第 48 卷 第 4 期
2012 年 4 月
林 业 科 学
SCIENTIA SILVAE SINICAE
Vol. 48, No. 4
Apr., 2012

榆木蠹蛾性诱剂的合成及林间诱蛾试验*

杨美红[1] 张金桐[1] 宗世祥[2] 骆有庆[2] 曹川健[3] 范丽华[1] 刘红霞[4] 辛海萍[1]

(1. 山西农业大学化学生态研究所 太谷 030801; 2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083; 3. 宁夏森林病虫害防治检疫总站 银川 750004; 4. 山西农业大学信息科学与工程学院 太谷 030801)

摘 要: 利用毛细管气相色谱分析榆木蠹蛾处女雌蛾性腺体提取物、化学合成相应的标准化合物并通过触角电位分析及林间诱蛾试验,旨在找到一种对榆木蠹蛾成虫具有强引诱活性的性诱剂。结果表明:提取物中存在反-3-十四碳烯醇(*E*3-14:OH)、顺-3-十四碳烯醇(*Z*3-14:OH)、反-3-十四碳烯醇乙酸酯(*E*3-14:Ac)、顺-7-十四碳烯醇乙酸酯(*Z*7-14:Ac)和顺-3-反-5-十四碳烯醇乙酸酯(*Z*3*E*5-14:Ac)。榆木蠹蛾雄蛾对 *Z*7-14:Ac 产生最强的触角电位(EAG)反应,为 4.95 mV,极显著高于其他化合物,其他依次是 *E*3-14:Ac、*Z*3*E*5-14:Ac、*E*3*E*5-14:Ac、*Z*3-14:Ac、腺体提取物、*E*7-14:Ac,其中乙酸酯化合物 EAG 值极显著高于其相应的醇($P<0.01$)。林间诱蛾活性试验表明:*Z*7-14:Ac 有诱蛾活性,*E*3-14:Ac 和 *Z*3*E*5-14:Ac 有显著的增效作用,*Z*7-14:Ac、*E*3-14:Ac 和 *Z*3*E*5-14:Ac 按 10:4:4 的比例配成每个含 900 μg 性诱剂的诱芯具有很好的诱蛾活性,单诱芯日平均诱蛾数达 11.02 头。

关键词: 榆木蠹蛾; 气相色谱; 触角电位; 性诱剂; 化学合成

中图分类号: S763.306.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-7488(2012)04-0061-06

Synthesis and Field Evaluation of Sex Attractants of *Holcocerus vicarius* (Lepidoptera: Cossidae)

Yang Meihong[1] Zhang Jintong[1] Zong Shixiang[2] Luo Youqing[2]
Cao Chuanjian[3] Fan Lihua[1] Liu Hongxia[4] Xin Haiping[1]

(1. *Institute of Chemical Ecology, Shanxi Agricultural University* *Taigu* 030801; 2. *Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University* *Beijing* 100083; 3. *Ningxia General Station of Forest Pest Control and Quarantine* *Yinchuan* 750004; 4. *Institute of Information Science and Engineering, Shanxi Agricultural University* *Taigu* 030801)

Abstract: The sex pheromone gland extracts from virgin females of the carpenterworm moth, *Holcocerus vicarius* were separated by gas chromatography (GC). The corresponding synthetic compounds were studied by electroantennogram (EAG) and trapping test in field to screen a kind of sex attractant with strong attractive activity. The results showed that sex pheromone gland extracts contain (*E*)-3-tetradecen-1-ol (*E*3-14:OH), (*Z*)-3-tetradecen-1-ol (*Z*3-14:OH), (*E*)-3-tetradecenyl acetate (*E*3-14:Ac), (*Z*)-7-tetradecenyl acetate (*Z*7-14:Ac) and (*Z*, *E*)-3,5-tetradecenyl acetate (*Z*3*E*5-14:Ac). The *Z*7-14:Ac elicited the largest EAG response to a male (4.95 mV), followed by *E*3-14:Ac, *Z*3*E*5-14:Ac, *E*3*E*5-14:Ac, *Z*3-14:Ac, sex pheromone gland extracts and *E*7-14:Ac. The *Z*7-14:Ac was significantly ($P<0.01$) different from other synthetic compounds. The EAG values of these synthetic acetate compounds were significantly ($P<0.01$) different from corresponding alcohols. In field trials, the *Z*7-14:Ac had attractive activity. The *E*3-14:Ac and *Z*3*E*5-14:Ac could highly enhance the attractive activity when they were added to *Z*7-14:Ac. Traps baited with a combination of these three components *Z*7-14:Ac, *E*3-14:Ac and *Z*3*E*5-14:Ac in a 10:4:4 ratio at 900 μg per trap had a strong attractive activity. On average, a trap could catch 11.02 male moths per day.

