

中山杉优良无性系 302, 118, 405 扦插生根能力比较

王紫阳¹, 徐建华¹, 李火根², 於朝广¹, 殷云龙¹

(1. 江苏省·中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014; 2. 南京林业大学 林学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 为了解分别选育于 1979, 1993, 2004 年的 3 期中山杉 *Taxodium* ‘Zhongshanshan’ 无性系的扦插生根能力差异, 研究了清水对照 (ck), 1 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸、1 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸、1 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸和 1 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸 1:1 混合液、2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸和 2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸 1:1 混合液分别处理下中山杉 302, 118, 405 *Taxodium* ‘Zhongshanshan 302, 118, 405’ 的生根率、生根数量、最大根根长和最大根基茎。结果表明: ①清水对照或 2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸处理下, 中山杉 302 的生根率显著低于 ($P < 0.05$) 中山杉 118, 405, 其余 5 个处理下, 3 个无性系的生根率在 0.01 水平差异显著。1 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸和 2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸 1:1 混合液处理下, 中山杉 302 生根数超过 4 条的百分率显著低于 ($P < 0.01$) 中山杉 118, 405。1 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸、1 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸和 1 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸 1:1 混合液处理下, 3 个无性系生根数超过 4 条的百分率在 0.05 水平差异显著。②1 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸、2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸和 2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸 1:1 混合液处理下, 3 个无性系的生根率显著高于 ($P < 0.05$) 对照; 2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸处理下, 3 个无性系生根数超过 4 条的百分率显著高于 ($P < 0.05$) 对照。这些结果显示: ①3 个中山杉无性系的扦插生根能力存在显著的差异。②植物生长调节物质处理可以提高 3 个无性系的生根率和生根数量。7 个处理中, 2 000 mg·L⁻¹ 吲哚乙酸和 2 000 mg·L⁻¹ 萘乙酸 1:1 的混合液处理效果最佳。图 4 表 1 参 21

关键词: 森林培育学; 中山杉; 扦插繁殖; 生根能力; 植物生长调节物质

中图分类号: S723.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)04-0648-07

Rooting capabilities for *Taxodium* ‘Zhongshanshan’ 302, 118, and 405

WANG Ziyang¹, XU Jianhua¹, LI Huogen², YU Chaoguang¹, YIN Yunlong¹

(1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210014, Jiangsu China; 2. Forestry College, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: To explore the asexual rooting capabilities among clones selected at 1979, 1993, 2004, respectively, the rooting rate, rooting number, length and basal diameter of the maximum root were compared among three clones of *Taxodium*: ‘Zhongshanshan’ 302, 118, 405 with different treatments of water control, 1 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid, 1 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid, 2 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid, 2 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid, 1:1 mixture of 1 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid and 1 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid, 1:1 mixture of 2 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid and 2 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid. Results showed that: 1) The rooting rate of *T.* ‘Zhongshanshan 302’ was significantly lower ($P < 0.05$) than those of *T.* ‘Zhongshanshan 118’ and *T.* ‘Zhongshanshan 405’ in control condition or treatment with 2 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid, while significantly lower ($P < 0.01$) in the rest of treatments. The percentage of cuttings with rooting number more

收稿日期: 2014-10-20; 修回日期: 2014-12-23

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金资助项目(CX132046); 江苏省前瞻性研究专项资金资助项目(BE2014377); 江苏省科技基础设施建设计划-科技公共服务平台资助项目(BM2012058)

作者简介: 王紫阳, 从事观赏园艺与园林植物研究。E-mail: WangZY8914@163.com。通信作者: 殷云龙, 研究员, 博士, 从事植物资源与生态环境研究。E-mail: yiny1066@sina.com

than four of *T. 'Zhongshanshan 302'* was significantly lower ($P < 0.01$) than those of *T. 'Zhongshanshan 118'* and *T. 'Zhongshanshan 405'* in 1 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid, 2 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid, 1:1 mixture of 2 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid and 2 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid, while significantly lower ($P < 0.05$) in 1 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid, 1:1 mixture of 1 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid and 1 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid. 2) Compared to the control, the rooting rate for all three clones were significantly greater ($P < 0.05$) for each hormone treatment, excepting 1 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid, 1:1 mixture of 1 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid and 1 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid; the percentage of cuttings with rooting number more than four for all three clones were significantly greater ($P < 0.05$) for 2 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid. Overall, there were significant differences in rooting capabilities among the three clones. And the rooting rate and rooting number for all three clones could be improved by hormone treatments. Among the 7 treatments, the treatment with 1:1 mixture of 2 000 mg·L⁻¹ indole acetic acid and 2 000 mg·L⁻¹ naphthyl acetic acid gained the highest rooting rate and the largest rooting number. [Ch, 4 fig. 1 tab. 21 ref.]

