

# 白及种子繁育的研究现状<sup>△</sup>

陈 勋\*,王 艳,刘畅宇,陈 娅,刘湘丹,周日宝<sup>△</sup>(湖南中医药大学药学院,长沙 410208)

中图分类号 R282.71;Q945.34 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2018)18-2585-04

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2018.18.30

**摘 要** 目的:为促进白及种子繁育、解决种苗短缺问题提供参考。方法:以“白及种子”“组织培养”“人工种子”“*Bletilla striata* seed”“Tissue culture”“Artificial seed”等为关键词,组合检索1990年8月—2018年1月发表并收录于中国知网、万方、PubMed等数据库的相关文献,就白及种子特点以及共生萌发、非共生萌发、直播萌发、人工种子等相关研究情况进行归纳,综述其繁育研究现状。结果与结论:共检索到相关文献98篇,其中有效文献53篇。白及种子在自然条件下萌发率低,且长期采用传统繁殖(块茎分割)方式可导致其种性退化,故可通过共生萌发、非共生萌发、直播萌发、人工种子等人工繁育方式来解决白及种苗短缺等问题。其中,白及种子与真菌的共生萌发可提高种子的萌发率并促进其后期的生长发育,共生真菌包括镰刀菌、丛赤壳属真菌、拟茎点霉菌等。非共生萌发包括固体和液体培养两种方式,种子萌发的关键在于培养基(以固体培养基为主)、激素(6-苄基氨基嘌呤、茶乙酸等)和其他添加物(马铃薯、活性炭等)。非共生萌发的相关研究较多,但所耗人力、物力大,成本较高,需提前炼苗,且所得种苗生长缓慢。直播萌发的关键在于基质土的配比,具有成本较低、炼苗时间短、耗种量大、易出现大量死苗等特点。白及人工种子可以较低成本大量获取,但其制作过程烦琐,难以实现大批量生产。后续研究应深入发掘优势基因品种,加强共生真菌筛选及探讨共生真菌协同作用,完善直播萌发技术,将共生萌发与直播萌发相结合,以进一步提高白及种子的萌发率。

**关键词** 白及种子;共生萌发;非共生萌发;直播萌发;人工种子

白及为兰科植物白及 [*Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f.]的干燥块茎,具收敛止血、消肿生肌之功效,有止血、抗菌、抗肿瘤、促进伤口愈合、抗纤维化、抗氧化、抗溃疡等药理作用<sup>[1-2]</sup>。白及不仅药效显著,近年来也逐渐被应用于日化产品(如化妆品、牙膏、高级陶瓷、染布粘合剂、橡胶生产等);此外,白及的叶态优美、花型独特、花大色艳、姿态秀雅,是一种很好的观赏植物<sup>[3]</sup>。随着白及的不断开发及利用,其应用范围越来越广,市场需求量亦日益增加,但由于无限制地人工采挖,加之生态环境恶化,导致白及野生资源严重匮乏,该植物已被列为国家珍稀濒危品种<sup>[4]</sup>。市场需求的增加推动了白及种植繁育技术的发展。白及传统繁殖采用块茎分割的方式,生产效率与经济效益较低,且长期无性繁殖也易导致种性退化<sup>[5]</sup>。因此,为满足白及的市场需求,迫切需要进行人工栽培。白及果实为蒴果,一个蒴果中含有上万粒种子,利用白及种子进行有性繁殖,可以解决生产中种苗短缺以及无性繁殖中种性退化等问题<sup>[5]</sup>。为此,笔者以“白及种子”“组织培养”“人工种子”“*Bletilla striata* seed”“Tissue culture”“Artificial seed”等为关键词,组合检索1990年8月—2018年1月发表并收录于中国知网、万方、PubMed等数据库的相关文献。结果,共检索得到相关文献98篇,其中有效文献53篇。现就白及种

子特点(性状、萌发条件)以及共生萌发、非共生萌发、直播萌发、人工种子等相关研究情况进行归纳,综述白及种子繁育研究的现状,为促进白及种子繁育、解决种苗短缺问题提供参考。

