

## 美国红枫硬枝扦插技术研究

吴雅琼<sup>1,2</sup>, 刘婧<sup>1,2</sup>, 汪贵斌<sup>1,2\*</sup>, 曹福亮<sup>1,2</sup>

(1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京 210037; 2. 南京林业大学林学院, 南京 210037)

**摘要:** 以美国红枫硬枝为扦插材料, 采用正交试验方法, 研究不同苗龄母株、不同部位插穗、激素种类和激素处理方式等对硬枝插穗生根的影响。结果表明, 以一年生母株下部枝条为插穗, 在浓度为 500 mg·L<sup>-1</sup> 的 ABT 溶液中浸泡 0.5 h, 扦插于珍珠岩和细沙混合物(1:1)中, 生根率最高, 达 83.33%, 平均生根条数为 13.10, 平均根长达 6.88 cm。

**关键词:** 美国红枫; 硬枝扦插; 生根激素

中图分类号: S722.8; S792.35

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0926-06

### Research on hardwood cutting technology of *Acer rubrum*

WU Yaqiong<sup>1,2</sup>, LIU Jing<sup>1,2</sup>, WANG Guibin<sup>1,2</sup>, CAO Fuliang<sup>1,2</sup>

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;

2. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

**Abstract:** The effects of seedling age, cutting collection location, hormone type, and hormone treatment type on rooting of hardwood cuttings of *Acer rubrum* were studied through the orthogonal experimental method. The results were as follows: soaking the lower branches of the annual plant cuttings in 500 mg·L<sup>-1</sup> ABT solution for 0.5 h and then inserted to the rooting medium (perlite:silver sand=1:1) gave rise to the highest average rooting rate of 83.33%. The average root number per cutting was 13.10 and the average root length was 6.88 cm.

**Key words:** *Acer rubrum*; hardwood cutting; rooting hormone

美国红枫又名红花槭, 槭树科槭属, 单叶对生, 叶 3~5 裂, 花深红色, 稠密簇生, 果红色有翅。其抗性强, 适应范围广, 既是园林绿化树种, 又是防护林和风景林树种<sup>[1]</sup>。具有耐旱、耐湿、主干挺直、树冠整齐、落叶迟的特点。叶色鲜红美丽, 景观效果极佳, 且能适应街道的特殊环境, 已经成为替代香樟与悬铃木的优良绿化景观树种, 是新一代的“行道树之王”<sup>[2]</sup>。

目前, 美国红枫在国内市场炙手可热, 为了保持其优良性状, 只能采取扦插等无性繁殖方式进行繁殖。近年来, 对美国红枫的繁殖技术研究已有很多报道, 如美国红枫的组织培养<sup>[3]</sup>、嫁接<sup>[4]</sup>和嫩枝扦插<sup>[5]</sup>等, 但针对其硬枝扦插<sup>[6]</sup>的激素种类及浓度的研究报道还极少。鉴于此, 对美国红枫硬枝扦插进行系统性研究, 以期对美国红枫快速繁殖和推广

提供理论和实践意义。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验地概况

试验地设在南京林业大学银杏园。南京地处北纬 31°14'~32°37', 东经 118°22'~119°14', 年平均温度为 15.7℃, 最高气温 43℃, 最低气温 -16.9℃, 最热月平均温度 28.1℃, 最冷月平均温度 -2.1℃。年平均降雨 117 d, 降雨量 1106.5 mm, 平均气温 16℃, 年平均风速 3.5m·s<sup>-1</sup>, 年均相对湿度 76%。每年 6 月下旬到 7 月中旬为梅雨季节。无霜期 237 d 左右。

