

# 亚洲小车蝗对其雌成虫粪便挥发物的电生理反应

董 喆 李会霞 孟瑞霞 魏春光 史 丽 冯淑军 孟焕文

(内蒙古农业大学 农学院,内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:**亚洲小车蝗(*Oedaleus asiaticus* B. Bienko)是我国北方草原和农牧交错地带最重要的优势种害虫之一,尤其近些年来亚洲小车蝗在各地起飞严重,作为前锋聚集迁移。试验采用EAG技术研究了亚洲小车蝗成虫对其雌成虫粪便挥发物的电生理反应。结果表明:雌成虫粪便挥发物单组分(1-羟基丙酮、2-甲基-2-丙烯醛、2,3-丁二酮、3-甲基丁醛及2-甲基丁醛)及其混合物对亚洲小车蝗成虫均具有电生理活性。在低浓度( $\leq 1/1000$ 原液浓度)时雄成虫对1-羟基丙酮、2,3-丁二酮的反应较雌成虫更为强烈,而且在低浓度时雄成虫对1-羟基丙酮的EAG反应值最高;随着浓度的增加,雌虫的反应增强,在1/100原液浓度时雌成虫对2-甲基-2-丙烯醛的反应明显强于雄成虫。雄成虫对全组分混合物的反应也是在低浓度时表现最为强烈。

**关键词:**亚洲小车蝗;雌成虫粪便;挥发物;电生理反应

中图分类号:S433.2 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)06-0124-05

## Electrophysiological Responses in the Grasshopper *Oedaleus asiaticus* (Orthoptera: Acrididae) to Volatiles from Female Adult Feces

DONG Zhe, LI Hui-xia, MENG Rui-xia, WEI Chun-guang, SHI Li, FENG Shu-jun, MENG Huan-wen  
(College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

**Abstract:** *Oedaleus asiaticus* B. -Bienko (Orthoptera: Acrididae), one of the most dominant grasshoppers on steppes and agriculture-animal husbandry ecotones in northern China, occurred seriously in many areas and migrated in swarm in recent years. Here, we studied the electrophysiological responses of male and female adults to volatiles from female adult feces by EAG bioassay. The results showed the main individual components of fecal volatile from female adults, 1-Hydroxyacetone, 2-methyl-2-Propenal, 2,3-Butanedione, 2-methyl-Butanal, 3-methyl-Butanal and synthetic blend of five components were all electrophysiological active to adult *O. asiaticus*. 1-Hydroxyacetone and 2,3-Butanedione stimulated the male adults much stronger responses than the female ones with 1-Hydroxyacetone evoked the strongest responses from antennae of male adults at lower relative concentrations ( $\leq 1/1000$ ); whereas 2-methyl-2-Propenal evoked the female adults stronger responses at higher relative concentrations (1/100) as a result of the response of female adults getting stronger with the concentration increasing. The synthetic blend of five components stimulated the strongest responses from antennae of male adults at lower concentration gradients.

**Key words:** *Oedaleus asiaticus* B. Bienko; Female adult feces; Volatiles; Electrophysiological response

亚洲小车蝗(*Oedaleus asiaticus* B. -Bienko) (Orthoptera: Acrididae) 是土蝗最主要的优势种之一,是我国北方草原和农牧交错地带的重要害虫。近年来该蝗在各地起飞严重,成为草原主要的成灾蝗虫种类及草原退化的指示种<sup>[1]</sup>,并作为前锋聚集迁移成为蝗灾北移的主力军<sup>[2]</sup>。目前认为亚洲小车蝗具

有远距离迁飞的特性,并具有较强的趋光性<sup>[3]</sup>,所以在城市中灯光强烈的地方也聚集着大量的亚洲小车蝗<sup>[3]</sup>。亚洲小车蝗的迁飞习性也反映了它的群集性特点<sup>[4]</sup>。因此,加强亚洲小车蝗聚集行为的研究,对于了解其爆发成灾机制具有重要的意义。

已有的研究表明:蝗虫粪便<sup>[5,6]</sup>、虫体<sup>[7,8]</sup>、卵囊及泡沫<sup>[9-11]</sup>都存在着聚集信息素,其中粪便是蝗虫

收稿日期:2011-06-22

基金项目:国家自然科学基金资助(30660104)

