

优良新品种‘华雄4号’欧美杨选育

张晓艳^{1,2}, 李宗泰¹, 仲伟国¹, 乔艳辉¹, 韩友吉¹, 庄若楠¹, 王旭东³, 李双云^{1*}, 李善文^{1*}

1. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014
2. 河北农业大学, 河北 保定 071000
3. 山东鲁邦地理信息工程有限公司, 山东 济南 250101

摘要: 为选育生长量大、适应性强、材性优良的杨树新品种,在不同地点营造黑杨派无性系试验林,对调查数据进行统计分析和适应性评价筛选出优良无性系。本研究选用19个黑杨派杂交无性系苗木,分别在山东省菏泽市鄄城县、聊城市莘县、临沂市沂水县营建无性系对比试验林,通过测定3个试验林各无性系6年生胸径、树高、材积和冠幅,并进行变异分析、方差分析、多重比较和适应性评价,选出综合性状优良的无性系。结果表明,各性状在地点间、无性系间差异极显著,各性状的重复力范围为0.792-0.946。通过各无性系主成分分析和适应性评价,筛选出生长量较大的无性系—1627、2215、1615、1065,其中,1627生长适应性较强、生长量大,可以在山东省杨树栽培区推广应用。2024年将无性系1627命名为‘华雄4号’欧美杨,并通过了山东省林木品种审定委员会审定。

关键词: 黑杨派; 无性系; 适应性评价; 选育

中图法分类号: S722.3+3

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2025)05-0849-08

Breeding of the Excellent New Variety 'Huaxiong 4'— a Selected *Populus × euramericana*

ZHANG Xiao-yan^{1,2}, LI Zong-tai¹, ZHONG Wei-guo¹, QIAO Yan-hui¹, HAN You-ji¹, ZHUANG Ruo-nan¹, WANG Xu-dong³, LI Shuang-yun^{1*}, LI Shan-wen^{1*}

1. Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China

2. Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China

3. Shandong Lubang Geographic Information Engineering Co., Ltd., Jinan 250101, China

Abstract: To breed new poplar varieties with large growth volume, strong adaptability and excellent wood properties, this study establishes clone afforestation experiments of Section *Aigeiros* in different sites, and then conducts statistical analysis and adaptive evaluation of the survey data to screen out superior clones. 19 Section *Aigeiros* clones are selected and comparative clonal test forests are established in Juancheng County (Heze City), Shenxian County (Liaocheng City), Yishui County (Linyi City) of Shandong Province. By measuring the diameter at breast height (DBH), tree height, volume, and crown width of 6-year-old trees of each clone in the three test forests, variation analysis, variance analysis, multiple comparisons, and adaptability evaluation are carried out to select clones with comprehensively superior traits. The results show that the differences in all traits are extremely significant among different sites and clones, with the repeatability of each trait ranging from 0.792 to 0.946. Through principal component analysis and adaptability evaluation of each clone, this study screens out clones with large growth volume—1627, 2215, 1615 and 1065. Among them, clone 1627 exhibits strong growth adaptability and large growth volume, making it suitable for promotion and application in the poplar cultivation areas in Shandong Province. In 2024, clone 1627 is officially named 'Huaxiong 4' (*Populus × euramericana*) and approved by the Shandong Provincial Forest Tree Variety Approval Committee.

Keywords: Section *Aigeiros*; clones; adaptability evaluation; breeding

杨树是我国速生人工林的主栽树种,具有生长快、产量高、成材早等特点^[1-3]。其中,黑杨派(Section *Aigeiros*)的美洲黑杨(*Populus deltoides*)及其杂交种欧美杨(*P. × euramericana*)优良无性

系,广泛用于我国的用材林和防护林建设。对黑杨派进行种间和种内杂交,丰富其遗传变异,选择出生长量大、树干通直圆满、适应性强的优良无性系,是我国黑杨派优良无性系选育的主要方

