

一种有效防控白蜡窄吉丁的阻隔网技术*

蒋 琦^{1**} 王长民² 刘宇杰² 骆有庆¹ 任利利^{1***}

(1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 北京市延庆区林业保护站, 北京 102100)

摘 要 【目的】白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire 是一种危害极隐蔽、具有毁灭性的林木蛀干害虫。北京市延庆区栽植的洋白蜡 *Fraxinus pennsylvanica*, 受白蜡窄吉丁危害严重, 当地林业保护站积极采取多种防控措施, 其中阻隔网作为一种新的防控方法, 可有效控制白蜡窄吉丁的危害。本研究调查不同防控管理措施林地内洋白蜡的受害情况, 并估算不同管理措施所需的费用, 以期评价阻隔网技术的防治效果。【方法】2017-2019 年, 在北京市延庆区选择使用阻隔网防治白蜡窄吉丁(样地 1)、伐除受害严重的白蜡树后更植其它树种(样地 2)和仅伐除受害严重的白蜡树(样地 3)的样地 3 块, 调查各样地内洋白蜡受害情况, 调查指标包括: 树冠枝枯梢率、树冠活力等级、羽化孔数量、萌蘖枝条数量和啄木鸟刻痕数。通过 Tukey 检验对各样地内地面调查指标进行差异性比较, 并统计不同防控措施下每年单位面积样地的防治成本。【结果】样地 1 内白蜡保存率(100%)高于样地 2(80%)和样地 3(34%), 且样地 1 的白蜡受害情况在树冠枝枯梢率、树冠活力等级、羽化孔数量、萌蘖枝条数量和啄木鸟刻痕数指标上显著低于样地 2 和样地 3。样地 1 每年单位面积的防治成本为 2 150 元/hm², 低于样地 2(5 625 元/hm²)和样地 3(5 720 元/hm²)。【结论】使用阻隔网防治白蜡窄吉丁成效显著, 且防治成本低, 建议今后可与其它无公害防治技术相结合进行害虫综合治理。

关键词 白蜡窄吉丁; 洋白蜡; 阻隔网; 防治成效; 防治成本

An effective barrier net for the prevention and control of *Agrilus planipennis* Fairmaire

JIANG Qi^{1**} WANG Chang-Min² LIU Yu-Jie² LUO You-Qing¹ REN Li-Li^{1***}

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Yanqing Forestry Protection Station, Beijing 102100, China)

Abstract 【Objectives】*Agrilus planipennis* Fairmaire is a cryptic and highly destructive wood-boring pest that causes significant damage to Ash trees (*Fraxinus pennsylvanica*) in the Yanqing district of Beijing. The local forestry protection station has taken various measures to prevent and control this damage, including the use of barrier nets, a new method for protecting trees from *A. planipennis*. In order to evaluate the effectiveness of barrier nets we compared the damage to Ash trees under different *A. planipennis* management regimes and compared the costs of these measures. 【Methods】Damage to Ash trees was monitored in three sample plots in Yanqing district employing different *A. planipennis* control measures from 2017 to 2019. Barrier nets were used to control *A. planipennis* in Plot 1. Management in Plot 2 consisted of planting other tree species after cutting down seriously damaged ash trees whereas that in Plot 3 was confined to cutting down seriously damaged Ash trees. Damage indices included dieback rate, crown vigor rating, the number of bore holes, the quantity of epicormic branching and the amount of woodpecker activity. The statistical significance of differences in damage indices among the different plots was assessed using Tukey's test and the average annual control cost per hectare of plot was estimated for each method. 【Results】The survival rate of Ash trees in Plot 1 (100%) was higher than that in Plot 2 (80%) and Plot 3 (34%). Moreover, all damage indices were significantly lower in Plot 1 than in Plot 2 and Plot 3. The annual control cost per unit area for Plot 1

*资助项目 Supported projects: 北京市科技计划“北京生态公益林重大有害生物防控关键技术”(Z191100008519004)

**第一作者 First author, E-mail: qiaoba78@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lily_ren@bjfu.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-10-05; 接受日期 Accepted: 2021-04-07

was 2 150 yuan/hm², less than half the cost for Plot 2 (5 625 yuan/hm²) and Plot 3 (5 720 yuan/hm²). **[Conclusion]** Using barrier nets to protect Ash trees from *A. planipennis* is both more effective and significantly cheaper than other methods. We suggest that this kind of integrated pest management be combined with other pollution-free control technologies in the future.

