

氯化钠和碳酸氢铵溶液对黄脊竹蝗的引诱效果

方 蓉^{1,2}, 吴 鸿^{1,2}, 王浩杰², 张 威², 耿显胜², 舒金平²

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 黄脊竹蝗 *Ceracris kiangsu* 是中国南方地区重要的竹子食叶害虫。为深入理解黄脊竹蝗趋尿行为的机制, 通过林间录像系统测定了黄脊竹蝗对不同质量浓度钠盐(1.0, 5.0, 10.0, 20.0 g·L⁻¹)及铵盐(1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 10.0, 25.0, 50.0, 75.0, 150.0 g·L⁻¹)溶液的行为反应, 同时进行了钠盐及铵盐溶液的林间诱捕试验。结果表明: 钠盐及铵盐的质量浓度会显著影响黄脊竹蝗的趋泥行为($P<0.05$), 1.0 g·L⁻¹的碳酸氢铵和 1.0 g·L⁻¹氯化钠溶液即可激发黄脊竹蝗的趋泥行为, 随着质量浓度的升高, 黄脊竹蝗访问铵盐及钠盐次数逐渐增多; 黄脊竹蝗成虫对经 75.0 g·L⁻¹的碳酸氢铵或 10.0 g·L⁻¹氯化钠溶液处理的滤纸有明显的选择偏好($P_{\text{碳酸氢铵}}=0.032$, $P_{\text{氯化钠}}=0.043$)。林间诱杀试验表明: 挥发性铵盐的诱蝗量显著高于钠盐的诱蝗量($P<0.01$), 挥发性物质在黄脊竹蝗趋泥行为中发挥着重要作用。图 7 参 18

关键词: 森林保护学; 黄脊竹蝗; 趋泥行为; 铵盐; 钠盐

中图分类号: S763.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)03-0434-06

Behavioral responses of the yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu*, towards solutions of ammonium bicarbonate and sodium chloride

FANG Rong^{1,2}, WU Hong^{1,2}, WANG Haojie², ZHANG Wei², GENG Xiansheng², SHU Jinping²

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: To better understand the mud-puddling behavior of *Ceracris kiangsu* (Orthoptera: Oedipodidae), the yellow-spined bamboo locust, an important bamboo pest in south China, the behavioral responses of female *C. kiangsu* adults to solutions of sodium chloride (1.0, 5.0, 10.0, 20.0 g·L⁻¹) and ammonium bicarbonate (1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 10.0, 25.0, 50.0, 75.0, 150.0 g·L⁻¹) were studied using a video recording system for observing and recording the puddling behavior. Also, field trapping was conducted to test mud-puddling behavior to the solutions of sodium chloride and ammonium bicarbonate with different concentrations, respectively. Results showed that a 1.0 g·L⁻¹ sodium chloride or a 1.0 g·L⁻¹ ammonium bicarbonate concentration were sufficient to stimulate puddling behavior with female *C. kiangsu* adults. Also, adult visits to the sodium chloride and ammonium bicarbonate solutions increased significantly as the solution concentration increased (ANOVA, $P<0.05$). Female adults of *C. kiangsu* preferred visiting and feeding on filter paper treated with solutions of 75.0 g·L⁻¹ ammonium bicarbonate (ANOVA test, $P=0.032$) or 10.0 g·L⁻¹ sodium chloride (ANOVA, $P=0.043$). Much more female adults were trapped by ammonium bicarbonate solution than that trapped by sodium chloride solution (ANOVA, $P<0.01$), and field trapping indicated that volatiles played an important role in mud-puddling behavior of *C. kiangsu*. [Ch, 7 fig. 18 ref.]

