



小地老虎食诱剂糖醋酒液配方筛选及发酵增效作用

李建一^{1,2}, 曹雅忠², 张 帅², 尹 姣², 李而涛², 李晓峰², 李金桥²,
袁 远¹, 吴国星^{1,*}, 李克斌^{2,*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要:【目的】为筛选和规范诱集小地老虎 *Agrotis ipsilon* 成虫的最佳糖醋酒液配方及最佳发酵时间, 确定发酵液中的挥发物成分。【方法】优选以单一纯物质糖、醋、酒和水进行混配的配方 A, B, C 和 D, 其配比分别为蔗糖(g): 乙酸(mL): 无水乙醇(mL): 纯水(mL) (m/v/v/v) = 3: 1: 3: 80, 3: 1: 3: 160, 3: 1: 6: 80 和 1: 1: 3: 80 及常见配方 E[白糖(g): 白醋(mL): 白酒(mL): 自来水(mL) = 6: 3: 1: 10(m/v/v/v)], 分别并采用 Y 型嗅觉仪及 GC-MS 测试和分析小地老虎成虫对发酵 1~15 d 后的糖醋酒液的趋性及发酵液中的挥发物成分。【结果】趋性试验结果表明, 糖醋酒液 B 配方对小地老虎诱集效果显著优于 A, C, D 和 E 配方, C 配方次之。小地老虎成虫对 B 和 C 这两种配方发酵 8 d 发酵液的选择反应率均显著高于对未发酵及发酵 5 d 和 7 d 外的其他发酵时间发酵液的选择反应率。挥发物成分组成分析结果显示, 糖醋酒液 B 配方发酵 8 d 发酵液的挥发物共有 41 种化合物, 主要包括 17 种烃类化合物、8 种醛类化合物、2 种酮类化合物、4 种醇类化合物、5 种酯类化合物和 5 种醚类化合物。而且发酵 8 d 的糖醋酒液 B 配方与其未发酵以及发酵 4 d 和发酵 12 d 的糖醋酒液 B 配方之间的挥发物成分差异较大。【结论】优选并明确单一物质糖、醋、酒和水进行混配的小地老虎食诱剂配方(3: 1: 3: 160, m/v/v/v), 其糖醋酒液通过发酵可以产生增效作用, 最佳发酵时间为 8 d。

关键词: 小地老虎; 糖醋酒液; 发酵; 挥发物; 趋性; 行为反应

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2019)03-0358-12

Formulation screening of sugar-acetic acid-ethanol-water solutions as food attractant for the black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) and enhancing their activity by fermentation

LI Jian-Yi^{1,2}, CAO Ya-Zhong², ZHANG Shuai², YIN Jiao², LI Er-Tao², LI Xiao-Feng², LI Jin-Qiao², YUAN Yuan¹, WU Guo-Xing^{1,*}, LI Ke-Bin^{2,*} (1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims to screen the optimal formulation and fermentation duration of sugar-acetic acid-ethanol-water solutions used to trap *Agrotis ipsilon* adults and to identify active volatile components from fermentation solutions. 【Methods】 Sucrose, acetic acid, ethanol and purified water were mixed together in different ratios, *i. e.*, 3: 1: 3: 80, 3: 1: 3: 160, 3: 1: 6: 80 and 1: 1: 3: 80 (m/v/v/v) as solutions A, B, C and D, respectively, and sugar, white vinegar, liquor and tap water were mixed

in the ratio of 6:3:1:10 (m/v/v/v) as the solution E (the commonly used formulation), the taxis of *A. ipsilon* adults to the fermented sugar-acetic acid-ethanol-water solutions was tested using Y-tube olfactometer, and the components of volatile compounds from the solutions fermented for 1–15 d were analyzed with GC-MS. 【Results】The taxis test results showed that the solution B showed significantly higher attractiveness to *A. ipsilon* adults than the solutions A, C, D and E, and the solution C followed. The solutions B and C fermented for 8 d showed significantly higher attractiveness to *A. ipsilon* adults than the unfermented solution and the solutions B and C fermented for other duration except 5 d and 7 d. In total, 41 compounds including 17 diolefines, 8 aldehydes, 2 ketones, 4 alcohols, 5 esters and 5 ethers were identified in the solution B fermented for 8 d. Moreover, the volatile components of the solution B fermented for 8 d were significantly different from those of the unfermented solution and the solution B fermented for 4 d and 12 d. 【Conclusion】In this study we screened the optimal formulation (3:1:3:160, m/v/v/v) of single component sugar-acetic acid-ethanol-water solution used to trap *A. ipsilon* adults and proved that their activities can be enhanced by fermentation with the optimal fermentation duration of 8 d.

Key words: *Agrotis ipsilon*; sugar-acetic acid-ethanol-water solution; fermentation; volatile; taxis; behavioral response

20 世纪初,人们开始利用发酵糖水、糖醋酒液模拟腐烂果实、植物蜜露以及植物伤口分泌液等昆虫食源气味,对多种害虫进行诱杀防治(何亮等, 2009; Shelly *et al.*, 2014)。目前我国在田间主要使用的食诱剂以糖醋酒液为主,糖醋酒液具有应用范围广、不受雌雄性性别影响、配置简单便于操作且绿色无公害等特点,但糖醋酒液的比例影响诱集效果。例如,陈光华等(2007)利用一定比例的食用糖、醋、酒和水进行混合后诱杀果树白星花金龟 *Potosia brevitasis* 取得了较好效果。刘永华等(2018)发现不同比例的糖醋酒混合液配方对黄斑长翅卷叶蛾 *Acleris fimbriana* 诱虫量存在较大差异。王萍等(2011)利用绵白糖、乙酸、无水乙醇和自来水按 3:3:1:80(m/v/v/v)的比例混合时,相比其他配方对韭菜蓴蚊 *Bradysia odoriphaga* 诱集效果更好。可见,糖、醋、酒液对害虫的诱集效果与其混配比例存在明显相关性,需要进行优化以便更好发挥对害虫的防控作用。Pirkka 和 Kalervo(1977)研究表明,糖醋酒液能吸引害虫的原因之一就是其在不断的发酵过程中产生的化合物,从糖醋酒纯物质发酵后的混合液中鉴别出了 38 种物质,包含醇、酸、酯和醛类,38 种物质中有 35 种对鳞翅目昆虫有吸引作用。王萍等(2011)从糖醋酒混合液中提取了挥发物,包括酮类化合物 7 种、醛类化合物 8 种、醇类化合物 2 种、烷烃类化合物 12 种、酯类化合物 3 种、酚类化合物 1 种共计 33 种。

小地老虎 *Agrotis ipsilon* 属于鳞翅目(Lepidoptera)

夜蛾科(Noctuidae),俗称土蚕、切根虫、地蚕、地剪、黑土蚕、黑地蚕等,是一种多食性、迁飞性重大地下害虫,寄主植物十分广泛,除水稻等水生植物外,几乎对所有植物的幼苗均能取食为害。主要受害植物有粮食、棉花、油料、麻类、薯类、蔬菜等农作物,以及中草药、花卉、果树和林木等幼苗。低龄幼虫取食为害植物嫩叶或幼茎,而 3 龄及以上高龄幼虫主要取食为害植物的嫩茎,不仅取食量大,而且剪苗率高;由于咬食植物幼茎,导致单株植物幼苗枯死,常造成缺苗断垄,乃至毁种重播的严重危害(魏鸿钧等, 1989; 丁蕙淑, 1992; 曹雅忠和李克斌, 2017)。

