

中国特有濒危植物崖柏扦插繁殖研究

金江群¹, 郭泉水^{1*}, 朱莉^{1,2}, 许格希^{1,3}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003; 3. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:在重庆市城口县咸宜乡苗圃和中国林科院温室开展崖柏扦插繁殖试验, 研究采穗母树年龄、不同激素种类及其组合、激素浓度、扦插基质、物理促根等不同处理方式下崖柏扦插生根效应。结果表明:(1)在咸宜乡苗圃, 采用自动喷雾设施, 以蛭石-泥炭土-珍珠岩(1:1:1)为扦插基质, 用3种激素和清水处理崖柏幼树1年生枝条, 扦插后160 d的生根率为74.76%~96.70%, 不同处理组合生根效应具有显著差异, $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ > 清水对照(CK) > $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ > $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$; (2)在林科院温室用2种激素和清水处理崖柏幼树1年生枝条, 扦插于蛭石-泥炭土-珍珠岩(1:1:1)的基质, 搭塑料拱棚, 扦插后120 d的生根率远低于咸宜乡苗圃, 为25.93%~45.37%, 激素处理后的枝条与对照差异显著, $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA} = 2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ > 清水对照(CK); (3)在咸宜乡苗圃用不同激素和物理促生根方法组成的27种组合处理的成年崖柏枝条, 最高生根率仅为20.83%。生根率超过10%的处理组合是:清水处理, 泥炭土:蛭石:珍珠岩(1:1:1); $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$, 泥炭土:珍珠岩(2:1); $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$, 泥炭土:蛭石:珍珠岩(1:1:1), 流水冲洗。

关键词:崖柏; 扦插; 生根率; 激素类型

中图分类号:S723.1

文献标识码:A

Study on Cutting Propagation of *Thuja sutchuenensis*, An Endangered Species Endemic to China

JIN Jiang-qun¹, GUO Quan-shui¹, ZHU Li^{1,2}, XU Ge-xi^{1,3}

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. College of Agriculture, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471003, He'nan, China; 3. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The cutting propagation trial on *Thuja sutchuenensis* was carried out in a tree nursery located at Xianyi Village, Chengkou County, Chongqing, China and in the greenhouse of Chinese Academy of Forestry, Beijing. Through the experiment, the effects of various factors, including age of donor trees, kinds and concentrations of auxin, substrate and physically-root-promoting, on rooting were examined. The results are as follows: (1) The rooting rate of cuttings from one-year-old *T. sutchuenensis* sapling varied from 74.76% to 96.7% 120 days after cutting under different disposed conditions in the nursery of Xianyi, where adopting automatic spray facilities and medium with vermiculite:peat:pearlite (1:1:1, v/v/v). Specifically, the cuttings disposed to $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ showed the highest rooting rate, with a decreasing tendency in water, $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$, and $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ plus $500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$ ($P < 0.05$). (2) In Beijing, where covered by plastic films and medium with vermiculite:peat:pearlite (1:1:1, v/v/v), the one-year-old *T. sutchuenensis* cuttings showed a lower rooting rate than that in Xianyi

收稿日期:2012-03-29

基金项目:国家林业局野生动植物保护专项:“珍稀濒危物种崖柏野外救护与人工繁育”(优化项目)(1691000401)、大巴山国家级自然保护区管理局“崖柏救护繁育研究”(2008-1)

作者简介:金江群(1986—),女,重庆人,硕士研究生,主要从事崖柏无性繁殖及抗性生理研究, tiamojjq@163.com

* 通讯作者:研究员。

($P < 0.05$), with a range from 25.93% to 45.37% 160 days after cutting. Moreover, the effect of disposing conditions on rooting rates in Beijing was different from that in Xianyi, with a lower rate in water and an equally high rate in $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA, and $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA plus $50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA. The obvious difference of rooting rate between Xianyi and Greenhouse may be aroused by nutrition of donor trees and the environmental factors. (3) For adult *T. sutchuenensis* cuttings In Xianyi, which were disposed to 27 combinations of different kinds of hormone and solutions of physically promoting root, the highest rooting rate was only 20.83%. The combination, under which the rooting rate was higher than 10%, is the combination of water-disposed plus with substrate of vermiculite:peat:pearlite (1:1:1, v/v/v), that of disposing to $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA plus $500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA and plus a substrate with peat:pearlit (2:1, v/v), and that of $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA disposed with an even substrate of vermiculite:peat:pearlite (1:1:1, v/v/v) and plus washing through flowing water.

