

文章编号:1001-7380(2019)05-0022-06

# 适于苏北农田林网应用的落羽杉优树选择研究

王红玲<sup>1</sup>, 施士争<sup>1</sup>, 仲伟芹<sup>2</sup>, 黄瑞芳<sup>1</sup>

(1. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 2. 东海县牛山镇绿奥园艺苗木场, 江苏 连云港 222399)

**摘要:**针对苏北平原农林业生产特点,以60株初选优树为对象,调查测定了与苏北平原农田林网功能密切相关树高、胸径、冠高、冠幅、中央冠幅/冠幅、水平方向树冠疏透度和垂直方向树冠疏透度等有关的7个性状。结果表明:各性状的变异系数为7.60%—23.41%,且各性状间存在显著或极显著的相关关系。采用主成分分析方法,阐明落羽杉树高、冠高、冠幅、垂直方向树冠疏透度是影响农田林网防护效益的最重要指标,进一步确定各性状的权重,其中冠高和垂直方向树冠疏透度的权重最大。经过对7个选择性状加权评分,筛选获得22株优树,入选率36.67%。

**关键词:**落羽杉,选优,农田林网,苏北平原

中图分类号:S722.3<sup>+</sup>3;S791.34

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2019.05.004

## Plus tree selection of *Taxodium distichum* for the farmland shelterbelt network in Northern Jiangsu Plain

Wang Hongling<sup>1</sup>, Shi Shizheng<sup>1</sup>, Zhong Weiqin<sup>2</sup>, Huang Ruifang<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China;

2. Lyuao Nursery in Niushan Town, Donghai County, Lianyungang 222399, China)

**Abstract:** Based on the production characteristics of agriculture and forestry in North Jiangsu Plain, such seven characters, all strongly associated with the function of farmland shelters network, as height of tree, diameter at breast height, crown height, crown breadth, middle crown breadth / crown breadth, crown porosity in the horizontal direction, and crown porosity in the vertical orientation, were determined and analyzed on 60 candidate trees in North Jiangsu Plain. The results indicated that the variable coefficients of the seven characters ranged from 7.60% to 23.41%, and there occurred a significant or extremely significant correlation between them. PCA (principal component analysis) results indicated that height of tree, crown height, crown breadth and crown porosity in the vertical orientation were more important than others concerning the function of farmland shelters network. After the weight of every character computed, and we got that crown height and crown porosity in the vertical orientation had higher weights. The weighted scores of the seven characters of the candidate trees were sequenced and 22 superior trees got selected, with the selected ratio of 36.67%.

**Key words:** *Taxodium distichum*; Prepotency; Farmland shelterbelt network; Northern Jiangsu Plain

落羽杉(*Taxodium distichum*)原产北美地区,树高可达30–50 m,天然分布在美国北到特拉华、马里兰和维吉尼亚州(约北纬42°),沿大西洋向南到佛罗里达州南部,向西沿墨西哥湾到德克萨斯州并延伸到墨西哥和危地马拉,以及美国中部密西西比、俄克拉荷马、阿肯色、伊利诺斯和印第安那州等

地<sup>[1]</sup>。我国引种已有170 a以上历史,目前在南方各省及山东、河南、陕西等地均有栽培,其中在长江中下游地区栽培较多。在我国各引种地均表现出能耐低温、干旱、涝渍和土壤贫瘠,以及抗台风、病害少、生长较快等特性。材质优良,是优良的用材、防护和观赏树种,在美国被称为“永不腐朽之

收稿日期:2019-07-12;修回日期:2019-08-21

**基金项目:**江苏省科技支撑(现代农业)项目“适于平原林网更新的泡桐和落羽杉优质材新品种选育”(BE2015371);中央财政林业科技推广示范资金“苏北杨树更新良种繁育及高效培育技术推广”(苏[2017]TG03号)

**作者简介:**王红玲(1982–),江苏宝应人,副研究员,硕士。主要从事林木遗传育种研究。

木”<sup>[2-3]</sup>。前人研究指出,落羽杉种源、家系群体间生长和适应性等性状存在广泛的遗传变异,具有显著的选择改良潜力<sup>[4-6]</sup>,并在种源选择、家系早期选择、种间杂交等方面开展了有效的研究<sup>[7-10]</sup>,选育了一些具有高生物量、速生或抗逆性强的优良品种。但尚未见有关农田林网造林应用的落羽杉良种选育的相关报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

