

朱顶红鳞茎组织培养中的抗褐化研究*

廖焕琴¹ 钟敏艳² 徐放¹ 杨会肖¹ 杨晓慧¹
陈新宇¹ 张卫华¹ 潘文¹ 徐斌¹

(1. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520;

2. 广东药科大学, 广东 广州 510006)

摘要 试验以朱顶红 (*Hippeastrum rutilum*) 无菌苗为材料, 通过筛选基本培养基、低 pH 水培、添加不同种类和浓度的凝固剂、不同浓度蔗糖、不同褐化剂来探讨鳞茎组织培养中抑制褐化的有效方法。结果表明: 朱顶红在 MS 基本培养基中生长状况较好, 褐化程度最低; 低 pH 水培显著影响朱顶红的生长与增殖, 且不能有效抑制朱顶红鳞茎褐化; 以琼脂粉 A 为凝固剂, 半固体状态, 附加 $30\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖的 MS 培养基有利于朱顶红鳞茎的抗褐化和增殖; 在继代培养基中添加 $1.0\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 活性炭可有效抗褐化。因此, 朱顶红鳞茎继代过程中适宜的培养条件为: MS+ $2.0\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA+ $30\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖+ $1.8\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 琼脂粉 A 或 MS+ $2.0\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA+ $30\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖+ $6.0\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 卡拉胶+ $1.0\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 活性炭。

关键词 朱顶红; 鳞茎; 组织培养; 褐化; 增殖率

中图分类号: S68 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2020) 04-0090-06

Studies on Anti-browning in Bulbs Tissue Culture of *Hippeastrum rutilum*

LIAO Huanqin¹ ZHONG Minyan² XU Fang¹ YANG Huixiao¹
YANG Xiaohui¹ CHEN Xingyu¹ ZHANG Weihua¹ PAN Wen¹
XU Bin¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/ Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract The effective approaches of anti-browning in bulbs tissue culture was studied with the aseptically seedling of *Hippeastrum rutilum* by selecting basic medium, low pH hydroponic culture, adding different type and concentration of coagulant, different concentration of sucrose, different anti-browning agent. MS medium showed better growth status and lower rate of browning. Low pH hydroponic culture significantly affected the growth status, and could not effectively inhibit the browning of bulb. MS medium with agar powder A (semi-solid state) and sucrose with concentration of $30\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ was beneficial to the browning resistance and proliferation. Adding $1.0\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ activated carbon to the medium can effectively prevent browning. Therefore, the suitable tissue culture conditions for bulbs of *H. rutilum* were MS + $2.0\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA + $30\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ sucrose + $1.8\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ agar powder A or MS + $2.0\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA + $30\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ sucrose + $6.0\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ carrageenan + $1.0\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ activated carbon.

Key words *Hippeastrum rutilum*; bulb; tissue culture; browning; proliferation rate

* 基金项目: 东莞市社会科技发展 (重点) 项目 (东科 [2018]167 号); 广东省林业科技计划项目 (2019-18)。

第一作者: 廖焕琴 (1988—), 女, 工程师, 主要从事组织培养工作, E-mail: liaohuanqina@sinogaf.cn。

通信作者: 徐斌 (1974—), 男, 正高级工程师, 主要从事林木遗传育种工作, E-mail: xubin@sinogaf.cn。

朱顶红 (*Hippeastrum rutilum*), 别名孤挺花、华胄兰等, 为石蒜科 (Amaryllidaceae) 朱顶红属 (*Hippeastrum*) 多年生草本植物, 原产于秘鲁巴西一带, 花茎挺拔, 花朵硕大, 花色艳丽, 观赏价值高, 深受国内外消费者喜爱。相关研究表明朱顶红及其分离的化学成分具有抗菌、抗病毒和抗肿瘤等功效, 药理作用丰富^[1-2]。

