头花杜鹃挥发油的化学成分分析及其对3种仓储害虫的毒杀作用

张莉娟， 周家欣， 王梦真， 胡 刚， 梁俊玉*

（西北师范大学生命科学学院，兰州 730070）

摘要 本研究旨在明确头花杜鹃挥发油的化学成分及其对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱的毒杀作用。利用GC/MS分析了头花杜鹃叶挥发油的化学组分；通过触杀和驱避试验测试头花杜鹃叶挥发油的生物活性。结果表明：从头花杜鹃叶挥发油中鉴定出的成分共有30种，占总成分的100.00%，其主要成分为：α-蒎烯(25.32%)、β-蒎烯(19.90%)和6,8-吡啶并[3,4-d]嘧啶-4(3H)-酮酸盐(7.45%)；头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱的LD_{50}分别为44.40、104.92 μg/头和98.87 μg/cm²；在测试2 h和4 h后其对赤拟谷盗和嗜卷书虱的驱避效果与阳性对照除虫菊素产生的效果一致。上述结果表明，头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱均具有较好的毒杀作用，这可能与头花杜鹃叶挥发油中的主要成分α-蒎烯有关。

关键词 头花杜鹃； 烟草甲； 赤拟谷盗； 嗜卷书虱

中图分类号： S 482.39 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2018206

Chemical composition and toxic activities of essential oils extracted from *Rhododendron capitatum* against 3 kinds of storage pests

ZHANG Lijuan， ZHOU Jiaxin， WANG Mengzhen， HU Gang， LIANG Junyu

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

Abstract This study focused on analyzing the chemical composition of the essential oils from *Rhododendron capitatum* Maxim. and examining the toxic activities of the oils against *Lasioderma serricorne*, *Tribolium castaneum* and *Liposcelis bostrychophila*. The activities of the oils were tested via contact toxicity and repellent activity assays, and its chemical components were analyzed by GC-MS. Thirty components from the essential oils extracted from *R. capitatum* were identified and the sum of their contents accounted for 100.00% of the essential oil; the major components were α-pinene (25.32%), β-pinene (19.90%) and pyrido [3,4-d] pyrimidine-4(3H)-one, 6,8-dimethyl (7.45%). The essential oils exhibited potential contact toxicity against *L. serricorne* (LD_{50} = 44.40 μg/adult), *T. castaneum* (LD_{50} = 104.92 μg/adult) and *L. bostrychophila* (LD_{50} = 98.87 μg/cm²), and its repellent activity against *T. castaneum* and *L. bostrychophila*, was consistent with that of the positive control DEET. *R. capitatum* essential oils had significant toxic activities against 3 kinds of storage pests, which might be related to the main component α-pinene in the essential oils.

Key words *Rhododendron capitatum*； *Lasioderma serricorne*； *Tribolium castaneum*； *Liposcelis bostrychophila*

头花杜鹃 *Rhododendron capitatum* Maxim. 为杜鹃花科杜鹃花属常绿灌木，是我国西北地区杜鹃花属植物中产量较高的一个品种，主要分布在青海、甘肃和四川等省，资源丰富[1]。目前关于头花杜鹃的研究主要集中在其挥发油化学成分分析以及药理作用等方面，李国贤等[2]发现头花杜鹃挥发油显著的祛痰和镇咳作用与其主要成分α-蒎烯有关，且其毒性较低，吕义长等[3]发现头花杜鹃挥发油含氧部分对呼吸道常见菌种如流感杆菌、肺炎球菌等有明显抑制作用，许子俊等[4]证明从头花杜鹃的水提物中分离到总黄酮降血压作用明显，但头花杜鹃对仓储害虫生物活性的研究尚未见报道。

收稿日期： 2018-05-16 **修订日期：** 2018-07-02
基金项目： 国家自然科学基金(81660632)
* 通信作者 E-mail:18409449950@163.com

烟草甲 *Lasioderma serricorne*、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 和嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* 均是广泛存在于储藏物中的昆虫，现已成为我国大型粮仓中的优势害虫种群。早前仓储害虫的防治措施以磷化氢(磷化铝)熏蒸最为普遍，但长期使用会对环境和人类健康造成一定影响，近年来，植物源防护剂因其具有高度选择性，易于分解和对人畜安全性高等优点而逐渐代替了化学防护剂[5-10]。

