

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.005.020

IAA 和 NAA 对降香黄檀扦插繁殖的影响

徐珊珊, 刘小金*, 徐大平, 洪舟, 郭俊誉, 杨曾奖

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东广州 510520)

摘要: [目的] 开展降香黄檀扦插繁殖试验, 探究不同浓度 IAA 和 NAA 对降香黄檀根系和新梢发育的影响, 为降香黄檀优良单株材料的快速繁育和栽培提供理论和技术支撑。[方法] 以 2 年生降香黄檀实生苗为采穗母株, 依据 IAA 浓度、NAA 浓度及浸泡时间设计正交试验; 调查扦插 80 d 后不同处理间的生根率、根系发育和新梢发育指标, 并运用隶属函数值法和主成分分析法对其繁殖效果进行综合评价。[结果] IAA 浓度、NAA 浓度、浸泡时间、IAA 浓度与 NAA 浓度的交互效应以及 IAA 浓度与浸泡时间的交互效应对生根率的影响均差异极显著 ($P < 0.01$), 对总根长、生根数、根系表面积和体积的影响差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。在一定范围内, 插穗生根率随 IAA 浓度的升高逐渐增加, 随 NAA 浓度的升高逐渐降低。采用主成分和隶属函数值综合评价扦插繁殖效果, 16 个处理中扦插繁殖效果最好的前 25% 的处理依次为: 处理 12、16、5、11, 生根率分别为 96.10%、97.66%、96.10%、96.88%。[结论] 综合考虑生根率和插穗生长发育状况, 建议在生产实践中采用 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IAA+ $750 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA+浸泡 1 min、 $750 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IAA+ $750 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA+浸泡 10 s、 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IAA+浸泡 1 min 和 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IAA+ $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA+浸泡 10 s 的处理组合开展扦插繁殖。

关键词: 降香黄檀; 扦插繁殖; 生长调节剂; 生根率; 根系与新梢发育

中图分类号: S722.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2021)05-0168-09

降香黄檀 (*Dalbergia odorifera* T. Chen) 是豆科 (Leguminosae) 黄檀属 (*Dalbergia*) 的半落叶乔木, 天然分布在海南全省, 是我国名贵的乡土红木树种, 目前已被列为极度濒危植物和国家 II 级重点保护野生植物^[1-3]。降香黄檀木材结构致密、纹理清晰、花纹美丽, 心材具特殊芳香气味, 是制作各种精美红木家具、工艺品的上等原料, 经济价值非常高^[4]; 其树干和根部可用于提取黄酮、橙花叔醇等多种次生代谢物, 具抗菌、消炎、止痛、保健等多种功效^[5-6], 广泛应用于医疗医药行业。由于降香黄檀木材极为珍贵, 南方各省纷纷发展其人工林, 目前已被引种到广东、广西、福建、云南、浙江、四川、贵州等地种植^[7-8]。

扦插繁殖具有保持母本优良性状、操作简单、经济易行等优点^[9-10], 是濒危树种扩繁的重要手段

之一^[11]。鉴于市场对优良降香黄檀苗木需求日益增大的现状, 一些学者开展了扦插生根的尝试, 如施福军等^[12]研究发现, 基质和采穗部位是影响生根效果的重要因素, 最高生根率为 56.67%; 钟栋等^[13]发现, 采用 $1500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA+ $1500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IAA+ $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 抗坏血酸速蘸 15~20 s 的处理组合, 降香黄檀成活率最高达 85.2%。还有一些学者对影响降香黄檀扦插生根的生长调节剂^[12]、扦插规格^[14]等进行了初步研究, 发现这些因素均显著影响其生根率。然而, 这些研究多集中于对生根率影响的研究, 缺乏有关降香黄檀扦插生根过程观察和繁殖效果 (如生根数、根长、根粗、根质量、新梢等) 的综合评价。本试验选择 IAA 和 NAA 2 种生长调节剂, 设置不同浓度和不同的处理时间, 研究降香黄檀扦插生根过程和繁殖效果, 筛选出提高降

收稿日期: 2021-01-18 修回日期: 2021-04-24

基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题 (2016YFD0600601); 广东省林业科技创新项目 (2020KJXCX007)

* 通讯作者: 刘小金, 博士, 副研究员。主要研究方向: 热带珍贵树种高效培育。E-mail: xjliu@caf.ac.cn

香黄檀扦插生根率、提升根系和新梢质量的最好处理组合, 为降香黄檀扦插繁殖和规模化栽培提供科学依据。

1 试验材料

选择中国林业科学研究院热带林业研究所尖峰岭试验站苗圃的2年生降香黄檀实生种苗的半木质化枝条剪成插穗, 在温室内进行扦插试验。以32孔黑色穴盘(规格: 60 mm × 60 mm × 115 mm)为扦插容器, 黄心土+河沙(1:3)为扦插基质, 试验用生长调节剂吲哚乙酸(IAA)、萘乙酸(NAA)购自上海伯奥生物科技有限公司。

2 研究方法

2.1 试验设计与试验过程

以IAA浓度(A)、NAA浓度(B)和浸泡时间(C)为试验因素进行 $L_{16}(4^3)$ 正交试验, 每因素设置4个水平(表1)。采用随机区组试验设计, 共16个处理, 每个处理32根插穗, 设置4次重复。

2020年5月, 从生长健壮、无病虫害的苗木上采集枝条, 剪成20 cm长的不带叶插穗, 上端平切, 下端斜切。插穗采集后用0.1%的多菌灵水溶液浸泡消毒, 然后根据试验设计进行扦插。扦插后, 覆盖塑料薄膜和遮阴网, 每7~10 d使用0.1%的多菌灵水溶液消毒1次, 同时补充水分以保持基质湿润, 空气相对湿度保持在70%~80%。