朱顶红常用的繁殖方法主要有自然分球、扦插和播种等, 但是繁殖速度慢, 难以满足市场的需求。而采用组织培养技术进行离体快繁, 具有繁殖系数高、成苗时间短和便于商品化和产业化生产的优势^[3]。近年来研究者对朱顶红组织培养进行了一系列研究。邹水平等^[4]、邵素娟等^[5]、张亚玲等^[6]、高年春等^[7]以鳞茎作为外植体建立组培体系。张慧等^[8]、于波等^[9]、王春夏等^[10]报道了以朱顶红花梗和叶片等器官作为外植体成功获得无菌苗。张梦迪^[11]、黄敏^[12]、Mujib A 等^[13]就培养基类型、生长调节物质含量等方面进行组培体系的优化。朱顶红鳞茎在组织培养过程中的褐化问题影响增殖速度, 从而制约工厂化生产效率, 但目前朱顶红褐化相关研究鲜有报道, 因此, 研究朱顶红抗褐化研究具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验以广东林业科学研究院组培中心长势良好、色泽翠绿的朱顶兰继代苗为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 基本培养基 分别配制以下培养基: (1) MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉

胶; (2) 1/2MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 + 6 g · L⁻¹ 卡拉胶; (3) KC+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉胶; (4) LS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉胶; (5) B5+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉胶, 调 pH 至 5.8-6.2, 共 5 个处理, 每个处理重复 3 次。在培养基上接种朱顶红鳞茎, 纵向切割, 一分为二, 培养温度 25 ℃, 2 000 lx, 光照 12-16 h, 培养 30 d 后, 观察朱顶红的褐变状况及生长状况, 筛选适合的基本培养基。

1.2.2 低 pH 水培 按胡庆等^[14]配制 4 × (倍), 6 × (倍) 和 8 × (倍) 的不同离子强度的缓冲液。配制以下培养基: (1) MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉胶 + 缓冲液 4 × (倍); (2) MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉胶 + 缓冲液 6 × (倍); (3) MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖 +6 g · L⁻¹ 卡拉胶 + 缓冲液 8 × (倍)。共 3 个处理, 每个处理重复 3 次。以增殖阶段的朱顶红无菌苗为试验材料, 纵向切割, 一分为二, 培养温度 25 ℃, 2 000 lx, 光照 12-16 h, 培养 30 d 后, 观察朱顶红的褐变状况及生长状况。

1.2.3 凝固剂种类、浓度和糖浓度 以 MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA 为培养基, 凝固剂为卡拉胶、琼脂粉 A 和 B 3 种, 凝固状态为液体、半固体和固体 3 种, 蔗糖为 10, 20, 30 g · L⁻¹ 3 个浓度。采用正交试验设计 L₉ (3⁴), 各实验因素及水平见表 1, 共 9 个处理, 每个处理重复 3 次。以生长状态一致的朱顶红鳞茎为试验材料, 纵向切割, 一分为二, 培养 30 d 后, 观察朱顶红鳞茎的褐变状况及生长状况。

表 1 不同种类和浓度凝固剂及糖浓度的因素水平
Tab.1 Type and concentration of coagulant, concentration of sucrose

处理 Number	凝固剂种类 Type of coagulant	凝固剂浓度 /(g · L ⁻¹) Concentration of coagulant	糖浓度 /(g · L ⁻¹) Concentration of sucrose
1	卡拉胶	0 (液体)	10
2	卡拉胶	3.0 (半固体)	20
3	卡拉胶	6.0 (固体)	30
4	琼脂粉 A	0 (液体)	20
5	琼脂粉 A	1.8 (半固体)	30
6	琼脂粉 A	3.5 (固体)	10
7	琼脂粉 B	0 (液体)	30
8	琼脂粉 B	3.0 (半固体)	20
9	琼脂粉 B	6.0 (固体)	10

1.2.4 抗褐化剂 在 MS+ 2.0 mg · L⁻¹ 6-BA + 卡拉胶 6 g · L⁻¹+ 蔗糖 30 g · L⁻¹ 培养基中分别添加不同种类和浓度的抗褐化剂: 活性炭 (AC), 0、0.1、0.5、1.0 g · L⁻¹、聚乙烯吡咯烷酮 (PVP), 0、0.5、1.0、2.0 g · L⁻¹, 维生素 C (VC), 0、0.1、0.3、0.5 g · L⁻¹、柠檬酸 (CA), 0、0.1、0.3、0.5 g · L⁻¹, 调 pH 为 5.8-6.2。以增殖阶段的朱顶红无菌苗为试验材料, 纵向切割, 一分为二, 培养温度 25 ℃, 2 000 lx, 光照 12-16 h, 每个处理重复 3 次。培养 30 d 后, 观察朱顶红的褐变状况及生长状况。

