



中国森林病虫
Forest Pest and Disease
ISSN 1671-0886, CN 21-1459/S

《中国森林病虫》网络首发论文

题目： 华山松大小蠹的一种高效引诱剂
作者： 李建康，董鹏飞，李福来，王永康，吴海云，刘柱东
DOI： 10.19688/j.cnki.issn1671-0886.20190028
收稿日期： 2018-03-27
网络首发日期： 2019-10-14
引用格式： 李建康，董鹏飞，李福来，王永康，吴海云，刘柱东. 华山松大小蠹的一种高效引诱剂. 中国森林病虫.
<https://doi.org/10.19688/j.cnki.issn1671-0886.20190028>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

华山松大小蠹的一种高效引诱剂

李建康¹，董鹏飞²，李福来²，王永康³，吴海云⁴，刘柱东⁵

(1. 陕西省森林病虫害防治检疫总站，陕西 西安 710082；2. 陕西省宁东林业局，陕西 西安 710100；3. 宝鸡市马头滩林业局，陕西 宝鸡 721006；4. 宝鸡市林业工作中心站，陕西 宝鸡 721001；5. 国家农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室，中国科学院动物研究所，北京 100101)

摘要：华山松大小蠹 *Dendroctonus armandi* Tsai et Li 是危害我国华山松 *Pinus armandii* 的主要蛀干害虫。收集和测定华山松树皮和华山松大小蠹的挥发物，根据挥发物组分设计配制 8 种诱芯，采用漏斗诱捕器进行林间诱捕筛选试验；应用诱芯 II 进行多点诱捕验证和有效诱捕距离试验。结果表明：诱捕期内，诱芯 II 平均诱捕华山松大小蠹 1 070 头/诱捕器，显著高于其它 7 种诱芯；单个诱捕器一天最多诱捕 1 652 头。诱芯 II 在 3 个地点的平均诱捕量差异不显著，分别为 83，114，101 头/诱捕器，诱捕效果不存在地理差异；距离林缘 50 m 处诱捕量为 43.5 头/诱捕器，为最佳有效诱捕距离。该华山松大小蠹高效引诱剂可为我国华山松大小蠹的治理提供新技术。

关键词：华山松大小蠹；华山松；引诱剂；高效诱杀；最佳有效诱捕距离

中图分类号：S763.38 文献标志码：A

DOI：10.19688/j.cnki.issn1671-0886.20190028

One high efficiency lure for management of *Dendroctonus armandi* /LI Jiankang et al. (Shaanxi Control and Quarantine Station of Forest Diseases and Pests, Xi'an 710082, China)

Abstract: *Dendroctonus armandi* is the main pest for *Pinus armandii*, causing tons of pines dead. In this study, based on components identified from bark and beetles, we made 8 kinds of lures and carried out field trapping with funnel traps. We applied lure II for multi-site trapping verification and valid trapping distance test. The results showed that lure II averagely caught 1 070 beetles per trap, which was significantly higher than other 7 lures. The maximum trapping amount of lure II was 1 652 per day per trap. The average trapping amount of lure II at three test sites were 83, 114 and 101 beetles per trap, which had no significant difference. The average trapping amount of traps at 50 meters away from forest edge were 43.5 beetles per trap, showing the optimal valid trapping distance. This high efficiency lure would provide new technology for the management of *D. armandi*.

Keywords: *Dendroctonus armandi*; *Pinus armandii*; lure; trapping efficiency; optimal valid trapping distance

