

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

李媛，刘巧林，陈晓宇，李玲艳，张雨蔚，梁俊玉*

(西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070)

摘要 本试验研究了甘菊挥发油的化学组成及其对烟草甲和赤拟谷盗两种常见仓储害虫成虫的熏蒸、触杀和驱避作用。采用水蒸气蒸馏法提取挥发油, GC/MS法分析挥发油的成分及其相对含量。结果表明, 从甘菊挥发油中鉴定出了31种化合物, 主要组分为樟脑(29.99%)、桉叶油醇(16.87%)、 β -水芹烯(4.63%)、顺马鞭草烯醇(4.41%)和顺- β -松油醇(4.04%); 生物活性测试结果显示, 甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗具有一定的触杀活性(LD_{50} 分别为24.09 $\mu\text{g}/\text{头}$ 和49.95 $\mu\text{g}/\text{头}$)和熏蒸活性(LC_{50} 分别为28.67 mg/L和14.40 mg/L)。同时, 甘菊挥发油对赤拟谷盗表现出显著的驱避活性, 对烟草甲驱避效果不明显。本试验首次研究了我国菊科菊属植物甘菊的挥发油的化学组成和杀虫活性, 结果提示该挥发油对烟草甲和赤拟谷盗具有一定杀虫、驱避活性和防治潜力。

关键词 甘菊; 挥发油; 烟草甲; 赤拟谷盗; 杀虫活性; 驱避

中图分类号: S 482.39 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2018404

Chemical composition and insecticidal activities of essential oils extracted from *Dendranthema lavandulifolium* against *Lasioderma serricorne* or *Tribolium castaneum*

LI Yuan, LIU Qiaolin, CHEN Xiaoyu, LI Lingyan, ZHANG Yuwei, LIANG Junyu

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

Abstract The chemical constituents and insecticidal activity of the essential oils from *Dendranthema lavandulifolium* against two most common pests of grain storage *Tribolium castaneum* and *Lasioderma serricorne* were investigated. The essential oil was extracted by steam distillation method and the compositions were analyzed by GC-MS. Thirty-two compounds were identified and the main components were camphor (29.99%), eucalyptol (16.87%), β -phellandrene (4.63%), verbenol (4.41%) and β -terpineol (4.04%). The results of biological activity tests showed that *D. lavandulifolium* essential oils exhibited both fumigation and contact toxicities against *L. serricorne* ($LC_{50}=28.67 \text{ mg/L}$ and $LD_{50}=24.09 \mu\text{g}/\text{adult}$) and *T. castaneum* ($LC_{50}=14.40 \text{ mg/L}$ and $LD_{50}=49.95 \mu\text{g}/\text{adult}$). Besides, the essential oils showed strong repellent activity against *T. castaneum* and no obvious repellent effect against *L. serricorne*. This was the first report of the chemical composition and insecticidal activity of the essential oils from the domestic *D. lavandulifolium* plant of the genus *Dendranthema*. The results indicated that the essential oil of *D. lavandulifolium* had the potential to be developed as a natural insecticide or repellent for the control of *T. castaneum* and *L. serricorne*.

Key words *Dendranthema lavandulifolium*; essential oil; *Lasioderma serricorne*; *Tribolium castaneum*; insecticidal activity; repellent

烟草甲 *Lasioderma serricorne* 属鞘翅目窃蠹科昆虫, 是一种世界性的储藏物害虫, 食性复杂。在粮食

储藏中为害谷物、豆类、油料等, 在烟叶储藏中为害烟叶、香烟和雪茄等烟草制品^[1]。赤拟谷盗 *Tribolium*

* 收稿日期: 2018-09-18 修订日期: 2018-12-03

基金项目: 国家自然科学基金(81660632); 甘肃省自然科学基金(18JR3RA092)

* 通信作者 E-mail: liangjunyu@nwnu.edu.cn

castaneum 属鞘翅目拟步甲科昆虫,同样为遍及全球的一种主要粮储害虫,可为害玉米、小麦、稻、高粱、油料、干果、豆类、中药材等,主要为害面粉。其寿命和为害期长,适应性广,繁殖迅速,成虫身上的臭腺分泌物使面粉结块并变色变味,不能食用,造成的损失极为严重^[2]。

