

烟草挥发物对 2 近缘种夜蛾产卵行为的 影响及其成分分析

薛伟伟, 付晓伟, 罗梅浩*, 郭线茹, 原国辉

(河南农业大学植物保护学院, 郑州 450002)

摘要:寡食性烟夜蛾 *Helicoverpa assulta* (Guenée) 和广食性棉铃虫 *H. armigera* (Hübner) 是铃夜蛾属 2 近缘种, 烟草是其共同寄主。室内实验测定了 1 个普通烟草品种和 4 个黄花烟草品种叶片挥发物对二者电生理和行为反应的影响。结果表明, 烟夜蛾处女雌蛾和交配雌蛾对 4 个黄花烟草品种叶片挥发物的 EAG 反应均显著高于普通烟草, 而棉铃虫对普通烟草叶片挥发物的反应显著高于黄花烟草; 二者的行为反应与 EAG 测试结果相似, 黄花烟草叶片挥发物对烟夜蛾有较强的引诱作用, 棉铃虫对普通烟草叶片挥发物有较强趋性; 两种夜蛾雄蛾对这些挥发物的 EAG 和行为反应均没有雌蛾强烈, 性别差异显著; GC-MS 分析表明, 与 K326 相比, 马合烟叶片挥发物中尼古丁的相对含量高 (76.91%), 绿叶气味种类多但芳香族化合物种类少, 挥发物种类和含量的不同是否与两种夜蛾产卵趋性差异相关, 有待进一步研究。

关键词:烟草挥发物; 烟夜蛾; 棉铃虫; 电生理反应; 行为反应; 化学分析

文章编号: 1000-0933(2009)11-5783-08 中图分类号: Q965 文献标识码: A

Effects of tobacco volatiles on ovipositing behaviors of two sibling *Helicoverpa* species and volatile chemical analysis

XUE Wei-Wei, FU Xiao-Wei, LUO Mei-Hao*, GUO Xian-Ru, YUAN Guo-Hui

College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5783 ~ 5790.

Abstract: Oligophagous *Helicoverpa assulta* (Guenée) and polyphagous *H. armigera* (Hübner) are two sibling species, with tobacco as the shared host-plant. The effects of plant volatiles from one variety of *Nicotiana tabacum* and four varieties of *N. rustica* on electrophysiological and behavioral responses of these two insect species were investigated in the laboratory. The results indicated that virgin and mated females of *H. assulta* elicited stronger EAG and behavioral responses to four tested *N. rustica* varieties than to *N. tabacum*, while *H. armigera* was reverse in responses. Females of the two *Helicoverpa* species responded more actively in EAG and behavioral experiments to the volatiles of tested tobacco varieties than males, so there were significant sexual differences of the two sibling species. The results of gas chromatography-mass spectrum (GC-MS) showed that, in comparison with K326, variety “makhorka” contained higher amount of nicotine, more sorts of green leaf volatiles and less amount of aromatic compounds, suggesting that the difference in sorts and relative concentrations of tobacco volatiles may lead to the different ovipositing preferences of two sibling *Helicoverpa* species to *N. tabacum* and *N. rustica* tobacco plants.

Key Words: tobacco volatiles; *Helicoverpa assulta*; *H. armigera*; electrophysiological response; behavioral response; chemical analysis

基金项目: 河南省科技攻关资助项目 (0524100004)

收稿日期: 2008-07-07; 修订日期: 2009-08-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luomeihao88@163.com

昆虫种群兴衰主要取决于能否找到合适的寄主并获得足够的营养,在其与植物协同进化过程中,为了避免因误食而造成中毒或营养不良,昆虫进化出了对寄主准确的嗅觉辨识和定向能力,从而形成了特定的寄主范围^[1]。昆虫主要是通过触角上特定的嗅觉感受器探测植物化学指纹图谱,并对其生存和生殖有关的气味分子进行“质”和“量”的编码,最后经一系列的“反应行为链(reaction chain)”完成对寄主取食、产卵等的定向^[2,3],在此过程中植物挥发物起着重要作用,如马铃薯叶片气味对马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say) 有极强的引诱作用^[4],松枝释放出 α -蒎烯和 β -蒎烯可引诱云杉卷叶蛾 *Choristoneura fumiferana* (Clemens) 在其上产卵^[5],薇甘菊提取物对橘全爪叶螨 *Panonychus citri* (McGregor) 的产卵有较强的驱避作用^[6]等,但以往的研究多涉及一种昆虫的寄主定向与其寄主挥发物之间的关系,很少探讨这种关系对不同食性昆虫的影响。