小地老虎成虫对糖醋酒液具有明显的趋向行为,采用白糖、食用醋、白酒及水的比例为 6:3:1:10(m/v/v/v)的混合液,对小地老虎成虫具有明显的诱集作用(向玉勇和杨茂发, 2008);在有关小地老虎的监测预报和防治方法或标准中也都提及糖酒醋液(修凤英, 2013),但其配方多采用白糖(或红糖)、食用醋和白酒以及普通水的混合液;不同的商家所生产的白糖(或红糖)、食用醋和白酒都是复合物,其中的有效物质含量或杂质有较大差异。导致目前针对小地老虎的糖醋酒液诱集配方混乱且成分纯度杂,在实际应用中缺乏统一且规范化的配方标准。此外,糖醋酒液未发酵与发酵后对小地老虎成虫的诱集效果是否有差异,不同发酵时间的糖醋酒液又会产生哪些挥发物?而对这些问题鲜有研究报道。因此,本研究针对当前小地老虎等地下害虫发生危害日趋严重的现实情况,从优选以单一物质糖、

醋、酒进行混配的最佳配方入手,利用 Y 型嗅觉仪测试小地老虎成虫对未发酵和不同发酵时间糖醋酒液的趋向性,探索和明确发酵与不发酵糖醋酒液引诱小地老虎效果的差异或增效作用,并进一步分析未发酵和不同发酵时间糖醋酒液的化合物组分,以期规范或制定糖醋酒液作为食诱剂的配方标准、提高对小地老虎监测预报水平和防治效果提供实验依据,并为后续探究糖醋酒液有效组分及其配比对引诱小地老虎成虫的化学生态学和生理机制研究奠定基础,同时也为优化及开发小地老虎成虫新的食诱剂提供可借鉴的思路和方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试虫源:小地老虎成虫采集于河北省廊坊市中国农业科学院廊坊科研中试基地。试虫饲养条件:成虫饲养于温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 10\%$ 、光周期 16L:8D 的人工气候箱,使用 10% 的蔗糖溶液喂食,每天更换糖溶液,并在玻璃养虫盒里放入纱布或干枯的狗尾巴草作为雌虫产卵场所,以提供后续实验用虫。因成虫羽化后 2–3 d 开始大量取食产卵,所以糖醋酒液趋性实验采取羽化后 3 d 的成虫作为试虫。幼虫饲养条件:饲养于塑料小盒置于温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 10\%$ 、光周期 16L:8D 的人工气候箱,喂食实验温室所种的玉米苗,2 d 一换。幼虫 3 龄后使用牙签盒单头饲养,并加入适量相对湿度为 30% 的灭菌土,供幼虫入土及化蛹。

1.1.2 糖醋酒液的选择与配制:本实验收集到前人(向玉勇和杨茂发, 2008; 何亮等, 2009; 李捷等, 2016)所做关于针对诱集鳞翅目成虫糖醋酒液的诱集配方共 5 种,并进行引诱效果的初筛实验,其中糖醋酒液 A, B, C 和 D 配方采用蔗糖(g)、乙酸(mL)、无水乙醇(mL)及纯水(mL)配制而成,配方比例分别为 3:1:3:80, 3:1:3:160, 3:1:6:80 和 1:1:3:80(m/v/v/v);E 配方为常见配方之一,采用普通白糖、食用醋(恒顺白醋,镇江恒丰酱醋有限公司)、白酒(红星二锅头 56% Vol,北京红星股份有限公司)、自来水配成,其配方比例为 6:3:1:10。糖醋酒液进行发酵的条件为恒温($25 \pm 1^\circ\text{C}$)下密闭容器中发酵,消毒和无菌操作,防止或减少污染。

1.1.3 供试试剂:色谱正己烷,吸附剂 Porapak Q (80~100 目, Supelco, Bellefonte, Pennsylvania, 美

国),玻璃棉(安捷伦,美国);蔗糖、乙酸、无水乙醇(北京广达恒益科技有限公司)。

供试仪器:玻璃制品(北京博瑞尚德科技有限公司,中国);RXZ 型多段编程人工气候箱(宁波江南仪器厂,中国);大气采样仪 QC-3 型(北京市劳动保护科学研究所,中国);气相色谱-质谱联用仪 GC-MS-QP2010SE 型气质联用仪(SHIMADZU 株式会社岛津制作所,日本)。

1.2 小地老虎成虫对 5 种糖醋酒液配方的趋向行为反应

参照张献英等(2014)Y 型嗅觉仪设备,根据小地老虎成虫夜间取食的特点,生物测定时间安排在夜晚(20:00–23:00)进行,利用红光灯作为观察光源,试验在室温($25 \pm 1^\circ\text{C}$)下进行。每次测试前,用自来水清洗 Y 型嗅觉仪后,用 75% 的酒精擦拭仪器内壁并及时烘干通气 3 min,将杂气排出。测试时,吸取 200 μL 糖醋酒液滴于 1.5 cm $\times$ 2 cm 定性滤纸上,放入 Y 型嗅觉仪其中一侧臂的味源瓶中,另一侧臂味源瓶放置 200 μL 清水浸湿后滤纸作为对照,每测试 1 头试虫更换一次滤纸。在 Y 管主臂放入羽化后 3 日龄小地老虎成虫,每次接虫 1 头,若试虫在任一侧臂爬行 1/2 距离后并停留 1 min 以上则视为做出趋向性选择,若试虫停留在主臂超过 10 min 则视为不选择(李晓莉等, 2018),完成一次试验重复后更换另一套洁净处理的 Y 型嗅觉仪,并将处理和对照放置位置与前一次重复调换(即调换 Y 型嗅觉仪的两个侧臂)。实验设不同配方糖醋酒液(未发酵)A, B, C 和 D 4 个配方处理,配比分别为蔗糖(g):乙酸(mL):无水乙醇(mL):纯水(mL) = 3:1:3:80, 3:1:3:160, 3:1:6:80 和 1:1:3:80(m/v/v/v),E 配方为白糖(g):白醋(mL):白酒(mL):自来水(mL) = 6:3:1:10(m/v/v/v),每个处理 3 次重复试验,每次重复用虫 30 头。

1.3 小地老虎成虫对糖醋酒液发酵与不发酵物的趋向行为反应

Y 型嗅觉仪使用方法、条件和试虫羽化后的日龄同 1.2 节,所采用的糖醋酒液为趋向行为反应初筛后最佳的两种配方(B 和 C),每个配方分别在室温下($25 \pm 1^\circ\text{C}$)发酵 1~15 d 和不发酵(以 0 d 表示,下同),每天为一个处理时间单位,每个处理 3 个重复,每个重复观测 30 头试虫。

趋向选择活性的计算公式(Zhou *et al.*, 2009):

反应率(%) = [(味源管虫数 + 对照管虫数)/测试虫数] $\times 100\%$;

选择反应率(%) = $\frac{\text{味源管虫数}}{\text{味源管虫数} + \text{对照管虫数}} \times 100\%$ 。

1.4 糖醋酒液挥发物收集及分析

糖醋酒液挥发物制备:参照热孜宛古丽·阿卜杜克热木等(2018)的方法,采取动态顶空分析方法分别收集未发酵(0 d,下同)及发酵4,8和12 d糖醋酒液B挥发物(黄玉清等,2012)。

