

文章编号:1001—7380(2024)01—0017—07

# 江苏沿江防护林主要树种选择研究

施士争<sup>1</sup>,王红玲<sup>1,2</sup>,王保松<sup>1</sup>,黄瑞芳<sup>1,3</sup>

(1. 江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153; 2. 江苏扬州城市森林生态系统国家定位观测研究站,江苏 扬州 225000; 3. 江苏省科技资源(农业种质)统筹服务平台柳树种质资源圃,江苏 南京 211153)

**摘要:**通过对江苏沿江8市古树资源和长江江苏段2岸1 km范围内森林中各树种资源分布调查,结合长江防护林造林树种选择相关研究,筛选出适用于长江江苏段防护林造林树种59个。分别针对沿路区、滨水区和滩面区3种生态位特点,通过生态效益、景观效益和社会效益3类共10个指标,采用定量与定性研究相结合的方法,对这些树种进行综合评价、排序和分类。结果表明:3种生态位上各造林树种均可分为3类,第1类树种3种生态位可作为优选树种分别有15, 7, 7个;第2类3种生态位作为一般树种,分别有22, 40, 29个;其他可作为备选树种。结合沿江不同造林环境的特点和相关树种的特殊适应性,提出了相应的树种选择和配置建议。

**关键词:**长江;生态景观林;树种;选择;配置

中图分类号:S727.2

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2024.01.004

## Tree species selection and configuration in the ecological landscape forest along the Yangtze River in Jiangsu Province

Shi Shizheng<sup>1</sup>, Wang Hongling<sup>1,2</sup>, Wang Baosong<sup>1</sup>, Huang Ruifang<sup>1,3</sup>

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Yangzhou Urban Forest Ecosystem National Research Station, Yangzhou 225000, China; 3. Willow Nursery of the Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Nanjing 211153, China)

**Abstract:** Fifty-nine afforestation species were selected for the shelter forest through investigation for the dominant species resources of old or famous trees and the tree species distribution from the forest within the 1 km range of both sides along the Yangtze River in 8 cities of Jiangsu Province, and integration research on the tree species selection for the Yangtze River shelter forest. For the characteristics of the dike trunk area, the waterfront area and the beach area, 10 indexes of ecological, landscape and social benefits were determined for comprehensive evaluation, sort and classification of these species, by using scientific data research and expert consultation. The results showed that 59 species could be classified into three types in each ecological area. Type 1, including 15, 7 and 7 species respectively, was of main priority. Type 2, including 22, 40 and 29 species respectively, was of general use, and another few were candidates. Combining the land occupation condition and the applicability of tree species, corresponding tree species and configuration were proposed.

**Key words:** The Yangtze River; Ecological landscape forest; Tree species; Selection; Configuration

长江江苏段西承安徽省马鞍山市,东段北出东海、南入上海市。沿江区域内经济发达,重工业企业数量占全省6成、经济总量占全省8成、进出口总额占全省9成<sup>[1]</sup>。岸线全长1 169.9 km,其中主江岸线长828.1 km、江心洲岸线341.8 km。近10 a

间,岸线总利用长度一度达到487.6 km,岸线利用率为41.7%,其中主岸线占48.0%<sup>[2]</sup>。高强度开发使沿江资源环境承载力下降,单位国土面积主要污染物排放强度明显高于全国平均水平,给长江生态环境保护带来巨大压力。作为陆地生态系统的主

收稿日期:2023-08-01;修回日期:2023-12-14

**基金项目:**江苏省农业科技自主创新资金项目“长江沿岸景观防护林优良植物材料筛选”(CX(19)100401);江苏省林业科学研究院自主科研项目“泡桐和墨西哥落羽杉优质材及景观绿化良种选育”(ZZKY202102)

**作者简介:**施士争(1968-),男,江苏宿迁人,研究员,大学本科毕业。主要从事林木遗传育种。E-mail:shshzn@163.com

体,长江岸线森林资源总量和质量提高对平衡和维护生态环境,提高生态环境承载力、保障社会经济可持续发展具有重要意义。

沿江可绿化范围是从堤内临水侧起至背水侧堤脚向外自然延伸的宜林地,范围内立地条件复杂。根据地貌特征,可植树区域大体可分为沿路、滨水(水陆交错带)、滩面等 3 类生态区位。植树主要限制因素为淹水、渍水和风(浪)。此外,每种生态位上均包含入海口、交通、水电、港口、工厂、粮储、造(修/拆)船、取水口、观光、生活管理、湿地保护利用以及生态修复整治等不同场所;植树时应针对场所具体特点,考虑树种的耐盐碱、耐污染、防火、遮阴或隔污、吸污等功能匹配性,兼顾木材和景观培育价值。