Key words: *Thuja sutchuenensis*; cutting propagation; rooting rate; auxin type

崖柏 (*Thuja sutchuenensis* Franch.) 为我国特有的柏科 (Cupressaceae) 崖柏属 (*Thuja* Linn.) 常绿乔木, 树高可达 20 m, 具有重要的学术价值和开发利用前景^[1-2]。1892 年 4 月, 法国传教士法戈斯 (R. P. Farges) 在重庆市城口县大巴山石灰岩山地首次发现崖柏, 在此后的 100 年里, 曾有人多次前往产地考察, 但均未找到该物种。《中国植物红皮书》第一卷^[3] 和英文版《中国植物志》(裸子植物) 第 4 卷^[4] 均将其定为野外已灭绝的物种。1999 年, 重庆林业局组织专家开展国家重点保护野生植物调查时, 在城口县大巴山腹地重新发现了该物种。现已查明, 崖柏野生种群分布在城口和开县山区, 水平分布在 $31^{\circ}30' \sim 31^{\circ}50' \text{ N}$, $108^{\circ}30' \sim 109^{\circ}15' \text{ E}$, 垂直分布集中在海拔 900 ~ 2200 m, 为狭域特有种。该种野生种群数量有限, 林下天然更新不良, 种群处于极度衰退状态, 2003 年, 世界自然保护联盟 (IUCN) 将其评定为极度濒危物种。

拯救濒危植物的关键是实现种群扩繁, 但因该物种在我国已“绝迹”100 年, 有关其种群繁殖的研究几近空白。野外调查发现, 崖柏的结实量极低且种子败育严重^[5], 种子缺乏已构成种子繁殖的极大障碍。扦插繁殖可以解决无种源树种苗木繁殖问题, 但关于崖柏的扦插繁殖尚缺乏系统研究, 仅有易思荣等^[6] 和王祥福^[5] 等做过一些初步尝试。1999 年 10 月, 易思容等^[6] 在崖柏产地采集了一些枝条, 未经任何处理, 直接剪成 40 cm 以上的大枝条扦插于蛭石中, 并用塑料薄膜搭拱覆盖保温, 2000 年 3 月将这些大枝条剪成 10 cm 长的小枝条, 分别扦插在拱棚内和温室中。4 个月后调查, 插条的生根率分别达到 65.00% 和 78.00%, 没有生根的插条也未见死亡。2007—2008 年, 王祥福等^[5] 在崖柏原产地城口和中国林科院温室, 取成年崖柏母树枝条进行

扦插试验, 生根率仅为 5.00% ~ 14.00%。由于这些试验未详细介绍插穗类型、母树年龄以及外部环境, 而无法探讨造成生根率高低的原因, 但却提供了崖柏扦插可以生根这一重要信息。

影响扦插繁殖成效的因素很多, 其中, 内部因素有树种遗传特性、母树年龄、插穗年龄、采穗位置等, 外部环境条件有扦插基质的通气性、排水(保水)性、空气温度、湿度、光照条件以及光、温、水、气的协调作用。寻求最佳的内部控制因素, 选择适宜的外部环境条件, 提高扦插繁殖插穗的生根率, 是扦插繁殖研究的焦点问题。为此, 本文在前人研究的基础上, 于 2011—2012 年, 在重庆市城口县和北京两地, 重点围绕采穗母树年龄、枝条类型、不同激素种类及其组合、激素浓度、扦插基质、物理促根等不同处理方式下的扦插生根效应开展试验研究, 旨在寻求有利于崖柏扦插生根的内部因素控制和适宜的外部环境条件, 为崖柏的扩繁奠定基础。