基本流程:空气过滤管[放置20 g活性炭,实验前将活性炭在120℃活化4 h(韩宝瑜和周成松,2004)]-味源瓶(放置20 mL糖醋酒液)-玻璃柱-吸附管[放置200 mg 80~100目Porapak Q吸附剂,参考陈旭鹏等Porapak Q快速活化方法对吸附剂进行活化(陈旭鹏等,2015),以5 mL丙酮和5 mL正己烷作为淋洗溶剂,氮气流量80 mL/min,活化温度200℃,活化时间30 min]-大气采样仪。空气过滤管及吸附管均为直径0.5 cm,长10 cm玻璃管。糖醋酒液挥发物收集:每次挥发物抽提前按顺序使用去离子水、无水乙醇及正己烷淋洗挥发物抽提玻璃装置,直至洗脱液在色谱上无溶质峰,后将玻璃制品放置125℃烘箱烘干备用。每次处理于早上9:00连续抽提10 h至下午19:00,每个处理重复3次,抽提完成后用色谱纯正己烷洗脱至样品瓶1 mL刻度,-20℃低温保存。使用气相色谱与质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析挥发物之前,使用氮吹仪将样品浓缩至500 μL,然后转入自动进样小瓶中进样(未加内标)。其中,洗脱及浓缩过程均在冰浴条件进行。

GC-MS条件:毛细管柱:RTx-5MS,载气为He,膜厚0.25 μm,长30 m,内径0.25 mm。升温程序:起始温度50℃,保持2 min,8℃/min升温到270℃,保持10 min。进样量1 μL,进样口温度为260℃,不分流进样,接口温度280℃。挥发物成分鉴定:利用GC-MS分离和检测,通过化学工作站用每一组分的质谱图与质谱库中的标准化合物的质谱图进行联机检索和比对对分离出的化合物进行鉴定。

1.5 数据分析

利用Excel 2013记录数据及作图,SPSS 17.0进行数据分析。图1及表1等百分数的数据先采用反正弦转换后再进行差异显著性比较检验。不同配方处理间的数据采用方差分析,利用Duncan氏新复极差法(SSR)进行差异显著性检验;小地老虎对发酵不同天数的糖醋酒液趋性试验数据采用卡方检验(χ^2 test)进行差异显著性分析;差异显著和极显著

水平分别设为 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。

2 结果

2.1 小地老虎成虫对5种配方糖醋酒液的趋性

小地老虎成虫分别对A,B,C,D和E5种不同配方的糖醋酒液趋性试验结果如图1所示。B配方液对小地老虎成虫诱集效果(试虫的选择反应率)显著优于A,C,D及E配方液($P < 0.05$, $df = 4$, $F = 15.934$),试虫对配方C的选择反应率显著高于对配方A和配方E,平均值略优于配方D(但两者差异不显著)。因此,选择B和C两个配方的糖醋酒液进行下一步的发酵实验。

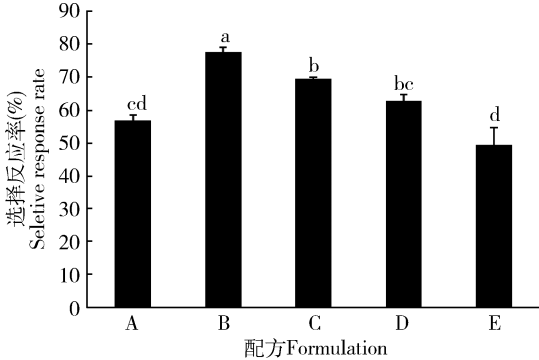


图1 小地老虎成虫对5种配方糖醋酒液(未发酵)的趋性
Fig. 1 Taxis of *Agrotis ipsilon* adults to five unfermented sugar-acetic acid-ethanol-water solutions

配方A,B,C和D中蔗糖:乙酸:无水乙醇:纯水的配比分别为3:1:3:80,3:1:3:160,3:1:6:80和1:1:3:80(m/v/v/v),配方E(常见配方)中普通白糖:食用醋:白酒:自来水的配比为6:3:1:10(m/v/v/v)。下同。柱上不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)(Duncan氏新复极差法检验)。Ratios of sucrose, acetic acid, ethanol and purified water for solutions A, B, C and D are 3:1:3:80, 3:1:3:160, 3:1:6:80 and 1:1:3:80 (m/v/v/v), respectively, and the ratio of sugar, white vinegar, liquor and tap water for solution E (commonly used formulation) is 6:3:1:10 (m/v/v/v). The same below. Different letters above bars indicate significant difference among different treatments ($P < 0.05$) (Duncan's multiple range test).

2.2 小地老虎成虫对B、C配方糖醋酒液未发酵与发酵混合物的趋性

小地老虎成虫对B配方糖醋酒液的趋性结果如图2所示。试虫对发酵后的配方B糖醋酒液的趋性与对照相比,试虫对发酵5,6,7和8 d的B配方糖醋酒液的趋性极显著高于对照($P < 0.01$,卡方值分别为10.67,6.76,15.696和15.207);对发酵2,4,9和10 d发酵液的趋性显著优于对照($P < 0.05$,卡方值分别为4.00,5.56,4.481和4.765);而其他发酵时间[未发酵(0 d),发酵1,3和11~15 d]与对照之间的试虫选择反应率均无显著差异($P > 0.05$)。

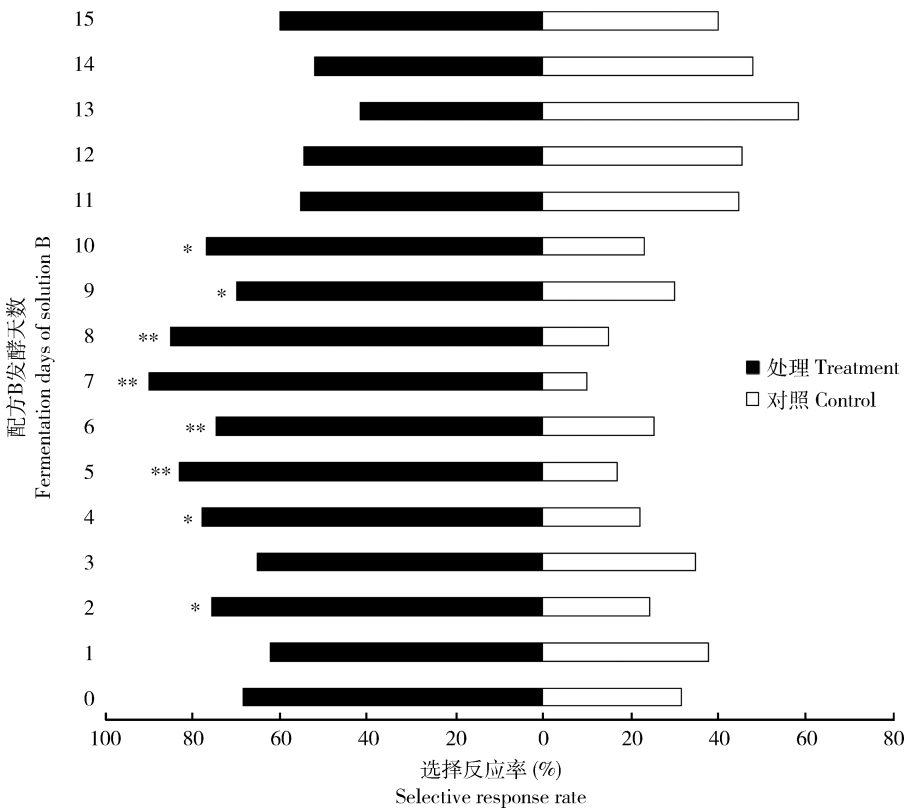


图2 小地老虎成虫对发酵15 d内B配方糖醋酒液的趋向行为反应

Fig. 2 Behavioral response of *Agrotis ipsilon* adults to sugar-acetic acid-ethanol-water solution B fermented within 15 d
星号和双星号分别表示处理与对照(清水)之间经卡方测验法检验差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。图3同。The asterisk and double asterisk indicate significant difference ($P < 0.05$) and extremely significant difference ($P < 0.01$) by χ^2 test between the treatment and the control (pure water), respectively. The same for Fig. 3.

