

贺州香芋组培快繁技术研究

高美萍¹, 江文¹, 虞胜君², 胡一凤¹, 黄诚梅¹, 蒋慧萍¹, 林荣善²,
石益基¹, 林志城¹, 方彦蓉¹, 何青石³, 赖松新³

(1. 广西壮族自治区农业科学院蔬菜研究所 南宁 530007; 2. 贺州市农业农村局 广西贺州 542800;

3. 广西贺州市八步区农业科学研究所 广西贺州 542800)

摘要: 为建立贺州香芋组织培养快繁技术体系, 实现其脱毒组培苗的工厂化生产, 解决种芋病毒积累、品种退化及繁殖效率低等问题, 以贺州香芋茎尖为外植体, 研究不同取材时间、消毒方法、植物生长调节剂配比对组织培养过程中外植体消毒、启动培养、继代增殖、生根培养及脱毒效果的影响。结果表明, 贺州香芋外植体最佳取材时间为4月; 最佳消毒方法为75%乙醇20 s+0.1% HgCl₂ 8 min, 成活率达76.48%; 最佳启动培养基为1/2 MS+2.5 mg·L⁻¹ ZT+0.1 mg·L⁻¹ NAA, 萌芽率达89.21%; 最佳继代培养基为1/2 MS+3.0 mg·L⁻¹ 6-BA+0.1 mg·L⁻¹ NAA, 增殖系数达4.3; 最佳生根培养基为1/2 MS+1.0 mg·L⁻¹ IBA, 生根率达83.2%, 平均根数10.2条, 根系粗壮。分子检测表明, 继代培养后的组培苗中未检测到芋花叶病毒(DMV)的特异性核酸片段, 表明本体系成功获得了脱除DMV的贺州香芋组培苗。综上, 本研究成功建立了一套贺州香芋组培快繁技术体系, 为香芋脱毒组培苗工厂化生产提供了技术支持。

关键词: 贺州香芋; 组织培养; 快速繁殖; 茎尖; 脱毒; 培养基

中图分类号: S632.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)06-208-08

Study on tissue culture and rapid propagation techniques of Hezhou taro

Gao Meiping¹, Jiang Wen¹, Yu Shengjun², Hu Yifeng¹, Huang Chengmei¹, Jiang Huiping¹, Lin Rongshan², Shi Yiji¹, Lin Zhicheng¹, Fang Yanrong¹, He Qingshi³, Lai Songxin³

(1. Institute of Vegetables, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; 2. Agricultural and Rural Affairs Bureau of Hezhou City, Hezhou 542800, Guangxi, China; 3. Agricultural Science Research Institute of Babu District, Hezhou 542800, Guangxi, China)

Abstract: In order to establish a rapid tissue culture propagation system for Hezhou taro to provide technical support for the industrial production of virus-free tissue-cultured seedlings, addressing issues such as viral accumulation in seed taro, varietal degeneration, and low propagation efficiency. Using shoot tips of Hezhou taro as explants, the effects of different sampling times, sterilization methods, and plant growth regulator combinations on explant sterilization, initial culture, subculture proliferation, rooting culture, and virus elimination during tissue culture were investigated. The results showed that the optimal sampling time for Hezhou taro explants was April; the optimal sterilization method was 75% alcohol for 20 s+0.1% HgCl₂ for 8 min, achieving a survival rate of 76.48%; the optimal initial culture medium was 1/2 MS+2.5 mg·L⁻¹ ZT+0.1 mg·L⁻¹ NAA, with a germination rate of 89.21%; the optimal subculture medium was 1/2 MS+3.0 mg·L⁻¹ 6-BA+0.1 mg·L⁻¹ NAA, achieving an average proliferation coefficient of 4.3; and the optimal rooting medium was 1/2 MS+1.0 mg·L⁻¹ IBA, with a rooting rate of 83.2%, an average root number of 10.2, and robust root systems. Molecular detection indicated that dasheen mosaic virus (DMV) was not detected in the tissue-cultured seedlings after subculture. This study successfully established a rapid tissue culture propagation system for Hezhou taro, providing technical support for the industrial production and widespread application of virus-free seedlings. In conclusion, this study successfully established a tissue culture and rapid propagation system for Hezhou taro, providing technical support for the industrial production of virus-free tissue-cultured plantlets.

