

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201504007

王书胜, 张雅慧, 邹芹, 等. IBA 浓度、扦插时间对江西杜鹃和百合花杜鹃扦插生根的影响 [J]. 广西植物, 2016, 36(12):1468-1475  
WANG SS, ZHANG YH, ZOU Q, et al. Effects of IBA concentration and cutting time on rooting of *Rhododendron kiangsiense* and *Rh. liliiflorum* cuttings [J]. Guihaia, 2016, 36(12):1468-1475

## IBA 浓度、扦插时间对江西杜鹃和 百合花杜鹃扦插生根的影响

王书胜<sup>1</sup>, 张雅慧<sup>2</sup>, 邹芹<sup>3</sup>, 单文<sup>1</sup>, 李晓花<sup>1</sup>, 张乐华<sup>1\*</sup>

(1. 江西省、中国科学院庐山植物园, 江西 庐山 332900; 2. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 3. 江西庐山国家级自然保护区管理局, 江西 九江 332000)

**摘要:** 为探明有鳞大花亚组杜鹃扦插生根的最佳 IBA 浓度和扦插时间, 该研究以江西杜鹃、百合花杜鹃为材料, 分别采用腐叶土+河沙(1:1)、泥炭+珍珠岩+蛭石(3:1:1)基质, 开展了 4 个 IBA 浓度和 4 个扦插时间的生根试验。结果表明: IBA 浓度对除老叶留存数外的所有指标有显著影响, 其中 100 mg · L<sup>-1</sup> IBA 处理生根率、新梢长最大, 腐烂率最低, 其它指标也表现良好, 为最佳生根浓度; 50 mg · L<sup>-1</sup> IBA 处理根幅、新梢率最大, 但不定根数最少, 效果其次; 200 mg · L<sup>-1</sup> IBA 处理促进根系生长, 但生根率较低, 特别是显著抑制新梢发育; 对照处理生根效果最差。扦插时间对所有生根指标均有显著影响, 早春(04-18)木质化硬枝扦插除老叶留存数较差外, 其它指标均表现最佳, 为最适扦插时间; 秋季(10-19)半木质-木质化过渡枝扦插效果其次; 夏季(06-21)嫩枝及(08-16)半木质化枝生根效果极差, 不宜进行扦插育苗。物种、基质对生根指标也有显著影响, 百合花杜鹃扦插生根能力强于江西杜鹃, 泥炭+珍珠岩+蛭石(3:1:1)基质生根效果优于腐叶土+河沙(1:1)。该研究结果首次发现早春新梢萌发前采用木质化硬枝扦插可以显著提高两种杜鹃的生根效果, 为该亚组杜鹃的扦插育苗提供了科学依据。

**关键词:** 江西杜鹃, 百合花杜鹃, IBA 浓度, 扦插时间, 生根效果

**中图分类号:** Q945, S615 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)12-1468-08

## Effects of IBA concentration and cutting time on rooting of *Rhododendron kiangsiense* and *Rh. liliiflorum* cuttings

WANG Shu-Sheng<sup>1</sup>, ZHANG Ya-Hui<sup>2</sup>, ZOU Qin<sup>3</sup>, SHAN Wen<sup>1</sup>,  
LI Xiao-Hua<sup>1</sup>, ZHANG Le-Hua<sup>1\*</sup>

(1. Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province and Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, Jiangxi, China; 2. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 3. Jiangxi Administration Bureau of Lushan National Nature Reserve, Jiujiang 332000, Jiangxi, China)

**Abstract:** To find out the best IBA concentration and cutting time for rooting of *Rhododendron* subsect. *Maddenia* (Hutch.) Sleumer cuttings, we studied the effects of four IBA concentrations and four cutting time on rooting of cuttings of *Rhododen-*

收稿日期: 2015-04-02 修回日期: 2015-06-05

**基金项目:** 国家国际科技合作项目(2007DFA31410, 2014DFA31720); “赣鄱英才 555 工程”领军人才培养计划项目; 江西省主要学科学术与技术带头人培养计划项目(2010DD00500) [Supported by the International S & T Cooperation Project of China (2007DFA31410, 2014DFA31720); “555 Project for Gan Po Talents” of Leading Talent Training Program; Jiangxi Provincial Training Program for S & T Leaders in Main Subjects (2010DD00500)].

**作者简介:** 王书胜(1984-), 男, 湖北黄梅人, 博士研究生, 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, 硕士, 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。

*dron kiangsiense* and *Rh. liliiflorum*, using soil + sand (1 : 1) and peat + perlite + vermiculite (3 : 1 : 1) as rooting media. The results showed that IBA concentration had significant effects on most parameters except for retention number of old leaves. Cuttings treated with 100 mg · L<sup>-1</sup> IBA had the highest rooting rate and length of new shoot and the lowest rotting rate, with good performance of other parameters, and that was the optimum IBA concentration for rooting. Followed by 50 mg · L<sup>-1</sup> IBA, cuttings had the highest root width and new shoot rate but the lowest number of adventitious root. The solution of 200 mg · L<sup>-1</sup> IBA could promote the development of root, but it gave a low rooting rate and significantly inhibited the development of new shoot. The contrast had the worst effects on rooting. Cutting time had significant effects on all rooting parameters, and early spring (April 18th) with hardwood cuttings was the optimum cutting time, which gave excellent effect on most parameters except retention number of old leaf, followed by autumn (October 19th) with cuttings transforming from semi-hardwood to hardwood. And summer with softwood cuttings (June 21st) or semi-hardwood cuttings (August 16th) had the worst effects, so that was not suitable for cutting propagation. Species and rooting medium also had significant effects on rooting parameters, such as *Rh. liliiflorum* had better rooting capacity than *Rh. kiangsiense*, and peat + perlite + vermiculite (3 : 1 : 1) was better than soil + sand (1 : 1). This study found for the first time that using hardwood cuttings in early spring before new shoots sprouting could significantly promote rooting of these two species cuttings, and that provides the information for cutting propagation of *Rhododendron* subsect. *Maddenia* species.