表1 降香黄檀扦插正交试验设计的因素和水平
Table 1 Orthogonal factors and levels of *D. odorifera* cutting propagation

水平 Level	试验因素 Experiment factor		
	IAA浓度(A) Concentration of IAA/(mg·L ⁻¹)	NAA浓度(B) Concentration of NAA/(mg·L ⁻¹)	浸泡时间(C) Soaking time
1	0	0	10 s
2	250	250	1 min
3	500	500	30 min
4	750	750	1 h

2.2 生根及生长指标调查

扦插后每隔7 d抽样拔出插穗, 拍照记录根系和新梢发育状况。扦插80 d后统计生根插穗数、每条插穗的生根数和新梢数; 测量最大根长、最大

新梢长、总新梢长、根系和新梢干质量; 使用LA-S万深根系扫描仪(上海中晶科技有限公司)测定根系总长度、直径、表面积和体积。计算生根率、平均根长和平均新梢长。

$$\text{生根率} = \text{生根插穗数} / \text{总插穗数} \times 100\%$$

$$\text{平均根长} = \text{总根长} / \text{生根数}$$

$$\text{平均新梢长} = \text{总新梢长} / \text{新梢数}$$

2.3 统计分析

用极差值法衡量不同因素对各生根指标的影响, 极差值(R)越大, 表明该因素影响作用越大^[15]。对各指标进行主成分分析, 根据累积贡献率确定主成分个数^[16]。使用隶属函数法对各处理的根系和新梢发育进行综合评价^[17], 某一主成分的隶属函数值计算公式为:

$$U(X_j) = (X_j - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$$

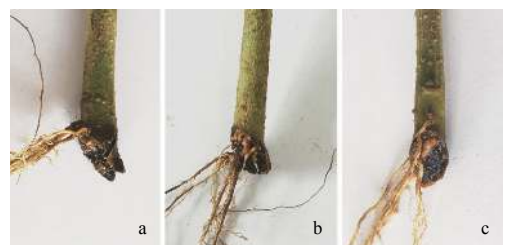
式中: $U(X_j)$ 为主成分的隶属函数值, X_j 为主成分值, $X_{j\min}$ 和 $X_{j\max}$ 分别为主成分的最小值和最大值。

使用IBM SPSS Statistics 25和Microsoft Excel 2016软件对数据进行统计分析, 对有显著差异的指标进行Duncan's多重比较($\alpha = 0.05$)。

3 结果与分析

3.1 降香黄檀扦插生根类型及繁殖过程

试验发现: 降香黄檀插穗生根有多种类型, 其中, 完全的皮部生根插穗占总生根插穗的52.81% (图1a), 完全的愈伤组织生根插穗仅占0.94% (图1b), 兼具皮部和愈伤组织生根的混合生根插穗占46.25% (图1c)。对降香黄檀插穗繁殖过程进行观察发现: 扦插10 d后, 插穗基部切口处即开始形成少量愈伤组织(图2a), 同时插穗上



注: a. 皮部生根型; b. 愈伤组织生根; c. 混合生根。

Notes: a. Roots were induced from the bark; b. Roots were induced from callus tissue; c. Roots were induced from the bark and callus tissue.

图1 降香黄檀扦插生根类型

Fig. 1 The rooting types of *D. odorifera*

部开始萌芽(图2b);扦插20d后,部分插穗生根,部分插穗处于愈伤组织生长阶段,并在基部切口周围形成大量愈伤组织(图2c),此时插穗的新梢开始展叶(图2d);扦插30d后,插穗不定根和新梢继续生长并且不断增多(图2e、f);扦插80d后,根系已经完全形成并不断生长(图2g),新梢仍在继续生长(图2h)。



注: a. 扦插10d形成愈伤组织; b. 扦插10d开始萌芽; c. 扦插20d部分插穗愈伤组织继续增加,部分插穗开始形成不定根; d. 扦插20d新梢开始展叶; e. 扦插30d不定根增加; f. 扦插30d新梢继续生长; g. 扦插80d根系已经完全形成; h. 扦插80d新梢继续生长。

Notes: a. callus tissue came into being 10 days after cutting; b. buds vegetated 10 days after cutting; c. callus tissue increased for some cuttings, while adventitious roots began to originate for others 20 days after cutting; d. shoots began to spread 20 days after cutting; e. adventitious roots continued to increase 30 days after cutting; f. shoots continued to grow 30 days after cutting; h. shoots continued to grow 80 days after cutting.

图2 降香黄檀扦插生根过程的外部形态特征

Fig. 2 The morphologic character of *D. odorifera* rooting

3.2 降香黄檀扦插生根特征

3.2.1 扦插生根率 表2表明:扦插80d后,各处理均有插穗生根,且生根率均超过60%,其中有10个处理生根率超过90%,处理16的平均生根率最高(97.66%),其次是处理11和处理2(96.88%),处理4生根率最低(64.85%)。极差分析结果(表2)表明:在3个试验因素中,浸泡时间的R值最大(17.97),其次为IAA浓度(10.35),最后为NAA浓度(8.01),表明浸泡时间对降香黄檀扦插生根率的影响最大。

方差分析结果(表3)表明:IAA浓度和浸泡时间以及IAA浓度与NAA浓度交互效应对生根率的影响极显著($P < 0.001$),NAA浓度以及IAA浓度与浸泡时间交互效应对生根率的影响极显著($P < 0.01$)。对3个因素的各水平进行多重比较分析,结果(表4)表明:IAA浓度、NAA浓度和浸泡时间中各水平对生根率的影响作用大小分别

表2 不同处理下降香黄檀扦插生根率和极差分析结果

Table 2 Rooting percentage and range analysis of *D. odorifera* cutting propagation under different treatments

