

7 种中药材挥发物测定及对印度谷螟幼虫引诱效果研究

刘鑫宇¹, 王殿轩^{1*}, 马晓辉¹, 黄依林¹, 张志明², 王 嘎³

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 国家粮食产业(仓储害虫防控)技术中心, 粮食储运国家工程研究中心, 郑州 450001;
2. 河南华美生物工程有限公司, 郑州 450001; 3. 河南省医药供应有限责任公司, 郑州 450000)

摘要 中药材挥发性成分及其对害虫的引诱作用与中药材的储存和害虫科学治理紧密相关。本文测定了 28℃ 下黄芪、白芷、防风、板蓝根、射干、山药和地黄等 7 种中药材的挥发性物质种类、相对含量及这些中药材对印度谷螟幼虫 *Plodia interpunctella* 的引诱率。采用 HS-SPME-GC-MS 法测得 7 种中药材含有烷、烯、醛、醇、酸、酮、酯和其他等 8 类物质。黄芪、白芷、防风、板蓝根、射干、山药和地黄的挥发性成分种类数量分别为 54、46、45、43、43、35 种和 33 种, β -甜没药烯、己醇、丁内酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮等为 7 种中药材共同有的挥发性物质。黄芪、白芷、防风和山药对印度谷螟幼虫的引诱率分别为 35%、33%、32% 和 25%; 射干、板蓝根和地黄对印度谷螟幼虫的引诱率分别为 12%、13% 和 17%。十六烷、柏木烯、 β -蒎烯、柠檬烯、庚醇、己醛在黄芪、白芷、防风中的相对含量较高, 壬酸、2-丁酮、(E)-6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮、甲氧基苯酚、2,6-二叔丁基-1,4-苯醌在射干、板蓝根和地黄中的相对含量较高。中药材中的这些挥发性成分对害虫的趋向性行为作用值得进一步研究。

关键词 中药材; 挥发物; 印度谷螟; 幼虫; 引诱

中图分类号: S379.5 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2020624

Volatiles from seven species of Chinese medicinal materials and their attractant effect on the larvae of *Plodia interpunctella* Hübner

LIU Xinyu¹, WANG Dianxuan^{1*}, MA Xiaohui¹, HUANG Yilin¹, ZHANG Zhiming², WANG Ga³

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, National Grain Industry (Storage Insect Pests Control) Technology Innovation Center, Grain Storage and Logistic National Engineering Research Center, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Huamei Biological Engineering Company Limited, Zhengzhou 450001, China; 3. Henan Pharmaceutical Supply Company Limited, Zhengzhou 450000, China)

Abstract The volatiles of Chinese medicinal materials and their attraction to stored-product insects are closely related to the commodity storage and scientific pest management. The categories and relative percentages of volatile organic compounds from seven species of Chinese medicinal materials and their attracting effect on the larvae of *Plodia interpunctella* were measured at 28°C. Eight categories of volatiles were detected from seven species of herbs, by HS-SPME-GC-MS at 28°C including alkanes, alkenes, aldehydes, alcohols, acids, ketones, esters, and others. The numbers of volatile species from *Astragalus mongholicus*, *Angelica dahurica*, *Saposhnikovia divaricata*, *Isatis tinctoria*, *Belamcanda chinensis*, *Dioscorea polystachya*, and *Rehmannia glutinosa* were 54, 46, 45, 43, 43, 35 and 33, respectively. All the tested herbs contained β -bisabolene, hexanol, butyrolactone and 6-methyl-5-heptene-2-one. The attraction rates of *A. mongholicus*, *A. dahurica*, *S. divaricata*, and *D. polystachya* to *P. interpunctella* larvae were 35%, 33%, 32% and 25%, separately. While the attracting percentage of *B. chinensis*, *I. tinctoria*, and *R. glutinosa* was only 12%, 13% and 17%, respectively. The relative content of hexadecane, cedrene, β -pinene, limonene, heptanol, and hexanal were high in *A. mongholicus*, *A. dahurica* and *S. divaricata*. The relative percentages of nonanoic acid, 2-butanone, methoxy-

收稿日期: 2020-11-22 修订日期: 2020-12-29

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1600800)

* 通信作者 E-mail: wangdianxuan62@126.com

phenyl-oxime, (E)-6, 10-dimethyl-5, 9-undecadiene-2-one and 2, 6-di-tert-butyl-1, 4-benzoquinone from *B. chinensis*, *I. tinctoria* and *R. glutinosa* were higher than from other herbs. Further attention should be paid to these volatile organic compounds for their attraction to the stored-product insect pests.

Key words Chinese medicinal materials; volatile organic compound; *Plodia interpunctella*; larva; attraction

印度谷螟 *Plodia interpunctella* Hübner 是世界性分布的主要储藏物害虫^[1],在我国分布广泛,发生频率高^[2],其为害的储藏物达 170 余种^[3],涉及粮食、糖果、坚果、干果、药材、干蔬菜等^[4-7]。印度谷螟能够对其卵周围 21~276 m 内的储藏物造成危害^[8],其孵化出的幼虫可钻透包装,取食为害储藏物,或吐丝、排泄污染储藏物,导致储藏物品品质下降,造成巨大经济损失^[9-11]。了解印度谷螟幼虫对储藏物品的趋向选择和取食行为习性,对减少其幼虫为害和科学防治具有重要意义。

在储藏物害虫防治中,应用广泛的技术包括化学熏蒸、低温储藏、气调储藏、辐照杀虫等,这些技术各有其适用特性^[12-14]。从减少化学药剂使用、强化害虫综合治理的角度出发,利用害虫对储藏物品及其挥发物的趋向性,或取食偏好性,如利用储藏物中含有的挥发性物质引诱捕获防治害虫^[15-17],具有取材方便、绿色环保、生态友好等特点,关于此方面的研究也在逐渐增多^[18-19]。利用储藏物害虫趋向习性加以引诱的研究多见于甲虫,如锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus、米象 *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)、玉米象 *Sitophilus zeamais* Motschulsky、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst)、杂拟谷盗 *Tribolium confusum* Du Val 和四纹豆象 *Callosobruchus maculatus* Fabricius 等^[20-24]。对鳞翅目害虫诱捕的研究多见于成虫^[18,25-28]。有研究表明花生对印度谷螟成虫的引诱效果比小麦、玉米和稻谷更加显著^[29]。印度谷螟雌雄成虫对巧克力挥发物乙基香兰素、苯乙醛和壬醛的触角电位(EAG)反应显著^[30]。小麦挥发物对印度谷螟成虫的引诱效果也较为明显^[31]。有的香水中的丙酸异戊酯、柠檬醛和乙酸乙酯对印度谷螟幼虫具有引诱作用^[32]。迄今,鳞翅目幼虫对储藏物挥发性物质趋向性的研究依然偏少,更缺乏印度谷螟幼虫对中药材及其挥发物选择趋向性的报道。