收稿日期: 2025-06-10

修回日期: 2025-09-09

基金项目: 农业生物育种国家科技重大专项(2023ZD0405601)

第1作者简介: 张晓艳(1993-),女,硕士,工程师,研究方向:林木遗传育种研究。E-mail:1690495015@qq.com

*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:lishuangyun73@163.com;lishanwen66@163.com

法之一^[3-5]。通过苗期测定和多点田间试验,苏晓华等选育出‘渤丰1号’和‘渤丰2号’杨,具有抗病性强和材性优良等特性^[5];山东省林业科学研究院通过杂交育种,选育出不飞絮杨树良种‘鲁林9号’和‘鲁林16号’杨^[6]。另外,通过引种、种间和种内杂交,获得遗传变异丰富的杂种群体,丰富了我国杨树遗传资源^[7-9]。但是目前我国华北平原地区,特别是黄泛平原区,在杨树大面积推广利用方面仍存在品种单一、人工林稳定性较差、许多品种抗逆性较差等问题。因此,通过区域试验开展黑杨派无性系生长性状研究,评价筛选生长量大且适应性较强的优良无性系,对提高黑杨派无性系生产力及其生态效益、经济效益以及社会效益有重要意义。

本研究对山东省菏泽市鄄城县国有第一林

场、山东省聊城市莘县国有马西林场、山东省临沂市沂水县国有沂河林场6年生19个黑杨派杂交无性系生长进行遗传变异分析,并通过综合评价筛选出生长量较大的优良无性系,为黄泛平原区杨树良种化生产提供优质材料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于山东省菏泽市鄄城县国有第一林场、山东省聊城市莘县国有马西林场、山东省临沂市沂水县国有沂河林场,试验地自然概况如表1所示,其中鄄城县国有第一林场和莘县国有马西林场降雨量较少,沂水县国有沂河林场土壤为砂质潮土,保水能力差。

表1 试验地概况
Table 1 Natural features of the test sites

地点 Site	经度/E Longitude	纬度/N Latitude	年均温度/°C Average annual temperatre	最低气温/°C Minimum temperature	最高气温/°C Maximum temperature	年均降水量/mm Average annual rainfall	土壤类型 Agrotype
鄄城县 国有第一林场	115°19'-115°43'	35°22'-35°43'	15.7	-14.0	39.0	589.2	壤质潮土
莘县 国有马西林场	115°20'-115°43'	35°48'-36°25'	13.4	-10.0	41.7	501.9	壤质潮土
沂水县 国有沂河林场	118°13'-119°03'	35°36'-36°13'	14.1	-24.9	39.2	784.8	砂质潮土

1.2 试验材料

2018年3月,选用1根1干、地径大于2 cm的苗木,在山东省菏泽市鄄城县国有第一林场、山东省聊城市莘县国有马西林场、山东省临沂市沂水县国有沂河林场营造无性系试验林,参试无性系为山东省林业科学研究院通过杂交育种培育和从省内外引种的无性系,共19个无性系,其中以生产中推广应用的良种‘I-107’杨(*P. × euramericana* ‘Neva’)和‘中荷1号’杨(*P. deltoides* ‘Zhonghe 1’)为对照(见表2)。

1.3 试验设计

各试验林均采用完全随机区组设计,4次重复,4株小区。鄄城和莘县试验林株行距均为4 m×6 m,沂水试验林为4 m×5 m。以‘I-107’杨、‘中荷1号’杨为对照,试验林周围各设2行保护行,进行常规抚育管理。

1.4 性状测定

2023年生长季结束后测定试验林各无性系胸径(DBH/cm)、树高(H/m)和冠幅(CW/m)。

树高、胸径均采用常规方法测量,采用测高器测量树高,采用围尺测量胸径;冠幅采用卷尺测量东西和南北2个方向,计算其均值。按照材积公式计算各无性系的单株材积(V/m^3):

$$V=0.19328321DBH^2H+0.007734354DBH \cdot H+0.82141915DBH^3$$

1.5 统计分析

利用Excel 2007和DPS分别对3个地点6年生19个黑杨派无性系生长数据进行录入和统计分析。

1.5.1 各性状均值、标准差、变异系数 计算各无性系的性状均值、标准差、变异系数,主要计算公式如下:

表 2 19 个杨树无性系的亲本
Table 2 Parents of 19 poplar clones

序号 No.	无性系 Clones	亲本 Parents
1	10108	美洲黑杨无性系 D6 × 美洲黑杨无性系 D20
2	1065	美洲黑杨无性系 D8 × 美洲黑杨无性系 D20
3	1270	
4	1609	
5	1610	美洲黑杨无性系 D5 × 欧洲黑杨无性系 N4
6	1611	
7	1613	
8	1614	
9	1615	美洲黑杨无性系 D7 × 欧洲黑杨无性系 N1
10	1617	
11	1620	
12	1622	
13	1624	美洲黑杨无性系 D3 × 美洲黑杨无性系 D24
14	2215	
15	1627	
16	5-5149	美洲黑杨无性系 D4 × 美洲黑杨无性系 D22
17	13-26	
18	I-107	美洲黑杨无性系 55-071 × 欧洲黑杨无性系 165-014
19	中荷 1 号	美洲黑杨无性系 I-69/55 × 美洲黑杨无性系

$$\text{平均值 } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{标准差 } \delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{变异系数 } V = \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100$$

式中: x -- 各单株的测定值
 n -- 单株数

1.5.2 方差分析、重复力 各性状采用单因素方差分析,其线性模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + B_j + C_k + S_i \times C_k + e_{ijk}$$

$$R = 1 - 1/F$$

式中: Y_{ijk} 为第 i 个地点第 j 个区组第 k 个无性系生长性状效应值, μ 为总平均值, S_i 为地点效应, B_j 为区组效应, C_k 为无性系效应, $S_i \times C_k$ 为地点

与无性系交互效应, e_{ijk} 为机误, R —重复力, F —方差分析中无性系 F 值。

1.5.3 多重比较 采用 Duncan's 新复极差法对无性系作多重比较^[10]。

2 结果与分析

2.1 黑杨派无性系各性状遗传变异分析

3 个地点 6 年生 19 个黑杨派无性系 4 个性状的均值、变幅及遗传参数见表 3。无性系树高均值为 16.1 m, 变幅为 14.2 m-17.8 m; 胸径均值为 19.5 cm, 变幅为 14.8 cm-22.1 cm; 材积均值为 0.187 6 m³, 变幅为 0.098 8 m³-0.258 1 m³; 冠幅均值为 3.4 m, 变幅为 2.3 m-4.1 m。由上述分析可知, 各性状在无性系间变化幅度较大。各性状变异系数范围为 19.6%-49.3%, 其中材积的变异系数最大, 达到 49.3%。因此, 6 年生黑杨派无性系的生长性状存在广泛变异。

2.2 黑杨派无性系各性状方差分析

通过方差分析验证无性系间的差异显著性, 结果(表 4)表明, 各性状在地点间、无性系间差异极显著; 除树高外, 各性状在地点与无性系的互作效应差异极显著。各性状的重复力范围为 0.792-0.946, 表明这些性状在无性系间的变异受遗传因素控制较强。

2.3 无性系各性状多重比较

在方差分析的基础上, 进一步对 19 个黑杨派无性系各性状进行多重比较。由表 5 可知, 无性系 2215 的树高与对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨差异极显著, 超过对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨 10% 以上; 1627、1617、1620 等 3 个无性系的树高与对照‘中荷 1 号’杨差异极显著, 超过对照‘中荷 1 号’杨 20.5% 以上。1627 的胸径对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨差异极显著, 分别超过对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨 15.9% 和 29.1%;

表 3 19 个 6 年生无性系的各个性状变异分析
Table 3 Variation analysis of each trait of 19 6-year-old clones