Key words: silviculture; *Taxodium 'Zhongshanshan'*; cutting propagation; rooting capabilities; hormone treatments

中山杉 *Taxodium 'Zhongshanshan'* 是落羽杉 *Taxodium distichum*, 墨西哥落羽杉 *Taxodium mucronatum*, 池杉 *Taxodium ascendens* 等 3 个树种种间杂交得到的优良无性系的总称^[1-2]。江苏省·中国科学院植物研究所于 20 世纪 70 年初开始着力于落羽杉属 *Taxodium* 种间杂交优势利用研究^[3-4], 陆续育成了一批以国家级林木良种中山杉 302 *T. distichum* × *T. mucronatum*、中山杉 118 (*T. distichum* × *T. mucronatum*) × *T. mucronatum* 为代表的具有耐盐碱、生长快、观赏价值高等优点的第 1 期和第 2 期中山杉优良无性系和以中山杉 405 *T. mucronatum* × *T. distichum* 等为代表的第 3 期优良无性系^[5]。迄今为止, 中山杉 302 和中山杉 118 已累计扩繁出苗木 6.8×10⁶ 余株, 造林示范面积超过 1.9×10⁴ hm²^[3], 中山杉 405 等第 3 期优良无性系已经在江苏、浙江、重庆、云南等沿海和内陆省(市)大规模扩繁和推广。这些优良品种在中国未来用材林、能源林、碳汇林、休闲林和水源涵养林等营造以及沿海防护林建设、公路及城乡绿化、农田林网和滩涂造林等方面将具有巨大的应用潜力^[5]。目前, 中山杉无性系主要通过嫩枝扦插的方法进行扩繁^[3-6]。研究表明, 不同栽培基质对中山杉 302, 中山杉 118^[2]和中山杉 405^[3]无性系扦插生根能力具有显著的影响。靳诚^[9]研究表明: 植物生长调节物质质量浓度比植物生长调节物质种类和处理时间对中山杉扦插生根率影响显著。李兆玉等^[10]研究表明: 萘乙酸(NAA)处理能显著提高中山杉插穗的生根率。本研究以中山杉 302, 118 和 405 当年生半木质化枝条为插穗, 研究了不同质量浓度吲哚乙酸(IAA)和萘乙酸(NAA)单一或复合处理下, 3 个中山杉无性系的扦插生根率、生根数量、最大根根长和基茎, 重点比较了相同处理下 3 个无性系的生根能力, 并筛选出一种相对有效的生根促进剂, 以期对中山杉苗木的更新换代、生产扩繁和推广应用提供有力的科学依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材 料

以南京中山植物园中山杉采穗圃中生长年龄相近的中山杉 302, 118 和 405 当年生半木质化枝条为插穗。插床宽为 90.00 cm, 高 30.00 cm, 栽培基质为 V(泥炭土):V(珍珠岩)=1:1。

1.2 方 法

1.2.1 实验设计 3 种插穗分别在不同组合的吲哚乙酸(IAA)和萘乙酸(NAA)处理液中浸泡 5 min 后扦插, 以清水作为对照(ck), 其他处理分别为 IAA 1 000(I 1000), IAA 2 000(I 2000), NAA 1 000(N 1000), NAA 2 000(N 2000), IAA 1 000+NAA 1 000(IN 1 000), IAA 2 000+NAA 2 000(IN 2 000)(单位: mg·L⁻¹), 重复 5 次·处理⁻¹, 重复 70 枝·次⁻¹。插后任取其中 1 个重复进行生根动态观测, 隔 1 个月进行 1 次抽样调查, 统计不同处理下 3 个无性系连续 4 个月生根动态变化, 用以说明三者生根时间的早晚关系(第 1 个月随机抽取 10 株·处理⁻¹, 其后 3 个月各取 20 株·处理⁻¹)。扦插 8 个月, 统计剩余 4 个重复的生根率、生根数量、最大根根长和基茎等。生根指标测定方法参照徐建华等^[3]和黄利斌等^[11],

计算生根数4条以上的单株占总生根苗的百分率(p),用以评估扦插苗生根数量。

1.2.2 扦插管理 2014年7月17日至7月19日,选取均匀一致、生长健壮、无病虫害的当年生嫩枝,剪成上平下斜长15.00 cm的穗条^[12],保留脱落性小枝5个·穗条⁻¹。在处理液中浸泡5 min后扦插,插入深度为7.00 cm,株距2.00 cm,行距8.00 cm,穗条插好后适度压实,并立即浇透水^[3]。扦插床上方2.50 m处架黑色遮阳网遮光,并设置间隙喷雾系统使空气保持在一定的湿度范围^[7]。

