

网络出版时间:2020-04-28 17:30 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.11.006  
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20200428.0926.006.html

# 不同植物生长调节剂对闽楠扦插的影响

陈来贺<sup>1</sup>,王妍<sup>2</sup>,杨志坚<sup>1</sup>,陈世品<sup>1</sup>,冯金玲<sup>1</sup>

(1 福建农林大学 林学院,福建 福州 350002;2 中国林学会,北京 100091)

**【摘要】**【目的】研究植物生长调节剂对闽楠扦插苗生根、生长及生理生化指标的影响,探讨生长调节剂调控闽楠插穗生根及扦插苗生长的机理。【方法】采用正交试验设计,以闽楠扦插苗为材料,测定植物生长调节剂种类、质量浓度及处理时间对闽楠扦插苗生根率、生长及生理生化指标的影响。【结果】闽楠插穗在 400 mg/L NAA 溶液中浸泡 6 h 的生根率最高,新梢生长最长。植物生长调节剂种类是影响闽楠扦插苗生根及生长的最主要因素。影响闽楠扦插生根的重要指标是 IAAO 活性、茎质量和 MDA 含量,而一级根长度、MDA 含量和 PPO 活性是闽楠扦插苗新梢生长的关键指标。【结论】选择茎质量较大的闽楠插穗,在 400 mg/L NAA 溶液中浸泡 6 h,提高 IAAO 活性,有利于一级根生长,促进扦插苗的新梢生长,从而培育闽楠扦插壮苗。

**【关键词】** 闽楠;扦插;植物生长调节剂;调节机制

**【中图分类号】** S723.1<sup>+</sup>32

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2020)11-0054-09

## Effects of plant growth regulators on *Phoebe bournei* cutting propagation

CHEN Laihe<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, YANG Zhijian<sup>1</sup>, CHEN Shipin<sup>1</sup>, FENG Jinling<sup>1</sup>

(1 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2 Chinese Society of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study investigated the effects of plant growth regulators on rooting, growth, physiology and biochemistry of *Phoebe bournei* cutting seedlings and analyzed related mechanisms. 【Method】 Using the orthogonal experimental design, the effects of different plant growth regulators with different concentrations and treatment durations on rooting rate, growth and physiological and biochemical indexes of *Phoebe bournei* cuttings were measured. 【Result】 The best treatment for rooting of cuttings and growth of seedlings was NAA solution at 400 mg/L solution for 6 h. The hormone type had the largest effects on *Phoebe bournei* cuttings and seedlings. The most important indexes for rooting were IAAO enzyme activity, stem weight and MDA content. The most important indexes for seedling growth were primary root length, MDA content and PPO enzyme activity. 【Conclusion】 Selecting cuttings with high stem weight, soaking cuttings with 400 mg/L NAA solution for 6 h, and improving IAAO activities are suggested to improve rooting rate, protect cell vitality, and promote growth of primary root and new shoots of *Phoebe bournei* cuttings seedling.

**Key words:** *Phoebe bournei*; cutting; plant growth regulator; regulation mechanism

【收稿日期】 2019-10-15

【基金项目】 福建省林木种苗科技攻关五期项目“闽楠气培扦插及组培新技术研究”(KLh16H04A);福建省水土保持试验站项目“长汀县红壤侵蚀区人工群落演变特征及改造提升技术研究”(KH180280A)

【作者简介】 陈来贺(1995—),男,福建大田人,在读硕士,主要从事森林培育研究。E-mail:824564943@qq.com

【通信作者】 冯金玲(1978—),女,福建尤溪人,副教授,博士,主要从事森林培育研究。E-mail:FJL9703@163.com

闽楠 [*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang] 是中国特有的用材林树种,属国家 II 级重点保护渐危物种<sup>[1]</sup>,其木材质地细腻、剖面流畅、光滑美观、香气独特、易加工,是高档家具、雕刻工艺品和精密木模等的珍贵用材<sup>[2-3]</sup>。同时,闽楠树干通直,芳香耐久,被园林界喻为风景观赏树种的上品<sup>[4]</sup>。闽楠的天然资源受人为因素影响接近枯竭,零星分布在我国湖北、浙江、福建、江西、湖南、广东、广西和贵州海拔 200~1 000 m 常绿阔叶林中<sup>[5-6]</sup>。在生产中,闽楠存在生长周期长、天然更新慢、种子活力弱和大小年明显等缺陷,且实生苗个体差异明显,良莠不齐,限制了闽楠良种推广,严重制约其产业发展<sup>[7-9]</sup>。因此,无性繁殖成为闽楠育苗和推广的主要技术手段。相对组培、嫁接、压条等方法而言,扦插育苗具有繁殖系数高且稳定、易操作、低成本、便于规模化生产等优点,是无性繁殖育苗的首选<sup>[10-12]</sup>。因此闽楠的扦插繁殖研究对加快其产业发展具有重要的现实意义。

目前,闽楠的扦插繁殖研究主要集中在技术方面,特别是植物生长调节剂处理技术,但研究结果存在争议。王向前<sup>[7]</sup>研究认为,闽楠插穗用不同浓度 IBA 浸泡 3 h 对生根数无显著影响;雷凌菁<sup>[13]</sup>用不同浓度 ABT 生根粉速蘸闽楠插穗,生根率及根生长也均无显著影响。但范剑明等<sup>[14]</sup>用不同浓度的 NAA、IBA、ABT 生根粉浸泡闽楠插穗 24 h,生根率有极显著差异。可见,不同研究得出的生长调节剂种类、质量浓度和处理时间对闽楠扦插的影响各异,需进一步深入研究。为此,本试验研究了植物生长调节剂种类、质量浓度及处理时间对闽楠插穗生根

和苗木生长的影响,并探讨其调控插穗生根和扦插苗生长的机理,以期闽楠扦插繁殖提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于福建农林大学科技园田间苗圃 (119°23'E, 26°09'N)。该区域属亚热带海洋性气候,极端气温最高达 42.3℃,最低达 -2.5℃,年平均气温 19.6℃;年平均降水量 1 350 mm,年平均相对湿度约 77%;年平均日照为 1 848.2 h,年平均≥10℃ 的有效积温 5 880℃,无霜期 326 d。

