



NAA处理对艾纳香扦插生根生理生化特性的影响

黄梅, 陈振夏, 于福来, 王凯, 肖永锋, 庞玉新, 陈鸿发

引用本文:

黄梅, 陈振夏, 于福来, 等. NAA处理对艾纳香扦插生根生理生化特性的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(1): 97-103.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4397>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

雄性不育无籽刺梨花药发育过程中生理特性的初步研究

Studies on Physiological and Biochemical Characters of Male Sterile *Rosa sterilis* during Anther Development Stage

热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 604-610 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3884>

龙珠果茎段离体培养和组培苗耐盐性分析

Stem Culture *in vitro* of *Passiflora foetida* and Salt Tolerance of Seedlings

热带亚热带植物学报. 2021, 29(4): 360-366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4323>

不同遮荫度对‘红叶,南天竹’叶色变化及矿质营养积累的影响

Effect of Shading on Changes in Leaf Color and Nutrient Accumulation of *Nandina domestica* 'Hongye'

热带亚热带植物学报. 2017, 25(4): 339-347 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3700>

遮阴对四季桂生理生态特性的影响

Effect of Shading on Physiological and Ecological Characteristics of *Osmanthus fragrans*

热带亚热带植物学报. 2017, 25(1): 57-64 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3634>

油莎豆快速繁殖体系的研究

Studies on Rapid Propagation System of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) *in vitro*

热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 446-451 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4024>

向下翻页, 浏览PDF全文

NAA 处理对艾纳香扦插生根生理生化特性的影响

黄梅¹, 陈振夏¹, 于福来^{1*}, 王凯¹, 肖永锋¹, 庞玉新^{2*}, 陈鸿发³

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/海南省艾纳香工程技术研究中心, 海口 571101; 2. 广东药科大学中药资源学院, 广东 云浮 527500; 3. 海南艾纳香生物科技发展股份有限公司, 海口 570208)

摘要: 为探讨 NAA 对艾纳香(*Blumea balsamifera*)扦插生根的影响, 4 a 生艾纳香健康枝条用 500 mg/L NAA 处理, 对生根过程中的生理生化特征进行了研究。结果表明, 艾纳香扦插生根率与内源 IAA、GA 含量和 IAA/ABA 呈正相关, 而与 ABA 含量呈负相关。NAA 处理能提高插穗的 IAA 含量, 降低 ABA 含量, 有助于不定根的产生。插穗生根率与多酚氧化酶(PPO)活性正相关, 与吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性负相关。NAA 处理能够提高插穗 PPO 活性, 降低 IAAO 活性, 对插穗生根有利。可溶性蛋白、可溶性总糖含量与生根率均呈正相关关系。NAA 处理可促进插穗的可溶性总糖、可溶性蛋白的积累, 提高插穗的细胞分化和代谢能力。因此, 500 mg/L NAA 处理插穗可促进不定根的生长发育。

关键词: 艾纳香; 扦插; NAA; PPO; IAAO; 营养物质

doi: 10.11926/jtsb.4397

Effects of NAA on Physiological and Biochemical Characteristic of *Blumea balsamifera* during Cutting Rooting

HUANG Mei¹, CHEN Zhenxia¹, YU Fulai^{1*}, WANG Kai¹, XIAO Yongfeng¹, PANG Yuxin^{2*}, CHEN Hongfa³

(1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Hainan Provincial Engineering Research Center for *Blumea balsamifera*, Haikou 571101, China; 2. School of Chinese Material Medical Resources, Guangdong Pharmaceutical University, Yunfu 527500, Guangdong, China; 3. Hainan Ainaxiang Biotechnology Development Co. LTD, Haikou 570208, China)

Abstract: In order to explore the effect of NAA on cutting rooting of *Blumea balsamifera*, the changes in physiological and biochemical characteristics of 4-year-old healthy branches as cuttings were studied treated with 500 mg/L NAA. The results showed that rooting rate was positively correlated with endogenous IAA, GA content and IAA/ABA, but negatively with ABA content. The IAA content of cuttings increased and ABA content decreased treated with NAA, showing that NAA had helped with adventitious roots. The rooting rate of cuttings was positively correlated with PPO activity and negatively with IAAO activity, and NAA could enhance PPO activity and reduce IAAO activity of cuttings, which is beneficial to rooting. The contents of soluble protein and total soluble sugar were positively correlated with rooting rate. NAA could promote the accumulation of total soluble sugar and soluble protein, improve the cell differentiation and metabolic ability of cuttings. Therefore, 500 mg/L NAA could promote the growth and development of adventitious roots.

