

doi:10.11707/j.1001-7488.20180911

新疆杨与北抗杨抗光肩星天牛特性的比较*

王志刚¹ 苏智¹ 刘明虎¹ 赵英铭¹ 张格¹ 崔振荣²
淡慧丽² 陈星明²

(1. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心 碉口 015200; 2. 内蒙古巴彦淖尔市林业局 临河 015000)

摘要: 【目的】研究北抗杨与当前西北干旱区绿洲防护林主栽树种新疆杨的抗虫性差异,为在西北绿洲区推广北抗杨提供参考。【方法】1999 年中国林业科学研究院林业研究所韩一凡课题组提供北抗杨家系 6 个优选无性系(16-4、16-8、16-17、16-18、16-22、16-27)。2003—2011 年向内蒙古巴彦淖尔市磴口县城区投放北抗杨家系 6 个优选无性系、新疆杨等共 18 个杨树品种,进行多品种抗性比选以及观察纯林抗性小区试验,共 104 株,面积 2.72 hm²; 2013 年在临河区、磴口县、杭锦后旗各投放 1 000 株北抗杨,以新疆杨为对照树种,开展疫区扩大试验。解剖被害木内光肩星天牛虫道,分析新疆杨和北抗杨上光肩星天牛产卵、孵化、幼虫取食、发育的差异;调查疫区扩大试验林光肩星天牛产卵和羽化情况,分析新疆杨和北抗杨纯林中虫口演进趋势的差异。【结果】新疆杨树皮对光肩星天牛成虫产卵具有较强的选择抗性;光肩星天牛小幼虫很少取食新疆杨的形成层和韧皮部,主要靠取食木质部完成发育。因此,新疆杨树皮破损失小、容易愈合,而木质部受害严重,光肩星天牛成虫羽化率达 25.8%。北抗杨树皮对光肩星天牛成虫产卵的选择抗性较弱;光肩星天牛小幼虫先取食北抗杨的形成层和韧皮部,造成树皮掌状凹陷,产卵刻槽愈合后形成较大的瘢痕,对树皮外观损伤较大;但北抗杨形成层、韧皮部、木质部对光肩星天牛从小幼虫到成虫羽化出孔各个阶段的发育均表现出很强的抗性,最后成虫的羽化率仅为 0.25%。【结论】新疆杨具有较强的选择抗性和耐害性,但发育抗性弱,在无人为干预的情况下纯林虫口密度累进增大,抗性不能持久,危害多年后出现枯梢,木质部虫道密布,木材利用价值降低。北抗杨选择抗性较弱,但发育抗性很强,纯林抗性持久稳定,在无人为干预的情况下被害木木质部内虫道很少,木材被害轻,因而木材的利用价值高。北抗杨推广造林时可根据性别、干形和速生性的需求选择不同无性系,如以快速绿化为目标,可选用速生性最好的 16-27 无性系(即北抗杨 1 号,雄性);农田防护林可选干形好、高生长最大的 16-4 无性系(雌性);兼顾干形和不飞絮,可选 16-8 无性系(雄性)。

关键词: 新疆杨; 北抗杨; 光肩星天牛; 发育抗性; 抗虫性

中图分类号:S763.30 文献标识码:A 文章编号:1001-7488(2018)09-0089-08

Comparision of the Resistant Characteristics of *Populus alba* var. *pyramidalis* and *Populus deltoides* cl. Beikang to Damages against *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae)

Wang Zhigang¹ Su Zhi¹ Liu Minghu¹ Zhao Yingming¹ Zhang Ge¹ Cui Zhenrong²
Dan Huili² Chen Xingming²

(1. Experimental Center of Desert Forestry, CAF Dengkou 015200;

2. Bayannor Forest Bureau, Inner Mongolia Linhe 015000)

Abstract: 【Objective】In this study, the resistant difference between *Populus deltoides* cl. Beikang (PDB) and *Populus alba* var. *pyramidalis* (PAP) against *Anoplophora glabripennis* (ALB) in northwest China was investigated to provide reference for selecting resistant popular varieties plating in Arid and semi-Arid regions of Northwestern China. 【Method】Six preferred clones of PDB (16-4, 16-8, 16-17, 16-18, 16-22, 16-27) were provided by Prof. Han Yifan research group of the Forestry Research Institute, Chinese Academy of Forestry in 1999. From 2003 to 2011, 18 poplar