#### 1.2 插床准备

试验于 4 月初在南京林业大学银杏园全光照喷雾扦插池中进行, 扦插基质为珍珠岩和细沙混合物(1:1)。试验前 7 d 对扦插池内基质进行深翻, 去除

收稿日期: 2015-12-09

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)资助。

作者简介: 吴雅琼, 硕士研究生。E-mail: 347470439@qq.com

\* 通信作者: 汪贵斌, 教授。E-mail: gbwang@njfu.edu.cn

杂物、铲除杂草, 在阳光下暴晒 2 d。采用 0.5% 多菌灵溶液对床面喷洒, 浸润苗床基质, 用塑料膜覆盖 5 d, 之后掀开薄膜进行美国红枫的扦插试验。

### 1.3 插穗的采集和处理

以美国红枫一年生和两年生实生苗为扦插材料。选择生长健壮、无病虫害和芽眼饱满枝条。分别从美国红枫实生苗的上部, 中部和下部取材。插穗长约 10~12 cm, 留 2~3 个节, 上切口平剪, 距第一个芽 1 cm 左右, 下切口紧靠节下剪成马蹄形切面。插穗 30 根为一捆, 盖上湿布, 置于阴凉处, 下切口按照试验设计的方法进行不同生根激素的浸泡处理。

### 1.4 扦插及插后管理

将处理好的插穗分组插入扦插池内, 株行距为 8 cm×15 cm, 插穗基部的 1/2~2/3 插入插床, 事先用稍粗于插穗的木棒在插床上打孔, 插入后用手压实, 使其与基质紧密结合, 插后浇一次透水(定根水)。全光间歇喷雾系统设置温度 25℃和空气湿度 75%。

### 1.5 试验方法

采用春季美国红枫实生苗硬枝进行扦插, 利用正交试验设计进行优化, 各因素设计见表 1, 扦插试验设计(表 2)。每个处理 30 个插穗, 3 次重复, 共 18 个处理组合。

表 1 美国红枫硬枝扦插的正交试验的因素和水平

Table 1 The orthogonal experimental design for hardwood cutting of *Acer rubrum* with factors and levels

因子水平 Level of factor	因子种类 Factor			
	A(苗龄) Seedling age	B(取材部位) Sampling part	C(激素种类) Hormone type	D(激素处理方式) Ways of hormone treatment
1	两年生 Biennial	植株上部 Upper	IBA	250 mg·L <sup>-1</sup> , 1 h
2	一年生 Annual	植株中部 Middle	NAA	500 mg·L <sup>-1</sup> , 0.5 h
3		植株下部 Bottom	ABT	1000 mg·L <sup>-1</sup> , 10 s

表 2 美国红枫扦插的正交试验设计

Table 2 The orthogonal experimental design for hardwood cutting of *Acer rubrum*

处理 Treatment	A(苗龄) Seedling age	B(取材部位) Sampling part	C(激素种类) Hormone type	D(激素处理方式) Ways of hormone treatment
1	1(两年生 Biennial)	1(上部)Upper	1(IBA)	1(250 mg·L <sup>-1</sup> , 1 h)
2	1	1	2(NAA)	2(500 mg·L <sup>-1</sup> , 0.5 h)
3	1	1	3(ABT)	3(1000 mg·L <sup>-1</sup> , 10 s)
4	1	2(中部)Middle	1	2
5	1	2	2	3
6	1	2	3	1
7	1	3(下部)Bottom	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2
10	2(一年生 Annual)	1	1	1
11	2	1	2	2
12	2	1	3	3
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

### 1.6 数据统计分析

扦插 1 周后开始观察愈伤组织的形成情况及不定根的出现情况, 之后每 3~5 d 观察 1 次, 至切口愈合, 长出新根, 扦插 2 个月后调查插穗的生根情

况。对于处理组合的测定指标包括: 愈伤组织出现期(d)、不定根出现期(d)、生根率(%)、生根条数(条)和不定根长(cm)等。每次各处理随机选取 3 株进行统计, 其中, 根系指数=(平均根长+3×平均根数)/4,

根系效果指数=(生根率×根系指数)/100

采用 Excel 进行数据分析,统计方法用 SPSS 软件进行多重对比、显著性检验以及方差分析等。

### 2 结果与分析

#### 2.1 不同处理方式对美国红枫生根过程的影响

美国红枫扦插后,7~12 d 长出愈伤组织,并在其一周产生不定根,之后进入生根期和大量生根期。期间,一年生苗的 18 处理组合产生愈伤组织及不定根最快,为 7 d 左右,其次是两年生苗的 9 组合,为 12 d 左右。而产生愈伤最慢的是取自一年生苗的上部插穗。