Key words: *Blumea balsamifera*; Cutting; NAA; PPO; IAAO; Nutrient

收稿日期: 2021-02-09

接受日期: 2021-05-06

基金项目: 海南省自然科学基金项目(319QN312, 2019CXTD414); 农业农村部品种改良提升专项子任务(RZJP202006); 国家热带植物种质资源库项目资助

This work was supported by the Project for Natural Science in Hainan (Grant No. 319QN312, 2019CXTD414), the Special Project for Variety Improvement and Upgrading in Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Grant No. RZJP202006), and the Project of National Tropical Plants Germplasm Resource Center. 作者简介: 黄梅, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为南药种质资源评价及规范化栽培。E-mail: huangmei122@126.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: fulai.yu@163.com; pyxmarx@126.com

艾纳香(*Blumea balsamifera*)为菊科(Compositae)艾纳香属植物,广泛分布于我国海南、贵州、广西、云南等省区^[1],是中药艾片的唯一来源植物,主要含挥发油和黄酮类成分,具有修复、抑菌、抗氧化及抗肿瘤等多种药理活性^[2-4],艾纳香油已经成功应用于“金喉健喷雾剂”、“咽立爽滴丸”等中成药品种。此外,美国食用香料和萃取物制造者协会(FEMA)规定,天然冰片可作为香料添加剂使用^[5]。随着对艾纳香提取物日益增长的需求量,种植艾纳香已成为贵州红水河地区农民的主要经济来源。长期以来,艾纳香缺乏优良品种的现状仍未改变,药农种植均来自于野生种,而品种选育过程中,优良种质扩繁是难点。扦插繁殖因操作简单、成本低等原因,是良种繁育的常用手段。基于课题组前期对艾纳香扦插繁殖的研究,发现艾纳香扦插生根较为困难,扦插成活率低^[6]。因此,为了加快艾纳香优良品种选育进程,保证优良性状的稳定遗传,优化艾纳香扦插繁殖体系,开展艾纳香扦插繁殖机理研究十分必要。

扦插生根除了与扦插措施^[6]和外部环境^[7]等密切相关外,与内源生长调节剂、氧化酶活性和营养物质等生理指标也关系密切。内源生长调节剂 IAA、CTK 和 GA^[8]促进生长发育,而 ABA^[9]抑制生长发育;另外,氧化酶活性也与插穗生根关系密切,Yan 等^[10]的研究表明,IAAO 活性增加导致扦插生根能力降低。周详明等^[11]的研究表明,高活性的 PPO 可促进不定根的形成。茅林春等^[12]认为梅(*Prunus mume*)插穗中养分对生根率的重要性从大到小依次为可溶性糖、总氮(TN)、淀粉和 C/N,其中 TN 和淀粉起负效应。目前仅对艾纳香的扦插技术进行了研究^[6],还未见对其扦插生根调控机理的研究。本文采用 NAA 处理艾纳香插条,对生根过程中的内源生长调节剂、氧化酶类活性和营养物质含量进行研究,以揭示艾纳香扦插生根的生理机制,为优化艾纳香的繁殖体系及规模化育苗提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

在农业农村部儋州热带药用植物种质资源圃中采集 4 a 生艾纳香(*Blumea balsamifera*)健壮、无病虫害的枝条作为插穗,长度约为 12 cm,上端平剪,下端斜剪。

1.2 生理指标的测定

前期对艾纳香扦插生根的研究表明,扦插时应采用木质化程度最高的下部枝条,以泥炭土:河沙(V/V)=1:1 为基质,用 500 mg/L NAA 处理的插条生根效果较好^[6]。因此,本试验均选取下部枝条为插穗,将插穗放在 1 000 倍多菌灵溶液中消毒 15 min,在 500 mg/L NAA 溶液中速蘸 10 s 后,扦插于泥炭土和河沙混合的基质上,以清水处理为对照(CK)。分别于扦插第 0、7、14、21、28、35 和 42 天取 10 个发育程度相同的插穗基部 2 cm 的皮层,迅速用剪刀剪碎,充分混匀,重复 3 次,放入-80 °C 冰箱保存。采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定 IAA、ABA、GA 等 3 种内源生长调节剂含量;用比色法测定吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性^[13];邻苯二酚比色法测定多酚氧化酶(PPO)活性^[14];采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量^[15];用蒽酮比色法测定可溶性总糖含量^[15]。