1.3 统计方法

观测指标为鳞茎褐化程度、培养基状况、鳞茎生长状况和增殖率。褐化等级划分: +, 外植体无褐变, 周围培养基呈半透明状; ++, 外植体轻度褐变, 切口处渗出褐色物质, 周围培养基少许变色; +++, 外植体中度褐变, 切口处渗出褐色物质, 周围培养基小范围变色; ++++, 外植体较严重褐变, 切口处渗出褐色物质, 周围培养基大范围变色; +++++, 外植体严重褐

变, 切口处渗出褐色物质, 周围培养基大范围深度变色。增殖率计算公式为: 增殖率 = 接种后球数 / 接种前球数。

1.4 数据分析

试验数据采用 R3.6.3 软件进行统计学分析, 采用 Duncan 法进行多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 基本培养基对朱顶红继代培养的影响

由表 2 可知, 朱顶红鳞茎继代培养 30 d 后, MS 培养基中褐化程度最低, 鳞茎轻度褐变, 切口处渗出褐色物质, 周围培养基小范围变浅黄色, 植株生长状况良好, 叶绿有光泽且较宽大, 无黄叶, 鳞茎粗壮且内部紧实, 其次是 1/2MS、B5、KC 培养基; LS 培养基中朱顶红鳞茎褐化程度最高, 随植株生长褐化越来越严重, 周围培养基变为深褐色, 叶色逐渐变成黄色, 鳞茎较粗壮但内部较疏松, 有玻化现象, 随培养时间延长植株逐渐死亡。总体而言, MS 培养基宜作为基本培养基

表 2 不同基本培养基对朱顶红继代培养的影响
Tab. 2 Effects of different basic medium on subculture of *Hippeastrum rutilum*

基本培养基 Basic medium	鳞茎褐化程度 Browning rate of bulb	培养基状况 Medium statue	生长状况 Growth statue
KC	++++	++++	鳞茎较粗壮, 轻微玻化, 叶片呈绿色, 叶宽大, 无黄叶
MS	++	+++	鳞茎粗壮, 无玻化, 叶片呈绿色, 叶宽大, 无黄叶
1/2MS	+++	+++	鳞茎较小, 轻微玻化, 叶片呈绿色, 叶窄细, 无黄叶
LS	+++++	+++++	鳞茎较粗壮, 严重玻化, 叶片呈黄绿色, 叶窄细, 有黄叶
B5	+++	++++	鳞茎较粗壮, 无玻化, 叶片呈浅绿色, 叶宽大, 无黄叶

表 3 低 pH 水培对朱顶红继代培养的影响
Tab. 3 Effects of low pH ydroponic culture on subculture of *Hippeastrum rutilum*

处理 Number	pH	鳞茎褐化程度 Browning rate of bulb	培养基状况 Medium statue	增殖率 Proliferation rate	生长状况 Growth statue
4 ×	3.19	+++++	++	0.89 ± 0.19c	鳞茎不生长, 无叶, 玻化严重, 植株逐渐枯萎至死亡
6 ×	3.23	+++++	++	1.11 ± 0.5bc	鳞茎不生长, 无叶, 玻化严重, 植株逐渐枯萎至死亡
8 ×	3.26	++++	++	1.78 ± 0.19b	鳞茎生长较慢, 叶呈浅黄, 玻化严重, 植株逐渐枯萎至死亡
CK	5.98	+++	+++	3.67 ± 0.57a	鳞茎生长较慢, 叶绿, 无玻化

注: 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05), 多重比较检验采用 Duncan 法。
Note: data in the table are means ± standard deviation. Different lowercase letters in the same column indicated significant differences between treatments (P<0.05), and Duncan method was used for multiple comparison test.

继续进行朱顶红鳞茎抗褐化研究。

2.2 低 pH 水培对朱顶红继代培养的影响

由表 3 可知，与对照组（CK）相比，在不同酸度和离子强度的培养基上，植株褐化严重，所有处理增殖效果不好，增殖率最高仅为 1.78，生

长状况差，植株逐渐枯萎死亡。综上所述，低 pH 水培不适合朱顶红的组织培养。

2.3 凝固剂种类、浓度和糖浓度对朱顶兰继代培养的影响

从表 4 中植株褐化程度和培养基状况来看，

表 4 不同种类和浓度凝固剂及糖浓度对朱顶红继代培养的影响

Tab. 4 Effects of different type and statue of coagulant, different concentration of sucrose on subculture of *Hippeastrum rutilum*