## 1 白及种子性状及萌发条件

成熟的白及蒴果呈橄榄形,种子为黄色粉末状,非常细小。种皮由单层细胞组成,侧壁加厚,细胞器及原生质均已消失,为一层半透明的死细胞;胚呈椭圆形,未分化,为原胚阶段;胚柄退化,无胚乳,具有薄壁细胞大、核较小、细胞液泡化的特点<sup>[6]</sup>。上述特点导致白及种子在自然条件下萌发率低( $<5\%$ ),生长发育缓慢<sup>[7]</sup>。此外,白及种子成熟度对种子萌发影响较大,在培养基中添加植物生长调节剂能促进种子的萌发,但高胚龄种子的启动率和萌发率均显著高于低胚龄种子<sup>[8]</sup>。研究表明,当白及种子胚龄 $\geq 20$ 周时采收最好,此时胚已饱满成熟,有胚率最高,萌发迅速,萌发率高<sup>[9-10]</sup>;5℃是白及鲜果的最佳贮存温度,其采收年限距离播种时间越近,种子越具有活力,长势也越佳<sup>[11-12]</sup>。

## 2 白及种子共生萌发

共生萌发是指在人工基质中播种并接种共生真菌,利用真菌共生来促进种子萌发以获得幼苗<sup>[13]</sup>。共生萌发可提高白及种子的萌发率,其依靠菌丝侵入破壁,为种子提供了碳源、氮源和氨基酸等生长所需的多种物质,同时还可提供其他一些与促进种子萌发、幼苗分化有关的次生代谢产物,如激素类、维生素类、抗生素类等物质<sup>[14]</sup>。

有研究者将白及种子与真菌共培养,使用显微镜观察发现,绝大多数白及种子表面有稀疏菌丝缠绕,萌发种子呈绿色,种衣被膨大的胚撑裂,且长出胚根,最高萌

<sup>△</sup> 基金项目:国家中医药管理局国家中药标准化项目(No.ZYB-ZH-Y-HUN-24);湖南省科技厅中央引导地方科技发展专项资金项目(No.2017XF5044);湖南省高等学校协同创新中心名单(No.湘教通[2015]351号)

\* 硕士研究生。研究方向:中药资源与质量控制。电话:0731-88458233。E-mail:610817667@qq.com

# 通信作者:教授,博士。研究方向:中药资源与质量控制。电话:0731-88458233。E-mail:1057323510@qq.com

发率可达29.7%<sup>[15]</sup>。李青凤<sup>[16]</sup>通过原生地播种白及种子,收集种子萌发后长成的幼苗,利用单菌丝团分离法分离得到种子共生真菌共109株,分属于半知菌门的6个属,主要优势菌株类群为镰刀菌、丛赤壳属真菌和拟茎点霉菌。韦艳梅等<sup>[17]</sup>采用组织块培养法从白及根中分离获得3种蜡壳菌属真菌和1种胶膜菌属真菌。陈晓芳等<sup>[18]</sup>同样采用组织块培养法分离得到*Epulorhiza sp.*和*Sebacina sp.*菌根真菌,均能够与萌发的白及种子形成菌根共生结构,其萌发率分别比无菌对照组提高了8.61%和18.43%。国外研究者Johnson SR<sup>[19]</sup>将白及种子与兰科杓兰属植物粉红杓兰(*Cypripedium acule Ait.*)的共生真菌一同播种,发现有真菌拌播种子的萌发率达60%以上,幼苗死亡率不到20%,而无真菌拌播种子的萌发率和幼苗死亡率分别为34%和45%。有研究利用紫箕小菇等4种真菌与白及种子共生萌发,不仅可提高种子的萌发率,同时也对后期原球茎的子叶分化、生长及假根形成有显著的促进作用<sup>[20]</sup>。由此可见,分离得到的白及共生真菌种类较多,部分共生真菌可提高白及种子的萌发率,对其后期生长也有一定的促进作用。