作者简介:董 喆(1987-),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事蝗虫化学生态研究。

通讯作者:孟瑞霞(1967-),女,内蒙古呼和浩特人,教授,博士,主要从事害虫综合治理研究。

聚集信息素的主要来源。地上存在着大量沙漠蝗粪便,其挥发物可能有聚集作用;田间观察也表明了沙漠蝗初羽化成虫、蛹与大量粪便之间一种紧密的联系<sup>[5]</sup>。粪便挥发物也是引起东亚飞蝗聚集行为<sup>[12]</sup>的重要因素之一。

本实验室前期采用 TCT-GC/MS 技术对亚洲小车蝗雌成虫粪便挥发物进行分析,发现 1-羟基丙酮、2-甲基-2-丙烯醛、2,3-丁二酮、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛等是其主要挥发物组分<sup>[11]</sup>。在上述研究的基础上,本研究利用触觉电位仪(EAG)研究亚洲小车蝗雌成虫的粪便挥发物对雌、雄成虫电生理活性及性别反应差异,旨在进一步确定其活性成分,为亚洲小车蝗行为的调控提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试虫源

亚洲小车蝗雄成虫采集于内蒙古锡林郭勒草原白音席勒牧场的中国科学院生态定位站(北纬 43°38′,东经 116°42′,海拔 1 100 m)。采集到的蝗虫分装于圆柱形铁纱笼(15 cm×45 cm)中,每笼 35 只。在温度(30±2)℃、相对湿度 50%~70%、光周期 14L:10D 的室内条件下,以室外种植的新鲜小麦群体喂养,挑选其中发育完好、生理指标一致的蝗虫作为试虫。

1.2 电生理反应测试

本研究在浙江大学应用昆虫研究所完成。

标准样品的配制: EAG 活性测定中,用重蒸 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 做溶剂,将 6 种标准样品即 1-羟基丙酮、2-甲基-2-丙烯醛、2,3-丁二酮、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和其混合物(全组分)溶于溶剂中,充分混合,配制成 1/10 000,1/1 000,1/100,1/10 倍原液的 4 种浓度的溶液,以重蒸的 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 溶液作为对照(CK)。

用眼科剪刀将健康活泼的供试雄成虫触角从基部剪下,并用单面刀片快速切下触角末端两节,用导

电胶把触角的两端连接在金属电极上进行 EAG 测定。

不同化合物的刺激顺序是随机的,在剂量测定时,刺激顺序是从低浓度到高浓度。样品每次取 10 μL 滴加到玻璃管中的洁净滤纸上(7 mm×18 mm),待其挥发 20 s 后刺激触角(刺激持续时间为 0.1 s,刺激间隔 30~60 s,刺激气体流量为 20 mL/min,连续气体流量为 124 mL/min)。每测完一次更换 1 新的玻璃管。为了消除触角适应而导致的偏差,每个样品连续测定 3 次后,再测定一次溶剂(CK)作为参照。共测试 3 根触角。蝗虫触角电位反应幅值与其前后溶剂触角电位反应幅值的平均值的比值作为触角电位反应相对值。

1.3 数据分析

用 SPSS 软件对不同样品的反应相对值进行差异显著性检验,并利用 LSD 测验分析比较亚洲小车蝗对同一化合物不同浓度、同一浓度不同化合物之间触角电位反应的差异。

2 结果与分析

2.1 雄成虫对雌成虫粪便挥发物的 EAG 测定

比较同一化合物不同浓度之间的 EAG 反应值发现,雄成虫在低浓度时对 1-羟基丙酮的反应显著高于在高浓度时的反应;对 2-甲基-2-丙烯醛的反应在 1/1 000 倍原液浓度时即达到饱和,反应值最高,并且显著高于其他 3 个浓度时的反应;对 2,3-丁二酮的电生理反应值较平稳,在各浓度间无显著差异;对 2-甲基丁醛的反应在 1/100 倍原液浓度时最高,并且显著高于其他 3 个浓度时的反应;对 3-甲基丁醛的反应在 1/100 倍原液浓度时则最低,并且显著低于其他 3 个浓度时的反应;对雌成虫粪便全组分的反应也是在 1/100 倍原液浓度时最低,与对 3-甲基丁醛的反应呈现相同的趋势(表 1)。

