

基质配比对 4 个高山杜鹃品种扦插苗根系发育的影响

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

(1. 中国科学院庐山植物园, 江西 庐山 332900;

2. 江西省植物迁地保护与利用重点实验室, 江西 九江 332000)

摘要:以 4 个观赏性高、适应性强的 4 个高山杜鹃品种当年生木质化顶枝为试验材料, 采用 4 个品种 × 4 种基质的两因素完全随机区组设计, 研究不同基质配比对高山杜鹃品种扦插生根及扦插苗根系发育的影响, 阐明品种间的生根难易及适宜的基质组成, 以期筛选出品种与基质的最佳育苗组合. 结果表明: 高山杜鹃品种在扦插第 46~60 d 时生根, 不定根主要发端于愈伤组织, 属于以愈伤组织生根为主的生根类型. 品种和扦插基质对除插穗成活率、愈伤率外的 8 个指标均有极显著的影响 ($p < 0.01$), 且基质影响大于品种. 隶属函数综合评价表明, 16 个处理中 R. 'Eucharitis' 与 M₁ (1:1:1) 组合 U 值最大, 而 R. 'Polaris' 与 4 种基质组合的 U 值排名最后. 高山杜鹃品种扦插生根困难, 受品种、基质及其交互效应的显著影响; 4 个品种育苗效果依次为 R. 'Eucharitis' > R. 'Tortoise Shell Orange' > R. 'Anne rose Whitney' > R. 'Polaris'; 4 种基质效果依次为 M₁ (1:1:1) > M₂ (3:1:1) > M₃ (1:1:3) > M₄ (1:3:1); 不同品种对基质的生根响应存在差异, R. 'Eucharitis' 与 M₁ (1:1:1) 组合可用于产业化育苗.

关键词:高山杜鹃品种; 扦插繁殖; 基质; 根系构型特征; 综合评价

中图分类号: S688

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



杜鹃花泛指杜鹃花科 (Ericaceae) 杜鹃属 (*Rhododendron*) 植物, 全球有野生种 1 000 余种、品种约 30 000 个^[1], 而国内注册的品种仅 34 个^[2], 新品种培育远远落后于国外水平. 高山杜鹃品种泛指以原产高海拔地区的大叶常绿类杜鹃——即杜鹃属中的常绿杜鹃亚属 (Subg. *Hymenanthes*)、杜鹃亚属 (Subg. *Rhododendron*)、马银花亚属 (Subg. *Azaleastrum*) 为亲本培育的园艺品种, 该类品种主要育自欧洲及北美等发达国家, 其株型优美、花大色艳、叶大而常绿, 观赏价值极高. 国内自 1998 年开始从欧洲引种, 其独特的观赏性立即引起业内的广泛关注, 并于近年成为园林绿化中的新宠, 产业化前景广阔.

杜鹃品种扩繁主要有组织培养、扦插和嫁接三种方法. 植物组织培养快速繁殖系数大、苗木生长均匀, 但对设施条件要求严、工序复杂、成本较高^[3], 难以在中小型企业推广; 嫁接繁殖需要大量的优良砧木, 繁殖系数低^[4], 主要用于扦插难以生根的品种繁殖; 而扦插繁殖具有操作易、成本低、育

苗周期短、设施要求简单等优点, 为杜鹃花商业生产中应用最广的方法^[5]. 杜鹃花种类繁多、生态类型多样, 小叶落叶和半常绿类杜鹃 (*Azalea*) 及其品种扦插容易生根, 已有大量的研究报道^[6-8]; 受遗传因子制约, 野生常绿类杜鹃除杜鹃亚属生根率相对较高外, 常绿杜鹃亚属生根困难^[9-10]. 为探索大叶常绿类杜鹃扦插难以生根的生物学机制, 国内外学者观察了其根原基发育的解剖学过程^[11-13]; 发现种(品种)间生根难易与插穗营养物质、代谢产物、生根“辅助因子”, 以及氧化酶活性、内源激素水平及其平衡等密切相关^[12-15]; 探讨了不同外源因子对促进其扦插生根效果的影响^[5,16], 但已有报道多集中在激素和/或基质对单一物种的生根影响^[17-19], 而不同基因型杜鹃对基质的生根响应及其交互效应未见报道. 高山杜鹃品种扦插繁殖国外已有少量研究^[5,12,14], 而国内关于相关的报道较少^[20]. 杜鹃花产业处于高速发展期, 高山杜鹃作为庭院植物和盆景(花)在国际进出口花卉的需求上占据一定地位, 成为许多地区主要经济来源. 为加

收稿日期: 2021-09-29.

基金项目: 中国科学院科技服务网络计划(STS计划)区域重点项目(KFJ-STQ-QYZD-178); 江西省自然科学基金项目(20181BAB204015).

* 通信联系人. E-mail: lehua07163.com.

快我国高山杜鹃产业化进程,本研究以4个观赏性高、适应性强的杜鹃品种为试验材料,以国外商业化育苗应用最广的泥炭、珍珠岩和蛭石为基质材料,开展了不同品种与基质配比的育苗试验,并运用隶属函数法对育苗指标进行了综合评价,以期阐明品种间的生根难易、筛选出最佳基质配比,服务于产业化育苗。

1 材料与方 法

1.1 材 料

在科技部国际科技合作项目支持下,2016年庐山植物园从比利时引进高山杜鹃品种40个(均为常绿杜鹃亚属品种)。在40个品种间观赏性状与适应性评价的基础上,选择4个观赏性高、适应性强、市场前景好的品种作为试验材料。泥炭来自荷兰 Jiffy 公司,珍珠岩、蛭石购自广州三力园艺有限公司,IBA 购自合肥博美生物科技有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 插穗采集与制作 以生长旺盛、无病虫害的5年生组培盆栽苗为采穗母株,剪取植株冠层当年生的木质化枝条并及时运回实验室喷水保湿;选取大小一致、带顶芽的顶生枝,剪成长8~12 cm 插穗,去除基部叶片和顶部花芽,保留叶芽和顶部叶3~4片,再剪去叶片的2/3,以减少水分蒸发;同时,插穗基部一侧用嫁接刀去除长约1.5 cm 的“U”形皮层,以利于插穗吸收激素与水分,促进愈伤组织形成和生根。

