

## 蚊虫卵与幼虫的密度和种类对中华按蚊产卵选择的影响\*

周灵, 余峥嵘, 黎芳, 周佳佳, 陈斌, 何正波

(重庆师范大学 生命科学学院 媒介生物控制和利用重庆市重点实验室, 重庆 401331)

**摘要:**为探究水体中已有蚊虫卵或幼虫对中华按蚊(*Anopheles sinensis*)雌成蚊产卵选择行为的影响,在实验室条件下,考察了水体中已存在不同密度中华按蚊、埃及伊蚊(*Aedes aegypti*)或致倦库蚊(*Culex quinquefasciatus*)的卵或幼虫的情形下中华按蚊雌成蚊的产卵选择行为。结果显示:中华按蚊雌成蚊对已存在不同密度的中华按蚊卵或致倦库蚊卵的水体未表现出明显的产卵选择偏好,但对存在有特定密度(80枚·杯<sup>-1</sup>)埃及伊蚊卵的水体表现出明显的产卵选择偏好;较高密度(50或100头·杯<sup>-1</sup>)的中华按蚊、埃及伊蚊和致倦库蚊的幼虫均对中华按蚊雌成蚊具有明显的引诱作用。研究结果提示水体中蚊虫卵和幼虫的存在对中华按蚊的产卵选择影响程度与前两者的密度和种类密切相关。

**关键词:**中华按蚊;产卵位点;产卵活动指数;密度;种类

**中图分类号:**Q965.8

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2025)03-0057-08

蚊虫是世界上分布最广的媒介生物之一。它们不仅通过叮咬骚扰人类,还传播疟疾、登革热等多种导致全球每年数亿人感染、数十万人死亡的蚊媒传染病,给全球公共卫生安全带来严重威胁<sup>[1]</sup>。蚊虫的生活史包括卵、幼虫、蛹和成虫共4个时期,其中前3个时期均需要在水中完成,且在此期间蚊虫的活动能力有限,无法自主改变栖息地。因此,雌成蚊关于产卵场所的选择对蚊虫种群的分布和发展具有决定性影响。雌成蚊主要通过化学感受系统(嗅觉、味觉或两者兼具)感知环境中的多种线索,以评估产卵场所的适宜性。这种选择行为有助于减少后代与捕食者及竞争者的接触,同时增加食物获取机会,从而提升后代的存活率与发育效率<sup>[2-3]</sup>。对于大多数昆虫而言,雌成蚊的产卵地点选择是一种适应性行为,直接影响种群的分布格局与动态变化。因此,深入研究蚊虫产卵选择的关键线索,不仅有助于揭示蚊虫的生态分布规律与种群动态机制,还为制定高效的蚊媒传染病防控策略提供了重要的科学依据<sup>[4-5]</sup>。

雌成蚊在选择产卵地时的决策受到多种因素的影响,这些因素可分为非生物因素和生物因素两大类<sup>[3]</sup>。非生物因素主要包括水体的温度、颜色、光照强度、化学成分、有机物丰度等。例如,鱼蛋白胨、苯丙氨酸、糖、维生素等物质在室内环境中对淡色库蚊(*Culex pipiens pallens*)和白纹伊蚊(*Aedes albopictus*)表现出明显的产卵引诱作用<sup>[6-7]</sup>。在幼虫滋生场所的选择上,不同蚊种表现出明显的生态位分化:致倦库蚊(*Culex quinquefasciatus*)倾向于选择大型且富含有机物的水域作为产卵地,而冈比亚按蚊(*Anopheles gambiae*)则偏好小型、短期存在且清洁的水池,这类水体通常植被稀疏且有机物含量较低<sup>[8-10]</sup>。此外,幼虫孳生地的土壤类型和甲基汞等有害物质也会明显影响孕蚊的产卵选择行为<sup>[11-12]</sup>。生物因素则包括捕食者、竞争者、微生物、植被、病原体等<sup>[4,13-16]</sup>。研究表明,蚊虫的产卵选择可能还会受到同种或异种蚊虫种群的干扰。例如,埃及伊蚊(*Aedes aegypti*)的幼虫能够释放特定化学信号,从而影响雌成蚊的产卵选择<sup>[17]</sup>。致倦库蚊雌成蚊会被同种卵筏或幼虫释放的气味吸引,进而选择这些地点产卵<sup>[18]</sup>。一般认为,生物因素主要通过化学信号介导雌成蚊的产卵选择行为<sup>[19-21]</sup>。这些化学信号来源多样,它们可能导致蚊卵和幼虫在不同地点的分布模式存在明显差异;同时,这种差异也反映了不同蚊种在栖息地选择上为满足自身生长发育需求而表现出的生态适应性。

中华按蚊(*Anopheles sinensis*)广泛分布于中国及东南亚地区,是间日疟原虫(*Plasmodium vivax*)的主要传

\* 收稿日期:2025-01-03 修回日期:2025-03-12 网络出版时间:2025-06-17T09:11

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 31572332)

第一作者简介:周灵,女,研究方向为媒介生物学,E-mail:1582898243@qq.com;通信作者简介:何正波,男,教授,博士,E-mail:zhengbohe@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20250616.1730.002

