

拉萨南北山绿化工程优良乡土苗木 ——绢毛蔷薇(*Rosa sericea*)扦插生根技术研究

阿旺边觉¹ 多贡卓玛¹ 王荣芳¹ 王俊伟^{1,2} 拉 琼^{*1,2}

(1. 西藏大学生态环境学院/青藏高原生物多样性与生态环境保护教育部重点实验室 西藏拉萨 850000

2. 雅尼湿地生态系统西藏自治区野外科学观测研究站 西藏林芝 860000)

摘要 为筛选适宜绢毛蔷薇扦插生根的复合生根剂处理方案,以绢毛蔷薇为材料,设置4种生根营养液处理(1.5 mL/L 30 s、1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min)和2种 ABT-6 生根粉处理(0.15 g/L、0.2 g/L),以清水为对照,研究不同复合生根剂处理对扦插抽枝率、生根率及根系生长的影响。结果表明:不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇扦插生根具有显著影响,其中 2 mL/L 30 s 处理抽枝率最高(97.5%),生根率最高(87.5%),最长根长达 23.7 cm;2 mL/L 1 min 处理平均根长最大(17.6 cm);ABT-6 0.2 g/L 处理平均根数最多(13条)。总体上,生根营养液处理效果优于 ABT-6 生根粉处理。综上,2 mL/L 30 s 为综合评价下的最佳处理组合,可为拉萨南北山绿化工程绢毛蔷薇规模化育苗提供技术参考。

关键词 绢毛蔷薇;扦插生根;生根营养液;ABT-6 生根粉;拉萨南北山绿化工程

DOI:10.16249/j.cnki.2096-4617.2026.03.004

中图分类号 S685.12

文献标识码 A

文章编号 2096-4617(2026)03-037-11

引言

拉萨南北山绿化工程是西藏自治区推进生态文明建设的重大标志性工程,对改善西藏自治区首府拉萨的生态环境、涵养水源及提升群众生活质量具有重要的战略意义^[1]。在高海拔地区的大规模造林中,苗木的选择尤为关键。乡土苗木经过长期的自然演化,具备对本地极端环境适应性强、耐寒耐旱、成活率高等显著特征,是构建高原生态屏障的首选树种^[2]。然而,拉萨南北山绿化工程在推进过程中,面临着优质乡土树种繁育技术不够成熟、规模化供应优质种苗的能力不足等现实瓶颈。绢毛蔷薇作为青藏高原特有的优良乡土灌木树种,在水土保持与生态修复中潜力巨大,但其传统自然播种与分株繁育方式效率低下,难以满足绿化工程对大批量健壮种苗的迫切需求,且当前关于该物种高效无性繁殖与系统性扦插生根技术的研究尚显不足^[3]。基于此,本研究探究不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇扦插生根的影响,以期突破高

收稿日期:2026-05-04

基金项目:西藏自治区科技计划项目(XZ202402ZY0023,XZ202402JX0003);藏财预指【2025】1号中央支持-生态学高水平团队建设项目(00061347);国家林业和草原局林业生态站监测运行项目(2025132077)。

第一作者简介:阿旺边觉,男,藏族,西藏山南人,西藏大学生态环境学院硕士研究生,主要研究方向为生态学。

通讯作者简介:拉琼,男,藏族,西藏日喀则人,西藏大学生态环境学院教授,主要研究方向为生态学。

海拔优良乡土灌木规模化繁育的技术瓶颈。

绢毛蔷薇(*Rosa sericea*)蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa*)落叶或半常绿灌木,是我国青藏高原及西南横断山区特有的野生蔷薇资源,主要分布于西藏自治区日喀则市白朗县、仁布县、定结县、亚东县等地区。生长在海拔2 860~4 180 m的山坡灌丛、沟谷林缘及高山草原^[4]。该物种的地理分布格局与其对高海拔环境的适应性密切相关,也体现出其较强的生态适应能力与水土保持功能。绢毛蔷薇根系发达、耐贫瘠、耐寒、耐旱,是高海拔地区重要的观赏与生态植物,对维系高山生态系统的稳定性及生物多样性具有重要作用^[5]。

近年来,国内外学者针对绿化植物扦插繁殖进行了较为深入的研究,相关成果主要关注扦插基质选择、复合生根剂应用及环境条件优化等方面。代林利等^[6]研究表明,生长调节剂浓度、浸泡时间及基质配比均显著影响陀螺果(*Meliiodendron xylocarpum*)硬枝扦插生根效果,其中500 mg/L吲哚乙酸(IAA)浸泡30 min生根效果最优,各因素影响程度表现为调节剂浓度>处理时间>基质配比;李平^[7]研究发现,祁连山保护区蔷薇属硬枝扦插以10 mg/L萘乙酸溶液处理插穗效果最佳,且峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis*)扦插苗生根率、生长量及移栽后成活率、新枝数、苗高和越冬后保存率均为最高,西北蔷薇(*Rosa davidii*)次之,上述可作为高原园林绿化的优选材料;王绪崴^[8]研究发现,吲哚丁酸药剂浓度与浸泡时长共同影响月季(*Rosa chinensis*)插穗生根效果,1 000 mg/L吲哚丁酸浸泡2~3 h可显著提高半木质化枝条扦插成活率;李小玲等^[9]研究表明,采用Nearing式切口搭配100 mg/L吲哚丁酸(IBA)浸泡3 h处理秦岭杜鹃(*Rhododendron tsinlingense*)插穗时生根效果最佳,生根率可达66%。然而,绢毛蔷薇作为高海拔地区重要的本土灌木,其现有的繁殖方式依赖自然播种与分株繁殖,但均存在明显局限,自然播种受种子休眠期长、种皮坚硬及内含抑制发芽物质等因素影响,其发芽率低,且苗木易发生性状分离,发芽势极不整齐。相比之下,分株繁殖操作简单,但繁殖数量有限,并且对母株营养状态的依赖较强^[10],无法满足西藏高海拔地区的生态修复对健壮、质量高的种苗规模化培育的迫切需求。

