



吴道慧, 彭孝琴, 张鹏英, 黄禹禹, 齐国君, 陈婷, 陈国华, 张晓明, 柳青. 紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1305–1314.

紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响

吴道慧¹, 彭孝琴^{1*}, 张鹏英¹, 黄禹禹¹, 齐国君², 陈婷²,
陈国华¹, 张晓明^{1**}, 柳青^{3**}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201; 2. 广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640; 3. 保山学院资源环境学院, 云南保山 678000)

摘要: 为明确紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响, 在实验室条件下分别利用 4 个不同稀释浓度 (20 倍、15 倍、10 倍、5 倍) 的紫茎泽兰粗提物处理玉米叶片后喂养草地贪夜蛾初孵幼虫, 记录各虫态的发育历期、存活率、重量、成虫寿命以及后代性比、F₂ 代卵孵化率、F₂ 代卵的发育历期。结果表明, 随着紫茎泽兰粗提物浓度的升高, 草地贪夜蛾各虫态的发育历期延长, 5 倍稀释液处理下蛹的发育历期最长, 达 20.27 d, 10 倍稀释液处理下幼虫的发育历期最长, 为 21.46 d; 随着处理浓度的增加, 各虫态的重量逐渐降低, 且存活率呈下降趋势, 其中粗提物对蛹存活率的影响最大, 对 1~3 龄幼虫存活率的影响较小; 随着处理浓度的升高成虫的寿命均缩短, 且雌成虫寿命长于雄成虫; 随着处理浓度的升高, 草地贪夜蛾的产卵前期和 F₂ 代卵发育历期延长, 产卵期缩短; 单雌产卵量、后代性比和卵的孵化率降低。紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾的生长发育及繁殖均造成消极影响。5 倍稀释液对草地贪夜蛾的生长发育及繁殖的影响最显著, 可作为草地贪夜蛾防治研究中的重要植物源杀虫剂材料。

关键词: 草地贪夜蛾; 紫茎泽兰; 粗提物; 生长发育; 繁殖

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 06-1305-09

Effects of *Eupatorium adenophorum* extract on growth, development and reproduction of *Spodoptera exigua*

WU Dao-Hui¹, PENG Xiao-Qin^{1*}, ZHANG Peng-Ying¹, HUANG Yu-Yu¹, QI Guo-Jun², CHEN Ting², CHEN Guo-Hua¹, ZHANG Xiao-Ming^{1**}, LIU Qing^{3**} (1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, Kunming 650201, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. School of Resources and Environment, Baoshan University, Baoshan 678000, Yunnan Province, China)

Abstract: In order to know the influence of extracts from *Eupatorium adenophorum* to the growth, development and reproduction of *Spodoptera frugiperda*, the crude extracts of *E. adenophorum* were diluted

基金项目: 云南省高校滇西昆虫资源保护与利用重点实验室建设项目 (云教发 [2019] 57 号); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020223004); 国家重点研发计划 (2017YFC1200600)

作者简介: 吴道慧, 女, 实验师, 主要从事害虫综合治理研究, E-mail: 459687634@qq.com

* 共同第一作者: 彭孝琴, 女, 在读硕士研究生, 主要从事资源利用与植物保护研究, E-mail: 2310218255@qq.com

** 通讯作者: 张晓明, 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为入侵生物学与生态学, E-mail: zxmalex@126.com; 柳青, 副教授, 博士, 主要研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: liuqinggc065@126.com

收稿日期 Received: 2020-07-15; 接受日期 Accepted: 2020-10-10

to four different concentrations (20-fold, 15-fold, 10-fold, 5-fold) to treat maize leaves before feeding *S. frugiperda* under laboratory conditions. Afterwards, the instar larvae and pupae development period, survival rate, weight, adult longevity, offspring sex ratio, F_2 generation egg hatchability, and developmental period of F_2 generation egg were investigated and recorded in this study. The results showed that the developmental period of larvae and pupae of each instar were prolonged with the increase of extract concentration. The pupae held the longest developmental duration under the 5-fold concentration and its duration was reached to 20.27 d, while the larvae had the longest developmental duration and its duration was reached to 21.46 d under 10-fold concentration treatment. The weight of larvae and pupae of each instar decreased with the increase of the treatment concentration, and the survival rate of each developmental stage showed a downward trend. The crude extract had the greatest effect on the survival rate of pupae, and had the least effect on the survival rate of the 1st ~ 3rd instar larvae than other stage. The adult longevity was shortened, and the longevity of female adults was longer than that of male adults with the increase of treatment concentration. With the increase of treatment concentration, preoviposition duration and the developmental period of F_2 generation eggs of the *S. frugiperda* were prolonged. Meanwhile, oviposition duration was shortened, single female oviposition, sex ratio, and the hatching rate of F_2 generation eggs were reduced. Overall, the extract of *E. adenophorum* had negative effects on the growth, development and reproduction of *S. frugiperda*. It was found that the extract of 5-fold concentration had the most significant effect on the growth, development and reproduction *S. frugiperda*, it could be used as an important botanical insecticide to control *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; *Eupatorium adenophorum*; extracts; growth and development; reproduction

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 隶属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 起源于美洲热带和亚热带, 2019 年 1 月侵入云南后, 在全国包括云南、四川、贵州、河北、山西等在内的 26 个省(市、区)迅速扩散开来 (Sparks, 1979; Prasanna *et al.*, 2018; 吴秋琳等, 2019)。由于该虫取食量大、繁殖能力强、迁飞力强, 已经成为了一种国际性的重大农业害虫 (葛世帅等, 2019; 赵胜园等, 2019)。草地贪夜蛾是一种多食性害虫, 寄主植物多达 80 多种, 主要取食禾本科的玉米、水稻、高粱、小麦, 甘蔗等, 同时也会危害茄科的茄子、烟草、辣椒以及菊科的天竺葵、康乃馨等。草地贪夜蛾的为害方式主要为幼虫取食叶片, 危害初期叶片呈窗纱状, 严重时种苗和幼小植物的茎直接被切断, 农作物的产量严重下降, 造成巨大的经济损失, 对粮食安全造成了巨大的影响 (Montenegro *et al.*, 2018; 王磊等, 2019)。据报道, 2017 年草地贪夜蛾使非洲 12 个国家玉米减产了 830 万 ~ 2 060 万吨 (Prasanna *et al.*, 2018); 2019 年该虫使我国范围内约 106.5 万 hm^2 的玉米受到不同程度的危害 (姜玉英等, 2019)。