中药材是我国中医药产业发展的基础,年产量达 300 多万 t,相关产业产值规模已超 7 000 亿元,具有重要的经济意义^[33]。中药材种类繁多,且多为

植物源物质^[34],易受到储藏物害虫为害。印度谷螟幼虫食性复杂,可为害包括人参 *Panax ginseng*、白芷 *Angelica dahurica*、当归 *Angelica sinensis* 等多种名贵中药材,致使其品质下降,甚至丧失药用功效^[35-36]。有关中药材的害虫防治,已报道的有植物材料对害虫生长发育的影响、药材精油熏蒸杀虫等^[37-41],少有害虫对药材的趋向行为研究。我国中药材储藏中有“对抗同贮法”的应用,即将一些具有驱虫、防霉作用的特殊气味的药材与易生虫、发霉的药材共储,以达到防虫霉安全储藏的目的^[42]。这些实践印证了中药材中存在某些对害虫具有吸引或驱避作用的特殊挥发物。研究害虫对中药材的趋向行为,明确中药材中具有吸引/驱避特性的物质,有助于利用其组分对害虫的引诱/驱避作用防控,促进害虫诱捕技术的运用。药材甲 *Stegobium paniceum* 对天麻 *Gastrodia elata*、三七 *Panax notoginseng*、前胡 *Peucedanum praeruptorum* 和当归等 4 种中药材具有显著的选择偏好性^[43],丁香 *Syzygium aromaticum* 和吴茱萸 *Tetradium ruticarpum* 对赤拟谷盗具有防虫效果^[42],未见中药材挥发物对印度谷螟幼虫趋向性行为影响的报道。本文测定了印度谷螟幼虫对白芷、地黄 *Rehmannia glutinosa*、射干 *Belamcanda chinensis*、防风 *Saposhnikovia divaricata*、板蓝根 *Isatis tinctoria*、山药 *Dioscorea polystachya*、黄芪 *Astragalus mongholicus* 等 7 种中药材的趋向行为,并测定了 28℃ 下 7 种中药材的挥发物种类、成分及相对含量,以期发现对害虫的趋向性行为作用值得进一步研究的挥发性物质成分,为害虫综合防治研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试虫

试验用印度谷螟种群采自郑州某粮库,于河南工业大学储藏物昆虫研究室生化培养箱(BSP-250,上海博讯实业有限公司)中纯化培养多代。培养饲料为燕麦片与酵母质量比 19:1 的混合物。培养环境:温度(28±1)℃、相对湿度(75±5)%、L//D=16 h//8 h。

采用孵化后 3 龄(10~15 d)幼虫为试虫。龄期采用幼虫头壳宽度^[44]判断。

1.2 中药材样品

使用的中药材均为未使用过化学药剂处理的生药,由河南华美生物工程有限公司提供,参照 2000 版《中国药典》附录 IX H 水分测定法第一法烘干法测定水分含量。测试中各中药材的水分含量分别为白芷 12.5%、地黄 15.0%、射干 10.5%、防风 11.0%、板蓝根 12.0%、山药 12.0%、黄芪 12.0%。试验前样品用中药材粉碎机(FW-135,天津泰斯特仪器有限公司)粉碎,取 20 目筛的筛上物,置于自封袋中在-4℃冰箱(FCD-268SEA,青岛海尔电冰柜有限公司)中保存,测试前 24 h 移至室温待用。

1.3 挥发物测定

采用顶空取样固相微萃取(HS-SPME)法提取样品挥发物。使用气相色谱质谱联用仪(GC-MS)分析挥发物成分。

萃取方法:称取 3 g 样品于 10 mL 顶空萃取瓶中,封盖后于(28±1)℃下平衡 24 h,用 230℃活化 5 min 的固相微萃取纤维头(50/30 μm DVB/CAR/PDMS)在 28℃下顶空萃取 30 min。后插入 250℃的进样口中解析 3 min,进行分析。

色谱条件:色谱柱为 Agilent DB-5MS 石英毛细管柱(0.25 mm×30 m×0.25 μm)。进样口温度 250℃,不分流进样。色谱柱起始温度 60℃,2℃/min 升温至 100℃,保持 5 min;再以 5℃/min 升温至 200℃,保持 5 min。载气采用纯度 99.99% 氮气,柱流量 1.22 mL/min。

质谱条件:电离方式为 EI,电离能量 70 eV。离子源温度 230℃,接口温度 200℃。全扫描采集模式,质量范围 35~500 amu。

1.4 印度谷螟幼虫选择参数测定

试验使用 Y 形嗅觉仪测定印度谷螟幼虫趋性反应。Y 形嗅觉仪由抽气泵、Y 形透明玻璃管(适应臂长 30 cm,处理臂、对照臂长 20 cm,两臂之间夹角 75°,直径 4 cm)、食料投放瓶、活性炭空气过滤装置、空气加湿装置、气体流量计组成,以橡胶管依次连接。气流经除杂加湿后由 Y 形管处理臂和对照臂端通向适应臂端。试验前将 Y 形嗅觉仪置于(28±1)℃、(75±5)% RH,空气洁净的环境中,以 400 mL/min 通气 10 min 至稳定。试验时,在处理

臂所连食料投放瓶中加入 3 g 中药材样品(20 目筛的筛上物),对照臂端为空。将 20 头饥饿 12 h 的印度谷螟 3 龄幼虫放入 Y 形管适应臂中心处,黑色遮光布覆盖下以 400 mL/min 流速通入空气,试虫选择 20 min 后观察并记录 Y 形管三臂中试虫数量,试虫(包括虫体 2/3 以上)运动至处理臂或对照臂超过 3 管结合部 10 cm 处视为做出选择,否则视为对该样品没有选择。每种药材样品进行 10 次平行试验,每 3 次试验后调换处理臂与对照臂位置,每 5 次试验后用 75%乙醇清洗 Y 形管和食料投放瓶,待其干燥后继续试验。以对照臂和处理臂中均不加入食料为空白对照。按下列公式计算反应率、引诱率^[45]和选择系数^[44]。其中,反应率高反映试虫总体上有行为反应的数量多,引诱率高反映试虫被中药材挥发物引诱的数量多,选择系数大则反映趋向中药材的试虫数量明显多于对照臂中的试虫数量。

