

黄脊竹蝗引诱剂的筛选及应用*

张 威, 舒金平**, 孟海林, 张守科, 吴 鸿, 王浩杰

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的]优化黄脊竹蝗引诱剂配方,更好地实现黄脊竹蝗的有效控制。[方法]配制不同的引诱剂,通过林间诱杀试验测定不同配方毒饵对黄脊竹蝗的诱杀效果。[结果]NaCl 2% + NH₄HCO₃ 10% + Indole 5‰配方所制成毒饵诱杀黄脊竹蝗效果最好,24 h 内的诱杀量可达 639.4 ± 48.14 头·诱捕器⁻¹,其次是 2% NaCl + 10% NH₄HCO₃ 配方,平均诱杀量达 580.8 ± 40.36 头·诱捕器⁻¹,与发酵人尿的诱杀量差异不显著($P > 0.05$),应用时间显著影响各配方的诱杀效果。NaCl 和 NH₄HCO₃ 是人尿引诱黄脊竹蝗的关键物质,挥发物 Indole 对诱杀具有增效作用。[结论]应用人工配制的引诱剂诱杀黄脊竹蝗能显著降低林间成虫的种群数量,且能杀死大量雌虫,可用于林间黄脊竹蝗防治。

关键词: 趋尿行为;黄脊竹蝗;诱杀剂;防治

中图分类号:S763

文献标识码:A

Field Screening and Application of Attractants for the Control of Yellow-spined Bamboo Locust, *Ceracris kiangsu*

ZHANG Wei, SHU Jin-ping, MENG Hai-lin, ZHANG Shou-ke, WU Hong, WANG, Hao-jie

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To develop effective toxic attractants for the control of yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu*. [Methods] The attractants for *C. kiangsu* adults were examined by field screening, and the effects of various toxic attractant baits were tested in bamboo forest of Hu'nan Province. [Results] The attractant, NaCl 2% + NH₄HCO₃ 10% + Indole 5‰ (639.4 ± 48.14 adults killed per bait) was the most effective to kill *C. kiangsu* adults among all the attractants tested, followed by NaCl 2% + NH₄HCO₃ 10% (580.8 ± 40.36 adults killed per bait). The trapping effect of different attractants was influenced significantly by the duration of application in field. Sodium chloride and ammonium bicarbonate were the key chemicals attracting *C. kiangsu* adults, and Indole could enhance the attractiveness of the attractants. [Conclusion] Trapping and killing *C. kiangsu* adults with the attractants blended with different chemicals and toxic pesticide could decrease the population of the yellow-spined bamboo locusts, and the number of females killed was much more than the number of males.

Keywords: urine-puddling; *Ceracris kiangsu*; attracticide; control

黄脊竹蝗 (*Ceracris kiangsu* Tsai) 隶属于直翅目 (Orthoptera)、网翅蝗科 (Arcypteridae)、竹蝗亚科 (Ceracrinae)、竹蝗属 (*Ceracris* Walker), 是我国南方最为重要的竹子害虫^[1-2]。黄脊竹蝗以成虫、若虫

收稿日期: 2016-04-29

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY15C16001); 国家自然科学基金项目(31100480)。