性状 Trait	均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	变异系数/% CV
树高 H/m	16.1	3.2	14.2	17.8	19.6
胸径 DBH/cm	19.5	3.9	14.8	22.1	19.8
材积 V/m ³	0.187 6	0.092 6	0.098 8	0.258 1	49.3
冠幅 CW/m	3.4	0.7	2.3	4.1	21.7

表 4 19 个无性系 6 年生生长性状方差分析
Table 4 Variance analysis of growth traits in 19 6-year-old clones

性状 Traits	变异来源 Source of variation	自由度 df	均方 MS	F 值 F	P 值 P	重复力 R
树高 H	地点	2	784.341	501.571**	0.000	0.792
	重复	3	2.192	1.402	0.245	
	无性系	18	7.510	4.803**	0.000	
	地点×无性系	35	2.073	1.326	0.126	
	误差	153	1.564			
胸径 DBH	地点	2	901.996	232.079**	0.000	0.845
	重复	3	0.202	0.052	0.984	
	无性系	18	24.997	6.432**	0.000	
	地点×无性系	35	9.493	2.443**	0.000	
	误差	153	3.887			
材积 V	地点	2	0.574	370.738**	0.000	0.878
	重复	3	0.000	0.237	0.870	
	无性系	18	0.013	8.225**	0.000	
	地点×无性系	35	0.004	2.495**	0.000	
	误差	153	0.002			
冠幅 CW	地点	2	16.271	94.140**	0.000	0.946
	重复	3	0.105	0.609	0.610	
	无性系	18	3.179	18.394**	0.000	
	地点×无性系	35	0.684	3.958**	0.000	
	误差	153	0.173			

注: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)。

Note: * shows significant difference($P < 0.05$), **shows extremely significant difference ($P < 0.01$).

1615、1065、2215、1620、1617、5-5149 等 6 个无性系的胸径与对照‘中荷 1 号’杨差异极显著,超过对照‘中荷 1 号’杨 13.8% 以上。1627 的材积与对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨差异极显著,分别超过对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨 29.8% 和 66.8%; 2215、1065、1615、5-5149、10108、1617、1620、1270 等 8 个无性系的材积与对照‘中荷 1 号’杨差异极显著,超过对照‘中荷 1 号’杨 31.6% 以上。1617、10108、2215、13-26、1620 等 5 个无性系的冠幅均与对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨差异极显著,表明这 5 个无性系冠幅较大,为宽冠类型,分别超对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨 26.7% 和 11.8% 以上。

综上所述,无性系 1627、2215、1065、1615、5-5149、10108、1617、1620 的树高、胸径和材积均超过对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨,为优良无性系。

2.4 无性系主成分分析

对 3 个地点 6 年生 19 个黑杨派无性系的生

长指标进行主成分分析,结果见表 6。前 2 个主成分的累计贡献率为 92.7%,表明前 2 个主成分能够把 92.7% 的黑杨派无性系各个性状的信息反映出来。第 1 主成分的特征值为 3.113,贡献率为 77.8%,其中树高、胸径和材积的特征向量值分别为 0.877、0.916 和 0.929,表明第 1 主成分主要表示的是生长性状的综合因子,第 1 主成分值越大,该无性系的生长量就越大。在第 2 主成分中,冠幅的特征向量值为 0.956,表明第 2 主成分主要表示的是冠幅因子,第 2 主成分值越大,则无性系的冠幅越大。

对 19 个无性系的第 1、2 主成分值分别排序,分析结果见表 7。第 1 主成分值排在前 4 位的无性系为 1627、2215、1615、1065,第 1 主成分值均大于对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨,由上述主成分的生物学意义可知,这 4 个无性系的生长量均高于对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨,均属于生长较快的无性系。1617 第 2 主成分值为 2.954 0,表明无性系 1617 冠幅较大。

