

马铃薯花药培养技术的优化

朱 旭¹, 魏 嘉¹, 李 楠¹, 牟书靓¹, 关可兴¹, 于洪柱², 贺红霞¹, 李毅丹³

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)农业生物技术研究所·吉林省农业生物技术重点实验室 长春 130033;
2. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)草地与生态研究所 吉林公主岭 136100; 3. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)主粮工程研究中心 长春 130033)

摘要:花药培养是获得马铃薯二倍体植株、加速倍性育种进程的关键技术。然而,该技术普遍存在诱导频率低和分化成苗困难等问题,限制了其在育种中的广泛应用。为建立高效的花药培养体系,以四倍体马铃薯品种内薯七号花药为试验材料,通过优化培养基配方,筛选出适于该品种花药组织诱导及植株分化的培养基组分。结果表明,培养基 $MS+30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖+7 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 琼脂+1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 萍乙酸(NAA)+1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)+0.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 激动素(KT)表现出更优的马铃薯花药愈伤组织诱导效果,培养基 $MS+30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖+7 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 琼脂+5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 活性炭(AC)+0.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 吲哚乙酸(IAA)+2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 玉米素(ZT)+2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)具有更好的分化效果,且该体系成功诱导出D126马铃薯的二倍体植株,初步显示出广适性潜力。综上,本研究成功建立了针对内薯七号的高效花药培养体系,有效提升了培养效率,并展现出应用于其他品种的潜力,研究结果为马铃薯二倍体育种奠定了基础。

关键词:马铃薯;花药培养;二倍体;愈伤诱导;分化

中图分类号:S532

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)02-119-06

Optimization of potato anther culture techniques

ZHU Xu¹, WEI Jia¹, LI Nan¹, MU Shujing¹, GUAN Kexing¹, YU Hongzhu², HE Hongxia¹, LI Yidan³

(1. Institute of Agricultural Biotechnology, Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agricultural Research Center of China) / Jilin Provincial Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Changchun 130033, Jilin, China; 2. Institute of Grassland and Ecology, Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agricultural Research Center of China), Gongzhuling 136100, Jilin, China; 3. Staple Food Engineering Research Center, Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun 130033, Jilin, China)

Abstract: Anther cultivation of potato diploids is a critical technology for obtaining diploid plants and accelerating ploidy breeding. However, challenges such as low induction frequency and difficulties in seedling differentiation have limited its widespread application. This study aimed to establish an efficient pollen culture system to address these bottlenecks. Using pollen from tetraploid potato variety Neishu No. 7 as material, the culture medium formula was optimized to identify components suitable for pollen tissue induction and plant differentiation in this variety. The results showed that the medium $MS+30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ sucrose+7 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ agar+1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ nicotinate(NAA)+1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid(2,4-D)+0.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ cytokinin(KT) demonstrated superior efficacy in inducing potato pollen callus formation. The medium $MS+30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ sucrose+7 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ agar+5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ activated charcoal(AC)+0.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ indoleacetic acid(IAA)+2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ zeatin ZT+2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 6-benzylaminoguanine(6-BA) exhibited better differentiation performance. This system successfully induced diploid plants in D126 potato, preliminarily demonstrating broad adaptability potential. The study successfully established an efficient pollen culture system for Neishu No. 7, significantly improving cultivation efficiency while showing promise for applications in other varieties, which lay a foundation for diploid potato breeding.

Key words: Potato; Anther culture; Diploid; Callus induction; Differentiation

马铃薯(*Solanum tuberosum*)起源于南美安第斯山脉,凭借其对多样化环境的广泛适应能力及持续

稳定的产量表现,现已发展为全球性重要作物。自16世纪引入我国以来,该作物依托其突出的复合抗

收稿日期:2025-06-09;修回日期:2025-09-02

基金项目:吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2024ZD013)