Key words: *Holcocerus vicarius*; gas chromatography; electroantennogram; sex attractant; chemical synthesis

榆木蠹蛾(柳干木蠹蛾、柳乌蠹蛾、大褐木蠹蛾)(*Holcocerus vicarius*)属于鳞翅目(Lepidoptera)木

收稿日期: 2011-04-06; 修回日期: 2011-05-09。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31070581); 国家"十一五"科技支撑计划课题(2006BAD08A10)。

* 张金桐为通讯作者。

蠹蛾科(Cossidae),在我国东北、华北、华东、华中、西北等地都有分布,2～3 年 1 代; 主要以幼虫危害白榆(*Ulmus pumila*) 的枝干及根部,其次危害刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、金银花(*Lonicera japonica*)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、垂柳(*Salix babylonica*)、杨树(*Populus* spp.)、核桃(*Juglans regia*)、苹果(*Malus pumila*)等; 近几年在吉林、内蒙和宁夏沙区防护林带大面积发生,致使成片榆树死亡(萧刚柔, 1992; 李冰等, 2005; 郝小燕等, 2006; 高同义等, 2008)。榆木蠹蛾隐蔽性很强,喷洒农药、树干基部钻孔灌药、灯光诱杀等防治方法用工多、成本高,用性诱剂防治则使用技术简便、不伤害天敌、不污染环境。

国外学者报道了芳香木蠹蛾(*Cossus cossus*)(Cappizzi *et al*., 1983)、梨豹蠹蛾(*Zeuzera pyrina*)(Tonini *et al*., 1986)、洋槐木蠹蛾(*Prionoxystus robinae*)(Solomon *et al*., 1978)、*C. insularis*(Chen *et al*., 2006)4 种木蠹蛾性信息素,及杨木蠹蛾(*Acossus centerensis*)(Doolittle *et al*., 1976)和 *Prionoxystus piger*(Landolt *et al*., 1985)性诱剂。国内已发现的 60 多种木蠹蛾(花保祯等, 1990)中已鉴定了蒙古木蠹蛾(*C. mongolicus*)(祁云台等, 1990)、小线角木蠹蛾(*H. insularis*)(Zhang *et al*., 2001)、沙棘木蠹蛾(*H. hippophaecolus*)(Fang *et al*., 2005)、沙蒿木蠹蛾(*H. artemisiae*)(Zhang *et al*., 2009)和沙柳木蠹蛾(*H. arenicola*)(Jing *et al*., 2010)的性信息素。已知木蠹蛾性信息素或性诱剂的化学结构多数是 14 个碳的直链烯醇或其乙酸酯。目前已对榆木蠹蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律进行了研究(杨美红等, 2010),但其性信息素的鉴定及性诱剂的合成尚无相关报道。本试验通过对榆木蠹蛾性腺体提取物的 GC 分析、人工合成化合物的触角电位分析及林间诱蛾试验,旨在确定具有较强引诱活性的榆木蠹蛾性诱剂组分、配比和使用剂量,为今后利用性信息素或性诱剂诱杀榆木蠹蛾雄蛾、进行虫情监测提供基础。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

供试榆木蠹蛾老熟幼虫采自宁夏回族自治区盐池县机械化林场高沙窝分厂,带回室内饲养于装有潮湿细沙和寄主植物白榆树干的养虫笼(60 cm × 45 cm × 30 cm)中,待其化蛹,室内光周期 14∶10(L∶D),温度(26 ± 1)℃,相对湿度 65% ± 8%。成虫羽化后将雌蛾置于纱笼(60 cm × 60 cm × 60 cm),以 10% 蜂蜜水饲喂。

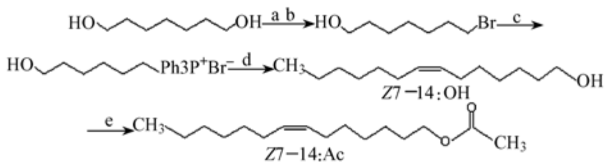
1.2　性信息素提取及气相色谱(GC)分析

雌蛾腺体提取参照杨美红等(2010)的方法,提取液用 N_2 气流小心浓缩至适当体积,存入 −20 ℃ 冰箱中待用。性信息素提取物采用 Agilent 6890 N 型气相色谱仪检测,氢火焰离子检测器(FID),高纯氮气为载气,无分流进样,毛细管柱为 HP−1(30 m × 0.32 mm × 0.33 μm)(Paloalto California),色谱升温程序设定为80 ℃保持 2 min,然后以4 $℃·min^{-1}$ 的速率升至180 ℃,再以10 $℃·min^{-1}$ 的速率升至 240 ℃,恒温 15 min; 进样口和检测器温度设为250 ℃。

