

小粒材小蠹成虫触角结构与感受器的扫描电镜观察

李宗波, 欧晓红

(西南林业大学 林学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要:对小粒材小蠹雌、雄成虫触角进行了扫描电镜观察。结果表明:小粒材小蠹雄成虫触角长度仅为雌成虫的 4/5, 但雌雄成虫之间触角形态、感受器类型和分布均无显著差异。成虫触角具有 6 种类型感受器:板形感受器、锥形感受器、毛形感受器、锯齿形感受器、芽形感受器和刺形感受器, 其中板形感受器数量最多, 占总感受器的 52%, 刺形感受器数量最少, 仅 13 根。在触角各节中, 以锤头部感受器数量最多, 约占总感受器的 90%, 其中约 76% 的感受器着密集生于锤头部的近端 2 节处, 柄节和梗节数量较少, 分别约占总感受器的 4% 和 1%。

关键词:小粒材小蠹; 触角; 感受器

中图分类号:S763. 38 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)03-0138-04

Antenne Structure of *Xyleborus saxeseni* Adult Observed with Scanning Electron Microscope

LI Zong-bo, OU Xiao-hong

(Yunnan Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control, College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: Antennae structures of female and male *Xyleborus saxeseni* were observed with scanning electron microscope. The results showed that there were no significant differences in the antenna morphological characters, sensilla types and their distribution patterns between the females and males, although the antenna of the males were 4/5 as long as females. The sensilla were identified for six types: placoid, basiconic, trichoid, zigzag, bud-shaped, and chaeticum sensillum. Placoid sensillum was the dominant type, which accounted for 52%, while chaeticum sensillum was the least numerous class of sensilla, only for 13 sensilla. The majority of sensilla crowded together on the club of the antennae and occupied for ca. 90% of the total sensilla, of which ca 76% of the sensilla were mainly occurred on the two proximal parts. However, sensilla on the scape and funicle had approximately 4% and 1% of all sensilla, respectively.

Key words: *Xyleborus saxeseni*; antenna; sensilla

小粒材小蠹 (*Xyleborus saxeseni*) 属鞘翅目 (Coleoptera) 小蠹科 (Scolytidae) 齿小蠹亚科 (Ipi-nae) 材小蠹属 (*Xyleborus*), 是一种食菌小蠹。该虫于 2009 年 9 月在楚雄东华镇发现蛀食桉树, 当时危害株数、面积、区域等相对较小。近年来, 在连续 3 a 的调查过程中, 发现危害严重的桉树林危害株率达 100%, 单株虫孔数 100~200 个, 枯死株率高达

80% 以上, 且树龄从 5~7 a 降低到 4~5 a。多数危害木出现了流脂流胶, 类似于光滑足距小蠹 (*Xylosandrus germanus*) 危害核桃后导致的溃烂病^[1]。尽管采取了多种防治措施, 但效果均不理想。可见, 小粒材小蠹已对当地桉树经济林持续健康发展构成了巨大的威胁。

触角是昆虫的重要感觉附肢, 其表面着生着许

收稿日期: 2012-09-06 修回日期: 2012-10-15

基金项目: 云南省应用基础研究项目 (2011FZ139); 云南省教育厅基金面上项目 (2011Y278); 云南省森林灾害预警与控制重点实验室开放基金项目 (ZK10A102); 云南省重点学科森林保护学 (XKZ200905)。

