

杏树挥发物成分的鉴定及其对杏树皱小蠹的触角电位的测定*

隋学良 许志春** 田呈明

(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)

摘 要 田间观察发现,伐倒木对杏树皱小蠹 *Lcolytus rugulosus* Ratzeburg 有很强的引诱作用。采用顶空吸附采样方法林间采集杏树不同部位的挥发性成分,经热脱附吹扫捕集-气相色谱-质谱联用仪(TCT-GC-MS)分析、鉴定杏树挥发物的组成成分。发现杏树释放的挥发性成分主要由脂肪族的绿叶成分和醛类物质组成,且不同部位的挥发物种类含量有一定差异。从已分析出的化合物中选取 10 种于室内进行杏树皱小蠹的触角电位试验,试验中以玻璃电极配合 Kassiling's 电生理盐水作为导电电极,反-2-己烯-1-醛作为测定值的参照物,对试验结果进行处理得到相对反应值。研究表明,皱小蠹的触角对醛类化合物正庚醛、2-乙基丁醛、壬醛等有较强的触角电位反应,其中对正庚醛相对反应值最大,是对标样反应值的 4.29 倍;对挥发性绿叶成分 2-乙基-1-己醇触角电位也有一定的反应;对单萜烯类化合物 α -蒎烯的触角电位反应较弱。

关键词 杏树, 杏树皱小蠹, 顶空采集, 触角电位

Analysis of *Prunus armeniaca* volatiles and the electroantennogram responses induced by them in *Lcolytus rugulosus*

SUI Xue-Liang XU Zhi-Chun** TIAN Cheng-Ming

(The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract In recent years, *Lcolytus rugulosus* Ratzeburg has seriously affected local apricot crops in the Xinjiang area. Behavioral tests revealed that *L. rugulosus* is strongly attracted to its host tree *Prunus armeniaca*. The volatiles emitted from different parts of host trees were collected in the field by headspace sampling in situ and analyzed in a Thermodesorption Cold Trap (TCT) - GC - MS. Two major classes of compounds, aliphatics [mainly green-leaf volatiles (GLVs)] and aldehydes, were found in the host tree species investigated. However, differences could be found with respect to a few components of the blend. Relative response values to different compounds were measured relative to counter-2 hexenoic-1-aldehyde as a standard. Electroantennograms from the antennae of *L. rugulosus* were recorded in response to 10 kinds of compounds selected from the volatiles in the headspace of apricot trees and other sources. The strongest response was to the aldehydes heptanal, 2-ethyl-butana and nonanal. Some EAG amplitudes were also observed to green leaf alcohols, but only small EAG amplitudes were observed to α -pinene.

Key words *Prunus armeniaca*, *Lcolytus rugulosus*, electroantennogram, dynamic headspace analysis

皱小蠹 *Lcolytus rugulosus* Ratzeburg 广泛分布于新疆维吾尔自治区的喀什、和田、阿克苏、吐鲁番、乌鲁木齐和伊犁等地的水果产区(赵魁杰等, 1984)。近几年来,随着杏树(*Prunus armeniaca*)的大量种植,皱小蠹对杏树的危害也呈

上升趋势,在杏树种植集中的乡村都有发生,危害严重的有轮台县的哈尔巴克乡、策达雅乡、野云沟乡,其中危害最严重的杏园杏树死亡率曾高达 91.3% (曹春波等, 2006)。小蠹虫具有复杂的种间和种内化学信息素以调节和控制对寄主树木的

* 资助项目:新疆维吾尔自治区科技援疆项目(200840102-04)。

**通讯作者, E-mail: zhchxu@bjfu.edu.cn

收稿日期: 2011-02-03, 接受日期: 2011-10-23

选择、入侵和危害,进而调控小蠹虫在森林生态系统内的种群密度和生态分布(Amman and Lindgren, 1998)。寄主植物挥发物是小蠹虫进行寄主定位的重要嗅觉刺激物(Visser, 1986)。而国内目前对杏树皱小蠹寄主挥发物的成分以及作用尚未有研究,本文用顶空法采集杏树不同部位的挥发物,结合 TCT/GC-MS 分析鉴定挥发物成分,并选取其中 10 种作为刺激物对皱小蠹进行触角电位反应,研究化学物质在杏树皱小蠹寄主选择过程中的作用。