**Key words:** *Rhododendron kiangsiense*, *Rh. liliiflorum*, IBA concentration, cutting time, rooting effect

江西杜鹃(*Rhododendron kiangsiense*)、百合花杜鹃(*Rh. liliiflorum*)隶属杜鹃花属(*Rhododendron*)有鳞大花亚组(subsect. *Maddenia*),为大叶常绿类灌木;植株分枝较多、株型紧凑饱满,嫩枝、叶背及花冠外侧被鳞片,花白色、具芳香,为制作盆花、盆景及园林绿化的极佳材料。其中,江西杜鹃为江西特有种,零星分布于武功山、井冈山、武夷山海拔 900~1 500 m 山坡疏林下,资源量稀少,为省级珍稀保护种;百合花杜鹃广布于广西、贵州、湖南及云南海拔 800~1 800 m 山坡疏林、灌丛中,资源较为丰富。

扦插繁殖设施要求简单、成本低,且能保持母本的优良性状、缩短育苗周期,为木本植物经济、简单和快捷的育苗方法(Owais, 2010; Hae & Funnah, 2011; Mehri et al, 2013)。扦插生根受插穗内源激素、生根辅助因子、营养物质水平及抗氧化酶活性等内源因子的影响(Owais, 2010)。外源生长素可调节插穗生理活动,诱导酶活性及辅助因子变化,优化内源激素水平,激活糖代谢和蛋白质合成,从而促进细胞伸长、分裂和根原基分化与不定根形成(Husen, 2008; 赵云龙等, 2013; 李朝婵等, 2012)。扦插时间与插穗木质化程度、生理特征密切相关,是影响扦插生根的关键因子(Guo et al, 2009; Bhardwaj & Mishra, 2005)。前人普遍认为当年生嫩枝或半木质化枝代谢旺盛、内源激素丰富,扦插易于生根,随着插穗木质化程度增加,生理活性降低、抑制物增加,生根能力下降(Akwatulira et al, 2011; McGuigan et al, 1996);但也有研究发现木质化硬枝营养储备丰

富,更有利于生根(Bhardwaj & Mishra, 2005; Hae & Funnah, 2011; 潘健等, 2005)。目前,国内外关于杜鹃花属植物扦插繁殖的研究主要集中在小叶类杜鹃(Jones et al, 2010),大叶常绿类杜鹃生根困难(Ferriani et al, 2006),相关报道较少(Nawrocka-Grzeskowiak, 2004; 赵云龙等, 2013; 王书胜等, 2014),而观赏价值极高的有鳞大花亚组杜鹃仅见组培快繁研究(Mao et al, 2011; Singh & Gurung, 2009),尚未见扦插繁殖的报道,严重制约了其资源的保育与产业化利用。为此,笔者近年以江西杜鹃、百合花杜鹃为材料,系统开展了不同 IBA 浓度及扦插时间对其生根影响的试验,以期筛选出最佳 IBA 浓度及扦插时间,为本亚组乃至常绿类杜鹃的引种驯化及产业化提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

江西杜鹃(*Rhododendron kiangsiense*)、百合花杜鹃(*Rh. liliiflorum*)母株生长于江西省、中国科学院庐山植物园杜鹃园,为树龄 25 a 左右、生长旺盛的驯化成年株。当地位于 29°35' N、115°59' E,海拔 1 020~1 100 m,属亚热带东部湿润型季风山地气候;2012 年度旬平均最高、最低气温变化见图 1。

