

铁皮石斛快繁技术研究进展

欧阳凡^{1,2*}, 张 遴¹, 董文宾², 王昌钊¹

(1. 陕西出入境检验检疫局, 西安 710068; 2. 陕西科技大学食品与生物工程学院, 西安 710021)

摘 要: 铁皮石斛具有极高的经济价值和保健价值, 但其野生资源的短缺制约了日益增长的市场需求。目前对铁皮石斛组织培养和人工快繁技术的研究已经有了一定的进展, 本文就外植体、生长培养基和添加物等方面对组培过程中不同生长阶段进行了综述, 总结了近年来的研究成果, 并展望今后组培的发展方向, 以期为实现铁皮石斛的扩大化生产提供理论依据。

关键词: 铁皮石斛; 组织培养; 快速繁殖

Research progress on the rapid propagation of *Dendrobium officinale*

OUYANG Fan^{1,2}, ZHANG Lin^{1*}, DONG Wen-Bin², WANG Chang-Zhao¹

(1. Shaanxi Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Xi'an 710068, China; 2. College of Food & Biological Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: *Dendrobium officinale* has high economic and healthy value, but its shortage of wild resources constrained the increasing market demand. Nowadays, current researches in tissue culture and artificial propagation techniques have been made a certain progress. In this paper, the researches of tissue culture and rapid propagation of *D. officinale* were reviewed from the aspects of selection of explants, hormone and natural additives. Recent research achievements were summarized and the future research directions were discussed in order to provide theoretical basis for achieving *D. officinale* magnifying production.

KEY WORDS: *Dendrobium officinale*; tissue culture; rapid propagation

1 引 言

铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo), 为兰科石斛属多年生草本植物, 为《中华人民共和国药典》所记载的石斛属植物之一, 是卫生部批准的可用于保健食品生产的 114 种物品之一, 主要分布于江浙和西南一带, 是传统名贵中药材。铁皮石斛具有极高的经济价值和药用价值, 其鲜茎或干燥茎均可入药, 民间有“救命仙草”之美誉。现代药理学研究表明铁皮石斛含有多糖、生物碱、氨基酸以及多种人体所需的微量元素等有效成分, 具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、提高免疫力等诸多功效^[1]。铁皮石斛种子细小, 自然条件下不易萌发, 生长极其缓慢, 需依

靠土壤中共生真菌供给营养^[2], 对生长环境条件要求苛刻。由于长期过度采集加上生态环境的恶化, 铁皮石斛野生资源日渐萎缩岌岌可危, 1987 年国家已将其列为重点保护野生珍稀药材品种。

为保护这一珍稀物种, 近年来国内外广泛开展铁皮石斛组培快繁技术的研究。有结果表明组织培养获得的铁皮石斛植物形态及组织结构与野生铁皮石斛资源大致相同, 两者药材品质相近, 确定了通过组织培养这一途径来扩大生产是解决铁皮石斛资源短缺的有效办法^[3]。本研究在结合国内外相关研究基础上, 针对现代铁皮石斛组培快繁技术的研究现状进行了阐述, 包括外植体的选择, 不同生长培养基、植物激素、天然添加物对组培过程中的影响, 以

*通讯作者: 欧阳凡, 硕士研究生, 主要研究方向为保健食品的研究与开发。E-mail: oouuyff@163.com

*Corresponding author: OUYANG Fan, Postgraduate, Shaanxi Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Xi'an 710068. China. E-mail: oouuyff@163.com

期为更深入扩大培养和开发利用铁皮石斛提供理论依据。

2 选取材料和培养条件

2.1 外植体的选取

目前铁皮石斛外植体材料选用的主要有: 种子^[4-6]、茎段^[7-15]、原球茎^[16-24]及人工种子^[25,26]、腋芽、带顶芽的茎段和根莖^[27], 其中以种子和茎段最为广泛采用。以种子作为外植体, 操作简单, 增殖系数高, 诱导出的愈伤组织分化能力较强, 培养出的原球茎质量也较高^[28], 但后代性状不稳定, 易出现变异。用茎段为外植体诱导时间短、发生过程简单, 能较好地保持母本的生物学性状和经济性状^[29]。