收稿日期：2018-03-27

第一作者：李建康（1964—），男，陕西西安人，高级工程师，研究方向为森林害虫防治，E-mail:1964LJK@163.com

通信作者：刘柱东，博士，副研究员，E-mail: liuzd@ioz.ac.cn。

华山松大小蠹 *Dendroctonus armandi* Tsai et Li, 隶属鞘翅目 Coleoptera 小蠹总科 Scolytoidea 小蠹科 Scolytidea, 是我国特有种, 在陕西、甘肃、湖北、四川、重庆和河南等地均有分布^[1-3], 为秦岭巴山林区华山松 *Pinus armandii* 毁灭性先锋小蠹, 严重扰动森林生态系统。华山松原产于中国, 因集中产于陕西的华山而得名, 主要分布在秦岭巴山地区。秦岭横亘于中国的中部, 为我国南北的气候分界线, 东西绵延 1 500 km, 南北宽达 100~150 km, 海拔多为 1 500~2 500 m, 是华山松的主要分布区。华山松是秦岭地区的先锋树种, 具有重要的经济价值和生态价值^[4]。

华山松大小蠹是我国的土著种^[1]。据报道, 20 世纪 50 年代华山松大小蠹造成秦巴山区华山松林成片毁灭^[5]。自 2010 年以来, 华山松大小蠹处于新的暴发周期, 据 2018 年最新统计, 华山松大小蠹在陕西秦岭地区、甘肃小陇山地区发生面积达 18 511 hm² (国家林业局森林病虫害防治总站数据)。华山松大小蠹以幼虫越冬, 1 a 完成 1、2 代或 2 a 3 代, 5 月开始扬飞, 盛期在 6—7 月^[6-9]。华山松大小蠹具有专门的贮菌器, 主要携带穿孔细帚霉 *Leptographium terebrantis* 和小线嘴壳 *Ophiostoma minus*^[10], 这些共生菌导致蓝变有助克服寄主华山松抗性^[11-13]。防治措施主要采取传统的营林技术、打孔注药、保护和利用天敌^[14-17], 但防治效果不好。近年来, 有学者对华山松大小蠹的化学通讯系统进行了相关研究, 探讨利用植物源和昆虫源信息素诱杀华山松大小蠹^[18-25]。华山松大小蠹聚集危害华山松^[26], 聚焦其特异行为的化学通讯, 研发高效的诱引剂大规模诱杀华山松大小蠹是未来防治的新方向。

笔者通过对华山松树皮和华山松大小蠹的挥发物进行收集和测定, 根据寄主华山松和华山松大小蠹的挥发物组分设计配制了多种诱芯, 开展野外诱捕筛选试验、多点验证试验, 测定诱芯最佳诱捕距离, 以期发现诱杀华山松大小蠹的高效诱芯, 找到防治华山松大小蠹的有效方法, 保障我国华山松林安全。

1 材料与方法

1.1 诱芯的配置 对华山松树皮和华山松大小蠹的挥发物进行收集和 GC-MS 分析鉴定, 树皮挥发物的主要组分 α -蒎烯 (α -pinene)、蒎烯 (camphene)、 β -蒎烯 (beta-pinene)、月桂烯 (myrcene)、柠檬烯 (limonene) 和萜品油烯 (terpinolene), 华山松大小蠹释放挥发物的主要组分 α -pinene、camphene、反式马鞭草烯醇 (trans-verbenol)、 β -pinene、myrcene、limonene、terpinolene、顺式马鞭草烯醇 (cis-verbenol)、桃金娘烯醇 (myrtenol)、桃金娘烯醛 (myrtenal)、马鞭草烯酮 (verbenone)。根据树皮和华山松大小蠹挥发物的主要组分及相对含量, 按不同组分、不同配比加工成编号为诱芯 1 至诱芯 8 的引诱剂配方 (表 1), 制作相应诱芯。

表 1 8 种诱芯的引诱剂配置

Tab.1 Components and the ratio of the 8 lures designed

诱芯编号	引诱剂主要成分	主要成分比例	添加成分
I	α -蒎烯, β -蒎烯, 3-蒎烯	1:1:1	
II	α -蒎烯, β -蒎烯, 3-蒎烯	1:1:1	顺-马鞭草烯醇
III	α -蒎烯, β -蒎烯, 月桂烯, 3-蒎烯, 柠檬烯, 萜品油烯	10:1:10:1:1:10	

