

植物性杀虫剂防治白蚁研究进展*

梁玉勇^{1**} 程森弟² 程正新³ 秦厚国¹ 胡水秀¹ 李小美¹

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所 南昌 330200; 2. 江西科技职业学院 南昌 33020;

3. 江西省农业科学院 南昌 330200)

摘 要 白蚁是建筑物和树木的重要害虫,利用化学方法对其种群进行控制仍是当前减少白蚁危害的主要措施。但使用化学杀虫剂对生态环境和人类健康带来的问题促使人类去寻找一些环境友好型生物农药来代替化学制品,而植物性杀虫剂由于其优点而越来越受到重视。本文综述了目前在白蚁防治中有杀虫潜能的植物种类、主要分布科目及作用效果,探讨了植物性杀虫剂防治白蚁存在的问题,同时对植物性杀虫剂应用于白蚁防治进行了展望。

关键词 植物性杀虫剂, 白蚁防治, 研究进展

Advances in research on botanical insecticides for termite control

LIANG Yu-Yong^{1**} CHENG Sen-Di² CHENG Zheng-Xin³

QIN Hou-Gou¹ HU Shui-Xiu¹ LI Xiao-Mei¹

(1. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China;

2. Jiangxi University of Science and Technology, Nanchang 330200, China;

3. Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract Termites are a serious menace to human life and are the most problematic pest threatening both plants and buildings. Chemical control has been a successful method of preventing termite attack but is a concern due to chemical residues affecting human health and the environment. Biological methods of control are superior in this regard. Recent advances and past research on controlling termites with botanical insecticides are reviewed, including plant species, which show good insecticidal properties. The current extent of the termite problem and future prospects for using botanical insecticides against termites are discussed.

Key words botanical insecticides, termite control, research advance

白蚁是世界性的重要害虫之一,广泛分布于世界五大洲,其生活地域约占地球陆地面积的一半,热带亚热带和温带地区的许多国家均受其害。在我国,大约 2/5 的陆地版图有白蚁分布,长江以南的省份蚁害尤为严重(段东红等,2005)。化学药剂一直是防治白蚁为害的有效方法,但是由于化学防治对人类健康及生态环境带来的一些问题(Verma *et al.*, 2009),使得生物型农药替代化学农药防治白蚁成为可能。从植物中寻找活性物质以研究开发植物源农药是目前农药研究领域的热点之一(薛伟等,2005)。植物性杀虫剂由于具有

对人畜安全、害虫不易产生抗药性、在自然环境中易于降解等特点,因而越来越受到人们的重视(徐汉虹和赵善欢,1994),是未来白蚁防治发展的方向。本文对用于白蚁防治的植物的种类、主要分布及其作用效果、植物性杀虫剂防治白蚁存在的主要问题等进行了综述,旨在为开发植物性杀虫剂防治白蚁提供依据。

1 主要的杀白蚁的植物种类及作用效果

我国土壤、气候、农林作物的多样性,使得植

* 资助项目: 江西省农业科学院创新(青年)基金项目(2011CQN003)。

**通讯作者, E-mail: lyuyiong@163.com

收稿日期: 2011-09-15, 接受日期: 2011-11-28

物源农药资源非常丰富。通过多年的发展,已经发现多个科属的植物具有不同程度的杀虫活性,如楝科、豆科、菊科、卫矛科、大戟科、芸香科、唇形科、番荔枝科、天南星科、蓼科、伞形花科、石蒜科、百合科、杜鹃花科、银杏科等。不同植物含有不同种类和含量的活性物质,植物的使用部分也不相同,如根、茎、叶、花、果实或种子(徐汉虹,2001)。但是有研究表明,尽管不同科属的植物差异较大,但是其作用于害虫的形式仍然主要为忌避、拒食、毒杀、阻碍生长发育、抑制蜕皮、抑制化蛹和羽化、不育作用等。按提取的植物杀虫活性成分化学结构可分为糖甙类、苯酚类、醌类、生物碱类、萜烯类、甾族类、香豆素类、木聚糖类、多炔类和茵陈二炔等(江绍玫,1999)。

