

基质和植物生长调节剂对美国流苏硬枝扦插生根的影响

胡 涛, 曹 钰, 张鸽香

(南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 以美国流苏 *Chionanthus virginicus* 的硬枝为材料, 从基质和植物生长调节剂(种类、质量浓度及处理时间)等方面研究了各因素对插穗生根的影响, 同时测定了插穗的营养物质质量分数变化。结果表明: 基质种类对插穗各生根指标影响显著。其中 V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3 的基质中, 其生根率和根系效果指数最高, 分别为 43.33% 和 7.64, 其他生根指标达最佳水平, 而河沙的插穗生根效果最差。正交试验中, 3 因素对生根率和根系效果指数的影响程度从大到小依次为: 植物生长调节剂种类、处理时间、质量浓度, 且均达极显著水平。其中, 500 mg·L⁻¹ 的吲哚丁酸(IBA)浸泡 60 min 的生根率和根系效果指数最高, 分别为 43.33% 和 6.65。可见, 使用 500 mg·L⁻¹ 的 IBA 浸泡插穗 60 min, 扦插于 V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3 基质中, 美国流苏生根效果最佳。扦插生根过程中, 插穗内部的可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白质质量分数大致为先下降后上升的趋势, 在愈伤形成期和不定根诱导期下降, 不定根形成后开始上升。IBA 处理加速了插穗内部营养物质质量分数的变化, 缩短了生根周期, 有利于插穗生根。图 1 表 5 参 30

关键词: 森林培育学; 美国流苏; 基质; 植物生长调节剂; 营养物质; 扦插生根

中图分类号: S722.8

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2019)03-0622-07

Rooting of *Chionanthus virginicus* hardwood cuttings with media and plant growth regulators

HU Tao, CAO Yu, ZHANG Gexiang

(College Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: In order to seek a better combination of rooting and understand the physiological changes during rooting. The effects on root cuttings from the hardwood of the fringe tree (*Chionanthus virginicus*) were studied in terms of medium, as well as type, concentration, and treatment time of plant growth regulators using an orthogonal experiment. Also, changes in nutrient content were measured. Results showed that the mediums had a strong influence on rooting indexes of the cuttings ($P < 0.05$). The perlite:vermiculite 7:3 (volume ratio) had the highest rooting rate (43.33%) and a root effect index (7.64), other rooting indicators of perlite:vermiculite 7:3 reached the best level. The rooting effect of cuttings in river sand was the worst. In the orthogonal experiment, importance of the three factors influencing the rooting rate and the root effect index were as follows: growth regulator type > treatment time > concentration with all reaching highly significant levels. Rooting rate (43.33%) and root effect index (6.65) were highest with cuttings soaked in 500 mg·L⁻¹ Indolo Butyric Acid (IBA) for 60 min. In the rooting process, the content of soluble sugar, starch, and soluble protein in the cuttings first decreased (during the callus formation period and adventitious root induction period) and then increased (after adventitious root formation). Overall, *C. virginicus* is a difficult-to-root tree species, the IBA treatment of 500 mg·L⁻¹ for 60 min and soaking the cutting in perlite: vermiculite 7:3, and the rooting effect

收稿日期: 2018-06-07; 修回日期: 2018-08-08

基金项目: 国家林业局引进国际先进农业科学技术计划项目(2014-4-17); 江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015A063)

作者简介: 胡涛, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: 1939574346@qq.com。通信作者: 张鸽香, 副教授, 博士, 从事园林植物研究。E-mail: nld_zhang@njfu.com.cn

was the best. The IBA treatment accelerated changes in nutrient content for the cuttings, shortened the rooting cycle, and facilitated rooting of the cuttings. [Ch, 1 fig. 5 tab. 30 ref.]