1.3 数据处理

采用Excel 2003和SPSS 16.0等软件等进行实验数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下3个中山杉无性系的扦插生根时间差异

连续4个月的生根动态观测表明:①清水对照条件下(ck),中山杉405生根最早,扦插1个月开始生根;中山杉118次之,2个月后生根;中山杉302生根最晚,4个月后生根。②扦插1个月后,中山杉405所有处理均已生根;中山杉118除对照(ck)未生根外,其余处理均已生根;中山杉302仅IAA和NAA混合液处理开始生根。说明不同质量浓度吲哚乙酸(IAA),萘乙酸(NAA)均可促进中山杉无性系的根系发生,其中IAA和NAA混合液处理的效果最好。

2.2 不同植物生长调节物质处理对3个中山杉无性系扦插生根的影响

由表1可见:①植物生长调节物质处理后3个无性系的生根率均显著高于对照(ck),说明外源植物生长调节物质处理能有效提高中山杉插穗的生根率。7个处理中,I 2000对生根率的促进作用最大,其次是IN 2000和N 2000,ck生根率最低。中山杉302各处理中,I 2000生根率最高,为57.50%,IN 2000,N 2000,N 1000次之,3者之间无显著差异,ck生根率最低(15.71%)。中山杉118各处理中,

表1 不同植物生长调节物质处理对3个中山杉无性系插穗生根状况的影响

Table 1 Effect of different treatments on the rooting status of cuttings of three *Taxodium* 'Zhongshanshan' clones

无性系	处理	生根率/%	p /%	最长根/cm	
				根长	根径
'Zhongshanshan 302'	ck	15.71 ± 15.65 cd	5.00 ± 10.00 b	13.58 ± 1.57 a	0.11 ± 0.03 b
	I 1000	33.57 ± 11.22 bc	1.52 ± 3.03 b	11.47 ± 2.73 a	0.12 ± 0.03 ab
	I 2000	57.50 ± 9.92 a	10.45 ± 8.64 ab	11.82 ± 2.81 a	0.15 ± 0.02 a
	N 1000	39.64 ± 3.38 b	3.69 ± 5.45 b	11.32 ± 0.73 a	0.12 ± 0.04 ab
	N 2000	42.14 ± 0.82 b	16.03 ± 5.51 a	11.29 ± 2.38 a	0.10 ± 0.03 b
	IN 1000	24.64 ± 5.99 c	7.95 ± 9.47 ab	11.89 ± 1.29 a	0.11 ± 0.02 b
	IN 2000	45.71 ± 4.52 ab	9.20 ± 2.82 ab	11.04 ± 2.45 a	0.11 ± 0.02 b
'Zhongshanshan 118'	ck	56.07 ± 17.59 b	18.41 ± 6.32 c	13.23 ± 1.58 a	0.14 ± 0.03 a
	I 1000	70.71 ± 8.29 ab	28.38 ± 12.47 bc	12.49 ± 1.94 ab	0.11 ± 0.03 a
	I 2000	83.93 ± 7.77 a	32.76 ± 8.96 bc	12.25 ± 2.19 ab	0.12 ± 0.04 a
	N 1000	70.36 ± 12.20 ab	38.49 ± 10.57 ab	10.80 ± 1.28 b	0.12 ± 0.05 a
	N 2000	78.93 ± 15.31 a	48.25 ± 7.94 a	10.89 ± 0.76 b	0.11 ± 0.03 a
	IN 1000	76.79 ± 14.16 a	30.11 ± 5.54 bc	11.85 ± 0.94 ab	0.11 ± 0.02 a
	IN 2000	83.21 ± 9.50 a	49.35 ± 14.06 a	11.21 ± 1.35 ab	0.11 ± 0.03 a
'Zhongshanshan 405'	ck	62.50 ± 7.03 c	6.26 ± 0.79 c	16.37 ± 1.23 a	0.15 ± 0.03 a
	I 1000	78.21 ± 6.21 b	27.21 ± 23.25 bc	14.96 ± 2.97 a	0.15 ± 0.03 a
	I 2000	82.14 ± 8.61 ab	31.42 ± 21.79 b	15.18 ± 1.63 a	0.13 ± 0.03 a
	N 1000	86.07 ± 3.93 ab	56.16 ± 12.88 a	15.10 ± 2.97 a	0.12 ± 0.02 a
	N 2000	85.36 ± 7.68 ab	54.24 ± 10.19 a	13.97 ± 1.4 a	0.12 ± 0.02 a
	IN 1000	80.00 ± 1.65 ab	40.53 ± 14.18 ab	14.82 ± 0.84 a	0.14 ± 0.02 a
	IN 2000	87.14 ± 4.21 a	59.84 ± 3.55 a	14.33 ± 1.72 a	0.13 ± 0.02 a

