



吴华, 戴建青, 陈大嵩, 黄鸿, 杨琼芳. 以壳聚糖为载体束缚脂肪酸吸附 CO<sub>2</sub> 在诱捕白纹伊蚊中的应用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (4): 1119–1125.

## 以壳聚糖为载体束缚脂肪酸吸附 CO<sub>2</sub> 在诱捕白纹伊蚊中的应用研究

吴 华, 戴建青\*, 陈大嵩, 黄 鸿\*, 杨琼芳

(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:** 为了从壳聚糖+脂肪酸离子液体吸附 CO<sub>2</sub> 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壳聚糖+丙酮酸、壳聚糖+乙酸、壳聚糖+丙酸 3 种脂肪酸离子液体化合物及其吸收 CO<sub>2</sub> 对白纹伊蚊成虫的诱捕效果。结果表明, 在供试的 3 种脂肪酸离子液体中, 等物质的量吸收 CO<sub>2</sub> 的性能依次是丙酮酸>乙酸=丙酸, 对白纹伊蚊的诱蚊效果依次是丙酮酸>乙酸=丙酸。其中最优配方比是壳聚糖:丙酮酸:CO<sub>2</sub>=1:25:0.3621, 平均累计诱蚊量比单组分丙酮酸增加 31.37%, 比单组分 CO<sub>2</sub> 增加 30.73%, 比对照纯水增加 59.52% ( $P<0.05$ )。相同质量的 3 种脂肪酸吸附 CO<sub>2</sub>, 具有协同增效作用, 平均累计诱蚊量均显著优于单组分脂肪酸 ( $P<0.05$ )。现场诱蚊试验结果表明, 壳聚糖对 3 种脂肪酸均有缓释作用, 其诱蚊持效期延长 1.71~3.00 倍。根据离子液体原理以壳聚糖为载体束缚脂肪酸吸附 CO<sub>2</sub> 并结合陷阱诱捕器, 能够显著提高对白纹伊蚊的诱捕数量 (混合物 60 d 的累计诱蚊总数量是单组分的 1.62~1.78 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:** 壳聚糖; 脂肪酸; 二氧化碳; 离子液体; 白纹伊蚊; 增效

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 04-1119-07

### Effectiveness of chitosan as carrier bound fatty acids to adsorb CO<sub>2</sub> as a lure for trapping *Aedes albopictus*

WU Hua, DAI Jian-Qing\*, CHEN Da-Song, HUANG Hong\*, YANG Qiong-Fang (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 screen an attractant compound for *Aedes albopictus* from chitosan + fatty acid ionic liquid compounds that adsorbed CO<sub>2</sub>, trapping effects on adult *A. albopictus* of three fatty acid ionic liquid compounds, chitosan + pyruvic acid, chitosan + acetic acid, chitosan + propionic acid that adsorbed CO<sub>2</sub> were determined by trap method. The results showed that in the three kinds of fatty acid ionic liquids assays, CO<sub>2</sub> absorbing capability by the amount of equal substances was pyruvic acid > acetic acid = propionic acid, and the mosquito trapping effect on *A. albopictus* was pyruvic acid > acetic acid = propionic acid. The top optimum ratio was chitosan : pyruvic acid : CO<sub>2</sub> = 1 : 25 : 0.3621, whose mean accumulated

基金项目: 广州市科技计划项目 (201804010020; 201707010471; 201607010084)

作者简介: 吴华, 男, 1974 年生, 工程师, 主要从事化学生态研究, E-mail: 592759531@qq.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 戴建青, 博士, 副研究员, 主要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, 主要研究方向为害虫综合防治, E-mail: gdipml@giz.gd.cn

收稿日期 Received: 2022-03-18; 接受日期 Accepted: 2022-09-05

mosquito capture amount was 31.37% higher than pyruvic acid alone, 30.73% higher than CO<sub>2</sub>, and 59.52% higher than the distilled water control ( $P < 0.05$ ). The three fatty acids adsorbed CO<sub>2</sub> of the same quality had synergistic effect. The mean cumulative mosquito capture amount of three fatty acid mixture was significantly increasing than that of single fatty acid component ( $P < 0.05$ ). The field mosquito trapping assay showed that chitosan had slow-release effect on three fatty acids, which prolonged the mosquito trapping capability by 1.71 ~ 3.00 times. According to the principle of ionic liquid, the trap for *A. albopictus* can be significantly improved by chitosan as carrier to fatty acid to adsorb CO<sub>2</sub> (mean cumulative mosquito capture amount of the mixture for 60 days is 1.62 ~ 1.78 times that of single component). The results provided a avenue for the development of mosquito attractants for indoor environment.

