

木棉高效组织培养繁殖技术

林 妃^{1,2}, 康 勇¹, MUHAMMAD Dawood³, 周晨冉⁴, 李亚梅¹, 郭玉华¹,
尹俊梅^{1,5*}

1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业农村部华南作物基因资源与种质创制重点实验室/海南省热带观赏植物种质创新利用工程技术研究中心, 海南海口 571101; 2. 中国热带农业科学院海口实验站, 海南海口 571101; 3. 木尔坦扎卡里亚大学环境科学系, 巴基斯坦旁遮普省 60800; 4. 云南农业大学, 云南普洱 665000; 5. 中国热带农业科学院三亚研究院, 海南三亚 572024

摘 要: 木棉是木棉科木棉属落叶乔木植物, 是我国南方重要的观赏植物, 是广州市和攀枝花市的市花, 不仅具有较高的观赏价值, 还具有较高的经济价值、药用价值和食用价值。木棉传统的繁殖方式为播种和嫁接繁殖, 其种子不易保存、易变质从而降低种子萌发率; 而嫁接繁殖成活率更低。因此, 本试验开展木棉组织培养快繁技术研究, 以木棉种子为试验材料, 通过开展对木棉种子不同消毒方法试验, 确定最适合木棉种子的消毒方法, 获得无菌种苗; 并以无菌种苗为外植体, 开展不同基础培养基、顶芽诱导激素组合、顶芽和丛生芽诱导和增殖培养基、生根培养基的筛选及炼苗试验, 探索最佳基础培养基、激素组合、诱导培养基和增殖培养基、生根培养基及炼苗方法。结果表明: 木棉组织培养最佳基础培养基为 MS+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L; 木棉种子最佳消毒方法为 A₂: 75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→50% H₂O₂ 溶液消毒 4 h→无菌水清洗 5 次; 最佳木棉种子顶芽诱导分化幼芽的植物生长调节剂为 6-BA+NAA 的组合; 最佳诱导及增殖培养基为 C₂: MS+6-BA 0.5 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L; 最佳生根培养基为 E₃: 1/2 MS+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L; 最佳炼苗基质为沙子: 泥炭土: 蛭石=1:1:1。通过对木棉种子消毒方法、培养基的筛选、激素组合及炼苗试验, 对木棉组织培养技术进行优化, 并建立了高效木棉组织培养技术体系, 为木棉种苗离体保存、优良单株扩繁、健康种苗繁育及工厂化育苗提供技术支持, 也可为木棉遗传转化体系奠定基础。

关键词: 木棉; 组织培养; 消毒; 诱导; 生根

中图分类号: S562 **文献标志码:** A

Efficient Tissue Culture and Propagation Technology of *Bombax ceiba*

LIN Fei^{1,2}, KANG Yong¹, MUHAMMAD Dawood³, ZHOU Chenran⁴, LI Yamei¹, GUO Yuhua¹,
YIN Junmei^{1,5*}

1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Crop Gene Re-sources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / The Engineering Technology Re-search Center of Tropical Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Haikou Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 3. Department of Environmental Sciences, Bahauddin Zakariya University, Multan 60800, Pakistan; 4. Yunnan Agricultural University, Puer, Yunnan 665000, China; 5. Sanya Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya, Hainan 572024, China

Abstract: *Bombax ceiba* is a deciduous tree belonging to the Genus *Bombax* in the Malvaceae family. It holds significant importance as an ornamental plant of economic, medicinal and edible value in southern China. It is the city flower of Guangzhou and Panzhihua. The traditional propagation methods for *B. ceiba* are seed sowing and grafting. However,

收稿日期 2023-06-13; **修回日期** 2023-08-07

基金项目 海南省重大科技计划项目 (No. ZDKJ2021018); 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2023XDNY029)。