1.3 数据分析

利用 Excel 2010 处理数据和绘制图表。

2 结果和分析

2.1 内源生长调节剂含量的变化

IAA 含量 NAA 处理组的艾纳香插穗,IAA 含量从 0.5 ng/g FW 上升到第 21 天的 1.18 ng/g FW (图 1),不定根原基细胞分裂加快,插穗基部皮孔膨大开裂。21~35 d 根原基形成,伸长,IAA 含量又缓慢下降到 1.10 ng/g FW,35 d 后,不定根大量形成,IAA 含量又快速上升。而对照组的 IAA 含量呈缓慢上升趋势,第 42 天达到峰值 1.92 ng/g FW,前 28 d 对照组的 IAA 含量均小于 NAA 处理的,且生根进程晚于 NAA 处理组,说明 NAA 处理加快了内源 IAA 向插穗基部的转运,从而促进不定根的形成。

ABA 含量 NAA 处理后 7 d ABA 含量仅略微上升,7~21 d 急剧下降至 1.42 ng/g FW,21~28 d 又呈上升趋势,28~35 d 又下降(图 1)。而对照组在前 14 d 呈上升趋势,14~21 d 呈下降趋势,此后又上升,第 42 天达到峰值(3.48 ng/g FW)。整个生根过程中,对照组的 ABA 含量基本上都大于 NAA 处理组,说明低浓度的 ABA 对插穗不定根的形成有利。

GA 含量 NAA 处理组和对照组插穗在生根过程中的 GA 含量变化基本一致, 均在第 7 天下降到最低(分别为 4.05、3.92 ng/g FW), 然后持续上升(图 1), 说明 GA 含量的适当增加有利于不定根形成。

IAA/ABA NAA 处理组插穗的 IAA/ABA 在前 21 d 呈上升趋势, 并达到最高(0.57), 21~28 d 略微下降, 此后又上升(图 1)。对照组插穗在前 14 d

下降到最低(0.21), 然后开始上升, 28~35 d 又缓慢下降, 35 d 后又上升。整个生根过程, NAA 处理组的 IAA/ABA 均高于对照, 说明 NAA 处理可提高插穗内 IAA 含量, 抑制 ABA 合成, 从而促进生根。同时, NAA 处理的 IAA/ABA 在生根形成和不定根伸长期均有升高, 说明高的 IAA/ABA 有利于根系的生长。