完整植株的获得主要通过对种子和茎段、茎尖等外植体的诱导, 形成愈伤组织或原球茎^[8,18], 再进一步培养至完整的个体。

2.2 培养条件与组培过程控制

铁皮石斛组织培养过程中生长主要受光照强度、光照周期、温度、湿度和 pH 等多因素影响。鲍顺淑等^[30]研究发现光照周期为 12 h/d, 光照强度 $68 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 为最佳培养条件, 此时植物生长繁殖能力较强。温度对铁皮石斛外植体的生长影响显著, 温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 更有利于外植体的出芽率和生长势的提高^[24]。过高或过低的温度都不利于原球茎的增殖, 并造成部分原球茎死亡。温度也密切影响着分生苗的数量, 温度越高, 分生苗的数量越多, 较低温度下, 生根苗更健壮、高大^[20]。pH 对石斛外植体的生长也有明显的影响。文献中普遍采用 pH 为 5.8, 在 pH 为 5.8 时更有利于外植体的出芽率和生长势的提高^[31]。

另外对于 3 种培养方式, 固体培养和液体振荡培养相对液体静止培养铁皮石斛的原球茎增殖倍数明显较高^[18], 更适合铁皮石斛原球茎增殖的培养。而韩晓红等^[17]发现通过液体悬浮培养生产铁皮石斛原球茎从而提取石斛多糖相较于固体培养优势明显, 并且从液体悬浮培养原球茎中提取石斛多糖更具有可行性和可操作性。

外植体消毒处理对无菌苗生长具有一定的影响。郑慧俊等^[32]研究表明氯化汞处理 14 min 种荚内种子无污染且成活率最高, 达到 100%, 是较为合理的氯化汞处理时间。以铁皮石斛茎段为外植体, 消毒灭菌时间可控制在 6~8 min^[14], 平均污染率可控制 50% 以下。彭颖等^[15]提出经使用 70% 乙醇进行表面灭菌处理 30 s 后, 再用 0.1% 氯化汞溶液消毒 9 min 是最适宜铁皮石斛茎段的消毒方法。

同时接种密度也对组培苗的生长影响显著, 体现出明显的群体效应, 在组培生长中, 疏植比密植更有利^[13]。铁皮石斛的原球茎繁殖代数应控制在 6 代以内, 不然原球茎分化能力开始衰弱且组培苗生长缓慢^[32]。针对组培过程常见的褐化现象, 在培养基中添加活性炭和维生素 C 均能

达到很好的防褐化效果^[10]。

3 不同生长阶段的因素控制

3.1 种子萌发

自然条件下铁皮石斛种子需真菌共生才能萌发, 生长缓慢繁殖率低, 运用组培快繁技术诱导种子萌发是大量繁殖种苗的有效途径。

大量文献表明, 铁皮石斛的种子在 MS、1/2MS、KC、B5、N6 等基本培养基上均可萌发, 但生长情况略有差异。谢启鑫等^[4]比较 3 种培养基对铁皮石斛种子萌发的影响, 发现 1/2MS 萌发率最高, MS 最差, 表明铁皮石斛种子萌发需要较低的矿物元素含量, 尤其是较低的氮元素含量。杨柳平等^[5]实验发现以 MS 为基本培养基的萌发率普遍较高, 并得出种子萌发各种基本培养基都优于其减半培养基的结论, 提出 MS 培养基是最优培养基, 这与郑志仁^[2]研究结果一致。考虑到材料来源及原料价格等因素, MS 培养基广泛应用于种子萌发阶段。

激素的添加对种子萌发有一定作用, 加入适宜浓度的 NAA 会促进铁皮石斛种子的萌发, 一般在 $0.2\sim 0.8 \text{ mg/L}$ 为宜^[5]; 6-BA 对种子萌发具有抑制作用, 且抑制效果随其浓度升高而增强^[2]。浓度大于 1 mg/L 的 KT、IAA 的加入会抑制种子萌发或生长^[33], 已知 ABA 有抑制种子萌发和植物生长的作用, 但张铭等^[6]的研究表明 ABA 能显著提高铁皮石斛原球茎的质量。