作者简介: 张 威(1985—), 男, 河南南阳人, 助理研究员, 博士, 从事昆虫行为生态和化学生态学研究。

* 感谢湖南省桃江县林业局练佑明等在试验过程中给予的帮助。

** 通讯作者: 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.

分散或群聚取食竹叶,因其发生时种群密度高,取食量大,被害竹林竹叶被取食殆尽,如同火烧过一般,轻者竹子生长衰退,次年不出笋,重者竹子竹秆内积水死亡^[3]。近年来,随着竹子种植面积不断扩大,黄脊竹蝗发生频度及危害面积逐年上升,在广东广宁、湖南桃江、浙江临安等主要竹乡先后爆发成灾,造成重大的经济损失^[1-3]。黄脊竹蝗的防控一直是国内外学者研究的热点,先后提出了挖掘虫卵^[4]、引入红头芫菁(*Epicauta ruficeps* Illiger)^[5]、喷施或竹腔注射化学药剂或释燃放化学烟剂等防治手段^[6-7],虽有一定效果,但方法存在较大局限性或危险性。黄脊竹蝗爆发面积广,虫源地难以判定,挖掘蝗虫卵费时费力,且挖掘的卵量有限,防治效果较差;红头芫菁的控制能力有限,需要种植泡桐(*Paulownia* spp.)等寄主植物,在陡峭山区难以实施,且可能为其它作物带来灾害;黄脊竹蝗的化学防治主要针对在地表附近活动的跳蝻,上竹后因竹子高大,农药防治操作困难,且黄脊竹蝗发生地多为水源涵养林或生态林,农药防治易造成环境污染。研发新型、安全、高效的竹蝗控制技术是当前竹蝗治理的迫切任务。

黄脊竹蝗成虫期的取食量显著高于若虫期,是防治的关键时期。经观察发现黄脊竹蝗成虫在夏天有嗜食人尿的特性,具有明显的趋尿行为,利用毒尿诱杀黄脊竹蝗已成为控制竹蝗重要的技术手段,已在浙江、湖南等竹蝗灾区进行应用,效果显著^[8-10],舒金平等(2013)利用不同发酵天数的人尿诱杀竹蝗,结果发现发酵30 d的人尿配制的毒饵对竹蝗的诱杀效果最佳。但随着人居环境和卫生条件的改善,传统式的排尿积肥设备(粪桶)逐渐被遗弃,以人尿作为原料控制竹蝗的方法将无法实施,因此寻找替代物或更具引诱作用的引诱剂显得至关重要。研究发现,黄脊竹蝗成虫对氯化钠、碳酸氢铵及乙醇等物质有明显的趋性^[10-11],我国学者利用碳酸铵、尿素等物质混合不同农药进行了简要的竹蝗诱杀剂筛选,但配比较为粗略,未能形成稳定高效的诱杀效果及配方。本研究在研究黄脊竹蝗趋尿行为化学机制的基础上,利用上述化合物,配制了不同引诱剂并进行了林间诱杀效果测定,旨在为黄脊竹蝗高效诱杀剂的筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地选在湖南省益阳市桃江县桃花江景区境

内,28°16'43" N,111°59'10" E,海拔高度221 m。试验地为毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)纯林,竹龄2~6 a,林下有少量石栎(*Lithocarpus glabra* (Thunb.) Nakai)、茶树(*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze.)及映山红(*Rhododendron simsii* Planch.)等灌木,土壤为砂质红壤,弱酸性。试验时林间白天平均气温31.6℃,上午10:00利用扫网法测定林内黄脊竹蝗成虫虫口密度10~19头·m⁻²。

1.2 试验材料

1.2.1 人尿的收集及处理 人尿液样品收集方法参考舒金平等(2013)的取样及处理方法^[12]。收集一天的尿液约5 L,尿液收集后立即混合并装入洁净的圆筒形玻璃缸(开口直径 ϕ =20 cm)中,缸口套上纱布防止昆虫等外物进入,置于玻璃室内发酵(自然日照,发酵平均气温约28.3℃)30 d冷冻备用。

1.2.2 供试的化合物 本研究共选用氯化钠等4种化合物,详见表1。

表1 供试化合物

化合物	纯度/%	生产厂家
氯化钠	95	天津市科密欧化学试剂有限公司
乙醇	99	国药集团化学试剂有限公司
碳酸氢铵	95	上海试维化工有限公司
吲哚	99	Alfa Aesar

