

‘金皇后’变叶木的组培快繁技术研究

韦爱玉, 许颖妍, 杨柠曳, 姜琳, 胡计红, 杨惠婷, 蔡灿军, 陈建军,
陈桂信*, 潘东明*

福建农林大学园艺产品贮运保鲜研究所, 福建福州 350002

摘要 以变叶木‘金皇后’的顶芽和带腋芽茎段为外植体进行离体快繁研究, 建立‘金皇后’的离体快繁研究体系, 为‘金皇后’的工厂化生产提供理论依据和技术支撑。结果表明: 外植体表面消毒的最适条件为 75%酒精消毒 30 s 后再用 0.1%升汞消毒 10 min, 消毒后的污染率为 22.63%, 成活率最高达 72.77%。最适初代培养基为 MS+6-BA 2.0 mg/L+IBA 0.2 mg/L, 有效不定芽数可达 3.75。最适继代增殖培养基为 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L, 增殖系数达 10.77。最适生根培养基为 1/2MS+IBA 1.5 mg/L, 生根率达 100%。最适的移栽基质为泥炭土+沙+蛭石(3:1:1), 成活率达 90%。

关键词 变叶木属; 变叶木‘金皇后’; 离体快繁

中图分类号 Q813.1 文献标识码 A

In Vitro Propagation of *Codiaeum variegatum* ‘Golden Queen’

WEI Aiyu, XU Yingyan, YANG Ningye, JIANG Lin, HU Jihong, YANG Huiting, CAI Canjun,
CHEN Jianjun, CHEN Guixin*, PAN Dongming*

Institution of Postharvest Science and Technology of Horticultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China

Abstract Rapid propagation *in vitro* of *Codiaeum variegatum* ‘Golden Queen’ was studied using apical buds and stem segments with axillary buds as the explants. Establish a research system for the rapid growth of the ‘Golden Queen’ to provide theoretical basis and technical support for the factory production of the ‘Golden Queen’. The optimum conditions for the surface disinfection of the explants was disinfected first by 75% of alcohol for 30 s and then by 0.1% mercuric chloride for 10 min, which resulted in a pollution rate of 25.2% and a high survival rate of 72.77%. The best primary culture medium was MS+6-BA 2.0 mg/L+IBA 0.2 mg/L, on which the bud induction rate was 3.75. The best medium for proliferation was MS+6-BA 1.0 mg/L+ NAA0.2 mg/L, on which the proliferation coefficient was 10.77. The most suitable medium for rooting was 1/2MS+ IBA 1.5 mg/L, on which the rooting rate reached 100%. The optimum medium for transplanting the *in vitro* seedlings was peat, sand, and vermiculite at the ratio 3:1:1, respectively, on which the survival rate was 90%.

Keywords *Codiaeum*; *Codiaeum variegatum* ‘Golden queen’; rapid propagation *in vitro*

DOI 10.3969/j.issn.1000-2561.2019.04.015

变叶木[*Codiaeum variegatum* (L.) A. Juss.]是大戟科变叶木属的多年生常绿阔叶灌木, 原产于热带地区的马来半岛和大洋洲。变叶木叶形独特,

伴有各色斑点、线条和斑块, 观赏价值较高, 广泛应用于园林造景和庭院观赏^[1-3]。目前变叶木的主要繁殖方式为扦插、压条和播种^[4]。扦插和压

收稿日期 2018-07-28; 修回日期 2019-01-22

基金项目 福建省林业科学研究项目 (No. H2014020); 福建省高原学科建设项目 (No. 102/71201801101)。

作者简介 韦爱玉 (1992—), 女, 硕士, 研究方向: 花卉与景观园艺。*通信作者 (Corresponding author): 陈桂信 (CHEN Guixin), E-mail: guixinchen@126.com; 潘东明 (PAN Dongming), E-mail: pdm666@126.com。

条繁殖存在所需材料多、对母株伤害大、生根困难、繁殖速度慢、繁殖系数低、对外界环境要求高等问题,无法满足市场需求,制约了变叶木种苗的商品化、规模化和产业化生产。组培快繁技术具有所需繁殖材料少、繁殖系数高、能保持母株的优良特性、不受季节限制等优点,适用于观赏植物的规模化、商品化生产,是现代观赏植物良种繁育的主要方式之一^[5]。1984年谭文澄等^[1]在国内率先对变叶木‘洒金柳’进行了组培快繁研究,发现6-BA(6-苄氨基腺嘌呤)用于初代侧芽诱导时的浓度为1~2 mg/L,继代增殖时浓度为2~3 mg/L时可获得大量的增殖芽;周祖富等^[6]、蔡明等^[7]和李玉巧等^[8]以茎尖、茎段和侧芽为试材先后对变叶木‘洒金榕’进行组培快繁研究,朱艳等^[9]用正交实验法研究了不同生长调节剂对琴叶变叶木叶片愈伤组织诱导的影响,陈建军等^[10-11]的研究侧重于对变叶木体细胞胚胎方面的诱导。

