

铁皮石斛仿野生贴树栽培技术研究进展

李艳冬, 赵根, 郑鹏华, 韩明丽 (湖州市农业科学研究院, 浙江湖州 313000)

摘要 铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)是兰科石斛属药用植物中最珍稀名贵的物种, 内含多糖、生物碱类等化学成分。铁皮石斛产业的发展带动了新型栽培技术的进步, 铁皮石斛仿野生种植模式开始逐渐发展起来。综述了铁皮石斛林下附树栽培模式影响因素的研究进展, 以期为进一步深入相关研究提供参考。

关键词 铁皮石斛; 种植模式; 附树栽培; 仿野生种植; 设施栽培

中图分类号 S567 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)08-0026-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.08.007



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress on the Culture Technology of *Dendrobium officinale* Imitating Wild Epiphytic Trees

LI Yan-dong, ZHAO Gen, ZHENG Peng-hua et al (Huzhou Academy of Agricultural Sciences, Huzhou, Zhejiang 313000)

Abstract *Dendrobium officinale* is one of the most precious medicinal plants belonged to *Dendrobium*, Orchidaceae family, and it is rich in polysaccharides and alkaloids. With the rapid development of *Dendrobium officinale* industry, the progress of new cultivation technology has been promoted, the wild-imitating cultivation technology of *Dendrobium officinale* was developed rapidly. This paper reviewed the recent progresses in research on many key influencing factors of cultivation model of *D. officinale* imitating epiphytic trees, in order to provide scientific guidance for further research on the related researches.

Key words *Dendrobium officinale*; Cultivation model; Symbiotic cultivation on trees; Imitating wild cultivation; Facility cultivation

铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo)是兰科石斛属多年生附生草本植物, 是我国传统名贵珍稀中药材、国家重点保护植物, 属于《中华人民共和国药典》中被收录的5种石斛属植物之一^[1]。随着铁皮石斛产业突飞猛进的发展, 大棚栽培技术已取得了巨大进展, 铁皮石斛已成为我国发展最快的中药材^[2]。产业的飞速发展带动了新型栽培技术的进步。

对铁皮石斛的栽培模式研究主要集中在以温室大棚为载体设施栽培技术上, 设施栽培也是目前铁皮石斛主要的栽培方式, 但该模式存在投入大、环境非友好等问题。与野生铁皮石斛相比, 人工栽培的铁皮石斛品质较差^[3]。野生铁皮石斛一般附生在深山老林的树干上、林中的岩石缝或石槽间^[4]。根据铁皮石斛的野生特点, 近几年铁皮石斛仿野生栽培模式开始出现并逐渐发展起来, 如林下种植、树桩截木种植、贴石种植以及活树附生原生态种植等栽培方式, 在浙江、福建、广东一带已经有一定规模的种植推广。其中, 活树附生原生态栽培模式(简称附树栽培或贴树栽培)最贴近自然, 绿色环保, 易于大规模推广种植。活树附生原生态栽培模式是指以野外自然生长的树木作为载体, 利用树木枝叶遮阴, 将植株附生(捆绑固定)在树干、树枝和树杈上, 仿照铁皮石斛自然生长环境的一种种植方法^[5]。利用该模式生产的铁皮石斛品质较好, 市场价格较高^[6], 经济效益明显。斯金平等^[7]对铁皮石斛活树附生栽培模式、栽培方式进行了研究, 发现仿野生贴树栽培模式在经济和生态上具有显著优势。

目前对铁皮石斛仿野生栽培的研究相对较少, 也缺乏系统性和综合性研究。笔者对铁皮石斛贴树栽培技术研究进展进行了综述, 侧重总结了铁皮石斛贴树栽培的诸多影响因素, 进一步改进该栽培模式, 旨在为同类研究提供参考。