作者简介: 李宗波, 男, 博士, 讲师, 研究方向: 化学生态学和害虫生态与治理。E-mail: lzb226@gmail.com

多化学、温度、湿度和机械等感受器,可感知周围环境和内部的各种刺激,他们与神经系统一起,调节和控制着昆虫的各种行为,对昆虫的生存和环境适应具有重要的作用^[2-3]。同样,小蠹虫触角上也着生着许多不同类型的感受器,在小蠹虫的寄主搜寻、种间种内通讯、配偶选择、产卵等过程中起着重要作用^[4-8]。至今,关于小蠹虫触角感受器的研究见于大小蠹属(*Dendroctonus*)、齿小蠹属(*Ips*)、小蠹属(*Scolytus*)、木小蠹属(*Trypodendron*)、伪海小蠹属(*Pseudohylesinus*)和材小蠹属(*Xyleborus*)等类别,感受器类型涉及毛形感受器、刺形感受器、锥形感受器、芽形感受器、锯齿形感受器等^[9-18]。而且,不同属、不同种类的小蠹虫,如红脂大小蠹^[9,17]和华山松大小蠹^[10,18],其触角感受器的形态和微观结构存在着明显的变化^[9,18]。目前,关于小粒材小蠹的触角结构和感受器未见报道。因此,研究小粒材小蠹触角结构、感受器类型和分布,一方面有助于了解其行为机制,另一方面有益于探索利用信息索引诱监测和防治。

1 材料与方法

1.1 材料

小粒材小蠹成虫采集于楚雄州东华镇受害的桉树人工林中,截取受害木1 m以下的树段带回实验室,剖析获取成虫。

1.2 方法

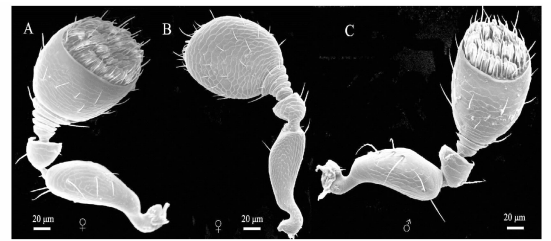
取小粒材小蠹雌、雄成虫各20头,放入湿滤纸的培养皿中供其自由爬行48 h,清水洗涤、晾干后置入2.5%戊二醛中固定,0.2 mol·L⁻¹磷酸缓冲液超声波清洗3次,每次45 s,然后逐级脱水(30%、50%、70%、80%、95%和无水乙醇),乙酸乙酯处理2次,每次10 min,临界点干燥。然后于体视镜下摘取小蠹虫触角,按腹面、背面和侧面进行粘台,镀金(Hiachi E1045),放入扫描电镜(Hiachi S4800)下观察。触角感受器类型的区分和命名参考 Schneider(1964)^[2]的方法,感受器百分比=(某种感受器数量/感受器的总数量)×100%,感受器数量以背、腹和侧面进行估计,感受器长度用 Screenruler 进行测量。

2 结果与分析

2.1 触角的形态特征

小粒材小蠹雌、雄成虫触角均有柄节、鞭节和锤头部3部分组成(图1 A~C)。柄节1节,棒锤状。鞭节5节,第1节呈念珠状,第2、3、4、5节呈套筒状,从第2节开始由细逐渐变粗。锤头部整体似椭圆形,端部略微向腹面凹陷,即从背面观无法看到锤头部着

生的各类感受器(图1 B),腹面有2条带相分隔,带与带之间相互平行(图1 A)。触角各节的表面有明显的多边形或瓦楞状花纹(图1 A~C,图2 A,E,F)。



A. 雌成虫触角整体及锤头部腹面观, B. 雌成虫触角整体及锤头部背面观, C. 雄成虫触角整体及锤头部腹面观。

图1 小粒材小蠹成虫触角形态

Fig. 1 Whole antenna of adult *X. sareseni*

雌虫触角的长度为 $(359.9 \pm 14.3) \mu\text{m}$,雄虫为 $(275.9 \pm 20.8) \mu\text{m}$ 。柄节的长度雌虫为 $(123.8 \pm 28.4) \mu\text{m}$,雄虫为 $(117.9 \pm 18.4) \mu\text{m}$ 。鞭节的长度雌虫为 $(114.6 \pm 26.6) \mu\text{m}$,雄虫为 $(46.2 \pm 8.2) \mu\text{m}$ 。锤头部的长度雌虫为 $(121.4 \pm 48.3) \mu\text{m}$,雄虫为 $(111.8 \pm 14.6) \mu\text{m}$ 。

