

白蚁对古代建筑的危害及防治方法研究现状

韩彤彤, 葛琴雅, 成倩

(中国文化遗产研究院, 北京 100029)

摘要: 白蚁是一种古老的害虫, 给国民经济带来巨大的损失, 也严重危害原址保护的木质文物。本文综述了近年来国内外原址保护木质文物遭受白蚁侵害的情况以及灭治方法。其中, 以昆虫生长调节剂(IGRs)为毒饵, 采用监测-毒杀-再监测的方法杀灭白蚁低毒高效, 对文物损害最小。另外, 以寄生虫、细菌、病毒等生物感染白蚁, 或采用植物及其提取物灭杀白蚁, 是有待探索的灭蚁新途径。

关键词: 原址保护; 木质文物; 白蚁; 防治

中图分类号: K878 **文献标识码:** A

0 引言

社会性昆虫是一类具有明显的等级分化和个体分工的昆虫群体, 包括全部蚂蚁、白蚁及部分胡蜂、蜜蜂^[1]。白蚁是地球上最古老的社会性昆虫之一, 目前已经发现 1.3 亿年之前白垩纪的白蚁化石^[2]。

白蚁主要取食植物纤维素, 其消化道内生有许多内生菌(Endophyte), 内生菌产生大量纤维素酶, 与白蚁自身的纤维素酶系统相互合作, 消化分解食物中的木质纤维类物质, 可以提供维持白蚁生长繁殖所需的营养^[3]。正是由于这种生活习性和生理特点, 白蚁成为严重影响和困扰人类生活的害虫之一。我国古代典籍中就有关于白蚁危害房屋、堤坝的记载, 即所谓“千里之堤, 溃于蚁穴”。

开展木质文物保护, 不能不对白蚁予以防范。尤其是原址保护的木质文物, 近地部分的木结构如遭到真菌侵蚀, 更易吸引白蚁取食。被白蚁破坏的木质文物往往外表完好, 但是内部已经完全被蛀空, 失去了木材原有的应力性, 最后会整体变形倒塌。

本文综述世界上主要原址保护木质文物遭遇的白蚁病害以及治理方法, 为建立高效、低毒、无残留、环境友好的灭蚁措施提供思路。

1 我国白蚁的主要类群

白蚁属昆虫纲(Insecta)等翅目(Isoptera), 其分

类系统见图 1(以美国国立生物技术信息中心 NCBI 数据库内容为基础绘制)^[4]。

白蚁广泛分布于全球的热带、亚热带区域, 全世界白蚁种类达 3000 种, 我国目前统计有 476 种, 是世界上拥有白蚁物种最多的国家之一, 主要分布在南部和东部, 尤其是长江以南的各大林区分布更为集中, 类群更为复杂, 种类更加多样^[4]。其中乳白蚁、堆砂白蚁、散白蚁和土白蚁等对房屋、水库堤坝、通讯设施、交通设施等造成严重的危害, 据统计每年因白蚁危害造成的损失约 20 亿~25 亿元^[5]。

2 白蚁对古代建筑的危害

我国古建筑多采用木质结构, 数量庞大的宫殿、园林、寺庙极易受到白蚁的侵害。由于白蚁取食活动非常隐秘, 除了分群季节外基本不暴露于外界环境中, 所以往往发现时已经对古建筑造成了巨大的损失。近年来, 我国各地古建筑遭受白蚁侵害的报道屡见不鲜。

全国重点文物保护单位北京香山碧云寺的涵碧堂、御碑亭、中山堂等建筑内于 2007 年发现了散白蚁虫害, 尤其在中山堂北配殿内发现活体白蚁, 殿内木梁柱被白蚁蛀食, 个别柱子内部几乎全部被蛀空, 使其失去承重作用, 影响整个建筑结构的稳定。据研究, 这次造成危害的主要为散白蚁^[6]。

