

文章编号: 1001-1498(2007)02-0198-06

美国紫树属树种引种研究

陈益泰¹, 王 军², 束云山³, 何贵平¹, 王树凤¹, 李云松⁴, 晁得旺⁵

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 上海市松江区林业站, 上海 松江 201600; 3. 江苏省江都市农林局, 江苏 江都 225200; 4. 浙江省海宁市农业局, 浙江 海宁 314400; 5. 江西省南昌市林业科学研究所, 江西 南昌 330004)

摘要:从美国引进 4 种紫树属树种在长江中下游平原地区试种, 重点对水紫树、沼地紫树与国产蓝果树的形态特征、生长特性、适应性和耐涝性等进行比较研究。3~4 a 引种结果表明: 水紫树和沼地紫树生长良好, 未出现冻害、病虫害和其它不适应表征。水紫树幼年高生长和耐涝性超过沼地紫树和蓝果树。水紫树和沼地紫树对水分需求高, 适宜在平原水网地区防护林建设中推广应用。种子播种前须经层积沙藏, 选择低湿地育苗造林, 在培育管理过程中保持土壤的湿润环境, 切忌干旱, 是保障成活率和促进快速生长的关键。

关键词:紫树; 引种; 生长; 适应性; 培育技术

中图分类号: S722.7 **文献标识码:** A

Preliminary Study on *Nyssa* Species Introduction in Eastern Plain of China

CHEN Yi-tai¹, WANG Jun², SHU Yun-shan³, HE Gui-ping¹, WANG Shu-feng¹, LI Yun-song⁴, CHAO De-wang⁵

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Forestry Station of Songjiang County, Shanghai, Songjiang 201600, Shanghai, China; 3. Agriculture and Forestry Bureau of Jiangdu City, Jiangsu Province, Jiangdu 225200, Jiangsu, China; 4. Agriculture Bureau of Haining City, Zhejiang Province, Haining 314400, Zhejiang, China; 5. Forestry Research Institute of Nanchang City, Jiangxi Province, Nanchang 330004, Jiangxi, China)

Abstract: Four tree species of the genus *Nyssa* from southern America were introduced. Of them, *N. aquatica* and *N. sylvatica* var *biflora* had been planted in plain sites of Zhejiang, Jiangsu, Jiangxi, and Shanghai for 3~4 years. Their morphological characters, growth, adaptability, and waterlogging tolerance were emphatically investigated in comparison with *N. sinensis*, which ranges in mountain area of southern China. The saplings of the two exotic tree species had good growth in most places and had not freeze damage, diseases and insect pests. *N. aquatica* had better height growth than *N. sylvatica* var *biflora* and *N. sinensis*. The two foreign species showed high water demand and waterlogging tolerance, so could be popularized in low, wet plain. The key for their successful culture is to maintain enough water supply, such as to make seeds stratification by sowing, to choose low and wet site for seedling-raising and planting, and to keep from soil aridity.

Key words: *Nyssa*; introduction; growth; adaptability; cultivation

美国东南沿海平原地区分布着大面积的低湿地森林, 紫树属 (*Nyssa*) 树种是构成低湿地森林群落的重要成员。紫树属共有 10 余种, 产于亚洲及美洲, 我国有 7 种^[1], 其中包括分布于美国的水紫树 (*Nyssa*

aquatica L.)、酸紫树 (*N. ogeche* Bartr. ex Marsh.)、多花紫树 (*N. sylvatica* Marsh.) 及其变种沼地紫树 (*N. sylvatica* var *biflora* Walt.) Sarg.^[2] 和中国广为种植的蓝果树 (*N. sinensis* Oliv.)。水紫树

收稿日期: 2006-07-04

基金项目: 国家林业局“948 引进项目“耐水湿耐盐碱优良树种资源引进”(2005-05-15)资助

作者简介: 陈益泰 (1942—), 男, 江苏江都人, 研究员, 主要从事林木遗传育种研究。

常与落羽杉 (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) 作为优势树种构成大面积湿地森林群落。水紫树、沼地紫树和落羽杉属于最耐涝的树种之一^[3]。唯多花紫树喜生于高地,而我国的蓝果树多分布于山区。紫树属树种多是较好的蜜源树种,尤其是多花紫树。多花紫树、沼地紫树和蓝果树在入秋以后叶色红艳,具有观赏价值。水紫树、酸紫树等的木材可用于制作板材、家具等。

