

5种北美栎树在我国长三角地区的引种生长表现

陈益泰, 孙海菁, 王树凤, 施翔

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要:从美国东南部引进属于红栎组的纳塔栎、舒玛栎、水栎、柳叶栎和属于白栎组的弗栎,在我国长江三角洲平原地区多个地点和不同土壤类型条件下进行造林研究。采用1~2年生裸根苗经长途运输后进行栽种,纳塔栎、舒玛栎和水栎成活率达94%以上,柳叶栎为76%~81%,弗栎仅42%~50%。不同树种之间,幼年阶段的根系发育、枝梢生长习性、秋冬叶色变化和虫害状况存在明显差异。在3~6个地点水稻土上建立的前4种栎树人工林,8~10a后在保留密度900~1500株·hm⁻²条件下,其年均径生长量和年均高生长量达到0.96~1.76cm和0.8~1.33m。在山地红黄壤地上栽种的纳塔栎、舒玛栎和柳叶栎,其年均径生长量和年均高生长量分别为0.64~1.01cm和0.57~0.78m。采用2~4年生带土弗栎苗在6个地点滨海盐土上造林的成活率达87%以上,在保留密度1110~3900株·hm⁻²条件下,其7~9a林木年均径生长量和年均高生长量分别为0.78~1.13cm和0.59~0.75m。当树龄达6~9a时,5种栎树均开始结实。研究表明,5种北美栎树在长江三角洲地区有较强的适应性,水栎、纳塔栎、舒玛栎、柳叶栎可以应用于平原地区生态景观林和城镇园林绿化建设,而弗栎在沿海防护林建设中具有推广前景。

关键词:北美栎树;适应性;人工林;生长;结实

中图分类号:S722.7

文献标识码:A

Growth Performances of Five North American Oak Species in Yangzi River Delta Of China

CHEN Yi-tai, SUN Hai-jing, WANG Shu-feng, SHI Xiang

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: Four red oak species including Nuttall oak (*Quercus nuttallii*), Shumard oak (*Q. shumardii*), Water oak (*Q. nigra*), Willow oak (*Q. phellos*) and one white oak species, Live oak (*Q. virginiana*) from Southern USA were introduced for establishing plantations at different sites and soil types in Yangtze River Delta of China. When 1-or 2-year-old bare-root seedlings were planted after a long distance of transportation, the survival rates of Nuttall oak, Shumard oak, and Water oak were higher than 94%, while the survival rates of Willow oak and Live oak were 76%~81% and 42%~50% respectively. Obvious differences existed among species in root and shoot growth habits, phenology and pest occurrence at young stage. For the four red oak plantations established on paddy soil, the mean annual DBH increments and height increments after 8~10 years ranged from 0.96 to 1.76 cm and 0.8 to 1.33 m with the reserved density of 900~1500 trees per hectare. But the mean annual DBH increments and height increments of stands on hill with red-yellow soil ranged from 0.64 to 1.01cm and 0.57 to 0.78m, respectively. The Live oak stands planted with 2- to 4-year-old seedlings with clod-ball on coastal saline soil had a survival rate of higher than 87%, and the mean annual DBH increments and height increments at the age of 7~9 were 0.78~1.13 cm and 0.59~0.75 m respectively with the density of 1110~3900 trees per hectare. All the trees of the 5 oak species begun to bear fruit at the age of 6~9. The research showed that the 5 oak species had good adaptability to natural conditions in Yangtze River Delta. Water oak, Nuttall oak, Shumard oak and Willow oak can be applied for construction of plain landscapes and ecological stands, and Live oak has broad prospects for coastal protective forest.

Key words: North American oaks; adaptability; plantation; growth; fruit-bearing

收稿日期: 2012-09-13

基金项目: 国家林业局“948”引进项目(2000-04-15);浙江省重大科技专项重点项目(2006C12065)

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和树木修复研究。

世界上栎属 (*Quercus* L.) 树种约有 500 ~ 600 种, 主要分布在北半球。大约 200 ~ 250 种栎树发现于北美洲等美洲地区, 300 多种栎树分布在欧洲、亚洲和北非洲。在美国, 栎树是最重要的硬阔属树种, 它们是东部落叶阔叶林的主要成员和中部、南部高地森林的优势林木, 也是贯穿东部和南部的低地混交阔叶林的重要成员, 在西部半干旱地区则分布于谷地和坡地^[1]。栎树材质优异, 是世界上优质商品材和燃料的重要来源, 其木材产品广泛地用于优美的家具到粗制的建筑材料、铁路枕木、各类桶器以及矿柱等^[1]。栎树结实丰富, 成为许多野生动物的主要食物来源, 也是制作饲料、淀粉、酒精的原料^[2-3]。栎树树势雄伟, 根深叶茂, 秋色缤纷, 在乡村森林、城市森林景观中颇具特色。因此, 栎树资源的保存与发展, 具有重大的经济意义和生态、环境价值。