田雨浓[11]的研究表明，α-蒎烯能抑制大麦虫 *Zophobas morio* 幼虫体内羧酸酯酶(CarE)活性，因此幼虫体内的解毒作用被抑制，导致幼虫本身生理机能下降，致使幼虫死亡。在此背景下，本文结合含有α-蒎烯的头花杜鹃挥发油较强的抑菌活性以及α-蒎烯本身具有的杀虫活性，测定头花杜鹃挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱这 3 种仓储害虫的触杀和驱避作用，以探讨其对仓储害虫的生物活性，为头花杜鹃挥发油杀虫活性的研究以及头花杜鹃资源的开发利用提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

头花杜鹃的嫩枝叶采自甘肃省天祝县石门镇，海拔 2 765 m，经纬度 36°58′58″N，102°54′04″E。头花杜鹃样本保存于西北师范大学生命科学学院实验室。

烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱均饲养在容积为 0.5 L、温度为(28±1)℃、相对湿度为 70%～80%的玻璃瓶中。培养烟草甲和赤拟谷盗的玻璃瓶内装有以 10∶1质量比混合的小麦粉与酵母粉，嗜卷书虱瓶内装有奶粉、活性酵母及面粉，并以 1∶1∶1质量比混合。试验所用昆虫均为已生活 1～2 周的成虫，且培养昆虫的所有容器及试验中所用的培养皿封口处都涂有聚四氟乙烯以防昆虫逃逸。

正己烷、无水硫酸钠等试剂购自上海安谱科学仪器有限公司。试验所用仪器包括自制挥发油提取器、7980/5975C-GC/MSD 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司生产)、GHP-9080 隔水式恒温培养箱(常州中捷实验仪器制造有限公司生产)。

1.2 方法

1.2.1 挥发油的提取

将头花杜鹃的新鲜叶片阴干后切碎，取 500 g 转移进挥发油提取器中进行提取，时间为 6 h。油水经正己烷溶剂萃取，无水硫酸钠处理后过滤，即得头花杜鹃叶挥发油。挥发油放密封容器中并于 4℃冰箱保存。

1.2.2 GC/MS 分析

参照姚晶等[12]的方法测定头花杜鹃叶挥发油的化学组分。

1.2.2.1 色谱条件

色谱柱 HP-5MS 型弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)；设定程序升温；载气为 He；载气流速为 1.0 mL/min；汽化室温度为 220℃；进样量为 0.4 μL,；分流比为 20∶1。杜鹃花科杜鹃花属植物程序升温条件：初温 40℃，保持 2 min，以 6℃/min 升至 80℃，保持 1 min，再以 5℃/min 升至 160℃，保持 1 min，最后以 10℃/min 升至 290℃，保持 6 min。

1.2.2.2 质谱条件

电离方式为 EI；电子能量为 70 eV；离子源温度为 230℃；四级杆温度为 150℃；数据采集模式为全扫描；质谱扫描质量范围为 50～500 mAu。经计算机检索质谱数据库(NIST 05 和 Wiley 275 libraries)数据，比对各峰的 MS 碎片并结合有关文献谱图解析，鉴定挥发油各组分种类。采用峰面积归一化法，根据各组分分子质量，计算挥发油中各组分的相对百分含量(质量分数)。