我国长江中下游平原地区地势低平,水网纵横,地下水位高,且常有洪涝灾害,现有优良绿化树种较少,景观比较单调。项目组从气候条件相似的美国东南部引进紫树属树种在长江中下游地区试种,其目的是选用耐水湿多用途优新树种,丰富树种多样性,促进生态建设。

1 引种概况和方法

项目组从 2001 年起,分批从美国南部引进水紫树、沼地紫树、多花紫树和酸紫树种子进行育苗造林,前 3 者来源于路易斯安娜州,酸紫树来源于佛罗里达州。用于对比研究的我国蓝果树种子采集于浙江龙泉和湖南新宁。

引种地点:浙江富阳、海宁、上虞和上海松江、江苏江都、江西南昌。引种地的气候大体属于亚热带季风湿润气候区。历年平均降水量 991~1 421 mm,年平均气温 14.2~16.4℃,7 月平均气温 28.6~29.5℃,极端最高气温 37.8~39.7℃,1 月平均气温 2.8~3.7℃,极端最低气温 -8.9~11.9℃,无霜期 225~251 d,年平均日照 1 817~2 038 h。富阳、海宁、上虞、南昌造林地为水稻土,富阳点土壤重壤质、微酸性;松江点为青紫泥,质地黏重、中性;江都点为潮土,地下水位较高,土壤质地黏重、偏碱性 (pH 值

7.78)。育苗方法大多在整地筑床后开沟点播,盖土覆草,夏季遇到干旱时实行灌溉。造林用 1 年生裸根苗挖穴栽植,各地栽植株行距 0.6 m × 0.8 m 至 1.5 m × 2.0 m 不等。松江点、上虞点、江都点均采用富阳点 1 年生苗经长途运输后造林,其余点就地育苗造林。

除了进行了多点生长观测和适应性评价之外,重点在富阳引种基地开展了育苗技术、幼树形态性状、生长发育特性、耐涝性等试验研究。

观测方法:种子特征,每种随机取 4 份种子样品,每份 200 粒称质量。每份种子取 30 粒种子测定长度与宽度。苗木生长观测,一般每地取 3 个样方,每个样方 30~40 株。幼树生长观测,每个地点测定植株一般为 40~60 株。生物量测定,苗木每种取 10 株,幼树各取 5 株进行测量和称质量。2004 年在富阳农田进行了包括水紫树、沼地紫树和蓝果树在内的 15 个树种的淹水试验,随机区组设计,10 株小区,重复 4 次;每树种试验株数 40 株。从 7 月至 9 月淹水 63 d (林地保持涝滞状态和后续观察至 2 个半月),定期观测存活率、茎径生长量,取小区混合叶样测定叶绿素、丙二醛 (MDA)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和可溶蛋白含量等生长和生理生化指标。生理生化指标按标准方法进行测定^[4]。

2 结果与分析

2.1 种子形态特征和发芽条件

2.1.1 种子特征 从种子形态、大小分析,水紫树与酸紫树相似,种子呈纺锤形,属中大粒种子。沼地紫树、多花紫树和我国的蓝果树比较相似,小粒种子、卵形。

表 1 5 种紫树种子的形态特征

树种	种源	百粒质量 /g	种子长 /cm	种子宽 /cm	种子形态特征
水紫树	LA, 美国	68.54 ± 0.92	2.29 ± 0.22	1.01 ± 0.07	宽扁纺锤形,表面有深凹沟条纹
酸紫树	FL, 美国	33.71 ± 1.06	2.67 ± 0.28	0.77 ± 0.88	窄扁纺锤形,表面有深凹沟条纹
沼地紫树	LA, 美国	14.96 ± 0.44	0.98 ± 0.11	0.57 ± 0.03	椭圆状卵形,表面有不凹陷条纹
多花紫树	LA, 美国	16.42 ± 0.64	0.94 ± 0.15	0.63 ± 0.07	椭圆状卵形,表面有不凹陷条纹
蓝果树	浙江龙泉	13.39 ± 0.38	1.05 ± 0.06	0.56 ± 0.02	椭圆状卵形,表面有浅凹沟条纹
	湖南新宁	14.78 ± 0.41	0.88 ± 0.09	0.63 ± 0.04	椭圆状卵形,表面有浅凹沟条纹