收稿日期: 2017-10-10; 修回日期: 2018-04-03。

基金项目: 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2017MB025)。

* 苏智为通讯作者。参加本研究的还有中国林业科学研究院沙漠林业实验中心肖彩虹、张瑞、李帅,巴彦淖尔市林业局郭永祯、王治国、赵中和、张宏武,磴口县林业局马学献、成建新,杭锦后旗林业局冀丕智、李银兰,临河区林业局张俊侠等。本文承蒙河北大学魏建荣教授、中国林业科学研究院林业研究所胡建军研究员审阅修改。在此一并表示感谢。

varieties, including 6 PDB asexual lines as well as PAP, were selected to screen multi species and pure forest resistance test that was conducted in experimental plots in Dengkou County, Inner Mongolia, and 104 individuals of the clones in an area of 2.72 hm² were observed in a pure forest resistance experimental plots. In 2013, 1 000 PDB trees were planted, with PAP served as the control, to carry out expanded experiments in the epidemic area of the Linhe District, Dengkou County, and Hangjinhou County. The differences of the oviposition, egg hatching, larval feeding and development of ALB in PAP and PDB were dissected to analyze the spawning and emergence of ALB in the epidemic area, and to analyze the difference in the insect's evolution trend in PAP and PDB. 【Result】It was showed that PAP bark had strong selective resistance to ALB adult oviposition. The ALB larvae seldom fed the phloem of PAP, and mainly depended on feeding xylem to complete their development. Therefore, PAP bark was damaged slightly, while PAP xylem was seriously affected with the ALB adult emergence rate 25.8%. PDB bark had weaker resistance to ALB adult oviposition selection. ALB larvae fed the cambium and phloem of PDB, resulting in the palm like depression of the bark and the spawning grooves healed to form a larger scar. The damage to the bark appearance was serious; however, the PDB cambium, phloem, and xylem showed a strong resistance to the development of each larval stage and to the emergence and emergence of the adults, and the emergence rate was only 0.25%. 【Conclusion】PAP had a strong resistance to ALB attacking, but its developmental resistance was weak; without human intervention, the pest density in pure forest increased progressively; its resistance did not last long; the damages occurred after many years with dense ALB galleries and thus the wood value was reduced significantly. Comparatively PDB's resistance to the damages of ALB was weak, but the developmental resistance was strong; and its resistance to damages of ALB in the pure forest was showed persistently and steadily with few galleries in xylem. Thus the different clones of PDB could be selected according to needs of gender, trunk, and speed nature to improve afforestation resistance. Such as in a quick greening as the goal, 16–27 clones (PDB 1, male) could be selected as the fastest growing; being its good trunk shape and tall, and 16–4 clones (female) could be selected with the highest growth as farmland shelter; 16–8 clones (male) could be selected with good trunk shape and without catkins pollution.

Key words: *Populus alba* var. *pyramidalis*; *Populus deltoides* cl. Beikang; Asian longhorned beetle; development resistance; insect resistance

光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis*)是我国西北绿洲防护林等人工林中危害最严重的蛀干害虫。在严重发生地区,该害虫于20世纪50年代毁灭了箭杆杨(*Populus nigra* var. *thevestina*),60年代毁灭了欧美杨(*P. × euramericanus*)和小叶杨(*P. simonii*),70年代又使大官杨(*P. × dakuanensis*)遭到毁灭(张克斌等,1984)。进入80年代以来,宁夏发生了严重的光肩星天牛危害,导致银川平原杨树人工林大面积死亡;随后这一灾情还向内蒙古河套平原蔓延,危害严重。目前这一害虫已进一步扩散至甘肃河西走廊和新疆的绿洲区域。1996年,美国首次在纽约州检测到光肩星天牛,1998年该虫在伊利诺伊州、2002年在新泽西州暴发,其后在奥地利、日本、加拿大、法国、德国和意大利等国相继检测到该虫(Haack et al., 2006; Haack et al., 2010),使其成为著名的国际检疫对象。

从防治对策来看,光肩星天牛属于“k”对策类害虫,应以营林措施为主进行综合治理。因此,研究树种对光肩星天牛的抗性,是选择营林树种和进行综合治理最基本的一环(张克斌等,1984)。杨

(*Populus spp.*)、柳(*Salix spp.*)、榆(*Ulmus spp.*)是光肩星天牛的主要寄主树种,其中杨树的抗虫性总体上好于柳树和榆树,且杨树更为速生、高大,是营造绿洲防护林的首选乔木树种。

我国本土杨树中,以青杨派(*Tacamahaca*)、黑杨派(*Aigeiros*)树种受光肩星天牛危害最为严重,而白杨派(*Leuce*)的毛白杨(*P. tomentosa*)、河北杨(*P. hopeiensis*)、新疆杨(*P. alba* var. *pyramidalis*)、银白杨(*P. alba*)等受害相对轻些(王希蒙等,1987; 杨雪彦等,1991)。特别是毛白杨很少受光肩星天牛危害,其抗性好于银白杨,可能与其树皮中氨基酸、糖类等营养物质含量低以及酚酸、酚甙等生理抑制物质的种类和含量有关(王蕤等,1995)。

从国外引进的杨树品种中,许多黑杨派品种(主要是美洲黑杨)对光肩星天牛表现出较高抗性,如I-69杨(*P. deltoides* cv. Lux)、I-72杨(*P. × euramericanus* cv. San Martino)、50杨(*P. deltoides* cl. 55/65)、36杨(*P. deltoides* cl. 2KEN8)、I-63杨(*P. deltoides* cv. Harvard)等(周章义等,1994)。1985年中国林业科学研究院林业研究所韩一凡课