1.2.3 生物活性测定

1.2.3.1 触杀活性测定

头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱的触杀活性测定参照文献[13-15]。将羽化 7 d 左右的成虫从培养皿中取出用冰袋麻醉，取头花杜鹃叶挥发油溶解于正己烷中进行预试验(浓度范围为 2%～50%)。根据预试验结果设置正式试验的 5 个浓度梯度(烟草甲的测试浓度为 3.95%、5.92%、8.88%、13.3%和 20%，赤拟谷盗的测试浓度为 14.47%、17.36%、20.8%、25%和 30%，嗜卷书虱的测试浓度为 1.21%、1.01%、0.84%、0.70%和 0.58%)，每个浓度重复 5 次，每个重复 10 头试虫。取 0.5 μL 样品分别滴于烟草甲和赤拟谷盗的前胸背板上，处理后放入直径 2 cm、高 1 cm 的培养瓶中，拧紧瓶盖；另取 300 μL 样品均匀涂布在直径 5.5 cm 的滤纸上，再用固体胶处理后放入内径为 5.5 cm 的培养皿中，并将嗜卷书虱放在滤纸上，盖上盖子。在相同操作条件下，以正己烷和除虫菊素代替头花杜鹃叶挥发油处理试虫分别作为阴性对照和阳性对照(相关研究表明，除虫菊素对仓储害虫的毒杀作用极强[16-17])。处理后置于温度(28±1)℃，相对湿度为 70%～80%的恒温培养箱中培养 24 h，观察记录死亡情况。采用 SPSS 22.0 统

计软件分析计算半致死剂量 LD_{50}。

1.2.3.2　驱避活性测定

头花杜鹃挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的驱避活性测定参照文献[13-15],对嗜卷书虱的驱避活性测定参照文献[18]。将头花杜鹃挥发油用正己烷稀释成5 个浓度的溶液(烟草甲和赤拟谷盗的测试浓度为 78.63、15.73、3.15、0.63 和 0.13 nL/cm^2,嗜卷书虱的测试浓度为 63.16、12.64、2.52、0.50 和 0.10 nL/cm^2)。将直径 9 cm 的滤纸剪成相同的两半,一半均匀地滴入 0.5 mL 不同浓度的头花杜鹃挥发油,另一半滴入等剂量的正己烷作空白对照,待正己烷完全挥发干后,立即用固体胶将处理过的滤纸相向紧粘在培养皿底部,再将 20 头试虫(烟草甲和赤拟谷盗)从培养皿中央投入,迅速盖上培养皿盖子密封;嗜卷书虱的驱避试验与之相似,不同的是所用滤纸和培养皿直径均为 6 cm,且改用 150 μL 样品溶液处理滤纸。每浓度处理 5 个平行样。同时在同等操作条件下,以除虫菊素作为阳性对照组。将各处理温室放置,分别于处理 2 h 和 4 h 后统计出现在不同区域内的试虫数量。计算驱避率(PR)[14]。

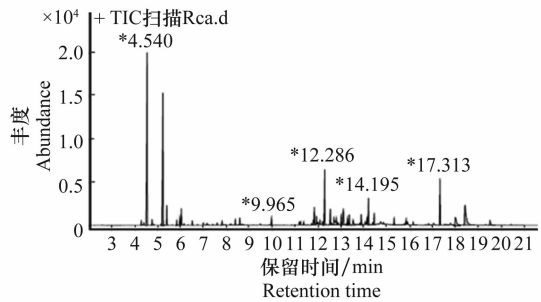
$$PR = (Nc - Nt)/(Nc + Nt) \times 100\%$$

式中,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的试虫数量,从而计算出 PR 的平均值。

2　结果与分析

2.1　头花杜鹃挥发油的化学成分分析

GC/MS 总离子流色谱见图 1,经计算机检索 NIST 数据库,比对各峰的 MS 碎片并结合有关文献谱图解析,从头花杜鹃挥发油中分离鉴定出 30 种化合物,它们的含量之和占全部的 100.00%,结果见表 1。



*数据表示头花杜鹃叶挥发油中主要成分的保留时间
* Data in the figure indicate the retention time of the major components of *R. capitatum* essential oils

图 1　头花杜鹃叶挥发油的总离子流图

Fig. 1　Total ion current chromatogram of the essential oils from *Rhododendron capitatum*

表 1　头花杜鹃挥发油化学成分及其相对含量

Table 1　Results of GC-MS analysis for chemical composition of the essential oils from *Rhododendron capitatum*