2.1.2 种子发芽条件 第 1 年引进种子到岸很迟 (4 月),未经处理直接播种,结果出苗率相当低 (20%~30%)。从第 2 年起,种子 1 月到岸后,在室

内低温层积沙藏 1 个半月左右,使种子充分吸胀后至 3 月初播种,其效果较好。水紫树种子场圃发芽率由第 1 年的 32.8% 提高到后来的 79.4%~

80.2%, 沼地紫树由 20.4% 增加到 50.1%。酸紫树、多花紫树种子经沙藏后, 场圃发芽率达 60%~70%。保持湿润环境, 使种子充分吸胀是提高紫树种子发芽率的关键。经观察, 空运的水紫树和酸紫树种子种皮均呈褶皱状态, 经湿沙贮藏半个月后, 种子开始膨胀, 1 个月后种皮褶皱消失, 种子变饱满。随着气温升高, 1 个半月左右, 开始露白发芽, 这时即应播种。播种时苗床应予覆盖稻草, 保持土壤湿润, 有利发芽。

2.2 苗木生长和育苗技术

2001—2003 年间, 3 次进行水紫树、沼地紫树和蓝果树的对比育苗, 表明水紫树苗生长最好, 沼地紫树最差, 蓝果树居中 (表 2)。2004 年引进 4 种紫树同时育苗, 酸紫树苗生长突出, 水紫树、沼地紫树和多花紫树 3 种紫树苗生长量相近。据观察, 水紫树和酸紫树苗的侧枝和侧根数量稀少, 但基径粗大; 沼地紫树和多花紫树苗的枝条和侧根数量多而密 (表 3)。

表 2 不同年份 3 种紫树苗的生长情况

树种	种源	2001 年		2002 年		2003 年	
		苗高	基径	苗高	基径	苗高	基径
水紫树	LA, 美国	71.9 ± 6.9	1.24 ± 0.19	118.9 ± 12.9	1.57 ± 0.26	105.4 ± 14.0	1.56 ± 0.22
沼地紫树	LA, 美国	46.1 ± 7.1	0.74 ± 0.11	54.3 ± 10.3	0.88 ± 0.17	83.4 ± 13.6	1.13 ± 0.17
蓝果树	浙江龙泉			106.1 ± 10.4	0.85 ± 0.17		
	湖南新宁	41.7 ± 15.4	1.04 ± 0.27	75.1 ± 11.4	1.12 ± 0.16		

表 3 2004 年不同紫树苗的生长指标

树种	种源	苗高 / cm	基径 / cm	侧枝数 / 个	侧根数 / 根	侧根长 / cm	主根长 / cm	地上干 质量 /g	根系干 质量 /g	生物量之比 (地下 / 地上)
水紫树	LA, 美国	85.0	1.22	0.2	11.1	11.3	27.0	14.03	10.70	0.763
酸紫树	FL, 美国	119.7	1.47	3.8	10.9	24.1	28.9	31.29	17.66	0.564
沼地紫树	LA, 美国	83.8	1.03	7.3	12.3	24.7	27.6	19.75	10.83	0.548
多花紫树	LA, 美国	86.6	0.80	7.2	13.2	25.9	28.5	16.73	12.21	0.753

实践证明, 几种紫树特别喜欢湿润条件。一定要选择水源充足、灌溉方便的圃地育苗, 干旱季节必须及时灌水, 苗木才能生长良好 (表 4)。

表 4 不同水分条件下 2 种紫树苗的生长量

树种	干旱圃地		湿润圃地	
	苗高 /cm	基径 /cm	苗高 /cm	基径 /cm
水紫树	77.0	0.97	122.2	1.58
沼地紫树	61.1	0.82	105.4	1.20