表 1 雄成虫对雌成虫粪便挥发物的剂量 EAG 反应值

Tab. 1 Dose-responses of male adults to fecal volatile chemicals of female adults

| 粪便挥发物<br>Fecal volatiles       | 浓度 Concentration |                  |                  |                   |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|                                | 1/10 000         | 1/1 000          | 1/100            | 1/10              |
| 1-羟基丙酮 1-Hydroxyacetone        | 1.287 ± 0.017aA  | 1.347 ± 0.070aA  | 0.865 ± 0.175bAB | 0.801 ± 0.073bB   |
| 2-甲基-2-丙烯醛 2-methyl-2-Propenal | 0.964 ± 0.018bBC | 1.055 ± 0.034aB  | 0.918 ± 0.014bAB | 0.961 ± 0.016bAB  |
| 2,3-丁二酮 3-Butanedione          | 1.112 ± 0.049ABC | 1.155 ± 0.078A   | 1.152 ± 0.150A   | 1.081 ± 0.171AB   |
| 2-甲基丁醛 2-methyl-Butanal        | 0.906 ± 0.015bC  | 0.925 ± 0.000bB  | 1.110 ± 0.019aA  | 0.991 ± 0.057bAB  |
| 3-甲基丁醛 3-methyl-Butanal        | 0.931 ± 0.057aBC | 0.960 ± 0.131aB  | 0.394 ± 0.021bC  | 1.128 ± 0.004aA   |
| 全组分 Total components           | 1.207 ± 0.197aAB | 0.904 ± 0.131abB | 0.566 ± 0.252bBC | 0.861 ± 0.083abAB |

注:表中数据为平均值±SE。不同小写字母表示同一行内差异显著性,不同大写字母表示同一列中差异显著性(P<0.05)(LSD 测验)。  
Note: Data are means ± SE. Means in each line followed by the different small letter were significantly different and means in each column followed by the different capital letter were significantly different at P<0.05 by LSD test.

比较雄成虫在同一浓度下对各化合物的 EAG 反应值发现,在 1/10 000 倍原液浓度时,雄成虫对 1-羟基丙酮的反应值最高,且和雌成虫粪便全组分、2-β-丁二酮的反应值均无显著差异;在 1/1 000 倍原液浓度时也是对 1-羟基丙酮、2-β-丁二酮的反应值较高;在 1/100 倍原液浓度下对 2-β-丁二酮、2-甲基丁醛的反应值较高,且和 1-羟基丙酮、2-甲基-2-丙烯醛的反应值无显著差异,对 3-甲基丁醛的反应值最低,对全组分的反应值也较低;在 1/10 倍原液浓度下对 3-甲基丁醛的反应值最高,对 1-羟基丙酮的反应值最低(表 1)。

