

中山杉 302 回交一代的早期选育

殷云龙^{1,2}, 尹晓明¹, 於朝广¹, 徐建华¹, 陈永辉¹

(1. 江苏省植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 连续 3 年对中山杉 302 (*Taxodium 'Zhongshansha 302'*) 回交一代 (Backcrossed F_1 , 简称为 BCF_1) [*中山杉 302* (*T. 'Zhongshansha 302'*) \times 墨杉 (*T. mucronatum* Tenore)] 的 13 个无性系的苗期生长量 (株高和地径)、标准木的地上部分生物量和分枝结构进行了测定, 结果表明: BCF_1 102、 BCF_1 118、 BCF_1 61 和 BCF_1 149 的生长量和地上部分生物量明显高于亲本中山杉 302, 可以作为优选出的 4 个具有潜在推广价值的新无性系; 其中 BCF_1 102、 BCF_1 118 和 BCF_1 61 3 个无性系树干生物量占地上部分总生物量的比例均大于 50%, 也高于其他无性系, 而树枝生物量比例较低, 可以作为速生用材类型, BCF_1 149 树叶生物量占地上部分总生物量的比重高达 45%, 可以作为速生观赏类型。运用通径分析方法对标准木的分枝结构与树高生长量的关系进行了分析, 结果表明分枝数量是树高生长的首要决定因素, 这 4 个速生无性系单株分枝数量高于其他类型。盐碱地造林结果表明: 在 pH 8.5 的滨海轻盐土上, 除 BCF_1 61 的生长量受到一定抑制外, 其他 3 个无性系 BCF_1 102、 BCF_1 118 和 BCF_1 149 的生长量仍高于亲本中山杉 302。运用 RAPD 分子标记鉴定了这 4 个优良无性系的遗传身份。

关键词: 中山杉 302 回交一代; 生长量; 优良无性系; 遗传身份

中图分类号: S791.34; S722.3⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2003)02-0022-06

Selection on backcrossed F_1 of *Taxodium 'Zhongshansha 302'* \times *T. mucronatum* at early stage YIN Yun-long^{1,2}, YIN Xiao-ming¹, YU Chao-guang¹, XU Jian-hua¹, CHEN Yong-hui¹ (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Soil Research Institute, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2003, 12(2): 22-27

Abstract: Growth rate (height and root diameter) and biomass above-ground as well as twig structure of the first backcrossed generations of (BCF_1) *Taxodium 'Zhongshansha 302'* \times *T. mucronatum* Tenore were monitored during continued three years. The results showed that the average growths of height and biomass above ground of BCF_1 102, BCF_1 118, BCF_1 61 and BCF_1 149 were significantly higher than mother plant *T. 'Zhongshansha 302'*. Among the four, BCF_1 102, BCF_1 118 and BCF_1 61 might be used as the type of fast-growing timber forest with their higher percentage (>50%) of trunk biomass and lower twig biomass to total biomass above-ground, BCF_1 149 might be used as the type of fast-growing ornamental forest with its higher leaf biomass. The relationships between twig structure and tree height were concluded by path analysis, it showed that twig number was a determinative factor to the growth of height, twig numbers of the 4 merit clones were more than that of other clones. Experiments in saline-alkali soil (pH 8.5) indicated that the growth rates of BCF_1 102, BCF_1 118 and BCF_1 149 were superior to *T. 'Zhongshansha 302'* except the growth of BCF_1 61 were inhibited partly. Genetic properties of the 4 selected clones were verified by RAPD markers.

