环境昆虫学报 2022，44(5)：1293－1300
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 05. 24



吴华，戴建青，陈大嵩，黄鸿，郑基焕. 几种氧代丙酸化合物在诱捕白纹伊蚊中的应用[J]. 环境昆虫学报，2022，44(5)：1293－1300.

几种氧代丙酸化合物在诱捕白纹伊蚊中的应用

吴　华，戴建青*，陈大嵩，黄　鸿*，郑基焕
（广东省科学院动物研究所，广东省动物保护与资源利用重点实验室，广东省野生动物保护与利用公共实验室，
广东省矿物油农药工程技术研究中心，广州 510260）

摘要：为了从氧代丙酸化合物中筛选出对白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 具有良好引诱效果的化合物，采用陷阱诱捕法分别测定了丙酮酸(α-氧代丙酸)、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸、3-(苄氧基)-3-氧代丙酸和 3-氨基-3-氧代丙酸 4 种氧代丙酸化合物及丙酸对白纹伊蚊成虫的诱捕效果。结果表明，在供试的 5 种化合物中，α-氧代丙酸、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸和 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3 种氧代丙酸化合物及丙酸的诱捕效果显著，同剂量的各化合物对白纹伊蚊的诱蚊效果依次是 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸＞3-(苄氧基)-3-氧代丙酸＞α-氧代丙酸＝丙酸。相同质量 α-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸＝1∶1 至 1∶2 的配方比，具有协同增效作用，平均累计诱捕量均显著优于单组分 α-氧代丙酸、3-(苄氧基)-3-氧代丙酸和对照纯水($P<0.05$)。其中最优配方比是 α-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸＝1∶2，平均累计诱捕量比单组分 α-氧代丙酸增加 45.45%，比单组分 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸增加 32.33% 和比对照纯水增加 73.11%($P<0.05$)。现场诱蚊试验结果表明，根据相似相溶原理将液体的氧代丙酸(α-氧代丙酸、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸)分别与固体的氧代丙酸(3-(苄氧基)-3-氧代丙酸)混配并结合陷阱诱捕器，能够显著提高对白纹伊蚊的持效性及诱捕数量(混合物 60 d 的累计诱蚊总数量是单组分的 1.28～2.15 倍)。研究结果为进一步开发适用于家居办公环境中使用的诱蚊剂提供了研究基础。

关键词：氧代丙酸；陷阱诱捕法；白纹伊蚊；增效；相似相溶
中图分类号：Q968.1；S433　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858(2022)05－1293－08

Effectiveness of oxypropionic acid as a lure for trapping *Aedes albopictus*

WU Hua，DAI Jian-Qing*，CHEN Da-Song，HUANG Hong*，ZHENG Ji-Huan (Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization，Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization，Guangdong Engineering Research Center for Mineral Oil Pesticides，Institute of Zoology，Guangdong Academy of Sciences，Guangzhou 510260，China)

Abstract：To evaluate the effectiveness of 5 compounds，and combinations of these，as lures for trapping female *Aedes albopictus* mosquitoes in the field，the attractiveness of 4 oxypropionic acids(pyruvic acid，3-methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid，3-amino-3-oxopropanoic acid and 3-(benzyloxy)-3-oxopropanoic acid) and propionic acid were assessed based on the number of female mosquitoes captured in traps. Pyruvic acid，3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid，3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid，and Propionic acid，were all significantly more attractive to female mosquitoes than the distilled water control. Equivalent dosages of these compounds ranked in attractiveness as follows：3-methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid＞3-(benzyloxy)-3-oxopropanoic acid＞pyruvic acid ＝ propionic acid. The mean

基金项目：广州市科技计划项目(201804010020，201707010471，201607010084)
作者简介：吴华，男，本科，工程师，研究方向为化学生态，E－mail：592759531@qq.com
*共同通讯作者 Author for correspondence：戴建青，博士，副研究员，研究方向为昆虫化学生态，E－mail：jqdai@giz.gd.cn；黄鸿，硕士，高级工程师，研究方向为害虫综合防治，E－mail：gdipml@giz.gd.cn
收稿日期 Received：2021－06－07；接受日期 Accepted：2021－06－28