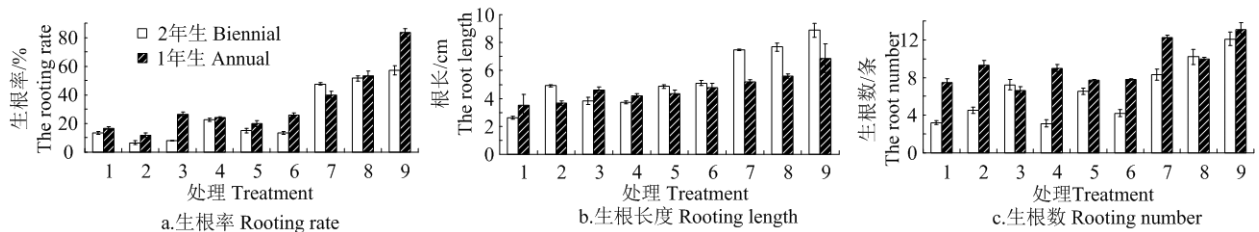
#### 2.2 不同苗龄对美国红枫扦插生根特性的影响

一年生和两年生苗在生根率方面有较大的区别(图 1a),在相同处理,不同苗龄情况下,总体而言,一年生苗比两年生苗的生根率要高,一年生苗生根率最高达 83.33%,而两年生苗生根率最高为 57.14%。因为一年生苗的植株较两年生苗幼嫩,幼嫩组织中

生长素含量较高,分生组织活跃,合成的生长素多。且一年生苗最低生根率要高于两年生苗。此外美国红枫含有较多的次生代谢物质花青苷、酚类氧化物等,这些物质可能会对插穗的生根有阻碍作用,而幼嫩植株这些物质较少,对生根影响就较小。

图 1b 表明,不同苗龄插穗的生根长度不同。除处理 1, 3 和 4 以外,两年生苗比一年生苗作为插穗平均生根长度长,这可能是由于两年生苗较一年生苗插穗内具有更多的营养物质,使得插穗生根过程中有充足的营养物质进行根系的快速生长。两年生苗生根长度最长为 8.88 cm,最短为 2.60 cm;而一年生苗生根长度最长为 6.88 cm,最短为 3.52 cm。

由图 1c 可知,不同苗龄的插穗生根数不同。两年生苗生根数最多的为 9 号,12.11 条,最少仅 3.12 条;而一年生苗生根数最多,达 13.10 条,最少为 6.62 条。除了处理 3 以外,一年生苗的生根数多于两年生苗生根数,取自幼嫩植株的插穗更易形成愈伤组织及产生不定根。



图中 1~9 为处理编号,苗龄:白色柱状图为两年生,含填充色柱状图为一年生

1~9 represent treatment codes, ages of cutting: white bar charts represent to biennial, bars with diagonal lines represent to annual plants

图 1 不同苗龄插穗的生根指标对比

Figure 1 The comparison of rooting indexes with different ages of cutting

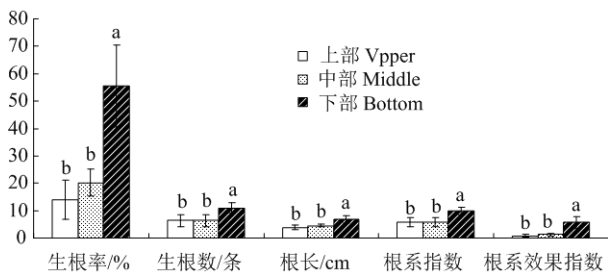


图 2 不同取材部位对插穗生根各指标的影响

Figure 2 Influences of cuttings from different parts on the rooting indexes

#### 2.3 不同取材部位对美国红枫扦插生根特性影响

不同的取材部位对美国红枫插穗生根特性存在差异(图 2),取自植株下部插穗进行硬枝扦插,生根效果最佳,平均生根率达 55.47%,平均生根条数为 10.99 根,平均根长为 6.96 cm,根系指数为 9.98,根系效果指数为 5.63,各项指标均为最优。用根系

