

“储粮害虫防治研究”专题文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.05.011

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

刘鑫宇¹, 王殿轩¹✉, 曾芳芳¹, 赵欣欣¹, 赵超¹, 唐培安²(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 粮食储藏与安全教育工程研究中心,
粮食储运国家工程实验室, 河南 郑州 450001;

2. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 江苏 南京 210023)

摘要: 为了探讨利用谷物挥发成分引诱害虫以增进诱捕防治效果, 测定常温 28 °C 时 10 种谷物中挥发性物质的种类、相对含量及挥发物对印度谷螟幼虫的引诱效果。10 种谷物的顶空取样—固相微萃取/气-质谱分析得到的挥发物质包括烷、烯、芳香族、醛、醇、酸、酮、酯和呋喃共 9 类物质。谷物间的挥发物种类和各物质的相对含量差异显著。28 °C 常温下薏仁、荞麦、小麦、高粱、燕麦、小米、糜子、大麦、稻谷和玉米的挥发性特种类数分别为 30、26、23、22、20、20、19、16、15 和 15 种。除玉米除外, 有 9 种谷物均含其自身特有挥发性物质成分 2~8 种。燕麦、薏仁和高粱的引诱率最高分别为 30%、25% 和 23%, 小麦、稻谷、荞麦和玉米的引诱率在 14% 左右, 小米、大麦、糜子的引诱率小于 9%。对幼虫引诱率较高的燕麦、薏仁醛类物质相对含量最高, 高粱中酸类物质相对含量最高。对这三种谷物相对含量较高的醛类、酸类物质, 以及其特有物质 2-甲基-十六烷、3,5-辛二烯-2-醇、2,2-二甲基-1-辛醇、 β -榄香烯、芳樟醇、柏木烯醇、雪松醇、正己酸乙酯、2,2,4,6,6-五甲基-庚烷、己酸、十三烷酸、邻苯二甲酸正丁酯等挥发性成分较值得进一步研究。

关键词: 谷物; 挥发物; 引诱; 印度谷螟; 幼虫; 气相-质谱

中图分类号: TS210.2; S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)05-0079-10

网络首发时间: 2020-08-21 08:44:44

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200820.1354.009.html>

Volatile Organic Compounds Analyzed of Ten Species of Cereal by HS-SPME/GC-MS and the Comparison of Their Larva Attraction on *Plodia interpunctella* (Hübner)

LIU Xin-yu¹, WANG Dian-xuan¹✉, ZENG Fang-fang¹, ZHAO Xin-xin¹, ZHAO Chao¹, TANG Pei-an²

(1. School of Science and Technology, Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Grain Storage and Logistics National Engineering Laboratory, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Jiang Su Collaborative Innovation Center of Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

Abstract: To explore the use of volatile components in grains to attract pests and improve the trapping control effect, volatile organic compound variety and relative content of ten kinds of cereals were determined by the methods of headspace solid-phase micro-extraction (SPME) at 28 °C and GC-MS analysis. And attractive effect of the cereals on larva of the Indian moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) was also assayed at same temperature. Nine categories of volatiles were found including alkanes, alkenes, aromatic aldehydes,

收稿日期: 2020-03-04

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2017YFC1600800); 国家花生产业技术体系 (CARS-13)

作者简介: 刘鑫宇, 男, 1996 年出生, 硕士研究生, 研究方向为储藏物害虫综合治理。

通讯作者: 王殿轩, 男, 1962 年出生, 博士, 教授, 研究方向为储藏物昆虫与害虫综合治理。

alcohols, acids, ketones, esters and furans in headspace sampling of ten kinds of cereals by the solid phase microextraction/gas mass spectrometry analysis. There were significant differences in volatile species and relative contents among grains. The substance numbers of the volatile organic compounds from coix seeds, buckwheat, wheat, sorghum, oats, millet, broomcorn millet, barley, rice, and corn were 30, 26, 23, 22, 20, 20, 19, 16, 15, and 15 respectively. The oat, coix seeds and sorghum have the highest attraction rates which were 30%, 25% and 23%, respectively. The attractive rate of wheat, rice, buckwheat and corn was about 14%, while that of millet, barley and millet was less than 9%. The relative content of aldehydes in oats and coix seeds with high attraction rate to larvae was the highest, and the relative content of acids in sorghum was the highest. Aldehydes and acids which were relatively high in these three kinds of cereals, as well as 2-Methyl-Hexadecane、3,5-Octadien-2-ol、2,2-Dimethyl-1-octanol、 β -Elemene、Linalool、Cedrenol、Cedrol、Ethyl hexanoate、2,2,4,4,6-Pentamethylheptane、Hexanoic acid、Tridecanoic acid、Butyl undecyl ester phthalic acid which existed in specific volatiles in oats, coix seeds and sorghum were all worth to be further studied.

