中国白蜡窄吉丁研究进展*

路纪芳** 王小艺*** 杨忠岐

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林保护学重点实验室 北京 100091)

摘 要 白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire 是近年来发生和影响比较严重的国际性检疫害虫,主要危害白蜡属(*Fraxinus* spp.)树木。它以幼虫在树木的韧皮部、形成层和木质部浅层蛀食,从而切断树木的营养输导组织,导致树木衰弱死亡。为了深入了解该害虫,探索合理的治理策略,本文对国内外有关白蜡窄吉丁的生物学特性,包括生活习性、生活史、分布与危害、寄主范围等方面以及防治技术的研究进展进行了系统总结,并讨论了白蜡窄吉丁今后的研究方向和研究趋势。

关键词 白蜡窄吉丁,蛀干害虫,生物学,防治技术,研究进展

Progress in research on the emerald ash borer *Agrilus planipennis* in China

LU Ji-Fang** WANG Xiao-Yi*** YANG Zhong-Qi

(Key Laboratory of Forest Protection, the State Forestry Administration of China; Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract The emerald ash borer (EAB), *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), is an important international quarantine insect pest which mainly attacks ash trees, *Fraxinus* spp. Its larvae fed on the phloem, cambium, and shallow sapwood under the ash bark causing trees to die from the resultant destruction of their nutrition and water transportation system. In order to further understand this insect pest and develop a reasonable strategy to counter it, we here summarize its biology, including its ecological habitats, life history, distribution, occurrence, host range and control techniques. In addition, research trends and prospects for future research on this pest are discussed.

Key words *Agrilus planipennis*, wood borer, biology, control techniques, research progress

白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire,又名花曲柳窄吉丁、桲小吉丁,属鞘翅目(Coleoptera)吉丁甲科(Buprestidae),异名 *A. marcopoli* Obenberger,危害木犀科(Oleaceae)白蜡属(*Fraxinus*)树木(于诚铭,1992)。20 世纪 60 年代曾在我国东北和华北地区严重发生。近年来,在天津、北京、辽宁、吉林等地危害又趋于加重,已成为我国重要的检疫性蛀干害虫之一(赵汗青等,2006),被国家林业局列入《林业危险性有害生物名单》(刘海军等,2005;赵同海等,2005b)。

白蜡窄吉丁是东北亚地区的本土害虫,虽然文献记载日本、朝鲜、蒙古和俄罗斯远东地区有分布,但在除我国之外的其它东北亚国家很少发现其危害(Haack *et al.*,2002),所以一直没有引起重视。2002 年在美国密歇根州、加拿大安大略省等地发现该虫的危害(Haack *et al.*, 2002; Baranchikov *et al.*,2008),并造成了严重的损失(赵同海等,2005b)。2003 年美国境内该虫已扩散至 Michigan 州的 13 个县和 Ohio 州的 5 个县、以及 Indiana 州和 Washington DC。2003 年俄罗斯莫斯科发现白蜡窄吉丁的危害,这是欧洲首次发现该害虫(Kulinich *et al.*,2008)。到 2009 年 3 月,该虫已经扩散到美国的另外 9 个州和加拿大的魁北克(Kovacs *et al.*,2010)。目前,美国的 14 个州

* 资助项目:美国农业部动植物检疫局(USDA-APHIS)资助项目、国家自然科学基金项目(30972377)。

** E-mail: senbaoljf20052186@126.com

*** 通讯作者,E-mail: xywang@caf.ac.cn

收稿日期:2011-03-08,接受日期:2011-07-16

(伊利诺斯、印第安纳、衣阿华、肯塔基、马里兰、密歇根、明尼苏达、密苏里、纽约、俄亥俄等)和加拿大的2个省(安大略省、魁北克省)均发现了白蜡窄吉丁的分布(Duan *et al.*,2010)。

为了对白蜡窄吉丁及其防治技术进行深入研究,本文系统总结了白蜡窄吉丁的生物学、分布危害、防治技术等方面的研究进展,并探讨了有关白蜡窄吉丁的研究方向和研究趋势。

1 白蜡窄吉丁的生物学特性

20 世纪 60 年代我国学者最早在黑龙江省哈尔滨市开展了白蜡窄吉丁生物学特性的研究。研究结果于 1964 年以东北林业大学内部资料发表(于诚铭,1992;Wei *et al.*,2004)。1963 年,沈阳园林科学研究所调查了白蜡窄吉丁在沈阳地区对美国白蜡(*F. americana*)的危害情况,描述了该虫的形态特征和生物学习性,分析了影响该害虫危害的环境因子,并采用化学药剂对成虫进行了防治试验(刘义果,1966)。这些是白蜡窄吉丁最初的研究,比较详细地记录了白蜡窄吉丁的形态特征、生活史和生活习性等。