说明:同列中不同字母表示同一无性系的不同处理间有显著($P < 0.05$)差异。 p :生根数超过4条的扦插苗百分率。

生根率最高的是 I 2000, 为 83.93%; 其次是 IN 2000, N 2000, IN 1000, 四者无显著差异; ck 生根率最低(56.07%), 与上述 4 个处理在 0.05 水平差异显著。中山杉 405 各处理中, IN 2000 生根率最高(87.14%), N 1000, N 2000, IAA 2000 和 IN 1000 次之, 上述 5 种处理间均无显著差异, 其生根率均高于 80.00%; ck 生根率最低(62.50%), 与其余 6 个处理均在 0.05 水平差异显著。②外源植物生长调节物质处理有效提高了 3 个无性系的生根数量, 其中 IN 2000 和 N 2000 对生根数量的提高作用最大, ck 生根数量最少。中山杉 302 各处理中, 生根数超过 4 条的扦插苗百分率(P 最高的是 N 2000, 为 16.03%, IAA 2000, IN 2000 次之, 三者无显著差异; I 1000 最低(1.25%), 与 ck 差异不显著。中山杉 118 的 7 个处理中, IN 2000 的生根数超过 4 条的扦插苗百分率最高(49.35%), N 2000 和 N 1000 次之, 三者无显著差异, ck 最低(18.41%)。中山杉 405 各处理中, 生根数超过 4 条的扦插苗百分率最高的是 IN 2000(9.84%), N 1000, N 2000 次之, 三者无显著差异; ck 最低(6.26%)。③外源植物生长调节物质处理对 3 个无性系插穗的最大根根长无显著影响。相同处理下, 中山杉 302 和中山杉 405 的最大根根长无显著差异, 中山杉 118 的 7 个处理中, ck 的最大根根长最大(13.23 cm), 其余处理间均无显著差异, N 1000 最小(10.80 cm)。④外源植物生长调节物质处理对 3 个无性系插穗的最大根基茎无显著影响。中山杉 302 各处理中, IAA 2000 的最大根基茎最大(0.15 cm), 其余 6 个处理间无显著差异, N 2000 最小(0.10 cm)。中山杉 118 和中山杉 405 所有处理的最大根基茎均无显著差异。

2.3 不同处理下 3 个中山杉无性系扦插生根能力比较

由图 1 可知: 相同处理下, 中山杉 405 的生根率最高, 中山杉 118 次之, 中山杉 302 的生根率最低, 与其余 2 个无性系差异显著。IN 1000 处理下 3 个无性系的生根率差异最大, 中山杉 302 分别比中山杉 118, 405 低 52.15%, 55.36%。I 1000, N 2000, IN 1000, IN 2000 分别处理下, 中山杉 118 和 405 的生根率差异不显著, 两者均与中山杉 302 在 0.01 水平差异显著。I 2000 和 ck 处理下, 中山杉 118 和 405 的生根率无显著差异; I 2000 302 与 I 2000 118, I 2000 405 均在 0.05 水平差异显著; ck 118 与 ck 302 在 0.05 水平差异显著, ck 405 与 ck 302 在 0.01 水平差异显著。N 1000 处理下, 中山杉 118 和 405 的生根率在 0.05 水平差异显著, 两者与中山杉 302 均在 0.01 水平差异显著。

由图 2 可知: 相同处理下, 中山杉 118 和 405 的生根数量显著多于中山杉 302。其中, N 1000 处理下 3 个品种生根数 4 条以上的百分率(p)差异最大, 中山杉 118, 405 分别比 302 高 34.8%, 52.47%。I 1000, N 2000 和 IN 2000 处理下, 中山杉 118 和 405 的生根数量无显著差异, N 2000 和 IN 2000 处理下, 中山杉 302 与 118, 405 均在 0.01 水平差异显著, I 1000 处理下中山杉 302 与 118, 405 均在 0.05 水平差异显著。3 个无性系在 I 2000 处理下, 均无显著差异。N 1000 118 与 N 1000 405 在 0.05 水平差异显著, 两者与 N 1000 302 均在 0.01 水平差异显著。IN 1000 118 与 IN 1000 405 无显著差异, 与 IN

