

文章编号:1001-1498(2016)02-0183-08

10~11年生杨树品系抗杨干象水平及其与树干物理特性的关系

曹庆杰¹, 迟德富^{1*}, 宇佳¹, 冉亚丽², 阎石²

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 森林病虫害防治检疫站, 辽宁 北票 122100)

摘要: [目的] 开展不同品系的杨树亲本来源、干部物理特性与抗性关系研究, 为抗杨干象新品系的选育奠定一定基础。 [方法] 本研究连续2年研究了10个亲本51个不同杨树品系10~11年生杨树的被害株率、杨干象虫口密度与杨树木质部硬度、树皮硬度、树皮厚度、胸径等的关系。 [结果] 免疫品系、高抗虫品系、抗虫品系、感虫品系和高感虫品系木质部平均硬度分别为(47.38 ± 1.71) HD、(46.07 ± 1.17) HD、(44.64 ± 1.61) HD、(41.84 ± 1.66) HD、(40.73 ± 2.04) HD; 树皮平均硬度分别为(40 ± 3.53) HD、(39.99 ± 0.96) HD、(37.63 ± 0.46) HD、(32.35 ± 1.54) HD、(31.7 ± 0.52) HD; 平均胸径分别为(361.64 ± 13.8) mm、(313.8 ± 6.19) mm、(309.98 ± 5.27) mm、(289.56 ± 10.73) mm、(287.67 ± 17.49) mm, 亲本为美洲黑杨 × 青杨、马氏杨、美洲黑杨 × 马氏杨、小叶杨 × 胡杨的品系为抗虫品系; 亲本欧洲黑杨 × 美洲黑杨、欧洲黑杨 × 小叶杨、美洲黑杨的多数品系为感虫品系。 [结论] 杨树木质部硬度与树皮硬度越大抗杨干象能力越强; 胸径生长相对较快的品系抗性强; 青杨、马氏杨、小叶杨为亲本抗虫性强, 美洲黑杨、欧洲黑杨为亲本抗虫性差。在抗杨干象品系育种工作中应选择青杨、小青杨或甜杨做为亲本; 避免以美洲黑杨或欧洲黑杨为亲本。

关键词: 杨树; 木质部硬度; 胸径; 亲本; 抗性

中图分类号: S792.119

文献标识码: A

Relationship Between Resistance Level of 10- and 11-Year-Old Poplar Strains to *Cryptorrhynchus lapathi* L. (Coleoptera: Curculionidae). and the Physical Properties of Poplar Trunk

CAO Qing-jie¹, CHI De-fu¹, YU Jia¹, RANG Ya-li², YAN Shi²

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China;

2. Forest Pest Control and Quarantine Station, Beipiao 122100, Liaoning, China)

Abstract: [Objective] To establish basis for breeding new poplar strains resisting to Osier weevil (*Cryptorrhynchus lapathi*), and to find out the relationship between the resistance level of poplar strains to Osier weevil and the physical properties of poplar trunks. [Method] The population density of Osier weevil on different poplar strains, the percentage of infested poplar strains, as well as the hardness of xylem and bark, thickness of bark, diameter at breast height (DBH), the parental origins of fifty one 10- to 11-year-old poplar strains were studied. [Result] The results showed that the average xylem hardness of strains immune to Osier weevil, the highly resistant strains, the resistant strains, the susceptible and the highly susceptible strains were (47.38 ± 1.71) HD, (46.07 ± 1.17)

收稿日期: 2015-06-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD19B07-04)

作者简介: 曹庆杰, 博士。主要研究方向: 森林害虫防治。E-mail: 767635662@qq.com 地址: 黑龙江省哈尔滨市香坊区和兴路26号东北林业大学林学院。

* 通讯作者: 博士, 教授。主要研究方向: 森林害虫防治。E-mail: chidefu@126.com 地址: 黑龙江省哈尔滨市香坊区和兴路26号东北林业大学林学院。

HD, (44.64 ± 1.61) HD, (41.84 ± 1.66) HD, and (40.73 ± 2.04) HD, respectively. The average bark hardness of strains immune to Osier weevil, the highly resistant strains, the resistant strains, the susceptible and the highly susceptible strains were (40 ± 3.53) HD, (39.99 ± 0.96) HD, (37.63 ± 0.46) HD, (32.35 ± 1.54) HD, and (31.7 ± 0.52) HD, respectively. The average DBH of strains immune to Osier weevil, the highly resistant strains, the resistant strains, the susceptible and the highly susceptible strains were (361.64 ± 13.8) mm, (313.8 ± 6.19) mm, (309.98 ± 5.27) mm, (289.56 ± 10.73) mm, and (287.67 ± 17.49) mm, respectively. Most of the *Populus deltoides* × *P. cathayana*, *P. deltoides* × *P. maximowiczii*, and *P. deltoides* × *P. suaveolens* strains were resistant to Osier weevil, Most of the *P. nigra* × *P. deltoides*, *P. nigra* × *P. simonii* and *P. deltoides* strains were susceptible. [Conclusion] The harder the bark and xylem hardness of poplar strains, the higher their resistance level to Osier weevil. When the DBH is larger, its resistant ability might be higher. *P. cathayana*, *P. simonii* and *P. maximowiczii* strains were resistant to Osier weevil, while *P. nigra* and *P. deltoides* strains were susceptible. In the breeding of highly resistant strains to Osier weevil, *P. cathayana*, *P. simonii* and *P. maximowiczii* could be chosen as the parents, and *P. deltoides*, and *P. nigra* should not be chosen.