在基本培养基中加入一定浓度的天然添加物如椰汁、土豆汁或香蕉汁对种子萌发有一定程度的促进作用^[34], 可能是其含有一定浓度的植物激素或有促进作用的功能物质。有研究发现在培养基中不添加任何激素的培养基萌发率要高于添加土豆汁、香蕉汁、苹果汁的种子萌发率^[5], 可能材料和处理手段有所不同。

3.2 茎段培养

以幼嫩茎段为外植体, 具有易取材, 繁殖系数高, 繁殖速度快, 周期短等优点, 有利于保持该品种遗传性状稳定。铁皮石斛同一枝条不同位置的茎段培养出的再生植株生长状况不同, 以茎尖最好, 茎中次之, 茎基较差^[35]。

茎段培养采用的基本培养基主要集中在 MS 培养基和 1/2MS 培养基上。李莹等^[9]研究发现芽诱导中 MS 培养基和 1/2MS 培养基均可达到 100% 的诱导率, 且 MS 培养基中的幼芽叶片浓绿长势较好, 选取 MS 培养基为最佳基本培养基, 这与彭颖等^[15]和张书萍等^[36]的结论一致, 而有研究^[13,19]认为 1/2MS 诱导丛生芽效果最好。

培养基中生长素与细胞分裂素的浓度及配比对铁皮石斛组织培养中芽的诱导与分化起着决定性的作用。调控生长素类和细胞分裂素类之间的浓度, 可控制分化为芽或根, 细胞分裂素/生长素的比值大时促进芽的形成, 比值小

时则适合生根^[11]。朱艳等^[13]比对了常用的3种细胞分裂素KT、ZT、6-BA,发现6-BA的作用最好,在2 mg/L能打破顶端优势,生成丛生芽,而生长素类则差异不明显,0.2~0.5 mg/L范围内效果均较好。在基本培养基中添加低浓度的NAA、6-BA能促进腋芽诱导和增殖,高浓度的NAA、6-BA不利于腋芽的萌发和分化,选取合适的浓度和配比对组培苗的生长有关键性作用。

在培养基中加入适宜浓度的椰子汁、香蕉汁^[8]可促进芽的增殖和幼苗生长,其中香蕉汁对丛生芽增殖更适合工业生产。同时,适宜的接种密度会对不定芽的诱导和增殖有积极的作用,当密度为15个/瓶时铁皮石斛的增殖和苗健壮程度最佳^[9]。

3.3 原球茎增殖

铁皮石斛组织培养的培养基有MS, Nitch, Knudson C(KC), N6, B5, C17, SH, 1/2 MS等,其中MS使用最为普遍。莫昭展等^[18]比较了5种不同培养基,发现改良MS培养基中原球茎增殖倍数最高,1/2 MS、MS次之,说明铁皮石斛的原球茎的增殖与培养基中的无机盐浓度有关。B5、MS相对于KC、N6更有利于原球茎的增殖^[2],1/2MS培养基中原球茎体积大无分化,表现出最佳的增殖效果^[19]。

原球茎的增殖与激素的添加密切相关,未加入任何激素的基础培养基上,原球茎完全不增殖^[4,5]而是开始分化芽。激素浓度的提高,会引起原球茎的增殖倍数的增加,然而过高的激素浓度会造成变异,造成原球茎质量下降。相关实验发现,适宜浓度的NAA、KT、6-BA、IAA、IBA和GA等激素能促进原球茎的增殖。杨柳平等^[5]发现原球茎增殖在较低NAA、KT、6-BA配合的范围内生长情况良好,且无畸形原球茎产生。太高或太低的激素浓度都会妨碍铁皮石斛原球茎的繁殖和分化,从蒋波^[16]的实验结果得知,应将激素的浓度控制在6-BA 2.0~3.0 mg/L、NAA 0.2~0.5 mg/L的范围之内,并在不引起明显变化的范围内优先选择较低浓度的激素配比,防止扰乱植物体内的激素水平,影响植株健康生长。

原球茎的类型也会影响原球茎增殖。铁皮石斛原球茎增殖过程中产生2种类型,高增殖倍数的翠绿型原球茎分化率较低,成苗差,不能作为进一步扩大繁殖的种苗;而颗粒型、浅黄绿色的原球茎增殖慢,分化苗绿色而粗壮^[20]。在培养过程中要进行适当全面的筛选。