题组以 I - 69 杨为母本、I - 63 杨为父本,培育出抗云斑天牛 (*Batocera horsfieldi*) 品种——南抗杨 (*P. deltoides* cl. Nankang - 1) (王建园等, 1992)。

在我国西北地区,毛白杨、I - 69 杨、南抗杨等抗虫树种(品种)因耐寒性不足而难以推广。高抗品种的缺乏使得西北绿洲区面临光肩星天牛成灾的巨大压力。

我国现行林业行业标准《光肩星天牛防治技术规程》(曲涛等, 2011)仅明确毛白杨、河北杨、新疆杨等为西北干旱区防护林的主栽树种(抗性树种)。在西北地区,毛白杨、河北杨生长高度较低,繁殖难度大,实际应用不多;而新疆杨则是应用最多的抗性树种,也是西北地区栽培规模最大的白杨派树种。当有感虫树种存在时,光肩星天牛一般不会危害新疆杨;但在虫口密度过大的混交林或纯林中,新疆杨也会遭受严重危害。比如,当伴有毛白杨等树种时,新疆杨的抗虫性较弱,受害程度上升较快,从而成为诱虫树(宝山等, 1999)。总体上看,在三北各地,尤其是西北地区,几乎很难找到不受光肩星天牛侵害的杨树;但因众所周知的优良特性,杨树仍将是三北地区的主要造林树种(张星耀等, 2003)。

北抗杨 (*P. deltoides* cl. Beikang) 是南抗杨和北方型美洲黑杨 D175 杨 (*P. deltoides* cl. 175) 为亲本的杂交种,为我国西部地区培育的综合抗逆性杨树新品种。在致伤条件下酚类物质增多是北抗杨等美洲黑杨抗虫性的主要机制(房建军等, 2002; 胡建军, 2002),北抗杨对光肩星天牛抗性远高于中林 46 杨 (*P. × euramericana* cl. Zhonglin - 46) 等黑杨派对照品种,但与白杨派树种的抗虫性差异尚无报道。《光肩星天牛防治技术规程》中未将北抗杨等黑杨派品种列为主栽树种,一定程度上限制了北抗杨等抗虫新品种的推广应用。北抗杨对光肩星天牛的抗性是否高于新疆杨,成为评价北抗杨在西北绿洲区是否具有应用价值的关键。

杨树对光肩星天牛的抗性,可分为对成虫在不同树种间选择补充营养和产卵寄主的抗性(选择抗性)、单一树种对幼虫发育为下一代成虫的抗性(发育抗性)以及受害后维持生长和继续发挥生态效益的能力(耐害性)。由于绝大多数树种的选择抗性与发育抗性基本一致,一般认为亲代为子代严格选好居所(张星耀等, 2003),以往的研究工作很少将抗性的具体含义加以区分。前期以田间调查为基础进行选择抗性排序的工作很多(秦锡祥等, 1985);

此后,秦锡祥等(1996)、阎俊杰等(1999)、温俊宝等(2006)和吴斌等(2006)开展的抗性树种及多树种配制光肩星天牛的研究都取得了有虫不成灾的效果,但选择抗性的应用效果依赖于对诱饵树的严格管理和对虫源的严格检疫,实践中很难在地广人稀、劳动力紧缺的地区做到持久而严格的管理,存在失控的风险,因诱饵树管理失控或选择抗性树种营造纯林导致的光肩星天牛危害严重的后果已屡见不鲜。树种的发育抗性报道不多,李丰等(1999)对几个树种在自然条件下受光肩星天牛危害情况的研究表明,沙枣 (*Elaeagnus angustifolia*)、欧洲三倍体山杨 (*P. tremula*)、中林 115 杨 (*P. × euramericana* cl. Zhonglin - 115)、中林 34 号杨 (*P. × euramericana* cl. Zhonglin - 34) 具有诱杀功能,光肩星天牛产卵后不能完成羽化,表现出很好的发育抗性和耐害性;但有研究则表明中林 34 号杨对光肩星天牛的抗性很弱(蔡玉成等, 1999)。沙枣吸引天牛产卵的程度与高感虫树种加杨相差无几,沙枣行间混交对小叶杨林带具有保护作用(田润民等, 2003);耐害性方面未见文献报道。本研究对北抗杨对光肩星天牛的抗性进行探讨,为在西北地区推广该树种提供参考。

1 材料与方法

1999 年,韩一凡课题组赠与中国林业科学研究院沙漠林业实验中心北抗杨家系 6 个优选无性系 (16 - 4、16 - 8、16 - 17、16 - 18、16 - 22、16 - 27),这些品系用于长周期生产性试验;小规模扩繁后,从 2003 年开始,逐步向光肩星天牛疫区投放试材。