树木引种是发展人工林、提高木材产量、获取乡土树种所不能提供的特殊产品、增加生物多样性和改善人居环境的重要手段^[4]。虽然我国栎属树种资源丰富, 有 50 余种, 并大致分为 5 个组^[5], 但几乎都分布于丘陵山地, 国内栎树研究比较薄弱, 特别是对国外栎树引种研究相对滞后^[6], 无论在木材生产还是在生态建设中, 栎树的多种功能尚未得到充分发挥。长期树木引种实践证明, 从气候条件相近的美国东南部引种, 成功的把握较大^[6]。我国对国外栎树的引种始于 20 世纪初, 引种成功的主要有 2 种^[7]: 一是从美国引进的沼生栎 (*Q. palustris* Muenchh.), 在山东青岛和辽宁熊岳, 生长良好, 并已结实; 二是从地中海周边地区引进的欧洲栓皮栎 (*Q. suber* L.), 在四川、湖北、贵州等内陆地区生长尚属正常, 而在南京、杭州等地生长不良。1998 年以来, 中国林科院林业研究所、江苏省林科院等单位开始北美栎树引种研究, 引进了 10 多种栎树, 发表了不少苗期或造林后阶段研究报告^[8-11], 显示了栎树引种的良好前景。

根据我国长江三角洲地区生态建设需要, 为了丰富缺林少林平原地区的树种资源, 本研究组开展了北美低地栎树引种研究。2001 年以来, 研究组先后从美国东南部地区引进 10 种栎树在各地试种和成片造林, 其中纳塔栎 (*Q. nuttallii* Palmer)、舒玛栎 (*Q. shumardii* Buckl.)、水栎 (*Q. nigra* L.)、柳叶栎 (*Q. phellos* L.) 属于红栎组 (*Quercus* Sect. *Lobatae*), 弗吉尼亚栎 (*Q. virginiana* Mill.) 属于白栎组 (*Quercus* Sect. *Quercus*)^[12]。这 5 种北美栎树的引种点较多, 栽种数量较大, 研究时间超过了 10 a。目前 5 种引进北美栎树均已开始结实并投入应用, 现将其引种表现报道如后, 以供林业、园林有关部门和种苗生产单位实际生产应用参考。

1 材料与方法

1.1 引进北美栎树简介

本项目先后从美国东南部沿海平原引进 10 种栎树, 其中重点是弗吉尼亚栎、水栎、柳叶栎、舒玛栎和纳塔栎 5 个树种。弗吉尼亚栎主要为路易斯安那州种源 (另有少量阿肯色州、佛罗里达州和弗吉尼亚州种源), 水栎为路易斯安那州、阿肯色州种源, 柳叶栎为路易斯安那州、密西西比州种源, 舒玛栎、纳塔栎均为路易斯安那州种源。其基本特征和生境条件简介^[13]见表 1。

1.2 引种造林点概况

所有引种造林点均位于长江三角洲及其附近地区, 属于中亚热带北部和北亚热带沿海季风气候, 年均降水量 991 ~ 1 421 mm, 年均气温 14.2 ~ 16.4 °C, 7 月平均气温 28.6 ~ 29.5 °C, 极端最高气温 37.8 ~ 39.7 °C, 1 月平均气温 2.8 ~ 3.7 °C, 极端最低气温 -8.9 ~ -11.9 °C, 无霜期 225 ~ 251 d, 年均日照时数 1 817 ~ 2 038 h。引种地的气候条件与 5 种北美栎树原产地大体相似。

引种造林点的土壤类型有 4 种: (1) 水稻土 (原是农田), 壤质至黏质, 中性或微碱性, 在上海松江黄浦江边和江苏江都造林点自然地下水位较高, 但经过开沟整地, 地下水位距地面 60 cm; (2) 水库河滩地冲积土, 壤质, 中性, 春夏之交多雨季节常有 2 个多月的滞涝出现, 此类立地有 2 个点; (3) 山坡红壤黄泥土, 质地黏重, pH 值 6.0 ~ 6.5, 此类立地仅浙江富阳 1 个点; (4) 滨海盐土, 土壤全盐量 0.3% ~ 0.6%, pH 值 8.0 ~ 9.5, 此类土壤仅用于弗栎造林。

1.3 造林方法

2003 年春采用舒玛栎、纳塔栎、弗栎的 1 年生裸根苗和水栎、柳叶栎的 2 年生裸根苗, 在浙江富阳、上海松江、江苏江都三地进行块状造林, 三地初植株行距分别为 1 m × 1.5 m、1.5 m × 2 m 和 1 m × 1 m。其中上海松江点每树种小区 800 m², 重复 2 ~ 3 次, 其余两地每树种各成片栽种 100 ~ 200 株。同时在浙江富阳一个山坡上成块栽种纳塔栎、舒玛栎

