

文章编号: 1001-1498(2007)05-0630-08

节水高产优质杨树纸浆材品种综合选育研究*

苏晓华¹, 李义良¹, 黄秦军¹, 张冰玉¹, 张香华¹, 何庆庚², 刘志新²

(1 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2 河北省秦皇岛市林业局, 河北 秦皇岛 066000)

摘要: 以 10 个黑杨杂种候选新品系为试验材料, 以当前优良品系 108 杨和中林 46 杨等为对照, 通过室内和大田水分胁迫试验, 同时结合在不同生态区内区域化试验及测定无性系的遗传特性(生长、材性和纸浆性能等), 以水分利用效率、产量、材质等指标对候选品系进行综合比较分析, 获得了木材纤维长、纤维含量高、木素和 1% NaOH 抽提物含量低的节水资源高效利用型杨树优良纸浆材新品种 J2 和 J6 为华北、西北地区选育了抗旱、耐盐碱的优良杨树品种。

关键词: 杨树; 节水; 高产; 优质; 纸浆材; 品种综合选育

中图分类号: S792.11

文献标识码: A

Integrative Selecting and Breeding of Poplar Pulpwood Varieties with Water-saving High-yielding and Superior Quality

SU Xiao-hua¹, LI Yi-liang¹, HUNG Qin-jun¹, ZHANG Bing-yu¹, ZHANG Xiang-hua¹, HE Qing-geng², LIU Zhi-xin²

(1 Research Institute of Forestry, CAF, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091; 2 Qinhuangdao Forestry Bureau, Hebei Province, Qinhuangdao 066000, Hebei, China)

Abstract In this study, 10 hybrid clones of Section Aigeiros were used as plant material and current excellent varieties *P. × euramericana* Guariet 07 and *P. × euramericana* (Dode) Guineir cv 'zhonglin-46' as controls, two new excellent *Populus* pulpwood varieties J2 and J6 were selected through indoor and outdoor water stress trials, genetic characters (growth, wood properties and pulp yield etc.) of regional trials in different ecological areas, and integrated analysis of WUE, yield and wood qualities. J2 and J6 had the characteristics of long-fiber, higher holocellulose, lower lignin content and 1% NaOH extractives, which filled in the blank of drought- and salt-resistant poplar breeding in north and northwest China.

Key words *Populus*, water saving, high-yielding, superior quality, pulpwood, integrative varieties selecting

杨树是我国可快速提供严重短缺纸浆原料的最佳树种之一, 但其适生区大部分是干旱半干旱地区, 自然降水的缺乏直接影响其产量。选育高产节水的高效型品种, 是提高这些地区杨树生产水平, 实现林

业可持续发展和生态建设的重要措施, 也是解决我国人多地少和缺乏水资源矛盾的有效途径。大量的研究表明, 不同物种、同种不同品种的水分利用效率有很大差异。Bassam^[1]研究表明, 杨树杂种无性系之

收稿日期: 2006-08-09

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题 (2006BAD01A15)

作者简介: 苏晓华 (1961—), 女, 黑龙江省克山人, 博士生导师, 研究员, 首席专家, 研究方向: 林木遗传育种。Tel: 010-62889627; E-mail: sixh@caf.ac.cn

* 该论文曾得到马常耕研究员指导与帮助, 特此感谢。感谢各协作单位专家李爱萍、樊军锋、赵自成等在区域试验研究中给予的大力支持, 感谢北京林业大学沈应柏教授和赵凤君博士在室内水分胁迫试验方面给予的帮助; 感谢内蒙古自治区林业科学研究院余伟莅博士在大田水分胁迫试验的协助。

间, 在生长到 85 d 的时候, 其水分利用甚至存在有 2 倍的差异。因此, 选育水分利用效率高、投入产出比高的杨树新品种的可能性是存在的, 但是我国在这一领域的研究太少。虽然也选育出几个较抗旱的品种, 如 20 世纪 60 年代内蒙古昭盟从小叶杨 (*Populus simonii* Carr.) 与钻天杨 (*P. pyramidalis* Salisb.) 天然杂种中选育出赤峰杨 (*P. simonii* × *P. pyramidalis* cv 'Chifengensis'), 70 年代甘肃张掖地区选出的小叶杨与箭杆杨 (*P. nigra* L. var *neapolitana* Tenore) 天然杂种“麻皮二白杨” (*P. gansuensis* cv '1-MP'), 但它们并不属于节水高产型品种^[2]。节水与高产是不同性状的表现, 由不同的基因控制, 长期的作物节水高产育种实践已证明, 节水和高产是可统一于一体的^[3]。通过综合运用常规育种和转基因育种及其它先进的育种方法, 将能培育出节水高产优质杨树纸浆材品种。国内外对杨树品种的水分生理等做过不少研究^[4-7], 但如何具体筛选高产节水基因型杨树, 还缺乏详实的系统方法。本研究以水分利用效率、产量、材质等指标对候选品系进行比较分析, 以求从中选育出适合于我国西北等干旱和半干旱地区高水分利用效率、高经济效益的优良杨树纸浆材新品种, 同时为建立节水、高产、高效杨树纸浆材品种选育新技术体系和综合指标评价体系提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为 10 个黑杨候选新品系, 编号为 J1~J10。以当前优良品系 108 杨 (*P. × euramericana* 'Guariento'), 中林 46 杨 (*P. × euramericana* 'Zhonglin46'), 新疆杨 (*P. alba* L. var *pyramidalis* Bge.), 中黑防 1 号 (*P. deltoides* Bartr. × *P. cathayana* Rehd. cl. 'Zhongheifang1'), 碧云 (*P. zhonglinmeihe*), 陕林 3 号 (*P. deltoides* Bartr. cl. 'Shanlin3') 为对照, 即 CK1 CK2 CK3 CK4 CK5 CK6。

