



吴梅, 韩瑞, 周典, 刘燕, 肖春. 丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择及幼虫的忌避作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 500–506.

丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择及幼虫的忌避作用研究

吴梅^{1,2}, 韩瑞¹, 周典¹, 刘燕¹, 肖春^{1*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南中医药大学中药学院, 昆明 650500)

摘要: 为探讨丹皮酚对马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* (Zeller) 行为的影响, 采用室内生物测定法, 研究了丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择及初孵幼虫、老熟幼虫的忌避作用。结果表明, 丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵、初孵幼虫、老熟幼虫均有显著忌避作用: 选择性产卵实验中, 5 mg/mL 丹皮酚溶液的忌避指数为 -0.63; 非选择性产卵实验中, 5 mg/mL 和 1 mg/mL 丹皮酚溶液的产卵忌避率分别为 -89.0% 和 -46.6%, 且前者对马铃薯块茎蛾产卵有抑制作用; 5 mg/mL 及 1 mg/mL 丹皮酚溶液对马铃薯块茎蛾初孵幼虫均有极显著忌避作用, 5 mg/mL 丹皮酚溶液的忌避作用在 0.5 h 内可保持 100% 的忌避率, 之后随时间延长而逐渐减弱; 丹皮酚: 沙 (1 mg: 2 g) 对马铃薯块茎蛾老熟幼虫有显著忌避作用。本研究为丹皮酚作为一种有潜力的植物源忌避剂用于马铃薯仓储期马铃薯块茎蛾虫害的防治提供理论依据。

关键词: 丹皮酚; 牡丹皮; 马铃薯块茎蛾; 产卵选择; 忌避

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 02-0500-07

Deterrent effect of paeonol on oviposition choice and larvae *Phthorimaea operculella* (Zeller)

WU Mei^{1,2}, HAN Rui¹, ZHOU Dian¹, LIU Yan¹, XIAO Chun^{1*} (1. Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Pharmaceutical Science, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China)

Abstract: To investigate behavioral effect of paeonol on *Phthorimaea operculella* (Zeller), deterrent effect of paeonol on oviposition choice and larvae *P. operculella* were studied with bioassay methods in the laboratory. The results indicated that paeonol has significant deterrent effect on the oviposition, neogenetic larvae and mature larvae *P. operculella*. In the dual-choice oviposition test, oviposition deterrent index of 5 mg/mL paeonol solution was -0.63; in the no-choice oviposition test, deterrent rate were -89.0% and -46.6% of 5 mg/mL and 1 mg/mL paeonol solution respectively, and the former also inhibited oviposition of *P. operculella*; 5 mg/mL and 1 mg/mL paeonol solution had significant deterrent effect on the neogenetic larvae, 5 mg/mL paeonol solution could maintain 100% deterrent rate within 0.5 h, and then decreased with time; paeonol: sand (1 mg: 2 g) had significant deterrent effect on the mature larvae. This experiment provides a theoretical basis for paeonol as a promising botanical deterrent in the *P. operculella* pest control during potato storage.

Key words: Paeonol; tree peony bark; *Phthorimaea operculella*; oviposition choice; deterrent effect

基金项目: 国家自然科学基金 (31560607)

作者简介: 吴梅, 女, 1975 年生, 云南宾川人, 在读博士, 讲师, 研究方向为昆虫行为与化学生态, E-mail: km_wumei@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 肖春, 博士, 教授, E-mail: x.chun@163.com

收稿日期 Received: 2020-07-03; 接受日期 Accepted: 2020-09-01

马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* (Zeller) 为鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae 昆虫, 寡食性, 主要为害马铃薯、烟草等茄科植物。该虫害在世界各地蔓延迅速, 在我国已由云南、贵州等西南地区向西北、华南扩散, 且有为害蔓延加重之势, 已成为马铃薯主要害虫之一 (陆庆光和曹骥, 1983; Trivedi and Rajagopal, 1992; 朱国庆等, 2003; Kwon *et al.*, 2017; 徐进等, 2019)。马铃薯块茎蛾的幼虫在田间蛀食马铃薯新鲜植株而导致减产, 或是在仓储期蛀食马铃薯块茎, 导致马铃薯不能食用或无法销售而造成巨大的经济损失。马铃薯是主粮亦是蔬菜, 在贮藏期间, 安全、有效防治马铃薯块茎蛾虫害对保障马铃薯仓储安全及食用安全十分重要 (Upamanya *et al.*, 2014; Ibrahim, 2015)。