天然物质的存在能有效促进铁皮石斛原球茎的增殖生长,苹果汁、椰子汁和马铃薯提取液促进效果明显。椰子汁的效果优于香蕉和马铃薯提取液,以加入椰子汁100 mg/L最佳,与低质量浓度的NAA配合使用,原球茎的增殖效果更好,需要注意的是马铃薯泥对椰汁的促增殖作用有强烈的抵消效应^[37]。香蕉汁对原球茎的增殖有抑制作用^[5],且添加后极易导致污染,这可能与香蕉成分复杂或不彻底灭菌有关。

3.4 原球茎分化

从原球茎分化来看,MS和1/2MS培养基原球茎分化率高,有利于原球茎分化。不同激素组合对原球茎分化影响十分显著。NAA和6-BA配合使用能有效的促进铁皮石斛原球茎的分化,实验发现在不含激素的培养基及含NAA浓度较高,6-BA浓度低的培养基上原球茎不增殖完全分化长成小苗;而6-BA浓度较高而NAA浓度较低的培养基上,同时有原球茎增殖和有部分分化小苗的现象,且小苗的长势不及NAA浓度较高的培养基^[2]。过高或过低浓度的激素配比均不利于铁皮石斛原球茎的分化。

在天然添加物方面,土豆汁对铁皮石斛原球茎的分化有积极促进作用,香蕉汁则会明显抑制原球茎的分化^[2]。

3.5 生根与壮苗

不加激素的培养基中铁皮石斛小苗均能生长,在生根壮苗阶段要确保幼苗生长代谢机能稳定,选用的培养基离子浓度不能过高,简单为主的原则,文献中普遍采用MS和1/2MS培养基。张书萍^[36]对比了MS、1/2MS、KC、1/2KC基础培养基对铁皮石斛壮苗生长的影响,发现幼苗用MS培养基优于用KC培养基。

在基本培养基中加入NAA、6-BA、IBA、IAA等激素对于组培苗生根壮苗均有一定的促进作用。6-BA主要促进芽的生长,而NAA侧重于促生根,芽或根的分化主要取决于细胞分裂素/生长素的比值^[37]。相同量的NAA对苗生根的促进作用相比6-BA更明显^[5],但6-BA会促进形成分枝。就根系发育来说,添加NAA的培养基根系发育良好,表明NAA有利于石斛根系的发育,而6-BA则有抑制作用^[2]。单一的NAA或IBA都会使植物生长不均衡,因此调配激素的合适比值能得到较为理想的苗生长状况^[8]。在壮苗阶段,NAA、IBA、IAA等激素对铁皮石斛组培苗的生长状况均无明显差异^[30]。

天然添加物中因其富含多种营养因子和生物活性成分,极有利于组培苗的生根壮苗。苹果汁、椰汁、土豆汁、香蕉汁均能促进组培苗根系的发育和苗的强化,但香蕉汁优于其他的附加物^[16,29]。香蕉汁的优势体现在根长、苗高、整齐度健壮度效果都优于其他添加物^[30]。

3.6 出瓶移栽

生长良好的组培苗经过一定时间培养后要移栽到田间种植。基质的选择对铁皮石斛移栽的成活率、生长、繁殖和产量影响很大,铁皮石斛组培苗的移栽基质通常选用通透性好的原料,并辅以部分原料保水保肥率^[38],现种植技术中普遍采用的是树皮、木屑,或辅以碎石、有机肥混合物,其中树皮粉碎成2~3 cm以下颗粒^[26]。石丽敏等^[39]发现锯末+10%石子与50%锯末+50%直径0~2 cm松树皮作为基质能良好保证铁皮石斛的健康生长。同时在基质中

加入一定比例的细陶粒混合可以很好地增加质土空隙,使其具有更好的透气性和排水性^[40]。

铁皮石斛的栽培时间一般选在每年春秋两季,且春季优于秋季^[41]。铁皮石斛适宜在凉爽、湿润、空气畅通的环境生长,生长的适宜温度为 15~30℃^[26]。铁皮石斛栽培要求在大棚中进行,日常应加强水肥管理,但基质不能过湿但又不能积水,浇水时采用喷灌或滴灌最好^[42],不得冲灌。