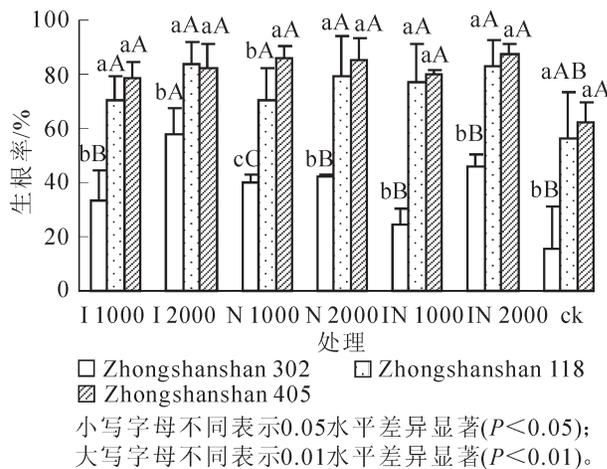


图 1 不同处理下 3 个中山杉无性系插穗的生根率比较

Figure 1 Comparison of rooting rate of cuttings of three *Taxodium* 'Zhongshanshan' clones in different treatments

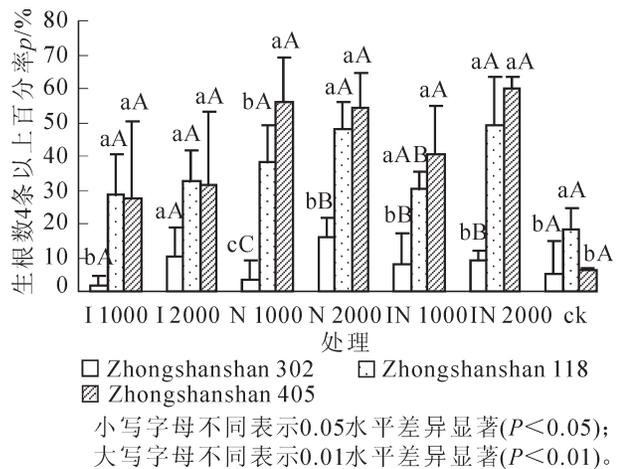


图 2 不同处理下 3 个中山杉无性系生根数 4 条以上的百分率比较

Figure 2 Comparison of percentage of cuttings with rooting number more than four of three *Taxodium* 'Zhongshanshan' clones in different treatments

1000 302 在 0.05 水平差异显著, IN 1000 405 与 IN 1000 302 在 0.01 水平差异显著。ck 302 与 ck 405 无显著差异, 两者与 ck 118 均在 0.05 水平差异显著。由图 3 可知: 3 个无性系中, 中山杉 405 的最大根根长显著大于其余 2 个无性系, 中山杉 302 和 118 无显著差异。I 1000, I 2000 处理下, 3 个无性系的最大根根长均无显著差异。N 1000, N 2000, IN 2000, ck 分别处理下, 中山杉 302 与 118 差异不显著, 两者均与中山杉 405 在 0.05 水平差异显著。IN 1000 118 与 IN 1000 302 差异不显著, 两者与 IN 1000 405 在 0.01 水平差异显著。由图 4 可知: 3 个无性系的最大根基茎均无显著差异。IN 1000 处理下, 中山杉 302 的最大根基茎与中山杉 118, 405 均无显著差异, 中山杉 118 和 405 在 0.05 水平差异显著。其余各处理下, 3 个无性系均无显著差异。

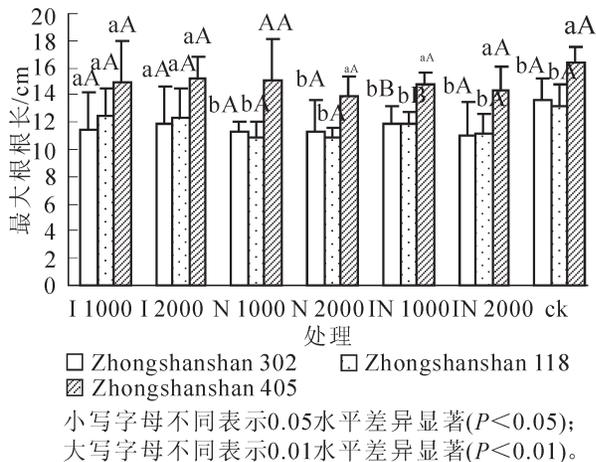


图 3 不同处理下 3 个中山杉无性系插穗的最大根根长比较

Figure 3 Comparison of length of the maximum root of cuttings of three *Taxodium* 'Zhongshanshan' clones in different treatments

