下降 0.001 为一个酶活力单位.测定重复 3 次,以 U·g⁻¹DW 表示酶活力.

2.6 脂质过氧化物的测定

脂质过氧化物(LPO)含量采用向荣等 TBA 方法测定^[6].

2.7 数据处理

数据采用 SAS 软件进行方差分析、t 测验等统计分析.

3 结果与分析

3.1 热休克对褐飞虱若虫体内保护酶活性的影响

3.1.1 对若虫体内过氧化氢酶(CAT)活性的影响 经高温处理后,3~5 龄若虫体内 CAT 活性均比对照组明显升高(表 1).从表 1 可以看出,若虫体内 CAT 活性有随温度升高而升高的趋势,但以 36 处理影响最大,可以认为,36 为 CAT 清除 H₂O₂ 的最适温度,高于 36 则 CAT 活性受抑制.这与杨唐斌等^[7]热休克诱导不同龄期家蚕体内 CAT 活性的实验结果相似.此外,本项研究中发现褐飞虱 4 龄若虫期 CAT 活性明显高于 3 龄和 5 龄若虫期 (<0.01),表明高温对 4 龄若虫 CAT 活性影响大于 3 龄和 5 龄若虫.

表 1 热休克对褐飞虱若虫体内 CAT 活性差异显著性检验

Table 1 Test of different significance on CAT activity of nymph of BPH treated with heat shock(X ± sd)

处理 Treatment ()	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	温度 Temperature
CK	9.85 ± 0.06	11.30 ± 0.00	10.67 ± 0.06	D
34	38.73 ± 0.07	44.17 ± 0.08	39.98 ± 0.12	C
36	71.30 ± 0.26	78.50 ± 0.00	70.18 ± 0.41	A
38	50.33 ± 0.00	62.38 ± 0.21	56.07 ± 0.00	B
虫龄 Instar	B	A	B	

3.1.2 对若虫体内谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)活性的影响 高温处理后褐飞虱若虫体内 GSH-px 活性与对照差异显著.从表 2 可见,随处理温度升高,GSH-px 活性缓慢上升.但 36 3 龄若虫热休克诱导的 GSH-px 活性稍低于 34;38 处理则活性明显升高,与对照有极显著差异 (<0.01).

表 2 热休克对褐飞虱若虫体内 GSH-px 活性差异显著性检验

Table 2 Test of different significance on GSH-px activity of nymph of BPH treated with heat shock(X ± sd)

处理 Treatment ()	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	温度 Temperature
CK	13.46 ± 0.55	10.09 ± 0.69	18.67 ± 7.39	C
34	21.67 ± 0.86	23.20 ± 2.00	24.30 ± 0.40	B
36	18.47 ± 0.75	19.60 ± 0.30	20.20 ± 1.10	B
38	27.10 ± 1.20	26.40 ± 1.10	29.43 ± 0.23	A
虫龄 Instar	B	B	A	

从表 2 还可以看出,GSH-px 活性有随若虫龄期增加而缓慢上升的趋势.高温条件下,老龄若虫体内 GSH-px 活性高于低龄若虫,这可能是热休克导致褐

飞虱背血管搏动次数增多,血液循环速率加快,呼吸作用加强,致使体内 O₂ 消耗量增加,从而造成细胞间 O₂ 增加,其结果则诱导 GSH-px 活性增加,以清除积累的 H₂O₂,此影响对老龄若虫比低龄若虫明显.

3.1.3 对若虫体内超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由表 3 可知,高温处理导致褐飞虱若虫体内 SOD 活性明显高于对照,SOD 活性随温度升高而缓慢上升;但同一处理温度下,SOD 活性则随龄期增加而有所下降,说明热休克反应使褐飞虱若虫体内 SOD 活性上升,以清除超氧自由基(O₂⁻),但随虫龄增大,若虫清除自由基的能力变弱.