1.3　性诱剂的合成

采用廉价易得的原料和中间产物,通过 Wittig 反应合成供实验室生测及田间诱蛾试验的标准化合物。几种主要成分的合成路线如下。

*Z*7−14∶OH 及 *Z*7−14∶Ac 的合成如图 1 所示。*Z*3−14∶OH, *Z*3*E*5−14∶OH, *Z*3−14∶Ac, *Z*3*E*5−14∶Ac, *E*3−14∶Ac 的合成线路如图 2 所示。并用类似的方法合成 *E*7−14∶Ac, *E*3*E*5−14∶Ac, *E*7−14∶OH, *E*3*E*5−14∶OH 和 E3−14∶OH。用硅胶柱色谱分离纯化法使合成物的纯度达到 95% 以上。



a: 氢溴酸 HBr(47%), 溴化亚铜 CuBr(新制 New prepared)/正庚烷 $CH_3(CH_2)_5CH_3$; b: 回流 Refluence 22 h; c: 三苯基膦 Ph_3P/苯 C_6H_6; d: 庚醛 $CH_3(CH_2)_5CHO$, 正丁基锂 *n*−BuLi/二甲基亚砜 $(CH_3)_2SO$; e: 乙酰氯 CH_3COCl, 吡啶 C_5H_5N/苯 C_6H_6.

图 1　*Z*7−14∶OH 及 *Z*7−14∶Ac 的合成

Fig. 1　The synthesis of *Z*7−14∶OH and *Z*7−14∶Ac

1.4　触角电位(electroantennogram, EAG)试验

将合成的化合物用重蒸正己烷稀释为 1 $ng·μL^{-1}$的溶液,测试样品剂量为 10 ng,用荷兰 Syntech 公司生产的触角电位仪测定雄蛾触角对不同化合物的电生理反应。用眼科剪刀将 1～3 日龄未交尾的雄蛾触角从基部剪下,并用单面刀片快速切下触角末端 2 节,用充满生理液(NaCl 7.50 g、$CaCl_2$ 0.21 g、KCl 0.35 g、$NaHCO_3$ 0.20 g 溶于 1 L 蒸馏水中)的玻璃电极套在触角的两端进行 EAG 测定(张金桐等, 2000)。为了消除触角适应而导致的偏差,

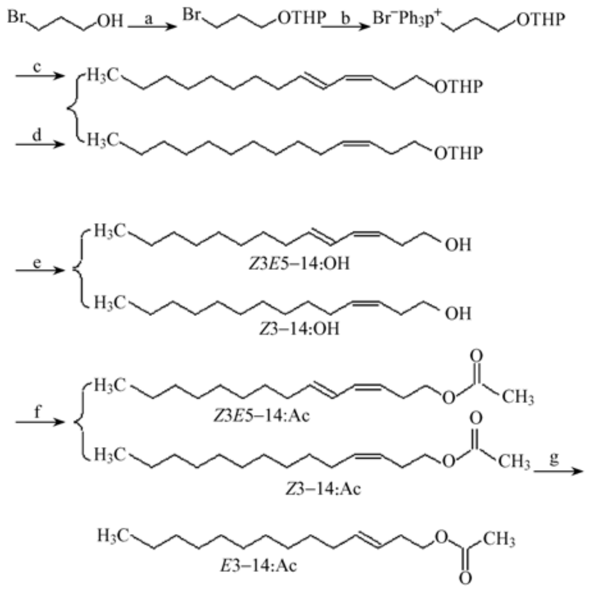


图 2　$Z3-14$：OH，$Z3E5-14$：OH，$Z3-14$：Ac，$Z3E5-14$：Ac 和 $E3-14$：Ac 的合成

Fig. 2　The synthesis of $Z3-14$：OH，$Z3E5-14$：OH，$Z3-14$：Ac，$Z3E5-14$：Ac and $E3-14$：Ac

a：2,3－二氢吡喃 C_5H_8O，浓盐酸 HCl；b：三苯基膦 Ph_3P/苯 C_6H_6；c：反－2－十一烯醛 $CH_3(CH_2)_7(CH)_2CHO$；d：十一醛 $CH_3(CH_2)_9CHO$，e：对甲基苯磺酸 $C_7H_8O_3S$/甲醇 CH_3OH；f：乙酸酐 $(CH_3CO)_2O$，吡啶 C_5H_5N/苯 C_6H_6；g：$NaNO_2$，HNO_3.

