

# 不同立地黑杨派无性系生长和多性状综合评选

贾素苹<sup>1</sup>, 李金花<sup>2\*</sup>

(1. 北京市大兴区林业工作站, 北京 102600; 2. 中国林业科学研究院 林业研究所, 林木遗传育种国家重点实验室, 国家林业局 林木培育重点实验室, 北京 100091)

**摘 要:**以北京大兴区榆垓和青云店 2 个试验地营建的 7 个黑杨派无性系 6 年生试验林为材料, 无性系间生长性状(胸径、树高和单株材积)存在极显著差异, 且生长性状在无性系×试验地交互效应上亦存在显著差异。利用保存率、生长性状、蓄积量、单位面积碳储量、溃疡病和破腹病及蛀干害虫抗性性状, 以生态林和用材林为选育目标, 采用性状权重的综合评分法, 分别对 2 个试验地 7 个无性系开展多性状综合评价研究。结果表明, 在 2 个试验地上, 无论是以生态林还是用材林为选育目标, 108 杨(*Populus ×euramericana* cv. ‘Guariento’)、107 杨(*P. ×euramericana* cv. ‘Neva’)、中林 2025(*P. deltoides* cv. ‘Zhonglin2025’)和中林 46(*P. ×euramericana* cv. ‘Zhonglin46’)等 4 个无性系生长量, 各性状表现优良, 可在该地区杨树人工林生产中推广。

**关键词:**黑杨派; 不同试验地; 生长; 溃疡病; 破腹病; 多性状选择

**中图分类号:**S792.11      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)03-0124-07

## Growth and Comprehensive Evaluation of Multi-traits for the Selection of 7 Poplar Clones belonging to Section *Aigeiros* in Different Sites

JIA Su-ping<sup>1</sup>, LI Jin-hua<sup>2\*</sup>

(1. Beijing Daxing Forestry Station, Beijing 102600, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

**Abstract:**Seven poplar clones, belonging to section *Aigeiros*, were studied during the sixth growing seasons of a plantation culture in two sites. Significant differences in growth traits (diameter at breast height, tree height, and individual volume) were observed among the clones and among the interaction effects between clone and site. As the goals of clone selection were ecological and timber plantation, such traits as preservation rate, growth traits, stock volume, carbon reserve, resistance of canker, bark break and boring insect in different sites were respectively used for comprehensive score of clones by different weights of traits. The results showed that four clones (*P. ×euramericana* cv. ‘Guariento’, ‘Neva’, ‘Zhonglin46’ and *P. deltoides* cv. ‘Zhonglin2025’) were selected for whether ecological forest and timber plantation in two sites and suggested for the development of poplar plantation in this area.

**Key words:**section *Aigeiros*; different field site; growth; canker; bark break; multi-trait selection

黑杨派(section *Aigeiros*)无性系特别是美洲黑杨(*P. deltoides*)和欧美杨(*P. ×euramericana*)无性系, 具有早期速生、无性繁殖容易、适应性强等特

点, 适生于我国大部分平原地区, 被广泛用于杨树人工林建设<sup>[1-2]</sup>。自国家“七五”科技攻关项目立项以来, 黑杨派遗传改良开始并成为我国杨树育种的主

收稿日期: 2015-07-01    修回日期: 2015-09-30  
基金项目: 国家林业局林业科技成果推广计划项目[(2015)43 号]。  
作者简介: 贾素苹, 女, 高级工程师, 研究方向: 造林树种选择和森林培育。E-mail: 171760971@qq.com  
\* 通信作者: 李金花, 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 造林树种选择和森林培育。E-mail: lijinh@caf.ac.cn

攻方向,选育出了一批黑杨派优良品种,并大面积地推广种植,发挥了杨树良种优势<sup>[2-3]</sup>。黑杨派无性系的遗传改良研究由过去注重生长的单性状选择,发展到对多个目标性状同时进行定向改良,是黑杨派良种选育的重要研究内容<sup>[4-6]</sup>。