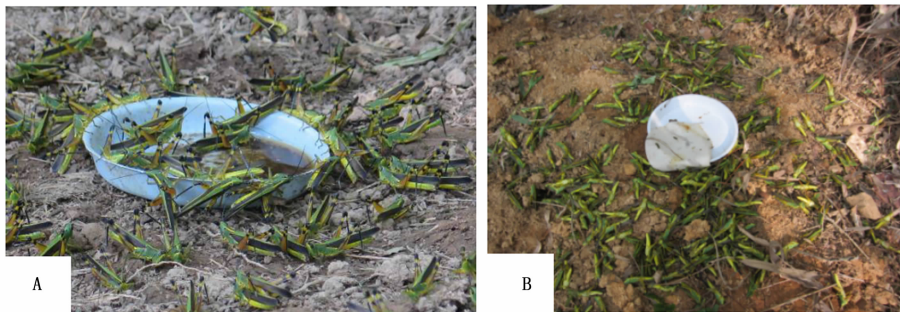
1.3 引诱剂的配制

本研究共试验了6个配方,同时设置水和发酵人尿2个对照处理:(A)NaCl 2% + Indole 5%,(B)NaCl 2% + NH₄HCO₃ 10%,(C)NaCl 2% + CH₃CH₂OH 20%,(D)NaCl 2% + NH₄HCO₃ 10% + Indole 5%,(E)NaCl 2% + CH₃CH₂OH 20% + Indole 5%,(F)NH₄HCO₃ 10% + Indole 5%,(G)水,(H)发酵人尿。其中百分比均为质量分数。在配制时,所有加入了Indole的溶液均加入1%的Triton-100(体积比)。因这些物质挥发性较强,所有溶液均现配现用,以保证试验的精确度。

1.4 不同配方毒饵诱杀效果测定

黄脊竹蝗的诱杀方法参考舒金平等(2013)所使用的方法^[12]。利用2张滤纸(ϕ =15 cm)半重叠置于塑料托盘(ϕ =14 cm)内制作成诱捕器,8个为一组。上午8:00前将各组中的8个诱捕器每隔10 m布置于黄脊竹蝗发生林分山体同一海拔线上,在各诱捕器内分别加入上述8种混合溶液或水各50 mL,同时加入5 mL 18%杀虫双(湖南南天实业股份有限公司)混配制作成毒饵。黄脊竹蝗随后前

来啃食滤纸并中毒死于诱捕器的周围(图1-A、B)。下午17:00后清理统计以诱捕器为中心,直径2m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。清理结束后,以塑料盒覆盖诱捕器以保护诱捕器在夜间不遭破坏。翌日上



A:正在取食的黄脊竹蝗;B:诱杀的黄脊竹蝗

图1 不同毒饵对黄脊竹蝗的诱杀效果

1.5 林间诱杀防治效果测定

利用2张滤纸($\phi = 15\text{ cm}$)半重叠置于塑料托盘($\phi = 14\text{ cm}$)内制作成诱捕器,加入 $\text{NaCl } 2\% + \text{NH}_4\text{HCO}_3\ 10\% + \text{Indole } 5\%$ 配方溶液20 mL,同时加入2 mL 18%杀虫双混配制作成毒饵,在未开展诱杀试验的竹林内进行黄脊竹蝗防治。竹林面积约1 000 m^2 ,以每50 m^2 设置1个诱捕器的密度在竹林内共设置20个诱捕器,每天早上8:00更换新的毒饵和诱捕器,每天17:00清理统计诱杀的竹蝗数量和性比^[12,17]。同时利用扫网法测定试验林和对照林间的竹蝗成虫密度和性比。防治连续5 d。

1.6 数据处理

试验数据采用SPSS 11.5软件进行统计分析,用Origin 8.0软件绘图。采用单因素方差分析(One-Way ANOVA,各处理间的多重比较采用LSD法)对不同配方毒饵黄脊竹蝗诱杀量进行差异性分析。所诱杀的黄脊竹蝗及林间随机网捕到的黄脊竹蝗雌、雄虫数量间的比较采用卡方检验(χ^2 test)。

