

基于遥感与 GIS 的四川省川牛膝资源适宜性分布研究

尚 雪^{1,2}, 董丽君^{1,2}, 文路军^{1,2}, 彭文甫^{1,2*}, 方清茂³, 徐新良⁴

1. 四川师范大学 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 四川 成都 610068

2. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川 成都 610068

3. 四川省中药研究所, 四川 成都 610041

4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院地理所数据中心, 北京 100101

摘要: **目的** 对川产道地药材川牛膝资源的适宜性进行评价, 为中药资源监测提供参考。**方法** 本实验以四川省为例, 利用遥感和地理信息系统 (GIS) 技术, 结合适宜川牛膝生长的生态环境因子, 采用层次分析法和空间分析法, 从地形、气候、土壤、植被 4 个方面对川牛膝适宜性分布进行研究, 按照不同指标因子分等, 得到四川省川牛膝适宜区分等图, 并结合野外实测进行验证, 对道地药材川牛膝进行研究。**结果** 四川省的川牛膝资源主要适宜分布在乐山、雅安、凉山彝族自治州、宜宾等 19 个市、州, 共包含 91 个县区, 适宜性分布总面积约为 3 633.52 km², 占四川省总面积的 0.76%。根据相关数据、文献资料记载和野外调查研究可以得出, 通过遥感与 GIS 技术分析所得适宜性结果与川牛膝资源实际分布范围基本吻合。**结论** 利用遥感与 GIS 技术能够准确、快速地对中药材进行适宜性分析, 该方法具有可行性, 可为全面调查川牛膝资源和其他中药材资源的分布、保护以及合理开发利用提供数据支持与科学依据。

关键词: 川牛膝; 遥感; 地理信息系统; 适宜性; 地形; 气候; 土壤; 植被

中图分类号: R282.23 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2016)24-4445-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.24.025

Study on suitable distribution areas of *Cyathula officinalis* in Sichuan province based on remote sensing and GIS

SHANG Xue^{1,2}, DONG Li-jun^{1,2}, WEN Lu-jun^{1,2}, PENG Wen-fu^{1,2}, FANG Qing-mao³, XU Xin-liang⁴

1. Key Lab of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China

2. The Institute Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China

3. Sichuan Institute of Traditional Chinese Materia Medica, Chengdu 610041, China

4. Data Center for Resources and Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Objective To evaluate the suitability of *Cyathula officinalis* resources grown in Sichuan province, and provide a reference of the monitoring for traditional Chinese medicine resource. **Methods** Taking the planting of *C. officinalis* in Sichuan province as an example, The topography, climate, soil, and vegetation of *C. officinalis* were researched using remote sensing and GIS techniques, binding environment factors in growing and adopting the analytic hierarchy process (AHP) and spatial analysis method. According to the different classification of index factors, the classification map of the suitable area for *C. officinalis* was obtained and the field measurements were combined to verify. **Results** The *C. officinalis* resources in Sichuan province were mainly distributed in about 19 cities or autonomous prefectures such as Leshan City, Ya'an City, Yi Autonomous Prefecture of Liangshan, and Yibin City with suitability distribution areas of 3 633.52 km² approximately and accounting for 0.76% of the total area. According to the field investigation, related documents, and information records, the suitability distribution based on RS and GIS correspond with the actual distribution areas of *C. officinalis* resources. **Conclusion** It is a feasible method to divide the suitability distribution area of *C. officinalis* Kuan by using RS and GIS as quickly and accurately as possible. It can also provide a support on scientific and date basis to a complete investigation on suitable distribution areas, protection, rational development and utilization of *C. officinalis* and other medical materials.

