

松墨天牛对不同生理状态黑松挥发物的触角电生理和行为反应*

郝德君¹ 马凤林² 王焱² 张永慧¹ 戴华国^{1*}

(¹南京农业大学植保学院,南京 210095; ²上海市林业总站,上海 200072)

【摘要】 用水蒸气蒸馏法结合气相色谱以及气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析了黑松的健康木和松材线虫危害木中的挥发性物质,并利用触角电位和嗅觉仪测定技术比较分析了松墨天牛对黑松健康木和被害木挥发物的触角电生理和行为反应特点及其对健康木挥发物随日龄的变化规律.结果表明,未交配天牛对健康木挥发物的EAG反应值大于被害木,已交配天牛对被害木EAG反应值显著大于健康木;15日龄前的EAG反应值随日龄增加而升高.在“Y”型嗅觉仪中,未交配天牛对健康木挥发物表现为正性反应,对被害木挥发物表现为负性反应;已交配天牛对被害木挥发物表现为正性反应,对健康木挥发物表现为负性反应.雌天牛随着日龄增加对健康木挥发物的正性反应逐渐增强,在15日龄时达到最大,雄天牛在9日龄时正性反应最强.说明不同发育时期的松墨天牛成虫对不同生理状态的黑松具有不同的敏感性和选择性.

关键词 松墨天牛 黑松 挥发性物质 触角电生理反应 行为反应

文章编号 1001-9332(2006)06-1070-05 中图分类号 Q965 文献标识码 A

Electroantennogram and behavioral responses of *Monochamus alternatus* to the volatiles from *Pinus thunbergii* with different physiological status. HAO Dejun¹, MA Fenglin², WANG Yan², ZHANG Yonghui¹, DAI Huaguo¹ (¹Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Forest Station of Shanghai, Shanghai 200072, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(6): 1070 ~ 1074.

The volatiles from healthy and pinewood nematode-infested branches of *Pinus thunbergii* were collected by distillation, and analyzed by using HPLC and GC-MS. Electroantennogram (EAG) and behavioral responses of *Monochamus alternatus* with different physiological status to the volatiles were investigated respectively. The results showed that unmated beetle had a greater EAG response potential to the volatiles from healthy branch than to those from infested branch, while it was reverse for mated beetle. The EAG response of unmated beetle under 15 days-old to the volatiles from healthy branch increased with its age. “Y” tube olfactory test showed unmated beetle had positive response to the volatiles from healthy branch and negative response to those from infested branch, while mated beetle showed positive response to the volatiles from infested branch and negative response to those from healthy branch. Female beetle with its age from 1 day to 15 days-old and male beetle from 1 day to 9 days-old had an increasing positive response to the volatiles from healthy branch, but the male after 9 days-old showed a negative response. It could be concluded that *M. alternatus* with different physiological status all had special sensitivity and selectivity to host tree.

Key words *Monochamus alternatus*, *Pinus thunbergii*, Volatile, EAG response, Behavioral response.

1 引言

松墨天牛(*Monochamus alternatus*)是我国重要针叶树蛀干害虫,也是松树毁灭性病害——松材线虫病(*Bursaphelenchus xylophilus*)的主要传播媒介昆虫.松树的挥发性物质在松墨天牛成虫寄主选择、补充营养和产卵等行为起着至关重要的作用^[1,2].国内外关于松墨天牛与寄主植物之间关系的研究,大多集中在成虫产卵过程与松树内含物或挥发物的化学联系上^[3,6,12].然而已有研究表明,松墨天牛在选择健康木补充营养时,其所携带的大部分线虫已经随取食伤口进入寄主^[8,10,16],因此,研究处于补充营养阶段的松墨天牛与寄主的化学通讯联

系,对阐明寄主挥发物对松墨天牛行为的作用机制,开辟松材线虫病治理的新途径具有重要的科学意义和应用价值.本研究比较分析了黑松(*Pinus thunbergii*)健康木和被害木挥发物化学组分和含量的变化,测定了松墨天牛对黑松挥发物的触角电生理和行为反应,以期为进一步研究松墨天牛对黑松挥发物的主要成分中的单组分和复合组分的行为反应,研制和开发取食引诱剂提供理论依据.