烟夜蛾 *Helicoverpa assulta* (Guenée) 和棉铃虫 *H. armigera* (Hübner) 是铃夜蛾属 2 近缘种,二者有相似的生物学和生态学特性,且杂交可育^[7],但它们的食性截然不同,烟夜蛾食性寡而棉铃虫则甚广^[8~10],在主要农作物中,烟草是它们的共同寄主,二者在烟田的发生时间相互重叠,对烟株叶位的选择大体一致,对烟草空间和时间资源的利用程度很相近,种间竞争小于各自的种内竞争^[11,12],这为研究昆虫与植物的协同进化提供了理想素材。生产上栽培利用较广的烟草有普通烟草 *Nicotiana tabacum* L. 和黄花烟草 *N. rustica* L.,在研究中发现,室内烟夜蛾趋向于黄花烟草上产卵而棉铃虫则相反,在两种烟草的混栽田,黄花烟草上 2 种夜蛾混合种群的落卵量明显高于普通烟草,烟草全生育期平均百株累计落卵量高达 15120 粒,与之相邻的普通烟田仅有 42 粒^[13,14],为此测定了 2 种夜蛾对普通烟草和黄花烟草叶片挥发物的电生理及行为反应,鉴定了 K326(普通烟草)和马合烟(黄花烟草)叶片挥发物成分,拟探明两种夜蛾产卵趋性差异的原因,期望为揭示昆虫寄主选择机理和开发环保型害虫行为调控剂等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试普通烟草(K326)和黄花烟草(马合烟、莫合烟、93-1、旱小烟)由河南农业大学农学院烟草系提供,于 5 月上旬移栽至试验田,株行距 = 50 cm × 100 cm,栽培管理同常规。供试昆虫的采集与饲养方法同付晓伟等^[15],选择羽化后第 2~3 天、已取食的健康处女雌蛾、交配雌蛾和雄蛾进行触角电生理和行为反应测定。

1.2 烟草挥发物的提取

采集烟草植株上部相同叶位的嫩叶,室内洗净晾干后,称取 500g 进行水蒸气蒸馏,馏速 60~70 滴/分钟,时间 2 h。蒸馏液用 100 ml 重蒸二氯甲烷萃取 4 次,萃取液用无水硫酸钠干燥,静置 30 min 后用旋转蒸发器浓缩至 100 gE(即每毫升浓缩液相当于 100 g 烟草叶片),4℃ 保存备用。

1.3 嗅觉仪行为测试

将 100 μ l 待测样品滴在 $l \times w = 5.0\text{ cm} \times 2.0\text{ cm}$ 滤纸条上,以同体积二氯甲烷为对照,分别置于选择性嗅觉仪^[16]的样品室,将 20 头供试昆虫放入反应室后关闭光源,待进入暗期用真空泵抽气,气流速度 1000 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$,反应 60 min 后打开红色光源并记录结果。每次测试前均对嗅觉仪进行清洁处理,重复 5 次,按以下公式计算诱捕率:

$$\text{诱捕率}(\%) = \frac{\text{处理区的虫数} - \text{对照区的虫数}}{\text{供试总虫数}} \times 100\%$$

1.4 EAG 测试

触角电位记录仪产自荷兰 Syntech 公司。从基部将成虫触角切下,再将端部切去少许,分别与充满 Kaissiling 溶液的毛细管相连(基部连参比电极,端部连记录电极)。将 20 μ l 待测样品均匀滴在 $l \times w = 5.0\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ 滤纸条上,放入进样管,刺激时间 0.2 s,间隔 30 s,载气流量 30 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$,以 0.01 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 反-2-己烯醛为标准参照物,重蒸二氯甲烷为对照,每个样品测试 6 根触角,每根触角重复 3 次。EAG 反应相对值的计算和分析方法同付晓伟等^[17]。

1.5 分析仪器和条件

气相色谱-质谱联用仪:HP6890(GC)/5973N(MS);色谱柱:HP-5 石英毛细管柱,柱长 30 m,内径 0.2 mm;柱前压 15 Psi;载气 He;程序升温 50 ℃保持 2 min,130 ℃保持 3 min,以 6 ℃·min⁻¹升至 250 ℃,保持 40 min;气化室温度 200 ℃,四极杆温度 180 ℃;进样量 1 μl,分流比 100:1;溶剂延迟 6 min。离子源 EI;电子能量 70 eV;源温 200 ℃;扫描范围 33~350 AMU。根据 NBS-75K 谱库与标准化合物的质谱图,结合质谱裂解规律对成分进行鉴定。

2 结果与分析

2.1 两种夜蛾对不同烟草叶片挥发物的行为反应

以二氯甲烷为对照时,莫合烟、马合烟对烟夜蛾处女雌蛾和交配雌蛾的诱捕率较高,其次为早小烟和 93-1,各烟草品种对雄蛾的诱捕率无显著差异(图 1);K326 对棉铃虫交配雌蛾的诱捕率最高(图 2)。