处理 Number	鳞茎褐化程度 Browning rate of bulb	培养基状况 Medium statue	生长状况 Growth statue
1	+++	+	鳞茎生长慢，不粗壮，轻微玻化，叶浅绿，长势一般
2	+++	+	鳞茎生长慢，不粗壮，轻微玻化，叶浅绿，长势一般
3	+++	++	鳞茎生长慢，不粗壮，无玻化，叶浅绿，长势较好
4	++	+	鳞茎生长慢，较粗壮，叶浅绿，长势较好，玻化较严重
5	++	+	鳞茎生长快，粗壮，无玻化，叶浅绿，长势较好
6	+++	+	鳞茎生长较慢，不粗壮，无玻化，叶浅绿，长势较好
7	++	++	鳞茎生长较慢且小，玻化较严重，叶浅绿，长势较好
8	++++	++	鳞茎生长慢且小，轻微玻化，叶浅绿，长势较差
9	++++	+++	鳞茎生长较慢且小，轻微玻璃化，叶浅绿，长势较差

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，多重比较检验采用 Duncan 法。
Note: data in the table are means ± standard deviation. Different lowercase letters in the same column indicated significant differences between treatments ($P<0.05$), and Duncan method was used for multiple comparison test.

表 5 不同种类和浓度凝固剂及糖浓度对增殖率的影响

Tab. 5 Effects of different type and concentration of coagulant, different concentration of sucrose on proliferation rate

处理 Number	凝固剂种类 Type of coagulant	凝固剂浓度 /($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of coagulant	糖浓度 /($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of sucrose	增殖率 Proliferation rate
1	卡拉胶	0 (液体)	10	$3.44 \pm 0.84\text{abcd}$
2	卡拉胶	3.0 (半固体)	20	$3.33 \pm 0.34\text{bcde}$
3	卡拉胶	6.0 (固体)	30	$3.78 \pm 0.39\text{abc}$
4	琼脂粉 A	0 (液体)	20	$2.67 \pm 0.88\text{e}$
5	琼脂粉 A	1.8 (半固体)	30	$4.11 \pm 0.19\text{a}$
6	琼脂粉 A	3.5 (固体)	10	$3.17 \pm 0.23\text{cde}$
7	琼脂粉 B	0 (液体)	30	$4.0 \pm 0.58\text{ab}$
8	琼脂粉 B	3.0 (半固体)	20	$2.78 \pm 0.51\text{de}$
9	琼脂粉 B	6.0(固体)	10	$3.89 \pm 0.51\text{ab}$
K1	3.518	3.407	3.540	
K2	3.333	3.369	2.926	
K3	3.553	3.665	3.961	
R	0.221	0.296	1.036	

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，多重比较检验采用 Duncan 法。
Note: data in the table are means ± standard deviation. Different lowercase letters in the same column indicated significant differences between treatments ($P<0.05$), and Duncan method was used for multiple comparison test.

表 6 不同种类和浓度抗褐化剂对朱顶红继代培养的影响
Tab. 6 Effects of different anti-browning agent on subculture of *Hippeastrum rutilum*

种类 Type	浓度 / (g · L ⁻¹) Concentration	鳞茎 褐化程度 Browning rate of bulb	培养基状况 Medium statue	增殖率 Proliferation rate	生长状况 Growth statue
CK	0	+++	+++	3.83 ± 1.66ab	鳞茎生长较慢，不粗壮，无玻化， 叶绿且窄细，少黄叶，长势一般
AC	0.1	++	+++	3.67 ± 0.38ab	鳞茎生长较快，粗壮，无玻化， 叶黄绿且宽大，少黄叶，长势较好
AC	0.5	++	+	3.5 ± 0.5ab	鳞茎生长较快，粗壮，无玻化， 叶绿且宽大，少黄叶，长势良好
AC	1	++	+	4.58 ± 0.52a	鳞茎生长较快，粗壮，无玻化， 叶绿且窄细，无黄叶，长势良好
PVP	0.5	+++	++++	4.5 ± 1.09a	鳞茎生长较慢，不粗壮，无玻化， 叶绿且宽大，无黄叶，长势较差
PVP	1	+++	++++	4.25 ± 1.15a	鳞茎生长很慢，弱小，无玻化， 叶黄绿且宽大，少黄叶，长势较差
PVP	2	++++	++++	3.25 ± 1.15ab	鳞茎生长很慢，弱小，无玻化， 叶黄绿且宽大，多黄叶，长势很差
VC	0.1	++++	++	3.58 ± 0.52ab	鳞茎生长很慢，弱小，玻化严重， 叶深绿且宽大，无黄叶，长势一般
VC	0.3	+++	+++	2.375 ± 0.53b	鳞茎生长较慢，不粗壮，玻化严重， 叶深绿且宽大，无黄叶，长势一般
VC	0.5	+++	++	3.0 ± 0.66ab	鳞茎生长很慢，弱小，玻化严重， 叶绿且窄细，无黄叶，长势较好
CA	0.1	+++	+++	3.92 ± 0.14ab	鳞茎生长较慢，不粗壮，玻化较严重，叶绿且 窄细，多黄叶，长势较差
CA	0.3	++	++	3.63 ± 0.18ab	鳞茎生长较慢，不粗壮，玻化较严重，叶浅绿 且窄细，多黄叶，长势较差
CA	0.5	++	++	3.67 ± 0.52ab	鳞茎生长较慢，不粗壮，玻化较严重，叶浅绿 且窄细，多黄叶，长势较差