2.2 雌成虫对雌成虫粪便挥发物的 EAG 测定

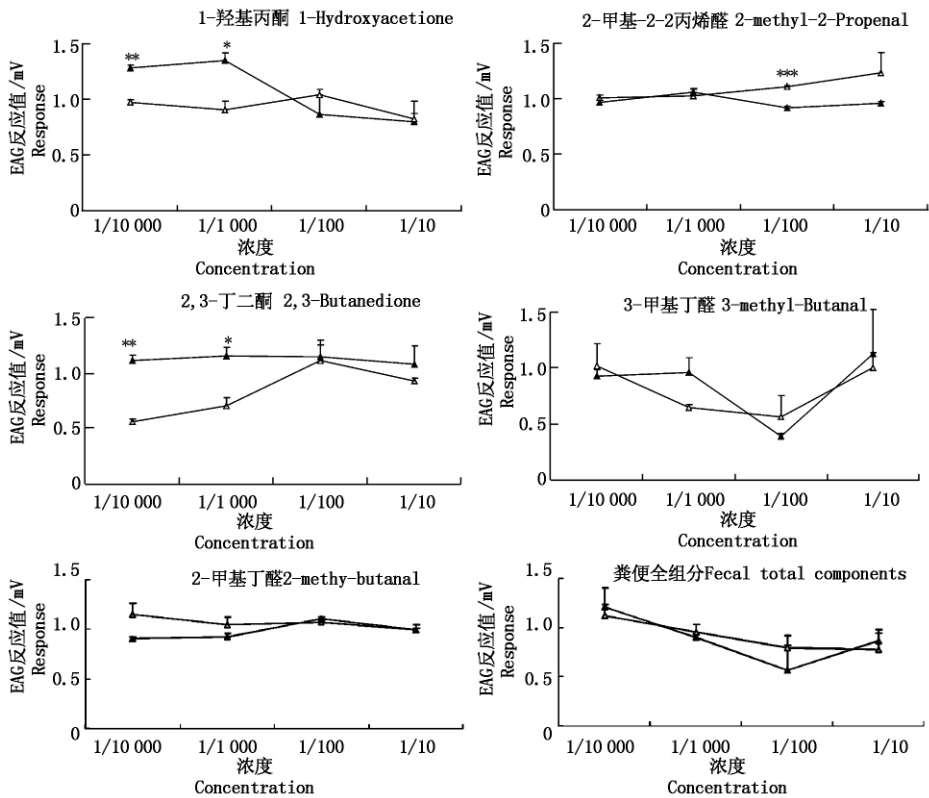
比较同一化合物不同浓度之间的 EAG 反应值

表 2 雌成虫对雌成虫粪便挥发物的剂量 EAG 反应值

Tab. 2 Dose-responses of female adults to fecal volatile chemicals of female adults

| 粪便挥发物<br>Fecal volatiles       | 浓度 Concentration |                  |                |                 |
|--------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
|                                | 1/10 000         | 1/1 000          | 1/100          | 1/10            |
| 1-羟基丙酮 1-Hydroxyacetone        | 0.974 ± 0.030A   | 0.912 ± 0.075B   | 1.043 ± 0.046  | 0.822 ± 0.163   |
| 2-甲基-2-丙烯醛 2-methyl-2-Propenal | 1.007 ± 0.029A   | 1.027 ± 0.054B   | 1.107 ± 0.007  | 1.231 ± 0.188   |
| 2-β-丁二酮 2-β-Butanedione        | 0.563 ± 0.026cB  | 0.704 ± 0.072bcC | 1.114 ± 0.140a | 0.932 ± 0.027ab |
| 2-甲基丁醛 2-methyl-Butanal        | 1.098 ± 0.003A   | 1.225 ± 0.056A   | 1.099 ± 0.364  | 0.841 ± 0.042   |
| 3-甲基丁醛 3-methyl-Butanal        | 1.019 ± 0.201A   | 0.650 ± 0.020C   | 0.565 ± 0.191  | 1.006 ± 0.516   |
| 全组分 Total components           | 1.124 ± 0.113A   | 0.950 ± 0.084B   | 0.795 ± 0.126  | 0.773 ± 0.204   |

注:表中数据为平均值 ± SE。同一行内不同小写字母表示差异显著性,同一列中不同大写字母表示差异显著性( $P < 0.05$ ) (Duncan's 新复极差法)。  
Note: Data are means ± SE. Means in each line followed by the different small letter were significantly different and means in each column followed by the different capital letter were significantly different at  $P < 0.05$  by SSR test.



\*. 同一浓度下雌、雄之间的差异显著性, \* .  $P < 0.05$ ; \*\* .  $P < 0.01$ ; \*\*\* .  $P < 0.001$  ( T-test ) .

Asterixes indicate significant difference, \* .  $P < 0.05$ ; \*\* .  $P < 0.01$ ; \*\*\* .  $P < 0.01$  ( T-test ) .

图 1 亚洲小车蝗雌、雄成虫对雌成虫粪便挥发物单组分及其混合物的 EAG 剂量反应  
Fig.1 EAG dose-responses of female and male adults to synthetic individual components and blend from fecal volatile of female adults of *O. asiaticus*

### 2.3 雌、雄成虫对雌粪挥发物主要成分的 EAG 反应比较

当用 1-羟基丙酮刺激雌、雄虫后,在低浓度时雄虫的 EAG 反应均强于雌虫,且在 1/10 000、1/1 000 倍原液浓度时分别达到极显著及显著的差异。之后随着浓度的增加,雌、雄虫之间的反应差异越来越小,说明雄虫的触角感受器在感受较低浓度的 1-羟基丙酮时比雌虫灵敏(图 1)。

对 2,3-丁二酮的电生理反应也是在 1/10 000 倍和 1/1 000 倍原液浓度时雄虫比雌虫反应强烈,与对 1-羟基丙酮的反应呈现相同的趋势。

对 2-甲基-2-丙烯醛,在 1/100 倍原液浓度时,雌虫的反应则比雄虫反应强烈,且存在极显著差异。

雌、雄虫对其他化合物及全组分在各浓度下的反应均无显著差异。

## 3 结论与讨论

亚洲小车蝗雌成虫粪便挥发物的 5 种单组分化合物(1-羟基丙酮、2-甲基-2-丙烯醛、2,3-丁二酮、3-甲基丁醛和 2-甲基丁醛)及其混合物对亚洲小车蝗成虫均具有电生理活性(EAG 活性)。雄成虫对全