2 结果与分析

2.1 不同配方毒饵诱杀黄脊竹蝗的数量

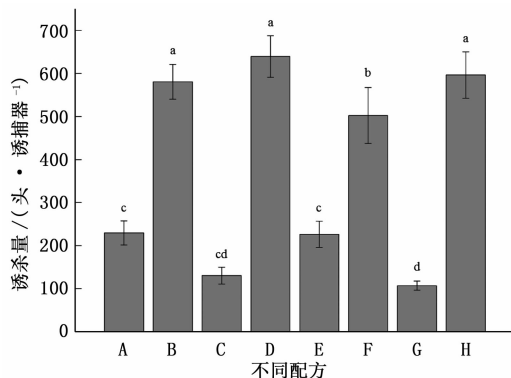
不同配方毒饵对黄脊竹蝗成虫产生明显的诱杀作用。方差分析结果表明(表2),不同配方(包括正负对照)毒饵对黄脊竹蝗成虫诱杀量存在显著差异($P < 0.01$)。多重比较表明,D配方所制成的毒饵诱杀效果最佳,每天可诱杀黄脊竹蝗 639.4 ± 48.14 头·诱捕器⁻¹,显著高于发酵A、C、E、F配方所制成毒饵及清水对照,而B配方配制的毒饵和发酵人尿

午8:00,移除塑料盒,并在每个诱捕器中添加2张新滤纸继续诱杀竹蝗,在17:00后统计第2日各诱捕器诱杀量,第3日重复第2日试验。每个处理5个重复。

差异不显著(图2)。去离子水(负对照)诱杀效果最差,仅为 107 ± 10.45 头,但在每个重复中均能诱杀到黄脊竹蝗。

表2 不同配方毒饵对黄脊竹蝗成虫诱杀量的单因素方差分析

变异因素	平方和	自由度	均方	F	P
不同处理间	1 761 936.00	7	251 705.07	30.418	0.000
误差	2 643 798.40	32	8 274.95		
总计	2 026 734.00	39			



A: $\text{NaCl } 2\% + \text{Indole } 5\%$; B: $\text{NaCl } 2\% + \text{NH}_4\text{HCO}_3\ 10\%$; C: $\text{NaCl } 2\% + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH } 20\%$; D: $\text{NaCl } 2\% + \text{NH}_4\text{HCO}_3\ 10\% + \text{Indole } 5\%$; E: $\text{NaCl } 2\% + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH } 20\% + \text{Indole } 5\%$; F: $\text{NH}_4\text{HCO}_3\ 10\% + \text{Indole } 5\%$; G: 水; H: 发酵人尿。

图中相同字母表示差异不显著。下同

图2 不同配方毒饵的诱杀效果

2.2 不同配方引诱剂在3 d内诱杀量的变化

研究表明,所配制的引诱剂的诱杀效果均受时间影响显著,所诱杀的黄脊竹蝗成虫数量在3 d内存在显著差异(表3, $P < 0.05$)。在试验周期内,

由不同配方配制的引诱剂毒饵的持续诱杀能力不强,第2天各配方引诱剂的诱杀量显著降低,到第3天基本和负对照(去离子水)的诱杀量相当(表3, $P > 0.05$)。在所有供试的引诱剂中,发酵人尿的持续性最佳,第3天的诱杀量显著高于其它诱杀剂(表3)。

表3 不同配方引诱剂3 d内诱杀量变化

引诱剂配方	诱杀量(平均值±标准误)/(头·诱捕器 ⁻¹)		
	第1天	第2天	第3天
NaCl + Indole	229.6 ± 28.03c	80.2 ± 8.75d	49.8 ± 9.01c
NaCl + NH ₄ HCO ₃	580.8 ± 40.36a	227 ± 32.70b	84 ± 10.44b
NaCl + CH ₃ CH ₂ OH	130.2 ± 19.61cd	65.2 ± 7.82e	38.6 ± 5.48c
NaCl + NH ₄ HCO ₃ + Indole	639.4 ± 48.14a	239.4 ± 44.46b	84.4 ± 15.32b
NaCl + CH ₃ CH ₂ OH + Indole	226.2 ± 30.53c	127.6 ± 21.91c	82.2 ± 12.87b
NH ₄ HCO ₃ + Indole	502.2 ± 64.67b	317.4 ± 199.42a	90 ± 7.22b
水	107 ± 10.45d	85.2 ± 9.49d	109 ± 10.97b
发酵人尿	596.2 ± 53.85a	327.8 ± 37.85a	191.4 ± 22.85a