峰号 No.	化合物名称 Component	分子式 Molecular formula	保留时间/min Retention time	相对含量/% Relative content
1	左旋-β-蒎烯 (-)-β-Pinene	$C_{10}H_{16}$	4.286	0.42
2	α-蒎烯 α-Pinene	$C_{10}H_{16}$	4.540	25.32
3	莰烯 Camphene	$C_{10}H_{16}$	4.757	0.52
4	β-蒎烯 β-Pinene	$C_{10}H_{16}$	5.229	19.90
5	β-月桂烯 β-Myrcene	$C_{10}H_{16}$	5.398	1.97
6	α-松油烯 α-Terpinene	$C_{10}H_{16}$	5.833	0.52
7	邻-异丙基甲苯 2-Isopropyltoluene	$C_{10}H_{14}$	5.960	0.83
8	柠檬烯 Limonene	$C_{10}H_{16}$	6.032	1.77
9	γ-松油烯 γ-Terpinene	$C_{10}H_{16}$	6.509	0.47
10	*L*-反式-松香芹醇 *L*-*trans*-Pinocarveol	$C_{10}H_{16}O$	7.808	0.53
11	(-)-4-松油醇 (-)-4-Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	8.389	0.60
12	α-松油醇 α-Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	8.582	0.78
13	*L*-乙酸冰片酯 *L*-bornyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	9.965	0.86
14	β-石竹烯 β-Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	11.832	2.57
15	α-石竹烯 α-Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	12.286	7.03
16	γ-依兰油烯 γ-Muurolene	$C_{15}H_{24}$	12.527	2.19
17	α-芹子烯 α-Selinene	$C_{15}H_{24}$	12.787	2.87
18	γ-杜松烯 γ-Cadinene	$C_{15}H_{24}$	13.005	1.05
19	δ-杜松烯 δ-Cadinene	$C_{15}H_{24}$	13.095	3.05
20	γ-芹子二烯 Selina-3,7(11)-diene	$C_{15}H_{24}$	13.283	0.93
21	β-愈创木烯 β-Guaiene	$C_{15}H_{24}$	13.361	1.27
22	橙花叔醇 Nerolidol	$C_{15}H_{26}O$	13.524	1.01
23	石竹素 Caryophyllene oxide	$C_{15}H_{24}O$	13.875	1.61
24	环氧化蛇麻烯Ⅱ (-)-Humulene epoxide Ⅱ	$C_{15}H_{24}O$	14.195	3.44

续表 1 Table 1(Continued)

峰号 No.	化合物名称 Component	分子式 Molecular formula	保留时间/min Retention time	相对含量/% Relative content
25	去羟基-异菖蒲二醇 Dehydroxy-isocalamendiol	$C_{15}H_{24}O$	14.443	1.52
26	吉马酮 Germacrone	$C_{15}H_{22}O$	15.313	0.84
27	8b,9,10,11,12,12a-六氢-苯并[e]芘 Benzo [e] pyrene, 8b,9,10,11,12,12a-hexahydro-	$C_{20}H_{18}$	17.313	4.54
28	对戊基苯甲酰氯 4-pentyl-benzoylchloride	$C_{12}H_{15}ClO$	17.983	3.33
29	6,8-二甲基吡啶[3,4-d]嘧啶-4(3H)-酮 Pyrido [3,4-d] pyrimidine-4(3H)-one, 6,8-dimethyl-	$C_9H_9N_3O$	18.406	7.45
30	16β-氢-16-贝壳松醇 16.*beta*. H-Kauran-16-ol	$C_{20}H_{34}O$	19.494	0.82
	总计 Total			100.00

结合图 1 和表 1 可知,从头花杜鹃挥发油中共鉴定出 30 种化学成分,占总挥发油的 100.00%,其中主要成分为 α-蒎烯(25.32%)、β-蒎烯(19.90%)和 6,8-二甲基吡啶[3,4-d]嘧啶-4(3H)-酮(7.45%)。