树木生长期长达数十年甚至上百,生长期内会遇到各种不利因素。即使对于特定区位,其年度内和年际间水文、温度、风害、土壤条件和人文因素等均可发生很大变化,针对类似长江沿江规模的大区域造林,因地制宜、定量研究选择最优树种极为困难。前人选择造林树种时,往往从树木耐淹水、耐干旱、抗污染、吸附污染物质等方面进行研究测定<sup>[3-8]</sup>,这些研究往往针对单一胁迫类型,未见多因素综合选择的定量研究报道。实践上,树木生长受多种环境因素的综合影响,生产单位往往优先考虑经济价值或观赏价值,其次兼顾适应性进行综合选择。层次分析法(AHP)是将定量与定性相结合的多因素分析决策方法,在造林树种综合选择研究方面有广泛应用。赵娟<sup>[9]</sup>用此法根据适宜性评价,将太行山中南部常见 17 种造林树种分为 4 类:最适宜、较适宜、不太适宜、不适宜;陈俊华等<sup>[10]</sup>通过线路踏查法初定 82 个成渝地区城市绿化树种,从生态学特性、生态功能、景观功能和经济价值方面综合评价,确定了 17 个骨干树种、36 个补充树种;谢腾芳等<sup>[11]</sup>基于 AHP 构建了广东水湿生植物配置评价体系;该法在防护林树种选择方面有更多报道<sup>[12-17]</sup>。一般学者在长江流域生态造林树种选择方面,主要以耐淹指标选择造林树种<sup>[18]</sup>,且研究树种范围往往针对少数树种,限制了一些不耐淹树种在不受淹区域的应用。系统性选择仅见李亚等<sup>[19]</sup>根据文献初筛了 223 个树种(包含国外树种),采用 AHP 选出落叶乔木、常绿树木和灌木树种各 20 个用于沿江造林。前人研究一般笼统以长江防护林为对象,未见有关沿江不同区位及具体造林场所特

点树种选种与配置的报道。本文从相关区域古树资源、森林资源分布情况,结合文献调查和专家调查,主客观结合确定树种选择范围,并从针对沿江不同生态位及造林场所环境特点开展树种选择研究和配置应用,以更好实现适地适树造林目标。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域和调查方法

根据长江(江苏段)2 岸造林绿化工程总体规划,确定研究空间范围为江堤两岸及外延 1 km 区域。提高生物多样性,培育百年树木、千年秀林是长江防护林远景目标;在选择造林树种时,不但应考虑到树木当前绿化效益,还应兼顾中长期难以预见的自然灾害和人为活动对树木的影响。据此,综合应用 3 种方法调查区域树种。

(1)古树调查法:古树是各地自然环境、人文环境对树种适生性长期选择的结果,也是树种适应性最合理、最有力的依据。调查江苏省林木种质资源分布情况,选择在江苏沿江 8 市(宁、镇、扬、苏、锡、常、泰、通)出现 4 个市以上的树种,剔除其中生长缓慢、树体矮小的典型园林树种。

(2)森林资源调查法:当前区域内树种分布和资源总量客观反应有关树种适应性和社会可接受度。从江苏省森林资源保护矢量数据中,统计分析长江江苏段 2 岸 1 km 范围内森林树种。

(3)文献调查法:作为前 2 种调查方法的补充。调研长江中下游生态防护林树种选择研究文献,从中选择被森林资源保护矢量数据系统合并到“其他硬阔”等字段中的乡土树种,以及引进并造林应用的树种,并查证相关树种适应性和抗逆性性状,作为在长江防护林不同生态位配置造林的树种。

### 1.2 分析方法

根据研究范围内地貌特征对树木生长的影响,分为沿路区、滨江区和延伸区 3 类生态位。沿路区一般位于年最高水位 1 m 以上,生长的树木基本不受淹水影响,选择造林树种主考虑防风固土、景观价值和木材利用价值。滩面区指江堤底角向 2 侧延伸的低平滩面包括延伸到江堤外的宜林地,其中的坑塘和洼地在退水期后仍然受淹或渍水影响,对树木生长影响最大,一般滩面较少受水淹。滨江区指季节性水陆交替区域,全年水位落差一般为 2—3 m,树木受淹水危害,受渍水影响较小。

先采用层次分析法,分别 3 类生态位分析准则

层和指标层权重,然后对各树种各指标进行赋值;再调研各树种抗逆性强弱情况,根据不同场所特点进行树种配置。利用 Excel 和 IBM SPSS Statistics 19 进行统计分析。

**1.2.1 树种选择指标体系构建** 结合长江江苏段沿江不同区位特点,从各树种成林后的生态效益、景观效益和社会效益 3 方面确定树种选择指标。遵从 AHP 的原理和程序,确定长江江苏段防护林造林树种选择指标体系(如图 1):目标层为 3 类沿江不同生态位选择造林树种,准则层为 3 种生态位上林木生态效益、景观效益和社会效益的相对重要性,

准则层下分别设定 10 个逻辑上相对独立的选择指标。 $C_1—C_4$ 反映树种 4 方面的生态效益, $C_4$ 指树木对沿江区域交通、水电、港口、化工、钢铁、煤电、粮储、造(修、拆)船、生活等场所带来的各种水土气污染的适应性和吸滤功能;既考虑某树种的 1 种或 2 种净滤功能,也考虑其综合净滤功能。 $C_5—C_7$ 反映某树种在花果、枝叶和树形方面的观赏价值。 $C_8—C_{10}$ 反映某树种的经济价值、管护难度和人群在生活习俗方面对该树种的喜恶偏好。 $C_8$ 反映树种木材、林副产品经济价值, $C_9$ 反映人群对某树种的文化情绪价值, $C_{10}$ 反映某树种的造林、管护成本。