北京市位于我国杨树分布和栽培的中心区,由于杨树早期速生因而具有成荫、成林快的优势,在北京市城市生态林和用材林建设中发挥了一定作用。大兴区地处永定河流域,是北京市五大风沙危害区之一,20 世纪 50 年代开始有计划、有组织地开展大规模造林,使全区森林覆盖率由解放前的 0.8 % 提高到 2009 年的 23.21 %,在控制风沙危害、改善生态环境方面起到非常重要的作用<sup>[6]</sup>。据 2004 年森林资源调查统计,大兴区杨树造林面积 10 242.1 hm<sup>2</sup>,占乔木林的 79.4 %,杨树用材林 2 144.6 hm<sup>2</sup>,需要大面积更新改造,20 世纪 70 年代,该区引进了加杨(*P. canadensis*)、沙兰杨(*P. × euramericana* cv. ‘Sacrau-79’)、北京杨(*P. × beijingensis*)、小美旱(*P. × popularis*)等,90 年代后,又陆续引进了中林 46、107 杨和 108 杨等,这些黑杨派无性系长势良好,但仍需要进一步深入开展系统的引种和区域化对比试验。

本研究以大兴区榆垓镇沙土和青云店镇壤土 2 个试验地 7 个黑杨派无性系 6 年生对比试验林为研究对象,对 2 个土壤不同的立地条件下各无性系的生长、蓄积量、碳储量、病虫害抗性等多个性状进行

了观测,并利用综合性状评分法开展多性状综合评价,以期为本地区黑杨派优良无性系的选择提供依据,推动区域内杨树人工林的发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

北京市大兴区位于北京市南郊,属永定河冲击平原,39°26′~39°50′N、116°14′~116°43′E,海拔 10~50 m,属于暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,年平均气温 11.5℃,绝对最高气温 42℃,绝对最低气温-27.4℃,年降水量 568.9 mm,地面年蒸发量 450 mm,年无霜期 209 d。大兴区土壤质地偏砂,主要为风沙土和潮土,风沙土分布于西部和南部,保水保肥能力差,有机质含量低;潮土分布于东部和北部,保水保肥能力强(图 1 和表 1)。

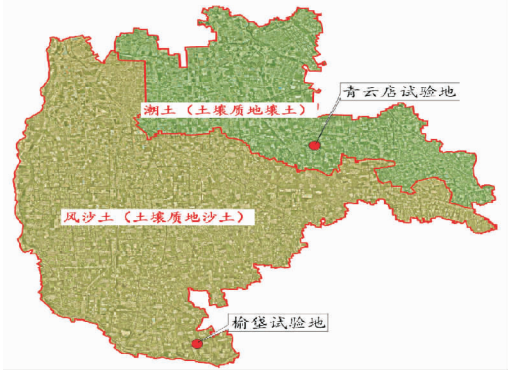


图 1 2 个试验地在大兴区的地理位置示意图  
Fig.1 Schematic location of two sites in Daxing District

表 1 2 个试验地土壤情况

Table 1 Soil situation of two sites

试验地	pH 值	孔隙度/%	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )
榆 垓	7.81	42.95	35.66	5.35	115.56	10.06
青云店	7.94	44.57	40.67	4.03	143.34	15.88

1.2 试验材料和试验设计

选择我国华北地区大面积推广种植的 7 个黑杨派无性系,其中:欧美杨 107 杨和 108 杨、中林 46 杨、中林 2025 杨和北抗杨 1 号(*P. deltoides* cv. ‘Beikang-1’)等 5 个品种,具有速生、优质、成材早、材质好、病虫害少、适应性广等特点,且扦插繁殖容易,造林成活率较高;沙兰杨(*P. × canadensis* cv. ‘Sacrau79’)于 1959 年由原德意志民主共和国引进我国,早期生长快,适应性强,扦插繁殖易,抗病;中华红叶杨(*P. deltoides* cv. ‘Zhonghuahongye’)为中林 2025 杨的芽变品种,生长量与中林 2025 杨相似,集观赏和用材用途。

每个无性系选取生长健壮、无病虫害的 2 年生根 2 年生干苗木 70 株,于 2008 年春季造林,2 个试

验地相同无性系的苗木胸径和树高基本一致,采用完全随机区组试验设计,5 株小区,7 次重复,株行距 3 m×5 m,周围 2 行保护行均为 107 杨,常规抚育管理。

1.3 性状测定和调查

1.3.1 生长性状 2013 年生长季结束后调查各株胸径、树高。采用陈章水<sup>[7]</sup>编制的杨树二元立木材积表计算单株材积(*V*,m<sup>3</sup>),以所有保存树木单株材积之和为林分蓄积量(*M*,m<sup>3</sup>)。

$$V=0.254\ 55\times(D/100)^2H+0.784\ 64(D/100)^2$$

(1)