2.2 生物活性

2.2.1 触杀活性

头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱触杀毒性的相关数据见表 2。

表 2 头花杜鹃挥发油对三种仓储害虫的触杀效果

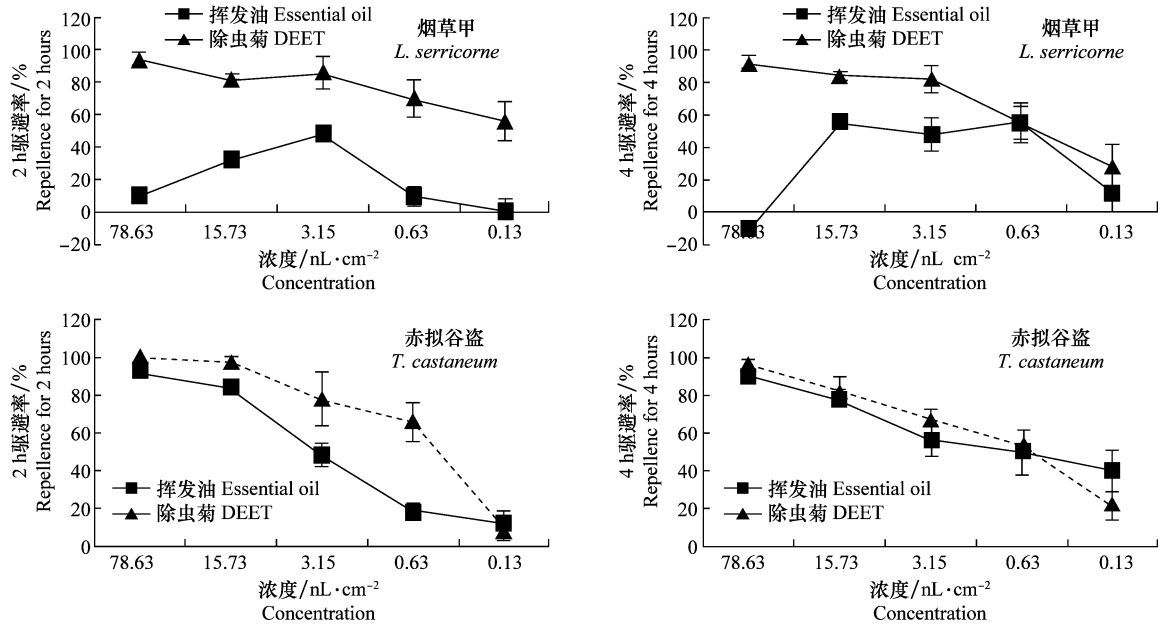
Table 2 Contact toxicity of *Rhododendron capitatum* essential oils against three storage pests

仓储害虫 Storage pest	试液 Test solution	半数致死量 LD_{50}	95%置信区间 95% Confidence limit	截距±标准误差 Slope±SE	*P* 值 *P* value	卡方 *Chi*-square
烟草甲 *L. serricorne*	挥发油 Essential oil	44.40 μg/头	40.74～48.42 μg/头	5.61±0.59	0.979	11.35
	除虫菊素 Pyrethrins	0.24 μg/头	0.16～0.35 μg/头	1.31±0.20	0.916	17.36
赤拟谷盗 *T. castaneum*	挥发油 Essential oil	104.92 μg/头	100.84～109.26 μg/头	11.94±1.25	0.987	10.62
	除虫菊素 Pyrethrins	0.26 μg/头	0.22～0.30 μg/头	3.34±0.32	0.925	13.11
嗜卷书虱 *L. bostrychophila*	挥发油 Essential oil	98.87 μg/cm²	94.01～102.95 μg/cm²	11.81±1.19	0.398	24.11
	除虫菊素 Pyrethrins	18.72 μg/cm²	17.60～19.92 μg/cm²	2.98±0.40	0.987	10.56

结果显示,头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱触杀活性的半数致死量分别为 44.40 μg/头、104.92 μg/头和 98.87 μg/cm²,其触杀活性低于阳性对照除虫菊素。

