

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201805048

## 滇杨与毛白杨插穗内源激素含量的比较研究\*

于雷<sup>1,2#</sup>, 何小帆<sup>1,2#</sup>, 周安佩<sup>1,2</sup>, 甘沛华<sup>1,2</sup>, 邹辛联<sup>1,2</sup>, 纵丹<sup>1,2</sup>, 何承忠<sup>1,2,3\*\*</sup>

1. 西南林业大学, 云南省高校林木遗传改良与繁育重点实验室, 云南昆明 650224;
2. 西南林业大学, 西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室, 云南昆明 650224;
3. 西南林业大学, 西南山地森林资源保育与利用教育部重点实验室, 云南昆明 650224

**摘要:**【目的】对滇杨和毛白杨插穗基部皮层内源激素测定, 探讨插穗生根过程中内源激素对不定根形成的影响。【方法】以易生根的滇杨和难生根的毛白杨为试材进行扦插繁殖, 采用高效液相色谱法(HPLC)检测2种杨树插穗基部(土面以下)皮层内源生长素(IAA)、脱落酸(ABA)、赤霉素(GA<sub>3</sub>)和玉米素(ZT)含量的动态变化。【结果】滇杨插穗7 d时产生愈伤组织, 21 d时不定根形成, 毛白杨21 d出现愈伤组织, 直至49 d都不定根形成。滇杨插穗基部皮层内IAA和ZT含量均略高于毛白杨, 但差异均不显著( $P>0.05$ ); 毛白杨插穗基部皮层于整个观测期内有高浓度的ABA和GA<sub>3</sub>富集, 且与滇杨插穗基部皮层的含量差异均达极显著水平( $P<0.01$ )。【结论】IAA或ZT并不是影响毛白杨扦插难生根的主要因素, 而高含量的ABA和GA<sub>3</sub>可能抑制了其插穗不定根的形成。

**关键词:** 滇杨; 毛白杨; 插穗生根; 内源激素含量

中图分类号: S 792.118 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X(2018)04-0715-06

## Comparative Study on the Endogenous Hormone Contents in Cuttings of *Populus yunnanensis* and *P. tomentosa*

YU Lei<sup>1,2</sup>, HE Xiaofan<sup>1,2</sup>, ZHOU Anpei<sup>1,2</sup>, GAN Peihua<sup>1,2</sup>, ZOU Xinlian<sup>1,2</sup>,  
ZONG Dan<sup>1,2</sup>, HE Chengzhong<sup>1,2,3</sup>

1. Key Laboratory for Forest Genetic and Tree Improvement & Propagation in Universities of Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;
2. Key Laboratory of Biodiversity Conservation in Southwest China, State Forestry Administration, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;
3. Key Laboratory of Forest Resources Conservation and Utilization in the Southwest Mountains of China, Ministry of Education, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** [Purpose] Endogenous hormones contents in cortices of the cutting base of *Populus yunnanensis* and *P. tomentosa* were tested to investigate the effect of endogenous hormones on adventitious root formation of cuttings. [Methods] The cuttings of easy-to-root *P. yunnanensis* and difficult-to-root *P. tomentosa* were cultured in soil. High performance liquid chromatography (HPLC) was

收稿日期: 2018-05-20 修回日期: 2018-06-05 网络出版时间: 2018-07-24

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(31860219, 31360184, 31460205); 云南省教育厅基金项目(2015J094); 云南省博士研究生学术新人奖项目(51500801); 云南省高校林木遗传改良与繁育重点实验室开放基金项目(YNGB 201502)。

作者简介: #对本文贡献等同, 为并列第一作者。于雷(1989—), 男, 黑龙江牡丹江人, 在读硕士研究生, 主要从事林木分子生物学研究。E-mail: 815228722@qq.com; 何小帆(1991—), 女, 甘肃民勤人, 在读硕士研究生, 主要从事林木遗传育种与分子生物学研究。E-mail: 894102319@qq.com

