

DOI: 10.11929/j.swfu.201806007

引文格式: 赵今哲, 刘国彬, 张鸿翎, 等. 生长调节剂处理的洒金柏扦插不定根解剖学研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(2): 173-178.

生长调节剂处理的洒金柏扦插不定根解剖学研究

赵今哲^{1,2} 刘国彬² 张鸿翎¹ 曹均² 张玉萍² 廖婷² 王焯² 郭丽琴²

(1. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古呼和浩特 010018; 2. 北京市林业果树科学研究院, 北京 100093)

摘要: 采用不同浓度的 m (吲哚丁酸) : m (萘乙酸) = 1 : 1 溶液浸泡洒金柏 1 年生半木质化插穗, 研究各处理对洒金柏 1 年生半木质化插穗扦插的影响, 并采用优化的石蜡切片技术研究不定根发育过程中插穗的外部形态及组织结构变化。结果表明: 80 mg/L 的 $m_{\text{吲哚丁酸}} : m_{\text{萘乙酸}} = 1 : 1$ 溶液浸泡 4 h 处理的插穗的生根率最佳, 为 91.38%。洒金柏扦插不定根形成过程可划分为愈伤形成期、诱导期、表达期、伸长期 4 个连续时期, 历时 90 d 左右。洒金柏不定根原基属于诱生根原基, 扦插前插穗内部没有潜伏根原基; 愈伤组织是不定根形成、生长和发育的基础, 必须经过诱导才能形成, 属于愈伤诱导生根型。不定根原基来源于愈伤组织和髓射线与形成层交叉处, 属于多位点发生。

关键词: 洒金柏; 扦插; 不定根; 外部形态; 组织结构; 吲哚丁酸; 萘乙酸

中图分类号: Q944.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2019)02-0173-06

Anatomical Study on Adventitious Root of *Platycladus orientalis* Cuttings Treated by Growth Regulator

Zhao Jinzhe^{1,2}, Liu Guobin², Zhang Hongling¹, Cao Jun², Zhang Yuping², Liao Ting², Wang Ye², Guo Liqin²

(1. College Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot Inner Mongolia 010018, China;
2. Beijing Academy of Forestry and Pomology Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: One-year-old semi-lignified cutting of *Platycladus orientalis* were immersed in different concentrations of $m_{\text{IBA}} : m_{\text{NAA}} = 1 : 1$, and the effects of each treatment on 1-year-old semi-lignified cutting of *P. orientalis* were studied. Improved paraffin section technique was used to study the changes in the external morphology and tissue structure of the cuttings during the development of adventitious roots, which will lay the foundation for the study of the cytological mechanism of adventitious root development. The results show that the best rooting rate of cuttings treat with 80 mg/L $m_{\text{IBA}} : m_{\text{NAA}} = 1 : 1$ for 4 h is 91.38%. Morphological observations reveals that the formation process of adventitious roots could consist of 4 consecutive periods of callus formation, induction, expression, and elongation, which lasts for about 90 days. Anatomical observations show that the root primordium belongs to the induced root primordium. There are no latent roots in the cuttings before cuttings. And callus forms the basis for the formation, growth and development of adventitious roots. It must be induced to form callus before rooting, and belongs to callus induction type. The adventitious root primordium originated from the intersection of the callus and the myelin rays with the formation layer, belonging to multiple sites to take root.

收稿日期: 2018-06-05; 修回日期: 2018-06-25

基金项目: 北京园林绿化增彩延绿科技创新工程 (CEG-2017-01-04) 资助; 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20170111-08) 资助; 北京市林业果树科学研究院科技创新团队 (JWKST201609) 资助。

第 1 作者: 赵今哲 (1992—), 女, 硕士研究生。研究方向: 园林植物及应用。Email: 644135204@qq.com。

通信作者: 张鸿翎 (1968—), 女, 副教授, 硕士生导师。研究方向: 园林植物及应用。Email: hlzhang68@sina.com。

Key words: *Platyclusus orientalis*; cutting; adventitious root; external morphology; organization structure; IBA; NAA