1.1 疫区多品种(树种)抗虫试验

试验地位于磴口县城区中国林业科学研究院沙漠林业实验中心机关院内,南北宽 160 m、东西长 170 m。该地块原有树种较为丰富,光肩星天牛免疫树种 15 种,呈镶嵌分布;光肩星天牛寄主树种 8 种,以垂柳 (*Salix babylonica*)、胡杨 (*P. euphratica*) 和新疆杨为多。1988 年首次发现光肩星天牛在垂柳上发生危害,1993 年淘汰了大量垂柳;1995 年淘汰了箭杆杨;2002 年补充毛白杨 4 株;2005 年在南侧幼儿园小院相对集中地补充了新疆杨 18 株;2011 年淘汰了胡杨,在北侧停车场相对集中地补充了北抗杨 (16 - 27) 50 株;2012 年补充金叶榆 (*Ulmus pumila* cv. Jinye) 30 株、毛白杨 1 株;2015 年补充创新杨 (*P. deltoides* cl. Chuangxin) 1 株。保留金叶榆及零星的白榆 (*U. pumila*)、垂柳以维持虫

口稳定；保留各时期新疆杨与北抗杨作对照。

2003 年布置第 1 批参试材料 11 份：北抗杨家系 6 个无性系（16-4、16-8、16-17、16-18、16-22、16-27）；银中杨（*P. alba* × *P. × berolinensis*）；抗鳞翅目食叶害虫转 Bt 基因欧黑 12 号（*P. nigra* ‘Bt-12’）；美青杨杂种（*P. deltoides* × *cathayana*）3 个无性系（3-69、93 美 8-6、64 号）。每份材料 3 株。造林苗木除银中杨为 2 年生外，其余均为 1 年生。苗木平均胸径为 2 cm 左右。

2006 年布置第 2 批参试材料 7 份：新疆杨；110 杨（*P. × euramericana* cl. 110）；OP-367 杨（*P. deltoides* × *nigra* cl. OP-367）；Simplot 杨（*P. deltoides* × *nigra* cl. Simplot）；306-45 杨（*P. trichocarpa* × *nigra* cl. 306-45）；DN-34 杨（*P. deltoides* × *nigra* cl. DN-34）；荷兰速生杨（*P. × euramericana* cl. N3930）。每份材料 3 株。造林苗木除新疆杨为 3 年生外，其余均为 2 年生。苗木胸径平均为 3 cm 左右。110、OP-367、Simplot、DN-34、荷兰速生杨因光肩星天牛重度危害已经逐年枯死淘汰；306-45 仅存 1 株，中度枯梢。

截至 2017 年，2003 年和 2006 年布置的生长较快的品种（110 杨、转基因 12 号、北抗杨 16-27、16-22、16-4、16-8）已经达到单板旋切材工艺要求的成熟度，可作为完整生产周期的试验结果对待。

1.2 疫区扩大试验

2013 年春季在巴彦淖尔市临河区（地点 I）、磴口县（地点 II）、杭锦后旗（地点 III）各投放 1 000 株北抗杨，开展疫区扩大试验，对照为新疆杨。苗木均为 3 年生，胸径不小于 3 cm，造林时截干高度 2.5 m。

2015 年踏查已见少量光肩星天牛产卵，未见羽化孔，未做详细调查。

2016 年 9 月 8 日，对试验地内北抗杨和新疆杨上的光肩星天牛受害孔数、羽化孔数进行抽样调查，每个地点、树种各调查 200 株，合计调查北抗杨、新疆杨各 600 株。其中受害孔数为新旧受害孔的累积值；受害孔包括简单刻槽、排粪孔、幼虫取食形成的掌状陷落斑。

2017 年 8 月 28 日，踏查发现产卵部位已经上移，难以在地面上准确计量受害孔数；但羽化孔位置仍较低，可准确观察到。因而未做受害孔数调查，只调查 2017 年的新羽化孔数。抽样样本与 2016 年一致。

对新疆杨、北抗杨受害孔累积数进行 *t* 测验，评估树种间选择抗性的差异；对树种间、年度间羽化孔数量进行 *t* 测验，评估树种间虫口演进的差异。

1.3 光肩星天牛受害木的虫道解剖

根据光肩星天牛在寄主内部活动的规律及形成的虫道形态较为简单的特点，尝试通过解剖被害木虫道、判读产卵刻槽和羽化孔数，以新疆杨和北抗杨上光肩星天牛的羽化率来评价比较其发育抗性强弱。因初步解剖发现新疆杨受害木的虫道特征与已有文献存在明显差异，为了解差异是否存在普遍性，还解剖了少量垂柳、二白杨（*P. gansuensis*）、金叶榆的受害木虫道作为对比。

选取受光肩星天牛危害多年、产卵量大（目测树皮粗糙、有明显瘤疖状增粗）但尚未枯梢的受害木大枝，舍去产卵较少的细梢，按厚度 1.5 cm 左右锯切成圆盘标本并顺序编号，清理虫道中的虫粪、幼虫和成虫残体等残留物，遇到残体及时标记，判读大枝上累年产卵刻槽、羽化孔并顺序编号。简单产卵刻槽在切面上为“T”字形，平行于年轮的一横为产卵刻槽破坏的形成层，向外的一竖为破损面愈合时形成的夹缝。简单产卵刻槽在切面上最多，是空刻槽、卵未孵化或孵化后幼虫很快死亡的遗迹。幼虫取食、排粪后的产卵刻槽往往破损较严重，需结合虫道仔细判读。羽化孔的判读较为简单，均在扩大的蛹室上方通向皮外，蛹室残留物很少；陈旧羽化孔愈合后向内有愈伤组织形成的肉芽状填堵物，向外对应的皮层上一般都遗留有整齐的圆孔或圆孔被粗生长纵向胀裂成 2 个半圆的痕迹。陈旧的羽化孔愈合时在上下 2 个端面也会留下“T”字形愈合痕迹，可结合虫道与简单产卵刻槽区别判读。