调查地位于东海县牛山镇牛山果园(地理位置为N 34°31′, E 118°44′)及附近,属暖温带南缘气候,年平均气温13.7℃,极端最高气温39℃,极端最低气温-18.3℃,年降水量890 mm,雨季为6—9月,降雨量628.8 mm,占全年73.3%,年均相对湿度71%,无霜期206 d。该区属苏北低山丘陵区,土壤类型为苏北丘陵棕壤。

### 1.2 试验材料

供试资源有2个来源,一是1991年从美国路易斯安娜、阿肯色、佛罗里达、密西西比、阿肯色和田纳西等6个州引种的落羽杉资源(种子),二是我国早期从美国引种到河南鸡公山的落羽杉,采集其中表现优异的单株的种子。于1992年在江苏东海县李埏林场播种育苗。1995年用上述资源的4年生实生苗木在东海县牛山镇牛山果园及其周边地区营建的行道树和成片林,林分折合面积超过66.67 hm<sup>2</sup>,选择其中单株营养面积在25 m<sup>2</sup>(折合株行距大于5 m×5 m)以上、树冠能够自然生长的林木,作为选优研究材料。

### 1.3 研究方法

1.3.1 候选树的确定 在上述落羽杉成片林中选择有5株以上树冠发育较为完全的区域,以常规生长指标树高和胸径作为初选因子,进行每木检尺。防护林的高度极大影响防护效益,因此比较选择时,按照株高最大且较周边其他5株树木均高大于10%,同时胸径不低于5株平均值的标准,确定候选树。优选较为速生的单株作为候选株,符合防护林快速营建的目标,也兼顾了经济和生态效益。经测算,共计获得选择候选树60株。

1.3.2 选择性状和调查方法 苏北平原地区林业用地缺乏,以各等级道路、河流绿化造林形成的农田林网是苏北平原最主要的造林形式,其主要功能是增加森林资源总量以调节气候,其次是农田防护

功能功能。因此,树高、胸径、病虫害、胁地效应是苏北地区选择农田林网树种的首要考虑因素。2018年8月,参照前人研究<sup>[11-13]</sup>以及落羽杉在江苏的生长表现情况,选择与影响农业生产和防风效益密切相关的树高、胸径、冠高、冠幅、中央冠幅/冠幅和水平方向树冠疏透度、垂直方向树冠疏透度等7个指标作为测定指标。

冠高是指落羽杉树冠下第一轮活枝分枝处到主梢顶部的长度;中央冠幅是指树梢向下到冠高1/2处树冠东西、南北2个方向的平均长度;水平方向树冠疏透度是指12:00时树冠垂直投影到地面的区域中,阴影面积占总投影面积的比值;垂直方向树冠疏透度是指树冠纵断面的防风面积与其纵断面的总面积的比值。树高和胸径可反映落羽杉发挥防护效益的早晚和防护距离,冠高、冠幅和中央冠幅可反映落羽杉的冠型,影响林带的防风效果,采用中央冠幅和冠幅的比值作为统计指标。垂直方向树冠疏透度同时也是树冠对树木两侧农田的遮光度,可反映落羽杉防风能力和对林下及周边农作物的遮阴作用。

用测高器、围尺、米尺和相机作为测量工具,在11:00—13:00拍摄;拍摄前在目标树的树冠下阴影处清杂并稍作平整土地。中央冠幅用2 m长的直尺垂直贴近树干1 m处垂直于树干,在距离树木4—5倍树高处分别按照东西、南北方向拍照,到室内根据照片按比例估算平均中央冠幅;水平方向树冠疏透度和垂直方向树冠疏透度分别在林冠外2 m处和4—5倍目标树树高(大约为50 m)处用相机拍摄树冠垂直投影在地面的照片和树冠东西方向(当地主要风向)纵断面照片,到室内用毫米级硫酸坐标纸测算。水平方向树冠疏透度和垂直方向树冠疏透度分别为坐标纸中处于照片中阴影内的坐标点数占全部投影区域内坐标点数的比值。

1.3.3 数据统计分析 采用综合评分法进行优树选择。先对候选数各测量性状进行分数赋值,再计算各性状的权重,然后按照线性模型估算各候选树的得分。

垂直方向树冠疏透度得分最高区间为0.7—0.75,每相差0.05计1分;中央冠幅/冠幅的得分最高区间为0.7—0.8,每相差0.1计2分;其余性状以各个测量性状极差的1/10为1分,确定每个性状的得分。利用软件对测试数据进行标准化后进行主成分分析,计算主成分综合线性模型中的系数 $F$ ,