对蛾类害虫综合防治中的 “Push-Pull” 和 “Attract-Kill” 策略, 是通过行为调控方式控制害虫种群密度, 以减轻害虫的发生和为害, 这是一种绿色、有效的害虫防治方法 (Cook *et al.*, 2007; 陆宴辉等, 2008; Kroschel and Zegarra, 2013)。研究人员通过马铃薯块茎蛾信息素, 如性信息素、幼虫粪挥发物, 或是从其寄主或非寄主挥发物中寻找具有显著引诱或忌避作用的化学物质, 阐释调节其行为的化学机制, 以期运用于马铃薯块茎蛾虫害综合防治中 (Ma *et al.*, 2013, 2016; 王春娅等, 2018; Zhang *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020)。

牡丹皮是一味具有芳香气味的常用中药, 来源于毛茛科植物牡丹 *Paeonia suffruticosa* Andr. 的干燥根皮 (国家药典委员会, 2015)。牡丹皮在贮存过程中不会发生虫蛀, 人们还利用它来保护其它药材, 如与泽泻分层存放, 可使泽泻免受虫害 (王疏梅, 1998)。根据上述现象, 推断其挥发物中含有防虫的活性成分, 而丹皮酚是牡丹皮挥发物中的主要成分 (武子敬和兰兰, 2011)。有关丹皮酚在害虫防治领域的研究报道还很少, 夏传国等 (1999, 2000) 报道了丹皮酚对仓储害虫药材甲 *Stegobium paniceum* L. 具有熏蒸、触杀及忌避作用; Xu *et al.* (2003) 测试了丹皮酚对家蝇 *Musca domestica* 的胃毒作用; Tak *et al.* (2006) 报道了丹皮酚有显著的杀螨虫作用。目前尚无丹皮酚对马铃薯块茎蛾防治作用的相关报道。

本试验通过研究丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择及初孵幼虫、老熟幼虫的忌避作用, 为

其作为一种有潜力的植物源忌避剂用于马铃薯仓储期马铃薯块茎蛾虫害的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

马铃薯块茎蛾室内饲养方法参考刘燕等 (2016)。成虫放入养虫盒中, 喂以 10% 蜂蜜水, 盒子顶端开口封 24 目纱网, 上置滤纸, 作为产卵场所并便于虫卵的收集。待卵孵化后, 将初孵幼虫接种在新鲜马铃薯上 (品种为 “合作 88”), 饲养密度为 20 头/马铃薯 (130 ± 2 g), 将感染幼虫的马铃薯放入事先铺有细沙的养虫笼中, 老熟幼虫会从马铃薯中爬出, 钻入沙中化蛹, 直至成虫羽化。养虫室条件为: $27 \pm 2^\circ\text{C}$, RH 50% ~ 70%, L:D = 14:10。

1.2 实验方法

1.2.1 丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择的影响

选择性产卵实验: 参考 Anfora *et al.* (2014)、马艳粉等 (2016) 的方法, 并作一些调整。取大小相近的马铃薯 (90 ± 10 g/个) 备用。将丹皮酚 (paenol, >99%, 武汉远程共创科技有限公司) 溶解于丙酮中, 稀释成系列浓度 (5、1、0.2、0.04 或 0.008 mg/mL)。吸取 200 μL 丹皮酚溶液滴于滤纸上, 室温挥发 5 min 后, 将滤纸放入装有一个马铃薯的玻璃瓶 (6 cm $\times$ 10 cm) 中; 另一个装有马铃薯的玻璃瓶中则放入只滴加溶剂的滤纸作为对照。玻璃瓶口覆上双层纱布, 作为马铃薯块茎蛾的产卵场所, 用塑料盖盖上并拧紧 (盖子事先沿边缘 0.5 cm 处去掉顶面), 既可露出纱布, 满足瓶内物质的气味通过纱布向外挥发, 又可固定纱布。将瓶盖外多余的纱布剪掉, 用 Parafilm 封口。将两个玻璃瓶沿对角线放入长方形容容器 (36 cm $\times$ 28 cm $\times$ 14 cm) 中, 接入 8 对已交配成虫 (1 日龄), 喂以 10% 蜂蜜水, 容器用纱网 (24 目) 覆盖。将容器放入暗室中 ($26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 50% ~ 70%), 第 3 天在显微镜下统计纱布上的落卵量, 计算选择性产卵忌避指数。每个处理重复 5 次。