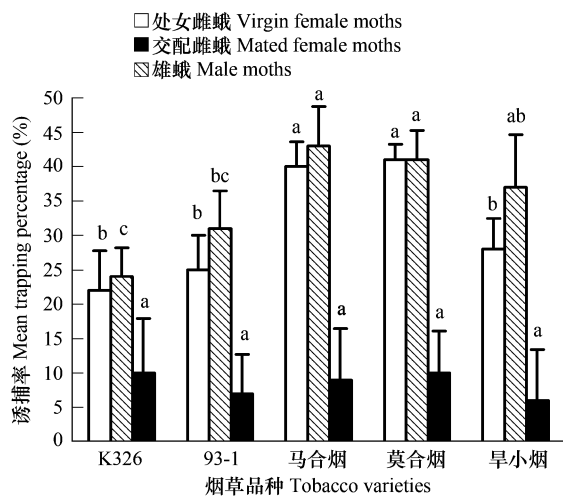


图 1 以二氯甲烷为对照时烟夜蛾对不同烟草叶片挥发物的行为反应

Fig. 1 Behavioral reaction of oriental tobacco budworm to different tobacco volatiles controlled by dichloromethane

同性别上方不同的小写字母表示烟草品种间的差异显著 ($p < 0.05$) different letters on the same sex show significant difference between tobacco varieties by Duncan's multiple-range test; 马合烟 Makhorka; 莫合烟 Mohe-tobacco; 早小烟 Hanzhao-tobacco; 下同, the same below

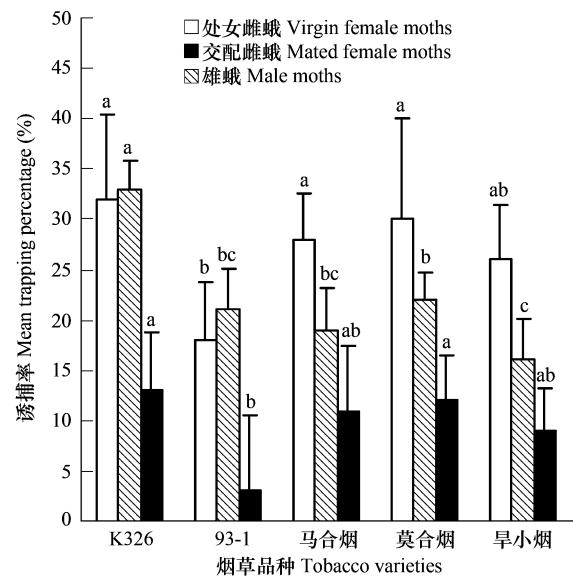


图 2 以二氯甲烷为对照时棉铃虫对不同烟草叶片挥发物的行为反应

Fig. 2 Behavioral reaction of cotton bollworm to different tobacco volatiles controlled by dichloromethane

以 K326 为对照时,马合烟和莫合烟对烟夜蛾交配雌蛾的诱捕率显著高于早小烟和 93-1,各烟草品种对烟夜蛾处女雌蛾和雄蛾的诱捕率均无显著差异(图 3);4 个黄花烟草品种对棉铃虫的诱捕率均小于零(图 4)。

2.2 两种夜蛾对不同烟草叶片挥发物的 EAG 反应

烟夜蛾处女雌蛾对莫合烟的 EAG 反应最高,交配雌蛾对马合烟的 EAG 反应最高,同时二者对 4 个黄花烟草品种的 EAG 反应均显著高于 K326(图 5);棉铃虫处女雌蛾和交配雌蛾对 K326 的 EAG 反应显著高于 4 个黄花烟草品种(图 6);两种夜蛾的雄蛾对各烟草品种的 EAG 反应均无显著差异(图 5 和图 6)。

2.3 马合烟和 K326 叶片挥发物的成分分析

从 K326 的叶片挥发物中共分离出 84 种化合物(表 1),鉴定出化学结构的有 56 种,其中尼古丁是主要组分,其次是茄酮、新植二烯和叶醇,另有绿叶气味 3 种,芳香化合物 15 种,其余多为醇、酸、烷烃和杂环化合物等。马合烟叶片挥发物共分离出 98 种化合物(表 1),鉴定出化学结构的有 67 种,主要组分仍为尼古丁,其次