Key words: *Cyathula officinalis* Kuan; remote sensing; GIS; suitability; topography; climate; soil; vegetation

收稿日期: 2016-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371125)

作者简介: 尚 雪 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为遥感技术与应用。Tel: 18328018002 E-mail: scher1@163.com

*通信作者 彭文甫 (1964—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为环境遥感。Tel: 18080901466 E-mail: pwfzh@126.com

近年来, 由于对中药材需求量的扩大以及对环境的破坏, 很多中药资源的质量以及品种数量已经不能满足市场需求。因此, 目前的热点问题就是需要重新对中药资源进行调查。传统的中药资源调查采用的是野外实地调查与药材资源历史资料的系统整理相结合, 从而进行综合分析, 最后确定中药资源的蕴藏量和产量的方法。这种调查方法受主观因素影响较大, 缺乏科学性^[1]。因此, 利用新技术对中药资源进行调查研究成为目前面临的首要问题。

近年来, “3S” 技术在中药资源研究和保护中的应用逐渐增加, 展现出良好的前景^[2]。目前, 国内已经有许多专家学者开始利用遥感和地理信息系统 (GIS) 技术对中药资源进行研究, 并取得了一系列优秀成果。陈士林等^[3]利用遥感技术对人参种植区域的人参种植面积进行调查, 建立了人参资源遥感调查的技术路线和方法, 并通过抽样调查对人参进行了产区面积测算和估产; 金云翔等^[4]利用 GIS 空间分析方法对冬虫夏草的空间分布区域进行了分析, 证实了空间分析方法在冬虫夏草资源调查评价上具有一定的可行性, 为资源调查等相关研究提供方法支持; 蒋舜媛等^[5]以野生宽叶羌活分布区最适宜生长环境因子为依据, 结合中药材产地适宜性分析地理信息系统 (TCMGIS-I), 区划宽叶羌活全国的适宜产地, 其结果具有一定的科学性和准确性; 陈君等^[6]应用 TCMGIS-I, 以内蒙古阿拉善盟及新疆北疆野生肉苁蓉分布区的最适宜生长环境因子为依据, 分析了肉苁蓉在全国适宜产地, 为其科学区划提供参考; 张小波等^[7]以野生稀有种药用植物资源遥感监测研究的操作流程和实验为基础, 论述了利用遥感技术对野生稀有种中药资源进行监测的原理、方法、内容以及应该遵循的原则和标准; 调查显示, 已有众多专家学者对冬虫夏草、苍术、银杏、川贝母、人参、沙棘、川芎等多种中药资源进行了适宜性评价, 而对道地药材川牛膝适宜性分析较少。

川牛膝是苋科多年生草本植物川牛膝 *Cyathula officinalis* Kuan 的干燥根, 属传统道地药材, 也是常用中药材之一, 近年来国内外需求也在逐步增加。由于长期栽培管理粗放、品种退化和自然杂交导致的混杂等因素, 川牛膝存在着整体品质下降等问题, 有待进一步开发利用。本实验依据四川省中药研究所提供的相关数据和文献

资料调查数据, 以四川省为例, 结合川牛膝生长的环境因子, 选取适宜其生长的生态环境指标, 采用遥感和 GIS 技术相结合的方法对川牛膝进行研究, 确定其适宜分布区, 最后通过 GPS 野外实测进行验证, 能够比较科学地分析川牛膝的分布状况, 可为合理开发利用和保护川牛膝资源提供科学依据。同时, 可以选择与其生长环境相似的适宜区域, 发展规模化人工栽培, 为道地药材川牛膝的生产和发展做出贡献。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究的主要数据包括: ①高程数据 (DEM) 空间分辨率 30 m×30 m, 来源于 USGS; ②气象栅格数据, 来源于 CERN 生态综合数据库及共享平台; ③四川省 TM、ETM 遥感影像, 数据来源于中国科学院遥感与数字地球研究所 (<http://eds.ceode.ac.cn>); ④土壤类型数据, 来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>); ⑤四川省县级行政矢量边界, 来源于四川师范大学西南土地资源与评价教育部重点实验室; ⑥手持 GPS 野外实地调研采样数据。

1.2 研究方法

1.2.1 适宜性分析流程 结合道地药材川牛膝对环境因子的要求, 首先确定影响川牛膝资源生长的环境因子; 其次采用层次分析法确定各环境因子的权重; 最后结合遥感和 GIS 技术进行空间分析, 得到道地药材川牛膝的适宜性分布范围分等图和适宜性区域面积^[8]。

