

文章编号: 1000-5692(2007)03-0350-07

松材线虫媒介昆虫种类及其扩散能力

张建军¹, 张润志¹, 陈京元²

(1. 中国科学院 动物研究所 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080;

2. 湖北省林业科学研究所 森林病虫害防治研究所, 湖北 武汉 430079)

摘要: 松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 是世界性的外来入侵生物, 主要依靠媒介昆虫的携带在自然界中扩散传播。能够携带松材线虫的昆虫有 45 种, 而其中可作为媒介昆虫的有 13 种, 全部为墨天牛属 *Monochamus* 种类, 它们是: 松墨天牛 *M. alternatus*, 云杉花墨天牛 *M. saltuarius*, 卡罗莱纳墨天牛 *M. carolinensis*, 加洛墨天牛 *M. galloprovincialis*, 白点墨天牛 *M. scutellatus*, 南美墨天牛 *M. titillator*, 钝角墨天牛 *M. botusus*, 香枞墨天牛 *M. marmorator*, 墨点墨天牛 *M. notatus*, 松墨斑墨天牛 *M. mutator*, 粗点墨天牛 *M. clamator*, 巨墨天牛 *M. grandis* 和云杉小墨天牛 *M. sutor*。由于松墨天牛、云杉花墨天牛和卡罗莱纳墨天牛等 3 种昆虫在补充营养及产卵初期 2 个阶段的飞行能力均较强, 通常一次飞行可以达到 1 000 m 左右, 因而成为松材线虫的主要传播媒介。表 2 参 33

关键词: 森林保护学; 松材线虫; 媒介昆虫; 墨天牛属; 扩散能力; 综述

中图分类号: S763.1 **文献标志码:** A

松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 原产于美国, 是具有毁灭性的林木专一性病原线虫, 所引发的松材线虫病(pine wilt disease, 又称松树萎蔫病、松树枯萎病)最快只需 40 余天就可导致受感染松树 *Pinus* spp. 枯死。松材线虫病的扩散蔓延速度快且防治极其困难, 因而受到世界各国的高度重视, 已被很多国家列为检疫对象, 我国也已将它列为重要的检疫性有害生物。到目前为止, 松材线虫病已累计给我国造成直接和间接经济损失上千亿元。根据国家林业局统计, 2004—2006 年我国松材线虫病疫区范围呈扩大趋势, 由 53 个县(区、市)增加到 95 个县(区、市), 发生面积已达到 8 万 hm^2 , 浙江、江苏、安徽等老疫区仍危害较重, 扩散趋势蔓延尚未得到完全控制, 我国南方 0.3 亿 hm^2 松林和黄山等重要风景名胜区的生态安全正面临严重威胁^[1,2]。松材线虫在自然界中的传播主要依赖媒介昆虫。目前控制松材线虫病疫情扩散的主要手段就是对媒介昆虫进行综合治理。对松材线虫媒介昆虫种类的确定以及媒介昆虫扩散能力的了解, 对于松材线虫病的控制起着至关重要的作用。在松材线虫的媒介昆虫中尤以墨天牛属 *Monochamus* 的昆虫携带和传播线虫能力最强^[3,4]。因而作者对已知的松材线虫的媒介昆虫种类进行了总结, 并对墨天牛属中重要种类的扩散能力进行了分析。

1 松材线虫的媒介昆虫种类

在松材内作蛹室的蛀干昆虫一般都能够携带松材线虫。对松材线虫危害地区媒介昆虫种类调查的

收稿日期: 2006-05-08; 修回日期: 2006-09-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-SW-13); 国家自然科学基金资助项目(30230060)

作者简介: 张建军, 博士研究生, 从事松墨天牛成虫扩散规律研究。E-mail: zhangjj@ioz.ac.cn. 通信作者: 张润志, 研究员, 博士, 从事象虫分类与外来入侵昆虫综合治理研究。E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn.