1.2.2 试验设计 采用不同品种(C)和基质配比(M)两因素试验。品种设 C_1 (R. ‘Eucharitis’)、 C_2 (R. ‘Tortoise Shell Orange’)、 C_3 (R. ‘Anne rose Whitney’)、 C_4 (R. ‘Polaris’)4个水平;扦插基质设 M_1 (泥炭:珍珠岩:蛭石=1:1:1,体积比,下同)、 M_2 (泥炭:珍珠岩:蛭石=3:1:1)、 M_3 (泥炭:珍珠岩:蛭石=1:1:3)、 M_4 (泥炭:珍珠岩:蛭石=1:3:1)4种配比。按 4×4 单因素完全随机区组设计,共16个处理,每处理3次重复,每重复20个插穗;同时每个处理增设21个插穗,供插穗生根过程观察。扦插前用 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 IBA 溶液浸泡插穗基部(1.5 cm)12 h。

1.2.3 苗床及试验条件的设置 试验于庐山植物园杜鹃花繁殖温室内进行,苗床铺设及试验条件设置参见张乐华等^[18]报道。苗床底部加热,地温设定 $22 \text{ }^\circ\text{C}$ 。试验期间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。

1.3 指标观测及数据分析

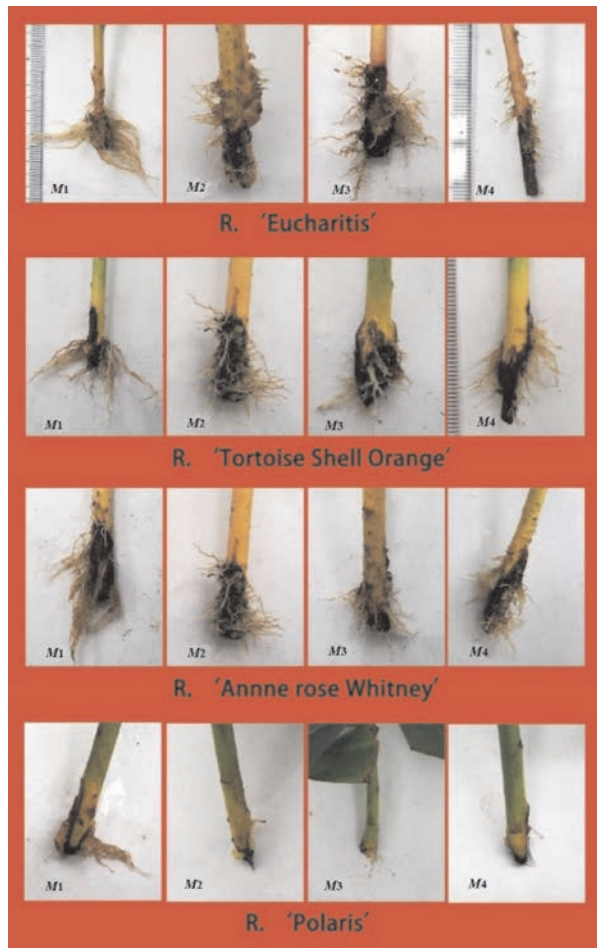
试验过程中,每隔15 d 每个处理随机选取3个插穗,观察生根过程。90 d 时,观测统计插穗成活率、愈伤率、生根率、最长不定根长等指标;再用流水浸泡、冲洗根系去除粘附的基质,用 Scan Maker i800 plus 扫描仪获取根系的扫描图像,用万深 LA-S 分析仪(杭州万深检测科技有限公司)测定总根长、根平均直径、总根表面积及总根体积等4个根系构型特征;最后剪取根系烘干至恒重,称取干重;最长不定根长为最长3根不定根长度的平均值。成活率(愈伤率、生根率)=每个重复的成活(愈伤、生根)插穗数/每个重复的插穗数 $\times 100\%$ 。

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,参照张乐华等^[18]方法对所有百分率指标进行反正弦转换($\sin^{-1}\sqrt{P}$)。采用隶属函数法对生根及根系发育指标进行综合评价, $U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, 式中 X_i 为指标测定值, X_{\min} 、 X_{\max} 为某一指标的最小值和最大值。将各处理不同指标的 U 值进行累加求平均值,平均值越大育苗效果越好。

2 结果与分析

2.1 生根过程观察

生根过程观察发现,在扦插后第15 d 取样时所有处理插穗基部的愈伤部位均形成黄褐色的氧化层,但未见形成明显的愈伤层。第30 d 时大部分处理在愈伤部位形成棕褐色愈伤组织,愈伤层较薄呈薄片状。第45 d 时所有处理愈伤层加厚;仅 C_1 (Eu) 与 M_1 (1:1:1) 组合形成少量白色透明的不定根。第60 d 时愈伤层进一步增厚,少数插穗愈伤组织增厚呈痂状;所有处理均或多或少的产生不定根,少数处理不定根产生分支,但仍为白色透明状。第75 d 时不定根形成2~3级分支(须根),颜色变深,呈灰白色至棕色。第90 d 时须根增多、加粗、增长,根系趋于成熟、棕黄色(见图1)。图1可见,所有品种不定根主要发端于愈伤组织,皮部生根较少,属于以愈伤组织生根为主、皮部生根为辅的混合生根类型。4个品种中 C_1 (Eu) 总体生根效果最佳, C_2 (TSO)、 C_3 (ArW) 其次, C_4 (Pol) 最差;4种基质上 M_1 (1:1:1) 总体表现最佳, M_2 (3:1:1)、 M_3 (1:1:3) 其次, M_4 (1:3:1) 最差,但不同品种在不同基质间的生根表现存在差异。



注: M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 分别代表泥炭:珍珠岩:蛭石 = 1:1:1、3:1:1、1:1:3、1:3:1 (V/V)。

图 1 4 个高山杜鹃品种扦插生根部位及生根效果(扦插 90 d 时)

Fig. 1 Rooting position and rooting effect of cuttings of 4 alpine *Rhododendron* varieties (90 d cuttings)

2.2 基质、品种对扦插生根指标的影响

两因素方差分析结果表明(表 1),两个主效应因素中,品种及扦插基质除对成活率、愈伤率影响不显著($p > 0.05$)外,对生根率、最长不定根长、根干重均有极显著的影响($p < 0.01$); F 值分析发现,品种对生根率影响大于扦插基质,而基质对最长不定根长、根干重影响大于品种,表明高山杜鹃品种是否生根主要受品种基因型限制,而根系生长则主要受基质影响。两因素交互效应对最长不定根长、根干重分别有显著、极显著的影响,说明不同品种根系生长对基质响应存在差异。