\*\*通信作者 Corresponding author: 何承忠(1970—), 男, 甘肃民勤人, 博士, 教授, 主要从事林木遗传育种与分子生物学研究。E-mail: hcz70@163.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201805048](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201805048)

used to examine the dynamic changes of IAA, ABA, GA<sub>3</sub> and ZT in cortices of the cutting base. [Results] The cuttings of *P. yunnanensis* were 7 d for forming callus and 21 d for forming adventitious roots, while *P. tomentosa* had callus in 21 d and failed rooting by 49 d. The contents of IAA and ZT in cortices of the cutting base of *P. yunnanensis* were higher than those in cortices of the cutting base of *P. tomentosa*, but the difference was not significant ( $P>0.05$ ). However, the ABA and GA<sub>3</sub> contents in cortices of the cutting base of *P. tomentosa* were significantly higher than those in cortices of the cutting base of *P. yunnanensis* throughout the rooting process ( $P<0.01$ ). [Conclusion] IAA and ZT were not the main factors to affect the adventitious root formation, but the high contents of ABA and GA<sub>3</sub> in cortices of the cutting base could be the main inducement of cuttings of *P. tomentosa* failed to take adventitious roots.

**Keywords:** *Populus yunnanensis*; *Populus tomentosa*; cuttings rooting; endogenous hormones contents

杨树是杨柳科 (Salicaceae) 杨属 (*Populus* L.) 树种的统称, 因其生长快、适应性强、用途广而被世界许多国家和地区广泛栽培和利用, 是当今世界中纬度地区栽培面积最广、木材产量最多的树种之一<sup>[1-3]</sup>。中国具有丰富的杨树种质资源, 占世界杨树种类的 50% 以上, 其中白杨派和青杨派中的许多树种均为中国所特有, 且分布非常广泛<sup>[4-6]</sup>。毛白杨 (*P. tomentosa*) 属白杨派 (Section *Leuce*), 为中国优良的速生树种之一, 以材质好、生长快、冠形优美等特点而为人们所喜爱, 是优良的庭园绿化和行道树种, 但硬枝扦插不易成活, 限制了其栽培利用<sup>[7-8]</sup>。滇杨 (*P. yunnanensis*) 为青杨派 (Section *Tacamahaca*) 树种, 主要分布于云南省中部、北部和南部, 贵州省西部及四川省西南部等地区中海拔范围 1 300~3 200 m 间的山地, 具有分布海拔梯度变化大, 适应性强, 生长迅速, 扦插易于生根等优良特性, 是典型而稀有的低纬度高海拔南方型杨属树种, 可用于插杆造林<sup>[9-11]</sup>。

本试验以扦插难以生根的毛白杨和扦插易于生根的滇杨为试材, 比较二者插穗生根过程中内源激素生长素 (indole-3-acetic acid, IAA)、玉米素 (zeatin, ZT)、赤霉素 (gibberellin, GA<sub>3</sub>) 和脱落酸 (abscisic acid, ABA) 的动态变化, 探讨该 4 种内源激素对 2 种杨树生根难易程度的影响, 为揭示毛白杨扦插不易生根的内部机制奠定研究基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

以前期收集并繁殖保存的滇杨和毛白杨 3 株

优树为母体, 剪取截干后 1 年生长势与粗度相近的滇杨与毛白杨萌生枝用于制作插穗, 插穗长度为 30 cm, 上部保留 2~3 颗饱满侧芽。参照随机区组试验设计方法, 每小区 1 个基因型, 10 株小区, 按株行距 30 cm×40 cm 扦插于不添加任何肥料的苗床上, 扦插深度约 15 cm。树种间各小区相互交错排列。以扦插第 0 天为起始, 每隔 7 d 取样 1 次, 至第 49 天, 共取样 8 次。每次随机选取滇杨和毛白杨 3 个基因型各 1 根插穗切取基部皮层提取内源激素, 共计 3 个生物学重复。

### 1.2 样品处理

采集的插穗样品用清水冲洗干净沙土, 再经蒸馏水冲洗, 砂布擦干表面水分。用手术刀切取插穗土面以下 2 cm 至插穗基部端口以上 2 cm 之间的所有树皮。若插穗已萌生不定根, 则去除不定根。液氮充分研磨, -80 °C 保存备用。