2.2.2 驱避活性

头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱驱避活性的相关数据见图 2。



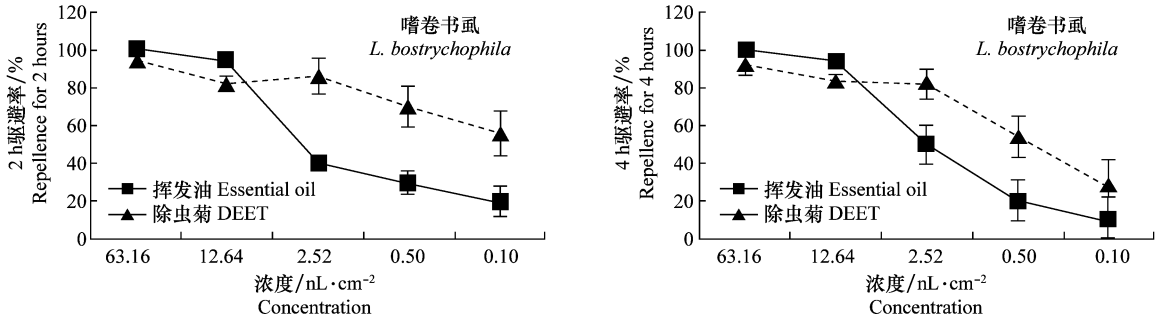


图 2　头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱分别作用 2 h 和 4 h 后的 *PR* 值

Fig. 2　Repellent activity of *Rhododendron capitatum* essential oils against *Lasioderma serricorne*, *Tribolium castaneum and Liposcelis bostrychophila* after exposed for 2 hours and 4 hours

结果显示,头花杜鹃叶挥发油对烟草甲的驱避作用较差,高浓度(78.63 nL/cm²)样品对烟草甲作用 4 h 后甚至表现为吸引作用;对赤拟谷盗分别作用 2 h 和 4 h 后的效果与除虫菊素的效果相近,且在 0.13 nL/cm² 的测试浓度下,样品对赤拟谷盗的驱避率大于除虫菊素;在高浓度(63.16、12.64 nL/cm²)下,头花杜鹃叶挥发油对嗜卷书虱的驱避活性高于除虫菊素活性,此外,浓度为 63.16 nL/cm² 的样品对嗜卷书虱分别作用 2 h 和 4 h 后的 *PR* 值均为 100%。

此结果表明,头花杜鹃叶挥发油对赤拟谷盗和嗜卷书虱具有较强的驱避效果,且高浓度头花杜鹃叶挥发油驱避作用更好。

3　结论与讨论

有文献报道,青海省东沟煤矿产头花杜鹃挥发油的主要成分为 α-蒎烯(52.7%)和 β-蒎烯(25.6%)[1]。青海互助北山林场产头花杜鹃挥发油的主要成分为 β-蒎烯(29.02%)、α-蒎烯(28.31%)和柠檬烯(7.45%)[12]与本研究所得的结果不同。根据杨扬[19]的研究结果,这种差异可能是因其产地(生态环境)、生长年限、采样时间和分离手段等不同所致。

与其他文献中运用类似生物测定方法的挥发油相比,头花杜鹃叶挥发油对烟草甲的触杀毒性弱于高良姜挥发油(LD_{50} = 26.12 μg/头)[20],但强于侧柏叶挥发油(LD_{50} = 50.45 μg/头)[21];对赤拟谷盗的触杀毒性弱于珠光香青挥发油(LD_{50}为 41.25 μg/头)[14]和艳山姜叶挥发油(LD_{50} = 48.59 μg/头)[22];对嗜卷书虱的触杀毒性弱于短葶山麦冬挥发油(LD_{50}为 21.37 μg/头)[15]和北苍术挥发油(LD_{50} = 19.98 μg/头)[23]。

头花杜鹃叶挥发油主要成分为一萜烯和倍半萜烯类,相关研究表明萜类化合物是杜鹃花科植物挥发油的主要成分,且大多被认为是一种神经毒剂,通过干扰昆虫神经系统的刺激传导,引起神经通路阻塞,进而造成神经传导物质——乙酰胆碱的积累,从而导致昆虫麻痹,并最终死亡[24-26]。而田雨浓[11]认为 α-蒎烯能明显抑制大麦虫幼虫体内羧酸酯酶以及乙酰胆碱酯酶的活性,因此幼虫体内的解毒作用被抑制,导致了幼虫的生理机能下降,致使幼虫死亡。头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱的毒杀作用也许与其主要成分 α-蒎烯有关,其通过影响仓储害虫体内主要的保护酶、解毒酶以及乙酰胆碱酯酶的活性,从而扰乱害虫体内正常的生理代谢,进而对上述三种仓储害虫表现出较高的毒杀效果。本文主要针对头花杜鹃挥发油进行了生物活性测试,其具体杀虫机理尚有待进一步探究。