在不采取任何防治措施的情况下, 草地贪夜蛾对我国玉米的潜在经济损失总量可达 375.68 亿 ~ 3 283.45 亿元 (秦誉嘉等, 2020)。目前防治草地贪夜蛾的方法主要以化学防治为主, 防治药剂多为氨基甲酸酯类及有机磷类杀虫剂, 长期使用该类药剂极易使草地贪夜蛾产生抗药性, 影响其防治效果, 增加防治难度, 所以急需寻找新的途径进行草地贪夜蛾的综合防治 (吴超等, 2019; 吴益东等, 2019)。利用植物次生代谢产物防治害虫已是当今社会研究的热点, 如山豆根 *Euchresta japonica* 和苦参 *Sophora flavescens* 的次生代谢物苦参碱、氧化苦参碱和山奈酚对舞毒蛾 *Lymantria dispar* 有很强的毒杀和拒食作用 (王亚军等, 2018)。银杏 *Ginkgo biloba* 的次生代谢物类黄酮对棉花红蜘蛛具有一定的防治效果 (Zhang *et al.*, 1993)。这说明植物的次生代谢产物对鳞翅目类在内的重要农业害虫具有潜在控制能力, 可指导草地贪夜蛾的绿色防控。

紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* 是一种世界性入侵杂草, 隶属于菊科 Asteraceae 泽兰属 *Eupatorium*, 为多年生草本植物, 原产于墨西哥、

哥斯达黎加等地,迄今,紫茎泽兰在热带、亚热带的 30 多个国家和地区都有分布,在我国主要分布于云南、贵州、四川、重庆、广西、西藏及台湾等省(市、区)(强胜,1998;刘朦等,2020)。有研究表明,紫茎泽兰内含有多种杀菌及杀虫活性物质(Ma *et al.*, 2012);如赵春富等(2012)的研究表明紫茎泽兰提取物对禾谷镰刀病和大豆炭疽病有一定的防治效果;李丽萍(2010)的研究发现紫茎泽兰 75% 乙醇提取物对番茄青枯菌有一定的抑制作用。这些研究均为新型植物源杀菌剂的研究奠定了一定的基础。近年来对紫茎泽兰提取物的研究有从植物病害转向有害昆虫的趋势。有研究表明紫茎泽兰提取物对菜粉蝶 *Pieris rapae*、美国白蛾 *Hyphantria cunea*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、桃蚜 *Myzus persicae* 等均有一定的防治效果,可作为潜在的杀虫剂使用(周天雄等,2003;范立鹏等,2010;孙藜玮等,2012;吴迪等,2012)。基于此,本研究选取了不同浓度的紫茎泽兰粗提物,系统地研究了其对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响,以期对重大入侵害虫草地贪夜蛾的绿色防控以及紫茎泽兰的综合利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

草地贪夜蛾采自云南省文山州丘北县玉米田中,将其带回实验室,在温度 $28 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 16 L:8 D 的养虫室中进行饲养。

紫茎泽兰采自云南农业大学校园后山农场。采取新鲜的完整功能叶,将其洗净并风干叶表水分后用原汁机(型号 NF-7620 (DR),上海恩电贸有限公司)榨取叶片汁液(每次 20 g 叶片,加水 400 mL),将紫茎泽兰原汁用清水分别稀释为 20 倍、15 倍、10 倍、5 倍 4 个浓度倍数的水溶液备用,以清水作为对照,每个处理设置 3 次重复。

玉米品种为郑单 958,经催芽后播种于花盆中,在温室中种植,玉米发芽及生长过程中不施用农药和化肥,待幼苗长出 6~7 片新叶时用于试验。

1.2 试验方法

剪取种植的新鲜玉米叶片,并将叶片剪成长

10 cm,宽 3 cm 的条状,分别放入不同浓度的紫茎泽兰粗提物中浸泡 1 s 后取出,晾干叶片表面水分后备用。试验参照洗继东(2002)等的方法,用软毛笔将 F_1 代初孵的健康活泼的幼虫接入塑料平底离心管内,每管 1 头草地贪夜蛾初孵幼虫,每个浓度倍数的紫茎泽兰粗提物测试 30 管,共 450 管。分别将处理好的备用玉米叶放入装有幼虫的离心管内,再将离心管放入人工气候箱内饲养,每天定时(上午 10:00 点)观察草地贪夜蛾的取食情况,及时更换新鲜玉米叶片,清除粪便及残留垃圾,记录体重、死亡率、化蛹率、羽化率等相关数据,直至羽化为成虫。

将刚羽化的健康成虫,按雌雄比为 1:1 配对投放到有机玻璃养虫箱(40 cm × 40 cm × 40 cm)中饲养,并在养虫箱内放入 5%~10% 蜂蜜水,以供成虫补充营养,每 1~2 d 定时观察,及时换入新鲜的蜂蜜水,记录产卵期、产卵量及雌雄成虫的寿命等数据。每天检查成虫所产的卵块数量,及时取出放到保湿的玻璃培养皿(直径 12 cm)内饲养,再将处理好的培养皿放入人工气候箱。记录统计 F_2 代卵发育历期和孵化率等。

