应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1431—1436

绿盲蝽取食与机械损伤对棉花叶片内防御性酶活性的影响*

毛 红** 陈 瀚 刘小侠 张青文***

(中国农业大学农学与生物技术学院 北京 100193)

摘 要 为探明绿盲蝽 *Apolygus lucorum*(Mayer-Dür)取食和机械损伤对不同抗性棉花叶片内主要防御酶活性的影响以及防御酶与棉花抗绿盲蝽性的关系,以棉花3个不同抗性品系为材料,室内条件下测定绿盲蝽取食和机械损伤处理后棉叶中苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)的活性。结果表明:对于健康植株,抗性品种PAL、POD和PPO的活性均显著高于感性品种防御酶的活性;在绿盲蝽取食诱导条件下,不同抗性棉叶的PAL、POD和PPO活性增加,且抗性品种比感性品种达到最大值的时间早;在机械损伤处理后,不论是抗性品种还是感性品种,PAL、POD和PPO活性变化都不及绿盲蝽取食诱导明显。本研究说明,棉叶中PAL、POD和PPO活性对棉花的抗绿盲蝽性有一定的影响,这些酶活性的变化与逆境条件、胁迫时间以及棉花的品种有关。

关键词 绿盲蝽,棉花,取食,机械损伤,防御酶活性

Effects of *Apolygus lucorum* feeding and mechanical damage on defense enzyme activities in cotton leaves

MAO Hong** CHEN Han LIU Xiao-Xia ZHANG Qing-Wen***

(College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Active changes in the levels of the defensive enzymes phenylalanine aminolyase(PAL), peroxidase(POD) and polyphenol oxidase(PPO), were evaluated in the leaves of various cotton varieties that had either been fed on by *Apolygus lucorum* (Mayer-Dür), or subject to mechanical damage, under laboratory conditions. The results indicate that PAL, POD and PPO activity were significantly higher in resistant than in susceptible varieties. PAL, POD and PPO activity increased in each variety following damage by *A. lucorum* but peaked in resistant varieties earlier than in susceptible varieties. However, changes in PAL, POD and PPO activity following mechanical damage were not as obvious as those observed following feeding by *A. lucorum*. These results suggest that PAL, POD and PPO activities are associated with the resistance of cotton to *A. lucorum* and that changes in defensive enzyme activity depend on the cotton variety and the kind of damage plants are subject to.

Key words *Apolygus lucorum*, cotton, feeding, mechanical damage, defense enzyme activity

绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Mayer-Dür) 属半翅目 Hemiptera 盲蝽科 Miridae,是为害棉花的优势盲蝽种群之一,在我国南北棉区均有发生(马晓牧等,2004;郭文艳和傅春梅,2009)。绿盲蝽主要以成、若虫刺吸顶芽、嫩叶、花蕾及幼铃汁液为害棉花,严重影响其生长发育、开花结实以及产量品质。1997年以来,随着我国大规模商业化种植转Bt基因抗虫棉,化学农药使用大幅度减少,导致棉田盲蝽种群数量增加、为害加剧,逐渐成为转Bt基因棉上的主要害虫(Wu *et al.*, 2002)。因此,棉田盲蝽的防控成为目前急需解决的问题。