IV	α -蒎烯, β -蒎烯, 月桂烯, 3-萜烯, 柠檬烯, 萜品油烯	10:1:10:1:1:10	顺-马鞭草烯醇
V	α -蒎烯, β -蒎烯, 月桂烯, 3-萜烯, 柠檬烯, 萜品油烯	10:1:10:1:1:10	马鞭草烯酮
VI	α -蒎烯, β -蒎烯, 月桂烯, 3-萜烯, 柠檬烯, 萜品油烯	10:1:10:5:10:10	
VII	α -蒎烯, β -蒎烯, 月桂烯, 3-萜烯, 柠檬烯, 萜品油烯	10:1:10:5:10:10	马鞭草烯酮
VIII	α -蒎烯, β -蒎烯, 月桂烯, 3-萜烯, 柠檬烯, 萜品油烯	10:1:10:5:10:10	顺-马鞭草烯醇

1.2 不同诱芯野外诱捕筛选试验 于2014年7月22日至8月4日在陕西宁东旬阳坝林场使用漏斗诱捕器进行了8种诱芯的野外诱捕试验。诱捕器按50 m间距悬挂在华山松大小蠹危害的森林边缘,悬挂高度以底端距地面1 m为准。按随机区组的试验设计悬挂诱芯,共设5个区组(重复),每个区组的8个处理(诱芯)随机悬挂在诱捕器上。诱捕期间每3 d检查1次诱捕器,统计各诱捕器的虫口数,依据雌雄成虫(活虫)发声的差异,判定雌雄。

1.3 野外诱捕多点验证试验 在筛选试验基础上,验证诱芯在大范围的诱捕效能,使用诱芯II于2014年8月4日至9月3日在陕西宁东旬阳坝、宝鸡马头滩和长安大坝沟进行多地诱捕效果验证,试验地的海拔植被情况见表2。诱捕器的挂设方法同1.2;10个重复。每3 d收集华山松大小蠹、统计诱捕量。

表2 华山松大小蠹诱捕验证试验地点的海拔植被情况

Tab. 2 The elevation and plant constitution of 3 sites testing lure efficiency

地点	海拔/m	华山松覆盖度/%	植被主要组成
宁东旬阳坝	1 500~1 800	60	华山松、油松、阔杂
宝鸡马头滩	1 500~2 100	18	华山松、油松、阔杂
长安大坝沟	1 800~2 100	35	华山松、油松、落叶松、阔杂

1.4 有效诱捕距离试验 神农架机场位于山顶,地势平坦,没有华山松大小蠹危害,而机场周边为华山松大小蠹的危害带,是研究有效诱捕距离的理想地点。由于陕西诱捕试点区没有这样的地理条件,故将有效诱捕距离试验放在神农架机场。于2015年7月22日—8月17日在湖北神农架机场附近,使用诱芯II进行有效诱捕距离试验。在距离华山松大小蠹危害区边缘50, 100, 200, 300 m挂置诱捕器,悬挂诱芯II;每处理5个重复。于7月23日,8月12日和8月17日检查诱捕效果,统计总诱捕量。

2 结果与分析

2.1 不同诱芯野外诱捕效果 林间诱捕发现诱芯II能显著的诱捕华山松大小蠹,单个诱捕器一天最多诱捕1 652头。诱捕期内,诱芯2平均诱捕1 070头/诱捕器,而诱芯I, III, IV, V, VI, VII, VIII平均诱捕量分别为29.8, 8.2, 41.6, 0.3, 1.5, 0.4, 8.3头/诱捕器,存在显著差异($F_{7,32} = 7.393$, $P < 0.0001$) (图1)。诱芯II平均诱捕华山松大小蠹雌虫675头、雄虫341头,经配对t检验,诱捕量雌雄间不存在显著差异(t-test, $t_5 = 2.047$, $P = 0.096$)。