1.3 计算公式

草地贪夜蛾某虫态的发育历期(d) = (Σ 存活的某虫态草地贪夜蛾的发育历期) / 某虫态草地贪夜蛾存活数量(范秀娟等,2014)。

1.4 数据处理

采用 SPSS 24.0 对幼虫和蛹的发育历期、存活率、重量、成虫寿命、 F_2 代卵孵化率以及 F_2 代卵的历期进行单因素方差分析(One Way ANOVA),并使用 Duncan 氏多重比较法在 $P < 0.05$ 水平下进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同浓度紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾幼虫和蛹态发育历期的影响

随着紫茎泽兰粗提物浓度的增加各虫态的发育历期延长,且各处理浓度之间存在显著差异(图 1);幼虫期在 10 倍稀释液条件下的发育历期最长,为 21.46 d,显著长于对照组的 13.28 d ($F_{4,10} = 7.89$, $P = 0.004$),在幼虫期间 6 龄幼虫的发育历期最长;不同处理浓度对草地贪夜蛾预

蛹期影响较小 ($F_{4,10} = 27.52$, $P = 0.000$); 5 倍稀释液条件下蛹的发育历期最长, 达到了 20.27 d, 显著长于对照的 8.05 d ($F_{4,10} = 1020.01$, $P = 0.000$)。综合草地贪夜蛾幼虫和蛹在紫茎泽兰粗提物作用下的发育历期可以得出, 随着处理浓度的升高草地贪夜蛾各幼虫和蛹的发育历期延长。

2.2 不同浓度紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾幼虫和蛹体重的影响

同一龄期的草地贪夜蛾经不同浓度紫茎泽兰粗提物处理后, 体重随着紫茎泽兰粗提物浓度的增加而降低; 随着紫茎泽兰粗提物浓度的增加,

5 龄幼虫重量在 15 倍和 10 倍处出现先减少后增加的趋势 ($F_{4,10} = 785.64$, $P = 0.000$); 在不同浓度处理下, 6 龄幼虫的重量均高于蛹期的重量 ($F_{4,10} = 1651.68$, $P = 0.004$)。在同一浓度处理后, 随着幼虫的生长其重量在不断增加, 4 龄幼虫与 5 龄幼虫之间的体重增长幅度在 15 倍稀释液条件下最小, 体重增长 0.029 g, 显著低于对照的 0.130 g ($F_{4,10} = 1837.02$, $P = 0.000$); 10 倍稀释液条件下, 6 龄幼虫的体重相比 5 龄幼虫反而降低 ($F_{4,10} = 50.18$, $P = 0.000$) (图 2)。综上, 紫茎泽兰粗提物会降低草地贪夜蛾幼虫和蛹的重量。

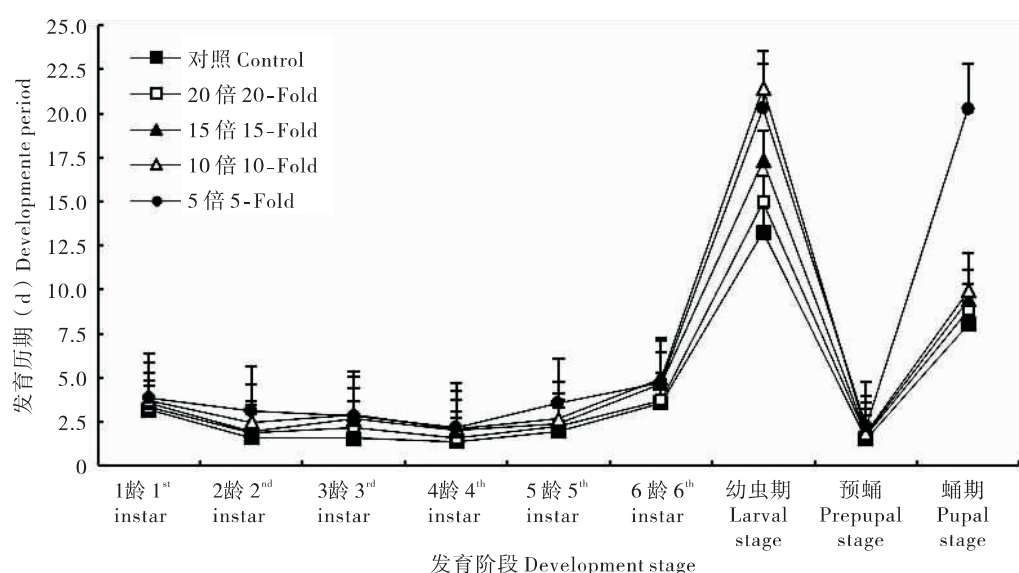


图 1 不同浓度紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾幼虫和蛹发育历期的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of *Eupatorium adenophorum* extracts on developmental larval and pupal stages to *Spodoptera exigua*

注: 图中数据为平均值 + 标准误。Note: The data in the figure is mean + SE.

2.3 不同浓度紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾幼虫和蛹存活率的影响

经 20 倍、15 倍、10 倍、5 倍紫茎泽兰粗提物处理后的玉米叶片喂养草地贪夜蛾初孵幼虫后记录各龄期幼虫及蛹的存活率后发现, 其存活率之间存在显著差异 (表 1)。随着紫茎泽兰粗提物浓度的增加, 4~6 龄幼虫的存活率降低, 且 5 倍稀释液下幼虫存活率最低, 4 龄、5 龄、6 龄幼虫在 5 倍稀释液条件下的存活率分别为 75.67%、63.33%、44.33%, 显著低于对照的 94.33%、92.00%、91.33% (4 龄幼虫: $F_{4,10} = 12.55$, $P = 0.001$; 5 龄幼虫: $F_{4,10} = 7.17$, $P = 0.005$; 6 龄幼虫: $F_{4,10} = 13.736$, $P = 0.001$); 紫茎泽兰粗提