选择系数=(处理臂试虫数-对照臂试虫数)/(处理臂试虫数+对照臂试虫数);

引诱率=处理臂试虫数/测试总试虫数×100%;

反应率=(处理臂试虫数+对照臂试虫数)/测试总试虫数×100%。

1.5 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2010 处理,通过 SPSS 22.0 数据处理系统进行 χ^2 检验,用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 测试中药材挥发物类别、种类数量及相对含量

7 种中药材的挥发物类别及物质种类数量见表 1。测试条件下中药材所含有机化合物包括烷、烯、醛、醇、酸、酮、酯、其他等 8 类物质,除地黄中未检出醛类物质外,其他每种中药材中均检出了以上 8 类物质。测试中药材中所含挥发物成分数量存在明显差异,数量最多的黄芪,达 54 种,白芷为 46 种,防风为 45 种,山药有 35 种。成分种类数量较少的为地黄,有 33 种。同类物质在不同药材中的数量差异明显,烷烃类物质从射干中仅检测到 2 种,从山药中检测到 10 种,烯烃类物质在白芷、防风、黄芪中检测到 14~17 种而山药中仅检测到 3 种,醇类物质在白芷中检测到 8 种而地黄和板蓝根中仅检测到 3 种,酸类物质板蓝根中最多,检测到 11 种,白芷中只检测到 3 种。醛(除地

黄外其他 6 种中药材)、酯、酮以及其他类别物质种类数量则在 1~7 种。7 种中药材中烯烃、烷烃、酸类物质种类数量差异较大,醇、醛、酯和其他类别物质种类数量差异相对较小。

图 1 表明不同药材所含物质类别的相对含量差异明显,烷烃类在山药中相对含量最高,烯烃类在白芷、防风和黄芪中含量最高,酸类在地黄和板蓝根中相对含量最高,射干中酮类相对含量最高。白芷、防风和黄芪中醇类挥发物相对含量均高于 10%。地黄中其他挥发物相对含量高达 20.34%。

通过常温顶空取样 GC-MS 分析 7 种中药材样品主要成分如表 2 所示。相同测试条件下中药材的

挥发物质种类差异明显,多种挥发性物质在 3 种以上的中药材中有检测出,且相对含量存在差异;有的则仅为某种药材特有。 β -甜没药烯、己醇、十六烷酸、丁内酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮为 7 种测定中药材中都含有的物质,但其在不同药材中的相对含量存在差异。除地黄外所有中药材中均含有 α -蒎烯和壬醛,2-己酰呋喃在除山药外的 6 种中药材中检出,且其在不同药材中的相对含量有明显差异。香橙烯、(Z)-2-壬烯醛和癸酸分别为防风、山药和射干特有挥发性成分,相对含量均为最高。地黄、板蓝根、白芷和黄芪中相对含量最高的挥发性成分分别为甲氧基苯酚、十六烷酸、柏木烯和壬醛。

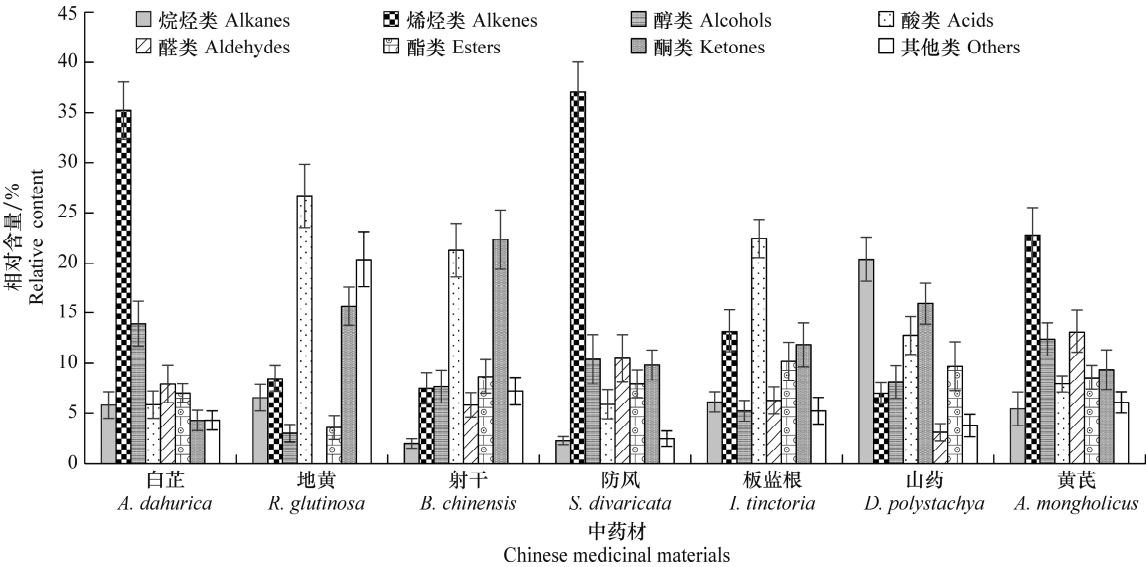


图 1 7 种中药材的挥发性成分类别及相对含量

Fig. 1 Categories and relative contents of the volatile organic compounds from seven species of Chinese medicinal materials

表 1 供试 7 种药材的挥发性有机物类别及其物质数量

物质类别 Component category	物质数量/种 Number of the components						
	白芷 <i>Angelica dahurica</i>	地黄 <i>Rehmamia glutinosa</i>	射干 <i>Belamcanda chinensis</i>	防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	板蓝根 <i>Isatis tinctoria</i>	山药 <i>Dioscorea polystachya</i>	黄芪 <i>Astragalus mongholicus</i>
烷烃类 Alkanes	3	6	2	4	6	10	5
烯烃类 Alkenes	17	6	7	14	7	3	14
醇类 Alcohols	8	3	6	7	3	6	7
酸类 Acids	3	6	7	6	11	5	7
醛类 Aldehydes	4	0	4	4	3	5	4
酯类 Esters	5	1	6	5	4	2	6
酮类 Ketones	3	5	7	4	7	3	7
其他类 Others	3	6	4	1	2	1	4
总数 Total	46	33	43	45	43	35	54

