

两种亚菊属植物挥发油及主要成分对赤拟谷盗幼虫的活性研究

安 越, 逯 靖, 王存存, 侯志波, 宁安琪,
张 继, 周 峰*, 梁俊玉*

(西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070)

摘要 本文旨在研究川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要成分(1,8-桉叶油醇、樟脑、马鞭草烯醇、冰片和桃金娘烯醇)对赤拟谷盗幼虫的活性作用。采用水蒸气蒸馏法提取挥发油并通过熏蒸、触杀和驱避等测试方法评价两种挥发油及其主要成分对赤拟谷盗幼虫的生物活性。结果表明,川甘亚菊挥发油、灌木亚菊挥发油和1,8-桉叶油醇均具有一定的熏蒸活性(LC_{50} 分别为94.60、81.17 mg/L和18.42 mg/L)和触杀活性(LD_{50} 分别为216.93、100.50 μ g/头和52.69 μ g/头)。同时,在高测试浓度(78.63 nL/cm²和15.73 nL/cm²)时,分别处理2 h和4 h后川甘亚菊和灌木亚菊挥发油以及桃金娘烯醇对赤拟谷盗幼虫均表现出较明显的驱避活性,冰片驱避活性接近于阳性对照避蚊胺。因此,川甘亚菊和灌木亚菊挥发油对赤拟谷盗的幼虫有一定的防治作用。

关键词 川甘亚菊; 灌木亚菊; 1,8-桉叶油醇; 冰片; 赤拟谷盗; 杀虫活性; 驱避活性

中图分类号: S482.39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020675

Biological activity of the main components of the essential oils of two *Ajania* plant species against the larval stages of *Tribolium castaneum*

AN Yue, LU Jing, WANG Cuncun, HOU Zhibo, NING Anqi,
ZHANG Ji, ZHOU Feng*, LIANG Junyu*

(College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract This study examined the contact activity of the main components (1,8-eucalyptol, camphor, verbenol, borneol and myrtenol) of the essential oils of two *Ajania* plant species against the larval stages of *Tribolium castaneum*. The essential oils were extracted by using the steam distillation method, which were tested for their fumigation, contact and repellent activities. The test results showed that the essential oils of *Ajania potaninii* and *A. fruticulosa* and 1,8-cineole exhibited fumigation (LC_{50} = 94.60, 81.17 and 18.42 mg/L) and contact (LD_{50} = 216.93, 100.50 and 52.69 μ g/adult) activities against *T. castaneum* larvae. At the tested concentrations of 78.63 and 15.73 nL/cm², the essential oils from *A. potaninii* and *A. fruticulosa*, myrtenol and eucalyptol had significant repellent activities against *T. castaneum* larvae after 2 h and 4 h. Borneol showed a repellent activity similar to DEET. Our results suggested that the essential oils from *A. potaninii* and *A. fruticulosa* can potentially be developed as a natural insecticide for the control of *T. castaneum* larvae.

Key words *Ajania potaninii*; *Ajania fruticulosa*; 1,8-cineole; borneol; *Tribolium castaneum*; insecticidal activity; repellent activity

赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 属鞘翅目拟步甲科,是最常见的仓储害虫之一,不仅繁殖速度快,而且适应性强^[1-2],寄主有谷物、油料、食用菌、中药

材等,主要为害面粉,该虫的臭腺可分泌臭液,使面粉发生霉变产生霉腥味,还可分泌苯醌等致癌物^[3],赤拟谷盗幼虫可为害面粉、麸皮、米糠、禾谷类籽实

收稿日期: 2020-12-16

修订日期: 2021-01-23

基金项目: 国家自然科学基金(32160127);甘肃省引导科技创新发展专项基金(2019ZX-05)