扦插作为蔷薇属植物最核心的无性繁育手段,不仅能完整遗传母本的优良(抗逆)性状,还能较传统繁育方式显著缩短30%~40%的繁育周期。该技术凭借繁殖系数大、操作便捷及成本可控等显著优势,已被证实是提升高寒高海拔地区造林成活率与苗木生长势的有效途径^[11]。然而,在高原特有生境下,要实现优质苗木的高效扩繁,仍需依托科学的配套技术以打破插穗的生根障碍。外源施加生根营养液与植物生长调节剂是目前最行之有效的促根干预手段,二者通过协同调节插穗内源激素平衡、激活不定根原基分化,从而大幅提升插穗的生根效能与根系质量^[12,13]。本研究假设营养型生根剂与激素型生根剂对绢毛蔷薇生根过程具有不同的调控机制,其最适浓度和处理时间存在显著差异。为此,实验设置4种生根营养液处理(1.5 mL/L 30 s、1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min)和2种ABT-6生根粉处理(0.15 g/L、0.2 g/L),旨在探明绢毛蔷薇扦插抽枝及生根特性对不同复合生根剂处理的响应规律,筛选出最适宜其生长特性的最优化扦插方案。本研究结果可为绢毛蔷薇优质种苗规模化繁育提供科学依据,并为拉萨南北山等高海拔生态修复工程的苗木保障提供技术支撑。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

研究实验地设于西藏大学纳金校区生态园,地理坐标为E 90°21'~91°27'、N 29°44'~30°35',海拔约3 660 m。研究区地处雅鲁藏布江中游宽阔河谷地带,西藏大学校区南侧紧邻雅鲁藏布江主要支流拉萨河,区域地貌与水文条件典型。属高原季风温带半干旱气候,年均降水量约468 mm,年均温<10℃。区内

光能资源丰富,年日照时数可达3 190 h,蒸发作用强烈,整体呈现雨热同季、昼夜温差大、年际温差较小的气候特征^[14]。受地形与水热条件共同影响,拉萨河谷地带发育的主要植被类型包括河谷稀疏灌丛、高山沼泽草甸、高山灌丛草原及高寒草甸^[15]。

1.2 实验材料

2024年5月底,于拉萨市城关区夺底沟(海拔约3 950 m)的野生绢毛蔷薇自然群落中选择生长健壮、无病虫害的嫩枝作为实验材料。

实验采用的具体试剂:①德沃多生根营养液(德沃多农业科技有限公司生产),其蒸馏水稀释至220 g/L,中量元素(Ca+Mg+S)≥0.8 g/L,微量元素(Fe+B+Zn)≥0.1 g/L。②ABT-6生根粉(Sodium Bio),为常用植物生长调节剂类生根促进剂,其主要有效成分为吲哚丁酸(Indole-3-butyric acid, IBA)和萘乙酸(Naphthaleneacetic acid, NAA)等生长素类物质,可促进插穗基部细胞分裂和不定根分化,提高扦插生根率和根系生长能力,在园林植物及林木扦插繁殖中应用广泛。

1.3 实验方法

1.3.1 插条的采集

选择生长健壮、无病虫害的30余株野生绢毛蔷薇母株的枝条。采集后,将所有枝条混合均匀并完全随机分配至各处理组,以消除母体遗传效应和个体差异对实验结果的干扰。尽管采取了多株母株混合及随机分配策略,但野生种群固有的遗传多样性(遗传差异)可能仍会对生根率的波动产生一定影响。随后将嫩枝修剪制成插穗,插穗粗度保持在0.4~0.7 cm,每个插穗保留4~7个饱满节位,顶部保留1~2片复叶(并将叶片剪去一半以减少蒸腾失水)。插穗长度约15 cm,上端距顶端芽点约1 cm处平剪,下端距末端芽点约0.5 cm处斜剪(45°)。

1.3.2 插床设计与制作

绢毛蔷薇扦插实验采用大田育苗方式,在生态园选择地势平坦、排水良好的区域,深翻土壤(30~35 cm);按南北走向设置(2.2 m×4.8 m)长方形插床,插床间距40 cm,整理出合适的步道并保留良好的排水功能。扦插前3 d,以沙质土为基质,向插床均匀浇透水,确保土壤水分充足,随后覆盖遮阳网防止表层板结,采用0.2%高锰酸钾溶液淋灌消毒,覆盖薄膜密封12 h,通风散药后喷淋清水降低药剂残留浓度。

1.3.3 实验设计

本实验设置6个处理组及1个清水对照组,具体操作如下:在1 L清水中,分别加入1.5 mL、2 mL生根营养液,分别制成浓度为1.5 mL/L和2 mL/L的营养液,将野生绢毛蔷薇插穗形态学下端朝下,插入至营养液中,设置30 s和1 min两个浸泡时间,共形成4个生根营养液处理组,分别记为1.5 mL/L 30 s、1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min;称量0.15 g和0.2 g ABT-6生根粉,分别加入1 L清水中,制成浓度为0.15 g/L和0.2 g/L的ABT-6生根粉溶液,并将野生绢毛蔷薇插穗形态学下端朝下,插入到生根粉溶液中,浸泡时间为1 min,共形成2个ABT-6生根粉处理组,分别记为ABT 0.15 g/L和ABT 0.2 g/L;空白对照组(CK)处理为野生绢毛蔷薇插穗形态学下端在清水中浸泡1 min。本实验采用完全随机设计,共设置7个处理,每个处理划分3个独立扦插小区(3次生物学重复),每小区均匀扦插100根插穗,单处理总计扦插300根,累计扦插2 100根。各处理小区在苗床上采用完全随机排列,以消除苗床边缘效应和微环境(如光照、水分)异质性对生根结果的干扰。同一区组内各小区土壤基质、水肥、遮阳等培育管理条件一致,采集插穗时混合所有母株枝条随机分配至各小区,消除母株个体差异干扰。

