

· 综述 ·

天麻研究进展及产业发展建议[△]

刘天睿¹, 陈向东¹, 王忠巧², 张薇薇¹, 宋明海³, 徐万雷², 兰进^{1*}

1. 中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193;
2. 云南省彝良县天麻产业开发中心, 云南 彝良 657600;
3. 吉林省抚松县参王植保有限责任公司, 吉林 抚松 134504

[摘要] 天麻为传统名贵中药材, 具有增智、健脑、延缓衰老、预防和治疗阿尔兹海默病等作用, 越来越受到人们的关注。本研究对已经发表的有关天麻成分及分析、天麻栽培及分子生物学的研究文章进行归纳、总结, 结合对国内主要天麻产区调研, 提出了天麻产业发展目前存在的问题, 并给出天麻产业发展建议, 旨在为今后天麻深入开发利用提供参考。

[关键词] 天麻; 有效成分; 栽培; 产业现状

[中图分类号] R282.71 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2020)04-0647-05

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20190711002

Research Progress and Industry Development Proposals of *Gastrodia elata* Bl.

LIU Tian-rui¹, CHEN Xiang-dong¹, WANG Zhong-qiao², ZHANG Wei-wei¹, SONG Ming-hai³, XU Wan-lei², LAN Jin^{1*}

1. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100193, China;
2. Tianma Industry Development Center of Yiliang, Yiliang 657600, China;
3. Jilin Fusong County Ginseng King Plant Protection Co. Ltd, Fusong 134504, China

[Abstract] The traditional Chinese medicine *Gastrodia elata*, called Tianma in Chinese was attracted much attention for its pharmacological effects including increasing intelligence, delaying aging, preventing and treating Alzheimer disease. In this study, we summarized the composition, chemical analysis, cultivation and molecular biology of *G. elata*. Combined with the investigation of producing regions, we put forward the problems existing in the *G. elata* industry and some suggestions were given. It was hoped to provide theoretical guidance for the development and utilization of *G. elata* in the future.

[Keywords] *Gastrodia elata* Bl.; active ingredients; cultivation; industrial actuality

天麻 *Gastrodia elata* Bl. 为传统名贵中药, 以块茎入药, 具熄风平肝、去风定惊的功能。主治风湿腰痛、头昏、肢体麻木、神经痛、抽搐中风等症^[1]。近年来的研究发现, 天麻还具有增智、健脑、延缓衰老的作用, 对老年性痴呆症有一定的疗效^[2]。天麻越来越受到人们的关注。本研究对已经发表的 598 篇中有关天麻成分及分析、天麻栽培及分子生物学的研究文章进行归纳、总结, 结合对国内主产区的广泛调查研究, 提出目前天麻产业发展存在的问题, 给出天麻产业发展建议, 旨在为今后天麻深入开发利用提供参考。

1 化学成分

天麻含有香荚兰醇、对羟基苯基-β-D-吡喃葡萄糖苷(即通常所说的天麻素)、对羟基苯甲醇、D-葡萄糖苷、β-谷甾醇、柠檬酸、琥珀酸、对称单甲酯及棕榈酸、对羟基苯甲酸、1, 4-二取代芳环化合物等。新鲜天麻则含有对羟基苯甲醛、4, 4'-二羟基二苯基甲烷、3, 4-二羟基苯甲醛、柠檬酸酯和 4, 4'-二羟基二苄基化合物、对羟基苄基乙基醚、4-乙氧甲苄基 4'-羟基苄基醚、邻苯二甲酸二辛酯等^[3]。天麻干燥块茎还含有微量生物碱。生化研究发现, 天麻块

[△] [基金项目] 吉林省科技发展计划项目(20180201040YY)