* 国家自然科学基金项目(30570282, 30500392)、上海市科委重大科技攻关项目(03-DZ1939)和中国博士后科学基金资助项目(2004036123).

** 通讯联系人. E-mail: daihg@njau.edu.cn
2005-07-11 收稿, 2006-03-30 接受.

2 材料与方法

2.1 供试材料

5月中下旬,在安徽省全椒县马厂镇的人工林内,砍伐18年~20年生松材线虫危害木,锯成长2 m木段,放入2.5 m × 2.5 m × 2.0 m网笼内,每天8:00时检查松墨天牛羽化成虫情况,发现羽化成虫后单头装入塑料盒内,供给当年或2年生健康黑松枝条作为食料,并放入湿棉球。带回实验室后,在温度为25℃,光照周期为12 L:12 D条件下饲养,每隔2 d天更换一次枝条。待发育到15日龄,雌雄成虫转入养虫缸内配对交尾,48 h后分别放回塑料盒内,作为测试昆虫。

2.2 挥发物提取、鉴定

将采集直径为1.5~2.5 cm健康黑松木和松材线虫危害木枝条分别洗净,自然晾干,剪成1 cm长小段,各称取500 g材料放入改进水蒸气蒸馏装置内^[13],加入1 L去离子水,连续萃取4 h,馏液用乙醚萃取,无水硫酸钠脱水,旋转蒸发除去乙醚,得到具有浓郁芳香气味的淡黄色透明油状物。

采用Agilent6890气相色谱仪(美国)和Agilent6890气相色谱/Agilent5973质谱/计算机联用仪分析挥发性物质。气相色谱条件:色谱柱为HP-5石英毛细管(30 m × 0.25 mm i. d. × 0.25 μm)、进样口温度230℃、检测室温度250℃、载气为99.999%氦气、流速1 mL min⁻¹;升温程序:柱温50℃保持5 min,以5℃·min⁻¹速率升至200℃,保持5 min;无分流进样,进样量为0.3 μL。质谱条件:电离方式EI,电子能量70 eV,质谱接口温度150℃,离子源温度250℃,质量扫描范围40~500 u。所得质谱图与WILEY725N数据库检索标准图谱对照,并参阅有关文献^[4,5,17,18]确定化学组分。

2.3 触角电位(EAG)反应

测定前用医用手术刀将松墨天牛触角自第4节基部切下,并切除末端1 mm;用Spectra[®]360导电胶将其固定在PP(Gain10X)电极上,气味管触角相距1 cm。用微量取样器抽取5 μL提取物均匀地滴在5 cm × 0.5 cm滤纸条上,放入10 cm长样品管中,样品管末端连接气体刺激控制装置。待基线稳定后给予刺激,每次刺激时间0.5 s,刺激间隔为30 s,以保证触角感受能够完全恢复。实验所用未交配天牛为8~10日龄,交配天牛为23~25日龄,测试雄雌触角各6根,每样品平行刺激5次。以重蒸正己烷为对照。将每一样品观测值经平均数校正前后两次对照测定值的平均值即得标准化值。实验所用触角电位仪由荷兰Syntech公司生产,测定所需软件也由该公司提供。

2.4 行为反应

“Y”型嗅觉仪基座长30 cm、两臂长20 cm、内径7 cm、两臂夹角75°,在两臂基部10 cm处伸两个样品室;嗅觉仪两臂分别通过Teflon管样品室相连。在气流进入样品室之前,由电磁式空气压缩机推动空气先经过一个活性炭过滤器

和装有蒸馏水的特氏多孔瓶,以净化空气和增加空气湿度,每臂气流流量通过LZB-4型玻璃转子流量计控制在300 mL min⁻¹。

生测时,“Y”型管臂端口用脱脂棉塞住。用微量取样器吸取5 μL待测物质,滴在5 cm × 0.5 cm滤纸条上,放入样品管中,将不滴加任何物质的同样规格的滤纸条放入另一个样品管中作为对照。从嗅觉仪基座末端接入测试天牛,10 min后分别记录进入味源管对照管或停留在基管中昆虫数。当天牛爬至超过某臂5 cm,并持续5 min以上,记为天牛对该臂的气味源做了选择。如5 min后仍未做选择,则记为不反应。整个生测过程在温度(27 ± 2)℃,湿度(70 ± 5)%室内进行,采用人工光源照明。

