

巴中市哲学社会科学规划项目

(2024 年度)

项 目 类 别 一般课题

立 项 编 号 BZ24YB141

学 科 分 类 农业科学

课 题 名 称 巴中市道地药材主导品种适宜种植区研究

项 目 负 责 人 杨青林

项 目 参 与 人 苏渝鸿 李靖 石中琪 熊红梅

负责人所在单位 巴中市产品质量检验检测中心

联 系 电 话 18081463201

巴中市社会科学界联合会 制

目 录

一、引言	1
(一) 研究背景与意义	1
1.研究背景	1
2.研究意义	2
(二) 研究主要思路	3
1.研究目标	3
2.研究内容	4
二、研究区概况与数据处理	6
(一) 研究区概况	6
1.地质地貌	7
2.气候水文	7
3.土壤植被	8
4.中药材	9
(二) 数据收集与处理	9
三、研究方法	11
(一) 适宜性评价指标选取	12
1.丹参适宜性评价指标	12

2.芍药适宜性评价指标	13
3.杜仲适宜性评价指标	14
4.黄精适宜性评价指标	15
(二) 适宜性评价指标等级划分与权重确定	15
(三) 适宜性综合评价方法	21
(四) 结果验证点选择	22
四、结果与讨论	22
1.丹参适宜性分析	22
2.芍药适宜性分析	23
3.杜仲适宜性分析	24
4.黄精适宜性分析	24
参考文献	27

巴中市道地药材主导品种适宜种植区研究

一、引言

(一) 研究背景与意义

1. 研究背景

道地药材是传统医药界公认的、在特定生存环境下所产生的疗效好、质量优的一类中药材。古典医药著作已有记载认为药材质量与其生态环境密切相关，道地药材强调药材的产地，中国各地区的水土、气候、日照等生态环境因子千差万别，不同地域生态、气候条件的差异造成不同产区道地药材在性状、质量和药效上的差别。

随着社会快速发展，中医学以及民族医学也得到快速发展，道地药材资源的需求量不断增大，导致众多野生珍贵中药材资源数量的锐减，同时生态环境系统也遭到严重破坏，直接影响到中药材资源的储量，使得中药材的需求量、产量以及品种质量等之间的比例严重失衡。人工引种栽培就成为当前解决这一问题的重要途径，但缺乏科学合理的规划，盲目引种栽培不仅会造成人力、物力资源的极大浪费，还会导致中药材道地性削弱、药材质量下降，影响其疗效。近年来，随着地理信息系统（Geography Information Systems, GIS）、遥感技术（Remote Sensing, RS）以及全球卫星导航系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）三大空间技术（简称 3S 技术）的快速发展，其广泛应用于各个领域，对道地珍贵中药材资源适宜种植提供了重要的技术手段。

巴中地处秦巴山区，素有“秦巴无闲草、遍地皆灵药”之美誉，

是巴药种植的核心区域和道地药材产区。拥有优良自然资源禀赋，适宜多种中药材生长，中药种类繁多，产量大，品质极佳。2020年4月，结合巴中土壤气候、药效成分、市场行情、专家论证等情况，巴中确定丹参、芍药、杜仲、黄精4个道地药材主导品种。近年来，巴中先后出台《巴中市生物医药产业发展规划（2016—2025年）》《中共巴中市委办公室 巴中市人民政府办公室 关于推进中医药产业高质量发展意见》《巴中市中医药产业发展规划（2020—2030年）》等文件，中药种植规模不断扩大，中药产值逐年提高，医药健康已成为巴中市主导产业之一。

近年来，虽然巴中道地药材种植快速发展，但是仍然存在种植规模小且分布零散杂乱、缺乏规范化种植和精细化种植等问题，导致地域性道地药材知名品牌缺少、效益不高，同时目前针对巴中道地药材适宜性研究基本较少，这对于今后巴中道地药材、中药材以及医药健康产业做大做强将会产生重大影响。只有适宜的环境才能够促进植物的生长及有效成分的积累，为使巴中道地药材主导品种种植更加规模化、精细化以及道地药材品牌更响、品质更高、效益更好，对巴中道地药材种植适宜性评价研究已迫在眉睫。

2.研究意义

以巴中道地药材主导品种丹参、芍药、杜仲、黄精为道地药材研究原型，基于GIS技术探究道地药材适宜种植区，对于道地药材种植区域选择具有较强的理论研究意义，同时对于巴中道地药材种植具有较强的现实意义。

①理论意义

查阅文献调查发现，目前已有人参、冬虫夏草、西洋参、柴胡、板蓝根等多种道地药材资源应用 GIS 技术进行适宜性评价研究，丹参、芍药、杜仲、黄精资源的研究主要集中在化学成分、驯化栽培、药用疗效、药用价值及生物学特征等方面，而针对丹参、芍药、杜仲、黄精适宜性分布研究较少。本研究是一种基于 GIS 技术建模进行道地药材生长适宜性分析的研究方法，对道地药材生长适宜性进行区划分析，可以为丹参、芍药、杜仲、黄精等其他道地药材种植区域的选取提供科学依据和基本策略。

②现实意义

目前针对巴中道地药材种植适宜性研究较少，然而随着市委、市政府对于医药健康产业发展的高度重视，巴中道地药材种植显得尤为重要，亟需对丹参、芍药、杜仲、黄精等道地药材的适宜性种植区划研究，以选择丹参、芍药、杜仲、黄精适宜生长区域，从而为巴中种植区域选址和政府种植规划提供参考和科学依据，有利于当地政府因地制宜地进行种植规划和决策，提高道地药材种植效益和药材品质，促进巴中道地药材产业持续健康发展。同时该研究方法对巴中道地药材大宗品种（金银花、川明参、天麻、枳壳、青钱柳）以及其他地区中药材适宜种植区域分析具有重要的借鉴作用和参考价值。

（二）研究主要思路

1.研究目标

厘清影响道地药材丹参、芍药、杜仲、黄精主要生长环境因子，建立适合巴中道地药材主导品种种植适宜性评价指标体系，构建适宜性评价模型，掌握适宜种植区域分布，提出巴中道地药材主导品种种植意见建议，为巴中中药材种植提供技术支持和决策依据。

2.研究内容

本项目选取巴中道地药材主导品种丹参、芍药、杜仲、黄精为研究原型，根据丹参、芍药、杜仲、黄精的生态环境特点，建立适宜种植评价指标，运用专家打分法和层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)综合确定指标权重，构建综合因子加权叠加评价模型，基于 GIS 技术分析巴中道地药材主导品种适宜种植区（技术路线见图 1-1），具体包括以下主要内容。

①建立巴中道地药材主导品种种植适宜性评价指标体系

通过文献查阅、实地考察、资料收集、社会调查以及专家建议，深入分析丹参、芍药、杜仲、黄精生长环境，厘清影响道地药材丹参、芍药、杜仲、黄精主要生长环境因子，结合巴中道地药材主导品种种植现状，基于 GIS/RS 技术获取生长环境因子空间数据，建立巴中道地药材主导品种种植适宜性评价指标体系。

②构建巴中道地药材主导品种种植适宜性评价模型

依托地理空间数据，利用专家打分法和层次分析法综合确定巴中道地药材主导品种种植适宜种植评价指标权重，基于 GIS 技术加权叠加获取巴中道地药材主导品种种植适宜性评价结果，探索评价模型并验证其评价有效性。

③开展巴中道地药材主导品种适宜种植区分析

根据上述构建的巴中道地药材主导品种种植适宜性评价指标体系和适宜性评价模型，获取巴中道地药材主导品种丹参、芍药、杜仲、黄精生长适宜性区划图，开展巴中道地药材主导品种适宜种植区分析，提出巴中道地药材主导品种种植区域意见建议。