表1 5种北美栎树基本特征和生境条件简介

树种	基本特征	生境条件
弗吉尼亚栎	简称“弗栎”，树高12~15 m，直径90~120 cm。树干粗壮，树冠巨大而宽广。枝叶浓密，叶片互生，长椭圆形或倒卵形，叶尖钝圆。幼苗叶片常有刺尖，但成年树叶缘光滑，少有缺刻。叶灰绿色，长5~8 cm，宽1.5~2.5 cm。在南方系常绿树种，每年春季老叶脱落，新叶焕发。种实长而渐尖，长卵形，深褐色到黑色，带有深的壳斗。	分布于美国东南部沿海平原和岛屿。分布区气候湿润，年降水量810~1 650 mm，夏季平均气温27℃，冬季平均气温2~16℃，无霜期240~300 d。通常生长于沿海地带的沙质土壤，很耐盐雾，也耐较高的土壤盐分。在路易斯安那州为沿海沼泽地边缘大堤上的优势树种，深根性，枝条具韧性，具抗击飓风的能力。
水栎	是中等大小的半常绿乔木树种，树高18~22 m，直径60~100 cm。树冠多呈圆形。树皮黑灰色，时有脊状突起。叶形多变，通常为倒圆锥形或斧形，叶缘平滑或具浅的裂片，叶长5~10 cm，宽3~5 cm。种实小而呈球形或橘形，黑褐色，着生于浅的被鳞壳斗内。	分布于美国沿海平原和密西西比河谷地区。无霜期200~250 d，无霜期内年降雨量1 270~1 520 mm，降雪量0~50 cm。7月高温21~46℃，1月低温2~-29℃。通常生长于低湿地，小河沿岸或湿润的高地土壤生长良好，是采伐迹地上自然更新植被中的常见树种，在南方地区广泛用作街道遮荫树。
舒玛栎	也称沼地红栎，系高大落叶乔木，是美国最大的红栎组树种之一。树高可达30 m以上，直径60~150 cm。树冠宽而开张。树皮灰色，有脊沟。冬季落叶，叶长15~20 cm，宽10~13 cm，具有7~9个齿状深裂片。种实硕大，长2~3.3 cm，卵形，带有浅的茶盘状被鳞壳斗。	分布于大西洋沿海平原和密西西比河谷地区。分布区气候温暖湿润，生长季210~250 d，年平均气温16~21℃，年最高气温38℃，最低气温-9℃。年降水量1 140~1 400 mm。是低地树种，多在河流两旁的潮湿而排水良好的土壤上与其它阔叶树混生，能耐高pH值和营养亏缺土壤，在较干旱的高地也能生长。
纳塔栎	系高大落叶乔木，是生长于墨西哥海湾沿海平原、密西西比河和红河流域的排水不良低地上的少数几个具有重要经济价值的树种之一。树高20~28 m，直径30~90 cm。树冠广圆形。叶长10~20 cm，宽5~13 cm，具有5~7个深的裂片。种实硕大，长2~3 cm，卵形，带有深的被鳞壳斗。	分布区相对狭窄，集中于墨西哥湾沿海平原。分布区气候湿润，年降水量1 270~1 650 mm，其中4~8月生长季节降水630~760 mm。夏季平均气温27℃，冬季平均气温7~13℃，极端最高、最低气温43℃和-26℃。在密西西比三角洲河岸一线台地排水不良的冲积性黏土和酸性土上生长良好。
柳叶栎	是中等到高大的落叶乔木树种，树高25~30 m，直径60~120 cm。树冠宽广、圆形，在林中干形通直。树皮灰色至黑色，具不规则沟状裂纹。叶片似柳叶，长5~8 cm，宽1.3~2.5 cm，全缘，带有刚毛状叶尖。叶正面亮绿色，背面暗灰色。种实小，近球形，长1.3 cm，具托盘状被鳞壳斗。	主要分布在沿海平原的低地。分布区处于湿润温暖气候，其特点是长而炎热的夏季和短而温和的冬季，夏季平均气温21~27℃，极端最高气温38~46℃，极端最低气温-29℃。年降水量1 020~1 520 mm。生长在各种类型的冲积土上，在新冲积的粘壤土上表现最好。

和柳叶栎，株行距2 m×2 m。

2004—2005年间用2~3年生大苗增加多个成片引种点(详见后文表5)。各引种点一般初植密度较大，在造林后第5或第6年起逐步疏挖，8~10 a时保留密度900~1 500株·hm⁻²。弗栎引种点主要在浙沪沿海滩涂用2~3年生带土球大苗成片栽种，保留密度1 110~3 900株·hm⁻²。

1.4 观测与分析方法

2001、2002年在浙江富阳城郊育苗期间每树种随机标定20株苗木，从5月底开始，每月进行1次或2次苗高和基径测定。年底每树种取3个样方测量苗高和基径，每个样方15~20株。

造林初期进行成活率调查和生长测定，并对幼年期的枝梢生长习性、物候变化、结实和病虫害发生

情况进行观察。在幼年期的深秋，每树种选取5株采集混合叶样，重复3次，按照标准方法测定叶片花青素含量^[14]。2011年底对各地7~10年生片林进行生长测定。其中，上海松江点每树种小区逐株测定胸径，并按径级取10~15株测量树高，其余各点每树种抽取2~3行(30~40株)逐株测定胸径和10~15株树高。

2010年秋从上海松江引种试验林中采集5种北美栎树种子，以国产白栎(Q. fabric Hance)为对照，次年在浙江富阳进行容器育苗。容器大小Φ18 cm×H23 cm，使用混合基质(稻田土:泥炭:珍珠岩=5:4:1)，每容器定苗2株，每种6杯12株，重复4次。年底逐株测量苗高和基径，每树种取3个重复9株平均苗测定生物量，并用双光源扫描仪扫描

和根系分析软件 WinRHIZO Pro 2005b (加拿大 Reagent 公司生产)分析根系形态参数。

所有观测数据采用 Excel 2003 和 DPS 8.01 软件进行统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 苗期生长