表 2 7 种中药材的挥发物主要成分及相对含量¹⁾

Table 2 Main volatile organic compounds and their relative contents in seven species of Chinese medicinal materials

成分名称 Component	相对含量/% Relative content						
	白芷 <i>Angelica dahurica</i>	地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>	射干 <i>Belamcanda chinensis</i>	防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	板蓝根 <i>Isatis tinctoria</i>	山药 <i>Dioscorea polystachya</i>	黄芪 <i>Astragalus mongholicus</i>
癸烷 Decane	—	—	—	—	—	2.77±1.04	—
十六烷 Hexadecane	1.68±0.36	—	—	—	—	4.61±1.77	2.95±1.02
4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)- 双环[3.1.0]己烷 4-methylene-1-(1-methylethyl)- bicyclo[3.1.0]hexane	3.61±0.86	—	—	—	—	—	—
十二甲基环己烷 Dodecamethyl-cyclohexane	—	—	—	—	—	4.36±1.88	—
柏木烯 Cedrene	12.67±1.67	—	—	7.10±0.96	—	1.24±0.44	—
柠檬烯 Limonene	1.22±0.36	—	—	1.56±0.42	—	—	1.81±0.43
松油烯 Terpinene	—	1.21±0.40	1.64±0.31	—	1.47±0.38	—	—
α -蒎烯 α -pinene	2.55±1.07	—	0.43±0.09	4.71±2.17	0.81±0.19	3.42±1.21	2.63±1.21
β -蒎烯 β -pinene	2.98±1.29	—	—	3.88±1.36	—	—	3.00±1.27
β -榄香烯 β -elemene	0.69±0.27	—	—	0.94±0.22	—	—	1.88±0.29
β -芹子烯 β -selinene	0.34±0.07	—	—	1.02±0.08	—	—	0.54±0.14
β -甜没药烯 β bisabolene	0.26±0.10	1.29±0.26	0.94±0.16	4.74±1.38	2.98±1.04	2.37±1.00	2.63±0.68
香橙烯 Aromadendrene	—	—	—	8.03±1.34	—	—	—
别香橙烯 Alloaromadendrene	0.48±0.19	—	—	0.60±0.16	—	—	0.55±0.07
4-异硫氰基-1-丁烯 4-isothiocyanato-1-butene	—	—	—	—	3.85±0.78	—	—
己醇 Hexanol	0.32±0.07	0.50±0.13	1.47±0.24	2.05±0.85	2.19±0.93	0.34±0.04	2.27±0.68
庚醇 Heptanol	1.19±0.11	—	—	2.44±0.66	—	0.39±0.07	1.09±0.21
松油醇 Terpinolol	1.96±0.44	—	1.96±0.48	—	—	—	1.49±0.37
月桂醇 Laurinol	1.45±0.35	—	—	—	—	—	1.08±0.44
雪松醇 Cedrol	2.76±0.74	—	2.34±0.79	—	—	—	—
桉叶油醇 Eudesmol	4.54±1.69	1.25±0.45	0.85±0.22	—	—	—	0.43±0.13
2-乙基-1-己醇 2-ethyl-1-hexanol	—	—	—	—	—	2.65±0.87	—
2,2-二甲基-1-辛醇 2,2-dimethyl-1-octanol	—	—	—	—	—	2.49±0.84	—
3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇 3,7-dimethyl-1, 6-octadiene-3-ol	—	—	0.52±0.14	1.47±0.41	1.54±0.36	—	5.03±2.05
己酸 Hexanoic acid	—	1.07±0.31	1.57±0.66	—	1.48±0.59	1.59±0.39	—
辛酸 Octanoic acid	0.31±0.10	—	1.24±0.35	0.74±0.33	1.60±0.53	—	0.89±0.15
癸酸 Decanoic acid	—	—	11.70±2.33	—	—	—	—
壬酸 Nonanoic acid	—	6.35±1.39	2.31±0.54	—	1.08±0.15	—	—
十一烷酸 Undecanoic acid	—	—	—	—	—	2.25±0.78	—
十三烷酸 Tridecylic acid	—	—	2.12±0.51	—	—	—	1.04±0.17
十四烷酸 Tetradecanoic acid	1.22±0.33	—	—	0.68±0.19	2.32±0.64	—	—
十六烷酸 Hexadecanoic acid	4.34±1.62	7.61±1.74	0.95±0.07	2.03±0.85	9.17±1.96	4.10±1.33	3.33±0.68
十八烷酸 Octadecanoic acid	—	2.52±0.20	—	—	1.58±0.39	—	1.18±0.44
3-甲基-丁酸 3-methyl-butanoic acid	—	7.66±2.17	—	0.78±0.24	1.11±0.17	1.34±0.36	—
4-羟基-丁酸 4-hydroxy-butanoic acid	—	—	—	—	—	3.46±1.21	—
苯甲醛 Benzaldehyde	—	—	—	—	—	3.79±1.43	—
己醛 Hexanal	1.68±0.38	—	—	—	—	0.88±0.36	3.03±1.03
庚醛 Heptanal	1.23±0.41	—	1.95±0.62	3.55±1.36	—	—	4.10±1.82

续表 2 Table 2(Continued)