### 1.2 材 料

插穗取自福建农林大学校园内胸径 25 cm、40 年生无病虫害的闽楠植株。选取向阳、芽饱满、生长良好的半木质化枝条,采集后充分用浅水浸泡回实验室。生长调节剂萘乙酸 (NAA) 和吲哚丁酸 (IBA),北京索莱宝科技有限公司生产;双吉尔 (GGR),北京艾比蒂生物科技有限公司生产。50% 多菌灵杀菌剂,四川国光农化股份有限公司生产;70% 甲基托布津,江苏龙灯化学有限公司生产。尿素,安阳化学工业集团有限责任公司生产;复合肥,沃博特生态农业科技有限公司生产。

### 1.3 试验设计

采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交试验设计,设植物生长调节剂种类、质量浓度及处理时间 3 个因素,每个因素 3 个水平(表 1),以清水为对照,共 10 个处理(表 2)。田间试验采用完全随机区组设计,每个处理 3 次重复,共 30 个区组。每个区组扦插 50 根,共扦插 1 500 根。

表 1 闽楠扦插正交试验的因素和水平

Table 1 Orthogonal experimental design levels of plant growth regulators on *Phoebe bournei* cuttings

水平 Level	植物生长调节剂种类 Type of plant growth regulator		植物生长调节剂质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> ) Concentration of plant growth regulator		处理时间/h Treatment time
	A		B		C
1	NAA		200		1
2	IBA		300		3
3	GGR		400		6

表 2 闽楠扦插正交试验设计

Table 2 Orthogonal experimental design of plant growth regulators on *Phoebe bournei* cuttings

处理 Treatment	因素水平 Factor and level			处理 Treatment	因素水平 Factor and level		
	A	B	C		A	B	C
1	1	1	1	6	2	3	2
2	1	2	2	7	3	1	2
3	1	3	3	8	3	2	3
4	2	1	3	9	3	3	1
5	2	2	1	CK	—	—	—

### 1.4 田间试验

(1) 苗床准备。2016 年 4 月,于扦插前 5~10

d,在病虫害少、排灌方便的圃地准备苗床,床面宽 80 cm,长 600 cm,苗床土壤用 50% 多菌灵 1 000 倍

溶液充分浇透消毒。扦插前 2 d, 扦插基质按体积比 20% 的沙子、30% 的蛭石和 50% 的泥炭土均匀混合配制, 用育苗穴盘(540 mm×280 mm×80 mm) 装满, 并摆于苗床, 再用 0.5% 高锰酸钾溶液淋灌消毒, 覆盖塑料薄膜 1 d 后, 用清水浇透基质, 备用。

(2) 插穗处理。扦插当天, 插穗现采现切, 长度 10 cm 左右, 保留顶部 3 片叶, 每片剪除 1/2, 上端平切, 下端斜切; 切好后先置于 800~1 000 倍的 50% 多菌灵溶液中消毒 8~12 min, 再用蒸馏水冲洗 3 遍; 按表 2 中的设计处理插穗; 取出插穗, 稍晾干, 扦插于育苗穴盘, 浇透水, 置于苗床; 用高 50 cm 的透明塑料拱棚罩住, 棚内相对湿度控制在 90% 左右; 在圃地搭建高 2.7 m 的遮荫棚, 棚内光照强度控制在自然光照的 70%, 大气温度控制在 28~35 ℃。

(3) 田间管理。及时清除苗床上的枯落叶、坏死插穗及新长出的杂草; 每隔 30 d 喷 1 次 1 000 倍液的甲基托布津(质量分数为 70%) 或 1 000 倍液的多菌灵(质量分数为 50%), 相互交替使用。在插穗长出新芽至 120 d 期间, 每隔 15 d 轮流喷施质量分数 0.1% 的尿素和质量分数 0.1% 的复合肥; 120~150 d 期间, 每 15 d 喷施 0.1% 复合肥 1 次, 控制塑料拱棚内相对湿度在 80%; 150 d 至调查测定时, 不再施肥, 基质的水分保持在田间持水量的 75% 左右。

## 1.5 调查及测定方法

1.5.1 生长指标的测定 2017 年 4 月, 调查闽楠扦插苗生根率(rooting rate, RT), 用钢卷尺测新梢长度(shoot length, SL)。每个处理选取 5 株标准株为测定样本, 将其根部浸入水中, 慢慢清洗掉根上的泥土。阴干后, 按 Pregitzer 法分一级根和二级根, 测一级根长度(primary root length, PRL)和二级根

长度(secondary root length, SRL)<sup>[15]</sup>。晾干后从根际处剪断, 采用电子天平称茎质量(stem weight, SW)、叶质量(leaf weight, LW)(地上部分鲜质量)和根质量(root weight, RW)(地下部分鲜质量), 计算根冠比(root-shoot ratio, R/S, 即地下部分鲜质量与地上部分鲜质量的比值)<sup>[16]</sup>。

1.5.2 生理生化指标的测定 将取样得到的叶或根在液氮中充分研磨, 取 0.5 g 粉末至 2 mL 或 10 mL 离心管中, 用分析天平称样品质量, 测定各种生理生化指标。叶可溶性糖含量(soluble sugar content of leave, SSCL)和叶淀粉含量(starch content of leave, SCL)采用蒽酮乙酸乙酯比色法<sup>[17]</sup>测定, 根过氧化物酶(peroxidase, POD)活性采用愈创木酚比色法<sup>[18]</sup>测定, 根多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和吲哚乙酸氧化酶(indoleacetic acid oxidase, IAAO)活性采用邻苯二酚比色法<sup>[19]</sup>测定, 根超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性采用氮蓝四唑光化还原法测定, 根丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法测定, 根系活力(root activity, RA)采用 TTC 法<sup>[20]</sup>测定。

## 1.6 数据分析

采用 SPSS 19.0 统计分析软件对试验数据进行差异显著性分析、Duncan 多重比较和极差分析、通径分析及逐步回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物生长调节剂对闽楠扦插苗生根和生长的影响