Keywords: Poplar; xylem hardness; diameter at breast height (DBH); biological parent; insect resistance

杨干象 (*Cryptorrhynchus lapathi* L.) (Coleoptera: Curculionidae) 是杨树重要的蛀干害虫, 曾在 1984、1996、2005 年 3 次被列为全国林业检疫性有害生物^[1], 一直受到国家相关部门的高度关注。杨干象生活隐蔽, 多数虫态不易被发现, 幼虫期和蛹期都在树皮或木质部中, 防治难度大^[2-3]。造林面积的不断扩大大, 杨干象危害也逐渐增加。就目前来讲, 在林业生产上对于杨干象的防治手段仍然以传统的化学防治为主^[4-7]。抗性品种选育是国内外广泛采用的森林有害生物防治途径之一^[8-11]。Broberg 研究表明不同的杨树无性系受杨干象的危害程度不同^[12], Broberg 提出辽杨 (*Populus maximowiczii* A. Henry) 有抗虫性^[13]。Singh 发现美洲黑杨 45 (*P. deltoides* Pollen) 抗虫性差^[14]。王树文调查分析青杨 (*P. cathayana* Rehder)、北京杨 (*P. nigra* var. *italica* × *cathayana* Moench)、小青杨 (*P. pseudo-simonii* Kitag) × 加杨 (*P. pseudo-simonii* × *P. Canadensis* Guinier) 等对杨干象有抗虫性^[15]。高瑞桐^[16] 等人发现对杨干象抗性强的品种有青杨、北京杨、小叶杨 (*P. Simonii* Carrière) 等。李亚杰^[17] 报道小青杨对杨干象有抗虫性作用。谢伟等^[18] 认为美洲黑杨对杨干象抗性差, 马氏杨 (*P. Maximowiczii* A. Henry) 等青杨派对杨干象具有抗性, Liu^[19] 等发现马氏杨 CV-2 (*P. maximowiczii* CV-2) 对杨干象幼虫有抗性。但迄今为止, 关于杨树品系对杨干象抗性水平的关系尚缺乏系统研究。为了更全面系统地评价杨树品系对杨干象的感虫 (或抗虫) 程度, 推动抗杨干象新品系的培育利用, 本文研究了杨树的品系、亲本来

源、木质部和树皮的物理特征与对杨干象抗性水平的关系。

1 材料与方法

1.1 样地概况

研究样地选择在辽西北高效商品林试验示范基地, 位于黑山县新兴镇, 占地面积 200 hm², 属半湿润大陆性季风气候区。杨树种质资源保存圃年均气温 8.4℃, 有效积温 3 397.7 ~ 3 830.2℃, 年均降水量 608.9 mm, 无霜期 180 ~ 238 d。主要营建平欧大果榛子和杨树示范林及试验林, 并开展培训和品种推广等工作。其中, 栽植杨树示范林和试验林 43.33 hm²。为 2002 年秋季采用两根一干杨树苗营造的杨树品系 (或无性系), 共 10 个亲本类型 51 个不同杨树品系。株行距为 4 × 8 m, 共 51 个处理, 每个处理 8 个重复。

1.2 供试杨树品种

共 51 个品系, 均为由不同品种杂交获得的品系, 由某一品种育成的无性系。

1.3 研究方法

1.3.1 危害情况调查 2012 年 6 - 7 月对 10 a 生各品系进行调查, 2013 年 6 - 7 月对同一片样地再次进行调查, 此时该林分已为 11 a 生幼树。每年每个品系调查 8 株, 调查内容包括胸径、是否被害、虫口密度等。胸径采用游标卡尺逐株测量。通过检查杨干象幼虫在树干留下的排粪孔数量, 及留在排粪孔处的新鲜排泄物, 判断树干中的幼虫数量。

1.3.2 木质部硬度测定 按照调查的每个品系中

每株树的先后顺序,选择第2、4、6株树进行取样,每个品系共取3株,在各株树距地面1.4 m处用刀去掉3×3 cm大小的韧皮部,采用SHORE硬度计(D型,乐清市艾德堡仪器有限公司)直接对其木质部(边材)进行硬度测定。

1.3.3 树皮硬度测定 标准株设置、取样数量及测定高度同1.3.2。选择比较光滑平整的部位,采用SHORE硬度计直接对韧皮部进行硬度测定。

1.3.4 树皮厚度测定 标准株设置、取样数量及测定高度同1.3.2。用内径为4 mm的生长锥在各树1.4 m处,比较光滑平整的部位取样,去掉木质部,用游标卡尺测量韧皮部厚度。

1.4 杨树抗虫害等级划分

参照《林业有害生物发生及成灾标准》(LY/T 1681-2006)和《主要林业有害生物成灾标准》(2012年2月10日国家林业局发布),结合本研究的具体情况,拟定杨树受杨干象危害评价指标,将杨树对杨干象的抗性水平分成以下5级:

高度感虫(HS)品系:被害株率 $\geq 40\%$,平均虫口密度 ≥ 10 头/株。

感虫(S)品系:被害株率 $\geq 40\%$,平均虫口密度 < 10 头/株。

抗虫(R)品系: $20\% \leq$ 被害株率 $< 40\%$,虫口密度 ≥ 3 头/株。或被害株率 $< 20\%$,虫口密度 ≥ 5 头/株。

高度抗虫(HR)品系: $20\% \leq$ 被害株率 $< 40\%$,虫口密度 < 3 头/株。或 $0 <$ 被害株率 $< 20\%$ 。

免疫(VR)品系:被害株率和虫口密度都为0。

1.5 数据分析

用SPSS19.0统计软件对调查测定数据进行平均值及标准差计算和单因素方差分析,在单因素方差分析中使用Tukey检验,检验其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同杨树品系杨干象危害情况

在所研究的样地中,连续2年对不同杨树品系的调查情况与不同杨树品系对杨干象抗性等级划分见表1。在同一亲本类型内不同品系的抗性分析中,亲本为美洲黑杨×马氏杨共21个品系,免疫品系占14个品系、高抗品系与感虫品系各占3个品系、高感品系占1个品系,可以认为具有抗虫性;亲本为欧洲黑杨×美洲黑杨共10个品系,免疫品系占2个品系、高抗品系与抗虫品系各占1个品系、感虫