### 3 白及种子非共生萌发

非共生萌发是指将种子直接播种在人工培养基上,且无需真菌侵染就可以使种子萌发,该法可在短期内获得大量的幼小植株,是有效、快速的繁育方法之一<sup>[21]</sup>。白及种子具有以下优点:(1)数量众多;(2)贮藏容易,使用方便;(3)蒴果种子容易消毒,污染率低;(4)培养萌发速度快,生长快速,幼苗健壮,采用非共生萌发优势明显<sup>[22]</sup>。非共生萌发所用的培养基是促进和维持植物组织生长并由人工配制的养料,一般都含有碳水化合物、含氮物质、无机盐(包括微量元素)、维生素和水等。根据培养基的物理状态可将非共生萌发分为固体和液体培养两种方式。

#### 3.1 固体培养

目前,大多数研究者采用固体培养方式进行白及种子萌发试验,基础培养基包括MS或者1/2 MS、Knudson C(KC)、花宝一号、花宝二号等。其中,MS或者1/2 MS培养基具有无机盐和离子浓度较高、溶液离子平衡较为稳定、养分含量及比例适宜等特点,能够满足白及种子营养和生理需要,其应用较其他基础培养基多。此外,根据研究的需要,可在基础培养基中添加不同的激素或添加物,以提高白及种子的萌发率,相关培养基配方及白及种子萌发率见表1(表中,IBA为吡啶丁酸,6-BA为6-苄基胺基嘌呤,NAA为萘乙酸,TDZ为噻苯隆,ZT为玉米素,GA<sub>3</sub>为赤霉素)。

固体培养基具有通气条件好、便于观察研究的优点,但由于白及种子较为细小,撒播时难以保证每粒种子均与培养基充分接触,可能会造成其同一条件下生长差异较大;同时,在撒播过程中也容易将种子撒到一起,使得萌发后瓶内幼苗太过紧凑,在后期转换培养基时易导致幼苗受到伤害<sup>[44]</sup>。为此,有研究者在1/2 MS基

表1 固体培养基

基础培养基	培养基配方	萌发率, %	文献来源	
MS	MS+0.01 mg/L IBA+ 1.0 mg/L 6-BA+100 g/L马铃薯	88.9	[23]	
	MS+3.0 mg/L 6-BA+ 1.0 mg/L NAA	98	[24]	
	MS+1.6 mg/L 6-BA+ 0.3 mg/L NAA+1 mg/L活性炭	98	[25]	
	MS+1.0 mg/L 6-BA+5.0 mg/L NAA+1 g/L活性炭	71.5	[26]	
	MS+1.5 mg/L 6-BA+ 0.5 mg/L NAA+0.03 mg/L TDZ	91.6	[15]	
	MS+1.8 mg/L 6-BA+ 1.0 mg/L NAA+0.02 mg/L ZT+5 g/L活性炭	85	[27]	
	MS+1.0 mg/L NAA+ 6 g/L活性炭	98	[28]	
	MS+1.0 mg/L NAA+ 80 g/L马铃薯	未提及	[29]	
	MS+0.5 mg/L 6-BA+100 g/L马铃薯+2 g/L活性炭	85	[30]	
	MS+1.0 mg/L 6-BA+1.0 mg/L NAA+3 g/L活性炭	99.7	[31]	
	MS+1 g/L蛋白胍+ 1 g/L活性炭	80~90	[32]	
	1/2 MS	1/2 MS+2.0 mg/L 6-BA+ 1.0 mg/L NAA	98	[33]
		1/2 MS+10%椰子汁	93	[34]
1/2 MS+1 mg/L 6-BA		100	[8]	
1/2 MS+1 mg/L 6-BA+10 g/L活性炭		>90	[35]	
1/2 MS+1 mg/L NAA		>95	[36-37]	
1/2 MS+0.3 mg/L NAA+0.1 mg/L 6-BA		90	[38]	
1/2 MS+1.0 mg/L NAA+1.6 mg/L 6-BA		94.4	[39]	
1/2 MS+0.2 mg/L NAA+0.5 mg/L 6-BA+200 g/L土豆泥		83.47	[40]	
1/2 MS+1.0 mg/L NAA+1.0 mg/L 6-BA+0.5 mg/L GA <sub>3</sub>		90	[41]	
1/2 MS+0.1 mg/L NAA+1.0 mg/L 6-BA+0.5 g/L活性炭	未提及	[42]		
KC	KC+200 g/L马铃薯	100	[43]	
其他	1 g/L花宝一号+2 g/L花宝二号+10%椰子汁	100	[9]	
	1 g/L花宝一号+2 g/L花宝二号	84	[10]	