由表可见,插穗成活率、愈伤率虽然在品种间存在一定差异,但均未达到显著水平。4 个品种的生根率、根干重均以 C_1 (Euc) 表现最佳, C_2 (TSO)、 C_3 (ArW) 其次, C_4 (Pol) 最差;最长不定根长以 C_2

(TSO) 的表现最佳, C_1 (Euc)、 C_3 (ArW) 其次, C_4 (Pol) 最差,但在上述 3 个指标上除 C_4 (Pol) 极显著小于其他 3 个品种外,其他 3 个品种间无显著差异。扦插基质对插穗成活率无显著影响,对其他 4 个生根指标有显著或极显著影响。其中,生根率、最长不定根长及根干重在基质间的表现趋势一致,均以 M_1 (1:1:1) 最佳, M_2 (3:1:1)、 M_4 (1:3:1) 其次, M_3 (1:1:3) 最差,但除 M_1 (1:1:1) 显著或极显著优于其他 3 种基质外,其他 3 种基质间无显著差异;愈伤率以 M_2 (3:1:1) 最佳, M_1 (1:1:1)、 M_3 (1:1:3) 其次, M_4 (1:3:1) 最差,除 M_2 (3:1:1) 显著高于 M_4 (1:3:1) 外,其他基质两两间无显著差异。表明 C_1 (Euc) 品种总体生根效果较好,而 C_4 (Pol) 最差; M_1 (1:1:1) 基质总体生根效果较好,而 M_4 (1:3:1) 最差。

2.3 基质、品种对扦插苗根系构型特征的影响

两个主效应因素及其交互效应对扦插苗的 4 个根系构型指标均有极显著的影响(表 2),说明其根系构型不仅受品种、基质的显著影响,且不同品种根系构型特征的优劣在不同基质间存在显著的差异。表 2 可见,扦插基质在 4 个根系构型指标上的 F 值均大于品种,说明基质对根系构型的影响大于品种。

总根长、根平均直径、总根表面积在品种间的表现相似,均表现为 C_1 (Euc) 与 C_2 (TSO) 差异不显著但显著优于其他 2 个品种; C_2 (TSO) 与 C_3 (ArW) 差异不显著,但 C_4 (Pol) 极显著或显著差于其他 3 个品种。总根体积表现为 C_1 (Euc) 显著优于 C_2 (TSO),极显著优于 C_3 (ArW) 和 C_4 (Pol)。4 个根系构型指标中,总根长、总根表面积在基质间的表现相似,均表现为 M_1 (1:1:1) 最佳, M_2 (3:1:1) 其次, M_3 (1:1:3) 和 M_4 (1:3:1) 较差,但除 M_1 (1:1:1) 极显著优于其他基质外,其他 3 种基质间无显著差异。根平均直径与总根体积在基质间表现相似,均为 M_1 (1:1:1) 极显著或显著优于其他基质, M_2 (3:1:1) 又显著优于其他 2 种基质; M_3 (1:1:3) 和 M_4 (1:3:1) 差异不显著。说明 C_1 (Euc) 扦插苗的根系构型特征好、根系发达,而 C_4 (Pol) 根系发育最差; M_1 (1:1:1) 基质的扦插苗根系发达,而 M_3 (1:1:3) 和 M_4 (1:3:1) 根系质量较差。

2.4 育苗指标的相关性分析

16 个处理育苗指标的相关性分析表明,在相关性达到显著水平的指标间均为正相关(表 3)。其中,插穗成活率、愈伤率除两者间极显著相关外,与其他指标的相关性较弱(仅愈伤率与生根率呈显著

表 1 基质对 4 个高山杜鹃品种扦插生根指标影响及方差分析

Tab. 1 Effects of media on cutting rooting parameters of 4 alpine *Rhododendron* cultivars, and variance analysis

因素	水平	成活率	愈伤率	生根率	最长不定根长	根干重
品种	C ₁ (Euc)	93.18±2.27 aA	88.64±3.56 aA	70.46±6.34 aA	12.47±3.36 aA	5.37±2.20 aA
	C ₂ (TSO)	86.37±3.26 aA	84.85±3.93 aA	62.12±5.35 aA	16.28±3.86 aA	5.15±1.94 aA
	C ₃ (ArW)	93.26±1.62 aA	91.67±2.08 aA	63.64±4.33 aA	12.64±1.68 aA	4.11±1.01 aA
	C ₄ (Pol)	94.70±1.35 aA	87.88±3.03 aA	15.91±3.38 bB	4.08±0.88 bB	0.22±0.08 bB
基质	M ₁ (1:1:1)	93.18±2.77 aA	87.88±4.52 abA	67.43±9.66 aA	23.14±3.95 aA	9.82±2.35 aA
	M ₂ (3:1:1)	93.94±1.71 aA	94.70±1.35 aA	51.52±7.37 bAB	8.14±1.43 bB	1.83±0.46 bB
	M ₃ (1:1:3)	90.91±2.24 aA	87.12±2.36 abA	53.03±7.15 bAB	8.04±1.04 bB	1.55±0.52 bB
	M ₄ (1:3:1)	89.47±2.71 aA	83.34±3.13 bA	40.15±6.07 bB	6.15±1.14 bB	1.65±0.82 bB
F 值	C	1.529	0.496	25.933**	16.620**	11.763**
	M	0.998	2.599	6.182**	24.101**	21.555**
	C×M	1.101	0.835	0.788	2.988*	3.768**

注: C=品种, M=基质. 表中数据为平均值±标准误差; 同列中不同大写字母与**、小写字母与* 分别表示 0.01 和 0.05 水平差异显著, 下同.