式(1)中:*V* 为单株材积(m<sup>3</sup>),*D* 为胸径(cm),*H* 为树高(m)。

1.3.2 病害和虫害 2013 年在杨树溃疡病(*Do-*

*thiorella gregaria*)高发期过后的 9 月下旬,根据杨俊秀、王孟昌<sup>[8-9]</sup>等方法和分级标准进行溃疡病害调查。生长季结束后,根据项存悌<sup>[10]</sup>等的方法,调查破腹病和蛀干害虫情况,结合树龄确定受害分级标准,以树皮纵裂呈缝状且长度<35 cm、木质部未暴露或者破腹已愈合为轻度感病,树皮纵裂较宽且长度≥35 cm、木质部暴露或者破腹伤口未愈合为重度感病。在树干<2 m 范围内,调查主干上有无蛀干害虫的危害。

1.3.3 生物量和碳储量 根据文献<sup>[11-13]</sup>采用材积源生物量法,利用林分蓄积量计算生物量,以公式(2)计算杨树林生物量转换因子 BEF(以  $C_{BEF}$  表示),利用式(3)求得杨树林生物量( $B$ ),再乘以杨树碳含量 0.48,得出杨树林碳储量。

$$C_{BEF}=0.496\ 9+26.973/M_A\tag{2}$$

$$B=A\times C_{BEF}\times M_A\tag{3}$$

式(2)中: $C_{BEF}$ 为生物量转换因子, $M_A$ 为单位面积林分蓄积量( $m^3\cdot hm^{-2}$ );式(3)中: $B$ 为单位面积林分生物量(t), $A$ 为林分面积( $hm^2$ )。

1.3.4 性状评价 由中国林业科学研究院、北京林业大学、北京市园林绿化局、大兴区林业工作站等单位从事杨树研究的 20 位专家,以生态林和用材林为选育目标,填写调查问卷,对各性状进行权重赋值,综合汇总分析,选出各性状频率>85%的赋值,以其为性状权重值。各性状均以表现最好的无性系为标准,其最高分为 100,其他无性系以此为对照。对于保存率和胸径、树高、材积、蓄积量、碳储量等性状,与对照无性系性状均值比值百分率为其性状得分。对于病害和虫害,以无危害为最高分 100,根据感病率和虫害率扣减得分,危害重度的双倍扣减。根据各无性系的性状得分与权重的乘积,列出综合评价得分表。

1.4 统计分析

利用 Excel2007 软件对数据进行录入和绘图,利用 SPSS 20 版软件对数据进行统计分析。方差分析的线性模型为(4)式。

$$Y_{ijk}=\mu+C_i+S_j+B_k+C_i\times S_j+\epsilon_{ijk}\tag{4}$$

式(4)中: $Y$ 为性状观测值, $\mu$ 为总体平均值, $C$ 为无性系效应, $S$ 为试验地效应, $B$ 为区组效应; $C\times S$ 为无性系与试验地交互作用效应, $\epsilon$ 为误差。

2 结果与分析

2.1 2 个试验地 7 个无性系生长性状变异

对 2 个试验地 7 个无性系 6 年生生长性状的方差分析表明,胸径、树高和单株材积在无性系、无性系×试验地交互效应上,均达到极显著差异( $p<$

0.001),7 个无性系间生长性状差异极显著,且 2 个试验地间亦存在显著差异( $p<0.01$ )。因此,对于 2 个试验地的 7 个无性系,可进行生长性状的选择。

利用 Scheffe 法分别检验 2 个试验地 7 个无性系间生长性状的差异(图 2),北抗杨 1 号的生长量最大,在青云店试验地的胸径和单株材积均值为 20.63 cm 和 0.261 3  $m^3$ ,其次是 107 杨、108 杨、中林 46 和中林 2025,而中华红叶杨的生长量最小,在青云店试验地的胸径和单株材积均值为 10.39 cm 和 0.046 6  $m^3$ ,仅为北抗杨 1 号胸径和材积均值的 50.36 %和 17.83 %。

2.2 7 个无性系总蓄积量和单位面积碳储量

2 个试验地 7 个无性系间 6 年生试验林区组总蓄积量差异极显著(方差分析结果略),利用 Scheffe 法检验不同无性系间区组总蓄积量均值差异(图 3)。榆堡试验地 108 杨的总蓄积量最大(1.083  $m^3$ ),青云店试验地 107 杨的总蓄积量最大(1.037  $m^3$ ),2 个试验地中华红叶杨的总蓄积量均为最小(分别 0.039 3  $m^3$  和 0.079 9  $m^3$ ),仅为 108 杨和 107 杨的 3.6 %和 7.7 %。