品系与高感品系占3个品系,可以认为不具有抗虫性;亲本为小叶杨×胡杨共4个品系,免疫品系占3个品系,抗虫品系占1个品系,可以认为具有抗虫性;亲本为欧洲黑杨共4个品系,高抗品系、抗虫品系、感虫品系与高感品系各占1个品系,暂时不好确定其抗虫性;亲本为美洲黑杨共4个品系,免疫品系占1个品系、感虫品系占3个品系,可以认为不具有抗虫性;亲本为欧黑×小叶杨共2个品系,感虫品系与高感品系各占1个品系,可以认为不具有抗虫性;亲本为马氏杨共2个品系,免疫品系与抗虫品系各占一个,可以认为具有抗虫性;亲本为美洲黑杨×青杨共2个品系,均为免疫品系,可以认为具有抗虫性;亲本为美洲黑杨×小叶杨、欧黑×青杨的品系各有1个品系分别属于免疫品系与抗虫品系,暂时不好确定其抗虫性。所以在不同亲本类型之间初步判断亲本为美洲黑杨×马氏杨、美洲黑杨×青杨、马氏杨、小叶杨×胡杨的品系比亲本为欧洲黑杨×美洲黑杨、欧洲黑杨×小叶杨、美洲黑杨的品系具有抗虫性。

2.2 不同抗级杨树品系树干物理特性及胸径的比较

首先探索了不同抗级的10~11年生杨树在树皮硬度、木质部硬度、树皮厚度以及胸径等指标的差异显著性。从10年生与11年生杨树品系之间树干物理特性及胸径之间差异分析(见表2)可以看出:10~11年生杨树在木质部硬度、树皮硬度、树皮厚度等指标的平均数上差异不显著,而胸径在免疫品系、高抗虫品系、抗虫品系间差异极显著,感虫品系间差异显著、高感虫品系间差异不显著。因此在后续的分析中,将10~11年生杨树的木质部硬度、树皮硬度及厚度等指标综合起来进行统计分析,而把10~11年生杨树的胸径分别单独统计后再进行综合分析。现将不同杨树抗性水平与树皮硬度及厚度、木质部硬度、胸径的关系分别进行分析如下。

2.2.1 不同杨树抗性水平与树皮硬度及厚度的关系 杨树抗性水平与树皮硬度及厚度的关系与差异显著性分析结果见表3、4。免疫品系树皮硬度与高抗品系及抗虫品系树皮硬度差异不显著;免疫品系树皮硬度与感虫品系及高感品系树皮硬度差异极显著。高抗品系树皮硬度与抗虫品系树皮硬度差异不显著;高抗品系树皮硬度与感虫品系及高感品系树皮硬度差异极显著。抗虫品系树皮硬度与感虫品系及高感品系树皮硬度差异极显著。感虫品系树皮硬度与高感品系树皮硬度差异不显著。

表1 不同杨树品系受杨干象危害状况及抗性水平

亲本类型	拉丁名	品系	10年生			11年生		
			被害株率/%	虫口密度/(头·株 ⁻¹)	抗级	被害株率/%	虫口密度/(头·株 ⁻¹)	抗级
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-102	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	DM-9-18	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-65	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-2	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-66	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-14	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-25	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-22	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-8	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DN-9-16	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-17	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-24	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-6	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-61	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	MD-19	25%	2.5 ± 0.7	HR	25%	2.5 ± 0.7	HR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-10	37.50%	2.67 ± 0.57	HR	37.50%	2.67 ± 0.57	HR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-26	25.00%	2.67 ± 0.58	HR	25.00%	2.67 ± 0.58	HR
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-3	71.42%	5.67 ± 0.58	S	85.71%	6.33 ± 0.58	S
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-64	50.00%	3.33 ± 0.58	S	62.50%	3.67 ± 0.58	S
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-1	75.00%	4.5 ± 0.7	S	87.50%	5 ± 1	S
美洲黑杨×马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-46	100.00%	12.33 ± 2.52	HS	100.00%	13.67 ± 1.55	HS
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	802	0%	0	VR	0%	0	VR
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	M1	0%	0	VR	0%	0	VR
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	W141	37.50%	3.67 ± 0.58	R	37.50%	4.33 ± 0.58	R
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	T26	50.00%	3.33 ± 1.53	S	62.50%	4.3 ± 1.54	S
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	T66	50.00%	3 ± 1.73	S	50.00%	4.67 ± 0.58	S
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	110杨	62.50%	8.3 ± 1.53	S	75.00%	9 ± 1	S
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	L35	87.00%	14.3 ± 1.15	HS	87.00%	15.3 ± 0.58	HS
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	M4	100.00%	12.33 ± 1.53	HS	100.00%	14 ± 2	HS
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	DN113	25.00%	1.3 ± 0.58	HR	25.00%	1.67 ± 0.58	HR
欧洲黑杨×美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	M8	100.00%	11.3 ± 0.58	HS	100.00%	12.67 ± 2.08	HS
小叶杨×胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡23	0%	0	VR	0%	0	VR
小叶杨×胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡19	0%	0	VR	0%	0	VR
小叶杨×胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡8	0%	0	VR	0%	0	VR
小叶杨×胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡12	25.00%	11 ± 1.41	R	25.00%	11.5 ± 0.71	R
美洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	9202	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	NO24	62.50%	5.33 ± 0.58	S	62.50%	6 ± 1	S
美洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	51#	100.00%	8.33 ± 1.53	S	100.00%	9.67 ± 1.53	S
美洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	DD-109	100.00%	8.33 ± 1.53	S	100.00%	10.33 ± 0.58	S
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N4	28.57%	2.5 ± 0.7	HR	28.57%	2.5 ± 0.7	HR
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N2	25.00%	4.67 ± 2.89	R	25.00%	5.67 ± 2.52	R
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N9	75.00%	11.33 ± 3.05	HS	87.50%	12 ± 2	HS
欧黑×小叶杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. simonii</i>	通林5号	100.00%	12.67 ± 2.52	HS	100.00%	13.67 ± 1.55	HS
欧黑×小叶杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. simonii</i>	白城5号	50.00%	4.33 ± 0.58	S	50.00%	5 ± 1	S
马氏杨	<i>P. maximowiczii</i>	CA-16	0%	0	VR	0%	0	VR
马氏杨	<i>P. deltoides</i>	LB2	25.00%	3.33 ± 1.53	R	25.00%	4.3 ± 1.15	R
美洲黑杨×青杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. cathayana</i>	鲁×青	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×青杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. cathayana</i>	中绥12	0%	0	VR	0%	0	VR
美洲黑杨×小叶杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. simonii</i>	98-62-45	0%	0	VR	0%	0	VR
欧黑×青杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. cathayana</i>	欧阳×青7	25.00%	4 ± 1.41	R	25.00%	4.5 ± 0.71	R
欧洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	N60	87.50%	2.67 ± 1.15	S	87.50%	3.33 ± 1.55	S