作者简介 林 妃 (1982—), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 组织培养技术。*通信作者 (Corresponding author): 尹俊梅 (YIN Junmei), E-mail: yinjunmei2018@126.com。

the seeds are difficult to preserve and easily deteriorate, leading to decreased germination rates. Grafting results in even lower survival rates. Therefore, this experiment aimed to study the tissue culture techniques for the rapid propagation of *B. ceiba*. In this study, *B. ceiba* seeds were used as the experimental materials, and different disinfection methods were tested to determine the most suitable method for seed disinfection, aiming to obtain sterile seedlings. Using the sterile seedlings as the explants, various basic culture media, combinations of shoot-inducing hormones, induction and proliferation media for apical and adventitious buds, as well as rooting media, were tested and optimized. Additionally, seedling acclimatization experiments were conducted to explore the optimal basic culture medium, hormone combination, induction and proliferation medium, rooting medium, and seedling acclimatization methods. The results showed that the optimal basic culture medium for *B. ceiba* tissue culture was MS medium supplemented with 30 g/L sucrose and 7.5 g/L agar. The best disinfection method for *B. ceiba* seeds was 75% ethanol treatment for 1 min, followed by five rinses with sterile water, 4-hour sterilization with a 50% H₂O₂ solution prepared from 30% H₂O₂, and another five rinses with sterile water. The optimal plant growth regulators for inducing differentiation of apical buds into young shoots were a combination of 6-benzylaminopurine (6-BA) and naphthaleneacetic acid (NAA). The best induction and proliferation medium was MS medium supplemented with 0.5 mg/L 6-BA, 0.5 mg/L indole-3-butyric acid (IBA), 30 g/L sucrose, and 7.5 g/L agar. The optimal rooting medium was half-strength MS medium supplemented with 0.5 mg/L IBA, 30 g/L sucrose, 7.5 g/L agar, and 0.2 g/L activated charcoal. The recommended substrate for seedling acclimatization was a mixture of sand, peat soil, and vermiculite in a ratio of 1 : 1 : 1. Through the optimization of seed disinfection methods, culture media selection, hormone combinations, and seedling acclimatization experiments, an efficient tissue culture system for *B. ceiba* was established. This would provide technical support for the *in vitro* preservation of *B. ceiba* seedlings, propagation of superior individuals, healthy seedling breeding, and the industrialized production of seedlings, and lay a foundation for the genetic transformation system of *B. ceiba*.

Keywords: *Bombax ceiba*; tissue culture; disinfection; induction; rooting

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.06.008

木棉 (*Bombax ceiba*) 又名红花木棉、英雄树, 为木棉科木棉属植物^[1], 原产中国南部、亚洲热带和澳大利亚地区^[2]。木棉树体高大, 树形优美, 先花后叶, 花朵硕大, 花色鲜艳, 春季开放, 花期较长, 具有较高的观赏价值, 是我国南方地区重要的绿化树种^[3-4]。木棉观赏价值极高, 而且在适宜的环境条件下生长速度快, 是一种难得的生态林、景观林和经济林, 是园林绿化行道树的良好树种, 在我国已有 2000 多年的栽培历史^[5]。

木棉花和种子都具有较高的经济价值, 木棉花和树皮均可入药, 木棉花入药清热除湿, 树皮可作为滋补类药物入药, 木质较轻, 木材常加工为蒸笼、船上用品、火柴梗或纸张等使用。木棉种子中含有 20%~25% 的油分, 榨取其中的油分可以制成肥皂, 榨油剩余的材料可作为肥料或家畜饲料使用。木棉果实内部充满棉絮, 其棉絮可做枕头、棉被的填充物, 同时木棉棉絮也是救生圈的优良填充材料^[6]。

木棉传统的繁殖方式是播种和扦插^[7], 但由于种子含油量高, 易变坏丧失萌发力, 萌发率低, 一般要求采后当年及时播种, 扦插成活率低, 且播种繁殖不能保持母本的优良性状, 木棉组织培养育苗, 相对于传统的种子繁殖或扦插繁殖, 组

织培养育苗更利于实现木棉的工程化育苗。前人对木棉植物的研究比较少, 主要集中在生理生化、木棉种质资源调查与评价方面^[8-12], 有关组培研究方面的报道不多。本研究以木棉种子为材料, 无菌种苗为外植体, 通过消毒方法、基础培养基、诱导激素组合、诱导与增殖培养基、生根培养基的筛选及炼苗试验, 建立高效木棉组培快繁技术体系, 为木棉种苗离体保存、优良单株扩繁及健康种苗繁育及工厂化育苗提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验材料所用木棉种子采摘于昌江县王下乡木棉树。

