

李丹丹, 李晓花, 单文, 等. 外源激素对比利时杜鹃扦插根系特征的影响[J]. 生态科学, 2021, 40(2): 82-88.

LI Dandan, LI Xiaohua, SHAN Wen, et al. Effects of plant exogenous hormones on rooting characteristics of *Rhododendron hybridum*[J]. Ecological Science, 2021, 40(2): 82-88.

外源激素对比利时杜鹃扦插根系特征的影响

李丹丹^{1,2}, 李晓花^{1,2}, 单文¹, 王兆红¹, 王凯红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 332015

【摘要】比利时杜鹃是国外引种的具有较高观赏价值的园艺杂交品种。为进一步探讨外源激素对国外引进杜鹃品种扦插根系特征的影响,以当年生的半木质化枝条为材料,设置不同浓度植物生长调节剂,分析对杜鹃扦插生根过程中根系特征参数变化影响。结果表明:激素处理总体上对杜鹃扦插成活率、干物质积累、根系特征都有显著或极显著的影响,以 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的IBA浓度对杜鹃插穗生长最有利;品种Marcel Menard、Marie Fortier根系特征参数整体上高于品种Roseum Elegance、Percy Wiseman,在产业化推广上具有一定优势;最长根长的变化与根表面积以及根体积呈显著的正相关,外源激素促进了插穗的成活率和不定根根系的生长,激素处理后插穗的根系参数明显高于对照。总之,插穗自身特性及外源激素调控在杜鹃扦插生根过程中扮演重要的角色,激素的使用对杜鹃的扦插繁殖具有一定的积极作用。

关键词: 外源激素; 杜鹃花; 扦插; 根系特征

doi:10.14108/j.cnki.1008-8873.2021.02.011 中图分类号: Q945, S722 文献标识码: A 文章编号: 1008-8873(2021)02-082-07

Effects of plant exogenous hormones on rooting characteristics of *Rhododendron hybridum*

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

1. Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province and Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, China
2. Provincial Key Laboratory of Plant Ex Situ Conservation and Utilization, Jiujiang 332015, China

Abstract: *Rhododendron hybridum* is a kind of horticultural hybrid with high ornamental value introduced from abroad. In order to further explore the effect of exogenous hormones on the rooting characteristics of *Rhododendron* cuttings, the semi-wood cuttings of one-year-old were cut and treated by different concentrations of plant growth regulators to analyze the effect of exogenous hormones on the rooting process of *Rhododendron* cuttings. The results showed that the exogenous hormone treatment had a significant or extremely significant effects on the survival rate, dry matter accumulation and root characteristics of *Rhododendron* cuttings, higher than the control. It was the most favorable for the growth of cuttage of *Rhododendron* cultivars with the treatment of $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IBA. The root characteristics of the Marcel Menard, Marie Fortier were higher than the Roseum Elegance and Percy Wiseman on the whole, which had a certain advantages in industrialization promotion. There was a significantly positive correlation between the longest root length, root surface area and root volume. Suitable exogenous IBA treatment had an obvious effect on accelerating the survival rate of cuttings and rooting. The root parameters of cuttings treated with hormone were significantly higher than those of the control. In short, the characteristics of cuttings and the regulation of exogenous hormones play an important role in the rooting process of *Rhododendron*, and the use of hormones has a certain positive effect in the cutting propagation of *Rhododendrons*.

Key words: exogenous hormone; *Rhododendron*; cuttings; root characteristics

收稿日期: 2019-10-10; 修订日期: 2019-11-20

基金项目: 国家国际科技合作项目(2014DFA31720); “赣鄱英才555工程”领军人才培养计划项目

作者简介: 李丹丹(1990—), 女, 吉林通化人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物生理生化研究, E-mail: 1561936418@qq.com

*通信作者: 张乐华, 男, 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: lehua07@163.com