作者简介:朱 旭,女,助理研究员,研究方向为作物生物技术育种。E-mail:zhuxu0615@163.com

共同第一作者:魏 嘉,女,副研究员,研究方向为作物生物技术育种。E-mail:weijia198928@163.com

通信作者:贺红霞,女,副研究员,主要从事作物生物技术研究。E-mail:hongxia_365@163.com

李毅丹,男,研究员,主要从事作物生物技术研究。E-mail:liyidan@foxmail.com

逆特性,迅速在全国范围内推广栽培,现已成为第四大粮食作物。然而,当前马铃薯主流栽培品种为同源四倍体,基因组高度杂合导致隐性性状表达受阻,致使传统育种面临严峻挑战^[1]。

花药培养是一种通过诱导离体花药内花粉分化成完整植株的技术。由此技术培育出的植株染色体数目减半,形成单倍体^[2]、该技术在缩短育种周期、提升育种效率^[3]、克服远缘杂交障碍^[4-5]及创制种质资源^[6]等方面具有重要的应用价值。花药培养是马铃薯倍性育种的关键步骤,该技术通过降低马铃薯染色体倍数,可以实现在二倍体水平上进行筛选,改良目标性状^[7-8],再经过染色体加倍恢复到四倍体水平,从而大大缩短育种周期,提高育种效率。然而,该技术面临基因型依赖性强、诱导率低等瓶颈问题。因此,本文聚焦马铃薯花药培养技术体系的优化,旨在为加速马铃薯新品种选育提供技术支撑。笔者选用高抗马铃薯X病毒、Y病毒及晚疫病的内薯七号为试验材料,利用花药培养技术,

建立马铃薯的花药诱导二倍体体系,以期为规模化创制马铃薯二倍体种质资源提供技术支持。

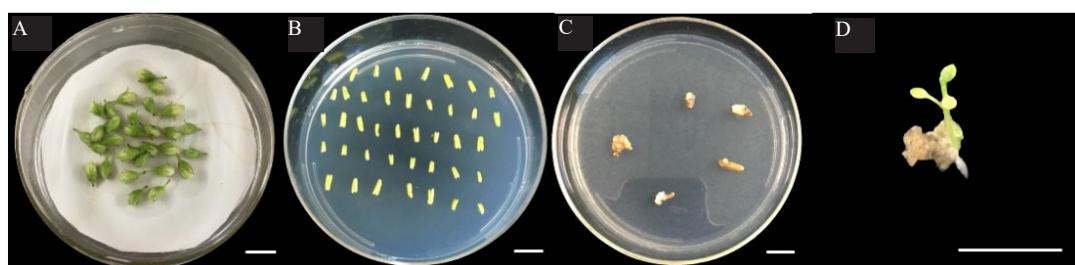
1 材料与方法

1.1 材料

试验于2021年6月至2022年6月在吉林省农业科学院实验室完成。试验用内薯七号及D126马铃薯花药由吉林省蔬菜花卉科学研究院提供。

1.2 马铃薯花药培养体系的建立

参照谢从华等^[9]的研究方法,于马铃薯盛花期08:00—10:00,采集花冠长度恰为萼片1/2的未开放花苞(露萼状态)。花苞经4℃冰盒转至实验室,置4℃冰箱预冷48 h。将经过预冷的花苞用75%乙醇消毒30 s后,无菌水冲洗2次,去除花苞表面残留的酒精;再用2%次氯酸钠浸泡8 min,然后用无菌水冲洗3次。消毒后的花苞在铺有多层无菌滤纸的培养皿中,用无菌镊子剥开花瓣,取出花药,接种在培养皿中,每皿30~40个花药。图1为马铃



注:A. 消毒后的花药;B. 花药接种;C. 花药愈伤;D. 分化出苗。标尺=1.0 cm。

Note: A. The anthers after disinfection; B. Anther inoculation; C. Anther callus; D. Regeneration. Bar=1.0 cm.