1.2 方法

1.2.1 外植体消毒方法 将饱满无破损的木棉种子放置于烧杯中, 用洗衣粉水浸泡 10 min, 流水冲洗 30 min, 置于无菌操作台用无菌水洗 3 遍, 再用 75%乙醇消毒 1 min, 无菌水冲洗 5 次, 消毒剂选择 30% H₂O₂, 配成 50%溶液浸泡 3、4、5h; 4% NaClO 溶液浸泡 20、40、60 min, 最后用无菌水冲洗 5 次 (表 1), 用 H₂O₂ 和 NaClO 不同消毒处理方法进行消毒, 最后用无菌水冲洗 5

次，放在无菌滤纸上吸干种子表面水分，待接种。

以 MS 为基本培养基，附加蔗糖 MS+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 和 B5+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 中，pH 5.9。每个处理接种 20 瓶，每瓶 3 粒种子，重复 3 次。初始暗培养，露白后进行光照处理，温度 25 ℃、光照强度 3000 lx 条件下培养室中进行培养，接种第 3 天和第 7 天观察并记录污染率，第 7 天记录种子萌发率，筛选最佳消毒方法。

1.2.2 木棉外植体诱导方法 木棉种子苗接种 7 d 左右开始露白，15 d 长成试验材料需要的无菌种苗，将木棉无菌种子苗顶芽为诱导材料，接种到添加不同激素的 MS 培养基中（表 2），MS 为对照培养基，每种培养基接种 10 瓶，每瓶接种 5 个外植体，置于 25~28 ℃条件下暗培养一周，转置 LED 灯光照 10~12 h/d，光照强度 1000~1200 lx，25~28 ℃条件下培养，25 d 后统计诱导率。

表 1 木棉种子不同消毒方法
Tab. 1 Different disinfection methods for *B. ceiba* seeds

处理 Treatment	方法 Method
CK	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次
A ₁	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→ 50% H ₂ O ₂ 溶液消毒 3 h→无菌水清洗 5 次
A ₂	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→ 50% H ₂ O ₂ 溶液消毒 4 h→无菌水清洗 5 次
A ₃	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→ 50% H ₂ O ₂ 溶液消毒 5 h→无菌水清洗 5 次
A ₄	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→ 4% NaClO 消毒 20 min→无菌水清洗 5 次
A ₅	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→ 4% NaClO 消毒 40 min→无菌水清洗 5 次
A ₆	75%乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→ 4% NaClO 消毒 60 min→无菌水清洗 5 次

表 2 添加不同植物生长调节剂的木棉顶芽诱导培养基
Tab. 2 Top bud induction medium of *B. ceiba* with different plant growth regulators

诱导培养基 Induction medium	配方 Formula
CK	MS+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
B ₁	MS+6-BA 1.0 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
B ₂	MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
B ₃	MS+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
B ₄	MS+6-BA 1.0 mg/L+IAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
B ₅	MS+6-BA 1.0 mg/L+2, 4-D 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L

1.2.3 木棉不定芽增殖方法 切取木棉顶芽诱导的再生芽带芽茎段，接入到不同增殖培养基中（表 3），每种培养基接种 10 瓶，每瓶接种 5 个外植体，置于 LED 照明灯光照 10~12 h/d，光照强度 1000~1200 lx，温度 25~28 ℃；25 d 后统计结果。

1.2.4 木棉组织培养基础培养基的筛选 切取木棉顶芽诱导的不定芽带芽茎段，接入到不同基础培养基中（表 4），每种培养基接种 10 瓶，每瓶接种 5 个外植体，置于 LED 照明灯光照 10~12 h/d，光照强度 1000~1200 lx，温度 25~28 ℃；25 d 后统计结果。

表 3 不同浓度 6-BA 的木棉组培苗增殖培养基
Tab. 3 Different concentrations of 6-BA of tissue culture shoots of *B. ceiba* proliferation medium

增殖培养基 Multiplication medium	配方 Formula
C ₁	MS+6-BA 0.2 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
C ₂	MS+6-BA 0.5 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
C ₃	MS+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
C ₄	MS+6-BA 2.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L

表 4 木棉组培苗诱导基础培养基配方
Tab. 4 Basic medium for induction of tissue culture shoots of *B. ceiba*

基础培养基 Basic culture medium	配方 Formula
D ₁	MS+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L
D ₂	B5+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L

1.2.5 不定芽生根方法 选择生长一致、健壮的丛生芽苗切取单株接种到不同生根培养基中（表 5），每个处理接种 10 瓶，每瓶接种 2 株，置于 26~28 ℃条件下暗培养 7 d，再置于 LED 照明灯光照 16 h/d，光照强度 1000~1200 lx，温度 26~28 ℃条件下培养，30 d 后统计生根率。