1.1 生活习性

白蜡窄吉丁成虫羽化后通常在蛹室内蛰居 5 ~13 d,然后在树干上咬一"D"型羽化孔钻出,咬羽化孔时的碎木屑被成虫吞食,以补充能量,虫粪随即排泄于身后,在羽化完成后的蛹室内可观察到塞满的虫粪(刘义果,1966;于诚铭,1992;Wang *et al.*,2010)。成虫出孔后开始沿树干爬行至树冠,并取食树叶,补充营养(刘义果,1966)。成虫有明显的喜光和喜温习性,以晴朗无风天气比较活跃,常绕树冠飞向阳面温暖处(于诚铭,1992;金若忠等,2005)。夜间、阴雨天或大风天气则栖止于叶柄及树皮裂缝等处,隐伏不动。若遇惊扰,则假死坠地。成虫取食树叶补充营养时,将叶片边缘咬成锯齿状缺刻,每头成虫 1 d 可食叶片面积约为 0.45 cm^2(于诚铭,1992;Wang *et al.*,2010)。成虫飞翔能力较强(刘义果,1966)。

成虫羽化 5 ~7 d 后开始交尾,以 10:00—15:00 为盛,一生可交配 1 ~4 次(Anulewicz *et al.*,2008;Wang *et al.*,2010)。交尾时很少有飞动现象。成虫交尾后 7 ~9 d 开始产卵(侯陶谦,1986;于诚铭,1992)。卵多产于阳光充足的干基树皮缝隙中,因此在一天中成虫产卵的位置往往随阳光照射的方向而有变动。卵一般为单产、散产,也有数粒产于一块的(Wang *et al.*,2010)。环境温度不同时,成虫的寿命有差异,一般雌性成虫的寿命比雄性长(于诚铭,1992)。

卵期 2 ~3 周(Anulewicz *et al.*,2008)。初孵幼虫最初取食卵所在位置的树皮,不久即咬一小孔蛀入韧皮部,随着虫龄增加递次在边材危害。坑道多集中于干基至 1.8 m 高度范围内。寄主树木受害初期,虫口密度不大时,对树木的生长与发育影响较小;但连续 2 ~3 年被害,虫口密度增多,由于输导组织被破坏,使树木枯萎,甚至死亡(刘义果,1966;Wang *et al.*,2010)。

白蜡窄吉丁的危害主要是幼虫期,且幼虫期最长(王小艺,2005)。幼虫取食危害的特点是不断地用排出的虫粪和咬碎的微细木屑将所蛀食过的坑道填满,而不将虫粪推出蛀道外,所以形成一种阻塞式的坑道(刘义果,1966;Wei *et al.*,2004)。

1.2 生活史

白蜡窄吉丁以幼虫或预蛹在树皮下越冬,但在不同纬度地区其幼虫的越冬虫态、发育历期和年发生代数不同(赵同海等,2005b)。于诚铭(1992)在其研究报告中详细记载了白蜡窄吉丁在黑龙江省哈尔滨市的生活史:白蜡窄吉丁在该市 2 年 1 代,以不同龄期的幼虫在韧皮部与木质部之间或边材中形成的坑道内越冬。幼虫经 2 次越冬后,于第 3 年 4 月上中旬开始活动,4 月下旬开始化蛹,5 月中旬为化蛹盛期,6 月中旬为末期。成虫于 5 月中旬开始羽化,6 月下旬为羽化盛期。卵出现于 6 月中旬至 7 月中旬。幼虫于 6 月下旬开始孵化,随后即陆续蛀入皮下韧皮部与边材之间危害。10 月中旬气温下降后,开始在坑道内越冬。

1963—1965 年,刘义果调查了白蜡窄吉丁在辽宁省沈阳市的生活史(刘义果,1966)。白蜡窄吉丁在该市 1 年 1 代,以不同龄期的幼虫在韧皮部与木质部之间或边材的坑道中越冬,翌年 4 月上旬幼虫开始蛀食危害,4 月下旬开始化蛹,蛹期在 4 月下旬—6 月中旬,成虫期为 5 月中旬—7 月上旬。6 月中旬新孵化的幼虫开始在韧皮部与木质部表层,并在越冬前大部分蛀入到木质部浅层危害,直到 10 月中旬开始越冬。赵同海等(2005a)在辽宁省本溪市调查发现,白蜡窄吉丁在

本溪市 1 年内有 2 次成虫羽化出孔高峰,第 1 次在 6 月中下旬,数量多且较为集中,为越冬前已发育成熟的那一部分幼虫;第 2 次从 7 月下旬开始至 9 月下旬,这一代羽化的成虫数量少,但持续时间较长,直到 9 月底仍有个别新羽化出孔的成虫。

天津市 1982 年首次在西青区发现了白蜡窄吉丁,主要危害天津市的市树绒毛白蜡(*F. velutina*)(刘海清等,1996)。白蜡窄吉丁在该市 1 年 1 代,以预蛹在木质部浅层所蛀的蛹室中越冬,末龄(4 龄)幼虫从 7 月下旬开始陆续蛀入木质部,至 11 月上旬基本全部蛀入蛹室进入越冬状态。翌年 4 月上旬开始出现蛹,持续到 5 月中旬。成虫期为 4 月下旬—6 月下旬。成虫羽化后交配产卵,6 月上旬孵化的幼虫蛀入韧皮部危害。直到 11 月上旬,全部老熟幼虫蛀入木质部做一蛹室成预蛹状态越冬(刘海清等,1996;王小艺,2005;刘桂军和刘恩山,2004)。