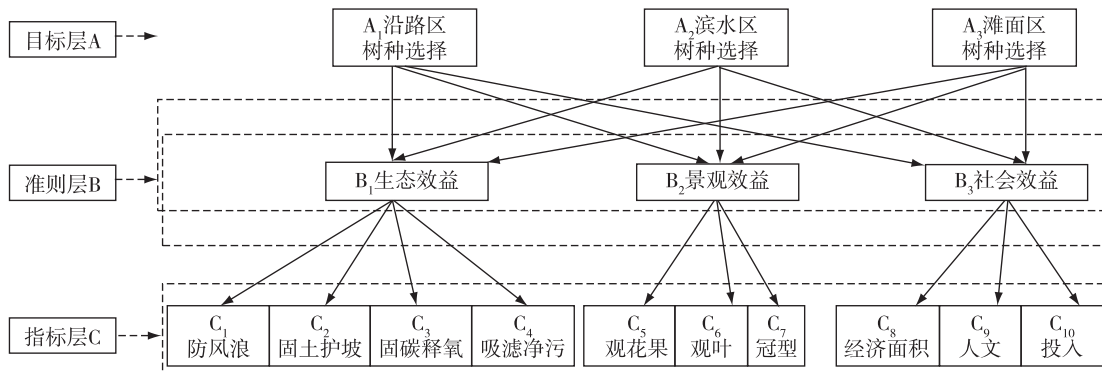


图 1 长江江苏段防护林造林树种选择指标体系

**1.2.2 权重分析方法** 沿江不同区位对植树功能要求有所不同,例如在滨水区域,树木护堤固土、防风浪等生态功能比景观效益更重要;沿路区植树,对树木景观效益有所偏重,而滩面上植树,对树木的社会效益有所侧重。各树种在不同地区及 3 种立地上的重要性各不相同,邀请各沿江地区林业生产、管理和科研机构的 15 名专家就准则层(B)对目标层(A)、指标层(C)对准则层的相对重要性进行打分。

A-B 和 B-C 的重要性采用 1—7 分赋值法,两两比较时,如甲因素对乙因素极重要得 7 分,很重要得 5 分,较重要得 3 分,同样重要得 1 分,重要性介于 1—3、3—5、5—7 之间的分别得 2、4、6 分。2 个指标反向比较得分为正向得分的倒数。

利用各专家评分的几何平均值构建 A-B 和 B-C 2 层判断矩阵,通过判断矩阵计算获得准则层权重和指标层权重。权重和矩阵最大特征根按如下表达式计算:

$\bar{w}_i = \sqrt[n]{M_i}$ , 其中  $M_i$  为判断矩阵每一行元素的乘积; $w_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$ ,  $w$  为指标权重; $\lambda_{\max} = \frac{1}{n}$

$\sum_{i=1}^n \frac{(ZW)_i}{w_i}$ ,  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵的最大特征根, $Z$  为判断矩阵, $W$  为相应的特征向量。

**1.2.3 指标赋值和树种综合评价** 树种间 10 个指标评价得分采用 1—10 分赋值法,相对重要性越大,数值越高;“投入”则投入越大,分值越小。利用如下表达式计算获得各树种综合分值并进行排序。然后采用系统聚类法分别对 3 类生态位上的树种进行分类。

$$y = \sum_{i=1}^{10} B_i C_i X_i$$

式中, $y$  为某树种的综合分值, $B_i$  为第  $i$  个指标对应的准则层权重, $C_i$  为第  $i$  个指标对应的指标层权重, $X_i$  为指标值。

**1.2.4 沿江不同立地条件下树种选择与配置** 根据上述树种评价结果,结合有关树种特殊适应性,根据沿江厂矿、交通、生活等不同区域的环境特点,提出树种配置建议。

## 2 结果与分析

### 2.1 树种选择范围的确定

在江苏沿江 8 市范围内,除去不宜于防护林的典



型园林树种如瓜子黄杨、五针松等树种外,分布范围包含 4 个市以上的古树树种有 36 种,即三角枫(*Acer buergerianum*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、糙叶树(*Aphananthe aspera*)、重阳木(*Bischofia polycarpa*)、雪松(*Cedrus deodara*)、朴树(*Celtis sinensis*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、柘树(*Cudrania tricuspidata*)、柏木(*Cupressus funebris*)、丝棉木(*Euonymus bungeanus*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、皂荚(*Gleditsia sinensis*)、冬青(*Ilex chinensis*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、枫香树(*Liquidambar formosara*)、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)、白玉兰(*M. denudata*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、石楠(*Photinia serrulata*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、金钱松(*Pseudolarix amabilis*)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Q. variabilis*)、圆柏(*Sabina chinensis*)、龙柏(*S. chinensis*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)、国槐(*Sophora japonica*)、香椿(*Toona sinensis*)、榔榆(*Ulmus parvifolia*)、白榆(*U. pumila*)、榉树(*Zelkova schneideriana*)和木瓜(*Chaenomeles sinensis*)。