1 材料与方 法

1.1 仪器和试剂

热脱附吹扫捕集-气相色谱-质谱联用仪(Perkinelmer 公司,美国);QC-1S 型大气采样仪(北京劳动保护科学研究所)。

吸附管(Camsco 公司,美国); α -派烯(98%)、壬醛(97%)、辛醛(98%)、庚醛(97%)、苯甲醛(99%)、苯乙酮(99%)、2-乙基-1-己醇(97%)、反-2-己烯-1-醛(98%) Alfa Aesar(美国);2-乙基丁醛(92%)、二乙二醇一丁醚(91%)、Aldrich(美国);乙酸叶醇酯(98%)/SAFC(日本)。

1.2 杏树挥发物的采集

于 2009 年 6 月 11 日在新疆吐鲁番市亚尔乡(E89°09'17", N42°56'21")杏树园内,采用动态顶空套袋采集法随机采集 3 株杏树的树叶、树干自然状态下所挥发的气体。用塑料袋(reynolds oven bags, 482 mm × 596 mm)套住杏树枝条(树干)以后,立刻将袋内的空气抽走,泵入经活性炭(国药集团)过滤后的净化空气,密闭系统循环采气 40 min,气体流量为 100 mL/min。在对木段气味采集时,将杏树树干截成长 50 cm,粗 5~6 cm 的木段,在林间放置 72 h。之后在林间对其气味进行采集,每次采集 3 段,方法同树叶气味采集。

1.3 杏树挥发物的鉴定

将吸附管经热脱附吹扫捕集-气相色谱-质谱联用仪(TCT-GC-MS)分析,色谱条件:毛细管柱 Elite-5ms,载气流速 2 mL/min,柱长 30 m,内径 0.32 mm 膜厚 0.25 μ m,采取两级程序升温方法,初始温度 40℃ 保持 1 min,第 1 级升温速率为 4℃/min 升至 160℃ 保持 2 min;第 2 级升温速率 15℃/min,至 280℃ 保持 2 min,共用时 43 min;质谱条

件:溶剂延迟 1 min,扫描质核比范围 29~500 amu。利用仪器采用 TurboMass Ver 5.4.2 软件,通过 NIST2008 谱图库检索,结合人工读图解析杏树挥发物的组成成分。

1.4 触角电位分析

1.4.1 触角电位的测定 根据 GC-MS 分析杏树提取物的结果,选取 10 种化合物单体作为刺激样品于室内做杏树皱小蠹的触角电位试验。将 10 种化合物单体分别稀释为 4 个浓度梯度(李水清和张钟宁,2007):1/1000、1/100、1/10 和 1/1(原液),以正己烷作为溶剂。试验中采用玻璃电极配合 Kassiling's 电生理盐水作为导电电极(赵新成等,2004),将小蠹虫头部切下,将参比电极与小蠹虫头部额叶区相连,记录电极与小蠹触角相连。用微量移液器将样品滴加到滤纸条(0.5 cm × 3.0 cm)上,将滤纸放入样品管中,由气流控制器通过胶皮管提供气流。测定时打开刺激气流,刺激时间为 0.5 s,2 次刺激之间间隔 1~2 min。本实验同一化合物的同一浓度在同一根触角上测定 3 次,为了减少昆虫之间的个体差异,每个样品测定 3 条触角。触角电位反应值的大小通过测量 EAG 波形的峰值幅度获得。为了消除不同触角造成的个体差异,以及触角活性随反应时间而降低的现象,排除环境条件的影响,保持结果的可比性,本试验均以 20 μ L 的反-2-己烯-1-醛的 EAG 反应值作为参照。每一种样品测量前后都要测定参照值。对试验结果进行处理得到相对反应值。