成分名称 Component	相对含量/% Relative content						
	白芷 <i>Angelica dahurica</i>	地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>	射干 <i>Belamcanda chinensis</i>	防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	板蓝根 <i>Isatis tinctoria</i>	山药 <i>Dioscorea polystachya</i>	黄芪 <i>Astragalus mongholicus</i>
辛醛 Octanal	1.08±0.19	—	—	4.64±1.21	2.86±0.88	—	—
癸醛 Decanal	—	—	—	0.37±0.09	1.49±0.43	1.78±0.49	0.62±0.27
壬醛 Nonanal	3.94±1.26	—	1.92±0.47	1.92±0.36	1.95±0.44	3.58±0.98	5.40±1.06
顺-2-壬烯醛 (Z)-2-nonenal	—	—	—	—	—	5.93±0.38	—
乙酸己酯 Hexyl acetate	—	—	—	—	2.42±0.88	—	—
己酸甲酯 Methyl caproate	1.14±0.28	—	1.62±0.19	1.34±0.44	—	—	1.01±0.15
癸酸癸酯 Decyl decanoate	—	—	—	—	—	2.44±0.88	0.70±0.19
十六烷酸甲酯 Methyl palmitate	—	—	2.63±1.08	—	2.89±1.26	—	—
丁内酯 Butyrolactone	2.33±0.36	3.58±1.17	0.53±0.08	2.04±0.41	3.12±0.43	0.67±0.10	1.91±0.37
γ-己内酯 γ-caprolactone	—	—	—	—	—	—	2.63±0.56
2-丁酮 2-butanone	—	—	2.29±1.06	—	1.36±0.16	—	—
2-庚酮 2-heptanone	—	—	—	—	1.01±0.28	—	2.41±0.55
2-辛酮 2-octanone	—	—	—	—	—	—	1.24±0.26
2-壬酮 2-nonanone	1.52±0.43	—	—	0.96±0.33	—	—	1.23±0.18
3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	—	—	—	—	1.67±0.39	0.37±0.08	0.32±0.06
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-heptene-2-one	2.28±0.63	3.71±0.87	10.23±1.42	6.43±1.62	5.13±1.29	7.15±1.74	2.06±0.41
6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮 6-methyl-3,5-heptadiene-2-one	—	—	3.56±1.31	—	—	—	—
反-6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮 (E)-6,10-dimethyl-5,9-undecadiene-2-one	—	1.34±0.26	0.56±0.13	—	1.33±0.32	—	—
1,6-二氧酰基十二烷-7,12-二酮 1,6-dioxacyclododecane-7,12-dione	—	7.06±1.90	—	—	—	—	—
香叶基丙酮 Geranyl acetone	—	—	4.38±1.33	—	0.49±0.11	—	—
2-戊基呋喃 2-pentylfuran	2.37±0.96	1.11±0.24	2.55±0.58	—	—	—	2.46±0.96
2-己酰呋喃 2-hexanoylfuran	1.44±0.35	1.36±0.32	2.82±0.64	2.49±0.74	3.03±1.40	—	1.85±0.47
3,4-二甲基-苯酚 3,4-dimethyl-phenol	—	—	—	—	—	—	1.36±0.52
2,4-二叔丁基苯硫酚 2,4-di-tert-butylthiophenol	—	2.65±0.45	—	—	—	3.79±1.11	—
4,5-二氢-5,5-二甲基-4-异亚丙基-1H-吡唑 4,5-dihydro-5,5-dimethyl-4-isopropylidene-1H-pyrazole	—	2.55±0.66	—	—	—	—	—
甲氧基苯肟 Methoxy-phenyl-oxime	—	10.31±2.73	0.48±0.09	—	—	—	—
2-甲氧基-4-乙烯基苯酚 2-methoxy-4-vinylphenol	—	—	—	—	2.22±0.83	—	—
2,6-二叔丁基-1,4-苯醌 2,6-di-tert-butyl-1,4-benzoquinone	—	2.36±1.04	1.39±0.36	—	—	—	—

1) 表中数据为平均值±标准误。“—”表示该成分没有被检测到。
Data in the table are mean±standard error. “—” indicates that the compound is not detected.

2.2 印度谷螟幼虫对中药材的趋向性

表 3 显示,幼虫对不同中药材的趋向性差异显

著,其对白芷、黄芪、防风、山药的选择系数均大于 0,即试虫对以上中药材表现出正趋向性。对应地,

幼虫对板蓝根、地黄、射干总体表现出负趋向性。试虫在有中药材的环境中的反应率明显大于不含中药材的对照环境,而试虫对不同中药材反应率的变化与选择系数的变化顺序有不一致的情况,其原因可能是有些个体受中药材挥发物的影响其运动的方向性不明显。从引诱率的结果看,即使存在试虫个体

运动方向性不明显的情况下,白芷、黄芪和防风 3 种中药材仍对试虫总体表现出了较高的引诱率,比板蓝根、地黄、射干可明显引诱更多害虫。这可能与白芷、黄芪、防风含有较多吸引试虫的挥发物质种类,或某种挥发物质相对含量较高,或含有某些或某种特有挥发物质,或以上因素的综合作用有关。

表 3 印度谷螟幼虫对 7 种中药材的趋向性选择参数¹⁾

Table 3 Selection parameters of *Plodia interpunctella* larvae for seven species of Chinese medicinal materials

中药材 Chinese medicinal materials	选择系数 Selection coefficient	反应率/% Response rate	引诱率/% Attraction rate	$\chi^2(df=1)$	<i>P</i>
白芷 <i>Angelica dahurica</i>	(0.42±0.09)a	(50.50±3.11)ab	(35.50±2.63)a	11.233	<0.01
黄芪 <i>Astragalus mongholicus</i>	(0.37±0.05)a	(49.00±1.80)ab	(33.50±1.50)a	9.062	<0.01
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	(0.42±0.12)a	(45.00±3.58)bc	(32.00±3.67)a	11.560	<0.01
山药 <i>Dioscorea polystachya</i>	(0.37±0.10)a	(37.50±2.50)c	(25.00±1.49)b	6.448	<0.05
板蓝根 <i>Isatis tinctoria</i>	(-0.30±0.12)b	(37.00±2.13)c	(13.00±1.86)c	5.079	<0.05
地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>	(-0.38±0.05)b	(56.00±2.33)a	(17.00±1.33)c	10.816	<0.01
射干 <i>Belamcanda chinensis</i>	(-0.42±0.10)b	(39.00±3.56)c	(12.00±2.26)c	8.820	<0.01
对照 Control	(0.11±0.25)a	(9.00±1.63)d	(5.00±1.29)d	0.212	0.810

1) 表中数据为平均值±标准误。同列不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。
Data in the table are mean±standard error. Different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$), and the same letters indicate insignificant difference ($P>0.05$).