结果进行统计, 显示至少有 45 种昆虫可携带松材线虫, 分别属于天牛科 Cerambycidae, 吉丁科 Buprestidae, 象虫科 Curculionidae, 小蠹科 Scolytidae 和白蚁科 Termitidae (表 1)。但是, 并非所有能携带松材线虫的昆虫都可以传播松材线虫病, 只有生活史与松材线虫生活史相吻合的昆虫才有可能成为松材线虫的媒介昆虫。媒介昆虫的活动, 尤其是补充营养和产卵行为, 成为松材线虫自然传播的基础途径。在 45 种可携带松材线虫的昆虫中公认能够作为传播媒介的昆虫只有 13 种, 全部属于天牛科墨天牛属。从这 13 种天牛的分布地区来看, 分布于亚洲的有松墨天牛 *Monochamus alternatus*, 云杉花墨天牛 *M. saltuarius*, 巨墨天牛 *M. grandis* 和云杉小墨天牛 *M. sutor*, 分布在欧洲的为云杉小墨天牛和加洛墨天牛 *M. galloprovincialis*, 其余 8 种均分布于北美洲。在其分布地, 能够传播松材线虫的媒介昆虫往往是当地的优势种, 例如在亚洲松材线虫的媒介昆虫主要是松墨天牛^[4], 北美洲的主要为卡罗莱纳墨天牛 *M. carolinensis*^[5], 欧洲(葡萄牙)的主要是加洛墨天牛^[6]。

表 1 携带松材线虫的昆虫种类

Table 1 Insect species which can transmit pine wood nematode

种名	分布国家	寄主植物	记录文献
松墨天牛 <i>Monochamus alternatus</i> *	日本, 中国, 韩国, 朝鲜, 越南, 老挝	Pi, P _o , A, L, Q Ce	Morimoto, <i>et al.</i> 1972 ^[7]
卡罗莱纳墨天牛 <i>Monochamus carolinensis</i> *	美国, 加拿大	Pi	Limit. 1983 ^[4]
加洛墨天牛 <i>Monochamus galloprovincialis</i> *	葡萄牙	Pi	Sousa <i>et al.</i> 2001 ^[6]
云杉花墨天牛 <i>Monochamus saltuarius</i> *	日本, 中国, 朝鲜	Pi, Pc	佐藤平典, 等. 1987 ^[8]
白点墨天牛 <i>Monochamus scutellatus</i> *	美国, 加拿大	Pi, A, Pc, L	Limit. 1983 ^[4] ; Nikle, <i>et al.</i> 1980 ^[7]
南美墨天牛 <i>Monochamus titi llator</i> *	美国, 加拿大	Pi, Pc, A	Limit. 1983 ^[4]
钝角墨天牛 <i>Monochamus botus</i> *	美国, 加拿大	Pi, Ps, A	Limit. 1983 ^[4]
香枞墨天牛 <i>Monochamus mamorator</i> *	美国	A, Pc	Limit. 1983 ^[4]
墨点墨天牛 <i>Monochamus notatus</i> *	美国	Pi	Limit. 1983 ^[4]
松墨斑墨天牛 <i>Monochamus mutator</i> *	美国	Pi	Limit. 1983 ^[4]
粗点墨天牛 <i>Monochamus clamator</i> *	美国, 加拿大	Pi	Limit. 1983 ^[4]
巨墨天牛 <i>Monochamus grandis</i> *	日本	Pi, Pc, A, L	Enda, <i>et al.</i> 1970 ^[10]
云杉小墨天牛 <i>Monochamus sutor</i> *	芬兰, 斯堪迪纳维亚, 葡萄牙, 中国	Pi, Pc, A	Nickle, <i>et al.</i> 1971 ^[9]
冷杉墨天牛 <i>Monochamus oregonensis</i>	美国	Pi, A, Pc	Limit. 1983 ^[4]
盾墨天牛 <i>Monochamus satellus</i>	美国	Pi	Limit. 1988 ^[12]
白斑墨幽天牛 <i>Monochamus nitens</i>	日本	Pi	Enda, <i>et al.</i> 1970 ^[10]
红粗点墨天牛 <i>Monochamus rubiginus</i>	墨西哥	Pi	Samaro. 1987 ^[10]
伪锦天牛 <i>Aalolepta fraudatrix fraudatrix</i>	日本	Pi, Q	Enda, <i>et al.</i> 1970 ^[10]
小灰长角天牛 <i>Aanthocinus griseus</i>	日本, 中国	Pi, Pc, Q	Kobayashi, <i>et al.</i> 1972 ^[13] ; 徐福元. 1993 ^[14]
台湾长角天牛 <i>Aanthocinus gundaiensis</i>	中国	Pi	徐福元. 1993 ^[14]
黑带鼓角天牛 <i>Aanthocinus clavipes</i>	日本		森本佳, 等. 1989 ^[15]
<i>Aanthocinus orientalis</i>	日本	Pi, Pc, L	森本佳, 等. 1989 ^[15]
<i>Anniscus sexguttatus</i>	美国	Pi, Pc	Limit. 1983 ^[4]
墨幽天牛 <i>Arhopalus rusticus</i>	美国, 日本, 中国, 朝鲜	Pi, A, Q, Cu	Limit. 1983 ^[4]
澳普墨梗天牛 <i>Arhopalus rusticus obsoletus</i>	美国	Pi	Limit. 1983 ^[4]
朝鲜梗天牛 <i>Arhopalus coranus</i>	日本	Pi, C _o , Cu	Enda, <i>et al.</i> 1970 ^[10]
桃红颈天牛 <i>Aromia bungii</i>	中国		王玉燕. 1985 ^[16]
条纹幽天牛 <i>Asymum striatum</i>	美国, 日本, 中国, 朝鲜	Pi, Pc, A	Limit. 1983 ^[4]
簇瘤五胫天牛 <i>Astylopsis sexguttata</i>	美国	Pi, Pc, L	Limit. 1988 ^[12]
黑角散花天牛 <i>Corymbia succedanea</i>	日本, 中国	Pi	Enda, <i>et al.</i> 1970 ^[10]
<i>Leiopus guttatus</i>	日本	Pi	森本佳, 等. 1989 ^[15]
<i>Naecanthocinus bosoleus</i>	美国	Pi, A	Limit. 1988 ^[12]
<i>Naecanthocinus pusillus</i>	美国	Pi, A, Pc	Limit. 1988 ^[12]