播媒介之一<sup>[22-23]</sup>。近些年来,随着气候变化和农业耕作方式改变,中华按蚊在中国国内疟疾传播中的媒介作用日益凸显;阻断中华按蚊对间日疟原虫等疟疾病原体的传播已成为中国疟疾防控工作的关键步骤。鉴于已有研究较少涉及中华按蚊的产卵选择行为,本研究在实验室条件下探讨了水体中同种及异种蚊虫卵和幼虫对中华按蚊雌成蚊产卵偏好的影响,旨在为明晰中华按蚊在自然环境中的分布规律及改进对该蚊种的防治策略提供参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试蚊虫

实验用蚊虫种类包括中华按蚊、埃及伊蚊和致倦库蚊。所有蚊虫种群均饲养于重庆师范大学媒介生物控制和利用重庆市重点实验室。幼虫用鱼饲料饲养于去氯自来水中,待它们化蛹后挑出放于塑料小杯中,并将这些小杯置于长、宽、高均为 30 cm 的正方体养蚊笼里,等待蛹羽化成虫。成虫用葡萄糖水( $w_{\text{葡萄糖}}=10\%$ )饲养,并在进行蚊虫产卵选择实验时用被麻醉的小鼠(*Mus musculus*)给它们喂血,以便它们繁殖传代。蚊虫饲养温度为 $(27\pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为 $75\%\pm 5\%$ ,光周期为 12 h 光照:12 h 黑暗。

### 1.2 蚊虫产卵选择实验方案

蚊虫产卵选择实验在图 1a 所示的实验装置中进行,该装置仍采用上述规格的养蚊笼,但在笼底对角线上对称放置 2 个分别记为 L 和 R 且直径和高均为 10 cm 透明塑料产卵杯,杯间距为 20 cm。在每个产卵杯中加入 100 mL 去氯自来水,并在杯内壁附有高 3 cm 的滤纸条,以避免卵贴壁干燥死亡。在羽化后第 3 日,将麻醉的小鼠放置于养蚊笼顶部,在避光条件下给蚊虫喂血 20 min。喂血结束后,将蚊虫置于 $4^\circ\text{C}$ 冰箱中短暂冷处理使之麻醉,然后将它们转移至内置碎冰的培养皿上。在解剖镜下,剔除未吸血或吸血效果不佳的雌成蚊个体而仅保留充分吸血的个体。随后,将单只充分吸血的雌成蚊放入实验装置中,并于 12 h 后检查产卵杯中是否有蚊卵存在,然后在解剖镜下对产卵数量进行计数。

后续相关实验均采用上述方案进行,且均至少重复 10 次,以保证数据的可靠性。整个实验在养蚊室内进行,实验期间的温度、相对湿度和光周期与实验前蚊虫饲养期间一致。

#### 1.2.1 中华按蚊产卵的随机性检验

在实验装置的 2 个产卵杯均装有去氯自来水。将单只充分吸血的中华按蚊雌成蚊引入实验装置,12 h 后检查 2 个产卵杯中是否有蚊卵且记录其中蚊卵的数量,以此确认中华按蚊雌成蚊对实验装置中 2 个产卵杯选择是否有随机性。

#### 1.2.2 不同密度和种类的蚊虫卵和幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

以 1.2.1 节所得结果为基础,于多个实验装置内的某一产卵杯中分别放入密度分别为 0、5、10、20、40、80、100 和 200 枚 $\cdot\text{杯}^{-1}$ 的中华按蚊卵(或埃及伊蚊/致倦库蚊卵);或者在某一产卵杯中分别放入密度分别为 0、5、10、15、20、25、50 和 100 头 $\cdot\text{杯}^{-1}$ 的中华按蚊 4 龄幼虫(或埃及伊蚊/致倦库蚊初孵幼虫);而另一产卵杯中均仅加入 100 mL 去氯自来水,之后的操作步骤同 1.2.1 节。对产卵杯中的蚊卵数量准确计数后再扣除提前放入的蚊卵数量即为中华按蚊雌成蚊在该产卵杯内的产卵数量。

### 1.3 数据分析

通过产卵活动指数(oviposition activity index, OAI)值的范围来评估有关因素对中华按蚊雌成蚊产卵行为的影响,该指数的计算公式<sup>[24]</sup>为:

$$I_{\text{OA}} = (N_i - N_c) / (N_i + N_c),$$

其中: $I_{\text{OA}}$  为 OAI,  $N_i$  表示实验组即中华按蚊雌成蚊在已存在蚊虫卵或幼虫的去氯自来水水体中的产卵数量(单位:枚),  $N_c$  表示对照组即中华按蚊雌成蚊在仅含去氯自来水的水体中的产卵数量(单位:枚)。当 OAI 值大于 0.3, 即实验组产卵数量是对照组产卵数量的 2 倍以上且占总产卵数量的比例高于 67% 时,表明加入的卵或幼虫对中华按蚊雌成蚊具有明显的引诱作用;当 OAI 值小于 -0.3, 即实验组产卵数量占总产卵数量的比例低于 33% 时,则表明加入的卵或幼虫对中华按蚊雌成蚊具有明显的排斥作用。