2.2 感受器的类型

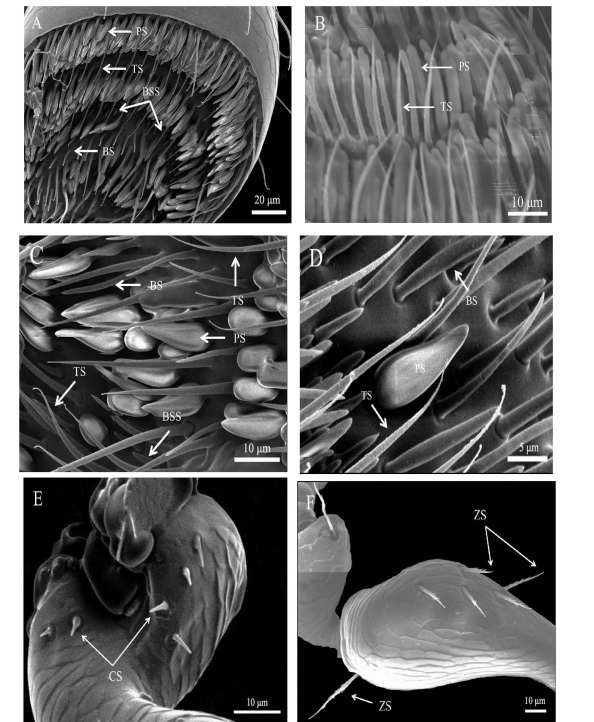
小粒材小蠹雌、雄成虫触角感受器的类型相似,包括板形感受器、锥型感受器、毛形感受器、锯齿形感受器、芽形感受器和刺形感受器,且雌、雄成虫之间同类型触角感受器的长度没有差异。

1)板形感受器(Placoid sensillum)平伏于触角表面,数量最多,约占全部感受器数量的52%,且集中分布于锤头部,是构成锤头部带状结构的核心感受器(图2 A)。该感器形似板状(图2 B~D),表面具孔(图3 A),端部与主轴略微分离。该感器雌虫长 $(14.6 \pm 1.2) \mu\text{m}$,中部宽 $(5.0 \pm 0.2) \mu\text{m}$,雄虫长 $(12.0 \pm 3.3) \mu\text{m}$,中部宽 $(3.3 \pm 0.4) \mu\text{m}$ 。

2)锥型感受器(Basiconic sensillum)直立,形似锥子(图2 A,C,D,图3 E),生于带状部的端部,尤以锤头部末端最为明显,与芽形感受器混生。感受器的长度变异较大,有的明显突出触角表面的,有的藏于各感受器之下,雌虫长度为 $(25.0 \pm 9.0) \mu\text{m}$,雄虫为 $(18.0 \pm 7.1) \mu\text{m}$ 。

3)毛形感受器(Trichoid sensillum)直立或弯曲,数量仅次于板形感受器,占总感受器数量的22%。形似毛发,雌虫长 $(30.6 \pm 4.0) \mu\text{m}$,雄虫长 $(23.9 \pm 2.9) \mu\text{m}$,该感受器分布于柄节和锤头部,尤以锤头部带状的近端处最为明显(图2 A~D,图3 B)。

4)锯齿形感受器(Zigzag sensillum)形似毛发,其一侧具锯齿,直立或弯曲(图2 F),雌虫长 $(24.0 \pm 6.6) \mu\text{m}$,雄虫长 $(23.0 \pm 6.1) \mu\text{m}$ 。该感受器在柄节、鞭节和锤头部均有分布,以锤头部数量最多。



A. 雌成虫触角锤头部着生的板形感受器(PS)、毛形感受器(TS)、锥形感受器(BS)、芽形感受器(BSS),下同,B. 锤头部板形感受器和毛形感受器的着生方式,C. 锤头部顶端板形感受器及周围的感器类型,D. 板形感受器形态特征,E. 柄节与头部连接处着生的刺形感器(CS),F. 第一鞭节处着生的锯齿形感器(ZS)。