注:表中相同字母表示同一列中差异不显著。

2.3 诱杀的黄脊竹蝗雌雄比

通过对不同引诱剂毒饵所诱杀的黄脊竹蝗成虫的性别的统计表明(表4),共统计竹蝗15 098头,其中雌蝗有13 647头,占90.39%,雌雄比在6.34~19.93之间,所诱杀的雌蝗数量显著多于雄蝗($\chi^2 = 218.3, P < 0.05$)。试验期间,在林间随机网捕黄脊竹蝗417头,其中雌虫201头,占48.20%,雌雄比为0.74:1,雌、雄成虫数量差异不显著($\chi^2 = 71.3, P > 0.05$)。

表4 不同配方引诱剂诱杀的黄脊竹蝗成虫性比

引诱剂配方	统计总数/头	雌虫/头 雄虫/头		性比
		雌虫/头	雄虫/头	
NaCl + Indole	1 148	997	151	6.60
NaCl + NH ₄ HCO ₃	2 904	2 531	373	6.79
NaCl + CH ₃ CH ₂ OH	651	581	70	8.30
NaCl + NH ₄ HCO ₃ + Indole	3 197	2 910	287	10.14
NaCl + CH ₃ CH ₂ OH + Indole	1 131	977	154	6.34
NH ₄ HCO ₃ + Indole	2 511	2 391	120	19.93
水	575	499	76	6.57
发酵人尿	2 981	2 761	220	12.55
自然状态	471	201	270	0.74

2.4 诱杀效果分析

林间诱杀结果表明,在同一块林分内,随着时间的推移,诱杀剂毒饵所诱杀的黄脊竹蝗成虫数量下降极显著($F_{95,4} = 33.144, P < 0.0001$),由第1天的 306.1 ± 30.1 头·诱捕器⁻¹下降至第5天的 53.45 ± 4.43 头·诱捕器⁻¹。其中雌虫下降最为显著,而

雄虫诱杀量变化不大(图3)。防治竹林和对照竹林随机网捕调查结果表明,经过5 d的诱杀后,黄脊竹蝗虫口密度下降极显著($F_{45,4} = 23.478, P < 0.0001$),而对照竹林内黄脊竹蝗虫口密度变化不大($P > 0.05$,图4)。