收稿日期: 2014-04-08; 修回日期: 2014-06-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31100480); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3090429)

作者简介: 方蓉, 从事昆虫行为生态和化学生态学研究。E-mail: 731667641@qq.com。通信作者: 舒金平, 副研究员, 博士, 从事昆虫行为生态和化学生态学研究。E-mail: shu_jinping001@163.com

Key words: forest protection; *Ceracris kiangsu*; mud-puddling behavior; ammonium salt; sodium salt

氮素及盐分是昆虫生长发育过程中必需的关键物质, 植食性昆虫通过取食植物组织所获取的氮素或盐分往往难以满足其生长繁育的需求, 因此, 很多植食性昆虫通过其他途径来摄取氮素或盐分^[1-2]。“趋泥”行为是蝶和蛾类等鳞翅目 Hymenoptera 昆虫一种较为普遍的补充营养行为^[3-5]。大量研究表明: 从环境中获取氮素及钠盐是激发鳞翅目昆虫趋泥行为的主要动力, 但昆虫感知泥源中氮素及钠盐的机制罕见报道^[6-8]。黄脊竹蝗 *Ceracris kiangsu* 的趋尿行为是迄今所报道的首例咀嚼式口器昆虫的趋泥行为^[9-10]。研究发现: 人尿中的盐分(氯化钠 NaCl)和氮素(碳酸氢铵 NH_4HCO_3 及氯化铵 NH_4Cl)均能显著激发黄脊竹蝗选择偏好, 由此推测摄取钠盐和氮素可能是黄脊竹蝗趋尿行为的关键驱动力^[9,11]。同时研究还表明: 钠盐及铵盐浓度与黄脊竹蝗雌雄成虫触角电位反应的强度具有密切关系^[10]。本研究通过测定黄脊竹蝗成虫对不同质量浓度氯化钠及碳酸氢铵溶液的行为反应, 旨在明确钠盐和铵盐激发黄脊竹蝗趋尿行为的浓度阈值, 为深入揭示“竹蝗趋尿”的行为及化学机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

行为生测试验选择在湖南省益阳市桃江县灰山港镇陈家湾村竹林内, $28^{\circ}32'184''\text{N}$, $112^{\circ}29'707''\text{E}$, 海拔为 221~225 m。试验地为毛竹 *Phyllostachys edulis* 纯林, 竹龄 2~8 a, 林下有石栎 *Lithocarpus glabra*, 铁芒萁 *Dicranopteris dichotoma*, 金缕梅 *Hamamelis mollis* 及接骨木 *Sambucus williamsii* 等小型乔木及灌木, 土壤为砂质红壤, pH 3.7~6.0。试验时林间白天平均气温为 30.5°C , 10:00 测定林内黄脊竹蝗虫口密度约 $8.9 \text{ 头} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

1.2 试验材料

1.2.1 人尿的采集 收集年龄为 23~35 岁的 10 名青年的尿液。尿液收集后立即混合, 装入洁净的圆筒形玻璃缸中(开口直径 20 cm), 并置于玻璃室内发酵(缸口套上纱布防止昆虫等外物进入, 自然日照, 发酵的平均气温为 24.8°C , 环境相对湿度 60%~80%), 30 d 后置于冰箱 -20°C 冷冻保存, 备用。

1.2.2 氯化钠及碳酸氢铵溶液的配制 围绕氯化钠及碳酸氢铵在人尿中的大致含量, 按梯度确定待测溶液的质量浓度, 以去离子水为溶剂, 氯化钠(95%分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司)配置成 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 碳酸氢铵(95%分析纯, 上海试维化工有限公司)配置成 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 10.0, 25.0, 50.0, 75.0, 150.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在试验过程中, 考虑到这些物质的挥发性较强, 所有溶液均现配现用, 以保证实验的精确度。

