

温度对二化螟性信息素通讯的影响

余 棋 闫 祺 董双林*

(南京农业大学植物保护学院/农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室, 南京 210095)

摘 要 环境因素影响昆虫两性间的化学通讯,也影响性信息素技术的田间防治效果.本文探讨了温度对二化螟雌蛾性信息素产生以及雄蛾对性信息素触角电位反应的影响,以期为田间二化螟的性信息素防治提供指导.在二化螟蛹期和成虫期进行不同温度处理(15、20、25、30和35℃),然后利用气相色谱仪(GC)分析雌蛾性腺内各性信息素组分的含量及比例,同时利用触角电位仪(EAG)测定雄蛾对性信息素组分的电生理反应.结果表明:25℃处理中雌蛾性腺内3个性信息素组分(Z9-16:Ald、Z11-16:Ald和Z13-18:Ald)的含量均显著高于其他温度处理(15、20和30℃),且25℃处理中Z13-18:Ald的相对比例也显著低于其他温度处理.就雄蛾对性信息素的敏感性而言,对3种性信息素单一组分及特定比例混合物的EAG反应在15~25℃间没有显著差异,但在25~35℃间(Z13-18:Ald在30~35℃间)随温度升高呈下降趋势,且30℃较25℃显著降低,35℃较30℃又显著降低.综合分析认为,二化螟性信息素通讯的适宜温度为20~25℃,温度过高或过低均不利于二化螟两性间的正常化学通讯.研究结果为二化螟性信息素防治技术的合理应用及极端温度条件下害虫种群发生的预测预报,提供了重要参考.

关键词 二化螟; 性信息素通讯; 温度; 触角电位

Effect of temperature on the sex pheromone communication of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). YU Qi, YAN Qi, DONG Shuang-lin* (College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests, Ministry of Education, Nanjing 210095, China).

Abstract: Environmental factors affect the insect sex pheromone communication, and subsequently the attractiveness of sex pheromone lures used in pest control. In order to provide the guidance for the sex pheromone use in control of *Chilo suppressalis*, effects of temperature on the sex pheromone production in female moths and electro-physiological response of male moths to sex pheromones, were explored in our present study. The insects were treated with different temperatures (15, 20, 25, 30 and 35℃) at pupa and adult stages, then the contents and relative proportion of each of three pheromone components were determined by a gas chromatography (GC), and the electro-physiological response to sex pheromones were detected by an electroantennograph (EAG). Results showed that the contents of all three sex pheromone components (Z9-16:Ald, Z11-16:Ald and Z13-18:Ald) were highest in 25℃ treated females, significantly higher than those in other temperature treated females, and the relative proportion of Z13-18:Ald was significantly reduced in 25℃ treated females. On the male part, EAG responses to each of the three sex pheromone components and the tertiary blend showed no significant difference at temperatures between 15–25℃, but EAG values decreased significantly as the temperature increased to 30℃ and further to 35℃ for component Z9-16:Ald, Z11-16:Ald and the blend, and to 35℃ for Z13-18:Ald. Taken together, the optimum temperature for the sex pheromone communication was 20–25℃ in *C. suppressalis*, and too higher or lower temperature will affect the normal communication. The study provided an important reference for the use of sex pheromone in pest control, and for prediction of the development of pest population at extremely low or high temperature.

Key words: *Chilo suppressalis*; sex pheromone communication; temperature; electroantennograph.

本文由公益性行业(农业)科研专项(201303017)和国家自然科学基金项目(31372264)资助 This work was supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303017) and National Natural Science Foundation of China (31372264).

2017-05-12 Received, 2017-08-16 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sldong@njau.edu.cn

二化螟(*Chilo suppressalis*)是一种重要的水稻害虫。随着耕作制度改变、杂交水稻的大面积种植以及全球气候变暖,二化螟在我国一些地区的发生和危害趋于严重^[1]。尤其是近年来,随着氯虫苯甲酰胺类所谓特效药的大规模、高浓度的使用,二化螟的抗药性不断增强,据全国农技推广中心 2017 年发布的监测结果,湖南、江西、浙江、安徽等省部分地区二化螟对氯虫苯甲酰胺已产生抗性,其中江西的南城、浙江的苍南、余姚、象山抗性倍数由 2015 年的 16~70 倍上升到 2016 年的 27.8~74 倍^[2],使多地出现防治效果降低甚至失败,导致水稻减产^[3]。开发并利用二化螟非化学防治技术愈显重要。