### 1.2 方法

1.2.1 插穗制作 选取植株冠层带芽苞的顶枝制作插穗。插穗长 7~9 cm,先去除基部叶片,保留顶芽

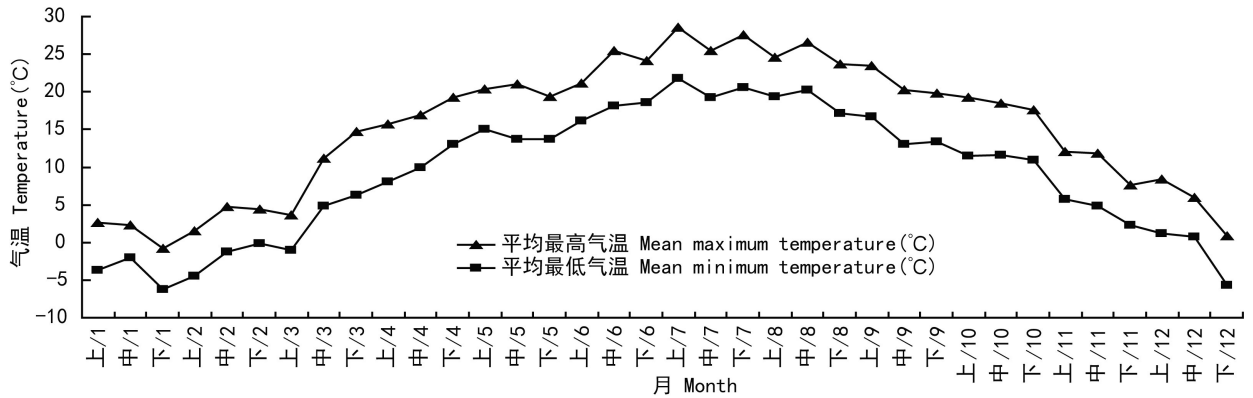


图 1 2012 年庐山旬平均最高、最低气温变化 上=上旬,中=中旬,下=下旬。

Fig. 1 Changes of the ten-days mean maximum, minimum temperature at Lushan Mountain in 2012

Top=The first ten days of a month, Mid=The middle ten days of a month, Botten=The last ten days of a month.

和顶部叶 3~4 片,再依据叶片大小剪去 1/2~2/3,以减少水分蒸发。插穗基部采用单面愈伤处理(用嫁接刀削去基部一侧长 1.0~1.2 cm 的皮层和形成层),以解除生根的解剖学障碍(Ferriani et al, 2006)、增加生根区面积(Nawrocka-Grzeskowiak, 2004)。

**1.2.2 试验设计 IBA 浓度试验(试验 1):**笔者前期研究发现,外源 IBA 可促进常绿类杜鹃生根,且生根效果优于 IAA、NAA(王书胜等, 2014)。为筛选出江西杜鹃、百合花杜鹃扦插生根的最佳 IBA 浓度, 2010-10-21 以当年生半木质-木质化过渡枝为插穗,腐叶土+河沙(1:1, V/V, 下同)为基质,开展了 4 个 IBA 浓度的生根实验,分别为 0、50、100 及 200 mg·L<sup>-1</sup>的 IBA 溶液浸泡插穗基部 16 h。

**扦插时间试验(试验 2):**为探明两种杜鹃最佳扦插时间,以试验 1 筛选的最佳 IBA 浓度(100 mg·L<sup>-1</sup>)浸泡插穗基部 16 h、泥炭+珍珠岩+蛭石(3:1:1)为基质,分别于 2012-4-18(T<sub>1</sub>)、06-21(T<sub>2</sub>)、08-16(T<sub>3</sub>)和 10-19(T<sub>4</sub>)开展了 4 个扦插时间的生根实验。

当地物候观察发现,2012 年江西杜鹃盛花期为 04-21~29,新梢萌动期为 04-26;百合花杜鹃盛花期为 05-09-22,新梢萌动期为 05-18,江西杜鹃物候期早于百合花杜鹃 20~22 d。两种杜鹃每年仅抽梢 1 次,4 个扦插时间对应的插穗木质化程度分别为上年度木质化硬枝(T<sub>1</sub>)、当年生嫩枝(T<sub>2</sub>)、当年生半木质化枝(T<sub>3</sub>)和当年生半木质-木质化过渡枝(T<sub>4</sub>)。

试验采用完全随机设计,3 次重复。

**1.2.3 试验条件** 试验于庐山植物园繁殖温室扦插苗床内进行。为改善生根环境,苗床上层加设弧形

塑料棚,棚内安装自动喷雾设施,棚外设置可移动的遮阳网。试验期间通过自动间歇喷雾系统补水增湿:白天 2 min/2 h、晚上 2 min/4 h;通过塑料棚两端通风及棚外遮阳网分别调节棚内温度及光照强度;及时清除苗床落叶并每隔 14 d 喷 500 倍的 50%多菌灵 1 次,以减少病害发生。2010-10-21 及 2012-10-19 扦插因环境温度较低,苗床采用地热线加热,地温设定 20 °C。

### 1.3 指标调查与统计分析

试验 1 于扦插 38 周时(2011-07-15)参照王书胜等(2015)的指标判定标准与方法观测统计试验结果:将根长 ≥ 1 mm 定义为生根,计算生根率、不定根数、最长不定根长、根幅及老叶留存数、新梢长、新梢率、腐烂率。试验 2 所有扦插时间均于扦插 15 周时统计结果:试验 1 发现两种杜鹃不定根主要发生于愈伤组织,故增加愈伤率指标;因 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>和 T<sub>4</sub> 3 个扦插时间在试验期间不抽新梢,故不统计新梢率、新梢长,其它指标同实验 1。运用 SPSS 17.0 软件对所有指标进行方差分析和 Duncan 多重比较,方差分析前参照 Husen(2008)的方法对所有百分率指标进行反正弦转换,以满足正态分布假设。

## 2 结果与分析

### 2.1 IBA 浓度对两种杜鹃扦插生根的影响

各生根指标方差分析结果(表 1)表明,IBA 浓度除对老叶留存数影响不显著(P>0.05)、对腐烂率仅为显著(P<0.05)水平外,其它指标均达极显著

表 1 IBA 浓度对两种杜鹃扦插生根指标影响的方差分析

Table 1 Variance analysis of the effects of IBA concentrations on cuttings' rooting parameters of two *Rhododendron* species