### 1.3 内源激素的提取与检测

参照李佳蔓等<sup>[12]</sup>的方法提取 IAA、ABA、GA<sub>3</sub> 和 ZT。提取 IAA、ABA 和 GA<sub>3</sub> 的方法为: 称取样品粉末约 1.0 g, 加入 10 mL 甲醇 4 °C 静置 18 h, 过滤甲醇冲洗样品, 并合并滤液; 加入等体积的石油醚分液, 萃取 2 次 (弃醚相), 45 °C 减压蒸干; 加 NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.5) 溶解, 用 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 调 pH 至 2~3, 等体积乙酸乙酯萃取 2 次, 合并酯相, 45 °C 旋转蒸干, 1 mL 甲醇定容, 0.45 μm 的有机系微孔滤膜过滤, 作为供试液保存于 4 °C 冰箱。提取 ZT 的方法为: 用提取 IAA、ABA 和 GA<sub>3</sub> 相同的方法处理样品, 调节 pH 至 2~3, Sep-Pak C<sub>18</sub> 小柱分离纯化, 依次以纯水、50% 甲醇、100% 甲醇洗脱, 收集 50% 甲醇洗脱液, 45 °C

旋转蒸干; 1 mL 甲醇定容, 0.45  $\mu\text{m}$  的有机系微孔滤膜过滤, 作为供试液保存于 4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱。

于 Agilent 1200 Series 高效液相色谱仪上采用外标峰面积法进行 4 种内源激素的定量检测, 试验条件为柱温 30  $^{\circ}\text{C}$ , 流速 1 mL/min, 进样量 10  $\mu\text{L}$ , 检测波长:  $\text{GA}_3$ , 210 nm; IAA 和 ABA, 254 nm; ZT, 280 nm。

#### 1.4 数据分析

对滇杨和毛白杨插穗基部皮层内 4 种内源激素的含量测定值分别进行统计分析, 比较滇杨和毛白杨 4 种内源激素含量的变化。所得数据用 Excel 2003 进行整理, 采用 SPSS 13.0 进行数据分析, 应用 Origin 8.5 软件进行相关图形的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 滇杨与毛白杨插穗基部生根观测

根据对取样时挖取的插穗基部观测表明: 扦插第 7 天, 滇杨插穗开始出现愈伤组织, 并在 21 d 观测到不定根的出现, 而毛白杨在 21 d 出现愈伤组织, 但直到 49 d 都没有形成不定根 (图 1)。



注: a) 和 b) 分别表示扦插第 7 天和 21 天的滇杨; c) 表示扦插第 21 天的毛白杨。

Note: a) and b) were *P. yunnanensis* at 7 d and 21 d, and c) was *P. tomentosa* at 21 d.

图 1 滇杨和毛白杨的愈伤组织及不定根

Fig. 1 The adventitious root and callus of *P. yunnanensis* and *P. tomentosa*

### 2.2 滇杨与毛白杨插穗基部内源激素含量分析

于 49 d 观测期内, 滇杨 IAA 含量略高于毛白杨, 但差异均不显著, 且 2 种杨树均于 7 d (滇杨出现愈伤组织) 时具有较高 IAA 含量 [滇杨插穗为 219.55  $\mu\text{g/g}$  (FW), 毛白杨插穗为 200.26  $\mu\text{g/g}$  (FW)], 而 21 d 时 (滇杨不定根形成, 毛白杨产生愈伤) IAA 含量均较低。前 5 个观测期内 (0、7、14、21 和 28 d), 滇杨的 ZT 含量较高, 与毛白杨差异仅于 0 d 时达显著水平, 而后 3 个观测期

(35、42 和 49 d), 毛白杨的 ZT 含量略高, 但差异不显著。毛白杨 ABA 含量和  $\text{GA}_3$  含量于整个观测期内均高于滇杨, 其中, 毛白杨 ABA 含量在第 0、21、28 和 49 天时显著或极显著高于滇杨, 而毛白杨  $\text{GA}_3$  含量于第 7~35 天共 5 个时期显著或极显著高于滇杨 (图 2)。