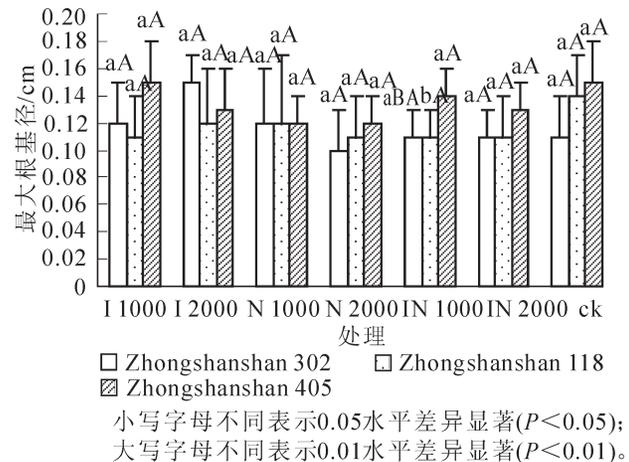


图 4 不同处理下 3 个中山杉无性系插穗的最大根基茎比较

Figure 4 Comparison of basal diameter of the maximum root of cuttings of three *Taxodium* 'Zhongshanshan' clones in different treatments

3 结论与讨论

许多研究表明: 外源植物生长调节物质处理能够促进插穗的根系发生^[13-15]。李兆玉等^[10]研究发现萘乙酸、ABT 生根粉和吲哚丁酸分别处理后, 中山杉 302 的生根率由对照的 11.33% 提高到了 20.88%, 31.22% 和 39.49%; 陆小青等^[2]用 1 500 mg·L⁻¹ 萘乙酸处理中山杉 302 插穗, 发现其生根率由对照的 12.30% 提高到了 16.00%; 本研究表明: 2 000 mg·L⁻¹ 的吲哚乙酸处理后, 中山杉 302 的生根率由对照的 15.71% 提高到了 57.50%。由此可见: 不同种类和质量浓度的植物生长调节物质对插穗生根的促进作用有所不同, 其原因可能是不同外源植物生长调节物质处理对插穗内源植物生长调节物质关联酶的活性产生了不同的影响^[16]。本研究中, 植物生长调节物质处理下 3 个无性系的生根率和生根数量均显著高于对照, 说明外源植物生长调节物质处理有效提高了中山杉插穗的生根率和生根数量。其中 2 000 mg·L⁻¹ 的吲哚乙酸(I 2000)对于提高中山杉插穗生根率的效果最好, 2 000 mg·L⁻¹ 的萘乙酸(N 2000)对增加生根数量的效果最好, 2 000 mg·L⁻¹ 的吲哚乙酸和 2 000 mg·L⁻¹ 的萘乙酸混合液(IN 2000)处理后, 插穗的生根率和生根数量均最高。较 ck 而言, I 2000 处理下, 中山杉 302, 118 和 405 的生根率分别提高了 41.79%, 27.86% 和 19.64%; N 2000 处理下, 3 个无性系生根数超过 4 条的百分率分别提高了 11.03%, 29.84 和 47.98%; IN 2000 处理下, 3 个无性系的生根率分别提高了 30.00%, 27.14% 和 24.64%, 生根数超过 4 条的百分率分别提高了 4.20%, 30.94% 和 53.58%。由此可知: 本研究所设处理中, IN 2000 对于提高中山杉插穗生根能力的效果最佳, 混合使用使 IAA 和 NAA 的优势得到了互补, 可以作为中山杉无性系高效率、大规模扦插繁殖的有效生根促进剂。至于更高质量浓度的植物生长调节物质处理是否对提高中山杉插穗的生根能力更为有效, 有待做进一步的研究。

陆小青等^[2]研究了包括中山杉 302 和 118 在内的 8 个无性系的扦插生根能力, 靳诚^[9]比较了中山杉 118 等 4 个无性系嫩枝扦插生根效果, 两者均表明不同中山杉品种间的生根能力存在很大差异。本研究