1 试验地概况

扦插试验在重庆市城口县咸宜乡农田改造成的临时苗圃和中国林业科学研究院半自动化温室进行。城口县咸宜乡位于大巴山山脉南麓, 为野生崖柏种群分布区, 年均气温 $13.8\ ^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 $1\ 261.4\ \text{mm}$, 年均降雨日数 166 d, 年均最高气温 $14.5\ ^{\circ}\text{C}$, 年均最低气温为 $13.0\ ^{\circ}\text{C}$, 无霜期 234 d, 年均日照时数 $1\ 534\ \text{h}$, 气候类型属东亚的亚热带季风气候^[7], 苗圃设在海拔 827 m ($31^{\circ}42' \text{ N}$, $108^{\circ}36' \text{ E}$) 处的当地农田。中国林科院温室位于北京市西北部 ($39^{\circ}56' \text{ N}$, $116^{\circ}16' \text{ E}$), 温室设有天窗、排风扇、湿帘、遮阳网等控湿控温设备, 室内温度保持在 $25 \sim 31\ ^{\circ}\text{C}$ 。

2 材料与方法

2.1 插床与促生根条件设置

城口县咸宜乡苗圃的插床用空心砖围砌而成,长15 m,宽2 m,插床内铺设20 cm厚的黄土,插床上配备自动喷雾装置。喷雾时间长短视空气湿度而调控,相对湿度一般保持在80.00%左右。扦插容器为高8 cm口径6 cm的一次性纸杯。将处理后的插穗插入装好扦插基质的扦插容器(每杯插1根)后,均匀摆放在插床上。在插床外围覆单层遮阴网为扦插苗遮阴。每隔7 d喷施1次500倍多菌灵进行插穗消毒处理,并喷施浓度为 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的尿素及 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸二氢钾溶液为叶面施肥。

中国林科院温室中的插床为铁丝网网架,长12 m,宽1.5 m,距地面高度为0.8 m,容器为高8 cm口径8 cm的塑料杯,每杯插1根。按照试验设计装好基质扦插完成后,将扦插容器先摆放在在塑料

托盘中,而后均匀放置在网架上。在网架上搭设塑料拱棚,防止扦插苗的过度蒸腾和对湿度的要求。插穗消毒和叶面施肥方法与城口县咸宜乡苗圃的相同。

2.2 扦插试验设计

2.2.1 基质相同条件下不同激素处理崖柏幼树枝条的扦插试验 此项试验在城口县咸宜乡苗圃和中国林科院温室分别进行。在咸宜乡苗圃用的插穗,取自城口县大巴山自然保护区管理局在明中乡培育的4年生崖柏幼树。在中国林科院温室用的插穗,取自该温室中培育的4年生崖柏幼树。剪取树冠中上部一级侧枝顶端当年生枝条为插穗,各方位枝条充分混合后随机分组,插穗长10~15 cm,直径0.15~0.25 cm,剪去基部2~3 cm处叶片后进行带叶扦插;扦插基质为蛭石-泥炭土-珍珠岩(1:1:1);选择的激素种类为吲哚-3-丁酸(IBA)和奈乙酸(NAA)。试验设计见表1。

表1 崖柏幼树枝条激素处理扦插试验设计

城口县咸宜乡苗圃		中国林科院温室	
处理号	处理方式	处理号	处理方式
1	$1\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA	①	$1\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA + $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA
2	$1\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA + $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA	②	$2\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA
3	$2\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA	③	清水对照(CK)
4	清水对照(CK)		

在咸宜乡苗圃,每种处理12根插穗,3次重复,扦插时间为2011年5月;在中国林科院温室,每种处理36根插穗,3次重复,扦插时间为2011年8月。扦插前,将插穗在配好的激素溶液中蘸2 min,扦插方式为直插,为了不伤及插穗皮部,扦插前在基质上打孔,扦插后及时灌水。

环境因子测定包括:圃地和温室的空气湿度、气温,扦插基质的地温等。扦插4个月后开始调查插穗的生根情况,调查指标包括:生根率、一级根的生根量、根长、总根长、根径和最长根长等。

2.2.2 成年崖柏枝条不同基质、激素和物理促生根方式扦插处理试验 此项试验在城口县咸宜乡苗圃进行。插穗取自树龄40 a以上崖柏向阳面树冠中部枝条的顶梢,插穗长10~15 cm,直径0.20~0.28 cm,剪去基部2~3 cm处叶片后进行带叶扦插,扦插时间为2011年5月。扦插基质为泥炭土,蛭石,珍珠岩,腐殖土,粗河沙;激素种类为吲哚-3-丁酸(IBA),奈乙酸(NAA),生根粉1号(ABT₁),植物绿色生长调节剂(GGR₆);物理促生根方式为流水