本研究以变叶木‘金皇后’的带腋芽茎段为外植体,研究了灭菌方式、不同培养基以及植物生长调节剂种类和浓度对组培苗诱导、增殖和生根培养的影响,初步建立了该品种的快繁体系,为完善变叶木大规模组培生产提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

变叶木‘金皇后’植株购自福州市建新花卉市场,移植到福建农林大学科技园12栋14号温室内,喷施100倍多菌灵溶液30 d后,剪取木质化枝梢作为试验材料。

1.2 方法

1.2.1 外植体表面灭菌处理及培养 将剪取的‘金皇后’枝梢去叶,用5%的雕牌洗衣粉溶液浸泡30 min,然后用流水冲洗1 h。在超净工作台中进行以下消毒处理:75%酒精浸泡消毒时间分别设为10、20、30 s 3个处理,然后用无菌水冲洗3次,接着用0.1%升汞消毒处理,处理时间设为8、10、15 min(处理过程中加入2~3滴的吐温20,期间不断地摇动)。消毒完成后用无菌水冲洗5次,然后用滤纸吸干插穗表面水分备用。

外植体基部切掉约0.5 cm,顶芽和带腋芽茎段接种于MS+6-BA 0.5 mg/L+IBA 0.5 mg/L培养基中^[12]。上述每个处理接种45瓶,每瓶接种1个外植体,3次重复。培养基中添加蔗糖30 g/L、

琼脂6 g/L,调节pH至5.8~6.0。培养条件:温度(25±2)℃、光照强度2000 lx、光照时间16 h/d(以下培养条件同)。接种10 d后,观察外植体污染情况。30 d后观察外植体的生长发育情况,统计污染率、枯死率和成活率。

$$\text{污染率} = \text{污染数} / \text{接种数} \times 100\%$$

$$\text{枯死率} = \text{枯死数} / \text{接种数} \times 100\%$$

$$\text{成活率} = \text{消毒成功并萌芽的茎段数} / \text{接种数} \times 100\%$$

1.2.2 初代培养 剪取经过最佳消毒组合处理的茎尖和带腋芽茎段,接种至不同浓度的6-BA(0.5、1.0、1.5、2.0 mg/L)和IBA(吲哚丁酸)(0.1、0.2、0.5 mg/L)组合的MS培养基中;每个生长调节剂组合接种45瓶,每瓶接种2个外植体,重复3次,接种后30 d记录诱导芽生长状况,并统计有效芽数。

$$\text{平均有效芽数} = \text{诱导的芽数} / \text{接种的芽数}$$

1.2.3 继代增殖 将初代培养获得的同一批次长势相近的嫩芽切下,分别接种于WPM/MS/ER和6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.2 mg/L^[12]的培养基上;并以最佳基本培养基获得的同一批次长势相近组培苗为材料,接入6-BA(1、1.5、2 mg/L),NAA(萘乙酸)和IBA 0.2 mg/L为植物生长调节剂组合的培养基中;每种培养基接种10瓶,每瓶接种2个组培苗,重复3次,接种后每隔10 d观察芽或顶端生长情况,30 d后统计芽诱导情况,计算增殖系数,测量株高、叶宽,40 d为一个继代周期。

$$\text{增殖系数} = \text{新增芽数} / \text{接种数}$$

$$\text{平均株高} = \text{总株高} / \text{总株数}$$

$$\text{平均叶宽} = \text{总叶宽} / \text{总株数}$$

1.2.4 生根培养 将增殖培养获得的同一批次长势相近高约1~2 cm的苗切下,接种在以1/2MS为基本培养基和不同浓度的NAA和IBA(0.5、1.0、1.5、2.0 mg/L)为组合的培养基上;每个组合接种10瓶,每瓶接种1个组培苗,重复3次,接种10 d后,观察无根苗的生长情况,接种30 d后,统计生根率、平均根长、根数。

$$\text{生根率} = \text{生根数} / \text{接种数} \times 100\%$$

$$\text{平均根长} = \text{总根长} / \text{总根数}$$

$$\text{平均根数} = \text{总根数} / \text{总苗数}$$

1.2.5 炼苗与移栽 在5月初,将同一生根诱导处理,长势健壮的生根苗,连同培养瓶转移到室外[温度(25±3)℃],开瓶盖炼苗,瓶中注约10 mL

的无菌水。3 d 后, 从培养瓶中取出生根苗, 洗去根部培养基, 移植到泥炭土、沙和蛭石不同配比组合的基质中, 每种组合基质移植 50 株, 移栽苗置于室外拱形棚中, 早晚浇水, 移栽后 30 d 观察植株的生长情况, 统计成活率。

$$\text{成活率} = \text{成活苗} / \text{移栽苗} \times 100\%$$

1.3 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件将试验所获得的数据进行方差分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 外植体表面消毒

