

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.02.018

王书胜, 李晓花, 张乐华, 等. 激素种类与浓度对鹿角杜鹃扦插繁殖的影响及其评价[J]. 广西植物, 2014, 34(2):227-234

Wang SS, Li XH, Zhang LH, et al. Effects of hormone types and concentrations on cutting propagation of *Rhododendron latoucheae* and its evaluation[J]. *Guihaia*, 2014, 34(2):227-234

激素种类与浓度对鹿角杜鹃扦插繁殖的影响及其评价

王书胜^{1,2}, 李晓花¹, 张乐华^{1,2*}, 王兆红¹, 单文¹, 王凯红¹

(1. 江西省、中国科学院庐山植物园, 江西 庐山 332900; 2. 江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室, 江西 南昌 330022)

摘要: 采用 5 种激素 4 个浓度的两因素完全随机区组设计, 研究各因素及其组合对鹿角杜鹃扦插繁殖的 7 个插穗生根性状和 5 个扦插苗地上生长性状的影响, 并运用主成分分析法对各处理组合的育苗效果进行了综合评价。结果表明: 2 个主因素对鹿角杜鹃扦插繁殖的大部分性状有显著影响, 且表现为激素种类的影响大于浓度水平; 5 种激素中, GA₃ 处理在愈伤率、腐烂率、生根率、老叶留存率与留存数、新梢率等性状上表现最佳, 而 IBA 处理则在不定根数、最长不定根长、总根数、根系直径及新梢数、新梢长等性状上表现最优, 两者为其扦插育苗的理想生根剂, 其次为 IAA 处理, NAA 和 6-BA 处理效果较差、不宜用于其扦插育苗; 4 个浓度中, 愈伤率、腐烂率及老叶留存率以低浓度(B₁)最佳, 随着浓度升高效果下降; 其它 9 个性状则以中浓度(B₃)最优, 高浓度(B₄)处理各育苗性状下降; 激素种类×浓度交互效应对总根数有极显著影响, 对愈伤率、根系直径有显著影响, 最佳浓度因激素种类而异。主成分综合评价表明, 50 mg·L⁻¹ GA₃ 处理为最佳组合, 其次为 200、100 mg·L⁻¹ IBA 处理, 可用于鹿角杜鹃产业化育苗。

关键词: 鹿角杜鹃; 扦插繁殖; 激素种类与浓度; 育苗性状; 主成分分析**中图分类号:** S615 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)02-0227-08

Effects of hormone types and concentrations on cutting propagation of *Rhododendron latoucheae* and its evaluation

WANG Shu-Sheng^{1,2}, LI Xiao-Hua¹, ZHANG Le-Hua^{1,2*},
WANG Zhao-Hong¹, SHAN Wen¹, WANG Kai-Hong¹

(1. Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province and Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, China; 2. Jiangxi Provincial Key Lab of Protection and Utilization of Subtropical Plant Resources, Nanchang 330022, China)

Abstract: Using cuttings of annual lignified branches of *Rhododendron latoucheae* as the material and using sand and soil (3 : 1, V/V) as the substrate, the effects of hormone types and concentrations and their combinations on 7 rooting traits and 5 above ground growth traits of *R. latoucheae* cutting propagation were studied, adopting a completely randomized design (CRD) with two factor of 5 hormone types and 4 concentration levels. And on this basis, the effects of different treatments combinations on cutting propagation were comprehensively evaluated by principal component analysis. The results showed that: Two main factors had significant influences on most cutting propagation traits, and

收稿日期: 2013-10-30 修回日期: 2013-12-03

基金项目: 江西省学科带头人培养计划项目(2010DD00500); 国家国际科技合作项目(2007DFA31410, 2014DFA31720); 江西省国际科技合作项目(2007BN18700); 江西省星火计划项目(2008CX06500)。

作者简介: 王书胜(1984-), 男, 湖北黄梅人, 在读硕士, 助理研究员, 主要从事杜鹃花属植物繁殖技术研究, (E-mail) wshusheng2020@163.com。

*通讯作者: 张乐华, 研究员, 主要从事杜鹃花属植物的引种驯化及保育技术研究, (E-mail) lehuaz@vip.sohu.com。

hormone types had greater effect than concentration levels. Among 5 hormone types, GA₃ had the best effect on callusing rate, rotting rate, rooting rate, retention rate of old leaf, retention no of old leaf, and new shoot rate. And IBA had the best effect on number of adventitious root, length of longest adventitious root, number of total roots, diameter of root system, number of new shoot, and length of new shoot. Both of GA₃ and IBA were ideal hormones for *R. latoucheae* cutting propagation, followed by IAA, NAA and 6-BA had worse effect on propagation traits which should not be used for *R. latoucheae* cutting propagation. Among 4 concentration levels, low concentration (B₁) had the best effect for callusing rate, rotting rate and retention rate of old leaf, as the concentration became higher, it was less effective. Middle concentration (B₃) had the best effect for the other 9 propagation traits, and these traits decreased when treated with high concentration (B₄). The interaction effect of hormone types and concentrations had very significant influence on number of total roots, and it had significant influence on callusing rate and diameter of root system, and the best concentration level depended on hormone type. The results of comprehensive evaluation using principal component analysis showed that 50 mg · L⁻¹ GA₃ was the best treatment combination, followed by 200 mg · L⁻¹ IBA and 100 mg · L⁻¹ IBA, which can be used in industrialized propagation of *R. latoucheae* cutting.