植物在其生长发育过程中,经常会遭受机械

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(20080311)。

** E-mail: maohong2008@163.com

*** 通讯作者,E-mail: zhangqingwen@263.net

收稿日期:2010-11-15,接受日期:2011-03-26

损伤或者一些植食性动物的攻击,在长期协同进化过程中,植物并不是被动地受害,而是主动、积极地形成复杂的防卫体系,以寻求最适的生存对策(李进步等,2008)。当植物受到侵害时,植物细胞中控制物质代谢的各种酶会首先做出相应的反应,尤其是一些次生代谢物质形成过程中的关键酶类(刘树英等,2009)。苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)作为植物次生代谢过程中的3种关键酶,在植物的抗虫防御中起着重要的保护作用。昆虫取食对植物中防御酶活性影响的研究已有报道,但研究主要集中在棉花对蚜虫(李进步等,2008)、烟粉虱(岳东霞等,2003)等的抗性与主要防御酶活性变化的关系。绿盲蝽作为近年来转Bt基因抗虫棉上的重要害虫,而目前有关棉花对其抗性机制方面研究的报道很少(谭永安等,2010),因此,本试验通过对绿盲蝽取食和机械损伤诱导后棉叶中PAL、POD和PPO 3种酶活性的动态变化研究,以期从植物抗性角度探索盲蝽防治方法,为制订新的害虫综合防治策略提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试棉花:选取皖棉小黄花(高抗品种)、SGK 321(中抗品种)和池州红叶棉(高感品种)3种棉花,均由中国农业大学IPM实验室筛选并提供。棉花在实验室温室中种植培养,供试棉花均同期播种于花盆中(Φ = 20 cm)并罩以防虫网,待棉苗至4叶生长期时用于试验。

供试昆虫:绿盲蝽由中国农科院植保所提供,在实验室利用四季豆人工饲养的方法繁殖并扩大种群(陆宴辉等,2008)。饲养条件为光周期L∶D=14∶10,温度(25 ± 1)℃,湿度65% ±1%,饲养繁殖10代以上后用于试验。

1.2 试验方法

1.2.1 棉花叶片诱导处理 每种处理均选取大小一致的棉苗,并将棉苗置于防虫笼中,于处理后24、48、72和96 h时分别取样(第3片真叶),取样后测定PAL、POD和PPO 3种防御酶的活力变化。每种处理均重复3次。

绿盲蝽取食(HW)诱导处理:每株棉苗接种5头绿盲蝽成虫(羽化后3 d未交配雌虫,接种前饥饿12 h)后用防虫网罩住,取食24 h后除去成虫。机械损伤(MD)诱导处理:用已消毒的注射器针头(Φ = 1 mm)在健康的棉叶背面刺40次。以同期健康未受危害的棉苗为对照(CK)。

1.2.2 防御酶活性测定 苯丙氨酸解氨酶(PAL):参照吴祥孙等(2008)的方法。称取0.3 g样品,放入预冷的研钵中,加入0.03 g聚乙烯吡咯烷酮(PVP)和1.5 mL含5 mmol/L的β-巯基乙醇的硼酸缓冲液(0.05 mol/L pH 8.8),放入适量石英砂研磨匀浆,4℃ 12 000 r/min离心20 min,上清液为酶粗提取液。酶活性测定反应体系为2 mL pH 8.8 0.05 mol/L硼酸缓冲液,1 mL 0.02 mol/L L-苯丙氨酸和0.1 mL酶粗提取液,37℃水浴1 h,用6 mol/L HCl终止反应,290 nm处测定吸光值。以提取缓冲液代替酶液为空白对照。酶活性以每克鲜重每小时增加0.01 OD_{290}值为1个酶活单位。

过氧化物酶(POD):参照李玲(2009)的方法。称取0.3 g样品放入预冷的研钵中,加入0.03 g PVP和1.5 mL 20 mmol/L KH_2PO_4,放入适量石英砂研磨成匀浆,4℃ 12 000 r/min离心20 min,上清液为酶粗提取液。酶活性测定的反应体系为4.9 mL反应混合液(在50 ml pH 6.0 0.1 mol/L的磷酸缓冲液中加入28 μL愈创木酚,于磁力搅拌器上加热溶解,待溶液冷却后,加入30% H_2O_2 19 μL混合摇匀)和0.1 mL酶液。在470 nm处每隔30 s记录一次吸光值,计算5 min内OD值的变化。酶活性以每克鲜重每分钟增加0.01 OD_{470}值为1个酶活单位。