续表 1

种名	分布国家	寄主植物	记录文献
红基棍腿天牛 <i>Phymatodes macki</i>	日本	Pi	Enck, et al. 1970 ^[10]
短角幽天牛 <i>Spondylis buprestoides</i>	日本, 中国, 朝鲜	Pi, A, Pc	Enck, et al. 1970 ^[10]
双斑泥色天牛 <i>Uraecha bimaculata</i>	日本, 中国		Enck, et al. 1970 ^[10]
箭虎天牛 <i>Xybrodus sagittatus</i>	美国	Pi	Limit. 1988 ^[12]
苍白根颈象 <i>Hylobius pales</i>	美国	Pi	Limit. 1983 ^[4]
松树皮象 <i>Hylobites abietis haroldi</i>	日本	Pi	森本佳, 等. 1989 ^[15]
北方松木蠹象 <i>Pissodes approximatus</i>	美国	Pi, Pe	Limit. 1983 ^[4]
角胫象 <i>Shimohosho</i> sp.	美国, 中国	Pi	Limit. 1983 ^[4]
接眼吉丁 <i>Chrysobothris</i> spp.	美国	Pi	Limit. 1983 ^[4]
叩甲 <i>Panaealis benus</i>	日本		森本佳, 等. 1989 ^[15]
松纵坑切梢小蠹 <i>Blastophagus piniperda</i>	中国	Pi	徐福元. 1993 ^[14]
黑翅土白蚁 <i>Odontotermes formosanus</i>	中国	Pi	徐福元. 1993 ^[14]
大谷盗 <i>Tendriodes mauritanicus</i>	日本		森本佳, 等. 1989 ^[15]

