

· 中药资源 ·

天麻全国产地适宜性区划及其种植技术[△]王海峰¹, 王超群², 尉广飞², 黄钦¹, 张海珠¹, 董林林^{2*}

1. 大理大学 药学院, 云南 大理 671000;

2. 中国中医科学院 中药研究所, 北京 100700

[摘要] 目的: 通过天麻全国产地适宜性区划研究, 为天麻种植地科学选址、合理种植提供依据。方法: 应用药用植物全球产地生态适宜性区划信息系统(GMPGIS), 以183个天麻采样点主要气候因子数值范围和主要土壤类型为依据, 预测天麻最大生态相似度的分布及其种植面积, 同时结合天麻的生物学特征, 阐述优质天麻药材生产过程中麻种及共生菌筛选、优良品种选育、田间管理、采收期及加工方式等关键问题。结果: 除云南、四川、贵州、陕西等种植区域外, 湖北、吉林、辽宁、湖南、山东等地也具有较大的适宜栽培区域。结论: 研究结果可为天麻的产业布局、种植基地建设、人工栽培技术优化等提供参考。

[关键词] 天麻; 人工栽培技术; 药用植物全球产地生态适宜性区划信息系统; 品种选育

[中图分类号] R282.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2021)11-1869-07

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20201230002

Regionalization of Suitable Producing Area and Planting Technology of *Gastrodia elata* in ChinaWANG Hai-feng¹, WANG Chao-qun², WEI Guang-fei², HUANG Qin¹, ZHANG Hai-zhu¹, DONG Lin-lin^{2*}

1. College of Pharmacy, Dali University, Dali 671000, China;

2. Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

[Abstract] **Objective:** To provide the basis for production site selection and reasonable planting of *Gastrodia elata* based on the research on the regionalization of suitable producing area. **Methods:** Based on numerical range of major climatic factors and major soil types from 183 sampling sites, Geographic Information System for Global Medicinal Plants (GMPGIS) was employed to predict the distribution of maximum ecological similarity and planting area of *G. elata*. At the same time, the paper proposed some key techniques involving the screening of seeds and symbiotic strains, breeding of elite varieties, field management, harvesting time, and processing associated with the high-quality production of *G. elata* based on its biological characteristics. **Results:** In addition to Yunnan, Sichuan, Guizhou, and Shaanxi provinces, Hubei, Jilin, Liaoning, Hunan, and Shandong provinces also exhibited large suitable areas for the cultivation of *G. elata*. **Conclusion:** This study provides the reference for industrial layout, planting base construction, and artificial cultivation of *G. elata*.

[Keywords] *Gastrodia elata* Bl.; artificial cultivation techniques; GMPGIS; variety breeding

天麻 *Gastrodia elata* Bl. 为兰科天麻属真菌异养型植物, 其药用部位为干燥地下块茎^[1-2]。含天麻的中成药和含天麻的方剂均有较好的临床疗效, 如天麻丸、天麻钩藤汤^[3-4]。天麻包含多种化学成分, 主要有酚类(天麻素、对羟基苯甲醇和巴利森苷等)、天麻多糖、氨基酸等^[5]。研究表明, 天麻素具有保护神经细胞、镇静镇痛、抗抑郁的作用, 无明显不良反应, 可以用于治疗高血压、糖尿病等^[6-7]; 天麻多

糖具有保护脑组织、调节人体免疫的作用^[8-9]。作为药食同源类中药材, 天麻深受广大消费者喜爱^[10]。

近年来, 天麻市场需求量逐年升高, 种植面积不断增加, 然而其种植过程不规范等问题导致天麻品质下降, 严重影响天麻产业的发展^[11]。建立以多学科手段为基础的无公害种植体系是解决药用植物无序生产、不规范种植等问题的重要方法^[12]。无公害种植体系包括通过地理信息系统(GIS)技术指导

[△] [基金项目] 中国中医科学院中药研究所技术服务项目(H2020066)