1.1 楝科植物

楝科植物是植物性杀虫剂中研究和应用较早的植物。主要的杀虫植物有印楝(*Azadirachta indica* A. Juss)、苦楝(*Melia azedarach* Linn.)、川楝(*Melia toosendan* Sieb. et Zucc)、红椿(*Toona ciliata* Roem.)等。其中印楝是最负盛名的杀虫植物,其主要活性成分为印楝素(azadirachtin)。苦楝和川楝是我国主要的楝科植物,两者的有效成分均为川楝素(toosendanin)。印楝素(azadirachtin)和川楝素(toosendanin)都是一种四环三萜类化合物,有许多活性功能团,是印楝、苦楝和川楝中的主要活性物质,对各种害虫具有强烈的拒食、胃毒、抑制生长发育等作用(李晓东和赵善欢,1995)。在室内用不同浓度的苦楝油处理过的滤纸饲喂台湾乳白蚁 *Coptotermes formosanus* Shiraki,在20 d的试验期内,发现浓度为2%时白蚁死亡率达93%,3%和4%浓度时白蚁死亡率均达100%(戴自容和黄珍友,1986)。而且不同树龄的苦楝木材、表皮和种核均对台湾乳白蚁有毒杀作用,其中以表皮的毒性最大(黄珍友和张业光,1991)。Manzoor等(2011)测试了苦楝乙醇提取物苦楝油对灰点异白蚁 *Heterotermes indicola* (Wasmann)的拒食和触杀及活性,发现在选择性试验中苦楝油对白蚁表现出良好的拒食活性,但在非选择性试验中只有当精油直接接触到虫体时才表现出触杀活性。印楝种子粉提取物对土垄大白蚁 *Macrotermes termites* 成虫的有翅蚁和兵蚁几乎没有毒性(0~10%),但对其它品级白蚁毒性较高

(Getahun and Jembere, 2006)。而印楝素能显著影响台湾乳白蚁的趋向和取食行为(卢川川等,1998),红椿所含有的化学成分则对台湾乳白蚁表现出高度的驱避作用(戴自容等,1985)。

1.2 唇形科植物

紫背金盘(*Ajuga pantanitha* Hand. -Mazz)植物体中含有昆虫蜕皮激素和昆虫变态激素,其杀虫活性的作用方式包括拒食、毒杀、抑制生长发育等(刘准和张业光,1992)。利用紫背金盘提取物对台湾乳白蚁进行毒杀作用试验,结果表明紫背金盘对台湾乳白蚁有较强的致死作用,3%~4%浓度处理时白蚁死亡率可达100%(黄珍友等,1990)。从药用植物广藿香(*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.)中提取的广藿香精油(patchouli oil)及其主要活性物质广藿香醇(patchouli alcohol)对台湾乳白蚁均表现出拒食和毒杀活性(Betty et al., 2003)。此外,猫薄荷(*Nepeta cataria* (Lamiaceae))被制成毒土带对南方散白蚁 *Reticulitermes virginicus* Banks 和黄胸散白蚁 *Reticulitermes flaviceps* Oshina 进行防治(Peterson and Ems-Wilson, 2006)。而 Chauhan and Raina (2006)用从猫薄荷中分离到的精油及其2个主要活性化合物Z, E-和E, Z-荆芥内酯(Z, E- and E, Z-nepetalactone)测试对台湾乳白蚁的毒性及挖掘蚁道的影响,结果发现在40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的剂量下,猫薄荷精油处理2 d后能导致100%的白蚁死亡,而Z, E-及E, Z-荆芥内酯处理1 d后便能导致白蚁100%的死亡;而在200 ppm的剂量下,在60 mm长的试管中装满沙子,发现只有E, Z-荆芥内酯处理过的沙子能有效阻止工蚁从试管中通过。