用 20 μL 正己烷为空白对照，每次测定值减去空白，得到触角对刺激物的净反应值。每一种样品在同一根触角上平行测定 2 次，在不同触角上重复测定 6 次，取测定值的平均值。供试雄蛾数为 13 头，26 根触角。

1.5　性诱剂诱芯的配制

将合成的性诱剂溶解于重蒸正己烷中配成溶液（重蒸正己烷液为对照），将各组分按所需不同比例和剂量滴加到特制反口橡胶塞（中国科学院动物研究所孟宪佐提供）的凹杯中，待溶剂挥发后，用聚乙烯保鲜膜密封，置于低温冰箱内保存备用。

1.6　诱捕器及林间诱蛾试验

采用塑料瓦楞板制成三角型诱捕器（截面 19 cm×19 cm×21 cm，棱长 25 cm），底部放相应大小的粘虫板；诱芯用细铁丝穿牢，距离胶面 0.5～1 cm 固定于粘虫板中央。林间诱蛾试验于 2009 和 2010 年在宁夏回族自治区盐池县机械化林场高沙窝分厂进行。诱捕器距地面 1～1.5 m，间距 60 m～100 m，随机悬挂于榆树林的上风口，每种处理设 6 个重复，同时设置处女雌蛾诱捕器及空白对照（重蒸正己烷液）。每天清晨检查和记录各诱捕器的诱蛾数后更换粘虫板。

5 月下旬榆木蠹蛾羽化前至 8 月下旬羽化期结束进行虫情监测试验，即将具有诱蛾活性的诱捕器持续悬挂于同一榆树林，每 3 天更换 1 次粘虫板，每 2 周更换 1 次诱芯，每个诱芯含 $Z7-14$：Ac、$E3-14$：Ac 和 $Z3E5-14$：Ac 按 10∶4∶4的比例配成单诱芯剂量为 900 μg，设 6 个重复，每天清晨检查记录每个诱捕器中捕获的榆木蠹蛾雄蛾头数。

1.7　数据处理

用 SPSS 13.0 统计软件对数据进行分析处理，采用单因素方差分析（ANOVA），各处理的平均值采用 Duncan 多重比较法检验差异显著性。

2　结果与分析

2.1　榆木蠹蛾处女雌蛾的性腺体提取物的 GC 分析

经 GC 分析，榆木蠹蛾处女雌蛾的性腺体提取物出现 5 个峰（图 3），它们在非极性色谱柱上的色谱保留时间分别与合成标准化合物 $E3-14$：OH（Ⅰ）、$Z3-14$：OH（Ⅱ）、$E3-14$：Ac（Ⅲ）、$Z7-14$：Ac（Ⅳ）和 $Z3E5-14$：Ac（Ⅴ）相同，峰Ⅰ～Ⅴ的相对含量之比为 1∶0.9∶4∶10∶4。在提取物中加入 $E3-14$：OH 、$Z3-14$：OH 、$E3-14$：Ac、$Z7-14$：Ac、$Z3E5-14$：Ac，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ的峰面积和峰高均随之增加，表明提取物中可能存在这 5 种物质。

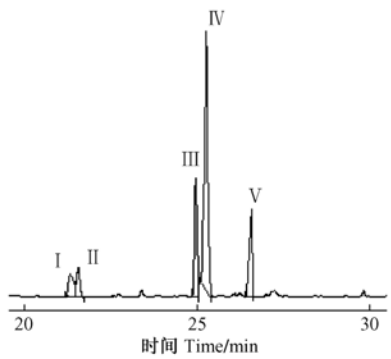


图 3　榆木蠹蛾雌蛾性信息素腺体提取物的气相色谱

Fig. 3　Gas chromatogram of female *H. vicarius* sex pheromone gland extracts

2.2　榆木蠹蛾雄蛾对标准化合物和腺体粗提物的 EAG 反应分析

雄蛾触角对 $Z7-14$：Ac 产生最强的 EAG 反应（4.95±0.69）mV，极显著高于其他化合物（$P<0.01$），其他物质 EAG 反应从强到弱依次是 $E3-14$：Ac、$Z3E5-14$：Ac、$E3E5-14$：Ac、$Z3-14$：Ac、腺体提取物、$E7-14$：Ac、$E3-14$：OH、$Z3-14$：OH、$Z3E5-14$：OH、$E3E5-14$：OH、$Z7-OH$、$E7-14$：OH。6 种乙酸酯类化合物的 EAG 值极显著高