1.2.2 适宜性评价因子选取 评价因子的选取是对道地药材川牛膝进行适宜性评价的关键。中药材的分布主要受到地形地貌、气候、土壤、植被、水文等因素的影响^[9]。本研究将文献资料与已获取的调查信息相结合, 研究结合川牛膝的生长特性, 选取直接影响川牛膝生长的地形、气候、土壤、植被这 4 个评价指标作为划分依据。其中, 地形因子直接或间接影响着川牛膝的生长发育^[10], 海拔高度、坡向、坡度影响着光、温度、水、土壤肥力的再分配, 因此在地形因子中选取适宜高程、适宜坡向、适宜坡度作为二级指标; 气候因子作为主要的环境因子影响着中药材的生长发育和品质^[11-12], 其中热量和水分是影响川牛膝生命活动的必要因子, 在最适宜温度下, 川牛膝正常生长发育, 而低于最低温度或者高于最高温度时,

其生长就会受阻。同时水分过多或过少都不利于川牛膝的生长。因此在气候因子中选取年均温、1 月均温、7 月均温、年降水量作为二级指标；土壤为药用植物生长提供营养，影响其代谢产物的形成和积累，是中药材最基本的要素^[13]。川牛膝喜生长在土层深厚、富含腐殖质、湿润、排水良好的土壤上，因此选取适宜的土壤类型作为二级指标；川牛膝喜凉爽、潮湿、阳光充足，同时怕酷热气候，故多生长在林缘或草地中，因此选取适宜川牛膝生长的植被类型作为二级指标。最终建立四川地区川牛膝适宜性分布研究的主要影响因素指标体系。

1.2.3 适宜性评价因子权重确定 采用层次分析法确定各个评价因子的权重。按 1~9 标度表赋值建立判断矩阵依据，比较每一层对上一层因素的影响，每次都取该层的 2 个元素进行相互比较，全部比较后将结果构成比较矩阵。对计算矩阵的最大特征根对应特征向量和最大特征根进行比较，并对其结果进行一致性检验^[14]。由此得出各评价指标权重（表 1）。

表 1 四川省川牛膝适宜性分布影响因素权重

Table 1 Weights of each factor for *C. officinalis* in Sichuan province

准则层		决策层	
影响因素	权重	影响因素	权重
地形因子	0.30	适宜高程	0.40
		适宜坡向	0.30
		适宜坡度	0.30
气候因子	0.40	年降水量	0.25
		年均温	0.25
		1 月均温	0.25
		7 月均温	0.25
土壤因子	0.15	适宜土壤类型	1.00
植被因子	0.15	适宜植被类型	1.00

1.2.4 适宜性评价 依据影响因子的不同权重进行加权叠加，对川牛膝资源进行适宜性评价。具体适宜性计算公式如下^[15]。

$$S = \sum_{i=1}^n A_i B_i$$

S 为道地药材川牛膝的适宜性， n 为评价因子的个数， A_i 为各评价因子的计算值， B_i 为各指标因子的权重

2 结果与分析

2.1 适宜性评价因子获取

2.1.1 地形因子 中药材主要分布于山区、丘陵、平原等大陆地貌类型中，海拔高度、坡度、坡向等因素影响着中药材的生长和分布。根据四川省中药研究所提供的道地药材川牛膝生态因子相关数据可得，川牛膝多栽培于海拔 1 200~2 400 m，地势以向阳和排灌良好的平地或缓坡为宜。结合相关文献记载^[16-17]，川牛膝在我国主要生长在海拔 1 300~2 400 m 的地区，在湖南隆回县小沙江 1 200 m 左右也有川牛膝的分布，因此本研究将适宜川牛膝生长的海拔仍定为 1 200~2 400 m。川牛膝一般生长在阳坡，即东南、西南方向，因此适宜性坡向定为东南坡和西南坡。一般情况下，坡度大于 18°就不适宜发展种植业，我国政府要求，坡度大于 25°的土地不得发展种植业。结合川牛膝适宜生长在排灌良好的平地或缓坡，考虑进行规模化人工栽培方面的影响，川牛膝适宜性坡度定为 0~25°。利用 ArcGIS10.0 的空间分析工具，依据已获取的四川省 DEM 数据影像图，可以提取出川牛膝生长的适宜高程范围、适宜坡向范围、适宜坡度范围（图 1）。

