

影响桉树组培苗根系发育关键因子的研究

郭洪英¹, 陈 炙¹, 杨晓蓉¹, 杨昌旭², 胡天宇¹

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 理县林业局, 四川 理县 623100)

摘要:以巨桉及其杂交种为主要研究对象,通过6年的组织培养研究,总结出影响桉树组培苗根系发育的几个关键因子,包括基本培养基、活性炭、抗坏血酸、生长素、茎段年龄及生理状态、温度、光照等,以及各因子的影响规律。

关键词:桉树;组培;根系发育;影响因子

中图分类号:S718.49

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2008)01-0020-07

Researches on the Key Factors of Influencing the Development of the Root System of Eucalyptus Tissue Culture Seedlings

GUO Hong-ying¹ CHEN Zhi¹ YANG Xiao-rong¹ YANG Chang-xu² HU Tian-yu¹

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081; 2. Forestry Bureau of Li county, Li county 623100)

Abstract:Through a long-term systematic study of eucalyptus tissue culture, some key factors of influencing the adventitious root system of its seedlings are found out, including basic culture media, AC, Vc, auxin, age and state of the physiology of shoots, temperature, illumination, and their regularities of effecting the root development.

Key words:Eucalyptus, Tissue culture, Root system development, Influence factors

桉树(*Eucalyptus*)组织培养技术的日益成熟推动了我国南方地区桉树无性系林业的快速发展。组培快繁技术已成为我国桉树种苗生产的主要手段^[1-3]。虽然桉树的组培技术已经比较成熟,但仍然有很多值得研究和改进的地方。四川省林科院于2001年开始进行以巨桉及其杂交种为主的桉树组织培养研究和组培苗生产,通过6年多的研究和生产实践,积累了一定的经验,尤其在组培苗根系培养方面取得了良好的效果,组培苗生根率高,根系强壮,极大地降低了移栽和管理难度,移栽成活率高、苗木整齐、大田培育时间短,造林成效好。现将相关研究进行分析和总结,以供交流参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以巨桉及其杂交种无性系为主要研究对象,材

料为组培增殖苗。

1.2 试验方法

1.2.1 基本培养基对根系发育的影响

以IBA1.0 mg·L⁻¹、蔗糖20 g·L⁻¹、琼脂5.5 g·L⁻¹、pH5.8为基础条件进行基本培养基的选择和优化。对基本培养、抗坏血酸、活性炭(AC)进行4因素3水平正交试验L₉(3⁴)(见表4),各因素设置3个水平,基本培养(1/2MS(大量元素减半)、1/2改良H(大量元素减半)、White),抗坏血酸(0.0 mg·L⁻¹、1.0 mg·L⁻¹、2.0 mg·L⁻¹),活性炭AC(0 mg·L⁻¹、40 mg·L⁻¹、80 mg·L⁻¹),共9个处理,每处理20瓶,每瓶接种30个茎段,3次重复。培养条件:光源为自然光,光强2000 Lux左右,温度25℃~28℃。接种后观察茎段变化及根系发育情况,统计生根时间、生根率、单株平均根数、平均根长(培养15 d后),进行直观分析、因素指标分析和正交方

收稿日期:2007-11-08

基金项目:四川省农作物育种攻关项目“林竹新品种选育”(课题编号:2006yzgg-10-01)子专题“桉树良种选育及杂交育种”中的部分研究内容。

作者简介:郭洪英(1973-),女,硕士,助理研究员,主要从事林木育种、林木组织培养研究。

差分析。

1.2.2 植物生长调节剂对根系发育的影响

以筛选出并优化过的生根基本培养基为基础,按表 1 添加植物生长调节剂,共 20 个处理,每处理接种数量、重复数、培养条件及观察同 1.2.1,进行单因子分析。

表 1		植物生长调节剂试验计划表																				
Table 1		Management of growth regulators																			浓度 (mg. L ⁻¹)	
处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
IBA	0	0.5	1.0	2.0	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	1.0	2.0	0.5	1.0	1.0		
NAA	0	0	0	0	0	0.5	1.0	2.0	4.0	0	0	0	0	0.5	0.5	1.0	1.0	0	0	0		
GGR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	2.0	4.0	0	0	0	0	0.5	0.5	1.0		