统计分析江苏省森林资源保护矢量数据,结果表明,长江江苏段 2 岸 1 km 范围内共有林木资源 9 296 hm<sup>2</sup>,其中出现树种 14 种 6 类(如“其他软阔”“其他硬阔”等),其中 7 种未在古树名木中出现,即杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)、美洲黑杨(*Populus deltoides*)、柳树(*Salix matsudana*)、板栗(*Castanea mollissima*)和竹(*Bambus oideae*)。

根据前人文献对江苏沿江生态防护林树种系统筛选<sup>[5]</sup>,优选出落叶乔木和常绿乔木树种共 40 个,剔除其中一些国外引进但未见在研究范围内造林应用树种后,补充 16 个树种,即池杉(*Taxodium ascendens*)、落羽杉(*T. distichum*)、墨西哥落羽杉(*T. mucronatum*)、红果榆(*Ulmus szechuanica*)、白蜡树(*Fraxinus chinensis*)、无患子(*Sapindus mukorossi*)、喜树(*Camptotheca acuminata*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、红楠(*Machilus thunbergii*)、铁冬青(*Ilex rotunda*)、大叶冬青(*I. latifolia*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、白楠(*Phoebe neurantha*)、紫楠(*P. sheareri*)和珊瑚树(*Viburnum odoratissimum*)。

汇总以上结果,确定树种选择范围为 59 个。

## 2.2 指标权重分析

通过对沿江 2 岸有关市(区)各位专家的问询表进行归纳统计,获得 A-B 和 B-C 判断矩阵,结果见表 1 和表 2。

对 A-B 层和 B-C 层的判断矩阵进行一致性检验,表 1 和表 2 中一致性检验指标(为一一致性比率值  $CR = CI/RI$ )均小于 0.10,表示此判断矩阵合理,计算出权重值较可靠。表中  $CI = (\lambda - n)/(n - 1)$ ,  $n$  为指标数,  $RI$  值为平均随机一致性指标,查平均随机一致性指标表获得  $RI_3 = 0.58$ ,  $RI_4 = 0.90$ 。

表 1 目标层-准则层判断矩阵及因子权重

A-B		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	权重	一致性判断
A <sub>1</sub> -B <sub>i</sub>	B <sub>1</sub>	1	0.18	0.36	0.10	$\lambda = 3.010$
	B <sub>2</sub>	5.52	1	2.81	0.64	$CI = 0.01$
	B <sub>3</sub>	2.77	0.36	1	0.26	$CR = 0.01$
A <sub>2</sub> -B <sub>i</sub>	B <sub>1</sub>	1	5.72	2.16	0.6	$\lambda = 3.076$
	B <sub>2</sub>	0.21	1	0.3	0.10	$CI = 0.004$
	B <sub>3</sub>	0.46	3.32	1	0.3	$CR = 0.007$
A <sub>3</sub> -B <sub>i</sub>	B <sub>1</sub>	1	1.27	0.8	0.32	$\lambda = 3.008$
	B <sub>2</sub>	0.79	1	0.48	0.23	$CI = 0.0039$
	B <sub>3</sub>	1.25	2.08	1	0.44	$CR = 0.007$

结果可见:表 1 中,在沿路区,景观效益 B<sub>2</sub>类指标获得最大权重(0.64),社会效益 B<sub>3</sub>类指标获得一般权重(0.26),说明沿路区植树首先考虑景观效益,其次是考虑到经济效益和营造林投入。而滨江区周年内水位落差大,并且江面行船多、风浪大,属于生态最为脆弱区域,因此生态效益 B<sub>1</sub>类指标获得最大权重(0.60),选择造林树种的首要目标是防浪、护堤固土,其次是考虑到成本投入,景观效益权重最小。沿江范围内地势平缓的滩面资源较多,3 类指标权重相差不大,要求营造林时要生态效益、景观效益和经济效益兼顾。

从表 2 可见,生态效益组指标中,固土护坡 C<sub>2</sub>和防风浪 C<sub>1</sub>指标获得权重达到 0.73,说明沿江植树生态效益主要是护堤和防风浪,其他生态效益次要。景观效益组指标中,冠型(株型)指标权重最大,结合各树种指标评分,可以看出选择沿江造林树种时更看重树木的株型,其次是花果和叶色。社会效益组指标中,经济效益、人文因素和成本的权重相差不大,说明在当前长江造林工程中,各地均综合考虑树木经济、人文因素和投入成本等。

## 2.3 各树种多指标综合评价

根据表 1、2 各层权重和公式 3,分别 3 种生态位,计算各树种综合分值排序和聚类结果见表 3。

表 2 准则层-指标层判断矩阵及因子权重

B-C	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	权重	一致性检验
B <sub>1</sub> -C <sub>i</sub>	C <sub>1</sub>	1	0.51	1.86	3.06	0.28
	C <sub>2</sub>	1.979	1	3.03	3.26	0.45
	C <sub>3</sub>	0.54	0.33	1	1.20	0.15
	C <sub>4</sub>	0.33	0.31	0.83	1	0.12
B <sub>2</sub> -C <sub>i</sub>	C <sub>5</sub>	1	2.19	0.48	-	0.33
	C <sub>6</sub>	0.46	1	0.60	-	0.21
	C <sub>7</sub>	2.07	1.33	1	-	0.45
	C <sub>8</sub>	1	0.71	0.86	-	0.26
B <sub>3</sub> -C <sub>i</sub>	C <sub>9</sub>	1.41	1	1.30	-	0.38
	C <sub>10</sub>	1.81	0.77	1	-	0.35