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

accumulated number of females trapped by 1∶1 to 1∶2 ratios of pyruvic acids and 3-(benzyloxy)-3-oxopropanoic acids were significantly greater than the number captured using either oxypropionic acids in isolation or the distilled water control ($P < 0.05$). This demonstrated a synergistic effect between the pyruvic acids and 3-(benzyloxy)-3-oxopropanoic acids. The most optimum ratio was a 1∶2 combination of pyruvic acid and 3-(benzyloxy)-3-oxopropanoic acid. The mean accumulated number of mosquitoes captured using this formulation was 45.45% higher, than either pyruvic acid alone, 32.33% higher than with 3-(benzyloxy)-3-oxopropanoic, and 73.11% higher than the distilled water control ($P < 0.05$). A 1∶2 combination of a oxypropionic acid(liquid) and oxypropionic acid(solid) could significantly increase and prolong the effectiveness of mosquito trapping compared to using just the oxypropionic acid alone. Oxypropionic acids were also have the advantage of being odorless to humans and therefore more suitable for use in the home or office environment. The results laid the foundation for the further development of mosquito lures suitable for use in home and office environments.

Key words: Oxypropionic acid; trap trapping; *Aedes albopictus*; synergism; similarity and intermiscibility

白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 在我国主要分布于北纬30°以南，是登革热、黄热病以及西马脑炎等多种虫媒疾病的传播媒介(陆宝麟和赵彤言, 2000)。蚊虫的许多行为如吸血、产卵和宿主搜寻等主要受宿主动物气味物质的影响(Gibson and Torr, 1999; Takken and Knols, 1999)。据文献报道，人体引诱的差异与人体汗液有关，而脂肪酸类物质是人体汗液的主要成分，并证明参与影响蚊虫宿主搜寻行为(Bosch *et al.*, 2000)。吴华(2020a; 2020b; 2021a)报道了乙酸、丙酸、辛酸等脂肪酸不仅对白纹伊蚊有吸引力，还对致倦库蚊 *Culex pipiens quinquefasciatus* 有吸引力。丙酮酸(α-氧代丙酸)是体内产生的三碳酮酸，它是糖酵解途径的最终产物(王翔等, 2002)，也是人体气味之一。二氧化碳(CO_2)是公认的对蚊虫具有极佳吸引力的物质(李剑泉等, 2003; Meeraus *et al.*, 2008; Farajollahi *et al.*, 2009; Obenauer *et al.*, 2009; Johnson *et al.*, 2012)。

本研究选择了几种具有脂肪酸结构(—COOH)又有二氧化碳(CO_2)类似结构的氧代丙酸(—COCOOH)化合物进行诱蚊试验，以期筛选出具有引诱蚊效果的化合物。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试试剂

丙酸，99.5%，上海阿拉丁生化科技股份有限公司；3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸，≥95%，上海贤鼎生物科技有限公司；丙酮酸(α-氧代丙酸)，96%、3-氨基-3-氧代丙酸，95%、3-(苄氧基)-3-氧代丙酸，97%，上海吉至生化科技有限公司。

1.1.2 试验场所

以广东省科学院动物研究所大院作为试验场所。大院内树木以红花羊蹄甲、木棉树、芒果树、白玉兰、莲雾树和大叶榕树为主；建筑物周围的绿化带则主要种植花叶合果芋和翠芦莉；围墙外有鱼塘竹林，环境适合蚊虫滋生。

1.1.3 陷阱诱捕器的制作

陷阱诱捕器：8 L 方形黑色塑料桶(高 26 cm，上长：24 cm，上宽：16 cm，下长：20 cm，下宽：13.5 cm)购自市场，将其内部不留死角全面涂一层胶黏剂。试验过程中，以陷阱诱捕器中不加试验物，只加纯水作为对照组。