1.3.4 扦插后期管理

扦插后期管理完整覆盖愈伤、生根、炼苗3个关键阶段。浇水方式采用均匀喷雾法:愈伤期(7 d)插穗没有根系生成,仅能通过切口及表皮少量吸水,为避免插后蒸发过多造成插穗失水影响生根,浇水遵循少量多次的原则,每日4~5次,根据土壤的湿润状况在保障根部水分充足的同时防止水分过多引起烂根;之

后减少浇水的次数,每日3~4次。生根后,根据天气情况调整浇水时间,阴天早晚各一次,下雨天不浇水。炼苗期(21 d 后)逐步减至每日1~2次,以促根系木质化。管理期间,应及时清除苗床内的各种杂草,每2~3周处理一次。

1.4 项目测定

扦插后记录绢毛蔷薇扦插苗的生根情况、侧根数量、侧根长度和抽枝情况,长度指标用18 cm 长的木制直尺测量(精确到0.1 cm)。运用Excel对数据进行初步统计整理,计算出生根率和抽枝率。相关指标计算公式如下:

生根率(%)=(生根成活的穗条数量/扦插总穗条数量)×100% (1)

抽枝率(%)=(抽枝成活的穗条数量/扦插总穗条数量)×100% (2)

1.5 数据处理

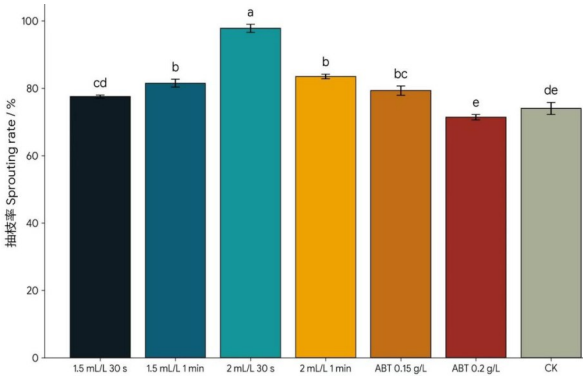
运用R4.3.2 软件进行统计分析。以7个处理组作为单一处理因子,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较不同复合生根剂处理间的差异,在分析前采用Shapiro-Wilk 检验和Levene 检验分别开展数据正态性与方差齐性检验,当方差分析结果差异显著时,进一步采用Tukey HSD 法进行多重比较。此外,针对特定试剂内部的不同浓度组(生根营养液的1.5 mL/L 与2.0 mL/L,或ABT-6 的0.15 g/L 与0.2 g/L)开展独立样本t 检验。方差齐时采用标准独立样本t 检验,方差不齐则采用Welch 校正t 检验。显著性水平设为α=0.05。

2 结果与分析

2.1 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇扦插抽枝率与生根率的影响

单因素方差分析(One-way ANOVA)结果表明,不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇的各项生长指标均产生了显著或极显著的影响。具体而言,各处理组在抽枝率($F=170.17, P=0.000\ 0$)、生根率($F=1287.54, P=0.000\ 0$)、平均根数($F=3.90, P=0.008\ 9$)、平均根长($F=7.63, P=0.000\ 0$)及最长根长($F=10.06, P=0.000\ 0$)上的差异均具有统计学意义。在此基础上进一步开展Tukey HSD 多重比较,由图1 可知,生根营养液和ABT-6 生根粉处理对绢毛蔷薇嫩枝扦插抽枝率的影响存在差异,其中2 mL/L 30 s 处理组的抽枝率最高,达到97.5%,显著高于其他处理组($P<0.05$)。1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 1 min 以及ABT-6 (0.15 g/L)生根粉处理的抽枝率也处于较高水平,且均显著高于对照组(CK)。1.5 mL/L 30 s 处理组与对照组之间则无明显差异。在ABT-6 生根粉处理中,0.15 g/L 浓度的抽枝率略高于对照组,而0.2 g/L 浓度略低于对照组,表明ABT-6 生根粉处理并未表现出稳定的促抽枝效果。

由图2 可知,生根营养液和ABT-6 生根粉处理对绢毛蔷薇嫩枝扦插生根率的影响存在差异,其中2 mL/L 30 s 处理组的生根率(87.5%)显著优于其他处理组($P<0.05$),较1.5 mL/L 30 s (46.5%)、1.5 mL/L 1 min (59.5%)、2 mL/L 1 min (77.5%)均有明显提升,体现了生根营养液的促根作用。此外,当ABT-6 浓度为



注:ABT-6 生根粉处理组和CK 的浸泡时间均为1 min,图中数据为平均值±标准误,不同柱形上的小写字母分别表示在P<0.05 水平上存在显著性差异。下同。

Notes: The soaking time for both the ABT-6 rooting powder treatment group and the CK was 1 min. Data in the figure are presented as mean±standard error. Different lowercase letters above the bars indicate significant differences at $P<0.05$ level. The same applies below.

图1 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇抽枝率的影响
Fig.1 Effect of different compound rooting agent treatments on the sprouting rate of *Rosa sericea*

0.15 g/L、0.2 g/L时,生根率分别达 32% 和 30%,与对照组(CK)32% 无显著差异($P>0.05$),但 ABT-6 浓度为 0.2 g/L 时,生根率略低于对照组,低 2 个百分点,未表现出促根作用,不同浓度生根营养液生根效果优于 ABT-6 和对照组(CK)。

2.2 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇根系数量特征的影响

如图 3 可知,生根营养液和 ABT-6 生根粉处理对绢毛蔷薇嫩枝扦插平均根数的影响存在显著差异。其中 ABT-6 浓度为 0.2 g/L 时,平均根数最多,达到 13.0 条,与 1.5 mL/L 30 s 处理组和对照组(CK)存在显著差异,分别多出 5.0 条和 6.0 条,表明 ABT-6 浓度为 0.2 g/L 时,可有效促进绢毛蔷薇扦插苗根系的增殖生长。进一步分析可知,1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min 及 ABT-6(0.15 g/L)处理组间无显著差异($P>0.05$),上述 4 组的促根效果均优于 1.5 mL/L 30 s 处理组及对照组(CK)($P<0.05$)。综上所述,当 ABT-6 浓度为 0.2 g/L 时,对绢毛蔷薇嫩枝扦插平均根数的促进作用最为突出,1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min 及 ABT-6(0.15 g/L)处理为次优组;而 1.5 mL/L 30 s 处理与对照组(CK)的促根效果显著弱于多数处理组,对根系生长的促进作用有限。