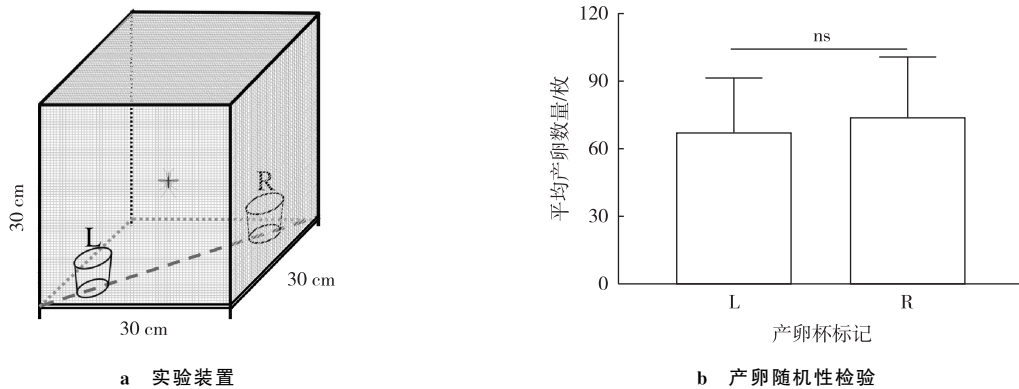
实验数据均用“平均值 $\pm$ 标准误”形式表示。记录不同卵或幼虫密度下各实验组和对照组的产卵数量,然后

计算相应的 OAI 值。采用 SPSS 26.0 软件对上述数据进行 Mann-Whitney  $U$  检验,以评估组间差异是否具有统计学意义。当  $p < 0.05$  时,上述统计分析结果具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 中华按蚊产卵随机性检验结果

研究结果显示中华按蚊雌成蚊对实验装置中的产卵杯选择具有随机性:10 次重复实验中,选择产卵杯 L 和产卵杯 R 的雌成蚊各有 5 只;图 1b 也显示 2 个产卵杯中的蚊卵数量无统计学意义上的差异。



注:平均产卵数量指在多个实验重复( $n \geq 10$ )中在同一标记(或处理)产卵杯内雌成蚊产卵数量的平均值,ns 表示组间数据差异在  $p < 0.05$  水平上无统计学意义,下同。

图 1 实验装置和产卵随机性检验

Fig. 1 Experimental setup and randomization test of oviposition

### 2.2 不同密度中华按蚊卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

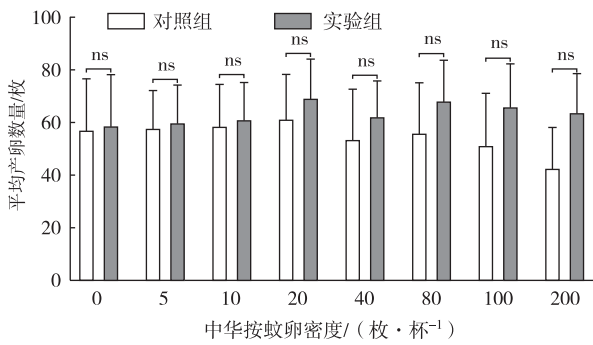
图 2a 显示:随着产卵杯中中华按蚊卵密度的增大,实验组平均产卵数量呈现上升趋势,但与对照组相比无统计学意义上的差异。OAI 值始终保持在 0 到 0.3 之间(图 2b),表明水体中已有的中华按蚊卵对雌成蚊具有微弱的引诱作用。当产卵杯中中华按蚊幼虫密度增大时,中华按蚊雌成蚊在已有幼虫的产卵杯中的平均产卵数量逐渐增多;当幼虫密度为 5 头·杯<sup>-1</sup>时,OAI 值小于 -0.3,表明幼虫对雌成蚊具有排斥作用;当幼虫密度增至 10~50 头·杯<sup>-1</sup>时,OAI 值保持在 0 至 0.3 之间,表明幼虫对雌成蚊产卵选择的影响较弱;而当幼虫密度达到 100 头·杯<sup>-1</sup>时,此时实验组和对照组相比平均产卵数量有统计学意义上的增加( $p < 0.05$ ),OAI 值超过 0.3,表明幼虫对雌成蚊具有明显的引诱作用(图 2c、d)。

### 2.3 不同密度埃及伊蚊卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

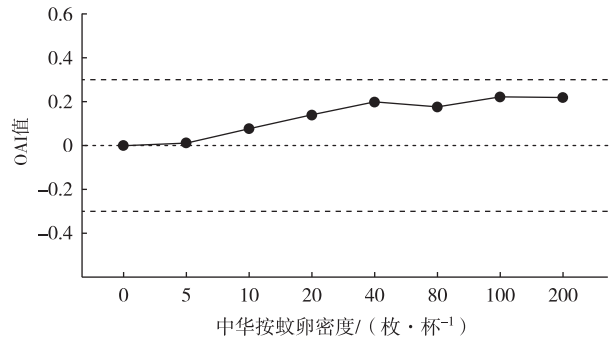
从图 3a、b 可知:密度不高于 40 枚·杯<sup>-1</sup>埃及伊蚊卵对中华按蚊雌成蚊表现出微弱的排斥作用;而前者密度高于 40 枚·杯<sup>-1</sup>后则对后者具有引诱作用。特别是埃及伊蚊卵密度为 80 枚·杯<sup>-1</sup>时,实验组平均产卵数量与对照组相比有统计学意义上的增加( $p < 0.05$ ),且 OAI 值达到 0.352 2,表明该密度的埃及伊蚊卵对中华按蚊雌成蚊具有明显的引诱作用。图 3c、d 显示:当埃及伊蚊幼虫密度为 5~25 头·杯<sup>-1</sup>时,实验组与对照组的平均产卵数量无统计学意义上的差异,且 OAI 值均处于 -0.3 至 0.3 之间,表明较低密度的埃及伊蚊幼虫对中华按蚊雌成蚊的产卵选择影响较小;当埃及伊蚊幼虫密度为 50、100 头·杯<sup>-1</sup>时,实验组平均产卵数量与对照组相比均有统计学意义上的增加( $p < 0.05$ ),对应的 OAI 值分别为 0.363 3、0.313 3,表明较高密度的埃及伊蚊幼虫对中华按蚊雌成蚊具有明显的引诱作用。