变异来源 Source of variation	F 值 F value							
	生根率 Rooting rate (%)	不定根数 No. of adventitious roots / rooted cutting	最长不定根长 Length of longest adventitious root (cm)	根幅 Root width (cm)	老叶留存数 Retention No. of old leaves / rooted cuttings	新梢率 New shoot rate (%)	新梢长 Length of new shoot (cm)	腐烂率 Rotting rate (%)
C	11.023 **	25.710 **	39.343 **	37.298 **	1.904	106.667 **	10.913 **	5.067 *
SP	15.311 **	245.992 **	19.813 **	169.830 **	2.925	50.000 **	30.179 **	40.463 **
C × SP	2.860	30.767 **	7.361 *	17.907 **	1.586	12.667 **	2.722	0.634

注: C=IBA 浓度, SP=物种。\* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著。

Note: C=IBA concentrations, SP=Species. \* indicate significant differences at 0.05 level, \*\* indicate significant differences at 0.01 level.

表 2 IBA 浓度对两种杜鹃扦插生根指标影响的多重比较

Table 2 Multiple comparison of the effects of IBA concentrations on cuttings' rooting parameters of two *Rhododendron* species

IBA (mg · L <sup>-1</sup> )	生根率 Rooting rate (%)			不定根数 No. of adventitious roots / rooted cutting			最长不定根长 Length of longest adventitious root (cm)			根幅 Root width (cm)		
	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean
0	40.00bc	30.00c	35.00B	4.50c	15.17a	9.83C	2.35e	5.08d	3.72C	1.10f	3.25bc	2.18B
50	70.00a	55.00ab	62.50A	6.00c	13.37a	9.68C	6.46abc	6.12bcd	6.29B	3.12cd	3.61ab	3.36A
100	70.00a	65.00a	67.50A	8.23b	14.77a	11.50B	5.59cd	6.79ab	6.19B	2.56e	3.69a	3.13A
200	65.00a	25.00c	45.00B	13.89a	14.08a	13.99A	6.86ab	7.50a	7.18A	2.77de	3.50abc	3.13A
均值 Mean	61.25A	43.75B		8.15B	14.35A		5.32B	6.37A		2.39B	3.51A	

IBA (mg · L <sup>-1</sup> )	老叶留存数 Retention No. of old leaves / rooted cuttings			新梢率 New shoot rate (%)			新梢长 Length of new shoot (cm)			腐烂率 Rotting rate (%)		
	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean
0	2.38b	2.41b	2.39A	10.00c	20.00b	15.00C	1.25c	3.25a	2.25A	5.00c	35.00b	20.00B
50	2.64ab	2.59ab	2.61A	45.00a	45.00a	45.00A	2.34abc	2.98ab	2.66A	5.00c	35.00b	20.00B
100	2.36b	2.63ab	2.49A	20.00b	50.00a	35.00B	2.38abc	3.00ab	2.69A	5.00c	25.00bc	15.00B
200	2.48b	3.25a	2.86A	0.00d	10.00c	5.00D	0.00d	2.00bc	1.00B	15.00bc	75.00a	45.00A
均值 Mean	2.46A	2.72A		18.75B	31.25A		1.49B	2.81A		7.50B	42.50A	

注: SP<sub>1</sub> = *Rh. kiangsiense*, SP<sub>2</sub> = *Rh. liliiflorum*。不同大写字母表示不同 IBA 浓度或物种间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示不同 IBA 浓度与物种组合间有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Note: SP<sub>1</sub> = *Rh. kiangsiense*, SP<sub>2</sub> = *Rh. liliiflorum*. Different capital letters indicate significant differences between different IBA concentrations or species ( $P < 0.05$ ), different small letters indicate significant differences between different combinations of IBA concentrations and species ( $P < 0.05$ ).

( $P < 0.01$ ) 水平; 物种对除老叶留存数外的所有生根指标有极显著影响。两因素多重比较表明(表 2), 4 个 IBA 浓度上, 100 mg · L<sup>-1</sup> 处理的生根率、新梢长最大, 腐烂率最低, 其它指标也表现良好; 50 mg · L<sup>-1</sup> 处理根幅、新梢率最大, 但不定根数最少; 200

mg · L<sup>-1</sup> 处理不定根数、最长不定根长及老叶留存数最大, 但新梢率、新梢长及腐烂率显著差于其它处理, 生根率也显著低于 50、100 mg · L<sup>-1</sup> 处理; 对照处理除新梢率、新梢长及腐烂率显著优于 200 mg · L<sup>-1</sup> IBA 外, 其它指标均表现极差。两种杜鹃中, 百合花

表 3 扦插时间对两种杜鹃扦插生根指标影响的方差分析

Table 3 Variance analysis of the effects of cutting time on cuttings' rooting parameters of two *Rhododendron* species

变异来源 Source of variation	F 值 F value						
	生根率 Rooting rate (%)	不定根数 No. of adventitious roots / rooted cutting	最长不定根长 Length of longest adventitious root (cm)	根幅 Root width (cm)	老叶留存数 Retention No. of old leaves / rooted cuttings	腐烂率 Rotting rate (%)	愈伤率 Callusing rate (%)
T	62.230 **	32.233 **	18.665 **	29.756 **	6.353 **	4.000 *	98.545 **
SP	0.477	7.536 *	9.076 **	9.618 **	0.038	4.000	0.008
T × SP	6.668 **	5.377 **	4.104 *	4.989 *	0.119	4.000 *	9.941 **

注: T=扦插时间, SP=物种。\* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著。

Note: T=Cutting times, SP=Species. \* Difference is significant at 0.05 level, \*\* Difference is significant at 0.01 level.