只要水分供应充足, 几种紫树苗生长较快。因此, 育苗密度不可过大。定苗的密度控制以行距 30 cm、株距 10 cm, 每平方米 90~100 株为宜。如果出

苗过密, 可在 5 月 (苗高 10 cm 左右) 阴雨天进行移植, 用竹片挖苗带土进行移苗, 栽后灌水 1 次。实践表明, 移植成活率达 95% 以上。

2.3 幼树生长与造林技术

多点造林观测表明 (表 5、6), 各试点生长正常, 均未发生病虫害和冻害现象。水紫树生长快速, 树高年生长量 1.0~1.3 m, 沼地紫树和蓝果树生长低于水紫树。松江点造林时遇到大风天气数日, 引起多数苗木失水枯梢, 至夏末秋初苗干基部发出萌条代替主干生长, 明显影响了生长量。江都点生长较差, 可能与土壤碱性偏高有关。

表 5 多点造林第 2 年 3 种紫树苗生长情况

树种	富阳		海宁		松江		江都		南昌		上虞	
	树高	胸径										
水紫树	261	1.63	212	1.47	211	1.42	181	0.96	208	1.37	247	1.52
沼地紫树	248	1.26	209	1.16	142	0.63	158	0.77				
蓝果树	244	1.59			146	0.70	169	1.02	155	1.36	222	1.63

表 6 多点造林第 3 年生长情况 cm

树种	富阳		海宁		松江		江都	
	树高	胸径	树高	胸径	树高	胸径	树高	胸径
水紫树	411	2.50	344	2.88	268	2.06	252	1.85
沼地紫树	367	2.22	293	2.24	248	1.38	242	1.28
蓝果树	363	2.76	-	-	245	1.84	273	1.95

造林季节宜选择在湿润多雨的春天,严冬造林往往由于风大导致苗木枯梢或死亡,就地育苗造林,有利于提高成活率。2002年3月,在富阳境内短距离移植水紫树和沼地紫树苗,成活率均达97%以上;同时,将苗木运到上海松江造林,水紫树和沼地紫树造林成活率仅88%和68%。因此,应注意长途运输过程中的苗木覆盖保湿,造林时如遇大风天气,苗木应放入水沟中保湿,随取随栽,宜深栽不宜浅种。

表 7 3种紫树在不同水分条件下 4 年生幼树生长量差异 cm

树种	水湿地		旱地	
	树高	胸径	树高	胸径
水紫树	411 ±33	2.50 ±0.50	311 ±25	1.96 ±0.38
沼地紫树	367 ±40	2.22 ±0.43	272 ±41	1.48 ±0.36
蓝果树	363 ±38	2.76 ±0.52	358 ±33	2.47 ±0.47

表 9 3种紫树地上部分生物量

树种	树干		枝条		叶片		全株
	干质量/g	比率/%	干质量/g	比率/%	干质量/g	比率/%	干质量/g
水紫树	1 011.2	72.65	206.2	14.81	174.5	12.54	1 391.9
沼地紫树	580.8	58.77	321.1	32.49	86.4	8.74	988.3
蓝果树	1 038.1	52.99	711.3	36.31	209.6	10.70	1 959.0

对富阳点 3 个树种 4 年生幼树地上部分生物量的测定表明(表 9),总生物量大小次序是蓝果树 > 水紫树 > 沼地紫树。不同树种植株地上部分生物量的分配结构,即树干、枝条、叶片 3 个器官分配比例的差异很大:水紫树树干、枝条和叶片的比例分别为 72.65%、14.81%和 12.54%;沼地紫树为 58.77%、32.49%和 8.74%;而蓝果树为 52.99%、36.31%和 10.70%。3 个树种相比,水紫树的树干生物量在地上总生物量中所占比例最大,枝条比例最低;而蓝果树和沼地紫树的树干生物量比例相对较小,只有水紫树的 72% ~ 80%,但枝条比例较大,超过水紫树的 1 倍以上。另外,沼地紫树的特点是叶片生物量比例相对较小。

实践表明,2种引进紫树更需水湿环境,应选择低湿地造林。在相邻的 2 块地上同时栽种 3 种紫树,其中,一块地势低,土壤雨季积水、常年湿润;另一块地势较高,土壤常年处于干旱状态。栽种 3 a 后 3 种紫树的生长出现明显差异(表 7)。在旱地栽植的水紫树和沼地紫树生长量比在水湿地栽植的下降了 25% ~ 30%,而旱地与水湿地上蓝果树树高生长没有明显差异,胸径稍有下降。