1.2.6 组培苗炼苗方法 挑选高于 3~5 cm、叶色较绿、根系发达的木棉组培苗，从组织培养室移至实验室或温室大棚，瓶内炼苗 7 d；然后将瓶盖揭开 1/3，放置 3 d；最后将瓶口完全揭开放置 3 d 后，用镊子将苗轻轻取出，洗净培养基，将洗好的苗移栽至不同炼苗基质种植（表 6），移至光照

表 5 木棉组培苗不同生根培养基配方
Tab. 5 Different rooting medium formulations for tissue culture shoots of *B. ceiba*

生根培养基 Rooting medium	配方 Formula
CK	1/2 MS+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+0.2 g/L 活性炭
E ₁	1/2 MS+NAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L
E ₂	1/2 MS+NAA 1.0 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L
E ₃	1/2 MS+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L
E ₄	1/2 MS+IBA 1.0mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L

表 6 不同炼苗基质
Tab. 6 Different substrate for shoots training medium

炼苗基质 Seedling-training medium	配方 Formula
F ₁	沙子
F ₂	泥炭土
F ₃	蛭石
F ₄	沙子：泥炭土：蛭石=1：1：1

培养箱培养，光照时间 12 h/d，炼苗过程中，保证基质水分充足，每天喷水 2~3 次。

2 结果与分析

2.1 不同消毒剂及消毒时间对木棉种子消毒及萌发的影响

由表 7 可知，接种第 3 天对照（CK）污染率达到 80%，第 7 天污染率为 100%，未污染萌发率为 0；处理 A₁ 第 3 天污染率为 10%，第 7 天污染率为 30%，未污染萌发率为 87%；处理 A₂ 第 3 天污染率为 8%，第 7 天污染率为 20%，未污染萌发率为 85%；处理 A₃ 第 3 天污染率为 0，第 7 天污染率为 19%，未污染萌发率为 70%；处理 A₄ 第 3 天污染率为 75%，第 7 天污染率为 95%，未污染萌发率为 60%；处理 A₅ 第 3 天污染率为 60%，第 7 天污染率为 75%，未污染萌发率为 50%；处理 A₆ 第 3 天污染率为 60%，第 7 天污染率为 70%，未污染萌发率为 20%；综合污染率和种子萌发率最适合作为木棉种子的消毒剂是 H₂O₂，NaClO 作为消毒剂不但污染率高，同时也影响种子的萌发，CK 的污染率高达 100%，因此，经过多种试验结果表明，木棉种子消毒最佳方法为 A₂：75%污水乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→H₂O₂：水=1：1 消毒 4 h→无菌水清洗 5 次，第 7 天污染率

表 7 不同消毒剂及消毒时间下木棉种子消毒及萌发情况
Tab. 7 Seed disinfection and germination of *B. ceiba* under different disinfectants and disinfection time

处理 Treatment	3 d 污染率 3 d pollution rate/%	7 d 污染率 pollution rate/%	7 d 未污染萌发率 pollution rate/%
CK	80	100	0
A ₁	10	30	87
A ₂	8	20	85
A ₃	0	19	70
A ₄	75	95	60
A ₅	60	75	50
A ₆	60	70	20