表 3 热休克对褐飞虱若虫体内 SOD 活性差异显著性检验
Table 1 Test of different significance on SOD activity of nymph of BPH treated with heat shock(X ±sd)

处理 Treatment ()	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	温度 Temperature
CK	71.73 ±1.23	62.83 ±0.76	65.86 ±0.99	C
34	154.56 ±1.12	149.67 ±0.15	131.27 ±1.69	B
36	170.23 ±0.71	159.60 ±1.10	150.87 ±0.59	A
38	180.63 ±0.25	173.43 ±0.40	151.27 ±0.45	A
虫龄 Instar	A	A	B	

3.2 热休克对褐飞虱成虫体内保护酶活性的影响

3.2.1 对成虫体内过氧化氢酶(CAT)活性的影响

1~5 日龄褐飞虱成虫经高温处理后,长、短翅型雌、雄成虫 CAT 活性测定结果见图 1. 与对照组相比,处理组 CAT 活性均显著上升. 就长翅型雌成虫而言,34、36、38 处理组 CAT 活性均与对照组差异显著(< 0.01),其中以 36 处理组最明显,38 处理组次之,34 处理组最低. 长翅型雄虫经高温处理后,表现出与同翅型雌虫相似的变化规律,36 处理组 CAT 活性高于 34、38 处理组. 短翅型雌、雄成虫经高温处理后,体内 CAT 活性的动态变化规律与长翅型雌、雄虫相似,但其活性变化稍小于长翅型. 结果表明,热休克诱导褐飞虱成虫体内 CAT 活性上升,36 为 CAT 清除体内 H₂O₂ 最适温度,此与若虫期 CAT 的趋势一致. 但比较而言,1~3 龄短翅型成虫体内 CAT 活性上升很快,4 日龄和 5 日龄则上升缓慢. 对不同翅型与不同性别褐飞虱成虫体内 CAT 活性进行 t 测验的结果表明:长短翅型间差异显著(< 0.05),各处理长翅型成虫体内 CAT 活性均高于短翅型,说明长翅型成虫有较强的热应激反应能力;而同翅型雌、雄性别间则差异不明显.

3.2.2 对成虫体内谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)活性的影响

经高温处理后,长、短翅型雌、雄成虫体内 GSH-px 活性的测定结果见图 2,处理组比对照组明显上升. 长翅型雌、雄成虫体内 GSH-px 活性随处理温度升高而缓慢上升,其中以 38 处理组最高,36 处

理组与 34 处理组差异不显著. 短翅型雌、雄成虫体内 GSH-px 活性变化与处理组温度呈正相关,也以 38 处理组为最高. 据此可以认为,GSH-px 活性与 CAT 活性在 36 与 38 条件下呈互补现象. 从图 2 也可以看出,褐飞虱成虫体内 GSH-px 活性与日龄密切相关,高龄成虫体内 GSH-px 活性较初羽化成虫高. 不同日龄长、短翅型雌、雄成虫体内 GSH-px 活性的动态变化规律类似,但经 t 测验表明,长、短翅型间差异显著(< 0.05),长翅型成虫体内 GSH-px 活性高于短翅型,说明长翅型成虫热应激反应能力强于短翅型,而不同性别间则差异不显著(> 0.05).

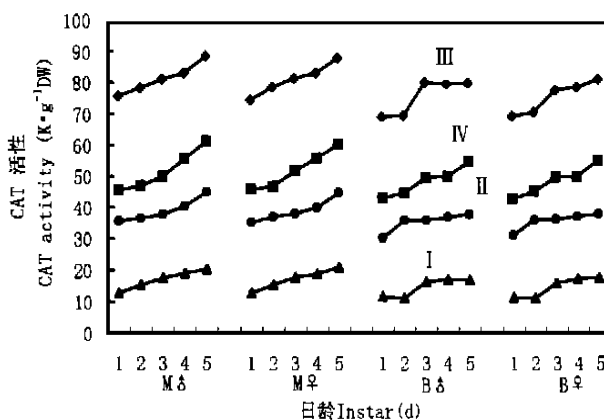


图 1 热休克对不同日龄褐飞虱成虫体内 CAT 活性的影响
Fig. 1 Effect of heat shock on CAT activity *in vivo* in BPH adults at different days.
CK, .34, .36, .38. 下同 The same below.