多酚氧化酶(PPO):参照邹芳斌等(2008)的方法。称取0.3 g样品放入预冷的研钵中,加入0.03 g PVP和1.5 mL提取缓冲液(pH 6.8 0.1 mol/L的磷酸缓冲液,内含5 mmol/L的β-巯基乙醇和1 mmol/L $EDTANa_2$),放入适量石英砂研磨成匀浆,4℃ 12 000 r/min离心20 min,上清液为酶粗提取液。酶活性测定的反应体系为4.9 mL含0.02 mol/L邻苯二酚的磷酸缓冲液(0.1 mol/L pH 6.8)和0.1 mL的酶粗提取液,37℃水浴10 min后测定398 nm处的吸光值,以提取缓冲液代替酶液为空白对照。酶活性以每克鲜重每分钟增加0.01 OD_{398}值为1个酶活单位。

酶活测定所用试剂购买于全新拓达科技有限公司,试验仪器为UV-2802H型紫外可见光光度计。

1.2.3　数据统计分析　检验处理间的差异显著性($P<0.05$) ,方差分析采用 LSD 多重比较法(An *et al.*, 2009) 。试验数据统计用 EXCEL 2003 软件,数据分析利用 SPSS11.5 软件。

2　结果与分析

2.1　不同处理对棉花叶片内 PAL 活性的影响

由表 1 可知,高抗品种叶片中 PAL 的活性显著高于中抗和高感品种 PAL 的活性($P<0.05$) 。不同抗性品种棉花经过绿盲蝽取食和机械损伤诱导后,叶片内 PAL 的活性均发生明显变化。

绿盲蝽取食诱导后,不同抗性棉花的 PAL 活性迅速升高,24 h 时均高于对照。皖棉小黄花的 PAL 活性呈现升高 - 降低 - 升高的趋势,仅 72 h 时稍低于对照,且在 24 h 时变化最大,增加 22%; SGK 321 中 PAL 活性均显著高于对照($P<0.05$) ,呈现先升高后降低的变化趋势,且在 48 h 时变化最大,增加达 171%; 池州红叶棉先降低后升高,96 h 时显著高于对照($P<0.05$) ,活性增加了 69%。

机械损伤诱导后,不同棉花的 PAL 活性迅速降低,24 h 时均低于对照。皖棉小黄花和 SGK321 中 PAL 活性变化趋势与绿盲蝽取食诱导相似,前者仅在 96 h 时稍高于对照,后者在 48 h 时显著高于对照($P<0.05$) ,而在 96 h 时显著低于对照($P<0.05$) ; 池州红叶棉 PAL 活性先升高后降低,仅在 72 h 时稍高于对照。

2.2　不同处理对棉花叶片内 POD 活性的影响

由表 2 可知,高抗品种叶片中 POD 的活性显著高于中抗和高感品种($P<0.05$) 。绿盲蝽取食和机械损伤诱导对不同抗性品种棉叶中 POD 的活性有明显影响,其中绿盲蝽取食诱导后变化更为明显。

绿盲蝽取食诱导后,各种棉花中 POD 的活性都迅速升高,24 h 时均高于未处理棉花。皖棉小黄花表现为升高 - 降低 - 升高的变化趋势,除 72 h 外均高于对照,且在 24 和 96 h 时显著高于对照($P<0.05$) ; SGK 321 呈现先升高后降低的趋势,在 96 h 内分别增加了 70%、555%、256% 和 138%,除 24 h 外均显著高于对照($P<0.05$) ; 池州红叶棉 POD 的活性分别增加了 43%、45%、73% 和 142%,且在 96 h 时达到显著性差异水平($P<0.05$) 。

机械损伤诱导后,不同抗性棉花 POD 活性变化趋势与绿盲蝽取食诱导处理相同。皖棉小黄花仅在 96 h 时显著高于对照($P<0.05$) ; SGK 321 中 POD 的活性在不同时间均增加,而池州红叶棉均降低,但均未达到显著性差异水平。

表 1　绿盲蝽取食和机械损伤处理后不同抗性棉花品种中 PAL 活性的变化($U \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)