图1表示2002年4种北美栎树圃地苗地上生长过程。种子发芽出土后,纳塔栎和舒玛栎幼苗生长迅速,各种栎树在5月至7月上旬进入速生期,7

月中下旬至8月中旬为缓速期,8月中下旬至9月底为第2次速生期,之后生长速度减慢,10月底基本停止高生长。但弗栎高生长节律不同于其它栎树,夏季基本上没有缓速期。

2002年年底圃地样方调查结果:纳塔栎苗木生长最佳,平均苗高 96.3 ± 19.3 cm,平均基径 11.7 ± 2.1 mm;其次是舒玛栎,平均苗高、平均基径分别为 84.3 ± 13.7 cm和 9.1 ± 1.3 mm,柳叶栎为 60.2 ± 9.8 cm和 6.4 ± 1.1 mm;弗栎生长最差,平均苗高 43.1 ± 7.2 cm,平均基径 5.5 ± 0.9 mm。

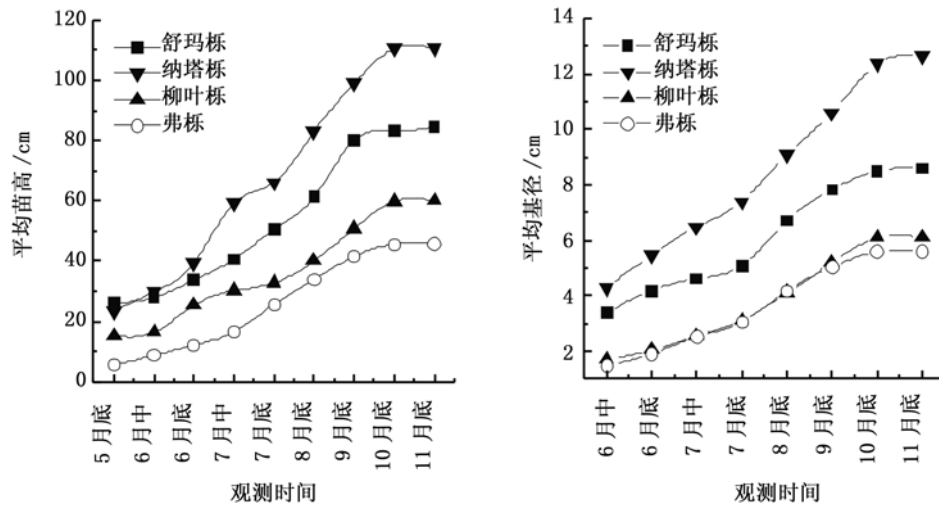


图1 2002年4种北美栎树圃地苗生长过程

2011年容器苗的总体生长状况不如2002年圃地育苗(表2)。地上生长和根系发育状况在不同栎树种间差异显著,苗高、基径生长量以纳塔栎最高,

白栎最差。单株生物量舒玛栎最大。据多项根系参数判断,舒玛栎、纳塔栎根系最为发达,弗栎的各项根系参数值最低,尤其是细根发育不及其它栎树。

表2 2011年6种栎树容器苗地上生长和根系发育状况的差异

树种	平均苗高/ cm	平均基径/ mm	生物量/ (g·株 ⁻¹)	根梢比	根系总长/ cm	≤1.0 mm 细根 长比例/%	根总表 面积/cm ²	≤1.0 mm 细根 表面积比例/%	根尖数
纳塔栎	56.25 a	6.40 a	9.29 b	0.772 c	1 209 a	94.03 a	157.39 a	46.94 a	12 421 a
舒玛栎	47.10 b	5.65 b	16.27 a	1.555 b	1 037 a	91.65 ab	167.11 a	37.63 bc	10 741 a
水栎	43.90 bc	4.51 c	6.71 bc	0.776 c	481 b	91.35 ab	78.55 b	36.61 bcd	5 858 bc
柳叶栎	35.68 d	3.25 d	3.82 c	1.288 b	609 b	91.84 ab	86.85 b	40.96 ab	6 960 b
弗栎	39.10 cd	3.71 d	5.98 bc	0.785 c	302 b	84.63 c	66.00 b	32.74 cd	3 625 c
白栎	22.32 e	3.29 d	5.07 c	2.325 a	373 b	88.33 bc	69.42 b	30.16 d	4 357 bc

注:数据后的字母相同,表示在5%显著水平上无显著差异,下同。

2.2 造林成活率和初期生长

2003年春,利用在浙江富阳培育的5种北美栎树1~2年裸根苗在浙江富阳、上海松江、江苏江都三地进行造林。造林当年,浙江富阳点5种栎树成活率均在97%以上,江苏江都点和上海松江点成活

率分别为:弗栎42%和50%,柳叶栎76%和81%,其余3种栎树均达94%以上。造林第3年底除弗栎以外,其余4个树种均基本郁闭成林。弗栎苗侧须根稀少,加之其常绿特性,极易失水,可能是其裸根苗造林成活率不高的主要原因。此后几年改用弗栎

1~2年容器苗和2~4年生带土苗造林,在多个地点滨海盐土造林实践表明,虽经长距离运输,其成活率达87%~98%。

图2表示5种北美栎树在三地造林第4年的生长量。上海松江点和浙江富阳点平均树高达4.5~

6.2 m,平均胸径达4.5~6.5 cm,其中弗栎树高3.5~3.8 m,胸径4.0~4.5 cm。江苏江都点各树种生长表现最差,其原因可能与该点地下水水位较高和栽种密度过大有关。