10 个黑杨候选新品系是 1980 年用山海关杨优良雌株与 F63 杨 (*P. deltoides* Bartr. cv. 'F63/51') 杂交后代中选出的雌株, 再在 1987 年用 F72 杨 (*P. deltoides* Bartr. cv. 'F72/58') 与山海关杨杂交后选出的优良雄株进行聚合杂交育成。1988 年于秦皇岛市开始从近 1 000 株杂种苗中按生长和抗寒进行初步选择, 形成无性系后, 再在贫瘠、有轻度盐碱的圃地仅靠自然降雨生长了 6 a (1989—1995 年)。在这期间还结合叶部被食叶害虫及褐斑病危害情况和

干部受天牛 (*Anoplhora glabripennis* M.) 危害情况进行了多级淘汰选择。1996 年在河北省秦皇岛地区选出这 10 个候选新品系。

1.2 室内水分胁迫测定

试验在中国林业科学研究院温室进行。温室顶部有天窗, 可以随时关闭, 保证空气畅通; 温室由玻璃制成, 透光良好; 内无特殊的控温、控湿措施, 6—9 月份 8:00 平均温度为 26 ℃, 平均相对湿度为 75%; 13:00 平均温度为 33 ℃, 平均相对湿度为 55%。

2003 年 4 月在温室内, 将 10 个候选新品系和对照 (108 杨、中林 46 杨) 插穗于塑料盆中, 盆高 30 cm, 内径 25 cm。培养土为苗圃熟土 (10 份)、细沙 (2 份)、草炭土 (1 份) 混合而成。控水试验采用随机完全区组设计, 共有 4 个水分处理: 充分供水、轻度胁迫、中度胁迫、严重胁迫, 即土壤含水量分别控制在田间持水量的 70%~90%、60%~80%、50%~70%、40%~60%。每处理每品系有 9 株 (盆) 苗。采用烘干法测定土壤含水量, 每半个月施 1 次肥, 充分保证养分的供应。每隔 2 周换 1 次盆位, 防止小环境对试验苗的影响。

生物量测定: 生物量共测定 2 次, 分别在控水试验开始前 (2003 年 6 月 10 日) 和结束后 (2003 年 8 月 20 日)。各品系选生长中等的 4 株苗, 用电子天平称干物质量, 取均值, 用减质量法测得控水期间生物量的累计值。

长期水分利用效率 (*WUE*): 控水期间生物量与累计浇水量之比, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

1.3 大田水分胁迫测定

2003 年在内蒙古自治区阿拉善盟开展大田试验。采用 5 种灌水处理, 即每隔 10 20 30 40 d 和 50% 叶片出现萎蔫时灌 1 次水。4 月底扦插供试杨树候选新品系和 CK3 苗高达到 20 cm 后 (6 月 30 日) 开始不同处理灌水量试验, 9 月 28 日结束。在试验期间间隔 10 d 灌 1 次水的共计 8 次 (合计灌水量 $0.672 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$), 20 d 灌水 1 次的 4 次 ($0.336 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$), 30 d 灌水 1 次的 3 次 ($0.252 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$), 40 d 灌水 1 次的 2 次 ($0.168 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$), 50% 叶片萎蔫灌水 1 次 ($0.084 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$), 每次灌水量 $0.084 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ 。10 月 13 日—14 日测定苗木的地径、苗高。

1.4 材性测定

木材物理性状: 测定木材的基本密度、纤维长、纤维宽、微纤丝角。试样为 2 根 1 干 (2 年生根 1 年生干) 和 2 根 2 干 (2 年生根 2 年生干) 条材。每无

性系各 3 株,取胸径 1.3 m 处进行测定。采用排水法测定基本密度;采用常规离析测纤维长度、宽度和微纤丝角,每试样分别测纤维长度、纤维宽度、微纤丝角各 50 根,取其平均值。

木材化学成分:测定木材的灰份、1% NaOH 抽出物、苯醇抽出物、木素、综纤维素、戊聚糖。测定方法分别按 GB2677.1-81、GB2677.3-81、GB2677.5-81、GB2677.7-81、GB2677.8-81、GB2677.9-81、GB2677.10-81 进行。每无性系各 3 株,分基部(2.5 cm)、胸径 1.3 m 处(5 cm)和距顶梢 40 cm 处(2.5 cm)采样,进行混合制样。