试验号 No.	试验因素水平 Experiment factor level			生根率 Rooting percentage/%
	IAA浓度(A) Concentration of IAA	NAA浓度(B) Concentration of NAA	浸泡时间(C) Soaking time	
1	1	1	1	84.38 ± 2.21 cd
2	1	2	2	96.88 ± 1.28 ab
3	1	3	3	89.85 ± 3.22 abc
4	1	4	4	64.85 ± 7.48 f
5	2	1	2	96.10 ± 1.50 ab
6	2	2	1	92.19 ± 1.56 abc
7	2	3	4	70.32 ± 5.18 ef
8	2	4	3	78.13 ± 4.60 de
9	3	1	3	96.10 ± 1.97 ab
10	3	2	4	85.94 ± 5.78 bed
11	3	3	1	96.88 ± 1.28 ab
12	3	4	2	96.10 ± 0.78 ab
13	4	1	4	92.19 ± 2.02 abc
14	4	2	3	91.41 ± 2.34 abc
15	4	3	2	96.10 ± 1.97 ab
16	4	4	1	97.66 ± 2.34 a
T_1	83.99	92.19	92.78	
T_2	84.18	91.60	96.29	
T_3	93.75	88.28	88.87	
T_4	94.34	84.18	78.32	
R	10.35	8.01	17.97	

注: T_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 表示各因素相应水平下的平均值, R 为最大与最小水平间距; 表中数值为平均值 ± 标准差; 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Notes: T_i ($i = 1, 2, 3, 4$) showed the mean values under each factor level, R was the distance between maximum and minimum level. The values in the table were showed as means ± standard deviation. Different lowercase letters meant significant difference from each other ($P < 0.05$), the same followed below.

为: $A_4 > A_3 > A_2 > A_1$ 、 $B_1 > B_2 > B_3 > B_4$ 、 $C_2 > C_1 > C_3 > C_4$ 。由此可以确定, 生根率的最佳处理组合为 $A_4B_1C_2$ 。

3.2.2 根系发育 方差分析结果(表3)表明: IAA浓度显著 ($P < 0.05$) 影响总根长、最大根长、生根数和平均根长, 极显著 ($P < 0.01$) 影响根系表面积和体积; NAA浓度显著 ($P < 0.05$) 影响总根长和根系直径, 极显著 ($P < 0.01$) 影响生根数、根系表面积和体积; 浸泡时间显著 ($P < 0.05$) 影响总根长和平均根长, 极显著 ($P < 0.01$)

表3 不同因素对降香黄檀扦插繁殖的方差分析

Table 3 Variance analysis of different factors on *D. odorifera* cutting propagation

变异来源 Variance source	根系发育指标Roots growth indices								
	RP	LR	LLR	NR	MLR	RDM	DRS	SRS	VRS
A	0.000***	0.016*	0.014*	0.018*	0.030*	0.062	0.807	0.006**	0.007**
B	0.006**	0.025*	0.340	0.000***	0.440	0.136	0.044*	0.002**	0.001**
C	0.000***	0.048*	0.587	0.000***	0.016*	0.008**	0.006**	0.000***	0.000***
A × B	0.000***	0.002**	0.381	0.000***	0.028*	0.003**	0.035*	0.000***	0.000***
A × C	0.001**	0.001**	0.280	0.000***	0.221	0.016*	0.131	0.000***	0.000***

注: ***表示试验因素在 $P < 0.001$ 上差异极显著, **表示试验因素在 $P < 0.01$ 上差异极显著, *表示试验因素在 $P < 0.05$ 上差异显著; RP. 生根率; LR. 总根长; LLR. 最大根长; NR. 生根数; MLR. 平均根长; RDM. 根干质量; DRS. 根系直径; SRS. 根系表面积; VRS. 根系体积。下同。

Notes: *** indicated that the experimental factors were extremely significant at the $P < 0.001$ level, ** indicated that the experimental factors were great significant at the $P < 0.01$ level, * indicated that the experimental factors were significant at the $P < 0.05$ level. RP. Rooting percentage; LR. Length of roots; LLR. Length of longest root; NR. Number of roots; MLR. Mean length of roots; RDM. Root dry mass; DRS. Diameter of root system; SRS. Surface of root system; VRS. Volume of root system. The same followed below.

表4 不同水平下降香黄檀扦插繁殖根系发育指标及多重比较结果

Table 4 Multiple comparative and roots growth analysis of different levels on *D. odorifera* cutting propagation