### 2.4 不同密度中致倦库蚊卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

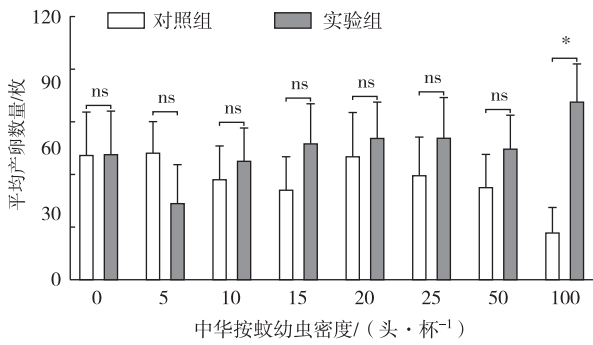
从图 4a、b 可见,当致倦库蚊卵密度为 5~200 枚·杯<sup>-1</sup>时,实验组平均产卵数量均略高于对照组,但组间数据差异均无统计学意义,且 OAI 值始终介于 0 至 0.3 之间。这表明密度为 5~200 枚·杯<sup>-1</sup>的致倦库蚊卵对中华按蚊的产卵选择无明显的影响。而由图 4c、d 可以看出,当致倦库蚊幼虫密度为 100 头·杯<sup>-1</sup>时,实验组平均产卵数量与对照组相比有统计学意义上的增加( $p < 0.05$ ),此时 OAI 值为 0.324 0,表明较高密度致倦库蚊幼虫对中华按蚊雌成蚊具有一定的引诱作用。



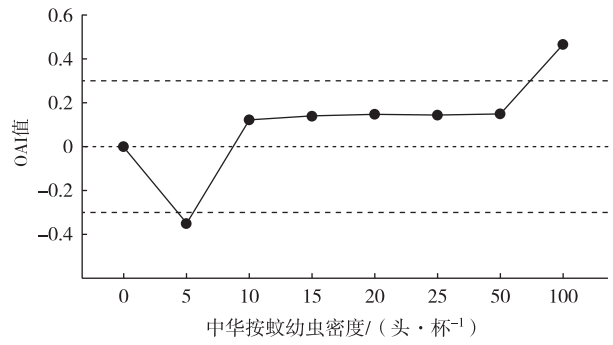
a 中华按蚊卵对中华按蚊产卵数量的影响



b 中华按蚊卵对中华按蚊 OAI 的影响



c 中华按蚊幼虫对中华按蚊产卵数量的影响

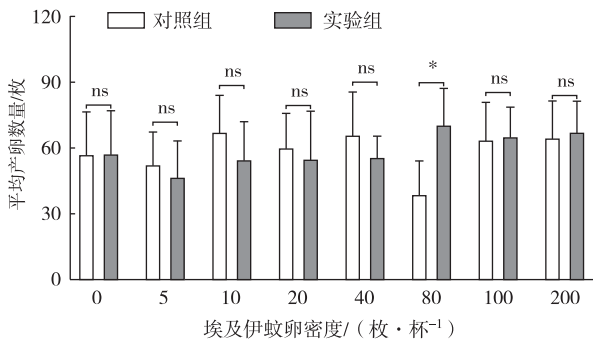


d 中华按蚊幼虫对中华按蚊 OAI 的影响

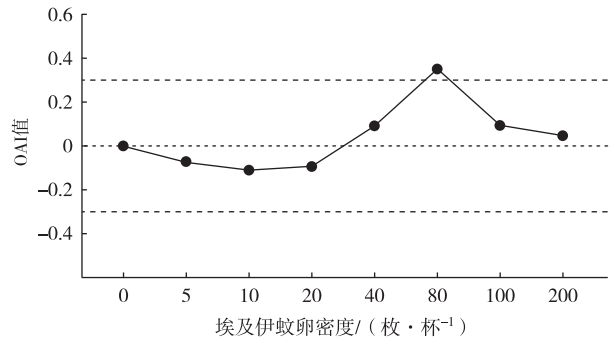
注：“\*”表示组间数据差异在  $p < 0.05$  水平上具有统计学意义,下同。