从测试中药材的挥发成分种类看,试虫正趋向性较大(或引诱率较高)的白芷、黄芪和防风中烯烴类物质相对含量和成分种类数量都为最高,且醇类相对含量均大于 10%,明显高于其他药材;试虫负趋向性明显的地黄、射干和板蓝根中酸类相对含量均高于 20%,这些因素可能与试虫的选择行为有较大的关系。十六烷、柏木烯、 β -蒎烯、 β -榄香烯、 β -芹子烯、别香橙烯、柠檬烯、庚醇、月桂醇、己醛、癸酸癸酯和 2-壬酮仅存在于具有引诱效果的中药材中,松油烯、壬酸、十六烷酸甲酯、2-丁酮、(E)-6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮、香叶丙基酮、甲氧基苯酚、2,6-二叔丁基-1,4-苯醌仅出现在对印度谷螟幼虫驱避性明显的中药材中,这些物质可能与试虫的趋向性关系密切。防风和山药的特有挥发性成分香橙烯和(Z)-2-壬烯醛的相对含量最高,可能是吸引试虫的重要物质,试虫对射干产生的负趋向性也可能是因为其含有特有挥发性成分癸酸。这些可能影响害虫趋向性的挥发性成分值得进一步研究。

3 讨论

在采用顶空-固相微萃取法与气相色谱法联用分析中药材中挥发性成分或进行质量检测的研究^[46-50]中,多采用升温萃取的方式提高气相中挥发

性成分含量,萃取温度一般为 40~90℃。生产实践中中药材多在常温储藏时受害虫为害,掌握常温下中药材的挥发物与害虫发生更为实际。印度谷螟的为害建立在其对食料选择的基础上,中药材对此害虫的吸引作用与其含有的挥发物质应有重要关系。了解中药材储存或常温条件下的挥发性成分,尤其是与引诱害虫关系密切的挥发物可为中药材储藏中利用引诱物诱捕害虫提供依据。白芷、黄芪和防风在高温条件下测得的挥发物成分数量分别达 56、91 种和 71 种^[46-48],远多于本研究常温条件下检出的物质种类数量 46、54 种和 45 种。相同试验条件下小麦、玉米和稻谷对印度谷螟幼虫的引诱率小于白芷、黄芪和防风^[51]。常温条件下小麦、玉米和稻谷中挥发性成分仅有 12、13 种和 14 种^[29],小于本研究检出的中药材挥发性成分种类数量,说明中药材中有更多的挥发性物质值得在诱捕害虫防治中加以关注。

鳞翅目成虫对食料选择的偏好性基于其产卵与卵的后期存活,幼虫对食料选择偏好性则是基于其取食喜好和后期生长和发育。食物及其挥发物对烟草甲 *Lasioderma serricorne* (Fabricius)、谷蠹 *Rhizopertha dominica* (Fabricus)、赤拟谷盗和印度谷螟等害虫的趋性行为有一定影响^[29,52-54]。花生、核

桃、玉米、杏仁、小麦、可可等食物吸引印度谷螟^[31,55-59]。牛至 *Origanum vulgare* (L.) ssp. *hirtum* 的精油驱避印度谷螟幼虫^[60]等都涉及挥发物对害虫的影响。本研究中白芷、黄芪、防风 and 山药的挥发物对印度谷螟幼虫有显著引诱效果,地黄、射干和板蓝根则对该害虫表现出一定驱避作用。在中药材储藏中会表现出白芷较其他几种中药材更易于受到印度谷螟幼虫为害,地黄、射干和板蓝根则不易被其为害。从害虫治理角度看,白芷、黄芪等更具有开发引诱剂的潜力,地黄、射干等则有望用于驱避害虫以减少甚至避免印度谷螟发生。

不同中药材的挥发性成分、不同类别的成分数量及其相对含量有很多差异,且不同中药材有其各自的特有成分。单一挥发物作用、多种挥发物联合作用、各种挥发物的浓度、剂量和比例均可能成为影响害虫趋向性的重要因素^[17]。烯炔类和酸类挥发物可能有助于引诱印度谷螟成虫^[29],本研究中烯类和醇类物质在具有引诱效果的中药材中含量较高,酸类、酮类和其他类物质在具有驱避效果的药材中相对较多,表明烯类挥发物可能对吸引印度谷螟具有重要作用,酸类挥发物可能对不同虫态印度谷螟的吸引作用不同,这两类挥发物值得进一步研究。壬醛能够有效引诱印度谷螟成虫^[30-31],十六烷酸对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* Guenée 驱避效果显著,被认为是其抗聚集信息素^[61]。壬醛和十六烷酸在测试药材中多次检出,而其相对含量与所测药材对试虫的引诱率相关性不明显,可能还与挥发物的含量、其他物质的干扰等有关。 β -蒎烯相对含量最高的前胡对药材甲引诱效果显著^[43],本研究中也从引诱效果显著的中药材中检测到 β -蒎烯,进一步说明 β -蒎烯可能是吸引印度谷螟的重要物质。十六烷、柏木烯、柠檬烯、 β -蒎烯、 β -榄香烯、 β -芹子烯、别香橙烯、庚醇、月桂醇、己醛、癸酸癸酯和 2-壬酮仅存在于具有引诱效果的中药材中,松油烯、壬酸、十六烷酸甲酯、2-丁酮、(E)-6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮、香叶丙基酮、甲氧基苯酚、2,6-二叔丁基-1,4-苯醌在具有驱避效果的中药材中发现。壬醛、柏木烯、香橙烯在黄芪、白芷和防风中相对含量最高,癸酸和甲氧基苯酚在射干和地黄中相对含量最高,这些挥发物可能也是影响印度谷螟幼虫趋向性的重要物质。

参考文献

[1] MOHANDASS S, ARTHUR F H, ZHU K Y, et al. Biology

and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products [J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(3): 302–311.

[2] 王殿轩,冀乐,白春启,等. 我国 11 省 79 地市(州)储粮场所中印度谷螟和麦蛾的发生分布调查研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 110–114.

[3] NDOMO-MOUALEU A F, ULRICH S C, RADEK R, et al. Structure and distribution of antennal sensilla in the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Stored Products Research, 2014, 59: 66–75.

[4] ARBOGAST R T, KENDRA P E, MANKIN R W, et al. Insect infestation of a botanicals warehouse in north-central Florida [J]. Journal of Stored Products Research, 2002, 38(4): 349–363.

[5] PEREZ-MENDOZA J, AGUILERA-PEÑA M. Development, reproduction, and control of the Indian meal moth, in stored seed garlic in Mexico [J]. Journal of Stored Products Research, 2004, 40(4): 409–421.