对烟草甲和赤拟谷盗等仓储害虫的防治有化学、物理及生物防治等方法^[3],目前仍以化学合成杀虫剂防治为主,如磷化铝熏蒸最为普遍^[4]。化学农药具有较好的杀虫和驱虫活性,但某些农药品种对包括人类在内的哺乳动物也具干扰内分泌、三致效应(致癌、致畸和致突变作用)甚至致死等毒性作用^[5]。植物源农药具有环境友好、作用方式特异、对非靶标生物安全、不易产生抗药性、能促进作物生长并提高抗病性等特点。且种类多、开发途径多,故寻找防治仓储害虫的植物源农药具有重要意义^[6-7]。

甘菊 *Dendranthema lavandulifolium* 为菊科菊属植物,又名岩香菊,多年生草本植物。产于吉林、辽宁、河北、山东、山西、陕西、甘肃、青海等地,我国野生资源丰富,可入药^[8]。目前对于甘菊提取物的研究与开发主要限于抗氧化、抗炎等方面,也初步发现其具有一定的抑菌活性,尚未见关于甘菊挥发油组分及其对烟草甲和赤拟谷盗杀虫活性的文献报道。本研究以甘肃产甘菊为材料,赤拟谷盗和烟草甲为试虫,研究甘菊挥发油的化学组分并评价其对两种常见仓储害虫的杀虫及驱避活性。

1 材料和方法

1.1 植物材料的采集与挥发油的提取

植物材料于2017年10月采集于甘肃省榆中县兴隆山,海拔1 950 m。由西北师范大学晏民生副教授鉴定为菊科菊属植物甘菊 *Dendranthema lavandulifolium*。称取1 000 g 阴干的甘菊地上部分粉碎,采用水蒸气蒸馏法提取挥发油。蒸馏6 h后收集挥发油,用无水硫酸钠干燥,得到甘菊挥发油。将提取得到的挥发油放至玻璃瓶中密封置于4℃冰箱保存备用。

1.2 供试昆虫的培养

将烟草甲和赤拟谷盗饲养在容积为0.5 L的玻璃瓶中,瓶内装有以10:1质量比混合的小麦粉与酵母粉。饲养温度(29±1)℃,相对湿度为70%~80%。供试昆虫均为羽化1~2周活性较强的成虫(将成虫

装入小瓶中倒置,能快速爬动即为活性较强)。

1.3 甘菊挥发油的GC-MS分析

采用Agilent 7890B气相色谱和Agilent 5977A质谱仪分析甘菊挥发油化学组分。色谱柱为石英毛细管柱 HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm)。气相色谱升温程序为:初始温度60℃,保持2 min,以10℃/min升至180℃,保持1 min,再以20℃/min升至260℃,保持15 min。气相色谱控制参数为:汽化室温度250℃,载气为高纯氦气,进样量1 μL,流速1.0 mL/min,分流比100:1。质谱参数:电离方式为EI电离,电子能量700 eV,离子源温度230℃,质量扫描范围20~550 m/z。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,鉴定甘菊挥发油中化合物种类。采用峰面积归一化法,根据各化学成分的分子质量,计算出各化学成分在挥发油中的相对百分含量(质量分数)。

1.4 甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的杀虫和驱避活性测定

1.4.1 熏蒸活性的测定

参照文献[9]的方法分别测定甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的熏蒸活性。将甘菊挥发油用正己烷连续稀释制成系列浓度梯度的稀释液备用。通过预试验寻找合适的测试浓度范围。将10头供试昆虫放入直径2.5 cm,高5.5 cm的玻璃瓶中,分别吸取10 μL样品的正己烷稀释液滴在覆盖于瓶盖内直径为20 mm的滤纸片上,另取正己烷为空白对照,磷化氢、甲基溴为阳性对照。挥发20 s后,迅速拧紧瓶盖密封形成密闭空间(瓶口涂有聚四氟乙烯,防止试虫接触到含药剂的滤纸)。每组处理重复5次,每次10头。处理后置于温度(29±1)℃,相对湿度为70%~80%的恒温培养箱中培养24 h。24 h后分别检查各组试虫死亡/存活情况,计算其死亡率和校正死亡率。采用SPSS统计软件分析计算致死中浓度LC₅₀(mg/L)。