物对 1~3 龄幼虫存活率的影响不显著 (1 龄幼虫: $F_{4,10} = 1.09$, $P = 0.411$; 2 龄幼虫: $F_{4,10} = 2.27$, $P = 0.137$; 3 龄幼虫: $F_{4,10} = 2.78$, $P = 0.086$); 在相同浓度下, 随着草地贪夜蛾的生长发育, 存活率呈现递减趋势, 紫茎泽兰粗提物对蛹存活率的影响较大, 15 倍稀释液处理后蛹的存活率较对照明显下降 ($F_{4,10} = 25.041$, $P = 0.000$)。综合不同稀释倍数的紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾幼虫和蛹存活率的结果, 表明随着紫茎泽兰粗提物浓度的增加, 幼虫和蛹的存活率呈现下降趋势, 紫茎泽兰粗提物对 1~3 龄幼虫存活率的影响较小, 对蛹存活率的影响最大。

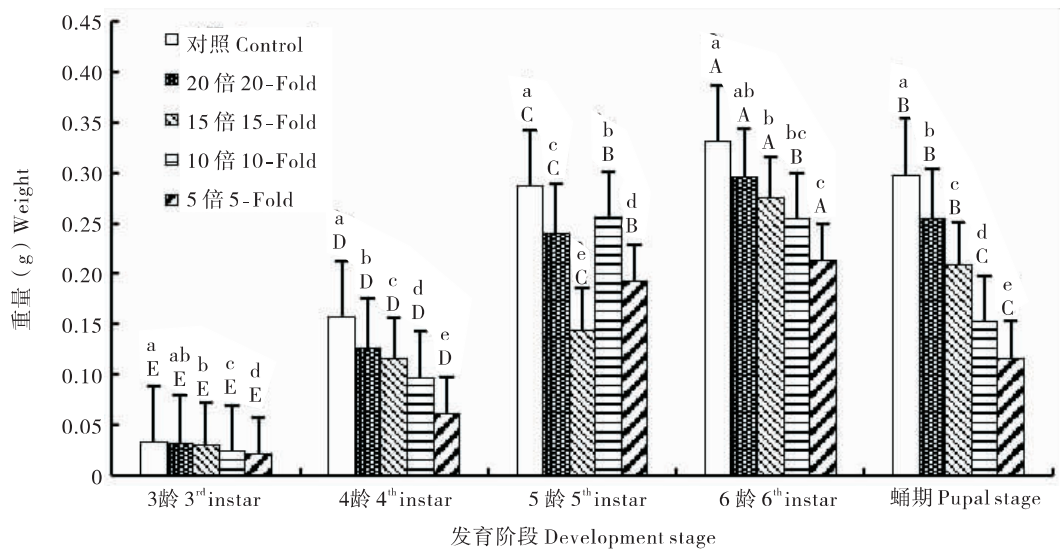


图2 不同浓度紫茎泽兰粗提取物处理后草地贪夜蛾幼虫和蛹的重量

Fig.2 Weight of larvae and pupae of *Spodoptera frugiperda* after extracts treatment with different concentration
注: 图中数据为平均值 + 标准误, 图上不同小写字母表示同一龄期不同浓度处理后差异显著, 不同大写字母表示经过 Duncan's 检测 ($P < 0.05$) 后同一浓度处理后不同龄期间差异显著。Note: Data in the figure are mean + SE. Different lowercase letters indicate significant difference after treatment at different concentrations in the same age period, and different uppercase letters indicate significant difference after treatment at different ages at the same concentration period by Duncan's test ($P < 0.05$) .

表1 不同浓度紫茎泽兰粗提取物处理后草地贪夜蛾幼虫和蛹的存活率

Table 1 Survival rate of larvae and pupae of *Spodoptera frugiperda* after extracts treatment with different concentration

稀释倍数 Dilution multiple	存活率 (%) Survival rate						蛹期 Pupal stage
	1 龄幼虫 1 st instar	2 龄幼虫 2 nd instar	3 龄幼虫 3 rd instar	4 龄幼虫 4 th instar	5 龄幼虫 5 th instar	6 龄幼虫 6 th instar	
	1 st instar	2 nd instar	3 rd instar	4 th instar	5 th instar	6 th instar	
对照 Control	100.0 ± 0.00 a	98.00 ± 0.01 a	95.67 ± 0.01 a	94.33 ± 0.01 a	92.00 ± 0.01 a	91.33 ± 0.03 a	95.67 ± 0.01 a
20 倍 20-fold	98.00 ± 0.01 a	97.00 ± 0.01 ab	96.67 ± 0.02 a	92.00 ± 0.01 a	88.00 ± 0.01 a	86.67 ± 0.02 a	94.33 ± 0.03 a
15 倍 15-fold	99.00 ± 0.01 a	98.00 ± 0.01 a	95.67 ± 0.01 a	83.33 ± 0.02 b	73.33 ± 0.02 b	87.67 ± 0.08 a	61.33 ± 0.03 b
10 倍 10-fold	98.00 ± 0.01 a	95.67 ± 0.01 ab	94.33 ± 0.01 ab	80.00 ± 0.04 bc	71.00 ± 0.06 b	63.33 ± 0.07 b	57.67 ± 0.08 b
5 倍 5-fold	96.67 ± 0.02 a	94.33 ± 0.01 b	90.00 ± 0.02 b	75.67 ± 0.01 c	63.33 ± 0.08 b	44.33 ± 0.04 c	50.00 ± 0.03 b

注: 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列不同小写字母表示经过 Duncan's 检测后同一龄期不同浓度间显著性差异 ($P < 0.05$)。表2和表3同。Note: The data in the table are mean ± SE, and different lowercase letters in the column indicate significant differences between different concentrations in the same instar by Duncan's test ($P < 0.05$) . Same to Table 2 and Table 3.