$F = \frac{\sum F_n X_n}{X}$ ;  $F_n$  为某一主成分分值,  $X_n$  为对应成份的贡献率,  $X$  为主成分累计贡献率。各性状权重  $W = F/A$ , 其中  $W$  为权重,  $A$  为线性模型中系数总和。按照线性模型计算候选优树的加权得分。采用 t 检验法(置信区间 99%)确定显著大于候选树平均值, 按照上限确定入选优株。

利用软件 Excel 2010 或 IBM SPSS Statistics 19 进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 落羽杉候选树主要生长因子的差异

60 株初选落羽杉各生长性状变幅较大。各性状变幅范围为胸径 19.1—34.6 cm, 树高 7.58—

11.58 m, 冠高 4.81—10 m, 冠幅 3.5—8 m, 中央冠幅/冠幅 0.31—0.92, 水平方向树冠疏透度 0.70—0.95, 垂直方向树冠疏透度 0.32—0.97。测定数据的描述统计结果表明, 7 个选择性状在各候选树间变异系数为 7.60%—23.41%, 中央冠幅/冠幅的变异系数最大; 水平方向树冠疏透度的变异系数最小, 比较稳定。

中央冠幅/冠幅的变异系数最大, 说明落羽杉冠型变异很大, 其中第 10 号、第 23 号和第 28 号树的中央冠幅与冠幅比高达 0.9 左右, 冠型接近柱形, 表现类似池杉的株型, 其叶片也表现出小叶细而短、小叶着生夹角小等不同于典型落羽杉叶片的特征, 可能是有的种源地里混杂有池杉, 发生了自然杂交的原因。

表 1 落羽杉候选优树的性状测定值

优树号	胸径/cm	树高/m	冠高/m	冠幅/m	中央冠幅 /冠幅	水平方向 树冠疏透度	垂直方向 树冠疏透度
1	28.20	10.77	8.54	6.00	0.77	0.95	0.85
2	30.60	10.38	7.85	7.00	0.66	0.95	0.93
3	29.80	9.48	6.67	6.50	0.68	0.90	0.83
4	30.30	10.69	7.54	6.00	0.77	0.90	0.78
5	33.50	9.31	7.59	7.00	0.59	0.95	0.82
6	27.60	10.14	7.64	5.00	0.86	0.70	0.80
7	31.40	10.69	6.92	6.00	0.77	0.70	0.75
8	29.80	10.46	6.38	7.00	0.66	0.85	0.94
9	31.90	10.69	8.08	6.00	0.77	0.80	0.78
10	20.80	8.89	6.44	5.00	0.89	0.90	0.80
11	29.80	10.59	8.37	7.00	0.63	0.90	0.93
12	30.40	10.96	9.20	6.00	0.80	0.90	0.95
13	31.70	10.00	7.85	7.00	0.66	0.90	0.92
14	29.00	9.47	7.33	6.00	0.67	0.95	0.83
15	19.10	9.31	7.45	6.00	0.69	0.90	0.83
16	20.40	7.58	5.88	6.00	0.61	0.95	0.86
17	30.40	8.90	7.23	6.00	0.65	0.95	0.82
18	20.20	9.71	7.36	4.00	0.91	0.70	0.74
19	23.50	8.89	6.89	6.50	0.66	0.90	0.76
20	34.60	10.95	8.74	8.00	0.79	0.85	0.63
21	31.70	10.67	7.33	7.50	0.67	0.80	0.75
22	27.70	11.17	8.33	6.00	0.83	0.90	0.77
23	29.60	10.31	7.92	5.00	0.92	0.90	0.81
24	23.80	9.07	6.47	6.00	0.67	0.85	0.86
25	29.30	10.75	7.58	6.50	0.77	0.90	0.88
26	27.00	8.53	7.06	7.00	0.50	0.95	0.84
27	29.30	11.48	10.00	6.00	0.87	0.85	0.73
28	24.90	10.77	7.00	5.00	0.92	0.85	0.70

