

香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 的扦插繁殖

金侯定, 喻卫武, 曾燕如, 项美云, 戴文圣, 党婉誉

(浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300)

摘要: 香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 造林多采用培养多年嫁接大苗, 尚未在生产上使用扦插繁殖。分别研究了扦插季节、外源植物生长调节物质种类及质量浓度、插穗选择与处理以及基质对香榧扦插生根的影响。结果表明: 以当年生枝条为插穗, 夏季扦插成活率显著高于其他3季, 死亡率低, 生根时间较短; 夏季以半木质化枝条为插穗, 用 100.0 或 200.0 mg·L⁻¹ 的茶乙酸 (NAA) 处理香榧插穗, 生根率分别为 64.4% 和 55.6%, 其生根率与生根质量高于吲哚丁酸 (IBA) 和双吉尔 6 号生根粉 (GGR6) 处理; 夏季用 2.5 mg·L⁻¹ 标典 3721 扦插专用生根液处理香榧带踵枝条 15 s, 生根率为 96.7%, 侧根数多, 根系发达; 秋季硬枝扦插, 5 种基质配比中以 V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石)=1:1:1 生根率和生根指数较好。研究结果说明: 香榧扦插繁殖能获得较高的生根成苗率, 具有在生产上直接应用的前景, 但规模化生产尚需将上述研究结果组合起来开展进一步的研究。图 1 表 8 参 16

关键词: 森林培育学; 香榧; 扦插; 外源生长调节物质; 基质; 生根

中图分类号: S723.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2017)01-0185-07

Cutting-based propagation in *Torreya grandis* ‘Merrillii’

JIN Houding, YU Weiwu, ZENG Yanru, XIANG Meiyun, DAI Wensheng, DANG Wanyu

(The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: In *Torreya grandis* ‘Merrillii’, large-size grafted plantlets cultured for several years are currently used in forestation, while cutting-based propagation has not been used in production. Effects of different seasons for cutting, exogenous plant growth regulators and their concentrations, selection and treatment of cuttings, and media on rooting of cuttings were studied in this paper. Results showed that cutting in summer in *T. grandis* ‘Merrillii’ was good using cuttings from less-than-one-year shoots, with a low death rate, a high survival rate and a short rooting time. Semi-woody cuttings treated with NAA at either 100.0 mg·L⁻¹ or 200.0 mg·L⁻¹ had a rooting rate of 64.4% and 55.6%, respectively, which had a higher rooting rate and quality than those treated with IBA and GGR6. Cuttings with a part of 2-year-old shoots treated in summer for 15 s with a 3 721 rooting liquid at a concentration of 2.5 mg·L⁻¹ had a rooting rate of 96.7%, resulting in developed lateral roots and a root system. An optimal medium for hard-wood cutting performed in autumn would be peat : perlite : vermiculite at a proportion of 1 : 1 : 1 (V/V/V), which was good in rooting rate and rooting index. The results indicated that *T. grandis* ‘Merrillii’ could get a high rooted plantlet rate by cutting, which had good prospects on direct application to production. But it is necessary to conduct an in-depth study by combining all the results mentioned above for mass production. [Ch, 1 fig. 8 tab. 16 ref.]

Key words: silviculture; *Torreya grandis* ‘Merrillii’; cutting; exogenous plant growth regulator; medium; rooting

收稿日期: 2015-12-16; 修回日期: 2016-03-23

基金项目: 浙江省林业厅资助项目(2013B01); 浙江省宁波市科技局农业重大专项项目(2014C11006); 浙江省宁波市自然科学基金资助项目(2015A610267)

作者简介: 金侯定, 从事经济林培育与利用研究。E-mail: 573513667@qq.com。通信作者: 喻卫武, 高级实验师, 从事经济林培育与利用研究。E-mail: yww888@zafu.edu.cn

香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 是榧树 *Torreya grandis* 的一个栽培品种, 是中国特有的珍稀干果^[1]。目前, 香榧种子极高的经济价值推动了香榧生产的发展, 栽培规模大幅度增加, 对苗木的需求量日益增大, 但香榧多嫁接繁殖, 以榧树作砧木至少要培养 2 a, 常用“2+2”(2 a 砧木培养+2 a 嫁接苗培养)嫁接苗木^[2], 生产周期相对较长, 且有培养大苗移栽的趋势, 而扦插繁殖在生产上尚没有广泛应用。陈树茂^[3]采用春夏扦插, 夏季扦插翌年保有率达 65%。郭维华^[4]夏季扦插用 ABT6 号生根粉(又称双吉尔 6 号生根粉, GGR6)处理, 当年存活率 92%, 翌年保有率 83%。万小金等^[5]春季香榧扦插当年存活率为 62%, 夏季扦插用生根粉或萘乙酸(NAA)处理, 翌年保有率 80%。这些针对香榧扦插的试验, 虽然得到了一定的结果, 但缺乏系统的研究, 生根率也不高, 且香榧扦插苗多数根系不发达, 缺乏健壮的侧根, 满足不了规模化生产的需求。本研究从扦插季节、外源植物生长调节物质量、插穗的选取、基质配比等 4 个方面对香榧扦插繁殖进行了研究, 可为后续香榧苗木扦插体系的完善提供一些信息。