Table 1　Changes of PAL in different resistant cotton varieties after *Apolygus lucorum* feeding and mechanical damage treatments

棉花品种 Cotton varieties	处理方式 Treatments	处理时间(h) Time			
		24	48	72	96
皖棉小黄花	CK1	168.92 ± 29.57 b A	298.11 ± 25.81ab A	333.53 ± 28.46 a A	276.21 ± 86.53 ab A
	HW1	206.27 ± 58.56 a A	335.80 ± 27.39 a A	265.76 ± 42.34 a A	325.05 ± 61.67 a A
	MD1	160.03 ± 24.09 a A	275.37 ± 103.8 a A	244.92 ± 71.36 a A	313.42 ± 42.15 a A
SGK 321	CK2	20.69 ± 4.69 ab C	13.93 ± 3.39 b D	28.38 ± 2.92 a C	15.98 ± 2.31 b CD
	HW2	30.26 ± 2.98 b B	37.74 ± 3.06 ab B	52.49 ± 10.98 a B	36.03 ± 3.17 ab B
	MD2	15.58 ± 1.07 bc CD	24.21 ± 4.35 ab C	35.23 ± 7.60 a BC	8.70 ± 1.79 c E
池州红叶棉	CK3	12.22 ± 1.66 a CD	14.68 ± 1.80 a D	6.99 ± 1.04 b D	10.80 ± 0.72 ab DE
	HW3	14.81 ± 3.35 ab CD	11.16 ± 2.45 ab D	8.99 ± 1.28 b D	18.27 ± 2.45 a C
	MD3	10.92 ± 1.82 a D	12.59 ± 1.92 a D	8.27 ± 2.32 a D	7.76 ± 0.62 a E

注: CK 表示健康植株,HW 表示绿盲蝽取食处理,MD 表示机械损伤处理。表中数据为平均值 ± 标准误。不同小写字母表示同行数据在 0.05 水平上差异显著($P<0.05$) ; 不同大写字母表示同列数据在 0.05 水平上差异显著($P<0.05$) 。下表同。

CK(health cotton) , HW(*Apolygus lucorum* feeding treatment) and MD(mechanical damage treatment) . The data in the table are mean ± SE. Dates in the same row with different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level; and dates in the same column with different capital letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 绿盲蝽取食和机械损伤处理后不同棉花品种中 POD 活性的变化(U·g^{-1}·min^{-1})

Table 2 Changes of POD in different resistant cotton varieties after *Apolygus lucorum* feeding and mechanical damage treatments

棉花品种 Cotton varieties	处理方式 Treatments	处理时间(h) Time(h)			
		24	48	72	96
皖棉小黄花	CK1	9867.70±1815.48 b B	13546.13±1799.77 ab A	17655.98±578.44 a A	14330.13±2574.89 ab B
	HW1	14904.78±1110.41 b A	16396.98±1493.32 ab A	16139.88±2733.08 ab A	23339.61±2832.24 a A
	MD1	10154.86±753.83 b B	19258.84±4156.87 a A	15389.35±2744.11 ab A	20201.37±541.96 a A
SGK 321	CK2	1740.31±305.32 a C	2354.76±647.60 a B	2465.99±612.12 a C	2807.24±537.66 a D
	HW2	2964.65±1027.67 b C	15435.22±2637.45 a A	8789.99±1776.34 b B	6682.65±1996.53 b C
	MD2	2158.20±667.27 b C	4443.12±669.86 a B	4176.34±627.34 a C	2102.18±389.50 b D
池州红叶棉	CK3	1881.61±253.62 a C	1550.76±316.17 a B	1537.12±85.14 a C	1520.88±210.96 a E
	HW3	2682.64±595.45 a C	2250.33±262.24 a B	2657.65±857.30 a C	3679.02±203.53 a D
	MD3	1802.64±511.69 a C	1519.96±398.41 a B	1494.01±275.72 a C	2089.74±91.47 a E