1.3　分布与危害

白蜡窄吉丁自然分布于东北亚国家(中国、日本、朝鲜和蒙古)及俄罗斯远东地区,在我国主要分布于黑龙江、吉林、辽宁、山东、内蒙古(于诚铭,1992)、河北、天津和台湾等地(Liu *et al.*,2003;王小艺,2005)。

白蜡窄吉丁以幼虫在寄主树木的韧皮部、形成层和木质部浅层蛀食危害(王小艺,2005),在树皮下形成“之”字型坑道,从而切断了树木的营养输导组织,在虫口密度较低的情况下,有虫道的地方树皮枯死,而在虫口密度高的情况下,树皮下布满了坑道,造成整株树死亡(赵同海等,2005a)。因其隐蔽性强,防治极为困难(王小艺,2005)。

20 世纪 60 年代,白蜡窄吉丁在黑龙江哈尔滨市和辽宁沈阳市猖獗发生,造成东北林业大学实验林场内的水曲柳(*F. mandshurica*)、沈阳市大量的白蜡行道树死亡(赵同海和高瑞桐,2004)。之后又在天津发现该虫的危害。到 1991 年已经扩散到天津 12 个县区,受害白蜡树达 7 万余株,感虫苗木达 38 万株以上(高宇,2009)。1998 年,白蜡窄吉丁在天津市官港森林公园白蜡树纯林危害成灾,造成大面积的绒毛白蜡死亡(赵同海和高瑞桐,2004)。近年来,北京市局部地区也有不少白蜡树遭受白蜡窄吉丁危害,已经造成部分白蜡树死亡。

1.4　寄主范围

《中国森林昆虫》(第二版)记载,白蜡窄吉丁的寄主为美国白蜡、花曲柳(*F. rhynchophylla*)和水曲柳,其中北美栽培品种美国白蜡受害最为严重(于诚铭,1992)。20 世纪初,我国各地从北美引进了美国白蜡、洋白蜡(*F. pennsylvanica* var. *subintegerrima*)和绒毛白蜡等北美白蜡树种,并进行了广泛的推广栽培(潘志刚和游应天,1994),从而大大增加了白蜡窄吉丁的寄主范围。近年来,通过调查,发现白蜡窄吉丁的寄主植物包括水曲柳、花曲柳、中国白蜡和美国栽培品种绒毛白蜡、洋白蜡、美国白蜡以及美国黑梣(*F. nigra*)等(Anulewicz *et al.*,2008;武辉等,2008; Pureswaran and Poland,2009)。此外,McCullough 等(2004a)研究了白蜡窄吉丁在几种林木上的产卵趋势及初孵幼虫的取食情况,在非选择性条件下,雌虫会在美国榆(*Ulmus americana*),黑核桃(*Juglans nigra*),粗皮山核桃(*Carga ovate*)和美洲朴(*Celtis occidentalis*)等替代树种上产卵。但是白蜡窄吉丁是否能在美国榆等寄主上完成发育尚需进一步确认。

2　防治技术研究

白蜡窄吉丁卵、幼虫和蛹期均生活在树皮下,而且虫粪不外排,具有高度的隐蔽性,很难检测和发现,特别是在危害的早期(王小艺,2005)。该害虫的猖獗发生,已成为部分地区林业发展和城市园林绿化的严重障碍,找到一条经济安全有效的方法来控制其危害已成为亟待解决的问题。

2.1　物理防治

吉丁甲科昆虫对可视性刺激物比较敏感,因此人们根据该特性对此类害虫进行了诱捕试验(赵同海和高瑞桐,2004)。Marshall 等(2010)在研究中发现在虫口密度低的地区,紫色光片对白蜡窄吉丁成虫有较强的吸引作用,这种吸引比绿色光片和环割等造成的诱导作用要强,但要将其应用到生产实践中,还有很多工作要做。在引诱剂方面,Grant 等(2010)使用麦卢卡油(manuka oil)和(Z)-3-乙烯醇((Z)-3-hexenal)诱捕白蜡窄吉丁,并分析二者对雌性和雄性成虫的引诱作用,结果表明以(Z)-3-乙烯醇作为诱剂的浅绿色诱捕器诱捕成虫是一种有效的方法,尤其是诱捕雄虫。

2.2 化学防治

人们长期以来都是采用化学农药来防治林业和农业害虫,虽然它有不足之处,但操作方便、费用低、适用对象广泛、见效快,在一些暴发性害虫的防治中具有重要的地位(江定心等,2002)。