**Key words:** Chitosan; fatty acid; carbon dioxide; ionic liquid; *Aedes albopictus*; synergism

白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 在我国最适宜的分布区在北纬 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)。蚊虫的吸血、宿主搜寻等行为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,人体引诱蚊虫的差异与人体汗液有关,汗液参与影响蚊虫宿主搜寻行为,人体汗液的主要成分是脂肪酸类物质(Bosch *et al.*, 2000)。吴华(2020a; 2020b; 2021a; 2022)报道了乙酸、丙酸、丙酮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。此外,人体呼出的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)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)。

离子液体(Ionic liquid, IL)是由阴阳离子组成的低温融盐,具有蒸气压低、稳定性好、液程宽、气体吸收性能好、可设计性等特点(Welton, 1999; Hallett and Welton, 2011)。因此,离子液体在吸附 CO<sub>2</sub> 方面具有广泛应用(Wang *et al.*, 2011; 阳涛等, 2012; 刘维伟等, 2012; Luo *et al.*, 2014; 李桂花等, 2015)。壳聚糖结构单元中存在 -NH<sub>2</sub> 基团,极易与酸反应成盐,壳聚糖可以溶解在脂肪酸中,形成一种脂肪酸型离子液体。

本研究以壳聚糖为载体束缚脂肪酸(丙酮酸、乙酸、丙酸),形成壳聚糖+脂肪酸离子液体,达到吸附、储存、缓释 CO<sub>2</sub> 的目的,并进行诱蚊试验,以期研制出具有较佳诱蚊效果的组合物。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 试剂与仪器

壳聚糖,脱乙酰度 ≥ 95%,粘度 100 ~ 200 mPa·s,丙酸,99.5%,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;丙酮酸,96%,乙酸,99.5%,上海吉至生化科技有限公司;二氧化碳(CO<sub>2</sub>),99.99%,干冰(固态二氧化碳),密度(固态): 1 560 kg/m<sup>3</sup> (-78℃),广州盈新气体有限公司。

Secura224-1CN 分析天平,精度: 0.1 mg,德国赛多利斯集团;HH-501S 循环水浴锅,金坛区金城春兰实验仪器厂。

#### 1.1.2 离子液体配制

将等物质的量的脂肪酸(丙酮酸 25 g、乙酸 17 g、丙酸 21 g)加入到 1 g 壳聚糖中,在室温下充分搅拌 12 h。得到壳聚糖+丙酮酸、壳聚糖+乙酸、壳聚糖+丙酸离子液体。

#### 1.1.3 引诱剂的配制

将 60 mL/min 的 CO<sub>2</sub> 分别通入壳聚糖+丙酮酸、壳聚糖+乙酸、壳聚糖+丙酸离子液体中,边搅拌边吸收 30 min,得到(壳聚糖+丙酮酸+CO<sub>2</sub>)、(壳聚糖+乙酸+CO<sub>2</sub>)、(壳聚糖+丙酸+CO<sub>2</sub>) 诱蚊组合物。将(壳聚糖+丙酮酸+CO<sub>2</sub>)、(壳聚糖+乙酸+CO<sub>2</sub>)、(壳聚糖+丙酸+CO<sub>2</sub>)、(壳聚糖+丙酮酸)、(壳聚糖+乙酸)、(壳聚糖+丙酸)、丙酮酸、乙酸、丙酸各称取 2 g,滴在医用脱脂棉上;干冰,现场称取 2 g,放在医用脱脂棉上;壳聚糖,称取 2 g;纯水 500 g,备用。

### 1.1.4 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。

### 1.1.5 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; 围墙外有池塘竹林, 环境适合蚊虫滋生。

## 1.2 试验设计

### 1.2.1 CO<sub>2</sub>吸收试验

参考陈凯宏等 (2016) 的重量法, 取约 1 g 的壳聚糖 + 脂肪酸离子液体放入直径为 10 mm 的玻璃瓶中, 将玻璃瓶置于金属加热套管中恒温, 金属加热套管固定于 25℃ 恒温水浴锅中, 边搅拌边将 60 mL/min 的 CO<sub>2</sub> 通入离子液体中, 每隔一定时间用精度为 0.1 mg 的电子天平称重, 通过重量法得到离子液体吸收 CO<sub>2</sub> 的量。