2.1.2 气候因子 气候因素是中药材生长发育的基本保障。查阅相关文献报道^[16]，赵华杰针对全国川牛膝资源适宜分布气候范围的研究结果分别是年平均气温 14~18 ℃，年降水量约 1 000 mm。而本次针对四川省川牛膝资源适宜性分布进行研究，采用四川省中药研究所提供的相关数据，即温度条件为：年均气温约 15 ℃，1 月平均气温 3~8 ℃，7 月平均气温 25~29 ℃；降水条件为：年降水量约 1 200 mm。利用 ArcGIS10.0 软件，首先对获取的全国年均温栅格影像、全国 1 月平均气温栅格影像、全国 7 月平均气温栅格影像以及全国年降水栅格影像进行预处理，最后使用空间分析功能提取出四川省适宜川牛膝生长的适宜年均温范围、适宜 1 月均温范围、适宜 7 月均温范围、适宜年降水量范围（图 1）。

2.1.3 土壤因子 不同中药材要求的土壤类型均有较大的差异。通过四川省中药研究所提供的数据以及相关文献报道^[16-17]可得，适宜川牛膝生长的土壤主要为土层深厚、富含有机质、疏松肥沃的山地灰棕壤、平地黄壤及紫色土。利用 ArcGIS10.0 软件的空间分析功能，从全国土壤类型空间分布数据中提取出四川省适宜川牛膝生长的土壤类型数据的分布范围（图 1）。