对于白蜡窄吉丁的化学防治,国内最早的是刘义果(1966)采用几种化学药剂喷洒、封杀成虫,毒杀卵及初孵化幼虫,毒杀已蛀入树干的幼虫试验表明使用 20% 乐果乳剂 200 倍液封杀成虫,在成虫羽化期每隔 1 周喷洒 1 次,能起到较好的效果,对卵和幼虫毒杀效果较差。McCullough 等(2004b)研究表明,树干注射百治磷(bidrin)对成虫有很高的毒杀活性,施药后对成虫的致死率可达 90% 以上。Nzokou 等(2008)做了硼酸盐(borate)和吡虫啉(imidacloprid)对该虫防治效果比较,试验表明吡虫啉对成虫羽化和存活率有较大的影响,而硼酸盐的效果不是很明显。Mota-Sanchez 等(2009)把^{14}C-吡虫啉注入树干,测定化学药剂在树木中的积累作用,表明树叶中积累的^{14}C-吡虫啉最多,同时表明^{14}C-吡虫啉是通过木质部向上传导输送的。以上研究表明,使用化学药剂防治白蜡窄吉丁最好的时期为成虫羽化前期到产卵盛期,这样就需要严格控制防治时期,而且化学防治工作量比较大,给操作带来了困难。另外,白蜡窄吉丁主要在幼虫期危害,成虫羽化前树木已经遭受损失。因此,化学防治方法适用于精细管护区树木,如公园、行道树、庭院风景绿化树等,但对于较大面积的森林,特别是水曲柳等高大树干类的林木,化学药剂对防治白蜡窄吉丁不是一条理想的措施。

2.3 生物防治

生物防治是对天牛类和吉丁虫类等钻蛀性害虫比较有效的防治方法,对实现害虫的可持续治理将起到重要的作用(周秋菊和潘贤丽,2004)。近年来,国内外在利用寄生性天敌昆虫和微生物等生物防治的方法防治白蜡窄吉丁的方面进行了许多研究,取得了重要的突破和进展。

2.3.1 天敌昆虫防治 到目前,共发现了 26 种天敌昆虫(表 1)寄生或者捕食白蜡窄吉丁,其中 13 种为寄生性天敌(Liu *et al.*,2003;杨忠岐,2004;王小艺和杨忠岐,2005;Lindell *et al.*,2008)。在这些天敌中,白蜡吉丁柄腹茧蜂 *Spathius agrili* Yang(主要分布在我国华北地区)(Yang *et al.*,2005)和白蜡吉丁啮小蜂 *Tetrastichus planipennisi* Yang(主要分布在我国东北地区)(Yang *et al.*,2006)为我国自然控制该害虫最主要的优势天敌,前者为白蜡窄吉丁幼虫的群集外寄生蜂,后者为白蜡窄吉丁幼虫的群集内寄生蜂(杨忠岐,2004)。目前,对它们的生物学特性和寄生习性已经做了较深入的研究,并在室内进行了天敌的繁殖技术研究(王小艺,2005;Yang *et al.*,2010)。而且这 2 种天敌已经引入美国进行林间释放作用(Michael *et al.*,2010)。另外,在天津地区发现的肿腿蜂新种——白蜡吉丁肿腿蜂 *Sclerodermus pupariae* Yang *et* Yao,为多寄主型寄生性天敌,具备优良寄生蜂的特性,适合大规模人工繁殖和利用(武辉等,2008;王小艺和杨忠岐,2010)。

Marsh 等(2009)描述了北美一种新的寄生性天敌——吉丁刻柄茧蜂 *Atanycolus cappaerti* Marsh。Cappaert 和 McCullough (2009)调查了该茧蜂在北美的发生状况和季节丰富度,认为该天敌可对白蜡窄吉丁进行助增式的生物防治。但是林间该寄生蜂的寄生率比较低,不到 1%(Liu *et al.*,2003),因此一些研究者开始对其原产地的优势天敌进行研究,把白蜡窄吉丁原产地的优势天敌引入北美进行生物防治试验。Michael 等(2010)把我国优势寄生性天敌白蜡吉丁柄腹茧蜂和白蜡吉丁啮小蜂引入美国一些受害地区研究,在室内和室外进行了 2 种天敌的短期寄生率和多重寄生作用检测,试验表明在这两方面检测中白蜡吉丁柄腹茧蜂的寄生率均远高于白蜡吉丁啮小蜂。

另外,对白蜡窄吉丁卵期的寄生性天敌也进行了研究。Zhang 等(2005)描述了白蜡窄吉丁的一种卵寄生蜂——白蜡吉丁跳小蜂 *Oobius agrili* Zhang *et* Huang。Liu 等(2007)调查了在我国东北林区的白蜡窄吉丁的 2 种天敌——白蜡吉丁跳小蜂和白蜡吉丁啮小蜂的寄生率,在长春市的自然寄生率均达到 50% 以上,是防治白蜡窄吉丁比较有前途的天敌。

2.3.2 微生物防治 某些微生物对鞘翅目害虫具有独特的寄生效果,且安全有效,易大量培养,如病原真菌等(周秋菊和潘贤丽,2004)。研究发现,共有 6 种病原真菌可感染白蜡窄吉丁,即白僵菌(*Beauveria bassiana*)、绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)、粉拟青霉(*Paecilomyces farinosus*)、玫