Key words *Agrilus planipennis* Fairmaire; *Fraxinus pennsylvanica*; barrier net; control effect; control cost

白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire 属鞘翅目吉丁甲科 Coleoptera: Buprestidae, 主要危害木犀科 Oleaceae 白蜡属 *Fraxinus* spp. 树木, 是一种毁灭性蛀干害虫, 为东北亚地区的本土害虫 (于诚铭, 1992)。我国本土白蜡树种, 如中国白蜡 *F. chinensis*、水曲柳 *F. mandshurica* 等, 对白蜡窄吉丁抗性较高 (潘志刚和游应天, 1994; 张良玉等, 1995; 孙铁环和李庆海, 2004; 赵同海等, 2005, 2007; 苓建强, 2011; 王小艺等, 2015)。北美白蜡树种如美国红栎 (洋白蜡) *F. pennsylvanica*、绒毛白蜡 *F. velutina*、美国白蜡 *F. americana* 等属于易感树种。2002 年在美国密歇根州底特律地区的白蜡树上首次发现白蜡窄吉丁, 传入后种群数量迅速增加、肆虐成灾 (Haack *et al.*, 2002; Bauer *et al.*, 2015)。至 2018 年该虫已扩散至美国 35 个州 (Emerald Ash Borer Information Network, 2020), 被称为迄今为止北美破坏力最强和造成经济损失最大的林业外来有害生物 (Aukema *et al.*, 2011; Herms and McCullough, 2014)。据报道, 白蜡窄吉丁曾在我国局部地区发生过严重危害, 主要原因是当地栽植了大量北美白蜡树种 (潘志刚和游应天, 1994; 张良玉等, 1995; 孙铁环和李庆海, 2004)。

在北京市第一轮百万亩造林计划中, 引进并栽植了大量北美白蜡树种, 如绒毛白蜡、美国白蜡和洋白蜡等, 这些都为易感树种。随着白蜡林面积急剧增加, 白蜡窄吉丁的危害日益加重。据北京市园林绿化局 2017 年初统计, 全市现有白蜡林面积 5 200 hm², 在延庆、通州、平谷、顺义、昌平 5 个区受害最为严重, 受害面积达 210 hm² (吴有刚等, 2019)。为防止白蜡窄吉丁危害不断加剧, 各区林业保护站积极采取多种防控措施, 如悬挂粘虫板、设置诱捕器、缠绕阻隔网、药液灌根、伐除虫害木和营造混交林等。目前,

在白蜡窄吉丁各种防控措施中, 化学防治存在环境污染严重、对非靶标生物的杀伤作用大、防治成本高等问题, 而释放天敌开展生物防治无法在短时间内有效控制害虫种群增长和扩散。因此, 亟须防治成本低、能快速有效地遏制白蜡窄吉丁扩散的防控手段。本研究通过比较实际生产中 3 种防治白蜡窄吉丁的物理防控方法, 为实际生产实践提供新的防治手段。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于北京市延庆区白蜡人工林, 林内白蜡窄吉丁危害严重, 树上可见明显“D”形羽化孔、啄木鸟刻痕和萌蘖条等为害特征。试验于 2019 年 9 月在延庆区选择 3 块分别采用不同防控管理措施的样地 (图 1), 样地 1 (40°27'9.06"N, 115°55'26.95"E) 使用阻隔网防治白蜡窄吉丁, 每株白蜡在主干 1.5 m 处套用网宽 1.5 m、长 0.5 m、网孔 9 目、孔径 2.82 mm 的脞纶阻隔网 (图 2), 若林内有受害严重的白蜡则伐除; 样地 2 (40°28'18.44"N, 115°55'18.57"E) 将受害严重的白蜡伐除后更植其它树种, 主要更植的树种有国槐 *Sophora japonica*、油松 *Pinus tabulaeformis* 等; 样地 3 (40°29'25.32"N, 115°54'49.18"E) 仅伐除受害严重的白蜡树。其中, 样地 1 和样地 2 所采用的防控措施均于 2017 年开始实施, 样地 3 从栽植至今均使用同一种防治方法。