0 前言

杜鹃花泛指杜鹃花科(Ericaceae)杜鹃花属(*Rhododendron*)植物,多分布于我国西南、华南、华中及华东等地区,具有极高的观赏和园林应用价值,被誉为“花中西施”,同时也是提取芳香油、杀虫剂、鞣质等的极佳材料,是优良的山地水土保持植物^[1]。全球约有野生杜鹃 1000 种,主要分布于亚洲;中国约有野生种 572 种(特有种 420 余种)^[2]。高山杜鹃品种主要指以杜鹃花属(*Rhododendron L.*)中的常绿杜鹃亚属(Subg. *Hymenanthes*)为亲本培育的园艺品种。据报道,目前国际登录的高山杜鹃品种约 4000 个,主要培育于欧洲的比利时、德国、英国、荷兰等;中国虽然是高山杜鹃品种遗传亲本的主要来源地^[3],但由于其近现代植物学研究时间短,高山杜鹃品种培育严重滞后,直至近年才陆续培育出高山杜鹃新品种,登录品种数不足 30 个。而比利时杜鹃因其株型优美、花大色艳、四季常绿,且花期长,观赏价值极高,近年已成为国际花市新宠、风靡全球,市场需求量大、产业化前景广阔。但受遗传机制制约,生根困难,生根机制不明,严重制约了其苗木的繁育与产业化^[4],因此提高比利时杜鹃在本地区的生根率具有重要的意义。

植物激素是调控植物生长发育及进化不可缺少的物质,广泛应用于植物的扦插繁育工作中,其中外源激素是影响植物栽培生根的最重要因素之一^[5-10]。外源激素对无性繁殖的调控作用主要表现为对插穗的根系影响。国内关于外源条件对比利时杜鹃扦插生根影响的研究较少,目前主要是对生根特性的研究^[11-12];对杜鹃扦插繁殖生理因素的影响多集中于本土物种,如 Zhang^[13]和王书胜等^[14]发现激素种类与浓度可影响云锦杜鹃生根率及根系发育,低浓度 IBA 处理更有利于不定根的形成;张乐华等^[15]发现激素种类与浓度可显著影响鹿角杜鹃(*R. latoucheae*)生根效果,IBA、GA₃ 促进生根效果优于 IAA、6-BA, NAA 效果最差;陈睿等^[16]也指出外源 IBA 和 GA₃ 可显著提高杜鹃品种“红云”扦插生根效果。良好的根系生长情况是保证插穗从土壤中获取必要的水分、营养物质进而促进地上部分发育的必要条件,但是有关激素水平如何影响不同杜鹃品种的生根发育,进而改变其根系构型特征的作用机制则鲜有报道。

目前,激素对杜鹃扦插的促进作用在国内外已取得一些研究成果,但关于不同激素水平对国外不同品种杜鹃无性系繁殖的生物量分配和根系形态影响的差异性研究报道较少,严重制约了其园林应用及产业化发展。为此,本文用不同浓度激素水平对国外引进比利时杜鹃花品种进行扦插试验,探讨外源激素 IBA 对不同生根难易插穗幼苗的生长以及根系特性的影响,以期寻求解除杜鹃花生根障碍的生物学机制,进而为杜鹃的扦插繁殖提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2018 年 10 月,在庐山植物园杜鹃花温室内选取长势正常且一致的比利时引进的 6 个杜鹃品种: Marcel Menard、Marie Fortier、Cunninghams White、Scyphocalix、Roseum Elegance 和 Percy Wiseman,选取当年生半木质化枝条为本次试验材料。试验在庐山植物园杜鹃花繁殖温室扦插床中进行,苗床底部采用地热线加温,地温设定 22 ℃;苗床上层加设弧形塑料棚,棚内安装自动间歇喷雾设施;棚外架设可移动的遮阳网。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验前期准备中,栽培基质为泥炭:蛭石:珍珠岩=2:1:1,根据试验内容设置三次重复,于母本枝条上剪取当年生半木质化茎段,摘除茎段基部叶片,保留顶部叶片 3—4 片;插穗基部采用单面愈伤处理。扦插应用的吲哚丁酸(IBA)浓度设计为三个浓度,分别为 100、200 及 400 mg·L⁻¹,以蒸馏水为对照(CK)。插穗激素处理时,用不同浓度激素浸泡基部(1.5 cm) 12 h 后立即扦插^[17],试验期间及时喷水以保持苗床湿度。

1.2.2 测定方法

以茎段扦插处理当天为计算时间起点,直至杜鹃生根稳定于栽培后 105 d 随机采取样本,每个处理取生长相对一致的插穗 3 株,进行苗木根系形态测定。观测生根指标包括:计算生根率、最长不定根长、根幅、愈伤率。根系用枝剪从基部剪断,用流水缓缓冲洗干净,用 LA-S 型植物根系分析仪系统(杭州万深检测科技有限公司)测得整株根系的根长、根表面积以及根体积。将扫描后的根系擦干水分,测定其鲜重;将测好鲜重的新生根系放入烘

