

艳山姜叶挥发油对赤拟谷盗的杀虫活性

朱向可¹, 郭姗姗², 张喆², 陈真阳², 周玉新¹, 杜树山^{2*}

(1. 河南大学药学院, 开封 475001; 2. 北京师范大学中药资源保护与利用北京市重点实验室, 北京 100875)

摘要 为开发新型仓储防护剂, 研究艳山姜 *Alpinia zerumbet* 叶子挥发油的化学成分及其对仓储害虫赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 的杀虫活性。通过 GC-MS 分析了艳山姜叶挥发油的化学成分, 并通过熏蒸、触杀试验测试挥发油及单体成分的活性。艳山姜叶挥发油中鉴定出 31 种化合物, 主要成分为邻伞花烃 (14.86%)、桉油精 (8.44%)、芳樟醇 (8.28%)、氧化石竹烯 (7.62%)、柠檬烯 (7.29%)、莜烯 (7.23%)、 α -蒎烯 (6.40%) 和左旋樟脑 (6.20%)。通过生物活性筛选, 艳山姜叶挥发油对赤拟谷盗成虫具有触杀毒性 (LD₅₀ 值为 6.59 μ g/头) 和熏蒸毒性 (LC₅₀ 为 5.19 mg/L)。挥发油中的主要化合物莜烯、柠檬烯和桉油精对赤拟谷盗均有一定的触杀毒性, LD₅₀ 分别为 5.13、14.97 和 18.83 μ g/头。莜烯对赤拟谷盗还显示出较强的熏蒸活性, LC₅₀ 为 4.10 mg/L。因此, 艳山姜叶挥发油及其活性化合物在应用于赤拟谷盗的防治方面有潜力。

关键词 艳山姜叶; 赤拟谷盗; 触杀活性; 熏蒸活性

中图分类号: TQ 453, S 379.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.06.025

Insecticidal activities of the essential oil from *Alpinia zerumbet* leaves against *Tribolium castaneum* in storage

Zhu Xiangke¹, Guo Shanshan², Zhang Zhe², Chen Zhenyang², Zhou Yuxin¹, Du Shushan²

(1. Pharmaceutical College of Henan University, Kaifeng 475001, China; 2. Beijing Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Protection and Utilization, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract In order to find and develop new botanical pesticides against storage pests, components of the essential oil from *Alpinia zerumbet* were identified by GC-MS and their bioactivities against *Tribolium castaneum* in storage were investigated. A total of 31 components of the oil were identified and the main components in the oil were found to be *o*-cymene (14.86%) and eucalyptol (8.44%), followed by linalool (8.28%), caryophyllene oxide (7.62%), limonene (7.29%), camphene (7.23%), α -pinene (6.40%) and l-camphor (6.20%). Bioactivity assay indicated that the essential oil possessed strong contact toxicity against *T. castaneum* adults with LD₅₀ value of 6.59 μ g/adult and fumigant toxicity with LC₅₀ value of 5.19 mg/L, respectively. Camphene, limonene and eucalyptol also possessed strong contact toxicity against *T. castaneum* with LD₅₀ values of 5.13, 14.97 and 18.83 μ g/adult, respectively. Moreover, camphene exhibited stronger fumigant toxicity with LC₅₀ values of 4.10 mg/L. The results indicate that the essential oil from *A. zerumbet* and the six isolated compounds has potential to be developed into a natural insecticide/fumigant for *T. castaneum* control.