表 4 扦插时间对两种杜鹃扦插生根指标影响的多重比较

Table 4 Multiple comparison of the effects of cutting time on cuttings' rooting parameters of two *Rhododendron* species

扦插时间 Cutting time	生根率 Rooting rate (%)			不定根数 No. of adventitious roots / rooted cuttings			最长不定根长 Length of longest adventitious root (cm)			根幅 Root width (cm)		
	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean
2012-04-18	76.67ab	96.67a	86.67A	16.45b	23.51b	19.98A	1.79bc	3.78a	2.78A	1.82b	3.10a	2.46A
2012-06-21	0.00d	0.00d	0.00D	0.00c	0.00c	0.00B	0.00d	0.00d	0.00C	0.00c	0.00c	0.00C
2012-08-16	23.33c	0.00d	11.67C	2.83c	0.00c	1.42B	0.29d	0.00d	0.15C	0.29c	0.00c	0.15C
2012-10-19	56.67b	86.67a	71.67B	15.62b	36.94a	26.28A	0.67cd	2.67ab	1.67B	0.77c	2.48ab	1.62B
均值 Mean	39.17A	45.83A		8.72B	15.11A		0.69B	1.61A		0.72B	1.40A	

扦插时间 Cutting time	老叶留存数 Retention No. of old leaves / rooted cuttings			腐烂率 Rotting rate (%)			愈伤率 Callusing rate (%)		
	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	均值 Mean
2012-04-18	2.43abc	2.37abc	2.40BC	0.00b	0.00b	0.00B	100.00a	100.00a	100.00A
2012-06-21	1.94bc	1.67c	1.81C	0.00b	0.00b	0.00B	0.00d	0.00d	0.00D
2012. 8.16	3.47a	3.38a	3.42A	0.00b	13.33a	6.67A	93.33ab	60.00c	76.67B
2012-10-19	2.97abc	3.17ab	3.07AB	0.00b	0.00b	0.00B	40.00c	80.00b	60.00C
均值 Mean	2.70A	2.65A		0.00A	3.33A		58.33A	60.00A	

注: 不同大写字母表示不同扦插时间或物种间有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示不同扦插时间与物种组合间有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different capital letters indicate significant differences between different cutting times or species ( $P < 0.05$ ), different small letters indicate significant differences between different combinations of cutting times and species ( $P < 0.05$ ).

杜鹃除生根率、腐烂率显著差于江西杜鹃外, 其它指标均显著优于江西杜鹃(老叶留存数在种间差异不显著)。

从表 1 可见, IBA 浓度与物种的交互效应对不定根数、最长不定根长、根幅及新梢率有极显著或显著影响, 表明不同物种对 IBA 浓度的生根响应存在

差异。两种杜鹃、4 个扦插时间生根指标的多重比较表明(表 2), 生根率: 江西杜鹃以 50、100 mg · L<sup>-1</sup> IBA 处理最佳, 百合花杜鹃在 0~100 mg · L<sup>-1</sup> 处理时随着浓度升高而升高, 200 mg · L<sup>-1</sup> 处理两种杜鹃生根率下降; 不定根数: 江西杜鹃随着 IBA 浓度升高而显著增加, 百合花杜鹃在 4 个浓度间无显著差异;

最长不定根长:江西杜鹃以  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理最佳,  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  其次,百合花杜鹃随着浓度的升高而增大;根幅:江西杜鹃以  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理最佳,  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  其次,百合花杜鹃在  $0 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理时随着浓度升高而增大;叶片保留数:江西杜鹃在 4 个 IBA 浓度间无显著差异,而百合花杜鹃随着浓度升高而增加;新梢率:江西杜鹃、百合花杜鹃分别以  $50, 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理最高,随着浓度进一步升高均显著降低;新梢长:江西杜鹃在  $0 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理时随着浓度升高而增大,  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理不萌芽,百合花杜鹃仅  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理显著小于对照;腐烂率:两种杜鹃在  $0 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理时差异不显著,但  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理大幅上升。8 个生根指标综合分析表明,  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 为两种杜鹃最佳生根浓度,  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  其次,  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  较差,对照处理最差;百合花杜鹃生根效果总体优于江西杜鹃。

## 2.2 扦插时间对两种杜鹃扦插生根的影响

由表 3 可见,扦插时间除对腐烂率仅为显著影响外其它指标均达极显著水平;而物种仅对最长不定根长、根幅有极显著影响,对不定根数有显著影响,说明扦插时间对生根指标的影响大于种间水平。4 个扦插时间上,除 2012-08-16 扦插出现少量腐烂(百合花杜鹃)外,其它时间未见腐烂;其它 6 个指标上,04-18 扦插生根率、最长不定根长、根幅及愈伤率均显著优于其它时间,仅老叶留存数较少;10-19 扦插不定根数最佳,除愈伤率较低外其它指标也表现较好;08-16 扦插除老叶留存数最多外,其它指标均表现较差;06-21 扦插各指标表现最差。在种间差异达到显著水平的指标上百合花杜鹃均优于江西杜鹃(表 4)。