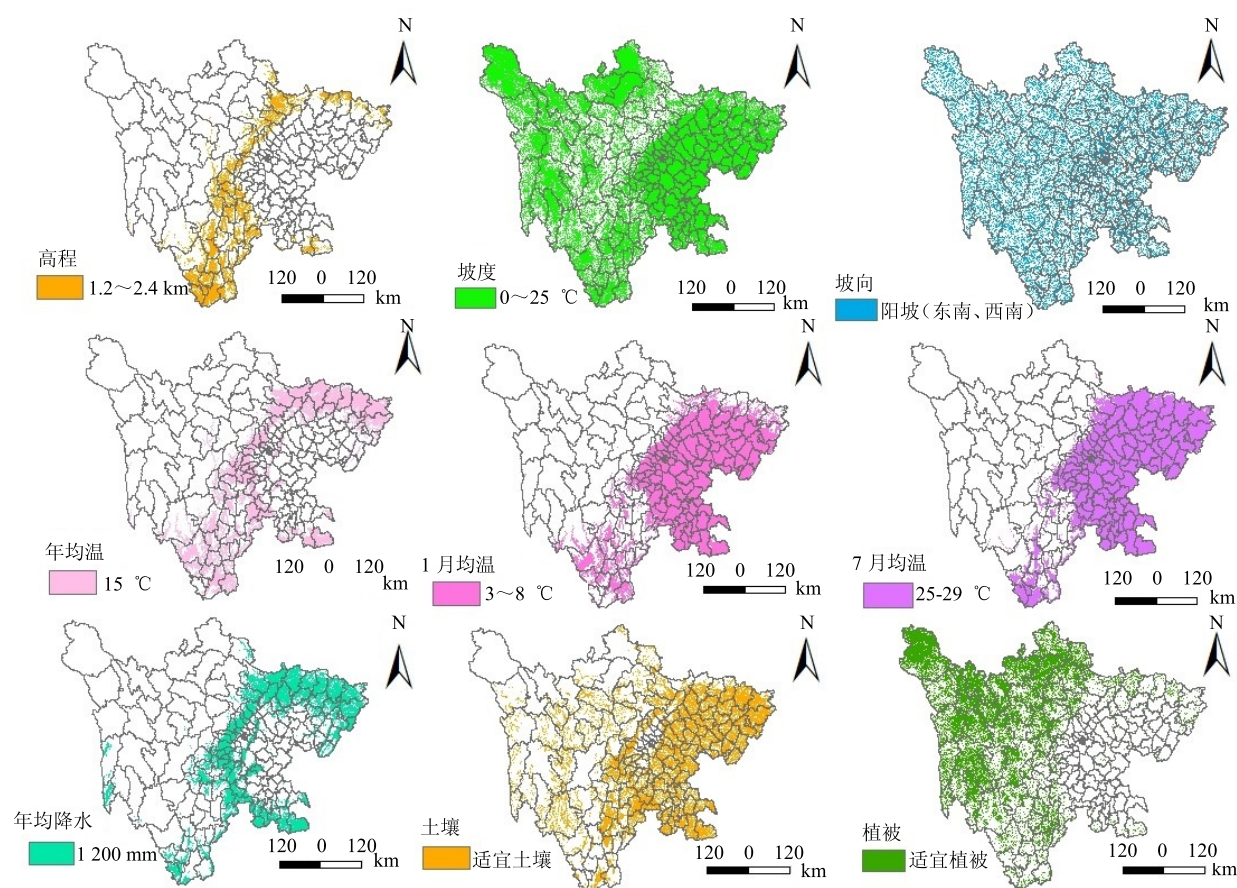


图 1 四川省川牛膝适宜性评价因子分布图

Fig. 1 Distribution plot of *C. officinalis* suitability evaluation factors in Sichuan province

2.1.4 植被因子 通过四川省中药研究所提供的数据以及相关人员进行野外实地采样, 得出川牛膝喜凉爽、潮湿、阳光充足的林缘或草地、怕酷热气候。因此, 为了更准确地提取出川牛膝资源的生长范围, 本研究使用 ENVI5.1 软件对 2010 年四川省的遥感影像进行解译, 并通过野外调查验证, 得到四川省土地利用现状信息。利用 ArcGIS10.0 软件的空间分析功能, 从已经处理好的四川省土地利用图中提取出适宜川牛膝生长的植被信息 (图 1)。

2.2 川牛膝资源适宜性评价

根据分析分别得出 9 个适宜性评价因子的结果, 结合 GIS 的空间分析功能, 实现川牛膝资源的适宜性分析评价。依据影响因子的权重, 进行加权叠加, 最终得到川牛膝适宜性分布范围, 得到的评价结果值越大, 表明适宜性越好。相反, 评价结果值越小, 表明适宜性越差。将计算得到的结果采用百分制形式 (0~100 分), 将评价因子等级划分为 4

级, 即最适宜区 (90~100 分)、适宜区 (80~90 分)、次适宜区 (70~80 分)、不适宜区 (0~70 分) [5]。通过 GIS 分析, 得到道地药材川牛膝在四川省适宜性分布范围 (图 2)。通过对四川省川牛膝资源的适宜性分布区域进行研究, 可得到以下结果, 川牛膝主要适宜分布在乐山、雅安、泸州、宜宾、攀枝花、凉山彝族自治州、甘孜藏族自治州、阿坝藏族自治州等地。将四川省的行政边界图叠加到川牛膝资源的适宜区分等图上, 可以提取出川牛膝资源的适宜性分布面积, 见表 2。

其中, 最适宜区包括乐山、雅安、凉山彝族自治州、宜宾、泸州、绵阳、阿坝藏族自治州 7 个市、州, 适宜性总面积为 210.83 km², 占最适宜区总面积的 0.1%; 适宜区包括乐山、雅安、宜宾、凉山彝族自治州、泸州、甘孜藏族自治州等 12 个市、州, 适宜性总面积为 355.93 km², 占适宜区总面积的 0.09%; 次适宜区包括乐山、雅安、凉山彝族自治州、宜宾、眉山等 19 个市、州, 次适宜性总面积