表 1　白蜡窄吉丁的天敌昆虫

Table 1　Natural enemies of emerald ash borer

天敌学名 Scientific names of natural enemies	寄生或捕食的种类 Host stages of parasitized or predated	参考文献 References
白蜡吉丁跳小蜂 *Oobius agrili* Zhang *et* Huang	卵期 Egg	Zhang *et al.* ,2005
双脊姬小蜂 *Pediobius* sp.	卵期 Egg	Liu *et al.* ,2003
长腹细蜂科 Pelecinidae 的 1 种	卵期 Egg	武辉,2007
白蜡吉丁柄腹茧蜂 *Spathius agrili* Yang	3 ~ 4 龄幼虫 3rd - 4th instar larvae	Yang *et al.* ,2005
白蜡吉丁啮小蜂 *Tetrastichus planipennisi* Yang	3 ~ 4 龄幼虫 3rd - 4th instar larvae	Yang *et al.* ,2006
大斑啄木鸟 *Dendrocopos major* (Linne)	幼虫期 Larvae	王小艺,2005
灰头绿啄木鸟 *Picus canus* Gmelin	幼虫期 Larvae	王小艺,2005
Picoides pubescens (the downy woodpecker)	幼虫期 Larvae	Lindell *et al.* ,2008
Picoides villosus (the hairy woodpecker)	幼虫期 Larvae	Lindell *et al.* ,2008
Melanerpes carolinus (the red-bellied woodpecker)	幼虫期 Larvae	Lindell *et al.* ,2008
满斜结蚁 *Plagiolepis manczshurica* Ruzsky	幼虫期 Larvae	王小艺,2005
阿绿斜结蚁 *Plagiolepis alluaudi* Emery	幼虫期 Larvae	王小艺,2005
立毛举腹蚁 *Crematogaster terrarii* Emery	幼虫期 Larvae	王小艺,2005
亮胸举腹蚁 *Crematogaster egidyi* Forel	幼虫期 Larvae	王小艺,2005
吉丁刻柄茧蜂 *Atanycolus cappaerti* Marsh	幼虫期 Larvae	Marsh *et al.* ,2009
Spathius simillimus Ashmend (Braconidae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
Heterospilus sp. (Braconidae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
Phasgonophora sulcata Westwood (Chalcididae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
Balcha sp. (Eupelmidae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
Eupelmus sp. (Eupelmidae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
白蜡吉丁肿腿蜂 *Sclerodermus pupariae* Yang *et* Yao	3 ~ 4 龄幼虫或蛹期 3rd - 4th instar larvae or pupae	王小艺和杨忠岐,2010
1 种美洲郭公虫 *Enoclerus* sp. (Cleridae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
1 种隐颚扁甲 *Catogenus rufus* (F.) (Passandridae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
1 种谷盗 *Tenebroides* sp. (Trogossitidae)	幼虫期或蛹期 Larvae or pupae	Liu *et al.* ,2003
东方副凿姬蜂 *Deuteroxorides orientalis* Uchida	蛹期 Pupae	王小艺,2005
未知小蜂 Unidentified chalcid	蛹期 Pupae	王小艺,2005

烟色青霉(*Paecilomyces fumosoroseus*)、轮枝霉(*Verticillium lecanii*)和白蜡窄吉丁轮枝菌(*Verticillium* sp.)(Liu *et al.* ,2003;赵同海和高瑞桐,2004;王小艺,2005;孙龙强,2006;武辉,2007)。目前,已经对其中一些病原真菌进行了比较详细的研究。孙龙强(2006)进行了白蜡窄吉丁病原真菌的调查和分离研究,从感染病菌的幼虫体上分离纯化到 6 株不同的真菌,经回接试验表明,白蜡窄吉丁轮枝菌对白蜡窄吉丁幼虫和成虫均有较好的感染效果。Liu 和 Bauer(2006)测定了白僵菌和绿僵菌对白蜡窄吉丁的感染寄生能力,表明它们对白蜡窄吉丁成虫有较高的致死率。2008 年,Liu 和 Bauer 使用局部喷洒白僵菌菌液、悬挂白僵菌菌条 2 种方法在温室和田间对白蜡窄吉丁进行防治试验,表明真菌感染主要发生在 4 龄幼虫期和蛹期,因此在幼虫期和蛹期局部喷洒真菌悬浮液是控制白蜡窄吉丁的一种好方法。但是,Castrillo 等(2010)通过测定白僵菌药效的持续时间,表明药效持续时间较短,最长只能持续 7 d,因此,用白僵菌来防治白蜡窄吉丁需要重复多次喷洒才能维持稳定的带菌量,或者研究开发能够持续提供白僵菌孢子的新剂型。

2.4　其它防控技术

2.4.1　加强预测预报,掌握有效的防治时期　由于幼虫难以防治,而成虫羽化后必须经 1 周左右补充营养后才能交配产卵,因此抓住成虫羽化后的产卵前期进行化学防治可以取得良好的防治效果(赵汗青等,2005)。如在成虫羽化后,喷洒硼酸盐或吡虫啉来防治成虫(Nzokou *et al.* ,2008)。

2.4.2　加强检验检疫,防治扩散　白蜡窄吉丁主

要通过人为活动进行长距离的传播,其自然扩散蔓延的能力不强,Prasad 等(2010)通过试验,估算了白蜡窄吉丁在北美的自然扩散速度为每年 20 km。因此,做好发生区的检验检疫工作可有效减少害虫的远距离扩散。在疫区发现感虫株,应立即伐除销毁或进行无害化处理(赵汗青等,2005)。McCullough 等(2007)和 Myers 等(2009)证明在 60℃的条件下处理 60 ~ 120 min 可有效杀死木材包装箱中白蜡窄吉丁的幼虫和蛹。