2.4 幼龄期生长特性

对 3 种紫树 1 年生苗的年生长节律观测结果表明,水紫树和沼地紫树苗的高生长有 2 个高峰(5 月和 7 月),径生长也有 2 个高峰(5 月和 8 月),而蓝果树的苗高、径生长只有 1 个高峰(8、9 月)。另外,对富阳点同一地块上的 4 年生幼树进行了高生长年度动态观测(表 8),造林后 3 种紫树树高的净生长量随着年龄的增加而加大,其中,水紫树的生长势头最猛,第 4 年净高生长量超过 1.58 m。

表 8 3种紫树幼树高净生长动态 cm

树种	第 1 年(苗高)	第 2 年	第 3 年	第 4 年	4 a 全高
水紫树	66.7	71.8	114.1	158.4	411.0
沼地紫树	53.8	65.8	112.8	134.8	367.2
蓝果树	55.0	78.5	104.7	124.4	362.6

注:每种测定 20 株。

2.5 幼树形态及物候特征

据观察,水紫树幼树的树皮呈浅灰白色,皮孔发达,但色彩不明显;沼地紫树和蓝果树幼树的树皮为青褐色,后者颜色更深,两者都有明显突起的浅白色横向皮孔。

图 1 反映了 3 种紫树树干不同部位直径的变化。水紫树树干最显眼的特征就是基部明显膨大,沼地紫树基部膨大也较明显。干基膨大是由于木质部通气组织发达的表现,是树木长期生存于低洼地对水涝胁迫的适应特征,反映出水紫树的耐涝性较强。

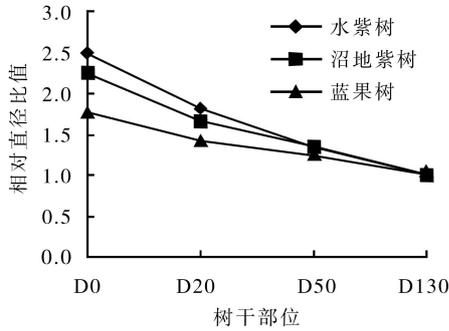


图 1 3种紫树干基形态变化

从表 10、11 可见, 3 种紫树相比, 水紫树分枝特点是稀、短、细, 沼地紫树分枝密、短、细, 蓝果树分枝密、长、粗。水紫树的分枝密度、最大枝长和枝粗分别只有蓝果树的 51.2%、84.8% 和 77.6%; 沼地紫树是蓝果树的 120.8%、86.3%、70.4%。水紫树的叶片最大, 叶柄最长, 尤其是干梢部位叶片特别大。沼地紫树叶片最小, 叶柄最短。蓝果树叶片、叶柄大小居中。

表 10 4年生紫树的分枝特征

树种	树高 /cm	胸径 /cm	基径 /cm	侧枝数 /个	分枝密度 /m	最大枝长 /cm	最大枝粗 /cm
水紫树	418.0	2.96	7.94	26.8	6.4	131.8	0.97
沼地紫树	316.8	2.15	5.57	47.8	15.1	134.2	0.88
蓝果树	336.8	2.74	5.45	42.2	12.5	155.5	1.25

注: 每种观测 10 株。

表 11 3种 4年生紫树幼树的叶片形态

树种	部位	叶长 /cm	叶宽 /cm	长宽比	叶柄长 /cm
水紫树	枝条	17.10	6.22	2.75	2.77
	干梢	24.61	9.49	2.59	2.85
沼地紫树	枝条	9.29	3.60	2.58	0.97
	干梢	10.21	4.09	2.50	0.99
蓝果树	枝条	14.04	6.00	2.34	1.46
	干梢	16.99	7.75	2.19	1.63

注: 每个树种取 5 株, 每株取标准枝叶片 20 片, 共取 100 片叶测定。

经几年观察, 3 种紫树春季放叶期的先后顺序为: 蓝果树、沼地紫树、水紫树, 秋季落叶期的先后顺序是: 沼地紫树、水紫树、蓝果树 (表 12)。在富阳, 蓝果树落叶期较迟, 比引进的两种紫树晚 10~15 d 落叶。落叶前, 水紫树叶呈黄色, 沼地紫树和蓝果树叶为红色, 具观赏价值。