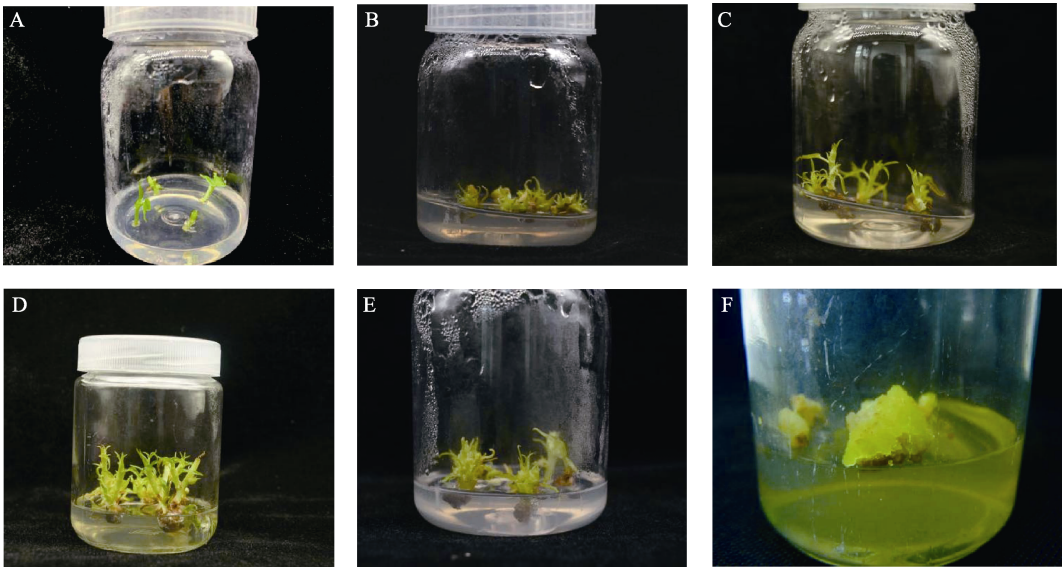
为 20%，未污染萌发率为 85%。

2.2 不同植物生长调节剂对木棉顶芽诱导的影响

由表 8 可知，培养基 B₃：MS+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 植物生长调节剂 6-BA+IBA 较适合作为木棉种子苗顶芽诱导的激素，分化幼芽 3 个以上，幼芽生长健壮、长势好，植株和叶片颜色显绿（图 1D）；对照 MS 不分化幼芽（图 1A）；培养基 B₁：MS+6-BA 1.0 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 中只添加 6-BA 一种植物生长调节剂分化芽少，发黄，芽短（图 1B）；培养基 B₂：MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 中能分化 1~3 个芽，芽长势弱（图 1C）；培养基 B₄：MS+6-BA 1.0 mg/L+IAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 有愈伤，分化幼芽少，难形成苗（图 1E）；培养基 B₅：MS+6-BA 1.0 mg/L+2，4-D 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L 形成大量愈伤，不分化芽，适合作为诱导愈伤培养基（图 1F）。因此，

表 8 不同植物生长调节剂下木棉种子苗顶芽诱导情况
Tab. 8 Induction of apical buds of *B. ceiba* seedlings under the same plant growth regulators

诱导培养基 Induction medium	生长情况 Growth situation
CK	顶芽无分化，顶芽基部无愈伤
B ₁	顶芽基部膨大，有少量愈伤，分化少量芽，芽很短
B ₂	顶芽基部膨大，有愈伤，分化 1~3 个芽，芽长势弱
B ₃	顶芽基部膨大，愈伤少，分化 3 个以上幼芽，芽健壮，长势好、叶片偏绿
B ₄	有愈伤，分化幼芽少，难形成苗
B ₅	形成大量愈伤，不分化芽



A~F 培养基分别为 CK、B₁、B₂、B₃、B₄、B₅。
A~F medium is CK, B₁, B₂, B₃, B₄, B₅.

图 1 木棉顶芽在不同培养基诱导图

Fig. 1 Induction diagram of *B. ceiba* apical buds in different media

较适合作为木棉种子苗顶芽诱导分化幼芽的植物生长调节剂为 6-BA+NAA 的组合。

2.3 不同浓度植物生长调节剂 6-BA 对木棉组培苗增殖的影响

由表 9 可知，木棉幼芽诱导率随激素 6-BA 浓度的增加而提高，增殖系数也提高，但当浓度过高愈伤增加影响了幼芽的生长，诱导率和增殖系数反而下降，最适合木棉幼芽增殖的培养基为 C₂:MS+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L，诱导率为 97%，增殖系数为 5.5。

2.4 不同基础培养基对木棉幼芽诱导的影响

由表 10 可知，MS 为培养基更适合木棉幼

芽的诱导，诱导幼芽数量多，丛芽健壮、偏绿、叶片展开（图 2A）；木棉幼芽在 B₅ 培养基单芽多、2 个芽较少，植株高叶片展开，但叶片枯黄容易脱落（图 2B），不适合作为木棉诱导基础培养基。

2.5 不同浓度 NAA 和 IBA 对木棉组培苗生根的影响

由表 11 可知，木棉组培苗在对照 CK: 1/2 MS

表 10 不同基础培养基下木棉幼芽诱导情况

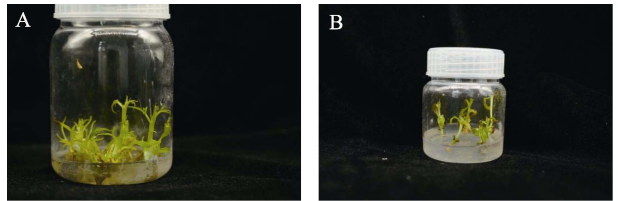
Tab. 10 Shoot induction of *B. ceiba* in different basal medium