Key words: silviculture; *Chionanthus virginicus*; mediums; plant growth regulators; nutrient substance; cutting rooting

美国流苏 *Chionanthus virginicus* 为木犀科 Oleaceae 流苏树属 *Chionanthus* 的落叶灌木或小乔木, 原产美国东南部^[1]。美国流苏的花、叶都具有较高的观赏价值, 开花时节, 满树白花似雪, 花香四溢, 清新淡雅, 秋天树叶金黄, 另有一番景致, 可应用于庭院、公园、水边和道路绿化等^[1-2]。美国流苏还具有较高的药用价值, 其茎和根皮中含有木脂素和环烯醚萜苷等抗氧化物质, 可以作为食品、药品和护肤品的天然植物原料开发利用^[3-4]。因此, 美国流苏具有引种推广的潜力以及巨大的应用前景。美国流苏主要为播种繁殖, 种子由坚硬的外壳包裹, 具有休眠特性^[5], 不易发芽, 且播种苗生长缓慢, 给其引种、繁殖和推广带来不便。而扦插繁殖有利于实现美国流苏等难发芽树种的大规模生产及推广。目前, 美国流苏在国内还未得到应用和推广, 相关报道较少, 仅在种子、容器育苗和组培方面有所涉及^[2,6-7], 在扦插繁殖方面未见报道。进行美国流苏扦插繁殖试验有利于实现其规模化繁殖和推广。选用适宜的扦插基质和植物生长调节剂组合可以显著提升插穗的生根效果^[8-9], 而可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白质作为插穗内部的主要营养物质, 其含量变化与插穗生根关系密切^[10], 直接影响到插穗的生根指标, 反映各处理的扦插生根效果。因此, 本研究从基质、植物生长调节剂等方面优化美国流苏硬枝扦插繁殖技术, 并通过测定分析插穗生根过程中体内营养物质质量分数的变化, 探索其扦插生根过程中的生理变化, 以期美国流苏扦插繁殖提供理论参考和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验在南京林业大学园林实验教学示范中心温室苗床上进行。

1.2 试验材料

试验材料为来自美国 2 年生的美国流苏实生苗, 挑选生长健壮、无病虫害的母株, 剪取粗壮枝条, 置于水深 3~5 cm 的桶中进行保湿。剪取插穗长度为 8~12 cm, 上切口平切, 下切口斜切, 带 6~8 个完整饱满芽, 并保留 2 片 1/2 叶。20 支扎成一捆, 用体积分数为 0.3% 的多菌灵溶液消毒, 清水洗净后于水中浸泡备用。

1.3 试验设计

扦插开始于 2017 年 3 月 18 日, 各处理 3 次重复, 各重复 50 根插穗。基质种类试验: 采用单因素随机区组试验, 插穗用吲哚丁酸(IBA) 500 mg·L⁻¹ 浸泡 60 min 后, 扦插于 6 种不同的基质中: ①珍珠岩, ②草炭, ③河沙, ④V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3, ⑤V(珍珠岩):V(草炭)=7:3, ⑥V(珍珠岩):V(园土)=7:3 等。植物生长调节剂试验: 采用植物生长调节剂种类(A)、质量浓度(B)、处理时间(C)进行 L₉(3⁴) 正交试验, 具体因素和水平见表 1。扦插基质为 V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3。插穗内部营养物质测定试验: 以 V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3 为基质, 500 mg·L⁻¹ IBA 浸泡插穗 60 min, 以清水处理作为对照(ck), 进行单因素试验, 各处理 3 次重复, 每重复 50 根插穗。

表 1 正交试验因素和水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal test			
水平	种类(A)	$\rho(B)/(mg \cdot L^{-1})$	$t(C)/min$
1	吲哚乙酸(IAA)	100	1/6(10 s)
2	吲哚丁酸(IBA)	500	30
3	萘乙酸(NAA)	1 000	60

1.4 扦插管理

扦插前将基质进行消毒, 扦插密度为 10 cm × 10 cm, 深度为插穗的 1/2, 压实四周, 插好标牌, 立即浇透水。通过自动喷雾系统和手动浇水相结合方式, 控制空气和基质的湿度, 并定期喷施多菌灵消毒液, 腐烂和感染病菌的插穗立即拔出。

1.5 形态指标和营养物质测定

形态指标测定: 扦插 70 d 后测量并统计相关的生根指标, 包括愈伤率、生根率、平均不定根数、最长不定根长、最长不定根粗、根系效果指数^[11](平均根长×根系数量/总插穗数)。营养物质测定: 采样

时间为扦插当天起, 隔 12 d, 各处理共取样 6 次, 6 根·次⁻¹, 3 次重复。洗净后, 小刀刮取插穗基部(下切口往上 3 cm)的韧皮部, 蒽酮比色法测定可溶性糖和淀粉质量分数, 考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白质质量分数^[12]。