表 2		茎段类型表			
Table 2		Type of shoots			
茎段类型	增殖生长天数(d)	带顶芽长度(cm)	木质化程度	表观生理状态	
A 型	6~9	0.8~1.0	未木质化	极幼嫩	
B 型	10~13	1.0~1.5	木质化程度极低	健壮、幼嫩	
C 型	14~19	1.5~2.5	木质化程度较低	健壮、较幼嫩	
D 型	19~25	2.0~3.0	茎段约 1/3 半木质化	芽丛基部开始变黑、茎段略老化	
E 型	>25	3.0~4.0	茎段 1/2 以上半木质化	培养基变黑、茎段老化	

1.2.4 茎段基部处理对根系发育的影响

将 C 型茎段基部进行机械处理,共 3 个水平(1 不处理;2 轻轻刮、仅伤及部分表皮;3 刮及木质部),然后接种在筛选出的生根培养基上。每处理接种数量、重复数、培养条件及观察同 1.2.1,进行单因子分析。

1.2.5 温度对根系发育的影响

将上述 C 型茎段接种在筛选出的生根培养基上,置于光照培养箱中,培养温度分 6 个水平(12℃,18℃,25℃,30℃,35℃,40℃)。试验共 5 个处理,每处理 20 瓶,每瓶接种 30 个茎段,3 次重复。光照强度 2 500 Lux。其它培养条件及观察同 1.2.1,进行单因子分析。

1.2.6 光照对根系发育的影响

将 C 型茎段接种在筛选出的生根培养基上,按表 3 置于不同光照条件下,试验共 5 个处理,每处理 20 瓶,每瓶接种 30 个茎段,3 次重复。温度 25℃~30℃。其它培养条件及观察同 1.2.1,进行单因子分析。

1.2.3 茎段年龄及生理状态对根系发育的影响

将年龄及生理状态不同的茎段分为 5 种类型(见表 2),分别接种在筛选出的生根培养基上,共 5 个处理,每处理接种数量、重复数、培养条件及观察同 1.2.1,进行单因子分析。

表 3		光照试验计划表								
Table 3		Management of illumination								
处理	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
光照	N800	N1200	N1500	N2000	N3000	F800	F1200	F1500	F2000	

N:自然光;F:荧光灯光源;光照强度单位:Lux

2 结果与分析

2.1 基本培养基对根系发育的影响

基本培养基对根系发育的影响结果见表 4。从表 4 可以看出:各处理的生根率都很高;开始生根的时间在 4 天左右,所选择的 3 种基本培养基对生根率、开始生根时间、单株平均根数、平均根长的影响无明显差异;适量的活性炭及抗坏血酸可缩短开始生根的时间,但是活性炭浓度过高会延长开始生根的时间、降低单株平均根数;3 种基本培养基中以 1/2 改良 H 培养基上的根系柔韧度最高,活性炭及抗坏血酸对根系柔韧度无明显影响;3 种基本培养基中 1/2 改良 H 上的基部愈伤化比例和基部褐变比例最小,其次是 White,1/2MS 培养基上基部愈伤化程度和基部褐变程度都很高,在不添加活性炭和抗坏血酸的培养基中达到 97.2% 和 98.0%;添加活性炭对降低基部愈伤化比例有明显作用,在 0~80 mg·L⁻¹ 范围内,随着浓度增大这种抑制作用加强;抗坏血酸对基部褐变的抑制作用明显,且随着浓度加大作用加强。

根据根系发育的各个数量因子和质量因子受基本培养基影响的程度和在根系发育中的贡献,对各指标值分别进行分值换算并乘上相应的权重系数,

然后相加,得出每个处理的综合评分。根据综合评分结果,5号处理得分最高,即:1/2H + 40 mg · L⁻¹活性炭 + 2.0 mg · L⁻¹抗坏血酸是最佳基本培养基配方。

对综合评分的直观分析结果是:对根系发育的影响程度基本培养基 > 活性炭 > 抗坏血酸,参照表4的直观分析结果最佳基本培养基配方也是:1/2H + 40 mg · L⁻¹活性炭 + 2.0 mg · L⁻¹抗坏血酸。

综合评分计算公式:

综合评分 = (100 ÷ 最高生根率) × 生根率 × 0.1 + (100 ÷ 开始生根时间) × 最短生根时间 × 0.1 + (100 ÷ 最多平均根数) × 平均根数 × 0.2 + (100 ÷ 最长平均根长) × 平均根长 × 0.05 + (100 ÷ 最高根系柔韧度) × 根系柔韧度 × 0.2 + (100 ÷ 基部愈伤化比例) × 最低基部愈伤比例 × 0.2 + (100 ÷ 基部褐变比例) × 最低基部褐变比例 × 0.15。