1.5 制浆与纸浆性能测定

从同一圃地对参试品系 2 根 1 干和 2 根 2 干条

材分别随机选取 10 株,然后再分别切片混合制样。采用生物制浆法制浆,由北京亮宇科技开发服务中心完成。纸浆物理性能测定由天津科技大学制浆造纸实验室完成。

1.6 无性系对比试验

于 2002 年对 10 个候选新品系在内蒙、河南、河北和陕西营建对比试验林,造林设计 4~9 株小区,3~4 次重复,随机完全区组,株行距为 3~4 m × 3~5 m。观测内容:年生长量、物候期、病虫害、造林成活率和无性系形态特征等。无性系对比试验林林龄为 4 a。各试验点自然概况见表 1。

表 1 无性系对比试验点的自然概况

试验地点	纬度(N) / (°)	经度(E) / (°)	地形	海拔 / m	土壤质地	地下水位 / m	pH 值	平均气温 / °C	年降水量 / mm	相对湿度 / %	无霜期 / d	年总日照 / h
内蒙呼市	40 41	111 09	平原	1 023	沙壤	2.5	8.0~9.0	6.8	423.0	60	130	2 873.0
陕西渭河	34 00	108 00	河滩	400	沙壤	2.5~3.0	7.8~8.2	13.2	660.0	65	225	2 000.0
河北昌黎	39 36	118 51	丘陵	150	滨海盐土	3.0~6.0	7.5	11.0	646.2	60	186	2 809.3
河南武陟	35 14	113 16	平原	108	沙壤	2.5	7.4	14.4	597.0	65	227	2 539.0

1.7 综合选择纸浆材品种

为了对各候选新品系综合性状进行评价,将每个系号各指标测定值进行定量转换,用各指标(中度胁迫下生物量、水分利用效率;河北昌黎田间试验林的树高及胸径;2 根 1 干和 2 根 2 干苗平均值木材密度、纤维长和综纤维素;出浆率、撕裂指数、断裂长)隶属度平均值作为综合性状评定标准进行比较。

采用模糊数学中隶属函数的方法^[8],对各无性系指标的隶属值进行累加,求取平均数,并进行无性系间的比较,进行评定计算方法如下:

$$X(u) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$
, 式中: X 为各无性系的某一指标测定值, X_{\max} 为所有无性系某一指标测定值内的最大值, X_{\min} 为该指标中最小值。

把每一无性系各指标的隶属值进行累加,并求其平均数。

表 2 严重水分胁迫下无性系间水分利用效率(WUE)多重比较

无性系	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	CK1	CK2
WUE 均值 / (g · kg ⁻¹)	1.70	2.58	1.78	1.82	1.50	2.34	2.07	2.14	2.25	1.77	1.65	1.67
显著性	def	a	cdef	cdef	f	ab	bcde	abcd	abc	cdef	ef	def
	CDE	A	BCDE	BCDE	E	AB	ABCD	ABCD	ABC	BCDE	DE	DE

注:多重比较采用 q 检验。相同字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著,不同大写字母表示差异极显著。

2.1.2 无性系室内控水期间增长的生物量变异由表 3 可看出,随干旱胁迫的加剧,各候选新品系生物量都呈现明显下降趋势。在 4 个水分处理中,候

2 结果与分析

2.1 节水高产型无性系的筛选

2.1.1 无性系间水分利用效率(WUE)变异 在温室中严格控水,进行不同水分处理(正常供水、轻度胁迫、中度胁迫、重度胁迫),从 12 个黑杨候选新品系长期水分利用效率(WUE)的 F 值(12.85、94.50、40.44、11.03)来看,在各个处理条件下无性系间 WUE 差异均达到极显著水平。多重比较结果(表 2)表明, J2、J6、J9 的 WUE 显著高于 CK1、CK2 及其它无性系,且它们之间差异不显著,这说明 J2、J6、J9 是严重水分胁迫下高 WUE 的优良无性系。其它水分处理条件下也有相同的结果,即 J2、J6、J7、J8、J9 是同等水分处理条件下高 WUE 的优良无性系^[9]。

选新品系间生物量的变异系数存在较大差异,变幅在 31.72%~45.26%,最小的是 J2 最大的是 CK2,变异系数小说明品系的稳定性好,由此可得出:从 4

个水分处理综合来看, J2 和 J9 属高产稳定型, 即广适型。J5 属低产敏感型, J10 属低产稳定型, J6 和 J8 属中产稳定型, J7、J3 和 J4 均属中产敏感型。CK1 和 CK2 也均属中产敏感型。