在测定松墨天牛对黑松挥发物行为反应中,实验所用未交配天牛为8~11日龄,交配天牛为23~26日龄。测定前将试虫饥饿2 h,试虫5头为一组,每生测一组,用丙酮清洗嗅觉仪,并用电风吹干,并调换两臂方向。每个处理重复10次,计算其反应率、选择反应率和选择系数。

3 结果与分析

3.1 健康木与松材线虫危害木挥发物组成比较

GC-MS分析表明,黑松挥发性物质主要由单萜和倍半萜及其氧化物构成,健康木挥发性物质鉴定出27种组分,松材线虫危害木鉴定出32种组分,选择相对含量大于0.1%的组分进行比较(见表1)。单萜主要为α-蒎烯、β-蒎烯、苧烯、β-水芹烯、α-异松油烯等组分,倍半萜主要为异长叶烯、紫穗槐烯、反式-石竹烯和δ-卡蒂烯等组分。可以看出,松材线虫危害后黑松所释放的挥发物组分和含量与健康木相比发生了较大变化。β-水芹烯、α-异松油烯、松油-4-醇、异长叶烯、酚及萘含量增加;β-蒎烯、古巴烯、大根叶烯D和紫穗槐烯含量有所减少;而α-蒎烯、苧烯、罗勒烯、α-澄椒烯、α-木罗烯变化不明显。健康木原有的柠檬烯、桃金娘烯醛、律草烯等组分在松材线虫危害后没有被释放,但是β-月桂烯、δ-3-萹烯、α-侧伯醛、别罗勒烯、长环烯、龙脑、松香芹酮、水芹醛和樟脑等组分经松材线虫危害后产生并被释放出来。

3.2 松墨天牛对黑松挥发物EAG反应

由图1可知,黑松健康木和线虫危害木两种提取物对松墨天牛成虫均能引起一定触角电位反应。未交配天牛对健康木触角电位反应比松材线虫危害木更加明显,但差异不显著($P > 0.05$);而交配后,雄天牛对松材线虫危害木EAG反应值显著大于健康木($P < 0.05$)。t-测验表明,雌雄天牛对两种提取物触角电位反应无性别上差异($P > 0.05$),但雄天牛EAG反应值略高于雌天牛。

表1 黑松健康木与松材线虫危害木的挥发物组成比较
Table 1 Comparison of chemical composition of volatiles from healthy and infested branches of *P. thunbergii*

化合物名称 Compound name	健康木 Healthy branches	被害木 Infested branches
α-蒎烯 α-Pinene	33.30	33.08
莰烯 Camphene	2.89	2.91
β-蒎烯 β-Pinene	20.60	15.42
β-水芹烯 β-Phellandrene	0.96	1.26
β-月桂烯 β-Myrcene	-	1.54
δ-3-萜烯 δ-3-Carene	-	1.70
柠檬烯 Limonene	20.77	-
α-松油烯 α-Terpinene	0.08	0.25
罗勒烯 Ocimene	0.10	0.12
γ-松油烯 γ-Terpinene	0.17	0.21
α-异松油烯 α-Terpinolene	1.27	1.53
松油-4-醇 Terpene-4-ol	0.24	0.62
α-侧柏烯 α-Thujenal	-	0.38
别罗勒烯 Alloocimene	-	0.10
桃金娘烯醛 Myrtenal	0.12	-
甲基百里基醚 Thymyl Methyl Ether	1.04	1.58
α-澄椒烯 α-Cubebene	0.65	0.62
古巴烯 Copaene	0.46	0.08
大根叶烯 D Germacrene-D	0.88	0.37
异长叶烯 Isolongifolene	4.65	8.90
α-律草烯 α-Humulene	0.58	-
α-紫穗槐烯 α-Amorphene	1.00	0.50
α-木罗烯 α-Muurolene	0.33	0.28
酚 Phenol	0.07	0.51
γ-卡蒂烯 γ-Cadinene	0.39	0.23
δ-卡蒂烯 δ-Cadinene	1.22	1.16
长叶龙脑 Longiborneol	0.12	-
反式-石竹烯 trans-Caryophyllene	2.77	2.10
τ-木罗醇 τ-Muurolol	0.23	0.17
α-卡蒂醇 α-Cadinol	0.19	0.11
萘 Naphthalene	0.14	0.43
长环烯 Longicyclene	-	0.52
龙脑 Borneol	-	0.22
樟脑 Camphor	-	0.18
松香芹酮 Pinocarvone	-	0.16
水芹醛 Phellandral	-	0.11