为 3-己烯-1-醇和新植二烯,含有绿叶气味 6 种,芳香化合物 10 种。

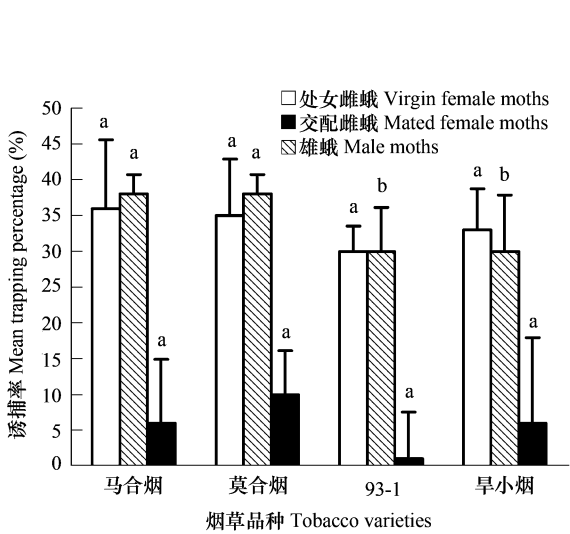


图 3 以 K326 叶片挥发物为对照时烟夜蛾对黄花烟草叶片挥发物的行为反应

Fig. 3 The behavioral reaction of oriental tobacco budworm to rustic tobacco volatile controlled by K326

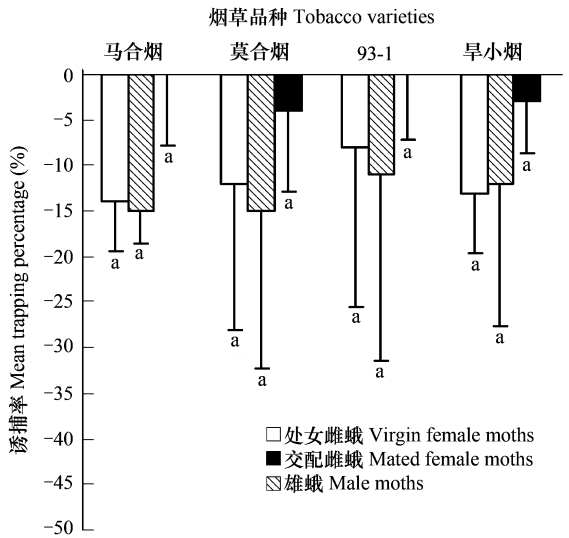


图 4 以 K326 叶片挥发物为对照时棉铃虫对黄花烟草叶片挥发物的行为反应

Fig. 4 The behavioral reaction of cotton bollworm to rustic tobacco volatile controlled by K326

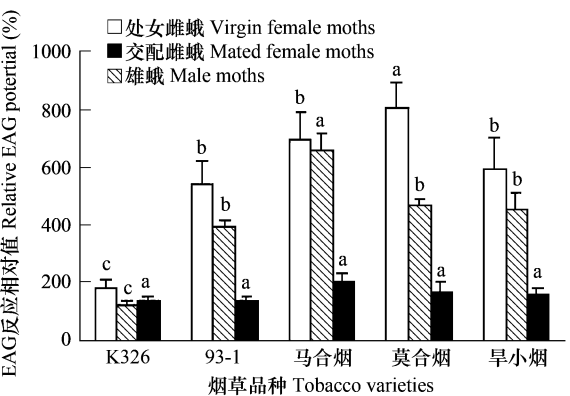


图 5 烟夜蛾对不同烟草叶片挥发物的 EAG 反应

Fig. 5 The EAG reaction of oriental tobacco budworm to tobacco volatile

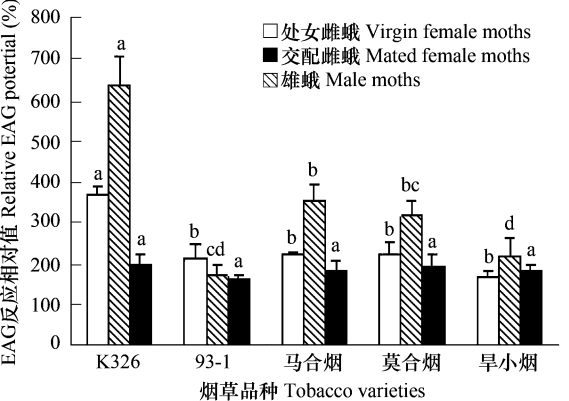


图 6 棉铃虫对不同烟草叶片挥发物的 EAG 反应

Fig. 6 The EAG reaction of cotton bollworm to tobacco volatile

表 1 K326 和马合烟叶片挥发物的化学组分及其相对含量

K326			马合烟 Makhorka		
保留时间 Reservation time (min)	化合物名称 Compounds	相对含量 Relative content (%)	保留时间 Reservation time (min)	化合物名称 Compounds	相对含量) Relative Content (%)
4.54	糖醛 Furfural	0.71	4.54	糖醛 Furfural	0.12
5.09	叶醇 Leaf alcohol	3.08	4.62	4-甲基-戊醇 4-methyl-pentanol	微量 Dram
5.35	2-己烯-1-醇 2-hexen-1-ol	微量 Dram	4.82	3-甲基-戊醇 3-methyl-pentanol	微量 Dram
5.41	己醇 Hexanol	0.21	5.10	3-己烯-1-醇 3-hexen-1-ol	5.09
5.77	2-甲基-2-环戊烯-乙酮 2-methyl-2-cyclopentene-butanone	微量 Dram	5.34	(顺)2-己烯-1-醇 (Z)2-hexen-1-ol	微量 Dram
6.00	苯乙烯 Styrene	微量 Dram	5.39	己醇 Hexanol	0.29