因素 Factors	水平 Levels	根系发育指标Roots growth indices								
		RP/%	LR/cm	LLR/cm	NR/条	MLR/cm	RDM/g	DRS/mm	SRS/cm ²	VRS/cm ³
A	1	83.99 ± 3.62 b	96.26 ± 8.75 c	10.40 ± 0.68 ab	17.39 ± 1.31 c	6.09 ± 0.73 ab	0.02 ± 0.00 a	0.51 ± 0.02 a	14.13 ± 1.40 b	0.25 ± 0.03 bc
	2	84.18 ± 3.14 b	125.00 ± 13.12 ab	11.45 ± 0.66 a	18.31 ± 1.86 bc	7.47 ± 0.73 a	0.04 ± 0.01 a	0.50 ± 0.02 a	18.70 ± 2.41 a	0.35 ± 0.06 a
	3	93.75 ± 1.83 a	130.66 ± 10.78 a	12.15 ± 0.60 a	20.91 ± 1.47 a	6.46 ± 0.56 ab	0.03 ± 0.00 a	0.50 ± 0.02 a	18.85 ± 1.92 a	0.33 ± 0.04 ab
	4	94.34 ± 1.18 a	101.63 ± 9.33 bc	9.44 ± 0.47 b	20.35 ± 0.89 ab	4.96 ± 0.45 b	0.02 ± 0.00 a	0.49 ± 0.02 a	13.98 ± 1.20 b	0.23 ± 0.02 c
B	1	92.19 ± 1.51 a	93.68 ± 9.07 b	10.77 ± 0.70 a	15.34 ± 0.99 b	6.88 ± 0.97 a	0.02 ± 0.00 a	0.46 ± 0.01 b	12.17 ± 1.32 b	0.19 ± 0.02 b
	2	91.60 ± 1.78 a	107.29 ± 12.19 ab	10.69 ± 0.69 a	19.94 ± 1.90 a	5.79 ± 0.60 a	0.03 ± 0.00 a	0.51 ± 0.02 a	16.70 ± 1.97 a	0.31 ± 0.05 a
	3	88.28 ± 3.13 ab	123.81 ± 13.70 a	10.23 ± 0.66 a	20.56 ± 1.30 a	5.78 ± 0.49 a	0.04 ± 0.01 a	0.51 ± 0.02 a	18.67 ± 2.35 a	0.35 ± 0.06 a
	4	84.18 ± 4.05 b	128.76 ± 6.31 a	11.76 ± 0.52 a	21.13 ± 0.99 a	6.53 ± 0.46 a	0.03 ± 0.00 a	0.52 ± 0.01 a	18.19 ± 1.21 a	0.31 ± 0.02 a
C	1	92.78 ± 1.61 ab	108.07 ± 9.08 b	10.86 ± 0.58 a	16.83 ± 1.11 c	7.20 ± 0.73 a	0.02 ± 0.00 b	0.46 ± 0.01 c	14.18 ± 1.38 b	0.22 ± 0.02 b
	2	96.29 ± 0.65 a	106.45 ± 9.58 b	11.00 ± 0.84 a	15.36 ± 1.04 c	7.22 ± 0.72 a	0.02 ± 0.00 b	0.48 ± 0.02 bc	14.65 ± 1.49 b	0.25 ± 0.03 b
	3	88.87 ± 2.23 b	103.87 ± 9.68 b	10.21 ± 0.49 a	19.96 ± 0.81 b	5.14 ± 0.33 b	0.03 ± 0.00 b	0.51 ± 0.02 ab	15.39 ± 1.32 b	0.27 ± 0.03 b
	4	78.32 ± 3.78 c	135.15 ± 14.10 a	11.37 ± 0.66 a	24.81 ± 1.48 a	5.42 ± 0.63 b	0.04 ± 0.01 a	0.54 ± 0.02 a	21.50 ± 2.48 a	0.42 ± 0.06 a

影响生根数、根干质量、根系直径、根系表面积和体积; IAA 浓度与 NAA 浓度交互效应显著 ($P < 0.05$) 影响平均根长和根系直径, 极显著 ($P < 0.01$) 影响总根长、根干质量、生根数、根系表面积和体积; IAA 浓度与浸泡时间交互效应显著 ($P < 0.05$) 影响根干质量, 极显著 ($P < 0.01$) 影响总根长、生根数、根系表面积和体积。对差异显著的各水平进行多重比较, 结果 (表4) 表明: 不同浓度的 IAA 处理中, A₃ 的总根长、最大根长、生根数及根系表面积最大, 且显著大于 A₁ (最大根长除外); 不同浓度的 NAA 处理中, B₄ 的总根长、最大根长、生根数和根系直径最大, 且显著大于 B₁ (最大根长除外); 不同的浸泡时间中, C₄ 的

总根长、最大根长、生根数、根干质量、根系直径、根系表面积和体积最大, 且显著大于 C₁ (最大根长除外)。

极差分析结果 (表5) 表明: 生根数、根干质量、根系直径、根系表面积和体积均是浸泡时间的 R 值最大; 最大根长和平均根长则是 IAA 浓度的 R 值最大; 只有总根长是 NAA 浓度的 R 值最大。总根长、最大根长和生根数的最佳处理组合为 A₃B₄C₄, 根系表面积的最佳处理组合为 A₃B₃C₄, 根干质量和根系体积的最佳处理组合均为 A₂B₃C₄, 平均根长的最佳处理组合为 A₂B₁C₂, 根系直径的最佳处理组合为 A₁B₄C₄ (表5)。

表5 不同因素对降香黄檀扦插繁殖的极差分析

Table 5 Range analysis of different factors on *D. odorifera* cutting propagation

指标 Index	R值 Range value			排序 Rank	最佳处理组合 Optimal level combination
	IAA浓度 Concentration of IAA	NAA浓度 Concentration of NAA	浸泡时间 Soaking time		
LR	34.40	35.08	31.29	B > A > C	A ₃ B ₄ C ₄
LLR	2.70	1.53	1.16	A > B > C	A ₃ B ₄ C ₄
NR	3.53	5.79	9.45	C > B > A	A ₃ B ₄ C ₄
MLR	2.51	1.11	2.08	A > C > B	A ₂ B ₁ C ₂
RDM	0.01	0.01	0.02	C > A=B	A ₂ B ₃ C ₄
DRS	0.02	0.06	0.08	C > B > A	A ₁ B ₄ C ₄
SRS	4.81	6.50	7.32	C > B > A	A ₃ B ₃ C ₄
VRS	0.12	0.16	0.20	C > B > A	A ₂ B ₃ C ₄
NS	0.21	0.41	0.54	C > B > A	A ₂ B ₁ C ₂
LLS	2.76	2.01	1.68	A > B > C	A ₃ B ₂ C ₄
MLS	1.87	1.84	1.98	C > A > B	A ₃ B ₄ C ₄
SDM	0.10	0.04	0.06	A > C > B	A ₃ B ₃ C ₄

注: NS. 新梢数; LLS. 最大新梢长; MLS. 平均新梢长; SDM. 新梢干质量。下同。

Notes: NS. Number of shoots; LLS. Length of longest shoot; MLS. Mean length of shoots; SDM. Shoot dry mass. The same followed below.