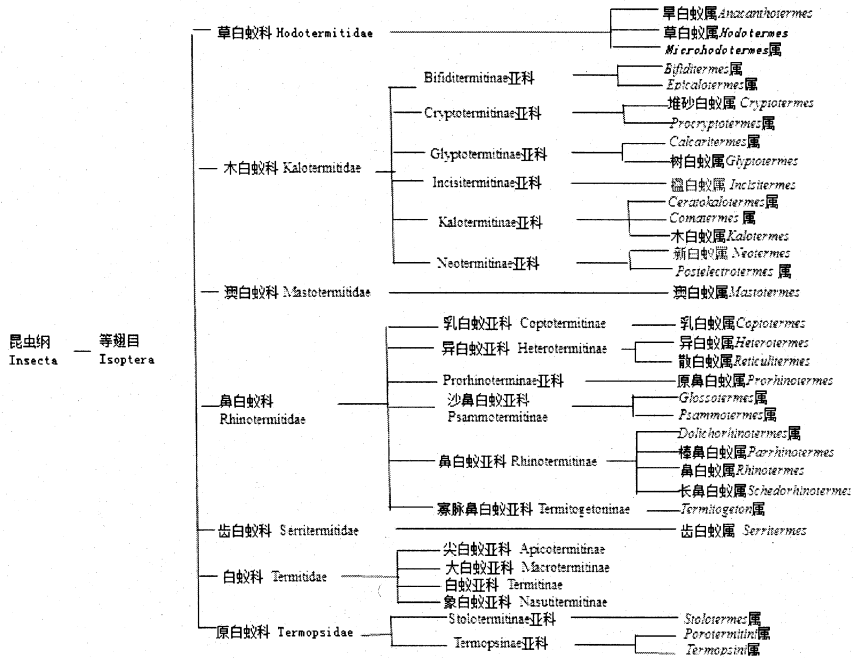


图 1 白蚁系统分类图谱
Fig. 1 Classification of termite

浙江宁波保国寺创建于东汉,唐代扩建,兴盛于北宋,现存大殿为北宋祥符六年(公元 1013 年)重建,是我国江南保存最完好的北宋木结构建筑。但因地处温暖湿润的气候区,建筑物多年来饱受白蚁肆虐之苦^[7]。

徽派建筑是我国古建筑最重要的流派之一,现在安徽保留有大量的明清民居、祠庙、牌坊和园林等建筑,是我国古代建筑艺术的精华。安徽中部的舒城为唐代开元年间所置,沿用至今。城内散布着许多历史文化遗存,各级文物保护单位和文物点总计 200 余处,其中古建筑占据较大比重。2006 年,文物部门对舒城 70% 的古建筑白蚁危害状况进行了调查,其中有蚁害发生的占调查总数的 60%;白蚁种群主要为散白蚁和乳白蚁^[8]。安徽六安市金安区毛坦厂镇的省级重点文物保护单位毛坦厂老街,是明清时期木结构建筑群。2009 年 4 月至 2011 年 4 月对白蚁危害的调查显示,蚁害率达 90% 以上。有 1800 年历史的安徽历史文化名镇——孔城老街,是明清时期桐城乃至周边地区最繁华的商业街道和重要的商品集散地,著名的桐乡书院、朝阳楼、李鸿章钱庄坐落其间。由于老街建筑多为传统的砖木结构,又地处孔城河西,周围植被茂盛,故而极易孳生白蚁。调查显示,危害孔城老街古建筑的白蚁种类为散白蚁属的黑胸散白蚁(*R. chinensis Snyder*)和尖唇散白蚁(*R. aculabialis*);乳白蚁属的普见乳白蚁(*C. communis.*)^[9]。如此大面积的白蚁

病害,主要与当地气候潮湿,居民习惯在屋外堆放柴草、木材有关,加之古建民居多为木结构,给白蚁滋生创造了条件^[8]。

南昌市东湖区、西湖区、青云谱区及湾里区等 23 处古建筑中,18 处遭受不同程度的白蚁危害,病害率占调查总数的 78%。造成危害的主要白蚁类群为乳白蚁、黄胸散白蚁(*R. speratus*)和黑翅土白蚁(*O. formosanus*)等^[10]。

白蚁不仅对中国古代建筑危害极大,对国外建筑的影响也相当巨大,例如建于 1511 年的——圣胡安历史遗址,位于温暖湿润的大西洋中西印度群岛边缘,1983 年被列入《世界文化遗产名录》。多年来圣胡安历史遗址一直遭受爪哇乳白蚁(*C. havilandi*)和异白蚁(*Heterotermes* sp.)等的侵害,在其一个房间里,甚至有一条已经矿化变硬的白蚁觅食通道(19 世纪后其上覆盖了图画)^[11]。

3 防治白蚁的方法

白蚁作为地球物质化学循环的一部分,在分解纤维素,促进氮素循环方面起到了不可忽视的作用。但却是木结构建筑的大敌。被白蚁蛀食的木质文物和古建筑往往逃不脱破碎倒塌的命运。因此国内外文物保护人员一直对该问题非常重视,发现了许多应对白蚁侵害的方法。