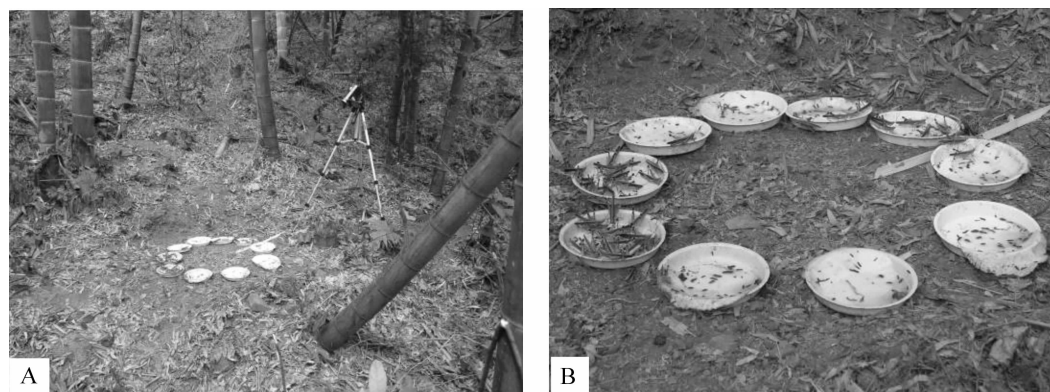
1.3 黄脊竹蝗对不同质量浓度化合物溶液的行为反应

1.3.1 林间录像系统的设计和组装 图 1 为自制的用于观察和记录黄脊竹蝗对不同质量浓度钠盐及铵盐溶液行为反应的林间录像系统。系统主要由诱捕器及摄像机 2 个部分构成, 诱捕器由塑料托盘(直径为 9 cm)和定性滤纸(直径为 12.5 cm)组成。在竹蝗发生竹林中平整出约 1.5 m^2 的地块, 根据设置处理的数量按图 1 的方式在平地上把诱捕器摆成圆形(直接约为 60 cm), 相邻诱捕器间距相等, 约为 20 cm, 将摄像机(Sony, HDR-XR160E)架设在诱捕器的正面(距离诱捕器 60~100 cm), 调整摄像机位置以保证所有诱捕器矩阵全部进入录像范围, 调焦后固定。

1.3.2 竹蝗趋泥行为记录及统计 用高清不间断录像, 记录黄脊竹蝗的趋向及取食行为。录像时间 11:00~14:00, 重复 3 次·处理⁻¹。拍摄结束后, 收集不同处理滤纸, 晾干压平。用电脑回放录像, 依据高清录像统计黄脊竹蝗成虫对不同处理的访问次数, 利用坐标纸测定各处理中黄脊竹蝗取食滤纸的面积。

1.4 不同化合物对黄脊竹蝗的诱杀作用

1.4.1 不同质量浓度碳酸氢铵溶液对黄脊竹蝗的诱杀作用 9:00 前将 11 个诱捕器成行布置于山体同一海拔线上, 诱捕器间相距 10 m, 在各诱捕器内分别加入 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 10.0, 25.0, 50.0, 75.0, 150.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸氢铵溶液、发酵 30 d 的人尿和去离子水各 20 mL, 同时分别混入 2 mL 质量浓度为 18% 杀虫双水剂(湖南省益阳市润慷宝化工有限公司)混配制作成毒饵。17:00 后统计以诱捕器为中心, 直径 2 m 的圆周范围内死亡(或中毒)的黄脊竹蝗数量, 并统计雌、雄成虫的数量及比例。试验时间为 9:



A: 林间录像装置; B: 竹蝗取食滤纸

图1 黄脊竹蝗对氯化钠和碳酸氢铵溶液的行为反应

Figure 1 Behavioral responses of *Ceracris kiangsu* adults towards filter paper treated with ammonium bicarbonate solution or sodium chloride solution

00–17:00, 阴雨天不进行试验。重复4次·处理⁻¹, 共4组。

1.4.2 不同质量浓度氯化钠溶液对黄脊竹蝗的诱杀作用 试验方法同1.4.1, 共6个诱捕器, 毒饵换成1.0, 5.0, 10.0, 20.0 g·L⁻¹的氯化钠溶液、发酵30 d的人尿及去离子水。重复4次·处理⁻¹, 共4组。

1.5 数据处理

试验数据用SAS软件进行统计分析, 用Origin 8.0绘图。采用单因素方差分析(one way, ANOVA, 各处理间的多重比较采用最小显著差LSD法)对不同处理间黄脊竹蝗取食滤纸面积、访问次数及毒饵诱杀量进行差异性分析。所诱杀的竹蝗及林间随机网捕到的竹蝗虫数量间的比较采用 t 检验。