基础培养基 Basic culture medium	生长情况 Growth situation
D ₁	愈伤少、丛芽数量多，丛芽健壮、偏绿、叶片展开
D ₂	愈伤少、分化幼芽 1~2 个、植株高、叶片枯黄容易掉叶

表 9 不同浓度植物生长调节剂 6-BA 下木棉组培苗增殖情况

Tab. 9 The proliferation of tissue culture seedlings of *B. ceiba* under different concentrations of plant growth regulators 6-BA

增殖培养基 Multiplication medium	诱导率 Induction rate/%	增殖系数 Coefficient of proliferation	生长情况 Growth situation
C ₁	91	3.5	愈伤少、丛芽健壮、偏绿、叶片细长偏绿
C ₂	92	4.2	愈伤少、丛芽短、叶片少偏绿
C ₃	97	5.5	愈伤少、丛芽健壮、偏绿、叶片展开
C ₄	80	2.8	愈伤多阻碍丛生芽形成，丛芽短偏黄



A: MS 培养基幼芽；B: B₅ 培养基幼芽。
A: Shoots of MS medium; B: Shoots of B₅ medium.

图 2 不同基础培养基幼芽分化图

Fig. 2 Bud differentiation diagram of different basal media

生根培养基中不长根；在 E₁：1/2 MS+NAA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+0.2 g/L 活性炭培养基中生根率 65%，生根条数极少，平均条数 0.53 条、叶片黄、苗弱不易成活；在 E₂：1/2 MS+NAA 1.0 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L 中生根率 85%，根数少，平均根数 0.63 条，叶片黄、苗弱不易成活；在 E₃：1/2 MS+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L 培养基中生根率达 95%；平均根数 3.15，叶片偏绿、苗健壮；在 E₄：1/2 MS+IBA 1.0 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L 培养基中生根率达 85%；平均根数 2.05，叶片偏绿、苗健壮。因此，较适合作为木棉组培苗生根的激素为 IBA，生根率高，平均根条数也多，叶片偏绿，苗健壮；而 NAA 对木棉组培苗也有根长出，但是极少，且叶片黄苗弱。较合适作为木棉组培苗的生根培养基为 E₃：1/2 MS+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L。

表 11 不同浓度 NAA 和 IBA 下木棉组培苗生根情况
Tab. 11 Rooting of tissue culture seedlings of *B. ceiba* under different concentrations of NAA and IBA

生根培养基 Rooting medium	平均生根率 Average rooting rate/%	平均生根条数 Average root-ing number	生长情况 Growth situation
CK	0	0	无愈伤、无根长出
E ₁	65	0.53	根膨化、根少 0~2 条、叶片黄、脱落、苗弱不易成活
E ₂	85	0.63	根膨化、根少 0~2 条、叶片黄、脱落、苗弱不易成活
E ₃	95	3.15	根不膨化、根多 0~5 条，叶片偏绿、苗健壮
E ₄	85	2.05	根不膨化、根一般 0~4 条，叶片偏绿、苗健壮

2.6 不同基质对木棉组培苗炼苗的影响

由表 12 可知，沙子保水性不好、营养不足，不利于木棉组培苗炼苗；泥炭土湿度较高、易积水、苗易烂根，影响木棉组培苗成活率；蛭石太轻，组培苗飘浮起来、苗不易固定、泡水死亡；基质沙子：泥炭土：蛭石=1：1：1 配比炼苗成活率达到 87%，保水性好、不易积水、组培苗不烂根、苗健壮。因此，较适合作为木棉组培苗炼苗基质为沙子：泥炭土：蛭石=1：1：1。

表 12 不同基质下木棉组培苗炼苗情况
Tab. 12 Tissue culture seedlings of *B. ceiba* in different media

炼苗基质 Tissue culture shoots-making	成活率 Survival rate/%	生长情况 Growth situation
F ₁	65	保水性不好、营养不足、苗弱
F ₂	53	湿度高、排水不好、苗易烂根
F ₃	0	蛭石太轻，组培苗飘浮起来、苗不易固定、泡水死亡
F ₄	87	保水性好、不易积水、苗不烂根、苗健壮