对综合评分的方差分析与直观分析一致,影响

根系发育的主次顺序为:基本培养基 > 活性炭 > 抗坏血酸,基本培养基、活性炭对根系发育的影响达到极显著水平,抗坏血酸对根系发育的影响达到显著水平(表5)。

2.2 植物生长调节剂对根系发育的影响

通过表6可以看出,与对照(处理1)相比,添加生长素对根系发育尤其是生根率有极大的促进作用。单独使用 IBA、NAA、GGR 或配合使用均得到很高的生根率,其中又以 IBA 的促进效果最佳。综合评分以单独使用 IBA1.0 可以取得最佳的根系发育效果。

从图1可以看出,生根率基本上是随着生长素浓度的升高而升高,IBA在1.0时即达到99.2%的生根率,到4.0时仍未见明显的下降趋势;GGR在2.0时达到96.9%的生根率,到4.0时也未见明显的下降趋势;NAA在2.0时达到88.6%的生根率,到4.0时出现明显的下降趋势。

表4 基本培养基对根系发育的影响
Table 4 Effect of basic culture media on root development

处理	基本培养基	活性炭 (mg · L ⁻¹)	抗坏血酸 (mg · L ⁻¹)	生根率 (%)	开始生根 时间(d)	平均根数 (条)	平均根长 (cm)	根系柔 韧度	基部愈伤化 比例(%)	基部褐变 比例(%)	综合 评分
1	1/2MS	0	0.0	95.4	4.2	3.8	1.6	1	97.2	98.0	42.97
2	1/2MS	40	1.0	98.1	3.7	5.7	2.1	3	42.6	37.2	67.03
3	1/2MS	80	2.0	97.3	4.5	3.2	1.9	3	39.1	29.2	59.38
4	1/2 改 H	0	1.0	98.9	3.8	5.4	2.0	4	52.5	21.9	71.65
5	1/2 改 H	40	2.0	99.2	3.9	6.7	2.2	5	18.4	12.4	99.35
6	1/2 改 H	80	0.0	95.2	4.9	3.6	1.7	5	17.8	67.8	74.50
7	White	0	2.0	96.2	3.7	5.1	1.8	2	72.3	22.2	60.31
8	White	40	0.0	95.8	3.9	4.8	2.0	3	42.1	91.0	60.52
9	White	80	1.0	93.9	4.6	3.1	1.6	3	27.5	32.3	61.10
K1	56.46	58.31	59.33								
K2	81.83	75.63	66.59								
K3	60.65	64.99	73.01								
R	25.37	17.32	13.68								

表5 正交方差分析表
Table 5 Analysis of variance

来源	离差平方和	自由度	平均离差平方和	F 值	F 临界值	显著性
基本培养基	1110.16	2	555.08	39.99	9.0(19.0)	**
活性炭	458.02	2	229.01	16.50	9.0(19.0)	**
抗坏血酸	281.24	2	140.62	10.13	9.0(19.0)	*
误差	27.76	2	13.88			
总和	1877.18	8			α=0.1(0.05)	