Key words: cereal; volatile organic compound; attraction; *Plodia interpunctella*; larva; GC-MS

印度谷螟 *Plodia interpunctella* (Hübner) 为世界性分布、可严重危害多类储藏物品的重要害虫, 或被视为世界上最重要的害虫^[1]。含有蛋白质、糖类、脂肪、维生素、类固醇的食物均可被其危害^[2], 有报道的危害物品达 170 多种^[3], 包括原粮及制品、干果、坚果、豆类、大蒜、药材等^[1,4-8]。印度谷螟在我国也是分布区域广泛、发生频率很高的害虫^[9]。成虫活动和传播感染能力强^[10], 可对其所处活动范围 21~276 m 内的物品造成感染^[2], 其感染以成虫在商品上产卵为主并受多种因素的影响^[11-14]。从卵中孵化出的幼虫进一步在被感染物品上或其所吐丝茧下生存、活动、取食等^[15-16]。印度谷螟仅幼虫态取食危害, 因此了解利用幼虫感染习性对其有效治理具有重要意义。

印度谷螟的防治技术因环境和发生条件各有其适用性, 在不宜采用杀虫(如熏蒸、气调)和防虫(如施用化学防护剂)的场所, 利用习性诱捕、干扰交配和控制种群较为有效可行, 其中多为昆虫信息素的利用^[17-23]。利用食料诱捕害虫具有取材方便、经济性好等特点, 多见于对甲虫成虫的引诱^[24-26], 如锯谷盗 *Oryzaephilus sp.*、拟谷盗 *Tribolium sp.*、斑皮蠹 *Trogoderma sp.*、象虫 *Sitophilus sp.*、谷蠹 *Rhyzopertha dominica* 等成虫与挥发成分反应关系的研究^[27-30]。蛾类成虫对不同食料行为反应存在差异^[31], 目前缺乏食料对印度谷螟幼虫的引诱研究。国内外对于谷物挥发性物质(volatile organic compound, VOC)的研究多关注于谷物风味物质与品质分析^[32-33], 样品为

热处理后的分析, 目前也已有关于小麦、稻谷、玉米等的挥发物成分报道, 林家永^[32]等在 80 °C 下萃取籼稻 1 号、籼稻 2 号、粳稻 1 号和粳稻 2 号 4 种稻谷样品的挥发物, 通过 GC-MS 共检测出 141 种挥发物, 多为醛类挥发物, 以己醛与壬醛相对含量最高。曾姝静^[34]在温度 75 °C 下对郑麦 101、郑麦 113、郑麦 366、郑麦 583 和西农 979 的小麦粉挥发物进行检测, 5 种样小麦粉共检测出 54 种挥发物, 大多挥发物成分相似, 且多为烷类与烯类。Meixue Zhou^[35]等用水煮样品顶空固相微萃取和 GC-MS 分析得到 8 种澳洲燕麦挥发物 50 余种。陈光静^[36]等在 60 °C 下萃取新鲜薏米得到挥发性成分 47 种, 2-庚酮、己醛、辛醛等相对含量较高。常温处理样品后测定谷物挥发物及其进而关注对储粮害虫引诱效果的研究少见。

印度谷螟幼虫可大量发生于储藏物中^[15,37-39], 该种害虫整个生活史完全依赖幼虫取食, 幼虫喜食谷物的胚部从而严重影响籽粒发芽、质量降低^[40]。幼虫对物品选择和取食是进一步危害的前提, 幼虫选择在已产卵物品上继续驻留或取食则危害继续和加重, 幼虫不选择或少选择其已产卵物料则取食危害减轻或降低。研究害虫对取食物料的选择偏好性有助于明确吸引害虫的特性物质, 以利用谷物组分增强引诱效果, 促进监测、诱捕防治害虫技术运用对印度谷螟诱捕和监测研究多见于成虫, 对交配后印度谷螟雌性成虫产卵选择与物料玉米、榛子粉、杏仁、核桃、小麦粉、巧克力等的关系已有报道^[41], 对引诱物料的化学

成分研究尚少^[42], 正己醇与壬醛对雌性印度谷螟成虫具有显著的引诱作用, 3-甲基-1-丁醇能够引诱雌性印度谷螟成虫^[42]。风洞测试中发现壬醛对印度谷螟雌虫具有吸引作用^[13], 壬醛仅在低剂量下对雌性印度谷螟成虫具有吸引效果^[41]等, 物料挥发性化学成分印度谷螟幼虫影响的研究则未见报道。

不同食料印度谷螟幼虫存活、生长、发育、繁殖的研究也多有报道^[15,40,43-47], 缺乏印度谷螟幼虫对物料选择比较与挥发成分的关系报道。谷物种类较多, 被害虫感染和危害程度不同, 印度谷螟成虫在小麦、玉米和稻谷等物料上产卵选择差异显著^[31], 印度谷螟对其他谷物的感染选择及差异性更值得关注。本文研究了稻谷、高粱、小麦、大麦、燕麦、荞麦、玉米、小米、糜子、薏仁等 10 种谷物的挥发物种类、成分及相对含量, 比较了其印度谷螟幼虫的引诱率及差异性, 以期了解印度谷螟幼虫食物选择特性和综合防治利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用谷物均为当年收获, 包括新麦 208 小麦, 水分含量 12.5%; 百单 5 号玉米, 水分含量 14.0%; 豫粳 6 号稻谷, 水分含量 13.5%; 金谷米小米, 水分含量 12.5%; 陈糜 2 号糜子, 水分含量 11.5%; B1614 大麦, 水分含量 11.5%; 辽粘 3 号高粱, 水分含量 13.5%; 蒙燕 1 号燕麦, 水分含量 10.0%; 西农 T1211 荞麦, 水分含量 14.5%; 兴仁小白壳薏仁, 水分含量 13.0%。

实验环境为相对封闭的实验室, 温度采用格力 2 匹冷暖变频柜式空调控制, 采用水银温度计检测校准, 样品处理区的温度波动范围为 ± 1 °C。样品-4 °C 温度保管采用 FCD-217SE 型低温冰箱, 温度范围-10~40 °C, 青岛海尔电冰柜有限公司生产。

样品制备: 粉碎谷物样品, 参照 GB5009.3—2016 方法测定水分含量。取 20 目筛筛上物置于塑料样品袋中在-4 °C 温度下保存, 实验前 24 h 移至室温待用。