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，多重比较检验采用 Duncan 法。
Note: data in the table are means ± standard deviation. Different lowercase letters in the same column indicated significant differences between treatments ($P<0.05$), and Duncan method was used for multiple comparison test.

处理 4 和 5 抗褐化效果较好，植株鳞茎轻度褐变，周围培养基呈半透明状态；处理 5 植株鳞茎生长快，粗壮，无玻化现象，叶浅绿，宽大且无黄叶，长势较好，而处理 4 鳞茎玻化现象严重，生长状况一般；在所有处理中，处理 9 抗褐化效果最差，植株鳞茎重度褐变，周围培养基颜色扩散范围较大，呈褐色，生长状况也较差，鳞茎弱小且玻化严重。因此处理 5 抗褐化效果最理想。

从表 5 中增殖率可知，处理 5 增殖率最高，达到 4.11，其次为处理 3、处理 7 和处理 9，增殖率分别为 4.0、3.89 和 3.78，四者之间无显著性差异，但处理 5 与其他五个处理间差异显著；从

极差分析看，蔗糖浓度的极差最大，达到 1.036，对朱顶红鳞茎的增殖率影响最大，3 种因素对朱顶红鳞茎增殖率作用的主次顺序为蔗糖浓度 > 凝固剂种类 > 凝固剂浓度；方差分析结果表明，蔗糖浓度对朱顶红鳞茎增殖率的影响达极显著水平 ($P<0.05$)，而凝固剂类型和凝固剂浓度对朱顶红鳞茎增殖的影响都不显著。总体而言，处理 5 即 MS+2.0 mg · L⁻¹ 6-BA+30 g · L⁻¹ 蔗糖+1.8 g · L⁻¹ 琼脂粉 A 适合朱顶红鳞茎组织培养。

2.4 抗褐化剂对朱顶红继代培养的影响

由表 6 可知，CK 处理中不添加抗褐化剂，朱顶红鳞茎褐变较为严重，渗出较多黄色物质于培养

基中, 培养基呈黄色, 植株长势一般, 随 AC 浓度增加朱顶红鳞茎褐变逐渐减轻, 培养基由浅黄至透明, 在活性炭浓度为 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 叶色呈绿有光泽, 鳞茎生长较快和粗壮, 无玻化, 无黄叶出现, 长势良好, 增殖率最高值为处理 4 达到 4.58; 朱顶红鳞茎随 PVP 浓度增大褐变程度增加, 当 PVP 浓度为 0.5 和 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时表现出较高的增殖率, 分别为 4.5 和 4.25, 当浓度增至 $2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时培养基中出现大量黄褐色物质, 植株长势很差; 在添加 VC 和 CA 的培养上朱顶红鳞茎生长状况一般, 且玻化严重。综上所述, 在继代培养基中添加 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 活性炭可有效抑制朱顶红鳞茎的褐化。

3 结论与讨论

植物组织培养过程中所需的营养皆来自培养基, 且不同的基本培养基其营养成分与含量有所不同。因此, 选择适合的基本培养基对朱顶红继代培养的顺利进行尤为重要。近年来学者们对朱顶红组织培养的适宜培养基进行了探讨, 但得出来的结论不尽相同^[15]。本次试验结合褐化现象和生长状况来看, 朱顶红鳞茎在 MS 培养基上抗褐化效果较 KC、 $1/2\text{MS}$ 、LS、B5 好, 而李静^[16]发现 $1/2\text{MS}$ 培养基更有利于继代和壮苗培养。