### 1.2.2 不同化合物对白纹伊蚊的引诱作用

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

### 1.2.3 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 1.2.2, 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 个陷阱诱蚊装置分别对其诱捕量进行加和, 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, 对试验数据进行比

较平均值分析, 单因素 ANOVA 检验, 事后多重比较 (R-E-G-W 范围) 处理,  $P < 0.05$  为差异具有有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 CO<sub>2</sub>吸收结果

脂肪酸型离子液体在 25℃, 常压下吸收 CO<sub>2</sub> 的结果见表 1。吸收 CO<sub>2</sub> 性能最好的是壳聚糖 + 丙酮酸离子液体, 1 mol 壳聚糖 + 丙酮酸可以吸收 0.0290 mol CO<sub>2</sub>, 吸收 CO<sub>2</sub> 性能比壳聚糖 + 乙酸 (0.0172 mol) 和壳聚糖 + 丙酸 (0.0183 mol) 强, 后两者性能差别不大。

表 1 25℃常压条件下脂肪酸型离子液体的 CO<sub>2</sub> 吸收结果  
Table 1 CO<sub>2</sub> absorption capacity of ILs in 25℃

脂肪酸型离子液体 Ionic liquid	CO <sub>2</sub> 吸收结果 (mol/mol) Absorption capacity
壳聚糖 + 丙酮酸 Chitosan + Pyruvic acid	0.0290
壳聚糖 + 乙酸 Chitosan + Acetic acid	0.0172
壳聚糖 + 丙酸 Chitosan + Propanoic acid	0.0183

### 2.2 不同化合物对白纹伊蚊的引诱作用

在供试的 10 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 ( $P < 0.05$ ), 壳聚糖无诱蚊活性 ( $P > 0.05$ )。吸附 CO<sub>2</sub> 的脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 均显著高于单组分脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) ( $P < 0.05$ ), 说明 CO<sub>2</sub> 对脂肪酸具有协同增效作用。其中壳聚糖: 丙酮酸: CO<sub>2</sub> = 1: 25: 0.3621 配比的平均累计诱蚊量最高, 达  $26.80 \pm 1.30$  头, 其次是壳聚糖: 乙酸: CO<sub>2</sub> = 1: 17: 0.2141 配比  $23.40 \pm 4.04$  头和壳聚糖: 丙酸: CO<sub>2</sub> = 1: 21: 0.2280 配比  $23.20 \pm 3.83$  头, 极显著高于对照纯水  $6.80 \pm 0.84$  头 ( $P < 0.05$ )。壳聚糖对脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 无增效作用, 其平均累计诱蚊量与单组分脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 比较, 差异不显著 ( $P > 0.05$ )。同剂量下 3 种脂肪酸吸附 CO<sub>2</sub> 对白纹伊蚊的诱蚊效果依次是丙酮酸 > 乙酸 = 丙酸 (表 2)。

表 2 不同化合物对白纹伊蚊的引诱作用

Table 2 Mean accumulation catches of *Aedes albopictus* with different compounds

化合物 Compounds	比例 Blend ratio	总剂量/桶 (g) Total dose per lure	平均累计诱蚊量 (头) Mean accumulation catches of <i>A. albopictus</i>
壳聚糖: 丙酮酸: CO <sub>2</sub> Chitosan: Pyruvic acid: CO <sub>2</sub>	1:25:0.3621	2	26.80 ± 1.30 d
壳聚糖: 乙酸: CO <sub>2</sub> Chitosan: Acetic acid: CO <sub>2</sub>	1:17:0.2141	2	23.40 ± 4.04 cd
壳聚糖: 丙酸: CO <sub>2</sub> Chitosan: Propionic acid: CO <sub>2</sub>	1:21:0.2280	2	23.20 ± 3.83 cd
壳聚糖: 丙酮酸 Chitosan: Pyruvic acid	1:25	2	14.00 ± 3.81 b
壳聚糖: 乙酸 Chitosan: Acetic acid	1:17	2	16.60 ± 4.04 bc
壳聚糖: 丙酸 Chitosan: Propionic acid	1:21	2	15.20 ± 2.68 b
丙酮酸 Pyruvic acid	-	2	13.80 ± 5.22 b
乙酸 Acetic acid	-	2	14.40 ± 2.79 b
丙酸 Propionic acid	-	2	15.00 ± 5.70 b
干冰 CO <sub>2</sub>	-	2	14.20 ± 7.19 b
壳聚糖 Chitosan	-	2	1.00 ± 1.00 a
纯水 Distilled water	-	500	6.80 ± 0.84 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。Note: Data were means ± SD (n=5), and followed by different lowercase letters within same column indicated significant different at the 0.05 level.