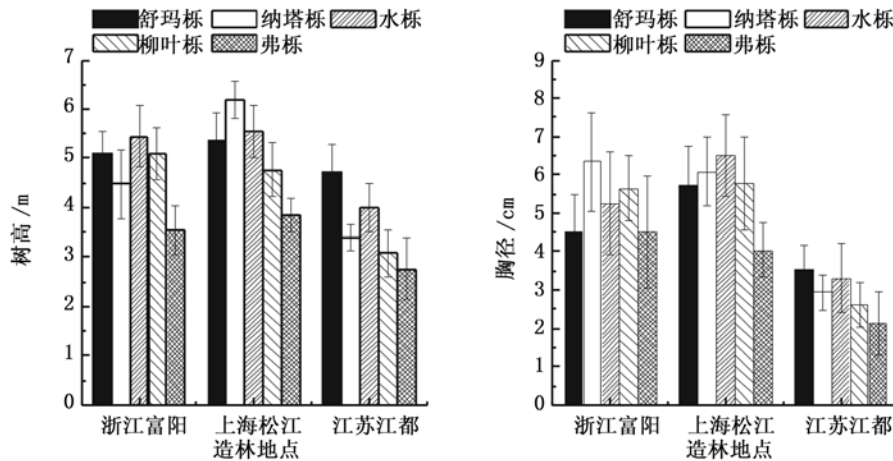


图2 5种北美栎树三地造林第4年的生长量

2.3 幼年枝梢生长习性及时色变化

对容器苗的观察表明,除弗栎之外,其余5种栎树苗木主梢的生长都具有“长—停—长—停—长—停”的间断性特点,在茎干上留下了“节”。不同树

种抽梢次数和节间长度有差异(表3)。其中,纳塔栎节间较长,节数最多,其株高达到最大。舒玛栎节间最长,节数较少。柳叶栎、水栎节数较多,节间较短。白栎节数最少,节间最短,其高生长量最小。

表3 不同栎树容器苗茎干生长的节数和节间

树种	调查株数	平均株高/cm	1节株数	2节株数	3节株数	4节株数	5节株数	加权平均节数	平均节间/cm
纳塔栎	40	54.00	0	4	10	21	5	3.68	14.7
舒玛栎	40	46.03	0	7	25	7	1	3.05	15.1
柳叶栎	40	37.44	0	1	17	18	4	3.63	10.3
水栎	40	40.90	0	0	19	18	3	3.60	11.4
白栎	40	21.58	5	25	10	0	0	2.13	10.1
弗栎	40	40.22	节间不明显						

栎树幼树顶梢和侧枝生长也有明显的间断性特点。以水栎为例,在浙江富阳气候条件下,一年至少有3次抽梢生长,3月上旬至5月中旬为第1次伸长,5月下旬至6月下旬底第2次伸长,7月上中旬至8月中下旬为第3次伸长。纳塔栎、舒玛栎、柳叶栎等也有相似表现,但不同树种、不同年度之间的长、停时间有差异。

在浙江富阳,舒玛栎每年放叶最早,一般在3月中旬,水栎、柳叶栎较迟,纳塔栎最迟。在秋、冬季节(11月下旬至1月上旬),除弗栎保持常绿之外,其余栎树均不同程度地出现叶色变化,变为黄红色、红

色到紫红色。秋季变色最早的是纳塔栎,一般在霜降之后开始变红,11月中下旬落叶。舒玛栎较迟,12月初开始变红,12月底至1月初落叶。水栎苗木在秋冬季节不少变为红色,但幼树叶片一般不呈红色而转黄,1月中下旬落叶,基部叶常不凋落,属半常绿树种。

树木秋冬叶色变化的根源是叶片色素的变化。图3显示,随着时间的推移和气温下降,栎树苗圃1年生苗花青素含量呈现明显上升趋势,舒玛栎和水栎花青素含量最高,其次为沼生栎(*Q. palustris* Muenchu)、纳塔栎和柳叶栎,弗栎含量最低。在空

旷大田环境下,4年生舒玛栎、水栎和纳塔栎幼树花青素含量的上升趋势更加明显(图4),同在12月11日的花青素含量要明显高于圃地苗的同种栎树,可能空旷环境下的昼夜温差变化更大有利于花青素形成。弗栎和麻栎(*Q. acutissima* Carr.)的花青素含量低微,因此其叶色不会变红。