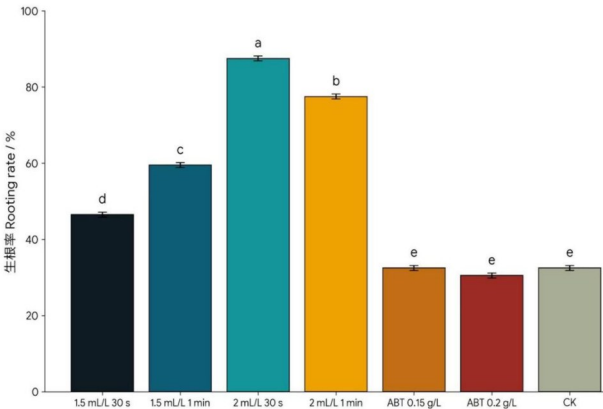


图 2 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇生根率的影响
Fig.2 Effect of different compound rooting agent treatments on rooting rate of *Rosa sericea*

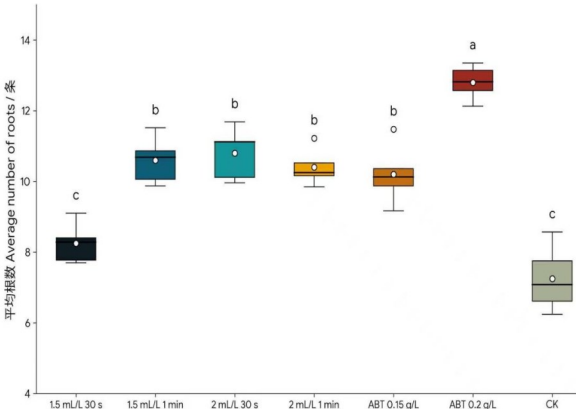


图 3 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇平均根数的影响
Fig.3 Effect of different compound rooting agent treatments on the average root number of *Rosa sericea*

2.3 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇根系长度特征的影响

生根营养液和 ABT-6 生根粉处理对绢毛蔷薇嫩枝扦插平均根长的影响存在显著差异。由图 4 可知, 2 mL/L 1 min 处理组的平均根长最长,为 17.6 cm,与 1.5 mL/L 30 s、1.5 mL/L 1 min、2 mL/L 30 s 处理组间的差异不明显,但是与对照组(CK)4.86 cm 相比,平均根长增加 12.74 cm,存在显著差异($P<0.05$),说明 2 mL/L 1 min 处理可显著促进绢毛蔷薇嫩枝扦插根系的伸长。此外,ABT-6(0.15g/L)、ABT-6(0.2 g/L)处理组的平均根长分别为 9.0 cm、10.5 cm,二者与对照组(CK)没有明显的差异($P>0.05$),对根系伸长的促进作用不明显。综上所述,生根营养液处理对绢毛蔷薇插穗根系伸长的促进效果整体优于 ABT-6 生根粉处理,其中 2 mL/L 1 min 处理的促根效果最佳,显著优于 ABT-6 生根粉各处理组与对照组(CK),为本实验中促进根系伸长的最优处理组合。

生根营养液和 ABT-6 生根粉处理对绢毛蔷薇扦插育苗最长根长的影响如图 5 所示。其中,2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min 与 1.5 mL/L 1 min 处理组间无显著差异($P>0.05$),但均较对照组(CK)显著提升最长根长,分别增加 14.41 cm、10.91 cm、10.51 cm,表现出显著的根系伸长促进作用;而 ABT-6(0.15 g/L)、ABT-6(0.2 g/L)处理组与对照组(CK)无显著差异,对根系的伸长无明显促进效果。1.5 mL/L 30 s 处理组与 ABT-6 生根粉处理组无明显差异。综合分析,2 mL/L 30 s(23.7 cm)、2 mL/L 1 min(20.2 cm)与 1.5 mL/L 1 min(19.8 cm)处理对绢毛蔷薇最长根长的促进效果最佳,其中 2 mL/L 30 s 处理最长根长为 23.7 cm,且为综合评价下的最佳处理组合。

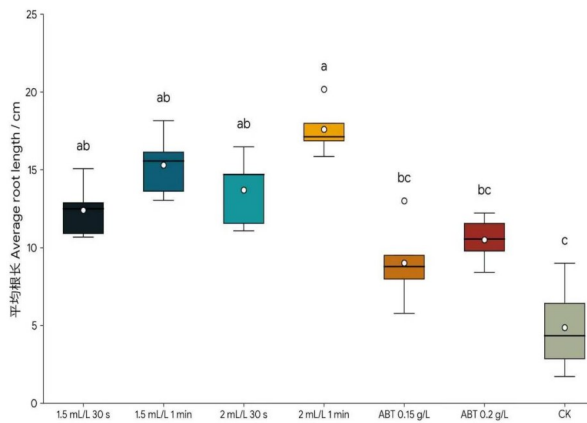


图4 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇平均根长的影响
Fig.4 Effect of different compound rooting agent treatments on the average root length of *Rosa sericea*

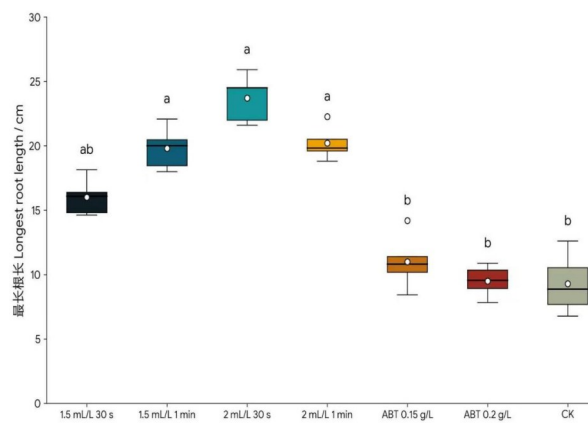


图5 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇最长根长的影响
Fig.5 The effect of different compound rooting agent treatments on the longest root length of *Rosa sericea*