1.4.2 数据处理 化合物单体的 EAG 数据处理方法与王明等(1999)的方法相同,用刺激样品的触角电位反应的相对值表示。样品的 EAG 反应的相对值(100% EAG to standard)由以下公式算出

$$S_r = \frac{S_c - CK_m}{R_m - CK_m} \times 100。$$

式中: S_r 为刺激样品的触角电位反应的相对值; S_c 为刺激样品的触角电位反应值; CK_m 为刺激样品测定前后液体正己烷对触角电位的反应值的平均值; R_m 为测定刺激样品触角电位前后标准化合物反-2-己烯醛触角电位的平均值。

2 结果与分析

自然状态下小蠹羽化为成虫后需要经历扩散、选择寄主、聚集并最终定殖,完成其生活史。

羽化后,不同种具有不同的寄主搜索行为,目前尚未明确杏树皱小蠹的定位机制。但笔者在田间观察中发现,伐倒木或风吹倒伏的杏树木段上会有大量的皱小蠹寄生,可以初步说明杏树木段散发的气味对皱小蠹有较强的引诱能力。顶空吸附采集皱小蠹寄主植物杏树的锯木、树叶和树干的挥发性成分,发现了脂肪族的绿叶成分(如正己醛、壬醛和2-乙基丁醛等)和单萜烯成分,没有发现倍半萜和二萜等其它化合物(表1)。

杏树叶、树干与木段三者之间的挥发物成分含量有一定的区别,树叶挥发物和树干挥发物的种类比较接近,树叶和树干挥发物中挥发性绿叶成分的含量最高,如树叶中乙酸叶醇酯的含量达到5.03%,远远高于树干中的0.57%,壬醛、癸醛的含量也都远高出后者;而单萜类物质在树干挥发物中的含量较高,其中 α -雪松烯的含量达到了20.75%,远高于树叶挥发物中的含量。木段挥发物中单萜类的种类较树叶和树干挥发物中的多,如:在木段挥发物中发现的3-蒎烯、 α -蒎烯和 β -蒎烯,3种物质在木段挥发物中的含量分别为3.65%、3.17%和2.85%,在树叶和树干挥发物中

并没有发现。但木段挥发物中绿叶性挥发物种类较少,含量也较低,如上述的乙酸叶醇酯、壬醛、癸醛等物质在木段挥发物中都没有发现。

在研究中发现,皱小蠹触角对醛类化合物正庚醛、2-乙基丁醛、壬醛等有较强的触角电位反应,其中对正庚醛相对反应值最大,其触角电位反应明显高于乙酸叶醇酯、2-乙基-1-己醇等挥发性绿叶成分;对单萜烯类化合物 α -蒎烯的触角电位反应随着刺激物稀释浓度的变化而改变。

试验中,皱小蠹对各种刺激物的不同稀释浓度反应不同,如图1。皱小蠹对正庚醛、正辛醛的剂量-反应曲线是:随着浓度的增加,触角电位的反应值增大,对原液的反应值最大。而对 α -蒎烯的剂量-反应曲线则是:在高浓度时随着浓度的降低反应值升高,到1/100浓度时达到最大值169.06%,浓度低于1/100时反应值开始降低。证明皱小蠹对该物质的反应在1/100浓度时达到饱和。皱小蠹对于绿叶挥发物质2-乙基-1-己醇反应值与稀释浓度呈正相关,随着浓度的降低反应值降低(表2)。