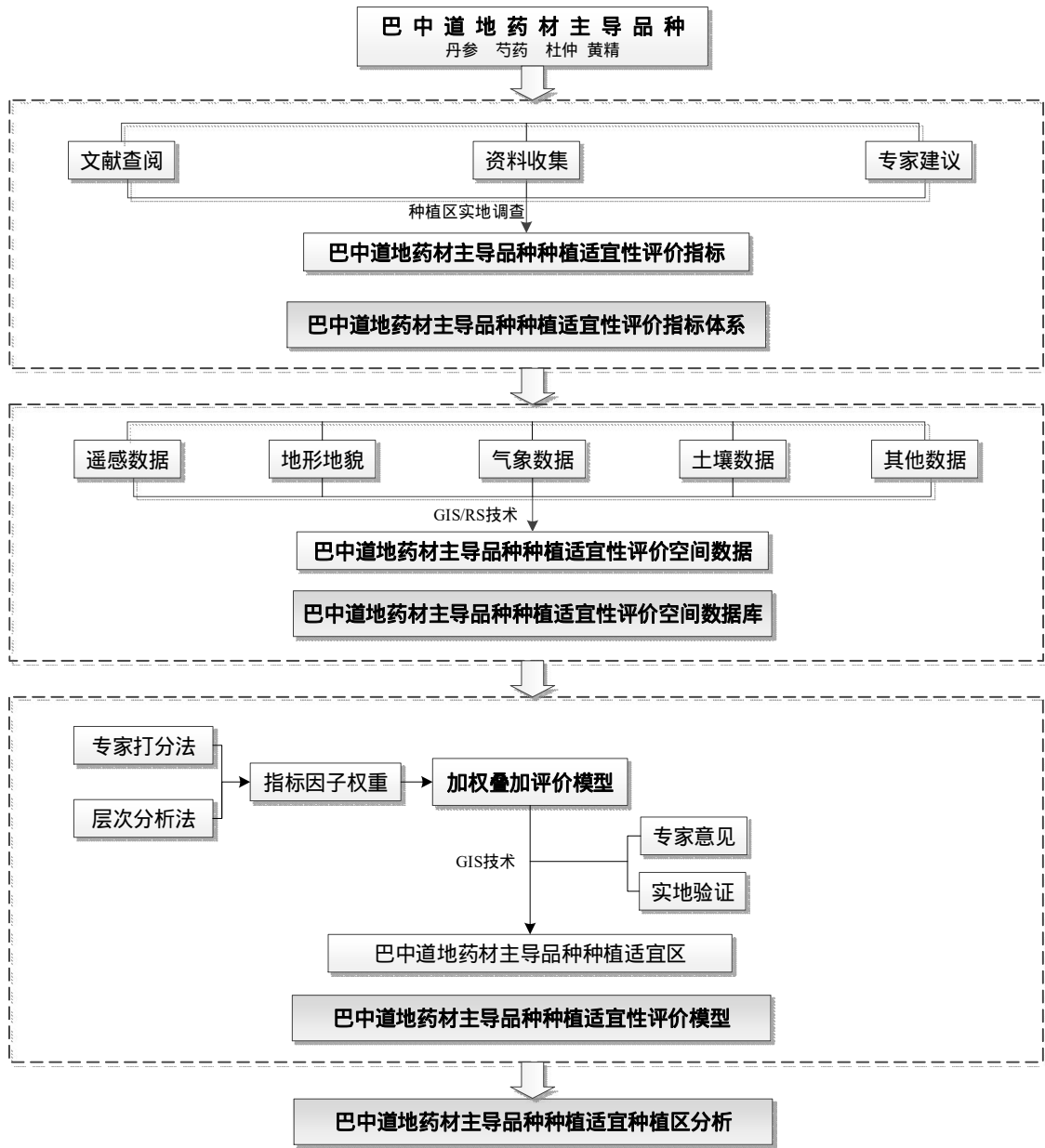


图 1-1 技术路线

二、研究区概况与数据处理

（一）研究区概况

巴中市位于四川省东北部，秦巴山片区中心城市，地处川陕两省交界的大巴山系米仓山南麓，中国秦岭-淮河南北分界线南，东邻达州，南接南充，西抵广元，北接陕西汉中，地处北纬 $31^{\circ}15'$ ~ $32^{\circ}45'$ ，东经 $106^{\circ}20'$ ~ $107^{\circ}49'$ 之间，东西宽约 126.00 公里，南北长约 165.00 公里，幅员 12301.26 平方公里，辖三区两县，包括巴州区、恩阳区、南江县、通江县、平昌县，见图 2-1。



图 2-1 研究区地理位置

1.地质地貌

巴中位于大巴山弧形构造、川东新华夏系构造和仪(陇)巴(中)平(昌)莲花状构造的交接位置,构造形迹以褶皱为主,断层不发育;褶皱曲线呈弧形,岩层倾角变化频繁且有扭曲现象。境内西北为龙门山北东向褶皱带,北部是米仓山东西向褶皱带,东北与大巴山西向褶皱带相连,东南部邻华蓥山北东向褶皱带,南西是川中北西西向褶皱带。境内出露地层由老到新主要为中生界三迭系、侏罗系、白垩系及新生界第四系的地层,其中北部(南江县杨坝、赶场至通江县平溪、铁溪以北)地层复杂;中、南部地层简单,主要是侏罗系、白垩系的地层(主要以砂、页岩互层形式出现),占全市幅员面积的80%以上。

巴中属典型的盆周山区,因受大巴山构造控制,地势北高南低,并由西北向东南倾斜,境内有流水侵蚀、沉积、扇形地貌和重力堆积、残积地貌及喀斯特地貌。北部为深切割中山、中切割中山,中部为中切割低山、浅切割低山;南部为丘陵,沿河两岸及台状山顶有平坝。最高海拔2507米(南江县光雾山),最低海拔268.3米(平昌县黄梅溪)。从地形地貌看,全市多为山地,占幅员面积的90%;丘陵、平坝面积约为1243平方公里。

2.气候水文

巴中属亚热带湿润季风气候,四季分明,雨量充沛,光照适宜,平均日照1470~1570小时,无霜期260~280天。气温因地形的高低及位置不同而各异,北部地势较高,受西北寒流影响较大,气温

和相对湿度较低；南部气温较高。年平均气温 $16.3^{\circ}\text{C}\sim 17^{\circ}\text{C}$ ，年最高气温 40.3°C ，最低气温 -7.9°C ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 5470°C 。降雨时间空间分布极不均匀，以 7 月、9 月居多，8 月洪旱交替，年平均降雨 1100~1200 毫米，最大日降雨量为 282.2 毫米，多年平均相对湿度为 76%，年平均蒸发量约 1045~1268mm。

巴中境内溪河属山溪性河流，发源于米仓山南麓，呈南北流向，树枝状分布，水位洪枯变幅大，部分溪河在枯水期有断流的现象。大小溪河 1100 多条，除南江县北部的焦家河属嘉陵江一级支流外，其余均属渠江水系巴河流域，其中流域面积在 1000 平方千米以上的主要河流有巴河、南江河、恩阳河和通江河等 7 条。平均水资源量 71.68 亿立方米，其中地表水资源量 71.68 亿立方米，地下水 10.66 亿立方米，人均拥有水资源量 1611 立方米。

3.土壤植被

巴中市由于境内复杂的地形地貌和地质条件，导致了生物多样性和土壤植被的复杂性。成土过程以物理风化为主，化学风化势弱，土体发育程度浅，粗骨化、黄化、酸化、复钙化、黏化、潜育化、潜育化、白鳍化、棕化和熟化等成土过程使土壤类型复杂化。成土母质优良，主要有水稻土水稻土、紫色土、黄壤、黄棕壤、冲积土、石灰岩土 6 个土类、10 个亚类、22 个土属、61 个土种，无先天性生金属超标土壤，发展绿色生态农业基础良好。水稻土主要分布在河谷阶地、山丘沟谷和台地，紫色土广泛分布于境内山丘地带，黄壤主要分布在河流沿岸二、三级阶地，冲积土主要分布在河流沿

岸河漫滩一级阶地，黄棕壤主要分布在高山林地，石灰岩土则主要分布在喀斯特地貌区。

巴中市自然植被资源丰富，森林植被主要为常绿落叶阔叶混交林、针叶林、竹林和灌丛林。植物种类繁多，种子植物 3000 余种，乔灌木 300 多种，草、藤本 400 多种，源于植物的中草药 1300 多种。乔、灌木林区多分布在北部山地，中部、南部亦零星分布，森林层次结构不明显，林下伴生马桑、黄荆、沙棘藤蔓、杜鹃等植物；中药材资源最丰富的是通江、南江两县；牧草资源遍及境域。2023 年，全市森林覆盖率 63.2%。