由表 1 可见, 随着升汞和酒精的处理时间的延长, 污染率和芽的诱导率均呈下降趋势, 而枯死率则呈上升趋势, 当 0.1% 升汞消毒时间为

8 min 时, 污染率较高, 均高于 50%; 当消毒时间为 12 min 时, 虽然污染率较低, 但枯死率升高, 成活率下降; 其中以 75% 酒精消毒 30 s 再辅以 0.1% 升汞消毒 10 min 的组合消毒效果最好, 污染率可降至 22.63%, 成活率可达 72.77%。

2.2 植物生长调节剂对初代诱导效果的影响

消毒过的茎段、茎尖外植体在培养基上培养 10 d 后, 可见腋芽处萌出黄绿色小芽点, 叶柄脱落; 20 d 后萌生的腋芽长度为 0.5 cm; 30 d 后腋芽大量萌发。如表 2 所示, 植物生长调节剂对诱导丛生芽影响较大, 低浓度的 6-BA (<2.0 mg/L) 和 IBA 的培养基组合, 容易诱导出愈伤组织, 但丛生芽诱导率低, 芽点萌生慢, 平均诱导有效芽数仅为 1.63。通过方差分析发现, 当 6-BA 浓度为 2 mg/L, IBA 浓度为 0.2 mg/L 时, 平均有效芽

表 1 不同消毒方法对初代培养效果的影响

Tab. 1 Effect of different disinfection methods on survival rate of primary culture

编号 No.	酒精消毒时间 Alcohol treatment time/s	升汞消毒时间 Mercuric chloride treatment time/min	污染率 Pollution rate/%	枯死率 Dead rate/%	成活率 Survival rate/%
1	10	8	61.53	0.00	38.47
2	20	8	57.34	0.00	42.66
3	30	8	52.60	0.00	47.40
4	10	10	37.50	1.11	61.39
5	20	10	25.80	3.50	70.70
6	30	10	22.63	4.60	72.77
7	10	12	16.67	14.10	69.23
8	20	12	7.00	20.00	68.90
9	30	12	3.00	47.00	50.00

表 2 植物生长调节剂对初代诱导效果的影响

Tab. 2 Effects of plant growth regulators on the induction of buds on the primary generation

编号 No.	6-BA/(mg·L ⁻¹)	IBA/(mg·L ⁻¹)	平均有效芽数 Average effective bud number	生长状况 Growth state
1	0.5	0.1	0.79±0.044 ^{gG}	芽点弱, 叶黄绿色, 部分枯死
2	0.5	0.2	1.37±0.026 ^{fFED}	顶芽萌生, 叶黄绿色, 诱导率低且慢
3	0.5	0.5	0.86±0.066 ^{gGF}	部分有愈伤组织产生, 芽弱, 叶嫩绿
4	1.0	0.1	1.28±0.23 ^{fGFE}	腋芽萌生, 芽点黄绿色, 外植体部分枯萎
5	1.0	0.2	1.60±0.22 ^{fDE}	部分有愈伤组织产生, 芽点嫩绿、瘦弱
6	1.0	0.5	1.84±0.25 ^{deCD}	基部有少量深绿色愈伤组织, 有效芽少、细弱
7	1.5	0.1	2.15±0.17 ^{cdCD}	芽点黄绿, 基部黄化
8	1.5	0.2	2.33±0.03 ^{bcBC}	部分产生愈伤组织, 叶片黄绿色
9	1.5	0.5	2.50±0.23 ^{bcB}	基部有深绿色愈伤组织, 叶黄绿色, 有效芽少
10	2.0	0.1	2.67±0.48 ^{bb}	顶芽、腋芽萌生, 芽长势一般
11	2.0	0.2	3.75±0.33 ^{aA}	产生少量愈伤组织, 芽点多, 叶绿, 新芽健壮
12	2.0	0.5	2.20±0.20 ^{cdBC}	基部有少量深绿色愈伤组织, 有效芽

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level, and different uppercase letters indicate extremely significant difference at the 0.01 level.