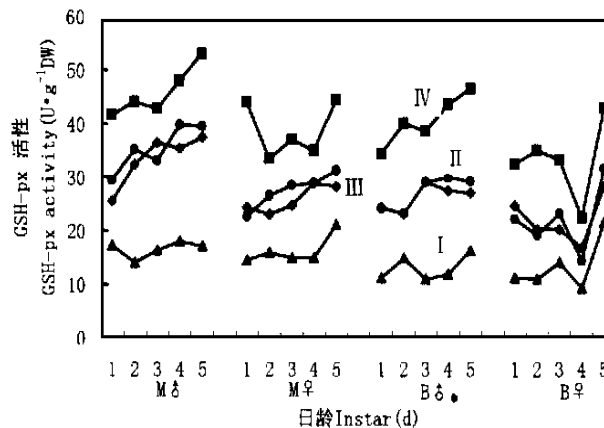


图 2 热休克对不同日龄褐飞虱成虫体内 GSH-px 活性的影响
Fig. 2 Effect of heat shock on GSH-px activity *in vivo* in BPH adults at different days.

3.2.3 对成虫体内的超氧化物歧化酶(SOD)的影响

由图 3 可知,经高温处理的褐飞虱成虫体内的 SOD 活性变化与处理温度呈正相关. 长翅型雌、雄成虫体内 SOD 活性均随处理温度升高而上升,各处理间差异极显著(< 0.01),其中以 38 诱导活性最高,36 次之,34 最低. 如 3 日龄长翅型雄虫体内 SOD 活性的

测定结果为:38 时为 $134.96 \pm 0.72 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$, 36 时为 $128.60 \pm 0.3 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$, 34 时为 $91.50 \pm 0.2 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$. 短翅型雌、雄虫体内 SOD 活性变化也有随处理温度升高而上升的趋势. 从图 3 还可以看出, 同一处理温度下, 不同日龄成虫间 SOD 活性差异显著, 且在 38 条件下成虫体内 SOD 活性有随成虫日龄增加而下降的倾向. 实验结果也表明, 长、短翅型间 SOD 活性差异显著 (< 0.05), 长翅型体内 SOD 活性高于短翅型, 但雌、雄成虫间 SOD 活性差异不显著. 从若虫与成虫体内 SOD 活性测定结果比较可知, 若虫期 SOD 活性明显高于成虫期, 说明随着褐飞虱的生长发育, 其体内 SOD 清除 O_2^- 的能力变弱.

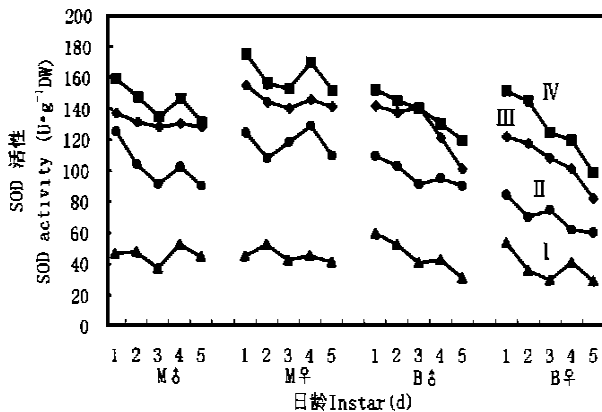


图 3 热休克对不同日龄褐飞虱成虫体内 SOD 活性的影响
Fig. 3 Effect of heat shock on SOD activity *in vivo* in BPH adults at different days.