不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗生根和生长的比较结果见表 3。

表 3 不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗生根和生长的比较

Table 3 Effects of different plant growth regulators on rooting and growth of *Phoebe bournei* cutting seedlings

处理 Treatment	生根率/% RT	新梢长度/cm SL	一级根长度/cm PRL	二级根长度/cm SRL
1	69.05±6.87 aAB	5.90±0.10 bcdBC	1.23±0.05 cA	2.25±0.20 efDE
2	54.69±1.38 bBC	5.27±0.06 cdBCD	0.65±0.17 dB	1.89±0.10 fEF
3	72.08±0.37 aA	7.80±0.60 aA	1.30±0.12 abcA	3.60±0.05 cC
4	39.97±2.79 cdCD	6.20±0.20 bcBC	1.47±0.08 aA	5.77±0.22 aA
5	42.35±5.27 cCD	4.85±0.65 deCD	0.25±0.14 eB	2.87±0.02 dCD
6	16.13±3.81 eE	4.10±0.01 eD	1.37±0.04 abcA	2.34±0.15 eDE
7	39.72±4.56 cdCD	2.53±0.23 fE	0.59±0.05 dB	4.50±0.17 bB
8	44.26±1.94 cCD	1.30±0.90 gE	0.21±0.12 eB	3.19±0.20 dCD
9	33.77±3.69 dD	4.10±0.70 eD	1.43±0.04 abA	1.27±0.10 gF
CK	34.74±3.56 dD	6.70±1.49 abAB	1.27±0.13 bcA	3.18±0.53 dCD

注: 同列数据后标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 标不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。表 4~6 同。

Note: Different small letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ), and different capital letters indicate extremely significant difference ( $P<0.01$ ). The same for Table 4-6.

由表 3 可知,不同植物生长调节剂处理对闽楠插穗的生根率有显著或极显著影响,不同处理生根率在 16.13%~72.08%,除处理 6 和 9 外,其余处理的生根率均大于 CK;处理 1~3 的生根率显著或极显著大于处理 4~9,说明 NAA 对闽楠扦插生根的影响明显大于 IBA 和 GGR。不同植物生长调节剂处理对闽楠扦插苗新梢、一级根和二级根的长度有显著或极显著影响。处理 3 新梢长度大于 CK,极显著大于处理 1、2 和 4~9,处理 1、2 和 4~9 均小于

CK;处理 4 的一级根和二级根最长。

## 2.2 植物生长调节剂对闽楠扦插苗生物量的影响

由表 4 可知,不同植物生长调节剂处理对闽楠扦插苗叶质量、茎质量、根质量及根冠比有显著或极显著的影响。处理 2 和 4 叶质量极显著大于其他处理,处理 1、3 和 5~9 小于 CK。处理 3 茎质量最大,处理 1~5、8~9 茎质量大于 CK,处理 6~7 小于 CK。处理 1 和 2 根质量极显著大于处理 3~9,且大于 CK。处理 1 根冠比极显著大于其他处理。

表 4 不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗生物量的比较

Table 4 Effects of different plant growth regulators on biomass of *Phoebe bournei* cutting seedlings

处理 Treatment	叶质量/(g·株 <sup>-1</sup> ) LW	茎质量/(g·株 <sup>-1</sup> ) SW	根质量/(g·株 <sup>-1</sup> ) RW	根冠比 R/S
1	0.41±0.03 eFDE	0.61±0.04 bcB	0.81±0.02 bA	0.79±0.05 aA
2	0.85±0.01 aAB	0.64±0.07 bcB	0.89±0.01 aA	0.60±0.05 bB
3	0.56±0.08 cDE	0.94±0.06 aA	0.32±0.00 gDE	0.22±0.03 dD
4	0.91±0.00 aA	0.76±0.07 bAB	0.46±0.01 eC	0.28±0.02 cdCD
5	0.61±0.12 cCD	0.57±0.05 cBC	0.70±0.02 cB	0.62±0.16 bB
6	0.35±0.03 fE	0.50±0.05 cB	0.25±0.05 hE	0.29±0.09 cdCD
7	0.54±0.00 cdCDE	0.51±0.02 cB	0.64±0.04 dB	0.61±0.05 bB
8	0.46±0.02 deDE	0.73±0.03 bAB	0.47±0.03 eC	0.39±0.04 cC
9	0.56±0.01 cDE	0.64±0.07 bcB	0.37±0.01 fCD	0.31±0.03 cdCD
CK	0.70±0.05 bC	0.56±0.11 cB	0.24±0.01 hE	0.19±0.02 dD

## 2.3 植物生长调节剂对闽楠扦插苗生理指标的影响

由表 5 可知,不同植物生长调节剂处理对闽楠扦插苗叶的可溶性糖含量、淀粉含量及根系活力有显著或极显著影响。所有处理闽楠扦插苗的叶可溶

性糖含量均大于 CK,其中以处理 6 最大。处理 2~3、6 叶淀粉含量极显著大于处理 1、4~5、7~9,且大于 CK,其中以处理 2 叶淀粉含量最大。处理 4、6 和 7 根系活力均大于 CK,处理 1~3、5、8~9 根系活力均小于 CK,处理 7 根系活力最大。

表 5 不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗生理指标的比较

Table 5 Effects of different plant growth regulators on physiological indexes of *Phoebe bournei* cutting seedlings

处理 Treatment	叶可溶性糖含量/(mg·kg <sup>-1</sup> ) SSCL	叶淀粉含量/(mg·kg <sup>-1</sup> ) SCL	根系活力/(μg·g <sup>-1</sup> ) RA
1	251.25±79.39 eDE	734.50±2.81 gEF	4.07±0.05 cdABC
2	420.31±33.38 cBC	2 629.25±118.21 aA	3.92±0.03 eCD
3	473.75±0.00 cB	1 659.94±51.13 cC	4.05±0.02 cdABC
4	315.63±0.00 dCD	1 028.63±41.28 eDE	4.11±0.03 bcAB
5	257.81±9.20 eDE	1 261.81±81.15 dD	4.04±0.01 dABC
6	684.38±0.00 aA	2 197.81±79.28 bB	4.16±0.00 abAB
7	530.00±0.00 bB	799.50±76.93 fgEF	4.19±0.03 aA
8	211.46±35.42 eDE	975.81±91.47 efDE	3.81±0.08 fD
9	135.31±6.68 fE	457.44±145.89 hF	4.03±0.00 dBC
CK	129.38±35.72 fE	1 613.63±80.68 cC	4.08±0.02 cdAB