说明: * 为主要传播媒介昆虫; * 为传播媒介昆虫; Pi 为松属 *Pinus*; Pc 为云杉属 *Picea*; A 为冷杉属 *Abies*; L 为落叶松属 *Larix*; Q 为栎属 *Quercus*; Ce 为雪松属 *Cedrus*; Ps 为黄杉属 *Pseudotsuga*; Cu 为柏属 *Cupressus*; Cr 为柳杉属 *Cryptomeria*。

2 墨天牛属成虫的扩散能力

墨天牛属昆虫作为松材线虫的传播媒介, 其扩散能力的大小是松材线虫病在自然界扩散的重要标志, 也是建立隔离带以控制松材线虫病扩散的重要依据。目前, 对墨天牛属成虫的扩散能力研究多从野外的自然扩散和室内吊飞 2 个方面开展。墨天牛属昆虫在羽化后的活动可分为 3 个阶段: 移动分散期、补充营养期和产卵期。成虫的扩散活动主要集中在前 2 个阶段, 因此这 2 个阶段也成为控制松材线虫病在自然界扩散蔓延的重要时期。松墨天牛(平均携带松材线虫 1.8 万条·头⁻¹)^[11]、云杉花墨天牛(平均携带松材线虫 9 284 条·头⁻¹)^[8] 和卡罗莱纳墨天牛(平均携带松材线虫 1.9 万条·头⁻¹)^[4] 是目前公认携带松材线虫能力最强的媒介昆虫, 也是松材线虫在其发生地区自然扩散的主要媒介, 因而对这 3 种天牛的扩散能力和潜力进行研究对控制松材线虫病的传播有重要意义。以下分别对这 3 种天牛以及我国东北地区另外 1 种潜在传播媒介昆虫——云杉小墨天牛的扩散能力进行分析。

2.1 松墨天牛

松墨天牛作为亚洲松材线虫病传播的主要媒介昆虫, 其扩散能力在亚洲尤其是东亚地区受到广泛关注, 研究也最为详细。松墨天牛成虫具有长距离扩散的能力, 在寄主植物减少或缺乏的情况下, 为寻找适宜寄主和产卵场所, 松墨天牛成虫会作长距离的飞行, 在野外通常可一次性飞行 0.8~1.0 km^[17], 少数个体可扩散到 3.3 km^[18~20]。松墨天牛成虫在飞行扩散过程中受风的影响较大, 成虫展翅后在风速为 4 m·s⁻¹ (相当于 3 级风) 的情况下, 即可随风漂浮^[20]。在我国, 松墨天牛成虫活跃期恰值夏季季风盛行, 因而在该时期松墨天牛极有可能借助风力作长距离扩散, 从而造成松材线虫病新疫区的产生。

室内吊飞试验也证实, 松墨天牛成虫具有长距离飞行潜力^[21]。国内室内观测推算得到成虫的飞行距离为 5.4 km^[22], 推测结果远高于野外调查结果, 也说明松墨天牛成虫具有长距离持续飞行的潜力。成虫的持续飞行能力与其羽化时间长短相关, 刚羽化的成虫飞行能力较弱, 飞行能力高峰出现在羽化后 1 周左右。在不同阶段雌雄之间飞行能力存在一定差异。在补充营养阶段, 雄虫的飞行持续时间要高于雌虫; 性成熟后, 雌虫的飞行能力略高于雄虫^[21]。这可能与羽化后成虫不同阶段的主要活动目的及个体自身的状况有关。

松墨天牛成虫具备长距离飞行的能力, 却又属于善飞但不愿飞的昆虫^[22]。在能满足其自身生命活动所需食物和产卵场所的松林内, 松墨天牛成虫的扩散相当缓慢。在健康林中, 松墨天牛成虫的扩散范围在 60 m 之内, 林内出现衰弱树后, 松墨天牛成虫的扩散范围则明显缩小。其原因在于衰弱树的存在使得成虫不再需要寻找交配和产卵的场所, 而是以衰弱树为中心在附近进行活动^[23, 24]。而当寄