1.1.4 引诱剂的配制

将丙酸、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸和丙酮酸(α-氧代丙酸)各称取 1 g，滴在医用脱脂棉上；3-氨基-3-氧代丙酸、3-(苄氧基)-3-氧代丙酸各称取 1 g 兑纯水 2 mL 滴在医用脱脂棉上，备用。

1.2 试验设计

1.2.1 不同化合物对白纹伊蚊的引诱作用

处理组：按上述 1.1.4 方法，将处理过的脱脂棉放入按 1.1.3 制作的陷阱诱捕器中，每隔 3 周换 1 次。对照组 1(丙酸)：按上述 1.1.4 方法，将处理过的脱脂棉放入按 1.1.3 制作的陷阱诱捕器中，每隔 3 周换 1 次。对照组 2(纯水)：在 1.1.3 制作的陷阱诱捕器里加入 500 g 纯水，形成小积水，每

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

隔 3 周换 1 次。试验设置 5 个区组，每个区组内陷阱诱捕器的间距大约为 3.0 m。试验过程中，每天调查白纹伊蚊诱捕数量并清除捕获的个体。陷阱诱捕器的位置每调查 5 次重新随机变化 1 次。

1.2.2　不同配比的丙酮酸(α-氧代丙酸)、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合物对白纹伊蚊诱捕效果

将 1.2.1 试验获得的对白纹伊蚊具有显著引诱作用的丙酮酸(液态，挥发性较好)、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸(液态，挥发性一般)和 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸(晶体，挥发性较差)进行 1-5∶1-5 混合，以期筛选出具有增效作用的混合物。试验方法同 1.2.1。

1.2.3　不同化合物对白纹伊蚊诱捕的持效性

将 1.2.2 试验获得的对白纹伊蚊具有增效作用的混合物及其单组分化合物，通过延长观察时间，观察各化合物对白纹伊蚊诱捕的持效时长。试验方法同 1.2.1，试验过程中，处理组不更换诱芯脱脂棉。

1.3　数据处理与统计分析

每个阶段的试验结束后，将不同日期同一配方的 5 个陷阱诱蚊装置的诱捕量进行加和，以计算该配方的累计诱捕量；除以该配方重复次数(n=5)，即为平均累计诱捕量(忻伟隆等，2015)。应用 SPSS 24.0 软件，对实验数据进行比较平均值分析，单因素 ANOVA 检验，多重比较(R-E-G-W 范围)处理，$P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2　结果与分析

2.1　不同化合物对白纹伊蚊的引诱作用

在供试的 5 种化合物中，对白纹伊蚊的平均累计诱蚊量均显著高于对照纯水($P<0.05$)，其中 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸的平均累计诱蚊量最高，达(44.00±3.16)头，其次是 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸(32.20±2.86)头，极显著高于对照纯水(9.20±3.03)头($P<0.05$)。然后是 a-氧代丙酸(23.00±4.69)头和丙酸(20.40±6.11)头。3-氨基-3-氧代丙酸的平均诱蚊量与对照纯水比较，诱蚊效果不显著($P>0.05$)。同剂量的各化合物对白纹伊蚊的诱蚊效果依次是 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸 > 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 > a-氧代丙酸 = 丙酸(表 1)。

表 1　不同化合物对白纹伊蚊的引诱作用

Table 1　Mean accumulation catches of *Aedes albopictus* with different compounds

化合物 Compounds	总剂量/桶(g) Total dose per lure	平均累计诱蚊量(头) Mean accumulation catches of *Aedes albopictus*
a-氧代丙酸 Pyruvic acid	1	23.00±4.69 b
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid	1	44.00±3.16 d
3-氨基-3-氧代丙酸 3-Amino-3-oxopropanoic acid	1	6.00±1.58 a
3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1	32.00±2.86 c
丙酸 Propionic acid	1	20.40±6.11 b
纯水 Distilled water	500	9.20±3.03 a

注：表中数据为平均数量±标准差(n=5)，同列数据后标有的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。下表同。
Note: Data were means±SD(n=5), and followed by different lowercase letters within same column indicated significant different at 0.05 level. The same below.