表 3 3 种生态位树种综合选择排序及聚类

沿路区			滨水区			滩面区		
序号	树种	分值	序号	树种	分值	序号	树种	分值
1	银杏 <sup>1</sup>	7.47	31	黄檀 <sup>2</sup>	6.75	1	枫杨 <sup>1</sup>	7.65
2	紫薇 <sup>1</sup>	7.39	32	白楠 <sup>2</sup>	6.74	2	柳树 <sup>1</sup>	7.57
3	白玉兰 <sup>1</sup>	7.37	33	红果榆 <sup>2</sup>	6.71	3	落羽杉 <sup>1</sup>	7.54
4	桂花 <sup>1</sup>	7.36	34	丝棉木 <sup>2</sup>	6.70	4	水杉 <sup>1</sup>	7.39
5	枫杨 <sup>1</sup>	7.34	35	喜树 <sup>2</sup>	6.66	5	墨西哥落羽杉 <sup>1</sup>	7.33
6	樟树 <sup>1</sup>	7.19	36	麻栎 <sup>2</sup>	6.61	6	美洲黑杨 <sup>1</sup>	7.32
7	广玉兰 <sup>1</sup>	7.18	37	三角枫 <sup>2</sup>	6.58	7	池杉 <sup>1</sup>	7.23
8	榉树 <sup>1</sup>	7.15	38	金钱松 <sup>3</sup>	6.56	8	银杏 <sup>2</sup>	6.97
9	落羽杉 <sup>1</sup>	7.08	39	竹类 <sup>3</sup>	6.56	9	榉树 <sup>2</sup>	6.95
10	墨西哥落羽杉 <sup>1</sup>	7.07	40	黄连木 <sup>3</sup>	6.53	10	樟树 <sup>2</sup>	6.84
11	柳树 <sup>1</sup>	7.07	41	白榆 <sup>3</sup>	6.52	11	榔榆 <sup>2</sup>	6.78
12	池杉 <sup>1</sup>	7.05	42	无患子 <sup>3</sup>	6.50	12	紫薇 <sup>2</sup>	6.72
13	红楠 <sup>1</sup>	7.05	43	女贞 <sup>3</sup>	6.46	13	白玉兰 <sup>2</sup>	6.72
14	美洲黑杨 <sup>1</sup>	7.03	44	栓皮栎 <sup>3</sup>	6.45	14	乌桕 <sup>2</sup>	6.71
15	枫香 <sup>1</sup>	7.00	45	白皮松 <sup>3</sup>	6.44	15	桂花 <sup>2</sup>	6.69
16	水杉 <sup>2</sup>	6.97	46	香椿 <sup>3</sup>	6.42	16	红楠 <sup>2</sup>	6.62
17	乌桕 <sup>2</sup>	6.90	47	臭椿 <sup>3</sup>	6.41	17	朴树 <sup>2</sup>	6.61
18	榔榆 <sup>2</sup>	6.90	48	糙叶树 <sup>3</sup>	6.38	18	枫香 <sup>2</sup>	6.60
19	紫楠 <sup>2</sup>	6.90	49	青冈 <sup>3</sup>	6.36	19	重阳木 <sup>2</sup>	6.58
20	冬青 <sup>2</sup>	6.88	50	石栎 <sup>3</sup>	6.31	20	紫楠 <sup>2</sup>	6.57
21	铁冬青 <sup>2</sup>	6.86	51	珊瑚树 <sup>3</sup>	6.30	21	板栗 <sup>2</sup>	6.56
22	重阳木 <sup>2</sup>	6.86	52	龙柏 <sup>3</sup>	6.29	22	竹类 <sup>2</sup>	6.55
23	雪松 <sup>2</sup>	6.85	53	白蜡树 <sup>3</sup>	6.27	23	广玉兰 <sup>2</sup>	6.54
24	板栗 <sup>2</sup>	6.84	54	苦槠 <sup>3</sup>	6.22	24	雪松 <sup>2</sup>	6.54
25	木瓜 <sup>2</sup>	6.83	55	杉木 <sup>3</sup>	6.22	25	喜树 <sup>2</sup>	6.54
26	国槐 <sup>2</sup>	6.80	56	圆柏 <sup>3</sup>	6.18	26	黄连木 <sup>2</sup>	6.50
27	朴树 <sup>2</sup>	6.79	57	柘树 <sup>3</sup>	6.17	27	国槐 <sup>2</sup>	6.50
28	石楠 <sup>2</sup>	6.79	58	侧柏 <sup>3</sup>	6.10	28	白楠 <sup>2</sup>	6.49
29	大叶冬青 <sup>2</sup>	6.79	59	柏木 <sup>3</sup>	6.07	29	黄檀 <sup>2</sup>	6.48
30	皂荚 <sup>2</sup>	6.77				30	白榆 <sup>2</sup>	6.46