主植物减少时, 松墨天牛的扩散范围会扩大。在具备补充营养寄主和产卵场所的桉树 *Eucalyptus* spp. 林内, 松墨天牛成虫向外扩散 50, 100, 150 m 的百分比分别为 41.2%~60.7%, 18.8%~32.6%, 3.5%~6.7%, 成虫在其活动期内最远的扩散距离为 300~450 m^[25]。因而在松林内, 松墨天牛成虫的扩散都是相对有限的。

松墨天牛在松林内的扩散能力和范围受诸多因素影响, 除补充营养所需食物和产卵场所这 2 个主要因素外, 温度、湿度、光照、降水量、林分密度、林内成虫密度和日龄等均对松墨天牛成虫在林间的扩散产生影响^[3, 24, 26, 27]。

2.2 卡罗莱纳墨天牛

卡罗莱纳墨天牛(简称卡墨天牛)是北美地区松材线虫病传播的主要媒介昆虫^[4]。由于北美地区是松材线虫的原产地, 该病的发生危害并不严重, 且发病树种多为外来树种, 因对松材线虫传播媒介昆虫的扩散能力研究相对较少。对卡墨天牛飞行能力的研究主要通过室内吊飞试验进行, 结果表明, 卡墨天牛与松墨天牛相同, 也具有长距离持续飞行的能力。卡墨天牛的飞行能力与日龄有密切关系, 长时间持续飞行出现在羽化后 1 周, 这与野外成虫取食产卵扩散的时间相吻合^[28]。雌雄虫在飞行持续时间和非间断性飞行距离方面无明显差异。携带线虫数量和体质量对卡墨天牛成虫的飞行扩散能力有较大影响, 携带线虫数 > 10 000 条的成虫各项飞行能力指标明显低于携带线虫数 < 10 000 条的成虫, 体质量大的天牛成虫具有较强的飞行能力。交配状态对雌虫的飞行能力有较大影响, 交尾前雌虫在飞行距离和持续时间上优于交尾后的雌虫^[29, 30]。交尾前雌虫的主要活动是寻找适宜的食物和产卵场所, 因而需要具备较强的飞行扩散能力, 交尾后的雌虫基本已找到适宜的繁殖场所, 不需再作长距离飞行, 且此阶段其主要活动为产卵, 因而飞行能力下降。

补充营养后的卡墨天牛成虫发育至性成熟, 开始进入寻找配偶和交配阶段, 此时飞行能力达到高峰。同时经过补充营养阶段, 其体内所携带松材线虫已逐渐转移至寄主植物上, 携带线虫数量减少, 飞行能力也相对提高, 有利于卡墨天牛寻找配偶和产卵所需寄主。

2.3 云杉花墨天牛

云杉花墨天牛分布于中国、日本和朝鲜。它所能携带线虫数量较松墨天牛少得多, 但在其种群密度大及松墨天牛分布较少或无分布地区, 云杉花墨天牛就成为当地松材线虫病的主要传播媒介昆虫^[8]。云杉花墨天牛成虫在野外的活动主要以爬行为主, 极少飞行。对处于产卵期的雌成虫进行室内吊飞发现, 雌成虫一次持续飞行距离最长可达 1 300 m, 飞行速度约为 $0.89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。飞行速度和距离等各项指标远小于松墨天牛和卡墨天牛。据此可推测其扩散能力较弱^[5]。该特性决定了它在自然条件下只能在局部地区危害, 无法突破天然阻隔, 形成大规模危害。

2.4 云杉小墨天牛

在我国东北地区, 云杉小墨天牛是当地松科 Pinaceae 植物的主要蛀干昆虫, 由于它同样也是松材线虫的媒介昆虫之一, 对云杉小墨天牛的野外扩散能力进行研究对我国东北地区预防松材线虫病的发生和蔓延也有一定帮助。现有野外研究结果表明, 云杉小墨天牛的活动期为中午前后, 在空旷地, 一般一次性飞行 5~15 m, 最远可超过 100 m; 飞行高度在 1~2 m, 最高可达 3~5 m^[32]。在生境条件恶化的情况下, 可作长距离扩散飞行, 最远飞行距离至少为 900 m^[33]。云杉小墨天牛与云杉花墨天牛同属典型的古北区种类, 其长距离飞行能力与松墨天牛相比相对较弱, 但作为当地松科植物蛀干昆虫的优势种, 仍有机会成为当地松材线虫传播的主要媒介。