试验用印度谷螟采自郑州某粮库, 于河南工业大学储藏物昆虫研究室适宜条件下培养多代。

采用孵化后 3 龄 (10~15 d) 幼虫为试虫, 龄期并采用幼虫头壳^[48]宽度校准。

1.2 实验方法

1.2.1 挥发物测定

采用顶空取样固相微萃取 (HS-SPME)、气相-质谱 (GC-MS) 法对实验样品挥发物成分分析。称取 3 g 样品于 10 mL 的顶空萃取瓶中并封盖, 于 28 °C 平衡 24 h。用 230 °C 活化 5 min 的 50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 固相微萃取纤维头在 28 °C 温度顶空萃取 30 min。萃取样品插入 GC-MS 进样口 250 °C 下解析 3 min。分析色谱柱为 Agilent DB-5MS 石英毛细管柱, 0.25 mm $\times$ 30 m $\times$ 0.25 μ m。汽化室温度 250 °C, 不分流进样, 纯度 99.99% 氦气载气, 柱流量 1.22 mL/min。起始温度 60 °C, 2 °C/min 升温至 100 °C, 保持 5 min; 以 5 °C/min 升温至 200 °C, 保持 5 min。质谱四级杆温度 200 °C, 溶剂延迟 3 min, EI 电离方式的电离能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 全扫描, 质量范围 35~500 amu。

1.2.2 对印度谷螟幼虫引诱率测定

采用 Y 型嗅觉仪 (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) 及配件比较测定物料对印度谷螟幼虫引诱率。试验前将 Y 型嗅觉仪置于 (28 $\pm$ 1) °C、75% $\pm$ 5% RH 的洁净环境中, 以 400 mL/min 通气 10 min 至稳定。于 Y 型管适应臂放入 20 头经过 12 h 饥饿的印度谷螟 3 龄幼虫, 在处理臂连接的物料投放瓶中加入 3 g 食料, 对照臂连接物料投放瓶为空。用黑色遮光布覆盖下以 400 mL/min 流速通过空气, 20 min 后观察处理臂和对照臂中的试虫数量。以两物料投放瓶中均为空作对照实验。每组实验进行 10 次重复, 每 3 次实验后调换处理臂与对照臂位置, 每 5 次实验后用 75% 乙醇清洗 Y 型管, 待其干燥后继续实验。按照下列公式计算食料对试虫引诱率。

$$\text{引诱率} = \frac{\text{处理臂试虫数}}{\text{测试总试虫数}} \times 100\%$$

1.3 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2010 整理, 并用 SPSS 软件 Duncan 新复极差法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 谷物挥发物的种类与成分数量

常温顶空取样经 GC-MS 检测后, 10 种谷物粉碎物的挥发性有机化合物共包括了烷、烯、芳香族、醛、醇、酸、酮、酯、呋喃等 9 类物质。其中, 烷类物质在大麦中未检出, 烯类在稻谷中未检出, 芳香族类在 6 种谷物中均未检出 (除大麦、小米、糜子和高粱外), 酮类在玉米、大麦、燕麦中未检出, 酯类在小麦、玉米、稻谷、小米中未检出, 呋喃类在稻谷和薏仁中未检出。酸、

醛、醇类在 10 种谷物中均有检出。谷物常温顶空取样 GC-MS 分析所得物质数量差异显著, 玉米、稻谷、大麦、燕麦、小米和糜子成分数量较少 (15~20 个), 薏仁成分数量最多 (30 个), 其他谷物的成分数量在 21~26 个之间。不同谷物中同一物质类别内的化学成分数量差异显著, 薏仁中烷类包括了 8 种成分, 高粱则仅含有 2 种烷类等 (表 1)。另外, 测试条件下每种谷物均含其自身特有的挥发性成分 (玉米除外), 成分种类多则有 8 种、少则有 2 种。

表 1 十种谷物的挥发物成分相对含量及有机物类别内所包括成分数

%

成分名称/ (某类别内成分数)	小麦	玉米	稻谷	大麦	燕麦	小米	糜子	高粱	荞麦	薏仁
癸烷					1.52±0.38				1.42±0.39	
十一烷	2.96±0.97		2.66±0.77		1.88±0.41					
十二烷	1.65±0.52	2.06±0.73	4.64±1.18		4.82±1.23			1.86±0.88		1.21±0.13
十三烷	1.42±0.42	1.29±0.39			8.85±1.09	2.90±1.08			1.66±0.48	0.98±0.27
十四烷					1.21±0.27					1.32±0.33
十五烷	1.74±0.45	0.84±0.29	1.56±0.37							0.76±0.35
十六烷		2.38±1.03				1.96±0.77			1.25±0.36	2.38±0.26
十八烷										0.93±0.21
十九烷										0.63±0.20
二十烷										0.54±0.17
3,3-二甲基-己烷	6.97±2.39									
2,2,5-三甲基-己烷								1.35±0.44		
2,2,4,6,6-五甲基-庚烷									8.52±2.46	
3,5-二甲基-辛烷			3.51±1.05							
2,3,3-三甲基-辛烷	2.77±1.06									
6-乙基-2-甲基-辛烷	3.06±0.85	4.82±1.33							1.24±0.17	
3-乙基-2,7-二甲基-辛烷						2.12±0.95				
2-甲基-癸烷							1.42±0.38			
3,7-二甲基-癸烷									1.47±0.47	
5-甲基-十一烷									2.54±0.85	
4,7-二甲基-十一烷							2.08±0.96		1.77±0.33	
2-甲基-十六烷					1.68±0.29					
苯乙烯				4.66±0.97						
α-松油烯				1.23±0.21						
月桂烯	3.07±1.34									
柠檬烯	2.04±0.49				3.63±1.13			3.71±1.32		
α-蒎烯				3.44±1.17		3.76±0.86	2.61±0.48		1.09±0.47	3.54±1.19
(S)-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯						5.24±1.44	7.38±1.69		2.53±1.21	
β-榄香烯										1.33±0.22
β-甜没药烯	2.63±0.37	4.56±1.78								1.43±0.69
3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯						1.95±0.62				
十六烯									1.82±0.22	
对二甲苯				15.17±0.77			5.24±1.51			
邻二甲苯						4.93±0.90		4.08±1.07		