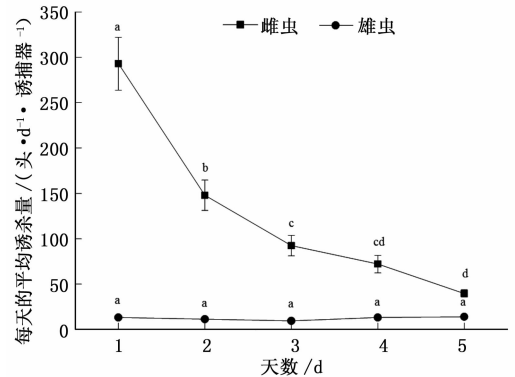


图3 5 d内引诱剂毒饵每天诱杀的黄脊竹蝗成虫数量

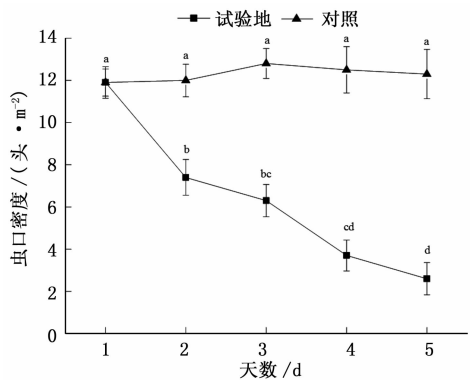


图4 5 d内防治竹林和对照竹林黄脊竹蝗虫口密度

3 讨论

黄脊竹蝗成虫在炎热的夏季对发酵人尿及汗液有明显趋向行为,学者将此类行为定义为“趋泥”(mud-puddling)行为。与此相类似的行为在蝶、蛾类鳞翅目(Lepidoptera)昆虫中较为普遍,已经在凤蝶科(Papilionidae)、蛱蝶科(Nymphalidae)及天蛾科(Sphingidae)等20余科的昆虫中发现^[13-15],取食的对象是泥沙、汗液、动物眼泪、唾液、粪便及尸体腐烂液等。黄脊竹蝗的趋尿行为是迄今首例报道的咀嚼式口器昆虫的“趋泥”行为^[11, 16],前期研究发现黄脊竹蝗对尿液中的钠盐、铵盐、吡啶及乙醇等物质有明显的趋向反应^[10-11, 17],部分学者也利用碳酸氢铵等物质进行了黄脊竹蝗的诱杀^[18]。本研究中选用不同化合物进行组合,进行黄脊竹蝗高效毒饵筛选,结果表明,所有的配方均能诱杀到黄脊竹蝗成虫,其中

以D配方所制成的毒饵诱杀效果最佳,第1天可诱杀黄脊竹蝗 639.4 ± 48.14 头。

发生“趋泥”行为的昆虫所取食的动物眼泪、唾液、粪便或尸体腐烂液等“泥源”中往往富含盐类、氮素或氨基酸,大量对鳞翅目昆虫“趋泥”行为的研究证实摄取钠盐和氮素是昆虫“趋泥”的主要动力^[19-21]。本研究选用NaCl及碳酸氢铵作为关键化合物进行诱杀剂配制,结果进一步证实了NaCl及碳酸氢铵能显著刺激黄脊竹蝗取食,是其趋泥行为发生的主要驱动力。同时研究结果还表明,具有臭味的挥发物Indole对NaCl及碳酸氢铵引诱黄脊竹蝗有增效作用,可能原因是Indole的挥发性气味能够明显刺激竹蝗对泥源的搜索定位,因此加入Indole能够明显提升对竹蝗的引诱量。但因碳酸氢铵和Indole均易挥发,因此引诱剂的持续时间不长,3d内诱杀效果降低显著。相比而言,发酵人尿诱杀作用持续时间较长,因人尿成分复杂,挥发物包括乙酸、丁酸、吡啶、硫化物等百余种化合物^[22-23],可能还存在具有显著吸引作用的挥发物组分^[24]。同时,在发酵过程中尿素逐渐分解形成黄脊竹蝗喜好的碳酸氢铵,且Indole等挥发物随着发酵持续释放,保证了其对黄脊竹蝗成虫持续的引诱作用。

大量研究结果表明,发生趋泥行为的鳞翅目昆虫雄性明显多于雌性,学者对此现象提出了“婚姻馈赠说”加以解释^[14, 25-26]。程佳等在广东的试验结果表明,人尿毒饵诱杀的黄脊竹蝗主要是雌虫,所占比例约为99.77%^[16]。本研究的结果表明,人尿毒饵诱杀到的黄脊竹蝗成虫中雌虫所占比例高达90.39%,与前者基本一致。造成这一差异可能是雌虫完成交配生殖需要人尿中的钠盐或氮素,而雄虫不需要,推测均需要进一步研究数据来证实。另外,毒饵在5d内诱杀的雄成虫比例上升可能是因为随着时间的推移黄脊竹蝗交配率增高造成的。

本研究筛选出的黄脊竹蝗引诱剂用于林间诱杀防治结果表明,连续5d的成虫诱杀,林间的虫口密度由原来的 11.9 ± 0.64 头·诱捕器⁻¹下降至 2.6 ± 0.76 头·诱捕器⁻¹,差异显著,而对照林间虫口密度基本稳定。成虫阶段可用作者筛选出的配方取代人尿进行黄脊竹蝗防治,但需要及时更换引诱剂,因此后期将在人工配方的缓释性能上开展深入研究。