表 3 不同水分处理条件下各无性系单株的生物量

品系	总生物量								平均值 /g	变异系数 %
	充分供水		轻度胁迫		中度胁迫		重度胁迫			
	g	排序	g	排序	g	排序	g	排序		
CK1	35.17±1.74	9	24.63±4.23	4	14.32±2.77	10	11.08±2.16	11	21.30	44.33
CK2	37.12±1.29	4	21.96±5.41	7	16.00±4.82	7	11.17±2.77	10	21.56	45.26
J1	31.84±4.76	11	21.97±1.90	6	14.92±2.80	8	11.38±4.82	9	19.62	36.73
J2	41.54±1.30	1	30.26±4.08	1	20.79±1.90	1	17.27±2.80	1	27.98	31.72
J3	36.06±1.76	6	26.39±5.83	2	14.44±3.47	9	11.95±1.90	7	22.21	43.60
J4	37.08±1.58	5	21.53±1.76	8	16.38±3.67	6	12.20±3.47	6	21.80	43.22
J5	31.24±1.12	10	18.34±5.16	11	13.37±2.95	11	10.03±1.96	12	18.31	44.62
J6	35.76±2.83	7	20.42±1.77	10	19.54±4.25	2	15.70±0.87	3	22.64	34.98
J7	40.60±1.39	2	25.35±4.63	5	18.40±3.73	4	13.88±1.07	5	24.31	41.60
J8	35.32±1.22	8	21.54±3.07	9	17.89±3.94	5	14.36±2.94	4	22.26	35.71
J9	38.37±1.13	3	25.19±2.75	3	19.05±2.75	3	15.08±2.60	2	24.42	36.13
J10	26.93±0.90	12	15.18±1.60	12	11.82±3.71	12	11.84±1.91	8	16.44	37.73
平均值	35.48		22.64		16.41		13.09			
变异系数 %	11.33		16.54		16.04		18.68			

各水分处理的候选新品系经济生物量均存在较大差异, 平均变异范围在 0.956~0.500 g·kg⁻¹ (表 4)。干物质产量最大的是 J2 中度胁迫下每耗 1 kg 水茎生物量达 0.957 g 比 CK1 高出 24.77%, 比 CK2

高出 40.53%; 其次为 J7、J9、J6 和 J8、J10 最低, 每耗 1 kg 水只生产 0.490 g 干物质。J2、J6、J7、J8 和 J9 是高水分利用效率高生产力品系。

表 4 不同水分处理下无性系间经济生物量(茎质量)水分投入产出比较

品系	充分供水 / (g·kg ⁻¹)	轻度胁迫 / (g·kg ⁻¹)	中度胁迫 / (g·kg ⁻¹)	重度胁迫 / (g·kg ⁻¹)	平均值 / (g·kg ⁻¹)	变异系数
CK1	0.871	0.921	0.767	0.736	0.824	10.530
CK2	0.870	0.764	0.681	0.671	0.746	12.390
J1	0.827	0.652	0.576	0.508	0.641	21.420
J2	0.938	1.015	0.957	0.915	0.956	4.490
J3	0.746	0.880	0.672	0.580	0.720	17.620
J4	0.890	0.654	0.746	0.696	0.747	13.800
J5	0.831	0.611	0.589	0.496	0.632	22.490
J6	0.856	0.579	0.918	0.749	0.776	19.140
J7	1.132	0.839	0.951	0.829	0.938	15.000
J8	0.861	0.699	0.887	0.772	0.805	10.660
J9	0.858	0.842	0.927	0.840	0.867	4.730
J10	0.569	0.481	0.490	0.458	0.500	9.630
平均值	0.854	0.745	0.763	0.688		
变异系数 %	14.990	21.240	24.410	21.570		

2.1.3 无性系大田控水期间生长量的变异 从图 1、2 可以看出, 在各水分处理条件下, 株高和地径均比 CK3 高的候选新品系有 J1、J2、J4、J6、J7 和 J8。其中, J2 和 J6 综合表现最好, 在 10 d 灌水 8 次、20 d 灌水 4 次、30 d 灌水 3 次、40 d 灌水 2 次、50% 叶片出现时灌水 1 次的条件下, J2 株高分别比 CK3 高 23.84%、21.04%、27.69%、15.14%、13.32%, 地径比 CK3 高 34.90%、16.29%、22.51%、21.53%、7.83%; J6 株高分别比 CK3 高 23.84%、21.04%、27.69%、15.14%、13.32%, 地径比

CK3 高 34.9%、16.29%、22.51%、21.53%、7.83%。J1 表现也很好, 但是不太稳定, 在 20 d 灌水 4 次、30 d 灌水 3 次 2 个处理时地径受到一定影响, 高生长快, 地径生长较慢。J4 在 40 d 灌水 2 次时和 50% 叶片萎蔫时灌水 1 次的条件下株高、地径均比 J2 高, 是值得关注的无性系。J8 在试验中的表现稳定性中等, 有待于进一步试验来确认。

