

蓖麻提取液对甜菜夜蛾幼虫解毒酶活性的影响

化丽丹^{1,2}, 蒋杰贤¹, 季香云^{1*}, 万年峰¹, 张浩¹, 杨益众³

(1. 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403; 2. 江苏省泰州出入境检验检疫局, 泰州 225300; 扬州大学园艺与植物保护学院, 扬州 225009)

摘要 为探讨植物提取液对甜菜夜蛾解毒酶系活性的影响效应, 采用浸渍法测定了不同浓度蓖麻碱 (3.80、1.90、0.95、0.48 和 0.24 g/L) 对甜菜夜蛾幼虫碱性磷酸酯酶 (AKP)、酸性磷酸酯酶 (ACP) 和谷胱甘肽 S-转移酶 (GSTs) 活性的影响。结果表明: 与清水对照组相比, 不同浓度处理 48 h 和 72 h 对 AKP 的抑制作用均达到显著水平, 而 3.80 g/L 处理 24 h 即可显著抑制 AKP 活性; 与对照组相比, 不同浓度蓖麻碱处理 72 h 均会显著降低其 ACP 活性, 而浓度大于 0.24 g/L 时处理 24 h 和 48 h 即可显著降低 ACP 活性; 蓖麻碱处理组 GSTs 活性在处理 24、48 和 72 h 都显著低于对照组, 但不同浓度间无显著差异; 本研究揭示了蓖麻碱对这 3 种解毒酶均有较强的抑制作用, 且抑制作用随蓖麻碱浓度升高和作用时间延长而增强。

关键词 蓖麻碱; 甜菜夜蛾; 幼虫; 解毒酶; 抑制作用

中图分类号: S 482.39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.04.015

Effect of ricinine on the activities of detoxifying enzymes in *Spodoptera exigua* larvae

Hua Lidan^{1,2}, Jiang Jiexian¹, Ji Xiangyun¹, Wan Nianfeng¹, Zhang Hao¹, Yang Yizhong³

(1. Institute of Eco-Environment Protection, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Taizhou Entry-exit Inspection and Quarantine Bureau, Taizhou 225300, China; 3. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract To investigate the effect of plant extracts on the detoxifying enzymes of noctuid, we used the dipping method to determine the effects of the five different concentrations of ricinine (3.80, 1.90, 0.95, 0.48 and 0.24 g/L) on alkaline phosphatase (AKP), acid phosphatase (ACP) and glutathione S-transferase (GSTs). The results indicated that compared to the control group (fresh water treatment), the treatment of ricinine significantly inhibited the activities of AKP at 48 and 72 h after; while the treatment of 3.80 g/L of ricinine could inhibit the activity of AKP at 24 h post treatment. The activities of ACP were also significantly inhibited in all five ricinine-treated groups at 72 h after treatment, while the treatments with concentrations higher than 0.24 g/L significantly inhibited the activity of ACP at 24 and 48 h after treatment. The activities of GSTs were all significantly inhibited in all treatments compared to that of the control, but no difference was found among treatments of different concentrations. These results indicated that ricinine had a strong inhibitory effect on the three enzymes tested and the inhibition were concentration- and time-dependent.

Key words ricinine; *Spodoptera exigua*; larvae; detoxifying enzymes; inhibition effect

蓖麻 *Ricinus communis* 属大戟科蓖麻属植物, 具有较强的杀虫、杀菌作用, 是制造生物农药的重要来源^[1-3]。蓖麻碱是蓖麻的主要毒素之一, 具有较强的杀虫活性, 其对蚜虫^[4]、菜青虫^[5]、甜菜夜蛾^[6]、小菜蛾^[7]和金龟甲^[8]等害虫的杀虫作用已有报道。甜

菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 属鳞翅目夜蛾科害虫, 主要为害大豆、棉花、玉米、十字花科蔬菜和茄科植物^[9], 利用蓖麻碱防治甜菜夜蛾的作用机制的相关研究还鲜见报道。