续表

K326			马合烟 Makhorka		
保留时间 Reservation time(min)	化合物名称 Compounds	相对含量 Relative content (%)	保留时间 Reservation time(min)	化合物名称 Compounds	相对含量) Relative Content (%)
7.65	4-甲基-己醇 4-methyl-hexanol	微量 Dram	5.81	(反)2-己烯-1-醇 (E)2-hexen-1-ol	微量 Dram
7.97	6-甲基-2-庚酮 6-methyl-2-heptanone	微量 Dram	6.00	苯乙烯 Styrene	微量 Dram
8.13	苯甲醛 Benzaldehyde	0.40	6.09	环己酮 Cyclohexanone	微量 Dram
9.07	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-heptene-2-one	0.27	6.42	3-甲基-硫丙醛 3-methyl-thioformaldehyde	微量 Dram
9.30	苯酚 Phenol	微量 Dram	6.61	2-乙酰基-呋喃 2-acetyl-furan	微量 Dram
9.50	吡啶甲醛 Pyridinecarboxaldehyde	微量 Dram	6.71	5-甲基-呋喃甲醛 5-methyl-furan formaldehyde	微量 Dram
9.69	N-甲基-吡咯甲醛 N-methyl-pyridinecarboxaldehyde	微量 Dram	7.64	4-甲基-己醇 4-methyl-hexanol	微量 Dram
9.79	3-己烯-1-醇-甲酯 3-hexen-1-alcohol-methyl ester	微量 Dram	7.78	3-庚烯-1-醇 3-heptenal-1-ol	微量 Dram
9.88	2,4-二庚烯醛 2,4-2 heptenal	微量 Dram	7.97	6-甲基-2-庚酮 6-methyl-2-heptanone	微量 Dram
10.15	乙酰基噻唑 Acetyl thiazole	微量 Dram	8.33	4-庚烯-1-醇 4-heptenal-1-ol	微量 Dram
10.75	苜醇 Alcohol	0.91	8.68	2-丙基-噻吩 2-propyl-thiophene	微量 Dram
11.07	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	0.38	9.07	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-heptene-2-one	微量 Dram
11.96	2-甲基-苯乙醛 2-methyl-phenylacetaldehyde	0.21	9.16	噻吩甲醛 Thenaldehyde	微量 Dram
12.18	己酸酐 Caproic anhydride	0.28	9.52	吡啶甲醛 Pyridinecarboxaldehyde	微量 Dram
13.18	芳樟醇 Linalool	0.22	9.68	N-甲基-吡咯甲醛 N-methyl-pyridinecarboxaldehyde	微量 Dram
13.34	壬醛 Nonanal	0.18	9.77	3-己烯-1-醇-甲酯 3-hexen-1-alcohol-methyl ester	0.06
13.69	苯乙醇 Phenylethanol	0.31	9.88	2,4-庚二烯醛 2,4-heptadienal	微量 Dram
14.78	氧化异拂尔酮 Oxidic chalcone iso-fu	微量 Dram	10.14	2-乙酰基-噻唑 2-acetyl-thiazole	微量 Dram
14.92	5-乙基-6-甲基-3-庚烯-2-酮 5-ethyl-6-methyl-3-heptene-2-one	微量 Dram	10.77	苜醇 Alcohol	0.71
15.28	苯甲酰基甲醛 Benzoyl formaldehyde	0.19	11.06	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	微量 Dram
15.58	乙酸苯甲酯 Phenyl acetic acid methyl ester	0.43	11.23	7-甲基-4-辛酮 7-methyl-4-octanone	微量 Dram
15.94	2,4-二甲基苯甲醛 2,4-dimethyl benzene formaldehyde	微量 Dram	12.10	辛醇 Octanol	微量 Dram
16.19	萘 Naphthalene	微量 Dram	13.17	芳樟醇 Linalool	0.04
16.30	4-甲基-苯乙酮 4-methyl-acetophenone	微量 Dram	13.36	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮 6-methyl-3,5-heptadiene-2-one	微量 Dram
16.40	丁酸-3-己烯酯 Acid-3-hexene ester	微量 Dram	13.45	2,6-二甲基-环己醇 2,6-dimethyl-cyclohexanol	0.09
16.53	4-甲基-苯异丙醇 4-methyl-phenyl-propanol	微量 Dram	13.80	苯乙醇 Phenylethanol	0.09
16.68	水杨酸甲酯 Methylsalicylate	0.37	13.92	异拂尔酮 Chalcone iso-fu	微量 Dram
16.89	柠檬醛 Citral	微量 Dram	14.78	氧化异拂尔酮 oxidic chalcone iso-fu	0.07
17.10	2-癸烯-1-醇 2-decene-1-ol	微量 Dram	15.28	苯甲酰基甲醛 Benzoyl formaldehyde	微量 Dram