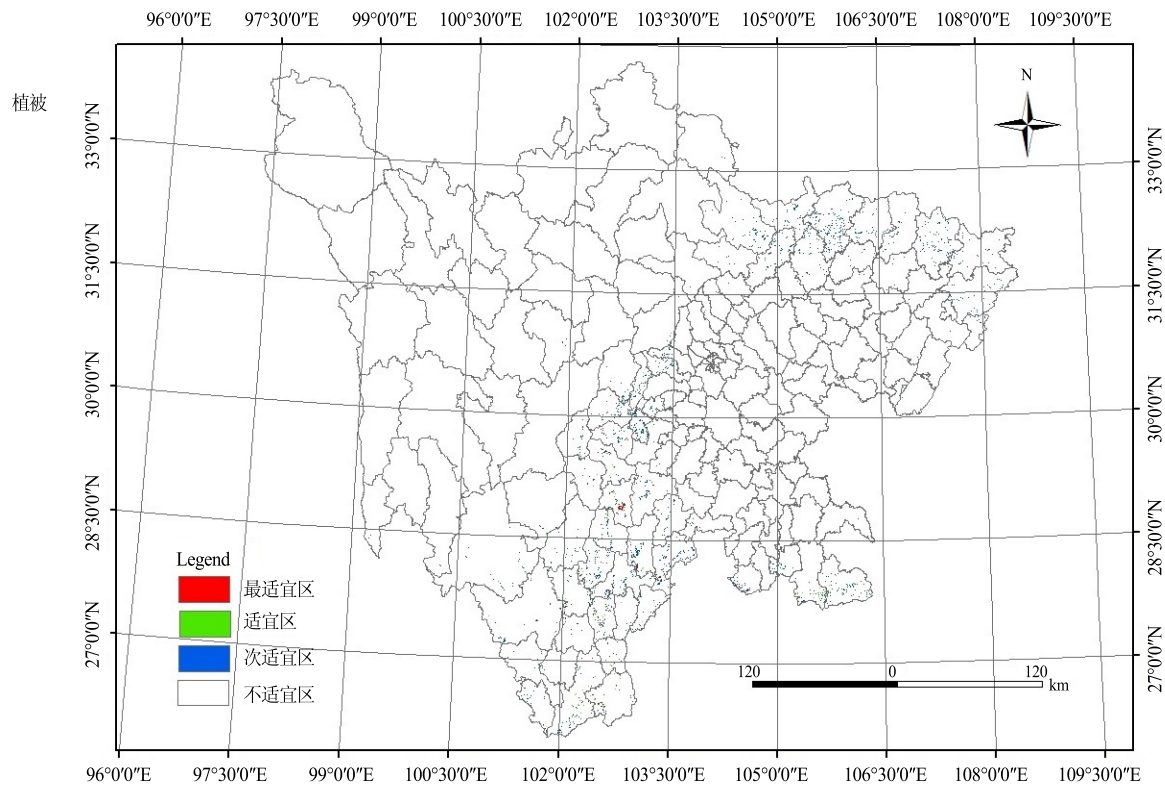


图 2 川牛膝适宜区分等图

Fig. 2 Integrated classification plot of *C. officinalis* suitable distribution areas

表 2 四川省各市川牛膝资源适宜性分布区域

Table 2 Suitable distribution of *C. officinalis* resources each city, Sichuan Province

区域	最适宜区		适宜区		次适宜区	
	面积/km ²	占该地域总面积/%	面积/km ²	占该地域总面积/%	面积/km ²	占该地域总面积/%
乐山市	2.11	0.02	2.99	0.02	46.02	0.36
内江市	—	—	—	—	1.67	0.03
凉山彝族自治州	151.36	0.25	213.11	0.35	927.88	1.54
南充市	—	—	—	—	9.68	0.08
宜宾市	6.07	0.05	8.05	0.06	104.15	0.78
巴中市	—	—	—	—	181.32	1.48
广元市	—	—	—	—	465.05	2.85
广安市	—	—	—	—	3.08	0.05
德阳市	—	—	0.89	0.01	7.06	0.12
成都市	—	—	1.93	0.02	85.25	0.70
攀枝花市	—	—	7.03	0.09	66.86	0.90
泸州市	12.68	0.10	49.92	0.41	137.42	1.12
甘孜藏族自治州	—	—	8.13	0.01	59.79	0.04
眉山市	—	—	0.97	0.01	29.81	0.41
绵阳市	8.98	0.04	4.04	0.02	213.35	1.05
自贡市	—	—	—	—	4.23	0.10
达州市	—	—	—	—	157.89	0.95
阿坝藏族自治州	3.93	0.01	25.85	0.03	152.82	0.18
雅安市	25.70	0.17	33.02	0.22	413.43	2.70
合计	210.83	0.10	355.93	0.09	3 066.76	0.64