蓖麻碱作用于昆虫的组织 and 器官, 影响其解毒

收稿日期: 2016-11-29 修订日期: 2017-02-21

基金项目: 上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2016)第 2-2-8 号]; 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2016)第 3-4-2 号]

* 通信作者 E-mail: hwfy2002@163.com

酶活性。酸性磷酸酯酶(ACP)、碱性磷酸酯酶(AKP)和谷胱甘肽 S-转移酶(GSH-S)是昆虫体内重要的解毒代谢酶,在杀虫剂及植物次生物质代谢中具有重要的作用^[10-12]。本研究以甜菜夜蛾为对象,从生化水平探讨蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内解毒酶的影响,以期为进一步揭示蓖麻碱杀虫机理奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源

甜菜夜蛾卵块采自上海市奉贤区青村农业合作社的甘蓝地,在人工气候箱(28±1℃、L//D=14 h//10 h、RH=80%±5%)中用人工饲料连续饲养7~9代。在培养箱中饲养甜菜夜蛾化蛹后,将蛹放置到羽化笼中。等成虫羽化后,用10%的蜂蜜水补充营养,雌、雄甜菜夜蛾成虫交配产卵后,将卵块孵化后的幼虫饲养至2龄末用于试验。

1.1.2 供试药剂

蓖麻碱由华东理工大学分析与测试中心从蓖麻饼粕中提取、分离并纯化,其有效成分含量≥99.8%。

1.2 试验方法

1.2.1 试虫处理方法

参照 Ismail 和 Wright^[13-14]的叶片药剂浸渍法。取新鲜干净的甘蓝叶片,在不同浓度(3.80、1.90、0.95、0.48、0.24 g/L)的蓖麻碱溶液中分别浸渍10 s,室内自然晾干,放置于直径为12 cm的洁净培养皿中,将中性滤纸铺于培养皿底部,每个培养皿接入大小一致的甜菜夜蛾2龄末幼虫50头,以清水作对照,每个处理和对照重复3次。分别于24、48、72 h后收集活虫供酶源制备。

1.2.2 酶源的制备

取供试幼虫置于玻璃匀浆器中,按3龄10头/mL,4龄4头/mL(缓冲溶液大致为试虫体重9倍),加入预冷缓冲液,其中谷胱甘肽 S-转移酶的制备用0.04 mol/L pH 7.0的磷酸缓冲液;酸性磷酸酯酶(ACP)的制备用0.2 mol/L pH 4.6醋酸缓冲液;碱性磷酸酯酶(AKP)的制备用0.05 mol/L pH 10.0碳酸钠缓冲液,冰浴下匀浆,匀浆液倒入离心管内,4℃下8 000 r/min离心10 min,上清液即为酶液,置于-20℃冰箱待用^[15-17]。

1.2.3 酶活性测定^[10]

1.2.3.1 酸性磷酸酯酶(ACP)和碱性磷酸酯酶(AKP)活性测定

酸性和碱性磷酸酯酶分解磷酸苯二钠,产生游离酚和磷酸,酚在碱性溶液中与4-氨基安替吡啉作用,经铁氰化钾氧化生成红色醌衍生物,根据红色深浅测定酶活性的高低^[18]。试验采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行。在37℃条件下,以每克甜菜夜蛾幼虫组织匀浆与基质作用15 min产生1 mg酚为一个酶活力单位,每个处理重复3次。

酸性磷酸酶(ACP)计算公式:

酸性磷酸酶活性(U/g) = 测定管吸光度/标准管吸光度 × 标准管含酚的量(0.003 mg)/所加样本的蛋白克数;

碱性磷酸酶(AKP)计算公式:

碱性磷酸酶活性(U/g) = (测定孔吸光度 - 空白孔吸光度)/(标准孔吸光度 - 空白孔吸光度) × 酚标准品浓度(0.1 mg/mL)/待测样本蛋白浓度(g/mL)。