表 12 3种紫树的展叶期和落叶期

树种	展叶盛期	落叶盛期
水紫树	4月上旬	11月上、中旬
沼地紫树	3月下旬	11月上旬
蓝果树	3月中旬	11月下旬

注: 遇到干旱、降温, 则落叶期提前; 1 年生苗落叶期迟于幼树。

2.6 耐涝性评价

2002 年在江西安义县河滩地营造多树种试验林, 造林当年遭遇 2 次洪水过顶危害, 并处于水涝状态长达 2 个多月, 用于造林的杨树 (*Populus sp.*)、南酸枣 (*Choerospondias axillaries* (Roxb) Burtt et Hill)、栎树 (*Quercus sp.*) 等大部分死亡, 但水紫树、沼地紫树、美国梧桐 (*Platanus occidentalis* Linn) 等树种仍有近 90% 的成活率, 说明这些树种耐涝性强。

在 2004 年富阳点水涝试验中, 淹水 63 d 之后的存活率水紫树 100%, 沼地紫树 81%, 蓝果树 65%; 基径相对生长率前 2 种紫树超过蓝果树 1~1.7 倍 (图 2)。经后续观察, 淹水 78 d 后, 水紫树新梢仍然生长旺盛, 沼地紫树和蓝果树树苗生长受到抑制。

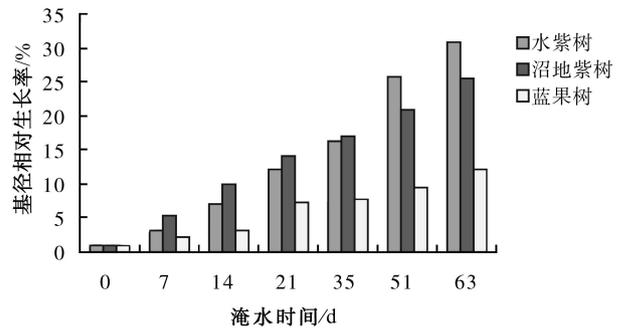


图 2 3种紫树在淹水条件下的基径相对生长率

生理指标的变化动态表明 (图 3~7), 从第 2 周起水紫树叶绿素含量高于沼地紫树, 沼地紫树高于蓝果树, 淹水后期, 3 个树种的差距更加显著。叶绿素是光合作用和植物生长的基础, 在长期水涝胁迫下, 叶绿素含量的变化趋势是反映树种耐涝性的有效指标之一。丙二醛 (MDA) 是细胞膜脂过氧化产物, 一般认为 MDA 的增加是在环境胁迫下细胞膜受到伤害的反映^[5]。本试验结果, 在水涝过程中水紫树和沼地紫树的 MDA 含量一直高于其它树种, 但仍能维持比较旺盛的生长能力, 如何解释这种现象, 尚需进一步探讨。超氧化物歧化酶 (SOD) 和可溶性蛋白含量的变化在树种间没有可辨别的差异。这 3 个生理指标暂不宜作为评价紫树属树种耐涝性的指标。