表 5 19 个无性系各性状多重比较
Table 5 Multiple comparisons of traits among 19 clones

序号 No.	无性系 Clones	树高/m H		胸径/cm DBH		材积/m ³ V		冠幅/m CW	
1	1627	17.0	AB	22.9	A	0.251 5	A	3.7	ABCD
2	2215	17.8	A	20.5	ABC	0.233 8	AB	4.0	AB
3	1617	16.9	AB	20.4	ABC	0.207 2	BCD	4.9	A
4	1620	16.8	AB	20.5	ABC	0.202 0	BCD	3.8	AB
5	1065	16.6	ABC	20.8	AB	0.222 5	ABC	3.8	ABC
6	5-5149	16.5	ABC	20.2	ABC	0.213 0	BC	3.7	ABCD
7	1622	16.4	BC	19.2	BCDE	0.182 7	CDEFG	3.2	EFG
8	1615	16.3	BCD	21.3	AB	0.219 7	ABC	3.3	DEFG
9	1610	16.3	BCD	19.8	BCD	0.187 2	CDEFG	3.7	ABCD
10	1613	16.2	BCD	19.5	BCD	0.189 5	BCDEFG	3.1	FG
11	1614	16.1	BCD	17.1	EF	0.145 2	GH	2.9	GH
12	I-107	16.1	BCD	19.8	BCD	0.193 7	BCDEF	3.0	FG
13	1270	15.9	BCDE	19.8	BCD	0.198 4	BCDE	3.6	BCDE
14	1611	15.7	BCDE	18.4	CDEF	0.154 7	EFGH	3.1	FG
15	1609	15.6	BCDE	19.1	BCDE	0.166 5	DEFG	3.4	CDEF
16	10108	15.6	BCDE	20.0	BCD	0.208 7	BCD	4.2	AB
17	中荷1号	15.1	CDEF	17.7	DEF	0.150 8	FGH	3.4	CDEF
18	13-26	14.9	DEF	19.0	BCDE	0.167 0	DEFG	3.8	AB
19	1624	14.2	F	16.6	FG	0.119 7	HI	2.5	HI

注:不同大写字母代表同一性状不同无性系间差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different capital letters represent significant differences among different clones for the same trait ($P<0.01$).

表 6 无性系多性状主成分分析
Table 6 Multi-trait principal component analysis of clones

主成分 Principal component		1	2	3	4
特征值		3.113	0.596	0.259	0.032
贡献率/%		77.8	14.9	6.5	0.8
累计贡献率/%		77.8	92.7	99.2	100.0
特征向量	树高	0.877	0.243		
	胸径	0.916	0.280		
	材积	0.929	0.317		
	冠幅	0.292	0.956		

2.5 无性系适应性评价

3 个地点各无性系的材积均值、效应值、基因型和地点互作效应方差的变异系数、无性系材积与环境指数的回归系数、适应地点及综合评价见表 8。结果表明 1627、5-5149、1617、1620 和 1270 生长量和效应值均大于对照‘I-107’杨和‘中荷1号’杨,小于变异系数的均值 15.8%,均属于遗传稳定性较强的无性系。其中,1627、

5-5149 和 1617 的回归系数分别为 1.162 6、1.240 7 和 0.917 8,更接近 1,表明这 3 个无性系具有较强的适应性。

根据生长量、效应值、基因型和地点互作效应方差的变异系数、无性系材积与环境指数的回归系数、适应地区得出 19 个无性系的综合评价结果,1627、2215、1065、1615 生长量较高,其中,无性系 1627 在 3 个地点适应性综合评价均为“好”,且通过连年观察其开花特性,1627 为雄