箱 105 °C 杀青 30 min, 85 °C 下烘干至恒重, 称量其干重。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003、SPSS 16.0 统计软件进行数据统计处理。采用 One-Way ANOVA 进行方差分析和 0.05 水平的 Duncan 多重比较。

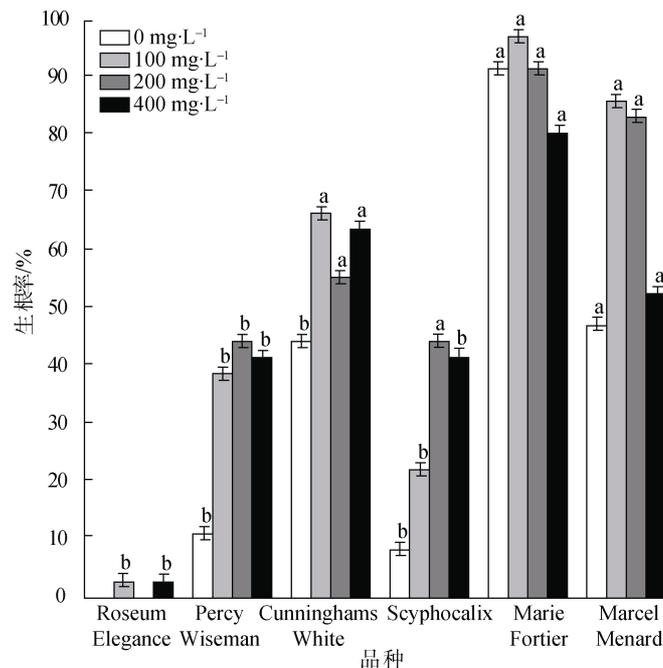
2 结果与分析

2.1 不同浓度的 IBA 对不同杜鹃品种生根率的影响

在对 6 种不同杜鹃品种茎段扦插生根的观察统计中发现: IBA 处理的所有杜鹃花品种生根率均高于对照, 其中使用 100 mg·L⁻¹ IBA 处理的 6 个杜鹃花品种扦插生根率均显著高于对照(图 1)。品种 Marie Fortier 和 Marcel Menard 在低浓度激素处理下生根率具有一定的提升, 400 mg·L⁻¹ IBA 处理下生根率较低, 显著低于 100、200 mg·L⁻¹ 处理, 对生根具有一定的抑制作用。品种 Cunninghams White 和 Scyphocalix 的生根率随着激素处理浓度的升高呈现出先上升后下降的趋势; 不同浓度 IBA 处理下品种 Marie Fortier 生根率均高于其他 5 个品种。