## 2.4 植物生长调节剂对闽楠扦插苗生化指标的影响

由表 6 可以看出,不同植物生长调节剂处理对闽楠扦插苗 IAAO、POD、PPO、SOD 活性及 MDA 含量有显著或极显著影响。不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗根的 IAAO 活性在 8.41~10.49 μg/(g·h),其中处理 1 和 7 的 IAAO 活性显著或极显著大于处理 2~6、8~9,处理 1~3、6~9 均大

于 CK,处理 4~5 均小于 CK。不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗根的 POD 活性在 4.17~45.83 U/g,处理 9 的 POD 活性最大,且大于 CK,处理 1~8 均小于 CK。不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗根的 PPO 活性在 1 043.25~1 434.75 U/g,处理 8 的 PPO 活性最大,处理 1、7~9 扦插苗根的 PPO 活性均大于 CK,处理 2~6 均小于 CK。不同植物生长调节剂处理扦插苗的根 SOD 活性在 3.53~

31.58 U/g,所有处理扦插苗的 SOD 活性均大于 CK,处理 9 的 SOD 活性最大。不同植物生长调节剂处理扦插苗的根 MDA 含量在 0.42~1.46

$\mu\text{mol/g}$ ,处理 8 的 MDA 含量最大,处理 1、6、8、9 的扦插苗 MDA 含量均大于 CK,处理 2~5、7 均小于 CK。

表 6 不同植物生长调节剂处理闽楠扦插苗根生化指标的比较

Table 6 Effects of different plant growth regulators on biochemical indexes of *Phoebe bournei* cutting seedlings

处理 Treatment	IAAO 活性/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) IAAO activity	POD 活性/ ( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ ) POD activity	PPO 活性/ ( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ ) PPO activity	SOD 活性/ ( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ ) SOD activity	MDA 含量/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ) MDA content
1	10.49±0.25 aA	8.33±0.00 deCD	1160.25±3.90 dCD	19.73±1.05 bB	0.85±0.00 cC
2	9.22±0.35 deBCD	12.50±0.00 cC	1143.50±13.14 deCD	12.57±0.39 dDE	0.54±0.01 fE
3	9.47±0.16 cdBCD	6.25±1.20 efCD	1116.75±6.50 eCDE	12.87±0.74 dCDE	0.42±0.02 hF
4	8.80±0.15 fDE	8.33±0.00 deCD	1043.25±5.63 gE	10.25±0.00 eE	0.50±0.01 fgEF
5	8.41±0.11 gE	10.42±1.20 cdCD	1081.00±15.40 fDE	10.22±0.21 eE	0.49±0.01 gEF
6	9.67±0.14 cBC	4.17±0.00 fD	1134.00±48.50 deCD	12.84±1.48 dDE	1.44±0.01 aA
7	10.02±0.23 bAB	6.25±1.20 efCD	1255.50±5.20 bB	18.89±1.24 bBC	0.70±0.04 eD
8	9.35±0.11 cdBCD	6.25±1.20 efCD	1434.75±22.95 aA	15.76±1.45 cCD	1.46±0.06 aA
9	9.59±0.08 cBCD	45.83±4.81 aA	1193.25±9.09 cBC	31.58±0.00 aA	1.13±0.01 bB
CK	9.00±0.06 efCDE	37.50±0.00 bB	1150.50±13.33 deCD	3.53±1.10 fF	0.80±0.01 dCD

## 2.5 闽楠扦插苗各种指标逐步回归及通径分析

以闽楠扦插苗生根率和新梢长度为因变量 Y,以叶质量( $X_1$ )、根质量( $X_2$ )、茎质量( $X_3$ )、一级根长度( $X_4$ )、二级根长度( $X_5$ )、根冠比( $X_6$ )、新梢长度( $X_7$ )、IAAO 活性( $X_8$ )、MDA 含量( $X_9$ )、SOD 活性( $X_{10}$ )、叶可溶性糖含量( $X_{11}$ )、叶淀粉含量( $X_{12}$ )、根系活力( $X_{13}$ )、PPO 活性( $X_{14}$ )、POD 活性( $X_{15}$ )和生根率( $X_{16}$ )为自变量进行逐步回归分析,获得生根率回归方程为  $Y = 1.962 + 0.256X_3 + 0.165X_8 - 0.339X_9 - 0.729X_{13}$  (复相关系数  $R = 0.85, P < 0.01$ )。表明茎质量、IAAO 活性、MDA 含量及根系活力构成了影响闽楠插穗生根的重要因素。获得新梢长度的回归方程为  $Y = 56.923 + 1.755X_4 + 0.633X_8 - 4.663X_9 - 10.254X_{13} - 0.008X_{14}$  (复相

关系数  $R = 0.89, P < 0.01$ )。表明一级根长度、IAAO 活性、MDA 含量、根系活力及 PPO 活性构成了影响闽楠插穗新梢生长的重要因素。

通径分析结果(表 7)表明,4 个影响闽楠扦插苗生根率的主要指标对生根率的直接贡献大小依次为 MDA 含量( $|-0.744|$ )> IAAO 活性(0.612)>根系活力( $|-0.509|$ )>茎质量(0.232),间接贡献大小依次为 IAAO 活性( $|-0.392|$ )>茎质量(0.250)≈根系活力( $-0.253$ )≈MDA 含量(0.238)。对生根率直接贡献大且为正效应的是 IAAO 活性和茎质量。对生根率直接贡献大且为负效应的是 MDA 含量和根系活力。同时生根率与茎质量呈极显著正相关,与 MDA 含量呈极显著负相关。