2.3 不同处理对棉花叶片内 PPO 活性的影响

由表 3 可知,高抗和中抗品种叶片中 PPO 的活性显著高于高感品种($P<0.05$)。绿盲蝽取食和机械损伤诱导对不同抗性棉片中 PPO 活性也有一定的影响。

表 3 绿盲蝽取食和机械损伤处理后不同棉花品种中 PPO 活性的变化(U·g^{-1}·min^{-1})

Table 3 Changes of PPO in different resistant cotton varieties after *Apolygus lucorum* feeding and mechanical damage treatments

棉花品种 Cotton varieties	处理方式 Treatments	处理时间(h) Time(h)			
		24	48	72	96
皖棉小黄花	CK1	68.86±3.00 b B	67.77±3.09 b B	106.18±9.62 a A	92.42±3.92 a AB
	HW1	104.41±4.24 a A	71.21±1.70 b AB	90.87±6.50 ab AB	104.22±13.52 a A
	MD1	82.49±6.03 a B	69.26±5.15 a AB	87.43±6.76 a AB	85.50±7.06 a AB
SGK 321	CK2	65.15±4.37 b B	80.70±7.84 ab AB	75.43±6.46 ab AB	85.99±3.09 a AB
	HW2	72.54±14.08 a B	100.15±22.37 a A	101.72±22.95 a A	83.31±10.97 a AB
	MD2	83.63±10.02 a B	81.60±15.64 a AB	68.72±6.39 a B	78.92±7.61 a B
池州红叶棉	CK3	29.81±1.87 bc C	24.46±0.50 c C	32.00±1.59 b C	40.54±5.73 a C
	HW3	26.33±1.90 b C	25.39±1.26 b C	34.85±3.28 ab C	44.68±5.94 a C
	MD3	26.50±1.28 b C	21.17±0.05 c D	30.09±0.97 b C	38.36±2.12 a C

绿盲蝽取食诱导后,皖棉小黄花和 SGK 321 中 PPO 的活性在 24 h 时就高于对照,而池州红叶棉在 48 h 时才高于对照。皖棉小黄花中 PPO 的活性在 24 h 时增加了 51%,且达到了显著性差异水平($P<0.05$);SGK 321 和池州红叶棉中 PPO 的活性也增加,但均不存在显著性差异。

机械损伤诱导后,皖棉小黄花和 SGK 321 中 PPO 的活性在 24 和 48 h 时增加,而在 72 和 96 h 下降,且低于对照;池州红叶棉处理后 96 h 内的 PPO 活性均低于对照,且在 48 h 时显著低于对照水平($P<0.05$)。

3 讨论

植物在处于诸如病虫害、条件胁迫等不良外界环境时,常通过诱导或抑制某些同工酶的产生来适应环境而使其得以生存(张丽等,2005)。许多研究表明,PAL、POD 和 PPO 3 种保护酶与植物的抗虫能力密切相关(程璐等,2009)。本试验通过绿盲蝽取食以及机械损伤诱导处理不同抗性棉花,并对其 PAL、POD 和 PPO 3 种酶活性变化进行研究,结果表明,棉叶中 3 种酶的活性变化与逆境条件、胁迫时间以及棉花的品种均有一定相关性。

