

基础知识

黑翅土白蚁的生物学特性及综合防治技术

徐志德^{1*} 李德运² 周贵清³ 熊继东¹ 黄志农¹

(1. 湖南省植物保护研究所 长沙 410125; 2. 湖南省长沙县跳马乡农业技术推广站 长沙县 410123;
3. 湖南省桃江县三堂街镇农业技术推广站 桃江 413411)

Biological characteristics and integrated control of the blackwing subterranean termite *Odontotermes formosanus*. XU Zhi-De^{1*}, LI De-Yun², ZHOU Gui-Qing³, XIONG Ji-Dong¹, HUANG Zhi-Nong¹ (1. Hunan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China; 2. Changsha County Agricultural Bureau, Hunan Province, Changsha 410123, China; 3. Taqjiang County Agricultural Bureau, Huanan Province, Taojiang 413411, China)

Abstract The advances of termite, *Odontotermes fomosanus* (Shiraki), researches in China were reviewed based on the morphological features, biological characters, host and distribution, IPM measures and the comprehensive utilization of the temites resources.

Key words *Odontotermes formosanus*, white soliders, termites nest age, biological characteristics integrated control

摘 要 从黑翅土白蚁 *Odontotermes fomosanus* (Shiraki) 的形态特征、生物学特性、寄主与分布、综合防治技术和白蚁资源综合利用等 5 个方面着重论述近年来该虫的研究动态及其重要进展。
关键词 黑翅土白蚁, 白兵蚁, 巢群年龄, 生物学特性, 综合防治

黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* (Shiraki) 属土栖性白蚁, 它们行土栖生活, 食性很杂, 危害范围广。主要危害多种树木及常绿阔叶林带, 也是水库、江河堤坝的主要害虫, 可经常造成堤坝漏水、塌方和溃口^[1~4]。这种白蚁造成的危害隐蔽, 不易被人们察觉, 一旦发现, 往往已经造成重大损失, 如危害树木, 可蛀空树心, 侵害堤坝, 可造成决堤等。为了有效控制其危害, 现将该虫的研究动态及其进展综述如下。

1 形态特征

形态特征的研究主要集中在兵蚁, 研究较为细致、透彻^[5~9]。其次是有翅成虫, 不但有一般的体节特征和翅脉描述^[5], 张方耀等通过扫描电镜对翅面微刻点等进行详细的观察描述^[10, 11], 但工蚁、蚁王、蚁后和卵的描述较少^[13]。潘演征等和董兆梁等发现存在翅芽型兵蚁、白兵蚁、白工蚁和其它发育不正常的个体等^[12, 13]。

幼蚁和若蚁的形态特征没有文献报道, 有待进一步研究。王中富详细研究黑翅土白蚁和黄翅土白蚁的形态区别^[14], 归纳起来主要有:

- (1)兵蚁: 体长 6 mm 左右, 乳白色; 触角 15~17 节^[9]。上颚镰刀形, 左上颚中点前方有一明显的齿, 齿尖斜向前; 右上颚内缘的对应部位有一不明显的微齿。前胸背板背面观元宝状, 侧缘尖括号状, 在角的前方各有一斜向后方的裂沟, 前缘及后缘中央有凹刻。
- (2)有翅成虫: 体长 27~29.5 mm, 翅展 45~50 mm。头胸腹背面黑褐色, 腹面棕黄色。触角 19 节^[9]。前胸背板中央有一淡色的十字纹, 纹的两侧前方各有一椭圆形的淡色点, 纹的后方中央有带分支的淡色点。翅长大, 前翅鳞大于后翅鳞。前翅 M 由 Cu 分出, 共 5 支; Cu 有 8~12 根明显的分支。后翅 M 由 Rs 分出, 其余

* E-mail: xuzhide@people.com.cn
收稿日期: 2006-09-26, 修回日期: 2006-11-24

情况同前翅。整个翅面有微毛,翅中部有棒状突起,前后缘有尖头状乳突。

(3)工蚁:体长 4.61~4.90 mm。头黄色,胸腹部灰白色。触角 17 节^[9]。胸门呈小圆形的凹陷。

(4)蚁后和蚁王:体长 70~80 mm,体宽 13~15 mm。头胸部和有翅成虫相似,但色较深,体壁较硬。蚁王体略有收缩。

(5)卵:乳白色,椭圆形。长径 0.6~0.8 mm,一边较平直。短径 0.4 mm。

2 生物学特性

黑翅土白蚁的品级相对较为简单。有翅成虫经婚飞配对后,建巢成为蚁王蚁后负责繁殖后代;卵孵化为幼蚁,幼蚁在不同激素作用下分别向工蚁和兵蚁 2 个方向分化。巢龄达到一定年限后,又出现有翅成虫的分化。黑翅土白蚁食性较杂,共生物也很多。