2.2　不同配比的丙酮酸(α-氧代丙酸)与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合物对白纹伊蚊诱捕效果

α-氧代丙酸与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸单组分及各配方比的平均累计诱捕量均显著高于对照纯水($P<0.05$)。其中 α-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸=1∶1 至 1∶2 的配方比，具有协同增效作

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

用，平均累计诱捕量均显著优于单组分 α-氧代丙酸、3-(苄氧基)-3-氧代丙酸和对照纯水($P < 0.05$)。最优配方比是 α-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 = 1∶2，平均累计诱捕量为(52.80 ± 5.12)头，显著高于单组分 α-氧代丙酸(19.80 ± 6.57)头和 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸(27.00 ± 2.55)头，极显著高于对照纯水(8.20 ± 1.48)头($P < 0.05$)(表 2)。

表 2 不同配比的丙酮酸(α-氧代丙酸)与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合物对白纹伊蚊诱捕效果

Table 2 Comparison of trapping effects of Pyruvic acid and 3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid with different proportions on *Aedes albopictus*

成分 Components	比例 Blend ratio	总剂量/桶(g) Total dose per lure	平均累计诱蚊量 Mean accumulation catches of *Aedes albopictus*
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	5∶1	1	17.00 ± 5.79 b
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	4∶1	1	17.80 ± 6.02 b
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	3∶1	1	19.20 ± 5.45 bc
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	2∶1	1	22.00 ± 5.79 bcd
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1∶1	1	30.60 ± 5.41 d
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1∶2	1	52.80 ± 5.12 e
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1∶3	1	22.00 ± 4.74 bcd
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1∶4	1	20.00 ± 4.42 bc
a-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 Pyruvic acid∶3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1∶5	1	18.00 ± 4.06 b
a-氧代丙酸 Pyruvic acid	-	1	19.80 ± 6.57 bc
3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	-	1	27.00 ± 2.55 cd
纯水 Distilled water	-	500	8.20 ± 1.48 a

2.3 不同配比的 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合物对白纹伊蚊诱捕效果

3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸单组分及各配方比的平均累计诱捕量均显著高于对照纯水($P < 0.05$)。其中最优配方比是 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸∶3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 = 1∶2，平均累计诱捕量为(57.20 ± 7.33)头，与单组分 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸(47.80 ± 9.68 头)差异不显著($P > 0.05$)，与单组分 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸(35.40 ± 5.46 头)差异显著($P < 0.05$)，极显著于对照纯水(9.40 ± 2.88 头)($P < 0.05$)。3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合协同增效作用不明显(表 3)。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　不同配比的 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸与 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合物对白纹伊蚊诱捕效果

Table 3　Comparison of trapping effects of 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid and 3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid with different proportions on *Aedes albopictus*

成分 Components	比例 Blend ratio	总剂量/桶(g) Total dose per lure	平均累计诱蚊量 Mean accumulation catches of *Aedes albopictus*
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	5:1	1	21.60 ± 7.30 b
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	4:1	1	23.00 ± 7.31 b
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	3:1	1	24.60 ± 6.95 bc
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	2:1	1	25.80 ± 4.92 bc
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1:1	1	34.40 ± 4.83 c
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1:2	1	57.20 ± 7.33 cd
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1:3	1	26.60 ± 5.68 bc
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1:4	1	25.60 ± 5.55 bc
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸:3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid :3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	1:5	1	22.80 ± 5.12 b
3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸 3-Methoxy-2-methyl-3-oxopropanoic acid	-	1	47.80 ± 9.68 cd
3-(苄氧基)-3-氧代丙酸 3-(Benzyloxy)-3-oxopropanoic acid	–	1	35.40 ± 5.46 c
纯水 Distilled water	–	500	9.40 ± 2.88 a