1.3 马兜铃科植物

研究表明,华细辛(*Asarum sieboldii* Miq.)粉对黄胸散白蚁不仅有较强的毒杀作用,而且有驱避活性(莫建初等,2003)。通过研究北细辛(*Asarum heteropoides* Fr. Schmidt var. *Mandshuricum* (Maxim.) Kitag)挥发油及其活性物质甲基丁香酚(methyl eugenol)对栖北散白蚁 *Reticulitermes spertus* 的毒效,发现北细辛挥发油和甲基丁香酚具有较强的驱避作用和一定的熏蒸活性,其中甲基丁香酚为其熏蒸作用的活性物质(刘树民等,2006)。用北细辛的乙醇提取物3.0%以上浓度点滴栖北散白蚁,5 d后白蚁死亡率超过95%,而采

用滤纸药膜法 3.0% 以上浓度处理 8 d 后死亡率达到 100%, 表明北细辛乙醇提取物对栖北散白蚁具有良好的毒杀作用(尹红等, 2007)。

1.4 伞形科植物

伞形科植物为芳香性草本植物, 包括许多药用植物和蔬菜植物, 如川芎 (*Ligusticum chuanxiong* Hort.)、香菜 (*Carum carvi*)、茴香 (*Trachyspermum ammi*)、迷迭香 (*Anethum graveolens*) 等。用从圆叶当归 (*Ligusticum hultenii* (Frenald)) 中分离到的活性物质芹菜脑 (apiol) 处理台湾乳白蚁, 发现处理组的白蚁比未用药处理组的白蚁表现出更高的死亡率, 药后 11 d 白蚁死亡率可达 100% (Meepagala *et al.*, 2006)。Seo 等 (2009) 也从 26 种植物中筛选出含有对日本白蚁 *Reticulitermes speratus* Kolbe 有较强熏蒸活性的植物精油和化合物的 6 种植物—伞形科的茴香、香菜、印度藏茴香 (*Trachyspermum ammi*) 以及桃金娘科的多香果 (*Pimenta dioica*)、牻牛儿苗科的天竺葵 (*Pelargonium graveolens*) 和樟科的山苍子 (*Litsea cubeba*)。

1.5 樟科植物

樟科植物大多是热带亚热带地区的典型植物, 为山地森林的重要成分, 它们在排水良好的土壤上及沼泽地或河岸上均可生长。樟科植物的化学成分主要有: 生物碱、2-吡喃酮、芳基丙醇、苯甲酰酯、黄烷酮、烯炔、单萜及倍半萜等; 芳香油中的化学成分主要有: 芳樟醇、柠檬醛、樟脑、桉叶油素、桂皮酸等 (刘炳荣等, 2008)。在白蚁防治中研究较多的主要有山苍子、樟树 (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.)、山胡椒 (*Lindera glauca* (S. et Z.) Bl.)、肉桂 (*Cinnamomum cassia* Presl.)、油丹 (*Alseodaphne hainanensis* Merr.)、檫木 (*Sassafras tzumu* (Hemsl.) Hemsl.) 等。在室内对 22 种木材抗台湾乳白蚁的特性进行研究后发现, 油丹和檫木的精油均对台湾乳白蚁表现出高度的驱避活性 (戴自容等, 1985)。樟科的樟树和山苍子的叶片提取液对黑翅土白蚁 *Odontotermes formosans* (Shiroki) 有较强的忌避活性, 山苍子叶的石油醚提取液和樟树叶子的水提物处理过的区域, 1 年后仍然对黑翅土白蚁有驱避活性 (伊可儿等, 2005)。此外, 山胡椒的树皮精油、肉桂叶的精油防治白蚁效果较佳, 其中用 2% 的肉桂叶精油处理滤纸后用来饲喂白蚁, 药后 24 h 内白蚁全部死