洒金柏 (*Platyclusus orientalis*) 为柏科 (Cupressaceae) 侧柏属 (*Platyclusus*) 植物, 属于侧柏的变种^[1], 春夏叶表层淡黄绿色, 秋渐变为金黄色, 入冬转褐黄色, 具有较高的观赏价值。适宜孤植或丛植, 可广泛应用于园林绿地、道路绿化等方面, 是园林绿化针叶树种的优异资源, 目前针叶树种主要繁殖方式有种子繁殖、嫁接和扦插。其中种子繁殖后代遗传变异大, 优良性状不易保持; 嫁接繁殖愈合周期长, 繁殖量小; 扦插繁殖生产量大、成本低, 是无性系培育的主要方法。20世纪80年代末, 全国侧柏协作组开始侧柏种源调查及扦插繁殖研究, 发现侧柏扦插以春季(5—6月)和秋季(11月)为佳, 高浓度粉剂生根促进剂速蘸比低浓度溶剂浸泡24h效果好^[2]。魏黔春^[3]发现可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白等营养物质变化与插穗生根所需要的能力呈消长关系; 内源激素含量变化与侧柏插穗生根关系密切, 吲哚乙酸/脱落酸 (IAA/ABA) 比值越大, 吲哚乙酸/玉米素核苷 (IAA/ZR) 比值越小, 越利于插穗生根。作为侧柏的变种, 洒金柏研究相对落后, 关于洒金柏扦插生根过程中插穗内部组织结构变化情况未见研究。本研究在课题组针叶植物扦插繁殖技术体系建立的基础上, 从解剖学角度对洒金柏1年生半木质化插穗不定根发育过程中的外部形态和组织结构进行观察, 为揭示洒金柏不定根发生的细胞学机制提供形态解剖学依据。

1 材料及方法

1.1 试验地点

试验所用洒金柏半木质化插穗来自北京市林业果树科学研究院针叶植物资源圃, 品种为优1031, 16年生。扦插试验和解剖学实验分别在北京市林业果树科学研究院针叶植物繁育智能温室和林木资源育种实验室进行, 扦插试验于2017年7月进行。

1.2 插穗采集与处理

取健康的1年生半木质枝条, 剪成长约15cm的插穗, 顶部3~4组叶片, 现采现插。使用 $m(\text{IBA}) : m(\text{NAA}) = 1 : 1$ 的溶液处理插穗, 低浓度(40、60、80 mg/L)浸泡4h, 高浓度(200、600、1000 mg/L)速沾10s, 扦插于沙

床。以清水浸泡为CK, 共设7个处理, 每处理重复3次, 每重复30根插穗。LK-400自动喷雾设施(北京林科林业技术公司, 中国)控制温湿度。

1.3 试验方法

1.3.1 取样方法

洒金柏扦插生根周期长约90d。取扦插试验中生根率最高的80 mg/L ($m(\text{IBA}) : m(\text{NAA}) = 1 : 1$) 溶液浸泡4h处理的插穗, 前20d每10d取样1次, 20d后每5d取样1次, 直至不定根形成, 共取样23次。每次随机取5~8株插穗。

1.3.2 形态观察

以洒金柏半木质化插穗扦插生根过程中插穗基部外部形态为观察对象, 记录愈伤组织与根系的生长发育状况, CANNON DS126171(佳能株式会社, 日本)相机拍照。

1.3.3 组织结构观察

以洒金柏半木质化插穗扦插生根过程中插穗内部组织结构为观察对象。将插穗基部1cm左右剪下, 迅速置于FAA固定液, 使用石蜡切片法^[4-5]制片。洒金柏木质部较硬将制片方法优化(20%盐酸软化10~24h, 不使用粘粘剂, 38℃烘片9~10h可节约制片时间提高切片质量。), 使用KD-3358切片机(上海之信仪器有限公司, 中国)切片, 厚度为8~12 μm, 番红-固绿染色, 在Motic SMZ-168显微镜(麦克奥迪(厦门)电气股份有限公司, 中国)下观察、拍照。