Key words: backcrossed F_1 of *Taxodium 'Zhongshansha 302'* \times *T. mucronatum* Tenore; growth; merit clones; genetic certification

中山杉 302 [*Taxodium distichum* (Linn) Rich. \times *T. mucronatum* Tenore] 是江苏省·中国科学院植物研究所于 20 世纪 80 年代初从落羽杉属种间杂交种中选育出的优良品种^[1], 由于其具速生、耐水湿、耐盐碱及观赏价值高等优点^[2,3], 一直深受生产单位和园

林绿化部门的欢迎。但由于该无性系插枝生根率

收稿日期: 2002-10-23

基金项目: 中国科学院“九五”重大农业攻关子专题《中山杉农田防护林示范和经济植物引种开发》项目资助(KN95-05-03-04-02)

作者简介: 殷云龙(1964-), 男, 江苏丹阳人, 在读博士, 副研究员, 主要从事树木种质资源与环境方面的研究。

低,育苗成本高,种苗供应困难,影响该树种的大面积推广。为保持或恢复落羽杉属杂交品种的优良特性和生活力,以满足当前和今后城乡绿化造林尤其是沿海滩涂的生态建设对中山杉无性系日益看好的需求,江苏省·中国科学院植物研究所于20世纪90年代开始着眼于中山杉无性系的优化复壮和新品系的培育更新工作,开展了以中山杉302为母本,墨杉为父本的回交选育,获得杂交种子2000余粒,经过苗期生长的初选和复选,保留了14个无性系进行实地栽培。本项目连续3年对这14个无性系的生长量(株高和地径)进行了测定,从中选出4个优良无性系,并用RAPD分子标记鉴定了这4个无性系的遗传身份。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

用中山杉302无性系作杂交母本,墨西哥落羽杉(*Taxodium mucronatum* Tenore)作父本。

1.2 试验方法

1.2.1 父本花粉的采集 1991年春从南京东南大学内墨西哥落羽杉大树上剪取1~2年后枝,嫁接于南京中山植物园栽植的2年生落羽杉上,第2年接株形成雄花序时加于保护,1993年春散粉时及时采取花粉,风干后清除杂质装入指形管,贮藏于干燥器中备用。

1.2.2 授粉母树的选择 在南京中山植物园松柏园中选择生长旺盛、雌花较多的4株4年生中山杉302作授粉母树。

1.2.3 授粉杂交 1993年春,当授粉母树雌花开放时适时进行授粉,第1次授粉于3月4日上午进行,隔2d后重复授粉1次。授粉时用新羊毫笔蘸取父本花粉,轻轻涂抹于母本雌花上。由于中山杉302的雌花开放与落羽杉、池杉的雄花撒粉时期不同,四周又有高大的松柏林隔离,故未进行套袋控制授粉。

1.2.4 杂种球果的采收和处理 杂交当年秋季,授粉的球果由青转黄绿色后采收。球果风干开裂后进行清理,获得杂交种子2000余粒,袋装保存。

1.2.5 播种和移苗 杂交种子播前用清水浸种50~60d,于1994年4月上旬进行条状地播,常规管护。5月下旬当杂种幼苗上胚轴伸长达3~5cm时进行移栽,株行距15cm×20cm,共移栽194株,移栽

地四周用同龄落羽杉小苗作保护行。

1.2.6 优良个体的选择 (1)初选,以苗高生长量为主,参考地径生长量,进行初选。凡株高大于平均值,地径大于或接近等于平均值的单株作为基本家系群体,再统计该基本群体的高径平均值,凡株高达到该群体平均值加0.75个标准差以上的植株即为初选杂种源株。(2)复选——无性系测定,将初选源株分株系扩繁成无性系,进行圃地无性系测定,优中选优。

1996年春将初选的13个回交一代无性系在中山植物园内苗圃进行苗期对比试验,各栽1行,每列10株,两个重复,东西向随机排列,株行距20cm×30cm,母本中山杉302作为对照。在第2、3、4年对各无性系分别测株高、地径。9月下旬,当树木停止生长时,对三年生无性系试验苗进行树高和地径测定,然而主要根据平均地径选择标准进行地上部分生物量(树干、树枝和树叶)和分枝特性(最长枝基径、最长枝基干径比、最长枝长度、最长枝枝干角、分枝数量、分枝平均长度、分枝密度、小枝长度)进行测定。