* 通信作者 E-mail: zycswin@yeah.net; 梁俊玉: liangjunyu@nwnu.edu.cn

等^[4],蛀食贮存期的烟叶和茶叶,且导致霉变,也可蛀入粮粒等贮藏物内取食从而造成一定的经济损失^[1]。目前,用于防治赤拟谷盗的方法主要是磷化氢熏蒸,但容易导致害虫产生抗性,因此开发绿色环保的杀虫剂成为迫切需求^[5]。植物源杀虫剂来源于自然界植物体,对人畜安全性高,使用时可以减少空气中药剂的有害成分颗粒数量,在自然界中分解较快^[6-7]。近年来,天然植物挥发油应用越来越广泛,程昉等^[1]报道了黄花蒿挥发油对赤拟谷盗幼虫有明显的触杀和驱避作用。赵雪娜等^[8]报道了东北青椒精油对赤拟谷盗幼虫有明显的熏蒸活性。研究表明,天然植物精油对仓储害虫有一定的触杀、熏蒸和驱避作用,可开发作为安全低毒的触杀剂、熏蒸剂和驱避剂^[9-11]。

亚菊属植物为菊科多年生草本、小半灌木,有清热解毒、驱蚊杀虫的功效,可作药用^[12],该属植物约 30 多种,在国内外分布广泛^[13-14]。川甘亚菊 *Ajania potaninii* 是菊科亚菊属植物,产于我国陕西西南部、甘肃东南部及四川北部和中部。灌木亚菊 *A. fruticulosa* 同为菊科亚菊属植物,产于中国的西北部地区^[15]。研究表明川甘亚菊^[16]和灌木亚菊^[17]的

主要成分均为 1,8-桉叶油醇、樟脑、马鞭草烯醇、冰片和桃金娘烯醇。梁俊玉等报道了川甘亚菊挥发油对赤拟谷盗和烟草甲 *Lasioderma serricorne* 有一定的熏蒸、触杀和驱避活性^[18],灌木亚菊挥发油对赤拟谷盗和嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* 具有明显的触杀、熏蒸和驱避活性^[17],杨盈盈等报道了柳叶亚菊 *A. salicifolia* 挥发油对赤拟谷盗和烟草甲有明显的熏蒸和驱避作用^[19]。以上都是关于亚菊属植物对赤拟谷盗成虫的研究,但目前尚未发现有川甘亚菊挥发油对赤拟谷盗幼虫防治方面的研究报道。本试验研究了川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要成分对赤拟谷盗幼虫的活性作用,为仓储害虫的绿色防控提供了参考。

1 材料与方法

1.1 植物材料和挥发油提取

样本为川甘亚菊及灌木亚菊的地上部分,采集地及样本信息见表 1。植物学名经北京师范大学生命科学学院刘全儒教授鉴定确认,样本现存放于西北师范大学生命科学学院中药质量研究实验室。

表 1 亚菊属植物样品采集信息

Table 1 Sample collection information of *Ajania* plants

植物名称 Plant name	采集部位 Plant part collected	采集时间 Collection time	采集地点 Site	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude
川甘亚菊 <i>A. potaninii</i>	地上部分	9 月	甘肃省文县城关镇	105°09′42″E	33°33′16″N	910
灌木亚菊 <i>A. fruticulosa</i>	地上部分	7 月	甘肃省兰州市安宁区	102°54′04″E	35°55′53″N	2 155

称取 200 g 阴干的植物样品粉碎,然后采用水蒸气蒸馏法提取,加热 6~8 h,经无水硫酸钠干燥处理,即得挥发油。将提得的挥发油置于 4℃冰箱中冷藏备用。本实验室前期报道了川甘亚菊^[16]和灌木亚菊^[17]的主要成分为 1,8-桉叶油醇、樟脑、马鞭草烯醇、冰片和桃金娘烯醇。以上 5 种挥发油主要成分由西北师范大学生命科学学院中药质量研究实验室分离并保存于 4℃冰箱中冷藏备用。