1.2.3.2 谷胱甘肽 S-转移酶(GST)活性测定

谷胱甘肽 S-转移酶具有催化还原型谷胱甘肽与1-氯-2,4-二硝基苯结合的能力,在一定反应时间内,其活性高低与反应前后底物浓度的变化呈线性关系。通过谷胱甘肽浓度的高低来反映谷胱甘肽 S-转移酶活性的大小,谷胱甘肽浓度降低越多,则谷胱甘肽 S-转移酶活性越大,反之则小。活性测定采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行。以每克甜菜夜蛾组织匀浆在37℃反应1 min后,扣除非酶促反应,使反应体系中GSH浓度降低为1 μmol/L为一个酶活力单位。每个处理重复3次。谷胱甘肽-S转移酶计算公式:

组织中的 GST 活力(U/mg) = (对照管 OD 值 - 测定管 OD 值)/(标准管 OD 值 - 空白管 OD 值) × 标准浓度 × 稀释倍数 / 反应时间 / (取样量 × 蛋白浓度)。

1.2.4 蛋白质含量测定方法

蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝 G250 法^[19]。

1.3 数据处理

数据经 Excel 2007 整理后,用 SPSS 16.0 软件,用 Tukey's HSD 多重比较法比较不同浓度蓖麻提取液处理的甜菜夜蛾在处理不同时间内解毒酶活性在5%水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内碱性磷酸酯酶活性的影响

由表 1 可知,蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内碱性磷酸酯酶具有较强的抑制作用,且蓖麻碱浓度越高,

其对碱性磷酸酯酶的抑制作用越强。蓖麻碱作用于甜菜夜蛾时间越长,对幼虫体内的碱性磷酸酯酶抑制作用也越强。蓖麻碱浓度低于 1.90 g/L 时,其处理 24 h 对幼虫体内碱性磷酸酯酶的抑制作用不显著,但 5 种浓度处理 48 h 和 72 h 对幼虫体内的碱性磷酸酯酶的抑制作用均达到显著水平。

表 1 蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内碱性磷酸酯酶活性的影响¹⁾

Table 1 Effect of ricinine on the activity of AKP in *Spodoptera exigua* larvae

处理浓度/g · L ⁻¹ Concentration	碱性磷酸酯酶活性/U · g ⁻¹ Activity of alkaline phosphatase		
	24 h	48 h	72 h
3.80	(0.135 ± 0.027) bA	(0.039 ± 0.008) bB	(0.003 ± 0.006 2) cC
1.90	(0.141 ± 0.057) abA	(0.044 ± 0.022) bB	(0.003 ± 0.001 0) bcC
0.95	(0.142 ± 0.043) abA	(0.046 ± 0.014) bB	(0.004 ± 0.002 0) bC
0.48	(0.156 ± 0.024) aA	(0.050 ± 0.019) bB	(0.005 ± 0.003 3) bC
0.24	(0.160 ± 0.018) aA	(0.054 ± 0.021) bB	(0.006 ± 0.002 4) bC
0(CK)	(0.174 ± 0.012) aA	(0.155 ± 0.040) aA	(0.159 ± 0.003 0) aA

1) 表中数据为平均数 ± 标准误; 同列数据标有不同小写字母表示差异显著, 同行数据不同大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
The data were presented as mean ± SE. The data in same column followed with different lowercase letters were significantly different, and the data in same row followed with different capital letters were significantly different (Tukey's HSD test, $P < 0.05$). The same applies below.