3.1 白蚁的发现与监测

只有尽早发现蚁害,才能避免文物受到不可挽

回的损害。由于兵蚁行进中头部打击地面会发出声音,并且追踪食物、发出警报时腹板腺会分泌化学臭味^[12],针对这些习性,科研人员开发了白蚁群体监测仪器,如无线电白蚁检测仪、白蚁危害传感器^[13]等。这些仪器可在早期无损探测建筑内部的白蚁,以便尽早防治。同时,一些新的技术和设备也在尝试使用,如微波遥感技术、电阻勘探技术、探地雷达、声频探测仪、红外线测定仪等^[14]。此外,由于白蚁取食木材过程中会发出一种人耳听不到的声波,用仪器接收这种声波就可发现白蚁活动,但并不能确定取食木材白蚁的种类^[15]。

3.2 物理方法防治白蚁

物理方法主要是物理屏障法和物理灭杀法。

物理屏障法主要利用了白蚁构建蚁道往返觅食的习性,用沙子、玄武岩石子颗粒、金属网、金属板和 PVC 板等物质作为物理或机械屏障,防止白蚁爬进建筑物内,经济实用,有效期长,环境友好,但不能阻止飞蚁。

物理灭杀法包括高温、低温、高电压和微波等方法,破坏白蚁的正常生理生化反应,以达到杀灭的目的,操作简单,无污染,一般将这些方法用于处理白蚁危害程度较轻的木材、仓库、家具、档案、图书和文物等物品。缺点是费用高,难以常规使用,主要用于局部处理,不能保证长久有效。且对于文物保护单位来说,温度的变化、电流、微波是否会对文物产生不可逆的损害还未可知,故这种方法不适合大面积在文物建筑上使用。

3.3 化学方法防治白蚁

化学方法主要包括对木材的处理^[16]、化学屏障、化学熏蒸等,是目前我国文物保护行业防治白蚁的主要方法。化学屏障法是指定期在建筑物地基土壤中和木构件表面喷洒足够多的杀虫剂,如除虫菊酯、毒死蜱等的乳油,所用药剂主要为神经毒剂,阻断神经与肌肉、神经与另一神经进行信息交流的电化学过程,是一种被动的防治白蚁方法。化学熏蒸法是将建筑物密闭,在其中放置杀虫剂烟雾发生装置,并让杀虫剂烟雾保持一定时间,再通风驱散烟雾。这两种方法使用的化学毒剂量都较大,易造成药物残留污染环境。

北京香山碧云寺的蚁害的防治方法是剔除被白蚁蛀空的糟朽柱根(糟朽高度不超过柱高的 1/3),柱体表面涂刷 CCA(铜铬砷合剂)防腐杀虫剂,之后墩接、剔补柱根^[6]。河南省南阳市武侯祠采取挖巢埋药的方法防治白蚁,在院落中挖出 140 多窝白蚁。同时对所有古建筑进行了药物喷洒防治,起到暂时

防控的作用^[17]。

安徽孔城老街的白蚁灭治采用了化学屏障法,即在建筑物地基外侧设置 1 条 40cm × 50cm 的施药沟,将 40% 毒死蜱乳油稀释后,以 10kg/m³ 稀释液将施药沟内土进行拌匀,逐层夯实,最上面用 10cm 素土夯实^[9]。

南京博物院曾经主持“八五”科研规划课题“新型古建筑白蚁防治剂的研制”,用中草药和有机磷杀虫剂复配了一种新型白蚁防治剂,其粉剂和乳剂可用于喷洒,也可用于熏蒸和触杀,对文物古建筑常见蚁害有明显的防治效果^[18]。

意大利那不勒斯圣母教堂(Santa Maria della Sanita)的圣台、告解室、壁画等,虽然曾用化学药剂喷洒,多年来一直被欧洲散白蚁(*R. lucifugus*)蛀食^[15]。

综上物理灭杀和化学灭杀方法在实际中的应用,在费用上,物理探测仪的开发比较复杂,仪器的操作过程也繁琐,而喷洒化学药剂相对容易,但是有毒化学品的残留会对文物本体造成破坏,对工作人员和参观人员的健康也会造成一定的影响,污染环境,还可能导致害虫出现抗药性的问题。因此,寻求采用生物防治白蚁成为当今白蚁防治方法的主流。