数显著升高 ($P<0.05$, $P<0.01$), 达 3.75 个, 且叶绿、新芽健壮。

2.3 不同种类基本培养基对继代增殖的影响

如表 3 所示, 培养基种类会对继代增殖产生影响。继代在 WPM 与 MS 培养基上培养时, 以腋芽增殖为主要分生方式。以 WPM 为基本培养基的组培苗叶片呈嫩绿色、细长状, 增殖芽细小, 节间长, 有愈伤组织产生。以 MS 为基本培养基的组培苗叶片呈绿色, 增殖芽健壮, 节

间适中。以 ER 为基本培养基的组培苗, 茎尖叶色黄绿, 增殖芽细小, 节间较长 (图 1)。方差分析结果显示, 组培苗增殖系数在不同基本培养基上不同, 在 MS 培养基上时, 增殖系数比 ER、WPM 上高, 且差异极显著 ($P<0.01$), 组培苗高度以在 ER 培养基上最高, 且显著高于其他 2 种培养基 ($P<0.05$)。MS 培养基上组培苗的叶片宽度最宽, 显著宽于 ER、WPM 培养基 ($P<0.05$)。

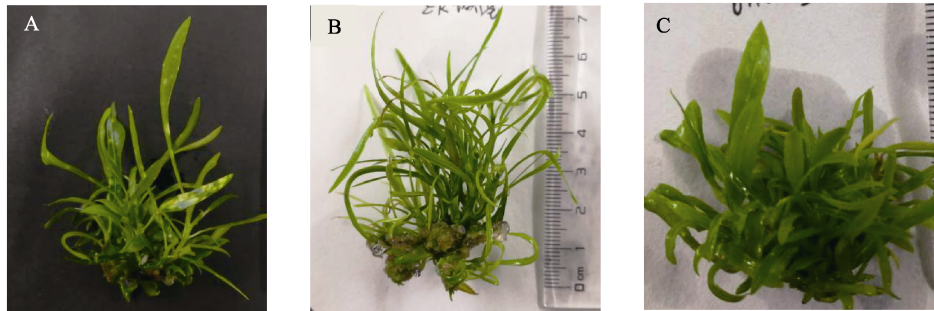
表 3 不同种类基本培养基对继代增殖的影响

Tab. 3 Effects of different basic media on subculture proliferation

培养基 Culture medium	增殖方式 Proliferation mode	增殖系数 Proliferation coefficient	株高 Plant height/cm	叶宽 Leaf width/cm	生长状况 Growth state
ER	腋芽增殖	5.06±2.27 ^{bb}	1.20±0.037 ^{aA}	0.18±0.04 ^{ba}	芽细小, 节间长, 茎尖叶黄绿
WPM	腋芽增殖	4.33±0.58 ^{bb}	0.96±0.15 ^{ba}	0.23±0.02 ^{ba}	芽细小, 节间长, 叶细长、嫩绿
MS	侧芽增殖	10.77±0.25 ^{aA}	0.94±0.14 ^{ba}	0.31±0.01 ^{aA}	芽健壮, 节间适中, 叶绿

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level, and uppercase letters indicate extremely significant difference at the 0.01 level.



A: WPM+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 上产生的丛生芽; B: ER+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 上产生的丛生芽;

C: MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 上产生的丛生芽。

A: Clustered shoots proliferating on WPM+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L; B: Clustered shoots proliferating on ER+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L; C: Clustered shoots proliferating on MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L.

图 1 ‘金皇后’ 组培苗在不同种类基本培养基上的生长情况

Fig. 1 Growth of *Codiaeum variegatum* ‘Golden Queen’ on different basic media

2.4 不同植物生长调节剂组合对继代增殖的影响

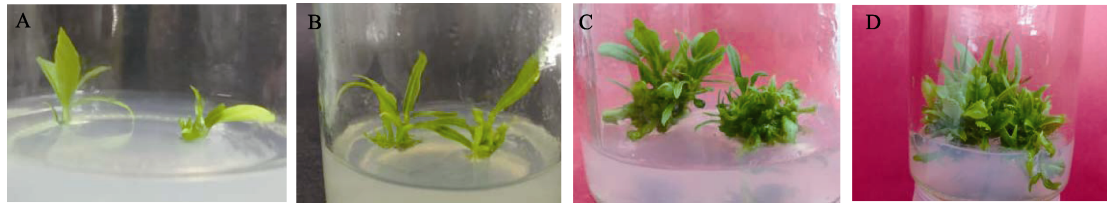
以 MS 为基本培养基时, 不同种类和浓度的生长调节剂组合对组培苗增殖系数、株高、叶长具有显著影响 (图 2C, 图 2D), 以 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 培养基上的不定芽诱导效果为最优, 诱导的丛生芽叶片浓绿, 芽苗健壮。