注:VR、HR、R、S、HS 分别表示免疫品系、高抗品系、抗虫品系、感虫品系和高感品系,下同。

表2 不同抗级10年生与11年生杨树品系之间干部物理特性及胸径之间的差异显著性

抗级	木质部硬度/HD		树皮厚度/mm		树皮硬度/HD		胸径/mm	
	P值	显著性	P值	显著性	P值	显著性	P值	显著性
VR	0.477	ns	1	ns	0.681	ns	0	**
HR	0.66	ns	0.474	ns	0.769	ns	0.004	**
R	0.796	ns	0.711	ns	0.392	ns	0.003	**
S	0.73	ns	0.925	ns	0.7	ns	0.017	*
HS	1	ns	0.194	ns	0.298	ns	0.107	ns

表中**为不同抗级间相比差异极显著($P < 0.01$), *为不同抗级间相比差异显著($P < 0.05$), ns为差异不显著,下同。

2.2.2 不同杨树抗性水平与木质部硬度关系 杨树抗性水平与木质部硬度的关系研究结果与差异显著性分析结果见表3、4。免疫品系木质部硬度与高抗虫品系木质部硬度差异不显著;免疫品系木质部硬度与抗虫品系木质部硬度差异显著;免疫品系木质部硬度与感虫品系及高感虫品系木质部硬度差异极显著。高抗虫品系木质部硬度与抗虫品系木质部硬度差异不显著;高抗虫品系木质部硬度与高感虫品系及感虫品系木质部硬度差异极显著。抗虫品系木质部硬度与感虫品系木质部硬度差异显著;抗虫品系木质部硬度与高感虫品系木质部硬度差异极显著。感虫品系木质部硬度与高感虫品系木质部硬度差异不显著。

与2~3年生杨树抗性水平与木质部硬度关系^[20]得到的结论一致。不同抗级杨树木质部硬度随着抗级的减弱而变小,说明杨树品系受杨干象危害程度与杨树木质部硬度有关,杨树木质部硬度越大杨树品系抗杨干象能力越强,反之则弱。

2.2.3 不同杨树抗性水平与胸径关系 杨树抗性水平与胸径的关系与差异显著性分析结果见表3、4。免疫品系胸径与高抗虫品系、抗虫品系、感虫品系及高感虫品系胸径差异极显著;高抗虫品系胸径与抗虫品系胸径差异不显著;高抗虫品系胸径与感虫品系胸径差异极显著,高抗虫品系胸径与高感虫品系胸径差异显著;抗虫品系胸径与感虫品系及高感虫品系胸径差异显著;感虫品系胸径与高感虫品系胸径差异不显著。

与2~3年生杨树抗性水平与胸径关系^[20]得到的结论恰好相反。不同抗级杨树胸径随着抗级的减弱而变小,说明杨树品系受杨干象危害程度与杨树胸径有关,杨树经杨干象危害后,生长速度变慢、胸径变小的杨树品系抗杨干象能力越弱,反之则弱。

2.3 杨树抗性水平与亲本关系综合分析

将10~11年生各杨树品系,根据其亲本来源归类后,将分布在各抗级中的品系数量列入表5,来综合分析杨树抗性水平与亲本关系。

亲本为美洲黑杨×青杨的共有2个品系,全部归属于免疫品系,占100%,可以认为亲本为美洲黑杨×青杨的品系为抗虫品系。

亲本为欧洲黑杨×小叶杨的共有2个品系,分别归属于感虫品系、高感品系,可以认为亲本为欧洲黑杨×小叶杨的杨树品系为感虫品系。

亲本为马氏杨有2个品系分布在2个抗级水平中,分别归属于免疫品系、抗虫品系,可以认为亲本为美洲黑杨的品系为抗虫品系。

亲本为欧洲黑杨×美洲黑杨10个品系分属于5个抗级水平,免疫品系占20%、抗虫品系占10%、抗虫品系占10%、感虫品系占30%、高感虫品系占30%,感虫品系与高感虫品系共占60%,可以认为亲本为欧洲黑杨×美洲黑杨的多数品系属于易感虫品系。

亲本为美洲黑杨的共有2个品系,免疫品系占25%、感虫品系占75%,可以认为亲本为马氏杨的杨树品系为感虫品系。

亲本为美洲黑杨×马氏杨共4个品系分布在4个抗级水平:免疫品系占66.67%、高抗虫品系占14.29%;感虫品系占14.29%、高感虫品系占4.76%,可以认为亲本为美洲黑杨×马氏杨的多数品系属于抗虫品系。