利用性信息素防治二化螟是一种高效、无公害的新技术^[4]。多年来,昆虫性信息素的研究大多集中在一般生物学、化学和田间应用试验等方面^[5-7],对于性信息素生态学研究较少。事实上,尽管昆虫性信息素的合成、释放以及感受主要由内在生理因素决定^[8-11],但这些行为是否表现、表现的方式和程度却受到环境温度、光周期等多种生态因子的影响^[12]。从有效防治害虫的角度出发,进行性信息素生态学的研究更具重要性,其中温度、特别是成虫期的温度是最值得研究的生态因子之一^[10,12-17],但在二化螟中未有报道。本文通过对二化螟在蛹期和成虫期进行不同温度的处理,然后对雌蛾性腺中性信息素各组分的含量及相对比例、雄蛾对性信息素单一组分及混合物的电生理反应分别进行测定,探究了环境温度对二化螟性信息素通讯系统的影响。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及饲养条件

二化螟虫源采自江西余江县田间,由江西省农业科学院植物保护研究所黄水金研究员实验室惠赠。供试二化螟幼虫采用人工饲料继代饲养^[18],养虫室温度为 (25 ± 1) ℃、光暗周期为 16 L : 8 D、相对湿度为 70%~80%。幼虫化蛹后分雌雄,分别置于不同温度的光照培养箱(光周期和湿度同幼虫期),羽化后喂以 5% 的蜂蜜水,特定日龄时进行试验。

1.2 主要仪器和试剂

GDN 型光照培养箱由宁波东南仪器有限公司生产;触角电位仪由荷兰 Syntech 公司生产;SCION 456-GC 气相色谱仪由美国 Bruker 公司生产,使用氢火焰离子检测器 FID、HP-5 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm)。

供试正己烷购于天津科密欧化学试剂有限公

司,色谱纯级;3 种二化螟性信息素组分顺-11-十六碳烯醛(Z11-16:Ald)、顺-13-十八碳烯醛(Z13-18:Ald)、顺-9-十六碳烯醛(Z9-16:Ald)购于美国 Sigma 公司,纯度均大于 99%。

1.3 温度设置

二化螟雌、雄蛹分别置于不同的羽化笼内,放入光照培养箱。雌、雄虫均设 15、20、25、30 和 35℃ 共 5 个处理,一个培养箱内进行一个处理,每个处理约 40 头蛹。蛹开始羽化后逐日检查并更换羽化笼,使同日龄蛾处于同一个羽化笼内并做好标记,备用。

由于 35℃ 处理下的雌蛹大部分未能成功羽化,因此雌虫实际测定中只有 15~30℃ 共 4 个温度处理。

1.4 雌蛾性信息素的提取和分析

参考文献[19],选羽化当天暗期 2.5~3.5 h 的雌蛾进行单头提取,每个温度处理提取 20 头。用手轻轻挤压供试雌蛾腹部,迫使其伸出腺体,用手术剪将腺体剪下。将剪下的腺体置于滤纸上,轻轻压挤除去体液,放入自制微型玻璃管中,每管放置 1 个腺体,加入 10 μL 含有内标 12:Ac(含量为 10 ng·μL⁻¹)的正己烷。将微型玻璃管放入盛有少许正己烷的玻璃瓶(内径 1 cm、高 3 cm)中加密封盖,室温下静止浸提 1 h 后,用昆虫针轻轻将腺体挑出,保留提取液封盖并置于-20℃ 低温保存,待下一步进行气相色谱分析。

利用 GC 进行性信息素组分的定量分析。每个温度处理检测 20 头雌蛾的腺体提取液,每个腺体提取液检测一次。GC 条件为:起始温度 100℃,保持 2 min,然后以 10℃·min⁻¹的升温速率升至 220℃,保持 1 min。进样室温度为 220℃,检测室温度为 250℃。氮气作载气,进样量为 1 μL。采用内标法,以峰面积比对各性信息素组分进行定量。

1.5 雄蛾触角电位(EAG)反应测定

参考文献[20],于雄虫羽化后第二个暗期开始后的 2~5 h 进行试验。试验开始前,雄蛾一直放在各自不同温度的培养箱中。以正己烷作溶剂,配制 3 种性信息素组分的单组分及混合物(Z11-16:Ald : Z13-18:Ald : Z9-16:Ald=48 : 6 : 5^[21])溶液,浓度均为 10 ng·μL⁻¹。