续表

K326			马合烟 Makhorka		
保留时间 Reservation time(min)	化合物名称 Compounds	相对含量 Relative content (%)	保留时间 Reservation time(min)	化合物名称 Compounds	相对含量) Relative Content (%)
22.23	尼古丁 Nicotine	48.4	15.56	乙酸苯甲酯 Phenyl acetic acid methyl ester	0.12
22.55	丁香酚 Eugenol	0.31	16.19	萘 Naphthalene	微量 Dram
22.92	茄酮 Solanone	8.79	16.39	丁酸-3-己烯酯 Acid-3-hexene ester	微量 Dram
23.62	β -大马烯酮 β -malaysia ketene	0.71	16.52	4-甲基-苯异丙醇 4-methyl-phenyl-propanol	微量 Dram
24.90	β -二氢大马酮 β -dihydro damascenone	0.34	16.66	水杨酸甲酯 Methylsalicylate	0.04
25.17	麦斯明 Myosmine	0.52	16.86	柠檬醛 Citral	微量 Dram
28.67	2,4-二特丁基-苯酚 2,4-ditert butyl-phenol	0.53	17.64	藏花醛 Safranal	0.10
30.69	巨豆三烯酮 Megastigmatrienone	0.46	19.49	桂醛 Cinnamic aldehyde	微量 Dram
31.24	碳十六烷 Carbon-16 alkyl	0.21	19.78	取代烷烃 Alkane substitute	0.05
31.69	3-羟基- β -大马酮 3-hydroxy- β -damascenone	0.45	21.41	4-乙烯基-愈创木酚 4-vinyl-guaiacol	0.26
33.91	可的宁 Cotinine	0.41	22.34	尼古丁 Nicotine	76.91
34.09	碳十六醛 Carbon-16 aldehyde	0.33	23.60	β -大马烯酮 β -malaysia ketene	0.26
35.17	碳十四酸 Carbon-14 acid	0.37	24.39	5-甲基-2-苯基噁唑 5-methyl-2-phenyl-oxazole	0.33
35.55	蒽 Anthracene	0.48	24.89	β -二氢大马酮 β -dihydro damascenone	微量 Dram
35.93	碳十八烷 Carbon-18 alkyl	0.19	25.16	麦斯明 Myosmine	0.21
36.76	新植二烯 Neophytadiene	4.64	26.47	香叶基丙酮 Geranylacetone	微量 Dram
37.37	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	0.26	27.74	β -紫罗兰酮 β -ionone	微量 Dram
37.90	碳十九烷 Carbon-19 alkyl	0.23	28.65	2,4-二特丁基-苯酚 2,4-ditert butyl-phenol	0.42
39.20	未知 Unknown	微量 Dram	29.17	猕猴桃内酯 Kiwi lactone	0.13
39.72	烷烃 Alkane	微量 Dram	29.82	槐香醇 Rugby alcohol	0.14
40.87	寸拜醇 Inch el alcohol	微量 Dram	30.18	巨豆三烯酮 Megastigmatrienone	0.08
41.70	植醇 Phytol	微量 Dram	30.68	巨豆三烯酮 Megastigmatrienon (不同构型 different configuration)	0.40
42.59	西柏三烯二醇 Siebel triene diol	微量 Dram	31.22	碳十六烷 Carbon-16 alkyl	0.05
			31.68	3-羟基- β -大马酮 3-hydroxy- β -damascenone	0.21
			31.87	金钟伯醇 Velbon carbinol	0.77
			33.72	碳十七烷 Carbon-17 alkyl	0.07
			33.96	可的宁 Cotinine	0.44
			34.07	碳十六醛 Carbon-16 aldehyde	0.37
			35.53	蒽 Anthracene	0.21
			36.74	新植二烯 Neophytadiene	3.12
			37.35	邻苯二甲酸二异丁酯 Dibutyl phthalate	0.18
			37.82	亚麻酸甲酯 Methyl linolenate	0.30
			39.08	棕榈酸 Palmitic acid	0.59
			39.46	未知 Unknown	0.71
			40.36	未知 Unknown	0.65