从大田与室内水分胁迫试验综合分析来看, J2 和 J6 是较稳定的节水高产品系。

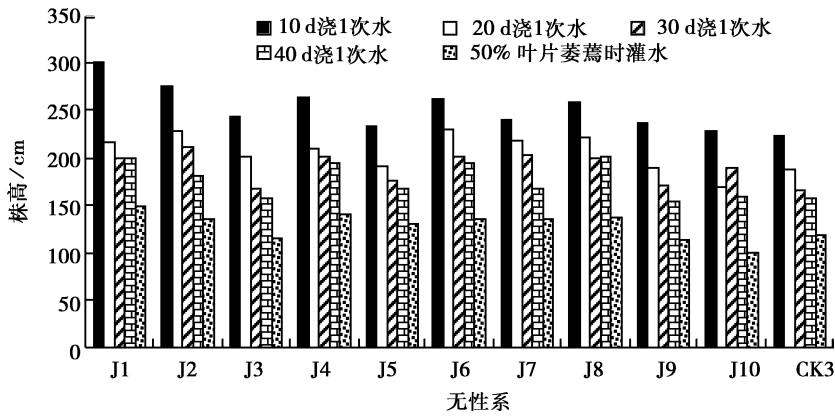


图 1 不同水分处理下各无性系的苗高

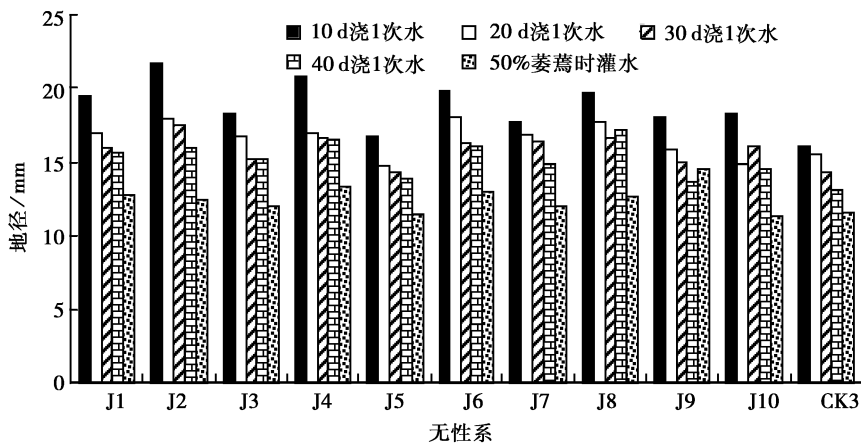


图 2 不同水分处理下各无性系的地径

2.2 优良纸浆材无性系的筛选

2.2.1 纸浆材相关重要物理性状和化学成分变异 对各候选新品系物理性状(基本密度、纤维长、

微纤维角等)和化学成分(综纤维素、木素、1% NaOH 抽提物、灰分等)分析表明, 品系间不同苗龄的物理性状和化学成分均存在差异(表 5)。候选新

表 5 各品系物理性状

品系	微纤维角 /°	基本密度 / (g·cm ⁻³)	纤维长 /μm	纤维宽 /μm	导管长度 /μm
J1	9.60/11.29	0.330 3/0.357 0	727.5/772.3	18.05/17.40	407.7/403.4
J2	9.35/9.61	0.329 0/0.331 0	738.7/746.1	20.12/19.04	411.7/397.6
J3	8.93/9.43	0.312 7/0.352 0	689.7/758.9	18.67/18.42	423.8/403.1
J4	8.84/10.21	0.335 3/0.328 0	727.8/712.1	19.19/18.01	423.3/374.9
J5	9.21/10.81	0.357 0/0.362 3	734.1/750.5	18.63/17.20	442.1/358.9
J6	9.49/10.92	0.306 7/0.336 7	710.9/745.3	18.41/17.38	424.9/396.3
J7	9.51/13.36	0.294 7/0.323 7	756.3/771.7	20.34/17.93	454.6/400.6
J8	10.53/11.24	0.302 7/0.330 0	732.2/739.3	18.90/18.29	432.9/380.9
J9	9.03/11.69	0.333 0/0.344 0	738.0/768.6	19.69/18.00	448.2/361.8
J10	10.28/12.41	0.326 7/0.352 3	721.8/740.5	19.02/18.23	430.4/387.5
CK1	10.83/11.00	0.342 1/0.355 4	660.9/681.2	17.66/17.11	368.3/356.4
CK2	11.44/11.34	0.301 1/0.330 3	773.3/794.6	19.66/20.29	491.1/463.3
CK5	11.44/11.46	0.324 7/0.368 8	764.8/760.7	18.12/16.41	417.9/400.3
平均值	9.88/11.14	0.322 8/0.344 0	728.9/749.4	18.98/17.98	429.0/391.2
变异系数 /%	9.32/9.46	5.61/4.32	4.11/3.83	4.43/5.41	6.63/7.09

注: a/b, a: 2根 1干苗的数据, b: 2根 2干苗的数据。

品系物理性状的方差分析结果(表 6)表明, 2 根 1 干苗各物理性状均存在显著差异, 而 2 根 2 干苗除基本密度外, 其它物理性状也存在显著差异。候选新品系(不同苗龄)间变异系数大小依次为微纤丝角 > 导管长度 > 基本密度 > 纤维宽 > 纤维长, 依次为 9.39%、6.86%、5.88%、4.92%、3.97% (2 种苗龄的平均值)(表 5)。化学成分变异系数大小依次为苯醇抽出物 > 灰份 > 戊聚糖 > 1% NaOH 抽提物 > 木素 > 综纤维素, 依次为 16.18%、14.47%、4.09%、4.02%、3.01%、0.82% (2 种苗龄平均)(表 7)。

表 6 各品系 2 根 1 干和 2 根 2 干苗物理性状的方差分析

差异源	基本密度	纤维丝角	纤维宽	导管长度	纤维长
2 根 1 干	2.51*	6.72**	2.31*	10.57**	3.82**
2 根 2 干	1.04	2.83*	8.23*	37.64**	4.33**