2 个试验地 7 个无性系间单位面积碳储量存在差异(图 4),榆堡试验地 108 杨的单位面积碳储量最大(47.39  $t\cdot hm^{-2}$ ),其次为 107 杨(46.94  $t\cdot hm^{-2}$ ),青云店试验地 107 杨的单位面积碳储量最大(45.95  $t\cdot hm^{-2}$ ),其次为北抗杨 1 号(45.00  $t\cdot hm^{-2}$ ),2 个试验地上中华红叶杨的单位面积碳储量均最小(分别为 14.197  $t\cdot hm^{-2}$  和 15.49  $t\cdot hm^{-2}$ ),仅为 108 杨和 107 杨的 29.96 %和 33.71 %。

2.3 2 个试验地 7 个无性系病害和蛀干害虫

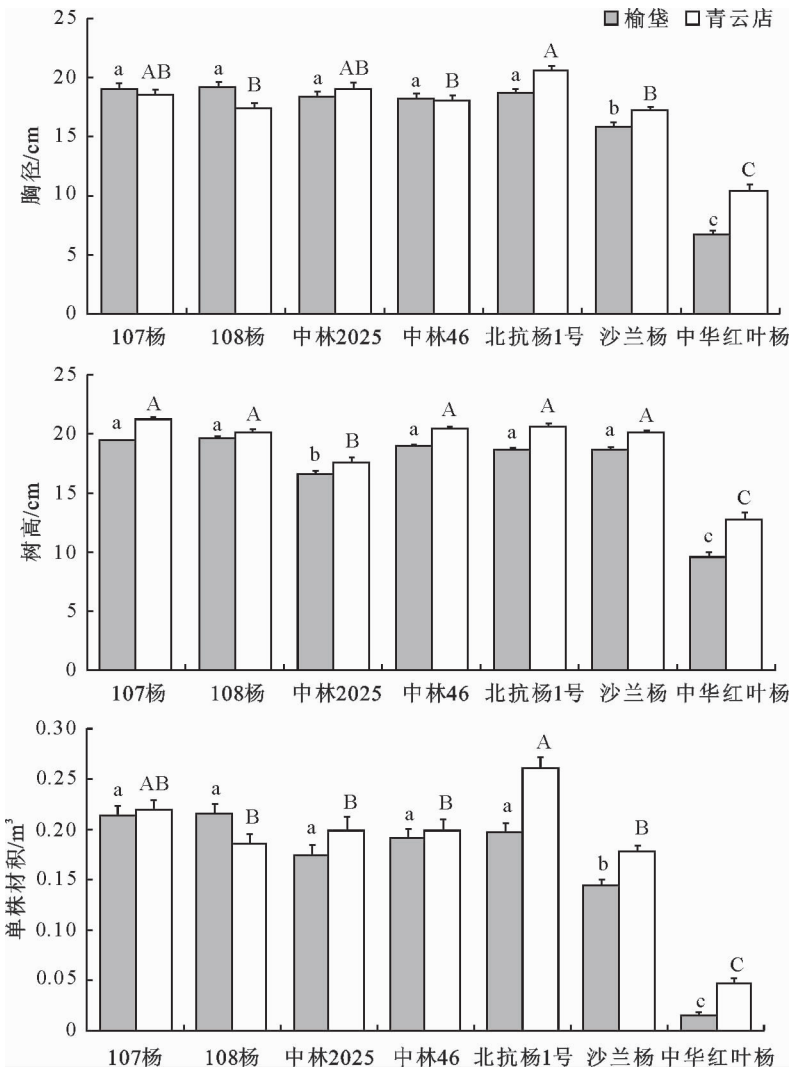
2 个试验地 7 个无性系对杨树溃疡病均表现有一定抗性(表 2),其中沙兰杨抗病性最强,107 杨和 108 杨的发病率最高,但感病程度较轻,Ⅲ级发病率不足 15 %,无Ⅳ级以上的发病树木;中林 46 杨、2025 杨、北抗杨 1 号和红叶杨的发病率均较低,抗病性较强。2 个试验地除了沙兰杨无破腹病外,其他 6 个无性系均有不同程度危害症状,在榆堡试验地,107 杨、中林 46 杨和 2025 杨无破腹病,108 杨、北抗杨 1 号和红叶杨均有重度破腹病。在青云店试验地,107 杨、108 杨、中林 46 杨和 2025 杨均有破腹病,但受危害较轻,而北抗杨 1 号和中华红叶杨受危害较重。2 个试验地 7 个无性系树干上均未发现有蛀干害虫的危害症状。