Key words *Alpinia zerumbet*; *Tribolium castaneum*; contact toxicity; fumigant toxicity

艳山姜 *Alpinia zerumbet* (Pers.) Burtt. et Smith 为姜科山姜属植物, 别名良姜, 广泛分布于我国南方各省区, 是民间用于祛寒暖胃的良药^[1]。艳山姜中主要包含挥发油类、黄酮类、二萜类及有机酸类等化合物^[2]。目前关于艳山姜的研究主要集中在其对人类一些疾病的作用方面^[3-7], 而艳山姜的杀虫

作用未见报道。由于提出的可持续植保理论, 植物源杀虫剂的研究和应用显得越发重要^[8-9]。作为植物次生代谢产物的植物精油受到了广泛的关注。植物精油是一类具有特殊的植物性气味的物质, 该类物质不仅对人畜比较安全, 而且对环境也十分友好。植物精油对害虫常见的的作用方式有毒杀、拒食、驱避

和抑制其生长发育等^[10-11]。赤拟谷盗 *Tribolium-castaneum* (Herbst) 隶属于鞘翅目 Coleoptera 拟步甲科 Tenebrionidae, 该虫具有较强的适应性, 是一种全球广泛分布的储粮害虫。对粮食、文物及档案等进行储藏, 不仅要保证其免受害虫为害还要减少农药残留和污染。开发新型植物杀虫剂已成为人们十分关注和亟待解决的问题^[12]。

姜科植物精油具有抗菌和抗氧化等多种生物活性, 已逐渐被广泛应用于食品防腐保鲜、化妆品、医药等领域^[13]。山姜属植物更具有重要的药用价值, 不少传统中药及民间药物均来自该属植物。近年来, 国内外学者对山姜属传统中药及其他药用植物, 从品种鉴定到活性成分的筛选等各个方面进行了深入的研究^[14]。秦华珍等^[15]对山姜属植物挥发油成分的研究进行了综述。国外也有很多学者对艳山姜挥发油进行了研究^[16-17]。但是艳山姜挥发油的杀虫功效及有效成分还有待研究和探讨。本研究选择艳山姜为研究对象, 对其挥发油及单体化合物进行杀虫活性测定, 为开发出新型的植物防护剂提供相关的数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 供试昆虫

赤拟谷盗虫源来自于河南工业大学粮油食品学院, 在培养箱中人工饲养(连续饲养3代以上)。饲养条件: 将洗净晾干后的小麦磨粉, 过80目筛, 与酵母粉9:1混匀后, 装入玻璃瓶, 接入(30±10)头成虫, 在瓶口盖好棉布, 箍好皮筋, 置于培养箱中饲养(温度28~30℃, 相对湿度为75%±5%), 48 h后筛出成虫, 把玻璃瓶(内含成虫所产卵)重新放回培养箱中培养。挑选羽化后一周左右并且是同一批次羽化的成虫, 作为供试虫源(试虫不分雌雄)。

1.1.2 植物材料

艳山姜叶(5 kg)采自贵州省贞丰县连环乡岩脚村, 土壤为黄壤和壤土, 当地为亚热带季风气候区, 采摘的艳山姜为人工栽培, 5年生植物。从采摘地到北京使用顺丰快递, 共用2 d。经杜树山教授鉴定为姜科植物艳山姜 *Alpinia zerumbet* (Pers.) Burt. et Smith 的新鲜叶子, 植物样本保存于北京师范大学资源学院。

1.1.3 仪器和试剂

气相色谱仪: 安捷伦 6890N; 质谱仪: 安捷伦 5973N; 检测器: 氢火焰离子化检测器; 石英毛细管柱: HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 质谱数据库: NIST、WILEY275。

配有5 mm DUEL 双核探头和 BVT-3000 控温单元的布鲁克 Avance DRX500 核磁共振波谱仪, 以氯仿-D 为溶剂, 内标为 TMS。

旋转蒸发仪: Heidolph Laborota 4000 型; 一系列量程范围移液枪: Eppendorf; 玻璃样品瓶、玻璃培养皿: 北京玻璃仪器厂。

正己烷(AR)、乙酸乙酯(AR)等试剂购于北京化工厂。

1.2 方法

1.2.1 提取挥发油

将4.6 kg的艳山姜叶置于挥发油提取器中, 用水蒸气蒸馏法进行提取, 经过8 h提取后, 油水混合物经正己烷萃取, 减压蒸馏回收溶剂, 无水硫酸钠干燥处理后过滤, 得到的黄色液体为挥发油。挥发油于4℃冰箱中保存。