* [通信作者] 董林林, 副研究员, 研究方向: 中药资源与分子生物学; E-mail: lldong@icmm.ac.cn

中药材选址^[13]、以现代组学方法辅助药材育种^[14]、以宏基因组学指导土壤改良^[15-16]和以合理施肥结合病虫害综合防治为主的田间管理^[17-18]，保障优质药材生产。优质天麻是精确定位到其生物学及栽培特性，从产区选择、菌种筛选、优良品种选育、农艺管理、采收加工等环节严格控制投入品的使用量，全程实现可控，使药材质量达到《中华人民共和国药典》2020年版或无公害、有机标准等的要求。本研究采用药用植物产地生态适宜性分析系统（GMPGIS）对天麻产地生态适宜性区划进行研究，提供了科学的天麻种植区划方法及区域；同时，针对天麻共生菌筛选、品种选育、田间管理等关键环节进行系统阐述，为天麻的产业布局、种植基地建设提供参考，有效指导我国天麻规范化种植与引种栽培，促进天麻产业可持续发展。

1 GMPGIS简介

GMPGIS是依靠GIS技术，运用多个国际数据库与学科知识，在全球范围内对中药材进行生态适宜区筛选和评估，从中获得最适宜的中药材生产区域，可以用于濒危药用植物的保护、中药材生产质量管理规范（GAP）建设、人工栽培，对于中药材合理引种栽培、中药材生产布局具有重要的意义，可以有效避免因盲目引种造成的资源浪费、中药材品质下降等问题^[19]。应用GMPGIS对天麻药材进行产地适宜性分析，可以得到天麻在我国境内的种植适宜区。

2 方法

2.1 采样点选择

参照《中国植物志》及现有的文献报导，在中国境内进行天麻采样点的选取^[20-21]。近年来，天麻主要为人工栽培，本研究选择中国天麻主产区和道地

产区的183个样点进行其产地生态适宜性分析^[19,22]。选取点主要包括吉林的抚松东岗镇，河北的内丘县侯家庄乡，陕西的太白县太白山、平利金石乡，河南的西峡县太平镇、卢氏县五里川镇，四川的峨眉山茶地坪、峨边沙坪大坝，贵州的施秉佛顶山、印江张家坝，云南的丽江鲁甸乡、文山老君山林场，湖北的神农架木鱼坪、宣恩县七姊妹山，甘肃的康县白杨乡，重庆市南川区小河区，西藏自治区察隅县上察隅本堆附近，湖南的石门县长乐坪镇等。

2.2 天麻全国产地生态适宜性分析

从全球气候数据库（Worldclim）、全球生物模型数据库（CliMond）、全球土壤数据库（HWSD）及GMPGIS数据库中选择影响天麻生长特性的21种不同的生态因子数据，根据选取的天麻采样点，提取GMPGIS中生态因子数据，获得天麻的生态因子阈值与土壤类型（表1）。结果显示，天麻植物主要生长在年均温1.9~21.4℃；平均日温差6.5~12.9℃；年温差20.2~50.8℃；最热季均温15.3~26.4℃；最冷季均温-16.4~14.9℃；年均日照122.0~156.1 W·m⁻²；年均降水量580~1806 mm；最热季平均降水量3430~10 990 mm；最冷季平均降水量140~1090 mm；年均相对湿度53.5%~75.4%的地区；天麻主要土壤类型为黑钙土、低活性淋溶土、强淋溶土及高活性强酸土等。

根据上述获得的183个天麻采样点在GMPGIS中的生态因子值范围，利用加权欧式距离法计算得到天麻最大生态相似度全国主要区域及其面积（表2），除云南、四川、贵州、陕西等已知天麻分布广泛的地区外，湖北、吉林、辽宁、湖南、山东、广西、河南等地区也具有较为广泛的分布区域。其中，云南、四川、贵州3个省面积最大，分别为362 925.8、190 132.6、181 728.5 km²。云南包括澜沧拉祜族自治县、广南县，四川包括通江县、

表1 天麻主要分布区域的生态因子阈值

主要气候因子	数值范围	主要气候因子	数值范围	主要气候因子	数值范围
年均温/℃	1.9~21.4	最湿季均温/℃	14.8~26.4	降水量季节性变化/%	5.4~10.7
平均日温差/℃	6.5~12.9	最干季均温/℃	-16.4~14.9	最湿季平均降水量/mm	3640~10 990
等温性/%	2.4~4.7	最热季均温/℃	15.3~26.4	最干季平均降水量/mm	140~1090
温度季节性/%	4.5~13.3	最冷季均温/℃	-16.4~14.9	最热季平均降水量/mm	3430~10 990
最热月最高温/℃	19.6~31.2	年均降水量/mm	580~1806	最冷季平均降水量/mm	140~1090
最冷月最低温/℃	-25.9~10.6	最湿月平均降水量/mm	1410~4010	年均相对湿度/%	53.5~75.4
年温差/℃	20.2~50.8	最干月平均降水量/mm	40~320	年均日照/W·m ⁻²	122.0~156.1