表 7 19 个无性系的第 1、2 主成分值排序
Table 7 The ranking of PC1 and PC2 values for 19 clones

序号 NO.	无性系 Clones	第 1 主成分值/Y1 PC1	无性系 Clones	第 2 主成分值/Y2 PC2
1	1627	1.868 9	1617	2.954 0
2	2215	1.148 8	13-26	0.816 1
3	1615	1.083 1	2215	0.677 2
4	1065	0.714 3	10108	0.527 4
5	I-107	0.521 2	1620	0.458 5
6	1620	0.520 0	1610	0.437 3
7	5-5149	0.518 1	1065	0.429 6
8	1613	0.364 4	5-5149	0.275 6
9	中荷 1 号	0.296 8	1270	0.211 4
10	1622	0.217 8	中荷 1 号	0.100 0
11	1270	0.074 0	1609	-0.019 1
12	1610	-0.055 4	1627	-0.120 2
13	1617	-0.176 1	1611	-0.668 5
14	1611	-0.525 7	1622	-0.686 2
15	1609	-0.585 6	1615	-0.708 3
16	1614	-0.736 2	1613	-0.923 6
17	1624	-1.582 1	1614	-1.029 8
18	10108	-1.807 0	I-107	-1.170 1
19	13-26	-1.859 1	1624	-1.561 4

株,不飞絮,更适合后续推广应用,为优良无性系。

2.6 无性系材性评价

由表 9 可知,1627 的基本密度为 0.353 5 g/cm³,与对照‘I-107’杨和‘中荷 1 号’杨的基本密度相近;纤维长度为 0.88 mm,接近国际木材解剖学会规定的中级木材纤维长度(0.9~1.6 mm)的标准;纤维长宽比为 36.64,一般认为长宽比大(大于 30)的纤维韧性好,造纸时纤维之间的接触面大,成纸强度高,说明该无性系符合制浆造纸要求,是优良的纤维用材品种;壁腔比是 0.44,小于 1,属于上等造纸原料;纤维素、综纤维素和木质素含量分别是 48.63%、82.09% 和 27.7%,说明纸浆得率更高,具有较好的纸浆性能。

综合 1627 的基本密度、纤维长、纤维长宽比、壁腔比、纤维素含量、综纤维素含量、木质素含量的测定数据,认为该无性系是优良的造纸材无性系。

3 讨论

遗传和变异是林木育种研究的基础,是林木

对环境适应性的体现,变异是育种选择的基础^[10-13]。对 3 个试验地点的 19 个黑杨派无性系生长性状分析表明,胸径和材积在无性系间、地点间及地点与无性系的交互效应间差异极显著,表明胸径和材积受遗传和环境共同作用,土壤环境、降水、温度等的差异导致相同无性系在不同地点差异较大。这与司冬晶^[14]、刘宁^[15]等在杨树上的研究结果一致。

各性状的重复力范围为 0.792-0.946,均达到 0.5 以上,其中胸径、材积和冠幅的重复力均超过 0.80,表明黑杨派无性系胸径和材积均具有更高的遗传效应,这与 Pliura^[16,17]对 10-12 年生香杨(*P. balsamifera*)×欧洲黑杨(*P. nigra*)、毛果杨(*P. trichocarpa*)×美洲黑杨、美洲黑杨×欧洲黑杨和辽杨(*P. maximowiczii*)×香杨(*P. balsamifera*)杂交无性系的研究结果一致。研究表明选择的无性系胸径、材积和冠幅表现可以稳定传递,高变异和高遗传力为杨树无性系评价选择提供基础^[18]。

对 6 年生无性系的生长性状数据进行多重比较、主成分分析及适应性评价对 6 年生生长性状进行比较,筛选出生长量较大的 4 个无性系,分别为 1627、2215、1615、1065,其中无性系

表8 无性系在3个地点的材积均值、遗传稳定性和生长适应性参数
Table 8 Volume mean, genetic stability and growth adaptability parameters of clones across three sites