选择土壤盐碱含量和pH较高的江苏如东滩涂和土壤pH偏碱的南京滩涂进行无性系区域对比造林试验,造林后2年生时进行生长量测定。

2001年秋取树冠中上部针叶用于RAPD分析,两亲本中山杉302及墨杉树龄约11年,无性系树龄6~7年,CTAB法提取DNA,扩增条件参考文献[4]方法。

2 结果分析

2.1 杂种家系的初选——实生选择

经测定和统计,1994年底保存的161株1年生回交杂种苗的平均株高和平均地径分别为27及0.51cm。把株高大于平均值,地径大于或接近等于平均值的57株杂种苗作为杂种家系的基本群体。为扩大其选择差,提高选择强度,再次统计该基本群体的高、径生长量平均值及其标准差,分别为 $H = 38.57$ cm, $\delta_H = 7.207$ cm; $D = 0.66$ cm, $\delta_D = 0.077$ cm。再以苗高为主,将株高达该基本群体平均值加0.75个标准差以上的13个单株为初选杂种源株(见表1)。

表1 初选中山杉 302 回交一代 BCF₁ 无性系源株生长情况(1994)
Table 1 Growth of the BCF₁ source individuals selected on first round

源株号 Source individuals	1年生苗生长量 Growth of one-year-seedling		入选标准 Selection standard		以株高 排列位次 Rank of height
	株高(cm) Height	地径(cm) Base Diameter	株高 + δ	地径 + δ	
BCF ₁ 86	55.5	0.7	2.349	0.519	1
BCF ₁ 149	53.0	0.7	2.002	0.519	2
BCF ₁ 118	52.0	0.8	1.863	1.818	3
BCF ₁ 102	50.5	0.7	1.655	0.519	4
BCF ₁ 75	50.0	0.7	1.586	0.519	5
BCF ₁ 64	49.0	0.8	1.447	1.818	6
BCF ₁ 91	49.0	0.8	1.447	1.818	7
BCF ₁ 74	49.0	0.7	1.447	0.519	8
BCF ₁ 170	46.5	0.6	1.100	-0.779	9
BCF ₁ 140	46.0	0.8	1.031	1.818	10
BCF ₁ 61	45.5	0.7	0.962	0.519	11
BCF ₁ 55	45.0	0.8	0.892	1.818	12
BCF ₁ 146	44.0	0.8	0.753	1.818	13

2.2 杂种家系的复选——优良无性系选择

1995年春将初选源株移栽后截干,并分株系嫁接、采条、扦插,繁育成无性系苗,以供无性系测定。

2.2.1 中山杉 302 BCF₁ 13 个无性系株高生长比较

连续3年对各无性系的株高进行了测量,结果见表2。

表2 中山杉 302 与 13 个 BCF₁ 无性系苗期株高生长比较
Table 2 Comparison of height growth among 13 clones of BCF₁ and *Taxodium* 'Zhongshansha 302'

无性系 Clones	2年生苗 高平均值 Mean height of 2 year's tree(cm)	3年生苗 高平均值 Mean height of 3 year's tree(cm)	4年生苗 高平均值 Mean height of 4 year's tree(cm)	年平均增量 Mean annual increase (cm/a)
BCF ₁ 102	140.85	195.89	284.00	72.0
BCF ₁ 61	122.16	188.39	269.37	74.0
BCF ₁ 118	121.26	184.00	275.33	77.0
BCF ₁ 146	102.27	155.33	211.56	55.0
BCF ₁ 86	102.05	148.10	167.50	33.0
BCF ₁ 149	99.76	143.33	233.22	67.0
BCF ₁ 91	91.47	141.78	207.00	58.0
BCF ₁ 140	91.00	125.50	146.57	28.0
BCF ₁ 75	90.23	119.46	126.00	18.0
BCF ₁ 170	88.59	113.00	142.09	27.0
BCF ₁ 64	82.77	111.18	132.55	25.0
中山杉 302	77.01	110.74	210.90	67.0
BCF ₁ 74	76.78	102.89	127.38	25.0
BCF ₁ 55	72.84	97.88	142.55	35.0