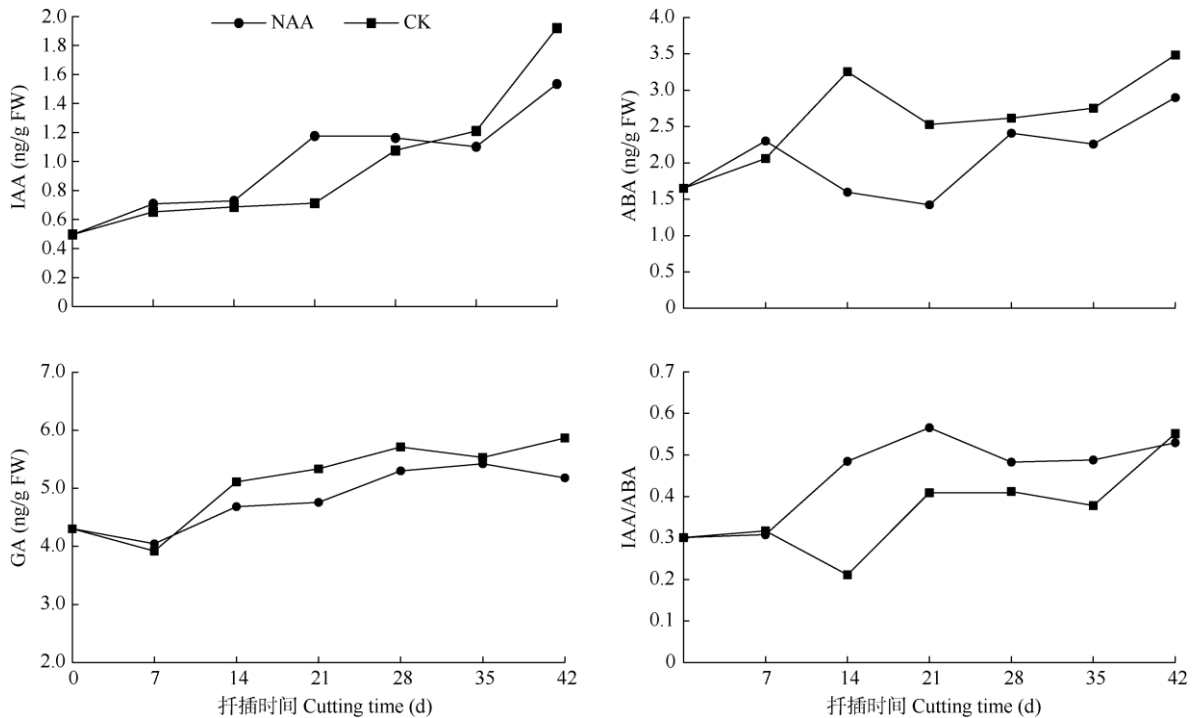


图 1 艾纳香插穗生根过程中内源生长调节剂含量的变化

Fig. 1 Changes in contents of endogenous growth regulators in *Blumea balsamifera* cuttings during rooting

2.2 氧化酶类活性变化

吲哚乙酸氧化酶(IAAO)活性 IAAO 能氧化植物体内的 IAA, IAAO 活性越小, IAA 含量越高, 越有利于不定根的形成与伸长, 从而影响植物的生长发育。NAA 处理组和对照组插穗的 IAAO 在生根过程中均呈先下降后缓慢上升的变化趋势(图 2)。NAA 处理组的 7~21 d, IAAO 活性下降幅度大于对照组, 到第 35 天不定根大量形成后, IAAO 活性缓慢上升, 说明 NAA 对插穗的 IAAO 活性具有抑制作用, 使插穗在生根期间保持相对较低的 IAAO 活性, 从而促进不定根的形成。

多酚氧化酶(PPO)活性 插条在生根过程中, NAA 处理组和对照组的 PPO 活性均呈现“上升-下降-上升”的变化趋势(图 2)。NAA 处理组的 PPO 活性在前 21 d 逐渐升高至峰值, 21~28 d 的 PPO 活性

下降, 此后又上升。对照组的 PPO 活性变化趋势与 NAA 处理的基本一致, 但峰值比 NAA 处理组的晚 7 d 左右, 这和 NAA 处理的生根进程比对照早 7 d 的结果基本吻合, 说明 PPO 活性变化与扦插生根具有密切关系, PPO 可以促进不定根的生长, 且 NAA 处理可提高 PPO 活性。

2.3 营养物质含量的变化

可溶性总糖含量 NAA 处理组和对照组插穗的可溶性总糖含量均呈“下降-上升-下降”的变化趋势(图 3), NAA 处理组的前 14 d 可溶性总糖含量呈下降趋势, 14 d 后开始上升, 28 d 后可溶性总糖含量降低, 35 d 后可溶性糖含量又上升。对照组的可溶性总糖含量始终低于 NAA 处理组, 且变化也要晚于 NAA 处理组, 说明 NAA 处理可促进插穗内