万源市, 贵州包括威宁彝族回族苗族自治县、遵义县。其他地区包括陕西的宁陕县、镇安县, 湖北的房县、利川市, 吉林的敦化市、汪清县, 辽宁的宽甸满族自治县、凤城市, 湖南的永顺县、桑植县, 山东的淄博市市辖区、沂水县, 广西壮族自治区田林县、隆林各族自治县, 河南的西峡县、卢氏县。结果表明, 较大的相似度区域面积使这些地区具有一定的天麻植物栽培潜力。

天麻在各省适宜产地面积排名前10位的县市(图1)主要包括云南省澜沧拉祜族自治县、广南县、景谷傣族彝族自治县、宣威市等地区, 吉林省敦化市(7 535.8 km²)、汪清县(6 668.6 km²)等, 贵州省威宁彝族回族苗族自治县(7 227.9 km²), 甘肃省天水市市辖区(6 287.7 km²), 黑龙江省东宁市(7 014.1 km²), 辽宁省宽甸满族自治县(6 909.0 km²)。在以上省份中, 云南省(362 925.8 km²)面积远超其他省份。在各省适宜产地面积排名前10位的县市中, 云南有4个县市; 吉林、贵州、辽宁也具有较为广泛的生态相似度区域; 甘肃、黑龙江等省部分县市也具有较大的栽培潜质。

3 天麻栽培技术

3.1 麻种选择

天麻为异养型植物, 必须依靠萌发菌与蜜环菌才能生长, 因此在选择天麻栽培场地时应考虑天麻与共生菌均适宜生长的生长环境^[23-24]。天麻采收时应逐穴开采, 一边采收一边准备第二轮栽培, 体型较大的天麻可以加工成商品天麻, 体型较小的米麻或白麻可以用作麻种。应选择个体完整、大小均一、无创伤的米麻、白麻或箭麻作为麻种进行种植^[24-25]。

3.2 繁殖方式

天麻有性繁殖方式是以优质箭麻为麻种进行人工授粉的生产方式。有性繁殖方式生产周期长, 成本较高, 播种方法有菌床播种法、四下池播种法等^[26-27]。无性繁殖方式是以个体完整、无病虫害的白麻或米麻为麻种生产天麻的方式, 可以较大程度保持母本优良特性, 但无性繁殖多代后可能会发生天麻品质下降现象^[22,26]。

3.3 共生菌筛选

天麻为高度特化的真菌异养型植物, 其一生都必须依靠萌发菌和蜜环菌才能生长发育。天麻与共生菌相伴而生, 共生菌的优劣将会直接影响天麻的产量与品质^[11,23]。20世纪90年代, “中国天麻之父”徐锦堂先生带领团队在天麻原球茎中分离得到1类促进天麻生长发育的真菌, 并将其命名为紫萁小菇, 从此揭开天麻的神秘面纱^[28]。

蜜环菌是蜜环菌属的总称, 使用蜜环菌老菌种会造成天麻产量下降, 因此解决菌种退化问题需加强菌种分离、筛选、复壮等技术^[29-32]。吴尊华等^[33]探究蜜环菌子实体孢子分离法, 该方法分离得到的蜜环菌菌种不易受到感染, 菌索生长速度快且菌种质量较好。刘景圣等^[34]从长白山地区采集天麻标本, 获得16个蜜环菌菌株, 通过固体培养和液体培养进一步筛选出8个性状优良的蜜环菌菌株。王淑芳等^[35]探究不同培养基与培养方法对蜜环菌菌种的影响, 确定蜜环菌菌种复壮的方法。近年来发现的石斛小菇、兰小菇和紫萁小菇都是筛选出的优良菌株^[36]。