组分混合物的反应在低浓度时表现最为强烈,雌成虫对全组分混合物的反应虽在低浓度时也较高,但不显著。雌、雄成虫对单组分的反应表现各异。

雄成虫对雌成虫粪便挥发物的单组分及其混合物的剂量反应表明(图 2),雄成虫对 1-羟基丙酮、2-甲基-2-丙烯醛、2-甲基丁醛的电生理反应强度先随着浓度的增大而上升,在 1/1 000 或 1/100 倍原液浓度时达到最高即饱和状态,之后随浓度的增加将不再上升。而对 3-甲基丁醛和全组分混合物的反应随着浓度的增大而下降,在 1/100 达到最低,之后又随着浓度的增大而呈上升趋势。由于 3-甲基丁醛在挥发物中所占比例较大,在全组分中含量很高,因此可能影响着雄成虫对混合物的反应趋势。

雌成虫对雌成虫粪便挥发物的单组分及其混合物的剂量反应表明(图 2),雌成虫对 2,3-丁二酮的电生理反应强度先随着浓度的增大而上升,在 1/100 原液浓度时达到最高即饱和状态,之后随浓度的增加将不再上升。雌成虫对其他 4 种化合物及全组分的反应在不同浓度梯度之间均无显著差异。雌成虫对 3-甲基丁醛的电生理反应趋势虽与雄成虫的反应一致,但在不同浓度间无显著差异。

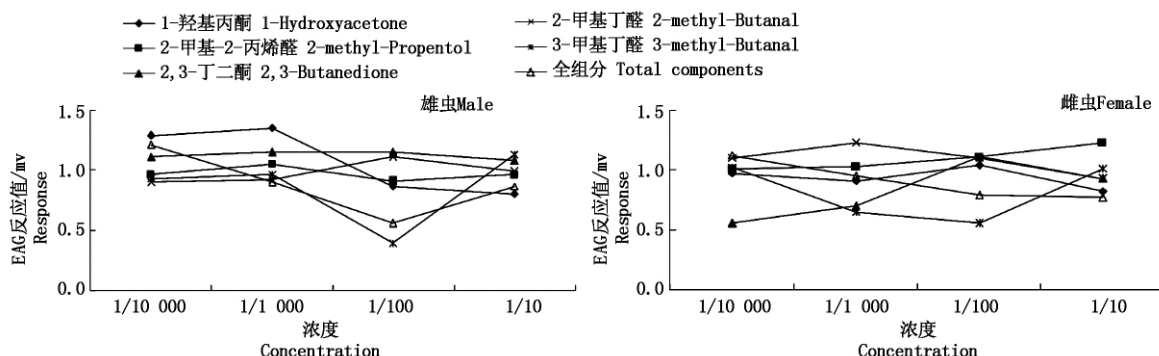


图 2 亚洲小车蝗成虫对雌成虫粪便挥发物单组分及其混合物的 EAG 反应

Fig. 2 EAG responses of adults to synthetic individual components and blend from fecal volatiles of female adults of *O. asiaticus*

雌、雄虫对不同化合物在相同剂量下的 EAG 反应值不同。在低浓度( $\leq 1/1 000$  倍原液浓度)时雄成虫对 1-羟基丙酮、2,3-丁二酮的反应较雌成虫更为强烈,而且在低浓度时雄成虫对 1-羟基丙酮的 EAG 反应值最高;而随着浓度的增加,雌虫的反应在增强,在 1/100 倍原液浓度时雌成虫对 2-甲基-2-丙烯醛的反应明显强于雄成虫,说明雌虫触角的感受器在较高浓度(大于 1/100 倍原液浓度)时更易被激活。亚洲小车蝗有明显的性两性,雄虫体型小于雌虫,活动力较强,并且雄虫触角的感受器数量多于雌虫<sup>[13]</sup>,因而雄虫的嗅觉反应比雌虫更为敏感或强烈,这和我们低浓度时的反应结果是一致的。