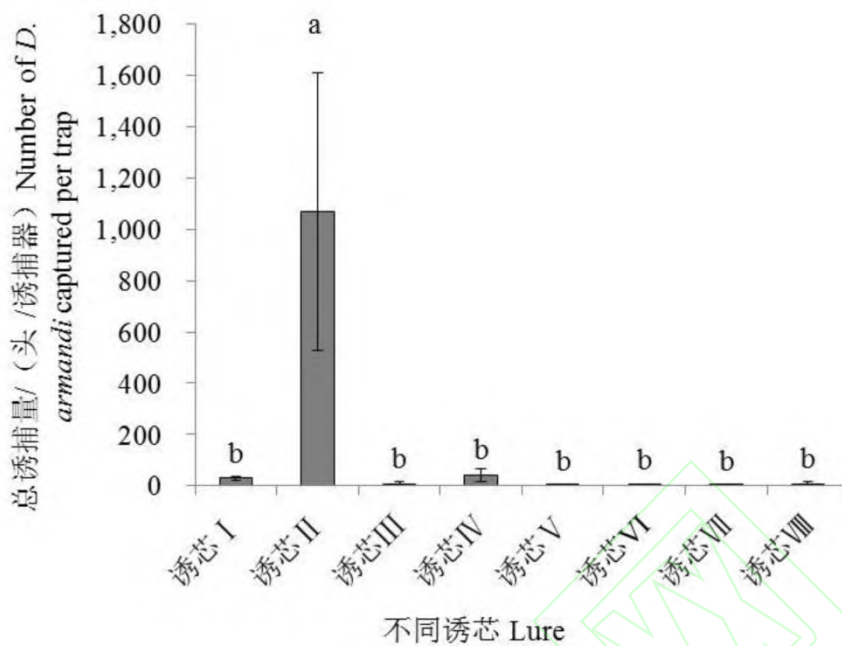


图 1. 不同诱芯对华山松大小蠹的平均诱捕量

Fig. 1 Number of *D. arandi* captured by 8 designed lures

2.2 野外诱捕多点验证 诱芯 II 在宁东旬阳坝、宝鸡马头滩和长安大坝沟的平均总诱捕量分别为 83.2, 113.7, 100.5 头/诱捕器, 在不同地点间诱捕量没有显著差异 ($F_{2,27} = 0.724$, $P = 0.496$) (图 2)。多点诱捕证实诱芯 II 对华山松大小蠹的诱捕具有普遍性。

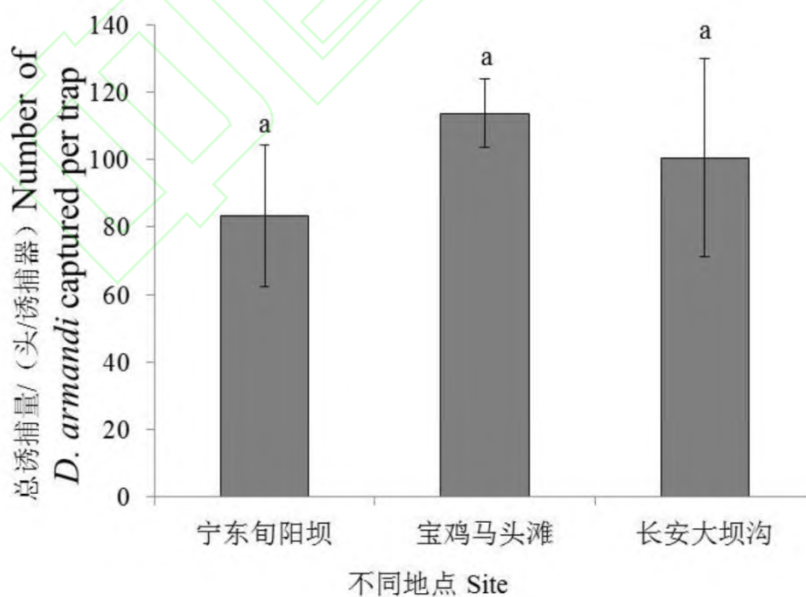


图 2 诱芯 II 在多点的诱捕效果

Fig. 2 Number of *D. arandi* captured by lure II at 3 sites.