小地老虎对C配方糖醋酒液的趋性结果如图3所示,试虫对发酵后配方C的趋性与对照相比,试虫对发酵5,7和8 d发酵液的趋性极显著优于对照($P < 0.01$,卡方值分别为7.348,7.348和12.462);其余发酵时间发酵液[包括未发酵(0 d),发酵1-4 d和9-15 d]与对照之间的试虫选择反应率均无显著差异($P > 0.05$)。

小地老虎成虫对B配方糖醋酒液发酵0~15 d发酵液的反应率在54.44%~96.67%,对C配方糖醋酒液发酵0~15 d发酵液的反应率为45.56%~85.56%(表1)。试虫对两种配方发酵8 d发酵液的反应率最高,其中对B配方发酵液的反应率达到了96.67%,优于对试液发酵9 d发酵液的反应率,但差异不显著($P > 0.05$);试虫对B配方未发酵液(0 d)以及其他发酵时间发酵液的反应率显著低于对发酵8 d发酵液的反应率($P < 0.05$, $df = 15$, $F = 6.654$)。小地老虎成虫对C配方发酵8 d发酵液的反应率为85.56%,高于对其他发酵天数发酵液的反应率,其中与对发酵4,5,6,7,9,10和11 d发酵液的反应率差异不显著($P > 0.05$),与对未发酵

液(0 d)以及发酵1,2,3,12,13,14和15 d发酵液的反应率差异显著($P < 0.05$, $df = 15$, $F = 5.580$)。此外,试虫对B和C两配方发酵8 d发酵液的选择反应率分别为85.06%和85.74%,其中成虫对两种配方发酵8 d发酵液的选择反应率显著高于对未发酵液及发酵5 d和7 d以外的其他发酵天数的发酵液的选择反应率($P < 0.05$,配方B: $df = 15$, $F = 10.659$;配方C: $df = 15$, $F = 9.451$)。

2.3 B配方糖醋酒液发酵8 d的挥发物化学成分

综合前文图1及结果分析,糖醋酒液B配方对小地老虎成虫诱集效果显著优于C配方(两者差异显著),因此选择B配方测定其挥发物成分。发酵8 d的糖醋酒液中的挥发物组分如表2所示,共有41种挥发性化合物,主要包括烷烃类化合物17种,总相对含量约16.09%;醛类化合物8种,总相对含量约6.61%;酮类化合物2种,总相对含量约16.86%;4种醇类化合物总相对含量约为6.08%;5种酯类化合物总相对含量约为7.91%;醚类化合物5种,总相对含量约为11.45%。

其中B配方糖醋酒液发酵8 d的主要挥发物种

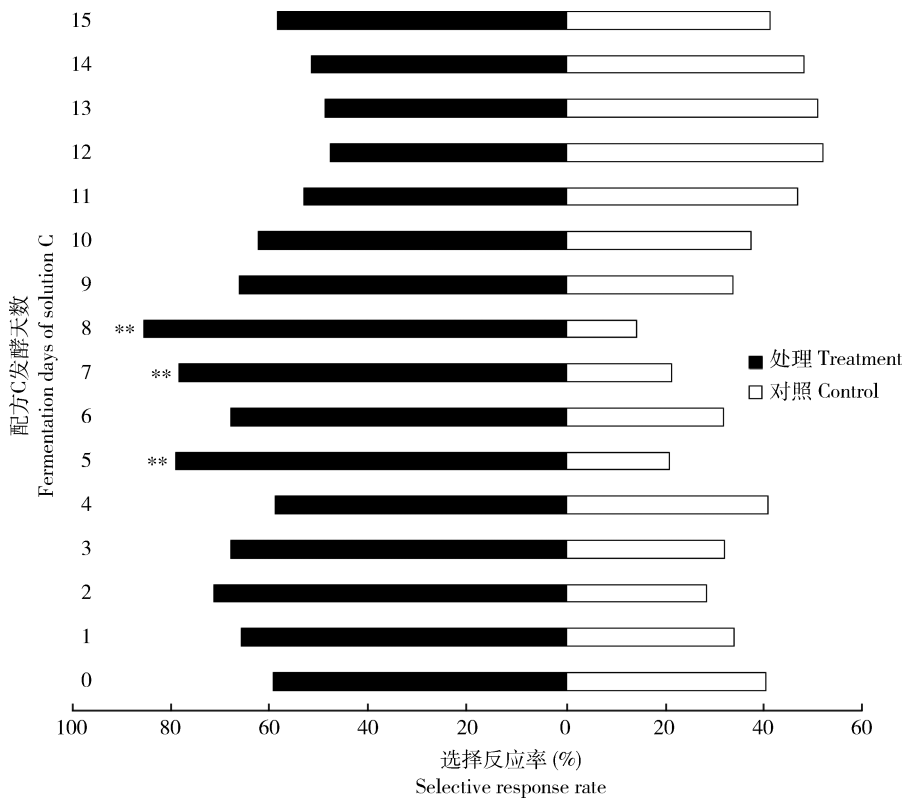


图3 小地老虎成虫对发酵15 d内C配方糖醋酒液的趋向行为反应

Fig. 3 Behavioral response of *Agrotis ipsilon* adults to sugar-acetic acid-ethanol-water solution C fermented within 15 d

表1 小地老虎成虫对发酵不同天数的B和C两种配方糖醋酒液的嗅觉反应

Table 1 Olfactory response of *Agrotis ipsilon* adults to sugar-acetic acid-ethanol-water solutions B and C fermented for different days

发酵天数 Fermentation days	B 配方糖醋酒液 Solution B		C 配方糖醋酒液 Solution C	
	反应率 (%)	选择反应率 (%)	反应率 (%)	选择反应率 (%)
	Response rate	Selective response rate	Response rate	Selective response rate
0	60.00 ± 1.92 fg	68.66 ± 2.79 cdef	46.67 ± 3.85 ef	59.33 ± 1.62 def
1	58.89 ± 2.94 g	62.06 ± 6.84 defg	52.22 ± 9.69 def	65.66 ± 1.01 cd
2	54.44 ± 5.90 g	75.69 ± 1.01 bcd	46.67 ± 3.33 ef	71.63 ± 6.82 bc
3	70.00 ± 3.84 cdefg	68.38 ± 3.45 cdef	58.89 ± 1.11 cdef	67.86 ± 2.25 cd
4	60.00 ± 5.09 fg	78.07 ± 4.21 bc	67.78 ± 6.19 abcde	59.02 ± 2.21 def
5	78.89 ± 4.84 bcde	82.77 ± 3.39 ab	74.44 ± 8.68 abc	80.36 ± 5.40 ab
6	83.33 ± 6.93 bc	74.52 ± 0.93 bcd	80.00 ± 7.70 ab	68.17 ± 0.98 cd
7	77.78 ± 4.00 bcdef	89.54 ± 4.47 ab	77.78 ± 6.76 ab	78.68 ± 0.68 ab
8	96.67 ± 0.09 a	85.06 ± 1.15 a	85.56 ± 1.11 a	85.74 ± 2.50 a
9	88.90 ± 1.11 ab	70.09 ± 3.42 cde	78.89 ± 5.56 ab	66.72 ± 3.96 cd
10	58.90 ± 7.78 g	75.06 ± 1.83 bcd	71.11 ± 2.94 abcd	62.65 ± 4.50 cde
11	62.22 ± 8.68 efg	54.81 ± 2.44 fgh	80.00 ± 7.70 ab	58.49 ± 0.83 def
12	73.33 ± 3.85 cdefg	54.14 ± 4.58 gh	51.11 ± 1.11 def	47.92 ± 6.14 f
13	80.00 ± 6.94 bcd	41.06 ± 9.49 h	51.11 ± 5.88 def	52.08 ± 2.08 ef
14	81.11 ± 5.56 bcd	52.38 ± 3.26 gh	62.22 ± 4.44 bcdef	52.08 ± 3.56 ef
15	66.67 ± 2.00 defg	60.01 ± 2.50 efg	45.56 ± 2.94 f	58.49 ± 0.83 def

表中数据为平均数 ± 标准误; 同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data in the table are mean ± SE. Different letters following the data in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's new multiple range test.