由表2可见,第2、3年时有11个无性系株高生长超过亲本,此时由于栽植的株行距较小,无论是无

性系间还是同一无性系的个体之间,生长竞争均较激烈,利于选择,无性系 BCF₁118、BCF₁102、BCF₁61 和 BCF₁146 株高超过了亲本中山杉 302;第4年时,无性系 BCF₁149 株高也超过了亲本中山杉 302。

2.2.2 中山杉 302 BCF₁ 13 个无性系地径生长比较

连续3年对各无性系地径的测定结果见表3。

表3 中山杉 302 与 13 个 BCF₁ 无性系苗期地径生长比较
Table 3 Comparison of base diameter growth among 13 clones of BCF₁ and *Taxodium* 'Zhongshansha 302'

无性系 Clones	2年生苗 地径平均值 Mean height of 2 year's tree(cm)	3年生苗 地径平均值 Mean height of 3 year's tree(cm)	4年生苗 地径平均值 Mean height of 4 year's tree(cm)	年平均增量 Mean annual increase (cm/a)
BCF ₁ 102	2.3	3.4	4.9	1.3
BCF ₁ 61	2.0	3.8	5.0	1.5
BCF ₁ 149	1.8	3.1	4.7	1.4
BCF ₁ 118	1.8	3.2	4.6	1.4
BCF ₁ 146	1.7	2.8	3.8	1.0
BCF ₁ 91	1.6	2.6	3.6	1.0
BCF ₁ 86	1.5	1.9	3.1	0.8
BCF ₁ 64	1.4	1.8	2.2	0.4
BCF ₁ 140	1.3	1.7	2.2	0.4
BCF ₁ 74	1.1	1.3	1.6	0.3
中山杉 302	1.2	2.1	3.1	0.9
BCF ₁ 75	1.2	1.3	1.6	0.2
BCF ₁ 55	1.2	1.6	2.0	0.4
BCF ₁ 170	1.2	1.5	1.8	0.3

由表3地径测量值和年平均增量来看,超过亲本中山杉 302 的无性系有 BCF₁61、BCF₁149、BCF₁118、BCF₁146 和 BCF₁91。

通过连续3年对中山杉 BCF₁ 的13个无性系株高和地径进行测评,综合各无性系株高和地径的生长量,可以看出,BCF₁102、BCF₁118、BCF₁61 和 BCF₁149 等4个株系生长量大于其余无性系及母本中山杉 302,是优良的无性系。

2.2.3 中山杉 302 BCF₁ 13 个无性系生物量比较

树木的生物量结构是光合作用产物分配、积累的结果,选择合理的无性系生物量结构,对于优良无性系的定向培育和利用具有重要意义。由表4可以看出 BCF₁102、BCF₁61、BCF₁149 和 BCF₁118 的地上部分生物量已达到亲本中山杉 302 的2倍以上,再次验证了这4个无性系的速生丰产特性。BCF₁146 和 BCF₁91 的地上部分生物量为中山杉 302 的1倍以上,具有一定的潜在利用价值。其他地上部分生物量在中

山杉 302 的 1 倍以下的无性系可作为淘汰类型。从生物量的分配比例来看,4 个速生类型中,BCF₁ 149 的叶器官生物量比例最高,树干生物量比例较低,因此这一树种更适宜作为园林绿化树种。其他几个速

生类型 BCF₁ 102、BCF₁ 61 及 BCF₁ 118 的树干生物量比例都达到了 50% 以上,因此作为速生用材树种潜力更大。

表 4 中山杉 302 与 13 个 BCF₁ 无性系地上部分生物量比较Table 4 Comparison of biomass above ground among 13 clones of BCF₁ and *Taxodium* 'Zhongshansha 302'