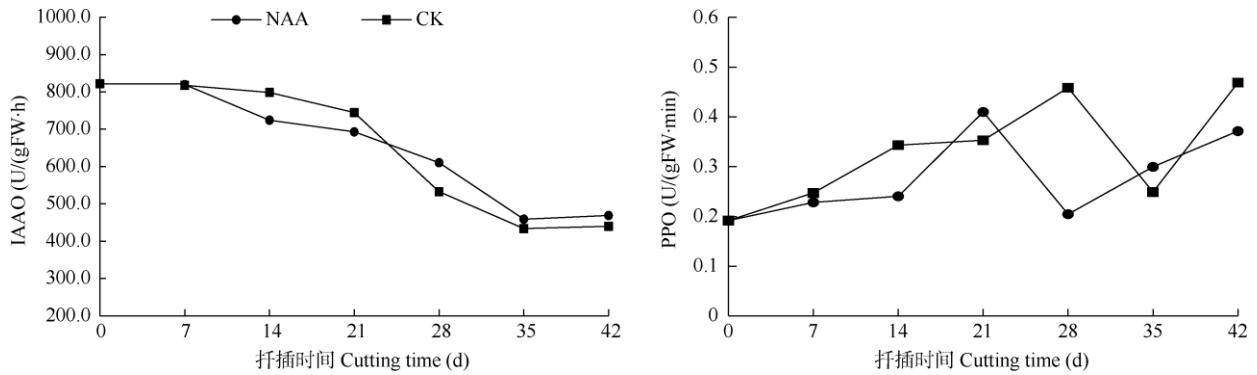


图2 艾纳香插穗生根过程中氧化酶类活性的变化

Fig. 2 Changes in oxidase activities in *Blumea balsamifera* cuttings during rooting

可溶性总糖的积累, 提高插穗的细胞分化和代谢能力, 从而利于不定根的生长和发育。

可溶性蛋白含量 NAA 处理组和对对照组插穗的可溶性蛋白含量均呈“上升-下降-上升”的变化趋势(图 3), 在前 14 d 呈上升趋势并达到峰值。前期可溶性蛋白质的不断积累, 为不定根的发生做物

质储备。14~28 d 呈下降趋势, 28~35 d 又呈上升趋势。对照组的变化趋势基本一致, 但变化稍滞后, 且前期含量低于 NAA 处理, 而后期又高于 NAA 处理, 说明 NAA 处理在生根前期可以促进插穗内可溶性蛋白的积累, 生根期又能加快可溶性蛋白的消耗, 从而促进不定根的生长和发育。

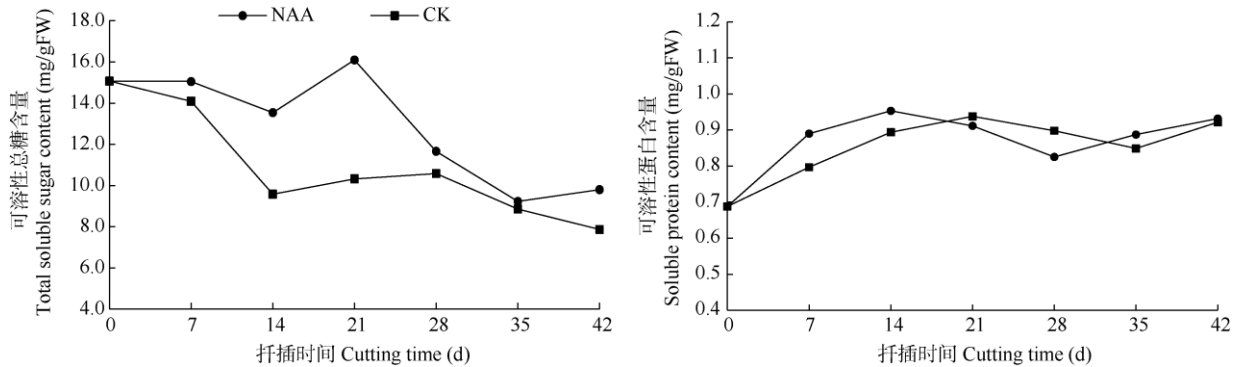


图3 艾纳香插穗生根过程中营养物质含量的变化

Fig. 3 Changes in nutrient contents in *Blumea balsamifera* cuttings during rooting

3 结论和讨论

3.1 NAA 处理对内源生长调节剂的影响

本研究结果表明, 艾纳香扦插生根率与内源生长调节剂 IAA、GA 含量和 IAA/ABA 呈正相关关系, 而与 ABA 含量呈负相关关系, 这与前人^[16-18]的研究结果一致。使用植物生长调节剂(NAA 500 mg/L)能提高插穗的 IAA 含量, 降低 ABA 含量, 有助于不定根的产生。但是姚锐^[19]的研究表明低浓度的 GA 对北美香柏(*Thuja occidentalis*)插穗不定根的形成有利, 这可能与物种不同有关。许多研究将 IAA/ABA 作为重要评价指标, 郭素娟等^[20]认为白

皮松(*Pinus bungeana*)插穗生根主要由 IAA/ABA 进行调控, 单独的内源生长调节剂对生根影响并不显著, 且 IAA/ABA 与生根率呈正相关, 进一步说明生根过程中内源生长调节剂通过协同或者拮抗作用调控着插穗不定根的生长和发育。