2.4 不同浓度紫茎泽兰粗提取物对草地贪夜蛾成虫繁殖力的影响

紫茎泽兰粗提取物浓度与草地贪夜蛾成虫产卵前期、产卵期、单雌产卵量及后代性比都有较大影响, 分别在紫茎泽兰提取物稀释倍数为20倍、15倍、10倍、5倍条件下对草地贪夜蛾初孵幼虫进行处理, 各浓度处理与产卵前期之间具有显著差异 ($F_{4,10} = 37.13, P = 0.000$)。随着处理浓度

的升高产卵前期延长, 其中5倍稀释条件下的产卵前期最长, 为5.33 d, 对照条件下最短, 为3.27 d; 各浓度处理与产卵期之间存在显著差异 ($F_{4,10} = 93.22, P = 0.000$), 在5倍稀释条件下的产卵期最短, 为2.15 d, 对照条件下最长, 为5.22 d; 随着处理浓度的升高, 单雌产卵量降低, 在对照条件下最多为186.19粒, 5倍条件下最少为92.202粒 ($F_{4,10} = 110.863, P = 0.000$); 后代

性比也随着处理浓度的增加而降低。综上，紫茎泽兰粗提物浓度对草地贪夜蛾的繁殖力有显著影响，随着处理浓度的升高，草地贪夜蛾的产卵前

期延长、产卵期缩短、单雌产卵量降低、后代性比降低（表 2）。

表 2 不同浓度紫茎泽兰粗提物处理后草地贪夜蛾成虫的繁殖力

Table 2 Reproductive capacity of adults of *Spodoptera frugiperda* treated with different concentrations of *Eupatorium adenophorum*

稀释倍数 Dilution multiple	繁殖力参数 Parameters of fecundity			
	产卵前期 (d)	产卵期 (d)	单雌产卵量 (粒)	性比
	Preoviposition duration	Oviposition duration	Single female oviposition	Sex ratio
对照 Control	3.27 ± 0.07 c	5.22 ± 0.17 a	186.19 ± 0.55 a	1.42 : 1
20 倍 20-fold	3.50 ± 0.08 c	4.14 ± 0.06 b	170.02 ± 3.50 b	1.20 : 1
15 倍 15-fold	4.48 ± 0.05 b	2.95 ± 0.21 c	146.51 ± 4.96 c	1.14 : 1
10 倍 10-fold	5.10 ± 0.05 a	2.66 ± 0.09 c	124.84 ± 2.76 d	0.85 : 1
5 倍 5-fold	5.33 ± 0.32 a	2.15 ± 0.04 d	92.202 ± 4.17 e	0.63 : 1

2.5 不同浓度紫茎泽兰粗提物对成虫寿命的影响

紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾成虫寿命有很大影响，经紫茎叶泽兰粗提物 20 倍、15 倍、10 倍、5 倍稀释液分别对草地贪夜蛾初孵幼虫进行处理后，随着处理浓度的升高，成虫的寿命均缩短，草地贪夜蛾雌、雄成虫寿命之间均存在显著差异，5 倍稀释液条件下雌成虫寿命为 5.64 d，显著低于对照的 10.37 d ($F_{4,10} = 70.44$, $P = 0.000$)；5 倍稀释液条件下雄成虫寿命最短为 5.40 d，显著低于对照的 8.45 d ($F_{4,10} = 673.63$, $P = 0.000$)，雌成虫的寿命高于雄成虫（图 3）。

2.6 不同浓度紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾 F_2 代卵的影响

紫茎泽兰粗提物浓度对 F_2 代卵发育历期和孵化率均有显著的影响（表 3）。 F_2 代卵发育历期随紫茎泽兰粗提物浓度的升高而增长，其中 5 倍稀释液处理后 F_2 代的卵历期最长为 4.33 d，显著长于对照的卵历期 2.56 d ($F_{4,10} = 26.64$, $P = 0.000$)； F_2 代卵的孵化率随紫茎泽兰粗提物浓度的升高呈现下降趋势，且不同稀释倍数的紫茎泽兰粗提物均与对照存在显著差异，5 倍稀释液下的卵孵化率最低为 69.44%，显著低于对照的 96.52% ($F_{4,10} = 85517.6$, $P = 0.000$)。紫茎泽兰粗提物浓度对草地贪夜蛾 F_2 代卵发育历期和孵化率有消极的影响，随着处理浓度的增加，草地贪夜蛾 F_2 代卵发育历期延长，卵的孵化率降低。

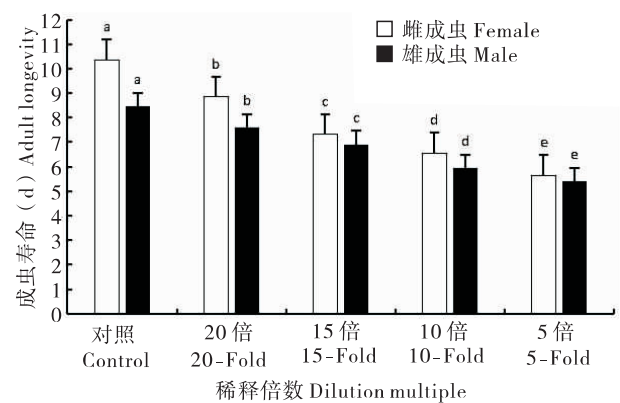


图 3 不同浓度紫茎泽兰粗提物处理后草地贪夜蛾成虫寿命比较

Fig. 3 Comparison of adult longevity of *Spodoptera frugiperda* treated with different concentrations of *Eupatorium adenophorum*

注：图中数据为平均值 ± 标准误，不同小写字母表示经过 Duncan's 检测后同一性别不同浓度之间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: The data in the figure are mean ± SE, and different lowercase letters indicate significant differences between different concentrations of the same sex after Duncan's test ($P < 0.05$) .