2 结果与分析

2.1 不同处理对洒金柏扦插生根的影响

由表1可知, 与CK相比, 不同处理能显著提高洒金柏扦插生根率 ($P < 0.01$), 可将生根率提高19.00%~70.27%。其中80 mg/L浸泡4h处理的插穗生根率为91.38%, 极显著高于其他处理 ($P < 0.01$), 1000 mg/L速沾10s处理次之, 生根率为80.00%显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。不同处理对生根量的影响虽不显著, 但均高于CK。各处理的平均根长均大于CK, 其中600 mg/L速沾10s处理的插穗平均根长为6.55 cm, 显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。此外还发现, 无论浸泡处理或速沾处理, 生根率均随浓度增加而升高。

表1 不同处理对洒金柏扦插生根的影响

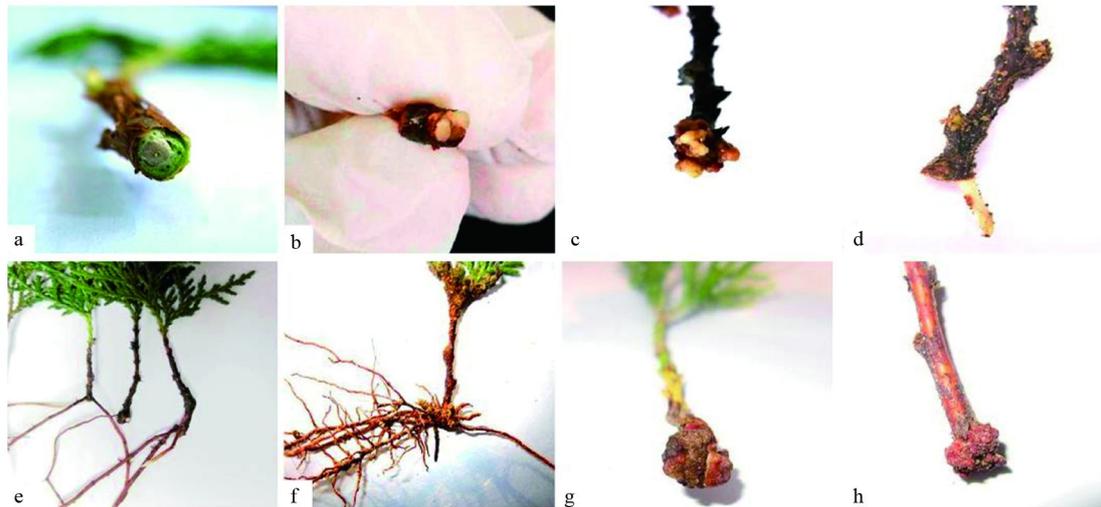
Table 1 Effects of different treatments on rooting of *P. orientalis*

处理/ (mg·L ⁻¹)	处理时间	生根率/%	生根量/ (条·穗 ⁻¹)	平均根长/ cm
0	4 h	21.11 ^{dD}	2.00 ^{aA}	3.37 ^{aB}
40	4 h	40.00 ^{cB}	3.50 ^{aA}	4.45 ^{aAB}
60	4 h	41.11 ^{cB}	3.83 ^{aA}	4.83 ^{aAB}
80	4 h	91.38 ^{aA}	3.17 ^{aA}	3.92 ^{aB}
200	10 s	41.11 ^{bC}	2.17 ^{aA}	5.05 ^{aAB}
600	10 s	63.33 ^{bB}	2.50 ^{aA}	6.55 ^{aA}
1000	10 s	80.00 ^{abA}	3.00 ^{aA}	3.97 ^{aB}