Key words: *Rhododendron latoucheae*; cutting propagation; hormone types and concentrations; propagation traits; principle component analysis

鹿角杜鹃 (*Rhododendron latoucheae*) 隶属杜鹃花属 (*Rhododendron*) 马银花亚属 (subg. *Azaleastrum*), 广布于我国长江中下游地区海拔 1 000~2 000 m 的杂木林内 (胡琳贞等, 1994)。该物种分枝多、耐修剪、株型好, 花期长、叶片大、四季常绿, 且分布广、生态适应性强, 具有极高的观赏和园林应用价值, 也是重要的药用和水土保持植物。目前, 鹿角杜鹃相关研究多集中于化学成分 (Fan *et al.*, 2001)、种群结构 (高俊香等, 2009) 及光合生理 (廖菊阳等, 2011) 等研究, 但繁殖技术研究鲜见报道 (向光锋等, 2009)。

扦插繁殖具有遗传性状稳定、苗木大小均匀、开花结实早及设施简单、成本低、易推广等优点, 已被广泛应用于小叶落叶及半常绿类杜鹃产业化育苗 (Lone *et al.*, 2010)。但受遗传因子制约, 原产中高山山地的大叶常绿类杜鹃扦插生根困难 (Ferriani *et al.*, 2010), 严重制约着其产业化开发与园林应用。为有效挖掘利用我国丰富的高山杜鹃资源, 本研究以鹿角杜鹃当年生木质化硬枝为插穗, 采用 5 种激素与 4 个浓度系统开展了其扦插繁殖试验, 并运用主成分分析法对各处理组合的育苗效果进行了综合评价, 以期筛选出最佳激素种类与浓度组合, 服务于我国常绿类杜鹃的产业化开发及城乡生态环境建设。

1 材料与方 法

1.1 插穗采集与扦插条件

鹿角杜鹃插穗取自江西省、中国科学院庐山植

物园, 为树龄 25 a 左右的驯化成年株。选取植株冠层、大小一致、无病虫害、无花苞 (带芽苞) 的当年生木质化枝条制作插穗 (长 12~15 cm), 剪去基部叶片留顶部 3~4 叶, 依据叶片大小剪去 1/3~2/3, 以减少水分蒸发, 插穗基部采用单面愈伤处理。

试验于 2010 年 10 月下旬在庐山植物园繁殖温室的扦插苗床内进行, 扦插基质为粗河沙与腐殖土 (3:1, V/V) 混合物。插床底部安装地热线, 地温设定为 20 °C; 上层加设弧形塑料棚, 棚内配备自动喷雾设施, 棚外设置可移动的遮阳网。插穗处理后立即扦插, 株行距为 8 cm × 8 cm, 扦插深度 6~7 cm, 插后喷透水 1 次。生根过程中采用自动间歇喷雾系统补水增湿: 白天 2 min/2 h、晚上 2 min/4 h, 1 个月后逐渐减少喷水次数。试验期间及时清除苗床落叶并每隔 14 d 喷 500 倍多菌灵 1 次, 以减少污染; 采用塑料棚两侧通风及棚外遮阳网控节棚内温度及光照强度, 每天观察记录插床地温及环境温湿度 2 次 (9:30 和 16:30)。受天气影响, 插床前 3 个月的实测日平均地温变幅为 18.7~22.0 °C, 气温变幅为 12.3~20.2 °C、相对湿度为 82.8%~98.6%。

1.2 试验设计

采用两因素完全随机区组设计。A 因素 (激素种类) 设 5 个水平: A₁ 为赤霉素 (GA₃), A₂ 为吲哚丁酸 (IBA), A₃ 为吲哚乙酸 (IAA)、A₄ 为萘乙酸 (NAA), A₅ 为 6-苄 (氨) 基嘌呤 (6-BA)。所有激素购自北京索莱宝科技有限公司。B 因素 (激素浓度) 设 4 个水平: 前 4 种激素分别为 50 mg · L⁻¹ (B₁)、100 mg · L⁻¹ (B₂)、200 mg · L⁻¹ (B₃)、400 mg · L⁻¹

(B₁); 6-BA 分别为 10、20、50、100 mg · L⁻¹; 自来水对照(CK)。各处理为插穗基部(1.5~2 cm)浸泡 16 h。共 21 个处理组合, 每组合 3 次重复, 每重复 20 个(对照 30 个)插穗。

1.3 性状调查与统计分析

第 2 年 4 月结合苗木移栽将扦插苗取出, 测量统计插穗愈伤组织诱导率、腐烂率、生根率、不定根数、最长不定根长、总根数、根系直径 7 个插穗生根性状和老叶留存率、老叶留存数、新梢率、新梢数、新梢长 5 个扦插苗地上生长性状。运用 SPSS16.0 软件对所有指标进行方差分析和 LSD 多重比较, 以检验各因素及其交互效应、各处理组合对育苗性状的影响, 并运用主成分分析法(张力, 2008)对各处理组合的育苗效果进行综合评价。由于各性状数值不遵

从正态分布, 方差分析前参照张力(2008)、Swamy 等(2002)的方法对所有百分率性状进行反正弦转换($\sin^{-1}\sqrt{P}$), 数量指标做平方根转换($\sqrt{x+1}$)。

2 结果与分析

2.1 激素种类与浓度对鹿角杜鹃插穗生根性状的影响

2.1.1 两因素及其交互作用的方差分析 7 个插穗生根性状方差分析结果表明(表 1), 2 个主因素对鹿角杜鹃插穗生根性状影响较大, 除激素种类对不定根数、激素浓度对生根率的影响未达到显著水平外, 其它性状均达到极显著水平; 两因素交互作用(A × B)的影响相对较小, 仅对总根数的影响达到极显著水平、对愈伤率与根系直径影响达到显著水平。

表 1 激素种类与浓度对插穗生根性状的影响及方差分析结果

Table 1 Effects of hormone types and concentrations on rooting traits of cutting and the results of variance analysis