效果指数来评价插穗综合生根能力可知,下部的综合生根能力最强。由方差分析可知,下部枝条的生根率、根数、根长、根系指数和根系效果指数高于其他 2 个处理。取自下部的插穗生根性状最好,因为靠近基部的插穗,在冬季休眠时,储藏的营养物质含量最多。在上部、中部和下部这 3 个处理中,中部和上部各项指标均无显著差异。上部插穗的平均生根率仅 13.89%,其平均根数为 6.40 根,平均根长 3.85 cm 也较短,根系指数为 5.76,根系效果指数为 0.81。

#### 2.4 不同激素种类对美国红枫扦插生根特性影响

表 3 反映不同激素种类对美国红枫硬枝扦插的影响。3 项指标变化较小,由方差分析可知,3 种激素种类对插穗生根的影响不显著。ABT 作为生根激素,其生根的 5 个指标均较佳,生根率为 35.70%,生根数达 8.52 根,生根长度为 5.68 cm,根系指数

为 7.81, 根系效果指数为 3.44。这高于 IBA 以及 NAA 处理插穗的平均水平。用 IBA 处理插穗的平均生根率高于 NAA, 而其他 4 个指标的值却不如用

NAA 处理的插穗效果好。综合以上生根情况, 用根系效果指数综合评价生根情况, 其中 ABT 处理生根效果最好。

表 3 不同种类激素处理对插穗生根的影响

Table 3 Influence of different hormone on rooting indexes of hardwood cutting

激素种类 Hormone type	生根率/% Rooting rate	生根数/条 Rooting number	根长/cm Root length	根系指数 Index of root system	根系效果指数 Effective index for evaluation of root system
IBA	27.37±13.49 <sup>a</sup>	7.22±3.53 <sup>a</sup>	4.46±1.72 <sup>a</sup>	6.53±2.91 <sup>a</sup>	2.02±1.62 <sup>a</sup>
NAA	26.45±20.59 <sup>a</sup>	8.05±2.23 <sup>a</sup>	5.17±1.39 <sup>a</sup>	7.33±1.84 <sup>a</sup>	2.21±2.07 <sup>a</sup>
ABT	35.70±28.90 <sup>a</sup>	8.52±3.41 <sup>a</sup>	5.68±1.87 <sup>a</sup>	7.81±2.93 <sup>a</sup>	3.44±3.74 <sup>a</sup>

注: 不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Treatments labeled with different letters mean significant difference at the 0.05 level. The same below.

表 4 不同激素处理对插穗生根的影响

Table 4 Influence of different hormone deals on rooting indexes of hardwood cutting

浓度/mg·L <sup>-1</sup>	生根率/% Rooting rate	生根数/条 Root number	根长/cm Root length	根系指数 Index of root system	根系效果指数 Effective index for evaluation of root system
250	28.98±18.72 <sup>a</sup>	7.16±2.90 <sup>a</sup>	4.88±1.76 <sup>a</sup>	6.59±2.51 <sup>a</sup>	2.26±2.06 <sup>a</sup>
500	34.31±29.76 <sup>a</sup>	8.53±4.00 <sup>a</sup>	5.37±2.09 <sup>a</sup>	7.74±3.37 <sup>a</sup>	3.33±3.82 <sup>a</sup>
1000	26.22±15.07 <sup>a</sup>	8.10±2.12 <sup>a</sup>	5.05±1.29 <sup>a</sup>	7.34±1.70 <sup>a</sup>	2.08±1.55 <sup>a</sup>

表 5 不同的处理方式对美国红枫扦插生根的影响

Table 5 Effect of different treatments on rooting of hardwood cutting of *Acer rubrum*