2.5 主要媒介天牛飞行能力比较

松墨天牛、卡墨天牛和云杉花墨天牛这 3 种松材线虫主要媒介昆虫的飞行能力存在一定差异(表 2), 其中卡墨天牛在各方面的飞行指标都高于另外 2 种天牛, 松墨天牛次之, 而云杉花墨天牛的飞行能力最弱。从地理分布来看, 松墨天牛分布于东洋区和古北区, 卡墨天牛分布于新北区, 云杉花墨天牛则局限于古北区。松墨天牛与卡墨天牛所分布区域内, 松科植物分布较广, 且明显的自然屏障相对较少, 有利于 2 种天牛通过长距离飞行进行扩散, 因而两者的飞行能力相对较强。由于墨天牛属的进化趋势是自南向北的, 以致北方分布的种类在南方不能存活或形成危害^[31]。因而属于典型古北区种

类的云杉花墨天牛, 其分布范围相对局限。由于古北区内地形复杂, 天然屏障相对较多, 云杉花墨天牛由发生地向外扩散的趋势较弱, 其飞行能力也相对退化。

目前, 对墨天牛属成虫扩散飞行能力的研究表明, 墨天牛属成虫在适宜的生境中, 其扩散速度缓慢, 当年扩散距离仅为数百米, 当生存条件不能维持其正常取食和繁殖的要求时, 成虫的飞行潜能将被激活, 并能借助外力(如风等), 进行长距离扩散。成虫向外扩散能力最

强的阶段在补充营养和产卵的初期, 该时期扩散的目的主要是为寻找适宜的食物和产卵场所。如果在该阶段未找到合适的食物和产卵场所, 那么成虫就可能作长距离的扩散, 因而, 补充营养阶段和产卵初期应作为控制墨天牛属成虫扩散及松材线虫传播的最佳时期。

室内吊飞所得飞行数据与野外调查所得数据存在出入。其原因可能是在野外环境下, 天牛成虫可作间歇性连续飞行, 或借助外力作用(风等因素)飞越天然屏障, 而室内吊飞试验, 成虫为悬空状态, 无外力可借助, 其测试结果基本属于无间断飞行, 似乎更能反映个体真实的飞行潜力。

3 小结和讨论

松材线虫的自然扩散主要通过媒介昆虫的携带来完成。从目前的调查统计看, 能够携带松材线虫的昆虫种类有5科45种。但真正能够在自然界传播松材线虫病的媒介昆虫均来自墨天牛属。这表明通过长期的协同进化, 松材线虫已与墨天牛属媒介昆虫在生活史上达成高度一致, 因而在松材线虫病的防控中应对墨天牛属昆虫加以重视。

从目前对墨天牛属成虫的扩散能力研究来看, 墨天牛属成虫具有一定的长距离扩散能力。目前的普遍认识是天然屏障的存在能够阻止松材线虫病发生地区墨天牛属成虫向外扩散。然而在寄主植物缺乏或生境条件变恶劣时, 成虫的飞行潜能会被激发, 并可能借助外力进行长距离扩散, 目前看似天然屏障的地区可能无法阻止墨天牛成虫的扩散, 其产生的后果将不堪设想。同样, 当携带松材线虫的墨天牛成虫侵入到其适生地时, 松材线虫会借助天牛自身的扩散能力也会迅速扩散蔓延, 造成严重后果, 因而必须对墨天牛属成虫野外的扩散能力及扩散潜能有确切的了解, 才能采取相应的防控措施, 以降低松材线虫病的危害。