4. 中药材

巴中自然生态环境优良，药材资源优质丰富，是道地药材适宜生长区，素有“四川盆地北缘山区重要生物基因库和天然药库”之称。目前，境内有野生中药材 1480 种、药用动物 275 种、矿物及其他药材 20 余种，蕴藏量达 8 万余吨。其中，种植经验成熟品种 120 多个，被列入《中国药典》的有 90 多种（大宗常用品种 48 个），多种药材有效成分高于药典标准；通江银耳，巴州川明参、柞蚕蛹，南江金银花、杜仲、厚朴 6 个品种获得国家地理标志保护，早在 20 世纪 80 年代被国家林业局、国家中医药管理局评定为“中国三木药材之乡”。2023 年，全市中草药材播种面积 34.52 万亩。

（二）数据收集与处理

本研究数据主要有地形数据、气象数据、土壤数据和土地利用数据，其中 DEM（Digital Elevation Model）数据，来源于地理空间

数据云，利用 GIS 表面分析提取坡度、坡向，见图 2-2。气象数据来源于中国科学院资源环境科学与数据平台，见图 2-3。土壤数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 1：100 万土壤数据，土地利用数据来源于巴中市自然资源和规划局，见图 2-4。

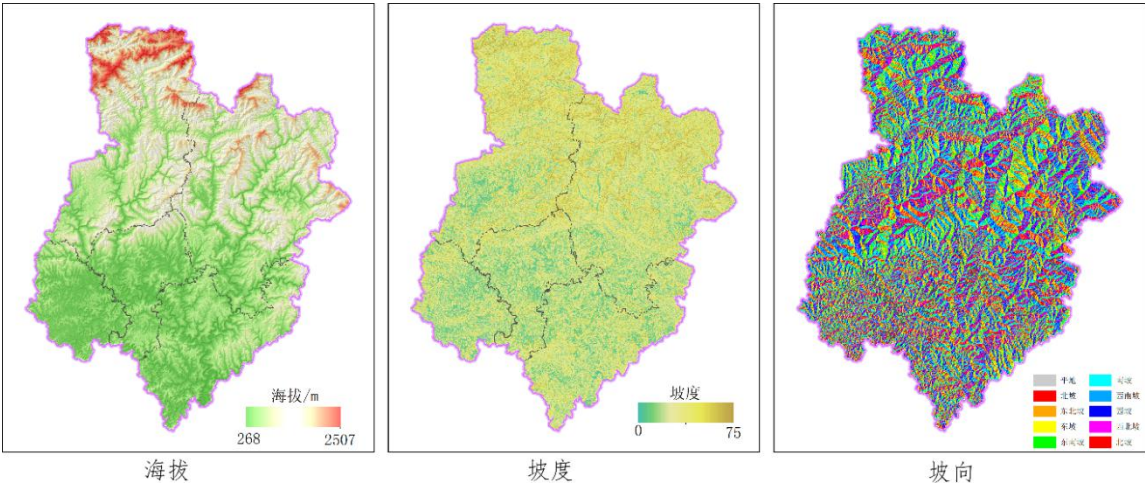


图 2-2 地形因素分布图

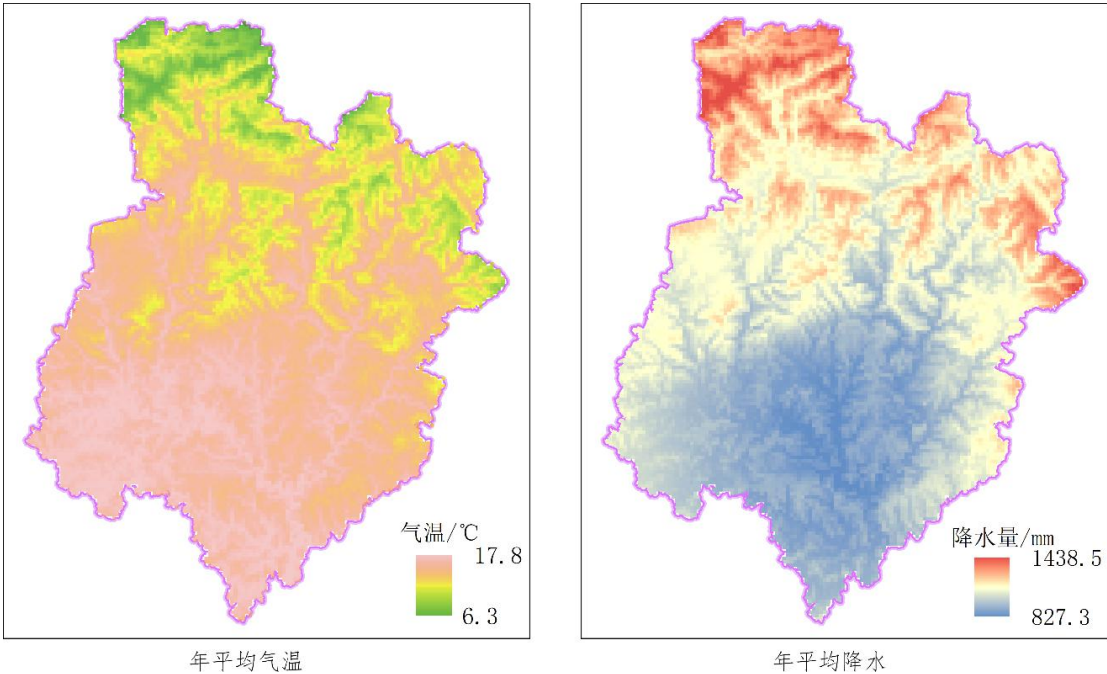


图 2-3 气象因素分布图

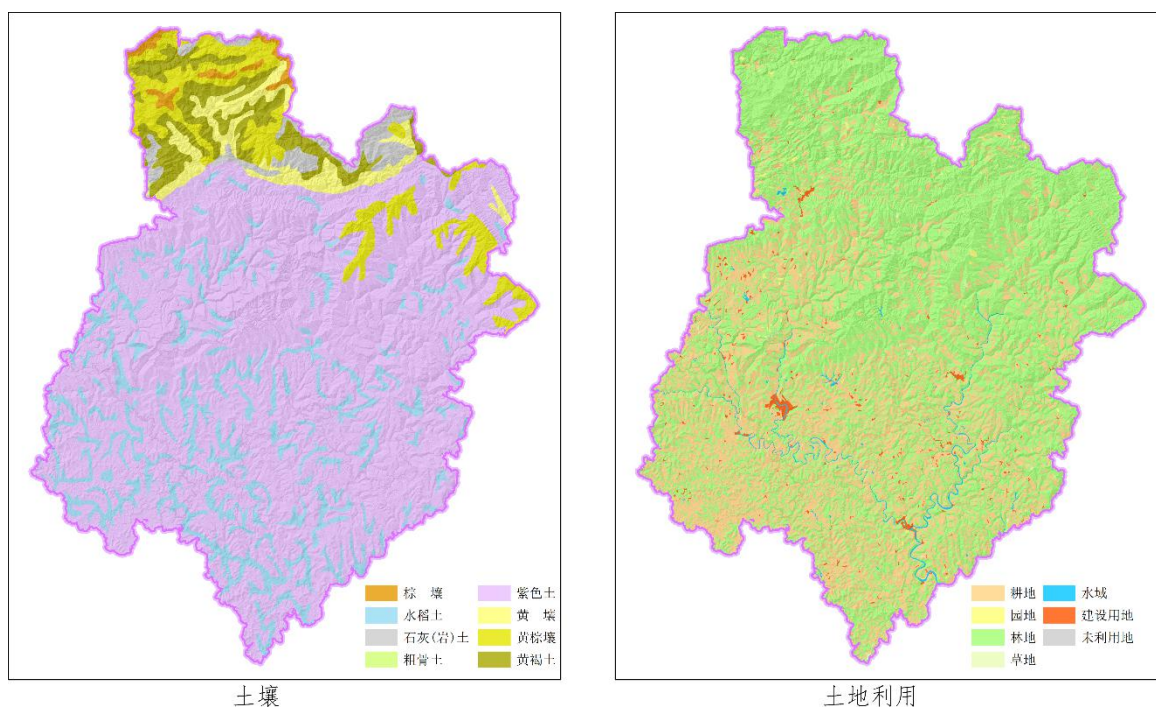


图 2-4 土壤因素分布图

三、研究方法

本文采用多因子加权叠加法对巴中道地药材主导品种种植适宜性进行分析，基本步骤如下：

①通过查阅文献和实地调研，明确影响道地药材丹参、芍药、杜仲、黄精主要生长环境因子，选取巴中道地药材主导品种适宜种植的指标因子，并确定生态指标因子的适生范围；②借助 GIS 技术空间分析，提取主导品种单因子适生分布；③通过专家打分方式和采用层次分析法结合来确定各因子的权重值；④利用 GIS 技术空间分析，将各因子进行加权叠加，获取巴中道地药材主导品种适宜性分布；⑤根据最终加权得分值的高低，将巴中道地药材主导品种适宜种植区划分为最适宜、适宜和不适宜 3 个等级；⑥将巴中道地药材主导品种分布点与划分的结果进行比较，验证此次适宜种植区划