4 结论

黄脊竹蝗是我国最主要的竹子害虫之一,其监

测及防治一直是竹林培育及经营过程中重点关注的问题。本研究基于黄脊竹蝗趋尿行为的化学生态机制研究的相关结果,利用NaCl、NH₄HCO₃、Indole及CH₃CH₂OH 4种具有引诱或助活性的化合物,混用少量药剂人工配制了黄脊竹蝗成虫引诱剂,应用结果表明,所配制的引诱剂在林间均能诱杀到黄脊竹蝗成虫,5d内能显著降低林间成虫的种群数量,而且能杀死大量未产卵雌虫,可用于林间黄脊竹蝗的防治。

参考文献:

- [1] 舒金平,叶碧欢,吴小双,等. 竹子害虫及其防治技术研究进展[J]. 世界林业研究, 2015, 28(4): 50-57.
- [2] 徐天森,王浩杰. 中国竹子主要害虫[M]. 北京: 中国林业出版社.
- [3] 滕莹. 黄脊竹蝗“趋尿”的行为及化学机制研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [4] 陈世群,张文强. 缙云山区黄脊竹蝗防治措施研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1997, 22(4): 436-440.
- [5] 张太佐. 红头芜菁防治竹蝗的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(4): 370-375.
- [6] 王明旭,练佑明,李建华. 化学农药粉剂防治黄脊竹蝗跳蝻试验[J]. 湖南林业科技, 1993, 20(3): 11-13.
- [7] 练佑明,罗贤坤,李建华,等. 竹腔注射防治竹蝗药剂筛选试验[J]. 湖南林业科技, 2006, 33(1): 54-56.
- [8] Yu H P, Shen K, Wang Z T, et al. Population control of the yellow-spined bamboo locust, *Ceracris kiangsu*, using urine-borne chemical baits in bamboo forest [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 138(1): 71-76.
- [9] 朱朝华,朱卓俊,吴浙东,等. 药尿防治黄脊竹蝗试验[J]. 浙江林业科技, 2005, 25(5): 32-33.
- [10] 方蓉,吴鸿,王浩杰,等. 氯化钠和碳酸氢铵溶液对黄脊竹蝗的引诱效果[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(3): 434-439.
- [11] Shen K, Wang H J, Shao L, 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]. Journal of Insect Physiology, 2009, 55(1): 78-84.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Molleman F. Puddling: from natural history to understanding how it affects fitness [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 134(2): 107-1613.
- [15] Molleman F, Grunsven R H A, Liefing M, et al. Is male puddling behaviour of tropical butterflies targeted at sodium for nuptial gifts

- or activity? [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2005, 86(3): 345–361.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 练佑明, 王溪林, 李建华, 等. 黄脊竹蝗诱杀剂配比筛选试验[J]. *林业科技开发*, 2003, 17(6): 29–30.
- [19] Boggs C L, Jackson L A. Mud puddling by butterflies is not a simple matter [J]. *Ecological Entomology*, 1991, 16(1): 123–127.
- [20] Cahenzli F, Erhardt A. Nectar amino acids enhance reproduction in male butterflies [J]. *Oecologia*, 2013, 171(1): 197–205.
- [21] 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]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2005, 86(3): 345–361.
- [22] Wahl H G, Hoffmann A, Luft D, *et al.* Analysis of volatile organic compounds in human urine by headspace gas chromatography-mass spectrometry with a multipurpose sampler [J]. *Journal of Chromatography A*, 1999, 847(1): 117–125.
- [23] 程 佳, 潘涌智, 王浩杰, 等. 发酵人尿吸引黄脊竹蝗取食及其挥发性成分比较[J]. *西南林学院学报*, 2010, 30(3): 54–58.
- [24] 舒金平, 滕 莹, 张亚波, 等. 黄脊竹蝗对人尿挥发物的 EAG 反应 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33(3): 653–658.
- [25] Beck J, Muhlenber G E, Fiedler K. Mud-puddling behavior in tropical butterflies; in search of proteins or minerals [J]. *Oecologia*, 1999, 119(1): 140–148.
- [26] Molleman F, Javoš J, Esperk T, *et al.* Sexual differences in weight loss upon eclosion are related to life history strategy in Lepidoptera [J]. *Journal of Insect physiology*, 2011, 57(6): 712–722.

(责任编辑:金立新)