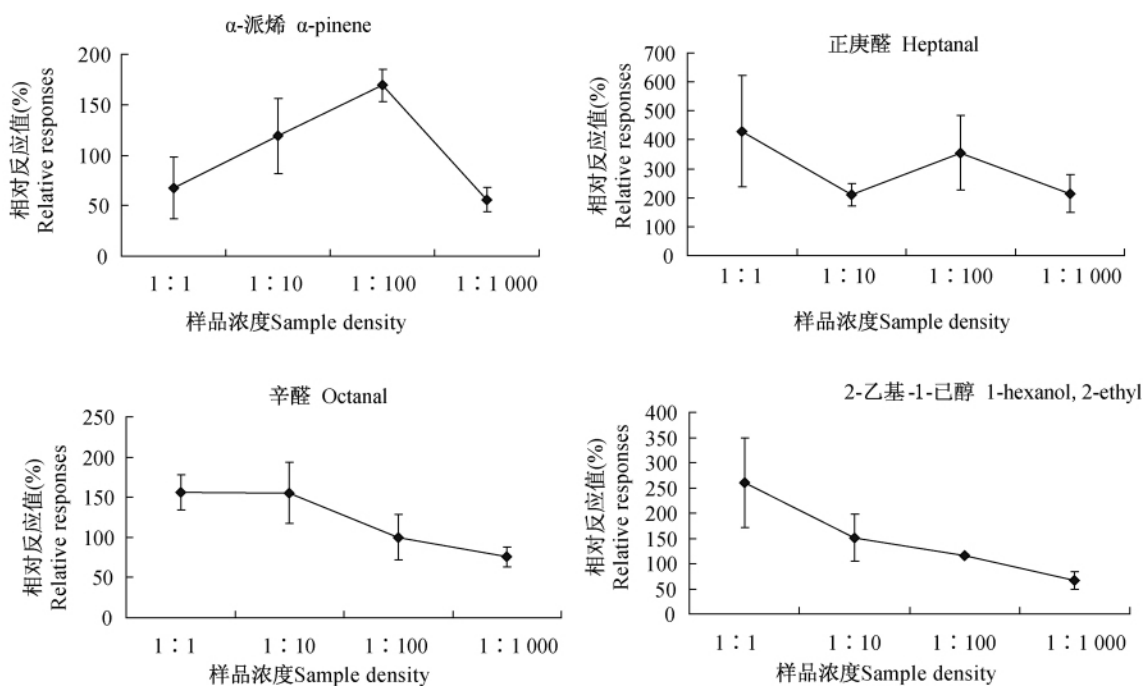


图1 杏树皱小蠹对不同浓度化合物单体的EAG反应

Fig. 1 EAG responses of *Lcolytus rugulosus* to the compounds with different concentrations

表 1 GC-MS 分析鉴定杏树皱小蠹寄主植物杏树不同部位的成分及其相对含量

Table 1 Compounds and content of volatiles identified from *Prunus armeniaca* by GC-MS

化合物名称 Compounds	杏树不同部位挥发物含量(%)		
	Content of volatiles identified from different parts of		
	<i>Prunus armeniaca</i>		
	树叶 Leaf	木段 Cut log	树干 Trunk
1-甲氧基-2-丙醇 (2-propanol, 1-methoxy)	23.29	10.54	55.23
丙烯 (propylene)	1.04	—	0.68
正己醛 (hexanal)	3.74	2.62	1.62
1,6-己二醇 (1,6-hexanediol)	1.79	—	—
正庚醛 (heptanal)	1.10	—	0.54
苯甲醛 (benzaldehyde)	1.57	—	0.49
己酸 (hexanoic acid)	2.12	—	—
辛醛 (octanal)	1.14	—	0.67
乙酸叶醇酯 (3-hexen-1-ol, acetate)	5.03	—	0.57
柠檬烯 (limonene/cyclohexene)	1.07	0.41	0.09
2-乙基-1-己醇 (1-hexanol, 2-ethyl)	0.98	1.09	0.51
苯乙酮 (acetophenone)	0.31	1.25	0.15
2-十烯-1-醇 (2-decen-1-ol)	0.24	—	0.07
十一烷 (undecane)	0.63	0.42	0.28
壬醛 (nonanal)	5.35	2.15	2.26
2-壬烯-1-醇 (2-nonen-1-ol)	0.79	—	0.24
4,6-二甲基十一烷 (undecane, 4,6-dimethyl)	0.78	—	—
癸醛 (decanal)	4.88	1.36	1.45
十三烯 (tridecene)	2.36	0.22	—
二乙二醇-丁醚 (ethanol, 2-(2-butoxyethoxy))	1.50	0.72	0.48
癸醇 (decanol)	6.27	0.85	0.34
β -榄香烯 (cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis)	0.68	0.66	1.30
长叶烯 (1,4-methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-methylene)	5.06	3.54	—
α -雪松烯 (di-epi- α -cedrene)	11.68	11.31	20.75
雪松烯 (cedrene)	2.56	2.82	4.95
罗汉柏烯 (thujopsene)	5.27	4.10	3.81
甲癸醚 (1-methoxydecane)	4.01	0.30	—
十九烷 (nonadecane)	1.57	0.84	—
十六烷 (hexadecane)	1.14	—	—
十六酸 (hexadecanoic acid)	0.91	0.19	0.29
喇叭烯 (cyclopropa [d] naphthalen-2 (4a)-one, 1,1a,3,5,6,7a,7b-octahydro-1,1,4,7-tetram)	—	0.30	0.77
十八醛 (octadecanal)	—	—	0.22
3-甲基-4-乙基戊醇 (3-ethyl-4-methylpentanol)	—	—	0.21
辛醇 (octane)	—	—	0.25
过氧化乙酰丙酮 (2-propanone, 1-acetyloxy)	—	14.06	0.46
6-甲基-5-庚烯-2-醇 (5-hepten-2-one, 6-methyl)	—	—	0.67
3-己烯-1-醇 (3-hexen-1-ol)	—	—	0.67
己-2-烯醛 (2-hexenal)	—	1.43	—
乙基苯 (ethylbenzene)	—	6.25	—
异戊醇 (1-butanol, 3-methyl)	—	20.82	—
α -派烯 (α -pinene)	—	3.17	—
β -派烯 (β -pinene)	—	2.85	—
3-萜烯 (3-carene)	—	3.65	—
罗勒烯 (1,3,6-octatriene, 3,7-dimethyl)	—	1.03	—
undecane, 4,6-dimethyl	—	0.39	—