2 结果与分析

2.1 黄脊竹蝗取食不同质量浓度碳酸氢铵溶液的行为反应

2.1.1 黄脊竹蝗对于不同质量浓度碳酸氢铵溶液诱捕器的访问次数 在试验时间内, 黄脊竹蝗对碳酸氢铵溶液访问的次数随质量浓度的增加而增大, 但不同质量浓度间的访问偏好差异不显著($P>0.05$, 图2)。其中黄脊竹蝗访问次数最多的为75.0 g·L⁻¹的处理, 访问次数达到(72.67±33.62)次, 10.0 g·L⁻¹的碳酸氢铵处理访问次数最少, 仅为(24.64±8.09)次。当碳酸氢铵溶液质量浓度超过10.0 g·L⁻¹时, 黄脊竹蝗访问量基本相同(图2)。

2.1.2 黄脊竹蝗取食经不同质量浓度碳酸氢铵处理的滤纸面积 所设置的10个处理滤纸均能被黄脊竹蝗取食, 不同处理间滤纸被取食面积差异不显著($P>0.05$, 图3)。随着质量浓度增加, 黄脊竹蝗取食滤纸的面积逐渐增大, 但对经25.0和50.0 g·L⁻¹碳酸氢铵溶液处理的滤纸取食面积较少。黄脊竹蝗对经75.0和150.0 g·L⁻¹碳酸氢铵溶液处理过的滤纸有明显偏好, 对经75.0 g·L⁻¹碳酸氢铵溶液处理的滤纸取食量达最大, 达到(4.09±2.31) cm², 黄脊竹蝗对经水处理的滤纸的取食量最少, 仅为(0.52±0.18) cm²。

2.1.3 不同质量浓度碳酸氢铵溶液对于黄脊竹蝗的诱杀作用 碳酸氢铵能显著激发黄脊竹蝗成虫的趋向行为。碳酸氢铵溶液及发酵人尿的竹蝗诱杀量显著多于去离子水, 且竹蝗诱杀量随着碳酸氢钠溶液质量浓度的增加而增大(图4)。但碳酸氢铵溶液质量浓度>2.0 g·L⁻¹时, 竹蝗诱杀量差异不显著($P>0.05$), 其中150.0 g·L⁻¹碳酸氢铵溶液诱杀效果最好, 单个诱捕器每天可诱杀黄脊竹蝗(142.00±56.64)头。

2.2 黄脊竹蝗取食不同质量浓度氯化钠溶液的行为反应

2.2.1 黄脊竹蝗对于不同质量浓度的氯化钠诱捕器的访问数量 黄脊竹蝗访问次数随氯化钠溶液质量浓度的增加而增多, 但各质量浓度之间差异不显著(图5)。氯化钠溶液处理中, 当质量浓度达10.0 g·L⁻¹时, 黄脊竹蝗访问次数最多, 达(33.67±2.03)次, 但显著低于对人尿处理的访问次数(94.33±30.82)次。

2.2.2 黄脊竹蝗取食经不同质量浓度氯化钠溶液处理滤纸的面积 经氯化钠溶液处理的滤纸均能被黄脊竹蝗成虫取食, 黄脊竹蝗取食经氯化钠溶液处理滤纸的面积随质量浓度的增加而增大, 当氯化钠溶液质量浓度达10.0 g·L⁻¹时, 取食面积最大, 达(1.59±0.45) cm², 随后取食面积开始减少, 但各质量浓度

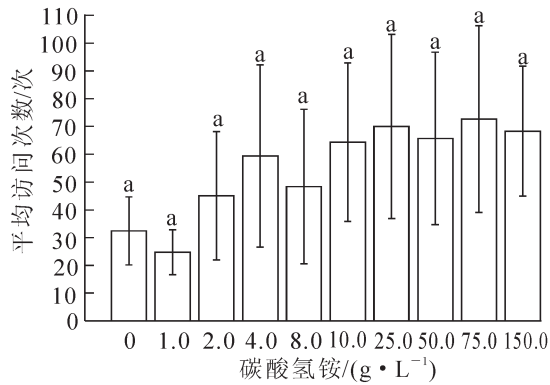


图 2 黄脊竹蝗对于不同质量浓度碳酸氢钠溶液及去离子水的访问次数

Figure 2 Mean visits of *Ceracris kiangsu* adults on different trays treated with the different concentrations of ammonium bicarbonate solution or deionized water