注: 品系间、机误、总计的自由度分别为 12 26 38。

表 7 各品系木材的化学成分

品系	灰份 / (g·kg ⁻¹)	1% NaOH 抽提物 / (g·kg ⁻¹)	苯醇抽出物 / (g·kg ⁻¹)	木素 / (g·kg ⁻¹)	综纤维素含量 / (g·kg ⁻¹)	戊聚糖 / (g·kg ⁻¹)
J1	7.9/5.5	228.6/216.5	2.14/14.4	201.9/202.8	828.0/827.2	289.4/276.3
J2	6.7/5.5	216.4/227.5	1.83/19.5	204.2/194.6	834.2/823.1	292.5/282.0
J3	7.9/6.1	234.2/225.9	2.04/14.0	212.6/199.1	831.3/817.8	277.9/293.2
J4	6.4/5.7	233.2/240.0	16.7/23.5	201.6/194.0	838.4/825.3	276.8/281.0
J5	6.8/4.9	223.5/222.6	17.4/21.0	212.2/196.8	835.5/825.9	271.6/270.1
J6	8.1/6.3	232.4/235.5	24.1/19.0	203.4/204.8	825.2/817.2	286.5/290.9
J7	8.7/5.4	226.7/216.7	18.7/14.7	205.3/202.9	825.6/825.8	285.9/289.9
J8	9.1/5.6	242.9/237.2	21.2/22.5	205.1/206.6	814.9/822.8	267.1/279.6
J9	7.0/5.4	228.6/227.3	20.9/18.0	200.3/192.7	833.0/826.2	287.0/293.4
J10	9.8/5.7	244.5/223.5	24.7/19.2	198.6/202.4	810.5/820.0	272.0/258.5
CK1	7.3/5.7	233.8/228.4	18.4/21.2	211.8/217.4	815.7/822.9	255.7/276.1
CK2	8.5/7.2	228.9/218.6	14.2/17.8	205.9/209.0	810.6/820.9	265.7/259.3
CK5	9.5/8.3	223.9/199.3	17.8/14.8	210.9/213.3	819.2/830.7	271.1/270.2
平均值	8.0/5.9	230.6/224.5	19.6/18.4	205.7/202.8	824.8/823.5	276.9/279.3
变异系数 %	13.85/15.08	3.31/4.73	15.05/17.31	2.32/3.70	1.17/0.47	3.95/4.22

注: 2 根 1 干苗的数据 / 2 根 2 干苗的数据。

2.2.2 各无性系超短轮伐材纸浆性能的变异 采用多菌种复合生物菌群制浆工艺对候选杨树新品系 2 根 1 干和 2 根 2 干条材进行制浆和造纸。杨树候选新品系得浆率均高于对照品系, 其中 J3 最高, J2 次之, 再次之为 J9、J8、J7 等(表 8)。

国内外学者利用化学法对杨树条材(1~3 年生)制浆性能进行了一些研究, 得浆率基本在 50%

从表 5.7 可以看出, 有些品系木材基本密度大, 纤维长, 纤维素含量高, 木素和 1% NaOH 抽提物含量低, 适合作为纸浆工业原料。如 J2 杨 2 年生条材的纤维长比 CK1 高 9.53%; 纤维宽比 CK1 高 11.28%; 微纤丝角为 9.61°, 均比 CK₁、CK₂ 低; 1% NaOH 抽提物比 CK1 低; 木质素比 CK1 低 10.49%; 综纤维素分别比 CK1、CK2 高 0.02%、0.27%。J1 杨和 J3 杨 2 年生条材纤维长分别比 CK1 高 13.37%、11.4%; 微纤丝角均比 CK2 低; 基本密度分别比 CK2 高 8.08%、6.57%; 1% NaOH 抽提物分别比 CK1 低 5.21%、1.09%; 木质素含量分别比 CK2 低 2.97%、4.74%。J6 杨 2 年生纤维长比 CK1 高 9.41%; 纤维宽比 CK1 高 1.58%; 基本密度比 CK2 高 1.94%; 木质素比 CK1 低 5.80%。

以下^[10-12]; 而本研究利用生物法制浆法杨木得浆率近为 70%, 比同化学法高约 20%^[13]。各候选新品系纸的抗张指数、耐破指数、撕裂指数均达到漂白硫酸盐木浆(GB/T 1678-1993)和漂白亚硫酸盐木浆(GB 13505-92)中阔叶木浆的 Bk-C 标准, 其中抗张指数达到针叶木浆 Bz-B 标准(表 9)。

表 8 各候选杨树新品系生物制浆得浆率

项目	品系											
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	CK1	CK2
原材料质量 /g	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
干浆质量 /g	662	712	720	650	690	665	700	704	710	673	560	601
得浆率 %	66.2	71.2	72.0	65.0	69.0	66.5	70.0	70.4	71.0	67.3	56.0	60.1