图1 马铃薯花药培养流程

Fig. 1 Flowchart of potato anther culture

薯花药培养流程图。

笔者选择3种愈伤诱导培养基,比较其对内薯七号花药的诱导效果。Y1:MS+30 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+1 mg·L⁻¹萘乙酸(NAA)+1 mg·L⁻¹2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)+0.5 mg·L⁻¹激动素(KT);Y2:MS+60 g·L⁻¹蔗糖+6 g·L⁻¹琼脂+2 mg·L⁻¹NAA+1 mg·L⁻¹6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)+0.5 mg·L⁻¹KT+0.2 g·L⁻¹活性炭(AC)+0.4 mg·L⁻¹维生素B1(VB1);Y3:MS+60 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+3 mg·L⁻¹6-BA+50 mg·L⁻¹半胱氨酸(Cys)+200 mg·L⁻¹维生素C(VC)+5 g·L⁻¹AC^[10]。

接种后的花药在33℃恒温培养箱中热激培养72 h后,转入环境温度25℃、光周期为16 h/8 h(光照/黑暗)的培养室中继续培养。诱导出的愈伤组织转入分化培养基中,继代周期为15 d。试验设置了

F1~F5共5种分化培养基,F1组分为:MS+30 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+4 mg·L⁻¹赤霉素(GA₃)+2 mg·L⁻¹玉米素(ZT);F2组分为:MS+30 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+0.2 mg·L⁻¹NAA+2 mg·L⁻¹6-BA+1 mg·L⁻¹ZT;F3组分为:MS+30 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+5 g·L⁻¹AC+0.5 mg·L⁻¹IAA+2 mg·L⁻¹ZT+2 mg·L⁻¹6-BA;F4组分为:MS+30 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+0.5 mg·L⁻¹IAA+1 mg·L⁻¹6-BA;F5组分为:MS+50 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+1 mg·L⁻¹IAA+2 mg·L⁻¹6-BA+2 mg·L⁻¹ZT+5 g·L⁻¹AC,pH均为5.8。

当分化苗长到3~5 cm高时,转移到MS基本培养基上进行生根培养,一周内长出3~5个白色根。待植株长至10 cm左右时,可用消毒剪刀剪取带一个腋芽的茎段作为一个新的外植体插入新鲜的MS培养基中进行扩繁。当根长至2~4 cm时即

可移栽,首先打开瓶口,放在温室中炼苗3~5 d,然后洗掉根部的培养基,将植株放入装有蛭石的育苗盆中,浇2遍透水,促进根系与蛭石的紧密结合。先在散射光下培养2~3 d,待植株成活后,即可在自然光下正常养护。在移栽前,需要对再生苗进行倍性鉴定。采用公认的根尖染色体计数法进行再生植株倍性鉴定^[11-13]。待新根长至1~2 cm时,剪取0.5 cm根尖放入冰水混合物中浸泡24 h,取出后用滤纸吸干水分,立即放入新制的卡诺固定液(无水乙醇/冰醋酸=3/1)中固定24 h。固定后的根尖,用蒸馏水漂洗2~3次,再放入0.1 mol·L⁻¹ HCl溶液中,60 °C水浴12~15 min进行水解。从水解液中取出根尖,用蒸馏水漂洗2~3次,放到苯酚品红中染色10 min后镜检。

1.3 诱导体系的应用

为了评估诱导体系的适应性,将本研究建立的花药培养体系应用于马铃薯材料D126,在相同诱导条件下进行培养验证。

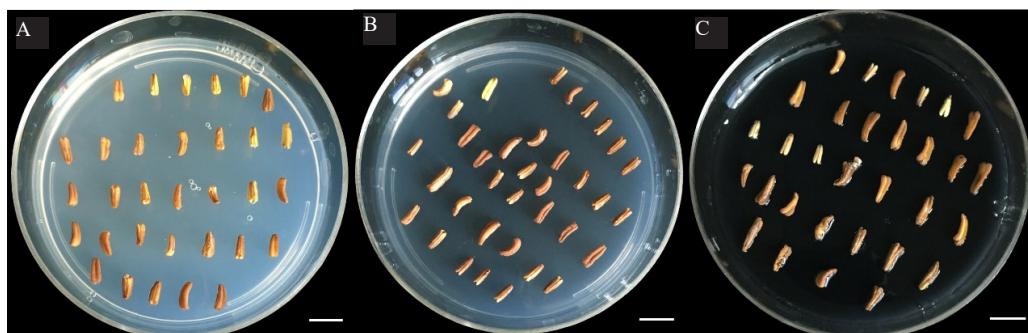
1.4 数据分析

采用Microsoft Excel软件进行试验数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 愈伤组织的诱导