1 试验地概况

试验地位于浙江省临安市, 29°56′~30°23′N, 118°51′~119°52′E, 浙江农林大学亚热带森林培育国家重点实验室培育基地的温室及实验室。温室扦插床上搭建 1.8 m 高铁架, 铺设透光率约 50%的遮阳网, 配备自动喷雾设备。室内人工气候模拟室温约 20~25 °C, 湿度 50%~70%, 全天 24 h 光照。

2 材料与方 法

2.1 试验材料及处理

早晨或傍晚于浙江农林大学校园内的香榧培育基地, 从 10~12 年生香榧雌株上采集当年生生长健壮、无病虫害及机械损伤的枝条。插穗处理在采集后 2 h 内完成, 处理过程中用湿毛巾包裹插穗, 以防止插穗失水、氧化。插穗粗度 0.20~0.40 cm, 长度 13.00~15.00 cm, 木质化程度相近, 并去除基部总叶片的 1/3。整个插穗浸泡在质量分数为 0.125%多菌灵(25%有效含量)溶液中消毒约 2 min, 沥干后放在阴凉处备用。扦插前用锋利刀片斜切插穗基部, 注意保持切口光滑平整, 切口暴露在空气中时间越短越好, 并进行外源植物生长调节物质处理。扦插深度为插穗总长度 1/3, 一般为 5.00 cm, 间距 4.00 cm × 5.00 cm, 并压紧压实插穗周围的基质, 保证插穗基部与基质充分接触。

2.2 试验方法

2.2.1 扦插季节对香榧扦插生根的影响 春季扦插在 2015 年 4 月 2 日进行, 夏季扦插在 2014 年 7 月 8 日进行, 秋季扦插在 2014 年 10 月 6 日进行, 冬季扦插在 2015 年 1 月 30 日进行。采用当年生枝条, 统一用 300.0 mg·L⁻¹的 GGR6(双吉尔生根粉, 北京艾比蒂生物科技有限公司生产)浸泡 20 min。1 处理·季 度⁻¹, 30 株·处理⁻¹, 重复 3 次。

2.2.2 外源植物生长调节物质处理对香榧扦插的影响 夏季采集香榧半木质化插穗进行扦插, 用双吉尔 6 号生根粉(GGR6), 萘乙酸(NAA), 吲哚丁酸(IBA)等 3 种外源植物生长调节物质进行处理, 每种植物生长调节物质采用 3 种质量浓度, 即 100.0, 200.0, 500.0 mg·L⁻¹。插穗均处理 20 min, 以清水浸泡插穗 20 min 为对照。共 10 个处理, 30 株·处理⁻¹, 重复 3 次。

2.2.3 插穗的选择与处理对香榧扦插的影响 夏季分别采集半木质化且基部带一点 2 年生香榧枝段的枝条(简称带踵枝条; 长约 14.00 cm, 粗约 0.27 cm), 来自香榧树冠上部的当年生半木质化枝条(长约 8.40 cm, 粗约 0.24 cm)作插穗, 在温室进行扦插; 夏季分别采集带踵枝条(长约 11.30 cm, 粗约 0.22 cm), 当年生普通半木质化枝条作插穗(长约 10.50 cm, 粗约 0.27 cm), 在人工气候室内进行扦插。所有插穗用 2.5 mg·L⁻¹标典 3721 扦插专用生根液(郑州标典科技开发有限公司)速蘸插穗基部 15 s 后扦插。10 株·处理⁻¹, 3 次重复。

2.2.4 不同基质对香榧扦插生根的影响 秋季采集当年香榧硬枝进行扦插。插穗规格基本一致(长 14.00~15.00 cm, 粗 0.24~0.30 cm), 供试验基质有泥炭(直径 0~10 mm, 丹麦 Pindstrup), 蛭石(直径 5~8 mm), 珍珠岩(直径 2~4 mm), 稻壳炭(大连九成)。共 5 种配比: 即基质 1 为 V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石)=1:1:1, 基质 2 为 V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石)=1:2:1, 基质 3 为 V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石)=1:4:1, 基质 4 为 V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石)=1:8:1, 基质 5 为 V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石):