础培养基中添加了1.0 mg/L NAA,并将白及种子与琼脂粉按照质量比1:3的比例混合均匀后播种,结果发现,白及种子萌发速度快,幼苗分散均匀。提示该种方式不仅可减少白及种子培育时的转接次数、最大限度降低繁育过程中的污染率,同时还可降低后期转接过程对白及幼苗的损伤,甚至可以达到一次成苗的效果<sup>[45]</sup>。

#### 3.2 液体培养

液体培养是一种借助液体培养基进行繁育的方式。液体培养基是指不添加琼脂且处于液体状态的培养基类型。与固体培养基相比,液体培养基能与白及种子充分接触,种子的萌发速度更快、活力更强、萌发率更高,且发芽速度一致<sup>[44,46]</sup>。有研究者建立了白及种子液体培养快速繁殖体系,使用添加了激素的液体培养基,在胚萌发初期起到了一定的促进作用,但在后期出现了不同程度的玻璃化现象,抑制了白及的生长,而未添加激素的MS液体培养基中的白及原球茎长势最好<sup>[47]</sup>。张宇思等<sup>[48]</sup>利用液体/固体培养基对白及种子进行分段培养(即种子萌发阶段在液体培养基中进行,原球茎分化到生根过程则在固体培养基上进行),并筛选了最佳液体培养条件。结果发现,种子萌发的最佳液体培养条件为1/4 MS+1.0 mg/L NAA+0.5 mg/L 6-BA+100 g/L马铃薯汁,用摇床进行振荡培养,白及种子萌发后不易结团;同时该研究还发现,采用液体/固体分段培养模式可使白及种子从种子萌发到原球茎分化、生根阶段均可充分接触到营养物质;与全程固体培养比较,分段培养模式加快了种子萌发和原球茎生长发育的速度,且白及幼苗叶片宽大肥厚、叶色浓绿。

现有研究提示,白及种子的非共生萌发主要包含固

体和液体培养两种方式,种子萌发关键在于无菌人工培养基、激素和其他添加物。其中,培养基以固体培养基为主,基础成分为1/2 MS和MS,添加的激素主要为6-BA、NAA等,添加物包括马铃薯、活性炭等。白及种子非共生萌发的相关研究较多,但培养所耗人力、物力大,成本较高,需提前炼苗,且所得种苗生长缓慢。

#### 4 白及种子直播萌发

有少量研究探讨了白及种子的直播萌发。研究者将白及种子适当处理后,播种到人工配制的基质土中,后期经人工管理,从而提高种子的萌发率。这种方式可极大程度地降低繁育成本,且所得幼苗具有较强的生存能力和抗逆能力<sup>[5,7,49]</sup>。有研究者简化了无菌接种培养流程,将白及种子放在湿毛巾上,置于薄膜下,将温度控制至20℃,促使种子发芽<sup>[49]</sup>。基质土的配比是白及种子直播萌发的关键因素之一,将营养土、蛭石、珍珠岩按体积比9:1:1的比例作为白及种子直播萌发的基质土,用高锰酸钾对基质土灭菌,将白及种子与活性炭按体积比1:30的比例拌种后撒播,成苗数可达每平方米9棵<sup>[5]</sup>。牛俊峰等<sup>[7]</sup>选择树皮粉、腐殖质、营养土、鸡粪和草炭土按体积比15:20:8:1:5的比例配成育苗基质土,将白及种子经NAA水溶液浸泡后,再拌NAA和滑石粉撒播,控制温度为20~35℃、湿度为60%~80%,并在种子萌发的不同阶段定期喷洒相应的营养液,通过直播萌发的方式克服白及种子在自然状态下难以萌发的难题,将萌发率提高至70%。直播萌发的成本较低,炼苗时间短,但耗种量大,且同时存在易出现大量死苗等现象<sup>[4]</sup>。