3.4 优良天麻品种选育

结合广泛野外调查和人工栽培经验, 我国著名

表2 天麻最大生态相似度全国主要区域及面积

省份	主要地区	面积/km ²
云南省	澜沧拉祜族自治县、广南县、景谷傣族彝族自治县、会泽县、丘北县、腾冲县等	362 925.8
四川省	通江县、万源市、盐源县、平武县、宣汉县、会理县等	190 132.6
贵州省	威宁彝族回族苗族自治县、遵义县、黎平县、大方县、盘县、毕节市、赫章县等	181 728.5
陕西省	宁陕县、镇安县、镇巴县、山阳县、旬阳县、宁强县等	133 468.7
湖北省	房县、利川市、恩施市、郧县、竹山县、郧西县、竹溪县等	102 127.1
吉林省	敦化市、汪清县、桦甸市、抚松县、蛟河市、珲春市等	100 619.2
辽宁省	宽甸满族自治县、凤城市、新宾满族自治县等	99 778.1
湖南省	永顺县、桑植县、沅陵县、绥宁县、龙山县、安化县等	95 641.0
山东省	沂水县、莱芜市市辖区、临朐县、枣庄市市辖区等	85 569.7
广西壮族自治区	田林县、隆林各族自治县、融水苗族自治县、靖西县等	80 919.3
河南省	西峡县、卢氏县、嵩县、南召县、栾川县、内乡县等	75 196.0