羽化率 = 羽化孔数 / 产卵刻槽数。羽化率经反正弦转换后进行 *t* 测验，检测树种间羽化率的差异。

2 结果与分析

2.1 光肩星天牛的虫道特征

解剖发现，小幼虫的取食部位在不同树种上有不同。垂柳、二白杨、金叶榆、北抗杨上的小幼虫先取食形成层和韧皮部，每个完整虫道起点都有对应的树皮掌状凹陷面，与以往文献描述无异。新疆杨上的 152 个完整虫道只有 37 个起点有掌状凹陷面，不足总数的 1/4。以虫道起点形态来判断，新疆

杨上的小幼虫大多数不取食形成层和韧皮部,而直接开始取食贴近形成层的幼嫩木质部,虫道起点只有产卵刻槽大小的破损面。

由于大多数光肩星天牛在新疆杨树皮上危害时破损面小、容易愈合,所以即使是虫口密度很大、被害部位明显膨大的受害木,树皮仍然相对完整。这一现象的后果,不利方面是新疆杨上的光肩星天牛疫情比在其他树种上更具隐蔽性;有利方面在于形成层很少破坏,能够继续分生木质部,使新生的木质部维持完整的管状结构,力学稳定性好,同时皮层较为完整有利于保持水分,受害木不易发生枯梢、断枝,外观和防护效益损失较小,显示了较好的耐害性。

小幼虫在北抗杨上先取食形成层和韧皮部,造成伤流和小幼虫排粪,小幼虫死亡后树皮上形成掌状凹陷面,愈合后留下明显隆起的愈合痕,所以在疫区投放的北抗杨比新疆杨早期外观受害更明显,容易被误认为抗性不强。长期处于高虫口密度的环境中,树皮上累积的愈合痕对冬季观赏性损害明显,夏季有树叶遮挡,景观损害不很明显。

2.2 北抗杨、新疆杨上光肩星天牛发育的差异

解剖新疆杨、北抗杨各3个样枝得到的光肩星天牛羽化率见表1。t测验结果为 $t = 5.8081 > t_{0.01} = 4.604$ (df=4),即光肩星天牛在新疆杨和北抗杨上羽化率存在极显著差异。新疆杨上害虫总体羽化率达25.8%,北抗杨上总体羽化率为0.25%。与新疆杨相比,北抗杨上的光肩星天牛羽化出成虫是小概率事件。

笔者早年曾观察到在初植的幼树上,光肩星天牛成虫更倾向于在北抗杨上产卵,而新疆杨幼树上只有少数的产卵痕。经历多年危害后,2005年集中栽植于南侧幼儿园小院的18株新疆杨枝干上羽化孔多见,5株出现重度枯梢;而2003年栽植于大院中部的18株北抗杨和2011年集中栽植于大院北侧的50株北抗杨羽化孔少见,未见枯梢。解剖结果发现,北抗杨样本长度、粗度远大于新疆杨,产卵刻槽数却少于新疆杨,可能是新疆杨上光肩星天牛繁殖速度快、成虫不善于迁移、后期形成了局部高虫口密度,而北抗杨上羽化出孔的成虫极少、后期局部虫口密度低造成的。

表1 北抗杨、新疆杨上光肩星天牛的羽化率

Tab. 1 Adult emerging rates of *A. glabripennis* on *P. alba* var. *pyramidalis* and *P. deltooides* cl. Beikang

树种 Tree species	样号 Samples	样枝年龄 Age of branch/a	大头直径 Diameter of branch (Low part) / cm	小头直径 Diameter of branch (High part) / cm	长度 Length/cm	产卵刻槽数 Number of oviposition	羽化孔数 Number of emergency hole	羽化率 Emergency rate (%)
北抗杨 <i>P. deltooides</i> cl. Beikang	1	6	13.7	5.4	416	169	0	0.00
	2	14	16.7	9.5	655	178	0	0.00
	3	14	13.5	7.5	430	60	1	1.67
新疆杨 <i>P. alba</i> var. <i>pyramidalis</i>	4	12	11.2	7.1	332	232	35	15.09
	5	12	10.7	8.7	192	166	47	28.31
	6	12	13.9	12.5	303	192	70	36.46