1.2.2 气相色谱-质谱联用分析

气质条件: 载气流速为1.0 mL/min。采用恒流模式不分流进样; 进样口温度设置为250℃, 传输线温度为250℃; 进样量为1 μL。采用程序升温: 起始温度为50℃, 以2℃/min速率升温, 升到150℃, 维持2 min, 以10℃/min速率升温, 升到250℃, 维持5 min。质谱采用EI离子源, 温度230℃; 四极杆温度设置150℃; 电离能量为70 eV; 扫描范围为50~550 amu。经检索NIST数据库, 比对各峰值的MS裂片, 结合有关文献谱图进行解析, 鉴定出化合物的种类。依据不同化学成分的分子量, 计算时采用峰面积归一化法, 即得挥发油中不同化学成分的相对百分含量。

1.2.3 挥发油中单体化合物的分离及鉴定

对得到的艳山姜叶挥发油(6 mL), 运用正相硅胶柱层析。依次用正己烷, 正己烷-乙酸乙酯, 乙酸乙酯进行梯度洗脱分段, 获得32个馏分段, Fr. 10、16、22再经正己烷-乙酸乙酯(100:1, V/V)反复硅胶柱层析分离, 得到的单体化合物经核磁共振解析技术确定其结构, 可以确定6个单体化合物的结构, 分别为α-蒎烯^[18]、桉油精^[19]、柠檬烯^[20]、芳樟醇^[21]、蒎烯^[21-22]、和左旋樟脑^[23]。

1.2.4 触杀活性的测定

参照文献[24]的方法测定艳山姜叶挥发油及其单体化合物对赤拟谷盗的触杀活性。从培养瓶中取出羽化一周左右的成虫, 首先用乙醚对试虫进行麻醉, 然后取 0.5 μL 用正己烷稀释的样品(预试验浓度为 50%、10% 和 2% 3 个浓度; 正式试验则根据预试验结果设置 5 个浓度梯度)滴于试虫的前胸背板上, 此步骤需置于冰袋上操作。将处理后的试虫放入直径 2.5 cm, 高 5.5 cm 的玻璃瓶中, 空白对照组为正己烷, 阳性对照组为除虫菊素, 每个样品设置 5 个浓度, 每个浓度平行重复 5 次, 每个重复选用 10 头试虫。处理后置于培养箱中(温度 28~30 $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 75% \pm 5%)培养 24 h, 观察并记录试虫的死亡情况(观察前先将玻璃瓶用力摇动, 然后倒置玻璃瓶, 5 min 后试虫不动即判断为死亡), 计算死亡率与校正死亡率。采用 SPSS 17.0 统计软件分析计算半致死浓度 LC_{50} (mg/L)。

死亡率(%) = (死亡试虫数/总试虫数) \times 100;
校正死亡率(%) = (处理组的死亡率 - 对照组的死亡率) / (1 - 对照组的死亡率) \times 100。

1.2.5 熏蒸毒性的测试

参照文献[24]的方法测定挥发油及单体化合物对赤拟谷盗的熏蒸活性。在直径 2.5 cm, 高 5.5 cm 的玻璃瓶中放入 10 头试虫, 然后取 10 μL 用正己烷稀释的样品溶液(浓度同 1.2.4)滴于瓶盖内直径 20 mm 的滤纸片上。空白对照为正己烷, 阳性对照为

甲基溴。待样品溶液挥发 20 s 后, 迅速拧紧瓶盖, 形成密闭空间, 为防止泄漏, 在瓶盖处缠上封口膜。每个处理重复 5 次, 每次重复的试虫数为 10 头。处理组、空白对照组及阳性对照组培养温湿度条件、时间和试虫的死亡情况调查与计算同触杀活性的测定, 并计算半致死剂量 LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{头}$)。