2.2 IBA 浓度对不同品种杜鹃根长、根表面积和根体积的影响

由图 2 可知, IBA 处理下, 6 种杜鹃花根系形态



注: 图中不同字母表示差异显著 $P=0.05$, 下同。

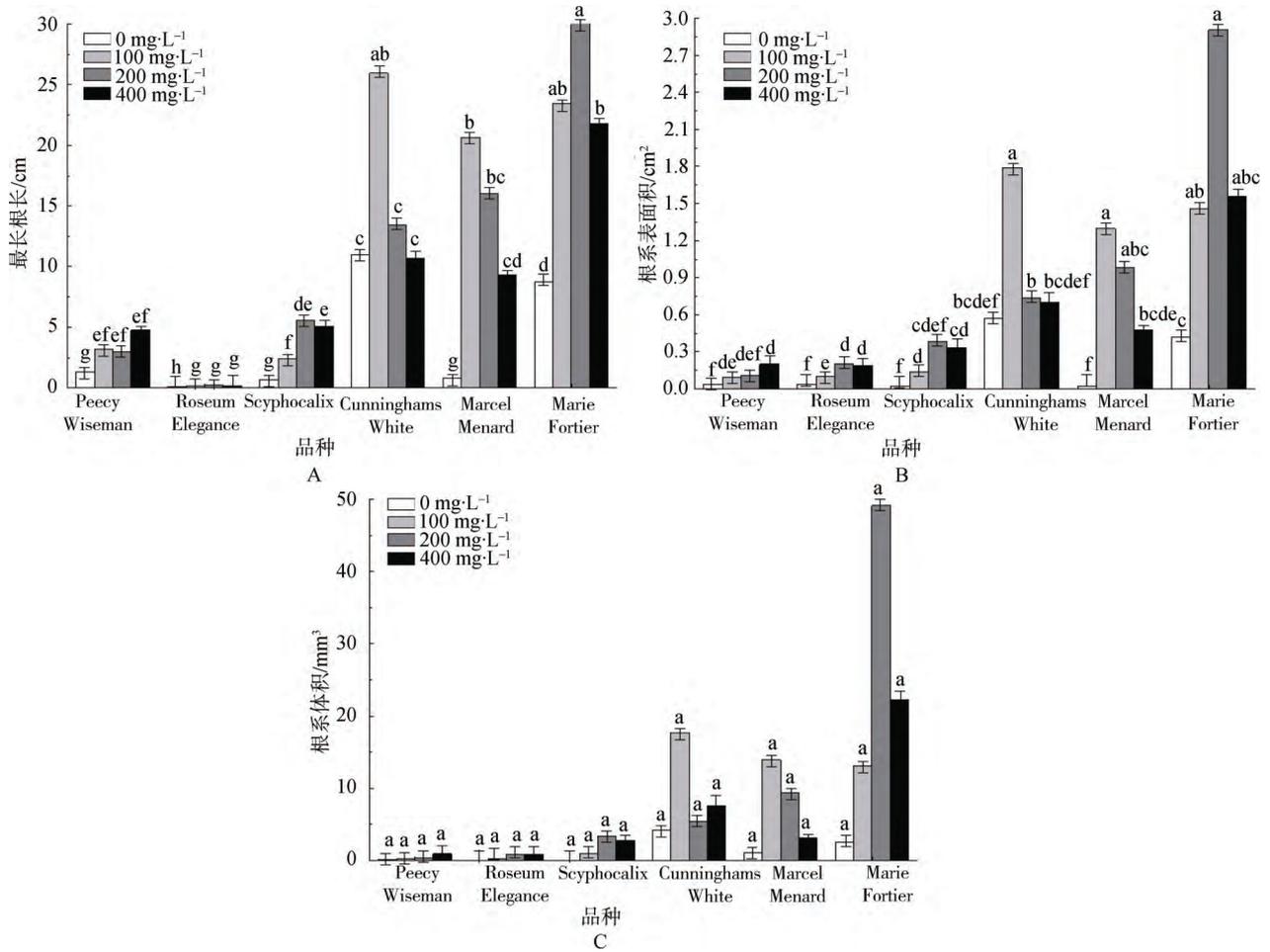
图 1 不同浓度的 IBA 对不同品种杜鹃生根率的影响

Figure 1 Effect of different concentrations of IBA on rooting rate of different varieties of *Rhododendron*

特征的变化趋势基本相同; Marie Fortier、Marcel Menard、Cunninghams White 和 Scyphocalix 的根长、根表面积和根体积随着 IBA 浓度的增加而先升高后下降, 且均高于对照, 其中 Marie Fortier 和 Scyphocalix 在 200 mg·L⁻¹ IBA 处理下根系参数达到最大值, 200 mg·L⁻¹ IBA 处理下品种 Marie Fortier 的根系特征值分别为 31.53 cm、2.91 cm²、49.17 cm³、16.90 mm³, 是对照的 3.6、6.9、16.3、10.3 倍; 而 Cunninghams White 和 Marcel Menard 在 100 mg·L⁻¹ IBA 处理下达到最大值; 激素处理下品种 Percy Wiseman 和 Roseum Elegance 无明显变化; 表明激素的使用对杜鹃扦插苗根系形态的生长具有一定的促进作用, 其中对品种 Marie Fortier、Marcel Menard 作用显著, 且不同品种杜鹃具有不同的最适激素浓度。

2.3 不同浓度的 IBA 对插穗根系干重的影响

不同激素处理对杜鹃花插穗植株干重的影响情况如图 3 所示。由图可知, 植物生长调节剂 IBA 在不同浓度下均能影响杜鹃花插穗幼苗的干重, 其中, 随着激素浓度的提升, Cunninghams White 和 Marcel Menard 干重均呈现先上升后下降的趋势, 在 100 mg·L⁻¹ IBA 处理下根系干重最大, 分别高出对照 64 个百分点、99 个百分点; 品种 Percy Wiseman