分的准确性。

（一）适宜性评价指标选取

植物资源的分布情况、生长状况以及药用部分产量的高低及质量的好坏与其生长环境密切相关(杜红岩 等,2005;赵琦 等,2016)。独特的生态地理环境造就了药用植物独特的品质,产区的生态地理因子对药材品质的形成至关重要。植物资源的生长及分布情况是地形地貌、气候、土壤、植被、水文等多种环境因素相互作用的结果,特定的大气、水文、土壤等环境条件造就了不同的药材特性。本研究基于丹参、芍药、杜仲和黄精生长主要影响因素,建立巴中道地药材适宜种植区的评价指标体系。

1.丹参适宜性评价指标

①**地形因素**:海拔的高低影响着土壤的理化性质,从而间接影响植物的生长发育、产量及质量,地形中的坡度和坡向也是影响植物生长和分布的重要生态环境因子(熊斌梅 等,2016)。根据文献记载和相关研究成果(张辰露 等,2015;陈晓玉 等,2019),海拔偏高的地区不利于丹参生物量形成,丹参适宜生长海拔300~1200m,对坡地要求不高。丹参喜阳光充足、地势向阳环境中,从巴中所处的地理位置及太阳照射的实际情况来看,坡向朝南(南坡、东南坡和西南坡)区域适宜生长。

②**气象因素**:气候因素是植物正常生长发育的基本保障,是影响植物生长的关键因素,对植物的自然分布及适生性起着决定性作用(吴建国 等,2011)。丹参喜气候温暖、空气湿润的环境,温暖

湿润的气候条件更有利于丹参生长和活性物质积累（景鹏飞，2013；张辰露 等，2015；高铭 等，2018），结合巴中种植实际，丹参适宜生长年均气温 11.4~17.5℃、年均降水量 700~1200mm 区域。

③**土壤因素**：土壤是中药材生长的基础和场所，是中药材生态环境系统中的限制因子，并具有供给和协调其生长发育所需要的水、肥、气、热，以及品质条件和无害化物质的能力，影响中药材生长发育以及产量品质（陈文霞 等，2006）。根据文献记载和相关研究成果，丹参怕旱忌涝，适应种植在土层深厚、土壤肥沃、土质疏松和排水良好环境中（郭宝林 等，2002；张鸿杰 等，2019；陈晓玉 等，2019），根据巴中土壤实际，棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土适宜丹参生长。土地利用类型受自然、经济和社会因素的影响，是一种间接表现土壤特征的指标，故本研究将土地利用类型归为土壤因素二级指标。丹参适宜在耕地种植，同时为充分利用林地资源，提高林地利用率，增加农民收入，多地区已开展丹参林下种植，并取得一定成效。

2. 芍药适宜性评价指标

根据调研和实地走访，目前巴中种植的芍药以白芍为主，本研究选取主要影响白芍生长发育的因素作为评价指标。

①**地形因素**：根据文献记载和相关研究成果（吕金嵘 等，2009；查良平 等，2011），芍药集中生长在海拔 500~1500m，坡度要求不高。芍药喜阳光充足（吕长平 等，2008），适宜生长在向阳区域。

②**气象因素**：芍药喜温暖、湿润环境（吕金嵘 等，2009），参

考白芍四大产地（安徽亳州、浙江磐安、四川中江和山东菏泽）生长区域气温和降水（查良平等，2011），杜仲适宜生在年均气温 14~25℃区域，年均降水量 800mm 以上区域。

③**土壤因素**：芍药适合生长在土层深厚、肥沃、疏松且排水良好的壤土、砂壤土以及夹砂黄泥土中，不耐水涝（吕长平等，2008；朱柏雨，2019；张继雨等，2023），根据巴中土壤实际，棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土适宜生长，耕地适宜生长。

3.杜仲适宜性评价指标

①**地形因素**：根据文献记载和相关研究成果（周政贤等，1980；张维涛等，1994；叶萌等，2006），杜仲适宜生长在海拔 300~1800m，海拔较高区域生长缓慢，对坡度的要求不高。杜仲一般生长在阳光充足的地区（王瑗琦等，2003；康传志等，2014），适宜生长在向阳区域。

②**气象因素**：根据专家建议和相关研究成果（李浚明等，1996；何方等，2010；邓阳川等，2019；王宝川等，2020），杜仲喜温和、雨量充沛的气候条件，适宜生长在年均温 12~17℃和年均降水量 800mm 以上区域。

③**土壤因素**：根据实地调查以及相关研究成果（唐建军等，1998），杜仲适宜生长在土层深厚、富含有机质、透气透水性强的土壤类型，根据巴中土壤实际，适宜生长在棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土区域。杜仲最适合在林地中生长，但杜仲属于乔木，林地种植与其他树木形成竞争关系，成效比较低，适宜耕地种植。

4.黄精适宜性评价指标

根据调研和实地走访，目前巴中种植的黄精以多花黄精为主，本研究选取主要影响多花黄精生长发育的因素作为评价指标。

①**地形因素**：根据相关研究成果（彭静 等，2016；朱志柳 等，2022；温作荣 等，2024），黄精在不同海拔高度的生长状态具有显著差，过高的海拔引起温度、土壤养分等因素的变化致使多花黄精无法达到最好的生长状态，适宜生长在海拔 300~1000m，坡度为 15~45°或平缓地带（坡度<5°）。多花黄精是喜阴植物，忌强光照，在阴坡（北坡）和半阴坡（西北坡或东北坡）根茎产量更高（王邦富，2015；沈琼桃 等，2016；刘跃钧 等，2022），故适宜生长在阴坡和半阴坡。

②**气象因素**：根据专家建议和相关研究成果（蒋燕锋 等,2016; 杜平海 等,2024;），多花黄精喜温暖湿润，适宜生长在年均温度 15~25℃、年均降水量 900~1600mm 区域。

③**土壤因素**：多花黄精在土层较深厚、疏松肥沃、排水性和保水性较好的壤土中生长良好，在贫瘠干旱及粘重的土壤上则生长不良（王邦富，2015；崔馨燕 等，2021），结合巴中种植实际，适宜生长在棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土区域。黄精一般生长于灌丛、林下、岩石缝隙或半阴处，适宜种植在林地和耕地区域。

（二）适宜性评价指标等级划分与权重确定

1.适宜性评价指标等级划分

由于不同道地药材适宜生长环境不一致，不同生长环境对道地

药材的影响也不一致，本研究根据丹参、芍药、杜仲、黄精适宜生长条件进行等级划分，等级越高，表明越适宜种植。其中坡度 $<5^{\circ}$ 和海拔 $<300\text{m}$ 多为耕地和城镇用地，主要用于农业生产和城市发展，为保护基本农田面积，级别划分时人为刻意降级。根据水土流失防治标准，坡度 $>25^{\circ}$ 或海拔 $>2300\text{m}$ 的区域是国家退耕还林还草区或人类活动难以种植区，此区域等级最低。将丹参、芍药、杜仲、黄精适宜性评价指标划分为最适宜、适宜和不适宜3个等级，并对各因子按等级以1、3、5进行赋值。

2.适宜性评价指标权重确定

植物的生长发育受到温度、降水量、土壤等多种环境因素的影响，各个因素对植物生长发育的影响程度很难判断。层次分析法是一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法，通过用决策者的经验判断各衡量目标之间能否实现的标准之间的相对重要程度，并合理地给出每个决策方案的每个标准的权数，利用权数求出各方案的优劣次序。由于本研究中道地药材适宜性评价指标在适宜性评价中重要性的不同，故指标权重采用专家打分法和层次分析法综合确定。具体基本步骤包括：

①通过向相关领域专家咨询，通过打分确定评价指标的相对重要性；

②构建判断矩阵，并利用排序原理计算判断矩阵的最大特征值及其所对应的特征向量；

③对判断矩阵进行一致性检验（若一致性检验未通过，调整判

断矩阵，重新通过一致性检验)；

④通过比较矩阵计算各因素的权重值，得到巴中道地药材主导品种适宜性评价单项指标权重。

通过向丹参、芍药、杜仲和黄精相关研究领域的课题专家进行问卷调查和实地调研，经过统计和筛选以后，计算得到各评价指标的权重值（见表 3-1~3-4 和图 3-1~3-4），所有数据均通过一致性检验，为本次决策提供科学依据。