非选择性产卵实验: 基本方法同上, 在容器中放入 2 个装有马铃薯以及滴有丹皮酚溶液滤纸的玻璃瓶, 另一个容器中则放入 2 个装有马铃薯以及仅滴有溶剂滤纸的玻璃瓶, 作为对照。第

3 天在显微镜下统计纱布上的落卵量,同时统计容器壁上的落卵量(吴梅等,2017),计算总落卵量及非选择性产卵忌避率。每个处理重复 5 次。

1.2.2 丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫的忌避作用

参考 Wang *et al.* (2006) 的方法,并有一些调整。将丹皮酚溶解于丙酮中,稀释成系列浓度(5、1、0.2、0.04 或 0.008 mg/mL)。取一张滤纸(φ 7 cm),用皮带冲在其中中心打下圆形滤纸片(φ 1 cm),再将滤纸裁成两半。将一半滤纸浸入丹皮酚溶液中,另一半则浸入丙酮溶液中作为对照,5 s 后取出,室温挥发 5 min 后,将两半滤纸用双面胶带重新粘合在一起,再将事先打下的圆形滤纸片(φ 1 cm)放回原位。将整张滤纸放在玻璃培养皿(φ 7 cm)中,用一圆环压在滤纸边缘,圆环底边涂抹凡士林以防幼虫爬出。将 10 头初孵幼虫(<6 h)接在中心圆形滤纸片上,放入暗室中($26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 50% ~ 70%),10 min 后取出,记录处理与对照滤纸上的幼虫数。每个处理重复 5 次。

为测试丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫忌避作用的持续时间,根据上述实验结果,选取 5 mg/mL 丹皮酚溶液作为测试浓度。取一张滤纸(φ 9 cm),裁去中心直径为 6 cm 的圆形,剩下部分浸入丹皮酚溶液中,5 s 后取出,室温挥发 5 min 后,放在玻璃培养皿(φ 9 cm)中,再将一张空白滤纸(φ 7 cm)粘在上面。将 10 头初孵幼虫(<6 h)接在空白滤纸上,放入暗室中($26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 50% ~ 70%),每隔 0.5 h 记录仍留在空白滤纸上的幼虫数,并清除已爬出空白滤纸的幼虫,计算幼虫忌避率。每个处理重复 5 次。

1.2.3 丹皮酚对马铃薯块茎蛾老熟幼虫的忌避作用

老熟幼虫从马铃薯中爬出后,喜欢钻入沙中化蛹,筛取当天爬出的老熟幼虫备用。将丹皮酚溶解于丙酮中,稀释成系列浓度(25、5、1、0.2 或 0.04 mg/mL)。取 10 g 细沙,滴加 200 μL 丹皮酚溶液,混匀,细沙中只滴加 200 μL 丙酮溶液作为对照,室温挥发 10 min,将处理组和对照组细沙分别铺在长方形容器的两侧,容器底面高 1 cm 处放一具网孔的塑料板(2 mm),塑料板中央放一内壁光滑的塑料圆环(2 cm $\times$ 2 cm),将 10 头老熟幼虫接在圆环中,老熟幼虫自行从孔中钻入到

容器底部,寻找合适场所化蛹。容器用保鲜膜封口,并用昆虫针在保鲜膜上均匀戳孔。将容器放入暗室中($26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 50% ~ 70%),24 h 后取出,记录两侧沙中幼虫及蛹的数量,处于空白地带的幼虫或蛹视为无效。每个处理重复 5 次。

1.2.4 模拟仓贮实验

模拟仓贮实验参考 Anfora *et al.* (2014) 的方法,并有一些调整。实验在体积为 7.5 m³ 的房间(长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = 2.1 m $\times$ 1.7 m $\times$ 2.1 m)中进行,条件为: $26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 50% ~ 70%, L:D = 14:10。实验开始前,整个房间经过清洗并通风 1 周,将通风口及门封以防虫纱网。房间中放 3 个木箱(32 cm $\times$ 32 cm $\times$ 32 cm),呈三角形摆放,相距约 1 m。在一铁丝网中央及四角分别悬挂一张滤纸,将 1 g 丹皮酚溶解在丙酮中,平均滴加在滤纸上,室温下挥发 5 min 后,将铁丝网架在木箱中,滤纸在铁丝网下面,距箱底约 5 cm。另一个房间同样摆放 3 个架有铁丝网的木箱,滤纸上仅滴加溶剂作为对照。将 18 kg 健康马铃薯(90 ± 10 g/个)平均分成 6 份,分别放在上述 6 个木箱中的铁丝网上,每箱约 3 kg 马铃薯(33 个)。往房间中接入 25 对已交配成虫(1 日龄),将门关紧,15 d 后检查马铃薯被马铃薯块茎蛾幼虫侵染情况,计算马铃薯受损率。