素, 进一步改进该栽培模式, 旨在为同类研究提供参考。

1 铁皮石斛生长状态的影响因素研究

1.1 种苗品种及苗龄的选择

1.1.1 种苗品种的选择。目前用于铁皮石斛附树栽培品种很少, 还没有具有广泛传播效应的栽培专用品种^[8]。附树栽培铁皮石斛原则上应选择当地适生品种, 同时要兼顾产量、品质、抗性等因素。胡峰等^[9]对福建、云南、浙江、广东4个产地的11份种质资源进行附树栽培筛选, 认为除了浙江种质都可用于广东地区林下仿野生栽培。在品种的抗寒性方面, 目前可选的有浙农大选育的“78×69(晶品1号)”“9×66”^[9]等抗寒性强的品种。不同地区来源的铁皮石斛种质(包括栽培种和野生种)耐低温能力相差很大, 靠近北方地区的种质耐低温能力要好一些, 如浙江种质一般能耐-6~-5℃的低温; 南方地区(如广西、广东、云南)种质0℃左右就会发生冻害^[3]。

1.1.2 苗龄的选择。活树附生栽培, 一般是以组培苗为起始种植材料。为了提高其野外生存能力, 铁皮石斛种苗应该在温室设施内驯化一段时间后再进行野外种植^[10]。

大量研究表明, 苗龄驯化时间的长短会显著影响铁皮石斛的生长。若驯化时间过短, 母体发育不够, 新萌发的芽体孱弱, 抗逆性差。若驯化时间过长, 一方面, 植株老化, 侧芽萌发受到影响, 新生芽长势变弱; 另一方面, 植株封顶较早, 影响后期长势。一般认为, 以驯化一年到一年半的时间为佳, 如张惠三等^[11]认为驯化一年左右的苗生长最好, 用作活树附生仿野生栽培种苗最适时。但是, 对于不同地区, 因气候特点和品种的差异, 种苗驯化时间也不同。据报道, 在特定地区驯化3~6个月的种苗也可以进行附树种植^[12-13]。

1.2 场地的选择 铁皮石斛既不耐寒, 也不耐热, 适合在气候凉爽、湿度较大、空气流通的环境条件下生长^[14]。根据林地的原始来源, 一般分2种类型的林地: 一种是人工种植林,

基金项目 湖州市公益性应用研究项目(2016GY10)。

作者简介 李艳冬(1981—), 男, 蒙古族, 内蒙古赤峰人, 农艺师, 硕士, 从事中草药组培和栽培技术研究。

收稿日期 2020-08-10

如人工果园和工程林区等,可利用龙眼果园^[15]、人工锥栗林^[10]、工程区混交林^[16]等林区进行栽培;另一种是野外自然生长的天然林地,如利用天然次生林进行栽培种植^[17]。2种林区在栽培上没有本质的区别,人工林在管理上更加便利,林下环境相对易于控制。此外,如果在山地种植,要考虑光照和通风的因素,应尽量选择朝阳的南向坡地^[10],南向利于光照,坡地利于通风,在山体的山脊部位进行铁皮石斛附树种植是较佳选择^[11]。

1.3 树种的选择 附树树种的选择:根据各个地区的气候特点,对当地的现有适生树种进行选择。就附生树种而言,针叶与阔叶、常绿与落叶、光皮与糙皮均可,如梨、板栗、香樟、松树、红豆杉、杉木等^[3]。具体来说,树木对所依附铁皮石斛主要起以下作用。

1.3.1 固定支撑作用,是铁皮石斛种植所依附的载体。在野外,铁皮石斛通过不定根,固定在岩石或者树干上^[18]。为了便于铁皮石斛附着和扎根,应选择树干(或树枝)适中、树皮具有一定的粗糙度且不会自然脱落的树种^[19],如樟树、核桃、杜英等树种。若选择树皮易于脱落的树种,则会影响铁皮石斛气生根的附着,如松树、桦木、椿树等自然掉皮的树种要谨慎选择^[20]。树皮的生长状态是能否作为铁皮石斛寄主