2.4 2 个试验地 7 个无性系多性状综合评价

以生态林为选育目标,对 2 个试验地 7 个无性系的保存率、生长、单位面积碳储量和病虫害抗性 etc 8 个性状的综合评价结果表明(表 3),榆堡试验地无

性系综合评价排序为:108 杨、107 杨、中林 46、北抗杨 1 号、中林 2025、沙兰杨和中华红叶杨,其中中华红叶杨保存率得分仅为 58.2,沙兰杨综合得分仅为 81.5,而其他 5 个无性系的综合得分均为 85 以上。青云店试验地无性系综合评价排序为:北抗杨 1 号、

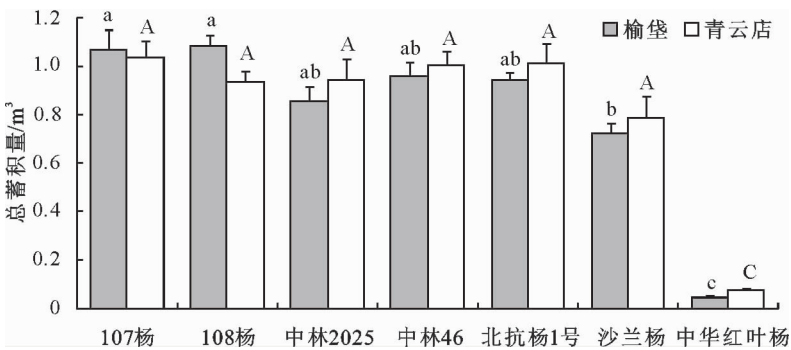
中林 46、107 杨、中林 2025、沙兰杨和中华红叶杨,其中:北抗杨 1 号和中华红叶杨保存率得分均不足 85%,沙兰杨和中华红叶杨的综合得分均低于 85,而其他 4 个无性系的综合得分均为 85 以上。



注:图中所示为性状均值和标准误;相同试验地上不同字母表示无性系间性状差异显著,反之差异不显著( $p<0.05$ )。

图 2 2 个试验地 7 个无性系胸径、树高和材积性状均值比较

Fig. 2 Comparison means of 6-year-old DBH,height and volume of 7 clones in two field sites



注:图中所示为总蓄积量的重复区组均值和标准误;相同试验地不同字母表示无性系间蓄积量差异显著,反之差异不显著( $p<0.05$ )。

图 3 2 个试验地 7 个无性系总蓄积量的比较

Fig. 3 Comparison on total volume of 7 clones in two sites

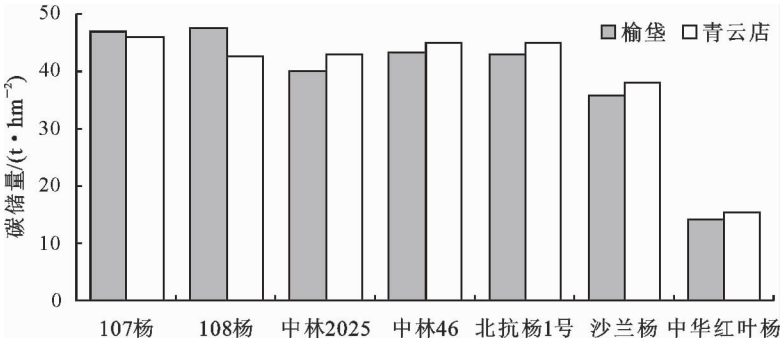


图 4 2 个试验地 7 个无性系的单位面积林分碳储量

Fig. 4 Comparison on carbon stocks per unit area of stand of 7 clones in two sites

表 2 2 个试验地 7 个无性系保存率、溃疡病和破腹病感病率

Table 2 Preservation rate and susceptibility rate to canker and bark break of 7 clones in two sites

试验地	无性系	保存率/%	溃疡病感病率/%		破腹病感病率/%	
			病级Ⅱ	病级Ⅲ	轻度	重度
榆堡	107 杨	100.0	28.6	11.4	0	0
	108 杨	100.0	25.7	14.3	2.9	0
	中林 2025	100.0	11.8	0	0	0
	中林 46	97.1	0	0	0	0
	北抗杨 1 号	97.1	2.9	0	2.9	0
	沙兰杨	100.0	0	0	0	0
	中华红叶杨	48.6	5.9	0	11.8	0
青云店	107 杨	94.3	39.4	18.2	3.0	0
	108 杨	100.0	34.3	17.4	2.9	0
	中林 2025	94.3	12.1	0	3.0	0
	中林 46	100.0	14.3	2.9	2.9	0
	北抗杨 1 号	77.1	7.4	0	7.4	14.8
	沙兰杨	88.6	3.2	0	0	0
	中华红叶杨	34.3	16.7	0	8.3	8.3