培养7 d后,3种培养基中的花药陆续出现褐化现象,其中Y1培养基中的花药褐化始于第17天,Y2始于第10天,Y3最早发生于第7天且颜色最深(图2)。在愈伤组织诱导方面,如表1所示,Y1培养基诱导率最高(6.25%),且所产生的愈伤



注: A. Y1 培养基; B. Y2 培养基; C. Y3 培养基。标尺=1.0 cm。

Note: A. Y1 culture medium; B. Y2 culture medium; C. Y3 culture medium. Bar=1.0 cm.

图2 3种培养基中的花药

Fig. 2 The anthers in three kinds of culture media

表1 3种培养基中花药褐化率和愈伤组织诱导率

Table 1 The anther browning rate and callus induction rate in three different culture medias

代号 Code	接种花药数 Number of inoculated anthers	褐化率 Browning rate/%	愈伤组织诱导数 Number of callus induction	愈伤组织诱导率 Callus induction rate/%
Y1	128	100	8	6.25
Y2	128	100	2	1.56
Y3	128	100	0	0.00

组织呈淡黄色,结构疏密程度适中(图3)。经多次继代培养后,该愈伤仍维持良好的繁殖速率与形态稳定性。

2.2 愈伤分化

诱导出的愈伤组织分别转入5种分化培养基后,仅在分化培养基F3(MS+30 g·L⁻¹蔗糖+7 g·L⁻¹琼脂+5 g·L⁻¹AC+0.5 mg·L⁻¹IAA+2 mg·L⁻¹ZT+2 mg·L⁻¹6-BA)中观察到有效分化,培养21 d后愈伤组织内部形成致密细胞团并分化出绿色小苗(图4)。其余4种培养基中愈伤组织不分化,逐步褐化



图3 内薯七号花药在Y1中的愈伤

Fig. 3 Callus derived from Neishu No. 7 anthers cultured on Y1 medium



图 4 愈伤分化

Fig. 4 Callus differentiation

死亡,部分呈现结构松散、贴壁生长的水渍化形态。

2.3 倍性鉴定

染色体倍性鉴定结果表明,马铃薯四倍体栽培(对照)具有典型的48条染色体(图5-A),而花药培养再生植株的染色体数目稳定为24条(图5-B),恰为四倍体染色体基数的一半。此染色体减半现

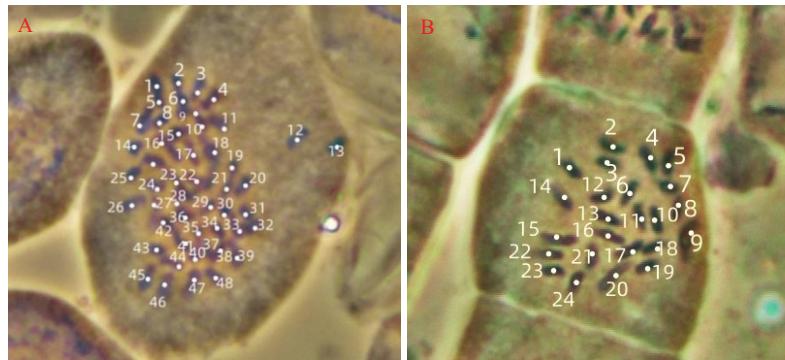
象确证了通过花药培养技术成功获得遗传稳定的马铃薯二倍体植株,为后续倍性育种提供了关键材料基础。再生植株的形态分析表明,内薯七号二倍体植株较四倍体对照茎粗和根长明显减小,叶片长宽比增大,叶色明显变浅(图6)。