为了更好地验证不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇根系形态的影响,本研究选取了表现最优的2 mL/L生根营养液处理组、所有ABT处理组及对照组中典型的扦插苗进行根系生长状态的观察对比(结果见图6,其中形态居中的1.5 mL/L营养液处理组未予展示)。由图可知,2 mL/L生根营养液处理组的扦插苗根系发达、主根粗壮、侧根较丰富,整体生长活力较强;而ABT-6生根液处理组及空白对照(CK)组扦插苗根系纤细、数量较少,部分植株出现萌芽受阻、根系发育不良的情况。观察根系生长状况中不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇的抽枝率、生根率、平均根数、平均根长、最长根长的数据结果较一致。进一步证实了2 mL/L生根营养液对绢毛蔷薇扦插根系生长的显著促进作用,为生根营养液处理的最优选择提供了直观的形态学依据。



注:为突出代表性对比,本图仅展示了表现优异的生根营养液(2 mL/L)处理组及全部ABT、对照组。图中红牌标签上的“40滴”及样本编号前缀“40”均代表生根营养液的滴数,对应实际营养液浓度为2 mL/L;“30秒”和“1分钟”(样本编号中的30和60)分别代表浸泡时间为30 s和1 min;样本编号后缀“14”等代表样本号;CK代表清水对照组。
Notes: To highlight the representative comparison, this figure only displays the high-performing rooting nutrient solution (2 mL/L) treatment groups, along with all ABT groups and the control. "40滴" (40 drops) on the red labels and the prefix "40" in the sample IDs indicate the number of drops of the rooting nutrient solution, which corresponds to an actual concentration of 2 mL/L; "30秒" (30 seconds) and "1分钟" (1 minute) (30 and 60 in the sample IDs) represent soaking durations of 30 s and 1 min, respectively; the suffix of the sample ID (e.g., "14") represents the sample number; CK represents control group with water.

图6 不同复合生根剂处理下绢毛蔷薇根系生长状况
Fig. 6 The effect of different compound rooting agent treatments on the root growth status of *Rosa sericea*

2.4 不同浓度生根营养液及ABT生根粉对各项生长指标的差异分析

为明确不同浓度生根营养液对各项生长指标的影响(表1),采用独立样本 t 检验对1.5 mL/L和2.0 mL/L两个浓度处理组进行了对比分析。结果表明,营养液浓度的提升对早期的抽枝与生根过程具有极显著的促进作用。具体而言,2.0 mL/L处理组的生根率(82.50%)极显著高于1.5 mL/L处理组(53.00%)($t=-9.35$, $P=0.000\ 0$);同时,其抽枝率(90.50%)也显著高于低浓度组(79.50%)($t=-3.91$, $P=0.000\ 0$)。在根系形态指标方面,尽管高浓度组的平均根数(10.38)、平均根长(15.67)及最长根长(21.96)在绝对均值上均高于低浓度组,但两组间差异均未达到统计学显著水平,其中最长根长的差异呈边缘不显著状态($P=0.051\ 7$)。这表明,在本实验设定的浓度范围内,生根营养液浓度的增加主要体现在提高抽枝及生根的启动率上,而对后续根系形态延伸的促进作用较为有限。

表1 生根营养液浓度对绢毛蔷薇嫩枝扦插生根指标的独立样本 t 检验
Table 1 Independent samples t -test of rooting nutrient solution concentration on rooting indices of *Rosa sericea* softwood cuttings

指标	生根液(1.5 mL/L)	生根液(2 mL/L)	t	P
抽枝率	79.50	90.50	-3.91	0.004 1**
生根率	53.00	82.50	-9.35	0.000 0**
平均根数	9.13	10.38	-1.16	0.264 6
平均根长	13.96	15.67	-1.14	0.259 6
最长根长	18.54	21.96	-2.00	0.051 7

注:采用独立样本 t 检验进行差异显著性分析。* $P<0.05$ 表示差异显著,** $P<0.01$ 表示差异极显著。若方差不齐,则采用Welch校正 t 检验获取 P 值。
Notes: Independent samples t -test was used to analyze the significance of differences. * $P<0.05$ indicates significant difference, and ** $P<0.01$ indicates highly significant difference. If variances were unequal, Welch's corrected t -test was used to obtain the P -value.

针对不同浓度ABT对各项生长指标的影响,ABT处理组的独立样本 t 检验结果显示(表2),ABT浓度的变化对各项生理指标呈现出差异化的作用模式。当ABT浓度从0.15 g/L提升至0.2 g/L时,抽枝率受到了极显著的抑制,处理均值由79.50%显著下降至71.50%($t=8.76$, $P=0.000\ 0$)。然而,在根系诱发数量上,较高浓度(0.2 g/L)的ABT表现出了显著的促进效果,其平均根数(12.75)显著多于低浓度处理组(8.75)($t=-3.77$, $P=0.010\ 8$)。此外,两个浓度处理组在生根率、平均根长以及最长根长上的差异均不显著。结果提示,较高浓度的ABT在诱导不定根原基形成方面具有优势,但同时可能对前期的发芽过程存在一定的胁迫或抑制效应。

表2 ABT浓度对绢毛蔷薇嫩枝扦插生根指标的独立样本 t 检验
Table 2 Independent samples t -test of ABT concentration on rooting indices of *Rosa sericea* softwood cuttings

指标	ABT(0.15 g/L)	ABT(0.2 g/L)	t	P
抽枝率	79.50	71.50	8.76	0.000 0**
生根率	32.50	30.50	2.19	0.071 0
平均根数	8.75	12.75	-3.77	0.010 8**
平均根长	9.00	10.50	-0.79	0.447 2
最长根长	10.83	9.17	0.55	0.594 7

注:采用独立样本 t 检验进行差异显著性分析。* $P<0.05$ 表示差异显著,** $P<0.01$ 表示差异极显著。若方差不齐,则采用Welch校正 t 检验获取 P 值。
Notes: Independent samples t -test was used to analyze the significance of differences. * $P<0.05$ indicates significant difference, and ** $P<0.01$ indicates highly significant difference. If variances were unequal, Welch's corrected t -test was used to obtain the P -value.

