

# 玉米组织培养技术研究进展

胡文平,董 鑫,李梦寒

(西藏农牧学院植物科学学院,西藏 林芝 860000)

**摘 要:**玉米作为世界主要粮食作物之一,保障全球粮食安全。组织培养技术是作物育种的重要手段之一,可以有效解决育种过程中的时空限制,具有显著的时效性、经济性和稳定性。从外植体选择、外植体消毒、基本培养基选择、激素组合配比和基因型对愈伤组织的影响等方面梳理了近十年来玉米组织培养技术的研究成果,展望未来玉米组织培养技术的机遇和挑战,并提出相应对策,为今后研究提供理论基础。

**关键词:**玉米;组织培养;外植体;培养基;植物生长调节剂

**中图分类号:**S513

**文献标识码:**A

## Advances in Maize Tissue Culture Technology

HU Wenping,DONG Xin,LI Menghan

(College of Plant Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingri Xizang 860000, China)

**Abstract:** As one of the world's major food crops, maize ensures global food security. Tissue culture technology is a vital tool for crop breeding, capable of efficiently overcoming time and space constraints, and offering significant benefits in terms of timeliness, economy, and stability. The paper reviews the research results of maize tissue culture technology in the past ten years, and compared and summarized from the aspects of exosome selection, exosome disinfection, basic medium selection, hormone combination ratio and genotype's influence on healing tissues, etc. Finally, we look forward to the opportunities and challenges of maize tissue culture technology in the future, and propose corresponding countermeasures to provide a theoretical basis for future research.

**Key words:** maize; tissue culture; explants; medium; plant growth regulators

玉米(*Zea mays* L.)为世界三大粮食作物之一<sup>[1]</sup>,其地方品种、杂交种、野生种和热带亚热带种质等种质资源具备丰富的遗传多样性的同时又具有较强的广适性<sup>[2-4]</sup>。玉米不同组织器官经加工均可成为生产生活的原材料,其产量和品质是粮食安全的重要保障因素<sup>[5-7]</sup>。近年来,随着人民生活水平的不断提高,对玉米需求量也逐渐增大,因而快速选育自交系提高育种效率、拓宽玉米种质资源与品种改良是玉米育种工作者的研究热点之一<sup>[8-9]</sup>。

植物组织培养操作过程明确、技术体系成熟完善,可在短时间内获得完整植株<sup>[10-11]</sup>。目前,芽、成熟胚、幼胚等不同玉米外植体再生体系的构建、组培激素组合、培养基类型以及褐化等方面均有相应报道。魏慧慧以玉米幼胚、成熟配、根、茎和叶为外植体进行组织培养发现,不同组织对 2,4-D 的反应能力不同,分化培养基激素组合也有差异,但最终均可培养成幼苗<sup>[12]</sup>;杨春玲、邸宏等分别利用芽和芽尖为外植体成功构建玉米再生体系<sup>[13-14]</sup>。也有研究表明,外植体褐化问

收稿日期:2024-11-01

基金项目:西藏农牧学院研究生教育计划项目(YJS2024-02)。

作者简介:胡文平(1998—),女,硕士研究生,研究方向为作物遗传育种,E-mail:1347848904@qq.com。

通信作者:李梦寒(1984—),女,副教授,主要从事作物遗传育种的研究,E-mail:limenghan009@163.com。

题可受多种因素影响,如外植体状态、光照强弱、温度高低、培养基激素组合、pH 值等培养条件<sup>[15]</sup>。前人对组培技术研究的侧重点有所差异,为构建组培技术的多维视角,本研究结合近年来的研究结果,从外植体选择、外植体消毒、培养基类型、激素组合对愈伤组织的影响等方面进行综述,以期对玉米组织培养提供理论依据。

## 1 植物组培技术研究现状

植物组织培养是指在无菌环境下利用胚、芽、根尖、叶片等作为外植体在人为选择的培养基上进行诱导和分化等过程,根据植物细胞全能性最终形成完整植株的技术<sup>[16-18]</sup>。植物组织培养于1905年首次提出,经100多年来农学家的不断研究逐渐完善,并广泛应用于育种领域。近年来,成功构建了木棉、杜仲、滇杨等树木再生苗<sup>[19-21]</sup>,石斛、兰花、黄花菜等园艺作物<sup>[22-24]</sup>,以及玉米、水稻、大豆等粮食作物,为植物界发展提供了有效的技术手段<sup>[25-27]</sup>。