### 2.3 不同化合物对白纹伊蚊诱捕的时效性比较

供试化合物对白纹伊蚊诱捕的时效性与化合物的挥发性有关, 干冰 CO<sub>2</sub> 的挥发性最强, 5 d 内即挥发完了, 表现为 5 d 后诱捕蚊虫数量低于对照纯水。然后是乙酸和丙酸, 约 20 d 后诱捕蚊虫数量低于对照纯水。丙酮酸挥发性较弱, 35 d 后诱捕蚊虫数量才与对照纯水相当。壳聚糖对挥发性的脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 均有缓释作用, 60 d 的累计诱蚊总数量是单组分脂肪酸的 1.46 ~ 2.43 倍, 持效期延长 1.71 ~ 3.00 倍。以壳聚糖为载体束缚脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 吸附 CO<sub>2</sub> (壳聚糖 + 脂肪酸 + CO<sub>2</sub>) 在 60 d 内的诱蚊量均高于 (壳聚糖 + 脂肪酸), (壳聚糖 + 脂肪酸 + CO<sub>2</sub>) 混合物的 60 d 累计诱蚊总数量是 (壳聚糖 + 脂肪酸) 的 1.62 ~ 1.78 倍, 这说明 CO<sub>2</sub> 对脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 具有协同增效作用 (图 1)。

## 3 结论与讨论

脂肪酸型 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 离子液体

在 25℃, 常压下均能吸收一定量的 CO<sub>2</sub>, 但吸收 CO<sub>2</sub> 的性能有差别, 最好的是壳聚糖 + 丙酮酸离子液体, 壳聚糖 + 乙酸和壳聚糖 + 丙酸吸收 CO<sub>2</sub> 的性能几乎一样, 可能与丙酮酸、乙酸、丙酸之间分子结构不同有关。丙酮酸 (CH<sub>3</sub>COCOOH) 结构式与乙酸 (CH<sub>3</sub>COOH)、丙酸 (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH) 比较, 在结构上多了一个羰基 (C=O), 与 CO<sub>2</sub> (O=C=O) 结构相似, 根据相似相溶原理, 结构相似的物质更容易吸收。

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)<sub>2</sub>), 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)<sub>2</sub>) 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; 余静等, 2013; 吴华, 2020a; 2020b; 2021a), 氧化丙酸类物质亦能吸引蚊虫 (吴华等, 2022)。而脂肪酸类物质共同的化学结构是羧基结构 (—COOH), 氧化丙酸类物质共同的化学结构是羰基和羧基组合