根据存活率、基径相对生长率、叶绿素含量 3 个指标的综合判断, 初步认为耐涝性的顺序如下: 水紫

树 > 沼地紫树 > 蓝果树。

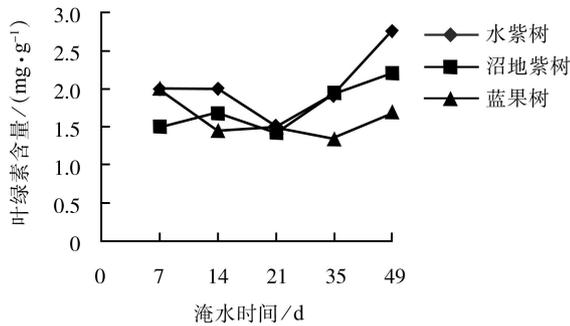


图 3 淹水条件下不同树种的叶绿素含量变化

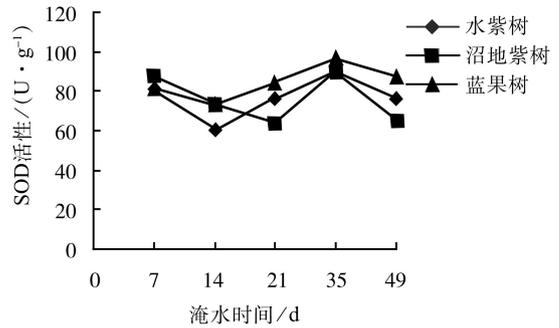


图 4 淹水条件下不同树种的 SOD 活性变化

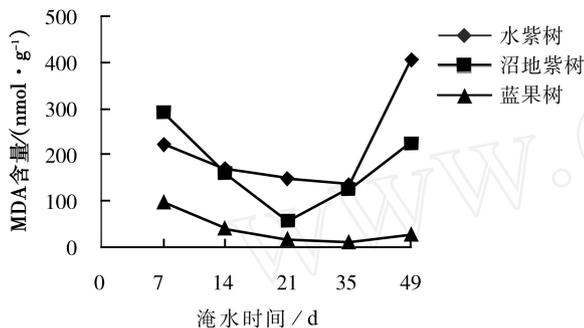


图 5 淹水条件下不同树种的丙二醛 (MDA) 含量变化

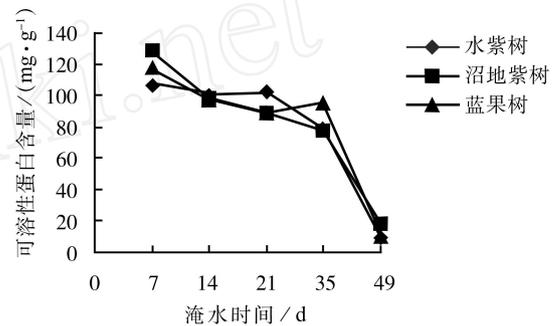


图 6 淹水条件下不同树种的可溶性蛋白含量变化

3 结论与讨论

(1) 多点试种表明,自美国引种的水紫树和沼地紫树在我国长江下游平原地区能够正常生长,未发现严重病虫害、冻害或其它不适应表征,适宜推广应用。在幼龄期,水紫树树高生长速度超过沼地紫树和蓝果树,水紫树、沼地紫树比蓝果树具有更强的耐涝性。多花紫树和酸紫树的适应性和生长表现,尚需通过多地点试种进一步加以考查。

(2) 比较 5 种紫树属树种幼龄期形态特征和生长特性,初步认为,水紫树和酸紫树比较相似,例如种粒较大、种皮褶皱,树干基部膨大明显,枝条稀少,叶片入秋后变黄,树高生长较快等;沼地紫树、多花紫树和蓝果树三者比较相似,种粒较小、种皮光滑,树干基部膨大不甚明显,分枝多而密,叶片入秋变红,高生长相对较慢等。

(3) 水紫树幼树干型通直圆满,基部膨大,枝条稀少,树冠较小,树干生物量比重大,春季发叶迟,秋冬落叶早,耐涝性极强。这些特点表明,水紫树在湿地景观和田间林网建设中具有应用潜力。沼地紫树

耐涝性较强,其分枝密集、细短,叶片较小,入秋后叶色变红,在平原城镇绿化建设中具应用价值。沼地紫树个体之间形态变异十分丰富,且开花结实较早,观察发现播种第 3 年个别单株已开花结果。因此,选择育种前景相当广阔。

(4) 水紫树和沼地紫树均为喜湿树种,对水分需求高,种子播种前须经沙藏,选择低湿地育苗造林,在培育管理过程中应保持良好的湿润环境,切忌干旱,这是栽培成功的关键。

参考文献:

- [1] 傅立国,陈潭清,郎楷永,等. 中国高等植物第 7 卷 [M]. 青岛:青岛出版社, 1998: 688 ~ 689
- [2] Bums R M, Hokala B H. Silvics of North America Vol 2: Hardwoods Agriculture Handbook No. 654 [M]. Washington: USDA Forest Service, 1990: 474 ~ 489
- [3] Hook D D. Waterlogging tolerance of lowland tree species of the south [J]. Southern Journal of Applied Forestry, 1984, 8(3): 136 ~ 149
- [4] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [5] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 237 ~ 291