续表

成分名称/ (某类别内成分数)	小麦	玉米	稻谷	大麦	燕麦	小米	糜子	高粱	荞麦	薏仁
乙苯							4.07±1.07			
戊醛	1.00±0.15	0.69±0.13		4.94±1.21					3.31±1.34	1.18±0.45
己醛	10.23±2.11	11.30±2.34	4.18±1.39	7.26±2.36				4.24±1.32	10.93±2.34	7.65±1.26
庚醛	1.98±0.98	1.98±0.93	6.79±1.24		4.22±0.45	3.09±0.93	3.38±0.87	4.95±1.49	4.93±1.69	4.11±1.78
辛醛	7.33±2.39	4.67±0.67	11.88±2.11		2.17±0.43		5.61±1.21	2.96±1.35	3.26±0.85	6.99±2.07
癸醛		2.53±0.84			2.72±1.23	2.05±1.43	4.01±1.87		11.49±1.67	1.43±0.63
壬醛	11.06±1.41	7.01±1.52	14.15±2.36	2.94±0.88	23.69±2.34	8.33±1.94	7.80±1.42	10.54±1.78	10.68±2.59	9.69±2.77
反-2-辛烯醛						1.69±0.45		3.32±0.62		
正戊醇				6.17±2.38	2.35±1.02			3.14±0.46		2.84±0.66
正己醇	3.20±0.16	15.97±0.83	14.00±0.45	1.92±0.21	3.96±0.33	16.43±2.34		2.29±0.52		7.18±2.48
正庚醇			7.04±2.58		3.06±1.13	4.04±1.35	4.11±2.03	1.88±0.56		5.18±1.29
正辛醇	1.02±0.22		5.70±0.76			3.70±0.79		2.17±0.96		3.35±1.42
桉叶油醇	1.02±0.37									
芳樟醇										1.03±0.90
柏木烯醇										1.14±0.44
雪松醇										1.19±0.39
2-乙基-己醇									2.38±0.36	
1-辛烯-3-醇			2.09±1.27	2.09±0.15	4.01±0.87	4.86±1.33	5.30±1.36	2.98±1.41	6.43±0.98	4.35±1.58
2-己基-1-癸醇					2.87±0.93					
3,5-辛二烯-2-醇					7.64±0.84					
2,2-二甲基-1-辛醇								1.46±0.13		
己酸				2.86±0.48				2.27±0.83	2.80±0.66	2.92±0.55
辛酸							4.62±1.54			
十三烷酸								4.93±1.79		
十四烷酸(肉豆蔻酸)	2.29±1.26			3.73±1.06			3.62±1.01			
十五烷酸	2.71±0.52			3.27±1.31		0.91±0.28	2.33±0.34	3.07±1.22		
十六烷酸(棕榈酸)	16.45±1.47	30.13±2.31	6.34±2.18	28.03±1.88	3.85±1.77	18.21±1.85	17.66±0.87	15.39±3.17	5.01±0.44	6.67±1.43
十八烷酸									2.57±1.01	
6-甲基-5-庚烯-2-酮	4.23±1.54					1.47±0.32	2.39±0.55		2.11±0.58	1.42±0.32
6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮										
2-辛酮			2.16±0.13					4.26±1.50		
2-庚酮			4.17±0.97						3.14±1.43	4.22±0.85
3,4-二羟基-5-甲基二氢呋喃-2-酮						2.72±0.43				
邻苯二甲酸二乙酯					4.14±1.27		2.24±0.86			
邻苯二甲酸正丁酯								1.54±0.31		
乙酸乙烯酯									1.15±0.37	
正己酸乙烯酯										4.17±1.36
反-2-庚酸乙酯				1.78±0.33						
2-戊基呋喃	4.48±0.69	8.73±1.43		3.61±1.29	10.23±2.11	1.35±0.85	2.39±0.69	4.50±1.36		
2-己酰呋喃									1.80±0.50	
物质种类总数/个	23	15	15	16	20	20	19	22	26	30
烷烃类/个	7	5	4	0	6	3	2	2	8	8
烯烃类/个	3	1	0	3	1	3	2	1	3	3
芳香烃类/个	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0
醛类/个	5	6	4	3	4	4	4	5	6	6
醇类/个	3	1	4	3	6	4	2	6	2	8
酸类/个	3	1	1	4	1	2	4	4	3	2
酮类/个	1	0	2	0	0	2	1	1	2	2
酯类/个	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
呋喃类/个	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0

注：数据为平均值±标准误，下同。空白为未检出。

2.2 谷物挥发物的相对含量

不同谷物检测到的化学成分中相对含量和不同类别物质总量差异显著(表 1 和图 1)。从物质类别看,不同谷物所含物质类别的相对含量差异明显。醛类在燕麦、薏仁、小麦、荞麦、稻谷中相对含量最高,酸类在高粱、玉米、大麦、糜子中相对含量最高,醇类在小米中相对含量最高。从谷物缺少的挥发性化学成分比较,每种谷物或多或少缺少其他谷物所具有的一些成分,即有些谷物中某些挥发物成分为 0。在含有化学成分中不同谷物之间相对含量差异显著,如十六烷酸在玉米中高达 30%,在荞麦中仅占 5%,等等。