移栽前得先进行两周以上的炼苗,使瓶苗逐渐适应自然生长环境,等瓶苗生长健壮、叶色浓绿时出瓶移栽^[43]。移栽时可在基质上挖深 2~3 cm 的小洞,轻轻将炼苗、出瓶洗净后的组培苗根部放入小洞,注意不要弄断石斛的肉质根,然后用基质盖好^[44]。应将裸根苗、少根苗和污染苗与正常苗分开栽培,以便管理。

4 存在问题及展望

伴随广大研究者的刻苦钻研,铁皮石斛组培快繁技术已硕果累累,有效挽救了濒危野生资源和供应工业生产,但目前铁皮石斛产业发展中存在的几个问题值得引起进一步研究。

第一,组织培养过程众所需成本过高和试管成苗周期长的问题仍是制约铁皮石斛产业化生产最大的瓶颈。一方面要利用现有先进生物技术,积极开发培养新方向,突破铁皮石斛繁殖慢周期长的局限;另一方面,在保证快速繁殖的基础上积极开发低成本高效新型培养基,有效利用本地生物资源,最终降低生产成本。

第二,现阶段研究大多着眼在组培过程中组培苗的基本生长方面,而对应用生物技术进一步开发铁皮石斛研究较少,杂交、诱变和转基因的育种工作较为少见,可在组培繁育的基础上结合现代生物育种技术,培育出药用成分高和抗病能力强的优良品种,实现更大的经济效益。

第三,铁皮石斛的组培快繁体系对于组培过程中药用有效成分的积累规律和不同培养条件对其的影响研究尚浅。铁皮石斛药效主要体现在石斛多糖上,今后可加强对石斛多糖的分离提纯技术优化和多糖积累规律的探索,从而实现铁皮石斛的价值最大化和产业全能化。

参考文献

- [1] 吴建, 王建方, 方玲, 等. 国内铁皮石斛研究概况[J]. 中国药学杂志, 2013, 48(19): 1610-1614.
WU J, Wang JF, Fang L, et al. Overview in *Dendrobium* domestic research [J]. Chin Pharm J, 2013, 48(19): 1610-1614.
- [2] 郑志仁, 朱建华, 李新国, 等. 铁皮石斛的离体培养和快速繁殖[J]. 上海农业学报, 2008, 1: 19-23+137.
Zheng ZR, Zhu JH, Li XG, et al. *Dendrobium* vitro culture and rapid propagation [J]. Shanghai Agric Sci, 2008, 1: 19-23+137.
- [3] 范俊安, 王继生, 张艳, 等. 铁皮石斛组培品与野生品的形态组织学和多糖含量比较研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 21: 1648-1650+1659.
Fan JA, Wang JS, Zhang Y, et al. Comparative Study of the tissue morphology and polysaccharide content in *Dendrobium* group between wild and cultured products [J]. China J Chin Mater Med, 2005, 21: 1648-1650+1659.
- [4] 谢启鑫, 宋小明, 黄东华, 等. 铁皮石斛的种子培养[J]. 北方园艺, 2010, 8: 90-91.
Xie QX, Song XM, Huang DH, et al. Seed culture in *Dendrobium* [J]. Northern Hortic, 2010, 8: 90-91.
- [5] 杨柳平, 刘畅庆, 赵仁发, 等. 铁皮石斛种子诱导原球茎组培快繁体系的研究[J]. 广东农业科学, 2012, 7: 54-57.
Yang LP, Liu CQ, Zhao RF, et al. Research in inducing PLB Tissue Culture System with *Dendrobium* seed [J]. Guangdong Agr Sci, 2012, 7: 54-57.
- [6] Zhang M, Zhu F, Wei XY, et al. Germination of *Dendrobium candidum* embryos and quality control of protocorm-like bodies [J]. Zhejiang Univ-Sci Edit, 2000, 27(1): 92-94.
- [7] 张红梅, 刘建东, 王岩花, 等. 铁皮石斛茎段快繁技术研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 06: 495-499.
Zhang HM, Liu JD, Wang YH, et al. Research on Rapid Propagation of *Dendrobium* stem section [J]. J Shanxi Agric Univ (Nat Sci Ed), 2010, 6: 495-499.
- [8] 戚华沙, 潘梅, 黄赛, 等. 铁皮石斛茎段组织培养技术研究[J]. 安徽农学通报, 2013, 13: 32-34.
Qi HS, Pan M, Huang S, et al. Research in *Dendrobium* stem tissue culture [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2013, 13: 32-34.
- [9] 李莹, 谭鹏鹏, 彭方仁, 等. 铁皮石斛组培快繁技术[J]. 林业科技开发, 2012, 1: 96-99.
Li Y, Tan PP, Peng FR, et al. *Dendrobium* tissue culture technology [J]. China Forestry Sci and Tech, 2012, 1: 96-99.
- [10] 张红兵, 武芸, 刘金龙, 等. 铁皮石斛茎段组培快繁体系的改良研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2011, 3: 282-284.
Zhang HB, Wu Y, Liu JL, et al. Improved research on stem segments of *Dendrobium* tissue culture system [J]. J Hubei Univ Nation (Nat Sci Ed), 2011, 3: 282-284.
- [11] 洪森荣, 肖波, 江静. KT 和 NAA 对铁皮石斛带芽茎段生长发育的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 1: 55-56.
Hong SR, Xiao B, Jiang J. Effects of KT and NAA on the growth of *Dendrobium* stems with buds [J]. Jiangsu Agric Sci, 2012, 1: 55-56.
- [12] 宋顺, 许奕, 王必尊, 等. 不同培养基成分对铁皮石斛组织培养的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 13: 133-139.
Song S, Xu Y, Wang BZ, et al. Effects of different medium components on *Dendrobium* tissue culture [J]. Chin Agric Sci Bull, 2013, 13: 133-139.
- [13] 朱艳, 秦民坚. 铁皮石斛茎段诱导丛生芽的研究[J]. 中国野生植物资源, 2003, 2: 56-57.
Zhu Y, Qin MJ. Research in inducing of *Dendrobium* buds with stems [J]. Chin Wild Plant Resour, 2003, 2: 56-57.
- [14] 邹娜, 喻苏琴, 王春玲, 等. 铁皮石斛组织培养及试管开花研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 12: 42-44.
Zhou N, Yu SQ, Wang CL, et al. Research in *Dendrobium* tissue culture and in vitro flowering [J]. Jiangsu Agric Sci, 2013, 12: 42-44.
- [15] 彭颖, 张莉芳, 程鹏, 等. 铁皮石斛组织培养技术[J]. 农业工程, 2012, 11: 40-43.