2.4 诱导体系的应用

为了验证诱导体系的适应性,笔者将本研究建立的花药培养体系应用于马铃薯材料D126,成功获得再生植株。经根尖染色体计数法鉴定,再生植株染色体数目为24条(图7),确认为遗传稳定的二倍体,初步表明该诱导体系对不同基因型材料具有良好的潜在适应性。

3 讨论和结论

花药培养作为马铃薯倍性育种的核心技术手段,其应用仍受限于较低的胚状体发生率和植株再生频率。自20世纪80年代起,我国学者系统开展了马铃薯花药培养研究,证实该技术受基因型依赖

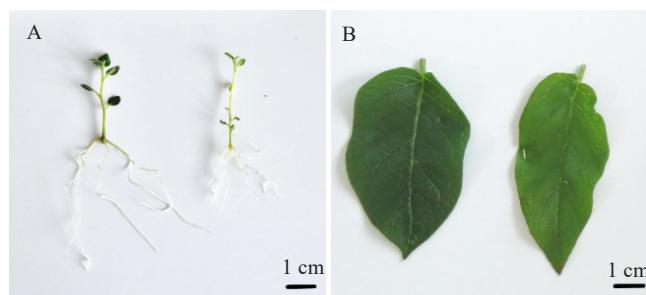


注:A. 四倍体马铃薯根尖染色体显微图像;B. 花药再生苗根尖染色体显微图像。

Note: A. Microscopic image of tetraploid potato root-tip chromosome; B. Microscopic image of root-tip chromosome from anther-regenerated plant.

图 5 光学显微镜(10×100 倍)下马铃薯根尖染色体镜检图像

Fig. 5 Microscopic image of potato root-tip chromosomes under a light microscope at 10×100 magnification



注:A. 左为四倍体植株,右为二倍体植株;B. 左为四倍体的顶小叶,右为二倍体的顶小叶。

Note: A. The plant on the left is tetraploid, and the plant on the right is diploid; B. The terminal leaflet on the left is from the tetraploid plant, and the terminal leaflet on the right is from the diploid plant.

图 6 内薯七号四倍体与二倍体植株性状对比

Fig. 6 Comparison of plant traits between tetraploid and diploid Neishu No. 7

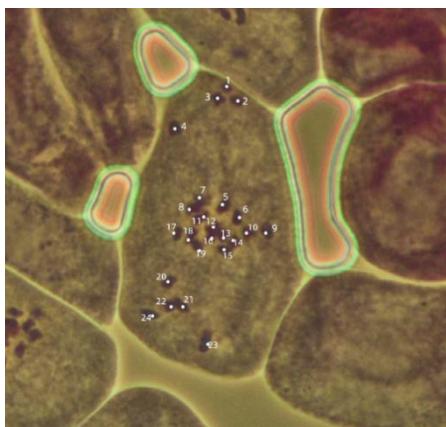


图 7 光学显微镜(10×100 倍)下 D126 根尖染色体镜检图像

Fig. 7 Microscopic image of root-tip chromosomes of D126 under light microscope at 10×100 magnification

性、供体植株生理状态、花蕾发育时期、温度预处理及培养基组分等多种因素调控^[14]。虽已优化部分技术环节(如精准取材窗口期、预冷-热激处理等),但培养基组分设计(特别是激素配比、添加剂选择)仍需依据基因型进行个性化调整。

在植物组织培养中,生长素和细胞分裂素的配比不仅影响花药培养成败,更调控器官发育模式^[15]。笔者在本研究中设置 3 种激素比例差别较大的培养基,培养基 Y1 的生长素和细胞分裂素比例较高,除了植物激素没有添加任何添加物外,培养基 Y2 的生长素含量略高于细胞分裂素,比较均匀,培养基 Y3 仅含细胞分裂素,值得注意的是,Y2 与 Y3 培养基中高浓度蔗糖的引入直接影响愈伤组织的质地与胚性/非胚性形态发生方向。物种差异性研究表明,早花百子莲的愈伤诱导培养基蔗糖质量浓度≤30 g·L⁻¹ 时形成疏松含水非胚性愈伤,40~60 g·L⁻¹ 时胚性愈伤比例显著提升(50 g·L⁻¹ 达峰值 78.5%)^[16]。黄瓜和甜瓜胚性愈伤诱导峰值的蔗糖质量浓度分别为 30 g·L⁻¹ 和 40 g·L⁻¹^[17-18]。