2 结果与分析

2.1 挥发油所含组分

图 1 为艳山姜叶挥发油 GC/MS 总离子流色谱图, 经计算机气质工作站分析检索 NIST 数据库, 比对各峰值的 MS 粒子裂片并结合有关文献进行谱图解析, 总共鉴定确认出 31 种化合物(表 1)。其中含量最高的组分是邻伞花烃, 其占总挥发油成分的 14.86%。

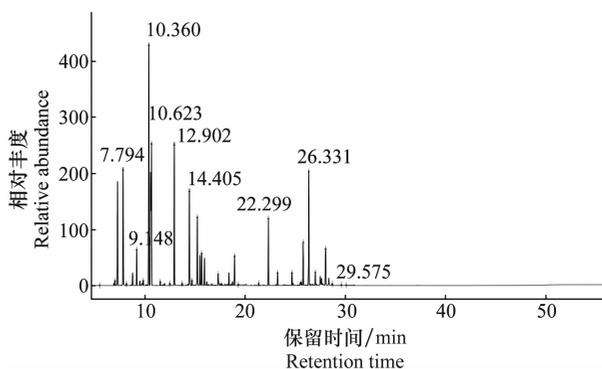


图 1 艳山姜叶挥发油 GC/MS 总离子流色谱图

Fig. 1 GC/MS chromatogram plot of the essential oil from *Alpinia zerumbet* leaves

表 1 艳山姜叶挥发油化学成分分析

Table 1 Chemical composition of the essential oil from *Alpinia zerumbet* leaves

序号 No.	保留时间/min Retention time	化学成分 Compound	分子式 Formula	相对含量/% Relative content
1	6.87	三环萜 tricyclene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.16
2	6.99	3-崖柏烯 3-thujene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.28
3	7.23	α -蒎烯 α -pinene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	6.40
4	7.80	莜烯 camphene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	7.23
5	9.15	β -蒎烯 β -pinene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	2.81
6	9.48	异松油烯 terpinolene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.28
7	9.81	3-萜烯 3-carene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.25
8	10.36	邻伞花烃 <i>o</i> -cymene	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	14.86
9	10.53	柠檬烯 limonene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	7.29
10	10.57	β -水芹烯 β -phellandrene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	3.99
11	10.62	桉油精 eucalyptol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	8.44
12	11.51	萜品烯 terpinene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.22
13	12.90	芳樟醇 linalool	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	8.28
14	14.41	左旋樟脑 <i>L</i> -camphor	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	6.20
15	14.67	水合樟脑 camphene hydrate	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.30

续表 1 Table 1(Continued)

序号 No.	保留时间/min Retention time	化学成分 Compound	分子式 Formula	相对含量/% Relative content
16	15.20	茨醇 borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	4.11
17	15.47	4-萜品醇 4-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	1.68
18	15.64	隐品酮 cryptone	C ₉ H ₁₄ O	1.89
19	15.91	α -松油醇 α -terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	1.60
20	16.15	反式醋酸松酯 <i>cis</i> -sabinyl acetate	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	0.22
21	17.28	苜基丙酮 benzylacetone	C ₁₀ H ₁₂ O	0.97
22	18.35	水茴香醛 phellandral	C ₁₀ H ₁₆ O	0.74
23	18.92	香芹酚 carvacrol	C ₁₀ H ₁₄ O	1.74
24	22.30	石竹烯 caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	3.89
25	23.22	草烯 humulene	C ₁₅ H ₂₄	0.73
26	24.65	<i>g</i> -杜松烯 <i>g</i> -cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0.73
27	25.77	橙花叔醇 nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	2.42
28	26.33	氧化石竹烯 caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	7.62
29	26.98	环氧化蛇麻烯 humulene oxide II	C ₁₅ H ₂₄ O	0.78
30	27.47	桉楠醇 machilol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.72
31	28.01	β -桉叶醇 β -eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	2.69
共计 Total			99.52	

结合图 1 和表 1 可知,从艳山姜叶挥发油中鉴定出的 31 种化合物含量占总挥发油的 99.52%,主要成分为邻伞花烃(14.86%)、桉油精(8.44%)、芳樟醇(8.28%)、柠檬烯(7.29%)、氧化石竹烯(7.62%)、