2.2 蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内酸性磷酸酯酶活性的影响

由表 2 可知,蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内酸性磷酸酯酶具有较强的抑制作用,且这种抑制作用随蓖麻碱浓度升高和蓖麻碱作用时间延长而增强。与清水

对照组相比,不同浓度蓖麻碱处理 24 h 和 48 h,除 0.24 g/L 蓖麻碱对酸性磷酸酯酶的抑制作用不显著外,其他 4 种浓度处理均对酸性磷酸酯酶的活性有显著抑制作用;5 种蓖麻碱浓度处理 72 h 对幼虫体内的酸性磷酸酯酶的抑制作用都达到显著水平。

表 2 蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内酸性磷酸酯酶活性的影响

Table 2 Effect of ricinine on the activity of ACP in *Spodoptera exigua* larvae

处理浓度/g · L ⁻¹ Concentration	酸性磷酸酯酶活性/×10 ² U · g ⁻¹ Activity of acid phosphatase		
	24 h	48 h	72 h
3.80	(0.302 ± 0.001) cA	(0.200 ± 0.010) cB	(0.025 ± 0.001) cC
1.90	(0.402 ± 0.002) cA	(0.220 ± 0.001) cB	(0.031 ± 0.001) cC
0.95	(0.535 ± 0.002) bcA	(0.430 ± 0.001) bA	(0.041 ± 0.001) cB
0.48	(0.620 ± 0.001) bA	(0.450 ± 0.004) bA	(0.054 ± 0.003) cB
0.24	(0.930 ± 0.001) aA	(0.840 ± 0.001) aA	(0.067 ± 0.001) bB
0(CK)	(0.970 ± 0.002) aA	(0.920 ± 0.001) aA	(0.860 ± 0.001) aA

2.3 蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内谷胱甘肽 S-转移酶活性的影响

由表 3 可知,谷胱甘肽 S-转移酶活性随蓖麻碱浓度增大而降低,不同浓度蓖麻碱处理 24、48 和 72 h,甜菜夜

蛾幼虫体内谷胱甘肽 S-转移酶活性均显著低于对照。相同浓度处理下,随着作用时间延长蓖麻碱对谷胱甘肽 S-转移酶活性的抑制作用也增强,表现为谷胱甘肽 S-转移酶活性降低。但 5 种蓖麻碱浓度处理无显著差异。

表 3 蓖麻碱对甜菜夜蛾幼虫体内谷胱甘肽 S-转移酶活性的影响

Table 3 Effect of ricinine on the activity of GSTs in *Spodoptera exigua* larvae

处理浓度/g · L ⁻¹ Concentration	谷胱甘肽 S-转移酶活性/U · g ⁻¹ Activity of glutathione S-transferase		
	24 h	48 h	72 h
3.80	(1.970 ± 0.188) bA	(0.855 ± 0.144) bB	(0.365 ± 0.234) bC
1.90	(1.990 ± 0.361) bA	(0.991 ± 0.098) bB	(0.620 ± 0.054) bC
0.95	(2.074 ± 0.106) bA	(1.050 ± 0.332) bB	(1.140 ± 0.216) bB
0.48	(2.454 ± 0.120) bA	(1.201 ± 0.106) bB	(1.170 ± 0.083) bB
0.24	(2.977 ± 0.335) bA	(1.495 ± 0.156) bB	(1.190 ± 0.159) bC
0(CK)	(18.580 ± 0.181) aA	(17.820 ± 0.045) aA	(19.550 ± 0.285) aA

3 小结与讨论

昆虫解毒酶系的诱导作用是对内源和外源有毒物质的一种适应。各种外源化合物诱导昆虫的解毒酶系活性,这保证了昆虫在受到化学环境压力作用下迅速作出反应,从而存活下来。昆虫体内解毒酶主要包括各种酯酶(羧酸酯酶、磷酸酯酶等)、谷胱甘肽 S-转移酶及微粒体多功能氧化酶系^[20]。