#### 5 白及人工种子

人工种子是人为制造的种子,是含有植物胚状体或芽、营养成分、激素以及其他成分的人工胶囊,具有培养基用量少、体积小、繁殖快、发芽成苗快、运输及贮存方便的特点,可克服营养繁殖造成的病毒积累,快速繁殖脱毒苗<sup>[50]</sup>。现有研究指出,白及蒴果中含有大量种子,为人工种子提供了良好的种胚;且白及种子有天然的种皮包被,可实现长期保存<sup>[5-6]</sup>。白及种子没有胚乳,自然条件下难以萌发,若给其加上人工胚乳,就能以较低的成本获得大量的白及人工种子;但其制作过程烦琐,难以实现大批量生产<sup>[51]</sup>。陈娜等<sup>[52]</sup>在固体MS培养基中将萌发21d的单个白及鲜绿色原球茎进行包埋,人工胚乳组分为MS+2.0 mg/L 6-BA+0.25 mg/L NAA+30 g/L 马铃薯汁,人工种皮组分为3%海藻酸钠+0.4 mol/L 氯化钙+10 g/L 纳米二氧化硅,培育后白及种子的萌发率可达93.1%。该研究还发现,在胚乳中添加马铃薯汁对成苗的影响最为显著,其形成的试管苗假鳞茎大、叶色深绿、体形健壮。李伟平等<sup>[53]</sup>在1/2 MS液体培养基中将萌发10d后的白及原球茎进行包埋,人工胚乳组分为MS+1.0 mg/L NAA+2.0 mg/L 细胞分裂素(KT),人工种皮组分为4.0%海藻酸钠+0.2 mol/L 氯化钙+0.4 mg/L 青霉素+0.3%多菌灵粉剂+0.2%苯甲酸钠,培育后白及种子

的萌发率可超过95%。

#### 6 结语

综上所述,白及具有较高的药用价值和观赏价值,市场需求量大。白及种子在自然条件下萌发率低,且长期采用传统繁殖(块茎分割)方式可导致其种性退化,故可通过共生萌发、非共生萌发、直播萌发、人工种子等人工繁育方式来解决白及种苗短缺等问题。其中,白及种子与真菌的共生萌发可提高种子的萌发率并促进其后期的生长发育,共生真菌包括镰刀菌、丛赤壳属真菌、拟茎点霉菌等。非共生萌发是将白及种子直接播种至人工培养基中,且无需真菌侵染,包括固体和液体培养两种方式,种子萌发的关键在于培养基(以固体培养基为主)、激素(6-BA、NAA等)和其他添加物(马铃薯、活性炭等)。非共生萌发的相关研究较多,但所耗人力、物力大,成本较高,需提前炼苗,且所得种苗生长缓慢。直播萌发是将白及种子处理后,播种到人工配制的基质土中,通过后期人工调控来提高种子的萌发率。该方法的关键在于基质土的配比,具有成本较低、炼苗时间短、耗种量大、易出现大量死苗等特点。白及人工种子是含有植物胚状体或芽、营养成分、激素及其他成分的人工胶囊,可以较低成本大量获取,但其制作过程烦琐,难以实现大批量生产。

为解决白及种苗短缺问题,满足市场需求,笔者认为白及种苗繁育还可在以下几个方面进行深入研究:(1)发掘白及种子资源中具有优势基因的品种,为白及繁育提供优质的种源;(2)加强白及种子萌发共生真菌的筛选,同时开展白及种子共生萌发是否需要多种真菌协同作用的研究;(3)白及直播萌发的技术还不够成熟,可在提高直播成苗方面进行深入探讨;(4)白及种子共生萌发能提高种子萌发率,直播萌发能增强幼苗的生存能力和环境适应能力,将两者相结合可能是白及种子繁育研究的一个新方向。