北抗杨样本上共检出407个产卵刻槽,但仅检出直立虫道17个,蛹室11个,最终只有1个形成了羽化孔,其余10个蛹室中检出,成虫残体1头,蛹残体4头,死亡而未腐烂的幼虫(浅蜡黄色、略有皱缩)2头、腐烂的幼虫(蛹室壁及木屑被油脂状侵染)3头。说明在北抗杨上大部分天牛卵孵化、取食形成层和韧皮部后很难继续发育,小幼虫很快死亡,这个结果与胡建军等(1998)对美洲黑杨杂交后代抗虫性的研究结果一致。北抗杨木质部成分虽然能够满足大幼虫体质量增长的需要,大幼虫能够发育为老熟幼虫,老熟幼虫也具有营造蛹室的行为,但绝大多数老熟幼虫处于不健康的状态,难以完成化蛹、羽化和出孔的全过程。由于北抗杨上的光肩星天牛羽化出孔是小概率事件,很难对这极少数的成虫跟

踪调查其是否具有正常的迁徙、补充营养和繁殖的能力。

新疆杨样本上共检出产卵刻槽590个,蛹室156个,其中:152个蛹室形成羽化孔,4个仅有蛹室无羽化孔;在4个无羽化孔的蛹室内检出腐烂幼虫1头、蛹1头、成虫残体2头。说明新疆杨木质部营养能够较好地满足光肩星天牛幼虫到成虫各个阶段的需求。

2.3 北抗杨、新疆杨纯林中的光肩星天牛虫口演进

疫区扩大试验中新疆杨和北抗杨各600个样株的虫情调查数据见表2。

从2个树种的受害孔累积数来看,新疆杨受害孔数略少于北抗杨,表明新疆杨对光肩星天牛成虫产卵具有较强的选择抗性,但是差异未达到显著水

平 [$t = 0.623$ $0 < t_{0.05} = 2.776$ ($df = 4$)]。

北抗杨上羽化率极低,虫口密度基本由周围疫区传入的成虫产卵维持,虫口密度很低,且年度间羽化出的成虫数量差异不显著 [$t = 0.447$ $2 < t_{0.05} = 2.776$ ($df = 4$)]。新疆杨上羽化率较高,虫口密度不仅由周围传入的成虫产卵维持,而且不断有本地羽化出孔的成虫参与为害,羽化出的成虫数量在逐年增大,2个年度之间羽化出的成虫数量已接近显

著水平 [$t = 2.610$ $2 < t_{0.05} = 2.776$ ($df = 4$)]。2016年2个树种上羽化出的成虫数量都很小,差异尚不显著 [$t_{2016} = 2.666$ $7 < t_{0.05} = 2.776$ ($df = 4$)] ,但到2017年,成虫数量有所增加,已表现出显著差异 [$t_{2017} = 3.137$ $9 > t_{0.05} = 2.776$ ($df = 4$)]。这一虫情演进的调查结果,在趋势上与早年在小范围试验中观察结果一致,也与解剖得到的光肩星天牛在北抗杨和新疆杨上的发育特点一致。

表2 疫区纯林幼林期光肩星天牛的受害孔数和羽化孔数

Tab. 2 Numbers of infected holes and emerging holes on the young host trees at *A. glabriennis* infected stands

树种 Tree species	地点 Place	2016年受害孔累积数 Total number of infected holes in 2016	羽化孔数 Total number of emerging holes	
			2016	2017
北抗杨 <i>P. deltoides</i> cl. Beikang	I	1 089	2	2
	II	886	0	1
	III	421	2	2
新疆杨 <i>P. alba</i> var. <i>pyramidalis</i>	I	558	4	19
	II	920	4	10
	III	467	2	8

3 讨论

自北美洲发现光肩星天牛传入和危害以来,美国和加拿大的学者就光肩星天牛对不同树种的选择性进行了一些研究,但以北美主栽的槭树属(*Acer*)树种为主,并且多数参考中国同行的研究结果(Morewood *et al.*, 2004; Haack *et al.*, 2006),对光肩星天牛行为、繁殖和寿命的研究虽然较为细致(Morewood *et al.*, 2004; Keena, 2002),但我国西北地区槭树属树种栽培不多,国外研究结果对我国西北地区的树种选择参考价值不大。

一般认为,树种对光肩星天牛的选择抗性和发育抗性是一致的,本研究不支持该观点:新疆杨选择抗性较好,发育抗性很弱;北抗杨选择抗性较弱,发育抗性很好。

新疆杨树皮对光肩星天牛成虫产卵具有选择抗性,小幼虫在新疆杨上也很少取食皮层,新疆杨树皮可能存在何种忌避物质、是否具有开发利用的价值值得进一步研究。

在致伤条件下酚类物质增多是北抗杨等美洲黑杨抗虫性的主要机制,但酚类物质产生的机制、是否还有其他发育抗性的物质等问题需今后作进一步研究,但发育抗性的存在为今后杨树抗光肩星天牛育种提供了一条途径。