- Peng Y, Zhang LF, Cheng P, *et al.* Dendrobium tissue culture technology [J]. *Agric Eng*, 2012, 11: 40–43.
- [16] 蒋波, 杨存亮, 黄捷, 等. 铁皮石斛原球茎生长分化及生根壮苗研究[J]. *玉林师范学院学报*, 2005, 3: 66–69.
- Jiang B, Yang CL, Huang J, *et al.* Research in Dendrobium protocorms growth differentiation and rooting [J]. *J Yulin Norm Univ*, 2005, 3: 66–69.
- [17] 韩晓红, 段春红, 阎贺静, 等. 铁皮石斛原球茎液体悬浮培养研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2010, 20: 10570–10572.
- Han XH, Duan CH, Yan HJ, *et al.* Research development in Dendrobium PLBs suspension culture [J]. *Anhui Agr Sci*, 2010, 20: 10570–10572.
- [18] 莫昭展, 贝学军. 铁皮石斛原球茎增殖条件的研究[J]. *福建林业科技*, 2007, 4: 55–58.
- MO ZZ, Bei XJ. Research in Dendrobium PLB proliferation conditions [J]. *J Fujian Forestry Sci Technol*, 2007, 4: 55–58.
- [19] 孙丹, 朴炫春, 郑艳艳, 等. 铁皮石斛圆球茎增殖影响因素的研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 32: 18150–18151.
- Sun D, Piao XC, Zheng YY, *et al.* Research in Dendrobium protocorms proliferation factors [J]. *Anhui Agric Sci*, 2010, 32: 18150–18151.
- [20] 张桂芳, 关杰敏, 黄松, 等. 铁皮石斛原球茎的诱导与增殖影响因素研究[J]. *中药材*, 2011, 34(8): 1172.
- Zhang GF, Guan JM, Huang S, *et al.* Research in induction and proliferation factors on Dendrobium PLB [J]. *Chin Herb Med*, 2011, 34(8): 1172.
- [21] 黄作喜, 张杨, 颜小玉, 等. 铁皮石斛原球茎高效增殖体系的构建[J]. *北方园艺*, 2014, 14: 107.
- Huang ZX, Zhang Y, Yan XY, *et al.* Construction of high efficient propagation system of PLB Dendrobium [J]. *Northern Horticulture*, 2014, 14: 107.
- [22] 常美花, 金亚征, 王莉. 铁皮石斛快繁技术体系研究[J]. *中草药*, 2012, 43(7): 1412.
- Chang MH, Jin YZ, Wang L. Research in Dendrobium rapid propagation system [J]. *Chin Herb Med*, 2012, 43(7): 1412.
- [23] 王丽萍, 梁淑云. 铁皮石斛原球茎诱导与增殖研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 01: 265.
- Wang LP, Liang SY. Research in Induction and Proliferation of Dendrobium PLB [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, 1: 265.
- [24] 石丽敏, 卢华兵, 胡贤女. 铁皮石斛原球茎诱导分化与增殖试验[J]. *浙江农业科学*, 2015, 56(8): 1191–1192.
- Shi LM, Lu HB, Hu XN. Dendrobium PLB induce differentiation and proliferation assay [J]. *Zhejiang Agric Sci*, 2015, 56(8): 1191–1192.
- [25] 曾颖苹, 朱乾坤, 王万军. 铁皮石斛人工种子包衣技术研究[J]. *北方园艺*, 2012, (17): 155–158.
- Zeng YP, Zhu QK, Wang WJ. Research on artificial seed coating techniques of Dendrobium [J]. *Northern Hortic*, 2012, (17): 155 - 158 .
- [26] 刘福平, 张小杭, 崔寿福. 植物人工种子研究概况[J]. *江西科学*, 2015, 4: 484–490.
- Liu FP, Zhang XH, Cui SF. Overview in plant artificial seed research [J]. *Jiangxi Sci*, 2015, 4: 484–490.
- [27] 秦廷豪. 铁皮石斛的组织培养与快速繁殖[J]. *热带农业科学*, 2008, 1: 25–29.
- Qin TH. Tissue culture and rapid propagation of Dendrobium [J]. *Chin J Trop Agric*, 2008, 1: 25–29.