由表 4 可见, 不同处理组合间在增殖系数、芽苗株高和叶长等指标上, 有显著性或极显著差异 ($P<0.05$, $P<0.01$)。当 NAA 浓度为 0.2 mg/L 或当 IBA 浓度为 0.2 mg/L 时, 随着 6-BA 浓度的

升高, 组培苗增殖系数、芽苗株高和叶片长度反而下降, 且芽苗质量下降, 叶片出现黄化现象。其中以 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 培养基上的组培苗增殖生长最好, 增殖系数为 10.77, 因此最适合作为继代增殖培养组合。

2.5 不同浓度的生长调节剂对生根的影响

接种 15 d 后, IBA 处理组合发生不定根, IBA 浓度为 0.5 mg/L 时诱导的不定根最长, 约为 1.0 cm (图 3B)。在 NAA 处理的组合均出现愈伤组织, 根萌发少且短小, 伴有大量愈伤组织以及棉絮块状物 (图 3A)。由表 5 可知, IBA 与 NAA 处理间的生根率具有显著 ($P<0.05$) 或极显著



A: 组培苗在培养基 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 上 10 d; B: 组培苗在培养基 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 上 20 d;
C: 组培苗在 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L 培养基上 30 d; D: 组培苗在 MS+6-BA 1.0 mg/L+ NAA 0.2 mg/L 培养基上 60 d。
A: Tissue culture seedling cultured in medium MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L for 10 d; B: Tissue culture seedling cultured in medium MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L for 20 d; C: Tissue culture seedling cultured in medium MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L for 30 d; D: Tissue culture seedling cultured in medium MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L for 60 d.

图 2 ‘金皇后’丛生芽增殖的过程

Fig. 2 Four different proliferating stages of *Codiaeum variegatum* ‘Golden Queen’

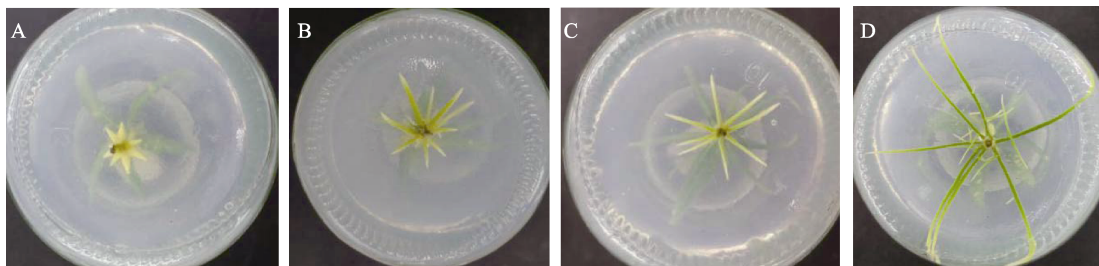
表 4 不同植物生长调节剂组合对继代增殖的影响

Tab. 4 Effect of different hormone combinations on subculture multiplication

编号 No.	6-BA/ (mg·L ⁻¹)	NAA/ (mg·L ⁻¹)	IBA/ (mg·L ⁻¹)	增殖系数 Proliferation coefficient	株高均值 Mean value of plant height/cm	生长状况 Growth state
1	1.0	0.2	0.0	10.77±0.25 ^{aA}	0.94±0.14 ^{aA}	叶深绿, 长势良好, 丛生芽多, 密
2	1.0	0.0	0.2	10.47±2.70 ^{aA}	0.85±0.07 ^{abAB}	叶绿, 长势较好
3	1.5	0.2	0.0	6.39±0.34 ^{bb}	0.65±0.05 ^{bcBC}	叶色偏黄, 长势较差, 芽分化少
4	1.5	0.0	0.2	6.50±0.50 ^{bb}	0.60±0.10 ^{bcC}	叶色偏黄, 叶片卷曲, 长势较差
5	2.0	0.2	0.0	8.50±0.50 ^{abAB}	1.00±0.11 ^{aABC}	叶色偏黄, 长势一般
6	2.0	0.0	0.2	6.83±0.76 ^{bb}	0.58±0.10 ^{cC}	叶色嫩绿, 长势较差

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level, and different uppercase letters indicate extremely significant difference at the 0.01 level.