传统育种方法选育自交系周期长,效率低且耗费人力物力,有时存在种质资源缺乏的窘境,而植物组织培养技术很好地解决了传统育种方法的弊端。近年在倍性育种和转基因育种等方面的用途较大,倍性育种包括单倍体育种和多倍体育种,即利用秋水仙碱、除草剂等加倍剂对植物染色体进行加倍处理后,通过组织培养形成完整植株<sup>[28]</sup>。1974年我国运用单倍体育种技术培育出世界上首个烟草植株后,该技术得到迅速发展,而后又利用N6培养基成功培养花药和花粉,以上研究在单倍体育种方面均具有里程碑意义<sup>[29-30]</sup>。与单倍体育种相比,多倍体育种存在基因剂量效应优势,姐妹染色单体互换频率增大为遗传选育提供了更多可能,是遗传育种的良好材料<sup>[31]</sup>。目前,我国已经成功培育了异源八倍体小黑麦并投入农业生产,突破了多倍体植株结实率低、饱满度差的世界难题<sup>[32]</sup>。

植物组织培养技术另一大优势是可显著缩短育种年限、提高育种效率。我国离体快速繁殖技术已取得重大成就,并可以进行工厂化育苗,该技术的成功运用创造了巨大收益。苗徐静利用离体快繁技术成功培育出草莓无菌苗,为草莓工厂化育苗提供了技术支持<sup>[33]</sup>;熊波等对藏红

花进行离体快繁,为藏红花的资源保护提供技术方法<sup>[34]</sup>。近几年来,该技术方法已在石斛、凤尾茶、紫花丹等多品种间取得进展,并且获得可观的经济效益<sup>[35-37]</sup>。

## 2 玉米组织培养技术体系构建

### 2.1 外植体和无菌体系研究

#### 2.1.1 外植体

外植体的选择是植物组织培养的首要环节,通常外植体的分化能力随植物生长发育而变低,如幼胚的分化能力强于成熟胚<sup>[38]</sup>。玉米组织培养的外植体通常为成熟胚、幼胚、芽、根、茎、叶片。王艳丽对309份玉米自交系幼胚的胚性愈伤组织性状进行观察,发现其诱导率遗传力达到53.97%,具有较高的诱导和分化能力<sup>[39]</sup>;陈莉等以成熟胚和芽尖为外植体,进行愈伤组织分化率对比发现,成熟胚最高分化率为2.13%,而芽尖最高达21.2%,愈伤组织状态也强<sup>[40]</sup>;曹俊梅等分别以成熟胚和幼胚为外植体进行组织培养,对比结果显示成熟胚愈伤组织的分化率最高为2.5%,而幼胚最高可达83.3%,且幼胚愈伤组织状态强于成熟胚,表明不同外植体对愈伤组织存在显著影响<sup>[41]</sup>。幼胚的诱导率明显高于成熟胚却受季节限制严重,需要在短时间内完成所有工作,成熟胚的诱导率较低但可以长时间保存,因此,在研究工作中可以根据实际情况进行选择。

#### 2.1.2 无菌体系

外植体消毒是组织培养准备工作的重点环节,消毒剂和消毒时间的选择前提要确保在不影响外植体生命力的同时又起到完全消毒的作用,且根据不同外植体均有相应的变化。玉米外植体消毒剂通常包括75%乙醇、1%~10%的次氯酸钠、0.1%的氯化汞等,常用且效果较好的消毒剂为75%乙醇和次氯酸钠(表1),其中75%乙醇的消毒时间通常控制在1 min内,1%~10%次氯酸钠的消毒时间控制在30 min内。灭菌方式分单独灭菌剂灭菌和两种灭菌剂叠加灭菌,可根据实际情况进行选择,通常一种灭菌剂浸泡后需用无菌水冲洗干净。另外有研究表明,干燥天气及外植体消毒灭菌前进行一定时间的流水冲洗和消毒液浸泡可降低污染率<sup>[42]</sup>。