注:根据王孟昌<sup>[9]</sup>等杨树溃疡病害分级标准,取树干胸高处上下各 0.5 m 范围,病斑数 0 个为Ⅰ级,1~6 个为Ⅱ级,7~35 个为Ⅲ级,代表值分别为 0、1、2。

表 3 2 个试验地 7 个无性系生态林为选育目标的多性状综合评价

Table 3 Multi-trait comprehensive evaluation of 7 clones in two sites for breeding goal of ecological forest

试验地	无性系	权重	保存率 0.20	胸径 0.15	树高 0.10	单株材积 0.15	碳储量 0.25	溃疡病 0.05	破腹病 0.05	蛀干虫害 0.05	综合得分	排序
榆堡	107 杨		100.0	99.1	98.9	97.9	99.0	48.6	100.0	100.0	96.4	2
	108 杨		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	45.7	97.1	100.0	97.1	1
	中林 2025		97.1	95.5	84.9	79.3	90.5	88.2	100.0	100.0	88.1	5
	中林 46		100.0	95.0	96.6	88.0	84.6	100.0	100.0	100.0	94.1	3
	北抗杨 1 号		97.1	97.3	95.5	91.1	30.0	97.1	97.1	100.0	93.6	4
	沙兰杨		100.0	82.7	95.3	65.8	70.3	100.0	100.0	100.0	81.5	6
	中华红叶杨		48.6	36.1	49.8	7.6	91.5	94.1	88.2	100.0	58.2	7
青云店	107 杨		94.3	89.1	100.0	81.2	100.0	24.2	97.0	100.0	90.3	3
	108 杨		100.0	83.3	95.4	67.9	92.7	31.4	96.9	100.0	85.9	5
	中林 2025		94.3	90.5	83.2	71.3	93.5	87.9	97.0	100.0	88.2	4
	中林 46		100.0	86.2	96.5	73.5	97.5	80.0	96.6	100.0	91.4	2
	北抗杨 1 号		77.1	100.0	97.8	100.0	98.0	92.6	63.0	100.0	92.5	1
	沙兰杨		88.6	82.4	95.3	66.4	82.7	96.8	100.0	100.0	83.2	6
	中华红叶杨		34.3	51.2	61.2	18.1	33.8	83.3	75.1	100.0	44.7	7

以用材林为选育目标,对 2 个试验地 7 个无性系的保存率、生长、总蓄积量和病虫害抗性等 8 个性状的综合评价结果表明(表 4),榆堡试验地无性系综合评价排序为:中林 46、108 杨、107 杨、北抗杨 1

号、中林 2025、沙兰杨和中华红叶杨,其中中华红叶杨保存率得分仅为 48.6,与沙兰杨的综合得分均不足 80 分,而其他 5 个无性系的综合得分均为 83 以上。青云店试验地无性系综合评价排序为:北抗杨 1 号、中林 46、中林 2025、107 杨、沙兰杨、108 杨和中华红叶杨,其中北抗杨 1 号和中华红叶杨保存率得分均不足 85,且北抗杨 1 号破腹病抗性得分不及中华红叶杨。

表 4 2 个试验地 7 个无性系用材林为选育目标的多性状综合评价

Table 4 Multi-trait comprehensive evaluation of 7 clones in two sites for breeding goal of wood plantation												
试验地	无性系	权重	保存率 0.15	胸径 0.10	树高 0.10	材积 0.15	蓄积量 0.25	溃疡病 0.05	破腹病 0.10	蛀干虫害 0.10	综合得分	排序
榆堡	107 杨		100.0	99.1	98.9	97.9	98.7	48.6	100.0	100.0	89.0	3
	108 杨		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	45.7	97.1	100.0	89.3	2
	中林 2025		97.1	95.5	84.9	79.3	78.8	88.2	100.0	100.0	83.0	5
	中林 46		100.0	95.0	96.6	88.0	88.3	100.0	100.0	100.0	89.4	1
	北抗杨 1 号		97.1	97.3	95.5	91.1	86.9	97.1	97.1	100.0	88.6	4
	沙兰杨		100.0	82.7	95.3	65.8	59.0	100.0	100.0	100.0	77.4	6
	中华红叶杨		48.6	36.1	49.8	7.6	3.6	94.1	88.2	100.0	36.2	7
青云店	107 杨		94.3	89.1	100.0	81.2	100.0	24.2	97.0	100.0	82.4	4
	108 杨		100.0	83.3	95.4	67.9	89.8	31.4	96.9	100.0	78.3	6
	中林 2025		94.3	90.5	83.2	71.3	90.9	87.9	97.0	100.0	83.4	3
	中林 46		100.0	86.2	96.5	73.5	96.5	80.0	96.6	100.0	86.1	2
	北抗杨 1 号		77.1	100.0	97.8	100.0	97.1	92.6	63.0	100.0	86.2	1
	沙兰杨		88.6	82.4	95.3	66.4	75.9	96.8	100.0	100.0	79.7	5
	中华红叶杨		34.3	51.2	61.2	18.1	7.7	83.3	75.1	100.0	36.9	7