3.3 降香黄檀扦插新梢发育特征

方差分析结果(表6)表明: IAA浓度对最大新梢长和新梢干质量影响显著($P < 0.05$); NAA浓度和浸泡时间对所有新梢指标的影响均不显著

($P > 0.05$); IAA浓度与NAA浓度的交互效应和IAA浓度与浸泡时间的交互效应均对最大新梢长、平均新梢长和新梢干质量的影响显著($P < 0.05$)。对差异显著的各水平进行多重比较, 结果(表7)表明: 不同浓度IAA处理中, A₃的最大新梢长和新梢干质量最大, 显著高于A₁和A₄。

表6 不同因素对降香黄檀扦插繁殖的方差分析

Table 6 Variance analysis of different factors on *D. odorifera* cutting propagation

变异来源 Variance source	新梢发育指标 Shoots growth indices			
	NS	LLS	MLS	SDM
A	0.775	0.027*	0.187	0.012*
B	0.351	0.251	0.179	0.557
C	0.135	0.396	0.227	0.260
A × B	0.441	0.014*	0.036*	0.015*
A × C	0.670	0.010*	0.031*	0.025*

对扦插80 d后的新梢发育指标进行极差分析, 结果(表5)表明: 新梢数和平均新梢长是浸泡时间的R值最大; 最大新梢长和新梢干质量是IAA浓度的R值最大。新梢数的最佳处理组合为A₂B₁C₂, 最大新梢长的最佳处理组合为A₃B₂C₄, 平均新梢长的最佳处理组合为A₃B₄C₄, 新梢干质量的最佳处理组合为A₃B₃C₄(表5)。

表7 不同水平下降香黄檀扦插繁殖新梢发育指标及多重比较结果

Table 7 Multiple comparative and shoots growth analysis of different levels on *D. odorifera* cutting propagation

因素 Factors	水平 Levels	新梢发育指标 Shoots growth indices			
		NS/个	LLS/cm	MLS/cm	SDM/g
A	1	2.40 ± 0.16 a	15.77 ± 0.75 b	12.81 ± 0.68 a	0.31 ± 0.02 bc
	2	2.61 ± 0.14 a	17.09 ± 0.71 ab	13.77 ± 0.62 a	0.35 ± 0.02 ab
	3	2.59 ± 0.18 a	18.15 ± 0.94 a	14.29 ± 1.00 a	0.38 ± 0.03 a
	4	2.59 ± 0.16 a	15.39 ± 0.69 b	12.42 ± 0.57 a	0.28 ± 0.02 c
B	1	2.78 ± 0.13 a	15.59 ± 0.54 a	12.05 ± 0.49 a	0.31 ± 0.02 a
	2	2.50 ± 0.18 a	17.60 ± 0.79 a	13.87 ± 0.69 a	0.34 ± 0.03 a
	3	2.55 ± 0.14 a	16.63 ± 0.93 a	13.49 ± 0.81 a	0.35 ± 0.02 a
	4	2.36 ± 0.19 a	16.59 ± 0.91 a	13.89 ± 0.89 a	0.32 ± 0.03 a
C	1	2.51 ± 0.15 a	15.78 ± 0.64 a	12.32 ± 0.58 a	0.31 ± 0.02 a
	2	2.86 ± 0.19 a	16.42 ± 1.01 a	13.21 ± 1.00 a	0.32 ± 0.03 a
	3	2.49 ± 0.14 a	16.74 ± 0.47 a	13.45 ± 0.46 a	0.32 ± 0.02 a
	4	2.33 ± 0.13 a	17.46 ± 1.00 a	14.31 ± 0.80 a	0.37 ± 0.04 a

3.4 降香黄檀扦插繁殖的主成分分析及隶属函数值综合评价

对降香黄檀扦插后的根系和新梢发育各指标进行主成分分析, 结果 (表 8) 表明: 根据累积贡献率 $\geq 85\%$ 确定本试验的主成分为 5 个, 贡献率分别为 50.991%、16.116%、11.065%、5.748% 和 4.870%, 累积贡献率为 88.790%, 因此, 可选取 5 个主成分来反映降香黄檀的扦插繁殖效果。第 1 主成分为最重要的主成分, 特征向量中荷载较高的为根系表面积、根系体积和总根长; 第 2 主成分荷载较高的是平均根长、新梢数和最大根长。各主成分的表达式为:

$$F_1 = 0.21X_1 + 0.36X_2 + 0.27X_3 + 0.17X_4 + 0.32X_5 + 0.22X_6 + 0.38X_7 + 0.37X_8 - 0.10X_9 + 0.30X_{10} + 0.29X_{11} + 0.33X_{12}$$

$$F_2 = -0.49X_1 + 0.35X_3 + 0.54X_4 - 0.29X_6 - 0.10X_8 + 0.42X_9 - 0.10X_{11} + 0.23X_{12}$$

$$F_3 = 0.18X_1 + 0.14X_2 + 0.16X_5 + 0.34X_6 + 0.19X_7 + 0.21X_8 + 0.48X_9 - 0.46X_{10} - 0.54X_{11}$$

$$F_4 = -0.23X_1 - 0.20X_2 - 0.39X_3 - 0.39X_4 + 0.20X_5 + 0.14X_6 + 0.56X_9 + 0.37X_{10} + 0.18X_{11} +$$

表 8 降香黄檀扦插繁殖各指标的主成分分析

Table 8 Principal component analysis of cutting propagation indexes of *D. odorifera*