表 3-1 丹参适宜性评价指标与权重

目标层	准则层	指标层			权重	
		指标	等级划分	等级		
丹参 适宜 种植区	地形	海拔/m	<300	不适宜	1	0.18
			300~1200	最适宜	5	
			1200~2300	适宜	3	
			>2300	不适宜	1	
		坡度/°	<5	适宜	3	0.06
			5~25	最适宜	5	
			>25	不适宜	1	
		坡向/°	平地、西坡、东坡	适宜	3	0.12
			南坡、东南坡、西南坡	最适宜	5	
			北坡、东北坡、西北坡	不适宜	1	
	气候	年均气温/°C	<11.4	不适宜	1	0.27
			11.4~17.5	最适宜	5	
			>17.5	适宜	3	
		年均降水量/mm	700~1200	最适宜	5	0.21
			>1200	适宜	3	
土壤因素	土壤类型	棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土	最适宜	5	0.09	
		其他土壤	适宜	3		
	土地利用	林地	适宜	3	0.07	
		耕地	最适宜	5		
		其他地类	不适宜	1		

表 3-2 芍药适宜性评价指标与权重

目标层	准则层	指标层			权重
		指标	等级划分	等级	
芍药 适宜 种植区	地形	海拔/m	<300	不适宜	1
			300~500	适宜	
			500~1500	最适宜	5
			1500~2300	适宜	3
			>2300	不适宜	1
		坡度/°	<5	适宜	3
			5~25	最适宜	5
			>25	不适宜	1
		坡向/°	平地、西坡、东坡	适宜	3
			南坡、东南坡、西南坡	最适宜	5
			北坡、东北坡、西北坡	不适宜	1
	气候	年均气温/°C	<14	适宜	3
			>14	最适宜	5
		年均降水量/mm	<800	适宜	5
			>800	最适宜	3
	土壤因素	土壤类型	棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土	最适宜	5
			其他土壤	适宜	3
		土地利用	耕地	最适宜	5
			其他地类	不适宜	1

表 3-3 杜仲适宜性评价指标与权重

目标层	准则层	指标层			权重
		指标	等级划分	等级	
杜仲 适宜 种植区	地形	海拔/m	<300	不适宜	1
			300~1800	最适宜	5
			1800~2300	适宜	3
			>2300	不适宜	1
		坡度/°	<5	适宜	3
			5~25	最适宜	5
			>25	不适宜	1
		坡向/°	平地、西坡、东坡	适宜	3
			南坡、东南坡、西南坡	最适宜	5
			北坡、东北坡、西北坡	不适宜	1
	气候	年均气温/°C	<12	不适宜	3
			12~17	最适宜	5
			>17	适宜	1
		年均降水量/mm	<800	适宜	3
			>800	最适宜	5
	土壤因素	土壤类型	棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土	最适宜	5
			其他土壤	适宜	3
		土地利用	林地	适宜	3
			耕地	最适宜	5
			其他地类	不适宜	1

表 3-4 黄精适宜性评价指标与权重

目标层	准则层	指标层			权重
		指标	等级划分	等级	
黄精 适宜 种植区	地形	海拔/m	<300	不适宜	1
			300~1000	最适宜	5
			1500~2300	适宜	3
			>2300	不适宜	1
		坡度/°	<15	适宜	3
			15~25	最适宜	5
			>25	不适宜	1
		坡向/°	平地、西坡、东坡	适宜	3
			北坡、东北坡、西北坡	最适宜	5
			南坡、东南坡、西南坡	不适宜	1
	气候	年均气温/°C	<15	适宜	3
			>15	最适宜	5
		年均降水量/mm	<900	适宜	3
			>900	最适宜	5
土壤因素	土壤类型	棕壤土、黄棕壤土、黄壤土和紫色土 其他土壤	最适宜	5	0.06
			适宜	3	
	土地利用	耕地、林地 其他地类	最适宜 不适宜	5 1	0.11