* [通信作者] 兰进, 研究员, 研究方向: 天麻灵芝栽培研究; Tel: (010)57833426, E-mail: jlan@implad.ac.cn

茎含有1种抗真菌蛋白(GAFP)。

同一产地、不同品种的天麻在HPLC指纹图谱中的主要色谱峰基本一致,但谱峰的面积不同,表明同一产地、不同品种天麻化学成分基本相似,只是含量上有一定区别。而采自不同产地的同一品种天麻,其指纹图谱中的峰面积和色谱峰数量大小均不同^[4]。天麻因花茎颜色不同分为不同生态型。研究云南昭通产乌天麻、红天麻、黄天麻、绿天麻4种天麻变型的挥发性成分,采用水蒸气蒸馏法进行提取,利用气相色谱质谱法进行鉴定分析;从4种天麻变型块茎中均分离到6种成分,4种天麻变型的挥发性成分基本一致^[5]。对4种天麻生态型的天麻多糖进行测定后发现,同一产地、不同天麻变型的多糖含量不同;而同为红天麻,在多糖含量上云南昭通的高于陕西北强和湖北宜昌的。天麻多糖可以采用蒽酮-硫酸法检测,该方法简便快捷、稳定可行^[6]。不同产地天麻氨基酸含量的分析结果表明,栽培于不同产地的天麻都含有15种相同的氨基酸,其中有6种是人体必需氨基酸。生长于不同产地,天麻氨基酸的种类和含量不同^[7]。昭通乌天麻不同等级天麻素的含量研究发现,天麻等级越高天麻素含量越高;一等和四等乌天麻的天麻素质量分数分别为0.82%、0.32%,一等乌天麻是四等天麻素含量的2.5倍^[8]。天麻素与天麻多糖是天麻的主要成分,天麻素和天麻多糖与天麻的不同商品规格、等级、产地是否有相关性?研究结果表明,天麻素与天麻商品等级的相关性不显著,而天麻多糖则与天麻产地、商品规格等级相关^[9]。为了提供天麻重金属及有害元素的控制指标,利用原子吸收光谱法、原子荧光光谱,分别对采于陕西、云南、湖北的14批次栽培天麻进行测定,发现铅、砷、汞不超过限量,而分别有3批次镉、2批次铜超出限量,推测可能是由于种植地的土壤、水分、空气、菌材的重金属污染引起^[10]。

2 天麻栽培

2.1 天麻栽培发展史

2.1.1 野生天麻驯化及天麻人工无性栽培 1958年的《中药通报》上刊登了四川省古蔺县药材公司胡胜传所著《四川古蔺县天麻栽培方法》一文,此为第一篇公开发表的关于栽培天麻的文献。1965年在湖北省利川县寒池农场,徐锦堂先生及合作者首次利用生长有蜜环菌素的死树根作菌材伴栽天麻获得成功,结束

了天麻不能栽培的历史,开创了天麻栽培的新纪元。

以湖北天麻野生变家栽成功试验和“菌材伴栽”方法为基础,1972年徐锦堂在陕西省汉中地区宁强县东风三队及勉县张家河建立了天麻栽培试验点,获得的主要成果有:自天麻块茎中分离获得蜜环菌纯菌种,筛选出蜜环菌生长的合适培养基,筛选了培养条件,确定了培养方法;试验成功“天麻无性繁殖-固定菌床栽培法”,取得了高产、稳产的效果。在陕西省汉中等地区推广^[11]。1973年中国科学院昆明植物研究所周铉在《中草药通讯》发表了《食菌植物“天麻”栽培探索》。1986年《中药通报》发表了四川省中药研究所刘玉亭的文章《不同因素对天麻产量的影响》。此外,南京药材采购供应站沈长健、庐山植物园杨涤清、辽宁省中药研究所万惠兰、南京中医学院庄毅等都先后进行了天麻栽培研究,并发表研究文章。

2.1.2 天麻种子萌发菌及天麻有性繁殖 天麻的种子细小如粉末,种子无胚乳,仅具64个胚细胞。如何促进天麻种子发芽,研究者开展了大量研究工作。周铉分别于1973年、1974年在《中草药通讯》《植物学报》上发表了文章,描述了在天麻有性繁殖方面开展的工作,实现天麻种子发芽。周铉采用“带菌须根苗床法”进行天麻种子播种(见1979年“天麻有性繁殖实验报道”)。1973年徐锦堂在其编著的《天麻》一书中,论述了天麻种子并首次提出用种子繁殖天麻的可能性。1980年分别在《药学学报》《中草药》刊物上发表《天麻有性繁殖—树叶菌床法》研究结果。20世纪80年代初,徐锦堂及其团队从分离的80余株菌种中筛选出可以促进天麻种子的萌发菌12株,其中,1株在1988年诱导出子实体,鉴定为紫萁小菇。而后围绕紫萁小菇开展了大量研究工作,先后发表了《紫萁小菇等天麻种子萌发菌分离方法研究》《紫萁小菇等天麻种子萌发菌生物学特性及种子共生萌发条件的研究》《应用放射性自显影技术研究标记紫萁小菇浸染天麻种胚的过程》等文章^[11]。