1.4.2 触杀活性的测定

参照文献[9]的方法分别测定甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的触杀活性。将甘菊挥发油用正己烷连续稀释制成系列浓度梯度的稀释液备用。通过预试验寻找合适的测试浓度范围。将羽化一周左右的成虫从培养瓶中取出,分别吸取0.5 μL甘菊挥发油正己烷稀释液滴于试虫的前胸背板上(置于冰袋上操作),正己烷和除虫菊酯作为阴性对照和阳性对

照。每个处理重复5次,每次10头。处理后放入直径2.5 cm,高5.5 cm玻璃瓶中恒温饲养24 h。24 h后分别检查各组试虫死亡/存活情况,计算其死亡率和校正死亡率。采用SPSS统计软件分析计算致死中量LD₅₀(μg/头)。

1.4.3 驱避活性的测定

参照文献[10]的方法分别测定甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的驱避活性。将甘菊挥发油用正己烷连续稀释制成系列浓度梯度的稀释液备用。通过预试验寻找合适的测试浓度范围。将直径9 cm的圆形滤纸对半裁开,取不同浓度的甘菊挥发油样品500 μL浸涂于其中一半滤纸,相当于滤纸上完全吸收量为78.63、15.73、3.15、0.63、0.13 nL/cm²的5个浓度样品,另一半以相同体积的正己烷浸涂作对照,待其自然挥发后将两半滤纸对接粘起,平铺于直径9 cm的培养皿底。将20头烟草甲和赤拟谷盗分别从培养皿中央投入,盖上皿盖,用深色布遮光,使试虫自然分散,正己烷和避蚊胺分别作为阴性对照和阳性对照。每个浓度梯度重复5次,每次试虫20头。分别在接虫2 h和4 h后检查滤纸上试虫分布情况,并用以下公式计算驱避率(PR)。

$$PR = [(N_c - N_t) / (N_c + N_t)] \times 100\%;$$

其中,N_c为出现在阴性对照区域的试虫数量,N_t为出现在试验组区域的试虫数量。

2 结果与分析

2.1 挥发油成分分析

甘菊挥发油的总离子流图见图1,其化学组分见表1。从甘菊挥发油中鉴定出31种化合物,占挥发油总量的98.95%。其主要成分为樟脑(29.99%)、桉叶油醇(16.87%)、β-水芹烯(4.63%)、顺马鞭草烯醇(4.41%)和顺-β-松油醇(4.04%)。化合物类型以烯、醇和酯等为主。文献报道^[11-12]菊属植物中的挥发油类成分主要是单萜烯类、倍半萜烯类及其含氧衍生物等,单萜类成分主要以桉叶素、樟脑、龙脑、芳樟醇等型化合物为主,本研究与上述文献比较,挥发油中都含有樟脑和龙脑。除了相同的组分外,甘菊挥发油还含有很多不同的组分如芳樟醇、桉叶素等,推测与菊属植物种类丰富有一定关系。

2.2 熏蒸活性

由表2可见,甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗

都具有一定的熏蒸活性,LC₅₀分别为28.67 mg/L和14.40 mg/L。

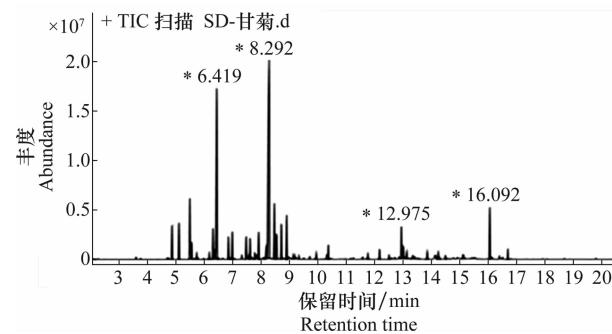


图1 甘菊挥发油的总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatography of *Dendranthema lavandulifolium* essential oils

表1 甘菊挥发油的成分分析

Table 1 Chemical components and their relative contents of *Dendranthema lavandulifolium* essential oils