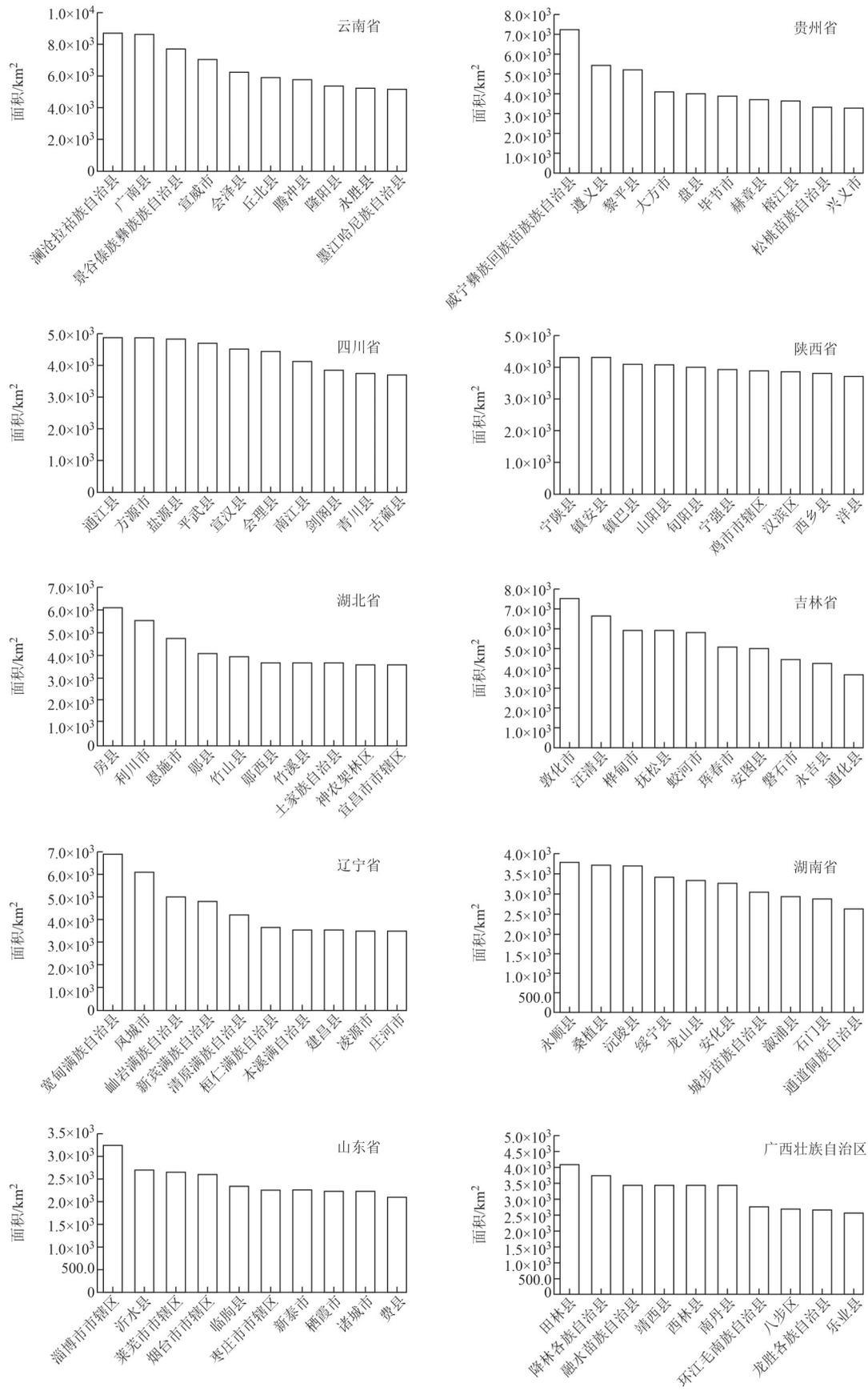


图1 天麻适宜产地面积(前10位)

天麻专家周铨先生认为我国天麻可以分为5类,分别是红天麻、乌天麻、绿天麻、黄天麻与松天麻^[20]。红天麻生长速度较快、产量较高、分布范围广,是目前种植面积最大的天麻品种;乌天麻主要分布在云南、贵州等地,因乌天麻折干率高、麻型较好,价格普遍较高^[22,37-39]。天麻新品种选育也获得突破。王绍柏等^[40]以宜昌红天麻和云南乌天麻为材料培育出2个天麻新品种(鄂天麻1号和鄂天麻2号)。黄冬寿^[41]进一步探究鄂天麻2号的生物学特性,结果表明,鄂天麻2号具有生长快速、适应性强、抗旱、产量较高等生物学特性。广泛栽培的天麻有红天麻与乌天麻,黄天麻和绿天麻也有一定面积的种植^[42]。近年来,有性繁殖和无性繁殖相结合可以培育优良麻种,选择个体完整、无病虫害的优质箭麻为种麻,通过人工授粉获得种子,用种子产生一代麻种,再通过无性栽培生产出商品天麻^[43-44]。陈士林课题组以野生红杆天麻为材料,通过自交方式选育的红杆天麻——略麻-1号(ZYXP-2020-006),具有品质优良、分生速度快、抗病性强等特征,已在陕西略阳、湖北武夷山区等地区进行推广。

4 田间管理

天麻在生长期,需要进行适当的农艺措施,如播种前需选择优良麻种。麻种应无损伤、个体饱满、无病虫害,栽培时应选择适宜的栽培方法。天麻生长期应加强田间管理,根据天麻生长习性进行防涝、防旱、防寒,结合天麻生长情况与季节变化进行遮阳降温或排水防涝处理^[45]。天麻生长的适宜温度为15~25℃^[46],低于或高于这个温度范围均会影响天麻生长发育,夏季温度较高,可以采取降温措施,如使用遮阳网、树叶遮光等;冬季气温较低,可以采取保温措施,如在表面覆盖玉米秸秆以及草帘等,尤其一些高寒地区温度低更应及时保温^[47]。天麻种植主产区年降雨量一般在1000mm以上,平均相对湿度40%~60%,要求在田间管理过程中要时刻保持地面湿润^[48]。夏季高温季节注意防晒和干旱,冬季多雨季节应注意防冻、及时排水,确保凉爽湿润的环境^[41]。

20世纪70年代,天麻人工栽培获得成功,此后人工天麻栽培技术日益成熟。张跃进等^[49]应用不同遮光率的遮阳网、不同的遮阴高度、不同覆盖物种类和不同覆盖物的厚度探究其对天麻产量的影响,