致谢: 在撰写过程中得到杜磊和李颖超的帮助, 在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 齐联. 国家林业局公布最新松材线虫病疫区[N]. 中国绿色时报, 2005-02-24(1).
- [2] 国家林业局植树造林司. 国家林业局公布2006年松材线虫病疫区[EB/OL]. 2006-02-28 [2006-05-01]. <http://www.forestry.gov.cn/DB/news/content.asp?table-type=news&d=9821&pgid=1>.
- [3] KOBAYA S F, YAMANE A, IKEDA T. The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease [J]. *Ann Rev Entomol*, 1984, 29: 115-135.
- [4] LINIT M J, KONDO E, SMITH M T. Insects associated with the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), in Missouri [J]. *Environ Entomol*, 1983, 12: 457-470.
- [5] 柴希民, 蒋平. 松材线虫病的发生和防治[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 70-119.
- [6] SOUSA E, BRAVO M A, PIRES J, et al. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) associated with

表2 3种主要媒介天牛的飞行能力(吊飞数据)比较

Table 2 Comparison of data for tethered flight of three vector beetles

种类	平均持续 时间/min	最长持续 时间/min	平均飞行 距离/m	飞行速度/ ($m \cdot min^{-1}$)
松墨天牛 ♂	20 45	42 50	1 840 5 *	
♀	16 47	32 75	1 428 8 *	
卡墨天牛 ♂	23 44	72 50	2 121 9	89 45
♀	25 27	69 40	2 264 2	89 84
云杉花墨天牛 ♀			1 300 0	53 40