A: 无根苗在 1/2MS+NAA 1.5 mg/L 培养基上生根培养 15 d; B: 无根苗在 1/2MS+IBA 1.5 mg/L 培养基上生根培养 15 d;
C: 无根苗在 1/2MS+ NAA 1.5 mg/L 培养基上生根培养 30 d; D: 无根苗在 1/2MS+IBA 1.5 mg/L 培养基上生根培养 30 d。
A: Rootless seedlings were rooted on 1/2MS+NAA 1.5 mg/L medium for 15 d; B: Rootless seedlings were rooted on 1/2MS+IBA 1.5 mg/L medium for 15 d; C: Rootless seedlings were rooted on 1/2MS+NAA 1.5 mg/L medium for 30 d; D: Rootless seedlings were rooted on 1/2MS+IBA 1.5 mg/L medium for 30 d.

图 3 无根苗在培养基 1/2MS+NAA 1.5 mg/L 和 1/2MS+IBA 1.5 mg/L 上的生根效果

Fig. 3 Rooting effect of rootless explants in medium 1/2MS+ NAA 1.5 mg/L and 1/2MS+ IBA 1.5 mg/L

($P < 0.01$) 差异, IBA 处理组合的生根率高于 NAA 处理组合。当 IBA 浓度为 0.5、1.5 mg/L 时, 生根率可达 100%。当 IBA 浓度为 1.5 mg/L 时, 无根苗平均根数、根长指标最高, 此时根诱导率达 100%, 平均根数为 8, 平均根长为 2.83 cm, 在 $P < 0.01$ 水平上极显著高于其他处理。

2.6 不同基质对组培苗移栽炼苗的影响

从表 6 可见, 3 号基质组合移栽成活率最高, 移栽的 50 瓶生根苗中, 有 45 株成活, 成活率可

达 90%, 生长状况好, 叶色绿, 生根苗长势壮。以 3 号基质配比 (泥炭土+沙+蛭石, 比例 3:1:1) 作为 ‘金皇后’ 移栽基质最佳。

3 讨论

外植体的消毒成活率受消毒剂处理时间影响较大。用相同时间的酒精处理消毒后, 外植体的污染率随着升汞处理时间的增加呈不断下降趋势, 不过消毒后成活率随着升汞处理时间的增加

表 5 不同浓度的生长调节剂下的生根效果
Tab. 5 Effect of different concentration of IBA or NAA on Rooting

编号 No.	IBA (mg·L ⁻¹)	NAA (mg·L ⁻¹)	生根率 Rooting rate/%	根数均值 Average root number	根长均值 Average root length/cm	生长状况 Growth state
1	0.5	0.0	100.00±0.00 ^{aA}	5.33±0.76 ^{bB}	2.07±0.25 ^{bB}	愈伤组织较少, 根细长
2	1.0	0.0	84.33±4.04 ^{bB}	6.00±0.62 ^{bB}	2.10±0.10 ^{bB}	断根状, 有脱叶, 根部褐化, 根细
3	1.5	0.0	100.00±0.00 ^{aA}	8.00±0.50 ^{aA}	2.83±0.15 ^{aA}	愈伤组织较少, 根壮
4	2.0	0.0	74.67±9.30 ^{cC}	7.28±0.25 ^{aA}	1.77±0.21 ^{bcB}	少量有棉絮状块体、产生愈伤组织, 短粗
5	0.0	0.5	77.33±9.29 ^{bcB}	5.17±0.76 ^{bB}	1.40±0.20 ^{cdCD}	断根状, 棉絮块体, 有愈伤组织, 根细短
6	0.0	1.0	44.00±1.00 ^{dC}	2.97±0.45 ^{cC}	1.13±0.20 ^{dD}	断根状, 部分脱叶, 根多、细短
7	0.0	1.5	31.33±3.21 ^{eD}	2.04±0.27 ^{dCD}	1.33±0.31 ^{dCD}	无根尖, 有断根, 褐化, 根细
8	0.0	2.0	17.33±2.52 ^{eE}	1.07±0.15 ^{eD}	1.70±0.21 ^{dD}	脱叶严重, 根细

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significance at the 0.05 level, and uppercase letters indicate extremely significance at the 0.01 level.