扦插时间与物种的交互效应对除老叶留存数外的所有指标有极显著或显著影响(表 3)。从表 4 可以看出,两种杜鹃生根率、最长不定根长、根幅在 4 个扦插时间上表现相似,均以 2012-04-18 扦插最佳,10-19 扦插其次,但 08-16、06-21 扦插的百合花杜鹃不生根而 08-16 扦插的江西杜鹃有少量生根;江西杜鹃不定根数在 04-18 与 10-19 扦插差异小、两者显著大于 08-16 扦插,而百合花杜鹃 10-19 扦插显著大于 04-18;两种杜鹃老叶留存数均以 08-16 扦插最多,10-19、04-18 扦插其次,06-21 扦插最少;愈伤率均以 04-18 扦插最高、06-21 扦插最低,但江西杜鹃 08-16 扦插显著大于 10-19,而百合花杜鹃相反

(表 4)。各生根指标综合分析可见,04-18 扦插两种杜鹃生根效果最佳,10-19 扦插其次,08-16 及 06-21 扦插效果极差,不宜进行扦插育苗;百合花杜鹃生根能力强于江西杜鹃。

## 3 讨论与结论

### 3.1 IBA 浓度对扦插生根的影响

相对于 IAA 及 NAA, IBA 稳定性强、运输慢、毒性小,促进生根活性更强(Rana & Sood, 2012; 王书胜等 2014),也被认为是杜鹃花属植物的最佳生根剂(Singh & Gurung, 2009; 张乐华等, 2014),但不同物种及生根指标对 IBA 浓度的响应存在差异(Nawrocka-Grzeskowiak, 2004)。本研究发现, IBA 浓度对除老叶留存数外的所有指标均有显著影响,  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理可降低腐烂率,增加生根率和新梢长,其它指标也表现良好,生根效果最佳;  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理增加根幅和新梢率,但不定根数较少,效果其次;  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理虽然可促进根系发育,但腐烂率高、生根率低,特别是显著抑制新梢萌发与生长;对照处理各生根指标表现较差。王书胜等(2014)也发现  $50, 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理显著降低鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)腐烂率、提高生根率,  $200, 400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理促进根系发育,但  $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理引发插穗腐烂、降低生根率并抑制新梢生长;王书胜等(2015)在云锦杜鹃(*Rh. fortunei*)、Rana & Sood(2012)在大无花果(*Ficus roxburghii*)扦插研究上也得到类似的结果。本研究中 IBA 处理促进两种杜鹃生根和根系、新梢发育,可能归因于外源 IBA 提高了插穗内源激素水平和酶活性,和/或促进了淀粉水解与蛋白质合成(Husen, 2008; 赵云龙等, 2013; 李朝婵等, 2012);  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  IBA 处理生根率降低可能是高浓度的 IBA 处理对插穗组织造成了伤害,从而引发插穗腐烂、影响不定根形成(王书胜 2014, 王书胜 2015);而  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理显著抑制新梢萌动则可能与高浓度 IBA 处理可诱导乙烯的大量产生有关(Sun & Bassuk, 1993)。

### 3.2 扦插时间对扦插生根的影响

母本植物的生理状况决定着插穗生根能力(Cristofori et al, 2010; McGuigan et al, 1996)。大量研究表明,植物组织内源激素与营养物质水平随着季节而变化(Guo et al, 2009; Bhardwaj & Mishra, 2005),且变化规律因物种而异(赵云龙等, 2012)。

杜鹃花种类繁多、生态类型多样,不同种间最佳扦插时间差异较大(Jones et al, 2010; Nawrocka-Grzeskowiak, 2004)。本研究表明,扦插时间对所有测试指标均有显著影响,2012-04-18 扦插除老叶留存数较少外,其它指标均表现极佳,为两种杜鹃的最佳扦插时间;10-19 扦插除百合花杜鹃不定根数较多外,其它指标(老叶留存数除外)均次于04-18 扦插,效果其次;08-16 扦插仅江西杜鹃有少量生根且根系质量极差,而06-21 扦插两种杜鹃均不愈伤和生根。表明两种杜鹃生根效果随着插穗木质化程度的增加而增强,该结果与前人报道(Hae & Funnah, 2011; Guo et al, 2009; Stubbs et al, 1997)一致。本研究中,04-18 扦插生根效果最佳可能归因于其插穗木质化程度高,碳水化合物丰富、氮含量低,有利于不定根形成(Bhardwaj & Mishra, 2005; Guo et al, 2009);10-19 扦插其插穗木质化程度也较高、营养物质丰富,但此时母株已逐渐进入休眠期,抑制物可能增加(王东光等, 2013),故生根效果次于04-18 扦插;06-21 及08-16 扦插生根能力差,可能是插穗木质化程度较低(特别是06-21 扦插)、营养储备不足(Hae & Funnah, 2011; Stubbs et al, 1997)或缺乏生根协同物质(Ferriani et al, 2006)。但也有学者认为生根能力的季节变化主要受生根期气温的影响(Cristofori et al, 2010; 李福秀等, 2007; 潘健等, 2005)。本研究中,06-21 扦插生根期的平均气温约 25 °C(图 1),两种杜鹃既不腐烂、也不愈伤和生根;而08-16 扦插平均气温约 20 °C,百合花杜鹃虽产生愈伤组织,但仍未见生根。可见,在庐山气候条件下,气温不是影响两种杜鹃扦插生根的主要因子。