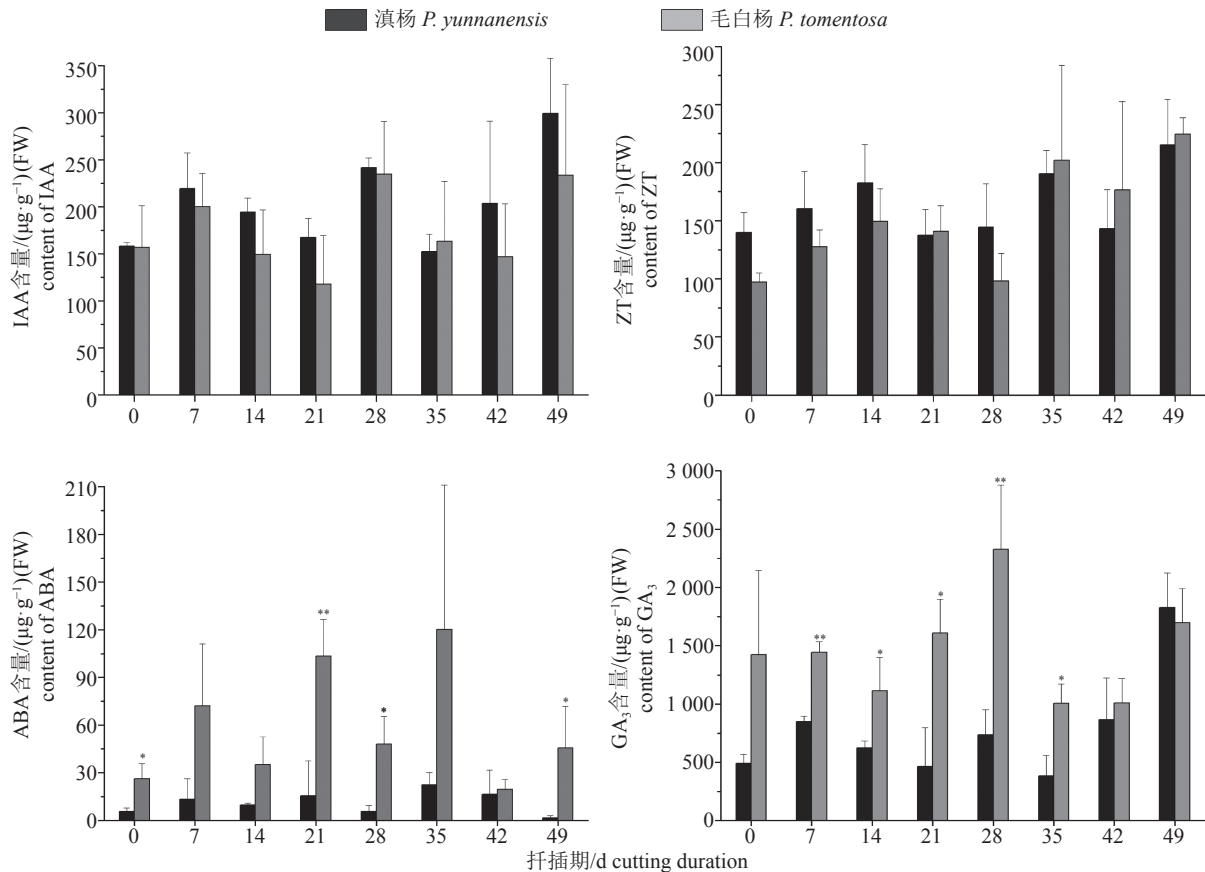
### 2.3 滇杨和毛白内源激素含量比值分析

由图 3 所示: 以滇杨为参照, 毛白杨的 IAA/ZT 于 0、7、28 和 35 d 时较高, 其余观测期较低, 但差异均不显著。IAA/ABA、ZT/ABA、IAA/ $\text{GA}_3$  和 ZT/ $\text{GA}_3$  比值在整个观测期内均低于滇杨, 其中, 2 种杨树的 IAA/ABA 和 ZT/ABA 比值差异于 0 和 14 d 时达极显著水平, 而 IAA/ $\text{GA}_3$  和 ZT/ $\text{GA}_3$  比值于 0、7、14 和 28 d 时差异显著。毛白杨插穗基部的 ABA/ $\text{GA}_3$  结果在观测期内均高于滇杨, 但差异不显著。