昆虫体内解毒酶系活性的变化,是昆虫对化学药剂敏感性产生变化的重要原因之一,也是衡量植物抗虫性的重要指标之一^[21]。研究表明,杀虫剂经过渗透、运输、分配到达昆虫体内后,一部分被体内解毒酶转化分解,另一部分到达作用位点杀灭害虫^[22]。谷胱甘肽 S-转移酶、磷酸酯酶是昆虫体内重要的解毒酶系,在对外源化合物的解毒代谢和对杀虫剂的抗性机制中起着重要的作用^[23],解毒酶的活性变化可能改变其对杀虫剂的敏感型^[24]。

刘进进等^[3] 研究报道,蓖麻碱药液对甜菜夜蛾具有优良的毒杀效果,其死亡率与施药时间呈正相关;谢宏峰等^[25] 发现蓖麻叶片粗提物对甜菜夜蛾幼虫在一定浓度范围内具有一定的拒食作用,浓度越大拒食作用越强;并且对甜菜夜蛾幼虫还具有一定胃毒作用,毒杀作用随着粗提物浓度提高而加强。万年峰等^[4] 发现当归和蓖麻提取液亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育和繁殖有一定的抑制作用,且亚致死剂量浓度越大,对甜菜夜蛾生长发育和繁殖影响越大。而在本研究中,甜菜夜蛾幼虫体内谷胱甘肽 S-转移酶和磷酸酯酶活性随蓖麻碱作用时间延长而逐渐下降,这可能是造成甜菜夜蛾在药剂处理后死亡的主要原因。同时,蓖麻碱作用 24 h 对甜菜夜蛾幼虫体内碱性磷酸酯酶的抑制作用不显著,但作用 48 h 和 72 h 对其抑制作用非常显著,这可能是因蓖麻碱到达虫体后,部分被幼虫体内的碱性磷酸酯酶转化分解,但随着蓖麻碱作用时间延长,幼虫体内的碱性磷酸酯酶减少,而大部分蓖麻碱可以到达作用位点,对虫体起到较强的毒杀作用,这也解释了某些杀虫剂对昆虫的毒杀作用与其对昆虫的作用时间呈正比的原因。不同解毒酶分解转化有毒物质的能力有一定差别^[24,26];甜菜夜蛾经 5 种浓度蓖麻碱处理后,其谷胱甘肽 S-转移酶活性都受到显著抑制,而较高浓度处理后其碱性磷酸酯酶活性才受到显著抑制。蓖麻碱处理后甜菜夜蛾体内解毒酶活性的变

化,在一定程度上验证了不同浓度的蓖麻碱药液处理甜菜夜蛾后,随着药液浓度的增加和处理时间的延长,对甜菜夜蛾的生长发育和繁殖影响增大,在达到致死浓度剂量时,其死亡率随着药液浓度的增大和处理时间的延长,死亡率升高。

蓖麻碱浓度对解毒酶活性的影响较大,且其浓度越大对解毒酶活性的抑制能力越强。与清水对照组相比,0.24 和 0.48 g/L 两种浓度处理 24 h 对甜菜夜蛾碱性磷酸酯酶活性无显著影响,但高于这两种浓度处理 24 h 后显著抑制其碱性磷酸酯酶活性。