于其相应的烯醇类化合物($P<0.01$)。在乙酸酯类化合物中,*E*7－14: Ac 的 EAG 反应值最小,为(2.42 ± 0.41) mV,极显著低于其他 5 种酯($P<0.01$),*E*3－14: Ac 和 *Z*3*E*5－14: Ac 显著高于 *E*3*E*5－14: Ac 和 *Z*3－14: Ac($P<0.05$)。在烯醇类化合物中,*E*7－14: OH 产生的 EAG 反应最弱,其他 5 种烯醇类化合物之间,差异不显著($P>0.05$)(图4)。虽然从 GC 分析中得知存在 *Z*3－14: OH 和 *E*3－14: OH,但其 EAG 值却很小; *E*3*E*5－14: Ac、*Z*3－14: Ac 和 *E*7－14: Ac 有较强的 EAG 反应,但在性信息素粗提物中并未检测到。

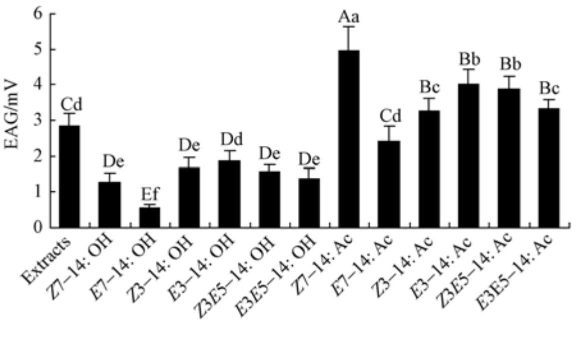


图4 榆木蠹蛾雄蛾对标准化合物和腺体粗提物的 EAG 反应

Fig. 4 EAG responses of male *H. vicarius* to standard compounds and crude extract of female glands

平均值±标准差,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同。The mean ± SD. Columns with different small letters are significantly different ($P<0.05$), while these with different capital letters are highly significantly different ($P<0.01$). The same below.

2.3 单组分及混合组分的林间诱蛾效果

根据 GC 分析的各组分比例进行诱蛾试验可知,正己烷对照组无诱蛾活性(表1)。单一组分处理仅 *Z*7－14: Ac 有诱蛾活性,但诱蛾量极显著低于多元组分和处女雌蛾($P<0.01$); 二元组分和处女雌蛾间诱蛾量差异不显著($P>0.05$),它们极显著低于三元、四元和五元组分($P<0.01$); 五元组分性引诱剂诱蛾效果最好,但和三元、四元组分间差异不显著($P>0.05$),说明将 EAG 反应最强的 *Z*7－14: Ac 和较强的 *E*3－14: Ac 或 *Z*3*E*5－14: Ac 混合的二元组分可使诱蛾活性增强,3 种化合物同时混合使用时,诱蛾量比二元组分极显著增加($P<0.01$),*E*3－14: Ac 和 *Z*3*E*5－14: Ac 有显著的增效作用。再将其与 GC 分析中峰面积较小的 *Z*3－14: OH、*E*3－14: OH 或 *Z*3－14: OH + *E*3－14: OH 组成四元、五元组分时,诱蛾量增加不显著($P>0.05$),说明 *Z*3－14: OH 和 *E*3－14: OH 没有显著的增效作用。因此,榆木蠹蛾的性引诱剂三元组分(*Z*7－14: Ac + *E*3－14: Ac + *Z*3*E*5－14: Ac)的诱蛾效果较理想。

2.4 性诱剂组分不同比例对诱蛾活性的影响

将诱蛾效果较理想的三元组分(*Z*7－14: Ac + *E*3－14: Ac + *Z*3*E*5－14: Ac)按不同比例组合进行诱蛾试验表明(表2),*Z*7－14: Ac 和 *Z*3*E*5－14: Ac 比例一定时,随着 *E*3－14: Ac 比例的增加,诱蛾量呈增加趋势,处理 1 极显著低于处理 2,3 和 4($P<0.01$),处理 2,3 和 4 间差异不显著($P>0.05$)。

表1 榆木蠹蛾性诱剂各组分的林间诱蛾试验结果

Tab. 1 Results of *H. vicarius* in traps baited with different sex attractant composition in field