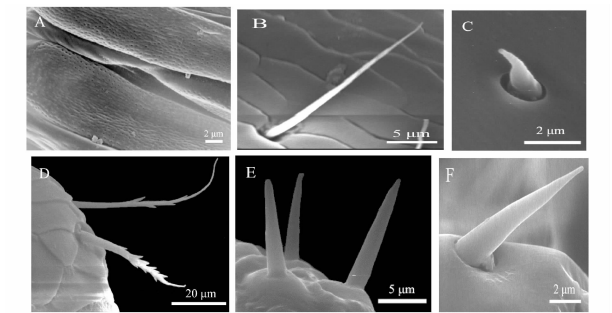
图2 小粒材小蠹不同触角感受器的形态与分布
Fig 2 Morphology and distribution of different sensilla on the antennae of adlut *X. sareseni*

每个感受器具6~10个不等的锯齿(图3D)。

5)芽形感受器(Bud-shaped sensillum)直立,形似禾谷的种子,雌、雄成虫触角上长度均为(5.7±1.6) μm,仅分布于触角锤头部的第2条带和第3条带的内侧,被埋于各感受器的下面,常与锥形感受器混生(图2C,图3C)。

6)刺形感受器(Chaeticum sensillum)直立,形似针刺,坐落于臼形窝内,基部呈卵形膨大,随后突然缢缩变细。感受器长度雌虫为(5.6±3.2) μm,

雄虫为(4.2±1.5) μm,仅分布于柄节与头部连接处和鞭节与柄节连接处(图2E,图3F)。



A. 板形感受器的表面,B. 位于鞭节第5亚节的毛形感受器,C. 位于锤头部顶端的芽形感受器,D. 位于梗节外侧的锯齿形感受器,E. 位于锤头部顶端的锥形感受器,F. 刺形感受器。

图3 小粒材小蠹不同触角感受器的微观形态
Fig 3 Fine morphology of different sensilla on the antennae of of adlut *X. sareseni*

2.3 感受器的分布规律

小粒材小蠹雌、雄成虫触角感受器的类型和分布规律没有明显的差异(表1),但雌虫触角感受器的数量明显高于雄虫,雌虫有584根,雄虫有151根,包括板形感受器、锥形感受器、毛形感受器、锯齿形感受器、芽形感受器和刺形感受器6种类型。其中,板形感受器数量最多,尤以触角锤头部的带状区域,其数量占绝对优势。毛形感受器和锥形感受器一样,除鞭节外均有分布,数量较多。锯齿形感受器除第2~5鞭节外,其于各节均有分布。芽形感受器仅分布于锤头部,隐于各感受器之下。刺形感受器数量最少,雌、雄成虫均为13根。

雌、雄成虫触角各节中,感受器类型以锤头部最多,具5种,鞭节最少,仅2种,且均位于第1鞭节处。在数量方面,均以锤头部最多,占总感受器的90%,而柄节和鞭节感受器较少,分别占总感受器4%和1%。锤头部各节中,以第1和2节感受器分布最多,占总感受器的76%。无论雌虫与雄虫,鞭节第2~5节均无着生任何感受器类型。

表1 小粒材小蠹成虫触角感器的数量与分布

Table 1 Abundance and distribution of different sensilla on the antennae of adult <i>X. saeseni</i>																			
感器类型	雌雄成虫触角感器数量																总计		
	柄节	鞭节										锤头部							
		1		2		3		4		5		1		2		3			
		♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀		♂	
板形感受器	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	138	29	112	15	50	10	300	54
锥型感受器	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	2	28	6	39	8	82	18
毛形感受器	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	20	27	9	27	5	119	35
锯齿形感受器	7	6	3	2	0	0	0	0	0	0	0	10	4	8	3	8	1	36	16
芽形感受器	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	11	8	4	34	15
刺形感受器	10	10	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13
总计	21	19	6	5	0	0	0	0	0	0	0	224	55	201	44	132	28	584	151