#### 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 2015年版. 北京:中国医药科技出版社, 2015: 103.
- [2] 孙爱静, 庞素秋, 王国权. 中药白及化学成分与药理活性研究进展[J]. 环球中医药, 2016, 9(4): 507-511.
- [3] 石丽敏, 卢华兵, 胡贤女. 白及的研究现状[J]. 农业科技通讯, 2016(5): 6-8.
- [4] 喻苏琴, 罗文秀, 张寿文. 不同培养条件对白及种子萌发效应的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8421-8422.
- [5] 史文旋, 张跃进. 白及种子直播繁殖技术研究[J]. 北方园艺, 2017(7): 160-165.
- [6] 郭顺星, 徐锦堂. 白及种子染菌萌发过程中细胞超微结构变化的研究[J]. 植物生态学报, 1990, 32(8): 594-598.
- [7] 牛俊峰, 王喆之. 白及种子直播繁育新方法[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(4): 83-86.
- [8] 袁宁, 何俊蓉, 何锐, 等. 白及组培快繁育苗技术研究[J]. 西南农业学报, 2009, 22(3): 781-785.
- [9] 张建霞, 付志惠, 李洪林, 等. 白及胚发育与种子萌发的

- 关系[J]. 亚热带植物科学, 2005, 34(4): 32-35.
- [10] 付志惠, 张建霞, 李洪林, 等. 白及种子萌发与快速繁殖技术的研究[J]. 植物科学学报, 2006, 24(1): 80-82.
- [11] 赵仁全, 罗光琼, 张秀月, 等. 贮藏温度对白及种子寿命的影响[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(4): 104-105.
- [12] 杨平飞, 张金霞, 罗鸣, 等. 白及种子不同保存年限对萌发和生长的影响[J]. 农技服务, 2016, 33(11): 24, 107.
- [13] 字肖萌, 高江云. 不同真菌对2种药用石斛种子共生萌发的效应[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(17): 3238-3244.
- [14] 杨建文, 凌鸿, 张盈, 等. 内生真菌对兰科药用植物种子萌发作用研究进展[J]. 菌物学报, 2018, 27(1): 22-34.
- [15] 马丹. 白及快速繁殖体系的建立[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [16] 李青凤. 白及原生地萌发特性及组培苗炼苗技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [17] 韦艳梅, 周雅琴, 李力, 等. 白及内生真菌多样性研究[J]. 广西植物, 2016, 36(7): 832-836.
- [18] 陈晓芳, 刘准, 陶刚, 等. 兰科菌根真菌对黄花白及 *Bletilla ochracea* Schltr. 种子萌发率的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1393-1397.
- [19] JOHNSON SR. Symbiotic seed germination in relation to potential naturalization ability of *Bletilla striata* (Orchidaceae)[J]. *Lindleyana*, 1994, 9(2): 99-101.
- [20] 郭顺星, 徐锦堂. 白及种子萌发和幼苗生长与紫萁小菇等4种真菌的关系[J]. 中国医学科学院学报, 1992, 14(1): 51-54.
- [21] 郑晓君, 叶静, 管常东, 等. 兰科植物种子萌发研究进展[J]. 北方园艺, 2010(19): 206-209.
- [22] 韦卡娅, 刘燕琴, 秦静, 等. 白及组培外植体的筛选研究[J]. 中国现代中药, 2008, 10(5): 13-14.
- [23] 杨平飞, 张金霞, 罗鸣, 等. 不同处理对白及种子无菌萌发及培养与驯化的影响[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(8): 1988-1990.
- [24] 李川, 李二星, 刘洋, 等. 白及实生种子的快速繁殖技术[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(8): 105-108.
- [25] 毛鑫, 王锋, 杨传桃, 等. 白及繁殖技术研究[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(20): 3898-3900.
- [26] 和寿星, 徐中志, 薛润光, 等. 白及无菌播种育苗技术[J]. 云南农业科技, 2010(6): 38-39.
- [27] 吴传恩, 宋丽莎, 杨胜远. 白及组织培养与快速繁殖技术体系[J]. 黔南民族师范学院学报, 2017, 37(4): 49-52.