序号 No.	保留时间/min Retention time	化合物 Component	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content
1	4.824	蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	2.43
2	5.072	莰烯	C ₁₀ H ₁₆	2.63
3	5.458	β-水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	4.63
4	5.525	β-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	1.13
5	5.706	月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	0.50
6	6.153	松油烯	C ₁₀ H ₁₆	0.42
7	6.286	间异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄	2.47
8	6.419	桉叶油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	16.87
9	6.836	蒈品烯	C ₁₀ H ₁₆	1.64
10	6.975	顺-β-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	4.04
11	7.609	侧柏酮	C ₁₀ H ₁₆ O	1.58
12	7.778	4,5-环氧蒈烯	C ₁₀ H ₁₆ O	0.50
13	7.917	菊烯酮	C ₁₀ H ₁₄ O	2.19
14	8.183	桧醇	C ₁₀ H ₁₆ O	1.11
15	8.292	樟脑	C ₁₀ H ₁₆ O	29.99
16	8.479	顺马鞭草烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	4.41
17	8.564	2-莰醇	C ₁₀ H ₁₈ O	2.69
18	8.727	4-蒈品醇	C ₁₀ H ₁₈ O	2.61
19	8.920	α-松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	3.53
20	10.364	乙酸桃金娘烯酯	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	1.05
21	11.778	β-榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	0.46
22	12.195	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.76
23	12.534	β-法尼烯	C ₁₅ H ₂₄	0.32
24	12.975	β-荜澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	2.60
25	13.047	β-瑟林烯	C ₁₅ H ₂₄	0.95
26	13.857	反式-橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.64
27	14.249	氧化石竹烯	C ₁₅ H ₂₄ O	1.00
28	14.503	表蓝桉醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.34
29	15.138	β-桉油醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.76
30	16.092	母菊薁	C ₁₄ H ₁₆	3.94
31	16.739	扁柏酸甲酯	C ₁₆ H ₂₄ O ₂	0.76
总计 Total				98.95

表 2 甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的熏蒸作用¹⁾Table 2 Fumigant toxicity of *Dendranthema lavandulifolium* essential oils against *Tribolium castaneum* and *Lasioderma serricorne* adults

害虫 Insect	处理 Treatment	LC ₅₀ (95%置信区间)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% FL)	斜率±标准误 Slope±SE	卡方值(χ ²) Chi square	P 值 P-value
烟草甲 <i>Tribolium castaneum</i>	挥发油 Essential oil	28.67(25.85~31.85)	3.22±0.33	28.00	0.846
	磷化氢 Hydrogen phosphide	9.23×10 ⁻³ (7.13×10 ⁻³ ~11.37×10 ⁻³)	2.12±0.27	11.96	0.971
赤拟谷盗 <i>Lasioderma serricorne</i>	挥发油 Essential oil	14.40(11.39~17.82)	3.58±0.36	28.00	0.310
	甲基溴 Methyl bromide	1.75(1.29~4.87)	2.04±0.23	11.47	0.930

1) 磷化氢和甲基溴为阳性对照,磷化氢数据来源于文献[13~14];甲基溴数据来源于文献[9]。

Hydrogen phosphide and methyl bromide are positive controls. Data of hydrogen phosphide is from the literature [13~14]. Data of methyl bromide is from the literature [9].

2.3 触杀活性

由表3可见,甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗

均有一定的触杀活性,LD₅₀分别为24.09 μg/头和49.95 μg/头。

表 3 甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的触杀作用¹⁾Table 3 Contact toxicity of *Dendranthema lavandulifolium* essential oils against *Tribolium castaneum* and *Lasioderma serricorne* adults

害虫 Insect	处理 Treatment	LD ₅₀ (95%置信区间)/μg·头 ⁻¹ LD ₅₀ (95% FL)	斜率±标准误 Slope±SE	卡方值(χ ²) Chi square	P 值 P-value
烟草甲 <i>Tribolium castaneum</i>	挥发油 Essential oil	24.09(22.37~26.06)	2.58±0.31	23.00	0.994
	除虫菊酯 Pyrethrin	0.24(0.16~0.35)	1.31±0.20	17.36	0.916
赤拟谷盗 <i>Lasioderma serricorne</i>	挥发油 Essential oil	49.95(45.01~55.44)	4.16±0.39	23.00	0.989
	除虫菊酯 Pyrethrin	0.26(0.22~0.30)	3.34±0.32	13.11	0.925

1) 除虫菊酯为阳性对照,除虫菊酯数据来源于文献[13~14]。

Pyrethrin is positive control. Data of pyrethrin is from the literature [13~14].