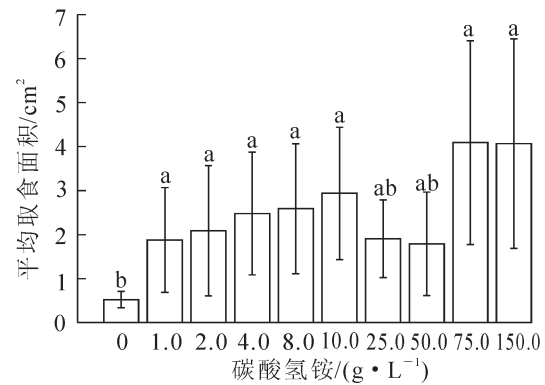


图 3 蝗虫取食不同质量浓度碳酸氢铵溶液及去离子水处理滤纸的面积

Figure 3 Consumption areas of *C. kiangsu* adults on filter paper treated with the different concentrations of ammonium bicarbonate solution or deionized water

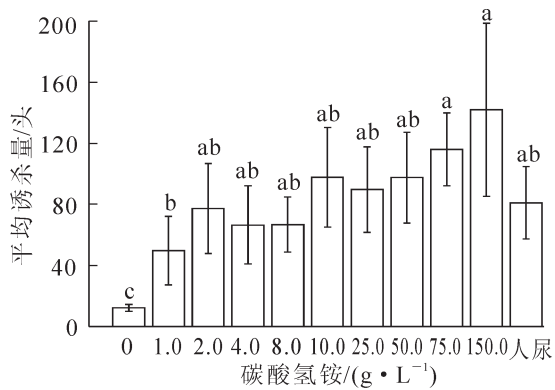


图 4 不同毒饵诱杀黄脊竹蝗成虫的数量

Figure 4 Mean number of *C. kiangsu* adults killed by different toxic baits in field trails

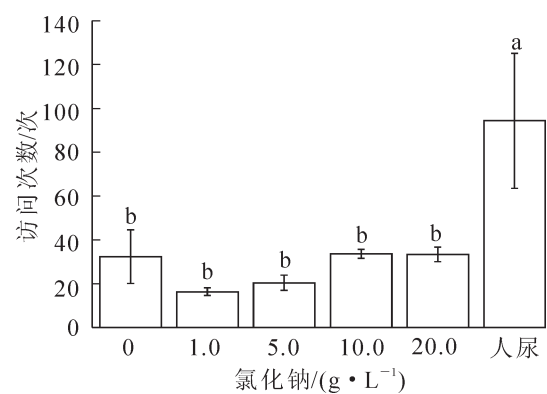


图 5 黄脊竹蝗对不同质量浓度氯化钠溶液、去离子水以及发酵 30 d 人尿的访问次数

Figure 5 Mean visits of *C. kiangsu* adults on different trays treated with different concentrations of sodium chloride solution, deionized water or incubated human urine

之间差异不显著(图 6, $P>0.05$); 黄脊竹蝗对经发酵人尿处理的滤纸表现出明显的偏好, 取食面积显著高于其他处理, 达 $(4.44 \pm 1.25) \text{ cm}^2$ (图 6, $P<0.05$)。

2.2.3 不同质量浓度的氯化钠溶液处理的诱捕器诱杀黄脊竹蝗的数量 所设置的全部处理均能诱杀到黄脊竹蝗成虫, 氯化钠溶液的诱捕量随质量浓度的升高而降低, 但各质量浓度溶液间差异不显著(图 7)。氯化钠溶液中, $10.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氯化钠溶液诱捕量最大, 达 (62.25 ± 15.39) 头, 明显多于去离子水诱捕量 (30 ± 5.24) 头, 但显著少于发酵人尿的诱杀量 (141.8 ± 42.36) 头。