3.4 生物方法防治白蚁

由于上述传统的化学方法难免药剂残留,可能损坏木材结构、颜色,并且污染环境,危害人体健康,所以目前以生物毒剂为主的诱杀方法由于高效低毒,对环境影响小,得到一致肯定。诱杀是利用白蚁的种群生活习性,让诱集到的白蚁携毒还巢,通过白蚁间的互洁和交哺行为,使药剂在巢中传播,导致巢群覆亡。这种方法分为 2 种,一是诱集—饲喂—释放,即诱集白蚁,投以拌有慢性胃毒药剂的饵料供其取食,然后让工蚁回巢,通过白蚁的交哺行为使药剂在群体中传播。另一是诱集—穿衣—释放,即诱集白蚁,喷以慢性药粉或让其穿越混有慢性药剂的介质,使其穿上药衣回巢,通过白蚁的互洁行为使药剂在群体中传播、达到灭杀的作用^[19]。

白蚁诱集箱埋于地下或放置于墙角有白蚁出没或有明显蚁道痕迹的地方。美国佛罗里达大学的苏南耀博士 1986 年研制出一种木质诱集站,对台湾乳白蚁起到了较好的诱集作用^[20]。目前多倾向于选择昆虫生长调节剂(Insect Growth Regulators, IGRs)作为诱杀毒剂,通过改变白蚁的生理活动,起到杀灭作用。IGRs 是昆虫体内自然产生的用于调节昆虫生长发育的激素。IGRs 之一的昆虫保幼激素能阻止白蚁若蚁成熟,形成具有繁殖能力的成年蚁,因为

人类和其他哺乳动物没有变态发育的过程,所以这种激素不会对哺乳动物产生有害影响。研究较为深入的 IGRs 为几丁质合成抑制剂 (Chitin Synthesis Inhibitors, CSIs), 摄取 CSIs 的白蚁不会马上死去,但是在蜕皮的时候,白蚁几丁质的合成受到抑制,不能形成新的外骨骼,通常蜕皮之后就会死去。这种生长调节剂也可以通过交哺行为在巢群内传播。1993年,苏南耀博士对两种几丁质合成抑制剂——氟铃脲 (Hexaflumuron) 和除虫脲 (Diflubenzuron) 对散白蚁的灭杀效果进行了实验室评估,证实白蚁对前者的趋避率更小,因此前者的杀蚁效果更好^[21]。苏南耀博士进而就氟铃脲对美洲散白蚁和台湾乳白蚁杀灭情况进行了评估,大约 4 ~ 1500mg 的氟铃脲就可杀灭一个拥有 170 万 ~ 2800 万只白蚁的种群^[22]。此外,马来西亚的 Ahmad 等就氟铃脲对一种大家白蚁 (*Coptotermes curvignathus*) 的控制效果进行了评估,使用含有 0.5% 氟铃脲的纤维素饵料控制地下白蚁的效果良好^[23]。

基于大量的研究,苏南耀博士发明了一种监测—毒杀—再监测的白蚁巢群灭杀系统——Sentricon[®],并申请了多项专利,由美国陶氏益农公司 (Dow AgroSciences) 投入商业化运营^[20]。这套系统在长期监测白蚁活动、保护建筑结构方面发挥了巨大作用。该装置分为地上型饵站和地下型饵站两种,饵站内的饵剂可引诱白蚁取食,一旦在饵站内发现白蚁,可将饵剂更换为灭杀白蚁的毒饵,毒饵内含植物纤维素,并伴有代谢控制剂、昆虫生长调节剂等。饵站每 1 ~ 2 个月定期检查一次,如果毒饵消耗殆尽及时更换。如果一段时间后,在饵站内观测不到白蚁活动,则将毒饵更换为不含毒剂的普通饵剂,继续监测白蚁活动,防止残留蚁群再次爆发^[19]。

1997年,波多黎各圣胡安国家遗址使用 Sentricon[®]巢群灭杀系统基本控制住了危害古建筑多年的白蚁祸患^[11]。同年,Gambetta 等使用 Sentricon[®]对意大利那不勒斯圣母教堂长期肆虐的白蚁进行了诱杀,4个月共消耗氟铃脲 430mg,之后饵站中的毒剂换成普通饵剂继续监测,以防白蚁复发^[15]。

我国将 Sentricon[®]引入后,首先应用于民居建筑的白蚁防治工作,取得了良好效果。自 2008年,宁波保国寺使用 Sentricon[®]白蚁防治系统,在环保、不破坏、不干扰的指导思想下,共使用了地下型饵站 206个,全面监测和控制了白蚁危害^[7]。2011年,安徽省启动了文物古建筑白蚁防治专项治理项目,对六安市古建筑群采用 Sentricon[®]地上型饵站监测系统,在 101户受白蚁危害的居民家中安装了 403套