发现在高温季节用高遮光率的遮阳网遮阴效果较好、降温效果明显;覆盖物选择树叶和沙土进行不同覆盖厚度的研究,结果表明,选择覆盖厚度5cm的青冈树叶可以明显提高天麻的产量。梁玉勇等^[50]探究地膜覆盖栽培法对天麻产量的影响,试验结果表明,地膜覆盖栽培法在改善温度与湿度环境、促进天麻与共生菌的生长、提高生物转化率等方面具有显著优势。李本华等^[51]探究天麻复合压块料栽培法对天麻产量的影响,研究结果表明,复合压块料栽培法在增加天麻产量、节约栽培成本等方面起到一定作用。谭自春^[52]探究天麻无土栽培法对天麻产量的影响,试验结果表明,天麻无土栽培法在节约土地资源、及时调控栽培条件、扩大生产规模等方面具有优势,同时可以拓展新的天麻种植模式。此外,林下天麻种植以树林为遮阳设备实施种植,结果表明,采用林下种植技术可以提高天麻质量,避免受到农药化肥等因素的影响^[53]。应加强天麻种植中不同循环利用模式的应用,进而降低天麻生产成本、提高土地利用^[54]。

5 采收与加工

天麻产量与品质的高低与采收期及加工方法密切相关。曹森等^[55]探究不同采收期对天麻品质的影响,结果表明,在适宜的采收期采收天麻可以更好地储存天麻,延缓天麻活性成分的下降,该研究成果为天麻的采收与贮藏提供科学依据。刘彦铎等^[56]采用不同方法对天麻进行干燥处理,结果表明,不同的干燥加工方法所得的天麻中天麻素含量不同,真空干燥方法效果最好,在实际生产中,烘干法和晒干法比较便捷。天麻的适宜采收期一般为12月中旬至次年3月^[57]。天麻采收后应及时加工,防止有效成分降解,用清水洗净泥土,按个体大小、质量分级^[58];分级之后进行蒸制,以蒸透无白心为标准;蒸制后的天麻进行低温干燥,在40~60℃左右烘干,形成商品天麻;存放环境应干燥通风,防止发霉^[59]。

6 讨论

随着对天麻研究的不断深入,其药理作用明确、临床应用广泛。天麻以其独特的疗效和营养价值受到大众喜爱。目前,天麻产业已经涉及医药、食品、化妆品等多个领域。其不再仅仅以鲜天麻或初级加工产品的方式销售,而是转向精细加工产品的研发,

如天麻丸剂、天麻注射液、片剂、胶囊剂、复方制剂等。开展天麻优良种植技术研究是保障产业可持续发展的有效途径之一。

本研究采用GMPGIS对天麻在全国的产地生态适应性进行分析,选择中国天麻主产区和道地产区的183个天麻采样点,确定了21个气候因子的范围,为天麻合理引种与栽培提供重要数据支持。在中国,除云南、四川、贵州、陕西等已知天麻分布广泛的地区外,湖北、吉林、辽宁、湖南、山东、广西壮族自治区、河南等地区也具有较为广泛的生态相似度区域,成为天麻潜在的重要生产产区,为天麻生产的合理布局提供了重要的依据。张琴等^[60]选择220个天麻全球采样点和19个生态因子数据,最终将8个环境变量应用于3个生态位模型预测天麻全球潜在适生区,结果显示,天麻全球潜在适生区主要分布在N20°~50°的亚洲地区,中国是分布集中的地区之一,主要分布在中国四川盆地附近的省区以及中东部,这与本文的结果有相似之处。应加强天麻优良麻种的培育技术,以有性繁殖和无性繁殖相结合的方法来培育优良麻种;改进蜜环菌菌种分离、鉴定、筛选、复壮等技术,应用蜜环菌子实体孢子分离法进行蜜环菌分离,通过优化菌种的培养基改善培养条件筛选优良菌种,通过摇瓶扩繁无性后代的方法进行菌种复壮等。同时,加强对仿野生天麻林下种植、天麻地膜覆盖栽培、无土栽培及其他节能又高产的栽培模式的研究,完善优质天麻种植体系,保障产业可持续发展。