2 结果与分析

2.1 基质种类对美国流苏扦插生根的影响

受不同基质的影响, 插穗生根率、愈伤率、平均不定根数、根系效果指数达极显著差异($P < 0.01$), 最长不定根长、最长不定根粗达显著差异($P < 0.05$)。从表 2 可知: 处理④的生根率、根系效果指数和愈伤率最高, 分别为 43.33%, 7.64 和 60.00%, 其他生根指标均达最佳水平, 可见具有良好的保水、保温及透气性的混合基质生根效果较好; 处理⑤的生根率达 36.67%, 平均不定根数为 6.01 条, 各生根性状与处理④无显著差异; 处理②的生根率和愈伤率显著下降, 但最长不定根长和最长不定根粗最佳, 分别为 6.88 cm 和 0.75 mm, 根系效果指数仅次于处理④, 说明草炭利于不定根的伸长生长; 处理①的生根率与处理②无显著差异, 但根系效果指数下降显著, 为 1.69, 可能由于珍珠岩缺乏营养、保水性不强而影响不定根生长; 处理③的生根率最差, 为 8.33%, 与处理⑥差异不显著, 极显著低于其他处理, 根系效果指数最低, 为 0.43, 也显著低于其他处理, 可能与园土、河沙易板结有关。综上所述, 最佳的扦插基质为 V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3, 河沙的扦插生根效果最差。

表 2 美国流苏硬枝扦插不同基质的生根情况

Table 2 Rooting situation of hardwood cutting on different mediums of *Chionanthus virginicus*

处理	基质种类	生根率/%	愈伤率/%	平均不定根数/条	最长不定根长/cm	最长不定根粗/mm	根系效果指数
①	珍珠岩	28.33 Bc	53.33 Aab	3.02 CDed	4.07 Bc	0.52 ABbc	1.69 Bbc
②	草炭	33.33 ABbc	45.00 Ab	5.76 Aa	6.88 Aa	0.75 Aa	7.22 Aa
③	河沙	8.33 Cd	28.33 Bc	2.17 Dd	5.11 ABbc	0.45 Bc	0.43 Bc
④	V(珍珠岩):V(蛭石)=7:3	43.33 Aa	60.00 Aa	4.90 ABab	6.23 ABab	0.71 Aa	7.64 Aa
⑤	V(珍珠岩):V(草炭)=7:3	36.67 ABab	50.00 Aab	6.01 Aa	6.55 Aab	0.64 ABab	6.53 Aa
⑥	V(珍珠岩):V(园土)=7:3	10.00 Cd	16.67 Bd	3.97 BCbc	4.47 ABc	0.62 ABabc	2.41 Bb

说明: 同列不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平下差异显著

2.2 植物生长调节剂对美国流苏扦插生根的影响

方差分析表明: 各植物生长调节剂处理组合间生根率、根系效果指数达极显著差异。从表 3 可知: 处理⑤(IBA 500 mg·L⁻¹ 浸泡 60 min)的生根率和根系效果指数最高, 分别为 43.33%和 6.65; 处理①(100 mg·L⁻¹ IAA 速蘸插穗基部 10 s)的生根率和根系效果指数最低, 分别为 11.67%和 0.22。

表 4 和表 5 多重比较可知: IBA 处理的生根效果最佳, 生根率和根系效果指数分别为 35.56%和 4.33, 极显著优于 NAA 和 IAA; 质量浓度为 500 mg·L⁻¹ 时生根率和根系效果指数最高, 分别为 30.00%和 3.39, 显著高于 1 000 和 100 mg·L⁻¹ 的处理; 植物生长调节剂处理的时间越长, 插穗生根效果越好, 30 和 60 min 处理间的差异不显著, 但浸泡 60 min 生根率和根系效果指数略高。因此, 最佳生根率组合为 500 mg·L⁻¹ 的 IBA 浸泡 60 min, 500 mg·L⁻¹ 的 IBA 浸泡 30 min 次之。

由表 4 和表 5 中 R 和 r 值可知: 各因素对插穗生根率、根系效果指数影响程度的从大到小依次为生长调节剂种类、处理时间、质量浓度。因此, 植物生长调节剂种类的选择最为重要, 其次为处理时间。