注:表中树种名称右上标数字为聚类分析结果,数字相同的归为一类

3 类生态位上,沿路区、滨水区和滩面区部各树种综合分值分别为 6.07—7.47, 5.55—7.91, 5.90—7.65, 高低比值分别为 123.1%, 142.5%, 129.7%, 说明选择造林树种时,沿路区要求相对宽泛、滨水区敏感、滩面区居中。通过系统聚类分析,结果表明 3 个区位树种综合表现可分 3 类。

沿路区树种排序上,观赏树种和经济价值较高的树种占据优势,第 1 类有 15 个树种,得分在 7—7.47,其中有 12 个是典型景观绿化树种或景观、木材两用树种;枫杨和美洲黑杨因其适应强、木材价值较高而排名靠前,红楠得分较高是由于其为常绿阔叶树种,其材质好,寿命长,长周期培育价值高。

滨水区和滩面区第 1 类树种均为 7 个,得分均大于 7 分。滨水区主要是强耐淹树种,包含柳树、枫杨、池杉、美洲黑杨和墨西哥落羽杉。淹水能力差的樟树和银杏之所以也入选第 1 类树种,主要是由于樟树和银杏的景观效益与经济效益突出而拉高总分值,实践上 2 个树种仅可忍受短期淹水,不宜在长期淹水的区域应用。滩面区排在前列是兼具较强耐淹渍和一定经济价值的树种,说明该区域植树应兼顾树种生态效益和经济效益,除了上述 5 个树种外,还有水杉和落羽杉 2 个耐渍水树种。在沿路区,由于立地条件好,基本不受淹水影响,第 1 类树种多达 15 个,说明该区域造林树种选择范围宽泛,生产单位可在更大程度上根据主观爱好选择造林树种。3 个区域树种选择排序中,居于第 2 类的树种特点均为中等速生或者慢生,但具个别突出价值的树种,如黄檀,在江南地区可作为珍贵树种应用于生态造林;第 3 类树种以慢生树种,其中一些慢生树种有较强的适应性、较高的经济价值或人文价值,长期生态社会价值不一定低于前 2 类树种,如栓皮栎、苦槠、金钱松、柏类等,但总体上慢生树种排序低于速生树种,反映了各地选择沿江防护林树种时,更为重视速生树种应用,以快速提高长江沿岸森林资源总量。

### 3 讨论

#### 3.1 树种选择

淹水胁迫是长江防护林树种生长的重要限制因子。前人研究其树种选择多以耐淹性状进行研究。对树木淹水能力研究主要有控制试验法和自然调查法。前者的优点是试验环境一致性好,试验结论科学价值高;缺点是由于试验条件的限制,1 次

仅能试验 1 个或某几个特定树种的 1 或几个胁迫性状,难以模拟试验实际淹水环境多种胁迫因素的综合作用,研究结果实用价值较低。后者的优点是可以观测到自然淹水环境中各种水、土、热、气在时间和空间上对多种树木生长的综合影响,尤其是综合比较多次淹水观测后效果更好,研究结论实用性强;缺点是自然环境中各树种的生长条件一致性较差,也难以针对指定的树种,研究数据科学程度较低。控制试验法由于不同学者在试验季节、持续时间、树木栽植方法、树龄大小、处理时间、淹水方法等方面有所不同的原因,自然调查法由于自然降雨受淹地各树种植株树龄、淹水时间及其持续时间、健康状况、淹水高度、空间位置、土壤条件等条件一致性差的原因,不同学者对相关树种耐淹水性强弱评价往往有较大差异,容易给生产上造成困惑。如,褚超<sup>[20]</sup>在对浙北地区自然淹水树种耐淹调查研究中发现,刺槐(*Robinia pseudoacacia*)耐淹能力评级优于美洲黑杨,樟树、泡桐(*Paulownia fortunei*)和楝树(*Melia azedarach*)的受害等级相同,银杏淹水 47 d 后方出现叶凋萎,这与一般盆栽试验结果以及一般经验均有所不同,表 3 结果中有类似现象;徐庆等<sup>[21]</sup>在安徽升金湖对 15 个树种进行自然淹水试验,发现枫香树在平均淹水深度为 81.7 cm、持续淹水第 60—90 d 的环境中成活率 100%,优于落羽杉、枫杨和池杉等强耐淹树种,这也有别于传统认知。本文基于古树资源、区域森林资源和研究文献,综合相关树种属性和营造林专家意见,采用定量和定性分析相结合的方法选择造林树种,既反映了树种耐淹能力,也汲取了各地长期生产经验和社