表 9 各候选杨树新品系生物浆的物理性能

项目	品系											国际优级	国际合格
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	CK1		
抗张指数 / (N · m ⁻² · g ⁻¹)	61.1	52.7	54.9	58.9	62.8	62.2	54.1	60.8	66.3	58	54.3	40.0	25
断裂长 / km	6.23	5.37	5.60	6.01	6.40	6.34	5.52	6.20	6.76	5.91	5.54	4.5	3.5
耐破指数 / (kPa · m ⁻² · g ⁻¹)	2.4	2.5	3.4	3.0	3.3	3.4	2.4	3.6	3.6	3.0	2.5	2.0	1.5
撕裂指数 / (mN · m ⁻² · g ⁻¹)	2.92	3.24	3.18	3.00	2.75	3.32	3.38	3.48	2.68	3.84	3.04	3.50	2.50
耐折度 / 次	16	24	17	42	17	11	21	31	12	12	13	16.0	3

2.3 候选无性系在不同气候区生长的比较

10个候选新品系在内蒙古、陕西、河南和河北的生长表现不同(表10),各地都有高生长和径生长均超过当地对照品种的优良系号,即J2、J6、J1和J3杨,这些品系具有明显的早期速生性。陕西渭南河滩沙地5年生J1的胸径高达15.7cm,单株材积比CK1高6%,J3与CK1生长量相似,J2生长稍次之,但材积也比CK6高20%以上。在河北昌黎地区4年生J2胸径生长量达13.95cm,材积生长量比CK2

高36.36%,J1杨和J6杨胸径分别达到13.41、12.83cm,材积生长量均比CK2高18.18%。在内蒙古呼和浩特土左旗J1、J2、J6和J7杨材积生长量均比CK5高。从河南、河北和内蒙3种不同气候生态区的试点无性系生长情况来看,J2在河南、河北、内蒙古、陕西生长良好;J1和J6在内蒙古、河北、河南生长较好;J3在陕西、河北、河南表现较优;J7在内蒙古也比对照好。

表 10 在 3 种气候区候选品系对比试验林生长情况

品系	内蒙古呼市 / 5 a					河北昌黎 / 4 a					河南焦作 / 3 a				陕西渭河 / 5 a								
	树高 / m	胸径 / cm	材积 / m ³	与 CK 材积比 / %	CK4	CK6	树高 / m	胸径 / cm	材积 / m ³	与 CK 材积比 / %	CK1	CK2	CK5	树高 / m	胸径 / cm	材积 / m ³	与 CK 材积比 / %	CK1	树高 / m	胸径 / cm	材积 / m ³	与 CK 材积比 / %	CK1
J1	8.77	8.73	0.025	220	152	9.05	13.41	0.052	141	117	127	7.84	8.65	0.022	9	140	11.30	15.70	0.091	8	220	152	
J2	9.35	10.72	0.037	329	227	9.12	13.95	0.060	163	136	147	7.06	9.53	0.025	7	157	12.20	13.70	0.075	2	329	227	
J3	6.59	7.80	0.016	145	100	8.33	11.93	0.041	110			7.07	9.01	0.020	8	127	11.80	15.40	0.086	4	145	100	
J4	6.35	6.20	0.008			8.24	11.29	0.034				8.04	10.89	0.034	1	208							
J5	5.53	5.48	0.008			8.83	10.87	0.037	101			7.39	8.43	0.016	4								
J6	7.11	8.61	0.021	184	127	9.17	12.83	0.052	141	117	127	6.72	8.63	0.020	8	127						184	127
J7	7.73	7.61	0.018	160	111	7.71	10.40	0.028				6.58	6.81	0.012	6							160	111
J8	7.41	7.91	0.016	145		8.68	10.54	0.037	101			6.18	7.60	0.014	8							145	
J9	7.81	6.99	0.014	122		8.56	10.28	0.031				6.66	7.56	0.016	4							122	
J10	7.20	7.45	0.016	145		8.20	10.35	0.028				6.81	7.67	0.016	4							145	
CK1						8.64	11.04	0.037				7.28	7.78	0.016	4		12.00	15.40	0.086	4			
CK2						8.57	11.51	0.044															
CK4	6.38	6.46	0.011																				
CK5						7.85	11.56	0.041															
CK6	6.68	6.79	0.016														11.44	12.70	0.060	6			

注: CK1为108杨; CK2为中林46杨; CK4为中黑防1号; CK5为碧云; CK6为陕林3号

2.4 各选择指标的隶属度及综合评价

由表11看出,10个候选新品系在生产力、水分利用效率、材质、纸浆得率、纸浆质量指标隶属值上差异明显。从生产力(胸径、树高)来看,J2、J1、J3和J6这4个系号在各气候区自然条件下属高产型品系,其它系号生产力低于当地对照,而在中度干旱胁迫下J2和J6属高产型品系。从水分利用效率来看J2、J6、J7和J9属高水分利用效率品系,其它系号及对照的水分利用效率低。从木材物理和化学特性来

看,J4和J5材质优良,J2材质也较好。从纸浆得率、纸浆质量的角度来看,J9、J8、J6较最优,其它与对照相似。从生产力、水分利用效率、材质、纸浆得率、纸浆质量各指标综合来看,J2的隶属度最大为0.725,J6次之为0.633,CK1、CK2隶属度较小。综合指标评价候选品系优良位次为:J2 > J6 > J9 > J1 > J5 > J8 > J4 > J3 > J7 > J10。平均数越大,综合性状越好,因此,J2和J6是综合性状较佳的节水高产优良纸浆材品系。