无性系 Clone	干 Trunk		枝 Twigs		叶 Leaves		地上部分总量 Biomass above ground	
	重量(g) Weight	百分比(%) Percentage	重量(g) Weight	百分比(%) Percentage	重量(g) Weight	百分比(%) Percentage	重量(g) Weight	BCF ₁ /Z302 Ratio
BCF ₁ 102	239.8	50	71.1	15	165.0	35	475.9	2.3
BCF ₁ 61	274.0	54	69.8	14	166.1	33	509.9	2.4
BCF ₁ 149	181.4	39	72.5	16	211.7	45	465.6	2.2
BCF ₁ 118	269.2	52	105.6	20	145.1	28	519.9	2.5
BCF ₁ 146	137.0	54	41.4	16	73.5	29	251.9	1.2
BCF ₁ 91	106.8	38	38.8	14	131.1	48	278.7	1.3
BCF ₁ 86	69.3	50	32.3	23	36.8	27	138.4	0.7
BCF ₁ 64	30.2	56	12.5	23	11.3	21	54.0	0.3
BCF ₁ 140	53.6	53	28.4	53	19.1	19	101.1	0.5
BCF ₁ 74	29.8	57	11.6	22	10.9	21	52.3	0.2
中山杉 302	88.7	42	37.5	42	83.6	40	209.8	1.0
BCF ₁ 75	28.2	59	10.8	59	8.6	18	47.6	0.2
BCF ₁ 55	22.2	63	6.5	63	6.8	19	35.5	0.2
BCF ₁ 170	34.8	60	8.4	60	14.8	26	58.0	0.3

2.2.4 中山杉 302BCF₁ 13 个无性系分枝特性比较

树木的分枝特性等形态指标与丰产性状之间有一定的相关性,可作为早期选择的参考指标^[5]。与其他速生树种相比,落羽杉属树苗的分枝分化和树冠形态成型较早,便于进行早期形态分析鉴别。本文采用标准木测定法对分枝结构进行了测定。运用通径分析方法^[6]对分枝的 8 个特性如最长枝基径、最长枝长度等与树高生长的相关程度进行了分析,结果(见表 6)表明:在分枝的 8 个性状中,分枝数量是决定树高生长的首要因素,决定系数 $R^2 = 1.92$ (见表 7)。从两性状决定系数来看,与分枝数量相关的决定系数最高,如 x3 和 x5 与 x5 和 x7 两性状决定系数的绝对值较高。

2.2.5 回交一代优良无性系遗传身份的鉴定 从 96 条随机引物中筛选出 3 条有效引物,在亲本及 4 个无性系之间共扩增出 26 条片段,其中 3 条是所有样品的共同片段,分别是引物 S1427 扩增出的 1280bp 的片段、引物 S1428 扩增出的 1070bp 的片段和引物 S1395 扩增出的 600bp 的片段。在 4 个回交一代中:BCF₁ 118 扩增出的 5 条片段全部来自双亲,占 100%;BCF₁ 102 扩增出 5 条片段也全部来自双亲,

占 100%;BCF₁ 61 扩增出的 7 条片段中有 6 条来自双亲,占 86%;BCF₁ 149 扩增出的 9 条片段中有 5 条来自双亲,占 56%,另外 BCF₁ 149 还扩增出特异片段。

表 5 中山杉 302 BCF₁ 13 个无性系分枝特性比较¹⁾Table 5 Comparison of twig property among 13 clones of BCF₁ of *Taxodium* 'Zhongshansha 302'¹⁾