图 2 中华按蚊卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

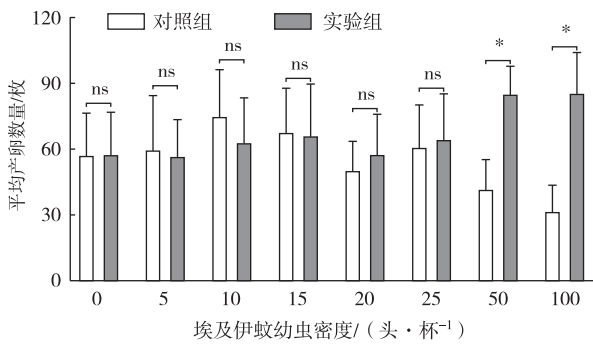
Fig. 2 The effect of eggs or larvae of *A. sinensis* on the oviposition preference of *A. sinensis*



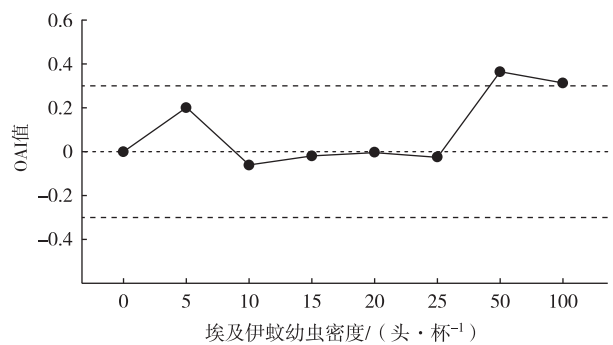
a 埃及伊蚊卵对中华按蚊产卵数量的影响



b 埃及伊蚊卵对中华按蚊 OAI 的影响



c 埃及伊蚊幼虫对中华按蚊产卵数量的影响



d 埃及伊蚊幼虫对中华按蚊 OAI 的影响

图 3 埃及伊蚊卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

Fig. 3 The effect of eggs or larvae of *A. aegypti* on the oviposition preference of *A. sinensis*

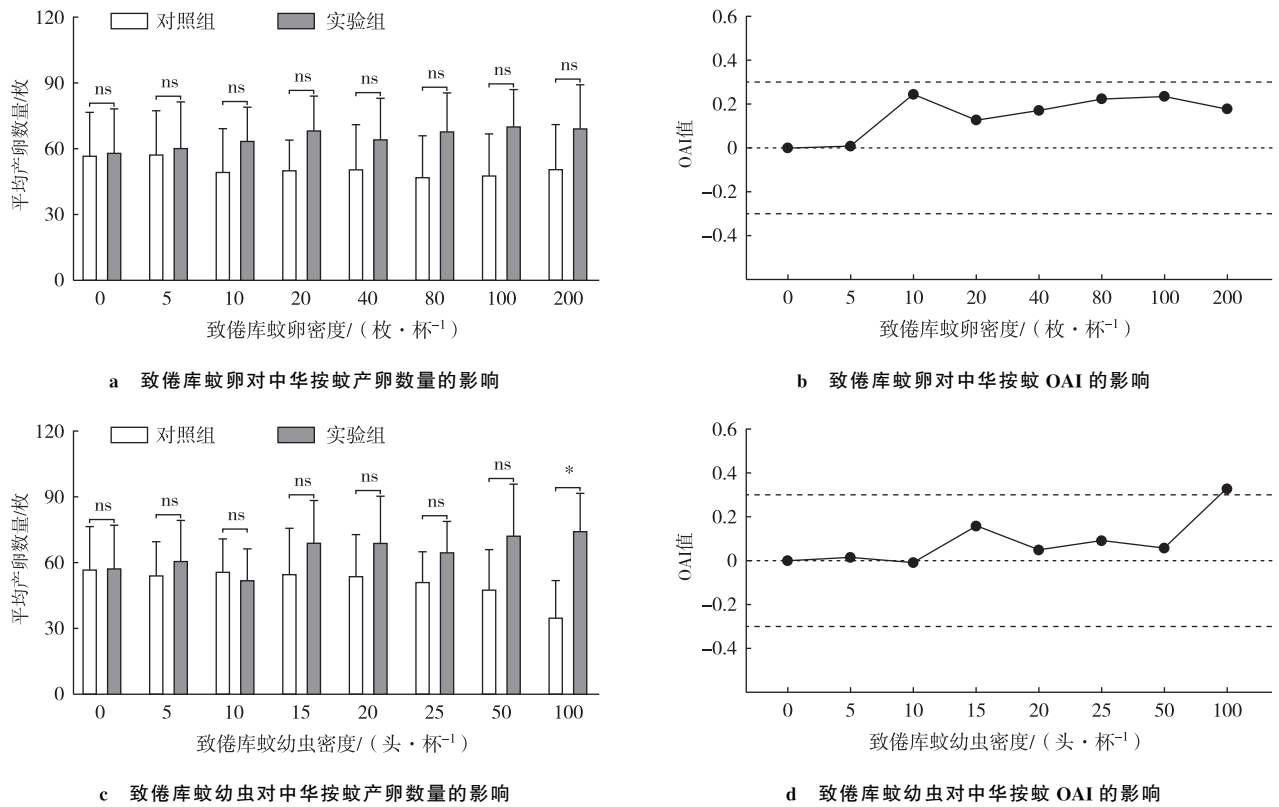


图 4 致倦库蚊卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响

Fig. 4 The effect of eggs or larvae of *C. quinquefasciatus* on the oviposition preference of *A. sinensis*