亲本为小叶杨×胡杨有3个品系,免疫品系占75%、抗虫品系占25%,可以认为亲本为小叶杨×胡杨的杨树品系为抗虫品系。

亲本为欧洲黑杨有4个品系分布在4个抗级水平中,高抗品系、抗虫品系占感虫品系、高感品系各占25%,暂不好判断其抗性。

亲本为欧洲黑杨×青杨、美洲黑杨×小叶杨的各有1个品系,分别归属于抗虫品系、免疫品系,由于亲本为欧洲黑杨×青杨、美洲黑杨×小叶杨的品系数量仅有1个,暂不好判断其抗性。

综合以上认为,亲本为美洲黑杨×青杨、马氏杨、美洲黑杨×马氏杨、小叶杨×胡杨的品系为抗虫

表3 不同抗级杨树干部的物理特性及胸径情况

亲本	拉丁名	品系	木质部硬度/HD		树皮厚度/mm		树皮硬度/HD		胸径/mm		抗级
			平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	10年生	11年生	
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	L35	37.3 ± 0.24	4.85 ± 0.21	30.67 ± 0.24	268.33 ± 2.52	288.33 ± 2.52	278.33 ± 14.14	HS		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	M4	41.08 ± 0.12	4.79 ± 0.19	31.83 ± 0.24	280.67 ± 14.36	294 ± 3.61	287.33 ± 9.43	HS		
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N9	41.42 ± 0.12	4.86 ± 0.12	32.0 ± 0.24	252.67 ± 6.66	276 ± 10.54	264.3 ± 16.5	HS		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-46	39.83 ± 0.24	4.41 ± 0.05	32.03 ± 0.24	272.67 ± 5.86	287 ± 12.53	279.83 ± 10.14	HS		
美洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	M8	41.18 ± 0.35	4.37 ± 0.21	31.67 ± 0.24	303.33 ± 4.27	315 ± 1.71	309.17 ± 8.25	HS		
欧洲黑杨 × 小叶杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. simonii</i>	通林5号	43.5 ± 0.24	4.60 ± 0.08	32 ± 0.24	294 ± 11.05	320 ± 6.93	307 ± 18.38	HS		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-3	42.92 ± 0.12	1.1 ± 0	30.58 ± 0.12	299.67 ± 5.69	303.67 ± 3.21	301.67 ± 2.83	S		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-64	45.58 ± 0.12	1.35 ± 0.02	30 ± 0.24	296 ± 1	302.67 ± 5.86	299.33 ± 4.17	S		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-1	38.83 ± 0.47	1.6 ± 0.01	34.83 ± 0.47	270.33 ± 40.07	293.67 ± 8.08	282 ± 16.5	S		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	T26	42.67 ± 0.24	4.72 ± 0.07	33.25 ± 0.12	276.33 ± 15.89	297 ± 1.73	286.67 ± 14.61	S		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	T66	42.25 ± 0.12	5.27 ± 0.06	34.5 ± 0.24	273 ± 12.17	276.33 ± 11.02	274.67 ± 2.36	S		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	110杨	41.25 ± 0.12	5.81 ± 0.05	32.18 ± 0.12	283.33 ± 10.21	298 ± 1	287.17 ± 15.32	S		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. simonii</i>	白城5号	41.42 ± 0.12	1.2 ± 0.07	31.25 ± 0.12	278.33 ± 11.59	297 ± 2.56	290.17 ± 9.66	S		
马氏杨	<i>P. maximowiczii</i>	N024	41.28 ± 0.16	5.28 ± 0.1	32 ± 0.24	275.33 ± 10.02	281.67 ± 5.86	280 ± 2.36	S		
欧洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	N60	41.25 ± 0.12	4.67 ± 0.09	32.75 ± 0.12	276.33 ± 9.61	295.33 ± 0.58	285.33 ± 14.14	S		
马氏杨	<i>P. deltoides</i>	51#	40.75 ± 0.12	1.1 ± 0.03	31.25 ± 0.12	309.67 ± 7.23	296.33 ± 1.53	286.33 ± 14.14	S		
美洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	DD-109	40.75 ± 0.12	1.1 ± 0.03	31.25 ± 0.12	314 ± 8.14	314 ± 8.14	311.83 ± 3.06	S		
小叶杨 × 胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡12	41.78 ± 0.12	6.64 ± 0.01	37.08 ± 0.12	310.67 ± 5.86	324 ± 10.54	317.33 ± 9.43	R		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	W141	45 ± 0.24	6.09 ± 0.03	37.58 ± 0.12	294.67 ± 9.81	312.67 ± 3.06	303.67 ± 12.73	R		
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N2	45.42 ± 0.12	5.71 ± 0.06	37.75 ± 0.35	301.87 ± 4.37	310.87 ± 0.81	306.37 ± 6.36	R		
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N9	45.5 ± 0.24	6.57 ± 0.05	37.42 ± 0.12	301.53 ± 6.07	319.87 ± 8.82	310.7 ± 12.96	R		
欧黑 × 青杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. cathayana</i>	欧青 × 青7	45.5 ± 0.24	5.95 ± 0.2	38.3 ± 0.24	304.67 ± 10.97	319 ± 6.24	311.83 ± 10.14	R		
马氏杨	<i>P. deltoides</i>	LB2	44.08 ± 0.35	7.15 ± 0.02	40.17 ± 0.24	304.33 ± 3.06	331 ± 6	317.67 ± 18.86	HR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	MD-19	46.25 ± 0.12	7.67 ± 0.08	38.3 ± 0.71	291 ± 14	317.33 ± 8.74	304 ± 18.62	HR		