3 结论与讨论

黑杨派无性系生长性状存在极显著差异,且在无性系×试验地交互效应上亦存在显著差异,表明应在不同立地条件下开展黑杨派无性系选择研究<sup>[2,14-15]</sup>。本研究在同一地区 2 个试验地营建 7 个黑杨派无性系对比试验林,利用 6 年生生长性状和病虫害抗性等性状,分别对 2 个试验地无性系开展多性状综合评价研究,可以选择获得优良无性系,并可在该地区杨树人工林生产中直接推广和应用。

杨树生态林和用材林的发展对新品种提出了新的要求,除了注重速生性状外,对不同立地的适应性和病虫害抗性等也已成为了良种选育研究的主题<sup>[2-6,9-10]</sup>。本研究以生态林和用材林为选育目标,对大兴区 2 个试验地 7 个无性系开展了生长与病虫害抗性等多性状评价,结果发现在 2 个试验地,无论是以生态林还是用材林为选育目标,108 杨、107 杨、中林 2025 和中林 46 等 4 个无性系生长快,各性状表现优良。北抗杨 1 号在榆堡试验地各性状表现较好,而在青云店试验地的生长量虽然较大,但其保存率和破腹病抗性明显低于除中华红叶杨之外其他 5 个无性系。在 2 个试验地,沙兰杨和中华红叶杨的生长速度中等,综合得分明显低于其他 5 个无性系。因此,在该地区杨树生态林和用材林发展建设中,在选择使用黑杨派优良无性系时,可优先选择 108 杨、107 杨、中林 2025 和中林 46 等 4 个无性系。

参考文献:

[1] 徐纬英. 杨树[M]. 哈尔滨:黑龙江人民出版社,1988.

[2] 张绮纹,李金花. 杨树工业用材林新品种[M]. 北京:中国林业出版社,2003.

[3] 李金花,刘喜荣,卢孟柱,等. 黑杨派无性系不同冠层叶片性状变异和生长选择[J]. 林业科学,2015,51(1):55-65.

LI J H,LIU X R,LU M Z,*et al.* Genetic variation of leaf traits at different canopy positions of section aigeiros clones and indirect selection for growth[J]. Scientia Silvae Sinicae,2015,51(1):55-65. (in Chinese)

[4] 李善文,姜岳忠,王桂岩,等. 黑杨派无性系多性状遗传分析及综合评选研究[J]. 北京林业大学学报,2004,26(3):36-40.

LI S W,JIANG Y Z,WANG G Y,*et al.* Genetic analysis and comprehensive evaluation for multi-traits in Section *Aigeiros* clones[J]. Journal of Beijing Forestry University,2004,26(3):36-40. (in Chinese)

[5] 管兰华,潘惠新,黄敏仁,等. 美洲黑杨×欧美杨 F1 无性系的多性状联合选择[J]. 南京林业大学学报,2005,29(2):6-10.

GUAN L H,PAN H X,HUANG M R,*et al.* Research on growth and wood properties joint genetic improvement of new clones of *Populus deltoids* (I-69) × *P. euramericana* (I-45) [J]. Journal of Nanjing Forestry University,2005,29(2):6-10. (in Chinese)

[6] 李金花,宋红竹,牛正田,等. 辽西地区黑杨派纸浆材无性系生长与材性综合评价[J]. 林业科学研究,2008,21(2):206-211.

[7] 陈章水. 杨树栽培实用技术[M]. 北京:中国林业出版社,2005.

[8] 杨俊秀,李武汉,符毓秦,等. 抗溃疡病杨树种类的调查研究[J]. 西北林学院学报,1990,5(4):1-10.