表 7 闽楠扦插苗主要指标对生根率的通径系数

Table 7 Path coefficients between main characteristics and rooting rate of *Phoebe bournei* cutting seedlings

作用因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接系数 Direct path coefficient	间接系数 Indirect path coefficient				间接综合效应 Comprehensive effect
			茎质量 SW	IAAO 活性 IAAO activity	MDA 含量 MDA content	根系活力 RA	
茎质量 SW	0.482 **	0.232		-0.098	0.194	0.154	0.250
IAAO 活性 IAAO activity	0.221	0.612	-0.037		-0.224	-0.130	-0.392
MDA 含量 MDA content	-0.506 **	-0.744	-0.060	0.185		0.114	0.238
根系活力 RA	-0.256	-0.509	-0.070	0.157	0.166		0.253

注: \* 表示显著相关( $P < 0.05$ ), \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ )。表 8 同。

Note: \* represents significant correlation at 0.05, \*\* represents highly significant correlation at 0.01. The same for Table 8.

从表 8 可以看出,5 个影响闽楠扦插苗新梢长度的主要指标对新梢长度的直接贡献大小依次为 MDA 含量( $|-0.891|$ )>根系活力( $|-0.624|$ )>一级根长度(0.449)>PPO 活性( $|-0.444|$ )>IAAO 活性(0.205),间接贡献大小依次为根系活力

(0.690)>IAAO 活性( $|-0.486|$ )>PPO 活性( $|-0.393|$ )>MDA 含量( $|-0.077|$ )>一级根长度( $|-0.034|$ )。对新梢长度直接贡献大且为正效应的是一级根长度和 IAAO 活性。对新梢长度直接贡献大且为负效应的是 MDA 含量、根系活力和

PPO 活性。同时新梢长度与一级根长度呈极显著正相关,与 MDA 含量和 PPO 活性呈极显著负相

表 8 闽楠扦插苗主要指标对新梢生长的通径系数

Table 8 Path coefficients between main characteristics and shoot length of *Phoebe bournei* cutting seedlings

作用因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接系数 Direct path coefficient	间接系数 Indirect path coefficient					间接综合效应 Comprehensive effect
			一级根长度 PRL	IAAO 活性 IAAO activity	MDA 含量 MDA content	根系活力 RA	PPO 活性 PPO activity	
一级根长度 PRL	0.519**	0.449		0.033	0.012	-0.298	0.218	-0.034
IAAO 活性 IAAO activity	-0.150	0.205	0.073		-0.269	-0.160	-0.130	-0.486
MDA 含量 MDA content	-0.621**	-0.891	-0.006	0.062		0.140	-0.272	-0.077
根系活力 RA	0.222	-0.624	0.214	0.052	0.199		0.224	0.690
PPO 活性 PPO activity	-0.723**	-0.444	-0.221	0.060	-0.546	0.315		-0.393

### 2.6 不同植物生长调节剂处理对闽楠扦插关键指标的极差分析

用直观分析法分析不同植物生长调节剂处理对闽楠扦插苗主要指标的影响,结果见表 9。由表 9 可以看出,对生根率影响的因素依次是植物生长调节剂种类、浸泡时间、植物生长调节剂质量浓度。对新梢长度、MDA 含量、IAAO 活性和 PPO 活性影响

的因素依次是植物生长调节剂种类、植物生长调节剂质量浓度、浸泡时间。对根系活力和一级根长度影响的因素依次是植物生长调节剂质量浓度、植物生长调节剂种类、浸泡时间。对茎质量影响的因素依次是浸泡时间、植物生长调节剂种类、植物生长调节剂质量浓度。

表 9 植物生长调节剂对闽楠扦插关键指标的极差分析

Table 9 Range analysis on effects of plant growth regulators on key indexes of *Phoebe bournei* cutting seedlings

指标	各因素 R 值 Range value			排序 Rank
	A	B	C	
生根率 RT	32.46	2.48	15.26	A>C>B
新梢长度 SL	3.68	1.53	1.14	A>B>C
MDA 含量 MDA content	1.48	0.94	0.30	A>B>C
IAAO 活性 IAAO activity	2.30	2.33	1.28	A≈B>C
PPO 活性 PPO activity	625.25	215.25	160.25	A>B>C
根系活力 RA	0.27	0.61	0.30	B>A≈C
一级根长度 PRL	0.95	2.98	0.38	B>A>C
茎质量 SW	0.37	0.19	0.77	C>A>B

## 3 讨论

### 3.1 植物生长调节剂调控闽楠插穗生根

植物生长调节剂能加快新陈代谢,刺激细胞分裂,促进不定根形成,有利于插穗生根<sup>[21-23]</sup>。但每种植物生长调节剂的作用不同,NAA 促进插穗贮存的淀粉水解为还原糖<sup>[24]</sup>;IBA 促进植物组织的糖类物质运输,提高可溶性糖和淀粉累积水平<sup>[25]</sup>;GGR 属于非激素型的生理活性物质,不仅影响植物内源激素,而且影响植物内源多胺、酚类化合物的合成及某些代谢相关酶活性<sup>[26]</sup>。由此可见,NAA 比 IBA 和 GGR 更直接作用于插穗生根。本研究结果表明,影响生根率的最主要因素是植物生长调节剂种类,且 NAA 处理的插穗生根率最高,这与前人研究得出 GGR、IBA 和 NAA 均影响闽楠插穗生根的结论相

似<sup>[7-8,14]</sup>。扦插繁殖中,外源激素通过改变各种内源激素水平达到动态平衡,间接诱导不定根发生和分化。浸泡时间和植物生长调节剂质量浓度是影响插穗组织内激素含量的重要因素。但是,植物生长调节剂质量浓度过高或浸泡时间过长会对插穗造成伤害,反而抑制生根<sup>[27]</sup>。因此,IBA 和 GGR 试验中,植物生长调节剂质量浓度和浸泡时间处于中等状态时,闽楠插穗生根率最高,即处理 5 的生根率大于处理 4 和 6;处理 8 的生根率大于处理 7 和 9。然而对于 NAA,浸泡时间最长的处理 3 的生根率大于处理 2 和 1。这可能是由于 NAA 以扩散作用进入细胞,速度较慢<sup>[24]</sup>。在闽楠扦插中,相对于 IBA 及 GGR,NAA 需要更高的植物生长调节剂质量浓度和更长的浸泡时间,才能积累到细胞所需的足够含量。这也解释了前人用不同生长调节剂处理闽楠插穗时质