表 6
Table 6 植物生长调节剂对根系发育的影响试验结果
Effect of growth regulators on root development

处理	IBA ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NAA ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	GGR ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	生根率 (%)	开始生根 时间(d)	平均根数 (条)	平均根长 (cm)	根系 柔韧度	基部愈伤化 比例(%)	基部褐变 比例(%)	综合 评价
1	0.0	0.0	0.0	41.4	7.2	2.1	1.2	4	76.7	21.2	45.79
2	0.5			88.1	5.7	3.7	2.0	5	41.2	19.8	66.47
3	1.0			99.2	4.2	6.1	2.3	5	17.6	11.5	94.85
4	2.0			98.9	3.8	6.4	2.2	2	32.1	13.2	73.30
5	4.0			98.7	3.1	6.9	2.2	1	72.9	13.8	65.86
6		0.5		65.2	6.7	2.6	1.9	5	53.4	37.9	53.84
7		1.0		86.5	6.2	3.1	2.1	5	37.8	32.3	61.73
8		2.0		88.6	5.9	3.3	2.1	3	53.9	30.5	52.31
9		4.0		73.9	5.6	3.0	2.2	2	81.5	31.2	44.11
10			0.5	87.3	6.2	3.4	2.1	5	36.9	18.9	66.70
11			1.0	92.8	5.3	4.1	2.1	5	22.6	14.3	79.10
12			2.0	96.9	5.0	4.6	2.3	4	29.2	12.3	76.17
13			4.0	95.7	4.1	4.8	2.2	2	74.3	13.4	61.32
14	0.5	0.5		92.1	5.1	4.0	2.0	5	32.6	15.1	73.34
15	1.0	0.5		97.7	4.1	5.3	2.2	5	17.9	13.9	89.43
16	1.0	1.0		97.3	4.0	5.3	2.1	4	26.7	13.3	79.45
17	2.0	1.0		98.2	3.3	5.7	2.3	2	43.2	13.7	69.35
18	0.5		0.5	94.6	4.4	5.4	2.2	5	28.3	12.2	83.39
19	1.0		0.5	98.2	4.0	5.7	2.4	5	19.2	11.9	92.00
20	1.0		1.0	98.8	3.5	6.0	2.4	3	29.8	11.9	79.52

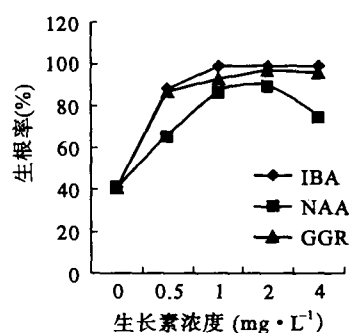


图 1 植物生长调节剂对生根率的影响

Fig. 1 Effect of growth regulators on rooting percentage

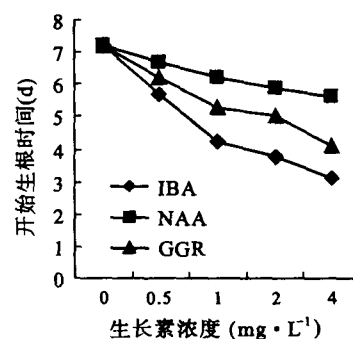


图 2 植物生长调节剂对生根时间的影响

Fig. 2 Effect of growth regulators on rooting time

从图 2 看出,随着生长素浓度的提高,开始生根的时间呈缩短的趋势;相同浓度下,3 种生长素开始生根的时间顺序为:IBA, GGR, NAA。

从图 3 看出,随着生长素浓度的提高,单株平均根数呈增多的趋势;相同浓度下,3 种生长素单株平均根数:IBA > GGR > NAA。IBA 浓度达到 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后,单株平均根数达到 6 条以上;NAA 仅 3 条左右,且浓度为 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,已出现下降趋势。

从图 4 看出,根系的柔韧度随 3 种生长素浓度变化的影响趋势基本一致,在 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 前,根系柔韧度随生长素浓度升高略有提高,到 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以后出现随生长素浓度上升柔韧度下降的趋势。

从图 5 看出,基部愈伤化比例受 3 种生长素浓

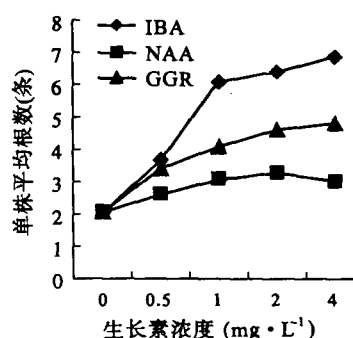


图 3 植物生长调节剂对平均根数的影响

Fig. 3 Effect of growth regulators on rooting amount

度变化的影响趋势也基本一致,在 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 前,基部愈伤化比例随生长素浓度升高而降低,到 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以后出现随生长素浓度上升而升高。

2.3 茎段年龄及生理状态对根系发育的影响

从表 7 可以看出,茎段的年龄和生理状态对根

系发育影响十分显著。A、B、C 3 种类型茎段的根系发育综合指标均十分优异,3 种类型间无明显差异。随着茎段年龄的增加和生理状态的老化,生根能力和根系质量呈现下降趋势,茎段基部愈伤化严重,褐变也急剧加重。