研究发现,褐化是马铃薯花药培养过程中不可避免的,所有供试花药均出现不同程度的褐化,且 Y1~Y3 培养基中褐化起始时间与严重程度明显不同。尽管活性炭理论上可通过吸附有害物质减轻褐化,具有降低褐化的作用,但在本试验中,出现了全然相反的现象,Y3 培养基(含高浓度 AC)褐化最早(第 7 天)且程度最深,Y1/Y2 培养基褐化分别始于第 17/10 天。这种现象可能源于植物生长调节剂(PGRs)的调控作用,6-BA 和 KT 不仅促进酚类化合物的合成,而且刺激多酚氧化酶活性,促进褐变,而生长素 NAA 和 2,4-D 可抑制多酚合成,减轻褐

化^[19-21]。根据以上理论分析,培养基 Y1(NAA+2,4-D)对褐化抑制效果最佳,培养基 Y2(NAA+6-BA+KT)呈现拮抗效应,培养基 Y3 添加了高浓度的 6-BA,虽然添加了大量的活性炭,但褐化程度仍比培养基 Y1 和 Y2 严重,说明生长激素的添加量及种类对褐化的影响比活性炭大。

在愈伤诱导方面,仅添加基础 PGRs 的培养基成功诱导出 II 型愈伤,其特征为结构松散易碎,呈颗粒状,具有快速增殖能力,长期保持胚性潜能,能通过胚状体再生,与 Armstrong 等^[22]、戴朝曦^[23]的研究结果一致。Ball 等^[24]证实生长素的类型和浓度决定小孢子的发育途径,巩振辉等^[19]进一步指出愈伤组织类型和生长调节剂有关,可以通过生长调节剂调整愈伤组织的状态。笔者观察到花粉再生植株经胚状体途径形成,其 II 型愈伤具有高效增殖特性和快速分化能力(最快 21 d 成苗)以及稳定的再生潜力。

随着研究的不断深入,越来越多的马铃薯品种通过花药培养的方式成功诱导出二倍体,经不完全统计,自 20 世纪 80 年代至今,我国学者通过花药培养的方式,已诱导出了 20 多个马铃薯二倍体^[25-27]。这些研究结果表明,马铃薯花药诱导双单倍体植株的技术已经取得了一定的进展,能够在不同基因型的马铃薯中诱导出双单倍体,从而在一定程度上突破了基因型的限制。笔者认为培养基的激素组成和配比在诱导愈伤组织及分化中起更为关键的作用,每个马铃薯基因型都有花药诱导二倍体的潜力。

综上所述,笔者利用内薯七号建立的马铃薯二倍体诱导体系不仅获得了该品种 20 份二倍体材料,在 D126 上应用也成功地诱导出了二倍体,在一定程度上证明了最优诱导培养基为 MS+30 g·L⁻¹ 蔗糖+7 g·L⁻¹ 琼脂+1 mg·L⁻¹ NAA+1 mg·L⁻¹ 2,4-D+0.5 mg·L⁻¹ KT, 分化培养基为 MS+30 g·L⁻¹ 蔗糖+7 g·L⁻¹ 琼脂+5 g·L⁻¹ AC+0.5 mg·L⁻¹ IAA+2 mg·L⁻¹ ZT+2 mg·L⁻¹ 6-BA。该培养体系在诱导马铃薯花药产生二倍体时,具有广适性的潜力,未来笔者实验室计划通过花药培养诱导更多马铃薯二倍体,优化诱导体系,为倍性育种所需的二倍体材料创制提供有效途径,为马铃薯品种遗传改良提供技术支撑。

参考文献

- [1] 郑敏,李瑜,叶明辉.秦芋 32 号马铃薯花药培养技术研究[J].陕西农业科学,2022,68(10):28-31.
- [2] 李守岭,庄南生.植物花药培养及其影响因素研究进展(综述)[J].亚热带植物科学,2006(3):76-80.