白蚁诱集饵站进行诱杀,经 2012年3月至8月的数次检查、维护、更换饵剂,达到较好的防治效果,白蚁危害古建筑得到有效控制,白蚁分飞数量较上年同期下降了 80%。

除了 Sentricon[®]蚁巢灭杀系统,目前还有 EX-TERRA[™]蚁巢灭杀系统、ADVANCE[™]白蚁饵剂系统、FIRSTLINE[®]白蚁防卫系统、SUBTERFUGE[®]白蚁饵剂系统、SPECTRACIDE、TERMINATE[™]白蚁饵剂系统等。常用的昆虫生长调节剂有氟铃脲、氟啶脲 (Chlorfluazuron)、除虫脲、多氟脲等,常用的代谢抑制剂有伏蚁脲 (hydramethylnon)、氟虫胺 (sulphuramid) 等,此类药剂的杀虫机理都是通过进入白蚁新陈代谢中的三羧酸循环,影响电子传递系统和氧化磷酸化作用,使昆虫的细胞呼吸作用受到抑制,得不到 ATP 能量而死亡^[24]。

3.5 我国主要白蚁类群的防治概况

我国主要的白蚁类群有乳白蚁、散白蚁、堆砂白蚁、土白蚁和干木白蚁等。针对这几种白蚁的共同特征,防治方法有粉杀法、喷液法、诱杀法 (食饵引诱法和信息素引诱法) 等。粉杀法将灭蚁灵等药粉放入喷粉器,将药粉撒入蚁道或者乳白蚁巢穴^[25]。灯诱法利用白蚁的趋光性,在白蚁常出没的地方悬挂诱杀灯诱杀^[12]。食饵引诱法主要用真菌接种过的木屑、甘蔗粉或草、木本植物、动、植物抽提物或人工合成物为诱饵,引诱白蚁前来取食,从而将大批白蚁集中杀灭。还可人工合成引诱信息素、踪迹信息素等引诱扑杀白蚁^[26]。

另外针对各种白蚁的独特习性,还可采用一些特殊的防治方法。如,乳白蚁为巢居集中型,习性喜温怕冷,好湿怕水,喜阴怕光,因此其巢的位置也大致位于上述条件的地点附近。可以在冬季乳白蚁集中于巢穴不外出活动时进行挖巢处理。再比如土白蚁除了危害森林、苗木外,还对江河堤围和山塘水坝有很大的危害。兴建堤围、水坝前要对靠近山坡的堤坝进行毒土处理。一般采用 1% ~ 2% 五氯酚钠水溶液,处理深度为 20 ~ 30 厘米,施药地点远离饮用水源^[2]。也可用拟除虫菊酯等药液进行喷洒和巢内灌注。干木白蚁经常对房屋和家具造成危害,可用热处理和冷冻处理的方法进行控制^[27]。

4 防治白蚁方法的发展趋势

生物制剂灭杀白蚁无疑是今后白蚁防治的发展趋势,生物制剂主要包括 4 个方面,利用白蚁的天敌;利用白蚁寄生虫病;利用致病微生物感染白蚁;利用植物及其提取物灭杀白蚁^[28]。

1) 利用白蚁的天敌。白蚁的主要天敌是蚂蚁,如红蚂蚁(*Solenopsis invicta*)以散白蚁为食。但由于地下散白蚁的巢穴比较隐蔽,蚁道又是封闭的,蚂蚁不易进入。加之在文物保护过程中,对蚂蚁群体行为控制的难度,使得这种方法在实际应用中受到很多局限,也未有实际应用于古代建筑白蚁虫害防治的报道。

2) 利用白蚁寄生虫病。寄生虫病是一些寄生虫寄生在人和动物的身体里所引起的疾病。寄生虫病是世界上分布广、种类多、危害严重的一类疾病。利用寄生虫感染白蚁,并使其在蚁群中传播,可达到彻底灭杀白蚁的目的。朱建华应用斯氏线虫属(*Steinernema teinernema*)和异小杆属(*H. eterorhabditis bacteriophora*)的一些品系进行室内外防治黑翅土白蚁(*Odontotermes formosanus Shiraki*)试验,表明昆虫的病原线虫对白蚁有很好的控制作用,取得了很好的防治效果^[29]。