无性系 Clone	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
BCF ₁ 102	0.46	0.35	42.2	67.0	36	25.1	0.45	7.6
BCF ₁ 61	0.41	0.30	36.8	55.0	34	22.3	0.38	8.7
BCF ₁ 118	0.54	0.53	46.2	47.0	26	28.0	0.27	8.2
BCF ₁ 146	0.26	0.40	20.7	50.0	18	17.5	0.21	5.5
BCF ₁ 86	0.38	0.42	35.0	48.3	17	26.5	0.25	6.7
BCF ₁ 149	0.38	0.32	36.2	62.0	36	25.0	0.43	5.0
BCF ₁ 91	0.40	0.34	35.0	63.0	22	20.2	0.33	7.8
BCF ₁ 140	0.37	0.30	36.0	47.0	35	21.2	0.42	7.2
BCF ₁ 75	0.25	0.42	18.8	57.0	5	15.1	0.07	5.9
BCF ₁ 170	0.35	0.44	34.0	32.0	11	29.4	0.15	4.6
BCF ₁ 64	0.42	0.33	44.3	51.0	28	30.4	0.35	4.2
BCF ₁ 74	0.32	0.46	31.7	43.0	9	26.2	0.17	3.3
BCF ₁ 55	0.38	0.50	31.3	42.0	9	27.2	0.14	5.7

1) x1: 最长枝基径 Base diameter of the longest twig(cm); x2: 最长枝基径比 Base diameter ratio of the longest twig to trunk; x3: 最长枝长度 Length of the longest twig(cm); x4: 最长枝枝干角 Upward angle of trunk and the longest twig (°); x5: 分枝数量 Number of twigs; x6: 分枝平均长度 Mean length of twigs (cm); x7: 分枝密度 Twigs density (No./cm); x8: 小枝长度 Mean length of deciduous twigs (cm).

表 6 标准木分枝结构与树高的通径分析¹⁾
Table 6 Path analysis toward twig sturcture and tree height in standard trees¹⁾

	间接通径系数 Indirect path coefficient								直接通径系数 Direct path coefficient	
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	总和	
x1		0.002 1	0.042 8	0.007 4	0.022 65	0.027 3	0.025 4	0.023 8	0.151 5	0.045 9
x2	0.026 1		-0.070 4	-0.317 3	-0.388 8	0.155 6	-0.415 8	-0.112 7	-1.149 4	0.562 0
x3	-0.720 6	0.096 9		-0.069 9	-0.491 2	-0.564 3	-0.498 1	-0.222 8	-1.749 4	-0.773 7
x4	0.082 2	-0.288 4	0.046 2		0.273 2	-0.220 9	0.295 0	0.217 3	0.322 4	0.510 8
x5	0.799 5	-0.959 4	0.880 4	0.741 8		0.137 1	1.350 9	0.66 7	2.817 8	1.386 9
x6	0.364 9	0.169 9	0.447 4	-0.265 3	0.060 7		0.075 7	-0.170 9	0.317 5	0.613 5
x7	-0.248 8	0.331 0	-0.289 9	-0.260 0	-0.438 5	-0.055 5		-0.191 7	-0.904 6	-0.450 2
x8	0.246 1	-0.095 4	0.136 9	0.202 3	0.228 6	-0.132 5	0.202 5		0.542 4	0.475 6

¹⁾ x1: 最长枝基径 Base diameter of the longest twig(cm); x2: 最长枝基干径比 Base diameter ratio of the longest twig to trunk; x3: 最长枝长度 Length of the longest twig(cm); x4: 最长枝枝干角 Upward angle of trunk and the longest twig (°); x5: 分枝数量 Number of twigs; x6: 分枝平均长度 Mean length of twigs (cm); x7: 分枝密度 Twigs density (No./cm); x8: 小枝长度 Mean length of deciduous twigs(cm).