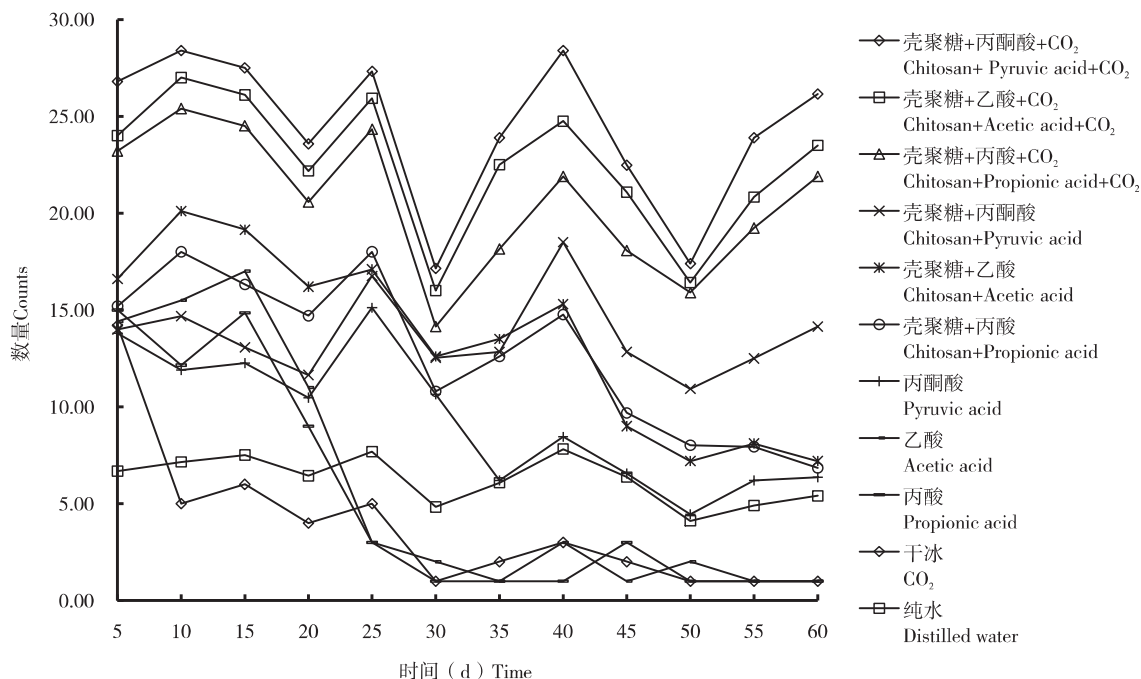


图1 不同化合物对白纹伊蚊诱捕的持效性

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

在一起的氧代丙酸 ( $\text{-COCOOH}$ ) 结构。说明羧基结构 ( $\text{-COOH}$ ) 和氧代丙酸结构 ( $\text{-COCOOH}$ ) 可能都是具有诱蚊活性的基团。CO<sub>2</sub> ( $\text{O=C=O}$ ) 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 2 种具有羧基结构 ( $\text{-COOH}$ ) 的乙酸、丙酸, 和 1 种具有氧代丙酸 ( $\text{-COCOOH}$ ) 结构的丙酮酸, 与 CO<sub>2</sub> ( $\text{O=C=O}$ ) 混合并进行诱蚊试验, 结果显示 CO<sub>2</sub> 对 3 种脂肪酸都具有协同增效作用, 对具有与 CO<sub>2</sub> ( $\text{O=C=O}$ ) 类似结构的丙酮酸 ( $\text{CH}_3\text{COCOOH}$ ) 协同增效效果最好, 对只有羧基结构 ( $\text{-COOH}$ ) 的乙酸、丙酸增效效果则弱一些。说明 CO<sub>2</sub> 对一些具有活性基团的化合物进行混合, 可以起到协同增效作用, 对具有 CO<sub>2</sub> ( $\text{O=C=O}$ ) 类似结构的活性化合物增效效果最强。

赵锦年等 (2011) 利用微晶碳素、膨润土等缓释材料来改善松褐天牛 *Monochamus alternatus* 引诱剂的释放速率, 改良后的引诱剂持效期延长了 4 倍。吴华 (2021a) 通过乙酸铵对乙酸的吸附缓释作用, 制成的缓释型白纹伊蚊引诱剂, 释放速率稳定, 持效期长, 混合物的累计诱蚊总数量 (60 d) 是单组分乙酸的 3.46 倍。根据离子液体原

理, 本研究选择以壳聚糖为载体束缚具有诱蚊活性的脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸), 壳聚糖与脂肪酸形成铵盐结构, 释放速率稳定, 持效时间长, 壳聚糖 + 脂肪酸离子液体 60 d 的累计诱蚊总数量是单组分脂肪酸的 1.46 ~ 2.43 倍, 持效期延长 1.71 ~ 3.00 倍。说明可以根据离子液体原理, 改善引诱剂的挥发性, 使其释放速率稳定, 延长持效期。

蚊虫的嗅觉感受器多分布于其触角、触须与尾感器上, 研究表明对 CO<sub>2</sub> 的感受器分布在触须上, 而其他化合物的感受器则分布在触角和尾感器上 (郝蕙玲, 2009)。蚊虫通过下颚须 (嘴边一种微小的附器) 测出 CO<sub>2</sub>, 因为下颚须上有对 CO<sub>2</sub> 反应灵敏的气味感受器, 故蚊虫可以远距离定位宿主。蚊虫定位宿主是人体不同气味物质协同作用的结果 (Geier *et al.*, 1999)。本研究中, 乙酸、丙酸是人体汗液成分, CO<sub>2</sub> 是呼气成分, 丙酮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。以壳聚糖为载体束缚脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 吸附 CO<sub>2</sub> 作为诱蚊组合物, 现场诱蚊效果显示, 吸附 CO<sub>2</sub> 的脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) 均显著高于单组分脂肪酸 (丙酮酸、乙酸、丙酸) ( $P < 0.05$ ), 说明触须感受器的 CO<sub>2</sub> 与触角和尾感器感