茨烯(7.23%)、蒎烯(6.40%)、左旋樟脑(6.20%)。

2.2 挥发油触杀活性及熏蒸毒性

艳山姜叶挥发油及其部分单体对赤拟谷盗的触杀活性和熏蒸毒性如表 2 所示。

表 2 艳山姜叶挥发油及单体成分对赤拟谷盗的触杀和熏蒸毒性¹⁾

Table 2 Contact toxicity and fumigant toxicity of the essential oil from *Alpinia zerumbet* leaves and its constituents against *Tribolium castaneum* adults

作用方式 Action mode	化合物 Compound	LD ₅₀ 或 LC ₅₀	95%置信区间 95%FL	斜率±标准误 Slope±SE	卡方值 χ^2
触杀 Contact toxicity	艳山姜叶挥发油 Essential oil of <i>A. zerumbet</i>	6.59	5.89~7.39	0.38±0.06	6.06
	桉油精 eucalyptol	18.83	17.13~20.69	4.86±0.50	16.56
	芳樟醇 linalool	37.27	31.92~42.30	3.35±0.43	13.57
	柠檬烯 limonene	14.97	12.88~17.04	3.33±0.42	20.01
	茨烯 camphene	5.13	4.32~5.91	2.76±0.38	16.82
	α -蒎烯 α -pinene	22.47	17.61~26.63	1.82±0.30	17.12
	左旋樟脑 <i>L</i> -camphor	51.24	50.49~57.23	3.81±0.37	17.13
	除虫菊素 pyrethrins	0.26	0.22~0.30	—	13.11
熏蒸 Fumigant toxicity	艳山姜叶挥发油 Essential oil of <i>A. zerumbet</i>	5.19	4.38~5.97	0.33±0.05	9.93
	桉油精 eucalyptol	5.47	4.73~6.17	3.97±0.47	25.30
	芳樟醇 linalool	12.72	11.58~13.94	5.07±0.52	18.40
	柠檬烯 limonene	14.97	12.88~17.04	3.33±0.42	20.01
	茨烯 camphene	4.10	3.55~4.68	3.51±0.47	14.02
	α -蒎烯 α -pinene	12.15	10.85~13.50	3.13±0.38	16.51
	左旋樟脑 <i>L</i> -camphor	—	—	—	—
	溴甲烷 methyl bromide	—	—	—	—

1) LD₅₀及其 95%置信区间触杀浓度单位为 $\mu\text{g}/\text{头}$;熏蒸 LC₅₀及其 95%置信区间浓度单位为 mg/L 。除虫菊素数据来源于文献[25]; 溴甲烷的数据来源于文献[26]。

Concentration unit for LD₅₀ and 95% fiducial limits of contact toxicity: $\mu\text{g}/\text{adult}$; Concentration unit for LC₅₀ and 95% fiducial limits of fumigant toxicity: mg/L . Data of pyrethrins from the literature [25]; Data of methyl bromide from the literature [26].

由表 2 可知: 艳山姜叶挥发油对赤拟谷盗触杀毒性较强, LD_{50} 为 $6.59 \mu\text{g}/\text{头}$ 。在分离得到的 6 种主要化合物中, 对赤拟谷盗触杀活性最强的是茨烯, 其 LD_{50} 达到 $5.13 \mu\text{g}/\text{头}$, 柠檬烯和桉油精对赤拟谷盗有一定的触杀毒性 (LD_{50} 分别为 14.97 和 $18.83 \mu\text{g}/\text{头}$)。对于熏蒸毒性, 挥发油对赤拟谷盗成虫作用强烈, LC_{50} 为 $5.19 \text{ mg}/\text{L}$ 。在单体化合物中, 桉油精 ($LC_{50} = 5.47 \text{ mg}/\text{L}$) 对赤拟谷盗的熏蒸毒性稍弱于总挥发油, 但是茨烯 ($LC_{50} = 4.10 \text{ mg}/\text{L}$) 对赤拟谷盗的熏蒸毒性要强于总挥发油。说明艳山姜叶挥发油中的单体成分茨烯对赤拟谷盗的触杀和熏蒸活性作用最强。