亡 (刘炳荣等, 2008)。

1.6 卫矛科植物

苦皮藤 (*Celastrus angulatus* Maxim.)、雷公藤 (*Tripterygium wilfordii* Hook. f.) 是卫矛科植物中重要的杀虫植物, 苦皮藤中的杀虫有效成分均是以 β -二氢沉香呋喃为骨架的多元醇酯, 其中以存在于根皮、种子中的对昆虫具有毒杀活性的苦皮藤素 (celangulin) 最为有名 (吴文君等, 2005)。而雷公藤的主要杀虫活性物质是活性很强的雷公藤碱 (wilfordine)。用雷公藤等 12 种中草药分别与白蚁喜食材料混合, 配成 12 种诱饵剂来测试各中草药对白蚁的引诱效果。结果发现白蚁对雷公藤中草药诱饵剂基本上无取食迹象, 说明雷公藤对白蚁有一定的驱避作用 (林树青等, 1991)。

1.7 其它植物

在白蚁防治中, 除了以上几个科植物外, 菊科、豆科、百合科、桃金娘科、天南星科、姜科、大戟科、芸香科、罂粟科、茄科、狼毒科、玄参科、罗汉松科等也具有一定的杀虫活性。豆科植物 (*Detarium microtarpum*) 叶的甲醇提取物在 1% 浓度时对黄胸散白蚁 *Reticulitermes flaviceps* (Oshmia) 具有很强的拒食活性 (Lajide *et al.*, 1995)。姜科植物非洲豆蔻 (*Aframomum melegueta*) 种子的正己烷和甲醇的粗提物在 1% 的处理浓度时就表现出对黄胸散白蚁工蚁很强的拒食活性, 从中分离出 8 个拒食活性化合物, 其中 [6]-Gingerol 和 [6]-Shogaol 显示出十分强的拒食活性 (Escoubas *et al.*, 1995)。豆科植物卡斯蒂约矛果豆 (*Lonchocarpus castilloi* Standley) 的心材有很高的抗白蚁活性, 从中分离得到 2 个黄酮类化合物 castillen-D 和 castillen-E, 然后用滤纸药膜法测定这 2 个化合物对麻头砂白蚁 *Cryptotermes brevis* (Walker) 的生物活性, 结果表明该类化合物对麻头砂白蚁的拒食活性与浓度呈正相关关系 (Reyes-Chilpa *et al.*, 1995)。利用胡桃科的枫杨 (*Pterocarya stenoptera* DC)、罂粟科的博落回 (*Macleaya cordata* R. Br.)、茄科的曼陀罗 (*Datura stramonium* L.)、玄参科的醉鱼草 (*Buddleia lindleyana* Fort) 等野生植物制成烟剂熏杀黑翅土白蚁均取得良好效果 (梁修山等, 1999)。菊科植物黄花蒿 (*Artemisia annua* L.) 粗提取物对黑翅土白蚁具有拒食性, 稀释 500 倍拒食率为 93.15% (朱芬等, 2003)。禾本科的香根草