参考文献

- [1] 化丽丹,杨益众,季香云. 蓖麻提取物的杀虫作用研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(4): 1157-1162.
- [2] 温燕梅,冯亚非,郑明珠. 蓖麻不同部位杀虫活性成分蓖麻碱的提取及含量[J]. 农药, 2008, 47(8): 584-585.
- [3] 刘进进,袁慧慧,王金威,等. 蓖麻不同部位蓖麻碱的含量及其杀虫活性[J]. 农药学报, 2013, 15(2): 239-242.
- [4] 吴雪平,单长卷,包冬娥. 蓖麻碱粗提物对麦蚜的生物活性研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(11): 2450.
- [5] 李久明,雍建平. 蓖麻饼粕活性成分的提取及杀虫活性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 245-246.
- [6] 万年峰,陈晓勤,季香云,等. 当归和蓖麻乙醇提取液对甜菜夜蛾生长发育和繁殖的亚致死效应[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1135-1141.
- [7] 徐齐云,钟国华,胡美英,等. 蓖麻提取物对蔬菜害虫的杀虫活性研究[J]. 长江蔬菜, 2006(11): 35-36.
- [8] 李为争,杨雷,申小卫,等. 金龟甲蓖麻源引诱剂的配方筛选及田间效果评价[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(4): 480-486.
- [9] 司升云,周利琳,王少丽,等. 甜菜夜蛾防控技术研究与示范[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(6): 1432-1438.
- [10] 宋月芹,孙会忠,李涛,等. 不同寄主植物对甜菜夜蛾解毒酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 203-205.
- [11] Gordon H T. Nutritional factors in insect resistance to chemicals [J]. Annual Review of Entomology, 1961, 6: 27-54.
- [12] Yang Xuemei, Margolies DC, Zhu Kunyan, et al. Host plant-induced changes in detoxification enzymes and susceptibility to pesticides in the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2001, 94(2):381-387.
- [13] Ismail F, Wright DJ. Synergism of teflubenzuron and chlorflurazuron in an acylurea resistant field strain of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. Pesticide Science, 1992, 34(3): 221-226.
- [14] Ismail F, Wright DJ. Cross resistance between acylurea insect growth regulators in a strain of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) from Malaysia [J]. Pesticide Science, 1991, 33(3): 359-370.

- [4] Fortuner R, Maggenti A R, Whittaker L M. Morphometrical variability in *Helicotylenchus* Steiner, 1945. 4; Study of field populations of *H. pseudorobustus* and related species [J]. *Revue de Nematologie*, 1984, 7(2): 121 - 135.
- [5] Boag B, Jairajpuri M S. Systematic parasitology [M]. Dordrecht, the Netherlands; Dr W. Junk Publishers, 1985: 47 - 58.
- [6] 谢辉. 植物线虫分类学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 85, 209 - 218.
- [7] 徐玉梅, 赵增旗, 王建明, 等. 山西省新记录 *Helicotylenchus indicus* 记述[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2013(6): 517 - 519.
- [8] Kashi L, Karegar A. Description of *Helicotylenchus persiaensis* sp. n. (Nematoda: Hoplolaimidae) from Iran [J]. *Zootaxa*, 2014, 3785(4): 575 - 588.
- [9] Uzma I, Nasira K, Firoza K, et al. Review of the genus *Helicotylenchus* Steiner, 1945 (Nematoda: Hoplolaimidae) with updated diagnostic compendium [J]. *Pakistan Journal of Nematology*, 2015, 33(2): 115 - 160.
- [10] 刘维志. 植物线虫志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 179 - 245.
- [11] 杨文霞, 杨宝君. 中国线虫名录[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 218, 167.
- [12] Sasser J N. Plant-parasitic nematodes; The farmer's hidden enemy [M]. Department of Plant Pathology, North Carolina State University, Raleigh, USA, the Consortium for International Crop Protection, 1989: 115.
- [13] Jones R K. Nematodes associated with bananas in South Africa [J]. *Phytophylactica*, 1979, 11: 79 - 81.
- [14] Firoza K, Maqbool M. Numerical threshold for infection of the spiral nematode, *Helicotylenchus dihystra* (Cobb, 1893) Sher, 1961 on brinjal, tomato and wheat [J]. *Pakistan Journal of Nematology*, 1995, 13(2): 93 - 97.
- [15] 彭玉梅, 崔鲜一. 草坪草主要地下虫害的发生及综合防治[J]. 四川草原, 1996, 10(2): 42 - 44.
- [16] Brown D J F, Boag B. An examination of methods used to extract virus-vector nematodes (Nematoda: Longidoridae and Trichodoridae) from soil samples [J]. *Nematologia Mediterranea*, 1989, 16: 93 - 99.
- [17] 刘维志. 植物线虫学研究技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995.
- [18] Cobb N. Antarctic marine free-living nematodes of the shakelton expedition; Contributions to a science of nematology [M]. Baltimore, 1914.
- [19] Filipjev I N. The classification of the free living Nematodes and their relation to the parasitic Nematodes [M]. Smithsonian Miscellaneous Collection, Washington, 1934, 89(6): 1 - 63.
- [20] 刘永涛, 刘月静, 王文鹏, 等. 云南文山地区烟草根际外寄生线虫种类鉴定[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2012, 27(4): 490 - 496.
- [21] Siddiqi M R. *Helicotylenchus mucronatus* n. sp. and *H. tunisiensis* n. sp. (Nematoda: Hoplolaimidae) [J]. *Nematologica*, 1963, 9(3): 386 - 390.
- [22] 滕文凤, 谈家金, 叶建仁. 南京地区园林植物根际土壤纽带科线虫种类调查[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2013, 37(3): 83 - 84.
- [23] Padhi N N, Das S N. Observation of *Helicotylenchus abumamai* in host tissue [J]. *Nematologia Mediterranea*, 1985, 13: 115 - 116.
- [24] Micoletzky H. Ergebnisse einer botanischen Reise nach Deutsch Ostafrika und Sudafrica (Kapland, Natal und Rhodesien) Süßwasser-Nematoden aus Sudafrica [M]. *Denkschriften der kais. Akademie. der Wissenschaften, Wien, Math. Naturw. Klasse*, 1916, 92: 149 - 171.
- [25] Maqbool M A. Classification and distribution of plant parasitic nematodes in Pakistan [M]. National Nematological Research Centre, University of Karachi, Karachi, Pakistan, 1986: 58.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 84 页)