2.4.3 营造混交林 造林时应避免单一的白蜡树种,宜营造混交林,创造有隔离条件的环境,减缓扩散速度,同时可以提高林内天敌的种类和生物多样性,保护啄木鸟等有益生物因子,提高森林生态系统的稳定性(赵同海和高瑞桐,2004;赵汗青等,2005)。如在我国辽宁省部分林区,水曲柳和胡桃秋、花曲柳等混生,林间的自然天敌可以有效控制白蜡窄吉丁的数量,因此白蜡吉丁种群密度较低,虽有虫害发生但不成灾。

2.4.4 选育抗虫树种 调查发现,树皮光滑,裂缝较少的树种如中国白蜡受害较轻,自然天敌的密度较高,且亚洲本土白蜡树种的抗性普遍比北美栽培树种的抗性强,这是植物—害虫—天敌三者之间长期协同进化的结果。Rebek 等(2008)及 Pureswaran 和 Poland(2009)测定了不同白蜡属寄主植物对白蜡窄吉丁的抗性差异,指出亚洲树种的抗性比北美栽培树种的抗性强。此外,Duan 等(2010)指出寄主植物的抗性是导致白蜡窄吉丁幼虫死亡的主要因素。因此,在生产上重视本地树种的栽植,可减轻白蜡窄吉丁的危害。

3 展望

近年来,白蜡窄吉丁在我国局部地区又有抬头趋势,如北京市的受害加剧,造成大量白蜡行道树和公园绿化树死亡。此外,该虫在北美和欧洲也造成了严重危害。Kovacs 等(2010)认为白蜡窄吉丁是一种高危险性的森林入侵害虫,有可能扩散到整个北美并致死大量白蜡属树木(估计 3 800 万株)。同样,白蜡窄吉丁传入欧洲之后也已成为当地最严重的入侵害虫之一,已造成俄罗斯西北地区上百万株健康的白蜡树死亡(Baranchikov *et al.*,2008)。该虫的危害将会带来严重的经济损失,并阻碍我国及世界其他国家城市园林绿化和森林生态的发展。

关于白蜡窄吉丁的年生活史和生态学习性,国内外已经开展了大量的研究(Wang *et al.*, 2010)。白蜡窄吉丁整个生命周期中大部分生活在树皮下,极具隐蔽性,只有成虫在林间取食活动,因此,许多研究者把研究的重点放在成虫寿命、交配行为等生物学习性方面。如 Pureswaran 和 Ploand(2009)研究了视觉和嗅觉在白蜡窄吉丁成虫短距离交配行为中的相对重要性,表明嗅觉是雄虫识别雌虫的重要感受途径。Keena 等(2009)测定了寄主植物、温度、湿度和产卵基质对成虫寿命和繁殖力的影响,发现寄主植物是影响成虫产卵的最主要因素。这些研究主要探讨了环境因素和生物因素对其成虫的影响,但在害虫治理上的应用途径还不明确。

目前,除了检疫措施和清理虫害木之外,生产中多采用化学药剂防治白蜡窄吉丁,这种方法见效快,操作简单,费用低,容易被生产者接受。但在害虫破坏最烈的幼虫期化学药剂不易接触到虫体,而且在杀死害虫的同时也对生态系统带来不良副作用,不适宜在生产上大面积推广。与化学防治相比,生物防治通过保护和利用天敌来防治目标害虫,可以达到保护环境,平衡林间的益害关系的目的,从而可望实现害虫的无公害持续控制。这是近期的研究重点,特别是在优势天敌的工厂化繁殖技术及其释放利用研究等方面。此外,根据寄主植物的抗性基因选育抗性树种,不仅在植物—害虫—天敌之间能起到良好的协调作用,而且在生产上推广应用将起到长期有效的控害作用,在白蜡窄吉丁的防治上越来越受到国内外研究者的重视。

参考文献(References)

Anulewicz AC, McCullough DG, Cappaert DL, Poland TM, 2008. Host range of the emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) (Coleoptera: Buprestidae) in North America: results of multiple-choice field experiments. *Environ. Entomol.*, 37(1):230—241.

Baranchikov Y, Mozolevskaya E, Yurchenko G, Kenis M, 2008. Occurrence of the emerald borer ash, *Agrilus planipennis* in Russia and its potential impact on European forestry. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 38(2):233—238.

Cappaert D, McCullough DG, 2009. Occurrence and seasonal abundance of *Atanycolus cappaerti* (Hymenoptera:

Braconidae) a native parasitoid of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera:Buprestidae). *Great Lakes Entomol.*, 42(1/2):16—29.

Castrillo LA, Griggs MH, Liu HP, Bauer LS, Vandenberg JD, 2010. Assessing deposition and persisitence of *Beauveria bassiana* GHA (Ascomycota: Hypocreates) applied for control of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera:Buprestidae), in a commercial tree nursery. *Biol. Control*, 54(1):61—67.

Duan JJ, Ulyshen MD, Bauer LS, Gould J, van Driesche R, 2010. Measuring the impact of biotic factors on populations of immature emerald ash borers (Coleoptera:Buprestidae). *Ecol. Econ.*, 39(5):1513—1521.