## 3 讨论

根是植物长期进化过程中形成的适应陆生生活的重要器官之一, 主要分为 3 种, 主根源于种子中的胚根, 侧根为主根发育出的分支, 这 2 种根均属于直根系, 而不定根属须根系, 通常在某种环境胁迫下, 由地上部分的器官 (如茎) 发生而成<sup>[13]</sup>。在林木无性繁殖过程中, 扦插技术难易程度直接取决于不定根是否发生。不定根的形成由环境和内源激素相互作用、共同调控<sup>[14]</sup>。许多研究认为 IAA 是调节不定根发生和发育的主要内源激素, 而其他内源激素主要通过与生长素的相互作用而起作用<sup>[15]</sup>。本研究结果显示: 滇杨与毛白杨插穗基部皮层中, 滇杨的 IAA 和 ZT 含量较高, 但 2 个树种之间的差异并不显著, 而毛白杨插穗基部皮层的 ABA 和  $\text{GA}_3$  则在整个观测期内含量较高, 表明 IAA 或 ZT 含量的高低并不是影响毛白杨扦插难生根的主要因素, 而高浓度的 ABA 和  $\text{GA}_3$  可能抑制了毛白杨插穗不定根的形成。

皮层内的 IAA 主要集中于细胞分裂活动旺盛的形成层区<sup>[16]</sup>, 其局部富集有助于刺激不定根发生<sup>[17]</sup>, 是不定根原基起始的必要条件, 直到根原基形成后, 生长素才会迅速转移至其他生长活跃的部位<sup>[18]</sup>。但也有许多研究表明 IAA 与植物生根难易没有直接关系<sup>[19-20]</sup>。董宁光<sup>[21]</sup>对杨树嫩茎生根研究表明: 低浓度的细胞分裂素促进生根, 高浓度则抑制生根。欧阳群芳等<sup>[15]</sup>对欧洲云杉生根



注: \*表示差异显著, \*\*表示差异极显著; 下同。

Note: \* stands for the significant difference, and \*\* stands for the very significant difference; the same as below.

图 2 滇杨和毛白杨插穗内源激素含量的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of endogenous hormones contents in cuttings of *P. tomentosa* and *P. yunnanensis*

过程中内源激素检测时发现:  $GA_3$  和 ZT 含量的降低是促进插穗生根的重要原因, 高含量是不定根形成的抑制剂。但长白松的扦插试验表明: 在组织形成、不定根的产生过程中  $GA_4$  含量增加<sup>[18]</sup>。关于 ABA 含量与生根关系也有不同的报道, ABA 在白桦插穗根原基发生过程中大幅度下降<sup>[22]</sup>, 是抑制生根的主要激素, 但在鹅掌楸不定根形成前开始上升, 促进了插穗的生根<sup>[23]</sup>。在白杨派树种生根过程, 高浓度 ABA 在多数试验中均被证实起抑制作用<sup>[24-25]</sup>。由此可见, 内源激素与生根的关系较为复杂, 本研究无论是基于生根时间(滇杨于 21 d 时 IAA 和 ZT 含量低于 14 d), 还是基于树种对比 (IAA 和 ZT 含量于滇杨和毛白杨中差异不显著), 均表明 IAA 和 ZT 与滇杨和毛白杨生根能力差异的关系不明显。同时, 毛白杨于整个观测期内并没有形成不定根, 而滇杨于 21 d 可观测到不定根, 2 种杨树的内源激素随时间的变化趋势相似, 进一步表明 ABA 和  $GA_3$  的高浓度富集

才是抑制毛白杨生根的主要因素, 这与杨树生根过程中内源激素变化研究的较多结果<sup>[26-28]</sup>相一致。

内源激素对植物生根过程的调节是十分精细和复杂的, 一个简单的生理过程不仅需要单个激素的瞬时调控, 更多的是多种激素的共同作用结果<sup>[29-31]</sup>, 这些激素常以联合体的形式参与植株的生长发育进程<sup>[13, 32-33]</sup>。因此, 杨树插穗生根过程中内源激素动态变化分析时, 不仅考虑单个激素的富集与释放, 也要考虑激素之间的动态平衡。陈雪梅等<sup>[24]</sup>认为: IAA/ABA 的比值可以作为杨树插穗生根能力的标准, 其比值越高, 生根能力越强。本研究发现: 滇杨插穗基部皮层内的 IAA 含量高于毛白杨, 而 ABA 含量显著低于毛白杨。相应地, 滇杨插穗基部皮层内的 IAA/ABA 比值显著高于毛白杨。由此可知: 插穗基部皮层内高含量的 ABA 可能抑制了毛白杨插穗基部不定根的形成。此外, 研究结果还显示: ABA 与  $GA_3$  协同作用抑制了毛白杨插穗不定根的形成, 但二者