### 3 讨论

目前对于多数蚊媒传染病尚缺乏安全高效的疫苗和特效治疗药物,因此使用杀虫剂控制媒介蚊虫仍是预防和消除蚊媒病的最有效措施之一,甚至是某些蚊媒病的唯一防控措施<sup>[25]</sup>。然而,随着杀虫剂的长期使用,蚊虫抗药性问题日益严重,严重威胁现有防控措施的有效性<sup>[26-27]</sup>。因此,探索高效、安全且环保的新型蚊媒防治方法已成为当务之急。由于蚊虫的卵、幼虫和蛹均需在水中完成发育且活动能力有限,因此蚊虫的上述生活史阶段成为了蚊媒病防控的理想靶点。蚊虫通过感知水体的物理和化学信息来判断产卵环境的适宜性,因而它们的产卵行为对自身种群的分布、存续以及传播能力具有决定性影响<sup>[3]</sup>。中华按蚊是中国疟疾传播的主要媒介之一,但关于它的产卵地选择影响因素的研究尚需深入研究。

本研究在实验室条件下初步探讨了水体中已存在的蚊虫卵或幼虫对中华按蚊产卵选择的影响。研究结果表明,水体中蚊虫卵和幼虫的存在对中华按蚊产卵选择的影响程度与卵或幼虫的密度及种类密切相关。与对照组相比,中华按蚊雌成蚊对存在中华按蚊卵和致倦库蚊卵的水体未表现出明显的产卵偏好;然而,它对存在有特定密度(80 枚 · 杯<sup>-1</sup>)埃及伊蚊卵的水体则表现出明显的产卵偏好。此外,较高密度(50 或 100 头 · 杯<sup>-1</sup>)的中华按蚊、埃及伊蚊和致倦库蚊的幼虫均对中华按蚊雌成蚊具有明显的引诱作用。上述结果进一步说明,中华按蚊雌成蚊不仅具备识别水体中蚊虫幼虫种类的能力,还能够准确评估幼虫的种群密度,进而调节自身的产卵选择行为。在潜在的产卵地点中,未成熟阶段的同种或异种蚊虫的存在,一方面可能指示该地点适宜于未成熟蚊虫的生活和发育,另一方面也可能预示着种内或种间竞争的潜在风险<sup>[28]</sup>。而“产卵偏好-后代表现”假说则提出,雌性会选择在能够最大化自身后代适应度的栖息地产卵<sup>[29]</sup>。由此可见,雌成蚊在面对适宜产卵场所和潜在风险时最终做出决策的机制及所依据的关键因素仍是一个尚待深入研究的科学问题。

嗅觉在蚊虫产卵地选择和评估过程中发挥着关键作用<sup>[3,12,30]</sup>。研究表明,孕蚊主要通过嗅觉系统感知潜在繁殖地释放的挥发性有机化合物(VOCs)。这些化合物来源多样,包括水体中的化学物质、植物分泌物、微生物代谢产物、蚊虫幼虫、捕食者等<sup>[3]</sup>。因此从这些 VOCs 中筛选出对特定蚊种具有吸引力的单一化合物或复合物,

是调控蚊虫产卵行为、实现媒介蚊虫控制的关键策略<sup>[3,12,30]</sup>。目前已发现多种对蚊虫产卵具有引诱作用的化学物质,例如甲基吲哚(skatole)和(5R,6S)-6-acetoxy-5-hexadecanolide已被证实是致倦库蚊的重要产卵线索,且这些化合物的混合物对孕蚊表现出明显的协同效应<sup>[31]</sup>。在有关冈比亚按蚊的研究中,从自然繁殖地鉴定出的雪松醇(cedrol)被证明是对该蚊种有效的产卵引诱剂<sup>[32]</sup>。此外,实验室研究还发现,从蚊虫幼虫栖息地挥发性气体中分离出的壬烷(nonane)对冈比亚按蚊孕蚊具有明显的引诱作用<sup>[33]</sup>。值得注意的是,与壬烷结构相似且同为C9化合物的壬醇(nonanol)也被证实能够吸引致倦库蚊<sup>[34]</sup>。因此,影响蚊虫产卵行为的化学物质既包括物种特异性化合物,也包含栖息地来源的化学信号<sup>[12]</sup>。本研究则进一步证实,当水体中中华按蚊、埃及伊蚊和致倦库蚊幼虫达到一定密度时,它们对中华按蚊雌成蚊表现出明显的引诱作用,使之更偏好于在已有这些蚊种的水体中产卵。因此,本研究的这一发现不仅揭示了幼虫或它的孳生地释放的挥发性物质在中华按蚊雌成蚊产卵选择中的重要作用,更为筛选和开发针对中华按蚊的特异性产卵引诱剂提供了重要的理论依据和研究线索。