表 6 基质种类和配比对生根苗移栽的影响
Tab. 6 Effects of substrate types and ratios on transplanting rooting seedlings

编号 No.	泥炭土 Peat soil	沙 Sand	蛭石 Vermiculite	成活率 Survival ratio/%	生长状况 Growth state
1	1	1	1	60.0	长势差, 叶片脱落
2	0	1	1	88.0	长势较好, 叶色偏黄
3	3	1	1	90.0	长势良好, 叶绿

呈先上升后下降的趋势^[13]。顶芽或腋芽再生是木本观赏植物离体再生的主要途径^[14], 本研究中采用茎尖和茎段作外植体, 与李文安^[15]、谭文澄等^[1]研究对变叶木取材部位一致。

基本培养基种类对组培苗的增殖有重要影响。陈正华^[16]发现在 97 种木本植物中, 70 种适合使用 MS 作为增殖培养的基本培养基。通过比较 3 种基本培养基的组分发现, MS 培养基中硝酸铵、硫酸钾、氯化钙和磷酸二氢钾等大量元素均高于 WPM 和 ER 培养基, 所含的微量元素均大于 WPM 与 ER。这表明 ‘金皇后’ 的继代增殖生长在以 MS 为基础培养基上较好可能与 MS 基本培养基中的无机盐、氮含量较高有关, 为苗提供所需营养物质, 从而加速其生长^[17-18]。

外源激素通过改变内源激素的平衡而产生作用, 而植物器官分化的倾向取决于内源激素的平衡, 其中细胞分裂素能促进植物内激素的合成^[19], 芽的诱导和发育与内源激素的增加有关^[20]。本研究发现 ‘金皇后’ 初代诱导过程中较高浓度的 6-BA 有利于不定芽的诱导, 但在继代增殖阶段, 6-BA 的浓度越高越不利于组培苗丛生芽的诱导。

据报道, 6-BA 浓度过高对组培苗的增殖生长起抑制作用^[21-24], 浓度选用范围一般在 1.0~5.0 mg/L 之间^[8], 初代培养以高浓度的 6-BA 和低浓度的 NAA 组合可直接诱导外植体产生不定芽^[25], 继代增殖中低浓度的 6-BA 和 NAA 组合, 丛生芽状态更佳^[26-30], 研究还表明 NAA 的浓度宜控制在 0.1~0.2 mg/L 之间^[8, 31-33], 避免高浓度的 NAA 使增殖苗基部产生大量的愈伤组织^[34]。

生长素能够有效的促进组培苗的生根^[35-36], IBA 的生根效果优于 NAA。IBA 诱导产生的根较长、生长快, 且不定根直接来源于茎, 根茎之间连接紧密, 有利于植株扩大养分与水分的吸收范围。NAA 诱导的根短而粗, 根系吸收养分范围较小, 不定根表面愈伤组织化严重, 与茎之间有较大块的愈伤组织连接, 在移栽时容易脱落、腐烂死苗, 不利于试管苗的成活^[9, 37]。王丽娟等^[38]的研究也说明 IBA 有较好促进生根的作用且根的进一步生长较正常, 移栽成活高。

在变叶木 ‘金皇后’ 的移栽炼苗过程中, 发现移栽成活率最高的基质组合是 (泥炭土+蛭石+沙, 比例 3:1:1)。泥炭土保水性、透气性较好, 富含各类营养元素^[39], 蛭石具有调节土壤 pH 的作用^[40], 珍珠岩因排水快能改善土壤透气条件^[41]。混合后的土壤孔隙度、持水量及土壤 pH 等条件比较适合 ‘金皇后’ 生根苗的生长。

‘金皇后’ 属阔叶类变叶木, 叶上有金黄色斑点, 形态美观、不易脱叶, 极具观赏性, 目前是我国的主栽品种之一。对 ‘金皇后’ 的组培快繁研究为其工厂规模化生产打下了基础, 具有较大的应用价值。