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Accumulative contribution rate/%
PC1	6.119	50.991	50.991
PC2	1.934	16.116	67.107
PC3	1.328	11.065	78.172
PC4	0.690	5.748	83.920
PC5	0.584	4.870	88.790

$$0.23X_{12}$$

$$F_5 = -0.39X_1 - 0.20X_3 + 0.39X_4 - 0.17X_5 + 0.72X_6 - 0.14X_9 + 0.14X_{11} - 0.21X_{12}$$

式中: X_1 为生根数, X_2 为总根长, X_3 为最大根长, X_4 为平均根长, X_5 为根干质量, X_6 为根系直径, X_7 为根系表面积, X_8 为根系体积, X_9 为新梢数, X_{10} 为最大新稍长, X_{11} 为平均新稍长, X_{12} 为新梢干质量。

采用模糊数学中的隶属函数法, 选取与降香黄檀扦插生根相关的 5 个主成分, 对 16 个扦插处理的根系和新梢发育指标进行隶属函数值 (U) 评

表 9 降香黄檀扦插繁殖综合评价

Table 9 Comprehensive evaluation of *D. odorifera* cuttings propagation

处理 Treatment	生根率隶属函数值 Subordinate function values of RP	根系和新梢发育指标隶属函数值 Subordinate function values of root and shoot development						扦插繁殖综合评价 Comprehensive evaluation of cuttings propagation	排名 Range
		U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U		
1	0.60	0.13	0.78	0.31	0.74	0.84	0.35	0.47	13
2	0.98	0.06	0.61	0.00	1.00	0.76	0.25	0.61	5
3	0.76	0.19	0.37	0.25	0.79	0.58	0.29	0.53	11
4	0.00	0.24	0.15	0.45	0.63	0.27	0.28	0.14	16
5	0.95	0.22	1.00	0.30	0.68	1.00	0.44	0.70	3
6	0.83	0.00	0.67	0.10	0.94	0.83	0.24	0.54	10
7	0.17	1.00	0.12	1.00	0.00	0.27	0.74	0.45	14
8	0.40	0.36	0.34	0.50	0.57	0.39	0.39	0.40	15
9	0.95	0.10	0.40	0.13	0.90	0.53	0.23	0.59	7
10	0.64	0.76	0.00	0.81	0.20	0.00	0.55	0.60	6
11	0.98	0.32	0.52	0.46	0.59	0.56	0.40	0.69	4
12	0.95	0.62	0.67	0.60	0.32	0.72	0.61	0.78	1
13	0.83	0.01	0.34	0.18	0.94	0.48	0.17	0.50	12
14	0.81	0.26	0.17	0.35	0.72	0.38	0.29	0.55	9
15	0.95	0.01	0.30	0.30	0.90	0.47	0.18	0.57	8
16	1.00	0.47	0.33	0.55	0.43	0.43	0.45	0.72	2

价, U 值越大, 表明扦插后的根系和新梢发育越好 (表9): $U = 0.574U_1 + 0.181U_2 + 0.125U_3 + 0.065U_4 + 0.055U_5$, 式中, $U_1 \sim U_5$ 分别表示 5 个主成分的隶属函数值。最后对降香黄檀扦插繁殖效果 (生根率、根系和新梢发育) 进行综合评价, 生根率的权重占 50%, 其他指标的权重共占 50%, 结果 (表9) 表明: 16 个处理中, 扦插繁殖效果排名前 25% 的处理依次为: 处理 12 (500 mg·L⁻¹ IAA+750 mg·L⁻¹ NAA+1 min)、处理 16 (750 mg·L⁻¹ IAA+750 mg·L⁻¹ NAA+10 s)、处理 5 (250 mg·L⁻¹ IAA+1 min) 和处理 11 (500 mg·L⁻¹ IAA+500 mg·L⁻¹ NAA+10 s), 生根率分别为 96.10%、97.66%、96.10% 和 96.88%。

4 讨论

受树种特性影响, 不同树种的最适生长调节剂种类、浓度及处理时间差异较大, 如 1 000 mg·L⁻¹ NAA 能显著提高红厚壳 (*Calophyllum inophyllum* L.)^[18] 和红花玉兰 (*Magnolia wufengensis* L.Y.Ma et L.R.Wang)^[16] 等树种的生根率, 而 300 mg·kg⁻¹ NAA 则显著抑制欧洲云杉 (*Picea abies* (L.) Karst.)^[19] 扦插生根。本研究发现, 750 mg·L⁻¹ NAA 不利于降香黄檀扦插生根; 而陈彧等^[20] 发现, 50、150、500 mg·L⁻¹ NAA 均能促进降香黄檀扦插生根, 表明低浓度的 NAA 对降香黄檀扦插生根起促进作用, 而高浓度表现为抑制作用, 这与胡劭鸿等^[19] 对欧洲云杉和徐振国等^[21] 对麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) 的研究结果类似。

IAA 促进插穗生根可能是因为它增加了根原基形成部位的营养物质含量, 提高了酶活性, 从而促进细胞伸长和生长^[22-23]。本研究中, IAA 显著提高了降香黄檀的生根率, 在试验浓度范围内, 生根率随着 IAA 浓度的升高逐渐增加, 这与张玉臣等^[24] 和王媛媛等^[25] 的研究结果类似。根系 (除根系直径外) 和新梢发育指标随 IAA 浓度的升高呈上升-下降的变化趋势, 这与 Khudhur 等^[26] 对印度黄檀 (*D. sissoo* Roxb.) 的研究结果相似, 表明同一属的植物对同种生长调节剂可能具有相同或相似的敏感性。

不同生长调节剂对不同树种发挥作用的最佳处理时间往往不同。周朝梅^[27] 发现, 在 0~60 min 内, 华山松 (*Pinus armandii* Franch.) 插穗的生根率随 ABT₁ 浸泡时间的延长逐渐升高; 郭其强