注: A. IBA 浓度对不同品种杜鹃根长的影响; B. IBA 浓度对不同品种杜鹃根表面积的影响; C. IBA 浓度对不同品种杜鹃根体积的影响。

图 2 IBA 浓度对不同品种杜鹃根系形态特征的影响

Figure 2 Effects of IBA concentration on root morphological characteristics of different *Rhododendron* varieties

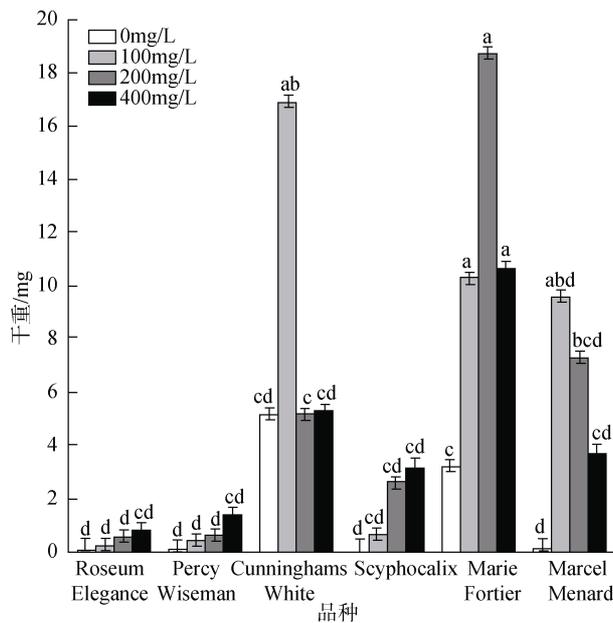


图 3 不同浓度的 IBA 对插穗根系干重的影响

Figure 3 Effect of different concentrations of IBA on the dry weight of cutting roots

和 Roseum Elegance 随着浓度的升高呈现逐渐上升的趋势; Marie Fortier 在 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IBA 处理下根系干重增重效果最明显, 高出对照 83 个百分点; Percy Wiseman 和 Scyphocalix 随激素浓度的升高则呈现出逐渐上升的趋势, 效果不如之前显著。在插穗整个生长过程中, CK 处理的根系干物质积累量低于其他处理, 表明使用激素可促进植物干物质的积累, 不同杜鹃品种有不同的最佳激素浓度。

2.4 IBA 浓度对形态特征的影响

为深入探讨 IBA 浓度对不同杜鹃品种的生根影响, 分别进行方差分析和双因素分析(表 1、表 2), 结果表明, 不同品种及不同 IBA 浓度处理下最长根长、根表面积差异极显著 ($P < 0.01$)。品种 Scyphocalix、Cunninghams White、Marcel Menard 和 Marie Fortier 根系形态特征参数大都高于

品种 Percy Wiseman 和 Roseum Elegance; 说明适宜浓度的 IBA 对不同杜鹃品种的根系具有显著的促进作用(表 1); Marie Fortier 在 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ IBA 浓度下最长根长、根表面积和根体积均显著高于其他品种和处理, 且不同品种和不同 IBA 浓度均对比利时杜鹃扦插生根过程中具有显著的影响(表 2)。IBA 处理下, 所有品种根系形态特征参数变化规律基本一致, 均高于对照; 激素浓度过高或过低都不利于插穗的生长, 激素处理对促进难生根杜鹃品种的生根具有更明显的效果。

3 讨论

植物生长调节剂是人工合成的对植物生长发育具有调节作用的植物激素^[18], 广泛应用于植物扦插繁殖。杜鹃扦插繁殖具有苗木生长快、开花周期短、

表 1 不同品种和 IBA 浓度对根系形态特征的影响

Table 1 Effects of different varieties and IBA concentration on root morphological characteristics