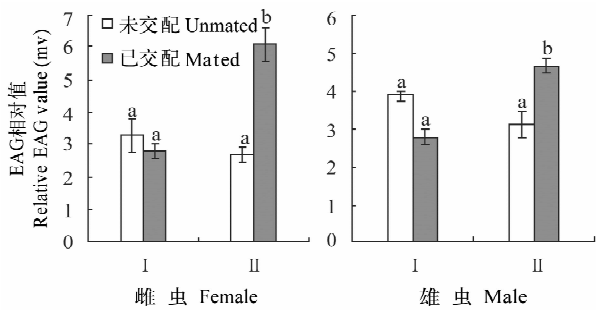


图1 松墨天牛对黑松挥发物的EAG值
Fig.1 EAG response of adult *M. alternatus* to volatiles of healthy *P. thunbergii*.
I. 健康木 Healthy; II 被害木 Infested. 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, *t* 测验) Different letters above column mean significant difference ($P < 0.05$, based on *t*-test).

3.3 不同日龄松墨天牛成虫对黑松挥发物的EAG反应

由图2可以看出，雌雄成虫对黑松健康木挥发

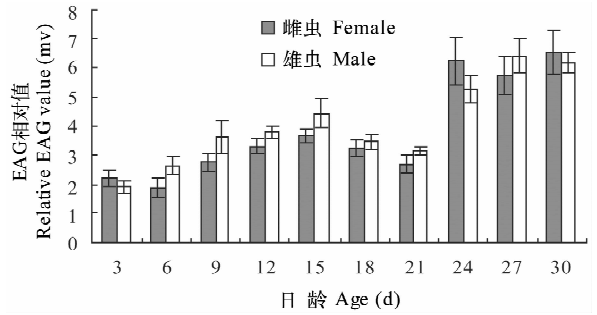


图2 不同日龄松墨天牛成虫对黑松挥发物的EAG值
Fig.2 EAG response of *M. alternatus* of different days old to volatiles of healthy *P. thunbergii*.

物的EAG反应无显著差异，15日龄前即未交配成虫的反应值随日龄增加而升高，在15日龄时达到最大。交配后的18日龄和21日龄成虫的EAG反应值降低，但与交配前无显著差异 ($P > 0.05$)，24日龄以后成虫的EAG反应值明显升高，并与此前成虫的反应值差异显著 ($P < 0.05$)。

3.4 松墨天牛成虫对黑松挥发物的嗅觉反应

松墨天牛成虫对黑松健康木和线虫危害木两种挥发物均具有较强嗅觉反应(表2)，反应率均超过80%。雌雄天牛对健康木挥发物的选择反应率在未交配时大于50%，交配后小于或等于50%；对松材线虫危害木挥发物的选择反应率与健康木的实验结果相反。选择系数表明，未交配时雌雄成虫对松材线虫危害木均呈负选择性(雌雄虫的选择系数分别为-0.17和-0.25)，对黑松健康木均呈正选择性(选择系数分别为0.21和0.00)；交配后的成虫对黑松健康木均呈负选择性(选择系数分别为-0.18和-0.14)，而对松材线虫危害木呈正选择性(选择系数分别为0.03和0.22)。