北抗杨选择抗性较弱、发育抗性很好,与“诱杀树种”的概念相近。本研究是在虫口密度很大的疫

区开展的,尽管北抗杨确实灭杀了大量光肩星天牛卵和幼虫,分担了其他树种的虫口压力,客观上具有缓减虫害发生进程的作用,但未能起到保护新疆杨不成灾的作用。原因可能是虫口密度过大、北抗杨数量不足,以及新疆杨和北抗杨呈独立的群团布置、光肩星天牛成虫迁飞性不强造成的。今后可开展近距离混交试验,并在初期适当控制虫口密度,探索利用北抗杨诱杀功能防治混交林虫害的具体方法。

4 结论

新疆杨的抗性表现在2个方面:一是树皮对光肩星天牛成虫产卵的选择抗性比感虫树种强,在感虫树种或诱饵树存在、虫口密度不大时成虫很少在新疆杨上产卵,但当虫口密度发展到一定程度时选择抗性失效;二是小幼虫很少取食形成层和韧皮部,多数直接取食木质部完成后续生活史,树皮伤痕小,新生木质部维持了管状结构、力学性能稳定,具有较好的耐害性。但由于新疆杨木质部营养能够较好地满足光肩星天牛从小幼虫到成虫羽化出孔各个阶段的需求,羽化率高,在无人为干预的情况下虫口密度累进增大,纯林抗性不能持久,受害多年后出现枯梢,木质部虫道密布,木材只能破碎为低价值的纤维或作燃料利用。

北抗杨的抗性表现为皮层和木质部营养对光肩星天牛从小幼虫到成虫羽化出孔各个阶段都存在很强的发育抗性,成虫羽化率极低,虫口密度主要靠外

界成虫迁入维持,纯林抗性持久稳定。北抗杨在无人为干预的情况下被害木木质部内虫道很少见,木材尚可做板材、方木或旋切芯板利用。若以高品质旋切面板为培育目标,则需要对林地周围的天牛虫源进行清理或控制。

北抗杨6个优选无性系之间对光肩星天牛抗性未发现明显差异,均极少出现羽化孔。造林应用时可根据性别、干形和速生性的需求选择不同无性系。比如,以快速绿化为目标,可选用速生性最好的16-27无性系(即北抗杨1号,雄性);农田防护林可选干形好、高生长最大的16-4无性系(雌性);兼顾干形和不飞絮,可选16-8无性系(雄性)。

参 考 文 献

- 宝山,李丰,李忠,等.1999.几种杨树对光肩星天牛的抗性研究.北京林业大学学报,21(4):97-100.
- (Bao S, Li F, Li Z, et al. 1999. The resistance of fourteen poplar species to *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Journal of Beijing Forestry University, 21(4):97-100. [in Chinese])
- 蔡成,马晖,曹川健,等.1999.树种对光肩星天牛早期抗性鉴定方法的初步研究.北京林业大学学报,21(7):37-42.
- (Cai Y C, Ma H, Cao C J, et al. 1999. Early stage identifying method about different tree species resistance to *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Journal of Beijing Forestry University, 21(7):37-42. [in Chinese])
- 房建军,韩一凡,胡建军,等.2002.美洲黑杨回交群体生长量与酚类次生代谢产物含量的变异.林业科学,38(4):40-45.
- (Fang J J, Han Y F, Hu J J, et al. 2002. Variation for phenolic glycosides and growth of a *Populus deltoides* back-cross population. Scientia Silvae Sinicae, 38(4):40-45. [in Chinese])
- 胡建军.2002.美洲黑杨叶面积、生长量、酚类物质及抗虫性状基因定位.北京林业大学博士论文,1-119.
- (Hu J J. 2002. QTL mapping for leaf area, growth, phenolic compounds and borer resistance in *Populus deltoides*. PhD thesis of Beijing Forestry University, 1-119. [in Chinese])
- 胡建军,赵自成,苗世龙,等.1998.杨树人工接虫方法的研究.林业科学,31(2):185-187.
- (Wang X M, Liu W, Zhang Z. 1987. The resistance of the poplar species to the harmful effect of *A. nobilis* G. Scientia Silvae Sinicae, 23(1): 95-99. [in Chinese])
- 温俊宝,吴斌,骆有庆,等.2006.多树种合理配置抗御光肩星天牛灾害控灾阈值的研究.北京林业大学学报,28(3):123-127.
- (Wen J B, Wu B, Luo Y Q, et al. 2006. Disaster-resistant threshold to *Anoplophora glabripennis* by reasonable allocation of varied tree species. Journal of Beijing Forestry University, 28(3): 123-127. [in Chinese])
- 吴斌,温俊宝,骆有庆,等.2006.多树种合理配置抗御光肩星天牛灾害的效益评估及决策.北京林业大学学报,28(3):128-132.
- (Wu B, Wen J B, Luo Y Q, et al. 2006. Decision-making and integrated benefit evaluation of resistance to *Anoplophora glabripennis* disaster by reasonable allocation with different tree species. Journal
- (Qin X X, Gao R T, Li J Z, et al. 1985. Preliminary investigation on the resistance of different clones of poplars to *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Scientia Silvae Sinicae, 21 (3): 310-314. [in Chinese])
- 秦锡祥,高瑞桐,李吉震,等.1996.以杨树抗虫品种为主综合防治光肩星天牛技术的研究.林业科学,9(2):202-205.
- (Qin X X, Gao R T, Li J Z, et al. 1996. Study on technology of integrated measures to control *Anoplophora glabripennis* by means of selecting insect-resistant poplar species. Forest Research, 9(2): 202-205. [in Chinese])
- 曲涛,邱立新,曹川健,等.2011. LY/T 1961—2011 光肩星天牛防治技术规程.北京:中国标准出版社.
- (Qu T, Qiu L X, Cao C J, et al. 2011. Technical regulation for controlling *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) (LY/T 1961-2011). Beijing: China Standard Press. [in Chinese])
- 田润民,于静波,赵卫东.2003.沙枣树对光肩星天牛种群诱控功能的初步研究.内蒙古林业科技, (4):23-25.
- (Tian R M, Yu J B, Zhao W D. 2003. On the function of *Elaeagnus angustifolia* L. to induce and control *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Inner Mongolia Forestry Science & Technology, (4): 23-25. [in Chinese])
- 王建园,秦锡祥,韩一凡.1992.杨树抗云斑天牛新品种的选育.林业科学,28(2):170-174.
- (Wang J Y, Qin X X, Han Y F. 1992. Poplar breeding for resistance to *Batocera horsfieldi* (HOPE). Scientia Silvae Sinicae, 28 (2): 170-174. [in Chinese])
- 王蕤,巨关升,秦锡祥.1995.毛白杨树皮内含物对光肩星天牛抗性的探讨.林业科学,31(2):185-187.
- (Wang R, Ju G S, Qin X X. 1995. Study on the chemicals in bark of *Populus tomentosa* Carr. resistant to *Anoplophora glabripennis* Motsh. Scientia Silvae Sinicae, 31(2):185-187. [in Chinese])
- 王希蒙,吕文,张真.1987.杨树对光肩星天牛抗性的初步研究.林业科学,23(1):95-99
- (Wang X M, Liu W, Zhang Z. 1987. The resistance of the poplar species to the harmful effect of *A. nobilis* G. Scientia Silvae Sinicae, 23(1): 95-99. [in Chinese])
- 秦锡祥,高瑞桐,李吉震,等.1985.不同杨树品种对光肩星天牛抗虫性的调查研究.林业科学,21(3):310-314.