Key words: Hezhou taro; Tissue culture; Rapid propagation; Shoot tip; Virus-free; Culture medium

收稿日期: 2025-10-30; 修回日期: 2026-01-20

基金项目: 国家特色蔬菜产业技术体系贺州综合试验站(CARS-24-G-15); 广西农业科学院科技发展基金(桂农科 2026YT089)

作者简介: 高美萍, 女, 研究员, 主要从事水生蔬菜新品种选育及品质机制研究与应用工作。E-mail: 5476581@qq.com

通信作者: 江文, 男, 研究员, 主要从事水生蔬菜新品种选育及栽培技术推广应用工作。E-mail: 416499386@qq.com

芋[*Colocasia esculenta* (L.) Schott]属于天南星科(Araceae)芋属(*Colocasia*)多年生宿根草本植物,是我国重要的传统粮菜兼用作物,广泛栽培于华南、华东等地区,具有悠久的种植历史和丰富的种质资源^[1]。贺州香芋作为广西壮族自治区特色地方品种,因其肉质细腻软糯、香气浓郁独特、营养组成全面,被誉为“芋中珍品”,在国内外市场享有较高声誉^[2]。贺州香芋块茎中淀粉含量高,富含B族维生素、维生素C及钙、磷、铁等矿物质,兼具良好的食用与药用价值,具有广阔的产业开发前景^[3]。

然而,贺州香芋长期以来依赖子芋进行无性繁殖,该方式虽在一定程度上保持了品种遗传稳定性,却存在繁殖系数低、周期长、种芋用量大、贮存成本高等固有弊端。更严重的是,长期无性繁殖易导致病毒累积,如芋花叶病毒(dasheen mosaic virus, DMV),引发种性退化、生长势减弱、产量下降和品质劣变等一系列问题,严重制约了贺州香芋产业的健康与可持续发展^[4-5]。组织培养技术为芋类作物脱毒快繁提供了有效途径^[6-7]。

近年来,组培快繁技术在多个芋品种中已有应用探索。例如,在荔浦芋^[8]、福鼎芋^[9]等品种中,研究者通过优化外植体消毒、激素配比及培养条件,初步建立了组培再生体系。然而,芋类组培存在显著的基因型依赖性,不同品种对消毒方法、培养基组成及激素响应的差异较大,某一品种建立的组培体系往往不能直接适用于其他品种。因此需针对特定品种建立相应的技术体系。

目前,针对贺州香芋这一地方特色品种,其组培快繁技术尚未系统建立,相关研究仍属空白。因此,本研究以贺州香芋茎尖为外植体,重点优化其消毒、启动、增殖及生根等关键培养环节,旨在建立一套稳定高效的组培快繁技术,为贺州香芋健康种苗的生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为2023年4—10月分批次采集自贺州市农业技术推广中心试验基地的生长健壮、无病虫害的贺州香芋当年生茎尖。

1.2 方法

1.2.1 取材时间优化与外植体消毒 为明确取材时间对外植体消毒效果的影响,设4月、6月、8月、10月4个取材时间处理(表1)。采用完全随机设计,每处理每次取材随机选取30株健康植株,每株

取1个茎尖,每处理3次重复。采用75%乙醇(10 s)和0.1%氯化汞(HgCl_2 , 10 min)进行表面消毒,再用无菌水冲洗3~4次,接种于无激素1/2 MS培养基^[10]。培养7 d后统计污染率、褐化率和成活率^[11]。

为筛选适宜的茎尖消毒方法,设置8个处理(表2),采用两因素完全随机设计。以75%乙醇进行表面预处理,设10 s和20 s 2个水平;预处理后分别采用0.1% HgCl_2 或2% NaClO 进行二次消毒,其中0.1% HgCl_2 设6、8、10 min 3个时间水平,2% NaClO 设8、10 min 2个时间水平。消毒后均用无菌水冲洗4~5次,接种于无激素1/2 MS培养基。每处理60个外植体,3次重复,培养7 d后统计污染率、褐化率和成活率。

1.2.2 启动培养 为筛选适宜的启动培养基,以1/2 MS为基本培养基,添加蔗糖 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,琼脂 $4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,设8个处理(表3):在 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA基础上,分别添加6-BA(1.5 、 2.0 、 2.5 、 $3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)或ZT(1.5 、 2.0 、 2.5 、 $3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),培养基pH调为5.8。取经最佳消毒方式处理的外植体,分别接种于8种培养基中。每瓶接种1个外植体,每个培养基配方接种60个外植体,3次重复。培养7 d后统计萌芽率^[12],20 d后观察生长情况。

1.2.3 继代培养 为筛选适宜的继代培养基,以1/2 MS为基本培养基,设置6个处理(表4):NAA均为 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,6-BA浓度(ρ ,后同)分别为1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。取经最佳消毒方式处理的外植体,每25 d转接1次,转接不超过12代。每个培养基配方接种3个无菌单芽,3次重复。每25 d转接1次,连续转接12次。统计从初代培养至第12代每1代的增殖系数及丛生生长情况^[12]。