3 讨论

3.1 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇抽枝率与生根成活率的影响

插穗是扦插繁殖的关键材料,扦插繁殖可不受季节限制,实现规模化生产,且能稳定保留母本优良性状^[16]。与其他植物类似,蔷薇属植物的扦插成活率与生长状况受多种因素综合影响,其中内部因素包括枝条年龄、粗度、芽体健壮度及留叶数量等^[17],外部因素涵盖复合生根剂、扦插基质、激素浓度与处理时间、环境因子等。

本实验重点围绕外部因素,探究不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇扦插的繁殖规律。研究发现,采用不同浓度的生根营养液与ABT-6生根粉溶液处理后,绢毛蔷薇嫩枝扦插的抽枝与生根情况呈现出明显差异。在抽枝率方面,生根营养液浓度2 mL/L 30 s处理下抽枝率达到最高值97.5%,与其他各组之间差异达到显著水平($P<0.05$)。

综合本实验结果可以观察到,不同生根营养液处理效果存在差异,2 mL/L生根营养液整体促抽枝、促生根效果优于1.5 mL/L处理;ABT-6生根粉仅对扦插苗平均根数存在一定促进效果,对抽枝、生根率提升效果有限。高浓度生根营养液处理若浸泡时间过长,易引发插穗生理胁迫,进而降低扦插效果^[18]。但机制需通过内源激素、渗透势等生理指标进一步验证,本研究结果可为绢毛蔷薇扦插过程中抽枝调控提供可靠的技术依据。相比之下,ABT-6生根粉浓度由0.15 g/L提升至0.2 g/L时,抽枝率明显下降,且0.2 g/L处理组略低于空白对照组,说明高浓度的ABT-6生根粉会对绢毛蔷薇插穗的抽枝过程产生抑制作用。已有针对蔷薇属植物的扦插研究结果显示,适宜浓度的外源生长调节剂或营养物质能够为插穗提供基础代谢所需养分,有利于愈伤组织形成与枝芽萌发,而浓度过高的复合生根剂则容易产生生理抑制^[19],这一现象与本研究结果吻合。

从生根率来看,2 mL/L 30 s处理组生根率最高(87.5%),显著优于其他处理,整体上2 mL/L浓度生根营养液的效果明显优于1.5 mL/L浓度生根营养液。本研究观察到不同浓度生根营养液存在浓度-浸泡时长的适配差异,低浓度营养液搭配较长浸泡时间、高浓度营养液采用短时速蘸^[20],均可获得较好的生根效果。高浓度或长时间浸泡处理易对插穗产生毒害,抑制生根,严重时造成插穗中毒死亡,合适的浸泡时长与浓度搭配能够协同促进插穗生根。此外,通过独立样本 t 检验进一步剔除时间干扰后,生根液高浓度的极显著促生根效应($P<0.01$)与ABT高浓度的促根失效现象也得到了明确的统计学验证。

ABT-6(0.2 g/L)处理生根率略低于对照,未表现出促根作用,说明0.2 g/L浓度的ABT-6生根粉并不适用于绢毛蔷薇扦插,过量使用反而会抑制根系形成,其原因可能是高浓度生长素类物质破坏了插穗内源激素平衡,诱导乙烯过量合成,进而抑制根原基分化与细胞伸长,甚至导致插穗基部坏死或微生物感染。这与前人的研究中高浓度ABT-6生根粉易对蔷薇属植物扦插产生生理抑制的结论一致^[21]。但其内在调控机制尚不明确,后续可通过测定内源激素、渗透势、乙烯释放量等生理指标进一步验证。本研究结果表明,在绢毛蔷薇扦插繁育中,高浓度ABT-6生根粉并非最优处理,甚至存在生根抑制效应。

3.2 不同复合生根剂处理对绢毛蔷薇根系质量的影响

在平均根数方面,ABT-6(0.2 g/L)表现最为突出,根系数量高于多数处理组。出现这一结果的原因在于,ABT-6生根粉中含有的吲哚丁酸与萘乙酸类物质,能够有效刺激插穗基部细胞分裂与不定根分化^[22],而生根营养液则可通过补充氮、磷、钾等营养元素,为根系发生提供物质保障。相比之下,低浓度营养液与低浓度ABT-6生根粉处理对根系数量的提升效果有限,这与蔷薇扦插的相关研究结论基本一致^[23]。此外,独立样本 t 检验的结果进一步为这一现象提供了统计学支撑:较高浓度(0.2 g/L)的ABT-6能显著增加

平均根数($P<0.05$),但在平均根长及最长根长上表现不显著;而高浓度生根营养液处理尽管在根数上未表现出显著优势,但其平均根长和最长根长的均值均高于低浓度处理,表现出较强的根系伸长潜力。

绢毛蔷薇的平均根长和最长根长表现出相似的变化规律,在两项指标中,2 mL/L 30 s、2 mL/L 1 min 和 1.5 mL/L 1 min 处理的生根长度均显著高于对照组(CK)。相比之下,ABT-6 生根粉处理在平均根长和最长根长指标上与对照组无显著差异,说明在根系长度方面,其对根长的整体促进作用明显弱于生根营养液处理。由此可见,生根营养液更有利于促进根系生长,推测其机制可能与营养液中氮、磷、钾及中微量元素的协同作用有关^[24],碳、氮化合物是扦插生根的必要营养物质,尤其是可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质等可为插穗生长提供能量,维持插穗体内代谢平衡^[25]。随着插穗不定根的大量发生,其对能量的需求显著提升,插穗自身储存的营养物质已不足以满足根系生长需求,而生根营养液能够及时补充能量与养分,进而促进插穗生根^[26]。生长调节剂 ABT-6 可通过增强细胞伸长相关酶活性,推动根系向基质深层延伸^[27],但在绢毛蔷薇扦插中,ABT-6 生根粉侧重于促进不定根的数量分化,对根长的调控效应相对较弱。综上推测,这两种生根剂作用差异的核心机制可能在于:ABT-6 作为激素类物质,其主要通过外源生长素(IBA、NAA)调控和诱导不定根原基的早期大量分化,因此能显著增加平均根数;而生根营养液不仅含有促根成分,更重要的是能够直接提供碳、氮化合物及中微量元素,这种持续的营养供应弥补了插穗生根后期自身能量的耗竭,从而对根系后期的伸长发育具有更显著的促进作用。