(*Vetiveria zizanioides* L.) 是一种多年丛生的草本植物,原产于印度等国,被世界上许多国家和地区列为理想的保持水土植物。除了具有非常高的生物量外,香根草中含有的天然化合物对许多昆虫具有忌避作用(Duke, 1990)。香根草根的化学成分有杀菌、除草和杀虫活性,而香根草精油及其化学成分对白蚁有拒食和毒性(Zhu *et al.*, 2001; Nix *et al.*, 2006)。曾用香根草精油及其主要成分香柏酮(柏木烯)(cedrene)撒在土壤中当作毒土带对台湾乳白蚁进行防治,结果表明用香根草精油或香柏酮 100 $\mu\text{g/g}$ 处理土壤便能有效阻止白蚁为害(Maistrello *et al.*, 2001)。对罗汉松科植物罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)中的抗白蚁生物活性成份进行了提取和生物测定试验,结果表明,利用乙醇、乙醚、丙酮及水等溶剂对罗汉松木粉进行提取及分离后得到了 2 组化学组分(E6, E7),它们对台湾乳白蚁都有较好的毒性,14 d 后对白蚁的致死率分别为 100% 和 90.3% (韩文军等, 2004)。用熏蒸的方法研究从 29 种植物中提取的植物精油对日本白蚁的杀虫活性的试验结果则表明 7.6 $\mu\text{L/L}$ 处理 3 d 后白蚁死亡率超过 90% 的植物有 18 种, 2.0 $\mu\text{L/L}$ 处理 2 d 后白蚁死亡率达 100% 的植物有 6 种,其中百合科的大蒜(*Allium sativum* L. (Garlic)) 和桃金娘科的丁香(*Eugenia caryophyllata*)的植物精油表现出了很强的杀虫活性,在 0.5 $\mu\text{L/L}$ 的剂量下便可达到 100% 的死亡率。用气相色谱质谱法从大蒜中分离得到 3 个主要化学成分,从丁香中分离到 2 个主要成分,然后分别测定这 5 个化学物质单独使用对白蚁的毒性,发现三硫化二烯丙基(diallyl trisulfide)对白蚁的熏蒸毒性最强,然后依次为二硫化二烯丙基(diallyl disulfide)、烯丙基硫醚(diallyl sulfide)、丁子香酚(eugenol)、 β -石竹烯(β -caryophyllene) (Park and Shin, 2005)。豆科的鸡血藤(*Millettia reticulata* Benth.)、大戟科的巴豆(*Croton tiglium* L.)树皮和叶子的提取物以及茄科的曼陀罗叶子和果实的提取物在 3 个不同的浓度(10, 25 和 40% w/v)时对不同品级的土垄大白蚁的作用效果不尽相同,在用滤纸药膜法进行的室内生测试验中,3 个浓度的鸡血藤水提物均表现出对有翅蚁的高度毒性,白蚁死亡率达 93% ~ 100%,与导致所有品级白蚁 100% 死亡率的毒死蜱效果相当;巴豆树皮提取物在 40% 的处理浓度时对工蚁、有翅

蚁及兵蚁幼蚁有较高的致死率(83%),而曼陀罗叶子和果实的提取物对所有品级的白蚁毒性都相对要低(Daniel and Bekele, 2006)。蒿属植物道氏蒿(*Artemisia douglasiana* Besser)中的活性物质 vulgarone B、矢车菊属植物矢车菊(*Centaurea maculosa* Lam)中的活性物质菊苦素(cnicin)等对白蚁均有毒杀和杀菌活性(Meepagala *et al.*, 2006)。用直接接触法研究从 3 种针叶树种中提取到的 11 种精油对台湾乳白蚁的作用效果,发现柏科植物台湾肖楠(*Calocedrus formosana* (Florin) Florin)和日本柳杉(*Cryptomeria japonica*)的心材和边材精油及日本扁柏(*Chamaecyparis obtuse*)的叶子精油,当处理浓度为 10 mg/g 时,药后 5 d 的白蚁死亡率可达 100%。在所有用来测试的精油中,台湾肖楠的心材精油药后 1 d 便杀死了全部的白蚁,显示出了强劲的杀白蚁特性,而且该精油兼具毒杀和拒食的杀虫活性(Cheng *et al.*, 2007)。用含有效活性成分 *d*-柠檬烯(*d*-limonene)约 92% 的柑橘(*Citrus reticulata* Blanco.)皮提取物对台湾乳白蚁进行防治,在 5 ppm 剂量下分别从上部和下部施药,白蚁的死亡率可达 96% 和 68%,暴露在外的工蚁要显著少于空白对照的(Raina *et al.*, 2007)。木麻黄(*Casuarina equisetifolia* Forst)小枝水提取液对黑翅土白蚁有显著的触杀毒性,其抗蚁活性物质主要为黄酮苷类化合物(叶舟, 2007)。另外,油桐(*Vernicia fordii* Hemsl.)提取物具有抗东方地下白蚁和北美散白蚁 *Reticulitermes flavipes* Kollar 的活性,其木质部分提取物活性最强(刘炳荣等, 2008)。在室内将石栗(*Aleurites moluccana* Linn.)精油和丙酮的混合物采取真空压力渗透的方法注入美国南方黄松(*Pinus* spp.)木块内,获得系列梯度浓度的松木块,观察其对台湾乳白蚁的控制作用。结果发现当石栗精油含量大于 27% (重量)时黄松木块可以抗台湾乳白蚁为害,而且石栗精油只是对台湾乳白蚁有拒食活性而非毒杀活性(Nakayama and Osbrink, 2010)。Ding 和 Hu (2011)对马缨丹(*Lantana camara* (Linn.))的杀白蚁效果进行了研究,发现土壤中带有叶子的马缨丹枝条尽管不能杀灭台湾乳白蚁和南方散白蚁,但白蚁挖掘的蚁道显著减少;然后将马缨丹的花、叶、枝、根的混合物与土壤混合制成 5 cm 宽的毒土带,发现混合物能有效阻止白蚁穿透毒土带去为害放置在另一侧的引诱木块,而且台湾乳白