注: 不同大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.2 洒金柏扦插生根过程的外部形态观察

从扦插到形成不定根需要约 90 d。由图 1a 可知, 洒金柏 1 年生半木质化插穗表皮黄褐色, 韧皮部呈绿色, 厚度占木质部的 1/2 左右。扦插后 20 d 后, 插穗表皮颜色变深, 基部出现乳白色愈伤组织。愈伤组织首先出现在基部边缘, 渐渐向周围分化, 最终将切口全部包住。愈伤组织在形成过程中出现不同的形态变化, 新形成的愈伤组织呈乳白色瘤状突起, 有发育为不定根的可能; 部分愈伤组织出现老化形态逐渐变为棕褐色成丘状 (图 1b、图 1c)。80 d 后, 发现少量乳白色不定根伸出 (图 1d)。扦插后 120 d 部分插穗长出 1~3 条不定根 (图 1e), 部分插穗形成完整的根系 (图 1f), 部分插穗基部有老化愈伤组织未见不定根 (图 1g、图 1h)。



a: 扦插前插穗基部形态; b: 扦插后 20 d 插穗基部出现乳白色愈伤组织; c: 扦插后 60 d 形成瘤状愈伤组织; d: 扦插后 80 d 不定根伸出; e、f: 扦插后 120 d 较为完整的根系; g、h: 未长出不定根的愈伤组织

图 1 洒金柏扦插生根过程形态观察

Fig. 1 Morphological features of rooting process of *P. orientalis* cutting

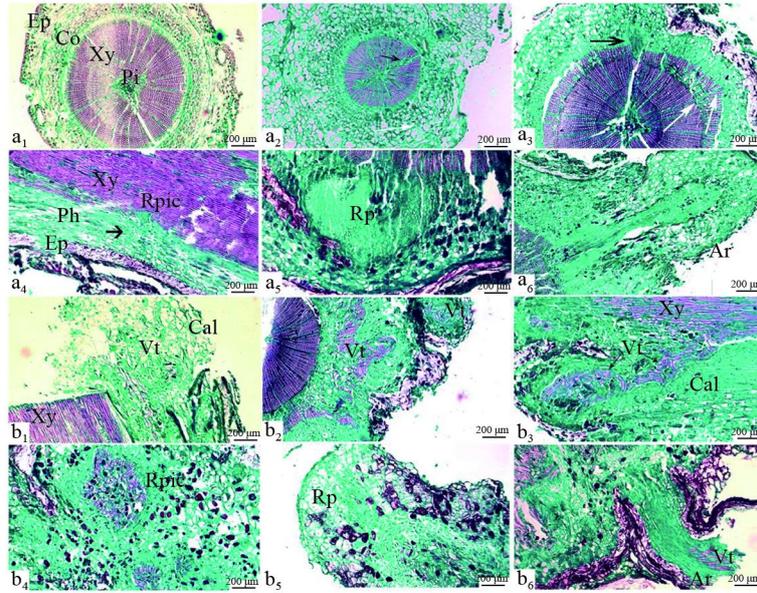
2.3 洒金柏扦插生根过程中组织结构变化

2.3.1 扦插前插穗的组织结构

由图 2a₁ 可知, 洒金柏插穗基部的横切面由表皮、皮层、维管柱 3 个部分组成。最外层的表皮细胞为近似圆形, 外侧的细胞壁上有角质层。表皮以内是皮层, 皮层细胞大小、形状不一, 分布较疏松, 皮层内有分泌道, 没有连续的厚壁组织。皮层以内是维管束为木质部的基本结构。横切面中心为髓, 是一团排列疏松的薄壁细胞。木质部可见连接髓与皮层的髓射线。通过大量连续切片观察, 在插穗内未发现潜伏根原基。