类及其相对含量分别为 5,5-二甲基-1,3-二恶烷-2-酮 (12.54%)、3-甲基苯酚甲酯 (6.74%)、乙基烯丙基醚 (5.48%)、2-甲基丁醛 (5.43%)、乙酸异丙烯酯 (5.30%)、二丙酮醇 (4.34%)、4-二甲基-2-戊酮 (4.32%) 和烯丙基缩水甘油醚 (3.14%) 等组分。

表 2 B 配方糖醋酒液发酵 8 d 的挥发物成分

Table 2 Components of the volatiles from sugar-acetic acid-ethanol-water solution B fermented for 8 d

序号 No.	化合物 Chemicals	分子式 Molecular formula	相对分子质量 Molecular weight	符合度 Match quality	峰面积比重 Peak area (%)
1	3-甲基苯酚甲酯 Pentane, 3-methyl-	C ₆ H ₁₄	86	91	6.74
2	乙烯基丙基醚 Allyl ethyl ether	C ₅ H ₁₀ O	86	84	5.48
3	二丙酮醇 2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-	C ₆ H ₁₂ O ₂	116	79	4.34
4	烯丙基缩水甘油醚 Oxirane, [(2-propenyloxy) methyl] -	C ₆ H ₁₀ O ₂	114	86	3.14
5	2-甲基丁烷 Butane, 2-methyl-	C ₅ H ₁₂	72	84	1.55
6	2-甲基-1-戊烯 1-Pentene, 2-methyl-	C ₆ H ₁₂	84	73	1.29
7	6,6-二甲基-5-亚甲基-1,3-环戊二烯 1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methylethylidene) -	C ₈ H ₁₀	106	76	0.56
8	十八醛 Octadecanal	C ₁₈ H ₃₆ O	268	95	0.31
9	(-)-柠檬烯 Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl) -, (S) -	C ₁₀ H ₁₆	136	78	0.29
10	(Z)-9-十八碳烯醛 9-Octadecenal, (Z) -	C ₁₈ H ₃₄ O	266	97	0.26
11	十七醛 Heptadecanal	C ₁₇ H ₃₄ O	254	93	0.21
12	α, β-二甲基-苯乙醇 Benzeneethanol, alpha, beta-dimethyl-	C ₁₀ H ₁₄ O	150	69	0.15
13	1-乙烯基-1-甲基-2-(1-甲基乙基)-4-(1-甲基亚乙基)-环己烷 Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl) -4-(1-methylethylidene) -	C ₁₅ H ₂₄	204	86	0.15
14	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基) 环己醇乙酸酯 Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl) -, acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	73	0.14
15	4-乙基-3-烯丙基-5-炔 3-Nonen-5-yne, 4-ethyl-	C ₁₁ H ₁₈	150	83	0.11
16	β-葑草烯 Beta-Humulene	C ₁₅ H ₂₄	204	82	0.11
17	3-环己烯-1-基-苯 Benzene, 3-cyclohexen-1-yl-	C ₁₂ H ₁₄	158	93	0.11
18	Z, Z-1, 15-十八碳烯醇-1-醇乙酸酯 Z, Z-2, 15-Octadecadien-1-ol acetate	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	308	83	0.10
19	正十五烷 Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	212	85	0.10
20	二十烷醛 Eicosanal-	C ₂₀ H ₄₀ O	296	92	0.07
21	α-法呢烯 Alpha-Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	204	77	0.02
22	4,4-二甲基-2-戊酮 2-Pentanone, 4,4-dimethyl-	C ₇ H ₁₄ O	114	89	4.32
23	2,2,3-三甲基-丁烷 Butane, 2,2,3-trimethyl-	C ₇ H ₁₆	100	85	2.75
24	乙基丙烯醚 Ethyl-1-propenyl ether	C ₅ H ₁₀ O	86	79	2.11
25	双戊烯 D-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	92	0.91
26	α-乙酰丁内酯 Alpha-Acetobutyrolactone	C ₆ H ₈ O ₃	128	78	0.34
27	对二甲苯 p-Xylene	C ₈ H ₁₀	106	73	0.24
28	(Z)-9,17-十八碳二烯醛 9,17-Octadecadienal, (Z) -	C ₁₈ H ₃₂ O	264	92	0.11
29	(Z)-7-十六碳烯醛 7-Hexadecenal, (Z) -	C ₁₆ H ₃₀ O	238	82	0.10
30	石竹素 Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	68	0.06
31	5,5-二甲基-1,3,2-恶烷-2-酮 5,5-Dimethyl-1,3-dioxan-2-one	C ₆ H ₁₀ O ₃	130	80	12.54
32	2-甲基丁醛 Butanal, 2-methyl-	C ₅ H ₁₀ O	86	84	5.43
33	乙酸异丙烯酯 1-Propen-2-ol, acetate	C ₅ H ₈ O ₂	100	90	5.30
34	草酸二丁酯 Ethanedioic acid, dibutyl ester	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	202	81	2.03
35	(E)-2-戊烯-1-醇 2-Penten-1-ol, (E) -	C ₅ H ₁₀ O	86	74	1.55
36	1,3-二甲基苯 Benzene, 1,3-dimethyl-	C ₈ H ₁₀	106	97	1.04
37	2,3-环氧-2-甲基丁烷 Oxirane, trimethyl-	C ₅ H ₁₀ O	86	76	0.66
38	紫苏醛 1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-(1-methylethenyl) -	C ₁₀ H ₁₄ O	150	61	0.12
39	反式-1,2-二(1-甲基乙基) 环丁烷 Cyclobutane, 1,2-bis(1-methylethenyl) -, trans-	C ₁₀ H ₁₆	136	85	0.09
40	紫苏醇 p-Mentha-1,8-dien-7-ol	C ₁₀ H ₁₆ O	152	73	0.04
41	十三烷 Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	184	77	0.03

2.4 不同发酵天数 B 配方糖醋酒液挥发物成分比较

按 0 d(未发酵)、发酵 4, 8 和 12 d 收集 B 配方糖醋酒液中挥发物并分析其化学成分,比较 4 者的异同,结果见表 3。其中糖醋酒液 B 未发酵液(0 d)与发酵 4, 8 和 12 d 发酵液的挥发物成分种类大致相同,基本为烃类、醇类、酮类、酸类、酯类以及醛类化合物。未发酵试液测得的挥发物约有 14 种,比发酵 8 d 的发酵液少 27 种挥发物,如紫苏醛、对二甲

苯、十三烷、 β -葎草烯和 α -法呢烯等,其中有 12 种挥发物存在差异;发酵 4 d 的试液中挥发物约有 37 种,较发酵 8 d 的试液少 4 种挥发物,如紫苏醇、4-乙基-3-烯丙基-5-炔等,其中 22 种挥发物与发酵 8 d 的试液中挥发物不同;发酵 12 d 的试液中有 33 种挥发物,比发酵 8 d 的混合液少 8 种挥发物,如十三烷、2-甲基丁醛和(*E*)-2-戊烯-1-醇等,二者之间不同的化合物 20 种。