为 3 066.76 km², 占次适宜区总面积的 0.64%。在最适宜区中, 凉山彝族自治州最适宜性分布面积最大, 约为 151.36 km², 占该州总面积的 0.25%, 乐山市的最适宜性分布面积最小, 约为 2.11 km², 占该州总面积的 0.02%; 在适宜区中, 凉山彝族自治州的适宜性分布面积最大, 约为 213.11 km², 占该州总面积的 0.35%, 德阳市的适宜性分布面积最小, 约为 0.89 km², 占该州总面积的 0.01%。在次适宜区中, 凉山彝族自治州的适宜性分布面积最大, 约为 927.88 km², 占该州总面积 1.54%, 内江市的适宜性分布面积最小, 约为 1.67 km², 占该州总面积的 0.03%。根据分析, 凉山州的适宜性面积最大, 在川牛膝的培育中可以发展规模化人工栽培。

依据相关文献资料记载^[18-21]以及结合全国第 3 次药材资源普查结果显示, 川牛膝主要分布在雅安市的的天全县、宝兴县、荥经县、芦山县、石棉县、

汉源县, 乐山市的峨眉山市、金口河区、峨边彝族自治县, 眉山市的洪雅县, 凉山彝族自治州的甘洛县、越西县、喜德县、冕宁县、德昌县, 攀枝花市的盐边县。本次系统分析川牛膝适宜区范围包含了上述所记载的所有县市, 由此得出通过 GIS 分析的结果与川牛膝实际分布地区相符合。

2.3 结果验证

野外样方数据采集也是建立本研究的重要环节, 本次调查主要对四川省部分地区进行实地考察。本次川牛膝资源的适宜性分布主要采集了 30 个样地 (图 3), 其中有 26 个样地是川牛膝资源分布较为集中的地方, 利用手持 GPS 进行精确定位和数据采集。通过 GIS OFFICE 将野外测量所采集到的数据文件导入 ArcGIS10.0 中, 发现所选取的区域与通过 ArcGIS 软件分析所得的适宜分布范围结果基本吻合, 进一步说明利用 GIS 对数据进行分析的合理性。