2.3.2 不定根原基的起源

插穗基部髓射线向韧皮部方向加宽成多列细胞 (图 2a₂), 并在髓射线与形成层交汇处形成一团细胞核较大、排列紧密的薄壁细胞团 (图 2a₃)。该细胞团向皮层方向不断分化, 发育形成根原始细胞, 其周围的韧皮细胞也参与了分化 (图 2a₄), 根原始细胞经过不断分裂分化, 最终形成不定根原基 (图 2a₅)。此时, 不定根内部的维管系统也开始形成。不定根原基随后不断向前分裂挤破皮层伸出形成不定根, 不定根的维管系统与插穗维管形成层相连 (图 2a₆)。



a₁: 茎的横切面; a₂: 髓射线加宽、韧皮部细胞变大; a₃: 横切面下的根原始细胞; a₄: 纵切面下的根原始细胞; a₅: 不定根原基; a₆: 不定根形成; b₁: 愈伤组织形成横切面; b₂: 输导组织横切; b₃: 维管组织纵切; b₄: 根原始细胞; b₅: 不定根原基; b₆: 不定根形成。注: Ar 为不定根; Cal 为愈伤组织; Co 为皮层; Ep 为表皮; Ph 为韧皮部; Pi 为髓; Rpic 为根原始细胞; Rp 为根原基; Vt 为维管组织; Xy 为木质部。

图2 洒金柏扦插不定根发生过程

Fig. 2 Adventitious root process of *P. orientalis* cutting

大多数插穗扦插后, 韧皮部的薄壁细胞体积变大(图2a₂), 之后插穗切口处开始形成愈伤组织。愈伤组织形成后, 呈横向和径向分裂, 并逐渐包围插穗基部(图2b₂)。观察发现, 束中形成层相接的髓射线细胞恢复分裂能力, 转变为束间形成层, 其中的薄壁细胞不断分裂, 将一部分外围的维管组织向外推挤, 这些薄壁细胞连同皮层的薄壁细胞共同分裂产生了愈伤组织(图2a₃、图2b₁)。愈伤组织内的薄壁细胞不断分裂, 分化形成不同的组织: 一部分分化形成了输导组织(图2b₂) (愈伤组织内的输导组织部分是插穗基部维管组织的延续, 图2b₃), 一部分分化形成了近圆形(鸟巢状)的结节逐渐转化为木质部。在木质部周围有细胞核明显且排列紧凑的根原始细胞(图2b₄), 这些细胞群的体积不断扩大并伸长, 逐渐生长成一端较尖的根原基(图2b₅)。根原基继续向外增殖、伸长, 突破愈伤组织表皮形成不定根, 不定根的维管系统形成(图2b₆)。

2.3.3 不定根的发生过程

根据形态解剖学观察, 洒金柏扦插不定根的形成经历了4个连续时期, 分别为愈伤组织形成期、不定根诱导期、不定根表达期和不定根伸长期。扦插后0~20 d为愈伤组织形成期, 愈伤组

织开始发育并逐渐将插穗基部包住(图1a); 扦插后21~40 d为诱导期, 插穗切口处的髓射线与形成层相交处以及愈伤组织内的输导组织附近的薄壁细胞分化成根原始细胞(图2a₄、图2b₄); 扦插后41~70 d为表达期, 该阶段根原始细胞开始分化形成根原基, 根原基不断伸长并发育出根的基本结构(图2a₅、图2b₅); 扦插后71~90 d为伸长期, 不定根突破皮层或愈伤组织表层, 形成肉眼可见的不定根(图2a₆、图2b₆)。扦插后120 d插穗根系基本完成(图1d)。

3 结论与讨论

大量研究表明, 选择最优的外源激素种类、浓度、处理时间等因素组合可以有效的提高植物扦插的生根率、生根条数等^[6-7]。IBA、NAA处理可提高插穗内多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)活性, 促进插穗内部营养物质的重新分配和内源激素的表达从而促进插穗生根, IBA促进效果略优于NAA^[8-10]。本研究中经80 mg/L的*m*(IBA):*m*(NAA)=1:1处理的插穗生根率最佳为91.38%, 比CK提高了3倍。此外, 适宜的育苗基质可提高插穗的生根率及移栽成活率^[11], 洒金柏扦插育苗外源激素种类、浓度、处理时间、育苗基质等最优组合有待进一步系统研究。