PAL 是苯丙烷类代谢的关键酶和限速酶(董艳珍,2006),是水杨酸及植物防御物质酚类化合物合成的关键酶,其生成的类黄酮、木质素等多种次生代谢产物对于植物的生长发育以及抗逆反应有重要的作用(Joos *et al.*, 1996)。试验结果显示,抗性品种健康植株比感性品种健康植株的 PAL 活性要高,与许宁等(1996)的研究结果一致,许宁等发现在抗橙樱 *Acaphylla theac* Watt 的茶树品种中 PAL 的活性高于抗性弱的品种。绿盲蝽取食诱导后,不同抗性棉叶中 PAL 活性均有增加,说明棉叶细胞可能在不断进行自我修复,形成木质化壁,抵抗绿盲蝽的进一步侵害。皖棉小黄花、SGK 321 和池州红叶棉达到最大值的时间分别为 48、72 和 96 h,可见抗性品种比感性品种棉花的 PAL 活性增加快。李进步等(2008)研究发现,棉花遭受棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 危害之后,PAL 活性迅速上升,且抗虫品种的活性比感虫品种高,PAL 对棉花的抗蚜性有影响。机械伤害能刺激 PAL 的表达,引起其活性的升高(董艳珍,2006),而本试验中机械损伤处理 24 h 后,PAL 的活性一般都低于对照水平,这可能是机械损伤是在短时间内诱导 PAL 活性的升高,随着时间增加而降低的缘故。

POD 是植物保护酶系的重要保护酶之一,它可以与超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)相互协调配合,清除过剩的自由基,使体内自由基维持在一个正常的动态水平,以提高植物的抗逆性(梁艳荣等,2003)。有研究发现,机械损伤和清洁苗自然状态下,植物体内 POD 酶活力会缓慢上升(岳东霞等,2003)。在本试验中,除池州红叶棉外,皖棉小黄花和 SGK 321 在自然状态下 POD 的活性存在缓慢上升趋势;而机械损伤后 POD 的活性随时间变化有升高也有降低,但是总体还是呈现上升趋势。周丹丹等(2009)发现,刺吸胁迫作用下 POD 活性显著上升,说明保护酶系统对烟粉虱刺吸胁迫有防御功能,这与本试验结果一致。绿盲蝽取食后,除池州红叶棉外,皖棉小黄花和 SGK 321 中 POD 的活性都显著增高。可见,POD 的活性高低和变化程度与棉花对绿盲蝽的抗性水平高低密切相关。

PPO 是植物体内广泛存在的一种抗营养酶类,在叶肉细胞中能共价修饰昆虫的消化蛋白并与之交连,降低昆虫中肠蛋白酶的水解能力,还参与酚类氧化为醌以及木质素前体的聚合作用,以抵御外界的侵害(胡瑞波和田继春,2004)。本试验结果显示,绿盲蝽取食诱导后,抗性品种比感性品种 PPO 的活性上升快,皖棉小黄花和 SGK 321 分别在 24 和 48 h 达到最大值,且显著高于对照,而池州红叶棉在 96 h 才达到最大值。机械损伤诱导后,皖棉小黄花和 SGK 321 的 PPO 活性在 48 h 之后低于对照,但均未有显著性差异;而池州红叶棉一直低于对照,且在 48 h 时存在显著性差异,这与刘艳等(2005)研究结果相反,可能是由于处理品种与方式存在差异造成的。可见,抗性品种比感性品种 PPO 的活性要高且在逆境中达到最大值的时间要短。

对于未处理的健康植株,抗性品种各种酶的活性均显著高于感性品种;处理后的植株,抗性品种各种酶的活性比感性品种变化要大,说明 PAL、POD 和 PPO 的活性高低可能与棉花对绿盲蝽的抗性高低有关,抗性高的品种中防御酶能够更快更多地参与防御反应。绿盲蝽取食与机械损伤诱导效果不完全相同,机械损伤对各种防御酶活力的诱导作用不及绿盲蝽取食明显,其可能原因为:第一,昆虫唾液里的某些成分可能是植物诱导反应中一些共有的或特异性诱导信号物质的来源(马蕊等,2008);第二,人工或昆虫取食造成的机械损伤在作用时间和对植物的损伤程度方面不同(殷海娣等,2006)。

本试验首次对绿盲蝽取食以及机械损伤诱导后不同抗性棉花叶片中防御酶活性在不同时间的变化进行了研究,发现棉花对绿盲蝽的抗性高低与 PAL、POD 和 PPO 3 种酶的活性高低有一定相关性,但棉花抗绿盲蝽性是否与防御酶的活性真正相关以及何种防御酶能够作为棉花对绿盲蝽抗性的鉴定指标,还需对棉花防御机制作进一步研究来证明。

参考文献(References)

An Y, Shen YB, Zhang ZX, 2009. Effects of mechanical damage and herbivore wounding on H2O2 metabolism and antioxidant enzyme activities in hybrid poplar leaves. *Journal of Forestry Research*, 20(2): 156—160.