2.3 营养物质质量分数的变化

2.3.1 可溶性糖 如图 1A 所示: 春季硬枝扦插生根过程中, 对照(ck)插穗的可溶性糖质量分数变化趋势为下降—上升, IBA 处理插穗呈下降—上升—下降的趋势。扦插前中期, 可溶性糖质量分数一直降低, 可能插穗被剪切后, 基部受到机械损伤, 呼吸效率提升, 增强了体内的代谢活动, 加大可溶性糖的消耗; 之后插穗开始诱导产生愈伤组织, 细胞代谢活跃, 加上叶芽的萌发、生长, 再次加大营养的消耗, 导致可溶性糖质量分数持续下降; 到第 36 天, 处理插穗的可溶性糖质量分数降到最低值, 为 25.40 mg·g⁻¹, 而对照插穗在第 48 天达谷值, 为 26.03 mg·g⁻¹。第 48~60 天, 对照插穗可溶性糖质量分数有所上升, 此时新叶大量展开, 能够进行光合作用, 合成产物向下运输, 部分用于不定根生长, 部分在基部

表 3 美国流苏硬枝扦插不同植物生长调节剂的生根情况

Table 3 Rooting situation of hardwood cutting with different plant growth regulators of *Chionanthus virginicus*

处理号	种类(A)	ρ (B)	t (C)	生根率/%	根系效果指数
①	1	1	1	11.67 Ef	0.22 Ef
②	1	2	2	28.33 BCbed	3.05 Cc
③	1	3	3	21.67 CDde	1.08 DEef
④	2	1	2	33.33 Bb	4.53 Bb
⑤	2	2	3	43.33 Aa	6.65 Aa
⑥	2	3	1	30.00 BCbc	1.81 CDde
⑦	3	1	3	23.33 CDcde	2.41 Ccd
⑧	3	2	1	18.33 DEe	0.49 Ef
⑨	3	3	2	25.00 BCDede	2.52 Ccd

说明：1, 2, 3 分别表示表 1 的水平。同列不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平下差异显著

表 4 美国流苏硬枝扦插不同植物生长调节剂对生根率的影响

Table 4 Effects of different plant growth regulators on rooting rate of hardwood cuttings of *Chionanthus virginicus*

水平	种类(A)	ρ (B)	t (C)
K_1	20.56 Bb	22.78 Bb	20.00 Bb
K_2	35.56 Aa	30.00 Aa	28.89 Aa
K_3	22.22 Bb	25.56 ABb	29.44 Aa
R	15.00	7.22	9.44

说明：同列不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平下差异显著。 K 为各因素对应水平下的平均生根率， R 为 K 的极差值

表 5 美国流苏硬枝扦插不同植物生长调节剂对根系效果指数的影响

Table 5 Effects of different plant growth regulators on the root effect index of hardwood cuttings of *Chionanthus virginicus*

水平	种类(A)	ρ (B)	t (C)
k_1	1.45 Bb	2.39 Bb	0.84 Bb
k_2	4.33 Aa	3.39 Aa	3.36 Aa
k_3	1.80 Bb	1.80 Bb	3.38 Aa
r	2.88	1.59	2.54

说明：同列不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平下差异显著。 k 为各因素对应水平下的平均根系效果指数， r 为 k 的极差值

积累。IBA 处理后插穗的可溶性糖质量分数比对照提前上升，其不定根也较早出现，说明 IBA 加快了生根进程。最后由于不定根的伸长生长，处理插穗可溶性糖质量分数再次下降。

2.3.2 淀粉 由图 1B 可知：IBA 处理插穗淀粉质量分数的变化趋势为下降—上升，对照插穗则为下降—上升—下降。扦插开始后，淀粉质量分数处于持续下降的趋势，到第 36 天，处理和对照插穗的淀粉质量分数都达到谷值，分别为 37.92 和 26.95 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。由于插穗基部愈伤组织的形成、不定根的诱导以及叶芽的萌发等，导致插穗需要水解大量的淀粉来形成糖类等营养物质，以维持插穗的生根进程。0~12 d 处理插穗淀粉质量分数下降速度较快，可能是由于 IBA 的处理加速了淀粉的水解所致。36~60 d，处理插穗的淀粉质量分数处于上升趋势，此时新叶展开，进行光合作用同化产物，并形成不定根以吸收养分，淀粉得以转化储存下来。对照插穗的淀粉质量分数在 48~60 d 再次下降，可能由于其不定根形成、生长较缓慢，需要消耗淀粉用于不定根的生长，也导致后期营养不足，生根率降低。