3 讨论

在讨论不同消毒剂及消毒时间对木棉种子消毒及萌发的影响时,CK 采用 75%乙醇消毒 1 min，用无菌水清洗 5 次接种到 MS 培养基中，第 7 天污染率达到 100%，污染率高；采用 H₂O₂ 作为消毒剂，消毒不同时间第 7 天污染率为 19%~30%，未污染萌发率为 70%~87%；采用 NaClO 作为消毒剂，消毒不同时间第 7 天污染率为 70%~95%，未污染萌发率为 20%~60%。可知，消毒剂 H₂O₂ 较适合作为木棉种子消毒剂，以 H₂O₂ 为消毒剂，开展 3 个不同时间处理试验，处理 A₁ 和 A₂ 的污染率差别不大，但是 A₂ 消毒方法未污染种子的萌发率较高，因此，筛选出较适合的消毒方法为 A₂：75%污水乙醇消毒 1 min→无菌水清洗 5 次→H₂O₂：水=1：1 消毒 4 h→无菌水清洗 5 次，第 7 天污染率为 20%，未污染萌发率为 85%。

在筛选适合作为木棉组培基础培养基的过程中，发现 B₅ 培养基不合适作为木棉组培基础培养基，B₅ 作为基础培养基芽分化少，芽弱，顶端发黄死亡；MS 作为基础培养基木棉分化幼芽多、健壮偏绿，因此，MS 适合作为木棉组培基础培养基。

在筛选适合木棉幼芽诱导和增殖培养基激素的过程中，综合彭洪杏等^[13]和刘媚旭等^[14]的研究成果，制定不同的激素及浓度相结合的培养基，筛选出较适合作为木棉幼芽分化和增殖的激素是 6-BA 和 IBA 相结合，较合适的培养基为 C₂：MS+6-BA 1.0 mg/L+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L，诱导率 97%，增殖系数 5.5。

组培苗生根是植物组织培养技术的重要环节之一，是决定植物组织培养是否成功的关键因素，也是植物组培快繁体系中的关键环节^[15]，特别是

木本植物, 组培苗的生根难度大, 根容易膨化, 影响根的形成。本试验以 1/2 MS 为生根基础培养基, 开展 NAA 和 IBA 两种激素不同浓度的 4 种生根培养基, 结果可知, E₃: 1/2 MS+IBA 0.5 mg/L+蔗糖 30 g/L+卡拉胶 7.5 g/L+活性炭 0.2 g/L 较合适作为木棉组培苗生根培养基, 但是木棉组培苗的生根数量并不多, 生根率可达到 95%, 但是平均根数量 3.15, 在今后的实验过程中可以考虑添加椰子水、香蕉等附加物结合 IBA 设置更多处理组, 更加细化不同组合培养基对木棉组培苗生根的影响。

生根苗炼苗后开展不同基质及配比对组培苗炼苗成活率的影响, 由于木棉组培苗生根数量不多, 有可能影响了炼苗的成活率, 成活率最高只达到 87%, 较佳的炼苗基质配比为沙子: 泥炭土: 蛭石=1:1:1, 成活率为 87%。