的重要参考。蒲葵和中东海枣等棕榈科植物树皮由于其天然的疏松性,本身就是铁皮石斛的良好栽培基质,在生长和人工管理上具有较大的优势^[21]。

1.3.2 调节光照强度,主要起遮阴的作用。为了量化光照强度,部分文献引入林分郁闭度的概念,它反映林分的密度,也间接反映遮光度的大小。铁皮石斛属于喜阴植物,通常不能选择落叶树种作为其寄主。一般情况下,选择常绿阔叶树作为栽培树种。例如,在福建地区铁皮石斛附树栽培,在植株鲜重、幼芽萌发以及保存率等方面,阔叶树种优于针叶树种^[20,22]。在云贵和两湖地区,选择阔叶树居多,在云南仿野生林下铁皮石斛种植中,可以选择龙眼树、椿树、栗树、栎树等阔叶树种^[23-24]。在光照较强、湿度较大的地区,应选针叶树种进行栽培,如李双龙等^[16]在鄂西南地区用马尾松针叶树栽培铁皮石斛,取得了良好的效果。浙江地区除了选择阔叶树外^[3],根据实际情况也可以选择针叶树和阔叶树组成的混交林^[25],如杉木、松树、板栗等。关于郁闭度的影响,很多文献都有提到(表1)。通常认为郁闭度0.6~0.7较为合适。若郁闭度过低,光照较强,诱使植株提早封顶,个体矮壮,影响产量;若郁闭度过高,光照较弱,光合作用受到影响,会导致光合产物积累不足。

表1 不同森林郁闭度对铁皮石斛生长状态影响的对比试验

试验地点 Test location	考察的环境因素 Environmental factors investigated	生长指标 Growth indices	结论 Conclusion	参考文献 References
广东省阳江市 Yangjiang City, Guangdong Province	郁闭度	株高、茎长、节数、叶片数、总干重、茎干重	在林分郁闭度为30%~50%,即光照入射强度为62.5%时,生长各指标除节数外均最大	崔之益等 ^[26]
湖北省恩施市 Enshi City, Hubei Province	郁闭度	分蘖株树、株长、茎粗	最适郁闭度在0.7左右	李双龙等 ^[16]
广东省梅州市 Meizhou City, Guangdong Province	郁闭度、空气湿度	成活率均值、茎长均值、茎粗均值	郁闭度为0.6~0.7时,成活率最高;空气湿度为60%~80%时,生长效果最好	李志贤等 ^[27]

1.3.3 保持水分,提高生长所需部分营养。选择树种时,通常情况下应选择树皮较粗糙,有沟槽且树皮不易脱落的树种。树干的粗糙程度决定着其保水性能。树皮粗糙、有沟槽,有利于涵养水分,根系容易深入树皮内部,吸收养分^[28]。对于树皮粗糙程度的选择,还要依据环境湿度的大小。苗志学等^[29]研究表明石斛属植物根际周围的含水量在30%左右,过高或过低的湿度都会影响其正常生长。在环境湿度大的林区,宜选择光滑的树干,更有利于多余水分的散失;在环境湿度小的林区,为了根际保水,宜选择树皮粗糙的树种,如张惠兰等^[11]发现在高海拔林区寄生在树皮光滑的宿主树的铁皮石斛比寄生在树皮粗糙的宿主树长势更好。

1.3.4 吸收微生物产生菌根真菌与铁皮石斛内生菌共同作用,提高植株抗性^[30],改善铁皮石斛的生长状态。附生在树上铁皮石斛,一方面树皮可以起到保湿、保水的作用,另一方面可使得铁皮石斛的根部充分吸收外界的微生物,从而形成真菌菌根^[31-32],大大提高了其抗性,改善了品质^[33]。对于铁皮石斛与附生宿主之间的关系,张洛妃^[34]认为这种关系属于偏利共生关系,对附生在宿主树上的铁皮石斛生长有利,而对树木本身的影响很小。此外,在对附生木桩栽培的研究

中发现^[35],不同附生立木铁皮石斛内生真菌优势类群与附生立木有很大的相关性。

1.4 栽种时间 栽培时间各地区根据当地的气候特点,主要考虑温度和雨季的影响。研究表明,不同种植季节对贴树栽培铁皮石斛的生长状态影响显著,一般情况下春、秋两季皆可进行,以春季种植效果最优^[36]。具体时间依气候而定,一般在夜间最低气温高于10℃时可进行种植^[3],以不发生冻害为宜,浙江地区可选在3—5月栽培定植;广西、广东、云南等地区根据气温可提前,山区由于早晚气温低,可适当推后种植。在气候条件达到要求的前提下,越早定植越有利于其后期的生长。