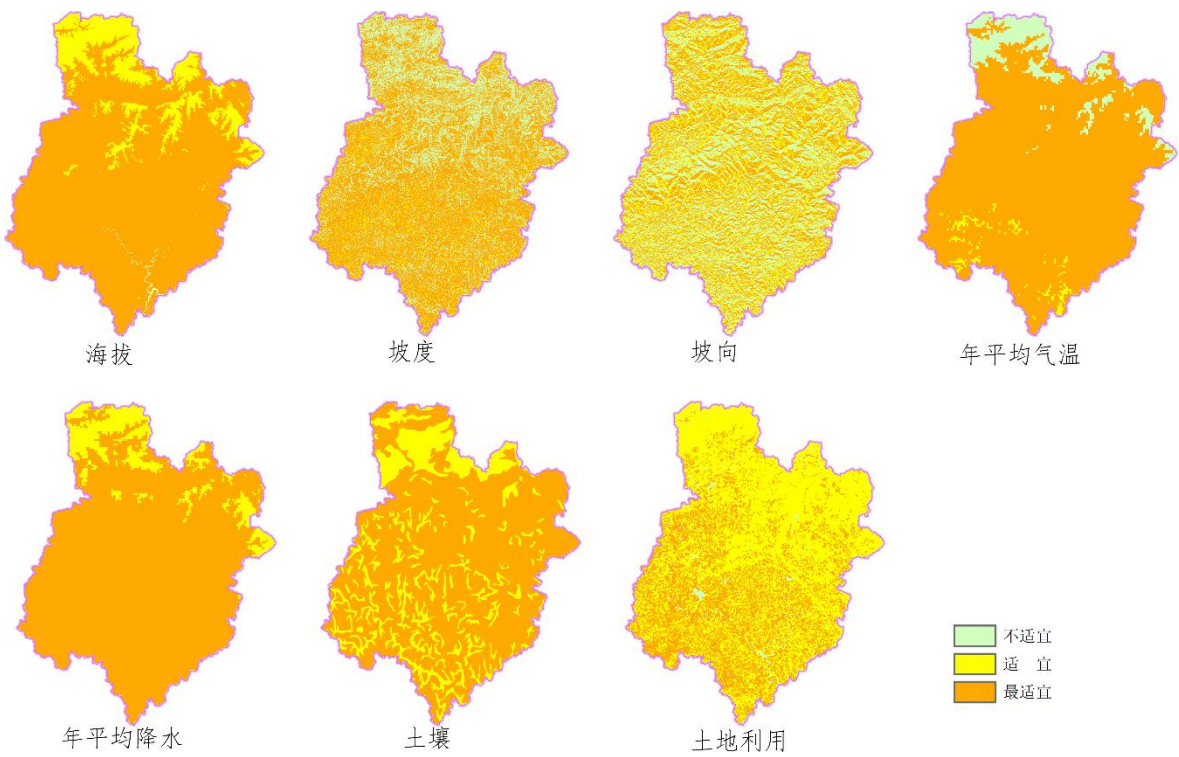


图 3-1 丹参适宜性评价指标适宜性分布图

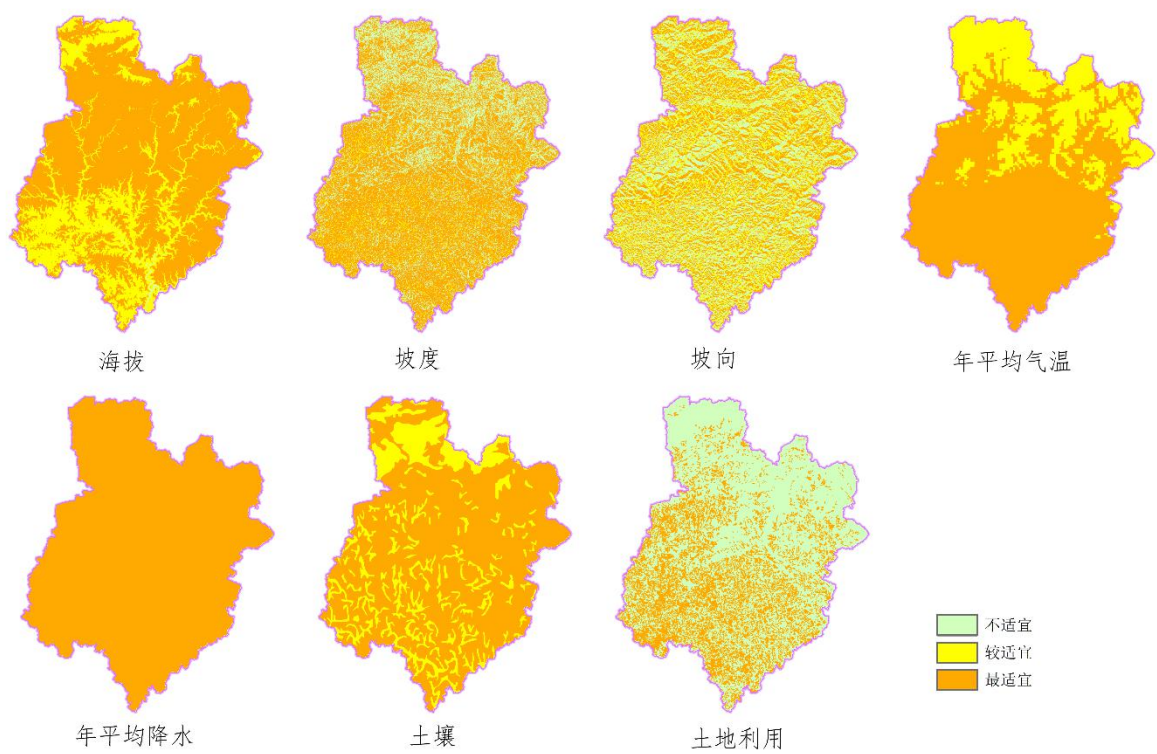


图 3-2 芍药适宜性评价指标适宜性分布图

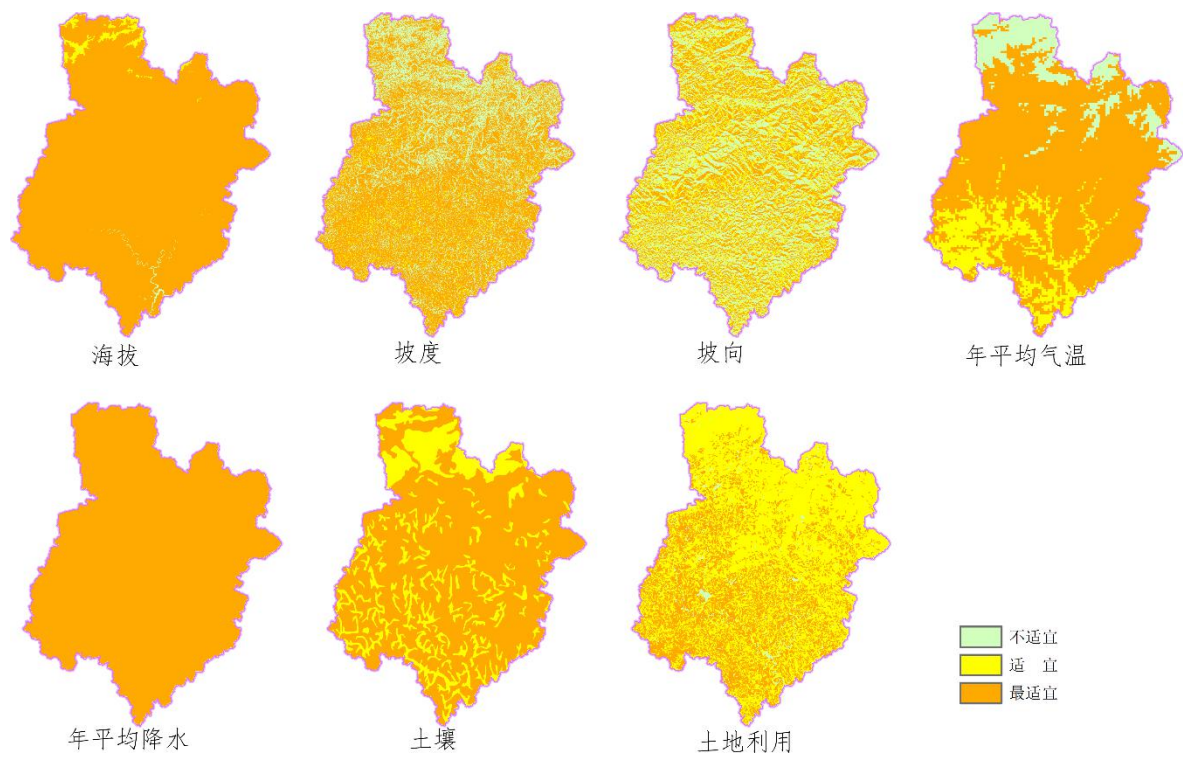


图 3-3 杜仲适宜性评价指标适宜性分布图

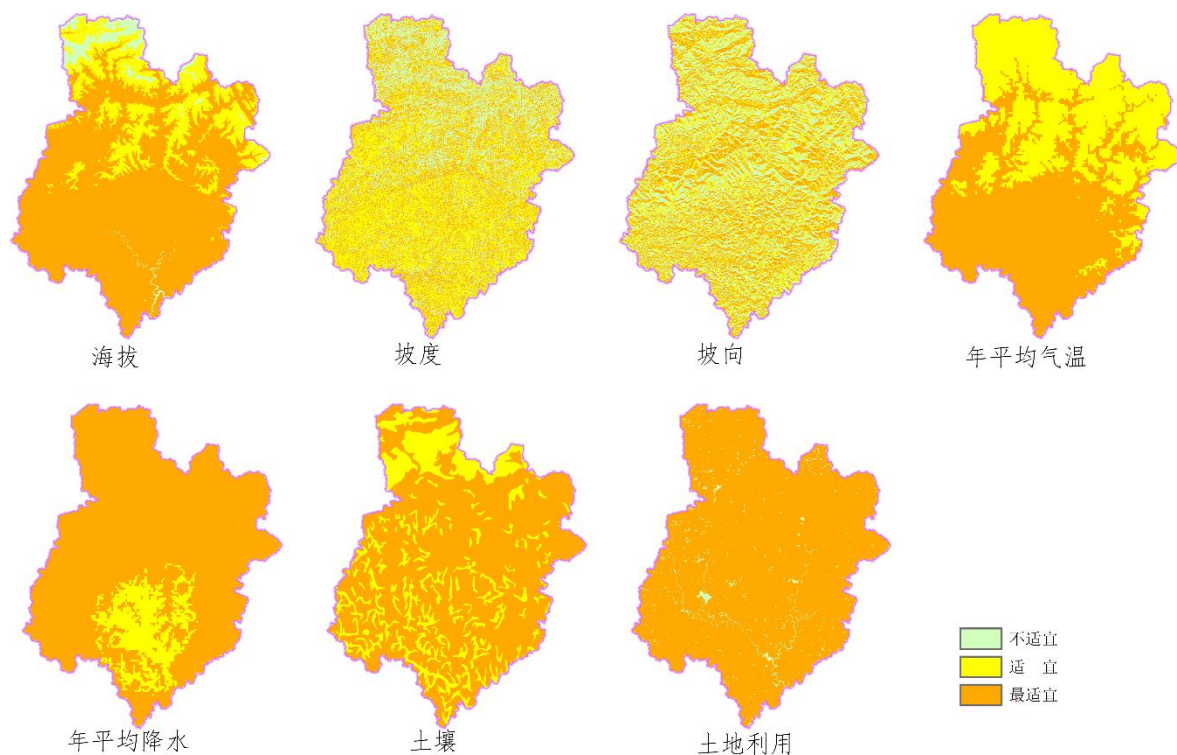


图 3-4 黄精适宜性评价指标适宜性分布图

(三) 适宜性综合评价方法

本文采用多因子加权叠加法进行适宜性综合评价，将每个适宜性指标因子的权重值进行加权叠加，根据加权值的大小对丹参、芍药、杜仲、黄精进行适宜性评价，其评价公式为：

$$Y(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \times q_i(x, y) \quad (i = 1, 2, 3, 4..., n)$$