参考文献

- [1] 弓素梅. 郑州市常见园林植物净碳汇及其经济价值[J]. 河南林业科技, 2019, 39(3): 21-25.
GONG S M. Net carbon sequestration and its economic value of common landscape plants in Zhengzhou[J]. Henan Forestry Science and Technology, 2019, 39(3): 21-25. (in Chinese)
- [2] 郑万钧. 中国树木志: 第3卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
ZHENG W J. Trees of China: volume 3[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997. (in Chinese)
- [3] 粟娟, 孙冰, 黄家平, 何其轩, 骆士寿. 广州市绿地应用树种结构分析[J]. 林业科学研究, 1998, 11(5): 502-507.
SU J, SUN B, HUANG J P, HE Q X, LUO T S. Analysis on the structure of applied tree species in Guangzhou's green space[J]. Forest Research, 1998, 11(5): 502-507. (in Chinese)
- [4] 陆璃, 叶广荣, 胡彦辉, 吴渭湛. 广州市园林绿地木棉应用现状及种植规划[J]. 福建林业科技, 2013, 40(4): 157-162.
LU L, YE G R, HU Y H, WU W Z. Application status of *Bombax malabaricum* and the planting planning of garden greenland in Guangzhou city[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2013, 40(4): 157-162. (in Chinese)
- [5] 高柱, 王小玲, 汪洋, 马焕成. 木棉栽培技术研究进展[J]. 江西科学, 2009, 27(5): 761-765.
GAO Z, WANG X L, WANG Y, MA H C. Research progress on cultivation techniques of Kapok[J]. Jiangxi Science, 2013, 40(4): 157-162. (in Chinese)
- [6] 《全国中草药汇编》编写组. 全国中草药汇编: 上册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1975.
Compilation of Chinese herbal medicine in China Writing Group. National compilation of Chinese herbal medicine: volume 1[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1975. (in Chinese)
- [7] 吴金山, 于旭东, 许泽康, 王亚沉, 高豪杰, 赵莹. 海南木棉不同月份光合特性及碳汇能力研究[J]. 中国热带农业, 2017(3): 67-71.
WU J S, YU X D, XU Z K, WANG Y C, GAO H J, ZHAO Y. Study on photosynthetic characteristics and carbon sink capacity of kapok in different months in Hainan[J]. Tropical Agriculture in China, 2017(3): 67-71. (in Chinese)
- [8] 高柱, 田向楠, 郑元, 李艳琼, 马焕成. 云南吉贝种质资源调查及果实性状的相关分析[J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 88-94.
GAO Z, TIAN X N, ZHENG Y, LI Y Q, MA H C. Correlation analysis of germplasm resources and fruit characters in *Ceiba pentandra* in Yunnan[J]. Nonwood Forest Research, 2012, 30(1): 88-94. (in Chinese)
- [9] 张继方, 贺漫媚, 刘文, 王伟, 代色平. 广州木棉种质资源调查及其评价[J]. 广东林业科技, 2013, 29(6): 47-53.
ZHANG J F, HE M M, LIU W, WANG W, DAI S P. The resources surveys and aesthetic evaluation of *Bombax ceiba* in Guangzhou[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2013, 29(6): 47-53. (in Chinese)
- [10] 颜平. 海南钻喙兰种质资源现状调查及其遗传多样性研究[D]. 海口: 海南大学, 2014.
YAN P. Investigation on germplasm resources and genetic diversity of *Rhynchosstylis gigantea* (Lindl.) Ridl in Hainan[D]. Haikou: Hainan University, 2014. (in Chinese)
- [11] 姬慧娟, 李大明, 肖恩, 易培军, 张帆, 和献锋. 攀枝花地区木棉种质资源调查与保存初探[J]. 四川林业科技, 2017, 38(1): 51-53.
JI H J, LI D M, XIAO E, YI P J, ZHANG F, HE X F. A preliminary study of germplasm investigation and conservation of *Bombax malabaricum* in Panzhihua[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2017, 38(1): 51-53. (in Chinese)
- [12] 王丕振, 潘林义. 海南岛木棉种质资源调查分析[J]. 热带林业, 2018, 46(3): 47-50.
WANG P Z, PAN L Y. Investigation and analysis of germplasm resources of *Bombax ceiba* in Hainan island[J]. Tropical Forestry, 2018, 46(3): 47-50. (in Chinese)
- [13] 彭洪杏, 王伟玮. 木棉组培快繁体系的建立[J]. 热带林业, 2022, 50(3): 29-32.
PENG H X, WANG W W. Establishment of tissue culture rapid propagation system of *Bombax Malabaricum* Dc[J].

- Tropical Forestry, 2022, 50(3): 29-32. (in Chinese)
- [14] 刘娟旭, 王静, 李虹, 余义勋. 木棉离体再生体系的建立[J]. 经济林研究, 2010, 28(2): 69-72.
- LIU J X, WANG J, LI H, YU Y X. Establishment of regeneration in vitro system in *Bombax malabaricum*[J]. Study on Economic Fores, 2010, 28(2): 69-72. (in Chinese)
- [15] 孙大宽, 马莉, 杨宏艳, 马焕成, 郑晟靖, 唐军荣. 3 种因素对木棉组培苗生根的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(1): 137-144.
- SUN D K, MA L, YANG H Y, MA H C, ZHENG S J, TANG J R. Effects of three factors on the rooting of tissue culture seedling of *Bombax ceiba*[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural science), 2022, 37(1): 137-144. (in Chinese)