蚁比南方散白蚁对毒土带更为敏感。

2 植物性杀虫剂防治白蚁存在的问题及展望

随着人们生活水平的不断上升,人们的环保意识和对生活质量要求不断提高以及《关于持久性有机污染物(POPs)的斯德哥尔摩公约》的签署和实施,研制、开发高效、低毒、对环境安全的替代性白蚁防治药物是我国白蚁防治行业面临的重要任务。从天然植物中提取杀虫活性物质应用于白蚁防治是当前杀白蚁剂发展的方向之一。

2.1 存在问题

利用植物性杀虫剂来防治白蚁目前大部分工作仍处于实验室研究阶段,真正大规模用于野外防治还有较长的距离,因此植物性杀虫剂在从实验室转向田间应用时还存在一些问题:1)植物性杀白蚁剂大多集中在粗提取物或乳油制剂对白蚁的药效研究上,粗提取物或乳油制剂通常为油状易挥发的液体,活性物质挥发后其残效较难满足灭杀白蚁的需要;2)关于植物性杀虫剂防治白蚁的试验工作,绝大部分集中在药效试验、提取工艺方面以及化学成分的分离方面,而在作用方式和作用机理方面研究尚不够深入,对活性物质的结构、作用机制、结构与活性间的关系不甚明确;3)植物性杀白蚁剂虽然对白蚁的作用方式多样,但由于白蚁种类繁多,不同品种的白蚁其生物学和生态学特性也不尽相同,因此在室内试验中对某种白蚁有良好作用效果的植物性杀虫剂对其它不同种类的白蚁及同种白蚁中不同品级的白蚁是否具有作用效果、作用效果是否一致还有待进一步研究;4)基础研究多而产业化研究少,大多研究只在实验室中进行,对于产品开发和实际应用的研究较少,有些较好的研究成果宣传推广不够,导致科研成果转化率较低。

2.2 展望

从植物中提取高效低毒或无毒活性成分用于白蚁防治,既能达到防治目的,又具有不污染环境、对人畜安全、不易产生抗药性、经济方便等优点。随着科学技术的发展,一些新的提取加工技术及分子生物学技术的不断出现,使植物有效成分的提取更加迅捷,杀虫植物筛选范围进一步扩大。中国植物资源十分丰富,有毒植物达千种以

上,而且近十几年来我国对植物源农药的研究涉及到药效筛选、毒理学及新植物农药制剂的开发,这些为植物性白蚁防治剂大规模开发利用提供了充足的物质和技术保障。植物源杀虫剂独特的优点,使其在白蚁防治的研究和开发方面具有广阔的发展前景。相信随着对杀虫植物研究的深入,将会有更多更好的特异性植物性杀虫剂应用于白蚁的防治。

参考文献(References)