Grant GG, Ryall KL, Lyons DB, Abou-Zaid MM, 2010. Differential response of male and female emerald ash borers (Col.,Buprestidae) to (Z)-3-hexenol and manuka oil. *J. Appl. Entomol.*, 134(1):26—33.

Haack RA, Jendek E, Liu HP, Marchant KR, Petrice TR, Poland TM, Ye H, 2002. The emerald ash borer:a new exotic pest in North America. *Newsletter of the Michigan Entomological Society*, 47(3/4):1—5.

Keena MA, Gould J, Bauer LS, 2009. Factors that influence emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) adult longevity and oviposition under laboratory conditions//McManus KA, Gottschalk KW(eds.). Proceedings 20th U.S. Department of Agriculture interagence research forum on Invasive Species 2009. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Foresrch Station. 81.

Kovacs KF, Haight RG, McCullough DG, Mercader RJ, Siegert NW, Liebhold AM, 2010. Cost of potential emerald ash borer damage in U.S. communitis,2009—2019. *Ecol. Econ.*, 69(3):569—578.

Kulinich OA, Abasov MM, Ponomarev VL, Gninenko YI, 2008. The emerald ash borer-a new pest in Moscow and the Moscow region. *Zashchita I Karantin Rastenii*, (6):33—35.

Lindell CA, McCullough DG, Cappaert D, Apostolou NM, Roth MB, 2008. Factors influencing woodpecker predation on emerald ash borer. *Am. Midl. Nat.*, 159(12):434—444.

Liu HP, Bauer LS, 2006. Susceptibility of *Agrilius planipennis* (Coleoptera:Buprestidae) to *Beauveria bassiana* and *Mmtarhizium anisopliae*. *J. Econ. Entomol.*, 99(4):1096—1103.

Liu HP, Bauer LS, 2008. Microbial control of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) with *Beauveria bassiana* strain GHA:greenhouse and field trials. *Biol. Control*, 45:124—132.

Liu HP, Bauer LS, Gao RT, Zhao TH, Petrice TR, Haack RA, 2003. Exploratory survey for the emerald ash borer, *Agrilius planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), and its natural enemies in China. *Great Lakes Entomol.*, 36(3/4):191—204.

Liu HP, Bauer LS, Miller DL, Zhao TH, Gao RT, Song LW, Luan QS, Jin RZ, Gao CQ, 2007. Seaonal abundance of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) and its natural enemies *Oobius agrili* (Hymenoptera: Encyrtidae) and *Tetrastichus planipennisi* (Hymenoptera:Eulophidae) in China. *Biol. Control*, 42:61—71.

Marsh PM, Strazanac JS, Laurusonis SY, 2009. Description of a new species of *Atanycolus* (Hymenoptera:Braconidae) from Michigan reared from the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae: Agrilinae). *Great Lakes Entomol.*, 42(1/2):8—15.

Marshall JM, Storer AJ, Fraser I, Mastro VC, 2010. Efficacy of trap and lure types for detection of *Agrilus planipennis* (Col. Buprestidae) at low density. *J. Appl. Entomol.*, 134(4):296—302.

McCullough DG, Andrea A, Cappaert D, Poland T, Miller D, Bauer LS, 2004a. Host range and host preference of emerald ash borer // Mastor V, Reardon R (eds.). Proceedings of Emerald Ash Borer-2003 Research and Technology Development Meeting. Michigan. 39—40.

McCullough DG, Cappaert D, Poland T, Smitley DR, 2004b. Control of emerald ash borer and larvae with insecticides // Mastro V, Reardon R (eds.). Proceedings of Emerald Ash Borer-2003 Research and Technology Development Meeting. Michigan. 27—28.

McCullough DG, Poland TM, Cappaert D, Clark EL, Fraser I, Mastro V, Smith S, Pell C, 2007. Effects of chipping, grinding,and heat on survival of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera:Buprestidae), in chips. *J. Econ. Entomol.*, 100(4):1304—1315.

Michael DU, Duan JJ, Bauer LS, 2010. Interactions between *Spathius agrili* (Hymenoptera:Braconidae) and *Tetrastichus planipennisi* (Hymenoptera:Eulophidae), larval parasitoids of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Biol. Control*, 52:188—193.

Mota-Sanchez D, Cregg BM, McCullough DG, Poland TM, Hollingworth RM, 2009. Distribution of trunk-injected ^{14}C-imidacloprid in ash trees and effects on emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) adults. *Crop Prot.*, 28:655—661.

Myers SW, Fraser I, Mastro VC, 2009. Evaluation of heat treatment schedules for emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae). *J. Econ. Entomol.*, 102(6):2048—2055.

Nzokou P, Tourtellot S, Kamdem DP, 2008. Impact of pesticides borate and imidacloprid on insect emergence from

logs infested by the emerald ash borer. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(3):173—178.

Prasad AM, Iverson LR, Peters MP, Bossenbroek JM, Matthews SN, Sydnor TD, Schwartz MW, 2010. Modeling the invasive emerald ash borer risk of spread using a spatially explicit cellular model. *Landscape Ecol.*, 25(3): 353—369.

Pureswaran DS, Poland TM, 2009. Host selection and feeding preference of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) on ash (*Fraxinus* spp.). *Environ. Entomol.*, 38(3): 757—765.