2.3 诱芯 II 有效诱捕距离 在神农架机场距林缘 50, 100, 200, 300 m 处平均总诱捕量分别为 43.5, 10.9, 4.3, 2.5 头/诱捕器 (图 3)。50 m 处的诱捕量显著高于其他处, 而 100, 200, 300 m 处之间没有显著差异 ($F_{3,16} = 3.812$, $P = 0.031$), 表明诱芯 II 诱捕距离 50 m 为最佳。

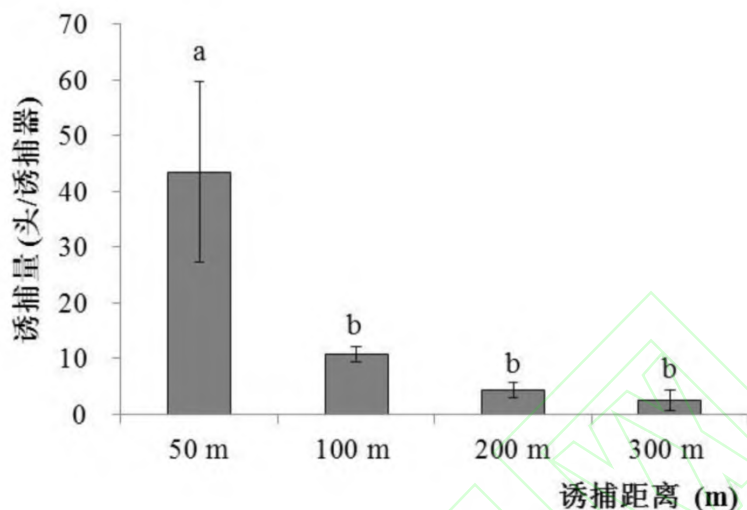


图 3 不同诱捕距离诱芯 II 对华山松大小蠹的诱捕量

Fig. 3 Number of *D. armandi* captured by lure II with different trapping distance

3 结论与讨论

试验证实诱芯 II 是诱捕华山松大小蠹的高效诱芯, 且在华山松大小蠹发生区普遍适用, 诱杀效果没有地区差异, 可广泛用于华山松大小蠹的诱捕。该诱芯诱捕效率高, 诱捕距离远, 是一种高效灵敏的引诱剂。诱芯 II 是寄主挥发物组分和华山松大小蠹释放的特异信息素按一定比例配置而成, 林间诱捕表明该诱芯能显著诱捕华山松大小蠹雌雄成虫, 诱捕量雌雄间不存在显著差异。

本试验中, 华山松大小蠹诱芯的配比是综合考量同属的红脂大小蠹的研究成果、华山松树皮挥发物的组成和钻蛀期华山松大小蠹挥发物组分设计而成。同属的红脂大小蠹主要危害油松, α -蒎烯, β -蒎烯, 3-萜烯就能起到较好的诱捕效果^[27], 故诱芯 I 设计成 α -蒎烯: β -蒎烯: 3-萜烯 1: 1: 1。诱芯 II 是在在诱芯 I 的基础上添加了华山松大小蠹挥发物中的非寄主组分。诱芯 III、IV、V 是基于华山松树皮挥发物的组分及量, 添加华山松大小蠹挥发物中不同的非寄主组分。诱芯 VI、VII、VIII 是基于华山松大小蠹挥发物中鉴定的寄主挥发物组分及量, 添加华山松大小蠹挥发物非寄主组分。试验证实诱芯 II 能显著的诱捕华山松大小蠹, 而其它配方诱捕效果非常差。分析原因, 我们觉得可能寄主挥发物组分配比和添加的华山松大小蠹非寄主组分的共同作用的结果。关于是否存在某些驱避成分, 还需以诱芯 II 为基础, 添加各种成分进行系统验证。