一些研究发现,能在低浓度时引起昆虫产生反

应的化合物对昆虫在远距离的寄主定位有重要作用,而在高浓度下使之产生反应的化合物对其近距离的寄主定位更重要<sup>[14,15]</sup>。雌成虫粪便挥发物中的 1-羟基丙酮、2,3-丁二酮在低浓度时对雄成虫有明显反应,因此可能对雄成虫寻找雌虫时的远距离定位有一定作用;而雌成虫粪便挥发物中的 2-甲基-2-丙烯醛在较高浓度时对雌成虫有明显反应,从而可能对其同性个体起近距离吸引作用。因此,亚洲小车蝗雌成虫粪便挥发物可能在引起其同性和异性的吸引和驱避反应中起着重要作用。

### 参考文献:

- [1] Kang L, Chen Y L. Dynamics of grasshopper communities

- under different grazing intensities in Inner Mongolia steppes [J]. *Entomologia Sinica* ,1995 ,2: 265 – 281.
- [2] 乔 峰. 蝗灾北移的主力军-亚洲小车蝗[J]. *人与生物圈* ,2005( 3) : 23.
- [3] 蒋 湘,买买提明,张 龙. 夜间迁飞的亚洲小车蝗[J]. *草地学报* ,2003 ,11( 1) : 75 – 77.
- [4] 许富祯,孟正平,郭永华,等. 乌兰察布市农牧交错区亚洲小车蝗发生与防治[J]. *内蒙古农业科技* ,2005 ,7: 384 – 387.
- [5] Obeng-Ofori D ,Torto B ,Njagi P G N *et al.* Fecal volatiles as part of the aggregation pheromone complex of the desert locust *Schistocerca gregaria*( Forskål) ( Orthoptera: Acrididae) [J]. *Journal of Chemical Ecology* ,1994 ,20: 2077 – 2087.
- [6] Hassanali A ,Torto B. Grasshoppers and locusts. In: Hardie J ,Minks AK. ed. *Pheromones of Non-Lepidopteran Insects Associated with Agricultural Plants* [M]. Oxon: CABI Publ ,1999: 305 – 328.
- [7] Torto B ,Obeng-Ofori D ,Njagi P G N *et al.* Aggregation pheromone system of adult gregarious desert locust *Schistocerca gregaria*( Forsk l) ( Orthoptera: Acrididae) [J]. *Journal of Chemical Ecology* ,1994 ,20: 1749 – 1762.
- [8] Torto B ,Njagi P G N ,Hassanali A *et al.* Aggregation pheromone system of nymphal gregarious desert locust , *Schistocerca gregaria* ( Forsk l) ( Orthoptera: Acrididae) [J]. *Journal of Chemical Ecology* ,1996 ,22: 2273 – 2281.
- [9] Rai M M ,Hassanali A ,Saini R K *et al.* Identification of components of the oviposition aggregation pheromone of the gregarious desert locust *Schistocerca gregaria*( Forsk l) [J]. *Journal of Insect Physiology* ,1997 ,43: 83 – 87.
- [10] McCaffery A R ,Simpson S J ,Islam M *et al.* A gregarising factor present in the egg pod foam of the desert locust *Schistocerca gregaria* [J]. *Journal of Experimental Biology* ,1998 ,201: 347 – 363.
- [11] 魏春光. 亚洲小车蝗聚集爆发成灾的化学信息学研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学 ,2009.
- [12] Shi W P ,Sun H L ,Edward N *et al.* Fecal volatile components elicit aggregation in the oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis* ( Orthoptera: Acrididae) [J]. *Insect Science* ,2011 ,18: 166 – 174.
- [13] 陈湖海,赵云鲜,康 乐. 两种同域分布的草原蝗虫对植物挥发性化合物的嗅觉反应[J]. *中国科学( 辑)* ,2003 ,33( 5) : 421 – 428.
- [14] Wickremasinghe M G V ,Van Emden H F . Reactions of adult female parasitoids ,particularly *Aphidius rhopalosiphii* to volatile chemical cues from the host plants of their aphid prey [J]. *Physiological Entomology* ,1992 ,17: 297 – 304.
- [15] Elzen G W ,Williams H J ,Vinson S B. Wind tunnel flight responses by the hymenopterous parasitoid *Camptoplex sonorensis* to cotton cultivars and lines [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata* ,1986 ,42: 291 – 289.