V(稻壳炭)=1:3:1:1。基质于 2014 年 10 月 5 日配制, 30 株·处理⁻¹, 3 次重复, 扦插后管理一致。使用农业环境监测仪(TNHY-D-16, 杭州托普仪器有限公司, 精度为 3%) 在扦插后约 105 d 的 14:00 进行基质水分含量测定。

2.3 生根指标测定与统计

扦插后, 隔 7~10 d 进行生根状态观察, 记录愈伤组织出现期、不定根出现期, 取 3 株·处理⁻¹, 观察后小心栽回。当大部分处理生根, 主根伸长并且出现侧根时进行生根统计, 计算生根率(=生根插穗数/总插穗数, %), 愈伤率(=只形成愈伤组织而不生根的插穗数/总插穗数, %)和死亡率(=100%-生根率-死亡率)。取 5 株·处理⁻¹ 统计插穗的不定根数, 即主根数、侧根数, 3 次重复。用直尺测量主根长、侧根长, 并计算生根指数=生根率×平均根数×平均根长^[6], 平均根长为单株的平均总根长(cm)。选 5 株·处理⁻¹ 进行测定生物量测定, 80 °C 72 h 烘干至恒量后称量, 根冠比=地下部分生物量干质量/地上部分生物量干质量。

2.4 数据统计与分析

利用 Excel 2003 对所测数据进行整理, 数据用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。百分数和计数数据分别进行平方根反正弦转换和平方根转换, 再进行方差分析; 用新复极差法(Duncan 法)对方差分析差异显著的结果进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 扦插季节对香榧扦插生根的影响

春夏秋冬分别在扦插后 163, 170, 339, 225 d 进行生根统计, 发现香榧在 4 个季节进行扦插都能生根。春季和夏季进行扦插, 插穗生根时间少于秋季和冬季。春季和夏季的插穗根伸长期分别为扦插后第 83 天和第 65 天, 秋季和冬季分别在第 168 天和第 145 天出现根伸长(表 1)。

表 1 不同季节扦插对香榧插穗生根时间的影响

Table 1 Effect of different seasons for cutting on rooting time in *Torreya grandis* ‘Merrillii’

季节	愈伤组织出现期		愈伤组织发达期		根突期		根伸长期	
	日期	扦插天数/d	日期	扦插天数/d	日期	扦插天数/d	日期	扦插天数/d
春	2015-04-11	9	2015-05-25	53	2015-06-04	63	2015-06-24	83
夏	2014-07-22	14	2014-07-29	21	2014-08-20	43	2015-09-11	65
秋	2014-10-26	20	2014-11-05	30	2015-01-20	106	2015-03-23	168
冬	2015-03-13	42	2015-04-11	71	2015-06-04	125	2015-06-24	145

在单因素方差分析存在显著差异的基础上做多重比较(表 2)表明: 春季和夏季扦插生根率显著高于秋季和冬季($P<0.05$), 春季生根率为 31.7%, 夏季为 31.1%, 分别比秋季和冬季高 8.3%, 23.3% 和 7.8%, 22.8%。夏季扦插插穗愈伤率(61.1%)显著高于其他 3 季($P<0.05$), 分别高出 56.7%, 45.6%, 56.1%。死亡率则冬季(86.7%)>春季(63.3%)>秋季(61.1%)>夏季(7.8%), 春秋接近, 以夏季扦插的死亡率最低。

表 2 不同季节扦插对香榧扦插生根的影响

Table 2 Effect of different seasons for cutting on rooting in *Torreya grandis* ‘Merrillii’

季节	生根率/%	愈伤率/%	主根数/条	侧根数/条	生根指数	地上干质量/g	根部干质量/g	根冠比	扦插时间/d
春	31.7±1.7 a	5.0±2.9 b	2.5±0.3 a	2.7±1.1 b	31.40±9.57 ab	0.62±0.00 c	0.09±0.01 a	0.14±0.01 a	163
夏	31.1±1.1 a	61.1±1.1 a	2.3±0.3 a	1.8±0.3 b	17.92±1.35 bc	0.87±0.05 b	0.05±0.01 b	0.06±0.01 c	170
秋	23.3±1.9 b	15.6±1.1 b	1.8±0.9 a	9.1±0.1 a	49.76±5.86 a	0.99±0.04 b	0.10±0.01 a	0.10±0.01 b	339
冬	8.3±1.7 c	5.0±2.9 b	1.7±0.2 a	8.9±2.2 a	6.15±1.93 c	1.14±0.06 a	0.06±0.00 b	0.05±0.00 c	225