表 3 不同发酵天数 B 配方糖醋酒液的挥发性成分比较
Table 3 Comparison of components of the volatiles from sugar-acetic acid-ethanol-water solution B fermented for different days

0 d	4 d	8 d	12 d
-	-	3-甲基苯酚甲酯 Pentane, 3-methyl-	-
-	2,2,3-三甲基戊烷 Pentane, 2,2,3-trimethyl-	-	2, 2-二甲基丁烷 Butane, 2,2-dimethyl-
2,3-二甲基戊烷 Pentane, 2,3-dimethyl-	*	2-甲基丁烷(异戊烷) Butane, 2-methyl-	*
-	*	1-乙烯基-1-甲基-2-(1-甲基乙基) 4- (1-甲基亚乙基)-环己烷 Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2- (1-methylethenyl) 4-(1-methylethylidene) -	反式- 1,2-二(1-甲基乙基) 环丁烷 Cyclobutane, 1,2-bis (1-methylethenyl) -, trans-
-	*	正十五烷 Pentadecane	戊烷 Pentane
-	十七烷 Heptadecane	-	-
-	3-甲基丁基环氧乙烷 Oxirane, (3-methylbutyl) -	2,3-环氧-2-甲基丁烷 Oxirane, trimethyl-	2,2-二甲基氧杂环丁烷 Oxetane, 2,2-dimethyl-
-	1,1-二异丁氧基丁烷 1,1-Diisobutoxy-butane	2,2,3-三甲基丁烷 Butane, 2,2,3-trimethyl-	2,5-二甲基庚烷 Heptane, 2,5-dimethyl-
-	2-乙基氧杂环丁烷 2-Ethyl-oxetane	反式-1,2-二(1-甲基乙基) 环丁烷 Cyclobutane, 1,2- bis(1-methylethenyl) -, trans-	1-(2-丙烯酰氧基)-丁烷 Butane, 1-(2-propenyloxy) -
-	*	十三烷 Tridecane	-
(-)-A-新丁香三环烯 Neoclovene	1-甲基-5-(1-乙烯基) 环己烯 Cyclohexene, 1-methyl-5- (1-methylethenyl) -	6,6-二甲基-5-亚甲基-1,3-环戊二烯 1,3-Cyclopentadiene, 5-(1-methylethylidene) -	2,5,5-三甲基-1,3,6- 庚三烯 1,3,6-Heptatriene, 2,5,5-trimethyl-
1-十三烯 1-Tridecene	*	(-)-柠檬烯 Cyclohexene, 1-methyl 4- (1-methylethenyl) -, (S) -	4-甲基-1-己烯 1-Hexene, 4-methyl-
-	*	(Z)-9-十八碳烯醛 9-Octadecenal, (Z) -	*
-	*	双戊烯 D-Limonene	*
-	α -葎草烯 Alpha-Humulene	β -葎草烯 Beta-Humulene	-
-	γ -榄香烯 Gamma-Elemene	α -法呢烯 Alpha-Farnesene	γ -榄香烯 Gamma-Elemene
-	癸二烯 1,5-Cyclodecadiene	-	2-羟基四氢呋喃 2-Furanol, tetrahydro-
-	2,5,5-三甲基-1,3,6-庚三烯 1,3,6-Heptatriene, 2,5,5-trimethyl-	-	-

续表 3 Table 3 continued

0 d	4 d	8 d	12 d
	(<i>E, E</i>)-1,5-二甲基-8-(1-甲基亚乙基)- 环癸二烯		
-	1,5-dimethyl-8-(1-methylethylidene)-, (<i>E, E</i>)-	-	-
-	β -石竹烯 β -Caryophyllene	-	-
-	-	4-乙基-3-烯丙基-5-炔 3-Nonen-5-yne, 4-ethyl-	-
-	*	3-环己烯苯 Benzene, 3-cyclohexen-1-yl-	*
-	*	对二甲苯 <i>p</i> -Xylene	*
-	邻二甲苯 <i>O</i> -Xylene	1,3-二甲基苯 Benzene, 1,3-dimethyl-	*
-	3-环己烯-1-苯 Benzene, 3-cyclohexen-1-yl-	-	-
正丁醇 1-Butanol	异蒲勒醇 DL-Isopulegol	二丙酮醇 2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-	正丁醇 1-Butanol
叔丁基过氧化氢 Tert-butyl hydroperoxide	蓝桉醇 (-)-Globulol	α , β -二甲基-苯乙醇 Benzeneethanol, alpha, beta-dimethyl-	7-十六-1-醇 7-Hexadecyn-1-ol
-	-	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇 Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2- (1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-	-
*	-	(<i>E</i>)-2-戊烯-1-醇 2-Penten-1-ol, (<i>E</i>)-	-
-	-	紫苏醇 <i>P</i> -Mentha-1,8-dien-7-ol	-
十五醛 Pentadecanal-	*	十八醛 Octadecanal	*
十四醛三聚物 Tetradecanal	*	十七醛 Heptadecanal	*
-	异戊醛 Butanal, 3-methyl-	二十烷醛 Eicosanal-	*
-	*	(<i>Z</i>)-9,17-十八碳二烯醛 9,17-Octadecadienal, (<i>Z</i>)-	*
-	特戊醛 Propanal, 2,2-dimethyl-	(<i>Z</i>)-7-十六碳烯醛 7-Hexadecenal, (<i>Z</i>)-	-
-	-	紫苏醛 1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-(1-methylethenyl)-	-
-	-	2-甲基丁醛 Butanal, 2-methyl-	-
2-戊酮 2-Pentanone	*	4,4-二甲基-2-戊酮 2-Pentanone, 4,4-dimethyl-	*
-	*	5,5-二甲基-1,3-二恶烷-2-酮 5,5-Dimethyl-1,3-dioxan-2-one	*
-	(<i>R, S</i>)-5-羟基-4-甲基-3-庚酮 (<i>R, S</i>)-5-Hydroxy-4- methyl-3-heptanone	-	-
-	3-戊酮 3-Pentanone	-	-
-	丙酮 Acetone	-	2-十九烷 2-Nonadecanone
-	-	-	乙酰丙酸 Pentanoic acid, 4-oxo-
-	-	乙基烯丙基醚 Allyl ethyl ether	-
-	-	烯丙基缩水甘油醚 Oxirane, [(2-propenyloxy)methyl]-	*

续表 3 Table 3 continued

0 d	4 d	8 d	12 d
-	-	乙基丙烯醚 Ethyl-1-propenyl ether	-
丁氧基羟基乙酸丁酯 Acetic acid, butoxyhydroxy-, butyl ester	丁氧基羟基乙酸丁酯 Aceticacid,butoxyhydroxy-, butyl ester	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基) 环己醇乙酸酯 Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	丁氧基羟基乙酸丁酯 Acetic acid, butoxyhydroxy-, butyl ester
草酸二异丁酯 Oxalic acid, butyl propyl ester	脱氢枞酸甲酯 Methyl dehydroabietate	Z,Z-1,15-十八碳烯醇-1-醇乙酸酯 Z,Z-2,15-Octadecedi-en-1-ol acetate	脱氢枞酸甲酯 Methyl dehydroabietate
*	草酸丁基丙酯 Oxalic acid, isobutyl propyl ester	草酸二丁酯 Ethanedioic acid, dibutyl ester	草酸丁基丙酯 Oxalic acid, butyl propyl ester
丙酸己酯 Propanoic acid, hexyl ester	-	α -乙酰丁内酯 Alpha-Acetobutyrolactone	硬脂酸甲酯 Methyl stearate
甲酸异丁酯 Formic acid, 2-methylpropyl ester	-	乙酸异丙烯酯 1-Propen-2-ol-, acetate	异甜菊醇甲酯 Isosteviol methyl ester
-	-	石竹素 Caryophyllene oxide	-

*：与配方 B 发酵 8 d 挥发性物质相同 The compound was of the same chemical category as that in the formula B fermented for 8 d；-：未测得此类化合物 No similar compound was detected in this treatment compared to other treatments.