2.2 天麻栽培

2.2.1 栽培场地的改变 天麻的立体式栽培主要是指管理方便的箱式栽培,可以利用塑料筐、竹筐或泡沫箱,一般规格为60 cm×45 cm×30 cm,栽培当年11月可以采收^[12]。大棚栽培天麻扩大了天麻生产范围:大棚可以一定范围内控制温度、湿度,导致天麻栽培摆脱场地和土质的限制,不再严格依赖

自然环境因素。延边农科院研究报道天麻仿野生林间栽培,当年收获平均产量可达 $4.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,天麻的形体近似野生天麻,检测有害物质不超标^[13]。为了解决山区林农核桃大小年收益问题,研究采用核桃树下间作天麻,不仅增加了林农的收益,而且改善了林地环境,促进了核桃增收^[14]。研究不同坡向与种植层数天麻生长动态和产量的变化,发现仿野生栽培红天麻以南坡、栽培3层为最佳组合^[15]。天麻生长受温度、湿度、光照以及土质等因素影响。研究优化天麻生长的生态气候条件,可以促进天麻增产^[16]。小草坝天麻仿野生栽培技术研究表明,天麻林下仿野生种植是天麻生态栽培有效途径之一^[17]。为了改进天麻仿野生栽培技术,在贵州研究了仿野生栽培红天麻的物候期,发现土壤温度对天麻无性栽培影响最大,气温直接影响天麻箭麻的开花结果^[18]。

2.2.2 改变栽培材料 在贵州仿野生栽培天麻研究中,发现5种树种菌材对栽培天麻生长、产量及有效成分天麻素的影响,其中白栎树种最适宜^[19]。在云南昭通筛选出十齿花、灯台树、毛桃、青冈、及麻栎等树种最适宜栽培天麻^[20]。以杨树枝、桃树枝、玉米芯等碎粉为原材料,采用棍棒压式制成人工复合棒材,进行天麻栽培生产,是天麻代料栽培的1种新方法^[21]。

2.2.3 天麻栽培及蜜环菌 采用相同的萌发菌,8株不同蜜环菌菌株和不同菌材进行组合,研究发现,在同种萌发菌条件下,不同蜜环菌菌株与菌材组合对乌天麻的生长有较大影响^[22]。于海茹等^[23]通过3种野生蜜环菌的生物学特性研究及箱式天麻栽培实验的结果进一步证明,蜜环菌菌株的生长速度与伴栽天麻的产量呈正相关。

3 天麻分子生物学研究

对24份不同天麻种质材料,采用扩增片段长度多态性(AFLP)、简单重复序列(SSR)及其聚类树进行分析,研究结果表明,SSR对野生天麻有较强的区分能力,天麻不同种质AFLP高于天麻SSR^[24]。天麻内转录间隔区1(ITS-1)测序及单核苷酸多态性变异位点分析表明,ITS-1单核苷酸多态性以碱基转换为主,绿天麻最高达80.8%,乌天麻最低也达70%,黄天麻居中达71.4%。结果显示,黄、绿天麻是由乌天麻进化而来,乌天麻是古老类型^[25]。采用相关序列多态性(SRAP)分子标记分析3个不同变型的天麻,结果表明:绿天麻和红天麻的亲缘关系较近,而乌天麻与绿天麻和红天麻的亲缘关系较

远^[26]。应用SSR分子标记技术对乌天麻、红天麻和绿天麻12个种群,共计120个样本进行了群体遗传分析,发现天麻在物种水平和变型水平上均有较高的遗传多样性;研究所选用的7对SSR引物可用于天麻的种质资源鉴定^[27]。通过转录组测序比较分析发现,天麻与蜜环菌存在共生关系,研究结果初步揭示蜜环菌天麻共生的分子机制^[28]。