2.1 蚁王与蚁后

蚁王蚁后专司繁殖后代。巢群中一般只有 1 对,不同时期数量不同,但一般蚁王数目少于蚁后。游兰韶等用蚁后腹长(X)和蚁巢长径(Y)建立了回归方程 $Y = 30.852X - 42.694$,用于巢群年龄的预测,还对初建群体产卵期、产卵数量、日最大产卵量、日平均产卵量等进行研究^[15]。卵粒在巢内堆放的位置,头年 9 月到次年 6 月,一般集中堆放在主巢中部,7~8 月气候炎热,地温较高,卵粒分散堆放,除主巢中部外,主巢外围的卫星菌圃,以及远离主巢的菌圃,空腔中也堆放大量的卵粒^[5]。

2.2 有翅成虫

是巢群中除王与后外能交配生殖的个体,但在原巢内不能交配产卵,在分群移殖,脱翅求偶,兴建新巢后才能交配繁殖后代。巢群中有翅成虫的数量与巢群的大小、蚁后数目的多少有关,成年蚁巢有繁殖蚁达 3 000~9 000 个。有翅成虫的幼蚁,从开始出现翅芽起,到完成最后一次蜕皮,至少经历半年以上的时间共有 7 龄。在同一巢内,长翅繁殖蚁的龄期极不整齐,甚至同一时期能见到 1~7 龄的繁殖蚁。刚具

翅芽的若虫,5 月出现于巢内,6 月进入 2 龄,8 月进入 3 龄,11 月进入 4 龄,12 月进入 5 龄,次年 3 月出现有翅成虫^[5]。

2.3 兵蚁

数量次于工蚁,虽有雌雄之别,但无交配生殖能力,为巢中的保卫者,每遇外敌即以强大的上颚进攻,并能分泌一种黄褐色的液体,抵御外敌^[5]。从卵孵化至兵蚁分化出现历期为 $(23.81 \pm 2.03)d^{[16]}$ 。

2.4 工蚁

数量是全巢最多的,群体所包括的个体数可超过 200 万个^[16]。巢内一切主要工作,如筑巢、修路、抚育幼蚁、寻找食物等,皆由工蚁承担^[5]。从卵孵化至工蚁分化出现的历期为 $(16.67 \pm 1.15)d^{[37]}$ 。

2.5 活动规律

黑翅土白蚁活动有很强的季节性。在福建、江西、湖南等省,11 月下旬开始转入地下活动,12 月份除少数工蚁或兵蚁仍在地下活动外,其余全部集中到主巢。次年 3 月初,气候转暖,开始出土为害。这时,刚出巢的白蚁活动力弱,泥被、泥线大多出现在蚁巢附近。连续晴天,才会远距离取食。5~6 月形成第 1 个为害高峰期。7~8 月气候炎热,以早、晚和雨后活动频繁。入秋 9 月后,逐渐形成第 2 个为害高峰期^[5]。10~11 月为贮粮高峰期^[13]。Yang 还对黑翅土白蚁中肠纤维素酶活性与特点进行详细研究^[17]。

2.6 成虫婚飞

工蚁于 4~6 月间在靠近蚁巢附近地势开阔、植被稀少的地方,筑成形如圆锥状的羽化孔突,土粒较细,数目在 15~20 个之间,多的可达 100 个以上。形状有 2 种:筑于斜坡的呈长方形,长 4~6 cm,宽 2.5 cm,突出地面 1.5 cm。筑于平地的高 3~4 cm,底径约 4 cm,形状不规则。羽化孔成群分布,每巢有 1 群或数群,在羽化孔下有成层排列的候飞室,候飞室与主巢间的距离一般为 3~8 m,个别可达 10 m 以上^[6]。

* 游兰韶. 湖南省昆虫学会光辉五十年. 2002. 110~124.