3.3 热休克对褐飞虱体内脂质过氧化物 (LPO) 含量的影响

3.3.1 热休克对褐飞虱若虫体内 LPO 含量的影响

高温处理后, 处理组若虫体内的 LPO 含量比对照组明显上升 (表 4). 以 4 龄若虫为例, 34、36、38 处理组 LPO 含量分别是对照组的 1.83 倍、2.61 倍、2.87 倍, 各处理间差异极显著 (< 0.01), 说明随温度升高褐飞虱若虫体内 O_2^- 增多, 从而促使其体内脂类形成 LPO 增多, 进而影响机体的正常代谢. 同一温度条件下, 不同龄期间 LPO 含量差异显著 (< 0.05). 随着处理龄期的增加, 若虫体内 LPO 含量随之增加, 说明随虫龄增大, 虫体的代谢活动增强, 体内超氧自由基积累

表 4 热休克对褐飞虱若虫体内 LPO 含量差异显著性检验
Table 4 Test of different significance on LPO content of nymph of BPH treated with heat shock ($\bar{X} \pm \text{sd}$)

处理 Treatment ()	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	温度 Temperature
CK	1.56 ± 0.10	1.62 ± 0.01	1.77 ± 0.01	D
34	2.88 ± 0.03	2.10 ± 0.02	3.68 ± 0.02	C
36	4.06 ± 0.03	4.23 ± 0.02	4.40 ± 0.01	B
38	4.51 ± 0.02	4.65 ± 0.02	5.34 ± 0.03	A
虫龄 Instar	B	B	A	

增多, 致使 LPO 含量上升.

3.3.2 高温对褐飞虱成虫体内 LPO 含量的影响 由图 4 可知, 随处理温度升高, 褐飞虱成虫体内 LPO 含量上升, 各处理间差异极显著 (< 0.01). 其中以 38 处理组 LPO 含量最高, 36 处理组次之, 34 处理组最低; 长翅型雄成虫虽略有不同, 但体内 LPO 含量也与处理温度呈正相关. 不同翅型、不同性别成虫期体内 LPO 含量进行 t 测验的结果表明, 长、短翅型成虫体内 LPO 含量差异显著, 短翅型体内 LPO 含量高于长翅型, 表明短翅型应激抗氧化能力较弱, 高温条件下体内 O_2^- 较多, 故脂类过氧化程度较高, 说明高温对短翅型的影响大于长翅型, 但雌、雄成虫体内 LPO 含量差异不显著. 比较表 4 和图 4 结果也可知, 褐飞虱成虫期体内 LPO 含量稍高于若虫期, 说明褐飞虱成虫抗高温的能力较若虫弱.

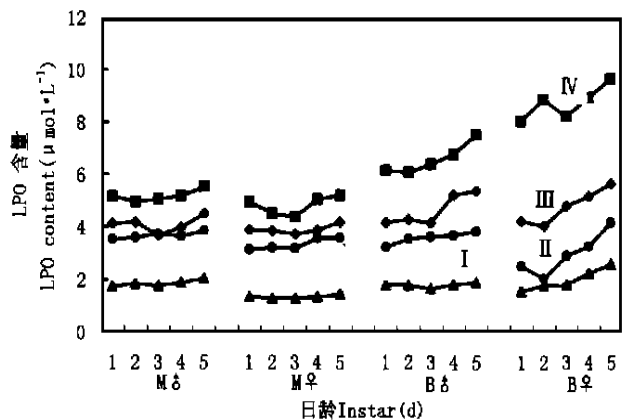


图 4 热休克对不同日龄褐飞虱成虫体内 LPO 含量的影响
Fig. 4 Effect of heat shock on LPO content *in vivo* in BPH adults at different days.

4 讨 论

杨唐斌等^[7]曾报道热休克诱导家蚕体内 SOD、CAT、GSH-px 等保护酶活性增加, 他们认为不同温度下 SOD、CAT、GSH-px 的最适配比可能与细胞内 H_2O_2 和 O_2^- 的浓度有关, 以适应幼蚕不同部位在不同条件下的生理需要. 小白鼠各组织中也出现明显的热休克应答^[8]. 本实验结果证实了上述结论, 说明热休克反应与抗热性形成有关. 本项研究中发现褐飞虱热休克反应时 SOD 随温度升高而活性增加; CAT 活性在 36 时最高, 38 时活性反而小于 36 时; 而 GSH-px 活性在 36 后逐步增高, 各保护酶间呈现明显的协调作用. 热休克反应促使保护酶活性增加, 从而影响细胞内自由基水平, 这对保护细胞免受自由基损伤和获得热耐受能力起重要作用.