鉴于本研究发现的较高密度中华按蚊、埃及伊蚊和致倦库蚊的幼虫对中华按蚊雌成蚊所具有明显引诱作用,在未来研究中可着重探究这些幼虫是否通过释放特定信息素传递化学信号,进而调控雌成蚊的产卵地选择行为。这一机制的阐明将为新型控蚊技术的研发提供理论依据,即通过模拟和增强这些特异性化学信号,从而开发出高效的产卵引诱剂,进而干扰雌成蚊的正常产卵行为,最终达到控制蚊虫种群密度的目的,为蚊媒疾病防控提供创新性解决方案。当然,本研究也存在一些局限性:一是受实验条件限制,研究仅在实验室环境下开展,未能涵盖自然环境中的复杂因素,研究结果的生态学意义有待进一步验证;二是研究仅针对中华按蚊的产卵选择行为进行了观察,缺乏对其他蚊种间相互作用机制的深入探讨。因此,在今后的研究中可考虑在以下方面进行拓展:1)开展野外实地试验,验证实验室结果的可靠性;2)系统研究不同蚊种间产卵选择行为的相互作用关系;3)深入解析蚊虫产卵行为的化学信号传递机制。对上述方向的研究将为进一步完善蚊虫综合防控策略提供更为重要且翔实可靠的科学依据。

#### 参考文献:

- [1] ZHANG Y J, HE S L, HE C Y, et al. AsOBP1 is required for bioallethrin repellency in the malaria vector mosquito *Anopheles sinensis*[J]. *Insect Science*, 2024, 31(5): 1519-1532.
- [2] WONG J, STODDARD S T, ASTETE H, et al. Oviposition site selection by the dengue vector *Aedes aegypti* and its implications for dengue control[J]. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2011, 5(4): e1015.
- [3] AFIFY A, GALIZIA C G. Chemosensory cues for mosquito oviposition site selection[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2015, 52(2): 120-130.
- [4] MWINGIRA V S, SPITZEN J, MBOERA L E G, et al. The influence of larval stage and density on oviposition site-selection behavior of the afro-tropical malaria mosquito *Anopheles coluzzii* (Diptera: Culicidae) open access[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2020, 57(3): 657-666.
- [5] DAY J F. Mosquito oviposition behavior and vector control[J]. *Insects*, 2016, 7(4): 65.
- [6] 邓天福, 莫建初. 糖和维生素对淡色库蚊及白纹伊蚊产卵选择的影响[J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2011, 22(2): 114-116.  
DENG T F, MO J C. The influence of sugars and vitamins on the oviposition preference of gravid female *Culex pipiens pallens* and *Aedes albopictus*[J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2011, 22(2): 114-116.
- [7] 邓天福, 刘吉起, 莫建初. 蛋白质和氨基酸对 2 种蚊虫产卵选择的影响[J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2012, 23(1): 51-53.  
DENG T F, LIU J Q, MO J C. The oviposition responses of gravid *Culex pipiens pallens* and *Aedes albopictus* females to waters with protein or amino acid[J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2012, 23(1): 51-53.
- [8] TAKKEN W, KNOLS B G. Odor-mediated behavior of Afrotropical malaria mosquitoes[J]. *Annual Review of Entomology*, 1999, 44: 131-157.
- [9] MINAKAWA N, MUNGA S, ATIEMI F, et al. Spatial distribution of anopheline larval habitats in Western Kenyan Highlands: effects of land cover types and topography[J]. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 2005, 73(1): 157-165.
- [10] MINAKAWA N, SONYE G, YAN G Y. Relationships between occurrence of *Anopheles gambiae* s. l. (Diptera: Culicidae) and size and stability of larval habitats[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2005, 42(3): 295-300.
- [11] NEFF E, COLEMAN A L, MANESS R W, et al. Effects of methylmercury on mosquito oviposition behavior: maladaptive response to non-toxic exposure[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 667: 248-254.