因素 Factors	水平 Levels	愈伤率 Callusing rate (%)	腐烂率 Rotting rate (%)	生根率 Rooting rate (%)	不定根数 No. of adventitious root/rooted cutting	最长不定根长 Length of longest adventitious root (cm)	总根数 No. of total roots/ rooted cutting	根系直径 Diameter of root system (cm)
A	A ₁ (GA ₃)	70.417aA	25.000cC	55.000aA	10.264abA	4.395abAB	72.663bB	2.501bcB
	A ₂ (IBA)	46.667bB	28.333cC	47.083aA	12.011aA	5.763aA	123.081aA	4.301aA
	A ₃ (IAA)	25.000cC	31.250cC	27.500bB	7.321bA	3.928bcAB	65.282bB	2.921bAB
	A ₄ (NAA)	9.583dD	90.416aA	6.667cC	9.958abA	3.244cdBC	57.883bB	2.578bcB
	A ₅ (6-BA)	11.250dD	80.000bB	8.750cC	10.594abA	2.448dC	69.500bB	1.910cB
B	B ₁ (50) ¹⁾	43.333aA	45.333bB	28.667abA	6.534bB	2.925bB	46.220cB	1.946cB
	B ₂ (100)	35.667bAB	48.333bB	30.333abA	9.631abAB	3.757bAB	70.671bAB	2.833bAB
	B ₃ (200)	29.667bB	51.667bAB	32.333aA	13.295aA	5.328aA	107.275aA	3.728aA
	B ₄ (400)	21.667cC	58.667aA	24.667bA	10.658aAB	3.814bB	93.719abA	2.861bcAB
F 值 F value	A	88.467**	92.289**	44.378**	1.552	8.153**	6.881**	7.244**
	B	21.150**	4.729**	2.410	4.746**	6.352**	6.787**	6.212**
	A×B	2.140*	1.074	0.669	1.995	1.961	3.702**	2.587*

注: A=激素种类, B=激素浓度(¹⁾ 6-BA 浓度分别为 10、20、50、100 mg · L⁻¹); 同列不同小写字母表示同一因素不同水平间在 P<0.05 水平上差异显著, 不同大写字母表示同一因素不同水平间在 P<0.01 水平上差异显著; * 表示在 0.05 水平上显著, ** 表示在 0.01 水平上显著。表 3 同。

Note: A=Hormone types, B=Hormone concentrations (¹⁾ Concentrations of 6-BA are 10, 20, 50 and 100 mg · L⁻¹, respectively). Different small letters in the same column indicate significant different at P<0.05, among levels in the same factors; Different capital letters indicate significant different at P<0.01. * Difference is significant at 0.05 level, ** Difference is significant at 0.01 level. Table 3 is the same.

2.1.2 激素种类影响的多重比较 5 种激素多重比较表明(表 1), 愈伤组织诱导率以 GA₃ 处理表现最佳, 极显著优于其它处理, 其次为 IBA 处理, NAA 与 6-BA 极显著低于其它激素; 腐烂率以 GA₃、IBA 及 IAA 处理较低, 三者间无显著差异但极显著低于 NAA、6-BA 处理; 生根率在 5 种激素间的表现与愈伤率一致, GA₃、IBA 处理最高, 两者间差异不显著但极显著高于其它激素, 其次为 IAA 处理, NAA 与 6-BA 处理极显著低于其它激素; 不定根数仅 IBA 处理显著多于 IAA, 其它激素间无显著差异; 最长不定根长以 IBA 处理最长, 其次为 GA₃ 和 IAA 处理, 6-BA 和 NAA 极显著短于 IBA 处理; 总根数以

IBA 处理最多, 极显著优于其它激素, 其它激素间无显著差异; 根系直径以 IBA 处理最大, 其次为 IAA 处理, GA₃、NAA 及 6-BA 极显著小于 IBA 处理。可见, 在参试的 5 种激素中 GA₃ 处理有利于插穗的愈伤组织诱导与生根, 并降低腐烂率, 而 IBA 则有利于促进根系生长。

2.1.3 激素浓度影响的多重比较 由表 1 可知, 不同生根性状对激素浓度响应差异较大。愈伤率以低浓度(B₁)处理最佳并随着浓度升高而显著下降, B₄ 处理显著低于其它浓度; 腐烂率则随着浓度升高而升高, B₁ 处理显著高于其它浓度; 生根率、不定根数与最长不定根长、总根数、根系直径 5 个生根性状变化

趋势一致,均表现为 $B_1 \sim B_3$ 时随着浓度升高而增大, B_4 处理效果下降,但各性状在不同浓度间的显著性水平存在差异。表明,低浓度(B_1)处理有利于愈伤组织诱导并减少腐烂,而中浓度(B_3)则有利于促进插穗生根和根系生长。

2.1.4 各处理组合影响的多重比较 21 个处理组合多重比较表明(表 2),7 个生根性状在各处理组合间存在显著差异。愈伤率以 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ GA}_3$ 处理最高,其次为 $200, 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ GA}_3$; 腐烂率以 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ IAA}$ 处理最低(仅 18.333%),其次为 $50, 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ IBA}$; 生根率以 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ GA}_3$ 处理最高(达 63.333%),其次为 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ GA}_3$ 处理, $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ IBA}$ 生根率也达 53.333% ; 不定根数以 50

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} 6\text{-BA}$ 处理最多,其次为 $200, 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NAA}$ 与 $400, 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ IBA}$ 处理; 最长不定根长、总根数、根系直径均以 $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ IBA}$ 处理最大,其次为 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ IBA}$ 。 $50, 400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NAA 及 $10, 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 6-BA 处理大部分生根性状表现极差。从表 2 还可以看出,在同一个生根性状中,不同的激素种类其最适浓度水平存在较大差异,如生根效果较好的 GA_3 和 IBA 中, IBA 处理在不定根数、最长不定根长、总根数、根系直径 4 个根系生长性状上均表现为随着浓度升高而增大,而 GA_3 则以 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理最佳,随着浓度升高反而有所下降,也进一步说明激素种类与浓度间存在交互效应。