本研究主要从生根率、抽枝率、平均根数、平均根长和最长根长等指标评价绢毛蔷薇扦插早期生根表现,能够反映根系发生数量和伸长能力,但尚未进一步测定根体积、根表面积、根干质量及根冠比等根系生物量和结构性指标。因此,本文关于根系发育的判断主要限于根系数量和长度特征。后续研究应结合根系扫描、干物质积累和根冠分配等指标,系统揭示不同生根剂处理对绢毛蔷薇根系质量和移栽适应性的影响。

3.3 绢毛蔷薇扦插生根与高原极端生境适配性分析

拉萨南北山区域海拔 3 600 m 以上,具有低温、空气稀薄、强紫外辐射、生长季短、土壤贫瘠干旱等典型高原限制因子,大幅提升乡土灌木扦插生根难度^[28]。低温会抑制插穗基部细胞分裂与愈伤组织形成,强紫外线辐射易破坏插穗细胞结构并加速水分蒸腾导致失水萎蔫,同时土壤基质中的有机质及氮磷钾等营养元素匮乏^[29],这也是高海拔乡土植物扦插成活率普遍受限的核心原因之一。

绢毛蔷薇长期在高原野生生境演化,自身具备耐寒、耐旱、耐贫瘠的固有适应性,但其自然繁育效率极低,依赖不同生根剂处理能弥补自身生根短板^[30]。本实验所用营养型生根营养液可同步补充中微量元素,缓解高原土壤养分不足对根系发育的限制;而 ABT-6 激素生根粉仅单一补充外源生长素,缺乏矿质营养供给,在高原贫瘠基质下促根综合效果弱于生根营养液。

从区域工程应用层面分析,2 mL/L 30 s 处理可大幅提升绢毛蔷薇扦插生根率与根系生长量,培育的健壮苗木根系发达,移栽至南北山干旱贫瘠山体后抗逆保存能力更强,能够适配高原极端环境,为大面积生态修复提供稳定苗木来源。针对高原特殊生境,后续可结合大棚控温、遮光降紫外线、基质改良等配套措施,进一步提升扦插育苗整体效率。

本研究主要从生根率、抽枝率、平均根数、平均根长和最长根长指标评价绢毛蔷薇扦插早期生根表现,能够反映根系发生数量和伸长能力。在实验设计方面,本研究虽然设置了 30 s 和 1 min 两个浸泡时间,但在结果分析中主要关注了复合生根剂浓度的主效应,未对时间效应及浓度和时间的交互效应做独立的方差分析。这主要是由于本实验的时间梯度仅有两个水平,且部分处理组的重复之间变异较大,单独分析时间效应的统计效率有限。同时,本次实验设置的浓度梯度也偏少,难以筛选出精准的最佳施用区间,且尚未测定根体积、根冠比等生物量指标。后续研究将增设更密集的浓度与时间梯度,以更精确地

揭示浓度与时间的协同作用,并结合根系扫描系统探究生根剂对绢毛蔷薇根系质量和移栽适应性的影响。

结 语

本研究以绢毛蔷薇嫩枝扦插为对象,系统分析了不同复合生根剂处理对其抽枝率、生根率及根系生长特性的影响。结果表明,不同处理对绢毛蔷薇扦插生根具有显著影响,且生根营养液处理的整体效果优于ABT生根粉处理,其中2 mL/L 30 s处理在抽枝率、生根率、最长根长上均表现突出,综合效果最佳,可作为绢毛蔷薇规模化扦插育苗的综合评价下的最佳组合;2 mL/L 1 min处理在平均根长方面效果较好,可作为辅助处理方案;而ABT 0.2 g/L处理可提高平均根数,但与其他处理相比,其对整体生根效果的促进作用有限。本研究结果可为青藏高原河谷地带、拉萨河谷地区绢毛蔷薇高效扦插育苗提供技术参考,同时为西藏乡土植物无性繁殖体系建设及高海拔地区乡土植物生态修复苗木培育提供科学依据与技术支撑。