- [12] MWINGIRA V S, MBOERA L E G, TAKKEN W. Synergism between nonane and emanations from soil as cues in oviposition-site selection of natural populations of *Anopheles gambiae* and *Culex quinquefasciatus*[J]. *Malaria Journal*, 2021, 20(1):52.
- [13] ALLAN S A, KLINE D L. Evaluation of organic infusions and synthetic compounds mediating oviposition in *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, 21(11):1847-1860.
- [14] MULATIER M, BOULLIS A, DOLLIN C, et al. Chikungunya virus infection and gonotrophic cycle shape *Aedes aegypti* oviposition behavior and preferences[J]. *Viruses*, 2023, 15(5):1043.
- [15] GIRARD M, MARTIN E, VALLON L, et al. Microorganisms associated with mosquito oviposition sites: implications for habitat selection and insect life histories[J]. *Microorganisms*, 2021, 9(8):1589.
- [16] ASMARE Y, HILL S R, HOPKINS R J, et al. The role of grass volatiles on oviposition site selection by *Anopheles Arabiensis* and *Anopheles coluzzii*[J]. *Malaria Journal*, 2017, 16(1):65.
- [17] SOMAN R S, REUBEN R. Studies on the preference shown by ovipositing females of *Aedes aegypti* for water containing immature stages of the same species[J]. *Journal of Medical Entomology*, 1970, 7(4):485-489.
- [18] WACHIRA S W, NDUNG'U M, NJAGI P G N, et al. Comparative responses of ovipositing *Anopheles gambiae* and *Culex quinquefasciatus* females to the presence of *Culex* egg rafts and larvae[J]. *Medical and Veterinary Entomology*, 2010, 24(4):369-374.
- [19] ZHAO S Y, LIU H K, WU Y M, et al. The odorant-binding protein genes *obp67* and *obp56d*-like encode products that guide oviposition site selection in the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus* [EB/OL] (2024-08-12) [2025-01-03]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1744-7917.13430>.
- [20] MELO N, WOLFF G H, COSTA-DA-SILVA A L, et al. Geosmin attracts *Aedes aegypti* mosquitoes to oviposition sites[J]. *Current Biology*, 2020, 30(1):127-134. e5.
- [21] ZHAO S Y, WU P L, FU J Y, et al. Gustatory receptor 11 is involved in detecting the oviposition water of Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus*[J]. *Parasites & Vectors*, 2024, 17(1):367.
- [22] SINKA M E, BANGS M J, MANGUIN S, et al. The dominant *Anopheles* vectors of human malaria in the Asia-Pacific region: occurrence data, distribution maps and bionomic précis[J]. *Parasites & Vectors*, 2011, 4:89.
- [23] FENG X Y, ZHANG S S, HUANG F, et al. Biology, bionomics and molecular biology of *Anopheles sinensis* wiedemann 1828 (Diptera: Culicidae), main malaria vector in China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8:1473.
- [24] MICHAELAKIS A, PAPACHRISTOS D P, RUMBOS C I, et al. Larvicidal activity of spinosad and its impact on oviposition preferences of the West Nile vector *Culex pipiens* biotype molestus—a comparison with a chitin synthesis inhibitor[J]. *Parasitology International*, 2020, 74:101917.
- [25] WILSON A L, COURTENAY O, KELLY-HOPE L A, et al. The importance of vector control for the control and elimination of vector-borne diseases[J]. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2020, 14(1):e0007831.
- [26] LINDSAY S W, THOMAS M B, KLEINSCHMIDT I. Threats to the effectiveness of insecticide-treated bednets for malaria control; thinking beyond insecticide resistance[J]. *The Lancet Global Health*, 2021, 9(9):e1325-e1331.
- [27] HE Z B, ZHANG J, SHI Z P, et al. Modification of contact avoidance behaviour associated with pyrethroid resistance in *Anopheles sinensis* (Diptera: Culicidae)[J]. *Malaria Journal*, 2019, 18(1):131.
- [28] WASSERBERG G, BAILES N, DAVIS C, et al. Hump-shaped density-dependent regulation of mosquito oviposition site-selection by conspecific immature stages: theory, field test with *Aedes albopictus*, and a meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(3):e92658.
- [29] MONTINI P, FISCHER S. Oviposition site selection and subsequent offspring performance of *Aedes aegypti* in short- and long-term detritus accumulation conditions[J]. *Acta Tropica*, 2024, 255:107222.
- [30] KHAN Z, BOHMAN B, IGNELL R, et al. Odour-mediated oviposition site selection in *Aedes aegypti* depends on aquatic stage and density[J]. *Parasites & Vectors*, 2023, 16(1):264.
- [31] MBOERA L E G, TAKKEN W, MDIRA K Y, et al. Sampling gravid *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) in Tanzania with traps baited with synthetic oviposition pheromone and grass infusions[J]. *Journal of Medical Entomology*, 2000, 37(1):172-176.
- [32] LINDH J M, OKAL M N, HERRERA-VARELA M, et al. Discovery of an oviposition attractant for gravid malaria vectors of the *Anopheles gambiae* species complex[J]. *Malaria Journal*, 2015, 14:119.
- [33] SCHOELITZ B, MWINGIRA V, MBOERA L E G, et al. Chemical mediation of oviposition by *Anopheles mosquitoes*: a push-

pull system driven by volatiles associated with larval stages[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2020, 46(4): 397-409.

[34] SYED Z, LEAL W S. Acute olfactory response of *Culex mosquitoes* to a human- and bird-derived attractant[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(44): 18803-18808.

## Animal Sciences

### The Influence of Density and Species of Mosquito Eggs and Larvae on the Oviposition Preference of *Anopheles sinensis*

ZHOU Ling, YU Zengrong, LI Fang, ZHOU Jiajia, CHEN Bin, HE Zhengbo

(Chongqing Key Laboratory of Vector Control and Utilization, College of Life Sciences,  
Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** To assess the influence of pre-existing mosquito eggs or larvae in aquatic environments on the oviposition site selection of *Anopheles sinensis* females, oviposition preferences were examined under laboratory conditions using water containing eggs or larvae of varying densities from *A. sinensis*, *Aedes aegypti*, or *Culex quinquefasciatus*. The results showed no significant oviposition preference was observed for water bodies containing different densities of *A. sinensis* or *C. quinquefasciatus* eggs. In contrast, a marked preference was detected for water containing *A. aegypti* eggs at a density of 80 eggs per cup. Additionally, high densities (50 or 100 larvae per cup) of larvae from all three species exhibited a significant attractive effect on *A. sinensis* females. These results indicate that the presence of mosquito eggs and larvae in aquatic habitats significantly affects oviposition site selection in *A. sinensis*, with the extent of influence strongly associated with both the density and species of the immature stages present.

**Keywords:** *Anopheles sinensis*; oviposition-site; oviposition activity index; density; species

(责任编辑 方 兴)