3 讨论与结论

“趋泥”行为是昆虫趋向并吸食湿泥沙、浅水、汗液、海水、动物眼泪、唾液、粪便和尸体腐烂液的现象, 迄今为止, 这一现象已在 21 个科的蝶、蛾类昆虫和少量膜翅目、半翅目 Hemiptera 昆虫中发现^[5-6,9]。大量研究表明: “泥源”中钠盐和氮素是激发昆虫趋泥的最主要动力, 且提出了“婚姻馈赠说”等假说来加以验证^[5,12-13]。本研究测定了黄脊竹蝗成虫对碳酸氢铵和氯化钠溶液的行为反应, 结果表明: 黄脊竹蝗对经氯化钠和碳酸氢铵溶液有明显的取食趋向, 经碳酸氢铵处理滤纸被取食面积及诱杀竹蝗数量均明显高于去离子水, 成虫对经氯化钠处理的滤纸的取食面积也大于去离子水处理, 研究结果进一步证实了铵盐、钠盐咀嚼式口器昆虫黄脊竹蝗趋泥行为中发挥着关键作用。但泥沙、汗液、动物粪便等“泥源”中的其他物质在昆虫趋泥行为中作用尚未有过报道, 昆虫如何搜寻到泥源也未有定论^[5,9]。

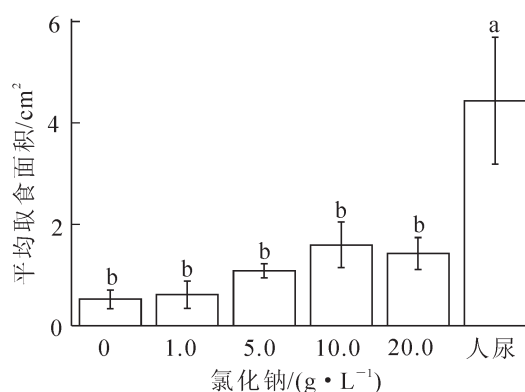


图 6 黄脊竹蝗取食经氯化钠溶液、去离子水以及人尿处理的滤纸面积

Figure 6 Consumption areas of *Ceracris kiangsu* adults on filter paper treated with the different concentrations of sodium chloride solution or deionized water or incubated human urine

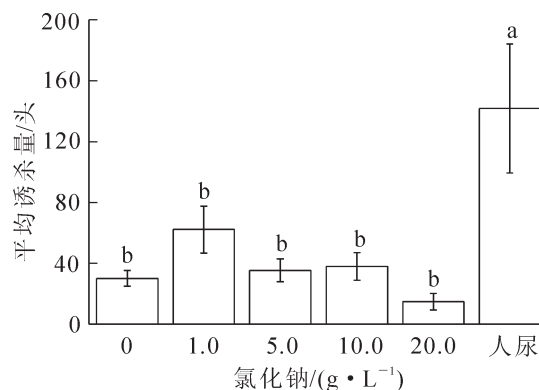


图 7 不同质量浓度氯化钠溶液、去离子水以及发酵 30 d 人尿处理诱杀竹蝗的数量

Figure 7 Mean number of *C. kiangsu* adult killed by different trays treated with the different concentrations of sodium chloride solution or deionized water or incubated human urine

对于昆虫在趋泥过程中如何定位泥源存在着视觉说^[7,20]、嗅觉说^[9-10]等 3 种推测。Yu 等^[14]及舒金平等^[10]研究推测视觉和嗅觉可能是黄脊竹蝗定位泥源的重要途径。本研究选择了易挥发的碳酸氢铵和不挥发的氯化钠 2 类物质测定黄脊竹蝗的行为反应。结果表明：黄脊竹蝗对 $75.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 碳酸氢铵溶液处理滤纸访问次数、取食面积明显高于去离子水，而对氯化钠溶液处理的行为反应与去离子水基本相当；林间诱杀试验中， $150.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 碳酸氢铵诱杀的竹蝗数量明显多于人尿，而氯化钠溶液的诱杀量显著低于人尿。这些研究结果进一步证实了挥发性物质在竹蝗趋泥行为中发挥着重要作用。

在炎热的环境中，一些昆虫面临着大量失水的威胁^[15]，因此，有研究认为补充水分可能是激发昆虫趋泥行为的动力之一^[16-17]。黄脊竹蝗成虫在夏天高温条件下取食、交配及产卵，且体型较大，因此，需要补充水分来保证其身体的水分平衡。Yu 等^[15]的研究结果也证明：黄脊竹蝗成虫对水有明显的取食偏好。本研究中黄脊竹蝗对去离子水处理的访问及取食也证实摄取水分可能是黄脊竹蝗趋泥的驱动力。