3 小结与讨论

本研究结果表明,烟夜蛾处女和交配雌蛾对 4 个黄花烟草品种叶片挥发物的 EAG 反应显著高于普通烟草,而棉铃虫则相反,对普通烟草叶片挥发物的反应显著高于黄花烟草,行为测试结果与此相似,表明两种夜蛾的嗅觉周缘神经系统对不同烟草挥发物产生了不同的脉冲内导(即不同的 EAG 相对值),而中枢神经系统能准确的“破译”出其中所蕴涵的化学信息,并产生与脉冲内导较为一致的行为反应,形成了嗅觉刺激与行为反应的一致性。由于同种昆虫不同性别的个体在寻找寄主、繁殖后代等行为中所起的作用不同,因此对植物气味的反应常表现出性别上的差异^[18],本研究发现,两种夜蛾雄蛾的电生理和行为反应均没有各自雌蛾的反应强烈,推断这些烟草中可能有诱卵“信号”物质的存在,郭予元^[19]认为有植物特异性的单萜类化合物主要吸引成虫取食,而倍半萜类则有吸引成虫产卵的作用。烟草是否含有诱卵“信号”物质需进行深入研究。

在昆虫寄主定向所面临的各种嗅觉刺激中,只有寄主的化学指纹图谱具有植物属或种的特异性,因此分析比较寄主挥发物种类及含量差异是理解昆虫行为的关键环节^[20, 21]。本文 GC-MS 测定结果表明马合烟和 K326 叶片挥发物的主要成分都是尼古丁,但马合烟中的相对含量较高(76.91%),同时马合烟还具有绿叶气味种类多、含量高而芳香族化合物种类少的特性。烟草挥发物种类和含量的不同是否与两种夜蛾产卵选择差异相关,有待进一步研究。

综上所述,黄花烟草对烟夜蛾雌成虫有较强的引诱作用,棉铃虫雌成虫对普通烟草的趋性更强,但是,黄花烟草虽能吸引烟夜蛾成虫产卵^[4, 8],却不能提供最适于后代种群生长发育、存活和繁殖的营养,压低了整个烟田生态系统中烟夜蛾的种群数量,因此,生产上可在普通烟田合理间种黄花烟草,这在烟夜蛾的综合治理中具有重要的实际意义。

References:

- [1] Lu W, Hou M L, Wen J H, Li J W. Effects of plant volatiles on herbivorous insects. *Plant Protection*, 2007, 33(3): 7—11.
- [2] Lei H, Qiu Y T, Christensen T A. Olfaction in Insects: Structural Correlates of Function. In: Liu T X, Kang L eds. *Entomological research progress and prospect*. Beijing: Science Press, 2007. 133—169.
- [3] Zhao G Q, Liu X G, Luo M H. Chemical sensory mechanisms of insects selecting host-plants. *Journal of Henan University of Science and Technology: Natural Science*, 2006, 27(4): 81—83.
- [4] Schoonhoven M, Jermy T, Vanloon J A. *Insect Plant Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- [5] Zhang Q H, Ji L Z. Chemical ecology of oviposition of herbivorous insects. *Chinese Journal of Ecology*, 1994, 13(6): 39—43.
- [6] Cen Y J, Pang X F, Ling B, Kong C H. Study on the active components of oviposition repellency of *Mikania micrantha* H. B. K. against citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2543—2547.
- [7] Wang C Z, Dong J F. Interspecific hybridization of *Helicoverpa armigera* and *H. assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *China Science*, 2001, 46(6): 489—491.
- [8] Deliang Tang, Chenzhu Wang, Lin'er Luo, Junde Qin. Comparative study on the responses of maxillary sensilla styloconica of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* and oriental tobacco budworm *H. assulta* larvae to phytochemicals. *Science. China (Ser. C)*, 2000, 43(6): 606—613.
- [9] Guo Y Y. *Research of Helicoverpa armigera*. Beijing: China Agriculture Press, 1998. 1—10.
- [10] Wang C Z, Qin J D. Insect-plant- evolution: multitrophic interactions concerning *Helicoverpa species*. *Entomological Knowledge*, 2007, 44(3): 311—319.
- [11] Luo M H, Guo X R, Zheng X J, Chen Z, Ma J S. The niche and interspecific competition of oriental tobacco budworm and cotton bollworm in tobacco plants. *Acta Tabacaria Sinica*, 2002, 8(4): 34—37.
- [12] Ma J S, Luo M H, Guo X R, Jiang J W, Yang X W. *Tobacco Insect of China*. Beijing: Science Press, 2007. 159—162.
- [13] Jiang J W, Guo X R, Luo M H, Zheng X J, Zhang S H. The seasonal characters of arthropod community in different types of tobacco. *Acta Tabacaria Sinica*, 2003, 9(1): 35—38.
- [14] Luo M H, Xue W W, Liu X G, Zhao G Q. Studies on the attraction effect of different tobacco varieties to oviposition of *Helicoverpa assulta* (Guenée) and *H. armigera* (Hübner). *Journal of Henan Agricultural University*, 2006, 40(2): 198—200.
- [15] Fu X W, Guo X R, Yuan G H, Luo M H, Yang W L, Zhao D S. A comparative study of the population fitness of *Helicoverpa armigera* (Hübner) on two tobacco species, *Nicotiana tabacum* and *N. rustica*. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(7): 928—937.