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,2020:58-59.
- [2] 龚文玲,詹志来,江维克,等. 天麻本草再考证[J]. 中国现代中药,2018,20(3):355-362.
- [3] 刘慧娟,白明,苗明三. 含天麻中成药的应用与分析[J]. 神经药理学报,2019,9(6):26-30.
- [4] 周鸿彩. 天麻药用方剂选登[N]. 云南科技报,2008-01-03(6).
- [5] 李云,王志伟,刘大会,等. 天麻化学成分研究进展[J]. 山东科学,2016,29(4):24-29.
- [6] 汪军玲,周本宏. 天麻素的药理作用和临床应用研究[J]. 武汉生物工程学院学报,2009,5(4):309-313.
- [7] 何晶. 天麻素的药理作用及临床应用[J]. 天津药学,2006,18(5):62-63.
- [8] 陈维红,罗栋. 天麻素、天麻多糖药理作用研究进展[J]. 中国药物评价,2013,30(3):132-134,141.
- [9] 黎光富,李刚凤,史荣荣. 天麻多糖化学成分与药理作用研究综述[J]. 现代农业科技,2016(7):289-290,292.
- [10] 赵杨,康志娇,周欣,等. 药食两用植物—天麻[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2013,31(4):9-12.
- [11] 邢康康,张植玮,涂永勤,等. 天麻的生物学特性及其栽培中的问题和对策[J]. 中国民族民间医药,2016,25(14):29-31.
- [12] 陈士林,董林林,郭巧生,等. 中药材无公害精细栽培体系研究[J]. 中国中药杂志,2018,43(8):1517-1528.
- [13] 徐燃,吴杰,董林林,等. 刺五加全球产地生态适宜性及品质生态学研究[J]. 药学学报,2018,53(2):313-320.
- [14] 董林林,陈中坚,王勇,等. 药用植物DNA标记辅助育种(一):三七抗病品种选育研究[J]. 中国中药杂志,2017,42(1):56-62.
- [15] DONG L L, XU J, ZHANG L J, et al. Rhizospheric microbial communities are driven by *Panax ginseng* at different growth stages and biocontrol bacteria alleviates replanting mortality[J]. Acta Pharm Sin B, 2018, 8(2):272-282.
- [16] DONG L L, XU J, LI Y, et al. Manipulation of microbial community in the rhizosphere alleviates the replanting issues in *Panax ginseng* [J]. Soil Biol Biochem, 2018, 125: 64-74.
- [17] DONG L L, LI Y, XU J, et al. Biofertilizers regulate the soil microbial community and enhance *Panax ginseng* yields[J]. Chin Med, 2019, 14(1): 20.
- [18] 董林林,苏丽丽,尉广飞,等. 无公害中药材生产技术规程研究[J]. 中国中药杂志,2018,43(15):3070-3079.
- [19] 陈士林. 中国药材产地生态适宜性区划[M]. 2版. 北京:科学出版社,2017:6-13.
- [20] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志:第18卷[M]. 北京:科学出版社,1978:71-73.
- [21] 邓阳川,向丽,汤欢,等. 基于GMPGIS的杜仲全球产地生态适宜性分析[J]. 世界科学技术—中医药现代化,2019,21(4):755-763.
- [22] 易思荣,肖波,黄娅,等. 中药材天麻的现代栽培技术研究进展[J]. 中药研究与信息,2013,15(8):677-679.
- [23] 陈顺芳,黄先敏,祁岑. 天麻的生长发育过程及其营养特性[J]. 昭通师范高等专科学校学报,2011,33(5):19-21.
- [24] 胡荣丽. 天麻栽培管理技术分析[J]. 农业与技术,2015,35(4):111.
- [25] 刘炳仁. 天麻高产栽培与加工新技术[J]. 食用菌,2008,30(1):41-42.