获取钠盐是蝶、蛾类昆虫发生趋泥行为的主要动力，因钠盐难以挥发，鳞翅目昆虫搜索泥沙中钠盐的机制尚未明确^[5,10]。触角、上颚须等器官上的传感器是昆虫感知外界物理及化学刺激的主要途径，在昆虫传感器感觉谱范围内的外界刺激才能被感知，且感知强度因刺激大小相应变化。昆虫在搜寻泥源的过程中，泥源中钠盐及氮素浓度对于昆虫的趋向及取食行为有显著影响^[10]。北美大凤蝶 *Papilio glaucus* 对含泥源的访问次数及停留时间随钠盐浓度 ($10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 的升高而增加^[3]；Inoue 等^[8]的研究表明：日本虎凤蝶 *Luehdorfia japonica*，橘凤蝶 *P. xuthus*，碧凤蝶 *P. bianor* 及蓝凤蝶 *P. protenor* 等 4 种凤蝶对钠离子浓度为 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的泥源表现出明显的偏好。我们的研究结果证实了铵盐及钠离子质量浓度对黄脊竹蝗的趋泥行为有显著影响，与 Arms 等的研究结果类似， $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸氢铵和氯化钠溶液即可激发黄脊竹蝗的趋向反应，随着铵盐及钠离子质量浓度的升高访问次数逐渐增多。在所设定的“泥源”质量浓度中，黄脊竹蝗成虫对 $75.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸氢铵溶液有明显偏好， $10.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钠溶液对黄脊竹蝗成虫的吸引力最强，但不同质量浓度氯化钠溶液间的选择性差异不显著。

Inoue 等^[8]的研究表明：日本虎凤蝶成虫通过喙内的触觉传感器感知环境中的钠离子浓度以定位泥源。黄脊竹蝗口器为咀嚼式，与凤蝶的虹吸式口器差异极大，这种差异可能是造成黄脊竹蝗对氯化钠溶液的访问数量与去离子水相当的主要原因。触角、唇须等是黄脊竹蝗感知外界物理及化学刺激的重要器官，其上是否分布了钠离子感受器需要进一步的电生理测定。

2009 年，我们在广东广宁县竹蝗发生区设置了不同质量浓度的碳酸氢铵溶液混合杀虫双进行黄脊竹蝗的诱杀试验，结果表明：不同质量浓度碳酸氢铵毒饵均能诱杀到少量竹蝗成虫，但诱杀量显著低于人尿对照^[18]，而本研究中质量浓度 $\geq 10.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸氢铵毒饵平均诱杀量均超过了人尿对照，造成此现象可能有以下原因：①黄脊竹蝗在广宁地区取食青皮竹 *Bambusa textilis*，而在湖南地区以毛竹为食，不同寄主叶片中氮素等成分的含量不同可能导致黄脊竹蝗对氮素等营养物质的需求不同，从而引发行为

发生变化; ②广东广宁县和湖南桃江县在地理位置、气候、寄主等方面存在明显差异, 是否形成了不同的黄脊竹蝗地理种群, 两者间行为存在差异。上述推测需要大量的试验验证, 将在后续的研究中展开。