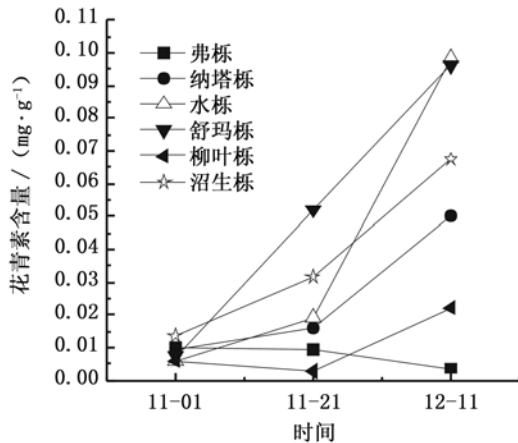


图3 6种栎树圃地1年生苗花青素含量

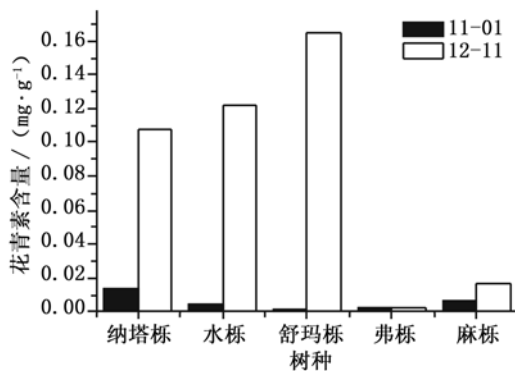


图4 5种栎树空旷地4年生幼树花青素含量

2.4 开花结实

能否正常开花结实是衡量树木引种成功与否的重要指标。引种实践表明,2001年播种的弗栎,2006年秋发现少量植株结实,近几年来普遍结实。结实株率与栽植密度关系密切。8~10龄密林(2000~3000株·hm⁻²)结实株率一般在10%~20%,且结实株多在林缘。但据2012年秋对浙江上虞海涂9年生稀疏人工林(600~700株·hm⁻²)的观测,结实株率接近100%,平均单株种子产量2.46kg,株间差异悬殊(变幅0.1~8.5kg)。目前,在浙江上虞、上海松江、江苏吴江等地的弗栎人工林,每年可供采种育苗用于推广。

在上海松江2003年建立的引种试验林,2008年秋水栎(树龄8a)、纳塔栎(树龄7a)开始结实,

2009年舒玛栎(树龄8a)、柳叶栎(树龄9a)开始结实,结实比例和结实量逐年提高。尤其水栎和弗栎普遍结实,林下自然更新幼苗众多,现已将松江的北美栎树引种试验林改建为母树林。

2.5 抗逆性

据多年观察,水栎和舒玛栎除有轻微食叶害虫危害外,未见其它严重病虫害危害。但弗栎、柳叶栎、纳塔栎的3~6年生幼林出现云斑白条天牛(*Batomera horsfieldi* Hope)等蛀干危害,特别在密度过大、附近有易感寄主(如复叶槭(*Acer negundo* Linn.)等)的环境下容易发生,必须加以重视。通过调整林分密度、喷撒噻虫啉或树干注射吡虫啉等杀虫剂可使虫害得到控制。

本项目组的水涝实验研究表明,2年生苗经过70d水涝胁迫处理后,麻栎和青冈(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunberg) Oersted)的受害率高达75%~100%,而4种北美栎树的受害率为20%~46%。根据形态、生长和生理等16个指标的综合评定结果,6种栎类的耐涝能力强弱顺序为:纳塔栎>弗栎>水栎>舒玛栎>麻栎>青冈^[15]。纳塔栎的高耐涝性已被水库滩地造林所证实。

近年来的深入研究已经证实,弗栎具有较强的耐旱^[16]、耐盐^[17-18]和耐重金属能力,其对干旱的适应能力与叶片良好的保水能力、细胞内游离脯氨酸的积累、叶绿素含量及组成比例的相对稳定和良好的热耗散机制密切相关。在水培条件下,弗栎1年生小苗在0.5%的盐溶液中生长正常,在0.7%盐溶液中叶片开始出现盐害症状,从叶尖和叶缘开始出现枯萎现象。

2.6 多点造林7~10a生长评价

由于不同地点不同树种造林所用苗木年龄不一,初植密度和保留密度也不相同,为了比较不同树种生长差异,在这里一律按照树龄减去1a苗龄作为林龄来计算林木年均生长量。对上海松江点的生长数据分析表明(表4),5种栎树生长速度和高径比存在显著差异。弗栎生长速度显著低于4个红栎组树种,在4种红栎组树种之间高生长差异不显著(与重复次数较少、试验误差较大有关)。柳叶栎和舒玛栎径生长速度相对较慢。高径比是反映林木干形变化的一个指标,据每树种实测不同径级25~30株林木树高和胸径的计算结果,舒玛栎和柳叶栎的干形修长,纳塔栎和水栎树干比较粗壮,弗栎树干低矮而粗大。

表4 上海松江点5种北美栎树造林9a的生长比较

树种	平均胸径/cm	平均树高/m	年均径生长/cm	年均高生长/m	高径比
水栎	16.86 a	12.10 a	1.685 5 a	1.209 5 a	70.19 b
纳塔栎	15.28 ab	11.96 a	1.697 5 a	1.328 0 a	69.68 b
舒玛栎	11.97 bc	11.56 a	1.329 5 ab	1.284 0 a	79.75 a
柳叶栎	12.85 abc	11.20 a	1.285 0 ab	1.119 5 a	76.93 ab
弗栎	9.98 c	5.75 b	1.108 5 b	0.639 0 b	54.10 c

表5为多个引种点5种北美栎树的生长量数据。由表可知,除在根控容器和山坡黄泥土栽培下的生长较差之外,纳塔栎、舒玛栎、水栎和柳叶栎4种栎树在平原造林(含库滩水涝地),8~10a后在保留密度900~1500株·hm⁻²条件下的年均径生长量为0.96~1.76cm,大多在1.0~1.5cm之间。年均高生长

量为0.8~1.33m,大多在0.9~1.2m之间。由此可见,上述4种北美栎树在长江三角洲平原地区属速生树种,其木材生产潜力十分可观。但在山地红黄壤立地栽种的纳塔栎、舒玛栎和柳叶栎人工林,其生长速度明显下降,年均径生长量和年均高生长量分别为0.64~1.01cm和0.57~0.78m。