1.3 统计分析

选择性产卵忌避指数(oviposition deterrent index, ODI)按下列公式计算(Sinthusiri and Soonwera, 2014):

$$\text{ODI} = \frac{\text{落卵量(处理)} - \text{落卵量(对照)}}{\text{落卵量(处理)} + \text{落卵量(对照)}}$$
ODI 范围是 $-1.0 \sim +1.0$,若 $\text{ODI} \leq -0.3$,表明具有产卵忌避作用, $\text{ODI} \geq +0.3$,表明具有产卵引诱作用, $\text{ODI} = -0.3 \sim +0.3$,表明对产卵无影响。

非选择性产卵实验及模拟仓贮实验采用独立样本 *t* 检验分析处理与对照组间的显著性差异。非选择性产卵忌避率按下列公式计算(吕朝军等, 2015): 非选择性产卵忌避率(%) = $\frac{\text{落卵量(处理)} - \text{落卵量(对照)}}{\text{落卵量(对照)}} \times 100$ 。马铃薯受损率按下列公式计算(Anfora *et al.*, 2014):

$$\text{马铃薯受损率}(\%) = \frac{\text{被幼虫侵染的马铃薯个数}}{\text{马铃薯总个数}} \times 100$$

采用 χ^2 检验分析丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫及老熟幼虫行为影响实验中处理与对照组间的显著性差异(Wang *et al.*, 2006)。幼虫忌避率

按下列公式计算:

幼虫忌避率 (%) = 空白滤纸上的幼虫数 / 总虫量 × 100。

以上数据均使用 SPSS 17.0 统计分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择的影响

丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫有显著产卵忌避作用。在选择性产卵实验中, 5 mg/mL 丹皮酚溶

液对马铃薯块茎蛾的产卵忌避指数为 -0.63, 有显著产卵忌避作用; 当浓度降低至 1 mg/mL 以下, 对马铃薯块茎蛾的产卵选择无影响。在非选择性产卵忌避实验中, 5 mg/mL 丹皮酚溶液处理与对照纱布上的落卵量有极显著差异 ($t = 11.2, P < 0.01$); 1 mg/mL 浓度下, 处理与对照纱布上的落卵量仍有极显著差异 ($t = 4.8, P < 0.01$); 产卵忌避率分别为 -89.0% 和 -46.6%。5 mg/mL 丹皮酚溶液处理与对照间总落卵量有极显著差异 ($t = 4.7, P < 0.01$), 表明丹皮酚对马铃薯块茎蛾产卵有抑制作用。(表 1、表 2)。

表 1 选择性产卵实验中丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵行为的影响
Table 1 Dual-choice oviposition deterrent of paeonol on *Phthorimaea operculella*

浓度 (mg/mL) Concentration	平均落卵量 (粒) (n=5) Average eggs laid		产卵忌避指数 Oviposition deterrent index (ODI)
	处理 Treatment	对照 Control	
0.008	158.8 ± 18.2	122.2 ± 29.0	0.12 ± 0.10
0.04	180.6 ± 28.4	178.0 ± 23.7	0.00 ± 0.15
0.2	126.6 ± 4.4	130.6 ± 11.8	-0.01 ± 0.05
1	192.0 ± 12.2	164.0 ± 12.3	0.08 ± 0.05
5	54.4 ± 8.8	249.0 ± 34.0	-0.63 ± 0.06

注: 表中数据为 5 次重复平均值 ± 标准误。下表同。Note: Data in the table were mean ± SE (n=5). Same to table 2.