处理 Treatment	诱芯组分[①] Composition of baits/μg					3 天诱蛾总量 Total number of males trapped for three days	单诱芯日平均诱蛾数[②] Daily mean number of males trapped per lure
	A	B	C	D	E		
1	500	0	0	0	0	3	0.17 ± 0.11Cc
2	0	500	0	0	0	0	0
3	0	0	500	0	0	0	0
4	0	0	0	500	0	0	0
5	0	0	0	0	500	0	0
6	500	200	0	0	0	68	3.78 ± 0.35Bb
7	500	0	200	0	0	58	3.22 ± 0.21Bb
8	500	200	200	0	0	172	9.56 ± 0.85Aa
9	500	200	200	50	0	180	10.00 ± 0.94Aa
10	500	200	200	0	50	185	10.28 ± 0.87Aa
11	500	200	200	50	50	187	10.39 ± 1.02Aa
CK	0	0	0	0	0	0	0
处女雌蛾 Virgin female						41	2.28 ± 0.31Bb

① 诱芯中各组分的配比符合性信息素 GC 分析中各种成分所占的比例。Composition ratio in lure accord with the sex pheromone by GC. A: *Z*7－14: Ac; B: *E*3－14: Ac; C: *Z*3*E*5－14: Ac; D: *Z*3－14: OH; E: *E*3－14: OH; CK: 正己烷 Hexane。②表中数据为平均值±标准差。同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同。The data in the table are mean ± SD. Data in the columns with different small letters are significantly different ($P<0.05$), while these with different capital letters are highly significantly different ($P<0.01$). The same below.

表 2　榆木蠹蛾不同比例性诱剂的林间诱蛾试验结果[①]

Tab. 2　Results of *H. vicarius* in traps baited with different ratio sex attractant in field

处理 Treatment	性诱剂组分比例 Ratio of sex attractant			3 天诱蛾总量 Total number of males trapped for three days	单诱芯日平均诱蛾数 Daily mean number of males trapped per lure
	*Z*7 -14：Ac	*E*3 -14：Ac	*Z*3*E*5 -14：Ac		
1	10	2	1	71	3.94 ±0.35Cc
2	10	4	1	135	7.50 ±0.84Bb
3	10	6	1	130	7.22 ±0.97Bb
4	10	8	1	145	8.06 ±1.33Bb
5	10	4	2	83	4.61 ±0.45Cc
6	10	4	4	211	11.72 ±2.81Aa
7	10	4	6	182	10.11 ±3.11Aa
8	10	4	8	187	10.38 ±2.53Aa

① 单个诱芯总剂量为 1 mg. The dosage of each lure is 1 mg.

*Z*7 -14：Ac 和 *E*3 -14：Ac 比例一定时，随着 *Z*3*E*5 -14：Ac 比例的增加诱蛾量增加，处理 6，7 和 8 差异不显著（$P > 0.05$），极显著高于处理 5（$P < 0.01$）。综合考虑合成各种化合物的成本及林间诱捕效果，选择 *Z*7 -14：Ac，E3 -14：Ac，*Z*3*E*5 -14：Ac∶10∶4∶4（处理 6）作为最佳比例，这与 GC 分析中各组分的比例相吻合。

2.5　剂量对诱蛾活性的影响

根据最佳组分比例设计的 *Z*7 -14：Ac、*E*3 -14：Ac 和 *Z*3*E*5 -14：Ac 不同剂量对林间诱蛾量有明显影响（表 3），比例相同的诱芯中性诱剂的含量越大，诱蛾量越多。处理 8 中单个诱芯含量为1 440 μg 时诱蛾量最多，单诱芯日平均诱雄蛾数达 12.15 头，但处理 8，7，6 和处理 5 诱蛾量差异不显著（$P > 0.05$）。因此，考虑诱蛾活性和经济原则，选择处理 5 即单诱芯性诱剂含量为 900 μg（*Z*7 -14：Ac 为 500 μg，*E*3 -14：Ac 为 200 μg，*Z*3*E*5 -14：Ac 为 200 μg）进行榆木蠹蛾雄蛾诱捕可达到理想的效果。

表 3　同剂量下性诱剂的诱蛾效果

Tab. 3　Effect of *H. vicarius* in traps baited with different dosage ratio sex attractant in field

处理 Treatment	性诱剂组分剂量 Dosage of sex attractant/μg			8 天诱蛾总量 Total number of males trapped for eight days	单诱芯日平均诱蛾数 Daily mean number of males trapped per lure
	*Z*7 -14：Ac	*E*3 -14：Ac	*Z*3*E*5 -14：Ac		
1	100	40	40	38	0.79 ±0.24De
2	200	80	80	62	1.29 ±0.31Cd
3	300	120	120	139	2.90 ±0.21Cc
4	400	160	160	259	5.40 ±0.69Bb
5	500	200	200	529	11.02 ±1.12Aa
6	600	240	240	565	11.77 ±1.31Aa
7	700	280	280	567	11.81 ±1.23Aa
8	800	320	320	583	12.15 ±2.54Aa