1.2 供试害虫

将赤拟谷盗饲养在容积 0.5 L 的玻璃瓶中,加入混合饲料(小麦粉:酵母粉=10:1)于玻璃瓶中,饲养温度(29±1)℃,相对湿度为 70%~80%。采用孵化后 10 d 左右,且大小接近为 5~6 mm 的赤拟谷

盗幼虫作为试虫。

1.3 熏蒸活性的测定

参考文献^[20]的方法测定灌木亚菊和川甘亚菊挥发油及主要成分对赤拟谷盗幼虫的熏蒸活性。取直径 2.5 cm,高 5.5 cm,容积 25 mL 的玻璃瓶,将挑好的试虫放入不加面粉的空玻璃瓶中。用正己烷稀释待测液,得到 5 个浓度梯度。分别吸取稀释后的溶液 10 μL 滴在面积约 2 cm² 的滤纸片上,置于瓶盖内侧。20 s 后迅速旋紧瓶盖,封口,形成封闭空间。另取正己烷为阴性对照,辛硫磷作为阳性对照。每种浓度重复 5 次,每次 10 头试虫。置于(29±1)℃恒温培养箱中培养,24 h 后观察并记录试虫的死亡情况,采用 SPSS 统计软件分析计算半数致死

浓度 LC₅₀ (mg/L)。

1.4 触杀活性的测定

参考文献^[21-23]的方法测定灌木亚菊和川甘亚菊挥发油及主要成分对赤拟谷盗幼虫的触杀活性。用正己烷稀释待测液,得到 5 个不同的浓度梯度。用冰袋将赤拟谷盗幼虫麻痹,取 0.5 μL 稀释液滴于虫体背面。将供试幼虫转移到直径 2.5 cm,高 5.5 cm,容积 25 mL 的不加面粉的空玻璃瓶中,正己烷作为阴性对照,除虫菊酯作为阳性对照。每个浓度重复 5 次,每次使用 10 头试虫。置于(29±1)℃恒温培养箱中培养 24 h 后记录死亡试虫数,用毛笔多次触碰试虫,试虫无反应视为死亡。用 SPSS 统计软件分析计算半数致死量 LD₅₀ (μg/头)。

1.5 驱避活性的测定

参考文献^[24-25]的方法测定灌木亚菊和川甘亚菊挥发油及主要成分对赤拟谷盗幼虫的驱避活性。将直径为 9 cm 的滤纸片剪成等大的两个半圆,再用正己烷稀释待测液,得到 5 个不同的浓度梯度,分别为 78.63、15.73、3.15、0.63、0.13 nL/cm²,各吸取 500 μL 滴于其中一半滤纸上,另一半只加正己烷作为阴性对照。两片滤纸紧挨着粘在培养皿中,待溶剂挥发 30 s 后,将试虫放在培养皿中心并盖上皿盖。试验均重复 5 次,每次 20 头试虫。设置避蚊胺 (DEET)作为阳性对照。2 h 后分别观察并记录试

验组与对照组滤纸上试虫的分布情况,4 h 时重复此操作。计算驱避率 (PR)。

$$PR = [(Nc - Nt) / (Nc + Nt)] \times 100\%$$

其中,Nc 为出现在阴性对照区域的试虫数量,Nt 为出现在试验组区域(具有挥发油或阳性对照)的试虫数量,计算 PR 的平均值以及标准误。

2 结果与分析

2.1 熏蒸活性

川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对赤拟谷盗幼虫的熏蒸活性结果见表 2。结果显示,除部分无熏蒸活性的成分如樟脑、桃金娘烯醇、马鞭草烯醇、冰片外,川甘亚菊挥发油、灌木亚菊挥发油及 1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗幼虫均具有明显的熏蒸活性,LC₅₀ 分别为 94.60、81.17 mg/L 和 18.42 mg/L,可推测两种挥发油的熏蒸活性与樟脑、桃金娘烯醇、马鞭草烯醇、冰片无关。但 1,8-桉叶油醇对试虫的熏蒸活性很强,其 LC₅₀ 为 18.42 mg/L,强于 1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗成虫的熏蒸活性 (LC₅₀ 34.21 μL/mL)^[18]。1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗幼虫的熏蒸活性约为川甘亚菊挥发油活性的 5 倍,灌木亚菊挥发油活性的 4 倍。两种植物挥发油对试虫的熏蒸活性接近。虽然 1,8-桉叶油醇对幼虫的熏蒸活性与阳性对照有差距,但是与其他组分相比具有一定的优势。