群飞孔与蚁巢的距离 $1 \sim 5 \text{ m}^{[5]}$ 。

有翅成虫一般在气温达到 20°C ，相对湿度达到 80% 以上，气压在 $99.2 \sim 100.1 \text{ MPa}$ 之间，下雨的傍晚出现婚飞。婚飞时，一个群体内的有翅成虫可能在一次全部飞出，但也可能由于某种原因，或部分个体发育未完全成熟，或外界环境因子突然变得不利等，则不能一次全部飞出，保留一部分个体等候下一次婚飞。也可以不经过婚飞，也能脱翅配对^[6]。6 月底，长翅蚁群飞完后，因雨水冲刷，地面的群飞孔会逐渐消失^[5, 18]。张锁洪和顿辉银等还对婚飞规律和婚飞首日预测进行研究^[19, 20]。

2.7 巢体结构随巢龄不断变化

有翅成虫脱去四翅，雌雄配对，入地营巢。最初钻入地下营建的巢穴，只是一个 2 cm 大的土腔，称为无菌圃期。大约 3 个月左右出现 2 cm 大的菌圃进入单菌圃期，王和后仍无特别居住的“王室”，1~2 年后蚁后的腹部开始膨大。巢由 1 个菌圃发展为 2 个以上菌圃，进入多腔初期，在菌圃旁边和底部修筑“王室”。3 年以后，进入多腔中期，巢群从无菌圃期发展到多腔中期，因群内都不产生长翅繁殖蚁，所以称为幼龄群体或幼龄巢。进入层裂期后，巢群发育成熟。进入块裂期后，“王室”在主巢中亦有由上而下的迁动过程。进入层裂期后，主巢位置基本固定^[5, 21~23]。

王与后在巢中生活的位置，亦常随巢群的年龄或蚁后的大小而异：蚁后体较小，巢群较嫩，王与后则无特殊结构的“王室”居住，只生活于菌圃的下方，由菌圃把它们盖着；蚁后体较长达 $3 \sim 4 \text{ cm}$ ，蚁群为年青时，则多在巢中较大菌圃的边缘突出一个土室生活。蚁后体大形，长达 $4 \sim 6 \text{ cm}$ ，巢群已达成成年或将达成成年时，王与后往往生活在巢中菌圃泥质的“王室”中。蚁后体积因年龄不同而异，大约第 1 年时体积为 0.9 cm^3 ，以后逐渐增大，到第 9 年时则可达 63.9 cm^3 ^[5]。

主巢温度通常处于 $25 \sim 28^{\circ}\text{C}$ ，当冬季周围气温降至 $9 \sim 19^{\circ}\text{C}$ ，巢内温度不低于 20°C ，夏季巢外酷暑，而巢内温度不高于 28°C 。巢穴往往

深达 2 m 以上，有的可达 5 m 深^[16]。

2.8 白蚁共生生物及食客众多

黑翅土白蚁有 2 种共生菌：小白球菌 (*Termitopharia duihiei* (Berk) Ciferri) 和白球菌 (*Termitomyces aluminosus*)。白蚁的死亡造成白蚁真菌 (小白球菌等) 也随之衰亡，地炭根 [*Xylaria nigripes* (Ki) Saco]，又称炭角菌、碳棒菌、鹿角菌、鸡菌 (*Collybia aluminosa*)、鸡枞菌 (*Termitomyces salbminasus* (Berk) Heim) 等失去抑制因子迅速生长发育起来^[24~34]。鸡枞菌多由幼年巢群中长出，三踏菌多由成年巢群中长出，鸡枞花 (*Termitomyces micocarpus*) 多从主蚁道中长出，鹿角菌都由死亡菌圃中产生^[22]。朱志雄对黑柄炭角菌的 DNA 进行了鉴定*。李参报道为白蚁巢穴内有节肢动物 3 个纲 9 目 16 科 30 多种食客^[35]。

2.9 其他习性

畏光性，趋光性，群栖性，好斗性，护群性；喜湿怕水；喜温怕冷；喜爱整洁^[37]。螳螂、山青蛙、蝙蝠、各种蚂蚁、蜘蛛、穿山甲等都是他们的天敌^[3]。

3 寄主与分布

3.1 寄主

黑翅土白蚁危害的寄主植物种类很多，分布广泛。

除为害 100 种植物和农作物外，还能严重为害经济作物苕麻

主要寄主有：杉树、檫、樟树、泡桐、木荷、栗类、栎类^[5]、马尾松、侧柏、橡胶树、榆、桉、洋槐^[6, 38, 39]、板栗、楠、油茶、油桐、核桃、柑桔、桃、李、木莲、蓝果树^[7]、松、茶^[37]、大叶桉、柠檬桉、厚皮树、甘蔗、西番莲^[40]、女贞、栎树、水杉、桂花、茶花、梧桐^[41]、桑树^[42]、枫香、广玉兰^[43]、黑荆树苗、青冈栎、杜仲、香椿、柳杉、柏木、苦楝、川楝、枫杨、漆树、盐肤木、瑞香、圆柏、雪松、喜树、木棉、厚朴、腊梅、花椒、阳桃、玉兰、石楠、法

* 朱志雄 中国菌物学会首届药用真菌产业发展暨学术研讨会论文集, 2005. 72~75.