表5 主要引种点5种北美栎树的生长量

树种 (种源)	引种 地点	土壤 类型	播种年份/ (移植年份)/ 造林定植年份	初植 密度/ (株·hm ⁻²)	观测时 密度/ (株·hm ⁻²)	观测时 树龄/ a	林木平均 胸径/ cm	林木平均 树高/ m	年均径 生长量/ cm	年均高 生长量/ m
纳塔栎(路易斯 斯安那州种 源)	浙江	山坡黄泥土	2002/2003	2500	1950	10	9.06±2.32	6.90±1.22	1.01	0.77
	富阳	水稻土	2003/2004	3330	1500	9	11.40±1.87	7.86±1.05	1.43	0.98
	浙江绍兴	库滩水涝地	2002/(2004)/2007	1350	1350	8.5	7.63±1.40	6.40±0.78	1.02	0.85
	浙江平湖	水稻土	2003/2005	1650	1500	9	10.88±1.43	10.5±0.53	1.36	1.31
	上海松江	水稻土	2002/2003	3330	1200	10	15.27±3.35	11.98±0.87	1.70	1.33
	上海青浦	水稻土	2003/2004	3330	1200	9	12.17±2.26	8.90±0.81	1.52	1.11
舒玛栎(路易 斯安那州种 源)	浙江富阳	山坡黄泥土	2002/2003	2500	1350	10	6.51±1.85	6.98±1.36	0.72	0.78
	浙江平湖	水稻土	2002/(2003)/2005	3330	1500	10	10.89±1.91	9.25±0.75	1.21	1.03
	上海松江	水稻土	2002/2003	3330	1200	10	13.60±2.92	11.25±0.95	1.51	1.25
水栎(阿肯色 州种源)	浙江富阳	水稻土	2001/2005	根控容器	1200	11	10.15±1.41	6.31±0.65	1.02	0.63
	浙江余杭	水稻土/黄泥土	2001/(2003)/2009	3330	675	11	14.08±1.72	9.13±0.73	1.41	0.91
	浙江平湖	水稻土	2001/(2002)/2005	1650	1350	11	14.76±3.72	9.31±0.84	1.48	0.93
	上海松江	水稻土	2001/2003	3330	900	11	17.62±2.57	12.41±0.68	1.76	1.24
水栎(路易斯 斯安那州种源)	上海松江	水稻土	2001/2003	3330	900	11	16.09±3.54	11.78±0.94	1.61	1.18
柳叶栎(路易 斯安那州种 源)	浙江富阳	山坡黄泥土	2001/2003	2500	1350	11	6.39±1.19	5.67±1.02	0.64	0.57
		水稻土	2001/2005	3330	1500	11	11.06±2.61	9.24±1.27	1.01	0.92
	浙江余杭	水稻土/黄泥土	2001/(2003)/2009	3330/675	675	11	15.01±1.68	9.14±0.77	1.50	0.91
	浙江绍兴	库滩水涝地	2002/(2003)/2007	1350	1350	10.5	7.20±1.38	6.17±0.91	0.96	0.82
	浙江平湖	水稻土	2001/(2002)/2005	3330	1650	11	10.55±1.57	9.08±0.44	1.06	0.91
	上海松江	水稻土	2001/2003	3330	1050	11	12.33±3.18	11.14±1.58	1.23	1.11
柳叶栎(密西 西比州种源)	浙江富阳	水稻土	2003/2004	6660	1500	9	10.90±1.14	8.43±0.44	1.36	1.05
	上海青浦	水稻土	2003/(2004)/2007	3330	1110	9	11.74±1.82	6.38±0.48	1.47	0.80
弗栎(路易 斯安那州种源)	浙江慈溪	滨海盐土	2002/2003	6660	2820	10	9.13±2.42	6.30±0.95	1.01	0.70
	浙江上虞	滨海盐土	2004/2006	6660	3750	8	6.37±0.96	4.53±0.37	0.91	0.65
	浙江温岭	滨海盐土	2005/2007	2500	2500	7.5	7.27±2.16	4.90±0.86	1.12	0.75
	浙江瑞安	滨海盐土	2005/2007	1110	1110	7.5	5.82±1.46	3.83±0.49	0.90	0.59
	浙江海盐	滨海盐土	2005/2009	4440	3900	7	4.65±0.45	3.61±0.40	0.78	0.60
		滨海盐土	2005/2008	1350	1350	7	6.79±1.18	4.14±0.40	1.13	0.69
	上海松江	水稻土	2002/2003	3330	1200	9	10.14±2.42	5.65±0.84	1.27	0.71
	江苏吴江	水稻土	2003/2005	2500	2500	9	7.42±1.43	5.38±0.47	0.93	0.67

注:观测时树龄=苗龄+林龄。

弗栎在滨海盐土造林7~9 a,在保留密度1 110~3 900株·hm⁻²条件下,林木年均径生长量和年均高生长量分别为0.78~1.13 cm和0.59~0.75 m。其生长速度不如前述4种红栎组树种,但在滨海盐土与内陆水稻土条件下的生长速度无明显差异,表现出较强耐盐特性。