表 2 激素种类与浓度组合对插穗生根性状的影响及 LSD 多重比较结果

Table 2 Effects of combinations of hormone types and concentrations on rooting traits of cutting and the results of LSD multiple comparison

激素 Hormones	浓度 Concentration ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	愈伤率 Callusing rate (%)	腐烂率 Rotting rate (%)	生根率 Rooting rate (%)	不定根数 No. of adventitious root/rooted cutting	最长不定根长 Length of longest adventitious root (cm)	总根数 No. of total roots/rooted cutting	根系直径 Diameter of root system (cm)
CK	0	28.890efg	90.000b	5.557jk	7.833bcde	3.633bcde	39.500efghi	2.183defgh
	50	68.333ab	23.333de	63.333a	10.973abcd	5.700ab	105.767abcd	3.423abcdef
GA_3	100	80.000a	23.333de	50.000abcd	10.890abcd	3.850abcde	86.240bcde	2.310cdefg
	200	73.333ab	26.667de	60.000ab	8.933bcd	4.033abcde	51.653defgh	1.963defgh
	400	60.000bc	26.667de	46.667abcde	10.260abcd	3.997abcde	46.990defgh	2.307cdefg
	50	58.333bc	20.000de	45.000abcde	9.070bcd	3.847abcde	53.677defgh	2.673bcdefg
IBA	100	46.667cde	21.667de	53.333abc	12.057abc	6.130ab	134.833abc	4.160abc
	200	48.333cd	33.333cde	50.000abcd	12.787abc	6.207ab	137.833abc	4.797ab
	400	33.333def	38.333cd	40.000bcdef	14.130ab	6.870a	201.980a	5.573a
	50	33.333def	18.333e	21.667fghi	5.017cde	2.400cdef	40.827efghi	1.810efgh
IAA	100	33.333def	23.333de	33.333cdefg	5.207cde	3.620abcde	41.283defghi	2.627bcdefg
	200	18.333fgh	33.333cde	25.000efgh	8.490bcde	5.357abc	71.890bcdef	3.653abcde
	400	15.000ghi	50.000c	30.000defg	10.570abcd	4.337abcd	107.127abcd	3.593abcde
	50	25.000fg	85.000b	6.667jk	4.833de	2.000def	20.500ghi	1.333gh
NAA	100	10.000hij	91.667b	6.667ijk	13.500abc	3.517bcde	65.000cdefg	3.517abcdef
	200	3.333jk	86.667b	11.667hij	14.833ab	5.293abc	115.833abcd	3.960abcd
	400	0.000k	98.333a	1.667k	6.667de	2.167ef	30.000hi	1.500gh
	10	31.667def	80.000b	6.667jk	2.777e	0.677f	10.333i	0.490h
6-BA	20	8.333hij	81.667b	8.333ijk	6.500bcde	1.667def	26.000fghi	1.550fgh
	50	5.000ij	78.333b	15.000ghij	21.433a	5.750ab	159.167ab	4.267abc
	100	0.000k	80.000b	5.000jk	11.667bcd	1.700ef	82.500defgh	1.333gh

注:数据均为 3 个重复的平均值。同列不同小写字母表示不同组合间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。表 4 同。

Note: Data are averages of three replications. Different small letters in the same column indicate significant different among combinations at $P < 0.05$. Table 4 is the same.

2.2 激素种类与浓度对鹿角杜鹃扦插苗地上生长性状的影响

2.2.1 两因素及其交互作用的方差分析 5 个扦插苗地上生长性状方差分析表明(表 3),激素种类对老叶留存率、老叶留存数的影响达到极显著水平,对新梢率影响达显著水平;激素浓度仅对老叶留存率与留存数有显著影响,表明激素种类对扦插苗地上

生长影响大于浓度水平。两因素交互作用($A \times B$)对所有地上生长性状无显著影响。

2.2.2 激素种类影响的多重比较 从表 3 可以看出,老叶留存率与老叶留存数均表现为 $\text{GA}_3 > \text{IBA} > \text{IAA} > 6\text{-BA} > \text{NAA}$,其中老叶留存率在 GA_3 与 IBA 处理之间差异不显著但显著高于 IAA ,三者又极显著优于 6-BA 、 NAA 处理;老叶留存数在 GA_3 、 IBA 、

表 3 激素种类与浓度对扦插苗地上部分生长性状的影响及方差分析结果
Table 3 Effects of hormone types and concentrations on above ground growth traits of cutting seedling and the results of variance analysis

因素 Factors	水平 Levels	老叶留存率 Retention rate of old leaf (%)	老叶留存数 Retention No. of old leaf/rooted cutting	新梢率 New shoot rate (%)	新梢数 No. of new shoot/ rooted cutting	新梢长 Length of new shoot (cm)
A	A ₁ (GA ₃)	68.333aA	2.668aA	9.583aA	0.892aA	2.283aA
	A ₂ (IBA)	64.167abA	2.545aA	9.167aA	0.944aA	2.820aA
	A ₃ (IAA)	57.083bA	2.384aA	6.667abA	0.583abA	1.889aA
	A ₄ (NAA)	8.33dC	1.798bB	3.750bA	0.583abA	2.892aA
	A ₅ (6-BA)	17.500cB	2.263aAB	2.917bA	0.458bA	1.813aA
B	B ₁ (50)	48.000aA	2.284abAB	5.667aA	0.613aA	2.073aA
	B ₂ (100)	47.000aA	2.417aAB	5.667aA	0.555aA	2.016aA
	B ₃ (200)	41.667abAB	2.658aA	8.667aA	0.933aA	3.241aA
	B ₄ (400)	35.667bB	1.967bB	5.667aA	0.667aA	2.027aA
F 值 F value	A	73.042**	4.775**	2.907*	1.976	0.658
	B	4.149*	4.006*	1.499	1.537	1.268
	A×B	1.079	1.527	0.919	0.691	0.512