Rebek EJ, Herms DA, Smitley DR, 2008. Interspecific variation in resistance to emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) among North American and Asian ash (*Fraxinus* spp.). *Environ. Entomol.*, 37(1):242—246.

Wang XY, Yang ZQ, Gould JR, Zhang YN, Liu GJ, Liu ES, 2010. The biology and ecology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *J. Insect Sci.*, 128(10): 1—23.

Wei X, Reardon D, Wu Y, Sun JH, 2004. Emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), in China: a review and distribution survey. *Acta Entomol. Sinica*, 47(5):679—685.

Yang ZQ, Srazanac JS, Yao YX, Wang XY, 2006. A new species of emerald ash borer parasitoid from China belonging to the genus *Tetrastichus* Haliday (Hymenoptera: Eulophidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 108(3):550—558.

Yang ZQ, Strazanac JS, Marsh PM, Achterberg CV, Choi WY, 2005. First recorded parasitoid from China of *Agrilus planipennis*: a new species of *Spathius* (Hymenoptera: Braconidae: Doryctinae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 98(5):636—642.

Yang ZQ, Wang XY, Gould JR, Reardon RC, Zhang YN, Liu GJ, Liu ES, 2010. Biology and behavior of *Spathius agrili*, a parasitoid of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *J. Insect Sci.*, 30(10):1—13.

Zhang YZ, Huang DW, Zhao TH, Liu HP, Bauer LS, 2005. Two new species of egg parasitoids (Hymenoptera: Encyrtidae) of wood-boring beetle pests from China. *Phytoparasitica*, 33(3):253—260.

高宇, 2009. 白蜡吉丁啮小蜂生物学特性及寄主定位研究. 硕士学位论文. 哈尔滨:东北林业大学.

侯陶谦, 1986. 中国农业昆虫(上册). 北京:农业出版社. 438—447.

江定心, 徐汉虹, 徐定平, 2002. 蛀干害虫的化学防治研究进展. 防护林科技, 53:59—61.

金若忠, 栾庆书, 云丽丽, 高瑞桐, 赵同海, 迟成刚, 2005. 花曲柳窄吉丁生物学调查. 辽宁林业科技, (5): 22—24.

刘桂军, 刘恩山, 2004. 花曲柳窄吉丁生活史及天敌的观察和防治. 天津农林科技, (2):20—22.

刘海军, 温俊宝, 骆有庆, 尚成海, 田翠杰, 2005. 北美地区一新外来入侵种——花曲柳窄吉丁. 昆虫知识, 42(3):348—351.

刘海清, 马润生, 李庆海, 1996. 梣小吉丁的调查研究及防治技术. 天津农林科技, (1):46—48.

刘义果, 1966. 沈阳地区花曲柳吉丁虫的研究(内部资料). 沈阳:沈阳市园林科学研究院, (1):46—48.

潘志刚, 游应天, 1994. 中国主要外来树种引种栽培. 北京:北京科学技术出版社. 632—643.

孙龙强, 2006. 白蜡窄吉丁病原真菌调查与分离研究. 硕士研究生毕业论文. 北京:中国林业科学研究院.

王小艺, 2005. 白蜡窄吉丁的生物学及其生物防治研究. 博士后出站报告. 北京:中国林业科学研究院.

王小艺, 杨忠岐, 2005. 白蜡窄吉丁幼虫及其天敌在空间格局上的关系. 应用生态学报, 16(8):1427—1431.

王小艺, 杨忠岐, 2010. 多寄主型寄生性天敌昆虫的寄主适应性及其影响因素. 生态学报, 30(6):1615—1627.

武辉, 2007. 白蜡窄吉丁寄生蜂的生物学特性和繁殖技术研究. 硕士研究生毕业论文. 陕西杨凌:西北农林科技大学.

武辉, 王小艺, 李孟楼, 杨忠岐, 曾繁喜, 王红艳, 白玲, 刘松君, 孙进, 2008. 白蜡吉丁肿腿蜂生物学和生态学特性及繁殖技术研究. 昆虫学报, 51(1):46—54.

杨忠岐, 2004. 利用天敌昆虫控制我国重大林业害虫研究进展. 中国生物防治, 20(4):221—227.

于诚铭, 1992. 中国森林昆虫(第二版). 北京:中国林业出版社. 10—41.

赵汗青, 王小艺, 杨忠岐, 种焱, 何德敏, 2005. 检疫害虫——白蜡窄吉丁. 植物检疫, 20(2):89—91.

赵同海, 迟成刚, 高瑞桐, 栾庆书, 宋丽文, 孙龙强, 2005a. 花曲柳窄吉丁在不同地区年生活史的补充研究. 中国森林病虫, 24(6):17—20.

赵同海, 高瑞桐, 2004. 重要林业蛀干害虫花曲柳窄吉丁研究现状. 中国造纸学报, (增刊):359—362.

赵同海, 高瑞桐, Liu HP, Bauer LS, 孙龙强, 2005b. 花曲柳窄吉丁的寄主植物范围、危害和防治对策. 昆虫学报, 48(4):594—599.

周秋菊, 潘贤丽, 2004. 应用生物防治技术控制天牛危害. 植物保护, 30(1):12—16.