表 2 川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对赤拟谷盗幼虫的熏蒸活性
Table 2 Fumigant toxicity of *Ajania potaninii* and *A. fruticulosa* essential oils and their main constituents against *Tribolium castaneum* larvae

样品 Treatment	半数致死浓度/ mg · L ⁻¹ LC ₅₀	95%置信区间/ mg · L ⁻¹ 95% confidence limit	斜率±标准误 Slope±SE	χ ²	df	P
川甘亚菊挥发油 <i>A. potaninii</i> essential oil	94.60	61.87~149.54	0.03±0.01	13.62	23	0.916
灌木亚菊挥发油 <i>A. fruticulosa</i> essential oil	81.17	69.76~92.94	0.05±0.01	16.32	23	0.927
1,8-桉叶油醇 1,8-cineole	18.42	16.41~20.96	0.45±0.06	7.86	23	0.999
樟脑 Camphor	>200	—	—	—	—	—
桃金娘烯醇 Myrtenol	>200	—	—	—	—	—
马鞭草烯醇 Verbenol	>200	—	—	—	—	—
冰片 Borneol	>200	—	—	—	—	—
辛硫磷 Phoxim	1.05	1.23~2.08	1.65±0.45	3.25	23	0.89

2.2 触杀活性

川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对

赤拟谷盗幼虫的触杀活性结果见表 3。结果显示,川甘亚菊和灌木亚菊挥发油的主要成分樟脑、桃金

娘烯醇、马鞭草烯醇、冰片对赤拟谷盗幼虫无触杀活性,但川甘亚菊、灌木亚菊挥发油及 1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗幼虫均具有明显的触杀活性,LD₅₀ 分别为 216.93、100.50 μg/头和 52.69 μg/头。其中,灌木亚菊挥发油的触杀活性约为川甘亚菊的 2 倍。

在所试单一成分中,1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗幼虫的触杀活性明显强于黄花蒿挥发油^[1]对赤拟谷盗幼虫的触杀活性(其 LD₅₀ 为 70.34 μg/头)。1,8-桉叶油醇对试虫的触杀活性明显强于 2 种植物挥发油。

表 3 川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对赤拟谷盗幼虫的触杀活性
Table 3 Contact toxicity of *Ajanía potaninii* and *A. fruticulosa* essential oils and their main constituents against *Tribolium castaneum* larvae

样品 Treatment	半数致死剂量/ μg·头 ⁻¹ LD ₅₀	95%置信区间/ μg·头 ⁻¹ 95% confidence limit	斜率±标准误差 Slope±SE	χ ²	df	P
川甘亚菊挥发油 <i>A. potaninii</i> essential oil	216.93	184.10~281.92	0.04±0.01	15.51	23	0.277
灌木亚菊挥发油 <i>A. fruticulosa</i> essential oil	100.50	81.88~118.90	0.06±0.01	13.64	23	0.400
1,8-桉叶油醇 1,8-cineole	52.69	46.74~58.65	0.15±0.02	18.29	23	0.742
樟脑 Camphor	>300	—	—	—	—	—
桃金娘烯醇 Myrtenol	>300	—	—	—	—	—
马鞭草烯醇 Verbenol	>300	—	—	—	—	—
冰片 Borneol	>300	—	—	—	—	—
除虫菊酯 Pyrethrin	1.31	0.75~2.17	0.80±0.10	16.72	23	0.82