注: “—”表示未检测到该物质。The dash(—) indicates that the compound had not been detected in the volatiles.

表 2 杏树皱小蠹触角对 10 种化合物单体的触角电位反应值
Table 2 EAG responses of *Lcolytus rugulosus* to ten artificial chemicals

刺激物名称 Stimulus	刺激量 Amount (μ L)	杏树皱小蠹对稀释成不同浓度的刺激物相对反应值(%) Relative responses of <i>Lcolytus rugulosus</i> to different density stimulants			
		原液(1:1)	1:10	1:100	1:1 000
α -派烯(α -pinene)	20	67.64 $\pm$ 30.61	118.86 $\pm$ 37.48	169.06 $\pm$ 16.39	55.85 $\pm$ 12.03
2-乙基丁醛(butana, 2-ethyl)	20	313.04 $\pm$ 157.70	264.95 $\pm$ 160.40	33.53 $\pm$ 6.15	89.61 $\pm$ 34.98
正庚醛(heptanal)	20	429.42 $\pm$ 192.78	210.36 $\pm$ 38.77	355.02 $\pm$ 129.24	214.04 $\pm$ 64.39
苯甲醛(benzaldehyde)	20	36.60 $\pm$ 7.01	72.72 $\pm$ 10.36	166.80 $\pm$ 21.11	67.86 $\pm$ 28.38
正辛醛(octanal)	20	156.41 $\pm$ 21.82	155.45 $\pm$ 38.12	100.08 $\pm$ 28.25	75.63 $\pm$ 12.60
乙酸叶醇酯 (3-hexen-1-ol, acetate, (Z))	20	99.51 $\pm$ 24.47	184.50 $\pm$ 54.95	144.67 $\pm$ 32.96	119.78 $\pm$ 26.72
2-乙基-1-己醇 (1-hexanol, 2-ethyl)	20	260.12 $\pm$ 88.80	151.13 $\pm$ 46.78	116.14 $\pm$ 3.37	66.84 $\pm$ 17.23
苯乙酮(acetophenone)	20	50.05 $\pm$ 11.88	38.33 $\pm$ 14.27	67.76 $\pm$ 23.86	139.18 $\pm$ 18.17
壬醛(nonanal)	20	131.78 $\pm$ 26.84	61.73 $\pm$ 33.12	143.97 $\pm$ 4.97	116.81 $\pm$ 11.92
二乙二氧一丁醚 (ethanol, 2-(2-butoxyethoxy))	20	107.44 $\pm$ 59.84	154.75 $\pm$ 21.24	132.64 $\pm$ 17.68	133.87 $\pm$ 18.89