会需求,对当前长江防护林营建和可持续维护有积极意义。

从沿江防护林整体分析,虽然淹水胁迫是树木生长的主要限制因子,但在实践上滨水区和坑塘低洼地在 2 岸 1 km 范围内面积占比并不大;一些中等耐淹或不耐淹的树种也可以在其他适宜区域栽植。因此,仅从耐淹性方面选择树种是不合理的,表 3 中,一些不耐淹树种如樟树、银杏、白玉兰在不受淹的沿路区域栽植也是合适的。2 个树种其综合得分在滨水区和滩面区也排名靠前,一方面是由于其经济价值和观赏价值赋分和权重等统计因素导致,客观上也有因局部区域在淹水时间、动态或空间场所不同,这些树木在有些场所短期受淹退水后可很快恢复生长,因而导致各专家对选择准则和指标相对



重要性认识不同而抬高了权重和分值,在生产上仅可在局部区域应用,淹渍水时间长的区域不宜选用。

### 3.2 树种适应性应用

根据丰富生物多样性和有效满足营林目标的原则,除了滩面区和滨水区慎用樟树和银杏外,一般情况下可优先选择各区域第1类树种造林应用,第2类树种可作为第1类树种的备用或补充,第3类树种可用于局部区域植树,例如沿江场区、生活区,旨在丰富景观多样性和生物多样性等。沿路区除局部盐碱土或易发风害区域外,所有研究树种以及其他乡土树种或引进成功树种,均可根据造林目标选择应用。可能滋生钉螺的江滩,优先选择枫杨、枫香树、乌桕等抑螺树种营建纯林或混交林<sup>[22-24]</sup>。地下水位高、夏季水温较高的滩面区域,渍水后土壤及水中含氧量低,树木比滨水区更容易受害,除选择强耐淹水树种外,应通过物理措施降低地下水位,改善林木生长条件;在不发生渍水区域可选植综合价值高的树种造林。

为适应不同淹水立地以及场区、码头、生活区、坑塘水面等局部地区适地适树造林需要,应参考相关适应性特点选择造林树种:

(1)耐淹水树种:耐淹水2个月以上有垂柳(*Salix. babylonica*)、旱柳、腺柳(*S. chaenomeloides*)、池杉、落羽杉、墨西哥落羽杉、枫杨、榔榆、乌桕;耐淹水1—2个月的有丝棉木、重阳木、喜树、女贞、白蜡树、枫香树、美洲黑杨等。

(2)不耐淹树种:广玉兰、白玉兰、广玉兰、金钱松、无患子、银杏、杉木。

(3)耐盐碱胁迫树种:墨西哥落羽杉、侧柏、龙柏、圆柏、国槐、柳树、白榆、榔榆、乌桕、重阳木、白蜡树、皂荚。

(4)耐重金属离子污染种:耐汞树种有广玉兰、樟树、国槐、白蜡树、柳树、黄杨、桂花;耐铅砷树种有白榆、柳树、臭椿、柏木、圆柏、广玉兰、女贞、国槐、樟树、雪松;耐镉树种有柳树、臭椿、石楠、雪松、女贞、樟树;耐锌树种有臭椿、枫杨、雪松、圆柏、国槐、女贞;耐铜树种有雪松、柳树、国槐、广玉兰、女贞等。

(5)耐有害气体污染树种:耐SO<sub>2</sub>树种有大叶冬青、广玉兰、龙柏、石栎、苦楮;吸收SO<sub>2</sub>率高的树种有臭椿、国槐、银杏;耐Cl<sub>2</sub>树种的有石楠、板栗、广玉兰、女贞、麻栎、乌桕、桂花、樟树、侧柏;吸收Cl<sub>2</sub>强的有白榆、枫杨、皂荚等;耐H<sub>2</sub>S树种有女贞、白榆、臭