量浓度和处理时间波动较大的原因<sup>[7-8,14]</sup>。本试验结果表明,闽楠插穗生根最好的为处理 3,即插穗在 400 mg/L NAA 溶液中浸泡 6 h。

逐步回归分析结果表明,茎质量、IAAO 活性、MDA 含量及根系活力构成了闽楠插穗生根的重要因素。通径分析结果表明,对生根率直接作用贡献大且正效应的指标是 IAAO 活性,产生负效应的是 MDA 含量;同时生根率与茎质量呈极显著正相关,与 MDA 含量呈极显著负相关。因此,IAAO 活性、MDA 含量和茎质量是闽楠插穗生根的重要因子。IAAO 通过氧化 IAA,调节植物体内 IAA 水平,调控插穗生根<sup>[10,28-31]</sup>。本研究结果表明,生根率与 IAAO 活性呈正相关关系,表明 IAAO 正向调控闽楠插穗根的诱导,与桤柳<sup>[10]</sup>、山木通<sup>[28]</sup>、光叶楮<sup>[29]</sup>等树种的研究结果相似。本研究中闽楠插穗生根率与茎质量呈极显著正相关,表明闽楠插穗的茎质量越高,越能提高生根率。有可能闽楠插穗茎质量与储藏能量有关,插穗茎质量越高,则营养物质含量越高,越有利于生根。MDA 是膜脂过氧化的终端产物,其含量的多少反映生物膜的损伤程度和细胞中活性氧状况及环境胁迫程度<sup>[32]</sup>。本研究中不同的植物生长调节剂处理极显著影响 MDA 含量,其中处理 1,6,8,9 的 MDA 含量大于 CK;同时生根率与 MDA 含量呈极显著负相关。表明不合理的植物生长调节剂处理会对闽楠插穗产生胁迫作用,胁迫越小,越有利于生根。因此,选择茎质量较大的闽楠插穗,在合适的激素处理下,提高 IAAO 活性,减少胁迫,可提高生根率。

### 3.2 植物生长调节剂调控闽楠扦插苗生长

本研究结果表明,不同植物生长调节剂极显著影响闽楠扦插苗新梢生长。新梢生长影响最大的因素是植物生长调节剂种类,其次是植物生长调节剂质量浓度,最后为浸泡时间,其中仅处理 3 的新梢长度大于 CK,其余处理的新梢长度都小于 CK,说明 NAA 有利于闽楠扦插苗新梢生长,但要选择合适的植物生长调节剂质量浓度和浸泡时间。逐步回归分析认为,一级根长度、IAAO 活性、MDA 含量、根系活力及 PPO 活性构成了闽楠扦插苗新梢生长的重要因素。新梢生长与一级根长度呈极显著正相关,与 MDA 含量和 PPO 活性呈极显著负相关,说明一级根长度、MDA 含量和 PPO 活性是影响闽楠扦插苗新梢生长的关键指标。通径分析认为,对新梢生长起正效应的指标为一级根长度和 IAAO 活性。IAAO 调节植物体内 IAA 水平,调控插穗生

根<sup>[10,28-31]</sup>,说明提高插穗生根率,有利于新梢生长。同时新梢长度与一级根长度呈极显著的正相关,这可能是由于一级根生长扩大了根毛面积,提高了根吸收营养的能力,极显著促进新梢生长。可见,提高闽楠插穗的生根率,同时促进其一级根生长,利于闽楠扦插苗的生长。通径分析结果表明,对新梢生长起负效应的指标是 MDA 含量、根系活力和 PPO 活性,而 MDA 含量和 PPO 活性都与新梢长度呈极显著负相关。MDA 含量的多少能反映受胁迫程度<sup>[32]</sup>。本研究结果表明,植物生长调节剂处理显著影响 MDA 含量,其中处理 1、6、8、9 MDA 含量大于 CK,表明不合理的植物生长调节剂处理对闽楠扦插苗新梢生长起抑制作用。在 PPO 活性对新梢生长间接作用中,MDA 含量起最大负作用(-0.546),其次是一级根长度(-0.221),这可能是由于闽楠插穗经不合适的激素处理后产生胁迫,PPO 催化酚类物质生成醌,保护细胞免受损伤<sup>[33-34]</sup>,抑制一级根生长,减少营养物质吸收,从而抑制新梢生长。因此,插穗在合适的激素处理下,提高生根率,减小胁迫,保护细胞活力,促进一级根生长,有利于闽楠扦插苗的生长。

综上所述,植物生长调节剂处理极显著影响闽楠扦插苗生根、生长及生理生化指标。闽楠插穗生根及扦插苗生长最好的处理是插穗在 400 mg/L NAA 溶液中浸泡 6 h。影响插穗生根及扦插苗生长的最主要因素为植物生长调节剂种类。在外源激素处理闽楠插穗下,影响闽楠插穗生根的重要指标是 IAAO 活性、茎质量和 MDA 含量;影响闽楠新梢生长的关键指标是一级根长度、MDA 含量和 PPO 活性。通过综合分析得出,插穗在合适的激素处理下,选择茎质量较大的闽楠插穗,提高 IAAO 活性,减少胁迫,提高生根率,保护细胞活力,有利于一级根生长,促进苗的新梢生长,从而培育闽楠扦插壮苗。

### [参考文献]

- [1] 郑金兴,黄锦学,王珍珍,等. 闽楠人工林细根寿命及其影响因素 [J]. 生态学报,2012,32(23):7532-7539.  
Zheng J X, Huang J X, Wang Z Z, et al. Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe bournei* plantation [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7532-7539.
- [2] 王 艺,王秀花,吴小林,等. 缓释肥加载对浙江楠和闽楠容器苗生长和养分库构建的影响 [J]. 林业科学,2013,49(12):57-63.  
Wang Y, Wang X H, Wu X L, et al. Effects of slow-release fer-