YANG J X,LI WH,FU YQ,*et al.* Investigation on the resistance of poplar species to canker[J]. Journal of Northwest Forestry University,1990,5(4):1-10. (in Chinese)

[9] 王孟昌,梁军,樊军锋,等. 主要杨树生产品种对溃疡病田间抗性的调查[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):122-123.  
WANG M C,LIANG J,FAN J F,*et al.* Field investigation on resistance to canker of poplar variety[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(5):122-123. (in Chinese)

[10] 项存悌,齐成果,于振福,等. 杨树速生丰产林破腹病的研究[M]//项存悌,邵力平. 杨树病虫害综合防治技术. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992.

[11] 贾黎明,刘诗琦,祝令辉,等. 我国杨树林的碳储量和碳密度[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(2):1-7.  
JIA L M,LIU S Q,ZHU L H,*et al.* Carbon storage and density of poplars in China[J]. Journal of Nanjing Forestry University,Natural Sciences,2013,37(2):1-7. (in Chinese)

[12] 李国会,吴丽娟,张友炎,等. 杨树伐桩嫁接与植苗林的生长及碳储量的比较[J]. 林业科学研究,2013,26(6):800-804.

[13] 方精云,陈安平,赵淑清,等. 中国森林生物量的估算:对 Fang 等 Science 一文(Science,2001,291:2320-2322)的若干说明[J]. 植物生态学报,2002,26(2):243-249.  
FANG J Y,CHEN A P,ZHAO S Q,*et al.* Estimating biomass carbon of China's forests;Supplementary notes on report published in Science (291:2320-2322) by Fang *et al.* (2001) [J]. Acta Phytocologica Sinica,2002,26(2):243-249. (in Chinese)

[14] STETTTLER R F,BRADSHAW H D JR,HEILMAN P E,*et al.* Biology of *Populus* and its implications for management and conservation[M]. Ottawa:NRC Research Press,1996.

[15] DICKMANN D I,ISEBRANDS J G,ECKENWALDER J E,*et al.* Poplar culture in north America[M]. Ottawa:NRC Research Press,2001.

(上接第 123 页)

[13] LE N M,DE H. The physiology of flower bulbs[C]. Amsterdam:Holland,1993:617-682.

[14] 王宗正,章月仙. 从芍药的花芽分化试论芍药、牡丹的花型形成和演化[J]. 园艺学报,1991,18(2):163-168.  
WANG Z H,ZHANG Y X. A discussion on the formation and evolution of flower type of tree and herb peony observing flower bud differentiation of herb peony[J]. Acta Horticulture Sinica,1991,18(2):163-168. (in Chinese)

[15] BARZILAY A,ZEMAH H R,KAMENETSKY R. Annual life cycle and floral development of ‘Sarah Bernhardt’ peony in Israel[J]. HortScience,2002,37(2):300-303.

[16] 何小弟,张远兵,王静,等. 芍药花芽形态分化的解剖学观察初探[J]. 安徽农业科学,2007,35(3):719-720,722.  
HE X D,ZHANG Y B,WANG J,*et al.* Anatomic observation of flora bud of *Paeonia lactiflora*[J]. Journal of Anhui Agriculture Science,2007,35(3):719-720,722. (in Chinese)

[17] 黄凤兰,牛红云,孟凡娟,等. 芍药花芽分化过程的显微研究[J]. 东北农业大学学报,2009,40(3):57-61.  
HUANG F L,NIU H Y,MENG F J,*et al.* Micro-study on flower bud differentiation of *Paeonia lactiflora* Pall. [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2009,40(3):57-61. (in Chinese)

[18] 吕长平,成明亮,莫宁捷. 长沙地区芍药花芽分化形态分化研究[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(2):142-144.  
LV C P,CHENG M L,MO N J. Morphological differentiation of flower bud of *Paeonia lactiflora* in Changsha city[J]. Journal of Hunan Agricultural University:Natural Sciences,2009,35(2):142-144. (in Chinese)

[19] 原雅龄,李淑娟,赵锦丽. 朱顶红节日供花种球处理技术研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(6):80-82.  
YUAN Y L,LI S J,ZHAO J L. Intensive culture of *Hippeastrum hybridum* for holidays[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(6):80-82. (in Chinese)

[20] 大冢文夫. 芍药的周年生产(日)[J]. 农耕及园艺,1979,54:789-794.

[21] HALL A J,CATLEY J L,WALTON E F. The effect of forcing temperature on peony shoot and flower development[J]. Scientia. Hort.,2007,113(2):188-195.

[22] 孙晓梅. 芍药容器苗生产技术研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.

[23] 吴婷. 芍药促成生产栽培关键技术研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.