3) 利用植物提取物。植物是天然杀虫剂的重要来源,莫建初等的研究表明,细辛植物提取的细辛粉对黄胸散白蚁有较好的毒杀效果和较强的驱避活性。植物油和植物提取物如香根草精油也对白蚁具有一定的杀灭作用。目前主要还处于实验室研究阶段,并没有投入实际应用^[30]。

目前生物制剂存在的主要问题是野外灭杀白蚁的实际效果不能达到预期,如在美国注册的一种生物杀白蚁剂的新线虫(*Neoplectana carpocapsae*),在野外防治群体白蚁几乎无效。一些微生物对白蚁有一定程度的毒杀作用,但同样存在现场实际灭杀效果问题,如自然环境中的二氧化碳浓度对白僵菌生长存在抑制作用,不利于其在白蚁种群中传播;某些病毒对白蚁的致死效应过快,在病毒还未在巢群中大范围传播之前,感染白蚁就已经死亡,而工蚁会将死亡白蚁的尸体很快清除出巢穴^[31]。尽管如此,生物制剂由于专一性强、环境友好,仍然是白蚁防治的发展方向。

5 我国古代建筑白蚁防治情况及展望

在欧美国家,古建筑的白蚁治理效果较好,一方面是它们较早禁止氯丹等高残留化合物的使用,在30年前就开始探索昆虫生长调节剂的应用;另一方面,新型杀虫药剂的市场化产品比较完善,相关的专利很多,如前面所述的应用在莫罗城堡的几种饵站,可以根据建筑结构选择使用。

相较而言,我国文化遗产保护方面具有生物学背景的专业人员匮乏,缺乏与专业灭虫研究机构、公

司的合作,市场上相关产品也不多,白蚁防治目前还处于以化学药剂灭杀的阶段,对环境以及环境中的所有生物都造成较大的影响。

另外,古代建筑保护工作中的白蚁防治,“防”应该重于“治”,因为一旦病害爆发,就可能造成难以挽回的损失。“防”是一项长期的、不间断的工作,“治”则是辅助手段,应是短期、高效的。建立长期的监测体系,掌握白蚁活动的动态,做到早发现,早灭杀,才是保护古建筑的根本手段。由于没有一种药剂是万能的,只有针对性地选择毒剂,才能更好地消灭白蚁、保护文物。因此,容易遭受白蚁侵害的文物保护单位应定期检查,并与白蚁专业研究机构积极合作,确定保护区内白蚁的种类、数量、生理状态等,使病害的治理有的放矢。

致谢: 本文的撰写得到中国文化遗产研究院马清林研究员、郭宏研究员的帮助,在此深表感谢。

参考文献:

- [1] 刘若楠, 颜忠诚. 社会性昆虫的组织及通讯行为[J]. 生物学通报, 2009, 6: 3-7.
LIU Ruo-nan, YAN Zhong-cheng. Organization and communication of social insects[J]. Bull Biol, 2009, 6: 3-7.
- [2] 黄复生, 李桂祥, 宋世模, 等. 中国白蚁分类及生物学[M]. 西安: 天则出版社, 1989: 1-2.
HUANG Fu-sheng, LI Gui-xiang, SONG Shi-mo, et al. Classification and biology of Chinese termite[M]. Xi'an: Tianze publishing company, 1989: 1-2.
- [3] 赵凯, 常志威, 张小燕, 等. 白蚁肠道共生微生物多样性及其防治方法研究现状[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(2): 331-337.
ZHAO Kai, CHANG Zhi-wei, ZHANG Xiao-yan, et al. Recent Advances in Diversity of Symbiotic Microbes in Termite Gut and Termite Control Methods[J]. Chin J Appl Envir Biol, 2012, 18(2): 331-337.
- [4] 肖维良, 黄静玲, 黄复生. 中国白蚁种类、危害状况及其治理新理念[J]. 广东科技, 2006, (9): 69-70.
XIAO Wei-liang, HUANG Jing-ling, HUANG Fu-sheng. The species, hazard situation and new management theory of Chinese termite[J]. Guangdong Sci Technol, 2006, (9): 69-70.
- [5] 严少辉, 彭心赋, 孙叙. 我国白蚁生物学及其防治药剂研究现状[J]. 中华卫生杀虫药械, 2009, 15(6): 498-500.
YAN Shao-hui, PENG Xin-fu, SUN Xu. Termite biology and research status of termite controlling medicine[J]. Chin J Hyg Insect Equip, 2009, 15(6): 498-500.
- [6] 张昔华. 从碧云寺保护修缮工程浅谈白蚁对古建筑的危害及防治措施[J]. 北京园林, 2008, 24(3): 41-45.
ZHANG Xi-hua. Tentative discussion on damages to heritage buildings cost by termite and the controlling treatment, learning from Protective Repair Projects of Xiangshan Biyunsi temple[J]. Beijing