表 2 基质对 4 个高山杜鹃品种扦插苗根系构型特征影响及方差分析

Tab. 2 Effects of media on root architecture of cutting seedlings of 4 alpine *Rhododendron* cultivars, and variance analysis

因素	水平	总根长	根平均直径	总根表面积	总根体积
品种	C ₁ (Euc)	157.54±69.83 aA	0.276±0.065 aA	286.43±155.00 aA	93.75±54.62 aA
	C ₂ (TSO)	101.96±29.90 abA	0.242±0.026 abA	100.62±33.94 abAB	19.19±7.50 bAB
	C ₃ (ArW)	64.73±12.08 bA	0.196±0.013 bAB	38.48±7.45 bB	3.05±0.84 bB
	C ₄ (Pol)	7.84±3.13 cB	0.144±0.028 cB	5.35±3.28 cC	6.92±4.27 bB
基质	M ₁ (1:1:1)	226.96±64.27 aA	0.306±0.063 aA	345.62±147.96 aA	103.55±53.37 aA
	M ₂ (3:1:1)	44.71±14.97 bB	0.233±0.027 bAB	48.49±25.42 bB	16.41±6.89 bB
	M ₃ (1:1:3)	34.71±8.27 bB	0.157±0.014 cB	19.68±5.68 bB	1.45±0.55 cB
	M ₄ (1:3:1)	25.69±7.56 bB	0.161±0.022 cB	17.07±7.10 bB	1.50±0.88 cB
F 值	C	22.365**	8.677**	15.653**	9.213**
	M	33.034**	12.860**	27.519**	20.404**
	C×M	6.677**	10.659**	10.665**	13.241**

相关), 其他 8 个指标间均达到极显著水平. 表 3 还可以发现, 5 个生根指标间的相关性相对较弱, 仅最长不定根长与根干重的相关系数达到 0.928; 而 4 个根系构型指标间的相关性较强, 特别是总根表面积、总根体积两者间的相关系数高达 0.989 以上; 生根指标与根系构型指标间仅根干重与总根长的相关系数达 0.908. 说明保持成活的插穗大多能够产生愈伤组织, 但不一定能生根; 产生愈伤组织的插穗有利于生根, 但也不一定能生根 ($r = 0.321^*$); 而生根率越高的处理其扦插苗根长、根干重越大, 根系构型特征越好.

2.5 品种与基质组合对扦插育苗指标的影响及隶属函数评价

Duncan 多重比较表明(表 4), 不同品种与基质组合在所有育苗指标上均有显著差异, 但同一组合在不同育苗指标上的表现不尽相同. 因此, 单一

或少数指标难以准确、全面地反映育苗效果, 有必要采用隶属函数法进行综合评价^[18]. 由于插穗成活率、愈伤率与扦插苗质量不直接相关, 所以对反映插穗生根及扦插苗质量的其他 8 个指标进行隶属函数评价. 结果表明, 16 个处理中 C₁(Euc)与 M₁(1:1:1)组合 U 值最大, 为排名第 2 组合的近 2 倍, 该组合除最长不定根长排名第 2 外, 其他 7 个育苗指标均表现最佳, 其生根率高达 87.88%, 根干重达 16.73 mg, 特别是 4 个根系构型指标均显著优于其他组合; C₂(TSO)与 M₁(1:1:1)组合 U 值其次, 其最长不定根长排名第 1, 根干重、总根长、总根表面积、总根体积排名第 2, 生根率、根平均直径排位第 3; C₃(ArW)与 M₁(1:1:1)组合 U 值再次, 该组合生根率达 84.85%, 除根平均直径表现略差外其他指标也有较好的表现; 而 C₄(Pol)与 4 种基质组合的 U 值排名第 13~16, 育苗效果均较差.

表 3 高山杜鹃品种扦插育苗指标的相关性分析

Tab. 3 Correlation analyses on cutting propagation parameters of alpine *Rhododendron* cultivars

指标 Traits	相关系数 Correlation coefficient								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
X ₁ :成活率	1								
X ₂ :愈伤率	0.759**	1							
X ₃ :生根率	0.177	0.321*	1						
X ₄ :最长不定根长	-0.030	0.034	0.615**	1					
X ₅ :根干重	0.055	0.091	0.581**	0.928**	1				
X ₆ :总根长	0.115	0.141	0.573**	0.834**	0.908**	1			
X ₇ :根平均直径	0.101	0.105	0.499**	0.668**	0.725**	0.852**	1		
X ₈ :总根表面积	0.148	0.148	0.448**	0.670**	0.786**	0.961**	0.851**	1	
X ₉ :总根体积	0.175	0.169	0.380**	0.590**	0.717**	0.919**	0.829**	0.989**	1

表 4 品种与基质组合对扦插育苗指标的影响及隶属函数评价

Tab. 4 Effects of cultivar and medium combinations on cutting propagation parameters, and subordinate function evaluation

品种	基质	成活率	愈伤率	生根率	最长不定	根干重	总根长	根平均	总根表	总根体积	平均隶属函数 值 $U(X_j)$	$U(X_j)$ 排序	
		/%	/%	/%	根长/mm	/mg	/mm	直径/mm	面积/mm ²	/mm ³			
(Euc)	M ₁ (1:1:1)	93.94±6.06ab	87.88±12.12ab	87.88±12.12a	30.11±5.77ab	16.73±4.02a	523.32±130.15a	0.643±0.034a	1088.66±314.55a	371.00±119.93a	0.977 1	1	
	C ₁	M ₂ (3:1:1)	90.91±5.25ab	93.94±3.03ab	60.61±16.87bc	5.00±0.69efg	1.07±0.59c	23.13±7.70efg	0.148±0.007cde	12.15±4.50d	0.75±0.35d	0.115 7	10
		M ₃ (1:1:3)	100.00±0.00a	93.94±3.03ab	78.79±8.02abc	9.11±1.06def	2.42±1.68c	59.03±24.00cde	0.165±0.027cde	32.86±18.84cd	2.62±2.06cd	0.186 3	5
	M ₄ (1:3:1)	87.88±3.03ab	78.79±6.06b	54.55±5.25bc	5.67±0.88defg	1.25±0.44c	24.68±9.53efg	0.146±0.011cde	12.04±4.37d	0.62±0.21d	0.109 8	12	
	(TSO)	M ₁ (1:1:1)	84.85±8.02ab	81.82±10.50ab	78.79±13.21ab	36.22±5.68a	14.94±3.96a	245.86±43.54b	0.270±0.020bc	217.81±56.49b	37.48±13.62b	0.494 5	2
C ₂		M ₂ (3:1:1)	93.94±3.03ab	93.94±3.03ab	66.67±3.03bc	13.33±3.18cd	3.49±0.96bc	104.70±43.10cd	0.342±0.050b	151.87±82.33bc	37.04±19.95bc	0.279 7	4
		M ₃ (1:1:3)	84.85±6.06b	84.85±6.06ab	57.58±8.02bc	8.22±0.59defg	0.93±0.29c	28.73±1.58defg	0.157±0.008cde	14.87±1.61d	0.90±0.23d	0.125 6	9
M ₄ (1:3:1)		81.82±9.09ab	78.79±10.92ab	45.46±9.09cd	7.33±3.06defg	1.24±0.73c	28.55±13.45efg	0.197±0.039cde	17.93±9.50d	1.34±0.75d	0.115 4	11	
(ArW)		M ₁ (1:1:1)	96.97±3.03ab	100.00±0.00a	84.85±3.03ab	20.22±2.73bc	7.17±2.18b	121.29±16.19c	0.179±0.011cde	59.52±8.85cd	3.77±0.99cd	0.295 8	3
	C ₃	M ₂ (3:1:1)	93.94±3.03ab	93.94±3.03ab	60.61±8.02bc	10.11±2.12def	2.56±0.37bc	45.46±14.17cdefg	0.208±0.018cde	29.13±9.62cd	2.38±0.94cd	0.168 3	6
		M ₃ (1:1:3)	87.88±3.03ab	84.85±3.03ab	57.58±3.03bc	11.44±1.90cde	2.80±0.77bc	46.15±9.43cdef	0.198±0.022cde	28.41±8.01cd	2.08±0.72cd	0.167 9	7
	M ₄ (1:3:1)	94.24±2.89ab	87.88±3.03ab	51.52±3.03bc	8.78±2.56defg	3.92±3.20bc	46.01±22.89defg	0.200±0.052cde	36.84±25.89cd	3.98±3.43cd	0.159 5	8	
	(Pol)	M ₁ (1:1:1)	96.97±3.03ab	81.82±9.09ab	18.18±9.09de	6.00±3.10efg	0.45±0.25c	17.37±11.21efg	0.134±0.071de	16.51±12.13d	1.96±1.53cd	0.044 3	14
C ₄		M ₂ (3:1:1)	96.97±3.03ab	96.97±3.03ab	18.18±9.09de	4.11±1.06efg	0.21±0.09c	5.54±3.17fg	0.233±0.054bcd	0.82±0.14d	25.48±12.98bcd	0.060 3	13
		M ₃ (1:1:3)	90.91±0.00ab	84.85±6.06ab	18.18±5.25de	3.39±1.15fg	0.05±0.04c	4.93±3.65fg	0.110±0.037de	2.58±2.27d	0.19±0.17d	0.019 7	15
M ₄ (1:3:1)		93.94±3.03ab	87.88±3.03ab	9.09±5.25e	2.83±1.48g	0.19±0.17c	3.52±2.11g	0.098±0.050e	1.49±0.93d	0.05±0.03d	0.001 1	16	