国梧桐、枣树、楸树、毛竹、国外松、黑松、金钱松、油杉、落羽杉、臭椿、合欢、桤木、重阳木、刺楸、刺槐、黄莲木、麻栎、衰杨、旱柳、檫木、紫薇、栓栎、白榆、皂荚、乌桕、柿树、茶树、紫槐、淡竹、毛白杨、海棠、苹果、山楂、梨树、黄杨、松柏^[44]、香樟、银杏、冬青^[45,46]、荔枝、龙眼^[47]、紫穗槐^[48]、罗汉果^[49]、天麻^[50]、杨梅^[51~53]、玉米、高粱、椰子幼苗、茅草根、艾、野艾、芒箕^[22]、桧柏、悬铃木、月季、水稻^[9]等 100 种以上^[44,54]。黑翅土白蚁对食物的选择性不强^[55]，除危害上述寄主植物外，还严重为害房屋建筑、森林和水库堤坝。在堤坝上筑巢量大而深，隐患最大^[56]。在湖南沅江黑翅土白蚁除严重为害沅江防洪大堤外，还严重危害当地重要的传统经济作物苎麻 (*Boehmeria nivea* (L.) gaudich.)。

3.2 分布

在国内 21 省区和东南亚均有分布。北以北纬 35 度 (洛阳) 为界，南至北纬 20 度 (海安)^[22]。河南、江苏、海南、西藏^[5]、安徽、浙江、湖北、湖南、四川、贵州、台湾、福建、广东、广西、云南^[6]、山西、山东、陕西、河北^[37]等长江以南 21 省区^[37]。缅甸、越南、泰国^[5]、印度、孟加拉国、日本^[22]、朝鲜、夏威夷^[9]。在湖南最大的分布高度是 1 700 m (宜章莽山、资兴八面山)^[37,57]。蔡邦华还对我国白蚁分布和区系进行了详细研究^[58]。

4 综合防治技术

在进一步研究检疫防治可行性的基础上，要逐步采取物理化学诱杀、生物防治、工程治理、化学药剂防治等综合措施进行防治。有条件的地方可寻巢挖巢灭蚁。

4.1 寻巢与挖巢灭蚁

可以通过分析地形特征、为害状、地表气候、蚁路、群飞孔、鸡枞菌等判断白蚁巢位。确定蚁巢位置后，追挖时，先从泥被线或分群孔顺着蚁道追挖，便可找到主道和主巢。要注意掌握挖蚁道要挖大不挖小，挖新不挖旧；对白蚁要追进不追出，追多不追少^[5,59]。张宗福提出 3 种蚁巢定位方法^[60]。

4.2 灯光和性诱剂诱杀

每年 4~6 月间，是有翅繁殖蚁的分群期，利用有翅繁殖蚁的趋光性，在蚁害地区可采用黑光灯或其他灯光诱杀^[5]。最佳活性浓度的踪迹信息素类似物 (Z, Z)-3, 6-十二碳二烯-1-醇 (DDE-OH) 与信息素提取物的活性反应之间没有显著差别^[61]，都可用于白蚁的诱杀。

4.3 压烟法

王松国等详细介绍自制压烟器的制作方法^[62]：把 KNO₃ 30%、NH₄Cl 10%、锯末 55%、硫磺 5% 分别干燥粉碎、混匀制成烟剂，燃烧前加入一定量的 80% 敌敌畏 EC、50% 甲胺磷 EC、2.5% 溴氰菊酯 EC，放入压烟器中，点燃发烟后，迅速塞紧木塞，可听到呼呼响声，封闭蚁道。蚁王蚁后熏死率 98% 以上^[62~64]。

4.4 喷施灭蚁药剂

一般在白蚁活动较频繁的季节 (4~10 月) 施药，收效较快^[65]。

4.4.1 能找到白蚁活动场所：如群飞孔、蚁路、泥被线、危害严重的部位，可直接适当施药，不需再行找巢，即可达到防治的目的。对于比较容易找到的白蚁活动场所，如聚集在伐根内的白蚁群，可将药液直接喷入，不必挖巢，即可达到全歼巢群的目的。常见的药剂有：3% 林康乐 WP、林地防治黑翅土白蚁 5g/株保苗防治效果达 95% 以上^[66]。50% 福美双 WP、80% 敌敌畏 EC、48% 毒死蜱 EC、5% 氟虫腈浓悬浮剂、10% 氯氰菊酯 EC、2.5% 溴氰菊酯 EC、25% 辛硫甲氰菊酯 EC、76.9% 松节油 EC、98% 杀虫螟丹原粉、76.9% 樟脑油 EC、6% 林康乐 WP、吡虫啉、氟虫腈、联苯菊酯等在危害高峰在植株泥被上直接喷 300 倍液^[53, 63, 65, 67~72]。其他如 35% 氯丹 EC (有机氯杀虫剂) 防治黑翅土白蚁效果好，0.04~0.10 μg/mL 3 d 后死亡率达 100%^[173]。