2.4 驱避活性

试验结果(图2、图3)表明,甘菊挥发油对烟草甲表现较弱的驱避活性。在最高测试浓度78.63 nL/cm²时,对烟草甲分别作用2 h和4 h后的PR值均在60%以下,明显低于避蚊胺;在其他较低测试浓度下,挥发油对烟草甲的驱避活性更弱,与避蚊胺比较相差较远。甘菊挥发油对赤拟谷盗表现出明显的驱避作用。挥发油对赤拟谷盗作用2 h或4 h后,当挥

发油浓度为78.63 nL/cm²时,其驱避率(percentage repellency, PR)值接近100%,与阳性对照避蚊胺对赤拟谷盗的驱避效果相同;在浓度为15.73 nL/cm²和3.15 nL/cm²时,挥发油同样具有与避蚊胺相近的驱避活性;在最小测试浓度0.13 nL/cm²时,挥发油对赤拟谷盗的驱避活性弱于避蚊胺。综上所述,甘菊挥发油对赤拟谷盗表现出显著的驱避活性,而对烟草甲无明显驱避活性。

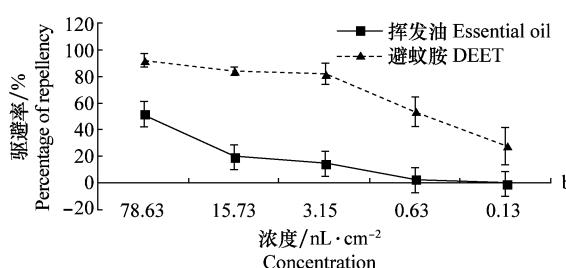
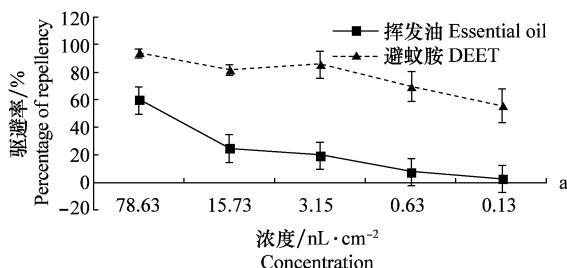


图 2 甘菊挥发油和避蚊胺对烟草甲作用 2 h(a) 和 4 h(b) 后的驱避作用

Fig. 2 Repellent activity of the essential oil of *Dendranthema lavandulifolium* and DEET against *Lasioderma serricorne* at 2 h (a) and 4 h (b) after exposure

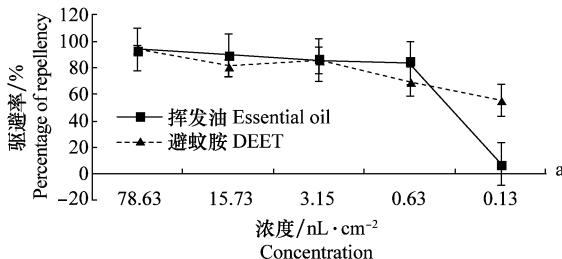


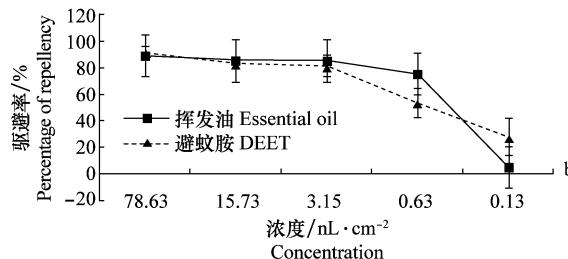
图3 甘菊挥发油和避蚊胺对赤拟谷盗作用2 h (a)、4 h(b)后的驱避作用

Fig. 3 Repellent activity of the essential oil of *Dendranthema lavandulifolium* and DEET against *Tribolium castaneum* at 2 h (a) and 4 h (b) after exposure

3 结论

本试验首次分析了甘菊挥发油的化学组成，并对其作用于烟草甲和赤拟谷盗两种常见仓储害虫的杀虫及驱避活性进行了初步研究。结果表明甘菊挥发油对烟草甲和赤拟谷盗成虫具有一定的毒杀作用，其中对赤拟谷盗表现出显著的驱避和熏蒸毒性，对烟草甲表现较强的触杀毒性。究其原因，可能与挥发油有效成分作用于虫体的组织器官及分子靶标不同，以及在虫体中解毒代谢途径的不同等原因有关。