2.3.3 可溶性蛋白质 如图 1C 所示，IBA 处理插穗的可溶性蛋白质质量分数含量呈下降—上升—下降

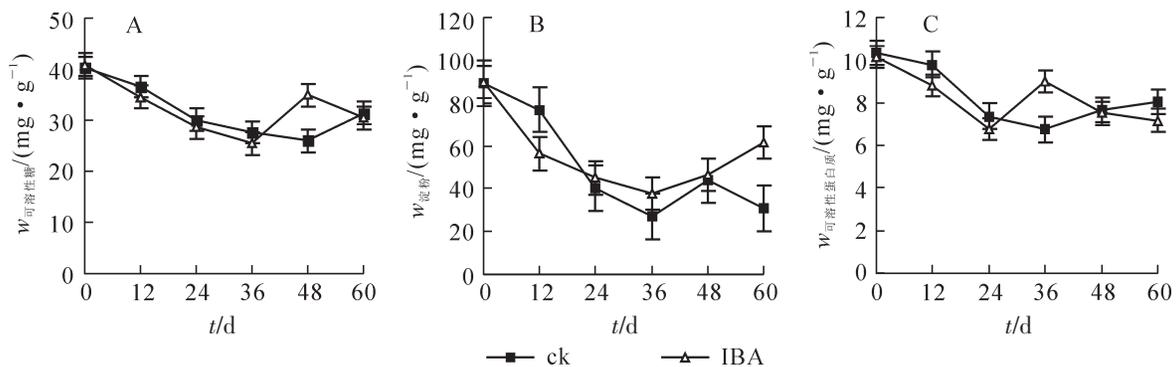


图 1 美国流苏插穗内部营养物质质量分数的变化
Figure 1 Changes of nutrient contents in cuttings of *Chionanthus virginicus*

的趋势, 对照插穗呈下降—上升的趋势。起初, 可溶性蛋白质质量分数持续下降, 第 24 天时, 处理插穗的可溶性蛋白质质量分数降到谷值($6.78 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), 对照插穗则在第 36 天达谷值, 为 $6.74 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。一系列的生理活动加大了插穗体内能量的消耗, 可溶性蛋白质被转化为能量用于插穗生根。同时, 此阶段可溶性糖、淀粉质量分数也处于下降趋势, 减少了蛋白质的合成原料, 导致其合成量减少。24~36 d, IBA 处理插穗可溶性蛋白质质量分数呈上升趋势, 可能叶片的光合产物以及其他物质的转化, 能够满足此时的愈伤组织形成所需, 可溶性蛋白质得以储存, 为后期不定根的诱导、形成积累了营养物质。对照插穗在第 36~60 天处于上升趋势, 可能由于其生根进展较缓慢, 对能量的消耗较少, 且新叶的展开为插穗提供了能量, 使得体内可溶性蛋白质逐渐增多。

3 讨论与结论

3.1 基质种类对扦插生根的影响

插穗生根环境由基质构成, 基质的理化性质对生根极为重要, 理想的基质应具有优良的透气、保水性和一定的营养^[13]。本研究中, 基质种类对美国流苏插穗生根效果影响显著, $V(\text{珍珠岩}):V(\text{蛭石})=7:3$ 的基质扦插生根效果最好, 其生根率、根系效果指数和愈伤率均最高。与青钱柳 *Cyclocarya paliurus*^[14], 美国红枫 *Acer rubrum*^[15] 等扦插试验结果一致, 可能因为珍珠岩+蛭石具有较好的保温、保湿和透气性。 $V(\text{珍珠岩}):V(\text{草炭})=7:3$ 的基质生根效果次之, 可能由于草炭的透气透水性一般, 插穗基部易腐烂, 但草炭富含有机质, 保水能力强, 往往能够提升不定根的数量和质量^[16]。本研究就单一基质而言, 草炭的生根率高于珍珠岩和河沙, 珍珠岩的扦插生根效果较差, 是由于珍珠岩保水性不强, 且缺乏营养。河沙和园土在扦插过程中极易板结, 导致扦插效果较差, 为不理想的扦插基质。小果核果茶 *Pyrenaria microcarpa*^[17] 和复叶槭 *Acer negundo*^[18] 等扦插试验也表明: 河沙为最不理想的扦插基质。本研究对比可知: 混合基质的扦插生根效果优于单一基质, 与细叶水团花 *Adina rubella*^[16] 和番石榴 *Psidium guajava*^[19] 的结果一致, 说明混合基质能够弥补单一基质的不足, 优化其理化性质。可见, 依据不同植物进行合理的基质配比, 可以提高生根效果。