表2 松墨天牛成虫对黑松挥发物的嗅觉反应
Table 2 Olfactory response of *M. alternatus* to the volatiles of infested and healthy *P. thunbergii* (mean ± SE)

反应指标 Indices of reaction	成虫类型 Adult type	性别 Sex	被害木 Infested	健康木 Healthy
反应率 Reaction ratio (%)	未交配 Unmated	♀ ¹⁾	93.33 ± 4.22a	83.33 ± 6.15a
		♂ ²⁾	80.00 ± 0.00a	80.00 ± 0.00a
	已交配 Mated	♀	90.00 ± 4.47a	90.00 ± 4.47a
		♂	86.67 ± 6.67a	83.33a ± 6.15
选择反应率 Selective reaction ratio (%)	未交配 Unmated	♀	41.67 ± 6.41b	60.28 ± 6.50a
		♂	40.83 ± 3.74b	51.67 ± 3.07ab
	已交配 Mated	♀	62.50 ± 5.59a	50.00 ± 9.13ab
		♂	61.11 ± 4.61ab	43.06 ± 5.21b
选择系数 Selective index	未交配 Unmated	♀	-0.17 ± 0.13b	0.21 ± 0.13a
		♂	-0.25 ± 0.11b	0.00 ± 0.18ab
	已交配 Mated	♀	0.03 ± 0.06ab	-0.18 ± 0.07b
		♂	0.22 ± 0.09a	-0.14 ± 0.10b

1) 雌虫 Female; 2) 雄虫 Male. 同一列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Waller-Duncan 多重比较法检验). Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 level based on Waller-Duncan multiple comparison. 下同 The same below.

表3 不同日龄的松墨天牛成虫对黑松健康木挥发物的嗅觉反应

Table 3 Olfactory responses of *M. alternatus* of different days old to volatiles of healthy *P. thunbergii*

日龄 Age (d)	反应率 Reaction ratio (%)		选择反应率 Selective reaction ratio (%)		选择系数 Selective index	
	雌虫 Female	雄虫 Male	雌虫 Female	雄虫 Male	雌虫 Female	雄虫 Male
	1~3	77.78 ± 6.30cd	87.78 ± 3.91abc	53.89 ± 5.05abcd	54.17 ± 5.54abcd	0.08 ± 0.10abcd
4~6	83.33 ± 3.33bcd	73.33 ± 4.22d	55.83 ± 4.17abc	54.17 ± 5.99abcd	0.12 ± 0.08abc	0.08 ± 0.12bcd
7~9	100.00 ± 0.00a	96.67 ± 3.33a	57.43 ± 4.47ab	59.17 ± 4.54ab	0.16 ± 0.09ab	0.18 ± 0.09ab
10~12	83.33 ± 6.15bcd	80.00 ± 0.00cd	60.28 ± 6.50a	50.00 ± 9.13abcde	0.21 ± 0.13a	0.00 ± 0.18abcde
13~15	83.33 ± 3.33bcd	80.00 ± 5.16cd	60.00 ± 5.00a	48.89 ± 7.35bcdef	0.20 ± 0.10a	-0.02 ± 0.15abcde
16~18	83.33 ± 3.33bcd	90.00 ± 4.47abc	40.83 ± 5.83cdef	33.33 ± 4.77f	-0.18 ± 0.12cdef	-0.33 ± 0.09f
19~21	90.00 ± 4.47abc	83.33 ± 6.15bcd	40.83 ± 3.74def	43.06 ± 5.21bcdef	-0.18 ± 0.07cdef	-0.14 ± 0.10bcdef
22~24	93.33 ± 4.22ab	96.67 ± 3.33a	47.50 ± 5.74abcdef	34.17 ± 3.74ef	-0.05 ± 0.11abcdef	-0.32 ± 0.07ef
25~27	96.67 ± 3.33a	90.00 ± 6.83abc	38.33 ± 6.54def	49.44 ± 4.75abcdef	-0.23 ± 0.13def	-0.01 ± 0.09abcdef
28~30	83.33 ± 3.33bcd	80.00 ± 5.16cd	35.00 ± 6.45ef	38.89 ± 8.24def	-0.30 ± 0.13ef	-0.22 ± 0.16def