1.2.4 生根培养 为筛选适宜的生根培养基,以1/2 MS为基本培养基。添加蔗糖 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,琼脂 $4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,分别添加不同浓度的IAA(0.5 、 1.0 、 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、IBA(0.5 、 1.0 、 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、NAA(0.5 、 1.0 、 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),共9种培养基组合(表5),培养基pH调为5.8。选取最佳继代培养基中长势健壮的无菌单芽,每处理60株,3次重复。培养30 d后统计生根率、根数和根长^[12]。

1.2.5 脱毒与病毒检测 连续继代培养以获得不同代次的组培苗样品(增殖5代至8代),用于后续病毒检测。提取组培苗叶片RNA,采用RT-PCR法检测DMV,具体方法参照施世明等^[13]的方法。

1.3 数据分析

采用Excel 2013和SPSS 19.0进行数据分析和

差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同取材时间对贺州香芋外植体消毒效果的影响

由表 1 可知,不同取材时间对贺州香芋外植体消毒效果影响显著。T1 和 T2 处理的外植体污染率分别为 9.76%和 13.85%,褐化率分别为 8.91%和 14.82%,均维持在较低水平,成活率分别达 81.33%和 71.33%,均显著高于其他处理。T3 处理外植体污染率为 22.44%,褐化率为 24.32%,成活率 53.24%。T4 处理外植体污染率最高(38.67%),极高的污染率导致其成活率仅为 45.12%,为各处理最低。以上结果表明,春季 4 月是贺州香芋外植体最

表 1 不同取材时间对外植体消毒效果的影响
Table 1 Effects of different sampling times on explant sterilization efficiency

处理 Treatment	取材时间 Sampling time	污染率 Contamination rate/%	褐化率 Browning rate/%	成活率 Survival rate/%
T1	4 月 April	9.76 c	8.91 c	81.33 a
T2	6 月 June	13.85 c	14.82 b	71.33 a
T3	8 月 August	22.44 b	24.32 a	53.24 b
T4	10 月 October	38.67 a	16.21 b	45.12 c

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

佳取材时期,污染易控制且生理状态稳定,有利于建立无菌培养体系。

2.2 不同消毒方法对贺州香芋外植体消毒效果的影响

8 种消毒方法(T1~T8)对贺州香芋茎尖外植体消毒效果的影响如表 2 所示,各处理的污染率、褐化率与成活率均存在较大差异。所有含 0.1% Hg-Cl₂ 的处理(T1~T6)污染率均低于含 2% NaClO 的处理(T7、T8)。其中 T5 与 T6 处理污染率较低,分别为 8.32%与 8.20%,且两处理间差异不显著。相比之下,含 NaClO 的处理(T7、T8)污染率较高,分别为 30.65%、28.23%。外植体褐化率随消毒剂类型与处理时间变化显著。含 NaClO 的处理褐化率最高达 43.70%(T8)。在含 HgCl₂ 的处理中,延长 Hg-Cl₂ 处理时间也会导致褐化率升高,T6 处理最高,达 36.86%。T2、T4 和 T5 处理的成活率较高,分别为 75.32%、73.00%和 76.48%,三者间差异不显著。其中 T5 处理成活率最高(76.48%),污染率较低(8.32%),褐化率亦处于较低水平(15.20%)。HgCl₂ 处理时间相同时,乙醇处理 20 s 的处理(T4、T5、T6)污染率均低于处理 10 s 的处理(T1、T2、T3),其中 HgCl₂ 处理 6 min 时差异最显著(12.60% vs. 28.09%),说明延长乙醇处理时间可有效降低污染率。然而,乙醇处理 20 s 也导致褐化率不同程度升高,尤其在 HgCl₂ 处理 10 min 时,褐化率由 27.32%(T3)显著上升至 36.86%(T6)。综上,在本试验体系中,含 0.1% HgCl₂ 的处理整体消毒效果优于含

表 2 不同消毒方法对外植体消毒效果的影响
Table 2 Effects of different sterilization methods on explant sterilization efficiency

处理 Treatment	消毒方法 Disinfection method	污染率 Contamination rate/%	褐化率 Browning rate/%	成活率 Survival rate/%
T1	75%乙醇 10 s+0.1% HgCl ₂ 6 min 75% alcohol 10 s + 0.1% HgCl ₂ 6 min	28.09 a	12.30 d	59.61 c
T2	75%乙醇 10 s+0.1% HgCl ₂ 8 min 75% alcohol 10 s + 0.1% HgCl ₂ 8 min	10.63 bc	14.05 cd	75.32 a
T3	75%乙醇 10 s+0.1% HgCl ₂ 10 min 75% alcohol 10 s + 0.1% HgCl ₂ 10 min	9.47 c	27.32 b	63.21 b
T4	75%乙醇 20 s+0.1% HgCl ₂ 6 min 75% alcohol 20 s + 0.1% HgCl ₂ 6 min	12.60 b	14.40 cd	73.00 a
T5	75%乙醇 20 s+0.1% HgCl ₂ 8 min 75% alcohol 20 s + 0.1% HgCl ₂ 8 min	8.32 c	15.20 cd	76.48 a
T6	75%乙醇 20 s+0.1% HgCl ₂ 10 min 75% alcohol 20 s + 0.1% HgCl ₂ 10 min	8.20 c	36.86 a	54.94 c
T7	75%乙醇 20 s+2% NaClO 8 min 75% alcohol 20 s + 2% NaClO 8 min	30.65 a	33.50 ab	35.85 d
T8	75%乙醇 20 s+2% NaClO 10 min 75% alcohol 20 s + 2% NaClO 10 min	28.23 a	43.70 a	28.07 e