- tilizer loading on growth and construction of nutrients reserves of *Phoebe chekiangensis* and *Phoebe bournei* container seedlings [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(12): 57-63.
- [3] 程林林,尹光天,黄雨芹,等. 闽楠种源家系种质早期生长评估及选择 [J]. *分子植物育种*, 2018, 16(15): 5108-5116.  
Cheng L L, Yin G T, Huang Y Q, et al. Early growth evaluation and selection of germplasm resources of *Phoebe bournei* provenances/families [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(15): 5108-5116.
- [4] Ge Y, He X, Wang J, et al. Physiological and biochemical responses of *Phoebe bournei* seedlings to water stress and recovery [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2014, 36(5): 1241-1250.
- [5] 李雪云,潘萍,臧颢,等. 闽楠天然次生林自然更新的影响因子研究 [J]. *林业科学研究*, 2017, 30(5): 701-708.  
Li X Y, Pan P, Zang H, et al. Study on factors affecting natural regeneration of natural secondary *Phoebe bournei* forest [J]. *Forest Research*, 2017, 30(5): 701-708.
- [6] 唐小燕,袁位高,沈爱华,等. 闽楠容器苗各器官生物量的分配格局及水分特征研究 [J]. *植物研究*, 2012, 32(1): 99-104.  
Tang X Y, Yuan W G, Shen A H, et al. Biomass allocation pattern and water characteristics of each component of *Phoebe bournei* container seedling [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2012, 32(1): 99-104.
- [7] 王向前. 不同扦插基质及不同浓度 IBA 处理对闽楠生根的影响 [J]. *安徽农学通报*, 2017, 23(17): 98-99.  
Wang X Q. Effects of different factors on cutting rooting of *Phoebe bournei* [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2017, 23(17): 98-99.
- [8] 申展,李铁华,文仕知,等. 不同因素对闽楠嫩枝扦插生根的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(1): 63-67.  
Shen Z, Li T H, Wen S Z, et al. Effects of different factors on cutting rooting of *Phoebe bournei* twigs [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2013, 33(1): 63-67.
- [9] 吴大荣,王伯荪. 濒危树种闽楠种子和幼苗生态学研究 [J]. *生态学报*, 2001, 21(11): 1751-1760.  
Wu D R, Wang B S. Seed and seedling ecology of the endangered *Phoebe bournei* (Lauraceae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1751-1760.
- [10] 张锦春,刘有军,王方琳,等. 沙生怪柳扦插生根过程插穗相关理化特征分析 [J]. *西北植物学报*, 2018, 38(3): 484-492.  
Zhang J C, Liu Y J, Wang F L, et al. Physiological and biochemical characteristics of *Tamarix taklamakanensis* cuttings during rooting stages [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, 38(3): 484-492.
- [11] 胡劭鸿,欧阳芳群,贾子瑞,等. 欧洲云杉扦插生根影响因子研究与生根力优良单株选择 [J]. *林业科学*, 2014, 50(2): 42-49.  
Hu M H, Ouyang F Q, Jia Z R, et al. Factors affecting rooting of *Picea abies* shoot cuttings and individual selection with high rooting ability [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(2): 42-49.
- [12] Wetzstein H Y, Porter J A, Janick J, et al. Selection and clonal propagation of high artemisinin genotypes of *Artemisia annua* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 358.
- [13] 雷凌菁. 闽楠扦插繁殖技术研究 [J]. *福建林业科技*, 2006, 33(4): 104-106.  
Lei L J. Study on the cutting propagation technology of *Phoebe bournei* [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2006, 33(4): 104-106.
- [14] 范剑明,谢金兰,张冬生,等. 闽楠嫩枝扦插繁育研究 [J]. *林业与环境科学*, 2017, 33(6): 30-33.  
Fan J M, Xie J L, Zhang D S, et al. Study on softwood cutting technology of *Phoebe bournei* [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2017, 33(6): 30-33.
- [15] Pregitzer K S. Fine roots of trees: a new perspective [J]. *New Phytologist*, 2002, 154: 267-270.
- [16] 胡劭鸿,欧阳芳群,贾子瑞,等. 不同穗条类型、长度的欧洲云杉扦插苗质量评价 [J]. *林业科学研究*, 2016, 29(6): 919-925.  
Hu M H, Ouyang F Q, Jia Z R, et al. Quality evaluation on *Norway spruce* cuttings with different types and lengths [J]. *Forest Research*, 2016, 29(6): 919-925.
- [17] 冷熹鸣,王迪海. 陕北晋枣不同部位生长中可溶性糖及蛋白含量变化研究 [J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(2): 105-108.  
Leng X M, Wang D H. Changes of soluble sugar and protein contents in different parts of Jin jujube in north Shaanxi [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(2): 105-108.
- [18] 陈展宇,费小钰,孙帆,等. 盐碱胁迫对转 *Lc-CDPK* 基因水稻抗氧化酶活性及基因表达的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(5): 15-22.  
Chen Z Y, Fei X Y, Sun F, et al. Effects of saline-alkali stress on activities and gene expression of antioxidant enzymes of transgenic *Lc-CDPK* rice [J]. *Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition)*, 2019, 47(5): 15-22.
- [19] 王政,王照路,申萍,等. 牡丹试管苗与扦插苗生根过程中相关酶活性的变化 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(10): 193-198.  
Wang Z, Wang Z L, Shen P, et al. Change in activities of related enzymes during rooting of peony shoots *in vitro* and cutting seedlings [J]. *Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition)*, 2014, 42(10): 193-198.
- [20] 许冰霞,尹美强,温银元,等. 谷子萌发期响应干旱胁迫的基因表达谱分析 [J]. *中国农业科学*, 2018, 51(8): 1431-1447.  
Xu B X, Yin M Q, Wen Y Y, et al. Gene expression profiling of foxtail millet (*Setaria italica* L.) under drought stress during germination [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(8): 1431-1447.
- [21] 曹秀,夏仁学,张德健,等. 水培条件下营养元素对枳幼苗根毛发育及根生长的影响 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(6): 1525-1530.  
Cao X, Xia R X, Zhang D J, et al. Effects of nutrients on the seedlings root hair development and root growth of *Poncirus trifoliata* under hydroponics condition [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(6): 1525-1530.