3 结论与讨论

本研究总结了多点引种北美栎树8~11 a的生长表现,结果表明,来自美国南部地区的水栎、舒玛栎、纳塔栎、柳叶栎4种北美栎树能适应我国长江三角洲平原地区的自然条件,生长迅速,正常开花结实。它们根深叶茂,树干通直,树形美观,秋色斑斓,观赏价值较高,并具有一定的耐水涝能力,在平原生态景观林和城镇园林绿化工程中具有较好的应用前景。

4种红栎组树种育苗造林相对比较容易,用1~2年生裸根苗或2~3年生带土苗造林7~9 a的幼林,其年均径生长量大多在1.0~1.5 cm,年均高生长量大多在0.9~1.2 m。据Kennedy介绍,用4种栎树的1年生裸根苗在美国阿肯色州东南部河边低地进行造林试验,第10个生长季过后,树木的大小和生物量在不同树种和栽种密度之间均有显著差异,其中水栎生长最好,其平均胸径7.87 cm,树高7.28 m^[23]。虽然我国长江三角洲平原引种地多是农田,立地条件可能较优,两者不能直接相比,但这4种北美栎树的速生性应该给予肯定,它们可作为我国南方平原区速生丰产林的优良树种加以应用。

研究表明,影响北美红栎树种生长的因素主要有两个,一是土壤条件,在水肥条件均较好的平原水稻土上生长良好,而山地土壤和水涝地的生长相对较差;二是林分密度,在树种相同、树龄和土壤条件相似的情况下,凡保留密度较小的地块林木生长大多优于密度较大的地块,这是这些树种的速生特性所决定的。在美国,以木材生产为目标的人工林,专家建议采用3 m×3 m或3.66 m×3.66 m的株行距造林,以生态环境保护为目标的人工林,其株行距还可加大^[19]。在我国推广应用上述4种北美红栎,立地选择和密度控制是决定造林成败的关键技术。

弗栎的干形和生长速度不及以上4个红栎组树种,但由于它的常绿特性、宽广的冠形和具有较强的抗风^[20]、耐盐、耐旱和耐重金属能力,受到长江三角洲地区林业、园林部门的青睐,目前已在浙江、上海、江苏等地沿海防护林体系建设中得到广泛应用,在

矿区废弃地的绿化治理中也具应用潜力。

参考文献:

- [1] Smith D W. Oak regeneration: the scope of problem [C]//Loftis D L, McGee C E. Oak regeneration: serious problems, practical recommendations. Symposium proceedings, Knoxville, Tennessee, September 8-10, 1992. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeast Forest Experiment Station, 1992: 40-52
- [2] 冯国楣, 周俊, 翟平, 等. 橡子 [M]. 北京: 科学出版社, 1966
- [3] 中华人民共和国林业部森林经营司森林副产处. 木本粮油植物 [M]. 北京: 农业出版社, 1965
- [4] 王豁然, 江泽平. 论中国林木引种驯化策略 [J]. 林业科学, 1995, 31(4): 367-371
- [5] 彭焱松, 陈丽, 李建强. 中国栎属植物的数量分类研究 [J]. 武汉植物学研究, 2007, 25(2): 149-157
- [6] 江泽平, 王豁然, 吴中伦. 论北美洲木本植物资源与中国林木引种的关系 [J]. 地理学报, 1997, 52(2): 169-176
- [7] 潘志刚, 游应天. 中国主要外来树种引种栽培 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1994
- [8] 汪企明, 李晓储, 黄利斌, 等. 美国栎属种源引种、变异研究: 种子及苗期生长变异 [J]. 江苏林业科技, 1999, 26(1): 1-6
- [9] 黄利斌, 李晓储, 朱惜晨, 等. 北美栎树引种试验研究 [J]. 林业科技开发, 2005, 19(1): 30-34
- [10] 汪贵斌, 曹福亮, 汪企明. 不同柳叶栎种源生长性状的测定与分析 [J]. 林业科技开发, 2008, 22(3): 18-20
- [11] 陈益泰, 陈雨春, 黄一青, 等. 抗风耐盐常绿树种弗吉尼亚栎引种初步研究 [J]. 林业科学研究, 2007, 20(4): 542-546
- [12] Brockmen C F. Trees of North America, a guide to field identification [M]. New York: St. Martin's Press, 2001
- [13] Burns R M, Honkala B H. Silvics of North America Vol. 2: hardwoods. Agriculture handbook No. 654 [M]. Washington, DC: USDA Forest Service, 1990
- [14] 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
- [15] 张晓磊. 几种南方栎类树种耐涝性研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2010
- [16] 王树凤, 陈益泰, 孙海菁, 等. 盐胁迫下弗吉尼亚栎的生长和生理生化变化 [J]. 生态环境, 2008, 17(2): 747-750
- [17] 王树凤, 孙海菁, 陈益泰, 等. 模拟干旱胁迫下弗吉尼亚苗木叶片相关生理参数的分析 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(6): 6-10
- [18] 王树凤, 胡韵雪, 李志兰, 等. 盐胁迫对弗吉尼亚栎生长及矿物质离子吸收、运输和分配的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4609-4616
- [19] Kennedy H E, Jr. Artificial regeneration of bottomland oaks [C]//Loftis D L, McGee C E. Oak regeneration: serious problems, practical recommendations. Symposium proceedings, Knoxville, Tennessee, September 8-10, 1992. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeast Forest Experiment Station, 1992: 241-249
- [20] Batista W B, Platt W J. Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old growth forest [J]. Journal of Ecology, 2003, 91(2): 197-212