说明: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 数据为平均数±标准误。

不同季节扦插的插穗主根数无明显差异, 但秋季和冬季扦插侧根数显著高于春季和夏季($P<0.05$)。春季和秋季扦插, 其生根指数显著高于冬季($P<0.05$)。从扦插时间来看, 春季扦插少于秋季, 少 176 d。从地上部分干质量来看, 春季至冬季, 插穗地上部分干质量逐渐递增, 冬季最高, 达 1.14 g, 而春

季最小,为0.62 g。春季扦插,插穗的根冠比显著高于其他3季($P<0.05$),达0.14,分别高133.3%,40.0%,180.0%。综合比较,夏季扦插最好,成活率显著高于其他季节,死亡率低,生根时间较短,生根率较高。

3.2 外源植物生长调节物质处理对香榧扦插生根的影响

双因素方差分析结果(表3)表明:外源植物生长调节物质种类、质量浓度对香榧夏季扦插生根均有显著影响($P<0.05$)。外源植物生长调节物质种类对生根率、愈伤率、主根数、侧根数、生根指数、根部干质量、根冠比有极显著影响($P<0.01$)。外源植物生长调节物质质量浓度对生根率、愈伤率、侧根数有极显著影响($P<0.01$)。双因素的交互效应对插穗的生根率、愈伤率、地上部分干质量、根冠比有极显著影响($P<0.01$),对主根数有显著影响($P<0.05$),其余各指标则无显著影响。

外源植物生长调节物质种类对香榧插穗生根影响的多重比较(表4)表明:生根率从大到小依次为NAA>IBA>GGR6($P<0.05$),愈伤率从大到小依次为GGR6>IBA>NAA。主根数、侧根数、生根指数从大到小依次为NAA>IBA>GGR6。根部干质量和根冠比从大到小依次为NAA>IBA>GGR6,其中NAA和IBA差异不显著($P>0.05$)。因此,香榧扦插外源植物生长调节物质种类选择NAA为好。

外源植物生长调节物质质量浓度对香榧插穗生根影响的多重比较(表5)表明:生根率和愈伤率100.0和200.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著高于500.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理($P<0.05$);侧根数则500.0>200.0>100.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理($P<0.05$)。根冠比100.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著高于500.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理($P<0.05$),其余各指标则差异不显著($P>0.05$)。低质量浓度的外源植物生长调节物质处理下,插穗生根率和根冠比显著提高,愈伤率也提高,但侧根数显著低于高质量浓度。因此,香榧扦插外源植物生长调节物质质量浓度应选择100.0~200.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。综合分析,100.0~200.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NAA处理香榧插穗生根效果最好,生根率为64.4%~55.6%,比清水对照高出25.2%~16.3%,主根数、侧根数、生根指数较高(表6)。

表3 不同外源植物生长调节物质种类、质量浓度处理对香榧扦插影响的双因素方差分析

Table 3 Two-way analysis of different plant growth regulators and their concentrations for cutting in *Torreya grandis* 'Merrillii'

因素	生根率		愈伤率		主根数		侧根数	
	F	P	F	P	F	P	F	P
种类(A)	154.326	0.000**	228.414	0.000**	24.514	0.000**	25.520	0.000**
浓度(B)	13.190	0.000**	9.578	0.001**	1.398	0.273	14.311	0.000**
交互(A×B)	30.433	0.000**	5.087	0.006**	4.014	0.017*	1.558	0.228

因素	生根指数		地上干质量		根部干质量		根冠比	
	F	P	F	P	F	P	F	P
种类(A)	48.155	0.000**	2.534	0.107	7.393	0.005**	10.606	0.001**
浓度(B)	1.334	0.288	0.544	0.590	1.749	0.202	3.049	0.072
交互(A×B)	0.448	0.772	4.963	0.007**	1.863	0.161	4.839	0.008**

说明:**表示处理间差异极显著($P<0.01$),*表示处理间差异显著($P<0.05$)。

表4 不同外源植物生长调节物质种类对香榧扦插生根的多重比较

Table 4 A multiple comparison in different plant growth regulators for cutting in *Torreya grandis* 'Merrillii'