欧洲黑杨	<i>P. nigra</i>	N4	46.5 ± 0.24	7.26 ± 0.05	40.5 ± 0.47	309.33 ± 9.07	319.67 ± 1.53	314.5 ± 7.31	HR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-10	47.17 ± 0.24	7.13 ± 0.07	40.13 ± 0.52	304 ± 4.36	320.67 ± 1.53	312.3 ± 11.79	HR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-26	46.35 ± 0.26	8.0 ± 0.19	40.8 ± 0.19	313.67 ± 11.59	327 ± 1	320.3 ± 9.43	HR		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	DN113	46.75 ± 0.12	15.52 ± 0.04	43.58 ± 0.35	362.67 ± 110.69	379.33 ± 4.93	371 ± 11.79	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-14	48.08 ± 0.12	1.99 ± 0.05	36.08 ± 0.12	349.3 ± 5.86	379.33 ± 6.66	364.33 ± 21.21	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-25	47.75 ± 0.12	1.42 ± 0.12	36 ± 0.24	351.67 ± 5.77	378.33 ± 5.77	365 ± 18.86	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-22	47.33 ± 0.24	14.67 ± 0.05	36.92 ± 0.35	346.67 ± 8.96	376.67 ± 4.51	361.67 ± 21.21	VR		
小叶杨 × 胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡23	48.42 ± 0.12	13.43 ± 0.09	42.33 ± 0.24	347.33 ± 7.77	370.67 ± 8.39	359 ± 16.5	VR		
小叶杨 × 胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡19	48.42 ± 0.12	13.43 ± 0.09	42.33 ± 0.24	347.33 ± 7.77	370.67 ± 8.39	359 ± 16.5	VR		
欧洲黑杨 × 青杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. cathayana</i>	中绿12	48.17 ± 0.94	1.34 ± 0.05	36.67 ± 0.71	351.67 ± 4.04	378.3 ± 8.74	365 ± 18.86	VR		
欧洲黑杨	<i>P. deltoides</i>	9202	46.75 ± 0.12	1.26 ± 0.07	35.67 ± 0.24	356 ± 10.54	376 ± 10.54	366 ± 14.14	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-8	47.67 ± 0.24	11.79 ± 0.17	41.33 ± 0.24	342 ± 9.54	365 ± 11.59	353.67 ± 16.5	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DN-9-16	43.17 ± 0.24	13.65 ± 0.02	41.75 ± 0.12	348.33 ± 25.17	381.67 ± 15.28	365 ± 23.57	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-17	46.92 ± 0.12	10.78 ± 2.55	42.67 ± 0.24	351 ± 7	367.67 ± 18.77	359.33 ± 11.79	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-24	48.67 ± 0.24	12.48 ± 0.09	41.75 ± 0.35	359.67 ± 7.23	369.67 ± 5.69	364.67 ± 7.07	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-6	49.17 ± 0.12	1.23 ± 0	44.92 ± 0.35	355.67 ± 10.6	382.33 ± 7.23	369 ± 18.86	VR		
欧洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-61	48.17 ± 0.24	1.3 ± 0.01	36 ± 0.24	341 ± 4	374.33 ± 13.01	357.67 ± 23.57	VR		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	MI	47.67 ± 0.24	1.13 ± 0.02	35.67 ± 0.24	347.67 ± 8.33	371 ± 14	359.33 ± 16.5	VR		
马氏杨	<i>P. maximowiczii</i>	CA-16	46.77 ± 0.38	11.92 ± 0.24	42.52 ± 0.21	303.67 ± 12.06	312.67 ± 5.03	308.17 ± 6.36	VR		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-102	47.92 ± 0.35	15.34 ± 0.13	41.08 ± 0.59	348.67 ± 10.97	365.5 ± 17.68	357.083 ± 11.9	VR		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	DM-9-18	48 ± 0.24	1.13 ± 0.02	35.08 ± 0.12	352.33 ± 23.69	377.3 ± 15.04	364.83 ± 17.8	VR		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-65	47.75 ± 0.12	1.33 ± 0	44.17 ± 0.24	348 ± 3	371.3 ± 12.34	359.67 ± 16.5	VR		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	DM-9-2	48.58 ± 0.12	1.4 ± 0	44.3 ± 0.24	339.6 ± 14.84	362.33 ± 11.85	351 ± 16.03	VR		
美洲黑杨 × 马氏杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. maximowiczii</i>	MD-66	48.25 ± 0.59	1.5 ± 0.05	36.5 ± 0.47	345.33 ± 12.5	372 ± 7.94	358.67 ± 18.86	VR		
美洲黑杨 × 小叶杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. simonii</i>	98-62-45	47 ± 0.24	15.53 ± 0.07	34.7 ± 0.24	378 ± 8.89	395.33 ± 4.51	386.67 ± 12.26	VR		
美洲黑杨 × 青杨	<i>P. deltoides</i> × <i>P. cathayana</i>	鲁 × 青	48.83 ± 0.24	1.18 ± 0.05	36.3 ± 0.71	362.33 ± 12.06	379 ± 3.46	370.67 ± 11.79	VR		
小叶杨 × 胡杨	<i>P. simonii</i> × <i>P. eubhratica</i>	小胡8	47.83 ± 0.24	12.33 ± 0.12	41.42 ± 0.12	355 ± 10	368.33 ± 20.82	361.67 ± 9.43	VR		
欧洲黑杨 × 美洲黑杨	<i>P. nigra</i> × <i>P. deltoides</i>	802	41.5 ± 0.24	12.69 ± 0.12	42.5 ± 0.24	372 ± 6.08	388.67 ± 6.35	380.33 ± 11.79	VR		

表4 不同抗级杨树品系之间干部物理特性及胸径之间的差异显著性

抗级	木质部硬度/HD		树皮厚度/mm		树皮硬度/HD		胸径/mm	
	P值	显著性	P值	显著性	P值	显著性	P值	显著性
VR与HR	0.501	ns	1	ns	1	ns	0	**
VR与R	0.013	*	0.985	ns	0.367	ns	0	**
VR与S	0	**	0.523	ns	0	**	0	**
VR与HS	0	**	0.682	ns	0	**	0	**
HR与R	0.654	ns	0.966	ns	0.619	ns	0.989	ns
HR与S	0	**	0.846	ns	0	**	0.007	**
HR与HS	0	**	0.874	ns	0	**	0.011	*
R与S	0.024	*	0.977	ns	0.005	**	0.034	*
R与HS	0.002	**	0.979	ns	0.005	**	0.041	*
S与HS	0.55	ns	1	ns	0.988	ns	0.998	ns