3 讨论

许多重要害虫在产卵之前必须补充营养,对蜜源植物具有趋向性(鲍晓文等, 2010; 耿冠宇, 2012)。20 世纪初期,发酵糖溶液就已经开始被使用到对害虫的防治当中,由于成本低廉、材料简单、容易获得,这些天然诱饵被广泛使用(Shelly *et al.*, 2014)。不同配比的糖醋酒液诱虫的效果有所不同,王浩等在沙地榛园使用白糖、乙酸、无水乙醇和水分别配制 4 个配方溶液(m/v/v/v),包括 3:1:3:10, 3:1:6:10, 6:3:1:10 和 3:6:1:10,其中 6:3:1:10 配方诱集金龟子虫量相比另外 3 种配方高 10% ~ 20%(王浩等, 2013)。太红坤等(2010)发现,糖醋酒液三者比例分别为 2.5%, 12.5% 和 25.0% 时,引诱番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* 的效果比配比为 10.0%, 30.0% 和 10.0% 糖醋酒液的引诱效果好。本试验证明,小地老虎成虫对糖醋酒液有较强的趋性,不同的配方对小地老虎引诱效果也表现不同,其中单一物质糖醋酒液 B 配方(3:1:3:160, m/v/v/v)对小地老虎成虫诱集效果显著优于其他配方(图 1)。因此可见,糖醋酒液有效物质的含量和组分是决定引诱效果的关键因素。另外,本项单一物质糖醋酒液的研究及其结果为规范或制定小地老虎成虫的糖醋酒液食诱剂配方标准提供了试验依据。

国内外关于糖醋酒液发酵后是否对害虫的诱集

效果有所影响的研究极少,本试验在这方面进行了探究。通过在恒温(25 ± 1℃)、无菌操作、密闭容器发酵条件下,首次明确了通过发酵可以增加糖醋酒液诱集小地老虎成虫的效果;同时证明 B 和 C 配方糖醋酒液发酵一定时间(8 d)对小地老虎成虫的引诱效果为最佳。糖醋酒液发酵是一个循序渐进的动态反应过程,类似于调香术领域的“陈化”现象(林翔云, 2008),从开始发酵并产生化合物一定时间后,产生的化合物总量可能会有所增加或减少(表 3)。本试验发现,尽管使用同一配方对其挥发物进行测定,因发酵时间(天数)不同所产生的挥发物成分和含量差异较大,发酵 8 d 的 B 配方糖醋酒液组成物质成分最多(表 3)。分析其原因,可能是糖类、醇类和有机酸等都是糖酵解和三羧酸循环的产物,发酵时间不同其物理和化学反应也有所不同导致最终挥发物种类不同,本研究在初始配成糖醋酒液时,瓶内尚存氧气,在密闭发酵条件下,氧气逐渐耗尽,无氧条件下的降解反应所产生的物质可能会增加并与发酵前几日的物质有所不同,发酵 8 d 的时候挥发物数量最多,在这之后部分挥发物可能参与了下一步化学反应,因此挥发物数量可能会减少。例如,发酵 8 d 的 B 配方糖醋酒液比未发酵的糖醋酒液增加了很多组分,如发酵后所产生的挥发物对二甲苯及间二甲苯可引起苜蓿盲蝽较高的 EAG 反应(修春丽, 2014)。发酵后的挥发物成分 D-柠檬烯、苯乙醛或苯乙醇与 α -蒎烯组配的混合物对棉铃虫

Helicoverpa armigera 引诱活性较强 (Gregg *et al.*, 2016)。这些产生的新挥发物可能是发酵后的糖醋酒液比未发酵的试液诱集小地老虎效果显著增加的主要原因,具体是哪一种或哪几种挥发物在其中产生了什么作用,还有待后续相关机制试验研究探明。本发酵试验也发现糖醋酒液挥发物组分与王萍等 (2011)所测的挥发物成分差别较大,可能与两者使用的洗脱液不同、绵白糖与单物质的蔗糖不同有关,其次大气采样仪流速及使用仪器不同也可能检测到不同的挥发物成分。

糖醋酒液配方繁杂,不同配方可能对不同害虫的诱集效果有差异。室内研究的最佳配方最终要应用于农田实践,因为田间的自然可变因素繁杂,本试验通过 Y 型嗅觉仪所得的最佳发酵 8 d 的糖醋酒液最佳配方,在大田中使用是否表现出理想的效果,所以需要进一步开展相应的田间试验进行验证。另外,发酵期间产生的化合物种类及数量不同、小地老虎成虫对本试验所测得的挥发物是否有触角电位反应?是单一物质对小地老虎成虫趋性影响较大还是不同物质组配所产生影响较大等相关机制问题,还需要进一步开展触角电位测定及相应的生物、生态学实验测定和验证。另外,有关发酵的糖醋酒液最佳使用历期的问题,从试虫对不同发酵时间的糖醋酒液嗅觉反应结果(表 1 和图 2)来看,发酵的糖醋酒液最佳使用历期可能为 1 ~ 3 d;需要开展相应的田间试验进行验证。

参考文献 (References)

Bao XW, Zheng F, Cai MF, Wu JX, 2010. Effects of complementary nutrients on adult's reproduction and longevity of oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Busck. *J. Northwest A&F Univ. (Nat. Sci. Ed.)*, 38(8): 123–131. [鲍晓文, 郑峰, 蔡明飞, 仵均祥, 2010. 补充营养对梨小食心虫成虫生殖及寿命的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 38(8): 123–131]

Cao YZ, Li KB, 2017. Map of China Common Underground Pest. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. 203. [曹雅忠, 李克斌, 2017. 中国常见地下害虫图鉴. 北京: 中国农业科学技术出版社. 203]

Chen GH, Wen JF, Wang GY, 2007. Trap and killing effect to *Protaetia brevitarsis* by sugar-acetic acid-ethanol water solutions. *Shaanxi J. Agric. Sci.*, (6): 53, 92. [陈光华, 文家富, 王刚云, 2007. 糖醋液诱杀果树害虫白星花金龟试验效果. 陕西农业科学, (6): 53, 92]

Chen XP, Yang MH, Zhang JT, Liu HX, Liu ZX, Jin ZR, Zhao X, 2015. Activation method of adsorption tube used for analysis plant volatiles. *Subtrop. Plant Sci.*, 44(3): 209–212. [陈旭鹏, 杨美

红, 张金桐, 刘红霞, 刘志雄, 靳泽荣, 赵祥, 2015. 用于植物挥发物分析的 PoraPak™ Q 吸附管快速活化方法. 亚热带植物科学, 44(3): 209–212]

Ding HS, 1992. Patterns of outbreak and migratory flight of *Agrotis ipsilon* in Wenshan Prefecture, Yunnan Province. *Entomol. Knowl.*, 29(1): 10–13. [丁蕙淑, 1992. 文山州小地老虎发生及迁飞规律研究. 昆虫知识, 29(1): 10–13]

Geng GY, 2012. The Taxis and Repel Responses of *Lygus lucorum* Meyer-Dur to Volatiles of Host Plant. MSc Thesis, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei. [耿冠宇, 2012. 绿盲蝽对寄主植物挥发物的趋性及忌避研究. 河北保定: 河北农业大学硕士学位论文]

Gregg PC, Del Socorro AP, Hawes AJ, Del Socorro AP, 2016. Developing bisexual attract-and-kill for polyphagous insects: ecological rationale versus pragmatics. *J. Chem. Ecol.*, 42(7): 666–675.