种类	生根率/%	愈伤率/%	主根数/条	侧根数/条	生根指数	地上干质量/g	根部干质量/g	根冠比
GGR6	28.0 c	66.0 a	2.0 c	4.2 c	30.64 c	0.75 a	0.05 b	0.07 b
NAA	53.3 a	25.7 c	3.6 a	7.8 a	167.98 a	0.73 a	0.07 a	0.10 a
IBA	33.3 b	52.7 b	2.8 b	5.7 b	66.86 b	0.82 a	0.07 a	0.09 a

说明:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表5 不同外源植物生长调节物质质量浓度对香榧扦插生根的多重比较

Table 5 A multiple comparison in different concentrations of growth regulators for cutting of *Torreya grandis* 'Merrillii'

质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	生根率/%	愈伤率/%	主根数/条	侧根数/条	生根指数	地上干质量/g	根部干质量/g	根冠比
100	41.7 a	51.7 a	2.7 a	4.7 c	75.36 a	0.8 a	0.07 a	0.10 a
200	39.3 a	48.3 a	3.0 a	5.8 b	98.39 a	0.4 a	0.06 a	0.08 ab
500	33.7 b	44.3 b	2.7 a	7.2 a	91.72 a	0.8 a	0.06 a	0.08 b

说明:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 6 不同外源植物生长调节物质种类、质量浓度处理对香榧扦插生根的影响

Table 6 Effect of different combinations of plant growth regulators and their concentrations on cutting of *Torreya grandis* ‘Merrillii’

处理	生根率/%	愈伤率/%	主根数/条	侧根数/条	生根指数	地上干质量/g	根部干质量/g	根冠比
GGR6 100	20.0 ± 1.9	72.2 ± 4.0	2.3 ± 0.2	3.5 ± 0.3	16.38 ± 2.80	0.86 ± 0.04	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01
GGR6 200	33.3 ± 1.9	60.0 ± 1.9	2.3 ± 0.3	3.8 ± 0.5	41.35 ± 9.69	0.72 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01
GGR6 500	31.1 ± 1.1	65.6 ± 1.1	1.5 ± 0.1	5.3 ± 0.4	34.19 ± 6.23	0.66 ± 0.07	0.05 ± 0.01	0.07 ± 0.01
NAA 100	64.4 ± 1.1	30.0 ± 1.9	3.1 ± 0.4	6.9 ± 1.2	160.37 ± 41.01	0.76 ± 0.04	0.08 ± 0.00	0.10 ± 0.01
NAA 200	55.6 ± 1.1	28.9 ± 1.1	4.2 ± 0.3	7.3 ± 0.2	186.06 ± 16.13	0.68 ± 0.03	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.01
NAA 500	40.0 ± 1.9	17.8 ± 2.2	3.4 ± 0.3	9.1 ± 1.0	157.52 ± 3.97	0.74 ± 0.05	0.05 ± 0.00	0.07 ± 0.01
IBA 100	41.1 ± 2.2	53.3 ± 3.3	2.7 ± 0.3	3.6 ± 0.3	49.34 ± 6.21	0.69 ± 0.06	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.01
IBA 200	28.9 ± 2.2	55.6 ± 1.1	2.5 ± 0.3	6.3 ± 0.4	67.77 ± 11.29	0.82 ± 0.04	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01
IBA 500	30.0 ± 1.9	48.9 ± 1.1	3.2 ± 0.1	7.3 ± 0.8	83.46 ± 24.01	0.95 ± 0.08	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01
对照	39.3 ± 4.5	45.6 ± 1.1	2.1 ± 0.1	5.3 ± 0.7	49.86 ± 19.47	0.80 ± 0.07	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01

说明：外源植物生长调节物质种类后面的数值为质量浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)；表中数据为平均值±标准误。

3.3 带踵枝条与普通枝条扦插效果比较

单因素方差分析结果表明：不同类型插穗对香榧扦插生根有显著差异($P<0.05$) (表 7)。带踵枝条作插穗扦插，侧根数、生根指数、地上及根部干质量显著高于来自香榧树冠上部的枝条($P<0.05$)，生根率、死亡率等其余各指标则不同插穗间差异不显著($P>0.05$) (表 7)。综合分析，在温室用 $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 标典 3721 扦插专用生根液处理带踵枝条基部后扦插生根效果最好，其生根率为 96.7%，侧根数为 13.8 条，根部干质量高，根系生长较好 (表 7，图 1)。