中, 3 个无性系的扦插生根能力也存在显著的差异。就生根时间而言, 无植物生长调节物质处理下, 中山杉 405 生根最早, 扦插 1 个月开始生根, 中山杉 118 次之, 2 个月后生根, 中山杉 302 生根最晚, 4 个月后生根。就插穗生根率、生根数目和最长根根长等生根指标而言, 相同处理下, 中山杉 118 和 405 的生根率、生根数量无显著差异, 中山杉 405 的最长根根长显著大于中山杉 118, 两者最大相差 4.30 cm, 最小相差 2.47 cm; 中山杉 302 的生根率和生根数量均显著低于中山杉 118 和 405, 其中, IN 1000 处理下三者的生根率差异最大, 中山杉 302 分别比中山杉 118, 405 低 52.15%, 55.36%, N 1000 处理下三者生根数超过 4 条的百分率差异最大, 中山杉 118, 405 分别比中山杉 302 高 34.8%, 52.47%; 相同处理下, 3 个无性系间最长根基茎均无显著差异。影响扦插实验结果的因素可分为内因和外因 2 个方面, 其中内因包括母树年龄、插穗在母株上的生长部位、插穗上保留叶和芽的数量等因素, 外因包括温度、空气湿度、光照条件、扦插基质、扦插时间、插后管理等因素^[17-20]。本研究所用插条均参照相同的标准取自生长年龄相近的母树, 供试插穗的生长环境保持一致, 扦插后实施统一管理, 保证了实验结果不受较多因素影响。中山杉 302 *T. distichum* × *T. mucronatum*, 中山杉 118 *T. 'Zhongshanshan 302' × T. mucronatum* 和中山杉 405 *T. mucronatum* × *T. distichum* 分别于 1979^[24], 1993^[6]和 2004^[5]年杂交获得, 随着插穗生理年龄的增加其生根能力呈现逐渐减弱的趋势^[19,21], 因此, 相同处理下, 3 个无性系间生根能力的显著差异可能与采条母树的生理年龄有关, 中山杉 302 为第 1 期选育得到的优良无性系, 其生理年龄分别比中山杉 118(第 2 期选育)和中山杉 405(第 3 期选育)大 14 a 和 25 a, 因此其生根能力相对较差, 这与李兆玉等^[10]、陆小清等^[2]的研究结果一致。从另外一个角度分析, 如果把中山杉 302 看作正交子代选出的无性系, 则中山杉 405 为反交子代选出的无性系, 而中山杉 118 是正交子代与父本墨西哥落羽杉回交的子代选出的无性系, 三者生根能力的差异可能是亲本落羽杉和墨西哥落羽杉本身的生根能力差异所致。再者, 由于不同品种间生长势和内源植物生长调节物质的差异^[2,10], 使得品种间的生根能力存在一定差异, 这也可能是 3 个无性系扦插生根能力不同的一个原因。这些猜想有待于在下一步工作中对亲本材料生根能力的比较和不同处理下不同品种内源植物生长调节物质的动态变化分析来进一步阐明。

综上所述, 第 2~3 期选育成的中山杉优良无性系的生根能力显著优于第 1 期, 其中以第 3 期无性系生根能力最强。由此可见: 中山杉品种的世代更新是十分必要的, 应该进一步重视和加强中山杉新一代品种的持续培育和老一代品种的改良复壮工作。

4 参考文献

- [1] 严晓红, 潘彪, 施建中, 等. 海岸防风林中 3 种中山杉木材生长特性[J]. 林业科技开发, 2010, **24**(6): 72 - 74.
YAN Xiaohong, PAN Biao, SHI Jianzhong, et al. Research on the wood growth characteristics of *Taxodium* hybrid 'Zhongshansha 302' planted for coastal wind break [J]. *China For Sci Technol*, 2010, **24**(6): 72 - 74.
- [2] 陆小清, 陈永辉, 李乃伟, 等. 中山杉优良品种的扦插繁殖技术研究[J]. 安徽农业科学, 2011, **39**(31): 19209 - 19210.
LU Xiaoqing, CHEN Yonghui, LI Naiwei, et al. Research on the propagation technique of *Taxodium* 'Zhongshansha 302' clones [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2011, **39**(31): 19209 - 19210.
- [3] 徐建华, 胡李娟, 殷云龙, 等. 不同栽培基质对 4 个杂交墨西哥落羽杉无性系扦插苗的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2013, **22**(2): 114 - 116.
XU Jianhua, HU Lijuan, YIN Yunlong, et al. Effect of different substrates on cutting seedlings of four clones of *Taxodium mucronatum* hybrid [J]. *J Plant Resour Environ*, 2013, **22**(2): 114 - 116.
- [4] 殷云龙, 於朝广. 中山杉-落羽杉属树木杂交选育[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [5] 於朝广, 殷云龙, 徐建华. 落羽杉属 4 个新品种[J]. 林业科学, 2011, **47**(5): 181 - 182.
YU Chaoguang, YIN Yunlong, XU Jianhua. Four hybrid varieties of *Taxodium* [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(5): 181 - 182.
- [6] 於朝广, 殷云龙. 落羽杉属杂交良种 '落羽杉中山 302' 和 '中山杉 118' [J]. 林业科学, 2010, **46**(5): 181 - 182.
YU Chaoguang, YIN Yunlong. Elite varieties of *Taxodium* hybrids 'Zhongshanshan 302' and 'Zhongshanshan 118' [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(5): 181 - 182.
- [7] 陆小清, 毛志滨, 陈永辉, 等. 中山杉扦插繁殖技术[J]. 江苏林业科技, 2004, **31**(6): 38 - 42.