2.6　性诱剂在虫情监测上的应用

利用 *Z*7 -14：Ac + *E*3 -14：Ac + *Z*3*E*5 -14：Ac = 500 μg + 200 μg + 200 μg 混合物制成诱芯进行虫情监测（图 5），从林间成虫发生曲线可看出 2010

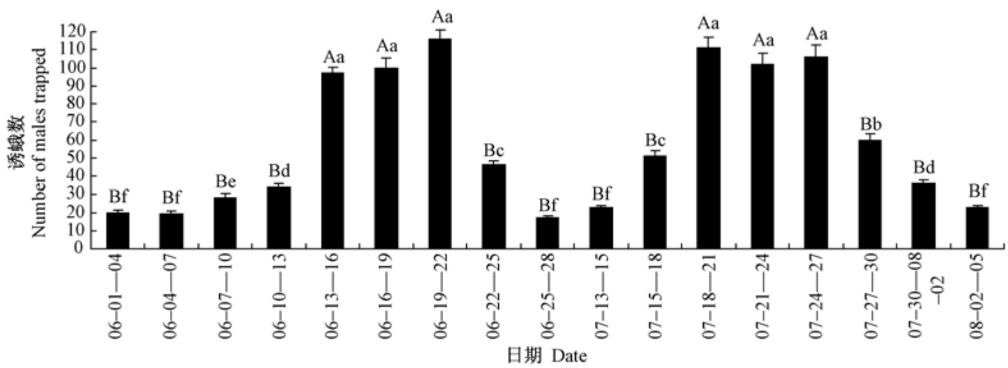


图 5　榆木蠹蛾的虫情监测

Fig. 5　Insect survey of *H. vicarius*

年榆木蠹蛾在宁夏6月初开始羽化,8月上旬结束。6月13日到6月22日羽化量与7月18到7月27日的诱蛾量极显著高于其他时间段($P<0.01$),可见6月中下旬为第1个发生高峰,第2个发生高峰出现在7月下旬。

3 结论与讨论

通过GC、EAG分析和林间诱蛾试验发现:*Z*7-14:Ac是榆木蠹蛾性诱剂的主要成分,EAG反应值较大的*E*3-14:Ac和*Z*3*E*5-14:Ac能增强诱蛾活性,*Z*3-14:OH和*E*3-14:OH在林间诱蛾试验中有增效作用,但三元、四元和五元组分性诱剂间的诱蛾效果差异不显著。*Z*7-14:Ac和*E*3-14:Ac是沙棘木蠹蛾(Fang *et al*., 2005)的性信息素,*Z*7-14:Ac是沙柳木蠹蛾(Jing *et al*., 2010)性信息素的主要成分,*E*3-14:Ac是*Cossus insularis*(Chen *et al*., 2006)和*Symmetrischema tangolias*(Griepink *et al*., 1995)的性信息素;Doolittle等(1986)认为*Z*3*E*5-14:Ac是洋槐木蠹蛾的性诱剂,*E*3-14:Ac是2种麦蛾科成虫的性诱剂(Priesner, 1987;Tóth *et al*., 1992)。

本试验利用*Z*7-14:Ac、*E*3-14:Ac和*Z*3*E*5-14:Ac这3种化合物组合成榆木蠹蛾性诱剂诱蛾效果理想,与沙棘木蠹蛾和沙柳木蠹蛾的性诱剂结构具有一定程度的相似性,但与前人发现的其他木蠹蛾性信息素或性诱剂的组成及比例完全不同。*Z*7-14:Ac、*E*3-14:Ac和*Z*3*E*5-14:Ac这3种化合物是否为榆木蠹蛾雌蛾腺体释放的性信息素成分,还需要进一步鉴定和研究。

利用人工合成的榆木蠹蛾性引诱剂进行虫情监测表明:宁夏榆木蠹蛾成虫发生于6月上旬到8月上旬,这与郝小燕(2006)等人的研究结果相似,说明人工合成的性引诱剂能及时、准确反映榆木蠹蛾成虫的发生及消长情况。

参 考 文 献

高同义, 孙 普, 郎杏茹. 2008. 榆树木蠹蛾生态学特性及综合防控技术研究. 宁夏农林科技, (5): 19-20.

郝小燕, 石爱霞, 张剑峰. 2006. 木蠹蛾生物学特性及防治. 内蒙古农业科技, (5): 55-56.