- lands Archit, 2008, **24**(3):41-45.
- [7] 董雅琴,夏玲莉.宁波保国寺古建筑白蚁综合防治研究[J].中华卫生杀虫药械,2010, **6**:466-468.
DONG Ya-qin, XIA Ling-li. Termite integrated control of heritage building in Ningbo Baoguo Temple [J]. Chin J Hyg Insect Equip, 2010, **6**:466-468.
- [8] 奚明.舒城古建筑白蚁危害调查与防治措施探讨[J].中国文物科学研究,2007, (2):79-80.
XI Ming. Termite damages to heritage buildings in Shucheng city and discussion about protective treatment [J]. Sci Res China Cult Herit, 2007, (2):79-80.
- [9] 李双应.孔城老街古建筑白蚁防治初探[J].江西植保,2007, **30**(4):200-201.
LI Shuang-ying. Primary exploration about termite control of historic building in Kongcheng old street [J]. Jiangxi Plant Prot, 2007, **30**(4):200-201.
- [10] 曾吉华,邓桂芳,魏开雄,等.南昌市古建筑白蚁危害现状及防治对策探讨[J].江西植保,2010, **22**(2):79-80.
ZENG Ji-hua, DENG Gui-fang, WEI Kai-xiong, et al. Status of termite hazards and control measures of heritage buildings in Nanchang [J]. Jiangxi plant prot, 2010, **22**(2):79-80.
- [11] SU Nan-yao, PAUL M B, Scheffrahn R H. Control of subterranean termite populations at San Cristóbal and El Morro, San Juan National Historic Site [J]. J Cult Herit, 2002, (3):217-225.
- [12] 蔡邦华.中国白蚁[M].北京:科学出版社,1980:50-51.
CAI Bang-hua. China termites [M]. Beijing: Science Press Ltd, 1980:50-51.
- [13] 徐正刚.白蚁无线电子检测系统的设计与应用研究[D].浙江:浙江大学,2010:1-64.
XU Zheng-gang. Design and application of a termite damage detecting system based on wireless technology [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2010:1-64.
- [14] 王明生,周培,陆军,等.白蚁防治方法及存在问题和对策[J].林业科技开发,2011, **25**(6):10-14.
WANG Ming-sheng, ZHOU Pei, LU Jun, et al. Termite management methods, problems and Countermeasure [J]. China Forest Sci Technol, 2011, **25**(6):10-14.
- [15] Gambetta A, Zaffagnin V, Capua E D. Use of hexaflumuron baits against subterranean termites for protection of historical and artistic structures experiment carried out in selected test areas at the church of Santa Maria della Sanità in Naples [J]. J Cult Herit, 2000, (1):207-216.
- [16] 毛伟光,莫建初,叶天降,等.木材保护剂在古建筑和仿古建筑虫害预防上的应用[J].中华卫生杀虫药械,2006, **12**(4):323-324.
MAO Wei-guang, MO Jian-chu, YE Tian-jiang, et al. Using Wood protectant on heritage and imitative heritage buildings to prevent pests [J]. Chin J Hyg Insect Equip, 2006, **12**(4):323-324.
- [17] 刘灏.南阳武侯祠古建筑白蚁危害情况调查[J].文物建筑,2008, (2):92-98.
LIU Hao. Ancient architecture termite hazard investigation and thinking of Wuhou Temple in Nanyang [J]. Trad Archit, 2008, (2):92-98.
- [18] 南京博物院.新型古建筑白蚁防治剂的研制[J].中国文化遗产,2004, (3):89.
Nanjing Museum. Study about new heritage building termite Control agent [J]. China Cult Herit, 2004, (3):89.
- [19] 王余霞,李阳艳,阮健伟.白蚁防治IPM策略中监测——诱杀技术应用概述[J].绿色科技,2011, (5):21-24.
WANG Yu-xia, LI Yang-yan, RUAN Jian-wei. Application of IPM strategies for termite control by monitoring-trapping method [J]. J Green Sci Technol, 2011, (5):21-24.
- [20] Su Nan-yao, Scheffrahn R H. A method to access, trap, and monitor field populations of the formosan subterranean termite (isoptera: rhinotermitidae) in the urban environment [J]. Sociobiology, 1986, **12**(2):299-304.
- [21] GRACE J K, SU Nan-yao. Evidence supporting the use of termite baiting systems for Long-term structural protection (isoptera) [J]. Sociobiology, 2001, **37**(2):301-310.
- [22] SU Nan-yao. Field evaluation of a hexaflumuron BAIT for population suppression of subterranean termites (isoptera: rhinotermitidae) [J]. J Econ Entomol, 1994, **87**(2):389-397.
- [23] Ahmad S S, Amit S, Welker J. Evaluation of hexaflumuron for controlling the subterranean termite *Coptotermes curvignathus* (isoptera: rhinotermitidae) in Malaysia [J]. J Econ Entomol, 2000, **93**(2):429-433.
- [24] 张健华,刘自力,黄雷.白蚁监测饵剂系统的研究进展[J].湖南文理学院报(自然科学版),2009, **21**(3):78-80.
ZHANG Jian-hua, LIU Zi-li, HUANG Lei. A review on the termite bait monitoring system [J]. J Hunan Univ Arts Sci (Nat Sci Ed), 2009, **21**(3):78-80.
- [25] 林雁,黄晓光.散白蚁对灭蚁粉剂的传毒能力研究[J].中华卫生杀虫药械,2006, **12**(3):176-179.
LIN Yan, HUANG Xiao-guang. The capacity study of toxicant transmitting for *Reticulitermes aculbialis* [J]. Chin J Hyg Insect Equip, 2006, **12**(3):176-179.
- [26] 刘勇,戴华国,杜国兴,等.引诱技术在白蚁检疫中的应用[J].植物检疫,2006, **20**(1):36-38.
LIU Yong, DAI Hua-guo, DU Guo-xing, et al. Termites trap in plant quarantine [J]. Plant Quarant, 2006, **20**(1):36-38.
- [27] 周培.干木白蚁的危害及防控对策[J].植物检疫,2001, **21**:43-45.
ZHOU Pei. Dry wood termites damage and countermeasures of control [J]. Plant Quarant, 2001, **21**:43-45.
- [28] 刘军,王伟伟,赵凯,等.白蚁的生物防治现状与研究进展[J].微生物学杂志,2010, **30**(2):91-94.
LIU Jun, WANG Shi-wei, ZHAO Kai, et al. Status quo and advances in bio-controlling termites [J]. J Microbiol, 2010, **30**(2):91-94.
- [29] 朱建华.应用昆虫病原线虫防治桉树白蚁的研究[J].福建林学院学报,2002, **22**(4):22-24.
ZHU Jian-hua. Study on application of entomopathogenic nematodes to control *Odontotermes formosanus shiraki* on eucalyptus