表 2 非选择性产卵实验中丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵行为的影响
Table 2 No-choice oviposition deterrent of paeonol on *Phthorimaea operculella*

浓度 (mg/mL) Concentration	纱布上落卵量 (粒) Eggs laid on gauze		总落卵量 (粒) Eggs laid in total	
	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control
0.008	295.2 ± 31.1	330.2 ± 40.4	399.4 ± 27.2	458.8 ± 23.3
0.04	365.8 ± 28.7	330.2 ± 40.4	422.2 ± 23.8	458.8 ± 23.3
0.2	220.2 ± 23.3	174.0 ± 24.1	398.8 ± 32.0	341.2 ± 14.9
1	148.2 ± 22.6 **	277.6 ± 15.1	362.2 ± 13.6	427.8 ± 29.6
5	30.6 ± 16.2 **	277.6 ± 15.1	267.0 ± 17.1 **	427.8 ± 29.6

注: 标有 ** 表示处理与对照之间落卵量差异极显著 ($P < 0.01$)。Note: Data followed by ** meant eggs laid between treatment and control were significantly different at 0.01 level ($P < 0.01$).

2.2 丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫的忌避作用

丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫有显著忌避作用。5 mg/mL 丹皮酚溶液对马铃薯块茎蛾初孵幼虫有极显著忌避作用 ($\chi^2 = 45.3, P < 0.01$); 浓度降低至 1 mg/mL 时, 仍保持极显著忌避作用 ($\chi^2 = 34.4, P < 0.01$); 浓度降低至 0.2 mg/mL 以下, 处理与对照之间未显示出显著差异。5 mg/mL 丹皮酚溶液对马铃薯块茎蛾初孵幼虫的忌避作用在 0.5 h 内可保持 100% 的忌避率, 至 1 h, 忌避率

降低至 85% 左右, 之后忌避作用快速降低, 1.5 h 时忌避率已降低至 50% 以下。

2.3 丹皮酚对马铃薯块茎蛾老熟幼虫的忌避作用

丹皮酚对马铃薯块茎蛾老熟幼虫有显著忌避作用。丹皮酚: 沙 (1 mg: 2 g) 浓度下, 处理与对照之间有显著差异 ($\chi^2 = 12.8, P < 0.05$)。浓度降低至丹皮酚: 沙 (1 mg: 10 g) 以下, 处理与对照之间未显示出显著差异。(图 3)。

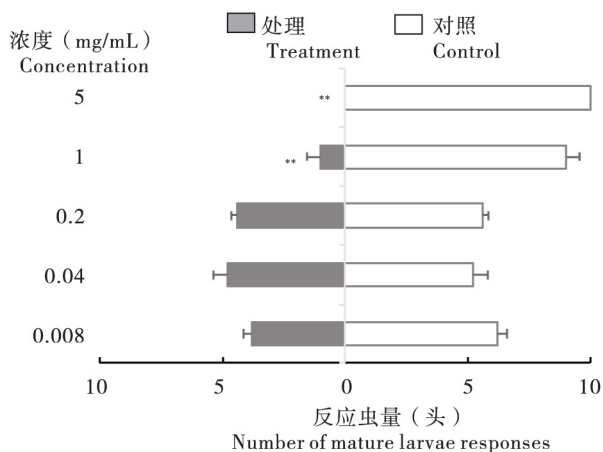


图1 丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫的忌避作用

Fig. 1 Deterrent effect of paeonol on neogenetic larvae *Phthorimaea operculella*

注: ** 表示处理与对照之间差异极显著 $P < 0.01$ (χ^2 检验)。Note: ** indicated significantly different at 0.01 level ($P < 0.01$) between treatment and control (χ^2 test).

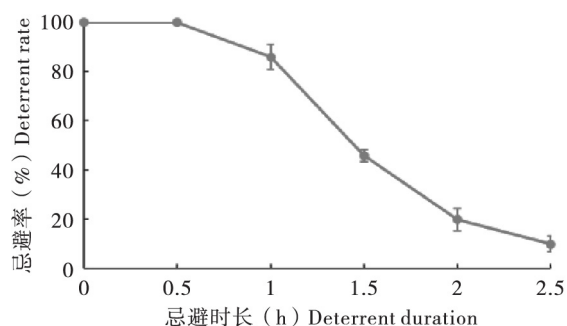


图2 丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫的忌避时长

Fig. 2 Deterrent duration of paeonol on neogenetic larvae *Phthorimaea operculella*

2.4 模拟仓贮实验

对照组马铃薯的受损率为 80.8%，而处理组为 23.2%，两者具有极显著差异 ($t = 12.7$; $df = 4$; $P < 0.01$)，丹皮酚可有效保护马铃薯免受马铃薯块茎蛾为害 (图4)。