2% NaClO 的处理。采用 75%乙醇 20 s+0.1% Hg-Cl₂ 8 min(T5),可有效控制内生菌污染,从而获得最高的成活率,但后续研究仍需关注 HgCl₂ 的环境与安全风险。

2.3 不同植物生长调节剂对贺州香芋外植体萌芽率的影响

由表 3 可知,不同培养基处理对贺州香芋外植体的萌芽率具有显著影响,处理间生长状况差异较大。T1~T4 处理随 6-BA 浓度的升高,萌芽率呈先升后降的趋势,其中 T3 与 T4 处理萌芽率分别达

72.00%、64.23%,且外植体生长良好、芽体健壮,但 T4 处理出现了部分玻璃化现象。当以 ZT 作为细胞分裂素时,萌芽率整体较高,T7 处理萌芽率最高,为 89.21%,且生长势强,部分腋芽处萌发不定芽,表现出良好的增殖潜力;T8 处理虽萌芽率达 75.41%,但同样伴随玻璃化问题。低浓度 6-BA 处理(T1)萌芽率仅为 34.52%,外植体生长迟缓并伴随褐化,表明其不适于萌芽诱导。综上所述,贺州香芋外植体在含 2.5 mg·L⁻¹ ZT+0.1 mg·L⁻¹ NAA 的 1/2 MS 培养基(T7)中萌芽与生长状态最佳,为较适宜的初代培养条件。

表 3 不同植物生长调节剂对贺州香芋外植体萌芽率的影响
Table 3 Effects of different plant growth regulators on the germination rate of Hezhou taro explants

处理 Treatment	基本培养基 Basic medium	ρ(植物生长调节剂) Plant growth regulator concentration/(mg·L ⁻¹)			萌芽率 Germination rate/%	生长情况 Growth performance
		6-BA	ZT	NAA		
T1	1/2 MS	1.5		0.1	34.52 d	外植体萌发迟缓,颜色呈深褐色 The explants showed delayed germination and exhibited a dark brown color
T2	1/2 MS	2.0		0.1	56.00 c	外植体萌发慢,颜色呈褐色 The explants showed slow germination and turned brown
T3	1/2 MS	2.5		0.1	72.00 b	外植体萌发较快,新生芽体健壮,形态正常 The explants germinated rapidly and produced vigorous, morphologically normal shoots
T4	1/2 MS	3.0		0.1	64.23 c	外植体萌发较快且芽体健壮,然而部分芽体发生了显著的玻璃化现象 The explants exhibited rapid germination and robust shoots, however, a portion of the shoots developed significant vitrification
T5	1/2 MS		1.5	0.1	63.12 c	外植体萌发较快,芽体形态正常 The explants exhibited rapid germination and normal shoot morphology
T6	1/2 MS		2.0	0.1	73.61 b	外植体萌发快,芽体形态正常 The explants exhibited rapid germination and normal shoot morphology
T7	1/2 MS		2.5	0.1	89.21 a	外植体萌芽快,芽体生长势强,且部分新芽的腋芽处萌生不定芽 The explants not only exhibited rapid budbreak and strong growth vigor, but also developed adventitious buds from the axillary buds of some new shoots
T8	1/2 MS		3.0	0.1	75.41 b	外植体萌芽快,且芽体健壮;然而部分芽体出现了显著的玻璃化现象 The explants showed rapid bud germination and vigorous shoot growth; however, significant vitrification occurred in some of the shoots

2.4 不同植物生长调节剂对贺州香芋继代增殖系数的影响

由表 4 可知,所有处理均采用 1/2 MS 作为基本培养基,且 NAA 浓度均为 0.1 mg·L⁻¹,通过调节 6-BA 浓度(1.5~4.0 mg·L⁻¹)研究其对贺州香芋继代增殖系数的影响。结果表明,随着 6-BA 浓度的增加,外植体的增殖系数呈逐渐上升的趋势。T1 处理的增殖系数为 2.2,植株生长势较弱,芽体细弱且基部出现褐化;T2 处理增殖系数为 2.8,但外植体整体生长状态一般,新生芽体长势不强,基部仍存在褐