表 7 标准木分枝结构对树高的决定系数¹⁾
Table 7 Coefficient of determination for twig structure to tree height in sample trees¹⁾

	两性状对树高的决定系数 Decisive coefficient of two characters to height							单性状对树高的决定系数 Decisive coefficient of single character to height
	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	
x1	0.002 4	-0.066 2	0.007 5	0.073 4	0.033 5	-0.022 8	0.022 6	0.002 1
x2		0.108 9	-0.324 1	-1.078 4	0.191 0	0.374 4	-0.107 2	0.315 8
x3			-0.071 4	-1.362 4	-0.692 3	0.448 5	-0.211 9	0.598 6
x4				0.757 8	-0.271 0	-0.195 7	0.206 7	0.260 9
x5					0.168 3	-1.216 3	0.317 1	1.923 5
x6						-0.068 1	-0.081 3	0.376 4
x7							-0.182 3	0.202 7
x8								0.226 2

¹⁾ x1: 最长枝基径 Base diameter of the longest twig(cm); x2: 最长枝基干径比 Base diameter ratio of the longest twig to trunk; x3: 最长枝长度 Length of the longest twig(cm); x4: 最长枝枝干角 Upward angle of trunk and the longest twig (°); x5: 分枝数量 Number of twigs; x6: 分枝平均长度 Mean length of twigs (cm); x7: 分枝密度 Twigs density (No./cm); x8: 小枝长度 Mean length of deciduous twigs(cm).

表 8 3 条引物在 2 个亲本和 4 个回交一代之间 RAPD 扩增统计¹⁾
Table 8 Survey of 3 RAPD markers in 2 parents and 4 hybrids¹⁾

引物 Primer	FL	TM	TZ	BCF ₁ 118	BCF ₁ 102	BCF ₁ 61	BCF ₁ 149
S1427	2 000	-	-	-	-	-	+
S1427	1 350	-	-	-	-	-	+
S1427	1 070	-	-	-	-	+	+
S1427	870	+	-	-	-	-	-
S1427	310	+	-	-	+	+	+
S1427	280	+	+	+	+	+	+
S1428	2 000	-	-	-	-	-	+
S1428	1 600	+	-	-	-	-	-
S1428	1 350	+	-	-	+	+	+
S1428	1 200	+	-	-	-	-	-
S1428	1 070	+	+	+	+	+	+
S1395	1 400	+	+	+	-	-	-
S1395	1 100	+	-	-	-	+	-
S1395	872	-	+	+	-	-	-
S1395	600	+	+	+	+	+	+

¹⁾ FL: 片段 fragment length(bp); TM: 墨杉 *Taxodium mucronatum* Tenore; TZ: 中山杉 302 *T. Zhongshanshan* 302. +: 出现 Appear; -: 未出现 Not appear

可见,回交一代继承了双亲遗传物质的同时表现了
一定程度的变异,RAPD 扩增结果进一步证实了这 4
个回交一代是中山杉 302 与墨杉的杂交后代。RAPD
扩增产物见表 8。

2.3 优良无性系的造林试验

为评鉴这些优选出来的回交杂种无性系的生态
适应性,作者选择了苗期生长优良的 7 个新 BCF₁无
性系和原种落羽杉及中山杉 302 分别在江苏如东滩
涂海堤(基本脱盐,地下水位较低)和南京八卦洲江
滩(中性沙壤,地下水位较高)进行造林试验。5 年生
林木生长情况如表 9。

由表 9 可见:在如东海堤上 BCF₁118、BCF₁102 和
BCF₁149 3 个新无性系生长表现较好,它们的树高、
胸径生长量均超过 9 个参试树种的平均值,BCF₁118
生长更为突出,高、径生长分别超过母本中山杉 302
的 25% 和 75.8%。而在南京黄中壤立地条件下苗期

生长表现较好的 BCF₁61 却生长最差,和原种落羽杉一样不宜在盐碱地生长。在南京长江江滩上 BCF₁102、BCF₁61 和 BCF₁118 3 个无性系生长较好,其中 BCF₁102 生长较优,高、径生长量分别超过母本中山杉 302 的 17.8% 和 25%。