3 结论与讨论

植物在与植食性昆虫长期共同进化过程中，形成了以次生代谢产物为主的化学防御体系，其中植物挥发性成分是该体系重要的组成之一 (Rajendran and Sriranjini, 2008; Campolo *et al.*, 2018)。非寄主植物释放的挥发性物质往往含有忌避或干扰昆虫行为的化学物质，即使是能被昆虫识别并准确定位的寄主植物挥发物中也可能含有

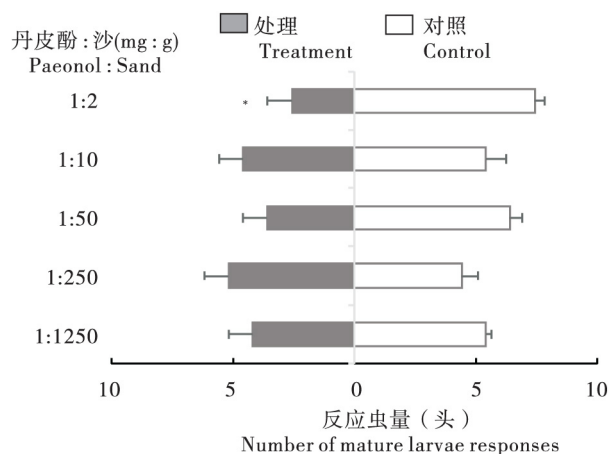


图3 丹皮酚对马铃薯块茎蛾老熟幼虫的忌避作用

Fig. 3 Deterrent effect of paeonol on mature larvae *Phthorimaea operculella*

注: * 表示处理与对照之间差异显著 $P < 0.05$ (χ^2 检验)。Note: * indicated significantly different at 0.05 level ($P < 0.05$) between treatment and control (χ^2 test).

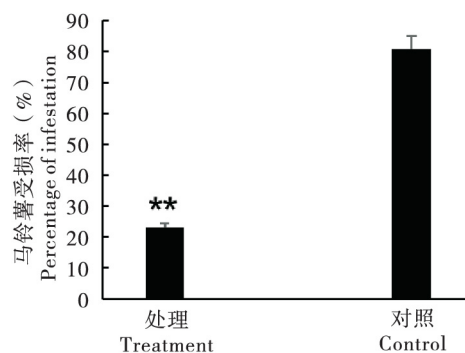


图4 模拟仓贮实验马铃薯受损率

Fig. 4 Percentage of potato tubers damaged by *Phthorimaea operculella* in the warehouse experiment

注: ** 表示处理与对照之间差异极显著 $P < 0.01$ (t 检验)。Note: ** indicated significantly different at 0.01 level ($P < 0.01$) between treatment and control (t test).

此类物质 (Anfora *et al.*, 2014)。马铃薯块茎蛾雌虫选择产卵场所时能根据寄主挥发物区分完整马铃薯和机械损伤的马铃薯，雌虫选择将卵直接产在完整马铃薯上，更有利于幼虫的取食和生存 (Arab *et al.*, 2007)。本研究利用纱布作为马铃薯块茎蛾雌虫产卵的场所，消除了触觉、视觉等的干扰因素，测试了丹皮酚蒸汽对其产卵选择的影响，结果表明，丹皮酚对马铃薯块茎蛾产卵有显著忌避作用，而且高浓度丹皮酚对雌虫产卵有抑制作用，这意味着丹皮酚会干扰马铃薯块茎蛾对产卵场所的选择，减少直接产在寄主马铃薯上的卵量，同时减少总产卵量。马铃薯块茎蛾在仓库

环境下一年可发生多个世代, 存在不同虫态交叠的情况, 故本研究同时考察了丹皮酚对马铃薯块茎蛾初孵幼虫及老熟幼虫的忌避作用, 结果表明丹皮酚对上述两种虫态均有显著忌避作用。模拟仓贮实验验证了丹皮酚对马铃薯的保护作用, 结果表明在丹皮酚蒸汽的保护下, 马铃薯的受损率由 80.8% 降低至 23.2%。