化现象。当 6-BA 浓度增至 3.0 mg·L⁻¹(T4)时,增殖系数提高至 4.3,外植体生长状况良好,新生芽体健壮且形态正常。进一步增加 6-BA 浓度至 3.5 mg·L⁻¹(T5)和 4.0 mg·L⁻¹(T6),增殖系数分别为 4.5 和 4.7,外植体生长旺盛,萌芽早且芽体健壮,但两者均出现了玻璃化现象,其中 T5 处理还观察到部分腋芽处萌生不定芽。综合分析表明,T4 处理(3.0 mg·L⁻¹ 6-BA+0.1 mg·L⁻¹NAA+1/2 MS)最有利于贺州香芋的继代增殖,在保证较高增殖系数的同时避免了玻璃化现象,是较为理想的培养基配方。

表 4 不同植物生长调节剂对贺州香芋继代增殖系数的影响

Table 4 Effects of different plant growth regulators on the subculture multiplication coefficient of Hezhou taro

处理 Treatment	基本培养基 Basic medium	ρ (植物生长调节剂) Plant growth regulator concentration/(mg·L ⁻¹)		增殖系数 Multiplication coefficient	生长情况 Growth performance
		6-BA	NAA		
T1	1/2 MS	1.5	0.1	2.2 c	植株生长势较弱,表现为芽体细弱,基部出现褐化 The plantlets exhibited weak growth vigor, characterized by spindly shoots and basal browning
T2	1/2 MS	2.0	0.1	2.8 bc	外植体整体生长状态一般,新生芽体长势不强,基部褐化 The explants exhibited an overall moderate growth status, characterized by weak vigor in newly formed shoots and browning at the base
T3	1/2 MS	2.5	0.1	3.4 b	外植体生长状况良好,新生芽体健壮,形态正常 The explants showed good growth status, vigorous new shoots, and normal morphology
T4	1/2 MS	3.0	0.1	4.3 a	外植体总体长势好,新生芽体健壮,且形态正常 The explants exhibited good overall growth with robust and morphologically normal new shoots
T5	1/2 MS	3.5	0.1	4.5 a	外植体萌芽早,芽体生长势强,且部分新芽的腋芽处萌生不定芽,部分芽体出现玻璃化现象 In addition to early budbreak, strong shoot growth, and the development of adventitious buds from the axillary buds of some new shoots, vitrification was also observed in a portion of the shoots
T6	1/2 MS	4.0	0.1	4.7 a	外植体生长旺盛,萌芽迅速且芽体健壮;芽体出现了显著的玻璃化现象 Despite vigorous explant growth, characterized by rapid budding and robust shoots, significant vitrification was observed in the shoot tissues

2.5 不同植物生长调节剂对贺州香芋组培苗生根的影响

由表 5 可知,不同的植物生长调节剂种类及浓度对贺州香芋组培苗的生根及植株生长状况均有较大影响。IBA 处理综合生根效果最佳,当 IBA 浓度为 1.0 mg·L⁻¹时(T2 处理),生根效果最好,生根率最高,为 83.2%,平均根数最多,为 10.2 条,且根系粗壮,质量好;当 IBA 浓度降低至 0.5 mg·L⁻¹(T1)或升高至 1.5 mg·L⁻¹(T3)时,各项生根指标均有所下降。IAA 处理下的组培苗,其根系普遍具有“细长”的特点,在浓度为 1.0 mg·L⁻¹(T5)时,生根率(74.6%)和平均根长(4.3 cm)均较高,但其根系活力较弱;当 IAA 浓度升高至 1.5 mg·L⁻¹(T6)时,部分叶片还出现了卷曲和根基部部分褐化的现象。NAA 处理的各项生根指标均低于 IBA 和 IAA 处理,均观察到根系“短粗”的现象,并且 T8 和 T9 处理中出现了“根部有部分愈伤组织”或“有明显愈伤组织形成”的问题;同时,T9 处理也出现了叶片卷曲,进一步说明较高浓度的 NAA 对植株生长有不利影响。综上所述,T2 处理(1.0 mg·L⁻¹ IBA+1/2 MS)能高效诱导贺州香芋组培苗产生数量多、质量好、活力强的根系。

2.6 贺州香芋组培苗脱毒与病毒检测

采用分子检测方法对贺州香芋组培苗进行

DMV 检测,结果如图 1 所示。泳道 3 和 4 为阳性对照,显示清晰的目标条带,表明检测体系有效、反应条件正常;泳道 5~8 分别为待测贺州香芋组培苗增殖 5 和 8 代的继代样品。从电泳结果可以看出,所有待测样品均未出现与阳性对照相一致的目标条带,说明这些组培苗样本中未检测到 DMV 的异性核酸片段,在继代培养过程中未受到 DMV 的侵染,植株健康状况良好,符合进一步扩繁与再生培养的基本要求。