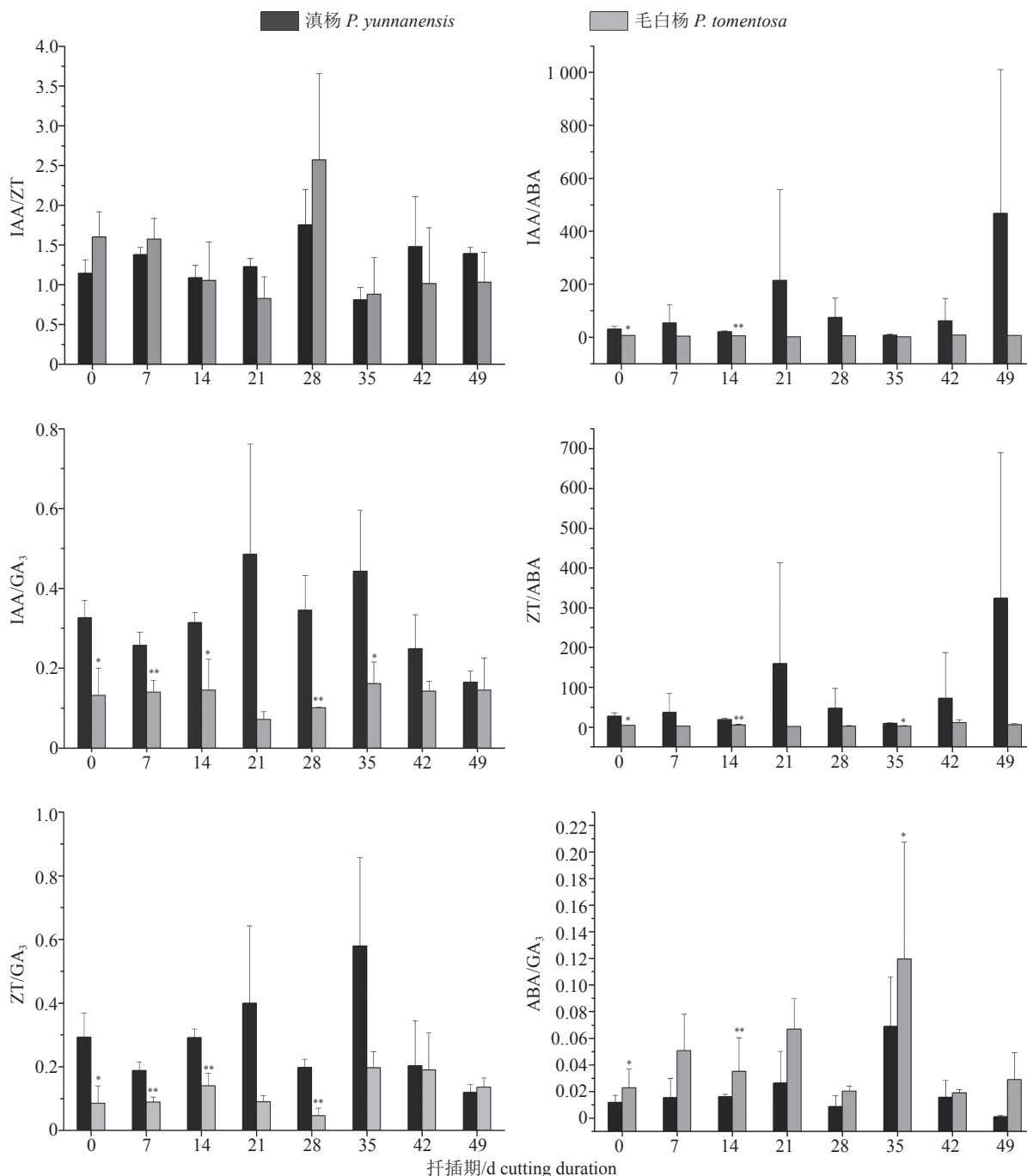


图3 滇杨和毛白杨插穗内源激素含量比值的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of endogenous hormones ratios in cuttings of *P. tomentosa* and *P. yunnanensis*