4 天麻产业发展存在的问题

4.1 天麻野生资源减少

天麻由于生长方式独特,野生天麻资源日益匮乏,已濒于灭绝,被列入国家珍稀濒危保护植物名录。近年来本已稀缺的野生天麻种源被大量麻农无序直接采挖,或药用或有性繁殖,更加剧了野生种质资源数量锐减,导致其资源濒临灭绝。优良天麻种质资源保护形势越来越严峻。

4.2 天麻栽培生产规范化水平不高

天麻生产过程中追求产量的现象比较突出,缺乏科学种植模式及提质增效生产技术。天麻栽培农业基础设施相对落后,天麻栽培生产几乎是靠天吃饭,制约了其生产的规范化发展。

4.2.1 无性繁殖方面 种栽、菌种、栽培时间及采收时间等均无标准。经过多代无性繁殖的天麻连续种植后,其种性退化、病害严重、产量大幅度下降、商品质量降低。特别突出的是出现了一些新发现的严重的病虫害,调查发现新的天麻虫害,此病虫害已经导致天麻质量下降或者绝收。

4.2.2 有性繁殖方面 有些麻农不懂杂交优势,随意选择父母本做杂交育种,而培育的新品系缺少质量分析与评价体系,后代分化严重,出现畸形、花粉败育等,导致天麻有效成分含量降低、品系不纯,甚至箭麻开花不接果。天麻有性繁殖播种时间、播种方式均无标准,有性繁殖产量过低,天麻种栽生长年限过长,品质不佳。

另外,目前一家一户依然是天麻栽培生产的主体,这导致天麻质量和安全管理上的困难,制约了天麻栽培生产规范化、标准化、规模化发展。

4.3 天麻“两菌”生产落后

天麻是1种特殊的兰科植物,其生长发育过程中由萌发菌和蜜环菌提供营养才能完成生活史。萌发菌的优劣直接影响天麻种子的萌发率和原球茎的生长;蜜环菌的优劣直接影响天麻原球茎的后期生

长和天麻的产量及质量。

4.3.1 “两菌”来源混乱 “两菌”生产及销售市场种类繁多。目前,麻农不知道哪家菌好,购买使用“两菌”全靠运气,如果失败了也无处申诉,种植天麻没有应有的保障。“两菌”母种购买时转接代数不详,退化现象严重。严重影响了菌种厂生产“两菌”质量。

4.3.2 “两菌”菌种厂不规范 “两菌”生产厂多是家庭式小作坊,生产场所简陋、生产设备差、生产技术落后,导致杂菌污染率高、成品率低,加之生产规模不大,造成“两菌”生产成本过高。

4.4 抵御风险能力弱

天麻药用历史悠久,资源优势明显。但是,天麻的商品化程度不高,在全国市场以天麻原料销售为主,停留在小礼品阶段,没有形成真正的名牌产品。产地初加工水平落后,仓储物流等配套设施极度匮乏,产品质量难追溯。目前,申报已获得国药准字或健字号批文生产的天麻产品与其他大品种中药材相比数量不多。天麻多处在原料初级加工阶段,大多属于家庭作坊式加工,加工方式粗放、落后。未形成产销关系,农户分散销售与大户收购并存,导致天麻产品附加值低,缺乏价格调控与平衡体系,抵御市场风险能力弱。

4.5 科技薄弱

天麻产业研发投入少,缺乏自主研发技术平台及专业人才。天麻栽培生产科研基础薄弱、科技支撑不够、专业技术人才匮乏。无标准可循的天麻生产导致相关天麻产品质量不高,基本没有科技附加值。而安全、有效的研究数据缺乏,不能满足不同层次消费者的需求。

5 天麻产业发展建议

5.1 野生天麻资源保护和利用

5.1.1 加大天麻野生资源保护宣传 野生资源的减少导致天麻种质资源和遗传多样性的减少和退化。政府部门要加强天麻野生资源保护,对麻农进行野生天麻资源的普及教育,在各种传媒上进行宣传。

5.1.2 建立野生天麻保护区 开展天麻的保育遗传学、保护生物学等研究,开展天麻野生抚育研究,建立野生天麻自然保护区,制定野生天麻规范化管理制度,实现资源的永续利用,严厉打击滥采滥挖、破坏资源行为。