3 讨论

目前国内对于艳山姜挥发油成分研究较多, 吴万征等发现 4-松油醇 (32.93%) 和桉油精 (13.74%) 在艳山姜药材中含量较高^[27]。陶玲等^[28]发现种子挥发油中 β -蒎烯的含量高达 22.78%。本研究发现艳山姜叶挥发油中含量最多的是邻伞花烃 (14.86%), 其次为桉油精 (8.44%)。不同产地的艳山姜及艳山姜植株的不同部位所得的挥发油主成分有差异, 推测可能与产地的雨水量、土壤环境及光照因素等条件有关。

植物提取物对赤拟谷盗的触杀及熏蒸毒性的研究已有很多报道。王晓清等^[29]报道, 在试验剂量范围内橘皮、脐橙、肉桂、山柰、艾蒿和鱼腥草的提取物对赤拟谷盗成虫和幼虫虽然有不同程度的驱避作用, 但是均未表现出明显的触杀作用。韩群鑫等^[30]报道了丁香酚对赤拟谷盗幼虫和成虫的触杀作用, 其对幼虫和成虫的半致死浓度 (LC_{50}) 分别为 $219.00 \mu\text{L}/\text{mL}$ 和 $363.08 \mu\text{L}/\text{mL}$ 。此外, 吕建华等^[31]采用索氏提取法, 以乙醚为提取溶剂提取植物精油, 发现大蒜、辣椒粉、柑橘皮及臭椿树皮的植物精油只对赤拟谷盗幼虫有熏蒸效果, 对成虫的熏蒸效果不好。吴彦等^[32]研究发现侧柏叶挥发油对赤拟谷盗的熏蒸活性的半致死剂量为 $39.25 \text{ mg}/\text{L}$, 触杀活性的半致死剂量为 $48.59 \mu\text{g}/\text{头}$ 。本研究表明艳山姜叶挥发油对赤拟谷盗的触杀和熏蒸活性虽然稍微弱于阳性对照, 但是要强于以上报道的挥发油。

综上所述, 本研究通过 GC/MS 对艳山姜叶挥发油的化学成分进行了分析, 通过生物测定发现了艳山姜叶挥发油及其单体成分茨烯、 α -蒎烯和桉油

精对赤拟谷盗有一定的熏蒸和触杀毒性。艳山姜叶挥发油作为植物杀虫剂, 具有来源广泛, 出油率高, 提取方法简单、成本低廉等优势, 可以开发为新型的仓储防护剂。艳山姜叶挥发油以及单体对其他仓储害虫的杀虫活性以及相关的杀虫作用机理还需要做进一步的研究。