冲洗和刻伤。不同处理组合选用的基质、激素种类和物理促生根方式有所不同。本试验共设计了27种处理组合,每种处理均设计24根插穗,3次重复。扦插时间、扦插床和插穗制作、激素溶液速蘸方式和时间、插后管理以及环境因子测定和生根性状调查等均与处于同一苗圃的崖柏幼树枝条扦插试验相同。试验设计见表2。

3 结果与分析

3.1 不同激素处理对崖柏幼树枝条扦插生根的影响

3.1.1 幼树插穗生根性状 据观察,扦插14 d后,插穗的基部开始有愈伤组织形成,早期形成的愈伤组织为半透明状,以后逐渐变为乳白色或黄褐色,同时,在插穗基部3 cm处,出现皮部开裂。不定根大多是从崖柏插穗的中下部的皮部产生的(图1),也有少部分出自愈伤组织。插穗生根时间参差不齐,生根早的可发生在插后1个月内,晚的多达3个月,甚至更长。

表2 成年崖柏枝条扦插试验设计

处理号	激素种类	激素浓度/(mg·L ⁻¹)	基质种类	基质配比	物理促根方式
1	IBA	2 000	泥炭土:珍珠岩	2:1	—
2	IBA	2 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
3	IBA	2 000	腐殖土	—	—
4	IBA	1 000	泥炭土:珍珠岩	2:1	—
5	IBA	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
6	IBA	1 000	腐殖土	—	—
7	IBA + NAA	1 000 + 500	泥炭土:珍珠岩	2:1	—
8	IBA + NAA	1 000 + 500	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
9	IBA + NAA	1 000 + 500	腐殖土	—	—
10	—	—	泥炭土:珍珠岩	2:1	—
11	—	—	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
12	—	—	腐殖土	—	—
13	ABT ₁	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
14	ABT ₁	750	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
15	GGR ₆	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
16	—	—	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	—
17	IBA	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	流水冲洗
18	ABT ₁	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	流水冲洗
19	GGR ₆	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	流水冲洗
20	—	—	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	流水冲洗
21	ABT ₁	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	刻伤
22	ABT ₁	750	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	刻伤
23	GGR ₆	1 000	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	刻伤
24	—	—	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	刻伤
25	—	—	粗河沙	—	刻伤
26	—	—	粗河沙	—	—
27	—	—	泥炭土:蛭石:珍珠岩	1:1:1	刻伤 + 流水冲洗

注:“—”表示没有。

3.1.2 不同激素处理对崖柏幼树插穗生根率的影响 不同激素处理方式下崖柏幼树插穗扦插的生根率及方差分析结果见表3。

表3 不同地点不同激素处理下崖柏幼树插穗的生根率

城口县咸宜乡圃地			中国林科院温室	
处理号	生根率/%		处理号	生根率/%
	插后120 d	插后160 d		插后120 d
1	38.89	74.76	①	45.30
2	19.45	79.96	②	45.37
3	75.00	96.70	③(清水)	25.93
4(清水对照(CK))	47.33	85.78	对照(CK)	

由表3可知:在城口县咸宜乡圃地,插后120、160 d不同处理插穗的生根率分别为19.45%~75.00%、74.76%~96.70%。插后120 d不同处理插穗的生根率大小最终排序是:2 000 mg·L⁻¹IBA > 清水对照(CK) > 1 000 mg·L⁻¹IBA > 1 000 mg·L⁻¹IBA + 500 mg·L⁻¹NAA。扦插160 d的崖柏生根情况见图1。

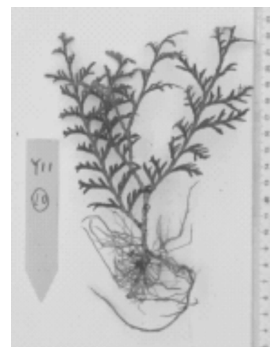


图1 崖柏幼树插穗扦插160 d的生根情况

在中国林科院温室,插后120 d,不同处理的生根率为25.93%~45.37%,不同处理插穗生根率的大小排序是:2 000 mg·L⁻¹IBA > 1 000 mg·L⁻¹IBA + 50 mg·L⁻¹NAA > 清水对照(CK)。