5.2 推进天麻栽培规范化、标准化、规模化发展

天麻栽培生产应当以“有序、安全、有效”为目标。实现规范化、标准化、规模化、品牌化健康发展。

开展天麻无性繁殖规范化栽培技术的研究,包括天麻播种期、田间管理、采收期等,建立规范的天麻栽培的生产技术标准操作规程,天麻栽培生产严格按照标准操作规程进行。特别需要加强的是,控制无性繁殖种植代数。出现病虫害及时采用生物防控方法,不能防控的要隔离并销毁,严禁带病菌、虫害的种栽等进入商品流通领域,杜绝病虫害蔓延。开展生态栽培天麻研究,特别是要积极推广天麻林下仿野生栽培。

规范天麻有性繁殖播种时间、播种方式。制定天麻有性繁殖生产技术标准操作规程,制定天麻种子标准。严格禁止随意进行杂交育种,禁止将未经质量分析与评价确认的天麻“新品系”进行栽培生产,更不能进入商品流通市场。

建立天麻种质资源圃,建设好天麻物种保护基地,加强优良天麻新品种的选育和示范推广。推动优质地道天麻良种繁育基地建设,同时建立天麻种子质量标准。

加强天麻栽培规范化示范基地建设,通过整合优势资源,将天麻产业做大做强;另外示范基地的示范作用可以起到辐射效应,从而提升规范化种植水平,促进天麻栽培生产规范化、标准化、规模化发展。

5.3 规范天麻“两菌”生产和销售

规范天麻“两菌”市场、菌种来源,切实规范“两菌”销售市场。加强天麻“两菌”的规范化生产标准和质量标准研究,建立菌种保障制度,提高“两菌”生产质量,建成有一定规模的规范化“两菌”菌种生产厂。

5.4 拉伸天麻产业链,打造品牌

5.4.1 提升天麻初加工水平 加强天麻初加工技术研究,提升一批初加工企业产能、技术和装备水平,改变原始、落后的天麻加工环节影响天麻质量的问题,实现天麻初加工的规模化、标准化、现代化,保证天麻品质。

5.4.2 培育龙头企业和品牌产品 开展以天麻为原料的药品、保健品、化妆品、食品等相关产品的开发及产业化。培育一批天麻产地精深加工企业,鼓励企业申报国药准字或健字号批文生产的产品,造就知名度高、覆盖面广、市场占有率高的天麻龙头企业和品牌。形成集种植、研发、生产加工和销售完整产业链的天麻龙头品牌单位。实现天麻产品质量追溯系统。

5.4.3 建立天麻商业流通体系 通过配套建设相关的基础设施如仓储物流等,建立集约化经营的、规范而且标准的天麻商业流通体系。另外利用互联网技术建立电子商务平台。健全天麻销售渠道,为天麻全产业链提供信息网络服务,实现全方位商务交流。拉伸天麻全产业链,可以增强抵御市场风险能力。

5.5 继续加大科技投入

继续加大天麻产业研发投入资金,创建自主研发技术平台。充分利用和发挥科研单位的优势,提高天麻种植技术含量,加大天麻栽培“两菌”生产、天麻加工及产业化的科技攻关力度,通过科研攻关促进天麻产业发展。鼓励高端人才开展天麻相关的科研工作,制定倾斜政策,鼓励有关专业背景的大学生到天麻产区从事相关的工作。定期培训具有天麻专业知识的农民,培养一大批高素质劳动者,支撑天麻产业的发展。