程璐,贺春贵,胡桂馨,王森山,朱亚灵,2009. 苜蓿斑蚜为害对 5 种苜蓿品种(系) PAL、POD、PPO 酶活性的影响. 植物保护,35(6): 87—90.

董艳珍,2006. 植物苯丙氨酸解氨酶基因的研究进展. 生物技术通报,(21):31—33.

郭文艳,傅春梅,2009. 棉田绿盲蝽的发生危害及综合治理. 农业与技术,29(3):43—45.

胡瑞波,田继春,2004. 小麦多酚氧化酶研究进展. 麦类作物学报,24(1):81—85.

Joos HJ, Mauch-Mani B, Slusarenko AJ, 1996. Production of salicylic acid precursors is a major function of phenylalanine ammonia-lyase in the resistance of arabidopsis to *Peronospora parasitica*. *Plant Cell*, 92(2):203—212.

李进步,方丽平,张亚楠,杨卫娟,郭庆,李雷,毕彩丽,杨荣志,2008. 棉花抗蚜性与苯丙氨酸解氨酶活性的关系. 昆虫知识,45(3):422—425.

李玲,2009. 植物生理学模块实验指导. 北京:科学出版社. 120—121.

梁艳荣,胡晓红,张颍力,刘湘萍,2003. 植物过氧化物酶生理功能研究进展. 内蒙古农业大学学报,24(2):111—113.

刘树英,安伟,徐欣惟,刘洪章,杨忠,2009. 中国沙棘叶中几种酶活性测定. 吉林农业大学学报,31(5):584—586.

刘艳,郝燕燕,刘艳艳,黄卫东,2005. 机械伤害和茉莉酸对豌豆幼苗膜脂过氧化的影响. 中国农业科学,38(2):388—393.

陆宴辉,吴孔明,蔡晓明,刘仰青,2008. 利用四季豆饲养盲蝽的方法. 植物保护学报,35(3):215—219.

马蕊,陈巨莲,程登发,孙京瑞,2008. 麦蚜唾液诱导小麦抗虫机制研究. 中国植物保护学会 2008 年学术年会. 651—657.

马晓牧,张青文,蔡青年,徐环礼,李继军,翟雷霞,杨玉枫,2004. 2003 年冀南棉区绿盲蝽爆发危害. 植物保护,30(3):90.

谭永安,柏丽新,肖留斌,魏书艳,赵洪霞,2010. 绿盲蝽危害对棉花防御性酶活性及丙二醛含量的诱导. 棉花学报,22(5):479—485.

Wu KM, Li W, Feng H, Guo Y, 2002. Seasonal abundance of the mirids, *Lygus lucorum and A. delphocoris* spp. (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in northern China. *Crop Prot.*, 21(10):997—1002.

吴祥孙,陈一壮,蒙信满,郭建夫,袁红旭,2008. 水稻纹枯病抗性反应中主要防御酶的活性变化. 中国农学通报,24(5):327—330.

许宁,陈雪芬,陈华才,1996. 茶树品种抗茶橙瘿螨的形态与生化特征. 茶叶科学,16(2):125—130.

殷海娣,黄翠虹,薛堃,2006. 昆虫唾液成分在昆虫与植物关系中的作用. 植物保护,49(5):843—849.

岳东霞,张要武,庄勇,张金林,2003. 水杨酸对黄瓜植株抗病酶系和白粉病抗性的诱导作用. 河北农业大学学报,26(4):14—17.

张丽,常金华,罗耀武,2005. 不同高粱基因型感蚜虫前后 POD、PPO、PAL 酶活性变化分析. 农业生物技术科学,21(7):40—42.