3 讨论

挥发性绿叶气味成分是叶表面脂类化合物的氧化产物,能在不同方面影响植食性昆虫的行为,例如搜寻寄主植物、对信息素的增效或抑制等。根据触角电位试验的结果,杏树皱小蠹对正庚醛、2-乙基丁醛的反应值较高,而这 2 种物质是皱小蠹的寄主植物—杏树的树皮所释放。有文献报道,由被子植物(杨树、桦树)树皮中释放的辛醇类,如 3-辛醇(3-octanol)和 1-辛烯-3 醇(1-octen-3-ol)(Zhang *et al.*, 2007);醛类,如 trans-conophthorin 等;还有芳香族化合物,如苯甲醇(benzyl alcohol)、苯 甲 醛 (benzaldehyde) 以 及 水 杨 醛 (salicylaldehyde)(Visser, 1986)等树皮挥发物代表了树种水平的非寄主信号。而皱小蠹的寄主即为阔叶树被子植物,因此上述的树皮挥发物(醛类、醇类挥发物)可能就是皱小蠹寻找寄主时用以参照的物质。

杏树树叶、树干的提取物中没有发现 3-萜烯、 α -派烯和 β -派烯这些单萜类挥发物,但在杏树木段中这些单萜类挥发物占有一定的比例,它们属于树木萜烯类代谢的副产物(Sturgeon and Mitton, 1982)。因此可以推测这 3 种单萜类挥发物是杏树在被砍伐后由其本身的萜烯类化合物代谢而生成的。由于在田间的观察中发现杏树被砍伐下来

散落林间的木段更容易被皱小蠹侵入,因此木段挥发物的成分对皱小蠹的行为反应非常重要。在触角电位试验中发现,皱小蠹对 α -派烯的反应值在 1:100 浓度时最高,而对原液和 1/1 000 浓度混合液的反应较低。而皱小蠹对正庚醛等杏树树干的挥发物的原液反应值很高。可以推测, α -派烯和庚醛在皱小蠹识别寄主时充当重要角色,而其浓度的变化与皱小蠹选择寄主之间存在极其密切的联系。国外有报道称萜烯类化合物吸引小蠹(初级引诱或次级引诱)。尽管萜烯类化合物对小蠹具有毒害作用,但是寄主单萜烯类挥发物为小蠹寄主选择提供了长距离或(和)近距离的嗅觉信号,单萜烯类化合物在寄主选择中发挥着重要的嗅觉信号功能(Phillips and Croteau, 1999)。

触角电位试验中还发现,皱小蠹对 2-乙基-1-己醇、乙酸叶醇酯等绿叶类挥发物质单体的反应值随着单体浓度的升高而变大,说明绿叶类挥发物质,也可能是皱小蠹寻找寄主中一种信息化合物。有研究表明绿叶挥发物 1-己醇和己醛可降低瘤额大小蠹 *Dendroctonus frontalis*、南部松齿小蠹 *Ips grandicollis* 和北美齿小蠹 *I. avulsus* 对各自的聚集信息素的聚集反应(Whitten *et al.*, 1988),非寄主植物挥发物(Z)-3-己烯-1-醇、(E)-2-己烯-1-醇和 1-己醇能明显降低二齿星小蠹 *Pityogenes bidentatus* 对其聚集信息素顺式马鞭草烯醇(cis-

verbenol) 和诱杀烯醇 (grandisol) 的聚集反应 (Byers *et al.*, 2000), 非寄主植物挥发物 1-己醇、(Z)-3-己烯-1-醇、3-辛醇和 1-辛烯-3-醇可抑制重齿小蠹 *Ips duplicatus* (Zhang *et al.*, 2001) 和纵坑切梢小蠹的聚集 (Poland *et al.*, 2004)。而皱小蠹的寄主植物本身就是杏树, 因此绿叶气味类挥发物在皱小蠹寄主选择的过程中有重要作用, 是杏树小蠹进行寄主定位的重要挥发物。