- Betty CRZ, Henderson G, Yu Y, Roger AL, 2003. Toxicity and repellency of patchouli oil and patchouli alcohol against formosan subterranean termites *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Agric. Food Chem.*, 51 (16):4585—4588.
- Chauhan KR, Raina AK, 2006. Effect of catnip oil and its major components on the formosan subterranean termite *Coptotermes formosanus*. *Biopestic. Int.*, 2(2):137—143.
- Cheng SS, Chang HT, Wu CL, Chang ST, 2007. Antitermitic activities of essential oils from coniferous trees against *Coptotermes formosanus*. *Bioresource Technol.*, 98 (2):456—459.
- Daniel G, Bekele J, 2006. Evaluation of toxicity of crude extracts of some botanicals on different castes of macrotermes termites. *Pest Manage. J. Ethiop.*, 10:15—23.
- Ding W, Hu XP, 2010. Antitermitic effect of the *Lantana camara* plant on subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Insect Sci.*, 17(5):427—433.
- Duke SO, 1990. Natural pesticides from plants//Janick J, Simon JE (eds.) *Advances in New Crops*. Timber Press, Portland, Or. (USA). 511—517.
- Escoubas P, Lajide L, Mizutani J, 1995. Termite antifeedant activity in *afmomum melegueta*. *Phytochemistry*, 40 (4): 1097—1099.
- Getahun D, Jembere B, 2006. Evaluation of toxicity of crude extracts of some botanicals on different castes of macrotermes termites. *Pest Manage. J. Ethiop.*, 10:15—23.
- Lajide L, Escoubas P, Mizutani J, 1995. Termite antifeedant activity in *Detarium microcarpum*. *Phytochemistry*, 40 (4): 1101—1104.
- Maistrello L, Henderson G, Roger AL, 2001. Efficacy of vetiver oil and nootkatone as soil barriers against formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Econ.*