表 1 玉米不同外植体常见灭菌方法

序号	外植体	灭菌方式	参考文献
1	成熟种子	74%乙醇 5 min+1.5%次氯酸钠 30 min	[8]
2	成熟胚	75%乙醇 10 min+1%次氯酸钠 30 min	[8]
3	成熟种子	75%乙醇 5 min	[12]
4	成熟种子	5%次氯酸钠 30 min	[12]
5	果穗	75%乙醇 20 min	[13]
6	成熟种子	75%乙醇+0.1%氯化汞 15 min	[14]
7	幼胚	70%乙醇 5—10 min+0.1%升汞溶液 15~20 min	[16]
8	幼胚	70%乙醇+0.15 氯化汞 5 min	[47]
9	幼胚	70%乙醇+0.1%氯化汞 8 min	[49]
10	成熟种子	0.1%氯化汞 10 min+70%乙醇 30 s	[50]

表 2 玉米不同外植体常见切割和接种方式

序号	外植体	切割方法	接种方法	参考文献
1	成熟胚	沿胚轴纵切为二,切去胚乳,取左右两个半胚	切口朝下	[8]
2	成熟胚	沿胚轴纵切为二,切去胚乳,取半胚切去两端的胚根和胚芽鞘	切口朝下	[8]
3	成熟胚	沿胚轴纵切为二,切去胚乳,取出半胚,切去中间的胚轴部分,留下两端的胚根和胚芽鞘	切口朝下	[8]
4	成熟胚	沿胚轴纵切为二,切去胚乳,取左右两个半胚	切口朝下	[12]
5	幼胚	整颗剥离	盾片朝上	[13]
6	芽尖	取 3~5 cm 长度的无菌苗,剥去胚芽鞘及外层真叶,切取包含芽尖分生组织在内的长约 5 mm 的芽尖	—	[14]
7	种子	种子横切和纵切	—	[44]
8	根尖、胚叶	用消毒过的剪刀取小苗胚根的根尖及胚叶	—	[50]

2.3 不同基本培养基类型对玉米愈伤组织的影响

玉米组织培养常用的培养基包括 MS、N6、LS 培养基等,其中 MS 培养基中无机盐的比例较高,硝酸盐的比例较低,应用范围更广泛,根据具体培养要求将 MS 培养基设计成 1/4、1/2MS 培养基,相比于 MS 培养基,N6 培养基的无机盐比例较低,适用于禾本科植物的花药和花粉培养。于研等进行培养基对比试验发现,MS 和 N6 培养基胚性愈伤组织率分别为 20.0%、38.8%,N6 培养基的愈伤组织诱导率显著高于 MS<sup>[44]</sup>。也有研究发现 MS 培养基的愈伤数显著高于 N6 培养基<sup>[45]</sup>,造成这种差异性的原因可能与材料基因型和培养基激素组合等因素有关(表 3)。经多人多年研究,现已确定 MS 培养基可作为一种广适培养基用于各种植物的研究。

2.2 不同接种方式对玉米愈伤组织的影响

外植体切割和接种方式对愈伤组织有一定影响,不同外植体切割和接种方式也有差异(表 2)。玉米成熟胚一般采用的切割方式为沿胚轴纵切为二,切去胚乳,取左右两个半胚即纵二分法、纵二分法后切除胚根和胚芽鞘,留下胚轴部分、纵二分法后切去中间胚轴留下两端的胚根和胚芽鞘,接种凡是分切面朝下和朝上两种。幼胚一般在 2~3 mm 时取材,通常取整个幼胚接种。殷榕等以玉米成熟胚为外植体设计 3 种切割方式如表 2 序号 1—3,结果表明 3 种切割方式对愈伤组织数存在显著差异,以窃取胚芽和胚根的半胚为外植体效果最好<sup>[43]</sup>。因此,在玉米组织培养过程中可根据外植体类型合理选择切割和接种方式。