表 11 各无性系各选择指标隶属度及综合评价

品系	生物量	树高	胸径	水分利用效率	密度	纤维长	综纤维素	得浆率	撕裂指数	断裂长	平均	位次
J1	0.346	0.918	0.853	0.345	0.682	0.698	0.741	0.638	0.207	0.619	0.605	4
J2	1.000	0.966	1.000	1.000	0.412	0.632	0.804	0.950	0.483	0.000	0.725	1
J3	0.292	0.425	0.450	0.291	0.458	0.472	0.557	1.000	0.431	0.165	0.454	8
J4	0.508	0.363	0.275	0.509	0.445	0.433	1.000	0.563	0.276	0.460	0.483	7
J5	0.173	0.767	0.161	0.173	1.000	0.631	0.928	0.813	0.052	0.741	0.544	5
J6	0.861	1.000	0.695	0.855	0.248	0.505	0.355	0.656	0.457	0.698	0.633	2
J7	0.734	0.000	0.033	0.727	0.000	0.823	0.627	0.875	0.603	0.108	0.453	9
J8	0.677	0.664	0.071	0.673	0.142	0.573	0.214	0.900	0.690	0.597	0.520	6
J9	0.806	0.582	0.000	0.800	0.580	0.729	0.861	0.938	0.000	1.000	0.630	3
J10	0.000	0.336	0.019	0.000	0.600	0.532	0.000	0.706	1.000	0.388	0.358	11
CK1	0.279	0.589	0.335	0.282	0.783	0.000	0.241	0.000	0.310	0.122	0.294	12
CK2	0.466	0.671	0.207	0.464	0.129	1.000	0.027	0.256	0.250	0.194	0.366	10

3 结论与讨论

现国内生产中所应用的杨树品种多以速生性为目标并在水、肥条件优越的环境中育成, 所以大面积、多立地推广后, 因不耐旱、不耐贫瘠、抗性差等不能广泛推广。本项研究是 20 世纪 80 年代, 为满足华北地区雨养型经营需求, 特别是少雨及降水年分配严重不均的贫瘠、沙化地等特殊立地需求而精心设计的亲本组合, 以生产力 + 水分利用效率 + 材质 + 纸浆得率 + 纸浆质量作为杨树纸浆材选种指标, 打破了过去单纯以生产力作为选种指标的作法, 历经 17 a 多点多层次系列综合选优获得了节水资源高效利用型杨树优良纸浆材新品种 J2 和 J6 并已获得国家林业局林木新品种保护。

J2 和 J6 杨的培育成功为华北、西北地区干旱、贫瘠、盐碱和沙化地造林提供了优良的杨树品种。这 2 个无性系的木材纤维长, 纤维含量高, 木素和 1% NaOH 抽提物含量低, 适合作为纸浆工业和人造板原料。随着造纸原料的日趋紧缺和国际纸浆价格的不断上扬, 推广应用这些新品种必将具有广阔的实际应用前景, 产生较大的社会效益和生态效益。

参考文献:

[1] Bassan JH. Factors affecting water use in poplar culture [C]. In

Blatner K A. Hybrid Poplars in the Pacific Northwest: Culture, Commerce and Capability. Washington State University Extension [M]. Pullman, WA. 2000: 69~75

- [2] 徐纬英. 杨树 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1988: 393, 398
- [3] 张娟, 谢惠民, 张正斌, 等. 小麦抗旱节水胜利遗传育种研究进展 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 231~238
- [4] 王沙生, 王世绩, 裴保华. 杨树栽培生理研究 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991: 23~27
- [5] 刘奉觉, 郑世锴. 杨树水分生理研究 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 60~80, 213~219
- [6] Dismant D I. Photosynthesis water relations and growth of two hybrid *Populus* genotypes during a severe drought [J]. Can J For Res 1992, 22: 1094~1106
- [7] Geber GM. Seasonal and clonal variations in drought tolerance of *Populus deltoides* [J]. Can J For Res 1991, 21: 910~916
- [8] 路贵和, 安海润. 作物抗旱性鉴定方法与指标研究进展 [J]. 山西农业科学, 1999, 27(4): 39~43
- [9] 赵凤君, 高荣孚, 沈应柏, 等. 水分胁迫下黑杨不同无性系间 $\delta^{13}C$ 和水分利用效率的研究 [J]. 林业科学, 2005, 41(1): 36~41
- [10] 杜煜, 张安龙, 文志军. 中林 - 46 速生杨制浆性能的研究 [J]. 中华纸业, 2003, 24(4): 24~26
- [11] 许凤, 孙润仓, 钟新春, 等. 新疆畅 AHP 法与 KP 法制浆性能对比研究 [J]. 中华纸业, 2005, 26(5): 31~33
- [12] Rai A K, Shama K K, Shama Y K. High density short rotation poplars for pulp and paper manufacture [J]. Indian forester 1991, 117(3): 213~224
- [13] 武绍亮, 马常耕, 苏晓华. 多产品、环状内循环、无污染纯生物制浆研究 [J]. 林业实用技术, 2005(6): 4~7