参考文献

- [1] 谭文澄, 戴策刚. 观赏植物组织培养技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [2] 吴裕. 变叶木品种和应用简介[J]. 云南热作科技, 2002, 25(4): 53-54.
- [3] 周肇基. 千姿百态的变叶木[J]. 花卉园艺, 2005(6): 43-45.
- [4] 杨全喜. 北方变叶木的繁殖与越冬[J]. 花木盆景, 2000(2): 9-10.
- [5] 李青林, 邹永田, 刘广林, 等. 木本观赏植物组织培养技术[J]. 河北农业科学, 2010, 14(6): 38-41.
- [6] 周祖富, 程仕品. 洒金榕茎段的组织培养[J]. 广西农学院学报, 1988(4): 89.
- [7] 蔡明, 李树贵. 变叶木的组织培养与快繁[J]. 西南园艺, 2001, 29(1): 59.
- [8] 李玉巧, 朱鹿鸣. 变叶木叶片的组织培养与植株再生[J]. 林业科技通讯, 1991(2): 14-16.
- [9] 朱艳, 秦民坚. 正交设计法在变叶木组织培养中的应用[J]. 中国野生植物资源, 2001, 20(6): 48-49.
- [10] Deng M, Chen J. Genetic relationships of *Codiaeum variegatum* cultivars analyzed by amplified fragment length polymorphism markers[J]. HortScience, 2010, 45(6): 868-874.
- [11] Deng M, Chen J. Chromosome number and karyotype variation in *Codiaeum variegatum* cultivars[J]. HortScience, 2010, 45(4): 538-540.
- [12] 王育选, 于娜. 变叶木组织快繁技术研究[J]. 现代农业科学, 2008, 15(3): 34-36.
- [13] 闫海霞, 蒋月喜. 月季‘卡罗拉’的组培快繁技术[J]. 热带作物学报, 2016, 37(9): 1741-1746.
- [14] 马燕. 木本观赏植物组织培养研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4): 1956-1958.
- [15] 李文安, 傅婉华. 变叶木的快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 1991, 4(26): 293.
- [16] 陈正华. 木本植物组织培养及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986.
- [17] 唐星. 云锦杜鹃无性繁殖技术研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [18] 修景润. 培养基种类、BA浓度和蔗糖浓度对春石斛组培苗增殖的影响[J]. 北方园艺, 2012(12): 143-145.
- [19] Sarul P, Iahova M, Ivanova A. A direct shoot formation inspontaneously occurring root pseudonodules of alfalfa (*Medicago sativa* L.)[J]. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 1995, 31(1): 21-25.
- [20] Gilmar R, Zaffari G B, Kerbauy J E. Hormonal and histological studies related to *in vitro* banana bud formation[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2000, 63(3): 187-192.
- [21] 陈锋. 臭椿组培快繁技术体系的建立[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [22] 谢利娟, 韩蕾. 爆竹竹组培快繁 6-BA 与 NAA 组合浓度配比优化分析[J]. 核农学报, 2005, 19(3): 181-185.
- [23] 敖敦. 沙柳组培快繁和再生体系建立的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [24] 李晓琳, 陈丽. 6-BA、NAA 对彩色马蹄莲不定芽分化和生根的影响[J]. 河南农业, 2008(6): 38-39.
- [25] 仝爱群. 桑树组培快繁技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [26] 崔松, 张文达, 李晶, 等. 西伯利亚花楸组织培养关键技术的研究[J]. 中国林副特产, 2010(4): 12-13.
- [27] 马杰, 崔波, 张先云, 等. 欧洲花楸茎段植株再生繁育技术[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 52-53.
- [28] 韩文忠, 马兴华. 欧洲花楸组织培养与快速繁殖试验研究[J]. 中国林副特产, 2006(3): 21-22.
- [29] 梁珍海, 刘根林, 蒋泽平, 等. 大叶冬青外植体的愈伤组织诱导与不定芽再生[J]. 南京林业大学学报, 2003, 27(6): 51-54.
- [30] 王珂. 四种紫薇属植物快繁与再生体系的建立[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [31] 王光萍, 黄敏仁. 日本平安竹的组织培养及快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(1): 47.
- [32] 龚霄雯. 红叶石楠‘红罗宾’组织培养再生体系的建立和优化[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [33] Munshi M K, Lhakim M R. *In vitro* clonal propagation of banyan (*Ficus benghalensis* L.) through axillary bud culture[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2004, 6(2): 321-323.
- [34] 周健, 王丽鸳. 茶树组培快繁技术的优化研究[J]. 茶叶科学, 2005, 25(3): 172-176.
- [35] 陈毅. 蓝雪花(*Plumbago auriculata*)植物组织培养技术研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [36] 程家胜. 植物组织培养与工厂化育苗技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2003.
- [37] 王喆之, 胡正海. IAA, IBA, NAA 和 2, 4-D 对槐树试管苗生根的影响[J]. 陕西师范大学学报, 1997, 25(2): 57-59.
- [38] 王丽娟, 田京伟, 杨建雄, 等. 植物组织培养的研究进展[J]. 运城高等专科学校学报, 1999, 17(3): 8-11.
- [39] Chirion E, Vilagrosa A, Vallejo V R, et al. Using hyrogel and clay to improve the status of seedlings for dryland restoration[J]. Plant and Soil, 2011, 344(1-2): 99-110.
- [40] 曾长立. 有机生态栽培基质配比对辣椒产量及品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(3): 263-277.
- [41] 周鹏. 不同基质对花叶玉簪组培苗移栽生长的影响[J]. 林业科技开发, 2014, 28(4): 76-79.