3.2 植物生长调节剂对扦插生根的影响

本研究中, 植物生长调节剂种类、质量浓度和处理时间对插穗生根率均有显著影响。其中, 种类对生根率的影响最大, IBA 的扦插效果显著优于 NAA 和 IAA, 与希蒙得木 *Simmondsia chinensis*^[20], 大无花果 *Ficus roxburghii*^[21] 和流苏树 *Chionanthus retusus*^[22] 等扦插生根试验结论一致。可能是由于 IAA 性质较不稳定, 容易在光下被氧化或在植物体内被吡啉乙酸氧化酶(IAAO)降解, NAA 质量浓度较高易伤害插条, IBA 性状稳定, 不易被分解^[23]。大叶桃花心木 *Swietenia macrophylla*^[24] 和山木通 *Clematis finetiana*^[25] 等多数试验均认为 IBA 促进插穗生根效果突出。质量浓度为 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时生根率显著提升, 说明适中的植物生长调节剂质量浓度往往更有利于提升插穗的生根率, 质量浓度过低时促根效果不显著, 过高时对插穗造成伤害, 影响到生根^[21,26]。处理时间为 30 和 60 min 时, 两者的生根效果差异不显著, 但浸泡 60 min 的生根率略高。本研究的质量浓度较适中, 10 s 速蘸时间过短, 生根效果较差。综上所述, 本研究最佳植物生长调节剂组合为 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 IBA 浸泡 60 min。

3.3 营养物质与生根

插穗体内营养物质的水平对插穗的生根能力影响很大^[10]。扦插开始后插穗的可溶性糖质量分数一直处于下降趋势, 插穗的机械损伤、愈伤组织的形成、新叶的萌发和不定根的形成等, 消耗了大量的可溶性糖。此变化趋势与短梗大参 *Macropanax rosthornii* 扦插的研究结果一致^[27]。此外, 相关研究^[28]表明: 插穗的生根率与可溶性糖质量分数呈正相关关系。因此, 扦插生根后期较低的可溶性糖质量分数也是其生根率低的原因之一。在 IBA 的作用下, 插穗淀粉质量分数在前期下降幅度较大, 榉树 *Zelkova schneideriana*^[29] 和裸花紫珠 *Callicarpa nudiflora*^[30] 等试验同样出现此现象, 均认为植物生长调节剂加速了淀粉的水解, 产生更多的可溶性糖等物质, 加快了插穗生根进程, 有利于提升生根率。观察可溶性蛋白质变化曲线可知: 植物生长调节剂缩短了生根周期, 利于不定根的形成。

3.4 总结

美国流苏为难生根树种, 使用 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 IBA 浸泡插穗 60 min, 扦插于 $V(\text{珍珠岩}):V(\text{蛭石})=7:3$

的基质中, 生根效果最佳, 生根率为 43.33%。IBA 处理加快了营养物质的变化, 缩短了生根周期, 有利于提升生根率。在实际生产中, 美国流苏硬枝可以作为繁殖材料进行充分利用, 以扩大繁殖规模。