式中： $Y(x, y)$ 为各像元的综合适宜性指数； W_i 为第*i*个指标的权重； $q_i(x, y)$ 为第*i*个指标因子(x, y)处的像元值。

根据最终加权得分值的高低，采用自然断点法将巴中道地药材主导品种适宜种植区划分为最适宜、适宜和不适宜 3 个等级，并进行分析和统计。

（四）结果验证点选择

野外实地调查能进一步验证适宜性分析的准确性，鉴于近些年课题组团队曾调研过全市丹参、芍药、杜仲、黄精等药材种植点位，本次结果验证点通过各选取丹参、芍药、杜仲、黄精 20 个分布点与划分的结果进行比较，验证此次适宜种植区划分的准确性。经验证比对，丹参、芍药、杜仲、黄精调研点位在最适宜和适宜区域的比例均超过 80%。此次野外验证结果说明利用 AHP 和 GIS 技术对道地药材进行适宜性分布研究具有一定的科学性。

四、结果与讨论

1. 丹参适宜性分析

丹参在巴中整体来说适宜种植，适宜种植区域面积 5236.05km²（包括等级为适宜和最适宜区域，其中适宜种植 4335.83km²，最适宜种植面积 900.22km²），占到区域总面积 42.58%（见表 4-1）。相比较来说，通江县、南江县和平昌县适宜种植面积较大，巴州区、恩阳区和南江县、适宜种植发生率较高。适宜种植区主要分布在巴州区曾口、清江、南江县高塔、神门以及通江县广纳、麻石等区域（见图 4-1）。

表 4-1 丹参在巴中种植适宜性分布面积统计

	不适宜		适宜		最适宜	
	面积/km ²	百分比	面积/km ²	百分比	面积/km ²	百分比
巴州区	632.56	45.07%	601.02	42.82%	169.89	12.10%
恩阳区	582.25	50.44%	440.78	38.18%	131.34	11.38%
南江县	2315.36	68.33%	886.70	26.17%	186.27	5.50%
平昌县	1136.17	50.99%	886.51	39.78%	205.74	9.23%
通江县	2392.84	58.07%	1520.82	36.91%	206.98	5.02%
巴中市	7059.18	57.41%	4335.83	35.26%	900.22	7.32%

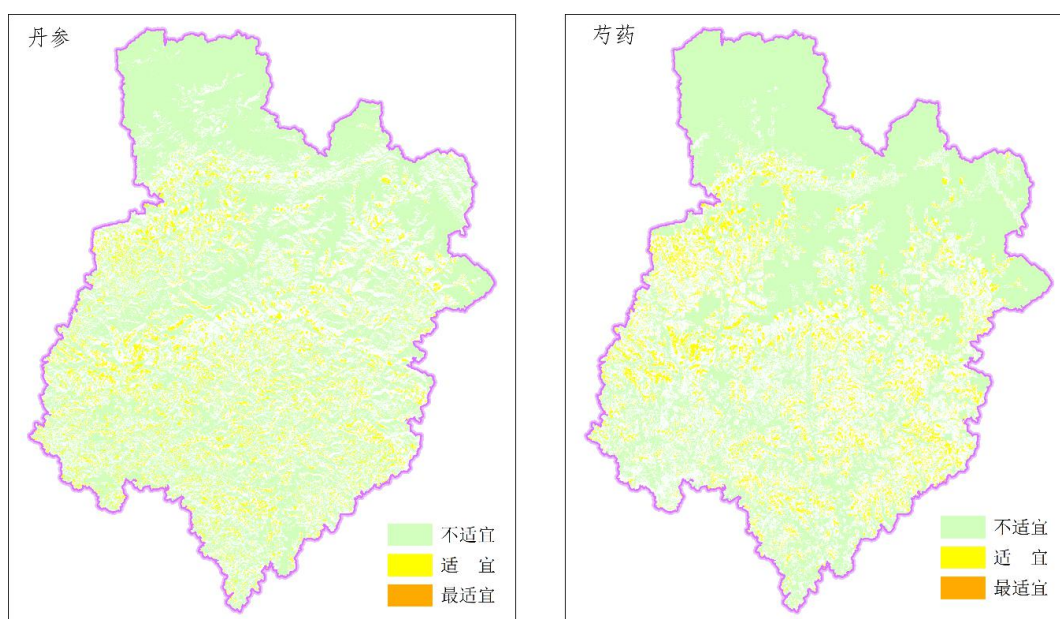


图 4-1 巴中市丹参、芍药适宜性种植分布图

2.芍药适宜性分析

芍药在巴中整体来说适宜种植，适宜种植区域面积 5149.98km²（其中适宜种植 4223.83km²，最适宜种植面积 926.15km²），占到区域总面积 41.89%（见表 4-2）。相比较来说，通江县、南江县和平昌县适宜种植面积较大，巴州区、恩阳区和平昌县适宜种植发生率较高。适宜种植区主要分布在平昌县云台、白衣、南江县元潭、正直以及恩阳区青木、下八庙等区域（见图 4-1）。

表 4-2 芍药在巴中种植适宜性分布面积统计

	不适宜		适宜		最适宜	
	面积/km ²	百分比	面积/km ²	百分比	面积/km ²	百分比
巴州区	616.39	43.92%	644.14	45.90%	142.94	10.19%
恩阳区	521.85	45.21%	545.81	47.28%	86.70	7.51%
南江县	2326.80	68.67%	826.90	24.40%	234.63	6.92%
平昌县	959.57	43.06%	1038.30	46.59%	230.54	10.35%
通江县	2720.64	66.02%	1168.68	28.36%	231.33	5.61%
巴中市	7145.25	58.11%	4223.83	34.35%	926.15	7.53%

3.杜仲适宜性分析

杜仲在巴中整体来说适宜种植，适宜种植区域面积 8757.39km²（其中适宜种植 5653.33km²，最适宜种植面积 3104.06km²），占到区域总面积 71.23%（见表 4-3）。相比较来说，通江县、南江县和平昌县适宜种植面积较大，通江县、巴州区和平昌县适宜种植发生率较高，其中通江县优势比较明显，适宜种植面积 3270.85km²，占到区域总面积 79.38%，可以作为巴中杜仲种植主要基地，其分布在通江县至诚、洪口、沙溪等区域（见图 4-2），与《巴中市中医药产业发展规划（2020—2030 年）》中“打造通江县至诚—洪口—沙溪等万亩杜仲产业带”一致。

表 4-3 杜仲在巴中种植适宜性分布面积统计

	不适宜		适宜		最适宜	
	面积/km ²	百分比	面积/km ²	百分比	面积/km ²	百分比
巴州区	329.81	23.50%	635.70	45.30%	437.96	31.21%
恩阳区	421.23	36.49%	526.99	45.65%	206.14	17.86%
南江县	1428.25	42.15%	1250.79	36.91%	709.29	20.93%
平昌县	508.76	22.83%	1037.30	46.55%	682.37	30.62%
通江县	849.80	20.62%	2202.55	53.45%	1068.30	25.93%
巴中市	3537.84	28.77%	5653.33	45.98%	3104.06	25.25%

4.黄精适宜性分析

黄精在巴中整体来说适宜种植，适宜种植区域面积 7383.83km²（其中适宜种植 5021.28km²，最适宜种植面积 2362.55km²），占到区域总面积 60.05%（见表 4-4）。相比较来说，通江县、南江县和平昌县适宜种植面积较大，恩阳区、巴州区和平昌县适宜种植发生率较高，其中恩阳区优势比较明显，适宜种植面积 1122.16 km²，占到区

域总面积 97.21%，可以作为巴中黄精种植主要基地。适宜种植区主要分布恩阳区花丛、尹家、双胜、南江县长赤等区域。

表 4-4 黄精在巴中种植适宜性分布面积统计

	不适宜		适宜		最适宜	
	面积/km²	百分比	面积/km²	百分比	面积/km²	百分比
巴州区	471.24	33.58%	636.93	45.38%	295.30	21.04%
恩阳区	32.20	2.79%	647.16	56.06%	475.00	41.15%
南江县	1815.18	53.57%	1133.60	33.46%	439.55	12.97%
平昌县	669.88	30.06%	984.95	44.20%	573.59	25.74%
通江县	1922.89	46.66%	1618.64	39.28%	579.12	14.05%
巴中市	4911.40	39.95%	5021.28	40.84%	2362.55	19.22%