之间如何维持平衡从而抑制毛白杨不定根的产生,有待于进一步深入研究。

[参考文献]

[1] 员涛, 李佳蔓, 周安佩, 等. 基于叶绿体片段序列的杨属系统发育关系分析[J]. 植物生理学报, 2015, 51(8): 1339.  
 [2] WILDE H D, MEAGHER R B, MERKLE SA. Express-

sion of foreign genes in transgenic yellow-poplar plants [J]. Plant Physiology, 1992, 98(1): 114. DOI: 10.1104/pp.98.1.114.

[3] TAYLOR G. *Populus: arabidopsis for forestry*. Do we need a model tree?[J]. Annals of Botany, 2002, 90(6): 681. DOI: 10.1093/aob/mcf255.  
 [4] 周安佩. 西南地区乡土杨树遗传变异及系统发育研究[D]. 昆明: 西南林业大学, 2014.  
 [5] WAN X Q, ZHANG F, ZHONG Y, et al. Study of genet-

- ic relationships and phylogeny of the native *Populus* in Southwest China based on nucleotide sequences of chloroplast *trnT-trnF* and nuclear DNA[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2013, 299(1): 57. DOI: [10.1007/s00606-012-0702-9](https://doi.org/10.1007/s00606-012-0702-9).
- [6] WANG D S, WANG Z S, DU S H, et al. Phylogeny of section *Leuce* (*Populus*, Salicaceae) inferred from 34 chloroplast DNA fragments[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2015, 63: 212. DOI: [10.1016/j.bse.2015.09.020](https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.09.020).
- [7] LIU B B, WANG L, ZHANG J, et al. WUSCHEL-related homeobox genes in *Populus tomentosa*: diversified expression patterns and a functional similarity in adventitious root formation[J]. *BMC Genomics*, 2014, 15(1): 296. DOI: [10.1186/1471-2164-15-296](https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-296).
- [8] DI N, LIU Y, MEAD D J, et al. Root-system characteristics of plantation-grown *Populus tomentosa* adapted to seasonal fluctuation in the groundwater table[J]. *Trees-Structure and Function*, 2018, 32(1): 137. DOI: [10.1007/s00468-017-1619-2](https://doi.org/10.1007/s00468-017-1619-2).
- [9] 何承忠, 张晏, 段安安, 等. 滇杨优树无性系苗期叶片性状变异分析[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(6): 28.
- [10] 纵丹, 员涛, 周安佩, 等. 滇杨优树遗传多样性的 AFLP 分析[J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(4): 103.
- [11] 颜璐茜, 李佳蔓, 员涛, 等. 滇杨遗传多样性的 SRAP 分析[J]. *生物技术通报*, 2016, 32(4): 159. DOI: [10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2016.04.021](https://doi.org/10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2016.04.021).
- [12] 李佳蔓, 员涛, 王军民, 等. 滇杨倒置插穗的生长素极性运输[J]. *植物生理学报*, 2015, 51(6): 935.
- [13] GUSTAVO A. Cutting to the base: identifying regulators of adventitious rooting[J]. *Plant Signaling and Behavior*, 2010, 5(3): 281.
- [14] PACURAR D I, PERRONE I, BELLINI C. Auxin is a central player in the hormone cross-talks that control adventitious rooting[J]. *Physiologia Plantarum*, 2014, 151(1): 83. DOI: [10.1111/ppl.12171](https://doi.org/10.1111/ppl.12171).
- [15] 欧阳芳群, 付国赞, 王军辉, 等. 欧洲云杉扦插生根进程中内源激素和多酚类物质变化[J]. *林业科学*, 2015, 51(3): 155.
- [16] SHELDRAKE AR. Auxin in the cambium and its differentiating derivatives[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1971, 22(72): 735.