EAG 反应测定方法参照文献[22]。用微量进样器分别取正己烷(对照)、性信息素单一及混合溶液 10 μL 滴到滤纸片(25 mm×7.5 mm)上,放置 3 min 待溶剂挥发后装入巴斯德管内,并用封口膜封闭两端,在室温下挥发 5 min 后将封口膜去除,并将巴斯德管连接到气路装置。用导电胶将触角粘到仪器的

电极两端,安好电极,进行 EAG 反应测定.

首先测定对正己烷的反应,然后测定性信息素各组分,最后再测定 1 次正己烷.将 2 次正己烷的测定值平均后作为对照反应值.每根触角每个组分连续刺激 3 次,每次刺激间隔 30 s,取 3 次的平均值.每个温度处理测定 20 头雄蛾,每头雄蛾测定 1 根触角.整个 EAG 试验在室温 (25±2) °C 下进行.

1.6 数据处理

采用 Excel 2016 和 SPSS 16.0 软件对数据进行统计分析.采用单因素 (one-way ANOVA) 和 LSD 法进行方差分析和多重比较 (α = 0.05).利用 Excel 2016 软件作图.表和图中数据均为平均值±标准误.

2 结果与分析

2.1 温度对雌蛾腺体内性信息素含量的影响

2.1.1 二化螟雌蛾单腺体提取液 GC 图谱 单腺体 GC 测定峰图见图 1.二化螟雌蛾性信息素的 3 种组分中,Z11-16:Ald 为主组分,Z9-16:Ald 和 Z13-18:Ald 为次要组分,其保留时间分别为 11.95、11.87 和 13.95 min.

2.1.2 温度对性信息素各组分含量的影响 不同温度下雌蛾性信息素含量的测定结果 (表 1) 表明,温度对二化螟性信息素的含量具有较大的影响.在 15~30 °C 的测定范围内,性信息素各组分的含量均以 25 °C 时最高,15 °C 时最低.15 °C 时,次要组分 Z9-16:Ald 和 Z13-18:Ald 的含量过低 (低于 0.1 ng),未能检测出.

2.1.3 温度对性信息素组分相对比例的影响 温度对各性信息素组分间的相对比例也有影响 (表 2).在被测的 3 个不同温度间,性信息素组分 Z9-16:Ald 和 Z11-16:Ald 的相对比例没有显著差异,但 Z13-

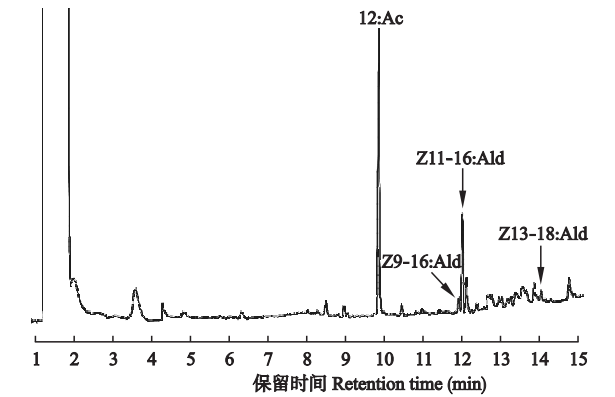


图 1 二化螟雌蛾单腺体提取液代表性 GC 图谱
Fig.1 GC diagram of extract from a single sex pheromone gland of female *Chilo suppressalis*.

表 1 温度对二化螟雌蛾各性信息素含量的影响
Table 1 Effects of temperature on the content of each sex pheromone component of female *Chilo suppressalis* moths (ng per female)

温度 Temperature (°C)	测定虫数 Number of detected moths	性信息素 Sex pheromone		
		Z9-16:Ald	Z11-16:Ald	Z13-18:Ald
15	20	—	0.61±0.06d	—
20	20	0.18±0.03b	1.13±0.07c	0.18±0.01b
25	20	0.39±0.04a	2.39±0.05a	0.29±0.02a
30	20	0.23±0.03b	1.36±0.08b	0.21±0.02b