处理编号 Treatment number	生根率/% Rooting rate	生根数/条 Root number	根长/cm Root length
1	13.33±1.04 <sup>i</sup>	3.20±0.20 <sup>k</sup>	2.60±0.10 <sup>j</sup>
2	6.67±1.23 <sup>k</sup>	4.53±0.37 <sup>j</sup>	4.90±0.10 <sup>ef</sup>
3	8.00±0.11 <sup>jk</sup>	7.24±0.56 <sup>hi</sup>	3.82±0.28 <sup>hi</sup>
4	22.58±1.00 <sup>fg</sup>	3.12±0.38 <sup>k</sup>	3.71±0.11 <sup>hi</sup>
5	15.15±1.56 <sup>hi</sup>	6.54±0.36 <sup>i</sup>	4.85±0.15 <sup>efg</sup>
6	13.33±1.17 <sup>i</sup>	4.23±0.67 <sup>j</sup>	5.10±0.20 <sup>de</sup>
7	47.50±0.80 <sup>d</sup>	8.32±0.58 <sup>fg</sup>	7.50±0.06 <sup>b</sup>
8	51.72±1.88 <sup>cd</sup>	10.21±0.79 <sup>c</sup>	7.68±0.30 <sup>b</sup>
9	57.14±3.18 <sup>b</sup>	12.11±0.69 <sup>b</sup>	8.88±0.48 <sup>a</sup>
10	16.67±0.87 <sup>i</sup>	7.49±0.41 <sup>gh</sup>	3.52±0.78 <sup>i</sup>
11	12.00±1.70 <sup>ji</sup>	9.32±0.48 <sup>de</sup>	3.67±0.17 <sup>hi</sup>
12	26.67±1.14 <sup>f</sup>	6.62±0.42 <sup>i</sup>	4.59±0.21 <sup>efg</sup>
13	24.14±0.54 <sup>fg</sup>	9.00±0.40 <sup>ef</sup>	4.20±0.13 <sup>gh</sup>
14	20.00±2.30 <sup>gh</sup>	7.68±0.12 <sup>gh</sup>	4.33±0.27 <sup>fgh</sup>
15	25.71±1.83 <sup>f</sup>	7.81±0.09 <sup>gh</sup>	4.78±0.28 <sup>efg</sup>
16	40.00±2.40 <sup>e</sup>	12.21±0.29 <sup>b</sup>	5.20±0.12 <sup>de</sup>
17	53.13±3.20 <sup>bc</sup>	10.00±0.16 <sup>cd</sup>	5.60±0.16 <sup>d</sup>
18	83.33±3.00 <sup>a</sup>	13.10±0.70 <sup>a</sup>	6.88±1.02 <sup>c</sup>

## 2.5 不同激素处理方式对美国红枫扦插生根特性的影响

激素浓度的大小与处理时间的长短也是影响插穗生根情况好坏的关键因素。表 4 反映的是不同的激素处理方式对插穗生根情况的比较, 本研究中采

用浓度为 500 mg·L<sup>-1</sup> 的激素溶液浸泡 0.5 h, 其平均生根率达到 34.31%, 方差分析结果表明, 差异不显著 ( $p=0.814$ ), 且生根数多, 根系长度长, 根系指数高。同时, 根系效果指数为 3.33, 优于其他 2 种激素处理方式下的相关指标。不同激素浓度间 1000

mg·L<sup>-1</sup>, 速蘸处理下插穗的生根率最低, 可能是由于浓度过高抑制根系生长。虽然浓度为 250 mg·L<sup>-1</sup>, 0.5 h 处理下, 插穗的平均生根率为 28.98% 优于 1000 mg·L<sup>-1</sup> 快蘸处理, 但是在根系指数上, 却不及 1000 mg·L<sup>-1</sup> 快蘸处理插穗的平均水平。无论使用哪种激素浓度, 其差异并不显著, 这是由于还有其他因子的不同所影响。

## 2.6 综合处理方式对美国红枫扦插生根特性影响

18 个不同处理方式对美国红枫扦插的影响结果见表 5。这 18 个处理组合中生根率最高的为 18 号: 母株为一年生苗+取自植株下部插穗+ABT+500 mg·L<sup>-1</sup> 的溶液浸泡 0.5 h, 生根效果最佳。其次为 9 号, 即采用两年生苗, 取自植株下部的插穗, 在 500 mg·L<sup>-1</sup> 的 ABT 溶液中浸泡 0.5 h 的生根效果较佳。18 和 9 号处理在生根率和生根数两个水平在 0.05 水平差异显著。18 号生根率最高为 83.33%, 其生