表5 杨树抗性水平与亲本来源关系综合分析

亲本	各抗性等级的品系数量					小计
	VR	HR	R	S	HS	
美洲黑杨×青杨	2					2
欧洲黑杨×青杨			1			1
美洲黑杨×小叶杨	1					1
欧洲黑杨×小叶杨				1	1	2
马氏杨	1		1			2
欧洲黑杨×美洲黑杨	2	1	1	3	3	10
美洲黑杨	1			3		4
欧洲黑杨		1	1	1	1	4
美洲黑杨×马氏杨	14	3		3	1	21
小叶杨×胡杨	3		1			4
合计	24	5	5	11	6	51

品系;亲本欧洲黑杨×美洲黑杨、欧洲黑杨×小叶杨、美洲黑杨的多数品系为感虫品系。

3 讨论与结论

Broberg 研究表明不同的杨树无性系受杨干象的危害程度不同^[12]。通过对10~11年生杨树品系连续2年的研究发现,在辽宁西北杨树种质资源保存圃中栽培的不同杨树品系间受杨干象的危害差异明显,该结果与Broberg等的一致。进而发现不同杨树品系受杨干象危害程度均与木质部硬度、树皮硬度及胸径大小关系密切,与树皮厚度关系不大。

3.1 不同杨树抗性水平与亲本的关系

高瑞桐等人调查发现对杨干象抗性强的品种有青杨、小叶杨等^[16]。谢伟^[18]等人认为马氏杨等青杨派对杨干象具有抗性,美洲黑杨为亲本的多数外来品种对杨干象抗性差,Liu^[19]发现马氏杨 CV-2 对杨干象幼虫有抗性。通过本研究发现与美洲黑杨×青杨、马氏杨、美洲黑杨×马氏杨、小叶杨×胡杨的多数品系为抗虫品系。本研究的结果与谢伟、Liu 及高瑞桐先生的研究结论基本一致。即以青杨、马氏杨、小叶杨具有抗虫性。

研究发现即使是亲本来源相同的品系,由于其地理种源来源不同其被害率和虫口密度,以及抗

性水平均存在一定的差异,乃至表现出比较大的差异。以美洲黑杨为亲本的4个品系中,多数处于感虫水平,但有1个品系处于抗虫水平,亲本为美洲黑杨×马氏杨的杨树品系中,有17个表现为抗虫,但还有4个表现为感虫;亲本为欧洲黑杨、欧洲黑杨×美洲黑杨也表现出类似情况。这可能是亲本来源于不同地区,亲本基因型或生理状况出现了差异,从而导致子代表现出了个体差异所造成。在Johnson的研究中也表明亲本基因类型不同对杨干象产生的抗性不同^[9]。

谢伟等研究发现美洲黑杨为亲本的多数外来品种对杨干象抗性差^[18];欧黑12(P. Nigra cl. 12 Gmo)、辽河杨等抗虫性差^[20]。本研究由杨树抗性水平与亲本关系综合分析得出结论,亲本为欧洲黑杨×美洲黑杨、欧洲黑杨×小叶杨、美洲黑杨的多数品系为感虫品系。本结论与谢伟等人研究结果一致,即以美洲黑杨或欧洲黑杨为亲本抗虫性差。

高瑞桐等人调查发现对杨干象抗性强的品种有青杨、小叶杨等^[18]。本次研究发现以欧洲黑杨×小叶杨为亲本的品系多数为感虫品系,该结论与高瑞桐的研究结果没有冲突,并且说明以1个感虫树种做母本,以小叶杨做父本,杂交出来的子代表现出了比父本的抗性低的现象。这可能是杂交后的子代,在于抗性相关的基因组成及表达上更多地表达了母本的感虫特征。进一步验证了杨树品系亲本性状随基因类型不同而不同的观点。

3.2 不同杨树抗性水平与树皮硬度、厚度及木质部硬度的关系

李会平^[21]研究发现杨树对天牛抗性与树皮厚度有关,木质部纤维素、木质素及灰分含量越高硬度越大其抗虫性越强。本次通过对不同抗级杨树品系树皮硬度的研究发现,树皮硬度与木质部硬度越大抗虫性越强。与李研究结果一致,说明杨树木质部硬度对抗蛀干类害虫有显著影响。而本次调查中发现树皮

硬度对抗杨干象也有显著影响,这可能是由于杨树树皮硬度大时,不利于杨干象刻槽产卵或者刚孵化的杨干象幼虫啃食硬度较大的树皮与木质部时受到一些阻碍,这方面需要进一步深入研究。不同抗级杨树品系树皮厚度对其抗虫害能力影响不大,这与李研究结果恰好相反。可能是本次调查的杨树树皮与木质部厚度范围内,各品系均能提供给杨干象幼虫充足的营养,因此树皮厚度不是影响杨干象危害状况及虫口密度的关键因子。关于杨树干象物理特性与抗杨干象之间关系的研究未见相关报道,因此未能用相关研究加以认证。