3.5 不同日龄松墨天牛对黑松健康木挥发物的嗅觉反应

由表3可知,雌虫在15日龄前未交配)对健康木挥发物呈正性反应,随日龄增加反应增强,但变化不显著($P > 0.05$);15日龄以后(交配后),雌虫对挥发物呈负性变化规律不显著($P > 0.05$),各日龄之间差异亦不显著.而在测试日龄段中,雌虫在交配前后有较大差异,如1~3日龄与25~27日龄、4~6日龄与28~30日龄之间差异显著($P < 0.05$).而雄虫在9日龄之前对健康木挥发物表现比较明显的正性反应且逐渐增强;13日龄以后雌雄虫对挥发物表现负性反应除了13~15日龄与16~18日龄之间差异显著外,其它各日龄之间均无明显差异.雄虫在交配前后也有较大差异,如4~6日龄与22~24日龄、7~9日龄与28~30日龄之间差异显著($P < 0.05$).但是,雌雄天牛在交配前后对健康木挥发物的反应均无显著差异.

4 讨论

实验结果表明,黑松被害后,以萜类化合物为主的植物挥发物发生了比较明显的变化.已有研究表明,当植物受到植食性昆虫咬食后,植物所释放的挥发物在种类和数量上都有别于正常植物挥发物,也不同于单纯机械损伤所诱导的植物挥发物指纹图谱,寄主植物通过这些变化进行直接或间接的防御反应,进而调控植食性昆虫的行为^[9,11].有关松树化学成分与对松材线虫抗性机理关系的研究证明,马尾松的抗性与萜类化合物的组成和含量密切相关^[14,17,18],高抗马尾松种源比中抗和敏感种源含有较多长叶烯、长叶萜烯、雪松烯、山达海松二烯和 α -松油醇,而含有较少 α -萜烯、 β -萜烯、 β -水芹烯、反式石竹烯、 β -芹子烯、山达海松醛和古巴烯.本

研究中,黑松健康木被害后 β -萜烯、反式石竹烯和古巴烯含量变少可能是寄主对松材线虫的抗性生理反应. β -月桂烯对繁殖期和扩散期的松材线虫都有很强的引诱作用,在松材线虫从天牛体上转移到寄主松树上,及其在寄主松树内迁移的过程中, β -月桂烯都起着重要的作用^[7].本研究发现, β -月桂烯在健康木中并未检测到,而在松材线虫危害木中却有较高的含量,可能是寄主被害后诱导产生的用作调控松材线虫行为的化学信号.松材线虫危害木与健康木相比,挥发物的化学组分和含量发生了变化,即松材线虫的危害改变了寄主挥发性物质的化学指纹图,并作为松墨天牛寻找交配场所或产卵寄主的指示信号.

实验结果表明,松墨天牛在各发育阶段对不同生理状态的寄主气味具有不同的敏感性和选择性.雌雄天牛之间在EAG和行为上无明显差异,说明两者对寄主挥发物的行为感受机制相同.雌雄天牛对健康木挥发物的反应随着日龄增加不明显增强,与Ikeda等^[6]的研究结果相一致.

本研究仅比较分析了通过水蒸气蒸馏法获得的健康木与松材线虫危害木挥发物的组成变化,尚需结合其它提取方法如固相微萃取、 CO_2 超临界点萃取等方法,进一步确定寄主植物中的挥发性物质的组成和含量.而关于主要挥发物的单组分以及不同配比复合组分对松墨天牛行为测定的进一步研究,将为研制和开发取食引诱剂奠定基础,也为开辟利用天然活性物质防治松材线虫病的新途径提供理论依据.