应用“Push-Pull”策略防治马铃薯块茎蛾虫害, 需要“忌避剂”与“引诱剂”的配合才能更好的发挥防治作用, 丹皮酚与已知“引诱剂”的组合研究尚未开展; 此外, 丹皮酚的忌避作用与其浓度直接相关, 植物挥发物具有对哺乳动物毒性低、易降解、残留低等优点, 但其应用受到沸点高、蒸气压低等物理性质的限制 (Rajendran and Sriranjini, 2008), 如何保持丹皮酚有效的熏蒸浓度及忌避时长? 该问题的解决还需今后开展其制剂相关研究。

丹皮酚对马铃薯块茎蛾雌虫产卵选择及幼虫均具有显著忌避作用, 是马铃薯仓贮期马铃薯块茎蛾虫害防治的又一有潜力的植物源忌避剂, 进一步拓宽了丹皮酚在虫害防治领域的应用。

参考文献 (References)

- Anfora G, Vitagliano S, Larsson MC, *et al.* Disruption of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) oviposition by the application of host plant volatiles [J]. *Pest management science*, 2014, 70 (4): 628–635.
- Arab A, Trigo JR, Lourenço AL, *et al.* Differential attractiveness of potato tuber volatiles to *Phthorimaea operculella* (Gelechiidae) and the predator *Orius insidiosus* (Anthocoridae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2007, 33: 1845–1855.
- Campolo O, Giunti G, Russo A, *et al.* Essential oils in stored product insect pest control [J]. *Journal of Food Quality*, 2018: 1–18.
- Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of The People's Republic of China 2015 (I) [S]. Beijing: China Medical Science Press, 2015, 172.
- [国家药典委员会. 中国药典 2015 (第一部) [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 172]
- Cook SM, Khan ZR, Pickett JA. The use of push – pull strategies in integrated pest management [J]. *Annual Review of Entomology*, 2007, 1: 375–400.
- Ibrahim A. Evaluation of different storage structures on potato tuber moth damage and potato shelf life at Bako, West Shoa, Ethiopia [J]. *Science, Technology and Arts Research Journal*, 2015, 4 (2): 64–67.
- Kroschel J, Zegarra O. Attract – and – kill as a new strategy for the management of the potato tuber moths *Phthorimaea operculella* (Zeller) and *Symmetrischema tangolias* (Gyen) in potato: Evaluation of its efficacy under potatofield and storage conditions [J]. *Pest Management Science*, 2013, 69: 1205–1215.
- Kwon M, Kim J, Maharian R, *et al.* Change in the distribution of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Korea [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2017, 20: 1249–1253.
- Li X, Zhang XG, Xiao C, *et al.* Behavioral responses of potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) to tobacco plant volatiles [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19 (2): 325–332.
- Liu Y, Xie DS, Xiong Y, *et al.* Effects of combination of cineole with heptanal on oviposition choices of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* [J]. *Plant Protection*, 2016, 42 (3): 99–103. [刘燕, 谢冬生, 熊焰, 等. 庚醛与桉叶油醇组合对马铃薯块茎蛾产卵选择的影响 [J]. 植物保护, 2016, 42 (3): 99–103]
- Lu CJ, Zhong BZ, Qian J, *et al.* Oviposition deterrence and ovidical activity of *Eupatorium odoratum* extracts of *Tirathaba rufivena* Walke [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 604–609. [吕朝军, 钟宝珠, 钱军, 等. 飞机草提取物对红脉穗螟的产卵忌避及杀卵活性 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 604–609]
- Lu QG, Cao J. Distribution of *Phthorimaea operculella* (Zeller) in China [J]. *Plant Quarantine*, 1983, 1: 16–20. [陆庆光, 曹驥. 烟潜叶蛾在我国的分佈 [J]. 植物检疫, 1983, 1: 16–20]
- Lu YH, Zhang YJ, Wu KM. Host – plant selection mechanisms and behavioural manipulation strategies of phytophagous insects [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (10): 5114–5122. [陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略 [J]. 生态学报, 2008, 28 (10): 5114–5122]
- Ma YF, Xiao C. Push – pull effects of three plant secondary metabolites on oviposition of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* [J]. *Journal of Insect Science*, 2013, 30: 128–134.
- Ma YF, Zhang XM, Xu Y, *et al.* Effect of *Lindera glauca* and its volatiles on the oviposition preferences of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (4): 843–850. [马艳粉, 张晓梅, 胥勇, 等. 山胡椒及其挥发物对马铃薯块茎蛾产卵选择的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (4): 843–850]
- Rajendran S, Sriranjini V. Plant products as fumigants for stored – product insect control [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2008, 44: 126–135.
- Sinthusiri J, Soonwera M. Oviposition deterrent and ovidical activities of seven herbal essential oils against female adults of housefly, *Musca domestica* L. [J]. *Parasitology Research*, 2014, 113: 3015–3022.
- Tak JH, Kim HK, Lee SH, *et al.* Acaricidal activities of paeonol and benzoic acid from *Paeonia suffruticosa* root bark and onoterpenoids against *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae) [J]. *Pest Management Science*, 2006, 62 (6): 551–557.
- Trivedi TP, Rajagopal D. Distribution biology, ecology and management of potato – tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera, Gelechiidae) – a review [J]. *Tropical Pest Management*, 1992, 38 (3): 279–285.
- Upamanya GK, Sarma H, Sarma R, *et al.* Topa: A unique storage structure for managing potato tuber moth [J]. *Asian Agri – History*, 2014, 18 (2): 191–194.
- Wang CY, Hu CH, Liu Y, *et al.* Effects of crude extracts from leaves of *Juglans regia* on oviposition choice and larval boring of *Phthorimaea operculella* in potato tuber [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018, 30 (4): 14–19. [王春娅, 胡纯华, 刘燕, 等. 核桃叶粗提物对马铃薯块茎蛾产卵选择以及幼虫钻蛀性的影响 [J]. 江西农业学报, 2018, 30 (4): 14–19]
- Wang J, Zhu F, Zhou XM, *et al.* Repellent and fumigant activity of essential oil from *Artemisia vulgaris* to *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2006, 42: 339–347.
- Wang SM. Research on the antagonistic storage of Chinese medicinal materials [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 1998, 21 (6): 294–295. [王疏梅. 中药材贮存中以药护药方法初探 [J]. 中药材, 1998, 21 (6): 294–295]
- Wu M, Liu Y, Li TX, *et al.* A new method for counting of eggs of potato tuber moth [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017, 29 (6): 63–65. [吴梅, 刘