Han BY, Zhou CS, 2004. Attraction effect of main volatile components from tea shoots and flowers on *Sphaerophoria menthastri* (Diptera: Syrphidae) and *Chrysopa septempunctata* (Neuroptera: Chrysopidae). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 15(4): 623–626. [韩宝瑜, 周成松, 2004. 茶梢和茶花主要挥发物对门氏食蚜蝇和大草蛉引诱效应. 应用生态学报, 15(4): 623–626]

He L, Qin YC, Zhu P, 2009. Trapping effect of the mixture of sugar-acetic acid-ethanol to Oriental fruit moth (*Grapholitha molesta*) and smaller apple leaf roller (*Adoxophyes orana*). *Chin. Bull. Entomol.*, 46(5): 736–739. [何亮, 秦玉川, 朱培, 2009. 糖醋酒液对梨小食心虫和苹果小卷叶蛾的诱杀作用. 昆虫知识, 46(5): 736–739]

Huang YQ, Chen YX, Tian HJ, 2012. Research progress on extraction methods of plant aroma components. *Jiangsu J. Agric. Sci.*, 40(7): 245–247. [黄玉清, 陈艺欣, 田厚军, 2012. 植物香气成分提取方法的研究进展. 江苏农业科学, 40(7): 245–247]

Li J, Wang Y, Guo JS, Li Y, Kong WN, Ma RY, 2016. The effects of the three components in sugar-acetic acid-ethanol mixture in trapping *Grapholitha molesta* (Busck). *J. Fruit Sci.*, 33(3): 358–365. [李捷, 王怡, 郭晋帅, 李颖, 孔维娜, 马瑞燕, 2016. 利用梨小食心虫分析糖醋酒液 3 种主要成分的作用. 果树学报, 33(3): 358–365]

Li XL, Zhang LH, Cao X, Zhuang QY, Yu Y, Zhou XH, 2018. Preferences of adult *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang for 13 kinds of organic fertilizers. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 55(3): 474–480. [李晓莉, 张利焕, 曹雪, 庄乾营, 于毅, 周仙红, 2018. 韭菜迟眼蕈蚊成虫对十三种有机肥的趋性研究. 应用昆虫学报, 55(3): 474–480]

Lin XY, 2008. Perfumery Technology. 2nd ed. Chemical Industry Press, Beijing. 3–54. [林翔云, 2008. 调香术(第 2 版). 北京: 化学工业出版社. 3–54]

Liu YH, Li XH, Yan XF, Wang XR, 2018. The sugar-acetic acid-ethanol water solutions' trapping effects on *Acleris fimbriana* Thunberg. *Shaanxi J. Agric. Sci.*, 64(7): 21–22. [刘永华, 李鲜花, 阎雄飞, 王晓荣, 2018. 糖醋酒液对黄斑长翅卷叶蛾诱集效果研究. 陕西农业科学, 64(7): 21–22]

Pirkka U, Kalervo E, 1977. Volatile fermentation products as attractants for Macrolepidoptera. *Ann. Zool. Fenn.*, 14(2): 98 – 104.

Rizwagul A, Cao YZ, Zhang S, Yin J, Li X, Li KB, 2018. Feeding preference and taxis behavior of adult *Holotrichia oblita* (Coleoptera: Scarabaeidae) on three plants. *Acta. Entomol. Sin.*, 61(5): 585 – 595. [热孜宛古丽·阿卜杜克热木, 曹雅忠, 张帅, 尹姣, 李雪, 李克斌, 2018. 华北大黑鳃金龟成虫对三种植物的取食选择及趋性行为反应. 昆虫学报, 61(5): 585 – 595]

Shelly T, Epsky N, Jang EB, 2014. Trapping and the Detection, Control, and Regulation of Tephritid Fruit Flies; Lures, Area-Wide Programs, and Trade Implications. Springer Netherlands, Berlin.

Tai HK, Li ZY, Jiang XL, Guan Y, Zhou LB, Xiao C, 2010. Attraction of methyleugenol and sweet bait for *Bactrocera correcta* adults. *Chin. Bull. Entomol.*, 47(1): 105 – 109. [太红坤, 李正跃, 蒋小龙, 管云, 周力斌, 肖春, 2010. 甲基丁香酚与糖醋液对番石榴实蝇的引诱效果. 昆虫知识, 47(1): 105 – 109]

Wang H, Li YH, Xu ST, Ai TT, Cheng WB, An YN, Zhao YD, 2013. Control technology against in Hazelnut Park on sandland. *Liaoning For. Sci. Technol.*, (4): 31 – 34. [王浩, 李玉航, 徐树堂, 艾婷婷, 成文博, 安宇宁, 赵亚东, 2013. 沙地榛园金龟子防治技术初探. 辽宁林业科技, (4): 31 – 34]

Wang P, Qin YC, Pan PL, Li PY, 2011. The analysis of the volatile component from the sugar-acetic acid-ethanol water solutions and their trapping effects on *Bradysia odoriphaga*. *J. Plant Prot.*, 38(6): 513 – 520. [王萍, 秦玉川, 潘鹏亮, 李鹏燕, 2011. 糖醋酒液对韭菜迟眼蕈蚊的诱杀效果及其挥发物活性成分分析. 植物保护学报, 38(6): 513 – 520]

Wei HJ, Zhang ZL, Wang YC, 1989. Soil Insect Pests in China. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. 276. [魏鸿钧, 张治良, 王荫长, 1989. 中国地下害虫. 上海: 上海科学技术出版社. 276]

Xiang YY, Yang MF, 2008. Study on the occurrence, damage and control techniques of *Agrotis ypsilon* in China. *J. Anhui Agric. Sci.*, 36(33): 14636 – 14639. [向玉勇, 杨茂发, 2008. 小地老虎在我国的发生危害及防治技术研究. 安徽农业科学, 36(33): 14636 – 14639]

Xiu CL, 2014. Olfactory Identifying Mechanisms of *Adelphocoris suturalis*, *Adelphocoris lineolatus* and *Adelphocoris fasciticollis* (Hemiptera: Miridae) to Host Plant Volatiles. MSc Thesis, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu. [修春丽, 2014. 中黑盲蝽、苜蓿盲蝽与三点盲蝽对寄主植物挥发物的嗅觉识别机制. 江苏扬州: 扬州大学硕士学位论文]

Xiu FY, 2013. Specification for prediction of *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel). *Chin. Hortic. Abs.*, 29(12): 193 – 194. [修凤英, 2013. 小地老虎预测预报调查规范. 中国园艺文摘, 29(12): 193 – 194]

Zhang XY, Huo ZG, You CY, Hu F, 2014. Effects of volatiles in twenty non-host plants on the repellented and attractive behaviors of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *J. South Chin. Agric. Univ.*, 35(3): 63 – 68. [张献英, 霍治国, 犹昌艳, 胡飞, 2014. 20 种非寄主植物挥发物对褐飞虱拒避与引诱行为的影响. 华南农业大学学报, 35(3): 63 – 68]

Zhou LM, Ju Q, Qu MJ, Zhao ZQ, Dong SL, Han ZJ, Yu SL, 2009. EAG and behavioral responses of the large black chafer, *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae) to its sex pheromone. *Acta Entomol. Sin.*, 52(2): 121 – 125.

(责任编辑: 赵利辉)