参考文献

- [1] 中国药材公司. 中国中药资源志要[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1505.
- [2] 张彦燕, 沈祥春. 艳山姜化学成分及药理作用研究进展[J]. 中药药理与临床, 2010(5): 179-181.
- [3] 愉悦. 日本冲绳产草药对大鼠离体心脏缺血-再灌注损伤的作用[J]. 国外医学·中医中药分册, 2005, 27(2): 106.
- [4] 陶玲, 沈祥春, 彭佼, 等. 艳山姜挥发油抗炎镇痛作用的实验研究[J]. 中国医院药学杂志, 2010, 30(9): 722-724.
- [5] 孙备. 艳山姜水提物中具有生物活性的黄酮和麻醉吡啶喃化合物的分离[J]. 国外医学·中医中药分册, 1999, 21(5): 46.
- [6] 神原敏光. 艳山姜叶的生物活性[J]. 国外医学·中医中药分册, 2002, 24(5): 313.
- [7] 贵州省药品监督管理局. 贵州省中药材、民族药材质量标准[S]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 292.
- [8] Tapondjou L A, Adler C, Bouda H, et al. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles [J]. Journal of Stored Products Research, 2002, 38(4): 395-402.
- [9] Bekele J, Hassanali A. Blend effects in the toxicity of the essential oil constituents of *Ocimum kilimandscharicum* and *Ocimum kenyense* (Labiatae) on two post-harvest insect pests [J]. Phytochemistry, 2001, 57(3): 385-391.
- [10] Regnaultroger C, Vincent C, Arnason J T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world [J]. Annual Review of Entomology, 2012, 57(1): 405-424.
- [11] 江志利. 植物精油杀虫作用及制剂研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [12] 李萍, 何丽华, 魏华, 等. 姜科植物精油抑菌作用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014(6): 377-382.
- [13] 刘国军. 植物精油及混用熏蒸剂对嗜卷书虱和赤拟谷盗的熏蒸控制作用[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [14] 赵志礼, 王峥涛, 董辉, 等. 山姜属药用植物及生药学研究进展[J]. 中草药, 2001, 32(2): 171-172.
- [15] 秦华珍, 刘磊, 王晓倩. 山姜属植物挥发油成分的研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(S1): 190-192.
- [16] Lahlou S, Interaminense L F, Leal-Cardoso J H, et al. Antihypertensive effects of the essential oil of *Alpinia zerumbet* and its main constituent terpinen-4-ol in DOCA-salt hypertensive conscious rats [J]. Fundamental & Clinical Pharmacology, 2003, 17(3): 323-330.

- 导及分子标记鉴定[J]. 植物病理学报, 2017, 47(2): 1-10.
- [10] 向齐君, 盛宝钦, 段霞瑜, 等. 若干小麦抗白粉病品系的有效抗病基因的测定[J]. 作物学报, 1996, 22(6): 741-744.
- [11] 司权民, 张新心, 段霞瑜, 等. 小麦白粉病菌生理小种鉴定[J]. 中国农业科学, 1987, 20(5): 64-70.
- [12] 司权民, 张新心, 段霞瑜, 等. 小麦抗白粉病品种的基因分析与归类研究[J]. 植物病理学报, 1992, 22(4): 349-355.
- [13] 段霞瑜, 盛宝钦, 周益林, 等. 小麦白粉病菌生理小种的鉴定与病菌毒性的监测[J]. 植物保护学报, 1998, 25(1): 31-36.
- [14] 徐志. 中国小麦白粉病主要流行区病原菌群体遗传结构研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [15] 李亚红. 豫、鄂、渝三省(市)小麦白粉病菌群体遗传结构研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- [16] 黄江. 良星 66 和 H962R 小麦抗白粉病基因的分子定位及白粉菌侵染的生理机制研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.
- [17] 许红星, 马朋涛, 张宏霞, 等. 小麦抗白粉病 *Pm2* 位点新基因的发掘及标记辅助选择利用[C]//第六届全国小麦基因组学及分子育种大会论文集. 杨凌, 2015.
- [18] 马朋涛, 张宏霞, 许红星, 等. 小麦品种 700 广谱抗白粉病新基因分子鉴定[C]//第六届全国小麦基因组学及分子育种大会论文集. 杨凌, 2015.
- [19] 宋伟. 小麦品种良星 99 和汶农 14 的抗白粉病基因分子定位[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2014.
- [20] 邹景伟, 邱丹, 孙艳玲, 等. *Pm52*—小麦品种良星 99 抗白粉病基因的有效性[J]. 作物学报, 2017, 43(3): 332-342.
- [21] 黄瑾, 曹世勤, 贾秋珍, 等. 小麦品种绵麦 37 对条锈病和白粉病的抗性[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(5): 698-702.
- [22] 王洋洋, 邱玲, 李萌, 等. 小麦品种绵麦 37 和绵麦 367 抗白粉病基因的 FISH 分析及分子检测[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(11): 1502-1505.
- [23] 任明见, 朱文华, 张庆勤. 抗白粉病兼抗赤霉病小麦新品种(系)的抗病性鉴定和利用评价[J]. 种子, 2003(4): 5-7.
- [24] Chen P D, Qi L L, Zhou B, et al. Development and molecular cytogenetic analysis of wheat-*Haynaldia villosa* 6VS/6AL translocation lines specifying resistance to powdery mildew [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1995, 91(6): 1125-1128.
- [25] Cao A, Xing L, Wang X, et al. Serine/threonine kinase gene *Stpk-V*, a key member of powdery mildew resistance gene *Pm21*, confers powdery mildew resistance in wheat [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(19): 7727-7732.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 151 页)