根据延庆区林业保护站所提供的资料, 3 块样地在 2013 年前后栽植 5 龄美国红栎 (洋白蜡), 栽植面积分别为 3、2.133 和 1 hm², 栽植密度均为 675 株/hm²。即样地 1、样地 2 和样地 3 原有洋白蜡分别是 2 025、1 440 和 675 株。截至 2017 年, 样地 1、样地 2 和样地 3 分别留有白蜡 430、200 和 50 株。

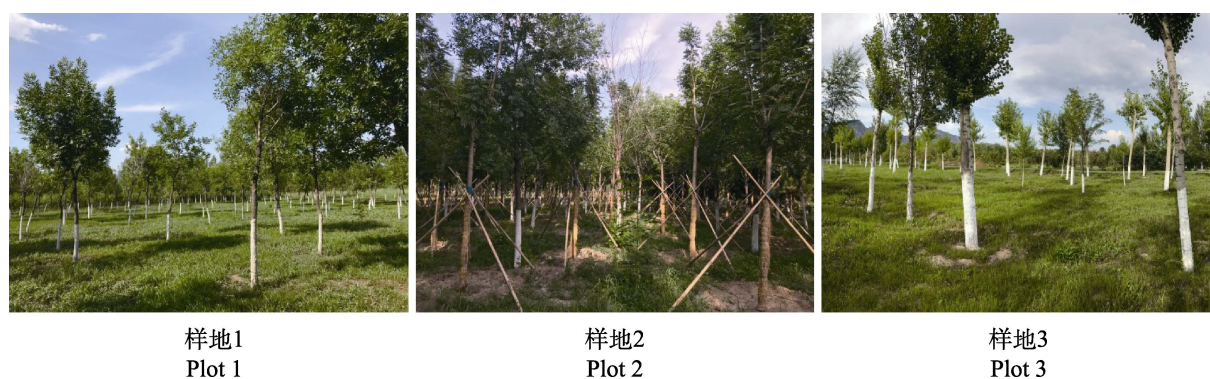


图 1 3 块样地的林分情况
Fig. 1 Typical photographs of three sample plots

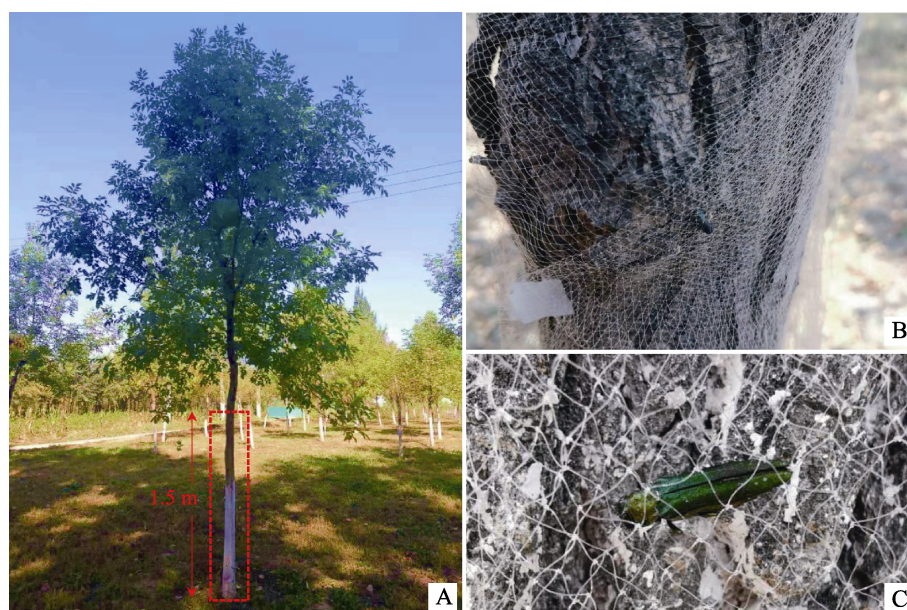


图 2 使用阻隔网防治白蜡窄吉丁
Fig. 2 Using barrier net is a new physical method to prevent and control *Agrilus planipennis*