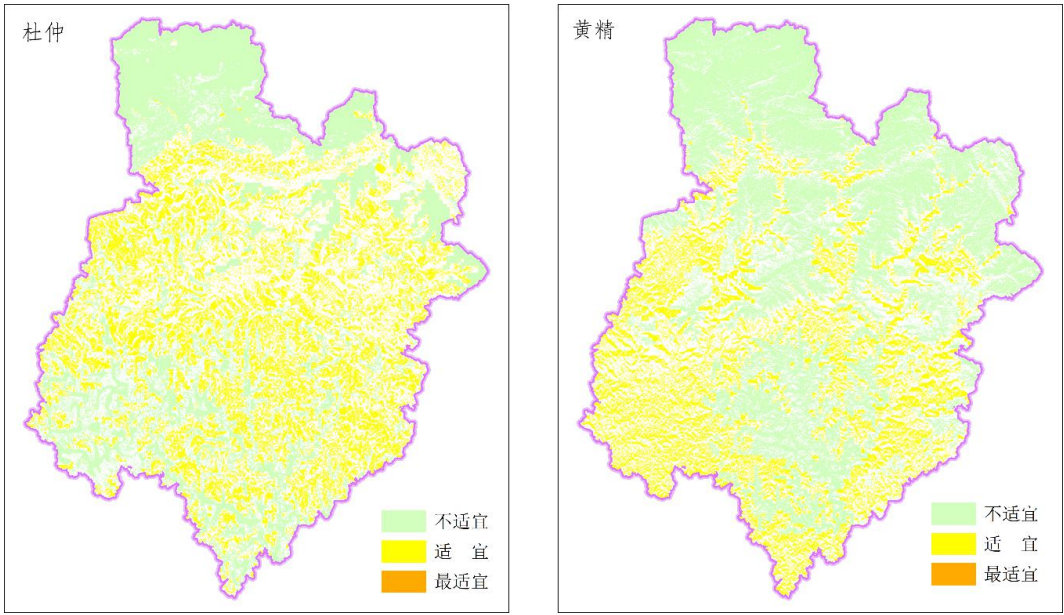


图 4-2 巴中市杜仲、黄精适宜性种植分布图

此次运用 AHP 和 GIS 技术对巴中道地药材主导品种适宜性种植区域进行了划分，调研的丹参、芍药、杜仲、黄精等药材种植点位基本都分布在所划分的适宜分布区域，表明运用 AHP 和 GIS 技术在植物资源的适宜性划分中具有可行性，可为其他植物资源适宜性划

分提供参考。此次通过对丹参、杜仲、芍药、黄精道地药材在巴中适宜性种植区域评价，适宜种植面积比重较大，反映出巴中道地药材主导品种在巴中适宜种植，全市道地药材主导品种确定科学合理。

参考文献

- 查良平,杨俊,彭华胜,等. 四大产地白芍的种质调查 [J]. 中药材,2011, 34 (07): 1037-1040.
- 陈文霞,谈献和. 中药材栽培与土壤生态因子的关系 [J]. 中国中医药信息杂志,2006, (12): 48-49.
- 崔馨燕,刘铭,但雨柔,等. 多花黄精高效栽培技术 [J]. 耕作与栽培, 2021, 41 (06): 114-115+122.
- 戴琴,王晓霞,黄勤春,等. 毛竹林下多花黄精仿野生栽培技术 [J]. 中国现代中药,2014, 16 (03): 205-207.
- 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 (04): 755-763.
- 杜红岩,孙向阳,杜兰英,等. 不同产地杜仲叶含胶特性的变异规律 [J]. 北京林业大学学报,2005, (05): 103-106.
- 杜平海,丁利超,田苏奎,等. 多花黄精林下仿生态栽培关键技术 [J]. 种子科技,2024, 42 (12): 60-62+77.
- 杜平海,丁利超,田苏奎,等. 多花黄精林下仿生态栽培关键技术 [J]. 种子科技,2024, 42 (12): 60-62+77.
- 高铭,倪淑萍,沈亮. 基于 MaxEnt 模型的丹参全球潜在生态适宜产区分析 [J]. 中国药房,2018, 29 (16): 2243-2247.
- 郭宝林,冯毓秀,赵杨景. 丹参种质资源研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2002, (07): 15-18.
- 何方,张康健,王承南,等. 杜仲产区的划分 [J]. 经济林研究,2010, 28

(02): 86-87.

蒋燕锋,刘跃钧,蓝云龙,等. 不同种源多花黄精生物生态特性研究 [J].

中国现代中药, 2016, 18 (12): 1616-1620.

景鹏飞. 丹参组药用植物资源调查和多样性评价研究[D]. 陕西师范大学, 2013.

康传志,王青青,周涛,等. 贵州杜仲的生态适宜性区划分析 [J]. 中药材, 2014, 37 (05): 760-766.

李浚明,陈光友. 杜仲的研究与开发 [J]. 生物学通报, 1996, (06): 43-44.

刘年元,张金旺,梁忠厚. 多花黄精林下栽培技术 [J]. 林业与生态, 2021, (08): 40-41.

刘攀峰,王璐,杜庆鑫,等. 杜仲在我国的潜在适生区估计及其生态特征分析 [J]. 生态学报, 2020, 40 (16): 5674-5684.

刘跃钧,曾岳明,叶征莺,等. 多花黄精栽培技术研究进展 [J]. 中国现代中药, 2022, 24 (04): 715-720.

吕金嵘,郭兰萍,黄璐琦,等. 我国野生芍药 *Paeonia lactiflora* 适宜生长区的初步探讨 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34 (07): 807-811.

吕长平,刘林艳. 高温胁迫对芍药部分生理生化指标的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34 (06): 664-667.

彭静,彭信海,罗先权,等. 黄精林下栽培技术 [J]. 湖南林业科技, 2016, 43 (06): 105-108.

沈琼桃,黄云鹏,王邦富,等. 海拔梯度对多花黄精生长及多糖含量的

影响 [J]. 福建林业科技, 2016, 43 (03): 157-160.

唐建军,张禄源,何鸣筱. 杜仲的研究与应用进展 [J]. 植物学通报, 1998, (06): 48-52.

王瑗琦,佟长辉,邵爱娟,等. 杜仲保护生物学研究概况 [J]. 中国中医药信息杂志, 2003, (02): 39-41.

王邦富. 不同坡向和坡位毛竹林冠下多花黄精的生长效果分析 [J]. 宁夏农林科技, 2015, 56 (09): 19-21.

王宝川,刘晨,田孟良. 应用层次分析法和地理信息系统技术对四川杜仲适宜栽培区划 [J]. 东北林业大学学报, 2020, 48 (09): 20-25.

温作荣,张旭,宁祎琳,等. 不同生境条件对林下多花黄精生长及有效成分的影响研究进展 [J]. 竹子学报, 2024, 43 (01): 81-87.

吴建国. 气候变化对 7 种乔木植物分布的潜在影响 [J]. 植物分类与资源学报, 2011, 33 (03): 335-349.

向青松. 巴中市土地利用空间格局变化及驱动力分析[D]. 成都理工大学, 2014.

熊斌梅,雷耘,汪正祥,等. 地形对七姊妹山自然保护区植物丰富度及分布格局的影响 [J]. 西北植物学报, 2016, 36 (11): 2307-2313.

叶萌,郭东力,罗承德. 四川“三木药材”的产业化探讨 [J]. 四川林业科技, 2006, (03): 88-90.

张辰露,梁宗锁,郭宏波,等. 不同气候区丹参生物量、有效成分变化与气象因子的相关性研究 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40 (04): 607-613.

- 张鸿杰,陶珊,施田田,等. 巴中市不同产区丹参种植现状调查研究 [J]. 现代农业科技, 2019, (23): 71-73+75.
- 张继雨,任庆国,郑守如,等. 芍药露地高效栽培管理技术 [J]. 农业科技通讯, 2023, (08): 241-244.
- 张维涛,刘湘民,沈绍华,等. 中国杜仲栽培区划初探 [J]. 西北林学院学报, 1994, (04): 36-40.
- 张艳,何伟. 多花黄精高效栽培技术 [J]. 农技服务, 2021, 38 (01): 92-93.
- 赵琦,潘玉玲,窦海涛,等. 不同产地和品系对丹参产量及活性成分含量的影响 [J]. 中药材, 2016, 39 (09): 1935-1939.
- 郑梅霞,陈宏,苏海兰,等. 多花黄精林下仿生态栽培关键技术 [J]. 福建农业科技, 2021, 52 (06): 36-39.
- 周政贤,郭光典. 我国杜仲类型、分布及引种 [J]. 林业科学, 1980, (S1): 84-91.
- 朱柏雨. 药用川芍药新品种测试及抗逆性研究[D]. 四川农业大学, 2019.
- 朱志柳,徐端妙,张学鑫,等. 不同海拔对林下多花黄精生长的影响 [J]. 浙江农业科学, 2022, 63 (03): 500-502+572.