2.3 驱避活性

川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对赤拟谷盗幼虫的驱避活性见表 4。结果表明在高测试浓度(78.63 nL/cm² 和 15.73 nL/cm²)时,分别处理 2 h 和 4 h 后川甘亚菊和灌木亚菊挥发油对赤拟谷盗幼虫均表现出较明显的驱避活性。而在其他测试浓度(3.15、0.63 nL/cm² 和 0.13 nL/cm²)时,分别处理 2 h 和 4 h 后灌木亚菊挥发油对赤拟谷盗幼虫的驱避活性几乎都强于川甘亚菊挥发油

对赤拟谷盗幼虫的驱避活性。在所试单一成分中,冰片驱避活性接近于阳性对照避蚊胺。同时桃金娘烯醇和冰片对赤拟谷盗幼虫的驱避活性明显强于樟脑、马鞭草烯醇和 1,8-桉叶油醇。在低测试浓度(3.15 nL/cm²)时,各挥发油及主要成分的驱避活性不太明显,其中马鞭草烯醇和樟脑无驱避活性。此结果表明,两种挥发油、桃金娘烯醇和冰片对赤拟谷盗幼虫驱避效果明显,且在高浓度下驱避作用更好。

表 4 川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对赤拟谷盗幼虫的驱避活性¹⁾
Table 4 Repellent activity of *Ajanía potaninii* and *A. fruticulosa* essential oils and their main constituents against *Tribolium castaneum* larvae

处理 Treatment	不同浓度处理后的驱避率/% Repellency rate at different concentrations/%				
	2 h				
	78.63 nL/cm ²	15.73 nL/cm ²	3.15 nL/cm ²	0.63 nL/cm ²	0.13 nL/cm ²
灌木亚菊挥发油 <i>A. fruticulosa</i> essential oil	(84.0±3.1)a	(74.0±3.2)ab	(42.0±5.3)ab	(48.0±3.2)a	(0.0±0.0)b
川甘亚菊挥发油 <i>A. Potaninii</i> essential oil	(80.0±4.3)a	(62.0±6.1)ab	(18.0±5.7)bc	(16.0±5.4)ab	(0.0±0.0)b
1,8-桉叶油醇 1,8-cineole	(24.0±2.7)b	(12.0±4.7)b	(50.0±6.1)ab	(46.0±5.3)a	(8.0±6.2)ab
樟脑 Camphor	(40.0±7.1)b	(18.0±7.2)b	(0.0±0.0)c	(8.0±4.7)ab	(0.0±0.0)b
桃金娘烯醇 Myrtenol	(86.0±3.4)a	(70.0±5.1)ab	(30.0±5.2)abc	(26.0±5.3)ab	(8.0±7.1)ab
马鞭草烯醇 Verbenol	(22.0±4.2)b	(18.0±4.2)b	(0.0±0.0)c	(0.0±0.0)b	(0.0±0.0)b
冰片 Borneol	(92.0±5.4)a	(56.0±4.3)ab	(34.0±6.2)abc	(14.0±4.3)ab	(18.0±5.4)a
避蚊胺 DEET	(72.0±3.2)a	(82.0±5.7)a	(60.0±5.4)a	(22.0±3.2)ab	(12.0±5.7)ab

续表 4 Table 4(Continued)