3.2 NAA 处理对插穗氧化酶活性的影响

IAAO 可以氧化 IAA, 而 IAA 可促进不定根的形成。本研究结果表明, IAAO 活性与插穗生根呈负相关, NAA 对 IAAO 活性具有抑制性, 使插穗在生根期间保持相对较低的 IAAO 活性, 从而促进不定根的形成。这与刘萍萍等^[21]的研究结果一致。

PPO 可以催化酚类物质与 IAA 形成生根辅助因子“IAA-酚酸复合物”,可促进不定根的形成^[22],同时也降低了酚类物质对插条不定根形成的抑制作用^[23],本研究也表明,NAA 处理提高 PPO 活性,从而促进插穗基部皮孔膨大开裂,不定根原基细胞分裂加快及不定根的形成。

3.3 NAA 处理对插穗营养物质的影响

插穗内的碳水化合物和氮素化合物是插条生根的主要营养物质,尤其是可溶性总糖和可溶性蛋白。可溶性糖是植物扦插生根的主要能源物质,可溶性蛋白的运输转运对细胞的分裂、分化及细胞中能量的传递具有重要作用。本研究结果表明,可溶性蛋白与可溶性总糖对插穗生根具有正向调控作用,前 14 d 由于细胞加速分裂,代谢旺盛,需要消耗自身储存的大量能量,可溶性总糖呈下降趋势,14 d 后开始上升,可能是由于淀粉水解酶活性增强,促进了淀粉的降解,使可溶性总糖含量上升,为后续不定根的发生和生长提供营养保障。生根时需要消耗大量的养分和能量,因此可溶性总糖、可溶性蛋白含量呈下降趋势,生根后发达的根系可吸收水分和营养合成可溶性糖、可溶性蛋白,因此含量又升高。这与前人^[24-25]的研究结果一致。且生长调节剂 NAA 处理可以促进穗内可溶性总糖、可溶性蛋白的积累,提高插穗的细胞分化和代谢能力,有利于不定根的生长和发育。前人^[26-28]的研究也表明利用生长调节剂可提高插穗内营养物质含量,对插穗生根有促进作用。

综上所述,艾纳香扦插生根率与插穗内源生长调节剂含量、氧化酶活性和营养物质含量等多种因素息息相关,这些生理生化因子在生根过程中彼此促进或制约。用 500 mg/L NAA 处理艾纳香插穗,通过提高 IAA、IAA/ABA、PPO 活性、可溶性蛋白和可溶性总糖含量及降低 ABA 含量和 IAAO 活性,促进不定根的生长发育。