- [J]. *J Fujian Coll Forest*. 2002, **22**(4): 22-24.
- [30] 莫建初, 张时妙, 滕立, 等. 细辛对黄胸散白蚁的毒效[J]. *农药学学报*, 2003, **5**(4): 80-84.
MO Jian-chu, ZHANG Shi-miao, TENG Li, *et al.* Study on the toxic effects of asarum sieboldii against reticulitermes flaviceps [J], *Chin J Pest Sci*, 2003, **5**(4): 80-84.
- [31] 张向辉, 彭心赋, 左伟东, 等. 我国白蚁生物防治研究进展[J]. *中华卫生杀虫药械*. 2008, **14**(4): 297-299.
ZHANG Xiang-hui, PENG Xin-fu, ZUO Wei-dong, *et al.* A review of termite biological control in China[J]. *Chin J Hyg Insect Equip*, 2008, **14**(4): 297-299.

Termite damage to wooden cultural heritage object and in-situ conservation treatment

HAN Tong-tong, GE Qin-ya, CHENG Qian

(*Chinese Academy of Cultural Heritage, Beijing 100029, China*)

Abstract: Throughout history, termites have caused huge economic losses to human society, as well as to wooden cultural heritage objects, especially to those wooden relics that cannot be moved. This article reviews recent methods and treatments related to termite damage and its treatment. A strategy using insect growth regulators (IGRs) as bait is the most efficient and the most environmentally friendly one of the methods reviewed. The method employs a monitor, kill and re-monitor system and results in the least damage to the relics. Some other methods provide new approaches to eliminate termites. These methods include using pathogenic parasites, microbes and virus to infect termites or using plants and their extractions for treatment.

Key words: In-situ conservation; Wooden cultural heritage; Termites; Treatment

(责任编辑 潘小伦)