3 讨论与结论

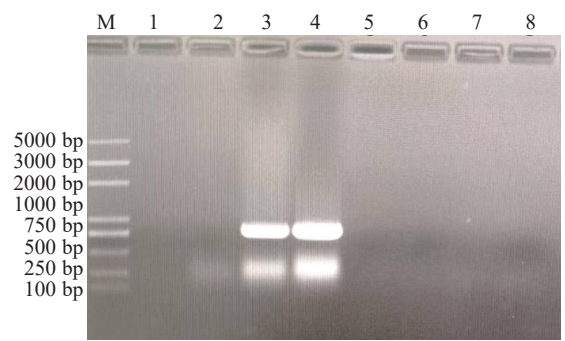
本研究以贺州香芋茎尖为外植体,系统探讨了外植体取材时间、消毒方法、植物生长调节剂配比等因素对组织培养过程中外植体消毒、启动培养、继代增殖及生根培养的影响,建立了贺州香芋组培快繁技术体系。

外植体取材和消毒是组培体系建立的首要环节。本研究表明,春季 4 月取材的贺州香芋外植体具有更高的消毒耐受性,这与该时期植株代谢活跃、内含物丰富且田间病原菌负荷较低有关,该结果与杜红梅等^[14]关于春季有利于芋茎尖培养的结论一致。在消毒方法上,在相同 HgCl₂处理时间下,乙醇 20 s 处理(T4、T5、T6)的污染率均低于乙醇 10 s

表 5 不同植物生长调节剂对贺州香芋组培苗生根的影响

Table 5 Effects of different plant growth regulators on rooting of Hezhou taro plantlets

处理 Treatment	基本培 养基 Basic medium	ρ (植物生长调节剂) Plant growth regulator concentra- tion/(mg·L ⁻¹)			生根率 Rooting rate/%	平均生根数 Average number of root	平均根长 Average root length/cm	生长情况 Growth performance
		IBA	IAA	NAA				
T1	1/2 MS	0.5			76.1 b	8.4 b	3.1 c	生根慢,根系白,较细 The roots were slow-growing, white, and relatively thin
T2	1/2 MS	1.0			83.2 a	10.2 a	3.6 b	生根快,根系白,根系粗壮,质量好 The roots were fast-growing, white, thick, and of high quality
T3	1/2 MS	1.5			78.4 ab	9.1 b	3.0 c	生根较快,根系白,根系短粗,较脆易断 Rooting was relatively fast, with the roots being white, short and thick, as well as brittle and prone to breaking
T4	1/2 MS		0.5		59.6 d	7.8 c	3.7 b	生根慢,根系白,细长 The roots were slow-growing, white, and slender
T5	1/2 MS		1.0		74.6 bc	9.8 a	4.3 a	生根快,根系白,细长,根系活力较弱 Although rooting was rapid, producing white and slender roots, their physiological activity was relatively low
T6	1/2 MS		1.5		68.9 cd	8.7 b	3.9 ab	生根较快,根系细长,部分叶片卷曲,根基部部分褐化 The plantlets exhibited relatively rapid rooting with elongated root systems; however, partial leaf curling and localized browning at the root base were observed
T7	1/2 MS			0.5	47.3 e	5.6 e	2.5 d	生根慢,根系白,短粗 Root development was slow, producing white, short and thick roots
T8	1/2 MS			1.0	64.6 d	7.4 cd	3.0 c	生根快,根系白,短粗,根部有部分愈伤组织 Rooting occurred rapidly, yielding white, short and thick roots with callus formation at the root base
T9	1/2 MS			1.5	50.7 e	6.3 d	2.8 cd	生根较快,根系白,短粗,有明显愈伤组织形成,叶片卷曲 The plantlets developed roots at a moderate rate, exhibiting white, short-thick roots with distinct callus formation, while leaf curling was also observed



注:1~2 为空白对照,3~4 为阳性对照,5~6 是第 5 代增殖组培苗样品,7~8 是第 8 代增殖组培苗样品。

Note: 1-2 are blank controls, 3-4 are positive controls, 5-6 are the 5th generation propagated tissue-cultured seedlings, and 7-8 are the 8th generation propagated tissue-cultured seedlings.