排序 Order	无性系 Clones	材积/m ³ V	效应值 Ci	变异系 数/% CV	回归系数 Bi	适应地区 Adaptable area	综合评价 Comprehensive evaluation
1	1627	0.251 5	0.057 5	8.5	1.162 6	E1~E3	好
2	2215	0.233 8	0.043 9	16.2	1.272 0	E1	一般
3	1065	0.222 5	0.032 6	17.4	1.410 5	E2	一般
4	1615	0.219 7	0.029 8	17.3	1.314 2	E2	一般
5	5-5149	0.213 0	0.023 1	12.7	1.240 7	E1~E3	较好
6	10108	0.208 7	0.020 5	33.4	1.744 9	E2	一般
7	1617	0.207 2	0.018 8	7.0	0.917 8	E1~E3	较好
8	1620	0.202 0	0.012 1	14.2	0.741 1	E3	一般
9	1270	0.198 4	0.008 4	12.8	1.183 7	E1~E3	较好
10	I-107	0.193 7	0.003 7	7.7	1.161 2	E1~E3	较好
11	1613	0.189 5	-0.000 4	11.5	1.164 5	E1~E3	较好
12	1610	0.187 2	-0.002 7	4.6	0.909 0	E1~E3	较好
13	1622	0.182 7	-0.007 2	9.1	0.876 8	E1~E3	较好
14	13-26	0.167 0	-0.022 9	5.2	1.028 0	E1~E3	一般
15	1609	0.166 5	-0.023 4	27.6	0.597 7	E1, E3	一般
16	1611	0.154 7	-0.035 3	29.7	0.496 4	E3	较差
17	中荷1号	0.150 8	-0.039 1	10.1	0.903 4	E1~E3	一般
18	1614	0.145 2	-0.044 7	25.6	0.592 7	E3	较差
19	1624	0.119 7	-0.070 2	30.2	0.626 5	E3	不好
均值		0.190 2	0.000 1	15.8	1.018 0		

注: E1、E2和E3分别代表郟城、莘县和沂水。

Note: E1, E2 and E3 represent Juancheng, Xinxian and Yishui.

表9 无性系木材性状测定值
Table 9 Determination values of wood traits for clones

无性系 Clones	基本密度 /(g/cm ³) Basic density	纤维长度/mm Fiber length	纤维宽度/ um Fiber width	纤维长宽比 Fiber aspect ratio	壁腔比 Wall cavity ratio	纤维素含量/% Cellulose content	综纤维素含 量/% Holocellulose	木质素含量 /% Lignin content
1627	0.353 5	0.88	24.02	36.64	0.44	48.63	82.09	27.70
I-107	0.361 7	0.93	26.14	35.58	0.45	47.42	81.77	26.52
中荷1号	0.349 2	0.79	23.99	32.93	0.36	46.56	82.44	25.18

1627适应性较强且经观察为雄株,为优良用材林无性系。材性性状作为杨树生产过程中的另一个主要考核指标^[9],其中,纤维性状衡量造纸强度和主要指标,木材密度、纤维素含量、综纤维素含量和木质素含量与纸浆性能密切相关,1627与在生产中广泛栽培的‘I-107’杨和‘中荷1号’杨的木材性能相近,为优良造纸材无性系。2024年将无性系1627命名为‘华雄4号’欧美杨,并通过了山东省林木品种审定委员会审定。

本研究仅仅基于不同地点6年生黑杨派杂

交无性生长数据进行无性系评价和选择,但是仅适应于杨树短轮伐期的结果,后续还需进行多年区域试验的观测和分析,使用多年的生长数据来验证此结论,并且进一步对‘华雄4号’欧美杨的抗逆性作出评价,为下一步推广应用奠定基础。

4 结论

(1)通过生长量和适应性评价筛选出‘华雄4号’欧美杨优良无性系,其具有速生的特点,3个地点6年生‘华雄4号’欧美杨平均单株材积

超对照‘I-107’杨 29.8%，超对照‘中荷 1 号’杨 66.8%，因此，‘华雄 4 号’欧美杨可以作为优良的速生用材品种在山东省杨树栽培区推广应用。

(2)‘华雄 4 号’欧美杨基本密度为 0.3535 g/cm^3 ，纤维长度为 0.88 mm，纤维长宽比为 36.64，壁腔比是 0.44，纤维素、综纤维素和木质素含量分别是 48.63%、82.09% 和 27.7%，达到制浆造纸的性能要求，为优良的纸浆材无性系。