4 参考文献

- [1] CHAN C R, MARQUARD R D. Accelerated propagation of *Chionanthus virginicus* via embryo culture [J]. *Hortscience*, 1999, **34**(1): 140 – 141.
- [2] 曹钰, 胡涛, 张鸽香. 基质配比对美国流苏容器苗生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2018, **46**(9): 26 – 30.
CAO Yu, HU Tao, ZHANG Gexiang. Effects of different media on the growth of container seedlings of *Chionanthus virginicus* [J]. *J Northeast For Univ*, 2018, **46**(9): 26 – 30.
- [3] GÜLÇİN İ, ELIAS R, GEPIREMEN A, et al. Antioxidant secoiridoids from fringe tree (*Chionanthus virginicus* L.) [J]. *Wood Sci Technol*, 2009, **43**(34): 195 – 212.
- [4] GÜLÇİN İ, ELIAS R, GEPIREMEN A, et al. Antioxidant activity of lignans from fringe tree (*Chionanthus virginicus* L.) [J]. *Eur Food Res Technol*, 2006, **223**(6): 759 – 767.
- [5] REDEAY S, FRETT J J. Germination of doubly dormant *Chionanthus virginicus* seeds [J]. *Hortsci*, 1990, **25**(6): 627.
- [6] 孟玲玲, 张鸽香. 美国流苏种子休眠原因探析[J]. 广东农业科学, 2015, **42**(6): 35 – 39.
MENG Lingling, ZHANG Gexiang. Causes of dormancy of *Chionanthus virginicus* seed [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2015, **42**(6): 35 – 39.
- [7] 吴秀燕, 张鸽香. 美国流苏离体胚的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学报, 2017, **53**(2): 227 – 233.
WU Xiuyan, ZHANG Gexiang. Study on embryo culture and rapid propagation in vitro of *Chionanthus virginicus* [J]. *Plant Physiol J*, 2017, **53**(2): 227 – 233.
- [8] ATAĞ A, YALCIN T E. Effects of different applications on rooting of *Actinidia deliciosa* ‘Hayward’ hardwood and softwood cuttings [J]. *Acta Hort*, 2015, **1096**: 117 – 125.
- [9] 刘昊, 宋晓波, 周乃富, 等. 吲哚丁酸对核桃嫩枝扦插生根及内源激素变化的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(6): 1038 – 1043.
LIU Hao, SONG Xiaobo, ZHOU Naifu, et al. Adventitious root formation with IBA and endogenous hormones dynamics in walnut soft-cuttings [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(6): 1038 – 1043.
- [10] PEARSE H L. The effect of nutrition and phytohormones on the rooting of vine cuttings [J]. *Ann Bot*, 1943, **7**(26): 123 – 132.
- [11] 季孔庶. 马尾松扦插繁殖与矿质营养的生理遗传学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 1996.
JI Kongshu. *Study on Physiological Genetics of Cutting Propagation and Mineral Nutrition of Masson Pine (Pinus massoniana)* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 1996.
- [12] 王晶英, 敖红, 张杰, 等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003: 11 – 23.
- [13] DOLOR D E, IKIE F O, NNAJI G U. Effect of propagation media on the rooting of leafy stem cuttings of *Irvingia wombolu* (Vermoesen) [J]. *Res J Agric Biol Sci*, 2009, **5**(6): 1146 – 1152.
- [14] 郭春兰, 杨武英, 胡冬南, 等. 青钱柳嫩枝扦插育苗的研究[J]. 江西农业大学学报, 2006, **28**(2): 254 – 257.
GUO Chunlan, YANG Wuying, HU Dongnan, et al. A study on wand cutting techniques of *Cyclocarya paliurus* [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2006, **28**(2): 254 – 257.
- [15] 陆秀君, 洪晓松, 刘景强, 等. 扦插基质及生根促进剂对美国红枫扦插繁殖的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, **30**(5): 138 – 142.
LU Xiujun, HONG Xiaosong, LIU Jingqiang, et al. Effect of different soil substrates and rooting agents on *Acer rubrum* cutting propagation [J]. *J Northwest For Univ*, 2015, **30**(5): 138 – 142.
- [16] 郭玮龙, 岳春雷, 胡国伟, 等. 细叶水团花种子萌发特性及扦插繁殖[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(2): 319 – 323.
GUO Weilong, YUE Chunlei, HU Guowei, et al. Seed germination and cuttage of *Adina rubella* [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2015, **32**(2): 319 – 323.
- [17] 唐健民, 柴胜丰, 邹蓉, 等. 小果核果茶扦插繁殖技术研究[J]. 广西植物, 2017, **37**(4): 511 – 516.