1.5 铁皮石斛固定方式的影响 栽培时,用固定材料将其种苗捆绑在树上,称为定植。捆绑方式一般采用从上而下的捆绑方式(即根部朝上、茎部下垂)^[37]。对于捆绑材料的选择,宜选择富有弹性、牢固的材料,兼顾环保。如麻绳、遮阳网等材料,有利于石斛根系的舒展。稻草绳除了以上优点外,因其易腐性,容易降解形成的腐殖质不仅可作为养分被石斛吸收,而且在环保上也具有一定的优势^[38]。树体的不同固定部位,因光照或者通风的差异,对铁皮石斛的生长也有着重

要的影响。梁琼芳等^[13]研究发现,种苗存活率的高低,在绑缚树体部位上树杈最高,主干次之,侧枝最低。不同的附树高度改变了林下小生态环境,对铁皮石斛的生长也有一定的影响,通常以距地高度 1.2~1.5 m 高度作为理想的附树高度^[26]。种植时,为了缓冲铁皮石斛适应野外的时间,可以在根部绑缚保水材料或者其他栽培基质。在种苗的根部用苔藓、无纺布、水苔、防晒网等包裹基质进行覆盖^[12]。为了使得添加基质更加牢固和更好地保持水分,还可利用一些可操作的塑料器皿(如矿泉水瓶^[39]、一次性杯子等)进行种苗固定,因器皿的保护性较好,基质的保水性得到很大提高,但透气性相对较差,对于环境湿度大、通风情况差的林区不宜使用。

1.6 栽培基质 由于野外环境的不确定性,单一的基质很难达到栽培要求,在栽培过程中宜选用多种基质混搭的复合基质。对于铁皮石斛等兰科植物,要选择相对疏松的基质材料,更有利于根系透气^[20]。通常以树皮为主料,再根据环境湿度的大小加入其他对水分涵养能力不同的辅料,如木屑、水苔、碎石等。环境湿度大,可选择透气性好、持水性差的基质(如碎石、木屑等)^[23];环境湿度小,可选择水苔、花生壳等基质^[26]。另外,在环境湿度大的地点或者在雨季,定植时不宜捆绑栽培基质,基质的捆绑反而不利于其水分的挥发,植株容易烂根。根据笔者在浙江地区的种植经验,定植完后很快进入多雨的梅雨季节,根系如果包裹基质,导致过多水分的积累,容易烂根,这种情况可以通过裸绑种苗进行改善。

1.7 环境因素 栽培环境包括温度、光照、湿度等,野外栽培主要是对光照和水分进行有限度的调节。光照不合适时,可进行以下人工干预调节:①合理选择树种(针叶或阔叶),并对树体的树冠大小和繁茂程度进行筛选。②光照过弱时,可适当修剪树枝和枝杈,增加透光率^[40]。③在光照较强的区域,可将种苗绑扎在树的背阴面,或树丫叉上^[41]。

水分对铁皮石斛的生长起着至关重要的作用,茎粗和分蘖数受湿度的影响较大^[42]。野外栽培主要是通过雨水进行灌溉。在后期管理上,当降雨不足时,要注意外源水分的补充,可以考虑种植区附近挖建大型储水池,用来储备雨水,并通过搭建喷灌设施进行补水。

2 铁皮石斛品质的影响因素研究

铁皮石斛是中药石斛中的名贵珍稀品,在临床上具有多种医疗功效^[43]。铁皮石斛中含有大量的多糖、生物碱、微量元素、氨基酸等物质^[44]。目前以铁皮石斛中多糖含量作为判断铁皮石斛品质的主要依据^[45]。

2.1 产地和种质的影响 不同的产地和种质对铁皮石斛多糖含量的影响很大^[46]。姜波等^[47]研究表明浙江产地的铁皮石斛多糖含量高于云南产地的铁皮石斛。即使界定在一个省的范围内,同品系相同生长年限的铁皮石斛多糖含量也存在一定差异^[48],铁皮石斛多糖的积累是一个复杂的生理过程,受到诸多因素的影响,其机理无法通过简单的单一因素逐一说明,有待于进一步研究阐释。