虽然头花杜鹃叶挥发油对烟草甲、赤拟谷盗和嗜卷书虱的触杀活性低于除虫菊素,但其具有低毒、环保的优点,同时头花杜鹃叶挥发油对赤拟谷盗和嗜卷书虱的驱避活性与除虫菊素很相似,因此将头花杜鹃叶挥发油开发为新型绿色环保植物源杀虫剂,并运用于这三种仓储害虫具有一定意义。自然界中的植物资源非常丰富,这为研究并开发新的植物源杀虫剂提供了坚实基础。目前,国内外虽然对植物源杀虫剂在害虫防治中的应用有了很多的研究,但市场开发少,仍需要深入研究。

参考文献

[1]　吕义长,邢建萍. 头花杜鹃挥发油化学成分的研究[J]. 化学学报,1982(6):53-60.

[2]　李国贤,王维君. 头花杜鹃挥发油的药理作用[J]. 安徽中医药大学学报,1983(1):40-42.

[3]　吕义长,邢建萍. 头花杜鹃化学成分的研究(二)[J]. 中国药学杂志,1981,16(1):54-55.

[4]　许子俊,叶于聪,陈钦铭,等. 头花杜鹃总黄酮对心血管作用的

研究[J]. 高原医学,1983(S2):51-56.
[5] 徐汉虹,赵善欢. 植物精油在仓库害虫防治上的应用[J]. 粮食储藏,1993(2):5-8.
[6] 尹文雅,王小平. 仓储害虫的为害及化学防治现状[J]. 湖南农业科学,2002(6):54-56.
[7] 李华. 烟叶仓储害虫的发生与防治现状[J]. 耕作与栽培,2009(6):3-4.
[8] 吴厚斌,孙艳萍,刘苹苹,等. 美国加强磷化铝和磷化镁管理[J]. 农药科学与管理,2010,31(6):55-56.
[9] 姚英娟,薛东,杨长举. 植物源农药在储粮害虫防治中的应用[J]. 粮食储藏,2004,33(2):6-9.
[10] 乔卿梅,程茂高,李先芳,等. 植物源杀虫剂防治中药材仓储害虫的应用展望[J]. 中药材,2016,39(7):1682-1685.
[11] 田雨浓. 四种萜烯单体对大麦虫生物活性及其作用机理研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2013.
[12] 姚晶,杨扬,林鹏程. 头花杜鹃和千里香杜鹃叶中挥发油的化学成分分析[J]. 湖北农业科学,2014(9):2146-2148.
[13] 李国材,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.
[14] 鞠克升. 珠光香青挥发油对赤拟谷盗的驱避和触杀作用[J]. 甘肃农业科技,2017(9):29-33.
[15] WU Yan, ZHANG Wenjuan, WANG Pingjuan, et al. Contact toxicity and repellency of the essential oil of Liriope muscari (DECN.) Bailey against three insect tobacco storage pests [C]// 新常态 新发展 新作为——广西烟草2015年优秀学术论文集,2016:132-144.
[16] 李媛,谢令德,贺艳萍. 天然除虫菊素对三种储粮害虫的触杀毒力测定[J]. 武汉轻工大学学报,2014(3):16-18.
[17] 张夏亭,聂秋林,高欣. 除虫菊素的杀虫特性与作用机理[J]. 农药科学与管理,2003,24(2):22-23.
[18] YANG Kai, YOU Chunxue, WANG Chengfang, et al. Chemical composition and bioactivity of essential oil of *Atalantia guillauminii* against three species stored product insects [J]. Journal of Oleo Science, 2015, 64(10):1101-1109.
[19] 杨扬. 11种藏药材挥发性成分研究[D]. 西宁:青海民族大学,2012.
[20] WANG Ying, YOU Chunxue, WANG Chengfang, et al. Chemical constituents and insecticidal activities of the essential oil from *Alpinia officinarum* Hance rhizomes against *Lasioderma serricorn* [C]// 中华中医药学会中药化学分会第九届学术年会论文集(第一册), 2014: 56-66.
[21] 吴彦,张文娟,李志华,等. 侧柏叶对烟草仓储害虫烟草甲和赤拟谷盗的毒杀作用[J]. 烟草科技,2015,48(10):31-56.
[22] 朱向可,郭姗姗,张喆,等. 艳山姜叶挥发油对赤拟谷盗的杀虫活性[J]. 植物保护,2017,43(6):147-151.
[23] CHEN Haiping, YANG Kai, ZHENG Lishi, et al. Repellency and toxicity of essential oil from *Atractylodes chinensis* rhizomes against two stored-product insects [C]// 中华中医药学会中药化学分会第九届学术年会论文集(第一册),2014:168-179.
[24] 钟国华,胡美英. 杜鹃花科植物活性成分及作用机制研究进展[J]. 植物科学学报,2000,18(6):509-514.
[25] 王晶磊,肖雅斌,邹春霞,等. 主要植物源杀虫剂防治储粮害虫应用及展望[J]. 粮食科技与经济,2014,39(2):47-50.
[26] 杨凯凯,高德良,刘峰. 植物源杀虫剂的研究现状与展望[J]. 农药科学与管理,2011,32(7):19-23.