2.3 幼虫引诱率

从图 2 可以看出,不同谷物对印度谷螟幼虫的引诱率差异显著,燕麦、薏仁和高粱的引诱率大于 23%。玉米、稻谷、小麦、荞麦为 11%~15%,其他 3 种谷物的引诱率小于 8%。在 Y 型嗅觉仪的气流环境中,印度谷螟幼虫在的运动行为有一定的随机性,有一部分个体驻留于适应臂的情况,还有幼虫差异显著在表现出选择行为而被谷物引诱。燕麦、薏仁和高粱的引诱作用最强,玉米、稻谷、小麦、荞麦次之,大麦、小米和糜子对幼虫引诱不明显。

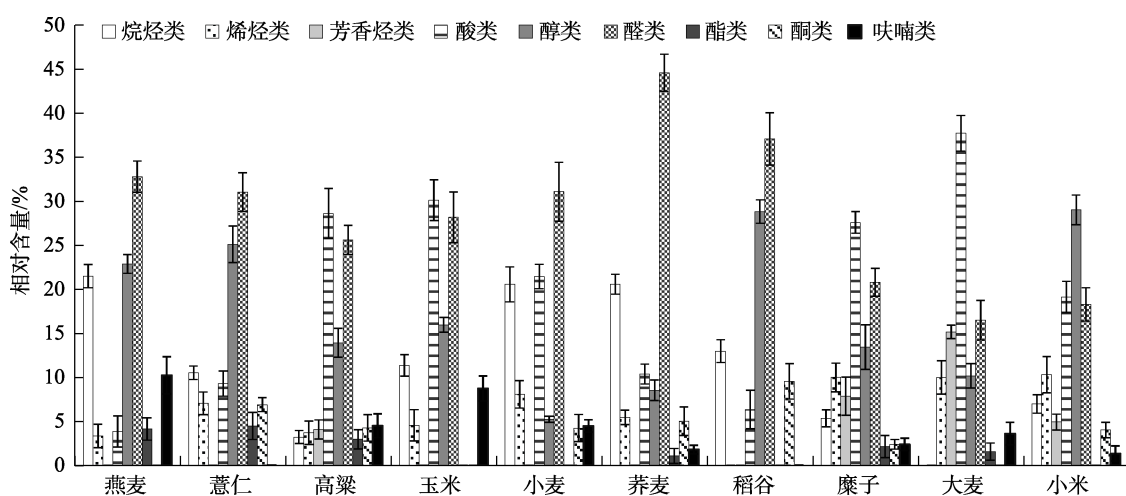


图 1 10 种谷物挥发物成分物质类别的相对含量

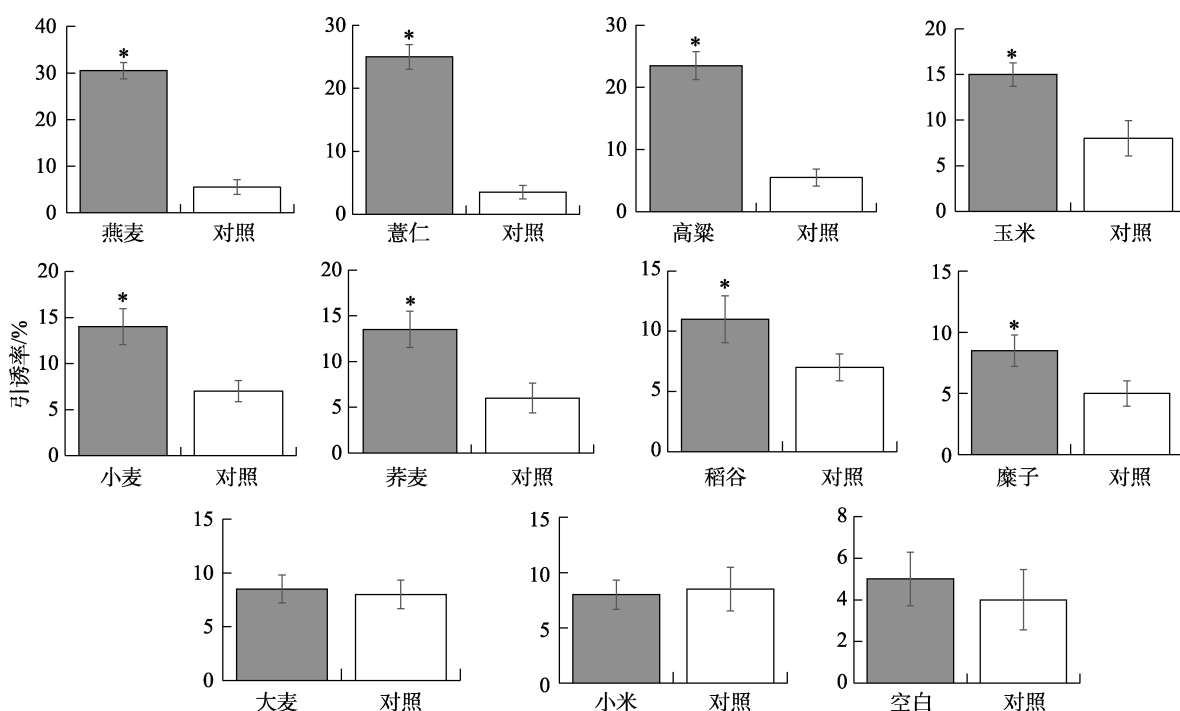


图 2 不同谷物对印度谷螟幼虫的引诱率

注: 处理组较对照组差异显著, $P < 0.05$

从引诱率较高谷物中最高所含挥发物成分数量看, 燕麦、薏仁、高粱挥发物成分数量都在 20 种以上, 挥发物成分达 30 种的薏仁引诱率却小于燕麦。小麦、玉米、稻谷三者相比, 小麦含 23 种挥发物成分, 引诱率与含有 15 种挥发物成分的玉米稻谷相当。谷物对幼虫引诱率似乎与其挥发物成分种类数量关系不明显。从比较谷物引诱率大小与挥发物成分类别看, 引诱率较高的燕麦、薏仁和高粱均含有十二烷、庚醛、辛醛、壬醛、正戊醇、正己醇、正庚醇、1-辛烯-3-醇和十六酸。已有报道表明正己醇和壬醛对雌性印度谷螟成虫具有引诱作用^[18,38-39]。燕麦、薏仁和高粱表现出较高的引诱率可能与此相关。引诱率较高的 3 种谷物中独有的挥发物如 3,5-辛二烯-2-醇、2-己基-1-癸醇和 2-甲基-十六烷仅存在于引诱率最高的燕麦中, 这可能是影响谷物对害虫引诱作用的一种因素。食物对害虫较高的引诱率未必都是因某种物质存在所致, 谷物挥发物质间的协同作用可能是导致该谷物对害虫引诱率较高的主要原因。当然, 在引诱率较小的谷物中, 幼虫被较少地引诱除与某类物质缺少, 或某物质相对含量较小有关外, 还可能与其含有的特殊成分对幼虫的驱避作用有关^[49]。

3 讨论

谷物中挥发性物质成分的研究多见于小麦、玉米、稻谷等, 报道的顶空固相微萃取样品采用加热 (50~80 °C) 处理导致检测至成分种类很多, 这些成分与谷物加工中食品风味有关。萃取温度的升高会加速样品分子运动, 增加气相中挥发性成分含量, 提高固相微萃取头的吸附效率^[50]。随萃取温度升高至最佳萃取温度后的继续升高, 挥发物常表现出先升高后降低的趋势^[51], 稻谷、玉米萃取温度 80 °C 下检出稻谷挥发性物成分达 131 种^[32]、玉米中达 82 种^[52]。