A. 套网位置; B. 阻隔网阻碍了刚羽化的成虫出孔; C. 成虫被困于网内。

A. The net position; B. The newly emerged adult prevented from hole by the barrier net; C. The adult trapped in the net.

1.2 研究方法

1.2.1 地面调查 试验开始于 2019 年 9 月初, 此时白蜡窄吉丁的成虫已羽化, 在树干表面形成“D”形羽化孔。通过调查 3 块样地的现存白蜡数量, 计算样地白蜡保存率。白蜡保存率为现存白蜡数量占 2017 年林内白蜡数量的百分比。同时, 在 3 块样地内分别选取 15 株白蜡作为调查样株, 采取棋盘式抽样方法, 依据 Pontius 等 (2008) 评估白蜡树势下降时选用的地面调查指

标来量化白蜡窄吉丁的危害程度, 并记录各样株的树高 (m)、胸径 (cm)、枯梢率 (%)、树冠活力等级、羽化孔数量 (个)、萌蘖枝条数量 (条) 以及啄木鸟刻痕数 (个)。

细枝枯梢是受害白蜡最早表现出的危害特征, 枯梢率和树冠活力等级的高低可体现寄主树木的树势强弱 (Pontius *et al.*, 2008)。首先, 参照 1997 年美国农业部林业局发布的森林健康监测野外调查方法指南 (USDA Forest Service, 1997), 通过两名观察员目视检查每株白蜡树冠,

统计枯死树枝的数量并取观测平均值作为样株的枯梢率。接着, 根据 Millers 等 (1991) 研究方法, 将树冠活力等级划分为 5 个等级代表整个树冠的健康状况 (表 1)。本研究对“D”形羽化孔数量的统计范围为离地面 0.5-1.5 m 内的主干。因白蜡受害后树势逐渐衰弱, 树干基部会出现萌蘖枝条, 所以统计的萌蘖枝条包括主干上基部 (0.5 m 以下) 萌发的任何嫩枝或叶子。随着林内白蜡窄吉丁虫口密度的增加、啄木鸟活动频繁, 造成白蜡树干外层树皮剥落, 出现白色斑块。啄木鸟刻痕数即为主干上的白色斑块数量。“D”形羽化孔、萌蘖枝条和啄木鸟刻痕的数量越多说明白蜡树受害越严重。

1.2.2 不同防治措施的成本估算 本研究统计并比较 3 块样地用于防治白蜡窄吉丁的防治费

用。每年的防治费用主要包括实施不同防治措施所需的人工费和材料费。其中, 样地 1 所使用的阻隔网为 10 元/张, 套网人工费为 5 元/株, 阻隔网每年 4 月更换一次。样地 2 购入更植的树种价格为 300 元/株, 人工栽植费为 80 元/株; 伐除受害严重白蜡的人工费为 520 元/株。由于样地 1 和样地 2 所采用的防治措施于 2017 年开始实施, 因此, 防治时间从 2017 年开始计算, 至 2019 年总防治时间记为 3 年。样地 1 自 2017 年开始至 2019 年, 每年更换样地内阻隔网, 防治 3 年内没有伐除白蜡树记录。因此, 样地 1 的总防治费用包括林内各株白蜡所需的阻隔网材料费和缠网人工费。样地 2 的总防治费包括购买更植树木费、人工栽植费, 以及受害白蜡的人工伐除费。样地 3 的总防治费用仅含受害白蜡的人工伐除费。

表 1 树冠活力的分级标准
Table 1 Crown vigor rating standard

树冠活力等级 Crown vigor rating	健康 (1) Healthy (1)	轻度 (2) Light (2)	中度 (3) Moderate (3)	重度 (4) Heavy (4)	枯死 (5) Withered (5)
划分标准 Classification standard	没有分枝枯死 No major branch mortality	枯梢率 10%-25% 10% to 25% of crown damaged	枯梢率 26%-50% 26% to 50% of crown damaged	枯梢率>50% >50% of crown damaged	树木枯死无叶片 Dead

1.3 数据分析

使用 IBM SPSS Statistics Version 24 (IBM, America) 进行数据统计分析。采用 Tukey 检验对 3 块样地内地面调查指标进行差异性比较。使用 GraphPad Prism Version 7 (GraphPad software, America) 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同防控措施对白蜡窄吉丁的防治效果

2.1.1 样地内洋白蜡的保存率和生长情况 通过样地调查, 发现样地 1、样地 2 和样地 3 现存洋白蜡分别为 430、160 和 17 株, 与 2017 年相比, 其洋白蜡保存率分别是 100%、80%和 34% (图 3: A)。3 块样地内白蜡树高差异不显著 ($P=0.153>0.05$) (图 3: B)。样地 1、样地 2 和样地 3 内白蜡树平均胸径分别是 (9.8 ± 1.4)、