- TANG Jianmin, CHAI Shengfeng, ZOU Rong, *et al.* Cutting propagation of *Pyrenaria microcarpa* [J]. *Guihaia*, 2017, **37**(4): 511 – 516.
- [18] 李焕勇, 刘涛, 张华新, 等. 复叶槭扦插繁殖技术[J]. 东北林业大学学报, 2014, **42**(8): 25 – 29.
LI Huanyong, LIU Tao, ZHANG Huaxin, *et al.* Cutting propagation technique of *Acer negundo* L. [J]. *J Northeast For Univ*, 2014, **42**(8): 25 – 29.
- [19] AKRAM M T, QADRI R W K, KHAN I, *et al.* Clonal multiplication of guava (*Psidium guajava* L.) through soft wood cuttings using IBA under low-plastic tunnel [J]. *Int J Agric Biol*, 2016, **19**(3): 417 – 422.
- [20] BASHIR M A, ANJUM M A, CHAUDHRY Z, *et al.* Response of jojoba (*Simmondsia chinensis*) cuttings to various concentrations of auxins [J]. *Pak J Bot*, 2009, **41**(6): 2831 – 2840.
- [21] RANA R S, SOOD K K. Effect of cutting diameter and hormonal application on the propagation of *Ficus roxburghii* Wall. through branch cuttings [J]. *Ann For Res*, 2012, **55**(1): 69 – 84.
- [22] 魏巍, 张鸽香. 流苏树嫩枝扦插及生根营养物质的动态变化[J]. 河南农业科学, 2015, **44**(10): 127 – 131.
WEI Wei, ZHANG Gexiang. Study on softwood cutting of *Chionanthus retusus* and change of nutrient content during rooting period [J]. *J Henan Agric Sci*, 2015, **44**(10): 127 – 131.
- [23] 任明莹, 马玉华, 任杰, 等. 加拿大糖槭嫩枝扦插技术[J]. 东北林业大学学报, 2015, **43**(4): 8 – 11.
REN Mingying, MA Yuhua, REN Jie, *et al.* Green-wood cutting techniques of *Acer saccharum* Mash [J]. *J Northeast For Univ*, 2015, **43**(4): 8 – 11.
- [24] HOSSAIN M A, ISLAM M A, HOSSAIN M M. Rooting ability of cuttings of *Swietenia macrophylla* King and *Chukrasia velutina* Wight et Arn as influenced by exogenous hormone [J]. *Int J Agric Biol*, 2004, **6**(3): 560 – 564.
- [25] 赵爽, 刘志高, 冯彬, 等. 山木通扦插繁殖及生根机制[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(5): 955 – 962.
ZHAO Shuang, LIU Zhigao, FENG Bin, *et al.* Cutting propagation technology and rooting of *Clematis finetiana* [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(5): 955 – 962.
- [26] CONTESSA C, VALENTINI N, CAVIGLIONE M, *et al.* Propagation of *Corylus avellana* L. by means of semi-hardwood cutting: rooting and bud retention in four Italian cultivars [J]. *Eur J Hortic Sci*, 2012, **76**(5/6): 170 – 175.
- [27] 梁文斌, 聂东伶, 吴思政, 等. 短梗大参扦插生根特性及相关生理生化分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, **40**(5): 519 – 524.
LIANG Wenbin, NIE Dongling, WU Sizheng, *et al.* Cutting rooting characters of *Macropanax rosthornii* and its physiological and biochemical analysis [J]. *J Hunan Agric Univ Nat Sci*, 2014, **40**(5): 519 – 524.
- [28] RAPAKA V K, BESSLER B, SCHREINER M, *et al.* Interplay between initial carbohydrate availability, current photosynthesis, and adventitious root formation in *Pelargonium* cuttings [J]. *Plant Sci*, 2005, **168**(6): 1547 – 1560.
- [29] 沈琪. 榉树扦插繁殖与生根机理研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
SHEN Qi. *Studies on the Cutting Propagating Technology and Rooting Mechanism of Zelkova schneideriana* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [30] 李晨晨, 周再知, 张金浩, 等. 外源 IBA 对裸花紫珠插穗营养物质含量及抗氧化酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2016, **37**(11): 2113 – 2118.
LI Chenchen, ZHOU Zaizhi, ZHANG Jinhao, *et al.* Effects of IBA treatment on nutrient content and antioxidant enzyme activities of shoot cuttings of *Callicarpa nudiflora* [J]. *Chin J Trop Crops*, 2016, **37**(11): 2113 – 2118.