椿、樟树、紫薇、广玉兰、柳树、桂花、黄杨、冬青、喜树等。

(6)耐有机物污染树种:耐酚类树种有喜树、枫杨、楝树、女贞、银杏;耐苯污染树种有银杏、侧柏、广玉兰、樟树、喜树、枫杨、女贞、桂花。

(7)抗风性较差树种:无患子、广玉兰、白玉兰。

### 参考文献:

- [1] 陈欣.长江经济带绿色生态廊道如何打造——母亲河江苏段造林绿化工程势在必行[J].中国林业产业, 2020(12): 12-13.
- [2] 侍翰生,欧建锋,廖涛,等.长江江苏段岸线利用现状评估与对策分析[J].江苏水利, 2021(S2): 8-12, 29.
- [3] 陈思静.江苏省苏中江淮平原、低地城镇区(B区)树种应用调查与规划研究[D].南京:南京农业大学, 2016.
- [4] 张雪华.江苏省苏南长三角平原、丘陵城镇区(D区)树种规划初步研究[D].南京:南京农业大学, 2016.
- [5] 王丽勉,胡永红,秦俊,等.上海地区151种绿化植物固碳释氧能力的研究[J].华中农业大学学报, 2007, 26(3): 399-401.
- [6] 吴亚玲,鲍齐齐,万开元,等.华东地区水湿生木本植物综合评价与筛选[J].中国园林, 2023, 39(4): 109-114.
- [7] 莫健彬,王丽勉,秦俊,等.上海地区常见园林植物蒸腾降温增湿能力的研究[J].安徽农业科学, 2007, 35(30): 9506-9507, 9510.
- [8] 马常耕.世界林木树种抗逆性育种研究进展[J].世界林业研究, 1996(3): 4-12.
- [9] 赵娟.层次分析法在太行山中南部造林树种选择中的应用[J].水土保持通报, 2017, 37(4): 201-206.
- [10] 陈俊华,黎燕琼,郑绍伟,等.成渝地区城市森林树种选择研究[J].甘肃农业大学学报, 2018, 53(1): 130-136.
- [11] 谢腾芳,胡振阳,魏蓉.基于层次分析法的广东水湿生植物配置评价体系构建[J].浙江农业科学, 2018, 59(8): 1385-1387.
- [12] 王洁瑾,杨晓东.宁波市道路绿化植物调查及适宜种筛选[J].江苏农业科学, 2021, 49(14): 112-122.
- [13] 杨斌,杨国州,张延东.运用层次分析法优选临夏北塬农田防护林树种[J].林业科学, 2006(6): 9-55.
- [14] 杨东,万福绪,顾汤华,等.上海海岸防护林造林树种的选择[J].南京:南京林业大学学报, 2012, 36(2): 95-100.
- [15] 刘浦孝.山东沙质海岸防护林主要树种适应性评价[D].泰安:山东农业大学, 2010.
- [16] 高帆,彭祚登.黄河三角洲滨海盐碱地区主要树种适应性评价[J].西北林学院学报, 2021, 36(4): 103-109, 117.
- [17] 宋西德,罗伟祥,侯琳.AHP法在防护林体系优化结构研究中的应用[J].西北林学院学报, 1997, 12(4): 41-47.
- [18] 顾佳清,张智奇,周音,等.树种耐水湿筛选研究综述[J].上海农业学报, 2004, 20(4): 66-69.

(下转第29页)

- [5] HUANG H, DANE F, NORTON J D. Genetic analysis of 11 polymorphic isozyme loci in chestnut species and characterization of chestnut cultivars by multi-locus allozyme genotypes[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1994, 119(4): 840-849.
- [6] 张宇和,王福堂,高新一,等. 板栗[M]. 北京:中国林业出版社, 1987.
- [7] 邱丽氟,常 虹,路丹桂,等.中国壳斗科植物属的空间多样性格局及其指标研究[J]. 西北植物学报, 2018, 38(4): 761-769.
- [8] 刘国华,方精云.我国栗属物种(*Castanea millissima*)地理分布及其空间特征分析[J].生态学报, 2001, 21(1): 164-170.
- [9] DE KOK R. A revision of *Cryptocarya* (Lauraceae) from Thailand and Indochina[J]. Gardens' Bulletin Singapore, 2015, 67: 309-350.
- [10] IUCN Standards and Petitions Subcommittee. Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria; Version 13[S]. Gland, Switzerland and Cambridge: IUCN, 2017.
- [11] 汪 松,解 焱.中国物种红色名录[M].北京:高等教育出版社, 2004.
- [12] IUCN red list categories and criteria; Version 3.1[S]. Gland, Switzerland and Cambridge: IUCN, 2012.
- [13] SCHATZ G E, BIRKINSHAW C, LOWRY II P P, et al. The endemic plant families of Madagascar Project: Integrating taxonomy and conservation[M]. Paris: Memoires de la Societe de Biogeographie, 2000: 11-24.
- [14] CALLMANDER M W, SCHATZ G E, LOWRY P P, et al. Identification of priority areas for plant conservation in Madagascar using Red List criteria: rare and threatened Pandanaceae indicate sites in need of protection[J]. Oryx, 2007, 41(2): 168-176.
- [15] BACHMAN S, MOAT J, HILL A W, et al. Supporting red list threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool[J]. Zookeys, 2011(150): 117-126.
- [16] 乔婧芬,杜 浩. 我国板栗生产存在的问题及可持续发展对策[J]. 现代农业科技, 2010(23): 351-352.
- [17] BUBB P J, BUTCHART S H M, COLLEN B. IUCN Red List Index—Guidance for national and regional use[S]. Gland and Switzerland: IUCN, 2009.

---

(上接第 23 页)

- [19] 李 亚,姚 淦,曾 虹,等.江苏沿江生态防护林树种评价体系的建立与树种的初步筛选[J].植物资源与环境学报, 2010, 19(3): 73-78.
- [20] 褚 超.浙北平原生态河道绿化树种筛选与应用示范研究[D].杭州:浙江农林大学, 2017.
- [21] 徐 庆,潘云芬,程元启,等.安徽升金湖淡水森林湿地适生树种筛选[J].林业科学, 2008, 44(12): 7-14.
- [22] 朴凤安,彭卫平,彭镇华.利用植物他感作用灭螺效果的研究[J].应用生态学报, 1996, 7(4): 407-410.
- [23] 张 敏,黄利斌,徐福元.5种滩地造林树种水浸液灭螺效果初步研究[J]. 江苏林业科技, 2010, 37(1): 5-8.
- [24] 方建民,孙启祥,徐 庆,等.滩地造林抑螺防病好树种——枫香[J].安徽林业科技, 2017, 43(2): 7-13.