3 结论与讨论

目前我国农业害虫大多数采用的是化学药剂防治，这让害虫产生抗药性的同时还对环境造成了污染，破坏了生态平衡。由于植物源杀虫剂具有低毒高效、选择性高、不易产生抗性、对非靶标生物安全等特点，已经成为了当前新型农药研究的热点（Yinet *al.* , 2016）。

表 3 不同浓度紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾 F₂ 代卵影响

Table 3 Effect of different concentrations *Eupatorium adenophorum* to F₂ eggs of *Spodoptera frugiperda*

稀释倍数 Dilution multiple	F ₂ 代卵参数 F ₂ generation egg parameter	
	卵历期 (d) The development of egg	卵孵化率 (%) Egg hatchability
对照 Control	2.56 ± 0.03 c	96.53 ± 0.02 a
20 倍 20-fold	2.82 ± 0.05 c	93.22 ± 0.03 b
15 倍 15-fold	3.64 ± 0.20 b	85.87 ± 0.04 c
10 倍 10-fold	4.21 ± 0.13 a	78.62 ± 0.05 d
5 倍 5-fold	4.33 ± 0.24 a	69.44 ± 0.04 e

紫茎泽兰作为一种外来入侵物种, 对我国的粮食安全和生态安全造成了严重的影响, 有研究表明紫茎泽兰提取物的生物活性成分具有驱杀农业害虫和动物寄生虫的作用 (李小艳和王思芦, 2016)。王一丁等 (2002) 和华劲松等 (2014) 研究表明紫茎泽兰提取液对棉蚜 *Aphis gossypii*、烟草小地老虎 *Agrotis ypsilon* 有较强的灭杀活性; 程丽坤等 (2007) 研究表明紫茎泽兰提取液对美洲大蠊 *Periplaneta americana* 和米蛾 *Corcyra cephalonica* 有很强的忌避作用; 同时, 刘燕萍等 (2004) 和农向 (2013) 的研究证明了紫茎泽兰提取物对动物寄生螨和农业害螨虫均具有较好的毒杀效果。因此本文系统地研究了紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响, 其结果表明, 紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾的生长发育及繁殖均有消极影响, 这与紫茎泽兰提取物对棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、玉米象 *Sitophilus zeamais*、绿豆象 *Uchus chinensis*、米象 *Sitophilus oryzae*、蚕豆象 *Bruchus rufimanu* 等害虫的研究结果相似 (李云寿等, 2001; 程丽坤等, 2017)。本试验中紫茎泽兰粗提物对草地贪夜蛾各虫态发育历期的影响不同, 6 龄幼虫的发育历期长于其它幼虫, 出现这种现象原因可能是老熟幼虫需要为化蛹提供物质及能量基础, 导致取食量增加、生长发育所需的时间延长。草地贪夜蛾的重量随着处理浓度的升高而减少。程丽坤等 (2007) 在紫茎泽兰乙醇提取物对棉铃虫幼虫生长发育的影响研究中发现, 随着紫茎泽兰乙醇提取物浓度的增加, 棉铃虫各虫态的体重减少; 同时王云梅等 (2016) 研究也表明了, 在相同时间内紫茎泽兰提取物浓度增加, 粘虫 *Mythimna separata* 的体重减少, 体重增长率降低; 本研究的结果表明 10 倍稀释液条件下处理 5 龄幼虫, 其重量出现增加的趋势, 但仍然低于对照组的重量, 说明紫茎泽兰粗提物处理草地贪夜蛾幼

虫和蛹后会使幼虫和蛹的体重降低。随着紫茎泽兰粗提物浓度的增加, 幼虫和蛹的存活率呈现下降趋势。谢雯颖和杨晓娜 (2018) 研究表明随着紫茎泽兰乙醇提取物浓度的增加, 甘蓝蚜 *Lipaphis erysimi* 成虫的校正死亡率增加。在鸡皮刺螨 *Dermanyssus gallina* 杀灭活性的研究中发现, 在相同处理时间内, 鸡皮刺螨的存活率随着甲醇提取物浓度的升高而降低 (蒋蜀, 2018); 这些研究结果均与本文研究相类似, 说明紫茎泽兰粗提物能降低草地贪夜蛾幼虫和蛹的存活率。紫茎泽兰粗提物对 1~3 龄幼虫的影响较小, 引起这种现象的原因可能是草地贪夜蛾幼虫在低龄期取食量相对较小, 因而在其体内积累的紫茎泽兰活性物质含量较低, 对其产生的毒害作用较小; 随着处理浓度的升高, 草地贪夜蛾成虫的产卵前期延长、产卵期缩短、单雌产卵量降低、后代性比降低。王尹等 (2018) 的研究表明斜纹夜蛾取食紫茎泽兰叶片后导致成虫产卵期延长, 单雌产卵量下降, 并对其性比产生一定影响, 研究结果与本文一致, 说明紫茎泽兰粗提物对紫茎泽兰成虫的繁殖有着消极的作用。随着处理浓度的升高成虫的寿命均缩短, 雌成虫的寿命高于雄成虫, 这是自然界中普遍存在的现象, 是昆虫为了繁殖后代雌性个体相对与雄性个体进化出来的一项优越性对策 (Ralls, 1976)。随着处理浓度的增加, 草地贪夜蛾 F₂ 代卵的发育历期延长、孵化率降低, 其中对照条件下卵发育历期较其他处理短、卵孵化率高于其他处理。已有研究结果表明紫茎泽兰提取物处理棉铃虫后卵的孵化率随着处理浓度的增加而降低 (程丽坤等, 2007)。同时, 赵平等 (2010) 的研究表明恒温条件下紫茎泽兰提取液对马圆线虫虫卵的孵化具有抑制作用, 也说明紫茎泽兰粗提物不仅仅对草地贪夜蛾的 F₁ 代有着消极的影响, 并且该影响可以影响至 F₂ 代。

总的来说,紫茎泽兰提取物对草地贪夜蛾具有一定的毒杀作用,表明紫茎泽兰可作为一种潜在的植物源杀虫剂而被开发利用,这为草地贪夜蛾的生物防治提供了理论基础,紫茎泽兰粗提物处理后草地贪夜蛾体内的生理活性物质的变化还有待于进一步研究。

致谢: 感谢云南农业大学李铤博士帮忙修改本文的英文部分。

参考文献 (References)