- [28] 宋晓丹, 陈晓玲, 尚丽, 等. 白及种子试管高频萌发的应用研究[J]. 中国现代中药, 2014, 16(9): 751-754.
- [29] 朱虹娴, 马美兰, 戚正华, 等. 白及无菌播种快繁体系的建立[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(9): 1409-1410.
- [30] 李晶, 吴明开, 刘作易, 等. 黄花白及种子非共生萌发及幼苗发育研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(1): 111-113.
- [31] 赵漫丽, 黄春球, 李明静, 等. 添加剂对白及组培的影响[J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(6): 821-827.
- [32] 杨舒婷, 王华新, 陈尔, 等. 不同激素配比的培养基对白及增殖扩繁的影响[J]. 广西林业科学, 2016, 45(2): 208-211.
- [33] 高晗, 王毅敏, 陈发菊, 等. 不同生长调节剂对白及无菌萌发及成苗影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(2): 784-790.
- [34] 曾宋君, 黄向力, 陈之林, 等. 白及的无菌播种和组织培养研究[J]. 中药材, 2004, 27(9): 625-627.
- [35] 叶静, 郑晓君, 管常东, 等. 白及的无菌萌发与组织培养[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2010, 32(S1): 422-425.
- [36] 丁永电, 郑子峰. 白及种子无菌萌发培养基优化[J]. 宜春学院学报, 2016, 38(9): 74-76.
- [37] 张燕, 黎斌, 李思锋. 不同培养基上白及的种子萌发与幼苗形态发生[J]. 西北植物学报, 2009, 29(8): 1584-1589.
- [38] 苏钦, 付传明. 小白及无菌播种组培快繁技术研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2016, 30(2): 245-249.
- [39] 李雨晴, 杨嘉伟, 王康才, 等. 白及种子无菌萌发特性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 253-255.
- [40] 席刚俊, 李警保, 韩正敏, 等. 白及种子萌发形态学观察及组培快繁体系的建立[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(8): 1383-1387.
- [41] 代建丽, 张露, 郭鲜蒲, 等. 赤霉素及光照对白及种子无菌萌发的影响[J]. 种子, 2016, 35(7): 18-21.
- [42] 李芳, 肖小君, 林忠全, 等. 野生红花白及再生体系的建立和优化[J]. 植物研究, 2015, 35(6): 825-831.
- [43] 谢玲玲, 赵青华. 白及种子无菌繁殖微型种茎初探[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(19): 4708-4709.
- [44] 汤兴利, 李林华, 周义峰, 等. 白及种子液体悬浮培养原球茎的研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(29): 151-153, 203.
- [45] 黄红英, 颜晓静, 陈英华, 等. 白及组培苗的播种技术研究[J]. 农产品加工, 2017(9): 73-74.
- [46] 王楷, 李玥, 张云峰, 等. 白及种子的高效萌发及其无性繁殖体系的构建[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2014, 34(4): 71-78.
- [47] 鲁光耀, 杨仙, 蒋瑞彬, 等. 白及组培快速繁殖体系研究[J]. 浙江中医药大学学报, 2015, 39(5): 383-390.
- [48] 张宇思, 姚正颖, 刘金香, 等. 基于原球茎液体培养的白及快速繁殖研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 59-62.
- [49] 胡凤莲. 白及的栽培管理及应用[J]. 陕西农业科学, 2011, 57(3): 268-269.
- [50] 宋进明. 人工种子的生产技术研究与应用前景分析[J]. 农业技术与装备, 2010(6): 42-43.
- [51] 李伟平, 何良艳, 丁志山. 白及的应用及资源现状[J]. 中华中医药学刊, 2012, 30(1): 158-160.
- [52] 陈娜, 方成武, 程磊, 等. 白及人工种子制作与炼苗移栽研究[J]. 皖西学院学报, 2016, 32(5): 63-67.
- [53] 李伟平, 田莎莎, 鲁光耀, 等. 利用人工种子技术快速繁殖白及[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(22): 3386-3390.

(收稿日期: 2018-02-03 修回日期: 2018-05-30)

(编辑: 张元媛)