由上可知,参试的 7 个新无性系中,BCF₁118 和 BCF₁102 2 个新无性系与亲本中山杉 302 相似,具有较广的生态适应性。而 BCF₁61 在 pH 低于 7.5 的立地条件下才能良好生长。

表 9 落羽杉、中山杉 302 亲本和部分 BCF₁ 无性系 5 年生林木生长情况

Table 9 Growth rate of some 5 - years - old clones of BCF₁ and parent plant of *Taxodium zhongshansha* 302 and *T. distichum* (Linn.) Rich

无性系 Clones	如东滩涂海堤(pH 8.5) Sea costal area of Rudong county				南京八卦洲江滩(pH 7.5) River costal area of Nanjing city			
	树高 H (m)	胸径 DBH (cm)	生长优劣位次 Order of growth		树高 H (m)	胸径 DBH (cm)	生长优劣位次 Order of growth	
			树高 H(m)	胸径 DBH(cm)			树高 H(m)	胸径 DBH(cm)
BCF ₁ 118	3.35	5.80	1	1	2.27	2.20	4	4
中山杉 302 <i>T. 'Zhongshansha 302'</i>	2.68	3.30	2	2	2.41	2.80	3	2
BCF ₁ 102	2.57	3.10	3	5	2.84	3.50	1	1
BCF ₁ 149	2.48	3.30	4	4	2.26	3.20	5	6
BCF ₁ 86	2.43	3.00	5	3	2.20	2.10	6	7
BCF ₁ 146	2.24	2.80	6	6	2.06	2.30	8	5
BCF ₁ 170	2.10	2.10	7	7				
落羽杉 <i>T. distichum</i> (Linn.) Rich	1.82	1.20	8	9	2.07	1.30	7	8
BCF ₁ 61	1.81	1.20	9	8	2.43	2.50	2	3
平均 Mean	2.39	2.87			2.32	2.36		

3 讨 论

1) 经过连续 3 年的生长测定,从中山杉 302 与墨杉回交一代的 13 个无性系中选出 4 个优良无性系即 BCF₁102、BCF₁118、BCF₁61 和 BCF₁149,初步认为它们可以作为落羽杉杂交新品种推广种植。

2) 树木的优良特性只有在特定的环境条件下才能得到表现,所表现性状是否稳定还需要时间考验。为了选育出可以适应不同土壤及气候条件的中山杉新无性系,上述 4 个无性系尤其是 BCF₁61 对不同土壤 pH 的适应性尚存在不稳定现象。因此还需进行不同立地条件下的扩大区域试验。

3) 本文分析了树木分枝特性与树高生长的相关性,认为分枝数量是决定树高生长的首要因素,为探讨今后该属速生优良无性系的早期选择提供了辅助性状指标,也可以为今后相关林木育种提供依据。

致谢 南京农业大学细胞遗传所的马正强教授为本文 RAPD 扩增提供了便利的实验条件,特此致谢!

参考文献:

- [1] 陈永辉,王名金,伍寿彭,等. 落羽杉属树木速生耐碱类型的杂交选育[A]. 南京中山植物园研究论文集编辑组. 南京中山植物园研究论文集(1986)[C]. 南京:江苏科学技术出版社,1987. 92-97.
- [2] 殷云龙,陈永辉. 中山杉与池杉、落羽杉和水杉对比造林的调查和评价[J]. 植物资源与环境,1997,6(3):23-28.
- [3] 周康. 落羽杉属种间杂种的遗传分析及耐碱生理[D]. 南京:江苏省·中国科学院植物研究所,1998.
- [4] 尹冬明,韩正敏,黄敏仁,等. 林木 RAPD 分析及实验条件的优化[J]. 南京林业大学学报,1999,23(4):7-12.
- [5] 王名金,刘克辉,伍寿彭,等. 树木引种驯化概论[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1984. 365-369.
- [6] 刘权,马宝琨,曲泽洲,等. 果树试验设计与统计[M]. 北京:中国林业出版社,1992. 305-310.