等^[28] 发现, 低浓度的 ABT₁ 长时间浸泡促进藏柏 (*Cupressus torulosa* D. Don) 和巨柏 (*C. gigantea* Cheng et L. K. Fu) 的插穗成活率, 而高浓度 ABT₁ 短时间浸泡则有抑制作用。本研究中, 浸泡时间对生根率和生根数影响极显著, 对总根长和平均根长影响显著, 这与陈丽英等^[29] 的研究结果一致, 表明浸泡时间与插穗生根和生长有密切关系。此外, 降香黄檀生根率随浸泡时间的延长而逐渐降低, 这可能是 IAA 和 NAA 属于低毒性生长调节剂, 浸泡时间过长易对插穗造成伤害, 从而抑制生根^[30-31]。

本研究中, IAA 浓度与浸泡时间交互效应极显著影响生根率, 而生长调节剂浓度与浸泡时间交互效应对北美蓝云杉 (*Picea pungens*)^[32] 和鹿角杜鹃 (*Rhododendron latoucheae* Franch.)^[33] 生根率的影响差异不显著, 这很可能是由于不同树种对不同生长调节剂敏感度与利用效率不同所致。不同浓度 IAA 和 NAA 混合处理为总根长、最大根长、生根数、根干质量、根系表面积与体积、最大新梢长、平均新梢长和干质量等指标的最佳处理, 表明不同种类的生长调节剂以适宜的浓度进行混合使用比单一生长调节剂更有助于促进插穗生根或提高根长、根粗等根系指标, 这点在锦绣杜鹃 (*R. pulchrum* cv. Sweet)^[34] 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)^[35] 等树种出现类似规律。

本研究发现, 在 IAA 和 NAA 混合诱导下, 降香黄檀兼具皮部生根、愈伤组织生根和混合生根 3 种类型, 表明愈伤组织和皮部均可诱导生根, 这与侧柏 (*Platycladus orientalis* (Linn.))^[36] 和千年桐 (*Vernicia montana* Lour.)^[37] 等树种的生根类型一致, 但绝大部分为皮部生根型和混合生根型, 仅通过愈伤组织生根的比例极低, 表明降香黄檀插穗不定根原基主要起源于皮层, 具体位置有待进一步的切片解剖才能证实。

5 结论

(1) 2 年生降香黄檀扦插 10 d 后开始萌芽, 20 d 左右形成不定根, 属于混合生根型树种。

(2) IAA 浓度、NAA 浓度、浸泡时间及 IAA 浓度与 NAA 浓度的交互效应、IAA 浓度与浸泡时间的交互效应均显著影响降香黄檀的扦插生根。IAA 有助于提高扦插生根率, NAA 有助于提

升根系发育质量。

(3) 综合考虑插穗整体生长发育状况, 建议在生产实践中采用 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IAA+ $750 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA 浸泡插穗基部 1 min、 $750 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IAA+ $750 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA 浸泡插穗基部 10 s、 $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IAA 浸泡插穗基部 1 min 和 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IAA+ $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ NAA 浸泡插穗基部 10 s 的处理组合开展扦插繁殖。

参考文献:

- [1] Cui Z Y, Li X F, Xu D P, *et al.* Changes in non-structural carbohydrates, wood properties and essential oil during chemically-induced heartwood formation in *Dalbergia odorifera* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 1161.
- [2] Yue X H, Miao L F, Yang F, *et al.* Morphological and physiological responses of *Dalbergia odorifera* T. Chen seedlings to different culture substances [J]. *PLoS ONE*, 2020, 15(5): e0232051.
- [3] Zhao X S, Wang C H, Meng H, *et al.* *Dalbergia odorifera*: A review of its traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and quality control [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2020, 248: 112328.
- [4] 麻永红, 贾瑞丰, 杨曾奖, 等. 6年生不同家系降香黄檀早期生长评价 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(8): 42-47.
- [5] Sun Y, Gao M, Kang S, *et al.* Molecular mechanism underlying mechanical wounding-induced flavonoid accumulation in *Dalbergia odorifera* T. Chen, an endangered tree that produces chinese rosewood [J]. *Genes*, 2020, 11(5): 478.
- [6] 李彤彤, 李冠君, 李家宁. GC-MS分析比较琼产降香黄檀不同部位材化学成分 [J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(5): 172-178.
- [7] Zhao X S, Zhang S H, Liu D, *et al.* Analysis of flavonoids in *Dalbergia odorifera* by ultra-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry [J]. *Molecules*, 2020, 25(2): 389.
- [8] 黄建红. 川南地区引种降香黄檀造林试验初报 [J]. *四川林业科技*, 2018, 39(2): 37-39, 107.
- [9] Rana R S, Sood K K. Effect of cutting diameter and hormonal application on the propagation of *Ficus roxburghii* Wall. through branch cuttings [J]. *Annals of Forest Research*, 2012, 55(1): 69-84.
- [10] 季孔庶. 杂交鹅掌楸的无性繁殖 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2005, 29(1): 83-87.
- [11] 秦爱丽, 简尊吉, 马凡强, 等. 母树年龄、生长调节剂、容器与基质对崖柏嫩枝扦插的影响 [J]. *林业科学*, 2018, 54(7): 40-50.
- [12] 施福军, 俞建妹, 王凌晖. 降香黄檀扦插繁殖技术研究 [J]. *广东农业科学*, 2011, 38(1): 50-52.
- [13] 钟 栋, 杨 静, 何素芬, 等. 降香黄檀硬枝扦插育苗试验研究 [J]. *农业开发与装备*, 2018(3): 120, 116.
- [14] 林俊平, 蔡泉星. 降香黄檀扦插技术研究 [J]. *山东林业科技*, 2017, 47(1): 28-32.
- [15] 孔雨光, 燕丽萍, 吴德军, 等. 基质和生长调节剂对紫椴嫩枝扦插的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(6): 25-33.
- [16] 王 艺, 贾忠奎, 马履一, 等. 4种植物生长调节剂对红花玉兰嫩枝扦插生根的影响 [J]. *林业科学*, 2019, 55(7): 35-45.
- [17] 张 琳, 程亚男, 张 欣, 等. 两种植物生长调节剂对木槿插穗生根的影响 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2020: 1-9.
- [18] 张阳锋, 任 征, 林明平, 等. 不同激素种类及浓度对红厚壳嫩枝扦插育苗的影响 [J]. *热带作物学报*, 2020, 41(11): 2183-2189.
- [19] 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.
- [20] 陈 彧, 杨众养, 方发之, 等. 海南特类材树种扦插育苗技术研究 [J]. *热带林业*, 2014, 42(1): 4-6.
- [21] 徐振国, 黄大勇, 梁晓静, 等. 基质、激素种类和浓度及其交互作用对麻竹扦插生长的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2019, 39(2): 47-52.
- [22] Haissig B E. Activity of some glycolytic and pentose phosphate pathway enzymes during the development of adventitious roots [J]. *Physiologia Plantarum*, 1982, 55(3): 261-272.
- [23] 路 斌, 缴丽莉, 李京涛, 等. 生长调节剂对金叶白蜡扦插生根及酶活性的影响 [J]. *林业与生态科学*, 2018, 33(1): 93-97.
- [24] 张玉臣, 周再知, 梁坤南, 等. 不同植物生长调节剂对白木香扦插生根的影响 [J]. *林业科学研究*, 2010, 23(2): 132-136.
- [25] 王媛媛, 李永霞, 马和平, 等. IAA不同处理方法对西藏不同地区银白杨扦插生根及生长的影响 [J]. *高原农业*, 2018, 2(4): 419-426.
- [26] Khudhur S A, Omar T J. Effect of NAA and IAA on stem cuttings of *Dalbergia Sissoo* (Roxb) [J]. *Journal of Biology and Life Science*, 2015, 6(2): 208-220.
- [27] 周朝梅. 不同植物生长调节剂对华山松扦插生根的影响 [J]. *防护林科技*, 2020(3): 19-22.
- [28] 郭其强, 李慧娥, 张艳福, 等. 不同浓度ABT和浸泡时间对西藏2种柏树扦插生根的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(7): 14-18.
- [29] 陈丽英, 祁树安, 王开芳, 等. 激素种类、浓度及浸泡时间对红榉扦插育苗的影响 [J]. *山东农业科学*, 2018, 50(8): 72-76.
- [30] 刘禹廷, 高君亮, 黄雅茹, 等. 不同生根粉对沙棘嫩枝扦插生根的影响 [J]. *温带林业研究*, 2020, 3(2): 38-42, 56.
- [31] 陈来贺, 王 妍, 杨志坚, 等. 不同植物生长调节剂对闽楠扦插的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2020, 48(11): 1-9.
- [32] 赵 丽, 呼木吉勒图, 李佳陶, 等. 影响北美蓝云杉扦插育苗因素研究 [J]. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2020, 41(2): 24-29.
- [33] 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.
- [34] Hou P C, Lin K H, Huang Y J, *et al.* Evaluation of vegetation indices and plant growth regulator use on the rooting of azalea cuttings [J]. *Horticultura Brasileira*, 2020, 38(2): 153-159.
- [35] Li S B, Huang P, Ding G C, *et al.* Optimization of hormone combinations for root growth and bud germination in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) clone leaf cuttings [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 5046.
- [36] 刘国彬, 赵今哲, 张玉平, 等. 侧柏扦插不定根发生模式研究 [J]. *西北植物学报*, 2020, 40(6): 987-996.
- [37] 周幼成, 钟秋平, 李清平, 等. 千年桐半木质化春梢扦插繁殖及生根机理研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(8): 25-36.

Influence of IAA and NAA on Cutting Propagation of *Dalbergia odorifera*

XU Shan-shan, LIU Xiao-jin, XU Da-ping, HONG Zhou, GUO Jun-yu, YANG Zeng-jiang

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] To identify the influence of IAA and NAA on the rooting and shooting ability of *Dalbergia odorifera*, and provide theoretical and technical support for the rapid propagation and cultivation of *D. odorifera*. [Method] Semi-lignified branches from 2-year-old *D. odorifera* seedlings were collected as the propagation materials. An orthogonal experiment was designed according to the concentrations of IAA and NAA and the soaking time. The effects of 16 treatments on rooting and shooting parameters of *D. odorifera* were investigated 80 days after cutting, and the subordinate function values method and principal component analysis were applied to comprehensively evaluate the rooting effects. [Result] The concentrations of IAA and NAA, the soaking time, the interaction between IAA and NAA concentration, and the interactions between IAA concentration and soaking time showed great impacts on rooting percentage, and statistical differences were also observed in terms of length of roots, amount of roots, surface and volume of root system. Under certain concentration range, the rooting percentage increased as the concentration of IAA increased, while decreased as the concentration of NAA increased. The principal component analysis and subordinate function values were used to comprehensively evaluated the cutting propagation performance. It is showed that the corresponding rooting percentages of the top 4 treatments were 96.10%, 97.66%, 96.10% and 96.88%, respectively. [Conclusion] Considering the rooting percentage, root and shoot development synthetically, it is suggested to apply 500 mg·L⁻¹ IAA + 750 mg·L⁻¹ NAA + 1-minute soaking or 750 mg·L⁻¹ IAA + 750 mg·L⁻¹ NAA + 10-second soaking or 250 mg·L⁻¹ IAA + 1-minute soaking or 500 mg·L⁻¹ IAA + 500 mg·L⁻¹ NAA + 10-second soaking in production practice to carry out cutting propagation of *D. odorifera*.

Keywords: *Dalbergia odorifera*; cutting propagation; plant growth regulator; rooting percentage; roots and shoots development

(责任编辑: 徐玉秀)