IAA 以及 6-BA 处理之间无显著差异,但均显著大于 NAA 处理。新梢率、新梢数均以 GA₃、IBA 处理最佳,其次为 IAA、NAA 处理,6-BA 显著差于 GA₃、IBA 处理;新梢长在 5 种激素间未达到显著水平,但以 NAA、IBA 处理最长,GA₃ 其次,IAA、6-BA 处理较短。

2.2.3 激素浓度影响的多重比较 老叶留存率以低浓度(B₁)处理最佳并随着浓度升高而下降,B₄处理极显著低于 B₁、B₂;老叶留存数在 B₁~B₃时随着浓度升高而增大,B₄处理显著下降;新梢率、新梢数及新梢长在 4 个浓度间未达到显著水平,但均以 B₃处理最大,其它 3 个浓度较小(表 3)。

2.2.4 各处理组合影响的多重比较 表 4 可见,老叶留存率以 50 mg·L⁻¹的 GA₃、IAA 及 100 mg·L⁻¹ IBA 处理最高(均达 71.667%),50 mg·L⁻¹ IBA 其次,大部分组合间差异显著;老叶留存数以 50 mg·L⁻¹ GA₃最高,其次为 200 mg·L⁻¹的 GA₃、IBA,仅部分组合间达到显著水平;新梢率总体较低,以 50 mg·L⁻¹ GA₃最高,100、200mg·L⁻¹ IBA 及 200 mg·L⁻¹ NAA 其次,仅少数组合间达到显著水平。新梢数以 400 mg·L⁻¹GA₃、200 mg·L⁻¹IBA 处理最多,其次为 100 mg·L⁻¹IBA;新梢长以 200 mg·L⁻¹ NAA 处理最长,200 mg·L⁻¹ IBA 其次,2 个性状在所有组合间均未达到显著水平。400 mg·L⁻¹ NAA 处理所有地上生长性状表现极差。

2.3 激素种类与浓度对鹿角杜鹃扦插繁殖影响的综合评价

由于不同性状在各处理组合中的表现存在差异,仅凭个别或少数性状的简单比较难以全面、客

观、科学地反映各组合育苗效果的优劣,需要探索一种能够包容每个单项性状信息的综合评价指标,而主成分分析具有这一功能(荆延德等,2004)。试验测定的 12 个性状中,愈伤率、腐烂率主要影响插穗生根,不直接影响育苗质量;新梢数与新梢长在各组合间差异不显著。选取与育苗效果直接相关且在不同组合间差异显著的其它 8 个性状进行主成分分析。结果表明(表 5),主成分 1、2 的贡献率分别为 62.301%、22.305%,累积贡献率达 84.606%,反映了原性状的绝大部分信息,可以代替原来 8 个性状对各组合的育苗效果进行综合评价。

各组合主成分得分值[CI(x)]、隶属函数值[U(x)]、权重(IW)、综合评价值(D)及 D 值排序见表 6。表 6 可见,D 值排名前 7 位的均为 IBA、GA₃ 处理,进一步表明 IBA、GA₃ 为鹿角杜鹃扦插育苗较理想的激素;IAA 处理的 D 值均大于对照,说明 IAA 处理也能提高育苗效果,但不理想;NAA、6-BA 处理 D 值总体排位靠后,育苗效果较差。4 个浓度水平的 D 值排序因激素种类而异,GA₃、6-BA 以 50 mg·L⁻¹ 处理最优,IBA、IAA 及 NAA 则以 200 mg·L⁻¹ 最佳。

3 结论与讨论

插穗生根与其内源激素、抑制剂与营养物质水平等密切相关,外源生长素处理可提高插穗内源生长素水平和 IAA 氧化酶、过氧化酶活性,加速淀粉水解、糖代谢并促进营养物质的向基运输,为细胞分裂、分化及随后的根原基形成提供必要的能量,从而促进根原基启动与发展(Husen,2012)。生长素 IBA、

表 4 激素种类与浓度组合对扦插苗地上部分生长性状的影响及 LSD 多重比较结果
Table 4 Effects of combinations of hormone types and concentrations on above ground growth traits of cutting seedling and the results of LSD multiple comparison

激素 Hormones	浓度 Concentrations (mg · L ⁻¹)	老叶留存率 Retention rate of old leaf (%)	老叶留存数 Retention No. of old leaf/rooted cutting	新梢率 New shoot rate (%)	新梢数 No. of new shoot /rooted cutting	新梢长 Length of new shoot (cm)
CK	0	8.890d	2.110abc	2.220bc	0.667a	1.767a
	50	71.667a	2.920a	15.000a	1.067a	2.947a
GA ₃	100	68.333ab	2.533ab	10.000abc	0.667a	1.900a
	200	66.667ab	2.797ab	6.667abc	0.667a	1.617a
	400	66.667ab	2.423abc	6.667abc	1.167a	2.667a
	50	70.000ab	2.593ab	6.667abc	0.667a	2.083a
IBA	100	71.667a	2.487ab	11.667ab	1.110a	2.780a
	200	61.667ab	2.757ab	11.667ab	1.167a	3.583a
	400	53.333abc	2.343abc	6.667abc	0.833a	2.833a
	50	71.667a	2.433abc	1.667c	0.333a	0.833a
IAA	100	68.333ab	2.367abc	3.333bc	0.333a	1.333a
	200	50.000bc	2.400abc	11.667ab	1.000a	2.923a
	400	38.333c	2.337abc	10.000abc	0.667a	2.467a
	50	10.000de	1.667c	3.333abc	0.667a	2.500a
NAA	100	8.333de	2.167abc	1.667c	0.333a	2.733a
	200	13.333d	2.693ab	8.333abc	1.000a	5.167a
	400	1.667e	0.667d	1.667c	0.333a	1.167a
	10	16.667d	1.807bc	1.667c	0.333a	2.000a
6-BA	20	18.333d	2.533ab	1.667c	0.333a	1.333a
	50	16.667d	2.643ab	5.000abc	0.833a	2.917a
	100	18.333d	2.067abc	3.333bc	0.333a	1.000a