- [3] 吴丹,姚栋萍,李莺歌,等.水稻花药培养技术及其育种应用的研究进展[J].湖南农业科学,2015(2):139-142.
- [4] 隋新霞,樊庆琦,李根英,等.小麦花药培养研究进展[J].麦类作物学报,2005,25(4):127-131.
- [5] 王荣艳,李清,徐灵,等.马铃薯‘合作88’自交分离群体叶绿体基因组遗传组成分析[J].园艺学报,2023,50(8):1649-1663.
- [6] 陈亚兰,陈鑫.马铃薯遗传育种技术研究[M].武汉:武汉大学出版社,2015.
- [7] 叶明旺,张春芝,黄三文.二倍体栽培马铃薯高效遗传转化体系的建立[J].中国农业科学,2018,51(17):3249-3257.
- [8] 李结平,单友蛟.马铃薯育种技术的优化与新形势下发展[J].中国马铃薯,2023,37(3):265-272.
- [9] 谢从华,柳俊.植物细胞工程[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [10] ROKKA V M. Anther culture through direct embryogenesis in a genetically diverse range of potato (*Solanum*) species and their interspecific and intergeneric hybrids[J]. Androgenesis in Solanaceae, 2003, 235-240.
- [11] 王舰,杨永智,蒲秀琴.鉴定马铃薯染色体数目的方法研究[J].黑龙江农业科学,2009(1):1-2.
- [12] 陶抵辉,李小红,王利群,等.植物染色体倍性鉴定方法研究进展[J].生命科学研究,2009,13(5):453-458.
- [13] 闵子扬,刘泽发,杨红波,等.南瓜胚囊再生植株倍性鉴定方法的比较[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2016,42(2):162-165.
- [14] 朱旭,李楠,杨春明,等.中国马铃薯花药培养关键技术研究进展[J].中国马铃薯,2021,35(3):281-286.
- [15] 李萍,成仿云.牡丹组织培养技术的研究进展[J].北方园艺,2007(11):102-106.
- [16] YUE J H, DONG Y, DU C M, et al. Sucrose promotes the proliferation and differentiation of callus by regulating ROS intensity in agapanthus praecox[J]. Horticulturae, 2024, 10(12), 1350.
- [17] 薛婉钰,刘娜,苑鑫,等.黄瓜胚性愈伤组织的诱导保存和再生[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2024,52(7):99-105.
- [18] 易元慧,许丁帆,董洪雨,等.甜瓜松散型胚性愈伤组织诱导[J].种子,2023,42(7):144-150.
- [19] 巩振辉,申书兴.植物组织培养[M].3版.北京:化学工业出版社,2022.
- [20] 马莉贞.植物组织培养中褐变现象的研究[J].安徽农业科学,2006,34(15):3583-3584.
- [21] 王玲,房亚南,马继琼,等.魔芋组织培养中褐变成因的探讨[J].西南农业学报,2006,19(4):719-721.
- [22] ARMSTRONG C L, GREEN C E. Establishment and maintenance of friable, embryogenic maize callus and the involvement of L-proline[J]. Planta, 1985, 164(2): 207-214.
- [23] 戴朝曦.用花药培养法诱导马铃薯产生双单倍体植株的研究[J].科学通报,1982,27(24):1529-1532.
- [24] BALL S T, ZHOU H P, KONZAK C F. Influence of 2,4-D, IAA, and duration of callus induction in anther cultures of spring wheat[J]. Plant Science, 1993, 90(2): 195-200.
- [25] 李凤云,盛万民,田国奎,等.不同基因型马铃薯的花药培养[J].中国马铃薯,2008(4):140-143.
- [26] 贺苗苗.不同基因型马铃薯的花药培养研究[J].江苏农业科学,2014,42(9):90-91.
- [27] 卢翠华,石瑛,邸宏,等.马铃薯四倍体栽培品种花药培养及再生植株的鉴定[J].中国蔬菜,2009(18):60-63.