[6] RAZAZIAN S, HASSANI M R, IMANI S, et al. Life table parameters of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on four commercial pistachio cultivars [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2015, 18(1): 55–59.

[7] YU S H, RYOO M I, NA J H. Life history of bracon hebetor (Hymenoptera: Braconidae) on *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on a dried vegetable commodity [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 1999, 2(2): 149–152.

[8] GVOZDENAC S M, PRVULOVI D M, RADOVANOVI M N, et al. Life history of *Plodia interpunctella* Hübner on sunflower seeds: Effects of seed qualitative traits and the initial seed damage [J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 79: 89–97.

[9] CHUNG S K, SEO J Y, LIM J H, et al. Barrier property and penetration traces in packaging films against *Plodia interpunctella* (Hübner) larvae and *Tribolium castaneum* (Herbst) adults [J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(2): 101–105.

[10] MBATA G N. Suitability of maize varieties for the oviposition and development of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Tropical Pest Management, 1990, 36(2): 122–127.

[11] NASIR M F, ULRICH S C, PROZELL S, et al. Laboratory studies on parasitism of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) by two species of *Trichogramma westwood* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in different grains, and evaluation of traps for their monitoring [J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 74: 6–12.

[12] PLATT R R, CUPERUS G W, PAYTON M E, et al. Integrated pest management perceptions and practices and insect populations in grocery stores in south-central United States [J]. Journal of Stored Products Research, 1998, 34(1): 1

- 10.
- [13] LI Can. Effect of carbon dioxide (CO₂) controlled atmosphere on superoxide dismutase (SOD) activity of three storage pests in Chinese medicinal materials [J]. *Plant Diseases and Pests*, 2011, 2(4): 43 - 45.
- [14] 范家霖, 陈云堂, 李旭照, 等. 电子束辐照对印度谷螟发育的影响[J]. *核农学报*, 2011, 25(6): 1206 - 1210.
- [15] KNOLHOFF L M, HECKEL D G. Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 2014, 59(1): 263 - 278.
- [16] 向玉勇, 刘同先, 张世泽. 植物挥发物在植食性昆虫寄主选择行为中的作用及应用[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(28): 92 - 94.
- [17] 杨真, 张宏瑞, 李正跃. 植物挥发物对蛾类昆虫行为影响的研究进展[J]. *南方农业学报*, 2015, 46(3): 441 - 446.
- [18] BURKS C S, KUENEN L P S. Effect of mating disruption and lure load on the number of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) males captured in pheromone traps [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2012, 49: 189 - 195.
- [19] SCHEFF D S, SUBRAMANYAM B, ARTHUR F H, et al. *Plodia interpunctella* and *Trogoderma variabile* larval penetration and invasion of untreated and methoprene-treated foil packaging [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2018, 78: 74 - 82.
- [20] GERMINARA G S, CRISTOFARO A D, ROTUNDO G. Behavioral responses of adult *Sitophilus granarius* to individual cereal volatiles [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2008, 34(4): 523 - 529.
- [21] PHILLIPS T W, JIANG X L, BURKHOLDER W E, et al. Behavioral responses to food volatiles by two species of stored-product Coleoptera, *Sitophilus oryzae* (Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19(4): 723 - 734.
- [22] TREMATERRA P, SCIARRETA A, TAMASI E. Behavioural responses of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* to naturally and artificially damaged durum wheat kernels [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2010, 94(2): 195 - 200.
- [23] UKEH D A, BIRKETT M A, BRUCE T J A, et al. Behavioural responses of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*, to host (stored-grain) and non-host plant volatiles [J]. *Pest Management Science*, 2010, 66(1): 44 - 50.
- [24] NDOMO-MOUALEU A F, ULRICH S, ADLER C. Behavioral responses of *Callosobruchus maculatus* volatile organic compounds found in the headspace of dried green pea seeds [J]. *Journal of Pest Science*, 2016, 89(1): 107 - 116.
- [25] MULLEN M A, DOWDY A K. A pheromone-baited trap for monitoring the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2001, 37(3): 231 - 235.
- [26] 胡文利, 杜家纬. 中国印度谷螟性信息素次级组份的研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(9): 1751 - 1755.
- [27] HEYDORN P, ANDERBRANT O, JONSSON L J, et al. Long-term rearing affects pheromone-mediated flight behaviour of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2019, 143(10): 1193 - 1195.
- [28] 俞卓尔, 邓建宇, 汪中明, 等. 不同性信息素配方、诱捕器类型与不同来源诱芯对印度谷螟诱捕效果的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(11): 86 - 91.
- [29] 姜碧若, 王殿轩, 张留奎, 等. 印度谷螟对谷物和花生卵偏好性的比较[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(6): 86 - 93.
- [30] OLSSON P O C, ANDERBRANT O, LFSTEDT C, et al. Electrophysiological and behavioral responses to chocolate volatiles in both sexes of the pyralid moths *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2005, 31(12): 2947 - 2961.
- [31] UECHI K, MATSUYAMA S, SUZUKI T. Oviposition attractants for *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in the volatiles of whole wheat flour [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2007, 43: 193 - 201.
- [32] TAMURA M, MIYAJIMA H. Olfactory responses to flavour substances on larvae of Indian-meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (preliminary report) [J]. *Food Hygiene and Safety Science (Shokuhin Eiseigaku Zasshi)*, 1970, 11(S1): 45 - 50.
- [33] 程茂高, 乔卿梅, 魏志华, 等. 中药材仓储害虫及其绿色防控技术研究进展[J]. *中药材*, 2016, 39(8): 1917 - 1921.
- [34] 冯学锋, 胡世林, 杨连菊, 等. 植物与昆虫的相互关系对中药品质的影响[C]//中华中医药学会第九届中药鉴定学术会议论文集, 2008: 19 - 22.
- [35] 郭耀忠, 王淑芹, 陈万霆, 等. 人参贮藏期的主要害虫及其防治[J]. *吉林林业科技*, 1990(1): 53 - 54.
- [36] 季绪霞. 岷归贮藏期间主要害虫的发生与防治[J]. *甘肃农业科技*, 2008(3): 58 - 60.
- [37] 吕建华, 苏新宏, 袁良月, 等. 烟草甲在 9 种植物材料中的生长发育研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2010, 31(4): 13 - 17.
- [38] 黄衍章, 李世广, 操海群, 等. 八种药用植物精油对谷蠹成虫的熏蒸活性[J]. *安徽农业大学学报*, 2011, 38(6): 920 - 925.
- [39] 刘静, 陈丽, 张春红, 等. 3 种植物精油对赤拟谷盗的控制作用[J]. *粮油加工*, 2007(5): 94 - 97.
- [40] HERNANDEZ-LAMBRAÑO R, PAJARO-CASTRO N, CABALLERO-GALLARDO K, et al. Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2015, 62: 81 - 83.
- [41] 吴福中, 林华峰, 刘志红, 等. 怀牛膝对黄粉虫幼虫生长发育影响的研究[J]. *经济动物学报*, 2006, 10(2): 94 - 95.
- [42] 韩群鑫, 陈杰林, 曾春祥, 等. 几种中药材对抗同贮对赤拟谷盗的影响[J]. *仲恺农业技术学院学报*, 2001, 14(2): 32 - 36.