处理 Treatment	不同浓度处理后的驱避率/% Repellency rate at different concentrations/%				
	4 h				
	78. 63 nL/cm ²	15. 73 nL/cm ²	3. 15 nL/cm ²	0. 63 nL/cm ²	0. 13 nL/cm ²
灌木亚菊挥发油 <i>A. fruticulosa</i> essential oil	(68. 0±6. 1)a	(42. 0±4. 5)b	(14. 0±3. 7)bc	(24. 0±3. 2)b	(32. 0±6. 3)a
川甘亚菊挥发油 <i>A. Potaninii</i> essential oil	(52. 0±3. 2)ab	(38. 0±6. 4)b	(2. 0±1. 1)c	(0. 0±0. 0)c	(6. 0±3. 2)b
1,8-桉叶油醇 1,8-cineole	(22. 0±7. 2)bc	(48. 0±7. 2)b	(30. 0±3. 4)b	(54. 0±2. 3)a	(0. 0±0. 0)b
樟脑 Camphor	(22. 0±3. 4)bc	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)b
桃金娘烯醇 Myrtenol	(76. 0±5. 3)a	(50. 0±6. 3)b	(20. 0±6. 7)bc	(14. 0±2. 1)bc	(10. 0±4. 3)b
马鞭草烯醇 Verbenol	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)c	(0. 0±0. 0)b
冰片 Borneol	(82. 0±6. 1)a	(56. 0±7. 1)ab	(38. 0±6. 6)ab	(14. 0±5. 4)bc	(18. 0±5. 2)ab
避蚊胺 DEET	(76. 0±3. 3)ab	(80. 0±3. 2)a	(62. 0±2. 5)a	(32. 0±5. 2b)a	(8. 0±5. 4)b

1) 同列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间在 0.05 水平差异显著。
The data with different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different concentrations at 0.05 level.

3 结论与讨论

本研究分析了川甘亚菊和灌木亚菊挥发油及其主要组分对赤拟谷盗幼虫的熏蒸、触杀和驱避活性。通过活性筛选发现川甘亚菊挥发油与灌木亚菊挥发油对赤拟谷盗幼虫具有很好的熏蒸、触杀活性以及驱避作用。另外,其主要组分中,1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗幼虫表现出很好的熏蒸和触杀活性,同时桃金娘烯醇和冰片对赤拟谷盗幼虫表现出较明显的驱避作用,其中冰片驱避活性接近于阳性对照避蚊胺。前期试验结果显示,川甘亚菊挥发油^[18]和灌木亚菊挥发油^[17]对赤拟谷盗成虫的熏蒸活性(LC₅₀分别为 34.21 mg/L、11.52 mg/L)比对幼虫的熏蒸活性强。同时,川甘亚菊挥发油^[18]对赤拟谷盗成虫的触杀活性(LD₅₀为 34.18 mg/L)比对幼虫的触杀活性强。同一药剂处理后赤拟谷盗成虫和幼虫表现出不同的活性,可能是因为赤拟谷盗属于完全变态发育,成虫和幼虫有很大的不同造成的^[26],但具体的作用机制还有待进一步研究。据文献报道,1,8-桉叶油醇是川甘亚菊和灌木亚菊挥发油中含量最高的成分(分别为 22.19%^[16]和 41.4%^[17]),且 1,8-桉叶油醇对赤拟谷盗具有较强的熏蒸毒性(LC₅₀为 5.47 mg/L)和较强的触杀活性(LD₅₀为 18.83 μg/头)^[26],所以推测两种植物挥发油对赤拟谷盗幼虫的熏蒸和触杀活性可能与 1,8-桉叶油醇有关。另外,1,8-桉叶油醇、樟脑及冰片均属于单萜类化合物。相关研究表明,单萜类化合物是挥发性和亲脂性比较高的化合物,能够迅速渗入昆虫虫体产生生理作用,对赤拟谷

盗等仓储害虫产生强烈杀虫活性,推测是对仓储类昆虫具有熏蒸活性的原因之一^[27-28]。因此,川甘亚菊和灌木亚菊挥发油对赤拟谷盗的幼虫有一定的防治作用。

关于其他亚菊属植物挥发油对赤拟谷盗成虫和幼虫的生物活性,作用机理,以及对成虫产卵的干扰作用,仍是现在的研究热点,将亚菊属植物及其活性成分开发为新型植物性熏蒸剂或防护剂具有重要意义,进而可以对仓储害虫进行绿色防控。植物源杀虫剂具有绿色环保的特点,且资源丰富,为亚菊属植物的开发提供了可能。

参考文献

[1] 程昉, 邵亚洲, 杨盈盈, 等. 黄花蒿挥发油对赤拟谷盗成虫和幼虫的生物活性研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(11): 119-124.