- of Beijing Forestry University, 28(3): 128. [in Chinese])
- 阎凌杰, 阎晔辉. 1999. 光肩星天牛生态控制模式的研究. 河北农业大学学报, 22(4): 83-87.
- (Yan J J, Yan Y H. 1999. The study on the model of ecological control of long-horned beetle. Journal of Agricultural University of Hebei, 22(4): 83-87.)
- 杨雪彦, 燕新华, 周嘉熹. 1991. 杨树对光肩星天牛的抗性研究. 西北林学院学报, 6(2): 30-37.
- (Yang X Y, Yan X H, Zhou J X. 1991. Resistance of *Populus* spp. to *Anoplophora nobilis* Ganglbauer. Journal of Northwest Forestry College, 6(2): 30-37. [in Chinese])
- 张克斌, 周嘉熹. 1984. 抗黄斑星天牛的树种及其机制的研究初报. 西北农学院学报, (3): 87-92.
- (Zhang K B, Zhou J X. 1984. A preliminary report on the species resistant to *Anoplophora nobilis* Ganglbauer and their mechanism. Journal of Northwest A & F University, (3): 87-92. [in Chinese])
- 张星耀, 骆有庆. 2003. 中国森林重大生物灾害. 北京: 中国林业出版社, 30-55.
- (Zhang X Y, Luo Y Q. 2003. Major forest diseases and insect pests in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 30-55. [in Chinese])
- 周章义, 刘文蔚, 刘志柏. 1994. 高抗光肩星天牛的杨树优良品种. 北京林业大学学报, 16(1): 28-34.
- (Zhou Z Y, Liu W W, Liu Z B. 1994. The improved varieties of poplar with high resistance to *Anoplophora glabripennis*. Journal of Beijing Forestry University, 16(1): 28-34. [in Chinese])
- Haack R A, Bauer L S, Gao R T, et al. 2006. *Anoplophora glabripennis* within-tree distribution, seasonal development, and host suitability in China and Chicago. The Great Lakes Entomologist, 39(3/4): 169-183.
- Haack R A, Hérad F, Sun J H, et al. 2010. Managing invasive populations of Asian Longhorned Beetle and Citrus Longhorned Beetle: a worldwide perspective. Annual Review of Entomology, 55: 521-546.
- Keena M A. 2002. *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) fecundity and longevity under laboratory conditions: comparison of populations from New York and Illinois on *Acer saccharum*. Environmental Entomology, 31(3): 490-498.
- Morewood W D, Neiner P R, Sellmer J C, et al. 2004. Behavior of adult *Anoplophora glabripennis* on different tree species under greenhouse conditions. Journal of Insect Behavior, 17(2): 215-226.

(责任编辑 朱乾坤)