3 讨论

植物扦插生根是一个复杂的生理、生态及解剖学过程,受植物基因型、母株生理年龄与插穗木质化程度、内源激素与营养物质水平等内源因子,以及扦插基质、扦插季节与环境条件、外源激素应用等外源因子的综合影响^[8,13,15,21];而植物基因型及扦插基质、外源激素是影响植物生根的重要因子^[22-23];且基质对插穗生根尤其是根系发育影响往往大于激素^[24-25],但不同品种对基质的生根响应存在差异。

3.1 生根过程与部位

植物生根类型一般可分为潜伏不定根原基生根型、芽下分生组织生根型、皮部生根型和愈伤组织生根型 4 种类型,其中愈伤组织生根型为难生根类型^[20],生根难易决定着生根时间^[26-27],且受外源激素^[17]及扦插基质^[28]的综合影响,容易生根的映山红(*R. simsii*)扦插 14 d 时开始生根^[7],较易生根的美容杜鹃(*R. calophytum*)扦插 20 d 时形成愈伤组织,30 d 时生根^[29],生根较难的皮部生根型的大白杜鹃(*R. decorum*)^[17]、鹿角杜鹃(*R. latoucheae*)^[18]分别在扦插 44 d、45 d 时生根,难以生根的愈伤生根型的云锦杜鹃(*R. fortunei*)最快于 45 d 生根^[19],而极难生根的半圆叶杜鹃(*R. thomsonii*)扦插 70 d 时未见生根^[30]。本试验观察发现,4 个高山杜鹃品种在扦插第 30 d 时形成愈伤组织,第 45 d 时仅个别组合产生少量的不定根,大部分处理在第 46~60 d 时生根;不定根主要发源于愈伤组织,皮部生根较少。表明高山杜鹃品种为以愈伤生根为主的生根困难类型,该结果与蔡艳飞等^[20]报道一致。

3.2 品种对扦插育苗的影响

大量研究表明,不同植物基因型生根能力不同,在同样的试验条件下生根效果差异显著^[26,31];而外源激素可提高插穗可溶性糖、淀粉、蛋白质含量、氧化酶活性及内源激素水平,降低 ABA 含量,促进杜鹃花生根和根系生长^[13,15],但不同生根难易品种对内源激素响应存在差异^[27]。本试验发现,不同品种间生根效果有显著差异,其中 C_1 (Euc) 扦插生根率最高、根系质量最好, C_2 (TSO)、 C_3 (ArW) 次之,而 C_4 (Pol) 不仅生根率低,且根系质量差。Ferus 等^[5]和 Nawrocka-Grześkowiak^[16]也发现基因型是影响杜鹃种或品种插穗生根和根系质量的最重要因子,与本研究的结果一致。研究同时发现,4 个品种在试验设置的基质及环境中,扦插

90 d 时大部分插穗能保持成活并产生愈伤组织,如 *R. 'Polaris'* 品种插穗成活率在 4 个品种上最高,愈伤率与其他品种间也无显著差异,但其生根率及根系发育指标均极显著差于其他品种。Ferriani 等^[30]发现半圆叶杜鹃扦插 70 d 时插穗成活率保持在 80% 以上,但未见生根,可见高山杜鹃品种是否生根受其遗传因素制约。鉴于 *R. 'Polaris'* 品种生根困难,根系发育慢,建议在扦插育苗时应适当的延长留床时间。