一般将植物不定根发育的过程划分为3个时期,即诱导期、启动期和表达期^[12-13],根据不定根原基形成时间分为潜伏根原基和诱生根原基^[14-15]。本研究根据洒金柏插穗外部形态及其内部组织结构变化,将洒金柏扦插不定根发生发育过程划分为4个连续时期,即愈伤形成期(持续20 d左右)、不定根诱导期(持续20 d左右)、不定根表达期(持续30 d左右)、不定根伸长期(持续20 d左右),因在扦插前洒金柏插穗内未观察到潜伏根源基,所以洒金柏扦插不定根原基属于诱生根原基。

根据插穗不定根的发生部位可将插穗的生根类型分为皮部生根型、愈伤生根型和混合生根型。其中皮部生根型的根原始细胞通常产生于髓射线、形成层以及两者相交处,愈伤生根型的根原始细胞产生于愈伤组织内,混合型生根型则具备以上2种类型的特点^[16]。本研究发现,洒金柏插穗不定根原基起源于髓射线与形成层交叉处、愈伤组织2个位点,由愈伤组织伸出形成不定根,仅个别插穗不定根由皮层伸出。因此,洒金柏生根类型为典型的愈伤生根类型。

植物体受到损伤后,内源生长素的合成和移动受到影响,同时激活多个发育调节因子,进而形成愈伤组织^[17]。愈伤组织在一定程度上可防止水分散失和细菌入侵,张钢民等^[18]研究认为愈伤组织是不定根形成的前提,但白桦(*Betula platyphylla*)不定根原基先于愈伤组织形成且愈伤组织内未见根原基形成,愈伤组织抑制其不定根形成^[19]。在洒金柏扦插生根的过程中,愈伤组织的形成是不定根生长发育的物质基础,多数不定根由愈伤组织形成并伸出体外,但研究同时发现,过度发达的愈伤组织消耗了插穗内大量的营养物质并不断分化增殖,形成了恶性循环,在愈伤组织外层形成褐色硬化表层,进而抑制不定根的发生。植物不定根再生需要经过2次“细胞命运转变”即:形成层细胞转变为愈伤组织细胞再转变为根原基细胞^[20],这与洒金柏不定根的发育模式相似。

植物自身的生根能力和遗传性状在很大程度上决定了扦插的成活率,插穗生根能力与其木质化程度成反比,插穗横切面结构对不定根发育有一定影响^[21-22],在桉树(*Eucalyptus robusta*)、红桉木(*Alnus rubra*)等不定根研究中,认为皮层内环状厚壁组织对不定根发育有抑制作用^[23-24],王戈戎等^[25]通过对喜树(*Camptotheca acuminata*)研究认为,插穗横切面内不连续的厚壁组织对不

定根发育没有影响。本研究通过连续切片观察在洒金柏插穗横切面未发现厚壁细胞及环状厚壁组织,说明没有阻碍其不定根发育的组织结构。通过对比发现,洒金柏不定根发育的关键因素为激素等生理生化因素。此外,红桉木^[24]、杂种鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)^[26]、合欢(*Albizia julibrissin*)^[27]等树种扦插过程中,部分不定根从插穗皮孔中伸出,此现象未在洒金柏不定根发育过程中出现,与其生根类型有关。

通过对洒金柏扦插不定根形成过程中插穗形态及解剖学观察,初步将洒金柏扦插不定根形成划分为:愈伤形成期、诱导期、表达期、伸长期。不定根形成是一个复杂的动态过程,组织结构的变化只是其中的一部分,今后结合其生根过程的激素调控、基因表达等方面研究,可将其生根机理研究更系统深入,建立完整的不定根形成机制,为洒金柏及其他难生根树种提高生根效果作参考。

[参 考 文 献]