2.4 不同植物激素效应研究

植物生长调节剂是指通过人工合成或从微生物中提取的、对植物生长发育具有促进或抑制作用的化学物质,与植物激素相似<sup>[46]</sup>。植物激素主要分为 5 类:生长素类、细胞分裂素类、赤霉素类、乙烯和脱落酸,目前仍没有广适的激素组合用于所有基因型玉米,需要在试验研究过程中进行调整。目前玉米最常用的生长素:2,4-D(2,4-D 二氯苯氧乙酸)、NAA(萘乙酸)、IBA(吲哚乙酸)、GA(赤霉素)等,细胞分裂素:KT(Activin)、GA(赤霉素)、NAA(萘乙酸)、IBA(吲哚乙酸)等,其中 2 mg/L 2,4-D 的诱导效果效果最好<sup>[47]</sup>。高武军等对比试验表明,2 mg/L 2,4-D 对玉米愈伤组织的诱导最好,高浓度的 6-BA 较差,并筛选出 6-BA(0.5 mg/L)+KT(1.0 mg/L)+NAA

(0.2 mg/L)的激素组合对玉米幼胚愈伤组织的分化效果最优<sup>[48]</sup>,而有研究单独加 1 mg/L 2,4-D 的诱导率也比较优越<sup>[49]</sup>;杜黎黎研究表  
明,幼苗的胚叶和胚根对 6 mg/L 2,4-D 最为敏感,愈伤组织诱导率为 43.5%,在此基础上添加 0.5 mg/LKT 时,出愈率可达到 58.3%<sup>[50]</sup>。

表 3 玉米不同外植体常见诱导和分化培养基

序号	外植体	诱导培养基	分化培养基	参考文献
1	成熟胚/幼胚	改良 MS+铁盐+B5 微量+N6 大量+2,4-D+0.6 g/L L-脯氨酸+0.5 g/L 酸水解酪蛋白+0.2 g/L 天门冬氨酸+6 g/L 琼脂+30g/L 蔗糖	改良 MS+铁盐+B5 微量+N6 大量+6.5 g/L 甘露醇+0.3 g/L L-脯氨酸+0.25 g/L 酸水解酪蛋白+0.1 g/L 天门冬氨酸+6 g/L 琼脂+15 g/L 蔗糖	[12]
2	芽尖	MS+30 g/L 蔗糖+7 g/L 琼脂+1.06-BA、1.0 mg/L6-BA+1.0 mg/L2,4-D、1.0 mg/L6-BA+2.0 mg/L2,4-D、2.0 mg/L6-BA、2.0 mg/L6-BA+1.0 mg/L2,4-D、2.0 mg/L6-BA+2.0 mg/L 2,4-D	MS+30 g/L 蔗糖+7 g/L 琼脂+500 mg/LCH+0.5 mg/L6-BA、500 mg/LCH+0.5 mg/L6-BA+0.5 mg/LIBA、500 mg/LCH+0.5 mg/L6-BA+1.0 mg/LIBA、500 mg/LCH+1.0 mg/L6-BA、500 mg/LCH+1.0 mg/L6-BA+0.5 mg/LIBA、500 mg/LCH+1.0 mg/L6-BA+1.0 mg/LIBA	[14]
3	成熟胚	MS+2 mg/L 2,4-D+6 mg/L Dicamba+2.88 g/L L-pro+0.1 g/L CH+30 g sucrose+3 g Phytigel+8.5 mg/L AgNO	MS+0.1 g/L MI+0.15 g/L L-Asp+20 g sucrose+10 g maltose+3 g Phytigel+0.15 mg/L TDZ+5 mg/L ZT	[43]
4	幼胚	N6 诱导培养基:N6+2 mg/L 2,4-D+6 mg/L Dicamba+0.1 g/L CH+0.56 g/L MES+2.88 g/L L-pro+20 g sucrose+3 g Phytigel+8.5 mg/L AgNO3	—	—
4	幼胚	N6 基本培养基+2.8 g/升脯氨酸+1 mg/L 2,4-D+100 mg/L 水解酪蛋白+10 mg/L 硝酸银+2%蔗糖+0.7%琼脂(pH5.8)	N6 基本培养基+1 mg/L NAA+6%蔗糖+0.7%琼脂(pH5.8)	[49]
5	根尖/胚叶	MS+2,4-D2 mg/L+KT 0.5 mg/L+6-BA0.1 mg/L+AgNO 320 mg/L	—	[50]