3.4 不同基质对香榧扦插生根的影响

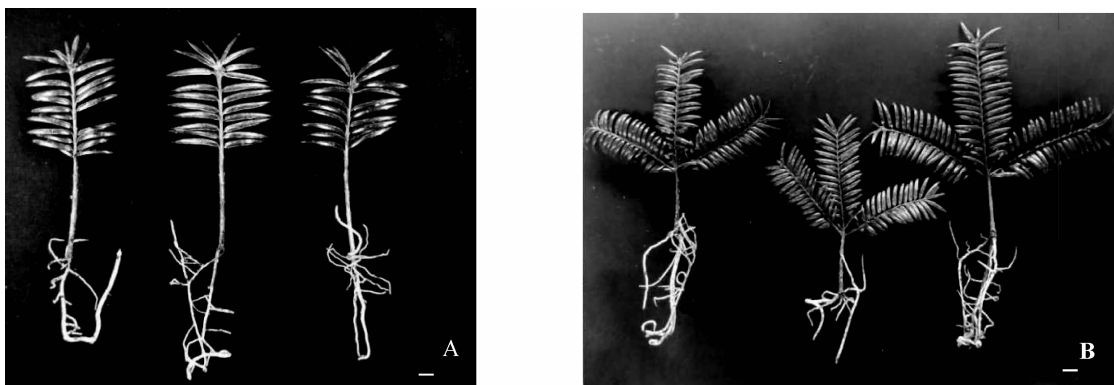
不同配比基质的含水量差异显著($P<0.05$)，从大到小顺序依次为基质 1(19.5%)>基质 5(18.3%)>基质 2(15.0%)>基质 3(14.5%)>基质 4(4.8%)。随着珍珠岩比例的增加，透水性逐渐增强，基质水分含量逐渐降低。单因素方差分析 (表 8) 表明，不同配比基质对香榧扦插生根影响差异显著($P<0.05$)。扦插生根率基质 1 显著高于其他处理($P<0.05$)，大小顺序依次为基质 1>基质 4>基质 3>基质 2>基质 5，其中基质 3 和基质 4 差异不显著；愈伤率基质 1 和基质 3 显著高于其他处理($P<0.05$)；成活率基质

表 7 温室条件下不同插穗对香榧扦插的影响

Table 7 Effect of different cuttings for cutting in *Torreya grandis* ‘Merrillii’ under greenhouse conditions

处理	生根率/%	愈伤率/%	死亡率/%	主根数/条	侧根数/条	生根指数	地上干质量/g	根部干质量/g	根冠比
带踵枝条	96.7 ± 3.3 a	0.0 ± 0.0 b	3.3 ± 3.3 a	4.9 ± 0.3 a	13.8 ± 0.7 a	1 029.00 ± 198.89 a	2.36 ± 0.4 a	0.31 ± 0.05 a	0.13 ± 0.02 a
上部枝条	90.0 ± 2.9 a	10.0 ± 2.9 a	0.0 ± 0.0 a	3.7 ± 0.8 a	3.2 ± 0.5 b	164.99 ± 0.01 b	0.63 ± 0.08 b	0.04 ± 0.01 b	0.07 ± 0.02 a

说明：同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；数据为平均数±标准误。



A. 普通枝条；B. 带踵枝条。图中标尺长 1 cm。

图 1 人工气候室不同插穗的生根情况

Figure 1 Rooting of different cuttings when cutting was done under greenhouse conditions in *Torreya grandis* ‘Merrillii’

1>基质3>基质4>基质2>基质5；抽梢率基质1显著高于其他处理($P<0.05$)，基质1>基质3>基质4>基质2>基质5，其中基质3和基质4接近；侧根数基质4显著高于其他处理；主根数处理间差异不显著；生根指数基质1和基质4显著高于基质2和基质3($P<0.05$)；根部干质量和根冠比基质4显著高于其他处理，而地上部分干质量处理间差异不显著($P>0.05$)。综合比较，基质1最佳，其生根率、成活率、抽梢率、侧根数、生根指数都较高，而基质4生根指数和根冠比较高，基质5生根率和成活率最低。

表8 不同基质配比对香榧扦插生根的影响

Table 8 The effect of treatment of cuttings with different medium formula on root rate in *Torreya grandis* 'Merrillii'