- [16] Xiao C, Hu C H, Du J W, Zhang Z N. Behavioral responses of adult to the odors of wilted leaves of Chinese wingnut tree, *Pterocarya stenoptera*. Entomological Knowledge, 2001, 38(4): 278—281.
- [17] Fu X W, Guo X R, Luo M H, Yuan G H, Li W Z, Wu S Y. Electrophysiological and behavioral responses of *Helicoverpa assulta* (Guenée) and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to tobacco volatile compounds of higher concentration. Acta Entomologica Sinica, 2008, 51(9): 902—909.
- [18] Guo X R, Yuan G H, Jiang J W, Ma J S. Electroantennogram responses of insects to volatile secondary compounds from plants. Journal of Henan Agricultural University, 2003, 37(1): 18—22.
- [19] Guo Y Y. Research of *Helicoverpa armigera*. Beijing: China Agriculture Press, 1998. 118—120.
- [20] Qin J D. The physiological bases of phagous-characters of herbivore insect. Acta Entomologica Sinica, 1980, 23(1): 106—122.
- [21] Qin J D. The Relationship between Insects and Plants-Insect-Plant Interactions and Their Coevolution. Beijing: Science Press, 1987. 38—58.

参考文献:

- [1] 卢伟, 侯茂林, 文吉辉, 黎家文. 植物挥发性次生物质对植食性昆虫的影响. 植物保护, 2007, 33(3): 7~11.
- [2] 雷宏, 邱宇彤, Christensen T A. 昆虫嗅觉系统的结构与功能. 见: 刘同先, 康乐主编. 昆虫学研究进展与展望. 北京: 科学出版社, 2007. 133~169.
- [3] 赵国强, 刘晓光, 罗梅浩. 昆虫对寄主植物选择的化学感受机理. 河南科技大学学报(自然科学版), 2006, 27(4): 81~83.
- [5] 张庆贺, 姬兰柱. 植食性昆虫产卵的化学生态学. 生态学杂志, 1994, 13(6): 39~43.
- [6] 岑伊静, 庞雄飞, 凌冰, 孔垂华. 薇甘菊提取物对桔全爪螨的产卵驱避作用及有效成分分析. 生态学报, 2004, 24(11): 2543~2547.
- [9] 郭予元. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社, 1998. 1~10.
- [10] 王琛柱, 钦俊德. 昆虫与植物的协同进化: 寄主植物-铃夜蛾-寄生蜂相互作用. 昆虫知识, 2007, 44(3): 311~319.
- [11] 罗梅浩, 郭线茹, 郑晓军, 陈智, 马继盛. 烟青虫和棉铃虫在烟草上的生态位及其种间竞争. 中国烟草学报, 2002, 8(4): 34~37.
- [12] 马继盛, 罗梅浩, 郭线茹, 蒋金炜, 杨孝文. 中国烟草昆虫. 北京: 科学出版社, 2007. 159~162.
- [13] 蒋金炜, 郭线茹, 罗梅浩, 郑晓军, 张树华. 不同类型烟草上节肢动物群落季节特征. 中国烟草学报, 2003, 9(1): 35~38.
- [14] 罗梅浩, 薛伟伟, 刘晓光, 赵国强. 不同烟草品种对烟实夜蛾和棉铃虫产卵引诱作用的研究. 河南农业大学学报, 2006, 40(2): 198~200.
- [15] 付晓伟, 郭线茹, 原国辉, 罗梅浩, 杨文玲, 赵东升. 两近缘种烟草上棉铃虫种群适合度的比较研究. 昆虫学报, 2008, 51(7): 728~737.
- [16] 肖春, 胡纯华, 杜家纬, 张钟宁. 棉铃虫对萎蔫枫杨气味的行为反应. 昆虫知识, 2001, 38(4): 278~281.
- [17] 付晓伟, 郭线茹, 罗梅浩, 原国辉, 李为争, 吴少英. 烟夜蛾和棉铃虫对高浓度烟草挥发物的电生理和行为反应. 昆虫学报, 2008, 51(9): 902~909.
- [18] 郭线茹, 原国辉, 蒋金炜, 马继盛. 植物挥发性次生物质对昆虫触角电位反应的影响. 河南农业大学学报, 2003, 37(1): 18~22.
- [19] 郭予元. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社, 1998. 118~120.
- [20] 钦俊德. 植食性昆虫食性的生理基础. 昆虫学报, 1980, 23(1): 106~122.
- [21] 钦俊德. 昆虫与植物的关系——论昆虫与植物的相互作用及其演化. 北京: 科学出版社, 1987. 38~58.