续表 1

优树号	胸径/cm	树高/m	冠高/m	冠幅/m	中央冠幅 /冠幅	水平方向 树冠疏透度	垂直方向 树冠疏透度
29	24.60	9.29	6.43	5.00	0.86	0.80	0.65
30	25.70	8.71	6.76	5.50	0.64	0.80	0.60
31	29.10	8.18	5.82	7.50	0.70	0.90	0.65
32	22.80	9.41	7.26	6.00	0.80	0.85	0.83
33	26.00	8.36	6.06	5.50	0.83	0.85	0.95
34	23.80	9.46	7.23	7.00	0.45	0.90	0.88
35	26.20	9.23	6.45	6.00	0.56	0.80	0.83
36	27.40	9.14	5.36	7.00	0.45	0.85	0.79
37	23.30	9.14	6.07	6.50	0.48	0.90	0.62
38	26.00	10.00	5.91	6.00	0.49	0.90	0.43
39	23.90	8.00	5.73	6.00	0.61	0.80	0.88
40	27.40	8.24	5.88	6.50	0.58	0.85	0.82
41	27.80	9.03	7.10	7.00	0.40	0.90	0.92
42	27.90	8.79	6.30	7.00	0.48	0.90	0.72
43	28.50	10.21	8.14	7.00	0.51	0.75	0.66
44	24.50	10.38	8.23	7.00	0.71	0.80	0.73
45	28.00	8.14	6.29	7.50	0.61	0.90	0.96
46	24.50	10.00	8.28	7.00	0.47	0.85	0.75
47	25.80	9.63	7.04	7.50	0.46	0.90	0.68
48	32.00	8.61	6.94	7.50	0.41	0.85	0.68
49	20.60	8.22	5.84	6.20	0.61	0.85	0.91
50	27.80	9.26	6.67	7.20	0.70	0.85	0.96
51	20.00	8.79	6.48	3.50	0.76	0.80	0.32
52	20.70	11.58	9.47	6.50	0.87	0.80	0.90
53	19.50	8.39	5.42	5.20	0.43	0.80	0.85
54	31.20	8.91	7.27	6.50	0.47	0.90	0.45
55	28.40	7.88	6.06	7.80	0.31	0.85	0.55
56	27.20	9.48	7.19	6.00	0.64	0.95	0.97
57	24.50	8.73	5.76	6.00	0.69	0.85	0.75
58	25.10	7.73	4.81	6.50	0.39	0.75	0.81
59	22.60	9.86	7.45	5.50	0.85	0.80	0.83
60	23.10	10.24	7.20	6.00	0.64	0.75	0.65
均值	26.70	9.53	7.08	6.30	0.66	0.86	0.78
标准差	3.80	1.01	1.04	0.89	0.15	0.07	0.13
变异系数	14.25	10.57	14.76	14.06	23.41	7.60	17.16

2.2 不同落羽杉候选树性状间的相关性分析

对各性状的相关性分析结果表明:胸径与中央冠幅/冠幅和垂直方向树冠疏透度以外的所有测定性状,均显著或极显著相关,树高与中央冠幅/冠幅和冠高极显著相关,中央冠幅/冠幅同时还与冠高、冠幅极显著相关,冠幅与水平方向树冠疏透度极显著相关;垂直方向疏透度仅与水平方向疏透度的显著相关。各指标之间存在显著或极显著的相关关

系,表明各性状彼此间独立性较差,需要通过主成分分析进行降维并构建相互独立的选择性状。

2.3 性状权重确定

对生长因子进行 KMO 和 Bartlett 的检验,结果表明 Bartlett 的球形度检验显著性达到极显著水平 (Sig. = 0.000),表明数据呈正态分布;KMO 值为 0.565,说明适宜采用主成分分析。对 7 个性状采用主成分分析结果见表 3。

表 2 各生长性状间的相关系数

性状	胸径	树高	冠高	冠幅	中央冠幅 /冠幅	水平方向 树冠疏透度	垂直方向 树冠疏透度
胸径	1.00						
树高	0.33**	1.00					
冠高	0.32**	0.81**	1.00				
冠幅	0.51**	-0.02	0.06	1.00			
中央冠幅/冠幅	-0.06	0.53**	0.45**	-0.55**	1.00		
水平方向树冠疏透度	0.23*	-0.10	0.07	0.31**	-0.17	1.00	
垂直方向树冠疏透度	0.04	0.05	0.11	0.16	0.14	0.23*	1.00