4.4.2 找不到蚁巢：可先挖一个诱集坑 (深 30 cm，长 40 cm，宽 20 cm)，然后把大叶桉的树皮，或甘蔗渣、松木片、芒箕骨等捆成小束 (每束长 25 cm、径 10 cm) 埋入坑内作诱集物，在干燥的季节，诱集物上要泼一些洗米水或糖水，坑面加盖松土，过半个月后进行检查，如发现大量白蚁

被引来时, 挪开诱集物, 将灭蚁灵均匀喷在白蚁身上, 先喷坑的下面, 后喷上面, 喷好后把诱集物放到原来的位置上, 然后盖好, 过 1 个星期再来检查处理, 直到达到防治目的为止^[37, 74 75]。也可以用汪一安先生发明的 WAY-8202 白蚁诱杀剂来诱杀白蚁, 防治效果好^[75]。黄求应等还提出小米粉做成的饵料防霉剂以 2% 山梨酸钾和 0.75% 百菌清的防霉效果最好^[77]。

4.5 招引和释放白蚁天敌

把装有用糖醋液浸过的骨头的塑料袋放在东方食植行军蚁 *Derylus orientalis* Westwood 的活动场所招引它, 然后抖掉蚂蚁、取出去骨头, 将小蚂蚁缓缓倒入白蚁的泥被线中, 即可达到防治白蚁的效果^[78]。将一个巢群的白蚁引入另一巢群中去, 也可达到防治的目的^[37]。还可以使用金龟子绿僵菌、球孢白僵菌等菌粉, 但由于蚁巢内存在对担子菌生长发育的抑制因子, 大田应用的效果可能会不如室内试验效果那么好^[79]。

4.6 封山育林

对遭受马尾松毛虫、黑翅土白蚁危害的松林, 实行封山育林是最经济、有效的防治方法。既能促使森林植物种类多样, 生物群落复杂化、害虫危害次要化, 又能达到森林害虫可持续控制^[80]。

4.7 检疫防治

张英俊从黑翅土白蚁等灾害性白蚁的分布与扩散情况入手, 详细论证黑翅土白蚁等灾害性白蚁应列为检疫对象, 实施检疫防治的必要性和可行性^[81]。

5 白蚁资源综合利用

白蚁体内富含蛋白质且纤维少, 特别是人体必需氨基酸含量高, 微量元素丰富, 营养价值极高^[82], 有翅成虫含水分 49.3%、脂肪 22.5%、蛋白质 21.9%、无机盐 5.9%、糖元 0.1% 和其他 0.3%^[22]。黑翅土白蚁还是少有的含有机氯化物的动物^[83]。菌圃也富含氨基酸, 其中多种具有显著生理活性的氨基酸都被富集^[84]。黑翅土白蚁及其菌圃完全可以作为一种“多元高

效钙、锰强化剂”^[85]。开展综合利用前景广阔^[86, 87]。

5.1 测定

对黑翅土白蚁及其菌圃的脂溶性成分、醚溶性成分、蛋白质等的测定^[88~94], 结果表明: 白蚁、菌圃及其水提物和水提醇沉后溶液中含有 28 种常量和微量元素^[60, 95]。白蚁菌圃的水溶性化学成分中含有丰富的游离脂肪酸, 是对人体生长发育、生殖系统等发挥正常功能必不可少的生物活性物质^[96]。黑翅土白蚁含有丰富的营养成分, 并首次在黑翅土白蚁中发现不饱和和奇数十五碳烯酸, 众多的营养成分是其广泛生理活性的物质基础^[97]。黑翅土白蚁的氨基酸含量仅比家白蚁和水蛭低, 但比乌梢蛇、蜈蚣、蚯蚓、全蝎、蜂房、僵蚕和地鳖虫等动物性药材都高^[98]。幼若蚁糖含量最高 3.12%, 有翅繁殖蚁粗脂肪含量最高 57%, 工蚁粗蛋白含量最高 63.02%, 维生素含量最高, 其中肌醇 40 mg/g、烟酸 0.110 6 mg/g、烟酰胺 0.535 4 mg/g、维生素 A 386 IU/g、泛酸 2.96 mg/g, 氨基酸总量最高 46.64%, 其中必需氨基酸 17.70%、半必需氨基酸 4.06%^[98]。