图 1 贺州香芋组培苗脱毒与病毒检测

Fig. 1 Virus-free treatment and virus detection of tissue-cultured seedlings of Hezhou taro

处理(T1、T2、T3),其中 T5 处理的成活率最高(76.48%)。这可能是因为延长乙醇处理时间有助于去除茎尖表面的蜡质层和附着微生物,增强后续 HgCl₂ 的渗透与灭菌效果^[15]。本研究中乙醇处理 20 s

为较适宜的预处理时长,这与川麦冬^[16]等植物组培中采用乙醇处理 20 s 可获得良好的消毒效果的研究结果一致。本研究中,含 0.1% HgCl₂ 的处理成活率均显著高于含 2%NaClO 的处理,可能与 HgCl₂

的强渗透性与蛋白变性能力有助于克服芋茎尖多层包裹及黏液导致的物理屏障有关^[15]。但鉴于 HgCl_2 的剧毒性与环境风险,其使用应严格受限,未来需着力开发高效低毒的替代消毒剂。消毒时间直接影响外植体的灭菌效果与组织活性。乙醇预处理时间一定时,当 0.1% HgCl_2 处理时间由 8 min 缩短至 6 min 时,污染率均显著升高;而延长至 10 min 虽可进一步控制污染,但外植体褐化加剧,成活率显著下降。本试验表明 0.1% HgCl_2 消毒 8 min 为最佳处理时长,能在有效灭菌的同时最大限度保持外植体活力。郭克婷等^[17]在张溪香芋的研究中表明,0.1% HgCl_2 处理 5~6 min 可获得较高成活率,与本文结果存在差异。唐东梅^[18]研究表明,使用饱和漂白粉溶液[主成分 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$]消毒,对组织伤害更轻,转绿率更高(84%),但后期污染率较高。韩晓勇等^[19]在靖江香沙芋的研究中指出,使用 84 消毒液[主要成分为次氯酸钠(NaClO)]处理 10~15 min 可获得较高的灭菌成功率(83.3%)。以上研究表明不同基因型芋外植体对不同消毒剂种类与处理时间组合的适应性存在差异。

在启动培养阶段,外植体萌芽率均分别随 6-BA、ZT 浓度的升高呈先升后降趋势,均在 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最高;浓度相同时,含 ZT 的处理萌芽率均显著高于含 6-BA 的处理,T7 处理($1/2\text{MS}+2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ZT}+0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NAA}$)萌芽率最高,为 89.21%,显著高于其他处理。本研究结果的变化趋势与覃换玲等^[19]在小果甜柿中的研究一致。后者发现,在 $1/2\text{MS}+2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ZT}+0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NAA}$ 的启动培养基上,外植体萌芽率最高(78.33%),显著高于其他含 6-BA 处理。本研究证实了 ZT 在芋类作物初代培养中的应用潜力。需要指出的是,本研究尚未研究 ZT 与 6-BA 组合使用对贺州香芋萌芽率的影响。已知在多种植物中,天然与合成细胞分裂素可通过信号通路互补产生协同增效^[20]。因此,后续研究通过设计 ZT 与 6-BA 的梯度组合试验,有望进一步优化启动培养基配方,并深入揭示 2 类激素在芋头再生中的互作机制。

继代培养中, $3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA+ $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA+ $1/2\text{MS}$ 的组合能在避免玻璃化的前提下增殖系数达 4.3,表明此配比能有效维持细胞分裂与分化的平衡。这一效率高于王立等^[21]在兴化龙香芋中使用噻苯隆(TDZ)与 2,4-D 组合所获得的结果,凸显了以 6-BA 为核心的细胞分裂素在芋类规模化快繁中经济、稳定的优势。此外本研究发现,当 6-BA 浓度

超过 $3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,外植体会出现玻璃化现象,这与吴伟等^[22]的研究结果一致,可能是因为 6-BA 浓度过高会干扰植株正常代谢与水分平衡。因此,在生产实践中须严格控制激素浓度。

在生根培养阶段,组培苗生根率、平均生根数均分别随 IBA、IAA、NAA 浓度的增加呈先升高后降低趋势,均在 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最高。浓度相同时,含 IBA 处理的生根率、平均生根数均高于含 IAA、NAA 处理,且根系粗壮、活力强,IAA 诱导的根系细长而活力弱,NAA 则易诱发过量愈伤组织并导致叶片卷曲。此结果验证了 IBA 在诱导芋类作物形成健壮根系方面的优越性。T2 处理($1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA+ $1/2 \text{MS}$)的生根率、平均根数最高,分别为 83.2%、10.2 条。当 IAA 浓度由 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (T5)升高至 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (T6)时,生根率从 74.6%降至 68.9%,平均根数从 9.8 条减至 8.7 条,且部分叶片出现卷曲、根基部褐化,这可能是由于 IAA 在培养基中易发生光氧化降解,其不稳定产物(如 3-亚甲基氧吡啶)累积,引发氧化胁迫与细胞损伤,进而抑制根系发育与植株生长^[23]。相比之下,IBA 性质更稳定,不易降解,在诱导不定根方面通常优于 IAA,是更理想的生根诱导剂。