基质配比	生根率/%	愈伤率/%	抽梢率/%	主根数/条	侧根数/条	生根指数	地上干质量/g	根部干质量/g	根冠比
基质1	23.3 ± 1.9 a	15.6 ± 1.1 ab	25.6 ± 2.9 a	1.8 ± 0.2 a	9.1 ± 0.1 ab	49.76 ± 5.86 a	0.89 ± 0.07 a	0.11 ± 0.01 ab	0.12 ± 0.02 b
基质2	4.4 ± 1.1 c	11.1 ± 4.4 b	13.3 ± 0.0 c	1.3 ± 0.1 a	8.3 ± 1.8 b	7.19 ± 2.65 c	0.86 ± 0.09 a	0.12 ± 0.02 b	0.14 ± 0.03 b
基质3	11.1 ± 1.1 b	17.8 ± 1.1 a	13.3 ± 0.0 b	1.9 ± 0.4 a	8.8 ± 1.1 b	32.11 ± 4.81 b	0.92 ± 0.03 a	0.10 ± 0.01 b	0.10 ± 0.01 b
基质4	13.3 ± 1.9 b	7.8 ± 1.1 c	12.2 ± 1.1 b	1.8 ± 0.6 a	12.4 ± 1.1 a	53.99 ± 6.94 a	0.86 ± 0.09 a	0.17 ± 0.04 a	0.20 ± 0.03 a
基质5	1.1 ± 1.1 d	3.3 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 c	-	-	-	-	-	-

说明：同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；数据为平均数±标准误；“-”表示生根的插穗太少，没有统计。

4 结论与讨论

扦插生根具有季节性^[7-8]。薜荔 *Ficus pumila* 扦插时，高生根率的处理出现在形成层恢复活动的生长期，低生根率的处理出现在形成层活动较低的冬季休眠期^[10]。香榧的生长期在春季和夏季（4月至8月），其中树干形成层活动旺盛期为7月中旬^[10]，秋季和冬季（10月至翌年2月）为相对休眠期^[1]。扦插生根过程中生长素对不定根的形成起重要作用^[11]；嫩枝生长素高于休眠枝，生根率也高^[12]。这也是本试验夏季用香榧当年生枝条进行扦插，成活率高于其他3季的原因，与陈树茂^[3]、郭维华^[4]对香榧扦插研究的结果相一致。

外源植物生长调节物质对插穗扦插生根起促进或抑制作用^[13]。本研究结果表明：100.0~200.0 mg·L⁻¹ NAA 处理香榧插穗基部能显著提高插穗生根率，IBA 和 GGR6 效果没有 NAA 好。200.0 mg·L⁻¹ GGR6 浸泡插穗 20 min 当年成活率为 93.3%，但移栽时发现，其生根率仅为 33.3%，而愈伤率达 60%，大部分插穗只有愈伤组织，但不分化成根，地上部分表现正常。2014 年春季硬枝扦插的插穗，21 个月后检查发现，插穗发芽情况不好，仍呈现绿色、不生根。因此，香榧扦插容易产生愈伤组织，但生根并不容易，插穗地上部分正常的表现易给人产生扦插成活的假象。愈伤组织体积过大，会过多消耗插穗内的生根物质；老化的愈伤组织细胞分裂素高，生长素低，不利于愈伤组织分化^[14-15]。本试验仅进行了单一外源植物生长调节物质的试验，植物生长调节物质混合使用的效果有待于进一步研究。

香榧夏季带踵枝条扦插生根率为 96.7%，生根指数高，根系发达。这是因为踵部原来是枝条的分生位置，营养物质较多，枝条发育充分，半木质化枝条代谢旺盛，生长素含量高，同时大量的带有芽和叶的枝条能提供较多的生长素及营养物质，因此插穗生根快，根系健壮发达。

基质是插穗成活的关键因素之一。香榧属浅根性树种，具肉质根，表皮上分布多而大的气孔，具有好气性^[1]。本研究中，基质 1[V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石)]=1:1:1 在保水的同时透气性也好，香榧扦插生根率和生根指数较好，表明基质水分含量适宜，满足扦插生根过程中插穗对水分和空气的需求；基质 5[V(泥炭):V(珍珠岩):V(蛭石):V(稻壳炭)]=1:3:1:1 保水性好，但生根率最低，死亡率最高，可能与稻壳炭富钾而偏碱的特性有关^[16]。

本研究仅从扦插季节、外源植物生长调节物质处理、插穗的选取、基质配比等 4 个方面对香榧扦插开展了研究。由于相关内容研究之初仅在前人的研究基础上进行设计研究，在 14 个月内同步完成，因此 4 方面研究相对独立，后续需组合开展研究，建立较为系统的香榧扦插体系。

5 参考文献

- [1] 黎章矩, 戴文圣. 中国香榧[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-55.