- Cheng LK, Liu XX, Zhang QW, *et al.* Expellent activity of the extract from *Eupatorium adenophorum* against *Periplaneta americana* and *Corcyra cephalonica* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (4): 538–541. [程丽坤, 刘小侠, 张青文, 等. 紫茎泽兰提取物对美洲大蠊和米蛾的忌避活性 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (4): 538–541]
- Cheng LK, Liu XX, Zhang QW, *et al.* Effect of ethanol extract of *Eupatorium adenophorum* Spreng on growth, development and reproduction of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (3): 304–308. [程丽坤, 刘小侠, 张青文, 等. 紫茎泽兰乙醇提取物对棉铃虫生长发育和繁殖力的影响 [J]. 昆虫学报, 2007, 50 (3): 304–308]
- Fan LP, Wang ZG, Bi YG, *et al.* Bioassay of the ethanol extracts of *Eupatorium adenophorum* against larvae of *Hyphantria cunea* [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2010, 33 (3): 97–99. [范立鹏, 王志刚, 毕拥国, 等. 紫茎泽兰乙醇提取物对美国白蛾幼虫的生物活性测定 [J]. 河北农业大学学报, 2010, 33 (3): 97–99]
- Fan XJ, Chen D, Sun ZJ, *et al.* Effects of brief exposure to high temperatures on the development, reproduction and feeding behavior of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (10): 1188–1197. [范秀娟, 陈丹, 孙志娟, 等. 短时高温对烟蚜生长发育、繁殖和取食行为的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (10): 1188–1197]
- Ge SS, He LM, He W, *et al.* Determination on moth flight capacity of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 28–33. [葛世帅, 何莉梅, 和伟, 等. 草地贪夜蛾的飞行能力测定 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 28–33]
- Hua JS, Wang HQ, Li Y, *et al.* Efficacy of *Eupatorium adenophorum* against black cutworm of tobacco in laboratory toxicity and field experiments [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2014, 11: 78–79. [华劲松, 王华强, 李艳, 等. 紫茎泽兰对烟草小地老虎的室内毒力及田间防效试验 [J]. 安徽农学通报, 2014, 11: 78–79]
- Iván JM, Soledad DC, Georgina NDN, *et al.* Antifeedant effect of polygodial and drimenol derivatives against *Spodoptera frugiperda* and *Epilachna paenulata* and quantitative structure-activity analysis [J]. *Pest Management Science*, 2018, 74 (7): 1623–1629.
- Jiang S. Optimization of Preparation for Methanol Extraction of *Eupatorium adenophorum* Spreng and its Acaricidal Activity on *Dermanyssus gallinae* [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University Master Thesis, 2018. [蒋蜀. 紫茎泽兰甲醇提取物制备条件优化及其对鸡皮刺螨杀灭活性的评价 [D]. 成都: 四川农业大学硕士论文, 2018]
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, *et al.* Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019 [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (6): 10–19. [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测 [J]. 2019, 植物保护, 45 (6): 10–19]
- Li LP. Study on Antibacterial Effect and Mechanism of *Eupatorium adenophorum* Spreng Extract Against Bacteria [D]. Beijing: Beijing Forestry University Master Thesis, 2010. [李丽萍. 紫茎泽兰提取物对细菌的抑制作用及抑菌机理的研究 [D]. 北京: 北京林业大学硕士论文, 2010]
- Li XY, Wang SL. Research progress on chemical constituents and application of *Eupatorium adenophorum* Spreng [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2013, 41 (18): 38–39. [李小艳, 王思芦. 紫茎泽兰的化学成分及应用研究进展 [J]. 广州化工, 2016, 41 (18): 38–39]
- Li YS, Zou HY, Wang LX, *et al.* Insecticidal activity of extracts from *Eupatorium adenophorum* against four stored grain insects [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2001, 38 (3): 214–216. [李云寿, 邹华英, 汪禄祥, 等. 紫茎泽兰提取物对四种储粮害虫的杀虫活性 [J]. 昆虫知识, 2001, 38 (3): 214–216]
- Liu M, Wang Q, Lu YW, *et al.* Inhibition effect of *Eupatorium adenophorum* extracts on pathogens of tomato diseases [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48 (5): 784–788. [刘朦, 王琦, 鲁一薇, 等. 紫茎泽兰提取物对番茄病害致病菌的抑制作用 [J]. 山西农业科学, 2020, 48 (5): 784–788]
- Liu YP, Gao P, Pan WG, *et al.* Effect of several plant extracts on *Tetranychus* and *Panonychus* [J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2004, 41 (1): 212–215. [刘燕萍, 高平, 潘为高, 等. 紫茎泽兰等几种植物提取物对两种农业害螨的毒力作用研究 [J]. 四川大学学报 (自然科学版), 2004, 41 (1): 212–215]
- Ma J, Xing G, Yang W, *et al.* Inhibitory effects of leachate from *Eupatorium adenophorum* on germination and growth of *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium glaucum* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (1): 50–56.
- Nong X. Study on the Acaricidal Effect and Activity Ingredients of *Eupatorium adenophorum* Extracts Against Animal Ectoparasitic Mites [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University Doctor Thesis, 2013. [农向. 紫茎泽兰提取物对动物寄生螨类的杀灭效果及杀虫活性成分研究 [D]. 成都: 四川农业大学博士论文, 2013]
- Prasanna B, Huesing J, Eddy R. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management [M]. Mexico, CDMX: CIMMYT. 2018: 1–109.
- Qiang S. The history and status of the study on crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1998, 16 (4): 366–372. [强胜. 世界性恶性杂草——紫茎泽兰研究的历史及现状 [J]. 武汉植物学研究, 1998, 16 (4): 366–372]
- Qin YJ, Yang DC, Kang DL, *et al.* Potential economic loss assessment