3.1.3 不同激素处理对崖柏幼树插穗的生根量、根长和根径的影响 由表4可知:在咸宜乡苗圃,除根长和侧根数在不同激素处理间无显著差异外,插穗

的生根量和根径均达到显著 ($P < 0.05$) 水平。不同激素处理下崖柏幼树插穗的生根量、最长根长、总根长的变化规律一致,其大小排序是: $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > \text{清水对照}(\text{CK}) > 1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > 1\ 000$

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$,但根径在不同激素处理下的变化有所不同,按大小排序的结果是: $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA} > 1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > 2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > \text{清水对照}(\text{CK})$ 。

表4 不同激素处理下崖柏幼树插穗的生根性状及 LSD 多重比较

地点	处理号	生根量/(条·穗 ⁻¹)	根长/mm	总根长/mm	最长根长/mm	侧根数/(条·条 ⁻¹)	根径/mm
城口县咸宜乡圃地	1	8.53b	37.99a	330.05b	65.60b	4.08a	0.81ab
	2	2.67c	43.66a	100.27c	53.31b	4.01a	0.87a
	3	12.04a	38.76a	530.25a	81.37a	3.67a	0.75bc
	4(清水对照(CK))	9.11b	35.03a	340.44b	64.46b	3.51a	0.67c
中国林科院温室	①	3.29a	67.09ab	157.27ab	96.31a	5.49a	0.82a
	②	2.92ab	73.17a	217.81a	104.89a	6.29a	0.84a
	③(清水对照(CK))	2.04b	55.34b	133.13b	67.87b	5.16a	0.84a

注:同列中相同小写字母表示 0.05 水平差异不显著,不同者表示显著。

在中国林科院温室,除根径及侧根数两项指标在三种处理间均无差异外,其余各项指标表现为经过处理的组优于对照组或与对照无显著差异,而2种激素处理方式间,各项指标均无显著差异。

由于不同生根指标在不同激素处理间缺乏一致性的变化规律,仅凭单一生根指标难以评定不同激素处理组合的生根效应,为此,采用隶属函数法对不同激素处理下生根性状的隶属函数值进行计算,并通过比较综合隶属函数值的大小,对各激素处理组合进行判断(表5)。

一般认为,综合隶属函数值越大,对应处理组合越优^[8]。由表5可知:在咸宜乡苗圃,相同基质,不

同激素处理组合生根效应的大小排序是: $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > \text{清水对照}(\text{CK}) > 1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > 1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$;在中国林科院温室,不同激素处理组合生根效应的大小排序是: $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} > 1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA} > \text{清水对照}(\text{CK})$,但多重比较结果显示, $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ 及 $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$ 处理后的插穗,在各项指标间均无显著差异,且这两组处理的综合隶属函数值只相差 0.02,因此,可以认为 $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$ 和 $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$ 的效果相同,但均比清水对照的好。

表5 激素处理对崖柏幼树插穗扦插生根影响的隶属函数值

地点	处理号	生根量	最长根长	总根长	根径	根长	侧根数	综合隶属函数值
城口县咸宜乡圃地	1	0.28	0.48	0.76	0.53	0.41	0.63	3.10
	2	0.04	0.28	0.96	0.41	0.49	0.59	2.77
	3	0.19	0.37	0.85	0.47	0.40	0.58	2.87
	4	0.21	0.38	0.85	0.61	0.36	0.65	3.03
中国林科院温室	①	0.07	0.39	0.60	0.07	0.31	0.44	1.87
	②	0.09	0.32	0.35	0.29	0.35	0.45	1.85
	③	0.05	0.23	0.22	0.17	0.29	0.45	1.41

3.2 不同基质、激素、物理促生根方式等对成年崖柏插穗生根的影响

由表6可知:不同基质、激素、物理促生根方式下成年崖柏绝大多数插穗生根率都很低。最高的处理组合为11号(清水处理;基质为按体积比为1:1:1混合的泥炭土:蛭石:珍珠岩),其生根率为20.83%,其次是7号处理组合($1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA} + 500\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NAA}$,基质为按体积比2:1混合的泥