参考文献

- [1] GUAN L L, PANG Y X, WANG D, et al. Research progress on Chinese minority medicine of *Blumea balsamifera* L. DC. [J]. *J Plant Genet Resour*, 2012, 13(4): 695–698. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2012.04.033.
官玲亮, 庞玉新, 王丹, 等. 中国民族特色药材艾纳香研究进展 [J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(4): 695–698. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2012.04.033.
- [2] PANG Y X, WANG D, FAN Z W, et al. *Blumea balsamifera*: A phytochemical and pharmacological review [J]. *Molecules*, 2014, 19(7): 9453–9477. doi: 10.3390/molecules19079453.
- [3] YUAN Y, HUANG M, PANG Y X, et al. Variations in essential oil yield, composition, and antioxidant activity of different plant organs from *Blumea balsamifera* (L.) DC. at different growth times [J]. *Molecules*, 2016, 21(8): 1024. doi: 10.3390/molecules21081024.
- [4] SAKEE U, MANEERAT S, CUSHNIE T P T, et al. Antimicrobial activity of *Blumea balsamifera* (Lin.) DC. extracts and essential oil [J]. *Nat Prod Res*, 2011, 25(19): 1849–1856. doi: 10.1080/14786419.2010.485573.
宋永芳, 孙秀泉, 罗嘉梁, 等. 天然龙脑的开发与应用 [J]. *香料香精化妆品*, 1998(3): 33–36.
- [5] SONG Y F, SUN X Q, LUO J L, et al. Study on the exploitation and application of natural borneol from *Cinnamons* [J]. *Flavour Frag Cosmet*, 1998(3): 33–36.
宋永芳, 孙秀泉, 罗嘉梁, 等. 天然龙脑的开发与应用 [J]. *香料香精化妆品*, 1998(3): 33–36.
- [6] HUANG M, CHEN Z X, YU F L, et al. Effect of different factors on rooting of *Blumea balsamifera* cuttings [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2020, 48(3): 122–125.
黄梅, 陈振夏, 于福来, 等. 不同因素对艾纳香扦插生根的影响 [J]. *贵州农业科学*, 2020, 48(3): 122–125.
- [7] YUAN L L, WANG S P, ZHANG Q M, et al. Ecological and biological characteristics and cutting propagation of *Hydrocotyle nepalensis* Hook. [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2015, 23(4): 435–441. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.04.011.
袁莲莲, 王少平, 张倩媚, 等. 红马蹄草的生态生物学特征及其扦插繁殖 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2015, 23(4): 435–441. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.04.011.
- [8] OSTERC G, ŠTEFANČIČ M, ŠTAMPAR F. Juvenile stockplant material enhances root development through higher endogenous auxin level [J]. *Acta Physiol Plant*, 2009, 31(5): 899–903. doi: 10.1007/s11738-009-0303-6.
- [9] SONG P F, CHEN H J, JIANG Y Q, et al. Effect of IBA on adventitious root formation and endogenous hormones dynamics in softwood cutting of rabbiteye blueberry [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2014, 30(16): 117–122.
宋鹏飞, 陈华江, 姜燕琴, 等. IBA 对兔眼蓝浆果嫩枝扦插生根及内源激素变化的影响 [J]. *中国农学通报*, 2014, 30(16): 117–122.
- [10] YAN Y H, LI J L, ZHANG X Q, et al. Effect of naphthalene acetic acid on adventitious root development and associated physiological changes in stem cutting of *Hemarthria compressa* [J]. *PLoS One*, 2014, 9(3): e90700. doi: 10.1371/journal.pone.0090700.