- LU Xiaoqing, MAO Zhibin, CHEN Yonghui, *et al.* Propagation technology of *Taxodium* 'Zhongshansha' [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 2004, **31**(6): 38 – 42.
- [8] 王淑安, 王鹏, 张振宇, 等. '金薇'的硬枝扦插技术研究[J]. 北方园艺, 2013(11): 72 – 75.
WANG Shuan, WANG Peng, ZHANG Zhenyu, *et al.* Study on propagation by cutting of *Lagerstroemia indica* L. 'Jinwei' [J]. *Northern Hort*, 2013(11): 72 – 75.
- [9] 靳诚. 中山杉无性系扦插繁殖技术的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
JIN Cheng. *Studies on the Propagative Technology of "Zhongshansha" Clones* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007.
- [10] 李兆玉, 程留根, 田学书, 等. 中山杉扦插育苗技术研究[J]. 江苏林业科技, 1994, **21**(2): 33 – 35.
LI Yaoyu, CHENG Liugen, TIAN Xueshu, *et al.* Study on breeding technology of *Taxodium* 'Zhongshansha' [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 1994, **21**(2): 33 – 35.
- [11] 黄利斌, 汪企明, 李晓储, 等. 落羽杉属种源研究: 扦插生根能力变异[J]. 江苏林业科技, 2000, **27**(1): 1 – 6.
HUANG Libin, WANG Qiming, LI Xiaochu, *et al.* Studies on the variation of provenances and families in Genus *Taxodium*: variation on shoot cutting rooting ability [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 2000, **27**(1): 1 – 6.
- [12] 米银法, 李巍, 宋乾江. IBA与ABT不同浓度组合对喜树扦插生根效应的影响[J]. 北方园艺, 2010(21): 76 – 78.
MI Yinfa, LI Wei, SONG Qianjiang, *et al.* Effect of different concentrations of IBA and ABT on the root cuttings of *Camptotheca acuminata* decne [J]. *Northern Hort*, 2010(21): 76 – 78.
- [13] BLYTHE E K, SIBLEY J L, TILT K M, *et al.* Methods of auxin application in cutting propagation: a review of 70 years of scientific discovery and commercial practice [J]. *J Environ Hort*, 2007, **25**(3): 166 – 185.
- [14] 舒常庆, 赵两梅, 杨臻, 等. 3种女贞属植物的扦插繁殖研究[J]. 华中农业大学学报, 2007, **26**(3): 390 – 393.
SHU Changqing, ZHAO Liangmei, YANG Zhen, *et al.* Research on cutting propagation of three species of *Ligustrum* [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2007, **26**(3): 390 – 393.
- [15] KING A R, ARNOLD M A, WELSH D F, *et al.* Substrates, wounding, and growth regulator concentrations alter adventitious rooting of baldcypress cuttings [J]. *HortScience*, 2011, **46**(10): 1387 – 1393.
- [16] 王小玲, 赵忠, 权金娥, 等. 外源激素对四倍体刺槐硬枝扦插生根及其关联酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, **31**(1): 116 – 122.
WANG Xiaoling, ZHAO Zhong, QUAN Jin'e, *et al.* Rooting and correlative enzyme activities of hardwood cuttings of tetraploid *Robinia pseudoacacia* [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2011, **31**(1): 116 – 122.
- [17] 徐永艳, 宋妍, 汪琼. 3种生长调节剂对茶梅扦插生根的影响[J]. 西部林业科学, 2012, **41**(6): 37 – 42.
XU Yongyan, SONG Yan, WANG Qiong. Effects of three growth regulators on the rooting of *Camellia sasanqua* cuttings [J]. *J West China For Sci*, 2012, **41**(6): 37 – 42.
- [18] 何淑玲, 马令法. 萘乙酸对蜡梅扦插生根的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, **51**(21): 4804 – 4806.
HE Shuling, MA Lingfa. Effect of different concentration of naphthyl acetic acid on cutting rooting of *Prunus mume* [J]. *Hubei Agric Sci*, 2012, **51**(21): 4804 – 4806.
- [19] 王军辉, 张建国, 张守攻, 等. 青海云杉硬枝扦插的激素、年龄和位置效应研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, **34**(7): 65 – 71.
WANG Junhui, ZHANG Jianguo, ZHANG Shougong, *et al.* Research of hormone, age and position effect of hardwood cutting in *Picea crassifolia* Kom [J]. *J Northwest A & F Univ*, 2006, **34**(7): 65 – 71.
- [20] PEZESHKI S R, DeLAUNE R D. Rooting of baldcypress cuttings [J]. *New For*, 1994, **8**(4): 381 – 386.
- [21] 王秋玉, 赵丽惠, 王福来, 等. 红皮云杉扦插繁殖中的年龄效应及其生理机制[J]. 植物研究, 1997, **17**(3): 338 – 343.
WANG Qiuyu, ZHAO Lihui, WANG Fulai, *et al.* The age effect of cutting propagation of *Picea koraiensis* and its physiological mechanism [J]. *Bull Bot Res*, 1997, **17**(3): 338 – 343.