- [26] 杨兴成,马风伟,王瑞. 天麻人工栽培技术研究进展[J]. 山西农经,2018(16):81.
- [27] 元琳,侯淑丽. 天麻高产栽培技术[J]. 人参研究,2018,30(1):36-38.
- [28] 徐锦堂. 我国天麻栽培50年研究历史的回顾[J]. 食用菌,2013,21(1):58-63.
- [29] 王彩云,王永,严显进,等. 黔西北优质蜜环菌菌株的初步筛选[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):117-119.
- [30] 王绍柏,余昌俊,许启新. 栽培天麻种群的退化及防控对策[J]. 中药材,2011,34(10):1490-1494.
- [31] 杨海旭. 秦巴山区天麻共生蜜环菌遗传多样性研究及优良菌种的选育[D]. 汉中:陕西理工学院,2016.
- [32] 孙士青,史建国,李雪梅,等. 连续无性繁殖乙型蜜环菌对天麻生物产量及天麻素含量的影响[J]. 中国中药杂志,2009,34(3):359-360.
- [33] 吴尊华,王绍柏. 蜜环菌菌种的分离纯化复壮研究[J]. 中国食用菌,2011,30(4):17-19.
- [34] 刘景圣,郑明珠,蔡丹,等. 长白山地区蜜环菌菌种的分离与筛选[J]. 食品科学,2005,26(7):82-85.
- [35] 王淑芳,杨金玲,朱平,等. 蜜环菌菌种的复壮研究[J]. 中国中药杂志,2008,33(2):121-123.
- [36] 王彩云,侯俊,王永,等. 天麻种子萌发菌研究进展[J]. 北方园艺,2017(12):198-202.
- [37] 邓晶晶,王传华. 天麻生态型及“杂交品种”的生物学和化学特征研究进展[J]. 中药材,2017,40(11):2726-2729.
- [38] 李振斌,邓薇,徐大东,等. 不同品种天麻的形态组织学对比研究[J]. 华西药学杂志,2016,31(1):51-53.
- [39] 田孟华,袁天军,周瑞,等. 不同产地及变型天麻有效成分差异性分析[J]. 中成药,2020,42(7):1824-1829.
- [40] 王绍柏,余昌俊,许启新,等. 天麻生产技术规程(I)[J]. 中药材,2003,26(3):159-161.
- [41] 黄冬寿. 鄂天麻2号的特征特性与无性繁殖栽培技术[J]. 农业科技通讯,2011(6):182-183.
- [42] 余昌俊,王绍柏,刘雪梅. 天麻6个品种重要性状比较分析[J]. 生物学通报,2010,45(3):12-14.
- [43] 王秋颖,郭顺星. 天麻优良品种选育的初步研究[J]. 中国中药杂志,2001,26(11):744-746.
- [44] 吴迎福,王亚蓉,孙远彬,等. 天麻种子野外育种与培育[J]. 林业科技通讯,2017(8):24-26.
- [45] 黄淑敏,李世荣,黄祖兴,等. 长白山区乌天麻高产高效栽培技术[J]. 人参研究,2016,28(3):42-45.
- [46] 施金谷,杨先义,余刚国,等. 大方县天麻栽培田间管理技术[J]. 南方农业,2016,10(24):53-54,56.
- [47] 胡枫. 天麻林下种植技术[J]. 现代园艺,2020(2):26.
- [48] 白玛旺扎. 西藏波密天麻仿野生栽培技术研究[J]. 植物医生,2018,31(10):50-53.
- [49] 张跃进,梁宗锁,周元,等. 不同栽培措施对天麻产量和产量结构的影响研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(3):1134-1135,1144.
- [50] 梁玉勇,田战强. 地膜覆盖对天麻人工林材质栽培的抗旱增产效应试验研究[J]. 食用菌,2008,30(3):44-45.
- [51] 李本华,彭延英. 天麻复合压块栽培方法研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(1):138-139.
- [52] 谭自春. 天麻无土节能栽培技术[J]. 食用菌,2007,29(4):47-48.
- [53] 裴建荣. 天麻林下种植技术[J]. 特种经济动植物,2019,22(7):26-27.
- [54] 张进强,周涛,江维克,等. 天麻种植生产的生态循环利用模式分析[J]. 中国中药杂志,2020,45(9):2036-2041.
- [55] 曹森,巴良杰,潘成,等. 不同采收期对天麻贮藏品质的影响[J]. 食品工业,2019,40(12):192-196.
- [56] 刘彦铎,王昌利,唐斌,等. 不同干燥方法对天麻中天麻素含量的影响[J]. 现代中医药,2013,33(3):108-109.
- [57] 牧国立,辛建召,周大林. 伏牛山区天麻人工露天栽培技术[J]. 现代农业科技,2016(15):92-93.
- [58] 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.
- [59] 孔维淑,程跃红,杨攀艳. 天麻人工种植技术[J]. 四川农业科技,2013(7):43.
- [60] 张琴,张东方,吴明丽,等. 基于生态位模型预测天麻全球潜在适生区[J]. 植物生态学报,2017,41(7):770-778.

(收稿日期:2020-12-30 编辑:戴玮)