3 结论与讨论

小粒材小蠹触角上有板形、锥形、毛形、锯齿形、芽形和刺形 6 种感受器,除板形感受器外,其他 5 种感受器与诸多小蠹类昆虫(华山松大小蠹、山松大小蠹、红脂大小蠹、山松大小蠹、黑条木小蠹、松纵坑切梢小蠹、云杉八齿小蠹)有很多相似性,但也存在种间的差异性^[9-20]。如脐腹小蠹触角上的锯齿形感受器,锯齿粗厚,数量最多,长度变化不大;而光滑足距小蠹的毛形感受器是其主要感受器,遍布触角各节。锤头部是所有小蠹虫感受器分布最为集中的区域,常由毛形感受器、锥形感受器或锯齿形感受器平行排列成 2~3 条带,但小粒材小蠹由板形感受器密集而成,这与其他小蠹类昆虫截然不同。板型感受器表面多孔,为典型的嗅觉器官,存在延伸、增粗、加厚等现象^[21-22]。由于小蠹虫通常依赖寄主挥发物进行寄主搜索、识别和生境定位的^[4-7],推测小粒材小蠹触角上着生的板型感受器可能与寄主识别有关。而另一方面,小粒材小蠹与光滑足距小蠹同属于材小蠹类昆虫,多雌一雄的生活方式,雄虫不能飞翔,在原生长发育的坑道中活动,雌成虫交配后分散外出,重新蛀孔侵入^[23],但光滑足距小蠹锤头部带状区域由毛形感受器构成,且毛形感受器的数量也明显小于小粒才小蠹虫触角上的板型感受器^[16]。光滑足距小蠹可危害 120 多种针叶和阔叶林木^[24],小粒材小蠹仅危害铁杉、云杉、红松、华山松、杨、栎、无花果、桢楠、苹果、漆树属、椴树、桉树等 12 种林木^[23],两者寄主差异明显。因此,板型感受器的构成模式有利于提高小粒材小蠹寄主识别能力。

小粒材小蠹雌成虫触角感受器的数量明显多于雄虫,特别是板型、锥形、毛形等感受器。根据锥形感受器和毛形感受器的形态、着生位置和数量,锥形感受器应为味觉感器,毛形感器应为机械感器^[2-3,9-20,25]。推测这种差异性这可能是因雌成虫扩散迁飞^[26]和入侵寄主^[4-5,14],雄成虫并不参此过程有关^[23]。雄成虫触角同样拥有雌虫相同的触角感受器类型和分布规律,意味着小蠹虫触角感受器具有种内的稳定性。本研究展示了小粒材小蠹雌雄成虫触角的形态特征、感受器类型和分布规律,将有助于探讨其寄主选择机制,但关于各感受器的组织和功能方面有待进一步研究。

参考文献:

[1] KESSLER J K J. An apparent symbiosis between *Fusarium* fungi and ambrosia beetles causes canker on black walnut stems[J]. Plant Disease Reporter,1974,58(11):1044-1047.

[2] SCHNEIDER D. Insect antennae[J]. Annual Review of Entomology,1964,9(1):103-122.

[3] 刘同先,康乐. 昆虫学研究:进展与展望[M]. 北京:科学出版社,2005:133-169.

[4] BYERS J A. Host tree chemistry affecting colonization in bark beetles[M]. New York:Academic Press,1995:154 - 213.

[5] BORDEN J H. Behavioral responses of coleoptera to pheromones, allomones and kairomones[M]. New York:John Wiley and Sons,1977:169-198.

[6] 陈辉. 化学信息素对小蠹虫的入侵危害的调控[J]. 林业科学,2003,39(6):154-158.

CHEN H. The regulation role of semiochemicals in the host selection and colonization of bark beetles[J]. Scientia Silvae Sinicae,2003,39(6):154-158. (in Chinese)

[7] 陈辉. 信息素在小蠹综合治疗中应用的现状与展望[J]. 西北林学院学报,2002,17(2):60-63.