2.5 基因型对玉米愈伤组织影响的研究

基因型是影响玉米胚性愈伤组织形成的关键因素之一,不同基因型玉米在相同培养条件下的胚性愈伤组织也可能存在差异。愈伤组织类型大致可以分为 3 种,其中Ⅱ类愈伤组织表现为淡黄色或黄色,质地较为松散,具有明显的颗粒状,具备一定的分化能力,玉米组织培养实验中以Ⅱ类愈伤组织为目标<sup>[51]</sup>。刘双等以 3 种基因型玉米幼胚为外植体,在相同培养条件下 3 种材料的愈伤组织诱导率存在差异,且生长速度和愈伤组织质量也存在较大差异<sup>[52]</sup>;郭新梅等以 14 份玉米自交系和 4 份玉米杂交种的花药为材料研究发现,在相同培养条件下,不同基因型玉米花药的反应程度明显不同,其中杂交中材料显著高于自交系<sup>[53]</sup>。目前对玉米基因型对愈伤组织的影响研究尚未取得统一结果,这也是玉米组织培养的关键难题之一,因此,在进行相关研究时要对基因型进行筛选,确定适当品种。

3 玉米组织培养的机遇和挑战

3.1 机遇

3.1.1 显著缩短自交系选育时间、提高育种效率

玉米作为主要粮食作物其生育期较长,积温充足地区最多种植两茬,而积温贫乏地区例如“东北粮仓”、河南等地区只能种植一茬,且不能复种,而利用组织培养技术可提前育种,在两个月左右获得组培苗,春季温度适宜时移栽,提高了育种效率<sup>[54]</sup>。工厂化育苗还具有培育繁殖速度快、运输方便等优势,是玉米组织培养的好机遇。

3.1.2 拓宽种质资源与群体改良

丰富种质资源是保障作物遗传改良和培育新品种的重要基础,但因气候环境恶劣、部分品种资源稀少等多种元素使种质资源群体少,因此,保存和拓宽种质资源是农业发展的主要任务之一<sup>[55]</sup>。利用组织培养技术将稀缺种质资源进



行保护性保存并大量繁殖,为新品种选育提供更多原始材料,丰富的种质资源可提供多基因交叉组合为新的种质资源提供机会。

### 3.1.3 基因定位的理想材料

玉米双单倍体(DH系)是指将利用单倍体诱导系或直接采用花药等将原本正常的二倍体玉米诱导为单倍体籽粒或植株,再通过人为加倍为正常二倍体<sup>[56]</sup>。近年来,随着基因组学的迅猛发展,对玉米的部分基因进行了标记、克隆和切除,但受遗传背景差异和环境等因素的影响导致基因定位的精准度低,而利用组织培养技术获得的双单倍体 100%纯和,是基因定位的理想材料<sup>[57]</sup>。

## 3.2 挑战

### 3.2.1 玉米组培材料获取问题

上文综述表明幼嫩外植体的培养能力强于成熟外植体,如幼胚的培养能力强于成熟胚,且目前玉米外植体的切割和分离方法基本明确,但幼胚进行组织培养的最佳阶段在 1~2 mm,因此幼胚的剥离问题成为该技术的挑战之一。外植体小而脆弱,并受时间限制严重,接种时需要消耗精力和时间,效率较低,在进行大规模培养时具有一定难度。可根据实际情况进行分期播种,以此达到分散接种任务的目的。

### 3.2.2 再生体系的构建问题

玉米组织培养技术的研究和探讨主要目的是获得再生植株,并且能成功移栽进大田管理。这一目标的首要前提是要构建相应基因型的再生体系,但组织培养受基因型和激素组合影响大,且目前尚未得到统一的研究结果,需研究人员根据具体材料对激素组合进行调整。最优激素筛选的工作量较大,需要耗费大量人力、物力和财力,这也是目前玉米组织培养的挑战之一。因此,在未来的研究中,一种广适性的激素组合将成为玉米组织培养的研究方向之一。