[2] GUO Shanshan, PANG Xue, WANG Yang, et al. Chemical constituents isolated from stems of *Schisandra chinensis* and their antifeedant activity against *Tribolium castaneum* [J]. Natural Product Research, 2020, 34(18): 2595-2601.

[3] 赵娜娜, 麦迪娜·托乎塔森, 卢若滨. 12 种植物精油对两种仓储害虫熏蒸活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(8): 128-133.

[4] 明庆磊, 程超. 雄性赤拟谷盗性斑的位置和形态结构观察[J]. 中国农学通报, 2014, 30(1): 302-306.

[5] 张元臣, 高姗姗, 薛爽, 等. 北艾精油对赤拟谷盗的控制作用[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(9): 117-123.

[6] 包强, 李冠华, 肖蕾, 等. 4 种植物源农药对茶角胸叶甲的室内毒力测定[J]. 广东茶业, 2020(3): 12-15.

[7] 梁俊玉, 罗艳, 李玲艳, 等. 牛尾蒿、灌木亚菊挥发油对烟草甲防治作用研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 101-103.

- [14] 许泳清, 李华伟, 邱思鑫, 等. 甘薯羽状斑驳病毒和褪绿矮化病毒双重 RT-PCR 检测方法的建立[J]. 福建农业学报, 2014, 29(11): 1114-1117.
- [15] LOZANO G, TRENADO H P, VALVERDE R A, et al. Novel begomovirus species of recombinant nature in sweet potato (*Ipomoea batatas*) and *Ipomoea indica*: taxonomic and phylogenetic implications [J]. Journal of General Virology, 2009, 90(10): 2550-2562.
- [16] MBANZIBWA D, TAIRO F, CATHERINE G, et al. First report of *Sweet potato symptomless virus 1* and *Sweet potato virus A* in sweetpotatoes in Tanzania [J]. Plant Disease, 2011, 95(2): 224-224.
- [17] QIN Yanhong, LI Xuecheng, ZHANG Zhenchen, et al. First report of Sweet potato badnavirus A in China [J]. Plant Disease, 2016, 100(4): 865-865.
- [18] CUELLAR W J, SOUZA J D, BARRANTES I, et al. Distinct cavemoviruses interact synergistically with *Sweet potato chlorotic stunt virus* (genus *Crinivirus*) in cultivated sweet potato [J]. Journal of General Virology, 2011, 92(5): 1233-1243.
- [19] 乔奇, 秦艳红, 张德胜, 等. 甘薯褪绿斑病毒外壳蛋白的分子变异及其特异抗血清制备[J]. 植物病理学报, 2014, 44(6): 634-640.
- [20] 黄利利, BINHDAN P, 何芳练, 等. 广西甘薯病毒病的病原病毒种类检测[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(5): 1213-1218.
- [21] 姜珊珊, 谢礼, 吴斌, 等. 山东甘薯主要病毒的鉴定及多样性分析[J]. 植物保护学报, 2017, 44(1): 93-102.
- [22] 李华伟, 刘中华, 张鸿, 等. 福建甘薯病毒病病原鉴定及主要病毒多样性[J]. 微生物学通报, 2019, 46(12): 3267-3277.
- [23] 汤亚飞, 何自福, 韩利芳, 等. 侵染广东甘薯的甘薯曲叶病毒分子检测与鉴定[J]. 植物保护, 2013, 39(4): 25-28.
- [24] 黄玉娜, 张振臣. 甘薯潜隐病毒外壳蛋白基因的克隆、表达及其抗血清的制备[J]. 植物病理学报, 2007, 37(3): 255-259.
- [25] PALUKAITIS P, GARCÍA-ARENAL F. Cucumoviruses [J]. Advances in Virus Research, 2003, 62: 241-323.
- [26] 邱艳红, 王超楠, 朱水芳. 黄瓜花叶病毒致病性研究进展[J]. 生物技术通报, 2017, 33(9): 10-16.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 250 页)