5.2 食用和药用

非洲、东南亚还有我国部分地区的人民喜以白蚁为食^[99], 江西鹰潭还研制出白蚁酒^[22]。白蚁菌圃味甘性平, 具有解毒、消炎、止痛、收敛之功效^[22]。黑翅土白蚁的不同提取物均可降低小鼠腹腔毛细血管的通透性和减轻耳廓肿胀, 并对醋酸致痛有镇痛作用^[99], 药效成分主要是脂溶性成分^[100]。黑翅土白蚁及产物的复方制剂“复肝灵”胶囊对乙肝有明显的治疗效果^[15]。预防仔猪黄白痢: 每窝次用菌圃粉 20 g, 加水 500 g 煎煮并煮沸 10~15 min 凉后加入猪饲料中饲喂, 对仔猪黄白痢有比较明显的预防和治疗作用^[35]。

5.3 其他

白蚁还是自然界中一个名符其实的“清道夫”, 将林地中的枯枝落叶转化为有益的肥料, 回归自然, 再被植物吸收利用^[29], 改善土壤理化性状, 是生态链上的重要一环^[22]。

参 考 文 献

- 1 李栋, 庄天勇, 田伟金, 黎明, 陈丽玲. 昆虫知识, 2001, **38** (3): 182~185.
- 2 蔡邦华, 陈宁生, 陈安国, 何忠, 陈志辉. 昆虫学报, 1965, **14** (2): 128~139.
- 3 徐振海. 内蒙古农业科技, 2004, (2): 190~191.
- 4 广东省东深供水管理局, 广东省昆虫研究所. 昆虫学报, 1976, **19**(1): 18~24.
- 5 中国林业科学院. 中国森林昆虫. 北京: 中国林业出版社, 1983. 61~66.
- 6 中国科学院动物研究所. 中国农业昆虫(上). 北京: 农业出版社, 1986. 43~44.
- 7 湖南省林业厅. 湖南森林昆虫图鉴. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1992. 35.
- 8 刘源智主编. 中国白蚁生物学及防治. 成都: 成都科技大学出版社, 1998.
- 9 浙江农业大学. 农业昆虫学(第2版). 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- 10 张方耀, 李参, 高其康. 动物学研究, 1993, **14**(3): 270, 269, 28.
- 11 张方耀, 高其康, 李参, 唐觉. 动物学研究, 1994, **15**(2): 85~88.
- 12 潘演征, 唐国清, 刘源智. 昆虫知识, 1981, **18**(6): 259~260.
- 13 董兆梁, 李参. 昆虫知识, 1992, **29**(4): 255~256.
- 14 王中富. 浙江林业科技, 1985, (2): 38~39.
- 15 董兆梁. 城市害虫防治, 2005, (4): 38~40.
- 16 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类(上). 南京: 南京师范大学出版社, 2002.
- 17 Yang T. C., Mo J. C., Cheng J. A. *Entomol. Sin.*, 2004, **11** (1): 1~10.
- 18 江西省修水县林业科学研究所. 昆虫知识, 1977, **14**(3): 88~89.
- 19 顿辉银, 何云, 陈立志, 杨海燕. 中国水利, 2004, (19): 54~55.
- 20 张锁洪, 管殿胜, 罗新志, 钱杏春. 江苏水利科技, 1996, (3): 36~37.
- 21 刘源智, 唐国清, 潘演征, 陈良德, 何永忠. 白蚁科技, 1995, **12**(3): 11~16.
- 22 蒋书楠. 城市昆虫学. 重庆: 重庆出版社, 1992.
- 23 蔡邦华, 陈宁生, 陈安国, 陈志辉. 昆虫学报, 1965, **14**(1): 53~70.
- 24 李栋, 陈均贺, 张鉴发, 黄立瑞. 昆虫学报, 1990, **33**(1): 49~54.
- 25 梁修山, 徐光宇. 白蚁科技, 1998, **15**(3): 25~27.
- 26 衡阳林业科学研究所. 林业科技通讯, 1977, (11): 19~20.
- 27 吴木林. 安徽林业, 中药材, 2005, (5): 47.
- 28 郭德章. 食用菌, 1995, (5): 5.
- 29 李栋, 田伟金, 黎明, 陈丽玲, 毛伟光. 昆虫知识, 2004, **41** (5): 487~494.
- 30 刘源智, 唐国清, 潘演征, 陈良国, 何永忠. 林业实用技术, 1980, (7): 23~26.