- [15] 周利琳, 司升云, 汪钟信, 等. 甜菜夜蛾对虫酰肼抗性的生化机制[J]. *昆虫学报*, 2009, 52(4): 386 - 394.
- [16] 李秀岚, 李友莲. 红蓼拒食活性组分的分离及其对小菜蛾幼虫代谢酶活性的影响[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(19): 231 - 235.
- [17] 曹挥, 王有年, 刘素琪, 等. 地肤子提取物对山楂叶螨体内几种酶活性的影响[J]. *林业科学*, 2008, 44(8): 62 - 63.
- [18] Bessey O A, Lowry O H, Brock M. A method for the rapid determination of alkaline phosphatase with five cubic millimeters of serum [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1964, 164(1): 321 - 329.
- [19] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72: 248 - 254.
- [20] 张晓燕. 高温对几种菜田昆虫乙酰胆碱酯酶及解毒酶系活性影响的研[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [21] 李云寿, 罗万春, 赵善欢. 取食不同寄主植物的小菜蛾酯酶同工酶的研究[J]. *山东农业大学学报*, 1997, 27(2): 147 - 151.
- [22] 鄢杰明, 钟华, 孙俊鑫, 等. 多杀菌素对舞毒蛾幼虫解毒酶活性的影响[J]. *林业科学*, 2012, 48(9): 82 - 86.
- [23] 王建军, 戴志一, 杨益众. 寄主植物对棉铃虫体内解毒酶活性的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2000, 21(2): 58 - 61.
- [24] 尹显慧, 吴青君, 李学锋, 等. 多杀菌素亚致死浓度对小菜蛾解毒酶系活力的影响[J]. *农药学报*, 2008, 10(1): 28 - 34.
- [25] 谢宏峰, 迟玉成, 徐曼琳, 等. 蓖麻叶片粗提物对甜菜夜蛾幼虫的影响[J]. *广东农业科学*, 2012, 21: 99 - 100.
- [26] 刘玉坤, 王渭霞, 傅强, 等. 寄主植物对 3 种稻飞虱解毒酶和保护酶活性的影响[J]. *中国水稻科学*, 2011, 25(6): 659 - 666.

(责任编辑: 田 喆)