在植物组织培养中, pH 值会影响植物的褐变、生长与增殖。试验结果表明低 pH 水培 (pH 为 3.2) 并不能抑制朱顶红鳞茎的褐化, 且不利于朱顶红的生长与增殖。

在凝固剂种类、浓度和糖浓度的正交试验中, 所用凝固剂由不同公司所提供, 可能由于其成分和来源有所不同, 导致植物在组培过程其生长状况不同。在本试验中, 从朱顶红鳞茎抗褐化效果、生长状况和增殖率来看, 添加琼脂粉 A 和 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖效果最佳, 但就成本而言, 以卡拉胶为凝固剂, 添加适量活性炭抑制褐化较低廉, 宜推广用于工厂化生产。

在组织培养过程中最理想的抗褐化剂是既能控制褐化又不影响植物的正常生长。在本试验中 AC 表现出良好的抗褐化作用, 且不影响增殖, 这与王培军^[17]研究结果相似。添加 PVP 后鳞茎抗褐化效果差, 且植株长势差, 但浓度为 0.5 和 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时增殖率分别达到 4.25 和 4.5, 因此在筛选适宜的抗褐化剂时, 应实现抗褐化效果、增殖和生长状态三者之间的平衡。

参考文献

- [1] 薛沁冰, 李鑫, 辛国松, 等. 朱顶红中化学成分提取分离及其结构鉴定[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2017, 33(6): 641-646; 670.
- [2] 陈晓光, 周建华, 东方, 等. 石蒜科植物朱顶红药用价值研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2019, 35(4): 385-387.
- [3] 陈汉鑫, 余松金, 万学锋, 等. 朱顶红的组培快繁技术[J]. 福建林业科技, 2016(3): 170-173.
- [4] 邹水平, 郭翔, 袁嘉铭, 等. 朱顶红组培苗小鳞茎切割诱导新植株技术研究[J]. 湖南农业科学, 2018(4): 5-7.
- [5] 邵素娟, 史益敏. 朱顶红小鳞茎切割繁殖及其影响因素[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2008, 26(1): 5-8.
- [6] 张亚玲, 原雅玲, 赵锦利. 朱顶红组织培养最佳繁殖途径的研究[C]// 中国园艺学会第七届青年学术讨论会论文集. 2006.
- [7] 高年春, 杨怡, 醉荣祥, 等. 几个杂交朱顶红品种不定芽诱导试验[J]. 江苏农业科学, 2003(6): 80-82.
- [8] 张慧, 罗珍珍, 解晓旭, 等. 朱顶红愈伤组织诱导及增殖发育体系的建立及优化[J]. 山东林业科技, 2018, 48(6): 17-20.
- [9] 于波, 黄丽丽, 朱玉, 等. 朱顶红幼嫩花梗胚性愈伤组织诱导和高效植株再生[J]. 园艺学报, 2020, 47(5): 907-915.
- [10] 王春夏, 张梦迪, 王锦霞, 等. 朱顶红无菌苗叶片高效再生体系[J]. 园艺学报, 2020, 47(2): 301-309.
- [11] 张梦迪. 基于不同外植体的朱顶红 ‘Blossom Peacock’ 和 ‘Royal Velvet’ 高效离体再生[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [12] 黄敏, 梁春辉, 许雯, 等. 朱顶红的组培快繁技术研究[J]. 湖南农业科学, 2020(5): 1-3.
- [13] MUJIB A, BANERJEE S, GHOSH P D. Callus induction, somatic embryogenesis and chromosomal instability in tissue cultureraised hippeastrum (*Hippeastrum hybridum* cv. United Nations)[J]. Propagation of Ornamental Plants, 2007, 7(4): 169-174.
- [14] 胡庆, 吴雪松, 徐坚. 低pH值水培及改善容器通气条件对绿巨人增殖的影响[J]. 江西林业科技, 2002(2): 15-16.
- [15] 沈苗苗, 于晓南. 朱顶红组织培养研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2011(10): 135-138.
- [16] 李静. 朱顶红球茎组织培养扩繁的影响因素研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2016.
- [17] 王培军. 朱顶红组织培养技术体系的建立及其相关研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2004.