2.4　不同化合物对白纹伊蚊诱捕的持效性比较

供试化合物对白纹伊蚊诱捕数量均呈先增加后降低的趋势。即刚开始时供试化合物迅速、大量挥发，浓度太高，第 1 天诱捕到的蚊虫数量少，然后供试化合物的浓度趋于适合诱捕蚊虫的浓度，诱捕到的蚊虫数量越来越多，到 5 d 时达到峰值，第 25 天又有一个小高峰，然后在 30 d 后 a-氧代丙酸的浓度迅速下降，低于蚊虫侦测的阈值，诱捕蚊虫数量低于对照纯水。3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸的分子量比 a-氧代丙酸大，挥发性相对弱一点，约 45 d 后诱捕蚊虫数量低于对照纯水。3-(苄氧基)-3-氧代丙酸是晶体，易潮，挥发缓慢，约 40 d 后诱捕蚊虫数量低于对照纯水。a-氧代丙酸 + 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸和 3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸 + 3-(苄氧基)-3-氧代丙酸这两组混合物均在 35 d 有一个诱蚊小高峰，这说明混合物的持效性均比单组分长，55 d 还可以诱捕到白纹伊蚊(高于对照纯水)。混合物的 60 d 累计诱蚊总数量是单组分的 1.28 ~ 2.15 倍(图 1)。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