表 5 不同处理条件下扦插育苗性状的主成分分析结果

Table 5 The result of principal component analysis on traits of cutting propagation under different treatments

主成分 Principal component	特征向量 Eigenvectors								特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate (%)	累积贡献率 Accumulative contribution rate (%)
	生根率 Rooting rate	总根数 No. of total roots	不定根数 No. of adventitious root	最长不定根长 Length of longest adventitious root	根系直径 Diameter of root system	老叶 留存率 Retention rate of old leaf	老叶 留存数 Retention No. of old leaf	新梢率 New shoots rate			
1	0.3364	0.3772	0.3073	0.4233	0.3901	0.2719	0.3288	0.3700	4.984	62.301	62.301
2	0.4507	-0.3324	-0.4597	-0.1348	-0.2838	0.5503	0.2044	0.1782	1.784	22.305	84.606

IAA、NAA 是植物扦插繁殖中应用最广的生根剂,大量研究表明,相对于 IAA 和 NAA,IBA 不易被降解、稳定性更强(Nordström *et al.*, 1991),在体内运输速度慢、作用于生根区时间更长(Bartel *et al.*, 2001),毒性小、有效浓度范围更宽(Kesari *et al.*, 2009),促进插穗生根能力更强(Rana *et al.*, 2012); Singh *et al.* (2009)发现,经 IBA 处理的濒危种隐脉杜鹃(*R. maddenii*)组培芽生根率、根数和根长优于 NAA、IAA 处理,认为与 IBA 转运慢、作用时间长相关。GA₃ 被认为是 不定根形成的抑制剂,通过抑制早期的细胞分裂抑制侧根原基的形成、减少杨树(*Populus*)侧根数及长度(Gou *et al.* 2010),抑制枸杞(*Lycium sharwii*)插穗生根(Suleiman *et al.*, 2011); GA₃ 处理大量消耗插穗内的低分子碳水化合物,延迟欧洲赤松(*Pinus*

sylvestris)生根时间,降低生根率和生根数(Ernstsen *et al.*, 1986); Eshed *et al.* (1996)用 GA₃ 处理橡树(*Quercus ithaburensis*)母株,发现经 GA₃ 前处理的插条生根率提高 6~7 倍,而 GA₃ 直接处理插穗未能提高生根率,认为 GA₃ 前处理提高生根率是因对母株起到了“幼化”作用;早期 Nanda *et al.* (1972)曾简报 GA₃ 处理在 14d 时增加南美旋花(*Ipomoea fistulosa*)的生根数、根长及萌芽数、芽长,但 24 d 后根长小于对照。6-BA 也被认为是 不定根形成的抑制剂,通过抑制生根区分生组织细胞的增殖与分化,延长根原基及不定根形成时间,减少马齿苋(*Portulaca umbraticola*)生根率和生根数(Wróblewska, 2012)。

本研究结果表明,激素种类、浓度及其交互作用对鹿角杜鹃扦插繁殖均有影响,但各因素的影响大小

表 6 各组合扦插育苗性状的主成分值

[CI(x)], U(x) 值、权重 (IW)、D 值及其排序

Table 6 The value of comprehensive index [CI(x)], U(x), index weight (IW), D of different combinations on traits of cutting propagation and sequencing of D

组合 Combinations (mg · L ⁻¹)	CI (1)	CI (2)	U (1)	U (2)	D	排序 Sequencing
CK	-1.8805	-0.7679	0.2816	0.4506	0.3262	16
GA ₃ 50	2.9580	1.4389	0.9743	0.9089	0.9571	1
GA ₃ 100	1.0696	1.2280	0.7040	0.8651	0.7465	5
GA ₃ 200	0.6385	1.8775	0.6422	1.0000	0.7366	6
GA ₃ 400	0.3265	1.2480	0.5976	0.8693	0.6692	9
IBA50	0.4819	1.3687	0.6198	0.8943	0.6922	7
IBA100	2.8277	0.3986	0.9557	0.6929	0.8864	3
IBA200	3.1374	-0.0058	1.0000	0.6089	0.8969	2
IBA400	3.1365	-1.5633	0.9999	0.2854	0.8115	4
IAA50	-1.4309	1.4389	0.3460	0.9089	0.4944	14
IAA100	-0.6132	1.3730	0.4630	0.8952	0.5770	13
IAA200	1.0276	0.2780	0.6980	0.6678	0.6900	8
IAA400	0.9455	-0.3119	0.6863	0.5453	0.6491	10
NAA50	-3.0611	-0.0979	0.1126	0.5898	0.2384	19
NAA100	-0.9123	-1.8150	0.4202	0.2332	0.3709	15
NAA200	1.2064	-1.8122	0.7236	0.2337	0.5944	12
NAA400	-3.7506	-1.1740	0.0139	0.3663	0.1068	21
6-BA10	-3.8476	0.5989	0.0000	0.7345	0.1936	20
6-BA 20	-2.3736	0.1595	0.2110	0.6432	0.3250	17
6-BA 50	1.9676	-2.9377	0.8325	0.0000	0.6130	11
6-BA 100	-1.8533	-0.9223	0.2855	0.4186	0.3206	18
权重 IW			0.7364	0.2636		