—: 未检出 No detected. 同列不同字母表示差异显著 (P<0.05) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 2 温度对二化螟雌蛾性信息素各组分相对比例的影响
Table 2 Effects of temperature on relative proportion of each sex pheromone component of female *Chilo suppressalis* moths (%)

温度 Temperature (°C)	性信息素 Sex pheromone		
	Z9-16:Ald	Z11-16:Ald	Z13-18:Ald
20	11.9±1.5a	75.5±1.7a	12.6±0.9a
25	12.3±0.9a	78.3±1.0a	9.5±0.5b
30	12.4±1.4a	75.7±1.8a	12.0±0.9a

18:Ald 的相对比例在 25 °C 时显著低于 20 和 30 °C 处理.另外,15 °C 低温处理后 2 个次要组分太低以至于无法检测到,导致 3 个组分的相对比例无法比较.

2.2 不同温度下雄蛾对性信息素的 EAG 反应

对于不同温度下二化螟雄蛾向性信息素 EAG 反应的测定结果 (图 2) 表明,温度对雄蛾向性信息素的 EAG 反应同样具有较大的影响.雄蛾对各性信息素单一组分及混合组分的 EAG 反应值,在 15~

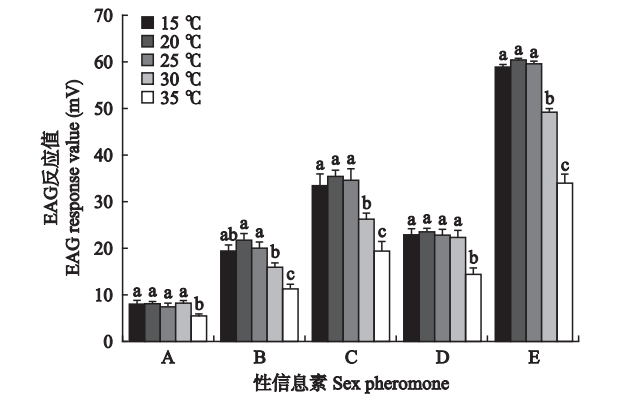


图 2 不同温度下二化螟雄蛾对性信息素的触角电位反应
Fig.2 EAG response to sex pheromones by male *Chilo suppressalis* under different temperatures.

A) N-hexane; B) Z9-16:Ald; C) Z11-16:Ald; D) Z13-18:Ald; E) 混合组分 Mixture of sex pheromone. 同一刺激物不同字母表示不同温度下差异显著 (P<0.05) Different letters in the same stimulant meant significant difference under different temperatures at 0.05 level.

25 ℃ 间没有显著差异;在 25~35 ℃ 间随温度升高呈下降趋势(对 Z13-18: Ald 的反应略有不同),且 30 ℃ 较 25 ℃ 显著降低,35 ℃ 较 30 ℃ 又显著降低.雄蛾对次要组分 Z13-18: Ald 的 EAG 反应,30 ℃ 较 15~25 ℃ 没有显著差异,但 35 ℃ 下显著降低.

3 讨 论

温度是影响昆虫求偶、交配等活动的重要环境因子,对雌蛾性信息素的合成和释放有明显的影响^[14],而蛾期的环境温度影响更大^[15].温度对蜀柏毒蛾(*Parocneria orienta*)雌蛾的性信息素影响显著:12 ℃ 处理的雌蛾性信息素腺体粗提物引起正常温度下雄蛾的 EAG 反应值显著小于其最适合生长发育温度 22 ℃ 下的反应值;随着温度的升高,反应值也显著提高,22 ℃ 时达到最高;当温度继续上升,反应值又显著降低,且 27 ℃ 较 22 ℃ 显著降低,31 ℃ 较 27 ℃ 又显著降低^[23].在不同环境温度下,枣镰翅小卷蛾(*Ancylis sativa*)产生的性信息素含量有显著差异:在温度为 21 ℃ 时最高,26 ℃ 时略低,而在 31 和 16 ℃ 时仅为 21 ℃ 时的 20%~25%^[13].环境温度对甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua*)性信息素的产生有显著的影响:15~25 ℃ 最有利于甜菜夜蛾产生性信息素,而 10 ℃ 低温和 35 ℃ 高温则使性信息素的产生受到明显影响,其中以 10 ℃ 低温的影响更大,10 ℃ 低温处理不仅使各组分的产生量显著降低,而且显著影响二元性信息素组分的比例^[24].我们针对重要水稻害虫二化螟的研究同样表明,温度对雌蛾性信息素腺体内各组分含量的影响较大.温度低时,雌蛾性信息素含量偏低,特别是在 15 ℃ 时单头雌蛾腺体内 2 个次要组分的含量难于检测到;随着温度的升高,性信息素的含量逐渐升高,25 ℃ 时达到最大值;但 30 ℃ 时有显著下降.由此可见,25 ℃ 是二化螟雌蛾性信息素合成的最适宜温度.