本实验结果表明, 高温条件下褐飞虱若虫随龄期

增加 SOD 活性下降;成虫也有类似现象;而其体内 CAT、GSH-px 活性则随若虫龄期和成虫日龄的增加而增强.实验结果也表明,褐飞虱体内 LPO 含量随若虫龄期和成虫日龄的增加而有所增加.由此可见,SOD、CAT、GSH-px 等保护酶在褐飞虱生长发育过程中协同作用以清除 O_2^- 、 H_2O_2 及 LPO,3 种重要的保护酶中,SOD 活性最高,故在清除超氧自由基过程中占主导地位.虽然热休克反应中 SOD 活性有随若虫龄期与成虫日龄增加而下降的趋势,但一则其在高温条件下活性高于常温下,且能维持较高水平;二则 CAT、GSH-px 活性随若虫龄期与成虫日龄增加而有所上升,具有互补现象,故对清除能力不会产生影响.

实验结果表明,高温条件下长翅型成虫体内 CAT、GSH-px、SOD 的活性高于短翅型成虫,而短翅型成虫体内 LPO 含量却高于长翅型,故长翅型成虫具有较强的热应激能力.张增全^[9]在室内控温条件下研究褐飞虱的翅型分化,结果表明,在 21~27 条件下,随着温度升高,长翅型比例增加,最高达 70.97%. 本项研究为其提供了论据.高温条件下,大田中长翅型比例大大升高也充分证实了这一点.实验结果也表明雌、雄虫间的热应激能力无显著差异,说明高温对田间褐飞虱的性比不会有太大影响.高温导致具迁移能力的长翅型产生,而对性比不产生太大的影响,对褐飞虱的种群繁殖是有利的.

参考文献

- 1 Domingo I, Heong KL. 1992. Evaluating high temperature tolerance in the Brown Planthopper (BPH). *IRRN*, **17**(3):22
- 2 Fang Y-Z(方允中), Zhang J-L(张嘉麟), Liu Z-F(刘智锋). 1986. The observation of the activities of Glutathione peroxides, Superoxide dismutase and Catalase in some kinds of blood. *Chin J Hem* (中华血液学杂志), **7**(4):220~222 (in Chinese)
- 3 Li L-D(李汝铎). 1996. The effect of temperature on the population growth of Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Phytotaphylac Sin* (植物保护学报), **11**(2):101~106 (in Chinese)
- 4 Li Z-Z(李周直), Shen H-J(沈惠娟), Jiang Q-G(蒋巧根) et al. 1994. A study on activities of endogenous enzymes of protective system in some insects. *Acta Ent Sin* (昆虫学报), **37**(4):399~403 (in Chinese)
- 5 Packer L. 1984. Oxygen radicals in biological systems. In: Harcourt BJ ed. *Methods in Enzymology*. INC. Vol. 105. London: Academic Press. 273~280
- 6 Xiang R(向荣), Wang D-N(王鼎年). 1990. The improvement of spectrophotometry in measurement of lipid peroxides with thiobarbituric acid (TBA). *Progr Biochem et Biophysics* (生物化学与生物物理进展), **17**(3):241~242 (in Chinese)
- 7 Yang T-B(杨唐斌), Mei S-Y(梅尚筠). 1996. The effect of heat shock on the activities of antioxidative enzymes in Silkworm (*Bombyx mori*). *Progr Biochem et Biophysics* (生物化学与生物物理进展), **23**(2):153~156 (in Chinese)
- 8 Yang T-B(杨唐斌), Mei S-Y(梅尚筠). 1993. The effect of heat shock on the antioxidative enzyme activity in mouse. *Chin Biochem J* (生物化学杂志), **9**(6):736~739 (in Chinese)
- 9 Zhang Z-Q(张增全). 1983. A study on the development of wing dimorphism in the rice Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal). *Acta Ent Sin* (昆虫学报), **37**(4):399~403 (in Chinese)

作者简介 冯从经,男,1974年生,博士生,主要从事昆虫生理生化研究. E-mail:cj Feng @990. net