品种	处理 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	根系形态		
		最长根长/cm	根表面积/ cm^2	根体积/ mm^3
Percy Wiseman	CK	1.30±0.318f	0.04±0.009f	0.12±0.028a
	100	3.19±0.226de	0.10±0.019de	0.30±0.088a
	200	2.96±1.704defg	0.11±0.059def	0.42±0.241a
	400	4.75±1.445de	0.20±0.067d	0.92±0.353a
Roseum Elegance	CK	0.12±0.019h	0.02±0.005g	0.11±0.005a
	100	1.52±0.021ef	0.09±0.005e	0.28±0.003a
	200	1.05±0.007f	0.13±0.006d	0.55±0.007a
	400	0.38±0.009g	0.11±0.002d	0.89±0.013a
Scyphocalix	CK	0.66±0.255fg	0.02±0.007fg	0.03±0.016a
	100	2.35±0.548e	0.14±0.019d	0.93±0.035a
	200	5.57±3.026cdef	0.38±0.229cdef	3.39±2.335a
	400	5.05±1.566d	0.34±0.128cd	2.82±1.175a
Cunninghams White	CK	10.94±8.863bcdefgh	0.57±0.551bcdefg	4.17±5.040a
	100	25.93±3.747a	1.79±0.423ab	17.72±6.344a
	200	13.41±2.658b	0.74±0.144b	5.42±1.050a
	400	10.68±7.411bcdefgh	0.70±0.542bcdefg	7.54±6.268a
Marcel Menard	CK	0.76±0.649fgh	0.03±0.020fg	0.08±0.051a
	100	20.64±11.483abcde	1.30±1.080acdefg	13.96±16.738a
	200	16.03±10.918abcdefgh	0.98±0.734acdefg	9.41±7.904a
	400	9.32±5.717bcdefg	0.48±0.312bcdefg	3.12±2.443a
Marie Fortier	CK	8.71±0.667c	0.42±0.080c	2.59±1.028a
	100	23.45±6.455ab	1.46±0.489a	13.11±5.962a
	200	31.53±4.857a	2.91±1.210a	49.17±34.383a
	400	21.76±5.791ab	1.56±0.815ac	22.18±18.168a

表 2 不同品种和 IBA 浓度对根系形态特征影响的双因素分析表

Table 2 Two-factors variance analysis of different varieties and IBA concentration on root morphological characteristics

差异来源	根系形态		
	最长根长/cm	根表面积/cm ²	根体积/mm ³
品种	34.55**	19.92**	9.54**
IBA 浓度	12.93**	8.49**	3.85*
品种*IBA 浓度	3.23**	3.19**	2.65**

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

遗传基因稳定等优点,且易于推广,目前已成为欧洲、北美杜鹃花产业化最常用的繁殖方法。但受遗传因子制约,杜鹃属植物因其扦插繁殖生根时间长、生根困难,严重制约了其产业化及园林应用;对广泛应用于扦插的植物激素研究表明 IBA 促进生根效果较为明显^[19]。本研究通过对比利时引进的 6 个杜鹃品种进行不同浓度 IBA 处理的扦插实验研究表明:植物生长调节剂对杜鹃插穗的成活率、根长、根系表面积、体积等均具有显著的促进作用,这与前人的研究外源激素可促进难生根植物的扦插成活率结果相一致^[14,20];植物激素浓度对扦插效果具有重要的影响。本试验中,各浓度处理下不同品种杜鹃生根率及根系特征均比对照好,随着激素浓度水平的升高根系参数基本均呈现先升高后降低的规律,可能与过高的激素浓度抑制植物的生长有关^[21],插穗的最长根长与根体积、表面积呈正相关,表明根系质量的提升是有效促进插穗生长的重要条件,可能是由于适宜浓度的 IBA 提高了插穗愈伤组织的活跃度,促进了根系指标的增长,从土壤中获取更多的营养物质以促进插穗的生长;其中以 100 mg·L⁻¹ 和 200 mg·L⁻¹ 的 IBA 浓度对插穗处理效果最佳,这与王书胜等^[17]发现云锦杜鹃(*R. fortunei*)扦插在 200 mg·L⁻¹ 的 IBA 有利于不定根诱导和生根结果相同。不同品种杜鹃对不同浓度 IBA 的适应性不同,两个因素对杜鹃扦插生根具有显著的影响,其中品种 *Roseum Elegance* 在整个扦插试验中根系特征变化较小,这可能是受自身遗传特性影响,试验时未达到最佳生根时间,这可能也是导致其他杜鹃品种扦插难生根的重要原因。本试验研究结果表明,激素处理对品种 *Marcel Menard* 和 *Marie Fortier* 的促进作用高于品种 *Roseum Elegance* 和 *Percy Wiseman*;品种 *Marcel Menard* 以 IBA 浓度为 100 mg·L⁻¹ 时处理最佳,而 *Marie Fortier* 则在 IBA 浓度为 200 mg·L⁻¹