3.3 基质对扦插育苗的影响

基质的组成与理化性状决定着生根环境,理想的基质应具有良好的透气保水性、丰富的营养成分及适宜的酸碱度^[32]。泥炭土、珍珠岩、蛭石是园艺生产中常用的无土基质材料,两者单独使用不利于生根特别是根系发育^[33-34]。三种材料混合作用时,泥炭可为扦插苗根系生长提供丰富的营养和水分,而珍珠岩、蛭石则可改善基质的结构和孔隙度,提高基质的透气性,增强氧气扩散能力,从而有利于插穗生根和根系生长^[24,32]。本研究发现,4 种基质中 M_1 (1 : 1 : 1) 基质生根率高、根系生长良好; M_2 (3 : 1 : 1) 表现次之; M_3 (1 : 1 : 3) 再次,而 M_4 (1 : 3 : 1) 在生根及根系发育指标上均表现最差。4 种基质的组成材料相同, M_1 (1 : 1 : 1) 基质育苗效果最好,可能是泥炭、珍珠岩、蛭石配比适中,适宜于高山杜鹃品种的插穗生根和根系发育; M_2 (3 : 1 : 1) 基质育苗效果差于 M_1 (1 : 1 : 1),可能是该基质的泥炭比例偏高,在自动喷雾条件下基质含水量过高,导致排水和透气性不足^[28,32],从而影响了插穗生根和根系生长; M_3 (1 : 1 : 3) 育苗效果较差,可能是基质中蛭石比例过高,导致基质过湿、透气性不足; M_4 (1 : 3 : 1) 育苗效果最差则可能是基质中珍珠岩比例过高,导致基质水分不足^[26]。扦插生根对基质的水-气需求因植物生活型、生态类型而异^[35],杜鹃花为浅根性植物,喜排水良好的湿润环境,泥炭、蛭石、珍珠岩单独使用不利于映山红根系生长,三者混用时泥炭配比以 60~80% 为宜,而蛭石和珍珠岩配比不宜超过 40%^[7];泥炭可增加珍珠岩、红壤基质的养分和保水性,促进茶绒杜鹃 (*Rhododendron apricum*)^[8]、云锦杜鹃^[24] 插穗生根与根系生长;珍珠岩可改善腐质土基质的透气和排水性,提高大白杜鹃^[17] 生根率和根系质量;蛭石可提高草炭的保水和通气性,缩短秦岭杜鹃生根时间,提高生根率和生根数^[29];秦爱丽等^[36]则发现泥炭 : 珍珠岩 : 蛭石 (1 : 1 : 1) 为崖柏 (*Thuja sutchuenensis*) 的最佳扦插育苗基质,与本研究结

果一致。另外,杜鹃花喜酸性环境,最佳生根 pH 值为 5.0~5.5^[37];pH 5.5 的泥炭+珍珠岩(1:1)基质比 pH 6.4 的商业基质(TS1)更适合杜鹃扦插生根^[5];研究发现^[26,33],泥炭与珍珠岩混合基质中随着珍珠岩配比增加,pH 值显著上升、含水量下降,认为基质 pH 值是影响植物生根的关键因子。因此, $M_3(1:1:3)$ 和 $M_4(1:3:1)$ 基质育苗效果较差也可能与珍珠岩或蛭石配比偏高,导致基质 pH 升高、酸度下降有关。本研究中 $M_3(1:1:3)$ 基质生根率略高于 $M_2(3:1:1)$,但根长、根干重及根构型特征均差于或显著差于 $M_2(3:1:1)$,则可能与无机基质有利于生根,而有机基质有利于根系发育有关^[24-25,28]。同时,研究发现品种与基质在最长不定根长、根干重及 4 个根系构型指标上均有极显著的交互效应,与橄榄(*Olea europaea*)品种^[31]及 *Allanblackia floribunda* 无性系^[35]的报道一致。表明不同高山杜鹃品种扦插苗的根系发育对基质理化性状需求不同,应该根据各自的生物学特征及生态习性合理选择基质组成与配比。

3.4 各育苗指标相关性分析

相关性分析发现插穗成活率与愈伤率呈极显著相关,但两者与其他指标相关性弱;而生根率、最长不定根长、根干重及 4 个根系构型指标间均呈极显著相关。愈伤组织有保护插穗组织免受干燥和微生物入侵的作用^[11,19],也是愈伤生根型植物不定根形成的前体^[38],良好的愈伤组织不仅可减少插穗腐烂、提高插穗成活率,也有利于不定根的形成、提高生根率;但也有研究发现愈伤组织形成与大叶常绿类杜鹃生根无关^[5],甚至会阻碍橄榄生根^[28]。本研究中插穗成活率与生根率无显著相关,进一步表明插穗未生根不是因插穗腐烂引起,而是受自身遗传因子制约,与 Ferus 等^[5]和蔡艳飞等^[20]在杜鹃花研究中的报道一致;生根率与其他 7 个根系生长和构型指标极显著相关,也和 Zhang 等^[19]在云锦杜鹃、王志敏等^[22]在圆柏(*Sabina chinensis*)品种的报道相似,即易生根的品种其根系生长更快,根系长度与根干重更大,根系构型特征更好。

4 结论

高山杜鹃品种观赏价值高、市场前景广阔,但目前扦插繁殖相关报道极少。本研究探明了高山杜鹃品种的生根过程及不定根形成部位,揭示了不同品种的生根难易及其对扦插基质响应差异,筛选出扦插育苗的最佳品种与基质组合。发现 4 个品种中 R. 'Eucharitis'育苗效果最佳,可用规模化育苗;