目前已有较多关于植物挥发油对烟草甲和赤拟谷盗熏蒸和触杀活性的报道，尽管与各自阳性对照药剂磷化氢和甲基溴相比，本熏蒸结果中甘菊挥发油毒性较弱，但与其他一些文献中报道的运用类似生物测定方法的挥发油相比，其对烟草甲和赤拟谷盗表现出较明显的熏蒸活性。如，吴彦等^[15]研究发现侧柏叶挥发油对烟草甲熏蒸作用的LC₅₀为145.40 mg/L，对赤拟谷盗熏蒸作用的LC₅₀为39.25 mg/L，Yang等^[16]研究发现山苍子果实挥发油对烟草甲熏蒸作用的LC₅₀为22.97 mg/L。可以看出，甘菊挥发油对烟草甲的熏蒸活性明显强于侧柏叶挥发油，接近山苍子果实挥发油，对赤拟谷盗的熏蒸活性也强于侧柏叶挥发油；在本触杀试验中，尽管与阳性对照除虫菊酯相比，甘菊挥发油并未表现出更强的毒性，但与其他一些文献中报道的运用类似生物测定方法的挥发油相比，其对烟草甲和赤拟谷盗表现出更明显或相近的触杀活性。如，吴彦等^[15]研究发现侧柏叶挥发油对烟草甲触杀作用的LD₅₀为50.45 μg/头，对赤拟谷盗触杀作用的LD₅₀为48.59 μg/头，鞠克升等^[17]研究发现珠光香青挥发油对赤拟谷盗触杀的LD₅₀为41.25 μg/头。表明甘菊挥发油对烟草甲的



触杀活性明显强于侧柏叶挥发油，对赤拟谷盗的触杀活性与侧柏叶挥发油和珠光香青挥发油相近。

植物源农药是一种新型绿色环保的农药，我国甘菊野生资源丰富，将甘菊挥发油及其活性成分开发为新型植物型杀虫剂或驱避剂用于烟仓害虫防治具有一定实际意义。目前，关于甘菊挥发油对烟仓害虫的杀虫和驱避活性均未见文献报道，对其具有挥发作用的活性物质、对害虫种群的抑制作用、毒杀机制等方面还有待进一步深入研究。从目前来看，植物源农药具有广阔的应用前景，在不久的将来，其研究和开发将会取得更大的进展。

参考文献

- [1] 孙许强. 浅谈卷烟生产车间烟草甲虫防治[J]. 科技创新与应用, 2016(12):133.
- [2] 白明杰, 党保华, 曹阳, 等. 赤拟谷盗生活史参数变化的研究[J]. 粮食储藏, 1999(3):8-14.
- [3] 唐兴贵, 班国相, 罗倩茜, 等. 12种杀虫剂对烟草甲的室内防治效果[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(2):252-256.
- [4] 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.
- [5] 卜元卿, 孔源, 智勇, 等. 化学农药对环境的污染及其防控对策建议[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(2):19-25.
- [6] 张兴, 马志卿, 冯俊涛, 等. 植物源农药研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5):685-698.
- [7] ISMAN M B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world [J]. Annual Review of Entomology, 2006, 51:45-66.
- [8] 陶金华, 段金蕨, 钱大玮, 等. 菊属药用植物资源化学研究进展[J]. 中国现代中药, 2016, 18(9):1212-1219.
- [9] LIU Z L, HO S H. Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodia 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.

(下转 225 页)