## 参考文献:

- [1] 褚超,雷俊,阳仁贵,等.西北干旱区气候变化对灌溉春玉米生产的影响[J].中国农业气象,2024,45(7):745-755.
- [2] 胡文平,黄雨婷,周丽娜,等.西藏玉米地方品种染色体行为研究[J/OL].玉米科学,(2024-08-01)[2024-10-20].<https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-YMKX20240731001.htm>.
- [3] 倪志刚,王要龙,孙晓晨,等.不同地点玉米品种郑单958产量及相关性状研究[J].河北农业,2022(5):64-65.
- [4] 马静文,丁一,张萌,等.2017—2021年东北春玉米中熟组区域试验中先玉335农艺性状及产量表现[J].黑龙江农业科学,2023(6):19-22.
- [5] 胡文平,李文海,候忠祥,等.西藏玉米地方品种配合力分析[J].黑龙江农业科学,2023(6):12-18.
- [6] 范虹,殷文,胡发龙,等.绿洲灌区密植对氮肥减量玉米产量的补偿潜力[J].中国农业科学,2024,57(9):1709-1721.
- [7] 常洪庆,陈银银,高意帆,等.大豆玉米带状复合种植示范推广与应用基础研究进展[J].玉米科学,2025,33(1):77-83.
- [8] 李霞.玉米9417成熟胚愈伤组织培养及种子蛋白组分分析[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [9] 石鹏,王永,金龙飞,等.植物组织培养过程中的DNA甲基化研究进展[J].热带作物学报,2019,40(1):199-207.
- [10] 包水平,武越,钱婷婷,等.金线莲离体再生体系的优化[J].浙江农业科学,2024,65(7):1588-1591.
- [11] 舒福兴,王嘉亮,陈国广,等.利用组培技术构建半夏杂交体系[J].种子,2024,43(4):81-87.
- [12] 魏慧慧.玉米不同外植体培养能力、基因表达及遗传转化研究[D].吉林:吉林大学,2019.
- [13] 杨春玲.不同玉米自交系芽再生能力评估[D].泰安:山东农业大学,2020.
- [14] 邸宏,梁广东,卢翠华,等.玉米芽尖再生体系的建立[J].玉米科学,2011,19(3):76-78,81.
- [15] 罗阳春,杨云,李仕伟,等.组织培养中植物外植体及愈伤组织褐变的研究进展[J].贵州农业科学,2018,46(1):5-10.
- [16] 王奕,范俊山,尚丽霞,等.玉米幼胚再生体系主要影响因素的优化[J].农业科技通讯,2015(11):82-85.
- [17] 张寻梦,辉朝茂,曹建杰,等.竹子组织培养研究进展[J].绿色科技,2024,26(7):143-148,162.
- [18] 王誉诺,闫冰洁,李佳璇,等.植物组织培养在作物新品种选育与后代繁育上的应用[J].陕西农业科学,2023,69(11):24-30,41.
- [19] 林妃,康勇, MUHAMMAD D,等.木棉高效组织培养繁殖技术[J].热带作物学报,2024,45(6):1167-1174.
- [20] 黄诗茹,王美雪,张爽,杜仲无菌苗组织培养的快速繁殖技术[J].分子植物育种,2024,22(9):3045-3052.
- [21] 张晓琳,纵丹,李嘉其,等.滇杨组织培养再生及遗传转化体系建立[J].浙江农林大学学报,2024,41(2):314-321.
- [22] 江金兰.石斛新品种粉佳人增殖及生根条件优化[J].热带作物学报,2024,45(6):1184-1193.
- [23] 张月盈,李枝林,和凤美,等.观赏用微型兰花组织培