- Entomol.* , 94(6):1532—1537.
- Manzoor F, Pervez M, Adeyemi MMH, Malik SA, 2011. Effects of three plant extracts on the repellency, toxicity and tunneling of subterranean termite *Eterotermes indicola* (Wasmann) . *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* , 1(7):107—114.
- Meepagala KM, Osbrink W, Sturtz G, Lax A, 2006. Plant derived natural products exhibiting activity against formosan subterranean termites (*Coptotermes formosanus*). *Pest Manage. Sci.* , 62:565—570.
- Nakayama FS, Osbrink WL, 2010. Evaluation of kukui oil (*Aleurites moluccana*) for controlling termites. *Ind. Crop Prod.* , 31(2) :312—315.
- Nix KE, Henderson G, Betty CRZ, Roger A L, 2006. Evaluation of vetiver grass root growth, oil distribution and repellency against formosan subterranean termites. *HortScience* , 41(1):167—171.
- Park II K, Shin SC, 2005. Fumigant activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and clove bud (*Eugenia caryophyllata*) oils against the japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe) . *J. Agric. Food Chem.* , 53 (11) :4388—4392.
- Peterson C, Ems-Wilson J, 2006. Evaluation of catnip oil as a barrier to termites // Felsot AS, Racke KD (eds.). *Crop Protection Products for Organic Agriculture*. Chapter 11. Washington DC: American Chemical Society. 158—173.
- Raina A, Bland J, Doolittle M, Lax A, Boopathy R, Folkins M, 2007. Effect of orange oil extract on the formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) . *J. Econ. Entomol.* , 100(3) :880—885.
- Reyes-Chilpa R, Viveros-Rodríguez N, Gómez-Garibay F, Alavez-Solano D, 1995. Antitermitic activity of *Lonchocarpus castilloi* flavonoids and heartwood extracts. *J. Chem. Ecol.* , 21(4) :455—463.
- Seo SM, Kim J, Lee SG, Shin CH, Shin SC, Park II K, 2009. Fumigant antitermitic activity of plant essential oils and components from ajowan (*Trachyspermum ammi*), allspice (*Pimenta dioica*), caraway (*Carum carvi*), dill (*Anethum graveolens*), geranium (*Pelargonium graveolens*), and litsea (*Litsea cubeba*) oils against japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe) . *J. Agric. Food Chem.* , 57 (15) :6596—6602.
- Verma M, Sharma S, Prasad R, 2009. Biological alternatives for termite control: A review. *Int. Biodeter. Biodegr.* , 63 (8) :959—972.
- Zhu B, Henderson G, Chen F, Fei H, Roger AL, 2001. Evaluation of vetiver oil and seven insect-active essential oils against the formosan subterranean termites (*Coptotermes formosans*). *J. Chem. Ecol.* , 27(8) :1617—1625.
- 戴自容,黄珍友,1986. 木本楝科植物抗白蚁作用的初步观察. *白蚁科技*,3(4) :47.
- 戴自容,谢杏扬,黄珍友,1985. 二十二种木材对家白蚁天然抗性的室内测定. *昆虫学报*,28(2) :238—240.
- 段东红,马永征,冷国生,2005. 白蚁的为害及防治技术. *山西林业科技*, (3) :31—32.
- 韩文军,何钢,廖飞勇,金城一彦,2004. 罗汉松抗白蚁成份的提取及生物测定. *经济林学学报*,13(3) :9—15.
- 黄珍友,张业光,1991. 不同树龄的苦楝对家白蚁的毒力试验. *昆虫天敌*, 13(3) :151—154.
- 黄珍友,张业光,赵善欢,1990. 紫背金盘提取物对台湾乳白蚁毒杀作用的初步研究. *昆虫天敌*, 12(4) :151—154.
- 江绍玫,2000. 植物源无公害农药研究开发现状. *江西农业大学学报*,22(1) :140—142.
- 李晓东,赵善欢,1996. 印楝素对昆虫毒理作用机制. *华南农业大学学报*,17(1) :118—122.
- 梁修山,徐光宇,章立新,1999. 常见六种农药植物自制烟剂熏杀黑翅土白蚁的试验研究. *白蚁科技*,16(3) :11—12.
- 林树青,宋晓钢,陈永法,1991. 中草药防治白蚁的研究. *白蚁科技*,8(2) :1—5.
- 刘炳荣,钟俊鸿,宗元,2008. 植物提取液防治白蚁的研究进展. *林业使用科学*, (6) :25—27.
- 刘树民,罗明媚,杜心懿,尹红,2006. 细辛挥发油对栖北散白蚁毒效作用. *中药材*,29(6) :539—541.
- 刘准,张业光,1992. 紫背金盘杀虫活性探索. *自然科学进展:国家重点实验室通讯*,2(1) :42—47.
- 卢川川,谢荣坚,钟浩泉,陈铿,1998. 印楝素对家白蚁趋向和取食的影响. *白蚁科技*,15(1) :18—21.
- 莫建初,张时妙,滕立,程家安,2003. 细辛对黄胸散白蚁的毒效. *农药学学报*,5(4) :80—84.
- 吴文君,胡兆农,刘惠霞,祁志军, 2005. 苦皮藤主要杀虫有效成分的杀虫作用机理及其应用. *昆虫学报*,48(5) :770—777.
- 徐汉虹,2001. 杀虫植物与植物性杀虫剂. 北京:中国农业出版社. 107—108.
- 徐汉虹,赵善欢,1994. 植物精油在害虫防治上的应用. *天然产物研究与开发*,6(1) :82—88.
- 薛伟,宋宝全,周霞,刁春玲,杨松,何伟,胡德禹,金林红, 2005. 抗菌植物的研究新进展. *农药*,44(6) :241—246.
- 叶舟,2007. 木麻黄小枝提取物的抗蚁及抑菌生物活性. *热带作物学报*,28(3) :104—107.
- 伊可儿,林捷,叶功富,张振核,叶舟,2005. 树木提取液对

- 白蚁的忌避活性初探. 中国生态农业学报, 13(2): 56—58.
- 尹红, 杜心懿, 刘树民, 罗明媚, 2007. 细辛醇提取物对栖北散白蚁的毒效及含量测定研究. 中华卫生杀虫药械, 13(4): 263—266.
- 朱芬, 雷朝亮, 王健, 2003. 黄花蒿粗提物对几种害虫拒食性的初步研究. 昆虫天敌, 259(1): 16—19.