### 3.3 两种杜鹃生根能力差异

不同基因型的生根能力差异已经广为报道(Nawrocka-Grzeskowiak, 2004; Owais, 2010; Mehri et al, 2013)。本研究发现,在差异达到显著水平的所有指标中,百合花杜鹃除在试验 1 中生根率、腐烂率表现较差外,其它均优于江西杜鹃,表明百合花杜鹃扦插生根能力强于江西杜鹃。江西杜鹃为中型灌木,生长慢、自然更新能力弱,而百合花杜鹃为大灌木至小乔木,生长速度与更新能力强于江西杜鹃,两种杜鹃的生根表现与其遗传及生长特性相吻合。本研究中,百合花杜鹃在 2012-08-16 扦插不生根,而生根能力相对较弱的江西杜鹃反而有少量生根,这可能与扦插时两种杜鹃的木质化程度有关:百合花杜鹃抽梢期较晚(晚于江西杜鹃 20~22 d)、插穗木

质化程度更低,不利于生根,该现象也进一步表明木质化程度较高的插穗有利于生根。

### 3.4 扦插基质对扦插生根的影响

基质组成与物理性状影响着生根环境,理想的基质应有良好的通气、排水性和丰富的营养(Mehri et al, 2013; 王书胜, 2015; 王东光等, 2013)。本研究发现,扦插基质对生根指标也有较大的影响。2010-10-21 采用腐叶土+河沙(1:1)基质、100 mg·L<sup>-1</sup> IBA 处理,扦插 38 周时百合花杜鹃生根率 65.00%、不定根数仅 14.77 条、腐烂率达 25.00%;而 2012-10-19 采用泥炭+珍珠岩+蛭石(3:1:1)基质、相同 IBA 浓度处理,扦插 15 周时其生根率 86.67%、不定根数多达 36.94 条、腐烂率为 0;江西杜鹃不定根数、腐烂率在两种基质中也有类似的表现,表明泥炭+珍珠岩+蛭石(3:1:1)基质的生根效果优于腐叶土+河沙(1:1)。泥炭+珍珠岩+蛭石(3:1:1)基质生根效果好可能归因于泥炭营养丰富、保水性强,而珍珠岩、蛭石可改善基质的通气、排水性(Mehri et al, 2013; 王书胜等, 2015),该结果也与李焕勇等(2014)的报道一致。

江西杜鹃、百合花杜鹃观赏价值高,市场前景广阔,扦插技术不过关是制约其产业化的瓶颈。目前,国内常绿类杜鹃扦插繁殖多于夏季(赵云龙等, 2013; 李朝婵等, 2012)或秋季(张乐华等, 2014; 王书胜等, 2015)进行,生根效果不够理想。本研究首次发现,早春新梢萌动前采用上年度木质化硬枝扦插可显著提高两种杜鹃生根效果,百合花杜鹃生根率高达 96.67%,江西杜鹃达 76.67%,且根系发育良好。该结果对加快我国常绿类杜鹃保育与产业化具有重要意义,但母本植物生理特征的季节变化、插穗内源物质对 IBA 响应及其与生根的相关性还有待深入研究。

### 参考文献:

- AKWATULIRA F, GWALI S, SSEGAWA P, et al, 2011. Vegetative propagation of *Warburgia ugandensis* Sprague: an important medicinal tree species in eastern Africa [J]. *J Med Plants Res*, 5(30): 6615-6621.
- BHARDWAJ DR, MISHRA VK, 2005. Vegetative propagation of *Ulmus villosa*: effects of plant growth regulators, collection time, type of donor and position of shoot on adventitious root formation in stem cuttings [J]. *New For*, 29(2): 105-116.
- CRISTOFORI V, ROUPHAEL Y, RUGINI E, 2010. Collection time, cutting age, IBA and putrescine effects on root formation in *Corylus avellana* L. cuttings [J]. *Sci Hortic*, 124(2): 189-194.
- FERRIANI AP, BORTOLINI MF, ZUFFELLATO-RIBAS KC, et