(责任编辑:田 喆)

(上接118页)

[5] 刘文静,于毅,张安盛,等. 高温冲击对东亚小花蝽存活及生殖特性的影响[J]. 山东农业科学,2011(2):77-79.
[6] 袁秀萍,汪小东,王佳武,等. 短时高温对加州新小绥螨发育的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(3):853-858.
[7] 李永涛,刘敏,潘云飞,等. 短时高温暴露处理对双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 生长发育的影响[J]. 应用昆虫学报,2016,53(1):40-47.
[8] 李鸿筠,刘映红,刘浩强,等. 高温对尼氏钝绥螨的影响[J]. 中国生物防治,2009,25(S1):1-5.
[9] HODDLE M S, VAN DRIESCHE R G, SANDERSON J P. Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* [J]. Annual Review of Entomology, 1998, 43: 645-669.
[10] 李元喜,罗晨,周长青. 烟粉虱两种寄生蜂生物学特性及寄主竞争关系研究[J]. 昆虫学报,2008,51(7):738-744.
[11] CHEN Z, XU R, KUANG R P, et al. Phototactic behaviour of the parasitoid *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. Biocontrol Science and Technology, 2016, 26(2): 250-262.
[12] 徐维红,朱国仁,李桂兰,等. 温度对丽蚜小蜂寄生烟粉虱生物学特性的影响[J]. 中国生物防治,2003,19(3):103-106.
[13] 朱楠,王玉波,张海强,等. 光周期、温度对丽蚜小蜂生长发育的影响[J]. 植物保护学报,2011,38(4):381-382.
[14] 张世泽,郭建英,万方浩,等. 温度对不同品系丽蚜小蜂发育、存活和寿命的影响[J]. 中国生物防治,2004,20(3):174-177.
[15] 王琳,马春森. 周期性重复高温对昆虫的生态学效应[J]. 应用昆虫学报,2013,50(6):1499-1508.
[16] 史彩华,胡静荣,张友军. 高温对昆虫生殖生理的影响及其在农业害虫防治中的展望[J]. 中国植保导刊,2017,37(3):24-32.
[17] 戴鹏. 繁殖寄主对粉虱寄生蜂取食寄主和寄生能力的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2012.
[18] 王玉波,李梦,郑礼. 释放丽蚜小蜂防治越冬番茄温室白粉虱技术研究[J]. 河北农业科学,2011,15(11):38-41.
[19] 王玉波,方美娟,何晓庆,等. 丽蚜小蜂及配套措施联合控制技术对温室粉虱的防治效果[J]. 河北农业科学,2015,19(2):36-40.
[20] 徐维红,朱国仁,李桂兰,等. 温度对丽蚜小蜂寄生烟粉虱生物学特性的影响[J]. 中国生物防治,2003,19(3):103-106.
[21] 周淑香,李玉,张帆. 高温冲击对沃尔巴克氏体(Wolbachia)诱导孤雌产雌的丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)生殖和发育的影响[J]. 生态学报,2009,29(9):4732-4737.
[22] MOSELEY P L. Heat shock proteins and heat adaptation of the whole organism [J]. Journal of Applied Physiology, 1997, 83(5): 1413-1417.

(责任编辑:田 喆)