目前, 关于小蠹的寄主植物选择理论主要有 2 种 (Byers, 1995): 其一是寄主挥发物定位理论, 即不健康 (机械损伤或生病) 的寄主植物释放挥发性化学物质。小蠹以该类气味物质的嗅觉刺激来定向, 借此找到一定距离以外的寄主植物。其二是随机选择理论, 即小蠹起飞后, 四处飞行, 随机降落在寄主或非寄主植物上。通过测试植物是否具有取食刺激物或抑制物, 测试植物抗性来决定其是否为适宜寄主。目前皱小蠹的寄主植物选择理论尚不清楚, 醛类、单萜类以及绿叶类挥发性物质在皱小蠹的寄主选择过程中必然充当着重要角色。这些物质的具体作用还需要进一步的试验验证。我们可以进一步利用这些物质开发出对皱小蠹专指性较强的引诱剂。

参考文献 (References)

- Amman GD, Lindgren BS, 1998. Semiochemicals for management of mountain pine beetle//Salom SM, Hobson KR (eds.). Application of Semiochemicals for Management of Bark Beetle Infestations: Proceedings of an Informal Conference, Collingdale: Diane Publishing Company. 14—22.
- Byers JA, 1995. Host tree chemistry affecting colonization in bark beetle//Card RT, Bell WJ (eds.). Chemical Ecology of Insects. Chapman and Hall, New York. 154—213.
- Byers JA, Zhang QH, Birgersson G, 2000. Strategies of a bark beetle, *Pityogenes bidentatus*, in an olfactory landscape. *Naturwissenschaften*, 87 (11): 503—507.
- Phillips MA, Croteau RB, 1999. Resin-based defenses in conifers. *Trends Plant Sci.*, 4 (5): 184—190.
- Poland TM, De GP, Stephen B, 2004. Semiochemical disruption of the pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae). *Environm. Entomol.*, 33 (2): 221—226.
- Sturgeon KB, Mitton JB, 1982. Evolution of bark beetle communities // Mitton JB, Sturgeon KB (eds.). Bark Beetles in North American Conifers. A System for the Study of Evolutionary Biology. University of Texas Press. Austin, Texas USA. 350—384.
- Visser JH, 1986. Host odor perception in phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 31: 121—144.
- Whitten WM, Hill HG, Williams NH, 1988. Occurrence of ipsdienol in floral fragrances. *Phytochemistry*, 27 (9): 2759—2760.
- Zhang QH, Liu GT, Schlyter F, 2001. Olfactory responses of *Ips duplicatus* from Inner Mongolia, China to nonhost leaf and bark volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 27 (5): 995—1009.
- Zhang QH, Schlyter F, Chen GF, Wang YJ, 2007. Electrophysiological and behavioral responses of *Ips subelongatus* to semiochemicals from its hosts, non-hosts, and conspecifics in China. *J. Chem. Ecol.*, 33 (7): 391—404.
- 曹春波, 邢新生, 周晓玲, 刘春惊, 留文利, 谭永军, 买买牙生, 2006. 轮台县小蠹虫综合防治研究. 新疆农业科技, 2: 26—27.
- 李水清, 张钟宇, 2007. 马尾松枝条挥发性组分的鉴定及松墨天牛对其触角电生理反应. 昆虫知识, 44 (3): 385—389.
- 王明, 伍德明, 闫云花, 吴才宏, 迪拉娜·艾山, 郑成锐, 1999. 新疆棉铃虫性信息素的电生理研究, 华中农业大学学报, 18 (4): 311—316.
- 赵魁杰, 申凤举, 胡吉买买提, 1984. 邹小蠹的初步研究. 昆虫知识, 21 (1): 27—29.
- 赵新成, 闫云花, 王睿, 王琛柱, 2004. 昆虫神经生物学研究技术: 触角电位图记录. 昆虫知识, 41 (3): 270—274.