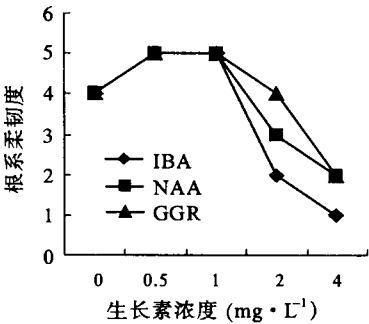


图 4 植物生长调节剂对根系柔韧度的影响

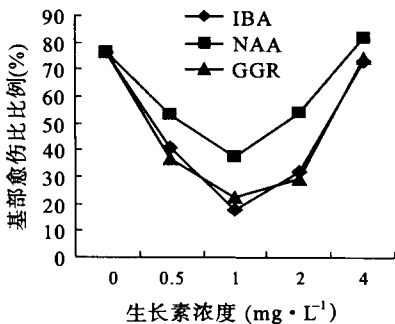


图 5 植物生长调节剂对基部愈伤化的影响

表 7 茎段类型对根系发育的影响试验结果
Table 7 Effect of shoot type on root development

茎段类型	生根率 (%)	开始生根时间(d)	平均根数 (条)	平均根长 (cm)	根系柔韧度	基部愈伤化比例 (%)	基部褐变比例 (%)	综合评价
A 型	99.4	3.5	5.6	2.0	5	14.2	10.5	95.79
B 型	99.7	3.5	6.2	2.0	5	14.6	10.8	96.62
C 型	99.3	3.6	6.8	2.3	5	17.6	11.5	94.51
D 型	88.9	3.9	4.4	2.2	5	32.1	43.2	68.11
E 型	78.7	4.4	3.1	2.2	5	73.9	87.8	55.39

2.4 茎段基部处理对根系发育的影响

同对照相比,对茎段基部进行刮伤处理对根系发育有明显的影响(表 8)。最大的影响在于适度的刮伤(仅伤及部分表皮)可极大程度地增加单株平均根数,但是当刮伤及木质部,这种促进作用消失,且会加重基部愈伤化和褐变。

2.5 温度对根系发育的影响

从表 9 可以看出,温度对根系的发育影响也十分明显。当温度低于 18°C ,生根、生根时间、平均根数、平均根长均受到严重影响,到 12°C 时根系发育已相当困难,基部愈伤化和褐变也明显加重。在

$18^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 间,根系发育随温度的升高表现出生根时间缩短、生根率提高、根数增加、根长生长加快的趋势。 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 是根系发育的最适宜温度。

2.6 光照对根系发育的影响

适度的光照对根系发育也有良好的促进作用。从表 10 看出,光强低于 800 Lux 将不利于根系发育,主要表现在生根率降低、开始生根时间延长、平均根长变短、根系柔韧度降低、基部愈伤化率增加;光强高于 $3\,000\text{ Lux}$ 同样不利于根系发育。无论是自然光还是荧光灯,光强 $1\,500\text{ Lux}\sim 2\,000\text{ Lux}$ 是最适宜桉树组培苗根系发育的光强。

表 8 茎段基部处理对根系发育的影响试验结果
Table 8 Effect of basal treatment on root development

基部处理	生根率 (%)	开始生根时间(d)	平均根数 (条)	平均根长 (cm)	根系柔韧度	基部愈伤化比例 (%)	基部褐变比例 (%)	综合评价
不处理	99.4	3.2	6.6	2.4	5	13.7	12.3	89.33
刮伤及表皮	99.7	3.0	9.2	2.8	5	11.2	12.8	99.41
刮伤及木质部	99.3	3.4	5.8	2.2	5	36.6	41.5	65.89