[43] CAO Yu, LI Shuai, BENELLI G, et al. Olfactory responses of *Stegobium paniceum*, to different Chinese medicinal plant materials and component analysis of volatiles [J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 76: 122–128.

[44] 李军. 温度与食料对印度谷螟生长、发育和存活的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.

[45] 狄贵秋, 李杰, 卢旭弘, 等. 松瘦小卷蛾及其寄生蜂对落叶松挥发物的嗅觉行为反应[J]. 生态学报, 2019, 39(22): 8675–8683.

[46] 叶欣, 卢金清, 曹利. 顶空-固相微萃取技术在中药领域的运用[J]. 中国药房, 2017, 28(6): 861–864.

[47] 李燕敏, 杨金玉, 孙洁雯, 等. SPME-GC-MS 分析不同产地干黄芩中挥发性风味成分[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 175–181.

[48] 蔡玲, 李爱阳. 固相微萃取-GC-MS 联用分析白芷挥发性成分[J]. 中成药, 2010, 32(7): 1179–1182.

[49] 黄雪莹, 王圣鑫, 余爱明, 等. HS-SPME-GC-MS 联用分析羌活、防风药对配伍前后挥发性组分变化规律[J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(6): 707–714.

[50] 刘源, 周光宏, 徐幸莲. 固相微萃取及其在食品分析中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(7): 83–87.

[51] 刘鑫宇, 王殿轩, 曾芳芳, 等. 常温下 10 种谷物挥发物气相-质谱测定及对印度谷螟幼虫引诱率比较[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5): 79–88.

[52] KOHNO M, CHUMAN T, KATO K, et al. The olfactory response of the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* Fabricius, to various host foods and cured tobacco extracts [J]. Applied Entomology and Zoology, 1983, 18(3): 401–406.

[53] EDDE P A, PHILLIPS T W. Potential host affinities for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*: Behavioral responses to host odors and pheromones and reproductive ability on non-grain hosts [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2006, 119(3): 255–263.

[54] AHMAD F, DAGLISH G J, RIDLEY A W, et al. Responses of *Tribolium castaneum* to olfactory cues from cotton seeds, the fungi associated with cotton seeds, and cereals [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2012, 145(3): 272–281.

[55] PHILLIPS T W, STRAND M R. Larval secretions and food odors affect orientation in female *Plodia interpunctella* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1994, 71(3): 185–192.

[56] CHRISTIAN N, PHILLIPS T W. Ovipositional responses of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to oils [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2003, 96(4): 524–531.

[57] OLSSON P O C, ANDERBRANT O, LÖFSTEDT C. Flight and oviposition behavior of *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* in response to odors of different chocolate products [J]. Journal of Insect Behavior, 2005, 18(3): 363–380.

[58] TREMATERRA P, ATHANASSIOU C, STEJSKAI V, et al. Large-scale mating disruption of *Ephestia* spp. and *Plodia interpunctella* in Czech Republic, Greece and Italy [J]. Journal of Applied Entomology, 2011, 135: 749–762.

[59] BURKS C S, MCLAUGHLIN J R, MILLER J R, et al. Mating disruption for control of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in dried beans [J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(3): 216–221.

[60] LEE H E, HONG S J, HASAN N, et al. Repellent efficacy of essential oils and plant extracts against *Tribolium castaneum* and *Plodia interpunctella* [J]. Entomological Research, 2020, 50(9): 450–459.

[61] LI Guoqing, ISHIKAWA Y. Oviposition deterrents in larval frass of four ostrinia species fed on an artificial diet [J]. Journal of Chemical Ecology, 2004, 30(7): 1445–1456.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 131 页)

[17] 代平礼, 徐志强. 人工扩繁管氏肿腿蜂的蜂种复壮研究[J]. 昆虫知识, 2007, 44(3): 402–405.

[18] 郭婉琳. 花绒寄甲的退化规律及复壮技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.

[19] 岳方正. 伞裙追寄蝇的退化及复壮研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

[20] 王秀琴, 屈艾, 高焕. 长期实验室培养条件下果蝇复壮的初步研究[J]. 生物学通报, 2004, 39(7): 54.

[21] 谢应强, 张洪志, 李玉艳, 等. 烟蚜茧蜂的种群退化规律[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(2): 163–168.

[22] 李鸿波, 戴长庚, 张昌容, 等. 黏虫过氧化氢酶基因的克隆与表达分析[J]. 昆虫学报, 2018, 68(2): 178–187.

[23] TANG Qiyi, ZHANG Chuanxi. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research [J]. Insect Science, 2013, 20(2): 254–260.

[24] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 我国黏虫发生危害新特点及趋势分析[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(6): 1444–1449.

[25] JIANG Xingfu, LUO Lizhi, ZHANG Lei, et al. Regulation of migration in *Mythimna separata* (Walker) in China: a review integrating environmental, physiological, hormonal, genetic, and molecular factors [J]. Environmental Entomology, 2011, 40(3): 516–533.

[26] LI Hongbo, DAI Changgeng, HE Yongfu, et al. Characterization and expression of genes encoding superoxide dismutase in the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(5): 2381–2388.

[27] 谢应强, 张洪志, 向梅, 等. 烟蚜茧蜂的种群复壮技术[J]. 中国生物防治学报, 2020, 37(2): 201–208.

(责任编辑: 杨明丽)