李宏杨等^[49]研究发现高海拔种植点的铁皮石斛总多糖

含量显著高于低海拔种植点,这可能是昼夜温差所导致的影响,但也可能与高海拔区的光照强度有关。

2.2 附树树种的影响 从目前的研究来看,通常认为在附树栽培过程中对多糖含量最主要的影响因子是光照^[23],此外还受到生长环境胁迫的影响^[50]等。宿主树木主要通过对铁皮石斛生长过程中光照的调节来影响多糖含量^[37]。郭英英等^[51]研究表明多糖含量与树木的遮阴度有关,而与树木树皮的形态和所提供的营养物质无关。但是,在实验室条件下,多糖含量以及其他营养物质(如矿质元素)的积累与铁皮石斛菌根真菌的形成有着重要的关系^[52],因此笔者认为其有效成分的积累还可能依赖于铁皮石斛与附主树木共生关系的形成以及产生菌根真菌的种类,当然这还需要在野外栽培的条件下开展进一步生理生化研究。

3 问题和展望

目前,铁皮石斛附树栽培的相关研究报道已经有了较大的进展,但是由于它是近几年才发展起来的新兴栽培方式,栽培技术还不完善,不够成熟,尚存在以下问题。

3.1 缺乏适合种植的专用品种 野外种植的品种要求抗逆性、抗寒性较强,同时要兼顾品质、生物学性状等。铁皮石斛育种的研究目前处于起步阶段,相关报道很少。因此,今后可从开展优良品种的选育入手,筛选适种品种,提高抗性和产量,同时降低种植门槛,有利于更广泛的推广种植。另外,也可以从幼苗的驯化着手,例如低温驯化或者利用增加光照、喷施外源激素、改善施肥等栽培技术手段来改善其抗逆性和抗寒性。

3.2 缺乏附生树种与铁皮石斛共生和互作的机理研究 目前,只了解二者属于共生关系^[35],没有揭示二者的具体作用机理,宿主树体是通过哪种方式或途径影响铁皮石斛的生长状态以及多糖等有效成分的积累是否受到宿主树体的影响等,这种关系的揭示对于改善铁皮石斛附树栽培技术具有靶向的理论指导意义。缺乏在森林微环境下具体环境因素对铁皮石斛生长状态和多糖积累等品质相关影响的系统研究。

目前这方面的研究较为零散,缺乏多因素互作以及与附生树种互作影响的研究。另外,附树栽培过程中铁皮石斛的生长主要依托于自然环境,铁皮石斛的生长是受多因素综合控制和影响的复杂过程。能否对原产地环境因子进行准确测定,并研究其与植物生长和营养积累间的关系,是栽培是否成功以及改善栽培技术的关键因素。

参考文献

- [1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:2015 年版一部[S].北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 姜武,吴志刚,陶正明.铁皮石斛的本草考证[J].中药材,2014,37(4):697-699.
- [3] 斯金平.铁皮石斛活树附生栽培模式技术要点[J].浙江林业,2014(9):27.
- [4] 赖泳红,王仕玉,萧凤回.中国石斛属植物资源分布的主要生态因子[J].中国农学通报,2006,22(6):397-400.
- [5] 斯金平,俞巧仙,宋仙水,等.铁皮石斛人工栽培模式[J].中国中药杂志,2013,38(4):481-484.
- [6] 钟小勉.铁皮石斛人工栽培模式[J].现代园艺,2016(4):42-43.
- [7] 斯金平,董洪秀,廖新艳,等.一种铁皮石斛立体栽培方法的研究[J].中国中药杂志,2014,39(23):4576-4579.