不同诱芯的诱捕试验中, 我们对诱捕到的雌雄比进行了分析。首先雌雄的鉴定是依据大小蠹属昆虫雌雄发声的差异——雄虫能产生刺耳的摩擦声而雌虫不能^[28], 我们只对诱捕到的活虫进行性别鉴定, 这也是为何性别鉴定的虫数少于诱捕总虫数 (1070 头/诱捕器) 的缘故。本试验中, 我们只设置 5 个重复, 处理内各诱捕器诱捕量存在较大差异, 导致样本的方差较大, 尽管雌雄间诱捕绝对数量相差较大 (雌虫

675 头、雄虫 341 头)，但统计分析结果不显著。在后续的研究中，有待设置更多的重复来验证雌雄间诱捕差异。

利用植物和昆虫信息素诱杀害虫是有害生物防治的发展方向，然而对华山松大小蠹引诱剂的研究进展比较缓慢^[18,29]。据报道，唐光辉等人调配的诱芯最多诱捕 30 头/诱捕器^[18]；陈国发等研制的诱芯诱捕量不到 20 头^[29]。本研究，我们研发的华山松大小蠹诱芯两周内平均诱捕约 1 000 头/诱捕器，能有效的诱杀华山松大小蠹。华山松大小蠹聚集危害，前期研究发现华山松大小蠹主坑道为纵坑（长约 40 cm），沿着主坑道两边产卵，幼虫横向取食（长约 20~30 cm），同一水平上 5 对华山松大小蠹繁殖产生的幼虫就能将韧皮环剥食尽，切断华山松树体营养输送而致死。考虑到林间危害的特点，依据林间观察华山松大小蠹聚集危害华山松树干，保守估计 100 头华山松大小蠹繁殖产生的幼虫足以致死一棵华山松，按诱捕量 1000 头计算，悬挂一个诱捕器就能保护 10 棵华山松，经济效益和生态效益显著。该诱芯不但高效，而且诱捕距离远，最佳诱捕距离 50 m，建议政府和林业主管部门积极推动该诱捕技术，大规模诱杀华山松大小蠹。现阶段，华山松大小蠹处于暴发态势，单一的防治措施恐难奏效。对该害虫的防治，应从可持续控制和加强管理两方面入手，才能有效治理。当前，在全国华山松大小蠹发生区，应以华山松大小蠹聚集信息素大规模诱杀为主，结合其他防治手段（清除虫害木和打孔注药）^[15]，大大降低虫口密度，控制华山松大小蠹危害的进一步扩散蔓延，保障森林健康。

据林间观察，华山松大小蠹聚集危害华山松，当种群密度达到一定程度时，为了避免种群内个体竞争，华山松大小蠹将产生一种信息素调控抗聚集的过程。下一步，将继续深入开展聚焦抗聚集信息素研究，研发华山松大小蠹的高效驱避剂，利用诱芯的高效引诱和驱避剂的驱赶调控华山松大小蠹的行为，高效诱杀华山松大小蠹，保障华山松安全。

参考文献：

- [1] 蔡邦华, 萧刚柔. 中国森林昆虫[M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 1980: 427 - 431.
- [2] 蔡邦华. 中国小蠹和钻蛀性害虫及其分布特性[J]. 陕西林业科技, 1980(1): 1 - 3.
- [3] 周嘉熹. 西北地区常见小蠹虫为害状[J]. 昆虫知识, 1983, 37(3): 134 - 136.
- [4] 杨茂生, 李广潮, 陈东升, 等. 秦岭森林分类与主伐更新[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994: 69 - 74.
- [5] 任作佛, 党心德. 秦岭华山松小蠹虫调查和防治初步报告[M]//北京林学院森林昆虫学教师进修班. 森林害虫初步研究报告. 北京: 科学出版社, 1959: 1 - 28.
- [6] 高宝平. 太白林业局林区华山松大小蠹的发生特点及综合防治措施[J]. 现代农业科技, 2013(14): 159.
- [7] 王兴旺, 张紫晋, 杨伟, 等. 华山松大小蠹生物学特性初步研究[J]. 四川林业科技, 2014, 35(1): 56 - 58.
- [8] 张予一, 查玉平, 网少明, 等. 神农架林区华山松大小蠹生物学特性研究[J]. 中国森林病虫, 2015, 34(6): 1 - 4.
- [9] 马喜迎. 小陇山林区华山松大小蠹生物学特性及综合防治措施[J]. 现代园艺, 2016(9): 45.
- [10] 陈辉, 袁峰. 华山松大小蠹带菌部位及贮菌器结构研究[J]. 林业科学, 2000, 36(1): 53 - 57.