- [28] 魏丽芳, 于桂芬, 冯国宝, 等. 铁皮石斛组织培养与快速繁殖研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2013, 35: 13561–13563.
- Wei LF, Yu GF, Feng BG, *et al.* Research progress in Dendrobium tissue culture and rapid propagation [J]. *Anhui Agric Sci*, 2013, 35: 13561–13563.
- [29] 戴小英, 张淑霞, 周莉荫, 等. 铁皮石斛不同外植体组培快繁技术比较研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 10: 122–126.
- Dai XY, Zhang SX, Zhou LY, *et al.* Comparative study of Dendrobium different explants tissue culture and rapid propagation [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, 10: 122–126.
- [30] 鲍顺淑, 贺冬仙, 郭顺星. 铁皮石斛在人工光型密闭式植物工厂的适宜光照强度[J]. *中国农学通报*, 2007, 3: 469–473.
- Bao SS, He DX, Guo SX. Appropriate light intensity in artificial light closed plant factory of Dendrobium [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2007, 3: 469–473.
- [31] 田思源. 铁皮石斛组织培养的工艺条件研究[J]. *科技资讯*, 2012, 8: 107.
- Tian SY. Research in Dendrobium tissue culture conditions [J]. *Sci Technol Inform*, 2012, 8: 107.
- [32] 郑慧俊, 张明丽, 邹春晶, 等. 铁皮石斛组织培养繁殖技术研究[J]. *农业工程*, 2012, 11: 49–51.
- Zheng HJ, Zhang ML, Zhou CJ, *et al.* Research in Dendrobium tissue culture technology [J]. *Agric Eng*, 2012, 11: 49–51.
- [33] 斯金平, 诸燕, 朱玉球. 铁皮石斛人工栽培技术研究与应用进展[J]. *浙江林业科技*, 2009, 6: 66–70.
- Si JP, Zhu Y, Zhu YQ. Research on Dendrobium artificial cultivation technology and application progress [J]. *J Zhejiang Forestry Sci Technol*, 2009, 6: 66–70.
- [34] 曾宋君, 程式君, 张京丽, 等. 五种石斛兰的胚培养及其快速繁殖研究[J]. *园艺学报*, 1998, 25(1): 75–80.
- Zeng SJ, Cheng SJ, Zhang JL, *et al.* Research on five kinds of embryo culture and rapid propagation of Dendrobium [J]. *Acta Horti Sin*, 1998, 25(1): 75–80.
- [35] 刘仲健, 张玉婷, 王玉, 等. 铁皮石斛快速繁殖的研究进展[J]. *植物科学学报*, 2011, 20(6): 763–772.
- Liu ZJ, Zhang YT, Wang Y, *et al.* Research progress in Dendrobium rapid propagation [J]. *Plant Sci J*, 2011, 20(6): 763–772.
- [36] 张书萍, 白石, 陈丽静. 铁皮石斛的组织培养与快速繁殖[J]. *辽宁农业科学*, 2008, 6: 12–15.
- Zhang SP, Bai S, Chen LJ. Tissue culture and rapid propagation in Dendrobium [J]. *Liaoning Agric Sci*, 2008, 6: 12–15.
- [37] 王先花, 陈云, 谭啸, 等. 铁皮石斛组织培养快速繁殖技术[J]. *热带生物学报*, 2013, 4: 374–380.
- Wang XH, Chen Y, Tan X, *et al.* Tissue culture and rapid propagation in Dendrobium [J]. *J Trop Organ*, 2013, 4: 374–380.
- [38] 郭益红, 孙红杰, 史翼清. 苏州地区铁皮石斛移栽基质优化筛选研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 06: 3258–3259+3261.
- Guo YH, Sun HJ, Shi YQ. Screening optimization of Dendrobium transplanting matrix in Suzhou [J]. *Anhui Agric Sci*, 2011, 6: 3258–3259+3261.
- [39] 石丽敏, 卢华兵, 郭勇, 等. 铁皮石斛栽培基质筛选研究[J]. *农业科技通讯*, 2012, 2: 45–46.