CHEN H. Current situation and trend of utilization pheromones for control of bark beetles[J]. Journal of Northwest Forestry College,2002,17(2):60-63. (in Chinese)

[8] 蒲晓娟,陈辉. 小蠹类害虫发生危害的关键因素分析[J]. 西北林学院学报,2007,22(1):87-90.

PU X J, CHEN H. Analysis of key factors effecting on the outbreak of bark beetles[J]. Journal of Northwest Forestry College,2007,22(1):87-90. (in Chinese)

[9] CHEN H B, ZHANG Z, WANG H B, *et al.* Antennal morphology and sensilla ultrastructure of *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), an invasive forest pest in China[J]. Micron,2010,41(7):735-741.

[10] 陈辉,李宗波,唐明. 华山松大小蠹成虫触角感受器的扫描电镜观察[J]. 林业科学,2006,42(11):156-159.

CHEN H, LI Z B, TANG M. Scanning electron microscope observation on antenna of *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Scolytidae)[J]. Scientia Silvae Sinicae,2006,42(11):156-159. (in Chinese)

[11] 范丽华,李永红,张金桐,等. 脐腹小蠹成虫触角结构与感受器扫描电镜观察[J]. 林业科学,2011,47(5):87-91.

FAN L H, LI Y H, ZHANG J T, *et al.* Antennae structure of *Scolytus schevyrewi* observed with a scanning electron microscope[J]. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(5):87-91. (in Chinese)

[12] DICKENS J C, PAYNE T L. Structure and function of the sensilla on the antennal club of the southern pine beetle, *Dendroctonus frontalis* (Zimmerman) (Coleoptera: Scolytidae)[J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology,1978,7(3):251-265.

[13] HALLBERG E. Sensory organs in *Ips typographus* (Insecta: Coleoptera) - Fine structure of antennal sensilla[J]. Proto-plasma,1982,111(3):206-214.

[14] MOECK H A. Electron microscopic studies of antennal sensilla in the ambrosia beetle *Trypodendron lineatum* (Olivier) (Scolytidae)[J]. Canadian Journal of Zoology,1968,46(3):521-556.

[15] PAYNE T L, MOECK H A, WILLSON C D, *et al.* Bark beetle olfaction—II. antennal morphology of sixteen species of Scolytidae (Coleoptera)[J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology,1973,2(3):177-192.

[7] 冯磊,胡希军,金晓玲,等.居住区景观环境适宜性评价体系研究—以新乡市新建住区为例分析[J].西北林学院学报,2008,23(1):190-194.
FENG L,HU X J,JIN X L, *et al.* An evaluation system of landscape environment adaptability in residential area—analysis on newly-built residential area of Xinxiang[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(1):190-194. (in Chinese)

[8] 杨璐,弓弼.浅析我国现代园林景观设计中的轴线控制手法[J].西北林学院学报,2011,26(3):182-185.
YANG L,GONG B. Analysis on the axis control in chinese modern landscape design[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(3):182-185(in Chinese)

[9] 屈永建,刘建军,聂西省.杨家岭公园设计[J].西北林学院学报,2002,17(3):19-21.
QU Y J,LIU J J,NIE X S. The overall planning design of Yangjialing Park[J]. Journal of Northwest Forestry University,2002,17(3):19-21. (in Chinese)

[10] 王理阅.基于地域文化的景观小品设计研究[D].南京.南京林业大学,2012.

[11] 沈莉颖,王仲巍.居住区宜人景观空间尺度探析—以青岛鲁信长春花园为例[J].西北林学院学报,2012,27(1):191-195.
SHEN L Y,WANG Z W,Pleasant landscape space scale in the residential zone—a case study of Luxinchangchun Garden in Qingdao[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(1):191-195(in Chinese)

[12] 俞伟.消防车道对居住区环境的影响研究[C]//中国风景园林学会 2011 年会论文集(下册).南京,2011:1073-1076.