受器的脂肪酸具有协同增效作用, CO<sub>2</sub>主要发挥远距离引诱作用。吸附 CO<sub>2</sub>的组合物(壳聚糖+脂肪酸+CO<sub>2</sub>) 60 d的累计诱蚊总数量是不吸附 CO<sub>2</sub>的组合物(壳聚糖+脂肪酸)的 1.62~1.78 倍。

壳聚糖+脂肪酸离子液体可以吸附 CO<sub>2</sub>, 起到缓释作用, 可根据其脂肪酸味道选择适用环境, 丙酮酸及混合物味道不大, 可适用于家居办公环境中使用, 乙酸、丙酸味道太大, 可在野外使用。

### 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.
- Chen KH, Mei K, Li HR, et al. Synthesis of cinnamic acid-based ionic liquids and application in CO<sub>2</sub> absorption [J]. *CIESC Journal*, 2016, 67 (2): 623-626. [陈凯宏, 梅柯, 李浩然, 等. 肉桂酸型离子液体的合成及其二氧化碳吸收 [J]. 化工学报, 2016, 67 (2): 623-626]
- 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.
- Hallett JP, Welton T. Room-temperature ionic liquids: Solvents for synthesis and catalysis. 2 [J]. *Chemical Reviews*, 2011, 111 (5): 3508-3576.
- Hao HL. Effects of plant-derived odorants on olfactory orientation of mosquitoes [J]. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 2009, 15 (2): 163-165. [郝蕙玲. 植物源气味物质对蚊虫嗅觉定向的影响研究 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2009, 15 (2): 163-165]
- 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 GH, Shan HF, Ai N, et al. Absorption of CO<sub>2</sub> in a novel ternary deep eutectic solvent [J]. *CIESC Journal*, 2015, 66 (S1): 25-31. [李桂花, 单海芳, 艾宁, 等. 三元低共熔离子液体中 CO<sub>2</sub> 的吸收 [J]. 化工学报, 2015, 66 (S1): 25-31]
- 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]
- Liu WW, Hu S, Chen W, et al. Synthesis and identification of functional ionic liquids and research on its performance of CO<sub>2</sub> absorption [J]. *CIESC Journal*, 2012, 63 (1): 139-145. [刘维伟, 胡松, 陈文, 等. 功能型离子液体的合成表征及 CO<sub>2</sub> 吸收性能 [J]. 化工学报, 2012, 63 (1): 139-145]
- 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]
- Luo XY, Guo Y, Ding F, et al. Significant improvements in CO<sub>2</sub> capture by pyridine-containing anion-functionalized ionic liquids through multiple-site cooperative interactions [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2014, 126 (27): 7173-7177.
- 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. 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]
- Wu H, Dai JQ, Chen DS, et al. Effectiveness of oxypropionic acid as a lure for trapping *Aedes albopictus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (5): 1293 – 1300. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 几种氧代丙酸化合物在诱捕白纹伊蚊中的应用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1293 – 1300]
- Welton T. Room – temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis [J]. *Chemical Reviews*, 1999, 99 (8): 2071 – 2083.
- Wang CM, Luo XY, Luo HM, et al. Tuning the basicity of ionic liquids for equimolar CO<sub>2</sub> capture [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2011, 50 (21): 4918 – 4922.
- 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]
- Yang T, Bi Y, Guo KH. Carbon dioxide absorption in 1-aminopropyl-3-methylimidazolium bromide aqueous solutions [J]. *CIESC Journal*, 2012, 63 (10): 3152 – 3157. [阳涛, 毕崑, 郭开华. 1-氨基-3-甲基咪唑溴功能型离子液体对 CO<sub>2</sub>的吸收性能 [J]. 化工学报, 2012, 63 (10): 3152 – 3157]
- Yu J, Wang CZ, Wang J, et al. Electrophysiological responses and attraction of *Aedes albopictus* to several fatty acids [J]. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 2013, 19 (3): 200 – 202. [余静, 王承珠, 王杰, 等. 脂肪酸类物质对白纹伊蚊的触角电生理影响及引诱作用 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2013, 19 (3): 200 – 202]
- Zhang YK, Qian WH, Wang TT, et al. Synthesis of *O*-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 effect against mosquitoes 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]
- Zhao JN, Jiang P, Zhang XY, et al. Study on the slow-release attractant for *Monochamus alternatus* and its attractive effect [J]. *Forest Research*, 2011, 24 (3): 350 – 356. [赵锦年, 蒋平, 张星耀, 等. 松褐天牛缓释型引诱剂及其引诱效果研究 [J]. 林业科学研究, 2011, 24 (3): 350 – 356]