- 养最佳配方的优化[J].北方园艺,2024(13):49-57.
- [24] 左高雅,程宵婧,遇洁,等.黄花菜组织培养常见问题及建议[J].山西农业科学,2024,52(2):145-152.
- [25] 王奕,范俊山,尚丽霞,等.玉米幼胚再生体系主要影响因素的优化[J].农业科技通讯,2015(11):82-85.
- [26] 唐靖雯,钱晶晶,王宁,等.水稻愈伤组织诱导及不定芽分化培养体系建立[J].安徽科技学院学报,2024,38(1):47-51.
- [27] 何莉,候延宁,唐玉林,等.大豆愈伤组织诱导及再分化的影响因素探索[J].耕作与栽培,2023,43(3):95-97.
- [28] 黎幸连,姜伟珍,戴倩,等.近三倍非整倍体紫锥菊的染色体加倍[J].安徽农业科学,2024,52(5):189-194,200.
- [29] 王万奇,李文龙,王媛媛,等.植物花药组织培养技术的研究[J].黑龙江农业科学,2015(10):177-179.
- [30] 董春林,张名义,杨睿,等.玉米花药培养影响因素的研究[J].安徽农业科学,2017,45(3):16-18.
- [31] 李永欣,王义强.植物组织培养的应用研究概述[J].江苏林业科技,2005(03):44-46.
- [32] 董永琴.大有发展前途的新型作物——异源八倍体小黑麦[J].农技服务,2002(9):4-5.
- [33] 苗徐静.贵州主栽草莓品种的离体快繁技术及组培苗的遗传变异[D].贵阳:贵州大学,2018.
- [34] 熊波,黄雯雯,陈敏,等.藏红花的基原、现状及其资源保护[J].河南中医,2017,37(12):2217-2219.
- [35] 杨芝,胡玉富,胡休彬,等.杯鞘石斛离体快繁体系的研究[J].热带农业科学,2023,43(11):28-32.
- [36] 赵洁,侯雨琪,郑伟,等.凤尾茶的离体快繁技术研究[J].北方园艺,2023(23):60-67.
- [37] 罗剑飘,冯焕斌,谭嘉娜,等.紫花丹离体快繁技术[J].热带农业科学,2023,43(5):31-37.
- [38] 张寻梦,辉朝茂,曹建杰,等.竹子组织培养研究进展[J].绿色科技,2024,26(7):143-148,162.
- [39] 王艳丽.玉米幼胚胚性愈伤组织诱导能力 ZmSAUR15 候选基因关联分析及功能验证[D].成都:四川农业大学,2020.
- [40] 陈莉,窦秉德,白光宏,等.玉米成熟胚和茎尖愈伤诱导及其植株再生能力比较[J].新疆农业大学学报,2006(3):46-49.
- [41] 曹俊梅,窦秉德,李生强,等.玉米幼胚和成熟胚愈伤组织分化反应性比较[J].新疆农业大学学报,2005(2):10-13.
- [42] 文天崇,乾朝阳,李布野.植物组织培养外植体灭菌技术研究进展[J].现代农业科技,2024(13):72-76.
- [43] 殷榕,颜如玉,赵丫杰,等.玉米成熟胚高效苗再生体系的建立[J].山东农业大学学报(自然科学版),2023,54(1):25-31.
- [44] 于妍,胡楠楠,侯杰,等.玉米组织培养及再生体系的建立[J].乡村科技,2017(32):68-69.
- [45] 祁婧.玉米成熟胚的组织培养试验[J].现代农村科技,2014(18):56-57.
- [46] 林秋君,吴限鑫,邹询,等.植物生长调节剂在花生中的应用及安全性分析[J].农学学报,2024,14(8):24-29.
- [47] 饶玉春,罗怡琳,叶语涵,等.激素与水稻叶片衰老调控的研究进展[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2025,48(1):1-11.
- [48] 高武军,胡楠,魏开发,等.外源激素在玉米离体培养中的作用研究[J].河南农业科学,2007(1):31-33,38.
- [49] 于晓明,王霞.组织培养诱发玉米自交系 H99、A188 和黄早四的变异研究[J].吉林农业,2016(23):84-85.
- [50] 杜黎黎.玉米胚叶和胚根组织培养初步研究[J].安徽农学通报,2014,20(16):24-25,27.
- [51] 杜光玲,秦文娟,邓士政,等.玉米不同类型愈伤组织分化中硝态氮代谢的差异分析[J].河南农业科学,2010(6):18-21.
- [52] 刘双,关淑艳,孙苏,等.玉米愈伤组织培养体系优化及 ICE1 基因的遗传转化[J].吉林农业大学学报,2017,39(5):518-523.
- [53] 郭新梅,叶克苾,裴玉贺,等.影响玉米花药培养特性关键因素的研究[J].玉米科学,2013,21(4):83-88.
- [54] 黄日放,陆春雄,黄兆福.生物技术在玉米育种中的应用[J].种子科技,2023,41(21):22-24.
- [55] 李清超,张登峰,杨珊,等.326 份玉米种质资源多样性分析[J/OL].甘肃农业大学学报,(2024-07-03)[2024-10-21]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-GSND20240701001.htm>
- [56] 朱末,闻竟,李世界,等.玉米单倍体育种技术研究进展[J].东北农业科学,2023,48(6):64-68.
- [57] 张恩会.玉米矮化突变体的基因定位与初步功能分析[D].烟台:烟台大学,2024.