- [17] NEGISHI N, NAKAHAMA K, URATA N, et al. Hormone level analysis on adventitious root formation in *Eucalyptus globules*[J]. *New Forests*, 2014, 45(4): 577. DOI: [10.1007/s11056-014-9420-1](https://doi.org/10.1007/s11056-014-9420-1).
- [18] 刘关君, 李绪尧, 由香玲, 等. 长白落叶松插穗内源激素变化与不定根产生的关系[J]. *东北林业大学学报*, 2000, 28(1): 19. DOI: [10.3969/j.issn.1000-5382.2000.01.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-5382.2000.01.005).
- [19] FORD Y Y, BONHAM E C, CAMERON R W F, et al. Adventitious rooting: examining the role of auxin in an easy-and a difficult-to-root plant[J]. *Plant Growth Regulation*, 2002, 36(2): 149. DOI: [10.1023/A:1015013025513](https://doi.org/10.1023/A:1015013025513).
- [20] KRISANTINI S, JOHNSTON M, WILLIAMS R R, et al. Adventitious root formation in *Grevillea* (Proteaceae), an Australian native species[J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 107(2): 171. DOI: [10.1016/j.scienta.2005.05.015](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.05.015).
- [21] 董宁光. 杨树嫩茎生根机理及调控激素的组织细胞原位分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [22] 詹亚光, 杨传平, 金贞福, 等. 白桦插穗生根的内源激素和营养物质[J]. *东北林业大学学报*, 2001, 29(4): 1. DOI: [10.3969/j.issn.1000-5382.2001.04.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-5382.2001.04.001).
- [23] 张晓平, 方炎明, 黄绍辉. 杂种鹅掌楸扦插生根过程中内源激素的变化[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2004(3): 79.
- [24] 陈雪梅, 高红兵, 王沙生. 三种杨树扦插生根期间内源激素水平的比较研究[J]. *林业科学*, 1994, 30(1): 1. DOI: [10.3321/j.issn:1001-7488.1994.01.002](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-7488.1994.01.002).
- [25] 迟彦, 侯义龙, 于亚军, 等. 芽变毛白杨及其亲缘种扦插生根过程中内源激素含量的动态变化[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(27): 8438. DOI: [10.3969/j.issn.0517-6611.2007.27.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2007.27.008).
- [26] 董胜君, 刘明国, 戴菲, 等. 山杏嫩枝扦插生根过程中插穗内源激素含量的变化[J]. *经济林研究*, 2013, 31(4): 108. DOI: [10.3969/j.issn.1003-8981.2013.04.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-8981.2013.04.018).
- [27] 颜婷美, 张安琪, 王峰, 等. 绣球丁香扦插生根过程中内源激素变化[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(13): 186. DOI: [10.11924/j.issn.1000-6850.2013-2704](https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.2013-2704).
- [28] 燕雪蒙. 胡杨等三种杨树生根期间内源激素及酶活性变化分析[D]. 西宁: 青海大学, 2013.
- [29] XIONG L M, ZHU J K. Regulation of abscisic acid biosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 2003, 133(1): 29. DOI: [10.1104/pp.103.025395](https://doi.org/10.1104/pp.103.025395).
- [30] MAURIAT M, PETTERLE A, BELLINI C, et al. Gibberellins inhibit adventitious rooting in hybrid aspen and *Arabidopsis* by affecting auxin transport[J]. *Plant Journal*, 2014, 78(3): 372. DOI: [10.1111/tpj.12478](https://doi.org/10.1111/tpj.12478).
- [31] 周安佩, 刘东玉, 纵丹, 等. 滇杨侧芽不同季节内源激素含量变化动态[J]. *林业科学研究*, 2014, 27(1): 113.
- [32] CHARLES P R, MARK L C, HARRY J K. Uncoupling auxin and ethylene effects in transgenic tobacco and *Arabidopsis* plants[J]. *Plant Cell*, 1993, 5(2): 181. DOI: [10.1105/tpc.5.2.181](https://doi.org/10.1105/tpc.5.2.181).
- [33] 周安佩, 刘东玉, 江涛, 等. 滇杨一年生扦插苗侧芽内源激素含量的变化分析[J]. *北方园艺*, 2014(4): 63.

责任编辑: 何承刚