- [11] ZHOU X M, LIU Y T, ZHAO X Z, et al. Rooting anatomy of hardwood cutting for *Albizia julibrissin* Duraxx. and activity change of related enzymes during rooting process [J]. Bull Bot Res, 2016, 36(1): 58–61. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2016.01.008.
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): 58–61. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2016.01.008.
- [12] MAO L C, SHEN D X, LIN B N. Anatomical and physiological studies on initiation of root in Mume (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) stem cuttings [J]. Acta Hort Sin, 1988, 15(3): 155–159.
茅林春, 沈德绪, 林伯年. 梅插条生根的解剖和生理研究 [J]. 园艺学报, 1988, 15(3): 155–159.
- [13] ZHANG Z L. Plant Physiology Experiment Instruction [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 1990: 210–212.
张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1990: 210–212.
- [14] LI Z G, GONG M. Improvement of measurement method of polyphenol oxidase activities in plant [J]. J Yunnan Norm Univ (Nat Sci), 2005, 25(1): 44–45. doi: 10.3969/j.issn.1007-9793.2005.01.012.
李忠光, 龚明. 植物多酚氧化酶活性测定方法的改进 [J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2005, 25(1): 44–45. doi: 10.3969/j.issn.1007-9793.2005.01.012.
- [15] WANG X K. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2006: 167–173, 190–192.
王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 167–173, 190–192.
- [16] ZHANG Y C. Cutting propagation techniques and rooting mechanism of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010: 32–37.
张玉臣. 白木香扦插繁殖技术及生根机理研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010: 32–37.
- [17] YANG S J, YU X Y, SHI B S. Physiological and biochemical indexes of *Prunus cerasifera* during cutting and rooting processes [J]. J Xinjiang Agric Univ, 2018, 41(1): 18–24. doi: 10.3969/j.issn.1007-8614.2018.01.003.
杨思佳, 于晓跃, 史宝胜. 紫叶李嫩枝扦插生根过程中生理生化指标分析 [J]. 新疆农业大学学报, 2018, 41(1): 18–24. doi: 10.3969/j.issn.1007-8614.2018.01.003.
- [18] ZUO Q L, GU X, WANG C J, et al. Study on physiological mechanism of tea ‘Longjing 43’ cutting during adventitious root formation [J]. Tea Fujian, 2019, 41(8): 9–11.
左巧丽, 谷星, 王超军, 等. 茶树‘龙井 43’扦插不定根发生过程生理机制研究 [J]. 福建茶叶, 2019, 41(8): 9–11.
- [19] YAO R. Studies on the cutting propagation technique and rooting mechanism of *Thuja occidentalis* [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2017: 26–28.
姚锐. 北美香柏扦插繁殖技术及其生根生理生化机理的研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017: 26–28.
- [20] GUO S J, LING H Q, LI F L. Physiological and biochemical basis of rooting of *Pinus bungeana* cuttings [J]. J Beijing For Univ, 2004, 26(2): 43–47. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2004.02.009.
郭素娟, 凌宏勤, 李凤兰. 白皮松插穗生根的生理生化基础研究 [J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(2): 43–47. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2004.02.009.
- [21] LIU P P, SUN Z C, ZHAO Y N, et al. Studies on rooting associated enzyme activities of *Chaenomeles sinensis* ‘Lübaoshi’ cuttings [J]. Shandong For Sci Technol, 2017, 47(4): 25–27. doi: 10.3969/j.issn.1002-2724.2017.04.005.
刘萍萍, 孙志成, 赵亚楠, 等. 绿宝石木瓜扦插生根关联酶活性的研究 [J]. 山东林业科技, 2017, 47(4): 25–27. doi: 10.3969/j.issn.1002-2724.2017.04.005.
- [22] ZHENG Q Q, LAN S R, LIU X D, et al. Effects of growth regulators on rooting and correlative enzyme activities of *Michelia figo* ‘Xiangfei’ cuttings [J]. J CS Univ For Technol, 2020, 40(5): 67–76. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2020.05.009.
郑巧巧, 兰思仁, 刘雪蝶, 等. 生长调节剂对‘香妃’含笑扦插生根及相关酶活性的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(5): 67–76. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2020.05.009.
- [23] SONG R. Study of cutting propagation techniques and rooting mechanism of the superior clone of *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2012: 49–50.
宋荣. 凹叶厚朴优良无性系扦插繁殖技术及其生根机理研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012: 49–50.
- [24] DONG R R, CHEN R D. Effects of different cutting date on softwood-cutting rooting and related physiological and biochemical changes during rooting of *Prunus mume* Meiren [J]. Acta Agric Zhejiang, 2016, 28(9): 1522–1529. doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2016.09.10.
董然然, 陈瑞丹. 不同扦插日期美人梅嫩枝扦插生根特性及生理生化 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28(9): 1522–1529. doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2016.09.10.
- [25] XU Y, LU Y F, YUAN S, et al. Rooting characteristics and related physiological and biochemical analysis of cutting rooting of *Machilus breviflora* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2019, 47(14): 153–157. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.035.

- 徐茵, 卢艺菲, 袁森, 等. 短序润楠扦插生根特性及相关生理生化分析 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(14): 153–157. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.035.
- [26] CHEN C, WU Q K, ZHANG Z H, et al. Effects of plant growth regulators on rooting capacity and physiological and biochemical characteristic of *Quercus nuttallii* cuttings [J]. J SW For Univ, 2019, 39(3): 33–39. doi: 10.11929/j.swfu.201903113.
- 陈晨, 吴岐奎, 张子晗, 等. 植物生长调节剂对纳塔栎插穗生根及其生理生化特性的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2019, 39(3): 33–39. doi: 10.11929/j.swfu.201903113.
- [27] LI S M, ZHENG X H, DUAN H C, et al. Effects of ABT-1 treatment on rooting capacity and physiological and biochemical characteristic of *Crateva unilocularis* cuttings [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 2021, 43(1): 116–125. doi: 10.13836/j.jjau.2021013.
- 李世民, 郑鑫华, 段华超, 等. ABT-1 处理对树头菜扦插生根及生理生化特性的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(1): 116–125. doi: 10.13836/j.jjau.2021013.
- [28] WEI Y, ZHANG M Z, LÜ G Y, Effect of exogenous hormones on rooting development and biochemical characteristics of *Zanthoxylum bungeanum* during cutting treatment [J]. Nonwood For Res, 2020, 38(3): 200–207. doi: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2020.03.023.
- 韦业, 张明忠, 吕桂云, 等. 外源激素处理对花椒插穗生根及其生理生化特性的影响 [J]. 经济林研究, 2020, 38(3): 200–207. doi: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2020.03.023.