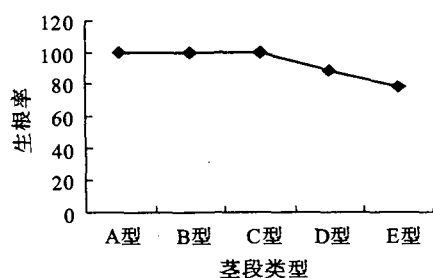


图6 茎段类型对生根率的影响

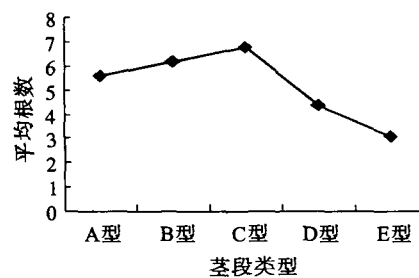


图7 茎段类型对平均根数的影响

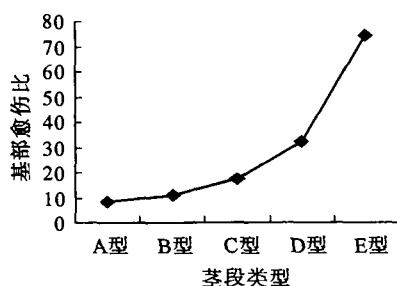


图8 茎段类型对基部愈伤化比例的影响

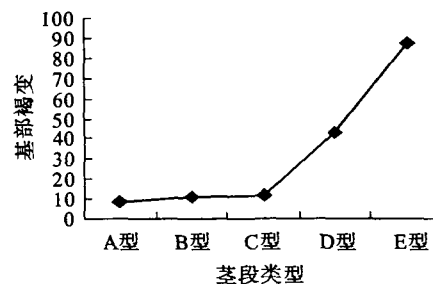


图9 茎段类型对基部褐变率的影响

表9 温度对根系发育的影响试验结果

Table 9 Effect of temperature on root development

培养温度	生根率 (%)	开始生根时间(d)	平均根数 (条)	平均根长 (cm)	根系柔韧度	基部愈伤化比例 (%)	基部褐变比例 (%)	综合评价
12℃	20.4	12.5	2.6	0.4	5	88.7	65.3	38.34
18℃	79.7	7.5	4.2	1.1	5	61.2	10.8	65.63
25℃	99.3	3.7	6.8	2.3	5	16.6	11.5	92.53
30℃	99.4	3.0	6.4	3.1	5	14.1	27.5	89.27
35℃	98.7	3.0	6.1	3.2	5	13.9	57.8	85.67
40℃	70.2	3.0	5.5	3.1	4	33.3	71.2	64.71

表10 光照对根系发育的影响试验结果

Table 10 Effect of illumination on root development

光照处理	生根率 (%)	开始生根时间(d)	平均根数 (条)	平均根长 (cm)	根系柔韧度	基部愈伤化比例 (%)	基部褐变比例 (%)	直观描述	综合评价
N800	80.4	5.8	5.2	1.2	2	58.7	25.3	根细弱,发育缓慢	49.18
N1200	96.7	4.2	6.2	2.3	5	18.8	10.8	根系较强,粗细适度	87.59
N1500	99.3	3.7	6.8	2.3	5	16.3	12.5	根系强,粗细适度	90.66
N2000	99.6	3.0	6.9	2.9	5	13.1	13.2	根系强,粗细适度	97.11
N3000	86.7	3.2	6.1	3.0	5	14.9	16.8	根系强,粗细适度	87.99
F800	78.2	6.0	5.4	1.1	2	63.3	19.2	根细弱,发育缓慢	50.91
F1200	97.2	4.4	6.0	1.9	5	19.2	11.9	根系较强,粗细适度	84.39
F1500	98.1	4.0	6.7	2.2	5	16.7	13.2	根系强,粗细适度	88.40
F2000	99.4	3.5	6.8	2.7	5	13.9	13.9	根系强,粗细适度	93.27

3 结论与讨论

3.1 桉属树种的茎段(插条)必须通过外界物

理或化学条件的刺激才能产生诱导根原基。根原基既可从皮部直接形成,也可先形成愈伤组织后再产生根原基^[3]。从皮部直接形成根原基具有生根时间短、根茎结合度高的优势,因此如何避免茎段愈伤

组织的发生、促进皮部直接生根是桉树生根研究的关键。另外,桉树的酚类物质含量高,培养材料易褐变,褐变后的醌对培养材料有毒害作用,是根系发育的一大障碍,因此如何减轻茎段基部褐变同样是桉树生根研究的关键。

3.2 基本培养基对桉树组培苗的根系发育有极显著的影响。虽然由于 DH32-29 和广林 9 号属于易生根无性系,所选择的三种基本培养基对生根率、开始生根时间、单株平均根数、平均根长的影响无明显差异,但基本培养基对质量指标的影响十分显著。与 1/2 改良 H 相比,1/2MS 和 White 引起较严重的褐变和较多的基部愈伤组织发生,对根系的发育产生障碍。因此 1/2 改良 H 培养基是 DH32-29 和广林 9 生根的最适基本培养基。改良 H 与 MS、White 相比,主要是大幅度地降低了铵态氮的比例、提高了硝态氮的比例和 K、P 的含量,这种调整有利于抑制茎段基部愈伤组织的产生,同时还有利于根系和苗木的木质化。