- [17] de Moura R S, Emiliano A F, de Carvalho L C, et al. Antihypertensive and endothelium dependent vasodilator effects of *Alpinia zerumbet*, a medicinal plant [J]. Journal of Cardiovascular Pharmacology, 2005, 46(3): 288-294.
- [18] Badiab-Hadj-Ahmed A Y, Meklati B Y, Waton H, et al. Structural studies in the bicyclo [3. 1. 1] heptane series by ^1H and ^{13}C NMR [J]. Magnetic Resonance in Chemistry, 1992, 30(9): 807-816.
- [19] Pouchert C J, Behnke J A. Aldrich* Library of ^{13}C and ^1H FT NMR spectra [M]. Milwaukee, WI, USA: Aldrich Chemical Co., 1993: 1, 70C, 71A, 71B.
- [20] Liu Peng, Liu Xichao, Dong Huiwen, et al. Chemical composition and insecticidal activity of the essential oil of *Illicium pachyphyllum* fruits against two grain storage insects [J]. Molecules, 2012, 17: 14870-14881.
- [21] Bohlmann F, Zeisberg R, Klein E. ^{13}C -NMR-spektren von monoterpene[n] [J]. Organic Magnetic Resonance, 1975, 7(9): 426-432.
- [22] Armstrong G S, Loening N M, Curtis J E, et al. Processing DOSY spectra using the regularized resolvent transform [J]. Journal of Magnetic Resonance, 2003, 163(1): 139-148.
- [23] Tanaka H, Chou J Y, Mine M, et al. The oxidation of alcohols in N-oxyl-immobilized silica gel/aqueous NaOCl disperse systems. A prominent access to a column-flow system [J]. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 2004, 77(9): 1745-1755.
- [24] Liu Z L, Ho S H. Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodnia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. Journal of Stored Products Research, 1999, 35(4): 317-328.
- [25] You Chunxue, Yang Kai, Wu Yan, et al. Chemical composition and insecticidal activities of the essential oil of *Perilla frutescens* (L.) Britt. aerial parts against two stored product insects [J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(3): 481-490.
- [26] Chen Haiping, Yang Kai, You Chunxue, et al. Chemical constituents and biological activities of essential oil from *Citrus wilsonii* leaves against *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. Journal of the Serbian Chemical Society, 2014, 79(10): 1213-1222.
- [27] 吴万征, 林焕泽, 吴秀荣. 艳山姜挥发油成分的气相-质谱联用分析[J]. 中国医院药学杂志, 2005, 25(4): 332-333.
- [28] 陶玲, 沈祥春, 彭佼, 等. 艳山姜全果及不同部位挥发油化学成分 GC-MS 分析[J]. 中成药, 2009, 31(6): 909.
- [29] 王晓清, 杨志慧, 马文斌, 等. 植物提取物对赤拟谷盗种群抑制作用的研究[J]. 吉林粮食高等专科学校学报, 1999, 14(4): 24-29.
- [30] 韩群鑫, 黄寿山. 丁香酚对赤拟谷盗的生物活性[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2009, 26(3): 16-19.
- [31] 吕建华, 王新民, 白旭光, 等. 4 种植物精油对赤拟谷盗的控制作用研究[J]. 河南农业科学, 2006(9): 68-71.
- [32] 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(10): 31-35.

(责任编辑: 杨明丽)