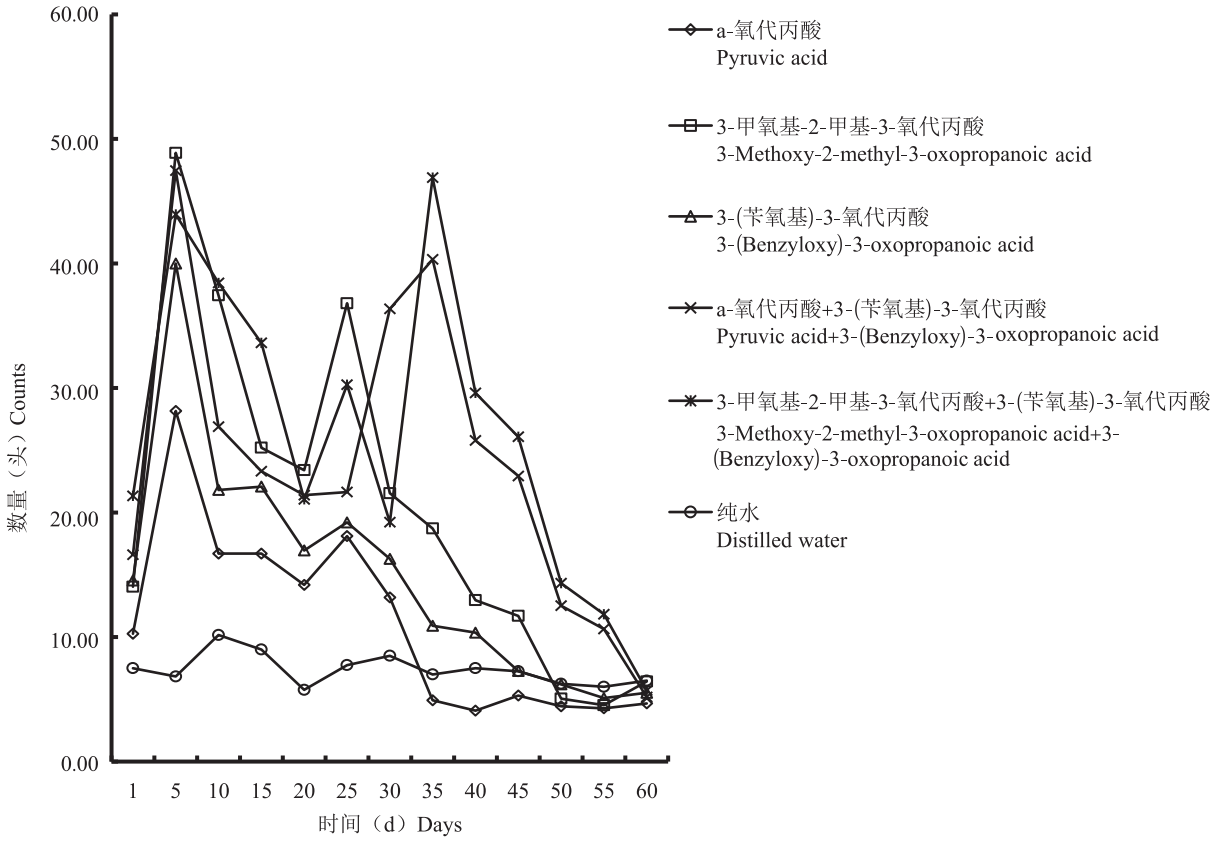


图 1 不同化合物对白纹伊蚊诱捕的持效性

Fig. 1 Comparison of persistence of different compounds in the trapping of *Aedes albopictus*

3 结论与讨论

在驱蚊剂研发方面，人们对一个具有驱蚊效果的化合物（DEET）进行模仿、修饰，保留 DEET 的酰胺结构（-CONR（H）$_2$），成功合成了一系列具有驱蚊效果的酰胺类化合物（McGovern *et al.*，1975；李洁等，1998；张应阔，2000a；2000b；吴华，2021b），说明酰胺结构（-CONR（H）$_2$）是具有驱蚊活性的基团。在诱蚊方面，脂肪酸类物质能吸引蚊虫（Bosch *et al.*，2000；吴华，2020a；2020b；2021a），而脂肪酸类物质共同的化学结构是羧基结构（-COOH），说明羧基结构可能是引诱蚊虫的活性基团。本研究选择了几种具有羧基结构（—COOH）又有二氧化碳（CO_2）类似结构的氧代丙酸（—COCOOH）化合物进行诱蚊试验，结果显示丙酮酸（α-氧代丙酸）、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸与 3-（苄氧基）-3-氧代丙酸具有良好的诱蚊效果。而 3-氨基-3-氧代丙酸没有诱蚊效果，可能与其化学结构中含有酰胺结构（-CONH$_2$）有关。说明对一些具有活性的化合物进行模仿、修饰，保留其活性基团，是一种可行的寻找活性化合物的新途径。

Lucia *et al.*（2009）通过观察桉树 *Eucalyptus* 精油中单组分含量与对埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 成虫相应毒性作用的关系，发现单组分化合物在昆虫中的熏蒸活性与其挥发性有关，吴华（2019）亦发现挥发性强的 α-蒎烯与挥发性相对弱的月桂烯混配后，增强了对双额岩小粪蝇 *Bifronsina bifrons* 的熏蒸活性。本研究中，α-氧代丙酸挥发性强，3-（苄氧基）-3-氧代丙酸挥发性弱，α-氧代丙酸与 3-（苄氧基）-3-氧代丙酸混合后，具有协同增效作用，增强了对蚊虫的引诱效果。3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸虽然也是液体，但挥发性比 α-氧代丙酸弱，故对 3-（苄氧基）-3-氧代丙酸的增效作用没有 α-氧代丙酸强。这与 Lucia *et al.*（2009）报道的精油对蚊虫的结果相类似。

吴华（2021a）通过丙酸铵（固体）对丙酸（液体）的吸附缓释作用，制成的缓释型白纹伊蚊引诱剂，释放速率稳定，持效性长，混合物的累计诱蚊总数量（60 d）是单组分丙酸铵的 1.67 倍和丙酸的 3.46 倍。根据相似相溶原理，本研究选择具有

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

诱蚊活性的3-(苄氧基)-3-氧代丙酸(固体)，对挥发性强的α-氧代丙酸(液体)进行吸附缓释，释放速率稳定，增效时间长，到55 d依然能诱捕到蚊虫(高于对照纯水)。混合物的引诱活性与单组分相比，显著增加，60 d的累计诱蚊总数量是单组分α-氧代丙酸的2.15倍和3-(苄氧基)-3-氧代丙酸的1.59倍。说明可以根据相似相溶原理，改善引诱剂的挥发性，使其释放速率稳定，延长持效性。