R. 'Tortoise Shell Orange'、R. 'Anne rose Whitney'其次;而 R. 'Polaris'育苗效果最差。4 种基质以泥炭:珍珠岩:蛭石(1:1:1)育苗表现最佳,为高山杜鹃品种扦插育苗的首选基质,而泥炭:珍珠岩:蛭石(1:3:1)在 4 个品种中均表现较差,不适合用作扦插育苗基质。生产上建议选择 R. 'Eucharitis'品种并采用泥炭:珍珠岩:蛭石(1:1:1)基质开展产业化育苗;R. 'Polaris'品种扦插生根困难,建议采用组培或嫁接方法育苗。该结果为高山杜鹃品种产业化提供了技术支撑,但不同品种间根原基形成的解剖学特征及其生理与分子机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1] YANG F S, NIE S, LIU H, et al. Chromosome-level genome assembly of a parent species of widely cultivated azaleas[J/OL]. Nature Communications, 2020, 11[2020-10-19]. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18771-4>.
- [2] 兰 熙, 张乐华, 张金政, 等. 杜鹃花属植物育种研究进展[J]. 园艺学报, 2012, 39(9): 1829-1838.
LAN X, ZHANG L H, ZHANG J Z, et al. Research progress of *Rhododendron* breeding[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(9): 1829-1838. (Ch).
- [3] ELMONGY, M S, CAO Y, ZHOU H, et al. Root development enhanced by using indole-3-butyric acid and naphthalene acetic acid and associated biochemical changes of *in vitro* azalea microshoots[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2018, 37(3): 813-825.
- [4] SPETHMANN W. Long term growth comparison of different propagation techniques in *Rhododendron* (grafting; cutting; *in vitro*) [J]. Acta Horticulturae, 1994, 364: 45-52.
- [5] FERUS P, KONŔPKOVÁ J, BOŠIAKOVÁ D, et al. Effective rhododendron propagation through stem cuttings [J]. Journal of Applied Horticulture, 2017, 19(3): 226-229.
- [6] JONES J R, LEBUDE A V, RANNEY T G. Vegetative propagation of Oconee Azalea (*Rhododendron flammeum*) by stem cuttings and mound layering [J]. Journal of Environmental Horticulture, 2010, 28(2): 69-73.
- [7] 王世平. 杜鹃扦插繁殖技术研究[J]. 现代园艺, 2018, 41(2): 31-33.
WANG S P. Research on cutting propagation technology of *Rhododendron*[J]. Modern Horticulture, 2018, 41(2): 31-33. (Ch).
- [8] 魏茂胜. 不同处理对茶绒杜鹃扦插生根与生长的影响[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(1): 27-31.
WEI M S. Effects of different treatments on the rooting and growth of *Rhododendron apricum*[J]. Journal of Forest and Environment, 2019, 39(1): 27-31. (Ch).
- [9] 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 S S, ZHANG Y H, 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. (Ch).
- [10] 张长芹, 高连明, 薛润光, 等. 中国杜鹃花的保育现状和展望[J]. 广西科学, 2004, **11**(4): 354-359: 362.
- ZHANG C Q, GAO L M, XUE R G, et al. A general review of the research and conservation statue of Chinese *Rhododendron*[J]. Guangxi Sciences, 2004, **11**(4): 354-359: 362. (Ch).
- [11] STRZELECKA K. Anatomical structure and adventitious root formation in *Rhododendron ponticum* L. cuttings[J]. Acta Scientiarum Polonorum, 2007, **6**(2): 15-22.
- [12] DOKANE K, MEGRE D, STIRNA L, et al. Effect of *Calcarisporium arbuscula* on adventitious root development and peroxidase activity in two elepidote rhododendron cultivars[J]. Environmental and Experimental Biology, 2018, **16**(4): 315-322.
- [13] 李朝婵, 赵云龙, 张冬林, 等. 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, 2012, **25**(3): 360-365.
- LI C C, ZHAO Y L, ZHANG D L, et al. Changes of endogenous hormones and anatomical structure of *Rhododendron stamineum* during cutting propagation[J]. Forest Research, 2012, **25**(3): 360-365. (Ch).
- [14] FRENCH C J. Rooting of *Rhododendron* 'Anna Rose Whitney' cuttings as related to stem carbohydrate concentration[J]. Hortscience, 1990, **25**(4): 409-411.
- [15] 赵云龙, 陈训, 李朝婵. 糙叶杜鹃扦插生根过程中生理生化分析[J]. 林业科学, 2013, **49**(6): 45-51.
- ZHAO Y L, CHEN X, LI C C. Dynamic of physiology and biochemistry during wild *Rhododendron scabrifolium* cutting propagation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, **49**(6): 45-51. (Ch).
- [16] NAWROCKA-GRZEŚKOWIAK U. Effect of growth substances on the rooting of cuttings of *Rhododendron* species[J]. Folia Horticulturae, 2004, **16**(1): 115-123.
- [17] 周艳, 李朝婵, 周洪英, 等. 大白杜鹃扦插繁殖技术研究[J]. 种子, 2012, **31**(4): 123-126.
- ZHOU Y, LI C C, ZHOU H Y, et al. Study on the cutting propagation of *Rhododendron Decorum* Franch[J]. Seed, 2012, **31**(4): 123-126. (Ch).
- [18] 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. (Ch).
- [19] ZHANG L H, WANG S S, GUO W F, et al. Effect of indole-3-butyric acid and rooting substrates on rooting response of hardwood cuttings of *Rhododendron fortune Lindl*[J]. Propagation of Ornamental Plants, 2015, **15**(2): 79-86.
- [20] 蔡艳飞, 宋杰, 李世峰, 等. IBA浓度和使用方法对高山杜鹃'Nova Zembla'扦插生根的影响[J]. 中国农学通报, 2018, **34**(14): 75-80.
- CAI Y F, SONG J, LI S F, et al. Effect of IBA concentration and application method on *Rhododendron* 'Nova Zembla' cutting propagation [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, **34**(14): 75-80. (Ch).
- [21] 欧阳芳群, 付国赞, 王军辉, 等. 欧洲云杉扦插生根进程中内源激素和多酚类物质变化[J]. 林业科学, 2015, **51**(3): 155-162.
- OU YANG F Q, FU G Z, WANG J H, et al. Qualitative analysis of endogenesis hormone and polyphenol during rooting of cuttings in Norway spruce (*Picea abies*) [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, **51**(3): 155-162. (Ch).
- [22] 王志敏, 曹均, 张玉平, 等. 5个圆柏优良品种(系)扦插繁殖技术研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, **39**(8): 62-69.
- WANG Z M, CAO J, ZHANG Y P, et al. Study on cutting propagation of four superior *Sabina chinensis* varieties and one clone [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, **39**(8): 62-69. (Ch).
- [23] 杨光, 梁坤南, 黄桂华, 等. 柚木无性系扦插育苗研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, **39**(10): 24-29.
- YANG G, LIANG K N, HUANG G H, et al. Study on cutting propagation of *Tectona grandis* clone[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, **39**(10): 24-29. (Ch).
- [24] 王书胜, 单文, 张乐华, 等. 基质和IBA浓度对云锦杜鹃扦插生根的影响[J]. 林业科学, 2015, **51**(9): 165-172.
- WANG S S, SHAN W, ZHANG L H, et al. Effects of media and IBA concentrations on rooting of *Rhododendron fortunei* for cutting propagation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, **51**(9): 165-172. (Ch).
- [25] 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.
- KONG Y G, YAN L P, WU D J, et al. Effects of substrate and growth regulator on softwood cutting of *Tilia amurensis* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, **40**(6): 25-33. (Ch).
- [26] GIROUX G J, MAYNARD B K, JOHNSONW A. Comparison of perlite and peat: perlite rooting media for rooting softwood stem cuttings in a subirrigation system with minimal mist[J]. Journal of Environmental Horticulture, 1999, **17**(3): 147-151.
- [27] WANG X L, ZHAO Z, QUAN J E. Indole-3-butyric acid on rooting and endogenous plant hormones in tetraploid and diploid *Robinia pseudoacacia* hardwood cuttings [J]. Phyton-International Journal of Experimental Botany, 2011, **80**: 93-100.