定安徽省玉米穗腐病的主要致病菌为镰孢菌,对于选育抗病品种,防治病害具有重要意义。

参考文献

- [1] 秦子惠,任旭,江凯,等.中国玉米穗腐病致病镰孢种群及禾谷镰孢复合种的鉴定[J].植物保护学报,2014,41(5):589–596.
- [2] 周丹妮,王晓鸣,李丹丹,等.重庆及周边地区玉米穗腐病致病镰孢菌的分离与鉴定[J].植物保护学报,2016,43(5):782–788.
- [3] 郭聪聪,朱维芳,付萌,等.甘肃省玉米籽粒中镰孢菌分离频率及伏马毒素含量监测[J].植物保护学报,2015,42(6):942–948.
- [4] 肖淑芹,许佳宁,闫丽斌,等.辽宁省玉米镰孢穗腐病病原菌的鉴定与分布[J].植物保护学报,2017,44(5):803–808.
- [5] 孙华,张海剑,郭宁,等.黄淮海夏玉米主产区穗腐病病原菌的分离鉴定[J].植物保护学报,2017,44(5):796–802.
- [6] 张昊,张争,许景升,等.一种简单快速的赤霉病菌单孢分离方法—平板稀释划线分离法[J].植物保护,2008,34(6):134–136.
- [7] BOOTH C. The genus *Fusarium* [M]. Kew, Surrey, UK: Commol/Lon-wealth Mycological Institute, 1971.
- [8] LESLIE J F, SUMMERELL B A. The *Fusarium* laboratory manual [M]. Ames (IA): Blackwell Publishing, 2006.
- [9] BLUHM B H, FLAHERTY J E, COUSIN M A, et al. Multiplex polymerase chain reaction assay for the differential detection of trichothecene- and fumonisins-producing species of *Fusarium* in cornmeal [J]. Journal of Food Protection, 2002, 65(12): 1955–1961.
- [10] MULÈ G, SUSCA A, STEA G, et al. A species-specific PCR assay based on the calmodulin partial gene for identification of *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* and *F. subglutinans* [J]. European Journal of Plant Pathology, 2004, 110(5/6): 495–502.
- [11] MISHRA P K, FOX R T V, CULHAM A. Development of a PCR-based assay for rapid and reliable identification of patho-
- [12] NICHOLSON P, SIMPSON D R, WESTON G, et al. Detection and quantification of *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum* in cereals using PCR assays [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 1998, 53(1): 17–37.
- [13] SCHAAFSMA A W, LIMAY-RIOS V, TAMBURIC-ILLINCIC L. Mycotoxins and *Fusarium* species associated with maize ear rot in Ontario, Canada [J]. Cereal Research Communications, 2008, 36: 525–527.
- [14] SAMPIETRO D A, DIAZ C G, GONZALEZ V, et al. Species diversity and toxigenic potential of *Fusarium graminearum* complex isolates from maize fields in northwest Argentina [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(1): 359–364.
- [15] STUMPF R, DOS SANTOS J, GOMES L B, et al. *Fusarium* species and fumonisins associated with maize kernels produced in Rio Grande do Sul State for the 2008/09 and 2009/10 growing seasons [J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2013, 44(1): 89–95.
- [16] 郭成,魏宏玉,郭满库,等.甘肃玉米穗腐病病样中轮枝镰孢菌的分离鉴定及生物学特性[J].植物病理学报,2014,44(1): 17–25.
- [17] BOTTALICO A. *Fusarium* diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe [J]. Journal of Plant Pathology, 1998, 80(2): 85–103.
- [18] LOGRIECO A, MULÈ G, MORETTI A, et al. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe [J]. European Journal of Plant Pathology, 2002, 108(7): 597–609.
- [19] 任旭,朱振东,李洪杰,等.轮枝镰孢SSR标记开发及在玉米分离群体遗传多样性分析中的应用[J].中国农业科学,2012,45(1): 52–66.

(责任编辑:杨明丽)

(上接206页)

- [10] ZHANG Jingsong, ZHAO Nana, LIU Qizhi, et al. Repellent constituents of essential oil of *Cymbopogon distans* aerial parts against two stored-product insects [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59: 9910–9915.
- [11] HASSANPOURAGHDAM M B. Flowerhead volatile oil composition of soilless culture-grown *Chrysanthemum balsamita* L. [J]. Natural Product Research, 2009, 23(7): 672–677.
- [12] MARONGIU B, PIRAS A, PORCEDDA S, et al. Chemical and biological comparisons on supercritical extracts of *Tanacetum cinerariifolium* (Trevir) Sch. Bip. with three related species of chrysanthemums of Sardinia (Italy) [J]. Natural Product Research, 2009, 23(2): 190–199.
- [13] WANG Ying, YOU Chenxue, YANG Kai, et al. Bioactivity of essential oil of *Zingiber purpureum* Rhizomes and its main compounds against two stored product insects [J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108(3): 925–932.
- [14] WANG Ying, YOU Chunxue, WANG Chengfang, et al. Chemical constituents and insecticidal activities of the essential oil from *Amomum tsao-ko* against two stored-product insects [J]. Journal of Oleo Science, 2014, 63(10): 1019–1026.
- [15] 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):31–35.
- [16] YANG Kai, WANG Chengfang, YOU Chunxue, et al. Bioactivity of essential oil of *Litsea cubeba*, from China and its main compounds against two stored product insects [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2014, 17(3): 459–466.
- [17] 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.

(责任编辑:田喆)