根条数也为最多的 13.10 条; 其次是 9 号生根率为 53.13%, 生根条数为 12.11 条; 再次是 17 号生根率为 53.13%, 生根条数为 10.00 条。18 个处理组合中生根率最差的 2 号处理, 生根率仅为 6.67%; 3 号处理生根率也仅为较低的 8.00%。

与生根率和生根数这两个指标不同的是, 根长最长的为 9 号组合, 究其原因, 9 号处理所用的插穗为两年生苗的插穗, 其蕴含更为丰富的营养物质以及各种花青苷、酶类等, 对其根系生长也较为有利。因此, 在其他处理情况一致的情况下, 两年生苗的 9 号处理的平均生根长度也就高于同一种取材, 激素和激素处理方式下的 18 号处理的平均生根长度。但是生产上一般选择生根率高的 18 号来进行大规模生产。综合以上生根情况, 用根系效果指数综合评价生根情况, 选用 18 号处理生根效果最好。

表 6 不同处理对插穗生根率的极差分析

Table 6 Range analysis on rooting rate of hardwood cutting with different treatments

<i>Kij</i>	A	B	C	D
<i>K<sub>1</sub></i>	235.43	83.33	164.22	173.90
<i>K<sub>2</sub></i>	301.64	120.92	158.67	205.86
<i>K<sub>3</sub></i>		332.83	214.19	157.32
<i>X<sub>1</sub></i>	26.16	13.89	27.37	28.98
<i>X<sub>2</sub></i>	33.52	20.15	26.44	34.31
<i>X<sub>3</sub></i>		55.47	35.70	26.22
<i>R</i>	7.36	41.58	9.25	8.09
优水平 Excellent level	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>

正交试验的极差分析见表 6, 各因素水平不同, 处理间的差异比较大。在 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub> 组合下, 即选取 1a 苗的下部枝条, 在 500 mg·L<sup>-1</sup> 的 ABT 溶液中浸泡 0.5 h, 美国红枫扦插的生根率最高, 达 83.33%。R 最大的因素, 其变化水平是最大的, 是影响指标的主要因素。本试验中, 极差最大的因素是取材部位(B)>激素种类(C)>处理方式(D)>苗龄(A)。

经极差分析, 因素水平 A 以 A<sub>2</sub> 为好, 因素水平 B 以 B<sub>3</sub> 为好, 因素水平 C 以 C<sub>3</sub> 为好, 因素水平 D 以 D<sub>2</sub> 为好, 所以, 极差分析的结果也表明 4 个因素的最佳水平组合为 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub>, 这与本研究的结果一致。因此本研究表明: 提高美国红枫扦插成活率的应以一年生取自植株下部的插穗在 500 mg·L<sup>-1</sup> 的 ABT 中浸泡 0.5 h 的效果为最佳。

## 3 讨论与结论

美国红枫硬枝扦插, 插穗的外部形态观察表明主要为皮部生根。本研究表明: 取材部位、激素种类、

处理方式和苗龄都是影响插穗成活的因素, 得出取自母株为一年生苗植株下部的插穗且用 ABT 500 mg·L<sup>-1</sup> 溶液浸泡 0.5 h, 扦插于珍珠岩和细沙混合物 (1:1) 中, 生根率最高, 达 83.33%, 平均生根条数为 13.10, 平均根长达 6.88 cm。美国红枫取自枝条下部的生根率高, 是由于春季扦插时, 萌动的芽会不断向插穗基部运输生长素, 进而加速插穗切口的细胞分裂, 使伤口愈合, 防止腐烂, 促进根的形成, 庞晓慧<sup>[7]</sup> 与本研究结果不同。用外源激素促进插穗, 可以促进维管束的分化, 提高形成层细胞活性, 从而利于伤口的愈合及不定根的形成<sup>[8]</sup>。本研究表明, 在浓度为 500 mg·L<sup>-1</sup> 的 ABT 溶液中浸泡 0.5 h 生根率最高, 这与巩文琼<sup>[9]</sup> 的研究结果有所不同。究其原因可能是生长素发挥的生理作用, 会因其种类、浓度和植物材料的不同而有差异。母树年龄会影响插穗的生根率, Paranim 等<sup>[10]</sup> 研究表明, 幼态组织一般不含或极少含有抑制物, 生根抑制物也不会从成熟组织运输到幼态组织。因此, 选用年龄小的植