注：\*\*为 0.01 极显著,\*为 0.05 显著。

表 3 可以看出,前 3 个成分占总信息量的 77.63%,基本反映了调查性状的总体信息。第 1 主成分以树高和冠高为主,贡献率为 33.50%;第 2 主成分以冠幅为主,贡献率为 28.41%;第 3 主成分以垂直方向树冠疏透度为主,贡献率为 15.71%。根

据 3 个主成分及相应的分量,计算总分量 and 对应各性状的权重。各性状权重对比发现,垂直方向树冠疏透度和冠高所占权重较高,分别为 0.18 和 0.19;而冠幅和中央冠幅/冠幅最小,分别为 0.10 和 0.09。

表 3 主成分分析与选择指标的权重分析

项目	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F$	权重
特征值	2.35	1.99	1.10		
贡献率	33.50	28.41	15.71		
累计贡献	33.50	61.92	77.63		
胸径	0.36	0.71	-0.30	0.33	0.14
树高	0.92	0.04	-0.17	0.37	0.15
冠高	0.89	0.17	-0.07	0.43	0.18
冠幅	-0.12	0.88	-0.15	0.22	0.10
中央冠幅/冠幅	0.72	-0.50	0.25	0.19	0.09
水平方向树冠疏透度	-0.05	0.60	0.44	0.29	0.15
垂直方向树冠疏透度	0.17	0.27	0.83	0.35	0.19

2.4 多性状综合选择

由于各性状的值差异较大,为了方便分级和比较,根据各指标的变化范围,对数据进行了规格化处理,一般性状采用十分制进行分级评分,即以每个指标的极差的 1/10 为一级。一般就农田林网的防风效率而言,冠幅、水平方向树冠疏透度 2 个指标

值越高,会影响作物的产量,因此在赋值时,指标值越高评分越低。垂直方向树冠疏透度应该在 0.7—0.75 之间防风效果最好<sup>[13]</sup>,中央冠幅/冠幅也应以 0.7—0.8 为好,有利于构建不同透风度的林带,赋值得分最高。各指标赋值如表 4。

表 4 落羽杉综合评分法各性状评分标准

得分	胸径/cm	树高/m	冠高/m	冠幅/m	水平方向 树冠浓密度	垂直方向 树冠浓密度	中央冠幅 /冠幅
1	≤20.65	≤7.98	≤5.33	≤3.95	≥0.95		
2	20.65—22.20	7.98—8.38	5.33—5.85	3.95—4.40	0.95—0.93	≤0.35	≤0.40
3	22.20—23.75	8.38—8.78	5.85—6.37	4.40—4.85	0.93—0.90	0.35—0.4	
4	23.75—25.30	8.78—9.18	6.37—6.89	4.85—5.30	0.90—0.88	0.4—0.45	0.4—0.5
5	25.30—26.85	9.18—9.58	6.89—7.41	5.30—5.75	0.88—0.85	0.45—0.5; ≥0.95	
6	26.85—28.40	9.58—9.98	7.41—7.93	5.75—6.20	0.85—0.83	0.5—0.55; 0.9—0.95	0.5—0.6; ≥0.90
7	28.40—29.95	9.98—10.38	7.93—8.45	6.20—6.65	0.83—0.80	0.55—0.6; 0.85—0.9	
8	29.95—31.50	10.38—10.78	8.45—8.97	6.65—7.10	0.80—0.78	0.6—0.65; 0.8—0.85	0.6—0.7; 0.8—0.9
9	31.50—33.05	10.78—11.18	8.97—9.49	7.10—7.55	0.78—0.75	0.65—0.7; 0.75—0.8	
10	≥34.6	≤11.58	≥10.01	≥8	≤0.73	0.7—0.75	0.7—0.8



采用 Kolmogorov-Simrnov 方法对 60 株候选优树的加权得分进行检验,结果表明双侧显著性值为 0.964(大于 0.1),服从正态分布。利用 SPSS 进行

单样本 T 测验,99%的置信区间为 5.374—6.141 之间,确定加权得分大于 6.141 的候选优树为入选优树,共计 22 株,入选率为 36.67%。

表 6 入选落羽杉优树得分值

优树号	27	9	7	20	4	44	6	12	1	22	21
加权得分	8.19	8.18	8.03	7.78	7.51	7.29	7.29	7.21	7.20	7.18	7.14
优树号	25	52	43	18	28	11	23	60	13	59	2
加权得分	6.97	6.80	6.66	6.38	6.37	6.37	6.34	6.32	6.31	6.27	6.24