- al, 2006. Vegetative propagation by cuttings of azaléia tree (*Rhododendron thomsonii* HOOK. f.) [J]. *Semina Cienc Agrar*, 27(1): 35-42.
- GUO XF, FU XL, ZANG DK, et al, 2009. Effect of auxin treatments, cuttings' collection date and initial characteristics on *Paeonia* 'Yang Fei Chu Yu' cutting propagation [J]. *Sci Hortic*, 119(2): 177-181.
- HAE M, FUNNAH SM, 2011. The effect of propagation media and growth regulators on rooting potential of Kei apple (*Doryalis caffra*) stem cuttings at different physiological ages [J]. *Life Sci J*, 8(S2): 91-99.
- HUSEN A, 2008. Clonal propagation of *Dalbergia sissoo* Roxb. and associated metabolic changes during adventitious root primordium development [J]. *New For*, 36(1): 13-27.
- JONES JR, LEBUDE AV, RANNEY TG, 2010. Vegetative propagation of Oconee Azalea (*Rhododendron flammeum*) by stem cuttings and mound layering [J]. *J Environ Hortic*, 28(2): 69-73.
- LI CC, ZHAO YL, ZHANG DL, et al, 2012. Changes of endogenous hormones and anatomical structure of *Rhododendron stamineum* during cutting propagation [J]. *For Res*, 25(3): 360-365. [李朝婵, 赵云龙, 张冬林, 等, 2012. 长蕊杜鹃扦插内源激素变化及解剖结构观察 [J]. *林业科学研究*, 25(3): 360-365.]
- LI FX, CHEN XY, ZHANG DG, et al, 2007. Study on cutting rooting ability for *Helicia nilagrica* Bedd [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed)*, 31(4): 93-97. [李福秀, 陈新云, 张德国, 等, 2007. 药用植物母猪果扦插生根能力的研究 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 31(4): 93-97.]
- LI HY, LIU T, ZHANG HX, et al, 2014. Cutting propagation technique of *Acer negundo* L. [J]. *J NE For Univ*, 42(8): 25-29. [李焕勇, 刘涛, 张华新, 等, 2014. 复叶槭扦插繁殖技术 [J]. *东北林业大学学报*, 42(8): 25-29.]
- MAO AA, KALIAMOORTHY S, RANYAPHI RA, et al, 2011. *In vitro* micropropagation of three rare, endangered, and endemic *rhododendron* species of Northeast India [J]. *In Vitro Cell Dev*, 47(6): 674-681.
- MCGUIGAN PJ, BLAZICH FA, RANNEY TG, 1996. Propagation of *Quercus myrsinifolia* and *Quercus canbyi* by stem cuttings [J]. *J Environ Hortic*, 14(4): 217-220.
- MEHRI H, MHANNA K, SOLTANE A, et al, 2013. Performance of olive cuttings (*Olea europaea* L.) of different cultivars growing in the agro-climatic conditions of Al-Jouf (Saudi Arabia) [J]. *Am J Plant Physiol*, 8(1): 41-49.
- NAWROCKA-GRZEŚKOWIAK U, 2004. Effect of growth substances on the rooting of cuttings of *Rhododendron* species [J]. *Folia Hortic*, 16(1): 115-123.
- OWAIS SJ, 2010. Rooting response of five pomegranate varieties to indole butyric acid concentration and cuttings age [J]. *Pak J Biol Sci*, 13(2): 51-58.
- PAN J, CHENG JS, TANG GG, et al, 2005. The experimental analysis on the techniques of propagation for *Eurya nitida* [J]. *J Nanjing For Univ(Nat Sci Ed)*, 29(6): 123-125. [潘健, 程家寿, 汤庚国, 等, 2005. 细齿叶柃繁殖技术的试验分析 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 29(6): 123-125.]
- 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 *Rh. maddenii* Hook. F. an endangered *Rhododendron* species of Sikkim Himalaya [J]. *Not Bot Hortic Agrob*, 37(1): 79-83.
- STUBBS HL, BLAZICH FA, RANNEY TG, et al, 1997. Propagation of 'Carolina Sapphire' smooth Arizona cypress by stem cuttings: effects of growth stage, type of cutting, and IBA treatment [J]. *J Environ Hortic*, 15(2): 61-64.
- SUN WQ, BASSUK NL, 1993. Auxin-induced ethylene synthesis during rooting and inhibition of bud break of 'Royalty' rose cuttings [J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 118(5): 638-643.
- WANG DG, YIN GT, ZOU WT, et al, 2013. Effects of different substrates and seasons on shoot cutting propagation of *Phoebe bournei* [J]. *Chin J Trop Crops*, 34(8): 1458-1462. [王东光, 尹光天, 邹文涛, 等, 2013. 不同基质和季节对闽楠嫩枝扦插生根的影响 [J]. *热带作物学报*, 34(8): 1458-1462.]
- WANG SS, LI XH, ZHANG LH, et al, 2014. Effects of hormone types and concentrations on cutting propagation of *Rhododendron latoucheae* and its evaluation [J]. *Guihaia*, 34(2): 227-234. [王书胜, 李晓花, 张乐华, 等, 2014. 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*, 34(2): 227-234.]
- WANG SS, SHAN W, ZHANG LH, et al, 2015. Influences of rooting media and IBA concentrations on cutting propagation of *Rhododendron fortunei* [J]. *Sci Silv Sin*, 51(7): 25-32. [王书胜, 单文, 张乐华, 等, 2015. 生根基质及 IBA 浓度对云锦杜鹃扦插育苗的影响 [J]. *林业科学*, 51(7): 25-32.]
- ZHANG LH, WANG SS, SHAN W, et al, 2014. Influences of growth media, and hormone types and concentrations on cutting propagation of *Rhododendron latoucheae* [J]. *Sci Silv Sin*, 50(3): 45-54. [张乐华, 王书胜, 单文, 等, 2014. 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*, 50(3): 45-54.]
- ZHAO YL, CHEN X, LI CC, 2013. Dynamic of physiology and biochemistry during wild *Rhododendron scabrifolium* cutting propagation [J]. *Sci Silv Sin*, 49(6): 45-51. [赵云龙, 陈训, 李朝婵, 2013. 糙叶杜鹃扦插生根过程中生理生化分析 [J]. *林业科学*, 49(6): 45-51.]
- ZHAO YL, LI CC, WU HM, et al, 2012. Changes of endogenous hormones of three *Rhododendron lapponicum* stems during different seasons [J]. *Guizhou Agric Sci*, 40(9): 196-198. [赵云龙, 李朝婵, 巫华美, 等, 2012. 3 种高山杜鹃不同季节茎段内源激素的变化 [J]. *贵州农业科学*, 40(9): 196-198.]