(10.9 ± 0.9) 和 (12.0 ± 2.1) cm。由此可见, 从实施防治措施开始至 2019 年, 3 块样地内白蜡树的规格基本相同。其中缠绕阻隔网的样地内白蜡保存率最高, 说明在防治期间样地 1 内洋白蜡受白蜡窄吉丁危害轻。

2.1.2 比较各样地洋白蜡受害情况 调查结果显示, 样地 1 内白蜡枯梢率 (2.9 ± 4.0) %和树冠活力等级 (0.2 ± 0.4) 显著低于样地 2 和样地 3 ($P<0.05$), 样地 3 的枯梢率 (21.6 ± 20.9) %和树冠活力等级 (1.9 ± 1.6) 均低于样地 2, 但无显著差异 (图 3: D-E)。这一结果表明样地 1 的白蜡树势强于样地 3 和样地 2, 样地 2 内白蜡树势最弱, 即各样地的树势强弱排序为样地 1>样地 3>样地 2。

由图 3 (F) 可知, 样地 1、样地 2 和样地 3 内白蜡树上出现“D”形羽化孔的数量分别为 (0.8 ± 1.1)、(4.5 ± 2.3) 和 (3.9 ± 2.4) 个, 且样地 1 显著低于样地 2 和样地 3 ($P<0.05$), 样地 2

和样地 3 无显著差异。样地 1、样地 2 和样地 3 内洋白蜡树干上出现的萌蘖枝条数量分别为 (0.3 ± 0.7) 、 (2.4 ± 3.3) 和 (1.7 ± 1.6) 条/株, 样地 1 显著低于样地 2 ($P=0.037 < 0.05$), 样地 3 与样地 1、样地 2 均无显著差异 (图 3: G)。在 3 块样地中, 样地 3 内出现的啄木鸟活动痕迹最多 (图 3: H), 平均每株白蜡上有 (9.5 ± 9.5) 个刻痕, 显著高于样地 1 ($P=9.200 < 0.05$) 和样地 2 ($P=6.133 < 0.05$), 且样地 1 与样地 2 无显著差异。综上所述, 样地 1 中白蜡受害情况总体上

轻于样地 2 和样地 3, 体现在羽化孔数量、萌蘖枝条数和啄木鸟刻痕数上较低, 另一方面也反映出林内白蜡窄吉丁的虫口密度较低。这说明缠绕阻隔网对白蜡窄吉丁具有很好的防治效果。样地 2 不仅白蜡树势最弱, 林内羽化孔数量和萌蘖枝条数量也高于其他样地, 说明样地 2 内白蜡受害严重且白蜡窄吉丁虫口密度较高。样地 3 虽然羽化孔数量和萌蘖枝条数量均低于样地 2, 但啄木鸟刻痕数显著高于样地 2, 最多可达 18 个, 说明样地 3 内白蜡受害严重且有更多的天敌活动。