燕麦、大麦、小米等加热或制品中挥发性物质成分众多^[33], 小麦胚油中挥发性物质成分种类达 34 种^[27,30,53]。粮食中真菌发生时挥发性物质成分也有 28 种^[30]。对于利用谷物中挥发性成分引诱害虫的需求, 采用常温下取样进行成分检测分析, 结果会更接近害虫发生的环境温度情况, 分析得到的谷物中挥发物

成分更有意义。常温下顶空取样采用 GC-MS 分析玉米、小麦和稻谷中挥发物成分种类明显减少至十多种^[31]。本文常温下顶空固相微萃取采用 GS-MS 分析发现, 大宗储存谷物小麦、稻谷和玉米中挥发物成分种类较少, 其他谷物挥发物成分数量增多不明显, 最多为薏仁中的挥发物成分为 30 种, 且不同谷物 (玉米除外) 均含其特有的挥发物成分, 成分种类在 2~8 种之间。本研究的 10 种谷物中, 与已有研究谷物报道的挥发物种类数与数量以及相对明显减少, 其原因是样品处理温度较低使得从固体物料中挥发出的分量变少, 在某挥发物存在数量较少的情况下, 同样检测方法所得结果的相对误差也可能增大。从利用谷物挥发成分引诱害虫的目的来说, 采用常温下分析谷物挥发成分与引诱害虫效果的关系更接近生产实际。

小麦可比玉米和稻谷吸引更多印度谷螟成虫产卵^[31], 本研究中小麦、稻谷、玉米三者对印度谷螟幼虫引诱率相近, 表现出印度谷螟幼虫对三种谷物选择偏好性的差异。蛾类雌成虫选择偏好性主要是为有利于其产卵及卵存活, 蛾类幼虫选择偏好性主要是为有利于取食。在取食前的选择过程中, 谷物挥发物成分应具有一定影响。燕麦、薏仁、高粱的幼虫引诱率显著较高, 同样情况下这些谷物会更易受害虫感染危害。小麦、玉米和稻谷这些大宗储藏的谷物易发生印度谷螟, 设若以对其幼虫引诱力更强的燕麦、薏仁、高粱等食物诱饵, 可望收到较好防治效果。

蛾类害虫发生时, 有的情况下不宜采用熏蒸、气调、化学防护剂等, 采用诱捕技术更为适用, 对于甲虫和蛾类成虫的诱捕多有报道^[11-13]。印度谷螟雌成虫易于被引诱并产卵于玉米、杏仁、核桃、小麦米、可可等^[11-13,22,41], 对于这些物品引诱印度谷螟幼虫的物质及化学成分研究未见报道。对印度谷螟雌性成虫表现明显引诱作用的壬醛、正己醇等挥发性成分^[41-42], 在本研究的 10 种谷物中多有检出, 除小米和大麦外其他 8 种谷物对印度谷螟幼虫引诱作用也均显著, 这种吸引作用可能与壬醛和正己醇也有关。不同浓度戊醛、麦芽醇和香兰醛等谷物挥发物对米象有不同程度的引诱作用^[53], 十一烷、辛醛、2-庚酮、己