活性炭在培养基中主要起吸附剂的作用,可吸附培养物在培养过程中产生和分泌的物质,包括有毒害的物质如引起褐变的酚类物质等,因此适量的活性炭($40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右)可降低褐变率、减轻褐变程度,从而达到促进根系良性发育的效果。但是活性炭浓度过高时($80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)对生根产生负作用,可能是吸附了过多的促进生根的物质(如培养基中的生长素等),尤其是颗粒不够细的活性炭,在吸附了促根物质后不能均匀地分散在培养基中,沉入培养基底部,使这些物质不能与茎段良好接触,从而对生根产生不良影响。添加活性炭对降低基部愈伤化比例有明显作用,在 $0 \sim 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,随着浓度增大这种抑制作用加强,这可能是吸附了植物生长调节剂的原因。

抗坏血酸是作为抗氧化剂添入培养基的,对基部褐变的抑制作用明显,且随着浓度加大作用加强,但过多容易引起 pH 值很难调节,培养基凝固易出问题。

3.3 植物生长调节剂的种类和浓度对根系发育的影响也极其重要和显著。从试验结果看 IBA 对桉树的促根效果最佳,NAA 在生根率、生根时间、单株平均根数等指标上明显低于 IBA 的作用;GGR 属 IBA 与 NAA 的配合,其促根效果介于二者之间。

3.4 不同年龄和生理状态的茎段根系发育的表现差异极显著,主要原因是幼态且健壮的茎段具

有更强的分裂和分化能力,而衰老的茎段中积累的生根抑制物质如“巨桉酚”等也是衰老枝条根系发育不良的重要原因。

单株平均根数的多少是根系发育的一个重要指标,发达的根系是壮苗的前提。恰当的基部处理方式可以收到良好的效果,在对茎段进行修整的时候,轻轻刮破一点表皮促根效果十分明显,尤其是对根数的影响很大,经处理后的茎段,单株根数甚至达到 15 条以上,使组培瓶苗达到根多苗壮的效果。

3.5 温度是根系发育的关键因子,较高的温度对桉树组培苗根系的发生和生长是必需的, $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 是根系发育的最适宜温度。温度过低将不利于根系的发生和生长,茎段培养 10 d 以后,如根系发育不良,即使是在低温条件下也容易出现较严重的愈伤化和褐变,使这些茎段的根系发育更困难。

3.6 桉树的根系发育是一个喜光过程,一定强度的光($1\,200 \text{ Lux} \sim 2\,000 \text{ Lux}$)是桉树组培苗的根系发育的必要条件,尤其是自然光的效果更好,在获得良好的根系发育的同时茎叶的发育也很健壮,采用自然光培养是培育壮苗的关键措施。

3.7 影响桉树组培苗根系发育的因子还很多,大到不同的树种、不同的无性系及其内在因子诸如解剖学因素、生根抑制物、内源激素水平、相关酶水平等^[2~7],小到药品的品牌(主要影响到药品的纯度、活性)等都会对根系的发育产生各自的影响。对各个影响因子及其影响规律的研究将有效地提高桉树组织培养研究和生产的水平。

参考文献:

- [1] 祁述雄,主编.中国桉树(第2版)[M].北京:中国林业出版社,2002,104~173.
- [2] 欧阳磊,邓恩桉组培生根影响因子的研究[J].福建林学院学报,2006,26(1):78~82.
- [3] 朱 鹏,徐建民.桉树扦插繁殖生根内在因素影响研究综述[J].广西林业科学,2007年6月,第36卷第2期:71~74.
- [4] 陈江平.不同植物生长素对桉树不同无性系组培生根影响的试验[J].广西林业科学,2003,(1).
- [5] 黄卓烈,李 明,等.蔡乙酸处理桉树插条后过氧化物酶活性和同工酶变化与插条生根的关系[J].植物研究,2002,22(3):296~300.
- [6] 许方宏,方 良,等.影响桉树插穗生根的几个因素研究[J].广东林业科技,2003,19(1):6~9.
- [7] 刘卫东,万朝琨,等.桉树扦插生根的解剖学研究[J].中南林学院学报,1997,17(4):32~36.