炭土:珍珠岩)和17号处理组合($1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{IBA}$,基质为按体积比为1:1:1混合的泥炭土:蛭石:珍珠岩,通过流水冲洗处理),这两种处理组合的生根率均为12.5%。在27个处理组合中,有15个处理组合的插穗未生根。对有插穗生根的处理组合,按生根率大小的排序是:11号处理组合(生根率20.83%) > 7号和17号(12.50%) > 1号(8.33%) > 2号(5.56%) > 26号(4.44%) > 10号和13号

(4.17%) > 5号(3.33%) > 24号(2.5%) > 25号(2.22%) > 4号(1.47%)。图2为崖柏成年树插穗扦插120 d的生根情况。



图2 崖柏成年树插穗扦插120 d的生根情况

不论何种处理组合,都有愈伤组织生成,但统计相关分析表明,愈伤组织形成率与生根率并不存在显著相关关系($R=0.02$)。

4 结论与讨论

(1)在崖柏产地城口县咸宜乡的苗圃,采用蛭石:泥炭土:珍珠岩(1:1:1)为扦插基质,配置自动喷雾装置和单层遮阴网,2 000 mg · L⁻¹ IBA 处理对崖柏不定根的形成具有明显的促进作用;在中国林科院温室,采用1 000 mg · L⁻¹ IBA + 50 mg · L⁻¹ NAA 和2 000 mg · L⁻¹ IBA 处理插穗的效果相同。Copes 等^[9]在道格拉斯冷杉(*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)扦插试验中也曾设置了较高浓度的IBA 和较低浓度的IBA 配合少量NAA 处理试验,其结果与本文一致。关于扦插使用生长调节剂的浓度多大合适,目前说法不一。对裸子植物而言,有人认为生长调节剂浓度增加会抑制生根^[10],也有人认为增加生长调节剂浓度不会提高生根率但可以改善根系质量^[11],作者认为,其中原因可能与不同树种对激素的种类和浓度需求或敏感程度不同有关。

(2)城口县咸宜乡的苗圃与中国林科院温室崖柏扦插的生根率的差异显著。在咸宜乡苗圃崖柏幼树枝条扦插120、160 d的最高生根率分别为75.00%、96.70%,而在中国林科院温室,扦插120 d的最高生根率仅为45.37%。其中原因可能与各地的母树营养状况有关,温室中的幼树种植在花盆多年,由于受容器的影响,根系发育受到一定限制;另外,温室中光、温、水等环境条件与原产地也有所不同,也会影响到幼树正常的生理代谢过程。母树的生长状况直接影响到插穗的质量,许多试验证明,插

表6 不同基质、激素、物理促生根方式对成年崖柏插穗生根效应的影响

处理号	生根率 /%	愈伤组织形 成率/%	处理号	生根率 /%	愈伤组织形 成率/%
1	8.33	43.06	15	0.00	70.00
2	5.56	45.83	16	0.00	20.00
3	0.00	25.00	17	12.50	20.83
4	1.47	70.59	18	0.00	40.00
5	3.33	40.00	19	0.00	62.50
6	0.00	16.00	20	0.00	60.53
7	12.50	42.37	21	0.00	12.28
8	0.00	39.06	22	0.00	28.33
9	0.00	20.00	23	0.00	53.33
10	4.17	37.50	24	2.50	62.50
11	20.83	75.00	25	2.22	94.44
12	0.00	63.38	26	4.44	96.67
13	4.17	50.00	27	0.00	15.79
14	0.00	70.00			

穗内的营养物质对根原始体的分化有重要意义,发育良好健壮的插穗比生长较差纤细的插穗容易生根^[12]。

(3)尽管对成年崖柏插穗采取了多种促进生根的处理组合,但最终试验结果均不理想,最高处理组合的生根率仅20.83%,明显比崖柏幼树插穗的生根率(96.70%)低。许多学者在研究其它树种时也曾发现过类似现象。Liliana 等^[13]用胸径大于5 cm的成年墨西哥红豆杉(*Taxus globosa* L.)的枝条做插穗进行扦插试验,其最高生根率仅29.20%,而幼树枝条插穗的生根率则提高到66.30%,Pezeshki 等^[14]用25~50年生的落羽杉(*Taxodium distichum* (L.) Rich.)枝条做扦插,最高生根率为12.00%,而用幼树1年生枝条插穗,生根率则提高到75.00%;Krakowski 等^[15]分别用3、7、11、15年生等不同年龄的加拿逊扁柏(*Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don))枝条做插穗,发现试验中年龄最大的15年生母树的插穗生根率最低,生长势也最差。目前对这种现象产生的原因已有多种解释,大多数学者认为与不同年龄母树上采集的插穗内的生长素和抑制剂的含量有关。不定根的形成取决于插穗内生长素和抑制剂的比例关系,只有这种比例合适时,才能促进根原始体分化。生长素和抑制剂的含量是随亲本的年龄而变化,年龄增加生长素减少,而抑制剂增加。这些抑制剂可能类似于有机酸、单宁或有关成分和树脂等^[10]。