### 3 小结与讨论

在小尺度范围内,农田林网中树木与农作物存在争水争肥争光的矛盾,在大尺度范围内,林木改善农业小气候、丰富了生物多样性,促进了农田生产。树木的一些性状对这两方面的作用可能是矛盾的,如较大的垂直方向树冠疏透度和较大的树冠,有益于降低风速、增加大环境的空气湿度,干旱天气下,有利于大区域的农业生产;同时也会产生较大的遮阴效应,不利于树冠下农业增产。因此,选择农田林网造林树种或良种应根据区域环境特点兼顾这两方面作用确定合适的选择指标及其赋值。苏北平原林业用地稀缺,农田林网为发展林业的重要方式。本文着重从兼顾了林网对大小尺度农业环境的影响综合评测优树,研究结果与前人有所不同。

前人关于农田林网造林树种选择的文献多基于实践经验且仅考虑了林网对小尺度下农业生产的影响,以定性论述较多。赵宗哲针对黄淮平原地区农田林网的造林选种,提出首要依据为树高生长、胸径生长和材积生长<sup>[12]</sup>。杨斌等则针对甘肃省临夏州农田防护林的造林需要,从树种的适应性、防护效果和农村社会经济等 3 方面对 10 个树种进行选优<sup>[13]</sup>。赵永斌等在选择京九绿色长廊造林树种时,提出了生态经济原则、适应性原则和持续效益原则<sup>[14]</sup>。施士争等针对苏北平原农田林网造林选种,采用了生长速度、造林维护成本、适生范围、木材价值、树冠透光度、冠型结构、胁地效应、防风范围、抗逆性、病虫害和生理污染等 11 个指标<sup>[15]</sup>。以上研究较少基于理论性的研究,确定的选择指标各不相同、各有侧重,总体上包含速生性、适应性、经济性三方面的指标。落羽杉冠型为圆锥形至阔圆锥形之间,在苏北平原适应性好、未见严重病虫害和风倒现象。鉴于苏北地区林网是主要的造林形式,所以在选择优树指标和赋值时时综合考虑了

防护早、防护远以及植树局部效益与大尺度效益的相结合,研究性状与前人报道的防护林树种选择性状及赋值标准有所差异。主成分分析的结果表明树高、冠高、冠幅和垂直方向树冠疏透度分属 3 个主成分,是重要的选择因子,与前人根据经验确定的选择性状类似。而垂直方向树冠疏透度和冠高所占权重较高,中央冠幅/冠幅的最低,这与防护林树种对农田局部胁地影响的一般认识有所差异,但该结论也体现了对大尺度农业生产环境下防护林树种的选择效果。

长期以来,苏北地区造林应用的落羽杉基本来源于本文中涉及的美国 6 个州及河南鸡公山的落羽杉种源,均为实生起源,在生长速度、叶形、冠型、物候期等方面均存在丰富的变异,进行优树选择以发展无性系造林应该具有较大的潜力。本研究选择的研究群体的立地条件、树龄和林分密度一致性较好,采用多性状综合选择法,在 5 株优势木对比法选择的基础上,对 60 株候选优树进行复选,与传统的连续选择法、独立标准法和评分法相比,选择周期短、综合信息量大,评选标准客观,获得了的 22 株优树。但本研究依据单样本 T 测验方法的选择强度较小,达不到一般优树选择的选择强度,可能是因为本次调查研究范围较小,优树之间的变异系数较低的原因。但在当前上没有农田林网造林的落羽杉良种的背景下,本文初步优选的优树,不但可通过边试验边应用提高落羽杉的造林效果,也可为今后进一步研究适于农田林网造林用落羽杉良种的精准选育和无性系化及多无性系造林储备了优树资源。本研究不足之处是选优时难以量化研究落羽杉对大小小尺度农业生产的影响。为进一步发挥落羽杉林网的生态经济效益,今后宜根据不同的气候区建立长期试验地,分别确定落羽杉种质的评价性状,定量研究其对较大区域内气象条件和作物产量的影响。(下转第 31 页)