株往往会提高成活率, 这与本试验结果一致。

陆秀君等<sup>[11]</sup>研究表明: 蛭石与珍珠岩的混合基质为最佳基质, 扦插在该基质上的插穗生根率可达 87.3%。本试验仅采用一种基质方案进行研究, 今后将进一步研究不同基质扦插的效果。IBA 可以提高美国红枫“*Gordonia lasianthus*”等品种的扦插成活率<sup>[12]</sup>, 而高焕章等<sup>[13]</sup>研究结果表明采用  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  IBA +  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  NAA 组合效果最好, 生根率达 86.74%。因此, 美国红枫不同激素的组合有待研究。硬枝相对于嫩枝可能含有更多的营养物质而有利于生根, 但同时硬枝也可能含有较高浓度的生根抑制物质、较少的生根促进物质以及较差的可塑性而妨碍其生根<sup>[14]</sup>。美国红枫“秋焰品种”中 24 龄的大树的最好扦插的方法为嫩枝扦插法<sup>[15]</sup>, 对于美国红枫的嫩枝扦插还需要进一步探讨。

### 参考文献:

- [1] 张键, 李玉娟, 李敏, 等. 典型彩叶树种美国红枫研究技术综述[J]. 广西农学报, 2009, 24(2): 55-59.
- [2] NAGEL J M, GRIFFIN K L, SCHUSTER W S F, et al. Energy investment in leaves of red maple and co-occurring oaks within a forested watershed[J]. *Tree Physiol*, 2002, 22(12): 859-867.
- [3] 李源, 何丙辉, 于传, 等. 美国红枫‘白兰地’的组织培养与快繁技术[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(8): 36-42.
- [4] 刘同凯, 薛晓娜, 靳学东, 等. 美国红枫嫁接技术研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1974-1975.
- [5] 彭重华. 红枫扦插繁殖试验初报[J]. 中南林学院学报, 1995, 15(1): 95-98.
- [6] 何素芬, 吴戎, 顾大勤. 美国红枫硬枝扦插育苗试验研究[J]. 四川林业科技, 2014, 35(1): 61-62.
- [7] 庞晓慧. 翅果油树扦插繁殖技术及生根机理研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2007.
- [8] 张颖. 秤锤树扦插繁殖技术及生根机理的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [9] 巩文琼. 美国红枫扦插繁殖技术及生根机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [10] PARANI M, RUDRABHATLA S, MYERS R, et al. Microarray analysis of nitric oxide responsive transcripts in *Arabidopsis*[J]. *Plant Biotechnol J*, 2004, 2(4): 359-366.
- [11] 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.
- [12] DEHGAN B, GOOCH M, ALMIRA F, et al. Vegetative propagation of Florida native plants: II. *Acer rubrum*, *Gordonia lasianthus*, *Magnolia virginiana*, and *Styrax americana*[C]//Proceedings of the annual meeting of the Florida State Horticulture Society (USA). 1988, 101: 293-296.
- [13] 高焕章, 赵振军, 何玉枝, 等. IBA 和 NAA 对美国红枫扦插生根的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(8): 2013-2015.
- [14] PEER K R, GREENWOOD M S. Maturation, topophysis and other factors in relation to rooting in *Larix*[J]. *Tree Physiol*, 2001, 21(4): 267-272.
- [15] MCNAMARA S, PELLETT H. Cultivar release *Acer rubrum* 'Autumn Spire' I[J]. *Environ Hort*, 1993, 11(3): 147-148.