- [8] 陈宝玲,王华新,龚建英,等.铁皮石斛林下栽培方法比较[J].广西林业科学,2018,47(3):301-305.
- [9] 胡峰,邱道寿,梅瑜,等.广东地区铁皮石斛林下仿野生栽培技术研究[J].广东农业科学,2016,43(2):35-38.
- [10] 吴应齐,王声淼,杨龙,等.锥栗林活树附生栽培铁皮石斛技术[J].上海农业科技,2015(5):94-95.
- [11] 张惠兰,梁东成,杨昌腾,等.铁皮石斛在粤北高海拔山区天然次生林的活树附生栽培研究[J].林业与环境科学,2017,33(5):78-82.
- [12] 唐黎明,陈云峰,戴勤,等.铁皮石斛林下栽培标准化技术示范成效初报[J].安徽农学通报,2015,21(20):45,53.
- [13] 梁琼芳,陈庭.铁皮石斛林下立体栽培比较研究[J].亚热带植物科学,2018,47(2):181-186.
- [14] 罗仲春,罗斯丽,罗毅波.铁皮石斛原生态栽培技术[M].北京:中国林业出版社,2013:33-62.
- [15] 邓杰玲,周锦业,黄昌艳,等.广西龙眼果园林下铁皮石斛仿野生栽培技术[J].中国热带农业,2018(6):71-73.
- [16] 李双龙,肖强,吴代坤,等.天保工程区混交林下铁皮石斛仿生态栽培技术研究[J].南方农业,2017,11(34):70-72.
- [17] 陈丽英,张惠兰,梁东成,等.铁皮石斛在粤北天然次生林下仿野生栽培技术[J].南方林业科学,2018,46(4):48-50.
- [18] 唐丽,王朝勇,龙华,等.环境因子对铁皮石斛生长发育及药效成分含量的影响[J].中药材,2019,42(2):251-255.
- [19] 杨丽丽,杨平飞,宋智琴,等.铁皮石斛绑缚梨树和杜仲树干仿野生栽培效果[J].农技服务,2019,36(7):45-46.
- [20] 刘明伟.铁皮石斛栽培的附主林木选择分析[J].花卉,2017(18):9-10.
- [21] 黄晓雅,吴珠,张在忠,等.铁皮石斛附生棕榈科植物对其相关性状的影响及栽培技术[J].安徽农学通报,2018,24(11):28-29.
- [22] 陈长远.铁皮石斛活树附生栽培树种选择[J].福建林业科技,2016,43(2):137-140.
- [23] 高伟华.勐腊县林下仿野生种植铁皮石斛技术[J].绿色科技,2018(7):92-93.
- [24] 耗才清,和玉德,石金荣,等.活树原生态附生石斛栽培技术研究[J].绿色科技,2018(1):189-191.
- [25] 张海龙.乐清市铁皮石斛附生栽培技术[J].现代农业科技,2017(9):105-106.
- [26] 崔之益,肖玉,杨曾奖,等.铁皮石斛种植技术体系[J].生态学杂志,2017,36(3):878-884.
- [27] 李志贤,林永珍,叶思群,等.铁皮石斛组培苗移栽与仿野生树栽研究[J].绿色科技,2017(11):231-232.
- [28] 陈向东.铁皮石斛林下种植营养土的配制与种树的选择[J].绿色科技,2017(5):43-45.
- [29] 苗志学,赵炳华.石斛仿野生人工栽培技术[J].云南农业科技,2010(6):23-25.
- [30] 徐超,张红岩,刘国华,等.菌根真菌对铁皮石斛的影响及其抗病机理研究[J].西部林业科学,2017,46(3):1-5.
- [31] 杨洪斌.仿野生林下种植铁皮石斛技术[J].云南林业,2016,37(5):64-65.
- [32] 莫德佳.刍议仿野生林下种植铁皮石斛技术特点[J].农业与技术,2018,38(21):84-85.
- [33] 陈晓梅,闫浩利,王春兰,等.菌根真菌 *Mycena* sp.对铁皮石斛生长和多糖化学性质的影响[J].中国科学:生命科学,2016,46(7):872-879.
- [34] 张洛妃.杉木病虫害药剂使用对林下经济的影响[J].现代园艺,2016(5):125-126.
- [35] 王淑媛,吴令上,董洪秀,等.铁皮石斛种质和附生立木对其内生真菌菌群的影响[J].中国中药杂志,2018,43(8):1588-1595.
- [36] 胡丹.不同附主栽植季节对活树附生栽培铁皮石斛生长影响的研究[J].福建林业,2016(3):30-32.
- [37] 王晖,姜武,陶正明,等.不同树种附生铁皮石斛栽培技术及品质探讨[J].浙江农业科学,2017,58(7):1181-1182.
- [38] 谢静,许环映,吴建涛,等.栽培基质对铁皮石斛生长的影响[J].热带作物学报,2017,38(1):28-32.
- [39] 朱肖峰,王玉艳.铁皮石斛活树附生栽培试验[J].浙江农业科学,2018,59(5):753-756.
- [40] 柯碧英,张华通,林晓萍.铁皮石斛仿野生栽培技术[J].广东林业科技,2015,31(3):123-125.
- [41] 姚志鹏.铁皮石斛仿野生贴树栽培试验初报[J].农业与技术,2015,35(6):9.
- [42] 潘鸿,廖南燕,潘子来,等.铁皮石斛仿野生栽培技术研究[J].绿色科技,2017(7):142-143,149.
- [43] 邵华,张玲琪,李俊梅,等.铁皮石斛研究进展[J].中草药,2004,35(1):109-112.
- [44] 聂少平,蔡海兰.铁皮石斛活性成分及其功能研究进展[J].食品科学,2012,33(23):356-361.
- [45] 杨虹,王顺春,王峰涛,等.铁皮石斛多糖的研究[J].中国药杂志,2004,39(4):254-256.
- [46] 高亭亭,斯金平,朱玉球,等.光质与种质对铁皮石斛种苗生长和有效成分的影响[J].中国中药杂志,2012,37(2):198-201.
- [47] 姜波,彭鹏,倪向全,等.不同铁皮石斛栽培品系感官评价与多糖含量比较研究[J].常熟理工学院学报,2019,33(2):105-107,124.
- [48] 刘文杰,孙志蓉,杜远,等.不同产地铁皮石斛主要化学成分及指纹图谱研究[J].北京中医药大学学报,2013,36(2):117-120.
- [49] 李宏杨,谭啸,刘扬,等.铁皮石斛多糖含量变化研究[J].中国热带农业,2017(2):59-61.
- [50] 肖强,杨丛,张峥,等.不同仿生态栽培方式对铁皮石斛多糖积累影响[J].中国农学通报,2015,31(10):142-147.
- [51] 郭英英,诸燕,斯金平,等.铁皮石斛附生树种对多糖含量的影响[J].中国中药杂志,2014,39(21):4222-4224.
- [52] 金辉,元志华,陈晖,等.菌根真菌对铁皮石斛生长和矿质元素的影响[J].福建林学院学报,2007,27(1):80-83.