3.3 不同杨树抗性水平与胸径的关系

相同树龄的杨树品系胸径的大小影响其抗虫性,胸径越小抗性越弱,胸径越大抗性越强。这可能是由于随着树龄增长杨树各物理指标与营养成分变化或由于杨树连年受杨干象危害其输导组织遭到破坏后,能输送的水分和养分都受到限制,所以出现生长速度减慢胸径生长慢胸径小的结果。在不同抗级 10 年生与 11 年生杨树品系胸径之间差异显著性比较中发现,免疫品系、高抗虫品系与抗虫品系 10 年生杨树的胸径与 11 年生杨树的胸径之间差异极显著,而感虫品系间差异不显著,即抗虫品系胸径生长速率要比感虫品系胸径生产速度率快,进一步表明 10~11 年生杨树品系胸径生长快胸径越大抗性越强。张贵学等人对 8 年生杨树品系调查发现,抗虫性强的品种如荷兰 64 杨 (*P. euramericana* cl. N3016)、中绥 12 杨 (*P. deltoides* × *P. cathayana* cl. Zhongsui 12) 等,其胸径生长量大,抗虫性弱的品种如黑林 1 号杨 [(*P. simonii* × *P. nigra*) × *P. euramericana* cv. Polsk-15A], 胸径生长量小^[22]。许庆亮等人对 7 年生杨树品系调查发现,抗虫性强的品种中荷兰 64 杨、沙兰杨 (*P. × canadensis* cv. Sacrau)、盖杨 (*P. gaixianensis*) 等胸径生长量大^[23]。本文结果与张贵学、许庆亮等的报道一致。

本研究找出了不同杨树品系受杨干象危害程度与亲本类型、木质部硬度、树皮硬度及胸径的关系。以上研究结论为选育和栽培抗杨干象能力强的品系提供了参考依据。

参考文献:

[1] 高瑞桐. 杨树害虫综合防治研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 118 - 120.

[2] Haack R A, Law K R, Mastro V C, et al. New York's battle with the Asian long-horned Beetle [J]. Journal of Forestry, 1997, 95(12): 1 - 15.

[3] Nowak D J, Pasek J E, Sequeira R A, et al. Potential effect of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) on urban tees in

the United States [J]. Journal of Economic Entomology, 2001, 94(1): 116 - 122.

[4] 孙向文, 田凤兰, 潘宏阳, 等. 高渗透有机磷杀虫剂毒杀杨干象幼虫的研究 [J]. 森林病虫通讯, 1999, (1): 19 - 21.

[5] 苗建才, 迟德富, 郝然喜. 灭幼脲对杨干象作用机制和防治的研究 [J]. 林业科学, 1994, 30(4): 325 - 331.

[6] 苗建才, 迟德富, 李清宇, 等. 氧乐果微胶囊剂的制备及防治杨干象的研究 [J]. 东北林业大学学报, 1990, 18(4): 35 - 41.

[7] 蔡建文, 孙玉峰, 周国庆, 等. 应用微胶囊剂防治杨干象幼虫 [J]. 林业科技, 2000, 25(1): 29 - 30.

[8] 骆有庆, 黄竞芳, 李建光. 我国杨树天牛研究的主要成就、问题及展望 [J]. 昆虫知识, 2000, 37(2): 116 - 122.

[9] Johnson J D, Johnson K R. Hybrid poplar genotype affects attack incidence by the poplar-and-willow borer (*Cryptorhynchus lapathi* L.) [J]. Western Journal of Applied Forestry, 2003, 18(4): 276 - 280.

[10] 田颖川, 李天元, 莽克强, 等. 抗虫转基因欧洲黑杨的培育 [J]. 生物工程学报, 1993, (4): 291 - 297.

[11] 陈颖, 李强, 李玲, 等. 抗虫转基因欧洲黑杨的 Western 印迹法分析 [J]. 林业科学, 1996, 32(3): 274 - 276.

[12] Broberg C L, Borden J H. Hybrid poplar clones with *Populus maximowiczii* parentage demonstrate post-oviposition antibiosis to *Cryptorhynchus lapathi* L. (Coleoptera: Curculionidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2006, 98(6): 2254 - 2259.

[13] Broberg C L, Inkster J A H, Borden J H. Phenological and chemical differences among hybrid poplar clones (*Salicaceae*) varying in resistance to *Cryptorhynchus lapathi* L. (Coleoptera: Curculionidae) [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2010, 38(1): 29 - 48.

[14] Singh A P, Pandey R. Natural resistance of *Populus deltoides* clones selection to defoliator *Clostera cupreata* (Lep., Notodontidae) in northern India; relative pupal weight as an easier criteria for accurate evaluation [J]. Journal of Applied Entomology, 2002, 126(9): 475 - 480.

[15] 王树文. 宝鸡地区杨干象甲的研究 [J]. 东北林业大学学报, 1986, 14(3): 7 - 9.

[16] 高瑞桐, 秦锡祥, 陈鸿雕. 杨树品种对杨干象敏感性的初步研究 [J]. 森林病虫通讯, 1987, (3): 16 - 18.

[17] 李亚杰, 钟兆康, 林继惠, 等. 杨干象虫的生物学和防治 [J]. 昆虫学报, 1981, 24(4): 390 - 399.

[18] 谢伟, 蔺胜军, 纪纯阳, 等. 杨树品系对杨干象抗性研究初探 [J]. 辽宁林业科技, 2011, 5(5): 15 - 19.

[19] Liu JQ, Hou AJ, Ding FJ. A study on the physical mechanism of resistance of main poplar starins against *Cryptorhynchus lapathi* (Coleoptera: Curculionidae) in north China [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1993, 4(1): 91 - 106.

[20] 曹庆杰, 迟德富, 宇佳, 等. 杨树品系抗杨干象水平及其与树干物理特性的关系. 林业科学, 2015, 51(5): 56 - 67.

[21] 李会平. 抗光肩星天牛优良黑杨无性系选择及抗虫机制的研究 [D]. 河北农业大学, 2001.

[22] 张贵学, 原中园, 胡楠楠. 沈阳地区不同杨树品种对杨干象抗性研究 [J]. 辽宁林业科技, 2014, (3): 55 - 56.

[23] 许庆亮, 金伟, 杨振学, 等. 灯塔地区不同杨树品种对杨干象抗性的调查研究 [J]. 现代农业科技, 2010, 24: 145 - 147.

(责任编辑: 崔 贝)