(3)‘华雄 4 号’欧美杨速生性强、无飞絮、适应性强，又兼具较好的材性性能，可用于培育纸浆材。

参考文献

- [1] Stettler RF, Bradshaw HD, Heilman PE, et al. Biology of *Populus* and its implications for management and conservation[M]. Ottawa: National Research Council of Canada Research Press, 1996.
- [2] 赵天锡, 陈章水. 中国杨树集约栽培[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [3] 李善文, 张志毅, 何承忠, 等. 中国杨树杂交育种研究进展[J]. 世界林业研究, 2004, 17(02): 37-41.
- [4] 薛俊昌, 解淑玲, 相吉龙, 等. 53 个黑杨派无性系多性状评价和选择[J]. 山东林业科技, 2023, 53(04): 7-18.
- [5] 黄秦军, 苏晓华, 王胜东, 等. 杨树新品种‘渤海 1 号’杨和‘渤海 2 号’杨的综合评价[J]. 林业科学, 2014, 50(05): 75-81.
- [6] 荀守华, 姜岳忠, 乔玉玲, 等. 无絮黑杨‘鲁林 9 号杨’、‘鲁林 16 号杨’新品种选育[J]. 山东林业科技, 2016(06): 1-7.
- [7] 王如月, 王雪菱, 李际红, 等. 美洲黑杨杂交良种‘鲁林 9 号杨’离体再生体系的建立[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(02): 83-89.
- [8] 陈存, 丁昌俊, 黄秦军, 等. 美洲黑杨表型和生理性状多样性及群体结构分析[J]. 北京林业大学学报, 2021(06): 1-12.
- [9] 刘巍, 蔺胜军, 梁德军, 等. 杨树新品种欧美杨 177 的综合评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(04): 595-600.
- [10] 张晓艳, 季新月, 王雷, 等. 不同地点黑杨派无性系生长性状变异及其与叶片性状相关分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(03): 65-73.
- [11] Nelson ND, Berguson WE, McMahan BG, et al. Growth performance and stability of hybrid poplar clones in simultaneous tests on six sites [J]. Biomass and Bioenergy, 2018, 118(NOV.): 115-125.
- [12] 于海洋, 庞忠义, 殷春红, 等. 100 个杨树无性系生长及材性变异研究[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(04): 134-142+155.
- [13] 续九如. 重复力及其在树木育种中的应用[J]. 北京林业大学学报, 1988(04): 97-102.
- [14] 司冬晶, 张鑫鑫, 韩冬荟, 等. 不同地点杨树无性系树高和胸径变异分析及生长模型构建[J]. 植物研究, 2016, 36(04): 588-595.
- [15] 刘宁, 丁昌俊, 李波, 等. 12 个欧美杨无性系生长初期基因型与环境的互作效应[J]. 林业科学, 2020, 56(08): 63-72.
- [16] Pitre FE, Cook J, Mackay JJ. Short-term effects of nitrogen availability on wood formation and fibre properties in hybrid poplar[J]. Tree Struct Func, 2007, 21: 249-259.
- [17] Pliura A, Suchocka V, Sarskova D, et al. Genotypic variation and heritability of growth and adaptive traits, and adaptation of young poplar hybrids at northern margins of natural distribution of *Populus nigra* in Europe [J]. Biomass and Bioenergy, 2014, 70: 513-529.
- [18] Yanez M A, Zamudio F, Espinoza S, et al. Genetic variation and growth stability of hybrid poplars in high-density short-rotation coppice stands in central Chile [J]. Biomass and Bioenergy, 2019, 120(JAN.): 84-90.