宿主气味物质是影响蚊虫宿主搜寻行为和吸血行为的重要因子，从宿主气味物质中寻找对蚊虫有引诱效果的化学物质，是开发新型引诱剂的一条重要途径(Gibson and Torr, 1999; Takken and Knols, 1999; Takken, 1991)。Geier *et al.* (1999)认为蚊虫定位宿主是人体不同气味物质协同作用的结果。气味混合物如汗、皮肤残留物、呼气及林堡奶酪的萃取物等对不同种类蚊虫的引诱力均显著强于单一气味物质(Takken and Knols, 1999)。这可能是因为气味混合物比单一气味更接近于蚊虫宿主气味。本研究中，丙酮酸(α-氧代丙酸)是体内产生的三碳酮酸，它是糖酵解途径的最终产物(王翔等, 2002)，也是人体气味之一。现场诱蚊效果显示，将α-氧代丙酸与具有诱蚊活性的3-(苄氧基)-3-氧代丙酸按一定比例混配并配合陷阱诱捕器，能够明显提高蚊虫诱捕数量，显著延长诱蚊时间，减轻工作强度。因此，在野外现场蚊虫监测或诱捕中加入缓释型的宿主气味物质(α-氧代丙酸与3-(苄氧基)-3-氧代丙酸混合物)可提高对蚊虫的引诱作用和降低人工成本。

3-(苄氧基)-3-氧代丙酸除了可以吸附α-氧代丙酸、3-甲氧基-2-甲基-3-氧代丙酸，起到缓释作用外，这几种氧代丙酸及混合物气味不大，有望替代气味刺激的脂肪酸(丙酸)，可适用于家居办公环境中使用。

参考文献（References）

Bosch OJ, Geier M, Boeckh J. Contribution of fatty acids to olfactory host finding of female *Aedes aegypti* [J]. *Chemical Senses*, 2000, 25 (3): 323 – 330.

Farajollahi A, Kesavaraju B, Price DC, *et al.* Field efficacy of BG – sentinel and industry – standard traps for *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and West Nile virus surveillance [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2009, 46 (4): 919 – 925.

Geier M, Bosch OJ, Boeckh J. Influence of odour plumes on upwindflight of mosquitoes towards hosts [J]. *Journal of Experimental Biology*, 1999, 202 (12): 1639 – 1648.

Gibson PG, Torr SJ. Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host stimuli [J]. *Medical and Veterinary Entomology*, 1999, 13 (1): 2 – 23.

Johnson PH, Spitzauer V, Ritchie SA. Field sampling rate of BG – sentinel traps for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in suburban Cairns, Australia [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2012, 49 (1): 29 – 34.

Li J, Zhang YK, Qian WH, *et al.* Synthesis and repelling activity of new alicyclic repellent [J]. *Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army*, 1998, 16 (1): 22 – 24. [李洁, 张应阔, 钱万红, 等. 新型脂环驱避剂的合成及驱蚊活性 [J]. 解放军预防医学杂志, 1998, 16 (1): 22 – 24]

Li JQ, Shen ZR, Liu ZQ. Comether function of carbon dioxide to *Aedes albopictus* [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2003, 14 (3): 165 – 167. [李剑泉, 沈佐锐, 刘志桥. 二氧化碳对白纹伊蚊的引诱作用 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2003, 14 (3): 165 – 167]

Lucia A, Licastro S, Zerba E, *et al.* Sensitivity of *Aedes aegypti* adults (Diptera: Culicidae) to the vapors of *Eucalyptus* essential oils [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 6083 – 6087.

Lu BL, Zhao TY. The mosquito studies in the past fifty years in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2000, 43 (Suppl.): 1 – 7. [陆宝麟, 赵彤言. 50 年来我国的蚊类研究 [J]. 昆虫学报, 2000, 43 (增刊): 1 – 7]

McGovern TP, Schreck CE, Jackson J, *et al.* N – acylamides and n – alkylsulfonamides from heterocyclic amines as repellents for yellow fever mosquitoes [J]. *Mosquito News*, 1975, 35 (2): 204 – 210.