- 燕,李庭喜,等. 一种马铃薯块茎蛾卵的计数新方法 [J]. 江西农业学报, 2017, 29 (6): 63 – 65]
- Wu ZJ, Lan L. Component analysis on volatile oil of Cortex Moutan [J]. *Journal of Tonghua Normal University*, 2011, 32 (10): 42 – 43. [武子敬, 兰兰. 牡丹皮挥发油成分分析 [J]. 通化师范学院学报, 2011, 32 (10): 42 – 43]
- Xia CG, Chen JL. Toxicity of fumigation and contact of Moutan extracts and paeonol to several species of stored product insects of Chinese medicinal materials [J]. *Journal of Zhongkai Agrotechnical College*, 1999, 12 (2): 1 – 8. [夏传国, 陈杰林. 丹皮提取物和丹皮酚对几种中药材害虫的毒杀作用研究 [J]. 仲恺农业技术学院学报, 1999, 12 (2): 1 – 8]
- Xia CG, Chen JL, Li LS, *et al.* Repellent effect of Moutan and its extract against several species of stored-product insects in Chinese medicinal materials [J]. *Grain Storage*, 2000, 29 (1): 3 – 9. [夏传国, 陈杰林, 李隆术, 等. 丹皮及其提取物对几种中药材仓储害虫的忌避作用研究 [J]. 粮食储藏, 2000, 29 (1): 3 – 9]
- Xu HH, Zhang NJ, Casida JE. Insecticides in Chinese medicinal plants: Survey leading to jacaranone, a neurotoxicant and glutathione-reactive quinol [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51 (9): 2544 – 2547.
- Xu J, Zhu JH, Yang YL, *et al.* Status of major diseases and insect pests of potato and pesticide usage in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52 (16): 2800 – 2808. [徐进, 朱杰华, 杨艳丽, 等. 中国马铃薯病虫害发生情况与农药使用现状 [J]. 中国农业科学, 2019, 52 (16): 2800 – 2808]
- Zhang XG, Li X, Gao YL, *et al.* Oviposition deterrents in larval frass of potato tuber worm moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2019, 48 (3): 496 – 502.
- Zhu GQ, Li Y, Wang CH. Occurrence and control of *Phthorimaea operculella* (Zeller) in Xichang [J]. *Chinese Potato Journal*, 2003, 17 (6): 366 – 367. [朱国庆, 李艳, 王成华. 西昌地区马铃薯块茎蛾危害及防治 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17 (6): 366 – 367]