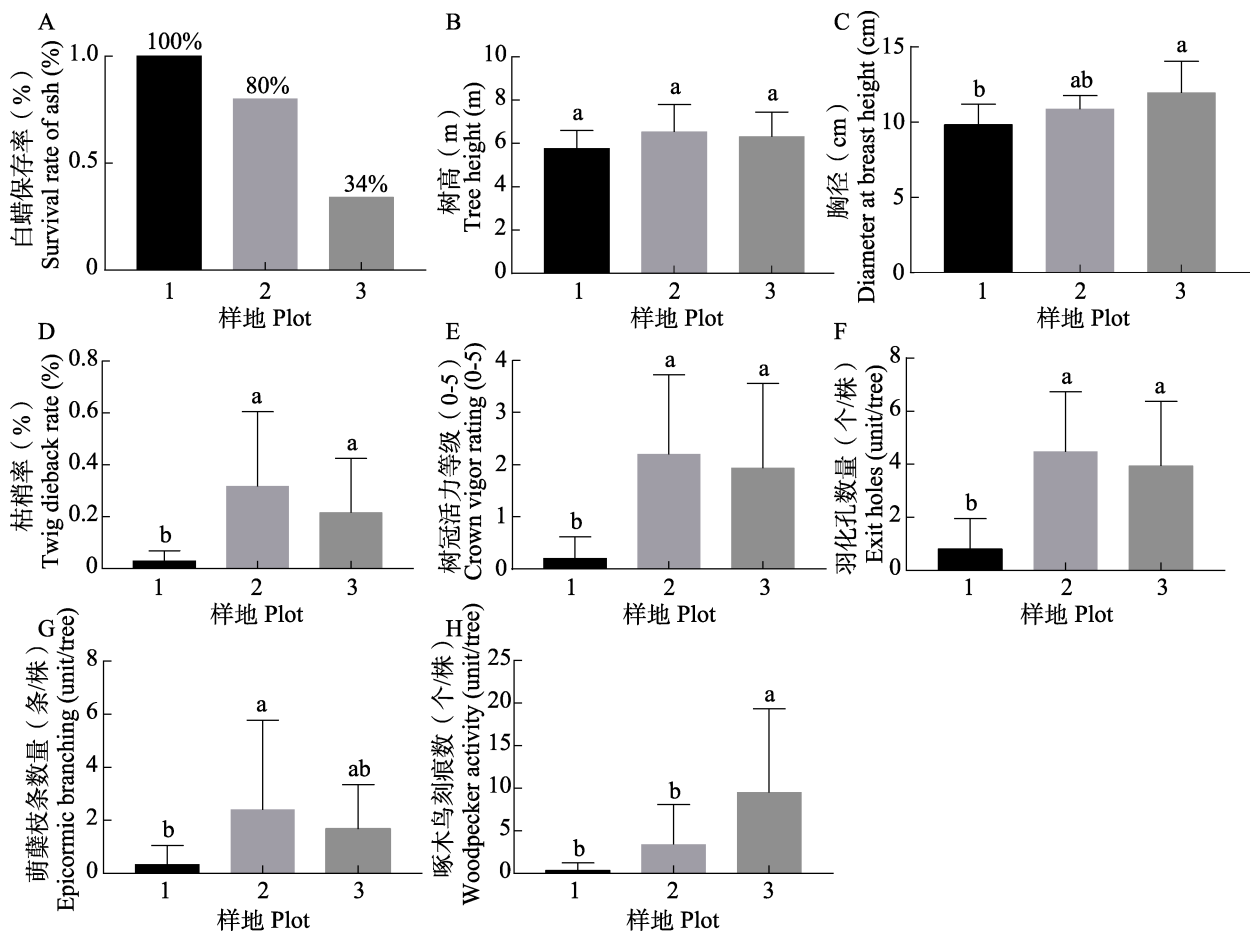


图 3 3 块样地地面调查的统计结果

Fig. 3 Statistical results of ground survey in three sample plots

A. 白蜡保存率; B. 树高; C. 胸径; D. 枯梢率; E. 树冠活力等级; F. 羽化孔数量;
G. 萌蘖枝条数量; H. 啄木鸟刻痕数。

A. Survival rate of ash; B. Tree height; C. Diameter at breast height; D. Twig dieback rate; E. Crown vigor rating;
F. Exit holes; G. Epicormic branching; H. Woodpecker activity.

柱上标有不同小写字母表示在 $P=0.05$ 水平上 3 块样地内同一调查指标差异性显著。

Histograms with different lowercase letters indicate significant difference in the data of the same survey index in the three sample plots at the level of $P=0.05$.

2.2 比较 3 块样地的防治成本

经估算,各样地每年每公顷的防治成本见表 2。样地 1 每年单位面积的防治成本为 2 150 元/hm²,样地 2 的防治成本为 5 625 元/hm²,样地 3 最高为 5 720 元/hm²。按照北京市标准,平原造

林区域每年单位面积的租地费为 12 000-16 500 元/hm²,每年单位面积的管护费为 18 000 元/hm²。相较于北京市高昂的租地费和管护费,使用阻隔网防控不仅可以有效防治白蜡窄吉丁的危害,提高了白蜡保存率,且防治成本低。

表 2 3 块样地每年单位面积的防治成本
Table 2 The annual control cost per unit area of three sample plots