- [22] Lakehal A, Bellini C. Control of adventitious root formation: insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions [J]. *Physiologia Plantarum*, 2019, 165(1): 90-100.
- [23] 李虹, 钟小清, 蒋水元, 等. 羊开口扦插繁殖研究 [J]. *中草药*, 2015, 46(24): 3751-3756.  
Li H, Zhong X Q, Jiang S Y, et al. Study on cutting propagation of *Melastoma normale* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2015, 46(24): 3751-3756.
- [24] 吴晓霞, 周倩, 谢虹, 等. 2, 4-D 和 NAA 在拟南芥细胞分裂和伸长中的作用分析 [J]. *西北植物学报*, 2007, 27(8): 1631-1636.  
Wu X X, Zhou Q, Xie H, et al. Different effects of 2, 4-D and NAA on cell division and elongation in *Arabidopsis suspension* cells [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(8): 1631-1636.
- [25] 张焕欣, 董春娟, 尚庆茂. 外源 IBA 对辣椒下胚轴不定根发生的调控作用 [J]. *园艺学报*, 2017, 44(10): 1937-1948.  
Zhang H X, Dong C J, Shang Q M. Regulatory roles of exogenous IBA in adventitious root formation on the hypocotyls of pepper seedlings [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2017, 44(10): 1937-1948.
- [26] 刘戈飞, 宋晓斌, 徐永慧, 等. GGR6 在南方红豆杉扦插育苗中的作用研究 [J]. *林业科学研究*, 2005, 18(6): 730-733.  
Liu G F, Song X B, Xu Y H, et al. A study on role of GGR6 in seedling-raising of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. *Forest Research*, 2005, 18(6): 730-733.
- [27] 张乐华, 王书胜, 单文, 等. 基质、激素种类及其浓度对鹿角杜鹃扦插育苗的影响 [J]. *林业科学*, 2014, 50(3): 45-54.  
Zhang L H, Wang S S, Shan W, et al. Influences of growth media, and hormone types and concentrations on cutting propagation of *Rhododendron latoucheae* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(3): 45-54.
- [28] 赵爽, 刘志高, 冯彬, 等. 山木通扦插繁殖及生根机制 [J]. *浙江农林大学学报*, 2017, 34(5): 955-962.  
Zhao S, Liu Z G, Feng B, et al. Cutting propagation technology and rooting of *Clematis finetiana* [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2017, 34(5): 955-962.
- [29] 宋丽红, 曹帮华. 光叶楮扦插生根的吲哚乙酸氧化酶、多酚氧化酶、过氧化物酶活性变化研究 [J]. *武汉植物学研究*, 2005, 23(4): 347-350.  
Song L H, Cao B H. Studies on activities of indoleacetic acid oxidase, polyphenol oxidase and peroxidase in cuttings of *Broussonetia papyrifera* during rooting process [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, 23(4): 347-350.
- [30] 郝爱丽, 王超, 冯献宾, 等. 生长调节剂对青榨槭扦插生根及其氧化酶活性的影响 [J]. *西北植物学报*, 2009, 29(10): 2026-2030.  
Hao A L, Wang C, Feng X B, et al. Effects of growth regulators on softwood-cutting rooting and oxidase activities during rooting of *Acer davidii* Franch [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(10): 2026-2030.
- [31] Wang B, Bian B, Wang C, et al. Hydrogen gas promotes the adventitious rooting in cucumber under cadmium stress [J]. *PLoS One*, 2019, 14(2): e0212639.
- [32] Samadi S, Habibi G, Vaziri A. Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative responses, phenolic metabolism and photochemical activity of strawberry under salt stress [J]. *Plant Physiology*, 2019, 9(2): 2685-2694.
- [33] Cheng Y, Liu L, Feng Y, et al. Effects of 1-MCP on fruit quality and core browning in 'Yali' pear during cold storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 243: 350-356.
- [34] 刘宇, 宋希强, 史佑海, 等. 高温胁迫下海南杜鹃和白花杜鹃的生理响应比较分析 [J]. *分子植物育种*, 2018, 16(17): 5827-5834.  
Liu Y, Song X Q, Shi Y H, et al. Physiological responses comparison of *Rhododendron hainanense* and *Rhododendron mucronatum* (Blume) G. Don under high temperature stress [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(17): 5827-5834.

(上接第 53 页)

- [17] 王亚楠, 张湛仪, 赵李姗, 等. 紫果西番莲愈伤组织诱导分化及不定芽增殖研究 [J]. *西南林业大学学报*, 2019, 39(3): 155-160.  
Wang Y N, Zhang Z Y, Zhao L S, et al. Induction and differentiation of callus and propagation of adventitious buds in *Passiflora caerulea* [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2019, 39(3): 155-160.
- [18] 王毅敏, 高晗, 高本旺, 等. 崖柏组织培养初探 [J]. *湖北林业科技*, 2019, 48(2): 16-18.  
Wang Y M, Gao H, Gao B W, et al. Preliminary study on tissue culture of *Thuja sutchuenensis* [J]. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2019, 48(2): 16-18.
- [19] 张秀华. 龙柏组织培养研究 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(24): 14548-14549, 14592.  
Zhang X H. Study on the tissue culture of *Sabina chinensis* cv. *Kaizuka* [J]. *Journal of Anhui Agriculture and Science*, 2011, 39(24): 14548-14549, 14592.
- [20] 金江群, 韩素英, 郭泉水. 柏科植物组织培养研究现状与展望 [J]. *世界林业研究*, 2012, 25(2): 34-40.  
Jin J Q, Han S Y, Guo Q S. Research advances and prospect in tissue culture of Cupressaceae [J]. *World Forestry Research*, 2012, 25(2): 34-40.