有关温度对雄虫向性信息素反应的影响研究较少.通常而言,越是适宜昆虫生长的环境温度,越有利于雄虫对性信息素的感受并产生相应的行为反应.雄性美洲大蠊(*Periplaneta americana*)对性信息素的 EAG 反应在 26.7 ℃ 时达到最大,在低温(10 ℃)下,雄虫的中枢神经系统受到抑制,导致其电生理反应较弱^[16].本文对二化螟雄蛾对性信息素电生理反应的测定结果表明,温度的影响显著.雄蛾对于 2 个单一组分(Z9-16: Ald、Z11-16: Ald)和混合组分的反应在 15~25 ℃ 间均较大,且不同温度间没有显著差异;当温度升至 30 ℃ 时反应显著降低,

35 ℃ 时进一步显著降低.对另一个组分(Z13-18: Ald)的电生理反应也表现为相似的趋势,只是在高温 35 ℃ 时才显著降低.需要说明的是,本研究在蛹期和测试前的成虫期进行不同温度处理,EAG 测定的短暂时间则是在 25 ℃ 室温下,而该温度又属于雌雄虫求偶交配活动的最适温度范围^[25],因此有关低温及高温的不利影响实际上可能更大.此外,由于对整个实验室的温度控制比较困难,也未能利用风洞装置对不同温度处理下雄蛾的行为学反应进行测定.

综合分析本研究对雌雄蛾两方面的测定结果表明,二化螟性信息素通讯的适宜温度为 20~25 ℃,这与二化螟求偶和交配活动的适宜温度 15~25 ℃ 是一致的^[25].环境温度过高或过低均不利于二化螟两性间的正常化学通讯,影响雌雄间正常的求偶和交配,进而影响种群的正常繁衍.在害虫防治实践中,一方面可以通过评估极端温度对二化螟性信息素通讯的影响,辅助种群发生发展的预测预报;另一方面,在利用性信息素进行二化螟诱杀防治时,可以根据不同地区或害虫不同发生代次时气温的差异,适当调整性信息素诱芯中各组分的量及其比例,以获得最大的雄蛾引诱效果.

最后,本文只是在室内控制条件下对温度因素进行了研究,其结果和结论在田间多变及多因素(如光周期、寄主植物等)条件下可能存在偏差,有待进一步深入研究.

参考文献

- [1] Qin H-G (秦厚国), Luo R-H (罗任华), Ye Z-X (叶正襄), et al. The outbreak cause and control strategy of *Chilo suppressalis*. *Entomological Journal of East China* (华东昆虫学报), 2005, 14(1): 91-93 (in Chinese)
- [2] National Agricultural Technology Extension Service Center (全国农业技术推广服务中心). The first generation of rice stem borer showed occurrence trend at rice regions in south of the Yangtze River[EB/OL]. (2017-04-28) [2017-05-10]. http://www.natesc.org.cn/html/2017_04_28/28092_151760_2017_04_28_441254.html (in Chinese)
- [3] Farmers Daily (农民日报). How to Control the Refractory Pests, Rice Stem Borer? [EB/OL]. (2016-11-10) [2017-05-10]. http://szb.farmer.com.cn/nmrh/html/2016-11/10/nw.D110000nmrb_20161110_1-06.htm?div= (in Chinese)
- [4] Jiao X-G (焦晓国), Xuan W-J (宣维健), Wang H-T (王红托), et al. Advances in the use of sex pheromone to control *Chilo suppressalis*. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2003, 40(3): 193-199 (in Chinese)
- [5] Zhao X-C (赵新成), Wang C-Z (王琛柱). Inheritance and evolution of the sex pheromone communication