- 31 何绍昌, 连宾. 贵州科学, 1996, **14**(4): 66~74.
- 32 叶选怡. 丽水师专学报(自然科学版), 1996, **18**(2): 19~20.
- 33 陈宛如, 李振唐, 史美中, 倪建勇. 现代应用药学, 1988, **5** (1): 10~13.
- 34 留风. 食用菌, 1995, (5): 5.
- 35 舒邓群, 吴德龙, 王建国, 戴益民, 黄爱民. 动物科学与动物医学, 2001, **18**(3): 37~38.
- 36 李参. 昆虫知识, 1981, **18**(6): 260~262.
- 37 董新旺. 湖南白蚁研究与防治. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004. 110~124, 276~282.
- 38 李其义, 金诚, 杜兆培. 林业实用技术, 2002, (6): 29.
- 39 徐光余, 梁修山, 于贺元, 解光艾, 仁贻家. 白蚁科技, 1992, **9**(3): 9~12.
- 40 王宏毅. 福建热作科技, 1992, (3~4): 46.
- 41 周庆椿, 龙仕平. 西南园艺, 2004, **32**(6): 17~19.
- 42 郑明儿, 黄志昌, 高元明. 江苏蚕业, 1992, (2): 52~53.
- 43 江超平, 刘勋. 白蚁科技, 2000, **17**(2): 30~33.
- 44 徐光余, 梁修山, 于贺元, 解光艾, 仁贻家. 白蚁科技, 1994, **11**(1): 28~30.
- 45 黄海娣, 杨奇林. 白蚁防治, 2005, (2): 34~35.
- 46 董新旺. 湖南白蚁研究与防治. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004. 299~302.
- 47 黄荣玉. 福建果树, 1983, (2): 8.
- 48 陈传荣. 中国水土保持, 1985, (12): 15.
- 49 黎天山, 丘风波. 广西植物, 1985, (3): 24.
- 50 曾令祥. 贵州农业科学, 2003, **31**(5): 54~56.
- 51 陈卫民. 蔬菜瓜果, 2005, (11): 12~13.
- 52 陈卫民. 柑桔与亚热带果树信息, 2003, (4): 12~13.
- 53 余如士, 林华良, 王晓方. 浙江柑桔, 2006, **23**(2): 34~35.
- 54 彭建文. 湖南林业科技, 1981, (3): 1~7.
- 55 黄求应, 雷朝亮, 薛东. 林业科学, 2005, **41**(5): 91~95.
- 56 胡楫. 科学中国人, 1997, (9): 54~55.
- 57 郴州林业科学研究所. 湖南林业科技, 1975, (6): 6~10.
- 58 蔡邦华, 陈宁生. 昆虫学报, 1964, **13**(1): 25~37.
- 59 夏金保. 昆虫知识, 1995, **32**(2): 108~109.
- 60 张宗福. 昆虫学报, 1978, **21**(3): 348~352.
- 61 邓晓军, 张珈敏, 胡建芳, 杨娟, 胡远杨. 昆虫学报, 2002, **45**(6): 739~742.
- 62 王松国, 杜锦芳. 湖北林业科技, 1995, (3): 30~32.
- 63 梁修山, 徐光宇, 章立新. 白蚁科技, 1999, **16**(3): 11~12.
- 64 谢鸣荣, 谢华鸣. 白蚁防治, 2005, (2): 32~33.
- 65 张华庭, 张再福, 朱建华, 陈红梅. 林业科技开发, 2000, **14** (3): 16~18.
- 66 高志兴, 王聪林. 四川林业科技, 1999, **20**(3): 52~53.
- 67 李卫中. 湖北林业科技, 1996, (4): 38~42.
- 68 张再福, 朱建华, 陈红梅, 张华庭, 陈国顺. *Forest Pest Disease*, 2000, (5): 24~28.
- 69 余华星, 郁云法, 张爱民, 鲍雄, 邓亚芳. 林业科学研究, 1999, **12**(4): 442~445.
- 70 黄求应, 薛东, 童严严, 王维平, 雷朝亮. 昆虫知识, 2005, **42** (6): 656~659.
- 71 朱本忠, 范寿祥, 石宋英, 曹黎明. 江苏林业科技, 1979, (3): 37~38.
- 72 陈波藩. 林学量. 城市害虫防治, 2005, (2): 16~19.