- [28] MEHRI H, MHANNA K, SOLTANE A. Root growth of *Arbequina* cuttings as influenced by organic and inorganic substrates under the conditions of Al-Jouf (KSA) [J]. *American Journal of Plant Physiology*, 2013, **8**(2): 74-83.
- [29] 司国臣, 张延龙, 顾欣, 等. 秦岭野生美容杜鹃扦插繁殖技术[J]. 北方园艺, 2012, **36**(3): 77-79.
SI G C, ZHANG Y L, GU X, et al. Study on cutting propagation technology of Qinling wild *Rhododendron calophytum* [J]. *Northern Horticulture*, 2012, **36**(3): 77-79. (Ch).
- [30] FERRIANI A P, BORTOLINI M F, ZUFFELLATO-RIBAS K C, et al. Vegetative propagation by cuttings of azaléa tree (*Rhododendron thomsonii* Hook. f.) [J]. *Semina: Ciências Agrárias (Londrina)*, 2006, **27**(1): 35-42.
- [31] MEHRI H, MHANNA K, SOLTANE A, et al. Performance of olive cuttings (*Olea europaea* L.) of different cultivars growing in the agro-climatic conditions of Al-Jouf (Saudi Arabia) [J]. *American Journal of Plant Physiology*, 2013, **8**(1): 41-49.
- [32] SFENDIYARO LU M, ÖZEKER E, BAŞER S. Rooting of 'Ayvalik' olive cuttings in different media [J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2009, **7**(1): 165-172.
- [33] COLE C C, DUNN D E. Expanded polystyrene as a substitute for perlite in rooting substrate [J]. *Journal of Environmental Horticulture*, 2002, **20**(1): 7-10.
- [34] ATAGANA H I, ANYASI R O, NOGEMANE N. Root development of *Chromolaena odorata* stem cuttings enhanced by indole butyric acid [J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2013, **45**(4): 1363-1368.
- [35] ATANGANA A R, TCHOUNDJEU Z, ASAAH E K, et al. Domestication of *Allanblackia floribunda*: amenability to vegetative propagation [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, **237**(1-3): 246-251.
- [36] 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.
QIN A L, JIAN Z J, MA F Q, et al. Effects of the mother tree age, growth regulator, containers and substrates on softwood cutting propagation of *Thuja sutchuenensis* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2018, **54**(7): 40-50. (Ch).
- [37] 毛元荣, 路群, 汤敏, 等. 影响高山杜鹃生根的几个因素 [J]. *曲阜师范大学学报*, 2004, **30**(1): 88-91.
MAO Y R, LU Q, TANG M, et al. Factors effecting the rooting of *Rhododendron delavayi* [J]. *Journal of Qufu Normal University (Natural Science)*, 2004, **30**(1): 88-91. (Ch).
- [38] AMRI E, LYARUU H V M, NYOMORA A S, et al. Vegetative propagation of African blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. & Perr.): effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings [J]. *New Forest*, 2010, **39**(2): 183-194.

Effects of substrate ratio on root development of cutting seedlings of four alpine *Rhododendron* cultivars

LI Dandan^{1,2}, LI Xiaohua^{1,2}, WANG Kaihong¹, SHAN Wen¹, WANG Zhaohong¹, ZHANG Lehua^{1,2}

(1. Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province and Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, Jiangxi, China;

2. Provincial Key Laboratory of Plant Ex Situ Conservation and Utilization, Jiujiang 332000, Jiangxi, China)

Abstract: In this study, four alpine *Rhododendron* cultivars with high ornamental value and adaptability were selected as the test materials. Two-factor completely randomized block design of 4 cultivars \times 4 media were applied to study the effects of different medium compositions on rooting and root development of cutting of alpine *Rhododendron* cultivars. The difficulty of rooting between cultivars and suitable medium compositions was elucidated, and the best seedling combination of variety and substrate was screened out to provide support for industrial development. The results show that the rooting time of alpine *Rhododendron* was 46~60 d. The adventitious roots mainly originated from callus, which belonged to the rooting type mainly from callus. Cultivars and cutting media had significant effects on 8 parameters except cuttings survival rate and callus rate ($p < 0.01$), and the medium had a greater impact

(下转第 999 页)

- Hubei Engineering Technology Research Center of Landscape Plant, Wuhan 430075, China;
 2. College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430075, China;
 3. College of Agricultural & Environmental Sciences, University of Georgia, Athens 30602, USA)

Abstract: Taking the new stems of *Rhododendron obtusum* ‘Yanzhimi’ as explants and WPM as the basic medium, the effects of different growth regulators on bud induction, proliferation and rooting of *Rhododendron* tissue culture were studied. The results showed that the best medium for inducing axillary buds in the start-up culture was WPM+0.1 mg · L⁻¹ IBA+1 mg · L⁻¹ ZT, with the average induction rate of axillary buds of 43.67% and the proliferation coefficient of 1.18. The combination of NAA+TDZ and NAA+ZT was used for the proliferation and strong seedling culture, respectively, and the two types exhibited different states in terms of growth and induction. *Rhododendron* had the best rooting effect on 1/2 WPM basic medium supplemented with 0.5 mg · L⁻¹ NAA and 0.1 mg · L⁻¹ IBA, with a rooting rate of 82.5%. This research laid provide references for production of high-quality seedlings, establishment of genetic transformation system and transgenic breeding of *Rhododendron*.

Key words: *Rhododendron*; tissue culture; rapid propagation

.....

(上接第 992 页)

than cultivar. The evaluation of subordinate function suggested that R. ‘Eucharitis’ and M₁(1 : 1 : 1) combination had the largest *U* value among the 16 treatments. The *U* value of R. ‘Polaris’ and four media ranked the last in *U* value. The cutting rooting of alpine *Rhododendron* cultivars is difficult, which is significantly affected by the cultivar, medium and their interaction effects. The seedling effect of the four cultivars is in the order of R. ‘Eucharitis’>R. ‘Tortoise Shell Orange’>R. ‘Anne rose Whitney’>R. ‘Polaris’; the four substrates is M₁(1 : 1 : 1)> M₂(3 : 1 : 1)> M₃(1 : 1 : 3)> M₄(1 : 3 : 1). The rooting responses of different varieties to substrates were different, and the combination of R. ‘Eucharitis’ and M₁(1 : 1 : 1) was recommended for industrial seedling.

Key words: alpine *Rhododendron* cultivars; cutting propagation; media; root architecture; comprehensive evaluation