参考文献

- Allison JD, Borden JH, Seybold SJ. 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology*, **14**: 123~150
- Hanks LM. 1999. Influence of the larval host plant on reproductive

- strategies of cerambycid beetles. *Annu Rev Entomol*, **44**: 483 ~ 505
- 3 Hao D-J (郝德君), Zhang Y-H (张永慧), Dai H-G (戴华国), et al. 2005. Oviposition preference of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) to host plants. *Acta Entomol Sin* (昆虫学报), **48**(3): 460 ~ 464 (in Chinese)
- 4 Hao Q (郝强), Ha C-Y (哈威勇). 2000. Analysis of essential oil components from leaves of *Pinus massoniana* by gas chromatography-mass spectrometry. *Chin J Anal Chem* (分析化学), **28**(3): 300 ~ 302 (in Chinese)
- 5 Hong R (洪蓉), Tatsuro O, Mitsuyoshi Y, et al. 1997. Preliminary analysis of essential oil and abstract of branches and needles of *Pinus massoniana* with high resin yield and common *P. massoniana*. *Fujian For Sci Technol* (福建林业科技), **24**(2): 18 ~ 22 (in Chinese)
- 6 Ikeda T, Yamane A, Enda N. 1981. Attractiveness of chemical treated pine trees for *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *J Jap For Soc*, **63**: 201 ~ 207
- 7 Ishikawa M, Shuto Y, Watanabe H. 1986. β -myrcene, a potent attractant component of pinewood for the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Agric Biol Chem*, **50**: 1863 ~ 1866
- 8 Linit MJ. 1990. Transmission of pinewood nematode through feeding wounds of *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae). *J Nematol*, **22**: 231 ~ 236
- 9 Lou Y-G (娄永根), Cheng J-A (程家安). 2000. Herbivore-induced plant volatiles. Primary characteristics, ecological functions and its release mechanism. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **20**(6): 1097 ~ 1106 (in Chinese)
- 10 Mamiya Y, Enda N. 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica*, **18**: 159 ~ 162
- 11 Takabayashi J, Dicke M, Posthumus MA. 1994. Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions. Variation caused by biotic and abiotic factors. *J Chem Ecol*, **20**: 1329 ~ 1354
- 12 Wang S-B (王四宝), Liu Y-P (刘云鹏), Fan M-Z (樊美珍), et al. 2005. Field attraction effects of different trapping methods on *Monochamus alternatus*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16**(3): 505 ~ 508 (in Chinese)
- 13 Wang Y-Y (王云云), Dong G (董戈), Liu W-B (刘卫斌). 2002. The improvement on the experiment apparatus of steam distillation. *Jilin For Sci Technol* (吉林林业科技), **31**(3): 51 ~ 52 (in Chinese)
- 14 Xu F-Y (徐福元), Xi K (席客), Xu G (徐刚), et al. 1994. Study on the resistances of various year classes of *Pinus massoniana* to pinewood nematode (PWN), *Bursaphelenchus xylophilus*. *J Nanjing For Univ* (南京林业大学学报), **18**(3): 17 ~ 33 (in Chinese)
- 15 Zhang H-B (张红兵), Li X-Y (李小鹰), Dai H-G (戴华国), et al. 2005. The olfactory responses of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flaviceps* to three baited insecticides. *Chin Bull Entomol* (昆虫知识), **42**(3): 298 ~ 301 (in Chinese)
- 16 Zhao J-N (赵锦年), Zhang C-Q (张常青), Dai J-C (戴建昌), et al. 1999. Studies of emerge emigration of *Monochamus alternatus* and its ability of carrying nematode. *For Res* (林业科学研究), **12**(6): 572 ~ 576 (in Chinese)
- 17 Zhao Z-D (赵振东), Hu X-E (胡榭萼), Li D-M (李冬梅), et al. 2001. Study on chemical components and resistance mechanism to pine wood nematode of masson pine provenance (I). *Chem Ind For Prod* (林产化学与工业), **21**(3): 52 ~ 58 (in Chinese)
- 18 Zhao Z-D (赵振东), Hu X-E (胡榭萼), Li D-M (李冬梅), et al. 2001. Study on chemical components and resistance mechanism to pine wood nematode of masson pine provenance (II). *Chem Ind For Prod* (林产化学与工业), **21**(1): 56 ~ 60 (in Chinese)

作者简介 郝德君,男,1971年生,博士,副研究员.主要从事森林昆虫学和昆虫化学生态学研究,发表论文20余篇. E-mail: dejunhao@163.com

责任编辑 张凤丽