酸可引起赤拟谷盗触角电位反应^[54]。这些挥发性成分本研究也有检出,可能也与对印度谷螟幼虫引诱作用有关。小麦挥发物苯甲醛能够吸引赤拟谷盗^[55],其对印度谷螟幼虫的作用待进一步比较。印度谷螟幼虫在谷物种类、所含物质类别、挥发物成分及相对含量差异显著的情况下,表现出了显著差异性这些现象值得进一步研究。适宜条件下印度谷螟每雌虫在一周内可产 500 粒卵,其中大部分将孵化为幼虫取食危害^[22],明确幼虫对谷物及物料成分的选择偏好性对其诱捕防治更具意义。与小麦、玉米和稻谷大宗储藏谷物对印度谷螟幼虫引诱率较低,燕麦、薏仁和高粱及其所含挥发物成分对印度谷螟幼虫引诱率较高更值得关注和深入研究。

4 结论

采用顶空取样分析谷物样品挥发性物质时,常温处理样品比加热处理后所得挥发物成分种类显著减少,从利用其挥发物引诱害虫研究需求出发,常温下分析得到的挥发物对害虫的引诱作用更值得关注和研究。不同谷物的挥发物物质、不同类别的化学成分数量及其相对含量差异显著且不同谷物基本上都有其各自的特有化学成分(玉米除外)。燕麦、薏仁、高粱对印度谷螟幼虫的引诱作用明显大于大宗储藏谷物小麦、稻谷和玉米以及其他谷物,其比较引诱率较高的优势值得进一步关注研究。醛类物质在燕麦、薏仁中相对含量最高,酸类物质在高粱中相对含量最高,2-甲基-十六烷、3,5-辛二烯-2-醇、2,2-二甲基-1-辛醇、 β -榄香烯、芳樟醇、柏木烯醇、雪松醇、正己酸乙酯、2,2,4,6,6-五甲基-庚烷、己酸、十三烷酸、邻苯二甲酸正丁酯等挥发性成分在这三种谷物特有,这些物质都较值得进一步研究其对印度谷螟的引诱作用。

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] 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.
- [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, 1813) (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Stored Products Research, 2014, 59: 66-75.
- [4] 简富明. 印度谷螟生物学特性初步研究[J]. 西南农业学报, 1993(3): 80-84.
- [5] 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.
- [6] 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: 349-363.
- [7] PEREZ-MENDOZA J, AGUILERA-PEN˜A 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.
- [8] RAZAZZIAN 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.
- [9] 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+130.
- [10] ARTHUR F H, CAMPBELL J F, TOEWS M D, et al. Distribution, abundance, and seasonal patterns of *Plodia interpunctella* (Hübner) in a commercial food storage facility[J]. Journal of Stored Products Research, 2013, 53: 7-14.
- [11] 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.
- [12] CHRISTIAN N, PHILLIPS T W. Ovipositional responses of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to oils. Annals of the Entomological Society of America(4), 2003, 96, (4).
- [13] 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.
- [14] SAMBARAJU K R, PHILLIPS T W. Effects of physical and chemical factors on oviposition by *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). Annals of the Entomological Society of America(5), 2008, 101, (5).
- [15] 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.
- [16] NASIR M F, ULRICH S, 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.
- [17] 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.
- [18] CAMPBELL J F, MULLEN M A, DOWDY A K. Monitoring stored-product pest in food processing plants with pheromone trapping, contour mapping, and markrecapture[J]. Journal of Economic Entomology, 2002, 95: 1089-1101.
- [19] RYNE C, SVENSSON G P, ANDERBRANT O, et al. Evaluation of long-term mating disruption of *Ephesia kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in indoor storage facilities by pheromone traps and monitoring of relative aerial concentrations of pheromone[J]. Journal of Economic Entomology, 2007, 100: 1017-1025.
- [20] HAN G D, KWON H, NA J KIM, et al. Sensitivity of different life stages of Indian meal moth *Plodia interpunctella* to gaseous chlorine dioxide[J]. Journal of Stored Products Research, 2016, 69: 217-220.
- [21] MAGAN N, EVANS P. Volatiles as an indicator of fungal activity and differentiation between species, and the potential use of electronic nose technology for early detection of grain spoilage[J]. Journal of Stored Products Research, 2000, 36: 319-340.
- [22] TREMATERRA P, ATHANASSIOU C, STEJSKAL V, et al. Large-scale mating disruption of *Ephesia spp.* and *Plodia interpunctella* in Czech Republic, Greece and Italy[J]. Journal of Applied Entomology, 2011, 135: 749-762.
- [23] 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: 216-221.
- [24] 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.
- [25] ATHANASSIOU C G, KAVALLIERATOS N G, TREMATERRA P. Responses of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: tenebrionidae) to traps baited with pheromones and food volatiles[J]. European Journal of Entomology, 2006, 103: 371-378.
- [26] 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. Journal of Stored Products Research, 2018, 78: 74-82.
- [27] HIGHLEY E, WRIGHT E J, BANKS H J, et al. Stored product protection: Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection, 17-23 April, 1994, Canberra, Australia: volume 1[C], 1994.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] DOOLEY M, PEEL A D, WAKEFIELD. The responses of *Tribolium castaneum* to wheat germ oil and fungal produced volatiles[A]. Stored Product Protection, Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored-Product Protection [C]. Berlin, Germany, 2018: 129-138.
- [31] 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.
- [32] 林家永, 高艳娜, 吴胜芳, 等. 顶空固相微萃取—气质联用法分析稻谷挥发性成分[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 277-282.
- [33] 曾姝静, 吕建华, 霍鸣飞, 等. 谷物挥发物对储粮害虫行为的影响及其应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(6): 70-74.
- [34] 曾姝静. 小麦粉挥发物对赤拟谷盗趋向行为的作用研究[D]. 河南工业大学, 2018.
- [35] ZHOU M, ROBARDS K, GLENNIE-HOLMES M, et al. Contribution of volatiles to the flavour of oatmeal[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(2): 247-254.
- [36] 陈光静, 郑炯, 丁涌波, 等. 顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用结合嗅闻法分析异味薏米的异味成分[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 230-237.
- [37] ARBOGAST R T. A wild strain of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) from farm-stored maize in South Carolina: Effect of temperature on mating, survival, and fecundity [J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(4): 503-507.