样地调查明细 Plot survey details	样地 1 Plot 1	样地 2 Plot 2	样地 3 Plot 3
样地面积 (hm ²) Plot area	3.000	2.133	1.000
2017 年白蜡树数量 (株) Quantity of <i>Fraxinus pennsylvanica pennsylvanica</i> in 2017	430	200	50
2019 年有白蜡树数量 (株) Quantity of existing <i>Fraxinus pennsylvanica pennsylvanica</i> in 2019	430	160	17
使用阻隔网的费用 Cost of using barrier nets	19 350	0	0
更植树种的费用 Cost of planting trees	0	15 200	0
人工伐除费 Cost of cutting trees	0	20 800	17 160
总防治费用 (元) Total cost of prevention and control (yuan)	19 350	36 000	17 160
每年单位面积的防治成本 (元/hm ²) Annual control cost per unit area (yuan/hm ²)	2150	5 625	5720

3 讨论

Pontius 等 (2008) 提出树冠枝枯梢率、树冠活力等级、羽化孔数量、萌蘖枝条数量和啄木鸟刻痕数可用于评估白蜡树总体健康状况。本研究在比较防控效果时,借鉴上述指标来反映不同样地内白蜡状态。由结果可知,使用阻隔网防治的样地 1 中白蜡保存率高、受白蜡窄吉丁危害程度轻 (图 3)。这主要因为样地 1 采用的阻隔网依据白蜡窄吉丁的生物学特性设计,网孔细,且套网位置位于幼虫分布最为密集处,可有效阻止成虫羽化扩散并交配产卵。因此,阻隔网能减少树干新增羽化孔、降低树冠枯梢率,以达到挽救受害木、提高林内白蜡保存率的防治效果。

在实际踏查过程中,虽然从视觉效果看,样地 3 内的洋白蜡所剩无几 (图 1)。但经方差分析,样地 2 的枯梢率、树冠活力等级、羽化孔数量和萌蘖枝条数量与样地 3 均无显著差异。因此,推测当林内白蜡窄吉丁虫口密度较高、危害较严重时 (如样地 3),白蜡各项危害指标将趋于饱和。此时可供成虫继续产卵繁殖的寄主数量不足,白蜡窄吉丁将扩散至其他林内进行危害。

在一定条件下,啄木鸟活动与白蜡窄吉丁幼虫虫口密度呈线性相关,即虫口密度越大,啄木鸟的啄孔数越多 (王辉, 2014)。一方面,样地 3 内啄木鸟刻痕数最多但羽化孔数量与样地 2 无显著差异,推测密集的啄木鸟活动会造成树皮大量脱落,破坏“D”形羽化孔使其无法辨识。另一方面,虽然样地 3 啄木鸟活动更加频繁,但白蜡保存率依旧最低,说明在较高虫口密度情况下,啄木鸟对白蜡窄吉丁的天敌控制能力有限。

林业有害生物防治成本是指在一定时期内防治一定面积林业有害生物投入的所有费用的总和,由直接成本和间接成本组成 (刘枫, 2014)。本研究通过计算直接成本,发现利用阻隔网的样地 1 在防治成本上低于未利用阻隔网的样地 2 和样地 3,且远低于北京市可提供的管护费 (18 000 元/hm²)。目前针对白蜡窄吉丁的有效防治措施有很多,例如在林间悬挂白蜡窄吉丁诱捕器、悬挂粘虫板、释放白蜡窄吉丁肿腿蜂等。据调研并估算,2021 年北京市林业保护站使用白蜡窄吉丁诱捕器进行防治的材料费约 450-750 元/hm²;使用粘虫板防治的材料费约 40 元/hm²;而释放白蜡窄吉丁肿腿蜂进行天敌防治的材料费

约 2 700-4 500 元/hm²。值得注意的是, 上述防治手段由于并未完全阻遏白蜡窄吉丁的羽化和传播, 长远来看会产生额外的受害木伐除、更植费用。综合考虑, 本研究涉及的阻隔网技术不仅防治成效显著且投入费用少。因此, 在具体白蜡窄吉丁防控实践中, 可依据预算支出, 在使用阻隔网防治的基础上增加适当的投入, 结合其他物理、生物防治手段, 预期可达到更好的防控效果。

参考文献 (References)