- [11] 唐明, 陈辉. 华山松大小蠹共生真菌对寄主树木的影响[J]. 林业科学, 1999, 35(6):63 – 66.
- [12] 陈辉, 唐明. 华山松大小蠹共生真菌对华山松木质部危害的解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6): 1391 – 1395.
- [13] 唐明, 陈辉, 赵嘉平, 等. 华山松大小蠹共生真菌新种 *Leptographium qinlingensis* (英文) [J]. 华中农业入学学报, 2004, 23(1): 5 – 6.
- [14] 陈小平, 王兴旺, 李涛, 等. 华山松大小蠹的研究进展[J]. 四川林业科技, 2008, 29(4): 56 – 58.
- [15] 王三省, 蔡宗科, 吴海云. 几种化学试剂防治华山松大小蠹效果对比试验[J]. 陕西林业科技, 2008(1): 99 – 101.
- [16] 李菊, 谢寿安, 吕淑杰, 等. 寄生性天敌对华山松大小蠹种群控制作用评价[J]. 中国森林病虫, 2009, 28(3): 24 – 26.
- [17] 王海河, 董刚毅, 徐冰冰, 等. 一种红脂大小蠹天敌切头郭公虫 *Clerus* sp. 生物学初探[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (4): 991 – 997.
- [18] 唐光辉, 戴建昌, 江志利, 等. 6种引诱剂对几种针叶树蛀干害虫的诱捕效果研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1): 84 – 86.
- [19] 吴绍平, 陈辉, 吴琼. 华山松大小蠹成虫粪便挥发性物质分析[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5): 111 – 116.
- [20] 张蕾蕾, 陈辉, 陈霞. 华山松大小蠹的入侵对华山松挥发物成分的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(2): 114 – 118.
- [21] 王茹琳, 杨伟, 杨佐忠, 等. 华山松大小蠹对9种植物挥发物的EAG和行为反应[J]. 中国森林病虫, 2011, 30(1): 23 – 26.
- [22] 谢寿安, 丁彦. 华山松大小蠹化学信息物质[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(1): 91 – 94.
- [23] 赵明振, 陈辉, 马超. 华山松大小蠹对华山松挥发物性物质行为反应的研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(5): 115 – 119.
- [24] ZHAO Mingzhen, DAI Lulu, SUN Yaya, et al. The pheromone verbenone and its function in *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)[J]. European Journal of Entomology, 2017, 114:53 – 60.
- [25] ZHAO Mingzhen, DAI Lulu, Fu Danyang, et al. Electrophysiological and behavioral responses of *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) to two candidate pheromone components: frontalin and exo-brevicomin[J]. Chemoecology, 2017, 27(3): 91 – 99.
- [26] 李开仁, 邵崇斌, 戴建昌. 华山松大小蠹空间格局及最佳模型的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(增): 71 – 79.
- [27] SUN Jianghua, MIAO Zhenwang, ZHANG Zhen, et al. Red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Scolytidae), response to host semiochemicals in China[J]. Environmental Entomology, 2004, 33(2): 206 – 212.
- [28] RYKER L.C. Symposium on Agroacoustics: acoustic studies of *Dendroctonus* bark beetles[J]. Florida Entomologist, 1988, 71: 447 – 461.
- [29] CHEN Guofa, SONG Yushuang, WANG Peixin, et al. Semiochemistry of *Dendroctonus armandi* Tsai and Li (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): both female-produced aggregation pheromone and host tree kairomone are critically important[J]. Chemoecology, 2015, 25(3): 135 – 145.

(责任编辑 李海燕)