花保祯, 周 尧, 方德齐, 等. 1990. 中国木蠹蛾志. 杨凌: 天则出版社, 1-3.

李 冰, 钟利军, 张秀梅. 2005. 柳乌蠹蛾的生物学特性及防治. 吉林林业科技, 34(2): 24-25.

祁云台, 虞启涛, 方德齐, 1990. 蒙古木蠹蛾性信息素研究. 林业科学, 26(4): 316-321.

萧刚柔. 1992. 中国森林昆虫. 北京: 中国林业出版社, 765.

杨美红, 张金桐, 刘金龙, 等. 2010. 榆木蠹蛾成虫生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报, 53(11): 1273-1280.

张金桐, 孟宪佐. 2000. 小木蠹蛾雄蛾对雌蛾性信息素提取物及合成标准化合物的电生理反应. 林业科学, 36(5): 123-126.

Capizzi A, Tonini C, Arsura G, *et al*. 1983. Sex pheromone components of the European goat moth, *Cossus cossus*. J Chem Ecol, 9(2): 191-200.

Chen X, Kiyoshi N, Tomoaki N, *et al*. 2006. Female sex pheromone of a carpenter moth *Cossus insularis* (Lepidoptera: Cossidae). J Chem Ecol, 32(3): 669-679.

Doolittle R E, Solomon J D. 1986. Stereoselective synthesis of (*Z*,*E*)-3,5-tetradecadienyl acetate: Sex attractant for carpenterworm moth, *Prionoxystus robiniae* (Peck) (Lepidoptera: Cossidae) and effect of isomers and monounsaturated acetates on its attractiveness. J Chem Ecol, 12 (3): 619-633.

Doolittle R E, Roelofs W L, Solomon JD, *et al*. 1976. (*Z*, *E*)-3,5-tetradecadien-1-ol acetate sex attractant for the carpenterworm moth, *Prionoxystus robiniae* (Peck) (Lepidoptera: Cossidae). J Chem Ecol, 2: 399-410.

Fang Y L, Sun J H, Zhao C H, *et al*. 2005. Sex pheromone components of the sandthorn carpenterworm, *Holcocerus hippophaecolus*. J Chem Ecol, 31(1): 39-48.

Griepink F C, Van Beek T A, Visser J H, *et al*. 1995. Isolation and identification of sex pheromone of *Symmetrischema tangolais* (Gyen) (Lepidoptera: Gelechiidae). J Chem Ecol, 21: 2003-2013.

Jing X Y, Zhang J T, Luo Y Q, *et al*. 2010. Identification and field evaluation of the female sex Pheromone of the Sand *Salix* carpenterworm, *Holcocerus arenicola* Staudinger (Lepidoptera: Cossidae). Z Naturforsch C, 65(5/6): 403-411.

Landolt P J, Solomon J D, Doolittle R E. 1985. Attraction of male *Prionoxystus piger* (Lepidoptera: Cossidae) to isomers of 3,5-tetradecadien-1-ol acetate. Fla Entomol, 68(1): 228-230.

Priesner E. 1987. (*Z*)-3-tetradecenyl acetate as sex attractant component in Gelechiinae and Anomologinae (Lepidoptera: Gelechiidae). Z Naturforsch, 42c: 1352-1355.

Solomon J D, Dix M E, Doolittle R E. 1978. Attractiveness of synthetic carpenterworms sex attractant increased by isomeric mixtures and prolonged by preservatives. Environ Entomol, 7(1): 39-41.

Tonini C, Cassani G, Massardo P, *et al*. 1986. Study of female sex pheromone of leopard moth, *Zeuzera pyrina L*. isolation and identification of three components. J Chem Ecol, 12(6): 1545-1558.

Tóth M, Doolittle R E. 1992. Sex attractants for the white-barred groundling moth (*Recurvaria leucatella* Clerck) and the lesser bud moth (*R. nannella* Hübner) (Lepidoptera: Gelechiidae). J Chem Ecol, 18(7): 1093-1105.

Zhang J T, Han Y, Meng X Z. 2001. Sex pheromone of the carpenterworm *Holcocerus insularis* (Lepidoptera: Cossidae). Z Naturforsch C, 56(5/6): 423-429.

Zhang J T, Jing X Y, Luo Y Q, *et al*. 2009. The sex pheromone of the Sand Sagebrush Carpenterworm, *Holcocerus artemisiae* (Lepidoptera: Cossidae). Z Naturforsch C, 64(7/8): 590-596.

(责任编辑 朱乾坤)