- [8] 赵雪娜, 王建清. 东北青花椒精油对赤拟谷盗幼虫的熏蒸毒力研究[J]. 包装工程, 2012, 33(23): 9-13.
- [9] 董菲, 田玉红, 黄琼, 等. 植物精油对害虫的驱避与毒杀活性的应用研究进展[J]. 农药, 2018, 57(11): 781-784.
- [10] SAEIDI K, PEZHMANN H. Insecticidal activity of four plant essential oils against two stored product beetles [J/OL]. Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research, 2018, 7:3. DOI:10.4172/2161-0983.1000213.
- [11] 白艳凤. 仓储害虫的危害及综合防治[J]. 农产品加工(学刊), 2014(19): 73-75.
- [12] 罗建军, 曾涌, 陈卫琼, 等. 亚菊属植物化学成分和药理活性研究进展[J]. 中药材, 2014, 37(12): 2304-2311.
- [13] 谭永佳, 高翠芳, 陈学林. 不同海拔细叶亚菊挥发油成分的比较[J]. 植物研究, 2020, 40(5): 782-788.
- [14] 朱卫东. 藏药细叶亚菊化学组成及生物活性研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2015.
- [15] LIANG Junyu, LU Peiyu, NING Anqi et al. Chemical constituents from the aerial parts of *Ajania fruticulosa* [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2020, 92(1): 1-4.
- [16] LIANG Junyu, LIU Yan, ZHANG Xinxin, et al. Antagonistic activity of essential oils and their main constituents extracted from *Ajania fruticulosa* and *Ajania potaninii* against *Ditylenchus destructor* [J]. Nematology, 2018, 20(10): 1-6.
- [17] LIANG Junyu, GUO Shanshan, YOU Chunxue, et al. Chemical constituents and insecticidal activities of *Ajania fruticulosa* [J]. Essential Oil, 2016, 13(8): 1053-1057.
- [18] 梁俊玉, 颜珊珊, 徐婕, 等. 川甘亚菊挥发油对赤拟谷盗与烟草甲的生物活性[J]. 林产化学与工业, 2019, 39(6): 123-128.
- [19] 杨盈盈, 邵亚洲, 石毛宁, 等. 柳叶亚菊挥发油对烟草甲与赤拟谷盗的毒杀作用[J]. 烟草科技, 2021, 54(2): 1-14.
- [20] 江军. 荔枝蜡腺提取物的杀虫活性及其熏蒸作用机理研究[D]. 海口: 海南大学, 2011.
- [21] 李国林, 毕阳, 张忠, 等. 孜然精油对三种储粮害虫控制作用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(15): 97-101.
- [22] 鞠克升. 珠光香青挥发油对赤拟谷盗的趋避和触杀作用[J]. 甘肃农业科技, 2017(9): 29-33.
- [23] 梁俊玉, 王梦真, 徐婕, 等. 光果菰挥发油的化学成分及其对两种仓储害虫防治作用[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 246-250.
- [24] 李媛, 刘巧林, 陈晓宇, 等. 甘菊挥发油化学组成及其对烟草甲与赤拟谷盗的杀虫活性[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 202-206.
- [25] 程昉, 张雨蔚, 邵明凯, 等. 5 种蒿属植物挥发油对烟草甲和嗜卷书虱的趋避活性分析[J]. 烟草科技, 2019, 52(11): 17-22.
- [26] 李媛, 邵亚洲, 张敏敏, 等. 细叶亚菊挥发油化学组成及其对赤拟谷盗和烟草甲的杀虫活性研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 100-106.
- [27] LEE S, PETERSON C J, COATS J R. Fumigation toxicity of monoterpenoids to several stored product insects [J]. Journal of Stored Products Research, 2003, 39(1): 77-85.
- [28] KIM S, YOON J S, JUNG J W, et al. Toxicity and repellency of origanum essential oil and its components against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) adults [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2010, 13(4): 369-373.

(责任编辑: 田 喆)