- [2] 吴连海, 吴黎明, 倪荣新, 等. 香榧栽培经济效益分析[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(2): 299 – 303.
WU Lianhai, WU Liming, NI Rongxin, *et al.* Economic benefits of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ plantings [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(2): 299 – 303.
- [3] 陈树茂. 香榧扦插育苗的探讨[J]. 北京林业大学学报, 2001, **23**(增2): 128.
CHEN Shumao. Research on the cutting technique of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ [J]. *J Beijing For Univ*, 2001, **23**(supp2): 128.
- [4] 郭维华. 香榧扦插育苗试验[J]. 林业科技开发, 2002, **16**(增1): 91 – 92.
GUO Weihua. Experiment on seedling cultivation by cuttage of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ [J]. *Chin For Sci Technol*, 2002, **16**(supp 1): 91 – 92.
- [5] 万小金, 吴晓明, 程小东. 香榧采穗圃营建技术[J]. 江西林业科技, 2006(3): 24 – 25.
WAN Xiaojin, WU Xiaoming, CHENG Xiaodong. Techniques of constructing cutting orchards for *Torreya grandis* [J]. *J Jiangxi For Sci Technol*, 2006(3): 24 – 25.
- [6] 牟洪香. 三倍体毛白杨优良无性系微体快速繁殖技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2003.
MU Hongxiang. *Study on Rapid Micropropagation Technique of Triploid Clones of Populus tomentosa* [D]. Tai’an: Shandong Agricultural University, 2003.
- [7] 刘关君, 李绪尧, 由香玲, 等. 长白落叶松插穗内源激素变化与不定根产生的关系[J]. 东北林业大学学报, 2000, **28**(1): 19 – 20.
LIU Guanjun, LI Xuyao, YOU Xiangling, *et al.* Relationship between endogenous hormone changes of softwood cuttings and adventitious roots of *Larix olgensis* emerging [J]. *J Northeast For Univ*, 2000, **28**(1): 19 – 20.
- [8] KRISANTINI S, JOHNSTON M, WILLIAMS R R, *et al.* Adventitious root formation in *Grevillea* (Proteaceae), an Australian native species [J]. *Sci Hortic*, 2006, **107**(2): 171 – 175.
- [9] DAVIES F T, Jr. Shoot RNA, cambial activity and indolebutyric acid effectivity in seasonal rooting of juvenile and mature *Ficus pumila* cuttings [J]. *Physiol Plantarum*, 1984, **62**(4): 571 – 575.
- [10] 李伊乐. 针叶树种韧皮部结构和胼胝质分布变化的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
LI Yile. *The Changes of Phloem Structures and Callose Distributions During One Year of Growth in Some Conifers* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.
- [11] BLAKESLEY D, WESTON G D, HALL J F. The role of endogenous auxin in root initiation (I) evidence from studies on auxin application, and analysis of endogenous levels [J]. *Plant Growth Regul*, 1991, **10**(4): 341 – 353.
- [12] 李焕勇, 刘涛, 张华新, 等. 植物扦插生根机理研究进展[J]. 世界林业研究, 2014, **27**(1): 23 – 28.
LI Huanyong, LIU Tao, ZHANG Huaxin, *et al.* Research progress in rooting mechanism of plant cuttings [J]. *World For Res*, 2014, **27**(1): 23 – 28.
- [13] ROY B N, BASU R N, BOSE T K. Interaction of auxins with growth-retarding, -inhibiting and ethylene-producing chemicals in rooting of cuttings [J]. *Plant Cell Physiol*. 1972, **13**(6): 1123 – 1127.
- [14] 郭素娟. 林木扦插生根的解剖学及生理学研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1997, **19**(4): 64 – 69.
GUO Sujuan. Progress of study on rooting anatomy and physiology of forest tree cuttings [J]. *J Beijing For Univ*, 1997, **19**(4): 64 – 69.
- [15] 欧阳芳群, 付国赞, 王军辉, 等. 欧洲云杉扦插生根进程中内源激素和多酚类物质变化[J]. 林业科学, 2015, **51**(3): 155 – 162.
OUYANG Fangqun, FU Guozan, WANG Junhui, *et al.* Qualitative analysis of endogenesis hormone and polyphenol during rooting of cuttings in Norway spruce (*Picea abies*) [J]. *Sci Silv Sin*, 2015, **51**(3): 155 – 162.
- [16] 李志刚, 秦军, 赵健, 等. 添加硫酸铵的生物质炭型育苗基质使用效果研究[J]. 中国农学通报, 2010, **26**(24): 295 – 300.
LI Zhigang, QIN Jun, ZHAO Jian, *et al.* Studies on application effect of biomass charcoal seedling substrate after added ammonium sulfate [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26**(24): 295 – 300.