周丹丹,刘长仲,姜生林,马峰,王海,2009. 烟粉虱刺吸胁迫对棉花叶片生理的影响. 甘肃农业大学学报,44(1):107—114.

邹芳斌,司龙亭,李新,王莉莉,2008. 黄瓜枯萎病抗性与防御系统几种酶活性关系的研究. 华北农学报,23(3):181—184.

应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1437—1441

温度对赤拟谷盗爬行和起飞活动的影响*

李兆东[1]** 王殿轩[1]*** 乔占民[2]

(1. 河南工业大学粮油食品学院 粮食储藏与安全教育部工程研究中心 郑州 450052;
2. 河南国家粮食储备库 郑州 450052)

摘 要 在不同温度下研究了赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*(Herbst)在固体物面、设定粮面、温度均匀的粮(小麦)柱和具有温度梯度粮柱内爬行扩散速度、起飞温度等。主要结果为:赤拟谷盗在17℃开始有爬行为,25℃开始有飞行行为,在15~25℃时水平爬行速度和15~20℃时竖直运动速度与温度呈显著正相关,在无障碍固体物面上的爬行速度为在粮面上速度的3.9~5.9倍,在水平粮柱内的扩散速度约为在竖直粮柱内扩散速度的1.2~3.1倍,赤拟谷盗的适宜起飞温度在25~30℃之间。

关键词 赤拟谷盗,温度,爬行,起飞

The influence of different temperature on the crawl and flight initiation of *Tribolium castaneum*(Herbst)

LI Zhao-Dong[1]** WANG Dian-Xuan[1]*** QIAO Zhan-Min[2]

(1. School of Food Science and Technology, Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China;
2. Henan State Grain Storage, Zhengzhou 450047, China)

Abstract The influence of temperature on the dispersal rate and flight initiation of *Tribolium castaneum*(Herbst) adults was studied at different temperatures and on different substrates. The dispersal rate was monitored both on a solid surface and on wheat in a perspex groove at both uniform temperatures and over a temperature gradient. The results indicate that the minimum temperature that initiated crawling was 17℃ both on the solid surface and wheat bulk. The minimum temperature for flight initiation was 25 ℃ on both substrates. The dispersal rate of adults significantly increased with temperature within the range of 15 – 25℃ for horizontal movement, and within the range of 15 – 20℃ for vertical movement in the wheat column. The dispersal rate on the solid surface was 3.9 – 5.9 times higher than that on wheat. The dispersal rate in wheat columns was 1.2 – 3.1 times higher than in vertical columns without wheat. The ideal flight temperature was 25 – 30 ℃ for both male and female *T. castaneum*.

Key words *Tribolium castaneum*, temperature, crawling, flying

储粮害虫的爬行和飞行是一种对环境的适应性行为,可以使其迅速离开原来生存环境,躲避不良的环境条件,这些有利于其利用随时间和空间进行变化的资源,以减轻其整个生活史中因环境恶化所带来的影响(吴先福等,2006)。正是这些行为,使得外界害虫易于爬行或飞行入仓,感染储粮。害虫爬行和飞行的行为受多种因素制约,其中温度是最重要的影响因素之一(Cox *et al.*, 2007)。储粮害虫属变温动物,保持和调节体温的能力有限,其生命活动只有在一定的温度范围内才能正常进行,超过一定的温度范围,生命活动将受到抑制,具体表现为行动迟缓,不能起飞,甚至麻痹(白旭光等,2002)。因此研究温度对储粮害虫活动的影响有助于适时的采取有效的防治措

* 资助项目 "十二五"国家科技支撑计划课题:储粮粮情关键因子调控及害虫生物防治技术的研究与示范(2011BAD03B02)。
** E-mail: dongbottle@126.com
*** 通讯作者,E-mail: wangdianxuan62@126.com
收稿日期:2010-11-08,接受日期:2010-11-26