对裸子植物扦插的年龄效应研究表明,很多树

种5年以上插穗的生根率就开始明显下降,只有少数种可达10年以上^[10,17]。由此推断,成年崖柏插穗和幼树插穗生根差异的产生原因在于插穗之间生长素和抑制剂的含量的变化,这种变化削弱了不同处理组合诱导不定根生成的作用。另外,在崖柏不定根形成过程中常常伴随愈伤组织的产生。愈伤组织主要起吸收和防御功能,但愈伤组织也会消耗插穗内的生根物质^[12]。崖柏的愈伤组织很大,有的超过插穗基径的近10倍,达到1 cm以上。成年崖柏的插穗生根率低,是否与愈伤组织有关还有待进一步研究。

(4)由于目前可采插穗的崖柏幼树资源非常有限,导致本次用于扦插的崖柏幼树插穗样本数量、试验处理方式偏小,今后有必要培植更多的崖柏幼树,扩大崖柏幼树扦插试验规模,同时,加强成年崖柏插穗生根机理研究,并以此为基础,继续寻求更佳的处理组合,为崖柏种群扩繁提供技术支持。

参考文献:

- [1] Xiang Q P, Farjon A, Li Z Y, *et al.* *Thuja sutchuenensis*: a rediscovered species of the Cupressaceae[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2002, 139(3): 305 - 310
- [2] 郭泉水,王祥福,王春玲,等. 世界级极危物种—崖柏的研究现状与展望[J]. 现代林业研究, 2007, 1(2): 69 - 73
- [3] Fu L K, Jin J M. China plant red data book rare and endangered plant [M]. Beijing: Science Press, 1992: 38
- [4] Fu Liguo, Yu Yongfu, Aljos Farjon. Flora of China, Vol 4[M]. Beijing: Science Press, 1999: 63
- [5] 王祥福. 崖柏群落生态学[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2008
- [6] 易思荣, 黄 娅. 崖柏扦插繁殖获得成功[J]. 植物杂志, 2001(5): 30
- [7] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 823 - 836
- [8] 陈荣敏, 杨学举, 梁凤山, 等. 利用隶属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(2): 7 - 9
- [9] Copes D L, Mandel N L. Effects of IBA and NAA treatments on rooting Douglas-fir stem cuttings[J]. New Forests, 2000, 20(3): 249 - 257
- [10] 王建华, 孙晓梅, 王笑山, 等. 母株年龄、激素种类及其浓度对日本落叶松扦插生根的影响[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 102 - 108
- [11] Frampton J, Barry G, Scotte S. Nursery rooting and growth of loblolly pine cuttings: effects of rooting solution and fullsib family[J]. South J Appl For, 1999, 23(2): 108 - 116
- [12] 郭素娟. 林木扦插生根的解剖学及生理学研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 64 - 69
- [13] Liliana Muñoz-Gutiérrez, J. Jesús Vargas-Hernández, Javier López-Upton, *et al.* Effect of cutting age and substrate temperature on rooting of *Taxus globosa*[J]. New Forests, 2009, 38(2): 187 - 196
- [14] Pezeshki S R, DeLaune R D. Rooting of baldcypress cuttings[J]. New Forests, 1994, 8(4): 381 - 386
- [15] Krakowski J, Benowicz A, Russell J H, *et al.* Effects of serial propagation, donor age, and genotype on *Chamaecyparis nootkatensis* physiology and growth traits[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(3): 623 - 632
- [16] 秦国峰. 马尾松嫩枝扦插繁殖[J]. 林业科学研究, 1994, 7(1): 95 - 101