Meeraus WH, Armistead JS, Arias JR. Field comparison of noveland gold standard traps for collecting *Aedes albopictus* in Northern Virginia [J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 2008, 24 (2): 244 – 248.

Obenauer PJ, Kaufman PE, Allan SA, *et al.* Host-seeking height preferences of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in north central Florida suburban and sylvatic locales [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2009, 46 (4): 900 – 908.

Takken W. The role of olfaction in host-seeking of mosquitoes: A review [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1991, 12 (1/2/3): 287 – 295.

Takken W, Knols BGJ. Odor-mediated behavior of Afrotropical malaria mosquitoes [J]. *Annual Review of Entomology*, 1999, 44 (1): 131 – 157.

Wang X, Wei Y. Pyruvate supplementation and physical performance [J]. *Journal of Beijing University of Physical Education*, 2002, 25 (2): 207 – 210. [王翔, 魏源. 丙酮酸补充与运动能力 [J]. 北京体育大学学报, 2002, 25 (2): 207 – 210]

Wu H, Dai JQ, Chen DS, *et al.* Fumigation effect of three plant essential oils against *Bifronsina bifrons* (Stenhammar) and their synergistic effect [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2019, 26 (4): 137 – 142. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 三种植物精油单组分化合物对双额岩小粪蝇的熏杀击倒及其混配增效作用 [J]. 食用菌学报, 2019, 26 (4): 137 – 142]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Wu H, Dai JQ, Chen DS, *et al.* Effect of several human metabolic compounds for trapping *Culex pipiens quinquefasciatus* [J]. *Chinese Journal of Schistosomiasis Control*, 2020, 32 (3): 294 – 297. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 几种人体代谢化合物诱捕致倦库蚊效果 [J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2020, 32 (3): 294 – 297]

Wu H, Dai JQ, Chen DS, *et al.* Effectiveness of using of human metabolic compounds to trap *Aedes albopictus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (5): 1198 – 1205. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 几种人体代谢化合物在陷阱诱捕法控制白纹伊蚊中的应用研究 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (5): 1198 – 1205]

Wu H, Dai JQ, Chen DS, *et al.* Effectiveness of ammonium salts of volatile fatty acids as a lure for trapping *Aedes albopictus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2021, 58 (1): 165 – 171. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 挥发性脂肪酸铵盐在诱捕白纹伊蚊中的应用研究 [J]. 应用昆虫学报, 2021, 58 (1): 165 – 171]

Wu H, Chen DS, Dai JQ, *et al.* Synthesis and repellent efficacy of N, N-diethyl -10-undecylamide against *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) [J]. *Applied Chemical Industry*, 2021, 50 (Suppl. 2): 42 – 46. [吴华, 陈大嵩, 戴建青, 等. N, N-二乙基 10-十一烯酰胺的合成及驱蚊效果 [J]. 应用化工, 2021, 50 (增刊 2): 42 – 46]

Xin WL, Wang ZD, Han ZJ. Effects of several attractants on the behavior and electroantennograms of *Aedes albopictus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (4): 890 – 895. [忻伟隆, 王宗德, 韩招久. 白纹伊蚊对几种引诱物的行为和触角电位反应 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (4): 890 – 895]

Zhang YK, Qian WH, Wang TT, *et al.* Synthesis of 0-Chloride-N, N-diethylbenzoylamide and its efficacy [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2000, 11 (6): 442 – 444. [张应阔, 钱万红, 王天桃, 等. 邻氯 – N, N – 二乙基苯甲酰胺的合成及药效 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2000, 11 (6): 442 – 444]

Zhang YK, Qian WH, Wang TT, *et al.* Observation on prevention effeet against mosquites of N, N – diethylphenylacetamide [J]. *Journal of Medical Pest Control*, 2000, 16 (3): 115 – 117. [张应阔, 钱万红, 王天桃, 等. N, N – 二乙基苯乙酰胺防蚊效果观察 [J]. 医学动物防制, 2000, 16 (3): 115 – 117]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net