经分子检测,本体系获得的组培苗中未检出 DMV,表明该组培快繁体系可有效获得脱毒苗,为贺州香芋的种质复壮与健康种芋生产提供了可靠保障。

综上,本研究初步建立了贺州香芋组培快繁技术体系,明确了 4 月为最佳取材时期,75%乙醇 20 s+0.1% HgCl_2 8 min 为适宜消毒方案, $1/2 \text{MS}+2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ZT}+0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NAA}$ 为最佳启动培养基, $1/2 \text{MS}+3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA+ $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 为高效继代培养基, $1/2 \text{MS}+1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ IBA 为优质生根培养基。该体系可为贺州香芋的种质资源保存、脱毒种苗规模化生产及产业化推广提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] Loy T H, Spriggs M, Wickler S. Direct evidence for human use of plants 28, 000 years ago: Starch residues on stone artefacts from the northern solomon islands[J]. *Antiquity*, 1992, 66 (253):898-912.
- [2] 胡瑶,胡启明,杨兆杏,等. 广西芋头产业现状及发展策略:以广西桂林市和贺州市芋头产业为例[J]. *农业研究与应用*, 2024,37(2):173-180.
- [3] 李哲斌. 芋头多糖提取纯化、结构表征及生物活性研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023,49(24):354-360.
- [4] 何芳练,刘莉莉,邱祖杨,等. 广西芋头产业现状与发展对

- 策[J].中国瓜菜,2023,36(9):151-156.
- [5] 何青石,赖松新,董伟清,等.贺州香芋发展现状与思考[J].长江蔬菜,2019(16):80-82.
- [6] 张志勇,黄萍萍,梁金平.芋茎尖脱毒应用研究进展[J].江西农业学报,2008,20(7):52-53.
- [7] 蒙真诚,苏翠,岳建伟,等.芋头栽培技术及组织培养研究进展[J].热带农业科学,2019,39(11):67-71.
- [8] 杭玲,罗瑞鸿,苏国秀,等.荔浦芋组培技术及应用[J].中国蔬菜,2003(5):61.
- [9] 林志斌,魏远竹,林丽娟,等.福鼎槟榔芋病虫害发生状况调研报告[J].特种经济动植物,2025,28(7):159-161.
- [10] Brugaletta M, La Malfa S, Gentile A, et al. *In vitro* culture establishment of *Ceratonia siliqua* (L.) mature trees from cultivars of different Mediterranean countries[J]. Acta Horticulturae, 2009(812):77-82.
- [11] 韩晓勇,宋婷婷,王立,等.靖江香沙芋组织培养快繁技术[J].江苏农业科学,2015,43(1):50-52.
- [12] 杨春梅,单芹丽,许凤,等.云南红芋组织培养和快繁技术研究[J].西南农业学报,2013,26(2):676-680.
- [13] 施世明,王国平,徐文兴,等.芋花叶病毒的 RT-PCR 检测及外壳蛋白基因序列分析[J].园艺学报,2012,39(3):509-515.
- [14] 杜红梅,丁明,唐东梅,等.香酥芋试管球茎诱导的影响因素研究[J].上海交通大学学报(农业科学版),2009,27(4):389-393.
- [15] Hashim S, Ghazali S Z, Sidik N J, et al. Surface sterilization method for reducing contamination of *Clinacanthus nutans* nodal explants intended for *in-vitro* culture[J]. E3S Web of Conferences, 2021,36(1):68-75.
- [16] 张俊,孙鹏,周丽莉,等.川麦冬组织培养技术研究[J].中国农学通报,2009,25(24):88-91.
- [17] 郭克婷,何金明.张溪香芋茎尖组培快繁技术研究[J].广东农业科学,2015,42(6):25-29.
- [18] 唐东梅.芋茎尖脱毒和快繁体系的初步研究[D].南京:南京农业大学,2004.
- [19] 覃换玲,高莹莹,黄丽辉,等.小果甜柿组织培养快繁技术[J].果树学报,2023,40(9):1992-2000.
- [20] Riefler M, Novak O, Strnad M, et al. *Arabidopsis* cytokinin receptor mutants reveal functions in shoot growth, leaf senescence, seed size, germination, root development, and cytokinin metabolism[J]. The Plant Cell, 2006,18(1):40-54.
- [21] 王立,殷剑美,张培通,等.兴化龙香芋脱毒快繁组培技术体系的建立与优化[J].江苏农业科学,2018,46(23):55-59.
- [22] 吴伟,屈为栋,赵永彬,等.芋脱毒苗快繁技术研究与应用[J].浙江农业科学,2018,59(7):1159-1161.
- [23] Ludwig-Müller J. Auxin conjugates: Their role for plant development and in the evolution of land plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2011,62(6):1757-1773.