及育苗性状对各因素的响应存在较大差异。2 个主因素中, 激素种类除对不定根数、新梢数与新梢长无显著影响, 对新梢率仅显著影响外, 其它性状均达极显著水平, 其中 GA₃、IBA 处理在大部分育苗性状中表现极佳, IAA 效果一般, 而 NAA 和 6-BA 在绝大部分性状上表现较差, IBA、IAA、NAA 及 6-BA 的育苗表现与前人结果一致 (Lü *et al.*, 2012), 而 GA₃ 显著提高鹿角杜鹃的愈伤率、生根率, 降低腐烂率并促进插穗苗地上生长不同于以往报道。本实验以木质化休眠硬枝为插穗、秋末扦插, GA₃ 显著提高鹿角杜鹃育苗效果可能与 GA₃ 打破休眠、促进生理活动或改变插穗内源激素与抑制剂水平有关; 而最近有研究发现, KIBA、KNAA 处理可提高糙叶杜鹃 (*R. scabri folium*) (赵云龙等, 2013) 及同亚属的长蕊杜鹃 (*R. stamineum*) (李朝婵等, 2012) 插穗的内源 GA₃ 含量, 且 GA₃ 含量上升与愈伤组织诱导和不定根形成呈正相关, 推论 GA₃ 对根原基分化起着重要作用, 间接支持 GA₃ 对杜鹃扦插生根有促进作用。激素浓度对除生根率外的生根性状也有极显著影响, 但对地上生长性状的影响相对较小 (仅显著影

响老叶留存率与留存数); 4 个浓度中, 愈伤率、腐烂率及老叶留存率以低浓度 (B₁) 最佳, 随着浓度升高效果下降; 其它 9 个性状总体表现为在 B₁ ~ B₃ 时随着浓度升高效果越好, B₄ 处理下降, 可能为浓度偏高、对插穗组织产生了伤害作用进而影响育苗性状 (Swamy *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2009; Amri, 2011), 考虑到愈伤率、腐烂率不直接影响育苗效果, 认为 B₃ 水平为鹿角杜鹃扦插育苗的最佳浓度。两因素交互效应 (A × B) 仅对总根数、愈伤率和根系直径 3 个生根性状有极显著或显著影响, 其它性状均未达到显著水平。同时发现, 新梢率、新梢数与新梢长 3 个萌芽性状在不同组合间的数据大小差异较大, 但除激素种类对新梢率有显著影响外其它均未达到显著水平, 可能是本试验结果统计时 (4 月) 正处扦插苗新梢萌发期, 因不同个体间的抽梢时间存在差异, 从而导致组合内萌芽性状变化较大 (性状未稳定)、显著性水平降低。Amri (2011) 也发现激素种类、浓度显著影响生根率、生根数、根长及根重等生根性状, 但对萌芽率、新梢数、新梢长的影响较小, 且萌芽性状与生根性状间的相关性较弱, 认为无性繁殖期间, 萌芽与芽生长依赖于插穗自身的营养储备, 与生根无必然联系。可见, 鹿角杜鹃扦插育苗效果主要受 2 个主因素影响, 激素种类的影响大于浓度水平、对插穗生根性状的影响大于插穗苗地上生长性状。

21 个处理组合育苗效果的主成分综合评价发现, 50 mg · L⁻¹ GA₃ 组合的育苗效果最佳 (D 值 0.9571), 其生根率、老叶留存率、老叶留存数及新梢率在所有组合中表现最佳, 其它指标也有良好的表现, 仅总根数、根系直径等根系生长性状表现略差, 可能与 GA₃ 抑制侧根形成有关; 200、100 mg · L⁻¹ IBA 组合 D 值相近 (分别为 0.8969、0.8864), 综合评价效果其次, 两者所有性状在 21 个组合中虽未表现出最佳, 但均表现良好; 200 mg · L⁻¹ IAA 也有较好的育苗表现 (D 值排位 8), 但其它浓度效果一般; 而 NAA 仅 200 mg · L⁻¹, 6-BA 仅 50 mg · L⁻¹ 处理小幅提高育苗效果, 其它浓度与对照相近或差于对照, 不宜作为鹿角杜鹃扦插育苗生根剂。目前, GA₃ 主要用于打破植物休眠、调控花期、促进营养生长、增加开花数量与产量 (Korkutal *et al.*, 2008), 鲜见促进插穗生根的报道, 本研究对拓展 GA₃ 应用领域具有重要意义, 但其生根机理尚待深入研究。

参考文献:

- Amri E. 2011. The effect of auxins (IBA, NAA) on vegetative propagation of medicinal plant *Bobgunmia madagascariensis* (Desv.) J. H. Kirkbr & Wiersema. [J]. *TaJONAS*, **2**(2):359—366
- Bashir MA, Anjum MA, Chaudhry Z, et al. 2009. Response of jojoba (*Simmondsia chinensis*) cuttings to various concentrations of auxins[J]. *Pak J Bot*, **41**(6):2 831—2 840
- Ernstsen A, Hansen J. 1986. Influence of gibberellic acid and stock plant irradiance on carbohydrate content and rooting in cuttings of Scots pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.)[J]. *Tree Physiol*, **1**(1):115—125
- Eshed Y, Riov J, Atzmon N. 1996. Rooting oak cuttings from gibberellins-treated stock plants[J]. *Hort Sci*, **31**(5):872—873
- Fan CQ, Zhao WM, Ding BY, et al. 2001. Constituents from the leaves of *Rhododendron latoucheae*[J]. *Fitoterapia*, **72**(4):449—452
- Ferriani AP, Bortolini MF, Zuffellato-Ribas KC, et al. 2006. Vegetative propagation by cuttings of azaléia tree (*Rhododendron thomsonii* HOOK. f.)[J]. *Semina: Ciências Agrárias*, **27**(1):35—42
- Gao JX(高俊香), Mei SL(梅盛龙), Lu XZ(鲁小珍), et al. 2009. The population structure and distribution of *Rhododendron latoucheae* in Fengyangshan nature reserve(凤阳山自然保护区鹿角杜鹃种群结构与分布)[J]. *J Nanjing For Univ: Nat Sci Edit*(南京林业大学学报·自然科学版), **33**(2):35—38
- Gou JQ, Strauss SH, Tsai CJ, et al. 2010. Gibberellins regulate lateral root formation in *Populus* through interactions with auxin and other hormones[J]. *Plant Cell*, **22**(3):623—639
- Husen A. 2012. Changes of soluble sugars and enzymatic activities during adventitious rooting in cuttings of *Grewia optiva* as affected by age of donor plants and auxin treatments[J]. *Am J Plant Physiol*, **7**(1):1—16
- Hu LZ(胡琳贞), Fang MY(方明渊). 1994. Flora of China(中国植物志)[M]. Beijing(北京): Science Press(科学出版社), **57**(2)
- Jin YD(荆延德), Zhang ZG(张志国). 2004. Applications of principal component and cluster analysis in choosing of formulation media(主成分分析和聚类分析在花卉栽培基质配方选择中的应用)[J]. *Chin J Soil Sci*(土壤通报), **35**(5):588—591
- Kesari V, Krishnamachari A, Rangan L. 2009. Effect of auxins on adventitious rooting from stem cuttings of candidate plus tree *Pongamia pinnata* (L.), a potential biodiesel plant[J]. *Trees*, **23**(3):597—604
- Korkutall, Bahar E, Gökhan Ö. 2008. The characteristics of substances regulating growth and development of plants and the utilization of gibberellic acid (Ga_3) in viticulture[J]. *World J Agric Sci*, **4**(3):321—325
- Li CC(李朝婵), Zhao YL(赵云龙), Zhang DL(张冬林), et al. 2012. Changes of endogenous hormones and anatomical structure of *Rhododendron stamineum* during cutting propagation (长蕊杜鹃扦插内源激素变化及解剖结构观察)[J]. *For Res*(林业科学研究), **25**(3):360—365
- Liao JY(廖菊阳), Yan WD(闰文德), Wang GJ(王光军), et al. 2011. Diurnal changes in photosynthesis of *Rhododendron latoucheae*(鹿角杜鹃光合日变化特性分析)[J]. *J Cent S Univ For & Tech*(中南林业科技大学学报), **31**(5):117—120
- Lone AB, Unemoto LK, Yamamoto LY, et al. 2010. Rooting of azalea cuttings (*Rhododendron simsii* Planch.) in the fall of AIB and different substrates[J]. *Ciência Rural*, **40**(8):1 720—1 725
- Lü JF, da Silva JAT, Ma GH. 2012. Vegetative propagation of *Primulina tabucum* Hance by petiole cuttings[J]. *Sci Hortic*, **134**(1):163—166
- Nanda KK, Anand VK, Chibbar RN. 1972. The promotive effect of gibberellic acid on the production of adventitious roots on stem cuttings of *Ipomoea fistulosa*[J]. *Planta*, **105**(4):360—363
- Nordström AC, Jacobs FA, Eliasson L. 1991. Effect of exogenous indole-3-acetic acid and indole-3-butyric acid on internal levels of the respective auxins and their conjugation with aspartic acid during adventitious root formation in pea cuttings[J]. *Plant Physiol*, **96**(3):856—861
- Rana RS, Sood KK. 2012. Effect of cutting diameter and hormonal application on the propagation of *Ficus roxburghii* Wall. through branch cuttings[J]. *Ann For Res*, **55**(1):69—84
- Singh KK, Gurung B. 2009. In vitro propagation of *R. maddenii* Hook. f. an endangered *Rhododendron* species of Sikkim Himalaya[J]. *Not Bot Hort Agrobot Cluj*, **37**(1):79—83
- Suleiman MK, Bhat NR, Jacob S, et al. 2011. Effect of growth regulators on rooting of hardwood cuttings of *Lycium shawii*, *Nitraria retusa* and *Farsetia aegyptia*[J]. *J Agric Sci Tech B*, **1**(3):414—419
- Swamy SL, Puri S, Singh AK. 2002. Effect of auxins (IBA and NAA) and season on rooting of juvenile and mature hardwood cuttings of *Robinia pseudoacacia* and *Grewia optiva*[J]. *New For*, **23**(2):143—157
- Wróblewska K. 2012. The influence of adenine and benzyladenine on rooting and development of *Fuchsia hybrida* cuttings[J]. *Acta Agrobot*, **65**(4):101—108
- Xiang GF(向光锋), Yan LH(颜立红), Jiang LY(蒋利媛), et al. 2009. Cutting test of *Rhododendron latoucheae*(鹿角杜鹃的扦插试验)[J]. *Hunan For Sci & Tech*(湖南林业科技), **36**(6):13—14
- Zhang L(张力). 2008. Application of SPSS in Biostatistics(SPSS在生物统计中的应用)[M]. Xiamen(厦门): Xiamen University Press(厦门大学出版社)
- Zhao YL(赵云龙), Chen X(陈训), Li CC(李朝婵). 2013. Dynamic of physiology and biochemistry during wild *Rhododendron scabrifolium* cutting propagation(糙叶杜鹃扦插生根过程中生理生化分析)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **49**(6):45—51