[13] 孙杰.居住区消防车道与景观的整合设计[J].中国科技信息,2012(22):162.
SUN J. Residential fire road and landscape design integration [J]. China Science and Technology Information, 2012(22): 162(in Chinese)

[14] 时俊霞.通廊式高层住宅消防疏散设计探讨—以江苏省一栋拟建高层建筑为例[J].中外建筑,2010(7):189-190.
SHI J X. Discussion on the highrise residence fire-control e- vacuation design—a case study of a planning-constructing highrise in Jiangsu Province[J]. Chinese and Overseas Archi- tecture,2010(7):189-190(in Chinese)

[15] 白洁.高层民用建筑消防登高面和消防登高作业场地的消防设计[J].消防技术与产品信息,2009(9):16-19.

[16] 石国勇.浅谈高层建筑消防安全疏散设计[J].建筑设计管理,2012(1):68-69.

[17] 全耸.消防疏散设计浅议[J].工程建设与设计,2011(7):126-128.
QUAN S. Analysis on fire evacuation design[J]. Construction & Design for Project,2011(7):126-128(in Chinese)

[18] 任向东,邵忆.消防水池取水口及取水井设置的思考[J].给排水,2012(4):125-127.

[19] 梁潇文.现代景观小品建筑细部设计新探[D].西安:西安建筑科技大学,2010.

(上接第 141 页)

[16] 杨群芳,韩菊兰,李庆.光滑足距小蠹成虫触角感受器的电镜扫描观察[J].昆虫知识,2010,47(3):520-524.
YANG Y F,HAN J L,LI Q. Antennal sensilla of *Xylosan- drus germanus* adult observed with scanning electron micro- scope[J]. Chinese Bulletin of Entomology,2010,47(3):520- 524. (in Chinese)

[17] 王玉刚,张真,王鸿斌,等.红脂大小蠹成虫触角扫描电镜的观察[J].林业科学研究,2004.16(6):726-730.
WANG Y G,ZHANG Z,WANG Y B. Scanning electron mi- croscope observation on antenna of red turpentine beetle (*Dendroctonus valens* LeConte)[J]. Forest Research, 2004. 16(6):726-730. (in Chinese)

[18] 吴琼,吴绍平,陈辉.华山松大小蠹感受器的类型和分布[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(8):106-112.
WU Q,WU S P,CHEN H. Sensilla types and ultrastructure of *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Scolytidae)[J]. Jour- nral of Northwest A&F University:Natural Science Edition, 2012,40(8):106-112. (in Chinese)

[19] FAUCHEUX M J. Distribution and abundance of antennal sensilla from two population of the pine engraver beetle, *Ips pini* (Say) (Coleoptera,Scolytidae)[J]. Annales des Sciences Naturelles Zoologie et Biologie Animale,1994,15(1):15-31.

[20] WHITEHEAD A T. Ultrastructure of sensilla of the female mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Co- leoptera :scolytidae)[J]. International Journal of Insect Mor- phology and Embryology,1981,10(1):19-28.

[21] STEINBRECHT R A. Pore structures in insect olfactory sen- silla:a review of data and concepts[J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology,1997,26 (3-4):229- 245.

[22] WARE A B,COMPTON S G. Repeated evolution of elongate multiporous plate sensilla in female fig wasps (Hymenoptera; Agaonidae; Agaoninae)[C]//Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Amsterdam; PAYS-BAS,1992,95(2):275-292.

[23] 殷蕙芬.材小蠹属与真菌共生关系的研究概况[J].森林病虫通讯,1983,2:26-30.

[24] OSUMI S,MIZUNO N. Studies on the some scolytid am- brosia beetles attacking apple(*Malus pumila*) plants,1: spe- cies and biology of scolytid ambrosia beetles[J]. Bulletin of the Akita Fruit-Tree Experiment Station,1992,22:23-35.

[25] KEIL T A. Functional morphology of insect mechanorecep- tors[J]. Microscopy Research and Technique,1997,39(6): 506-531.

[26] SANE S P,DIEUDONNE A,WILLIS M A, *et al.* Antennal mechanosensors mediate flight control in moths[J]. Science, 2007,315(5813):863-866.