(上接第20页)

- [57] 徐磊.区域农业水资源系统恢复力特征及其对农业种植结构影响效应研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [58] 杨习清,柴强,谢军红.基于多作物总产量最大的灌溉优化模型与算法研究[J].中国农村水利水电,2015(5):11-13,22.
- [59] 罗永恒,张蜜,周建华.基于粒子群算法的水稻用水的优化配置[J].经济数学,2012,29(1):65-68.
- [60] 郭丽丽,刘勇,令狐琛,等.粒子群优化BP算法在温室农作物所需空气湿度中的应用[J].黑龙江大学学报,2020,11(1):91-96.
- [61] 高燕,刘红霞.一种基于PID神经网络的农作物土壤湿度控制算法[J].计算机与现代化,2017(6):122-126.
- [62] 刘玉甫,曹伟.基于支持向量机优化粒子群算法的作物生育期ET₀预测[J].现代农业科技,2014(2):219-220,228.
- [63] 孙艳,刀海娅.自适应变异粒子群算法与支持向量机在农业用水预测中的应用[J].水资源与水工程学报,2015,26(3):231-236,240.
- [64] 胡永.浑蒲灌区作物需水量实时预报研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2007.
- [65] 刘天凤.基于作物蒸腾量智能预测的农田优化灌溉系统[D].上海:东华大学,2018.