5.6 促进天麻产业成为助推脱贫致富重要支柱产业

天麻栽培周期短,见效快,经济效益显著。天麻无性繁殖3月栽麻,当年10月可收;有性繁殖播种后一年半收获。天麻栽培生产已经成为林下经济、高效农业以及精准扶贫的有效产业。加强天麻产业的发展能直接提高农民收入,不仅是贫困地区脱贫致富的好帮手,更是预防脱贫后再返贫的有力保障。研究利用天麻与精准脱贫衔接起来,基本实现户户有增收,助力天麻栽培扶贫对象如期“减贫摘帽”。充分发挥天麻产业特色,构建“天麻+”产业体系,创立天麻产业脱贫新模式。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:58-59.
- [2] 兰进,徐锦堂,陈向东. 天麻栽培技术百问百答[M]. 第二版. 北京:中国农业出版社,2012:2-3.
- [3] 郑秀花,刘伟,陈龙,等. 鲜红天麻化学成分研究[J]. 中国现代中药,2018,20(5):529-532.
- [4] 杨芝芳,邓薇,宗露,等. 不同产地和品种天麻的 HPLC 指纹图谱研究[J]. 华西药学杂志,2016,31(2):188-191.
- [5] 熊汝琴,赵峰,王锐,等. 4种天麻变型的挥发性成分分析[J]. 浙江农业科学,2014,348(9):1364-1367.
- [6] 王锐,熊汝琴. 4种天麻变型多糖的提取及含量测定[J]. 天津农业科学,2017,136(2):12-15.
- [7] 涂雪莲,范巧佳. 不同产地天麻氨基酸的含量测定[J]. 氨基酸和生物资源,2013,140(4):64-67.
- [8] 刘旭燕,张公信,田孟华,等. 不同等级昭通乌天麻与其他产地天麻的天麻素含量测定及比较[J]. 中国现代中药,2015,17(1):35-38.
- [9] 雷有成,李建蕊,肖佳佳,等. 天麻商品等级与天麻素和天麻多糖的相关性研究[J]. 中草药,2015,46(3):418-423.
- [10] 吕紫璇,向鹏宇,陈健,等. 14批人工栽培天麻中铅、镉、砷、汞、铜的含量测定[J]. 中国药业,2016,25(11):65-68.
- [11] 徐锦堂. 我国天麻栽培50年研究历史的回顾[J]. 食药菌,2013,119(1):58-63.
- [12] 曾凡清,刘德云,韩省华,等. 丽水地区天麻箱式栽培技术[J]. 中国食用菌,2013,181(2):23-24.
- [13] 张阳,亢学平,叶强,等. 天麻无公害仿野生林间栽培测产调查报告[J]. 中国林副特产,2016,145(6):81-82.
- [14] 徐书博,李玉丽,李彬,等. 核桃林下套种天麻技术[J]. 现代农业科技,2014,629(15):115-116.
- [15] 刘威,赵致,王华磊,等. 不同坡向与种植层数组合对仿野生栽培红天麻的影响[J]. 中药材,2018,38(5):885-888.
- [16] 何海艳,王玉川,丁培超,等. 天麻种植生态气候条件及增产技术[J]. 南方农业,2018,36(12):5-7.
- [17] 王忠巧,贺娜,徐田,等. 小草坝天麻仿野生栽培技术[J]. 林业建设,2015,18(5):63-66.
- [18] 张博华,刘威,赵致,等. 贵州仿野生栽培红天麻的生活史及物候期研究[J]. 中国中药杂志,2014,39(22):4311-4316.
- [19] 刘威,赵致,王华磊,等. 不同树种菌材对贵州仿野生栽培天麻的影响[J]. 北方园艺,2015,337(10):129-132.
- [20] 白祖云. 昭通市天麻菌材树种选择研究[J]. 林业调查规划,2018,43(5):149-152.
- [21] 李前卫,罗夫来,李婷,等. 天麻代料栽培人工木棒原料配比及其性能研究[J]. 贵州科学,2017,35(3):22-25.
- [22] 彭述敏,陈玉惠,敖新宇,等. 蜜环菌与菌材不同组合对昭通乌天麻种子萌发及生长的影响[J]. 西南林业大学学报,2012,32(3):47-50.
- [23] 于海茹,王鑫,胡志强,等. 伴栽天麻的蜜环菌菌株优选试验[J]. 食药菌,2016,24(6):397-399.
- [24] 王晓丽,常楚瑞,宋聚先,等. 天麻不同种质的 AFLP 和 SSR 分析[J]. 中华中医药杂志,2012,27(3):555-558.
- [25] 王德信. 天麻 ITS-1 测序及单核苷酸多态性变异位点分析[J]. 生物技术,2012,22(5):48-51.
- [26] 邓薇,马逾英,宗露,等. 天麻3个不同变型遗传关系的 SRAP 分析[J]. 华西药学杂志,2016,31(6):593-595.
- [27] 周天华,丁家玺,徐皓,等. 天麻种质资源的 SSR 指纹图谱研究[J]. 西北植物学报,2018,38(5):830-838.
- [28] 谭彧文,包燧,操璟璟,等. 蜜环菌与天麻共生分子机制的转录组分析[J]. 中草药,2018,49(17):4125-4130.