- [1] 孙仲序,张金英,李云荣. 洒金柏和千头柏性状的遗传和变异[J]. 山东农业大学学报, 1994, 25(1): 105-111.
- [2] 梁荣纳,沈熙环. 侧柏不同种源扦插繁殖的研究[J]. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 47-52.
- [3] 魏黔春. 侧柏古树扦插繁殖技术与生根机理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [4] 李和平. 植物显微技术: 第二版[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [5] 权金娥,朱海兰,张春霞,等. 四倍体刺槐茎段组织石蜡切片的制作方法[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 140-144.
- [6] 张焕欣,董春娟,李福凯,等. 植物不定根发生机理的研究进展[J]. 西北植物学报, 2017, 37(7): 1457-1464.
- [7] 周新华,姚甲宝,肖智勇,等. 插条尺寸和植物生长调节剂对杉木扦插生根的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(5): 52-57.
- [8] 史锋厚,郑晨,罗帅,等. 南京椴嫩枝扦插技术研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(8): 6-10.
- [9] 徐笑玥,佟兆庆,闫文涛,等. 中华金叶榆嫩枝扦插繁殖技术[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(5): 1-4.
- [10] 周启贵,陈锡娟,汤春雁,等. NAA和IBA处理对罗汉松插条生长及生理生化的影响[J]. 西南大学学报, 2017, 39(2): 28-33.

- [11] 张俊鹏, 查贵生, 段安安, 等. 不同基质和基肥对旱冬瓜扦插及扦插苗移植的影响 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(4): 83-88.
- [12] 孙敬爽, 郑红娟, 贾桂霞, 等. 不同基质、生长调节剂、插穗规格和代谢调节剂对‘蓝星’扦插生根的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 67-73.
- [13] Trueman S J. Cytokinin and auxin effects on survival and rooting of *Eucalyptus pellita* and *E. grandis* × *E. pellita* cuttings [J]. Rhizosphere, 2018, 6: 74-76.
- [14] 杜伟, 程嘉翎. 桑树绿枝扦插皮部生根过程的形态解剖学观察 [J]. 蚕业科学, 2014, 40(1): 13-17.
- [15] 金建邦, 祝遵凌, 林庆梅. 欧洲鹅耳枥扦插生根及解剖特性 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 92-98.
- [16] 朱聃, 吕凤霞, 陶洪波, 等. 矮丛越橘扦插生根的形态解剖学研究 [J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(7): 413-446.
- [17] Ikeuchi M, Iwase A, Rymen B, et al. Wounding triggers callus formation via dynamic hormonal and transcriptional changes [J]. Plant Physiology, 2017, 175(3): 1158-1174.
- [18] 张钢民, 杨文利, 贾玉彬, 等. 矮紫杉插条生根的解剖研究 [J]. 园艺学报, 1999, 26(3): 201-203.
- [19] 赵志新, 李景云, 李俊涛, 等. 白桦嫩枝扦插不定根形成的解剖观察 [J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(3): 15-19.
- [20] Liu J, Sheng L, Xu Y, et al. WOX11 and 12 are involved in the first-step cell fate transition during de novo root organogenesis in *Arabidopsis* [J]. Plant Cell, 2014, 26(3): 1081-1094.
- [21] Porfirio S, Silva G D, Cabrita M J, et al. Reviewing current knowledge on olive (*Olea europaea* L.) adventitious root formation [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 198(26): 207-226.
- [22] Bryant P H, Trueman S J. Stem anatomy and adventitious root formation in cuttings of *Angophora*, *Corymbia* and *Eucalyptus* [J]. Forests, 2015, 6(4): 1227-1238.
- [23] 刘卫东, 万朝瑶, 饶龙兵, 等. 按树扦插生根的解剖学研究 [J]. 中南林学院学报, 1997, 17(4): 32-36.
- [24] 鲁丹, 张瑞, 彭方仁, 等. 红桉木扦插繁殖技术及生根过程的解剖学观察 [J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(2): 24-28.
- [25] 王戈戎, 袁晓颖. 喜树茎解剖构造及插条不定根的形成 [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(3): 88-89.
- [26] 张晓平, 方炎明. 杂种鹅掌楸插穗不定根发生与发育的解剖学观察 [J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(1): 10-15.
- [27] 周祥明, 刘玉堂, 赵宪争, 等. 合欢硬枝扦插生根解剖及相关酶活性变化研究 [J]. 植物研究, 2016, 36(1): 8-61.

(责任编辑 冯 雪)