- [4] AFRIDI M S, AMNA, SUMAIRA, et al. Induction of tolerance to salinity in wheat genotypes by plant growth promoting endophytes: Involvement of ACC deaminase and antioxidant enzymes[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 139:569-577.
- [5] 韩 厅,辛夏青,魏小红.外源 NO 对 PEG 胁迫下苜蓿幼苗抗氧化酶及同工酶的影响[J]. 分子植物育种, 2019(10): 3399-3405.
- [6] 徐心诚.低温弱光对黄瓜幼苗过氧化物酶同工酶和丙二醛含量的影响[J].河南农业科学,2012, 41(1):113-116.
- [7] FATH A, BETHKE P, BELIGNI V, et al. Active oxygen and cell death in cereal aleurone cells[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(372):1273-1282.
- [8] DENG B L. Antioxidative response of Golden Agave leaves with different degrees of variegation under high light exposure[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2012, 34(5):1925-1933.
- [9] GUO J J, QIN S Y, RENGEL Z, et al. Cadmium stress increases antioxidant enzyme activities and decreases endogenous hormone concentrations more in Cd-tolerant than Cd-sensitive wheat varieties[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 172: 380-387.
- [10] BANKAJI I, PÉREZ-CLEMENTE R M, CAÇADOR I, et al. Accumulation potential of *Atriplex halimus* to zinc and lead combined with NaCl: Effects on physiological parameters and antioxidant enzymes activities[J].South African Journal of Botany, 2019, 123: 51-61.
- [11] 李玉华,赵 奇,雷志华,等.不同地黄品种叶片中活性氧和抗氧化物质的差异研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 377-380.
- [12] 于思桦,陆秀君,曹 婷,等.美国红枫系列品种保护酶系统活性变化及其与耐寒性的关系[J]. 江苏农业科学, 2018,46(4): 124-128.
- [13] KIM S Y, LIM J H, PARK M R, et al. Enhanced antioxidant enzymes are associated with reduced hydrogen peroxide in barley roots under saline stress[J].Journal of biochemistry and molecular biology,2005, 38(2):218-224.
- [14] JUNG S. Expression level of specific isozymes of maize catalase mutants influences other antioxidants on nonflurazon-induced oxidative stress[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 2003, 75(1):9-17.
- [15] 史鹏辉,刘自刚,张亚宏,等.23 份油菜的抗氧化酶特性及过氧化物同工酶分析[J]. 西北农业学报, 2014, 23(1):113-119.
- [16] 次仁白珍.不同抗寒冬油菜品种过氧化物同工酶比较[J]. 西藏农业科技, 2015(3):35-39.

(上接第 27 页)

#### 参考文献:

- [1] 汪企明,江泽平,吕祥生.落羽杉属种源研究:树种生物学特性[J].江苏林业科技,2000,27(1):1-6.
- [2] 柳学军,曹福亮,汪贵斌,等.落羽杉优良种源选择[J].南京林业大学学报,2006,30(2):47-50.
- [3] 郑万钧.中国主要树种造林技术[M].北京:中国林业出版社,1983.
- [4] 汪企明,吕祥生,江泽平,等.落羽杉属种源研究:种子与苗期变异[J].江苏林业科技,1993,20(1):1-4,8.
- [5] 汪企明,江泽平,吕祥生,等.落羽杉属种源研究:树种生物学特性[J].江苏林业科技,1995,22(2):14-18.
- [6] 汪企明,王 伟,蒋志新,等.落羽杉属种源研究:生长和生物量变异[J].江苏林业科技,1998,25(1):1-6.
- [7] 黄利斌,李晓储,张定瑶,等.落羽杉地理种源变异与选择[J].林业科学研究,2007,20(4):447-451.
- [8] 柳学军.落羽杉优良种源选择研究[D].南京:南京林业大学,2006.
- [9] 胡绪森,丁次平,张言平.江汉平原湖区落羽杉优良家系早期选择[J].安徽农业科学,2012,40(14):8171-8172,8174.
- [10] 王丹碧,余 华,凌子然,等.落羽杉与墨西哥落羽杉 3 个杂交后代品系的生长和杂种优势分析[J].植物资源与环境学报, 2017,26(1):55-62.
- [11] 严 洪.江苏徐淮平原农田林网结构与防护效益研究[D].南京:南京林业大学,2017.
- [12] 赵宗哲.华北地区农田防护林主要造林树种的选择[J].林业科学,1965,10(2):148-159.
- [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,2006,42(6):49-55.
- [14] 赵永斌,汤 玲.京九绿色长廊建设树种选择研究初探[J].安徽林业科技,1999(3):30-31.
- [15] 施士争,路 明,王红玲,等.江苏苏北杨树农田林网更新主栽树种选择研究[J].江苏林业科技,2017,44(6):27-31.