- 73 刘洪. 湖北植保, 2004 (3): 7.
- 74 王艾青, 肖荷生, 彭成员, 易泽喜. 白蚁防治, 2005, (4): 4.
- 75 黄求应, 薛东, 丁思悦, 欧秋玲, 雷朝亮. 昆虫知识, 2006, 40 (2): 200~203.
- 76 林章. 林业科技通讯, 1995, (7): 28~29.
- 77 申玉梅. 城市害虫防治, 2006, (1): 31~33.
- 78 童新旺. 湖南白蚁研究与防治. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004. 344~346.
- 79 陈红梅. 华东昆虫学报, 1999 8(1): 107~109.
- 80 梁修山, 徐光余, 张业芳. 林业科技通讯, 2001, (3): 14~16.
- 81 张英俊. 西北大学学报, 1983, (4): 48~55.
- 82 李栋. 营养与健康, 2002, (2): 15.
- 83 薛德钧. 中草药, 2004 35(4): 386~387.
- 84 段金殿, 黄兴哲, 王静蓉, 周荣汉, 张培毅. 中药材, 1999, 22 (10): 489~491.
- 85 张贞华, 董兆良. 科技通报, 1991, 7(6): 340~342.
- 86 张培毅. 世界林业研究, 1999, 12(3): 24~28.
- 87 谢保国, 谢华鸣, 谢鸣荣. 白蚁防治, 2005, (3): 45~46.
- 88 张培毅. 中药材, 1999 22(9): 437~438.
- 89 王秀丽, 薛德钧. 山东中医药大学学报, 2004, 28(6): 459~460.
- 90 彭红, 薛德钧, 邓永蓉, 吴德龙. 江西中医学院学报, 2003, 15(2): 45.
- 91 薛德钧, 李云秋, 徐彭, 朱家谷. 江西中医学院学报, 2003, 15(1): 43~44.
- 92 汪桐, 潘群皖, 刘潮. 皖南医学院学报, 1994, 13(2): 95~97.
- 93 张贞华. 杭州大学学报, 1987, 14(1): 80~90.
- 94 段金殿, 黄文哲, 杨东, 周荣汉, 张培毅. 动物药研究, 1999, 22(9): 437~438.
- 95 段金殿, 黄兴哲, 周荣汉, 张培毅, 谢保国. 中药材, 1999, 22(11): 554~556.
- 96 薛德钧, 周慧, 张敏, 谢康, 张勇. 中药材, 2005, 28(10): 873~875.
- 97 薛德钧, 李云秋. 中国现代应用药学, 2002 19(6): 472~473.
- 98 张贞华, 董兆良. 科技通报, 1993, 9(1): 41~43.
- 99 王秀丽, 王焕秀, 徐彭, 薛德钧. 中草药, 2005, 36(2): 247~248.
- 100 王焕秀, 王秀丽, 朱家谷, 薛德钧. 江西中医学院学报, 2003, 15(3): 45.

昆虫几丁质合成酶及其抑制剂

杨化恩¹ 刘守柱² 李友忠¹ 杜翠敏³

(1 山东省临沂市河东区农业局 临沂 276034; 2 山东农业大学植物保护学院 泰安 271018;

3 山东省临沂市兰山区植物保护工作站 临沂 276003)

Chitin synthase from insects and its inhibitors. YANG Hua-En¹, LIU Shou-Zhu², LI You-Zhong¹, DU Cui-Min³
(1. *Hedong Agriculture Bureau of Linyi, Shangdong Province, Linyi 276034, China*; 2. *Plant Protection College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China*; 3. *Lanshan Plant Protection Station of Linyi, Linyi 276003, China*)

Abstract Chitin synthase is the key enzyme in the synthesis of chitin, which has three domains: domain A, domain B and domain C; domain B is the catalytic center. Based on relative sequence differences, chitin synthases have been grouped into two classes: class CS-A and class CS-B enzymes, which catalyze the formation of chitin in epidermis and peritrophic matrix respectively. Two model of catalyze mechanism was suggested. There are many chemicals that can inhibit the synthesis of chitin, of which nucleoside peptidyl antibiotics and nucleoside phosphates are acting on the catalytic site of CS as competitive inhibitors; however, other chemicals' inhibition mode is still unknown.

Key words insect, chitin synthase, chitin synthesis, inhibitor

摘 要 几丁质合成酶(CS)是几丁质合成的关键酶,它具有3个结构域:结构域A、结构域B和结构域C,其中结构域B是催化域。根据氨基酸序列的差异,几丁质合成酶分为两类:CS-A及CS-B,分别在表皮及围食膜基质中催化合成几丁质。关于几丁质合成有2种假想模型。有多种抑制剂可以抑制几丁质的

* E-mail: yanghuaen@163.com

重登收稿日期: 2007-03-27, 接受日期: 2007-05-27