- system of lepidopterous moths. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2006, **49**(2): 323–332 (in Chinese)
- [6] Ma T (马 涛), Zhang M (张 蒙), Zhu X-J (朱雪姣), *et al.* Active components and structural features of insect sex pheromones in Pyraloidea. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2013, **32**(12): 3378–3384 (in Chinese)
- [7] Liu Z-F (刘中芳), Yu Q (庾 琴), Gao Y (高 越), *et al.* Mating disruption control of *Grapholitha molesta* by using sex pheromone in pear orchard. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治学报), 2016, **32**(2): 155–160 (in Chinese)
- [8] Baker TC, Carde RT. Endogenous and exogenous factors affecting periodicities of female calling and male sex pheromone response in *Grapholitha molesta*. *Journal of Insect Physiology*, 1979, **25**: 943–950
- [9] Carde RT, Roelofs WL. Temperature modification of male sex pheromone response and factors affecting females calling in *Holomelina immaculata*. *Canadian Entomologist*, 1973, **105**: 1505–1512
- [10] Carde RT, Comeau A, Baker TC, *et al.* Moth mating periodicity: Temperature regulates the circadian gate. *Experientia*, 1975, **31**: 46–48
- [11] Castrovillo PJ, Carde RT. Environmental regulation of female calling and male pheromone response periodicities in the codling moth. *Journal of Insect Physiology*, 1979, **25**: 659–667
- [12] Delisle J. Calling behavior and pheromone titer of the true armyworm *Pseudaletia ymipumeta* (Haw.) under different temperature and photoperiodic conditions. *Journal of Insect Physiology*, 1987, **33**: 315–324
- [13] Han G-B (韩桂彪), Du J-W (杜家伟), Li J (李 捷). Mating behavioral ecology of *Ancylis sativa* adult. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(1): 99–102 (in Chinese)
- [14] Kamimura M, Tatsuki S. Effects of photoperiod changes on calling behavior and pheromone production in the oriental tobacco budworm moth *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Physiology*, 1994, **40**: 731–734
- [15] Sower LL, Shorey HH, Gaston LK. Sex pheromone of noctuidae moth XXV. Effects of temperature and photoperiod on circadian rhythms of sex pheromone release by female of *Trichoplusia ni*. *Annals of the Entomological Society of America*, 1971, **64**: 488–492
- [16] Appel AG, Rust MK. Temperature-mediated sex pheromone production and response of the American cockroach. *Journal of Insect Physiology*, 1983, **29**: 301–305
- [17] Cerboneschi A, Crnjar R, Liscia A, *et al.* Influence of microclimatic variations on EAG responses of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantridae) males to sex pheromone. *Italian Journal of Zoology*, 1998, **65**: 267–272
- [18] Li B (李 波), Han L-Z (韩兰芝), Peng Y-F (彭于发). Development of a standardized artificial diet and rearing technique for the striped stem borer, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae). *Chinese Journal of Applied Entomology* (应用昆虫学报), 2015, **52**(2): 498–503 (in Chinese)
- [19] Usui K, Ughiumi K. Sex pheromone content in female *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) reared on artificial diets. *Applied Entomology & Zoology*, 1988, **23**: 97–99
- [20] Su J-W (苏建伟), Sheng C-F (盛承发), Xia Y-B (夏友保), *et al.* Application technology of sex pheromone on rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker): Cage-trap and tubetrap. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2001, **38**(2): 145–148 (in Chinese)
- [21] Tatsuki S, Kurihara M, Usui K, *et al.* Sex pheromone of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae): The third component, Z-9-hexadecenal. *Applied Entomology & Zoology*, 1983, **18**: 443–446
- [22] Yan F-M (闫凤鸣). Chemical Ecology. Beijing: Science Press, 2011 (in Chinese)
- [23] Zhang K-S (张坤胜). Studies on Reproduction Behavior and the Biology Characteristics and Application of Sex Pheromones of *Parocneria orientalis*. Master Thesis. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [24] Dong S-L (董双林), Du J-W (杜家伟). Effects of mating experience and temperature on sex pheromone production of beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(12): 1633–1636 (in Chinese)
- [25] Kanno H, Sato A. Mating behaviour of the rice stem borer moth, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) II. Effects of temperature and relative humidity on mating activity. *Applied Entomology & Zoology*, 1979, **14**: 419–427

作者简介 余 棋,男,1991年生,硕士研究生.主要从事昆虫化学生态学研究. E-mail: yqmystlef@126.com

责任编辑 肖 红