4 参考文献

- [1] HERNÁNDEZ L M A, TODD E V, MILLER G A, *et al.* Salt intake in Amazonian ants: too much of a good thing [J]. *Insect Soc*, 2012, **59**(3): 425 – 432.
- [2] MOLLEMAN F, ZWAAN B J, BRAKEFIELD P M. The effect of male sodium diet and mating history on female reproduction in the puddling squinting bush brown *Bicyclus anynana* (Lepidoptera) [J]. *Behav Ecol Sociobiol*, 2004, **56**(4): 404 – 411.
- [3] ARMS K, FEENY P, LEDERHOUSE R C. Sodium: stimulus for puddling behavior by tiger swallowtail butterflies, *Papilio glaucus* [J]. *Science*, 1974, **185**(4148): 372 – 374.
- [4] SMEDLEY S R, EISNER T. Sodium uptake by puddling in a moth [J]. *Science*, 1995, **270**(5243): 1816 – 1818.
- [5] MOLLEMAN F. Puddling: from natural history to understanding how affects fitness [J]. *Entomol Exp Appl*, 2010, **134**(2): 107 – 113.
- [6] BOGGS C L, DAU B. Resource specialization in puddling Lepidoptera [J]. *Environ Entomol*, 2004, **33**(4): 1020 – 1024.
- [7] BECK J, MÜHLENBERG E, FIEDLER K. Mud-puddling behavior in tropical butterflies: in search of proteins or minerals [J]. *Oecologia*, 1999, **119**(1): 140 – 148.
- [8] INOUE T A, HATA T, ASAKA K, *et al.* Japanese *Papilio* butterflies puddle using Na⁺ detected by contact chemosensilla in the proboscis [J]. *Naturwissenschaften*, 2012, **99**(12): 985 – 998.
- [9] SHEN Ke, WANG Haojie, SHAO Lin, *et al.* Mud-puddling in the yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu* (Oedipodidae: Orthoptera): Does it detect and prefer salts or nitrogenous compounds from human urine [J]. *J Insect Physiol*, 2009, **55**(1): 78 – 84.
- [10] 舒金平, 滕莹, 刘剑, 等. 黄脊竹蝗对不同发酵天数人尿的行为反应[J]. 生态学杂志, 2013, **32**(4): 946 – 951.
SHU Jinping, TENG Ying, LIU Jian, *et al.* Behavioral responses of yellow-spined bamboo locust *Ceracris kiangsu* to human urine fermented for different days [J]. *Chin J Ecol*, 2013, **32**(4): 946 – 951.
- [11] 王浩杰, 邵林, 舒金平, 等. 源于人尿的黄脊竹蝗取食刺激剂的分析[J]. 南京农业大学学报, 2010, **33**(2): 115 – 118.
WANG Haojie, SHAO Lin, SHU Jinping, *et al.* Analysis of some human urine-borne phagostimulants to the yellow spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu* [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2010, **33**(2): 115 – 118.
- [12] SMEDLEY S R, EISNER T. Sodium: a male moth's gift to its offspring [J]. *Proc Nat Acad Sci*, 1996, **93**(2): 809 – 813.
- [13] MOLLEMAN F, GRUNSVEN R H A, LIEFTING M, *et al.* Is male puddling behaviour of tropical butterflies targeted at sodium for nuptial gifts or activity? [J]. *Biol J Linn Soc*, 2005, **86**(3): 345 – 361.
- [14] YU Haiping, WANG Zhitian, XIAO Kai, *et al.* Green preference enhances the attractiveness of and promotes feeding on NaCl resource in the yellow-spined bamboo Locust, *Ceracris kiangsu* [J]. *J Insect Behav*, 2010, **23**(6): 472 – 480.
- [15] YU Haiping, SHAO Lin, XIAO Kai, *et al.* Hygropreference behaviour and humidity detection in the yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu* [J]. *Physiol Entomol*, 2010, **35**(4): 379 – 384.
- [16] LAUNER A E, MURPHY D D, BOGGS C L, *et al.* Puddling behavior by bay checkerspot butterflies (*Euphydryas editha bayensis*) [J]. *J Res Lepid*, 1996, **32**: 45 – 52.
- [17] BÄNZIGER H, BOONGIRD S, SUKUMALANAND P, *et al.* Bees (Hymenoptera: Apidae) that drink human tears [J]. *J Kansas Entomol Soc*, 2009, **82**(2): 135 – 150.
- [18] 程佳, 王浩杰, 李国清, 等. 人尿及汗液中几种化合物对黄脊竹蝗的引诱活性[J]. 昆虫知识, 2009, **46**(6): 915 – 920.
CHENG Jia, WANG Haojie, LI Guoqing, *et al.* Attractive activity of some human urine chemicals toward the yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu* (Orthoptera: Oedipodidae) [J]. *Chin Bull Entomol*, 2009, **46**(6): 915 – 920.