- [38] STEJSKAL V, AULICKY R, KUCEROVA Z. Pest control strategies and damage potential of seed-infesting pests in the Czech stores - a review[J]. Plant Protection Science, 2014, 50(50): 165-173.
- [39] THRONE J E, ARBOGAST R T. A computer model for simulating population development of the Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) in stored corn[J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(4): 1503-1507.
- [40] PREDOJEVIĆ D Z, VUKAJLOVIĆ F N, TANASKOVIĆ S T, et al. Influence of maize kernel state and type on life history of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 72: 121-127.
- [41] UECHE 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.
- [42] BUDA V, APŠEGAITE V, BLAŽYTĖ-ČERESKIENĖ L, et al. Response of moth *Plodia interpunctella* to volatiles of fungus-infected and uninfected wheat grain[J]. Journal of Stored Products Research, 2016, 69: 152-158.
- [43] LECATO G L. Yield, development, and weight of *Cadra cautella* (Walker) and *Plodia interpunctella* (Hübner) on twenty-one diets derived from natural products[J]. Journal of Stored Products Research, 1976, 12: 43-47.
- [44] JOHNSON J A, WOFFORD P L, WHITEHAND L C. Effect of diet and temperature on development rates, survival, and reproduction of the Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 1992, 85: 561-566.
- [45] LOCATELLI D P, LIMONTA L. Development of *Ephestia kuehniella* (Zeller), *Plodia interpunctella* (Hübner) and *Corcyra cephalonica* (Stainton) (Lepidoptera: Pyralidae) on kernels and whole meal flours of *Fagopyrum esculentum* (Moench) and *Triticum aestivum* L[J]. Journal of Stored Products Research, 1998, 34: 269-276.
- [46] SILHACEK D, MURPHY C. A simple wheat germ diet for studying the nutrient requirements of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner)[J]. Journal of Stored Products Research, 2006, 42: 427-437.
- [47] BOUAYAD N, RHARRABE K, GHAILANI N, et al. Effects of different food commodities on larval development and α-amylase activity of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Stored Products Research, 2008, 44: 373-378.
- [48] 李军. 温度与食料对印度谷螟生长、发育和存活的影响[D]. 山东农业大学, 2006.
- [49] 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.
- [50] 蒋雅君, 张翀, 吕旭聪, 等. 固相微萃取条件优化及福建红曲醋特征挥发性风味物质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(3): 154-160.
- [51] 周香露, 吕镇城, 徐良雄, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析鸡骨香叶挥发性成分[J]. 热带作物学报, 2019, 40(2): 380-387.
- [52] 崔丽静, 林家永, 周显青, 等. 顶空固相微萃取与气质联用法分析玉米挥发性成分[J]. 粮食储藏, 2011, 40(1): 36-40.
- [53] 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.
- [54] BALAKRISHNAN K, HOLIGHAUS G, WEIBECKER B, et al. Electroantennographic responses of red flour beetle, *Tribolium castaneum*, Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) to volatile organic compounds[J]. Journal of Applied Entomology, 2017, 141(6): 477-86.
- [55] 董震, 汪中明, 张洪清, 等. 赤拟谷盗对4种小麦挥发物的触角电位及行为反应[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2017(38): 60. ㉔

· 公益宣传 ·



双月刊, 邮发代号: 28-197 ISSN 1672-5026
CN 32-1710/TS

- CNKI中国期刊全文数据库收录期刊
- 万方数据中国数字化期刊群收录期刊
- 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊
- 中文科技期刊数据库收录期刊

《粮食与食品工业》杂志是集粮油基础理论、实际应用于一体的综合科技期刊, 已成为米、面、油、食品、淀粉及深加工、仓储、检化验等行业发布新技术、新产品、新成果信息的良好载体, 工程技术人员交流技术、切磋技艺的合适平台, 是中国粮油学会食品分会、油脂分会和发酵面食分会会刊。主要设置专题综述、粮油工程、食品科技、生物工程、粮食流通技术、粮油建筑工程、粮油装备与自动控制、粮油市场、发酵面食、标准与检测、信息传递等栏目。国内外公开发行, 双月15日出版, 大16K本。

订阅方法:

- 邮发代号: 28-197, 全国各邮局(所)均可订阅, 每期定价8元, 全年定价48元。
- 现金订阅: 直接通过邮局汇款至《粮食与食品工业》编辑部订阅, 全年定价60元(包括平邮邮费), 本处常年办理订阅业务。
- 银行汇款:
 账户: 无锡中粮工程科技有限公司
 开户行: 江苏银行无锡城郊支行
 账号: 881010188900000277

地址: 无锡市惠河路186号 《粮食与食品工业》编辑部
 邮编: 214035 电话: 0510-85867384, 85867515-660
 传真: 0510-85867384 E-mail: lsyspgy@126.com