说明: 以 $1.5 m \cdot s^{-1}$ 的飞行速度推算所得结果。

- Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) in Portugal [J]. *Nematol*, 2001, 3 (1): 89—91.
- [7] MORIMOTO K, IWASAKI A. Role of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) as a vector of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) [J]. *J Jpn For Soc*, 1972, 54: 177—183.
- [8] 佐藤平典, 作山健, 小林光宪. 云杉花墨天牛传播松材线虫能力的试验[J]. 关文彬, 译. 国外林业, 1991 (1): 22—23.
- [9] NICKLE W R, FRIEDMAN W, SPILMAN T J. *Monochamus scutellatus* vector of pinewood nematode on Virginia pine in Maryland [J]. *Coop Plant Pest Rep*, 1980, 5: 393.
- [10] ENDA N, NOBUCHI A. Studies on the pine bark and wood boring beetles; maturation of the ovary and its parasitic nematodes [J]. *J Jpn For Soc*, 1970, 81: 274—276.
- [11] 宁眺, 方宇凌, 汤坚, 等. 松材线虫及其关键传媒墨天牛的研究进展 [J]. 昆虫知识, 2004, 14 (2): 97—104.
- [12] LINIT M J. Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system [J]. *J Nematol*, 1988, 20 (2): 227—235.
- [13] KOBAYASHI F, HOSODA R, OKUDA M, et al. Extraction of *Bursaphelenchus lignicolus* from beetles [J]. *J Kansai Branch Jpn For Soc*, 1971, 22: 137—139.
- [14] 徐福元, 杨宝君, 葛明宏. 松材线虫病媒介昆虫的调查[J]. 森林病虫通讯, 1993 (2): 20—21.
- [15] 森本佳, 岩崎原. 松树萎蔫病防治[M]. 杨宝君, 高建富, 译. 林业译丛 9; 北京: 中国林业出版社, 1989: 1—150.
- [16] 王玉燕, 石运琳, 周新胜, 等. 南京地区黑松萎蔫线虫病发病规律的初步观察 [J]. 森林病虫通讯, 1985 (2): 15—17.
- [17] IDO N, TAKEDA J, KOBAYASHI K, et al. Dipersal behaviors of the pine sawyer released in the field [J]. *J Kansai Branch Jpn For Soc*, 1975, 26: 213—215.
- [18] KAWABATA K. Migration of the pine sawyer among small islands [J]. *J Kyushu Branch Jpn For Soc*, 1979, 32: 281—282.
- [19] OGAWA S, HAGIWARA Y. Expansion of the pine infestation caused by pine wood nematodes [J]. *Shinrin Boeki (For Pests)*, 1980, 29: 115—117.
- [20] 来燕学, 周永平, 俞林祥, 等. 松材线虫病新疫点成因机制初探 [J]. 浙江林学院学报, 1999, 16 (4): 425—429.
- [21] ITO K. The tethered flight of the Japanese pine sawyer, *Monochamus carolinensis* hope (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *J Jpn For Soc*, 1982, 64 (10): 395—397.
- [22] 来燕学. 松墨天牛的飞行特性与防治松材线虫病的指导思想 [J]. 浙江林学院学报, 1998, 15 (3): 320—323.
- [23] SHIBATA E. Dispersal movement of the adult Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in a young pine forest [J]. *Appl Ent Zool*, 1986, 21 (1): 184—186.
- [24] TOGASHI K. Change in the activity of the adult *Monochamus alternatus* hope (Coleoptera: Cerambycidae) in relation to age [J]. *Appl Ent Zool*, 1990, 25 (2): 153—159.
- [25] 张连芹, 黄焕华, 宋世涵, 等. 松材线虫病传播媒介——松墨天牛种群扩散距离的研究 [J]. 林业科技通讯, 1992 (12): 26—27.
- [26] TOGASHI K. A field experiment on dispersal of newly emerged adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Res Popul Ecol*, 1990, 32: 1—13.
- [27] MASASHI N. Daily observation on behaviors of Japanese pine sawyer adult, *Monochamus alternatus* Hope [J]. *J Jpn For Soc*, 1973, 55 (3): 100—104.
- [28] HUMPHRY S J, LINIT M J. Tethered flight of *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) with respect to beetle age and sex [J]. *Environ Entomol*, 1989, 18 (1): 124—126.
- [29] HUMPHRY S J, LINIT M J. Effect of pinewood nematode density on tethered flight of *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. *Environ Entomol*, 1989, 18 (4): 670—673.
- [30] AKBULUT S, LINIT M J. Flight performance of *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) with respect to nematode phoresis and beetle characteristics [J]. *Environ Entomol*, 1999, 28 (6): 1 014—1 020.
- [31] 王乔. 墨天牛属 (*Monochamus* Guér.) 的生物地理学研究 [J]. 林业科学, 1988, 24 (3): 297—302.
- [32] 劭景文, 郑元瑞, 李坚, 等. 云杉小黑天牛生物学特性的研究 [J]. 东北林业大学学报, 1990, 18 (3): 99—104.
- [33] 初冬, 刘篆芳, 张庆贺. 云杉小黑天牛在火烧迹地扩散蔓延的规律 [J]. 北京林业大学学报, 1990, 12 (4): 49—

Species and their dispersal ability of *Monochamus* as vectors to transmit *Bursaphelenchus xylophilus*

ZHANG Jian-jun¹, ZHANG Run-zhi¹, CHEN Jing-yuan²

(1. State Key Laboratory of IMPRI of China Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. Institute of Forest Pest Control, Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430079, Hubei, China)

Abstract: The pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* is a destructive invasive species in the world. The pine wilt disease caused by it is destructive for the pine trees. The pine wilt disease was diffused through the vector insects in the field. There are 45 insect species can transmit pinewood nematode. Only 13 species were regarded as vector insects, all of them are *Monochamus*, i. e. *Monochamus alternatus*, *M. saltuarius*, *M. carolinensis*, *M. galloprovincialis*, *M. scutellatus*, *M. titillator*, *M. botusus*, *M. marmorator*, *M. notatus*, *M. mutator*, *M. clamator*, *M. grandis* and *M. sutor*. Because *M. alternatus*, *M. carolinensis* and *M. saltuarius* has strong flying and dispersal ability than others, they are being of the three primary vector insects to transmit pinewood nematode. Most adults of these insects can reach to 1 000 m away by one flight both in maturation feeding and oviposition stages. Moreover, management of these vector insects has been the key point within the pine wilt disease control. [Ch, 2 tab. 33 ref.]

Key words: forest protection; *Bursaphelenchus xylophilus*; vector insect; *Monochamus*; dispersal ability; review