时效果最好。通过试验结果可以看出,6 个杜鹃品种中 *Cunninghams White*、*Marcel Menard* 和 *Marie Fortier* 扦插生根效果较好,在今后的产业化推广中应加以考虑。总的来说适宜浓度的 IBA 可以通过提高一系列的生根指标来提高高山杜鹃的生根能力,进而提高其抗逆性;而不同品种的最适激素浓度也存在一定的差异,关于导致不同品种存在的生根差异的原因还需做进一步的研究。

4 结论

通过对 6 个不同比利时杜鹃品种扦插实验,探讨外源激素解除生根障碍的生物学机制,筛选出对不同杜鹃花品种扦插效果影响最佳的植物生长调节剂浓度,这为杜鹃花以及其他花卉的高效快繁、提高无性系生产存活率、节约育苗时间、新品种推广和应用提供了理论基础和依据。根系体积、表面积等指标可作为评价激素水平对杜鹃插穗生根影响的参考指标,植物扦插繁育受地上与地下部分的内部遗传因素、生理因素及外部条件影响共同调控,为更好的促进杜鹃花的产业化发展,还需在此基础上进一步优化扦插条件,对其他相关指标进行测定,进而建立一套完整的扦插繁殖体系。

参考文献

- [1] 冯国楣. 中国杜鹃花[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [2] WU Zhengyi, RAVEN P, HONG Deyuan. Flora of China (Volum 14)[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [3] 刘娟, 刘红梅, 张美娟. 园林园艺中的高山杜鹃[J]. 园林, 2017, (4): 38-41.
- [4] 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.
- [5] 李焕勇, 刘涛, 张华新, 等. 植物扦插生根机理研究进展[J]. 世界林业研究, 2014, 27(1): 23-28.
- [6] 王秀梅, 张云, 秦景逸, 朱甜甜, 张军. 植物生长调节剂

- 对甜樱桃移栽苗生长发育的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(10): 130–133.
- [7] 杨越, 蔡静. 3种植物生长调节剂对文冠果种苗生长的影响[J]. 经济林研究, 2018, 36(2): 49–79.
- [8] 张亨, 孙同高, 郭智威, 等. 植物生长调节剂对乐昌含笑根系生长的影响[J]. 绿色科技, 2018, 11(3): 6–8.
- [9] BHARDWAJ D R, SINGH Rameshwar, LAL Hira, et al. Effect of node number and auxin concentration on propagation of ivy gourd (*Coccinia cordifolia* Cogn) through stem cuttings[J]. Vegetos, 2017, 30(1): 84.
- [10] YÜCESAN Z, ÜÇLER A Ö, OKTAN E, et al. Effects of different greenhouse media and hormones on propagation by cutting of *Weigela floribunda* and *Spiraea x vanhouttei*[J]. Journal of Forestry Faculty, 2018, 19(1): 27–34.
- [11] 王春彦, 陆信娟, 苗淑杏. 基质和生长素对比利时杜鹃嫩枝扦插的影响[J]. 江苏农业科学, 2008 (3): 156–157.
- [12] 路黔, 巫华美. 比利时杜鹃的茎枝扦插研究[J]. 贵州科学, 2000, 20(3): 69–71.
- [13] ZHANG Lehua, WANG Shusheng, GUO Wenfang, et al. Effect of indole-3-butyric acid and rooting substrates on rooting response of hardwood cuttings of *Rhododendron fortunei* lindl[J]. Propagation of Ornamental Plants, 2015, 15(2): 79–86.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 陈睿, 徐倩, 鲜小林, 等. 不同激素和基质对杜鹃扦插繁殖的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2016(10): 68–74.
- [17] 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.
- [18] 顾大路, 朱云林, 杨文飞, 等. 浅谈植物生长调节剂市场现状与对策[J]. 江西农业学报, 2010, 22(2): 169–171.
- [19] 孙晓梅, 赵海祥, 宁延龙, 等. 不同生长素处理条件下杂种落叶松生根力的变异[J]. 林业科学, 2009, 45(9): 142–146.
- [20] BLAKESLEY D, WESTON G D, HALL J F. The role of endogenous auxin in root initiation[J]. Plant Growth Regulation, 1991, 10(4): 341–353.
- [21] RANA R S, KISHOR S 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.