- Shi LM, Lu HB, Guo Y, *et al.* Screening of Dendrobium growing media [J]. Hunan Agric Sci Technol Newsletter, 2012, 2: 45-46.
- [40] 魏凤娟. 铁皮石斛组织培养与栽培技术研究进展[J]. 广东农业科学, 2010, 4: 81-85.
- Wei FJ. Research progress in Dendrobium tissue culture and planting technology [J]. Guangdong Agric Sci, 2010, 4: 81-85.
- [41] 李泉森, 张明, 金仕勇, 等. 石斛无土栽培基质的初步研究[J]. 中国中药杂志, 2000, 25(1): 23-24.
- Li QS, Zhang M, Jin SY, *et al.* A preliminary study of Dendrobium soil-less growing media [J]. China J Chin Mater Med, 2000, 25(1): 23-24.
- [42] 李宏蛟, 蒋影, 林昌虎. 不同栽培基质对炼苗期铁皮石斛生长动态的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 7(5): 2131-2134.
- Li HJ, Jiang Y, Lin CH. Effects of different growing media on the growth of Dendrobium [J]. Southwest China J Agric Sci, 2014, 7(5): 2131-2134.
- [43] 李关艳, 苏有勇, 李思梅, 等. 铁皮石斛栽培基质的筛选研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(26): 61-63, 69.
- Li GY, Su YY, Li SM, *et al.* Screening of Dendrobium growing media [J]. Anhui Agric Sci, 2015, 43(26): 61-63, 69.
- [44] 肖昌泰, 毛昆明, 杨自琼, 等. 不同基质对铁皮石斛组培苗成活和生长的影响[J]. 现代农业科技, 2012(4): 147-149.
- Xiao CT, Mao KM, Yang ZQ, *et al.* Effect of different substrates on Dendrobium plantlets survival and growth [J]. Mod Agric Technol, 2012(4): 147-149.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



欧阳凡, 硕士研究生, 主要研究方向为保健食品的开发和利用。
E-mail: oouyuyff@163.com