- of maize industry caused by fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (1): 69–73. [秦誉嘉, 杨冬才, 康德琳, 等. 草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失评估 [J]. 植物保护, 2020, 46 (1): 69–73]
- Ralls K. Mammals in which females are larger than males [J]. *The Quarterly Review of Biology*, 1976, 51 (2): 245–276.
- Sparks AN. A review of the biology of the fall armyworm [J]. *The Florida Entomologist*, 1979, 62 (2): 82–86.
- Sun LW, Qi DM, Tan X. Primary study on the anti-feeding actions of crude extractions from *Eupatorium Adenophorum* against *Prodenia litura* [J]. *Journal of Anyang Normal University*, 2012, 2: 25–28. [孙黎玮, 亓东明, 谭晓. 紫茎泽兰粗提物对斜纹夜蛾拒食活性初探 [J]. 安阳师范学院学报, 2012, 2: 25–28]
- Wan Y, Li S, Jiang LN, et al. Effects of *Ageratina adenophora* on the growth and adult fecundity of *Spodoptera litura* [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2018, 33 (5): 836–841. [王尹, 李胜, 姜丽娜, 等. 取食紫茎泽兰对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2018, 33 (5): 836–841.]
- Wang L, Chen KW, Zhong GH, et al. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 479–487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 479–487]
- Wang YD, Gao P, Zheng Y, et al. The toxicities of the extracts from *Eupatorium adenophorum* against *Aphis gossypii* and their aphid-killing mechanism [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2002, 29 (4): 337–340. [王一丁, 高平, 郑勇, 等. 紫茎泽兰提取物对棉蚜的毒力及其灭蚜机理研究 [J]. 植物保护学报, 2002, 29 (4): 337–340]
- Wang YJ, Zou CS, Yang J, et al. Effects of three plant secondary metabolites on growth and development of *Lymantria dispar* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2018, 40 (2): 145–151. [王亚军, 邹传山, 杨璟, 等. 3种植物次生代谢物质对舞毒蛾生长发育的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40 (2): 145–151]
- Wang YM, Fu LH, Huang XF, et al. Contact toxicity of extracts of *Eupatorium adenophorum* against armyworm [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32 (2): 61–67. [王云梅, 付立会, 黄修芬, 等. 紫茎泽兰提取物对粘虫触杀作用研究初探 [J]. 中国农学通报, 2016, 32 (2): 61–67]
- Wu C, Zhang L, Liao CY, et al. Research progress of resistance mechanism and management techniques of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to insecticides and Bt crops [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2019, 46 (3): 503–513. [吴超, 张磊, 廖重宇, 等. 草地贪夜蛾对化学农药和 Bt 作物的抗性机制及其治理技术研究进展 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (03): 503–513]
- Wu D, Zhao LR, Zhang YW. Homicidal poisoning effect of crude extract from 4 different plants including *Eupatorium adenophorum* on *Myzus persicae* [J]. *Anhui Agricultural Science*, 2012, 40 (10): 5931–5931. [吴迪, 赵丽荣, 张有为. 紫茎泽兰等 4 种植物粗提物对桃蚜的毒杀效果 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (10): 5931–5931]
- Wu QL, Jiang YY, Hu G, et al. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (3): 1–9. [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 等. 中国热带和亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析 [J]. 植物保护, 2019, 45 (3): 1–9.]
- Wu YD, Shen HW, Zhang Z, et al. Current status of insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* and counter measures to prevent its development [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 599–604. [吴益东, 沈慧雯, 张正, 等. 草地贪夜蛾抗药性概况及其治理对策 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 599–604]
- Xian JD, Zhan GX, Zeng L, et al. Effects of plant ethanol extract on the parasitic natural enemies of *Liriomyza sativae* (Blanchard) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2002, 24 (1): 1–6. [洗继东, 詹根祥, 曾玲, 等. 植物乙醇提取物对美洲斑潜蝇寄生性天敌的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2002, 24 (1): 1–6]
- Xie WY, Yang XN. Contact poisoning of two ethanol extracts from plants on Cabbage Aphid [J]. *Agricultural Technology and Equipment*, 2018, 9: 4–5. [谢雯颖, 杨晓娜. 两种植物乙醇提取物对甘蓝蚜的触杀作用 [J]. 农业技术与装备, 2018, 9: 4–5]
- Yin YX, Liu H, He LF. Research advances and prospects of botanical ingredients to control housefly *Musca domestica* [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2016, 27 (3): 311–313.
- Zhang JF, Sun JZ, Wu ZB, et al. Identification of cotton varieties resistant to cannme spider mite and exploration of resistance mechanism [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1993, 20 (2): 155–161.
- Zhao CF, Wang YY, Liu RH, et al. Inhibition effect of *Eupatorium adenophorum* extract on two kinds of plant pathogenic fungi [J]. *Hubei Agricultural Science*, 2012, 51 (6): 1133–1135. [赵春富, 王永阳, 刘瑞华, 等. 紫茎泽兰提取液对两种植物病原真菌的抑制作用研究 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51 (6): 1133–1135]
- Zhao P, Wang RQ, Yang XQ, et al. Incubation of *Angioteneworm* eggs in *Eupatorium adenophorum* flower and leaf extract at constant temperature [J]. *Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2010, 31 (11): 2–3. [赵平, 王荣琼, 杨晓乾, 等. 恒温条件下紫茎泽兰花、叶提取液对马圆线虫虫卵的孵化试验 [J]. 山东畜牧兽医, 2010, 31 (11): 2–3]
- Zhao SY, Yang XM, He Wet al. Ovarian development gradation and reproduction potential prediction in *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (6): 28–34. [赵胜园, 杨现明, 和伟, 等. 草地贪夜蛾卵巢发育分级与繁殖潜力预测方法 [J]. 植物保护, 2019, 45 (6): 28–34]
- Zhou TX, Yang ML, Gu F. Antifeeding activity determination of *Eupatorium adenophorum* extracts on *Pieris rapae* larvae [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2003, 18 (3): 259–263. [周天雄, 杨美林, 顾芳. 紫茎泽兰提取物对小菜粉蝶幼虫的拒食活性测定 [J]. 云南农业大学学报, 2003, 18 (3): 259–263]