参考文献

- [1] 西藏自治区人民政府.拉萨南北山绿化工程总体规划(2021-2030年)[Z].拉萨:西藏自治区人民政府,2021.
- [2] 侯伟,普布顿珠,边巴多吉,等.西宁南北山造林绿化实践对拉萨南北山绿化建设的启示[J].林业建设,2022,40(5):51-55.
- [3] 赵朗.西藏拉萨三年来南北山绿化工程完成营造林近70万亩[EB/OL].中国新闻网,(2025-03-17)[2026-03-20].<https://www.chinanews.com.cn/sh/2025/03-17/10384605.shtml>.
- [4] 吴征镒.西藏植物志:第二卷[M].北京:科学出版社,1985:674-675.
- [5] 张金羽,王延辉,钟璇,等.不同品种蔷薇扦插繁殖效果研究[J].现代化农业,2021(9):29-30.
- [6] 代林利,杨倩倩,杨滨豪,等.不同基质和生长调节剂对陀螺果硬枝扦插生根及生长的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2026,46(2):37-44.
- [7] 李平.祁连山保护区蔷薇属植物资源调查及扦插繁殖技术[J].青海农林科技,2022(2):101-105.
- [8] 王绪藏.月季扦插繁殖技术优化试验设计及对结果的详细分析[J].种子世界,2025(8):213-215.
- [9] 李小玲.秦岭杜鹃扦插生根及相关生理生化分析研究[J].西北林学院学报,2024,39(3):131-137+152.
- [10] 赵家庚,张葳,陈曦,等.3个杂种芍药品种根段扦插比较研究[J].安徽农业大学学报,2025,52(6):967-974.
- [11] 崔秋英,邱长玉,林强,等.桑树硬枝扦插繁殖能力的影响因素研究[J].蚕业科学,2021,47(6):518-527.
- [12] 朱巧生.ABT-6号生根粉对月季扦插生根的影响[J].现代园艺,2023,46(4):1-2+9.
- [13] 马庆华,王兴红,蔡京艳,等.氮磷供应水平对野蔷薇生长和养分吸收的影响[J].新疆农业科学,2022,59(3):609-616.
- [14] 王俊伟,明升平,陈永豪,等.西藏大学校园维管植物多样性构成与分析[J].安徽农业科学,2023,51(5):118-122.
- [15] 李石胜,拉多,张燕杰,等.拉萨河谷种子植物资源及其区系特征研究[J].高原科学研究,2020,4(4):24-32.
- [16] 饶丹丹,刘雯雯,陈彧,等.琼岛杨嫩枝扦插影响因素探究[J].分子植物育种,2025,23(20):6852-6858.
- [17] 连俊华,苏世平,刘向鸿,等.不同处理对野生重瓣黄刺玫嫩枝扦插生根效果的影响[J/OL].分子植物育种,1-9.[2026-07-15].
- [18] 吴天珍,姜春华.不同激素和基质对苦水玫瑰扦插生根的影响[J].现代园艺,2021,44(13):5-7.
- [19] 谢安德,尹冬勋,侯文韬,等.植物生长调节剂ABT处理对藤本月季扦插生根效果的影响及其相关性和主成分分析[J].安徽农业科学,2022,50(22):123-126.
- [20] 赵艳丽,李波,高本强,等.不同生长调节剂对紫果云杉扦插生根的影响[J].甘肃林业科技,2025,50(3):36-41+59.
- [21] 王彩云,杨继连,闫富君,等.不同处理对蔷薇属植物无刺蔷薇和卡罗拉扦插成活的影响[J].山西农业科学,2018,46(9):1494-1497.

- [22] 闫海霞,卢家仕,黄昌艳,等. 茶乙酸和吡啶丁酸对月季扦插成活效果的影响[J]. 南方农业学报,2013,44(11):1870-1873.
- [23] 尹国,路正营,李俊玲,等. 蔷薇夏季扦插繁殖技术研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(2):57+93.
- [24] 邵新圆. 基质栽培切花月季养分需求规律探究及营养液配方设计[D]. 昆明:云南农业大学,2022.
- [25] 李文姗,孙雅丽,褚奋飞. 生长调节剂及浓度对不同俄罗斯醋栗品种生理指标的影响[J]. 北方园艺,2025(9):55-62.
- [26] 王青,张捷,仲崇禄,等. 麻楝扦插生根进程中内源激素和营养物质含量的变化[J]. 中南林业科技大学学报,2020,40(4):111-119.
- [27] 赵书文,化佳敏,潘一诺,等. 根系质外体对植物矿质营养元素调控机理的研究进展[J]. 应用生态学报,2025,36(6):1923-1932.
- [28] 邱晓军,李炳章,格桑曲珍. 河北杨在高海拔地区扦插育苗技术[J]. 林业科技通讯,2025(7):118-120.
- [29] 刘明福,叶舒,舒兵. 阿坝州高山柳扦插繁殖技术要点[J]. 南方农业,2026,20(6):52-54.
- [30] 杨碧楠,严斐瑶,刘明会,等. 不同外源生长激素处理对两个月季品种扦插生根率的影响[J]. 上海师范大学学报(自然科学版),2023,52(4):468-477.

Research on the Cutting Rooting Technique of *Rosa Sericea*, A Superior Native Seedling for the Greening Project in North and South Mountain of Lhasa

Ngawang-Bonjor¹ Dorgon-Dolma¹ WANG Rongfang¹ WANG Junwei^{1,2} Laqiong^{*1,2}

(1. Key Laboratory of Biodiversity and Environment on the Qinghai-Tibetan Plateau, Ministry of Education, School of Ecology and Environment, Xizang University, Lhasa 850000, China;

2. Xizang Yani Wetland Ecosystem Positioning Observation Research Station, Nyingchi 860000, China)

Abstract: In order to identify an optimal compound rooting agent treatment scheme for enhancing the cutting rooting of *Rosa sericea*, 4 rooting nutrient solution treatments (1.5 mL/L for 30 s, 1.5 mL/L for 1 min, 2 mL/L for 30 s, 2 mL/L for 1 min) and 2 ABT-6 rooting powder treatments (0.15 g/L, 0.2 g/L) were applied to *Rosa sericea* cuttings, with water treatment as the control. The effects of different compound rooting agent treatments on sprouting rate, rooting rate and root growth of *Rosa sericea* were investigated. The results showed that different compound rooting agent treatments significantly affected the rooting of *Rosa sericea* cuttings. Among them, under the compound rooting agent of 2 mL/L treating for 30 s achieved the highest sprouting rate (97.5%) and the highest rooting rate (87.5%), with a maximum root length of 23.7 cm. Under the compound rooting agent of 2 mL/L treating for 1 min produced the greatest average root length (17.6 cm). The ABT-6 (0.2 g/L) treatment resulted in the highest average number of roots (13). Overall, the rooting nutrient solution treatments were more effective than the ABT-6 treatments. Comprehensive analysis indicated that the compound rooting agent of 2 mL/L treating for 30 s is the optimal combination for cutting *Rosa sericea* rooting. The results providing a technical reference for large-scale seedling propagation of *Rosa sericea* for the North and South Mountains Greening Project in Lhasa.

Keywords: *Rosa sericea*, rooting of cuttings, rooting nutrient solution, ABT-6 rooting powder, North and South Mountains Greening Project in Lhasa

[责任编辑:索郎桑姆]