- Aukema JE, Leung B, Kovacs K, Chivers C, Britton KO, Englin J, Frankel SJ, Haight RG, Holmes TP, Liebhold AM, McCullough DG, Holle BV, 2011. Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States. *PLoS ONE*, 6(9): e24587.
- Bauer LS, Duan JJ, Gould JR, Driesche RV, 2015. Progress in the classical biological control of *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) in North America. *The Canadian Entomologist*, 147(3): 300–317.
- Emerald Ash Borer Information Network, 2020. Emerald ash borer information website. <http://www.emeraldashborer.info/index.cfm>.
- Haack RA, Jendek E, Liu H, 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.
- Hermes DA, McCullough DG, 2014. Emerald ash borer invasion of North America: History, biology, ecology, impacts, and management. *Annual Review of Entomology*, 59(1): 13.
- Ling JQ, 2011. Resistance mechanism of different ash species (*Fraxinus* spp.) to emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire). Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [凌建强, 2011. 白蜡属不同树种对花曲柳窄吉丁的抗性机制. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Liu F, 2014. Elements and composition of control cost against forest pest. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 35(3): 76–78. [刘枫, 2014. 林业有害生物防治成本估算要素构成. 四川林业科技, 35(3): 76–78.]
- Millers I, Lachance D, Burkman WG, Allen DC, 1991. North American sugar maple decline project, organization and field methods. General Technical Report NE. 154.
- Pan ZG, You YT, 1994. Introduction and Cultivation of Main Exotic Tree Species in China. Beijing Science and Technology Publishing. 632–643. [潘志刚, 游应天, 1994. 中国主要外来树种引种栽培. 北京科学技术出版社. 632–643.]
- Pontius J, Martin M, Plourde L, Hallett R, 2008. Ash decline assessment in emerald ash borer-infested regions: A test of tree-level, hyperspectral technologies. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2665–2676.
- Sun TH, Li QH, 2004. Occurrence and control measures of forest diseases and insect pests in Tianjin. *Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry*, 178(2): 1–4. [孙铁环, 李庆海, 2004. 天津市森林病虫害发生及防治对策. 天津农林科技, 178(2): 1–4.]
- USDA Forest Service, 1997. Forest health monitoring 1997 field methods guide. Research Triangle Park, North Carolina, United States: Department of Agriculture, Forest Service.
- Wang H, 2014. Study on flight capacity of emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) and natural control effect of woodpecker. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [王辉, 2014. 花曲柳窄吉丁飞行能力及啄木鸟自控效果的研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Wang XY, Yang ZQ, Gould JR, Wei K, 2015. Biological control progress of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 31(5): 666–678. [王小艺, 杨忠岐, Juli R.Gould, 魏可, 2015. 白蜡窄吉丁(鞘翅目:吉丁甲科)的生物防治研究进展. 中国生物防治学报, 31(5): 666–678.]
- Wu YG, Wang YM, Lu KA, Chen ZG, Xing ZL, Dong YY, 2019. Study on comprehensive prevention and control technologies of *Agrilus planipennis*. *Beijing Landscape Architecture*, (2): 57–59. [吴有刚, 王永明, 陆克安, 陈志刚, 刑子龙, 董颖颖, 2019. 白蜡窄吉丁绿色防控综合技术研究. 北京园林, (2): 57–59.]
- Yu CM, 1992. Forest Insects of China (2nd edition). Beijing: China Forestry Publishing House. 400–401. [于诚铭, 1992. 中国森林昆虫(第二版). 北京: 中国林业出版社. 400–401.]
- Zhang YL, Chen ZX, Yang GD, 1995. Study on control technology of emerald ash borer of *Fraxinus velutina*. *Landscape Science and Technology*, (4): 1–7. [张良玉, 陈周美, 杨国栋, 1995. 绒毛白蜡窄吉丁虫防治技术的研究. 园林科技通讯, (4): 1–7.]
- Zhao TH, Gao RT, Liu H, Bauer LS, Sun LQ, 2005. Host range of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, its damage and the countermeasures. *Acta Entomologica Sinica*, 48(4): 594–599. [赵同海, 高瑞桐, Houping LIU, Leah S. BAUER, 孙龙强, 2005. 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.]
- Zhao TH, Zhao WX, Gao RT, Zhang QW, Li GH, Liu XX, 2007. Induced outbreaks of indigenous insect species by exotic tree species. *Acta Entomologica Sinica*, 50(8): 826–833. [赵同海, 赵文霞, 高瑞桐, 张青文, 李国宏, 刘小侠, 2007. 外来树种对本地林业虫害的诱发作用. 昆虫学报, 50(8): 826–833.]