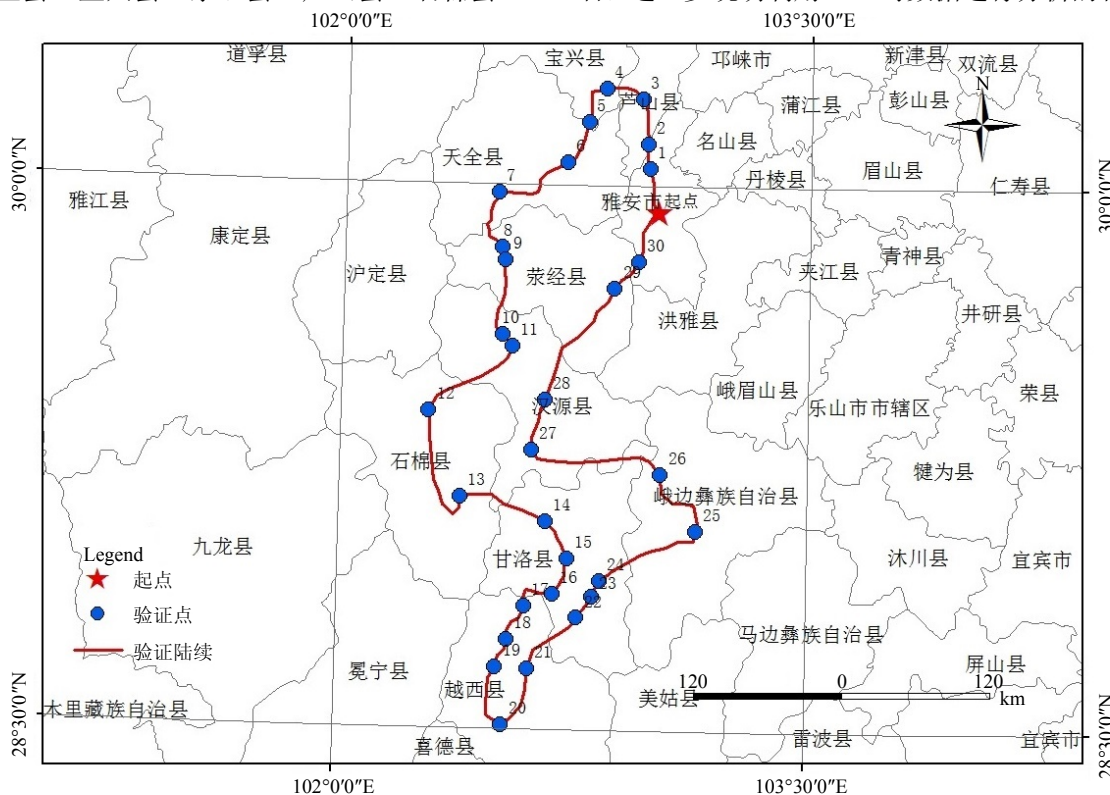


图 3 川牛膝野外调查图

Fig. 3 Site distribution for fields survey on *C. officinalis*

3 讨论

道地药材川牛膝用途广泛, 在我国有较长的民间药用和临床应用历史, 经济价值较高。但由于近年来种质存在不同程度的混杂, 药品质量参差不齐, 有必要建立最佳生产适宜区, 保证药材的品质^[16-17]。因此, 本实验应用遥感与 GIS 技术, 研究川牛膝资

源的适宜分布范围, 结果表明, 通过分析得到的结果与野外验证得到的结果基本吻合, 具有较高的精度, 该方法具有可行性, 可以为中药材适宜性分布研究提供依据, 因此可用于类似中药材的分析。通过分析, 可以看出川牛膝的分布区主要是凉爽、潮湿、阳光充足的地方, 具有区域性。因此, 进行

规模化人工栽培基地选择时,首先要考虑川牛膝生长的地形、气候、土壤、植被等条件,据此选择适宜种植区。其次还需考虑其他非环境因素如:社会因素、经济因素以及社会经济发展的相互作用对其生长的影响,从而进行比较全面的评价,进而确定最佳种植区,以获得较好的经济和社会效益^[7]。

与此同时,遥感影像的分类精度也会影响到研究结果的精度,因此如果采用更高分辨率的遥感影像数据,便可以进一步提高分类精度,使得研究结果更精确。本研究仅仅是对川牛膝的分布适宜区进行提取和分等。应用 3S 技术,对川牛膝的种植面积和产量的动态监测仍是需要重点研究的问题。

参考文献

- [1] 孙宇章,黄璐琦,郭兰萍,等. 遥感技术在中药资源调查中的应用 [J]. 中国现代医药, 2006, 8(9): 7-10.
- [2] 刘金欣,潘敏,李耿,等. 3S 技术在药用植物资源调查研究中的应用 [J]. 中草药, 2016, 47(4): 695-700.
- [3] 陈士林,张本刚,张金胜,等. 人参资源储藏量调查中的遥感技术方法研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2005, 7(4): 37-43.
- [4] 金云翔,徐斌,杨秀春,等. 青藏高原那曲地区冬虫夏草资源分布空间分析方法 [J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1532-1538.
- [5] 蒋舜媛,孙辉,周毅,等. 宽叶羌活适生地分析及数值区划研究 [J]. 中草药, 2009, 40(4): 638-643.
- [6] 陈君,谢彩香,陈士林,等. 濒危药材肉苁蓉产地适宜性数值分析 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(14): 1396-1401.
- [7] 张小波,孙宇章,黄璐琦. 野生稀有种药用植物遥感监测方法及其标准的建立 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(13): 1741-1744.
- [8] 董张玉,刘殿伟,王宗明,等. 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价 [J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1503-1511.
- [9] 李芬,吴志丰,徐翠,等. 三江源区冬虫夏草资源适宜性空间分布 [J]. 生态学报, 2014, 34(5): 1318-1325.
- [10] 曹博. 山茱萸资源在分布预测及影响有效成分形成的环境因子分析 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2014.
- [11] 冯旭芹,崔秀明,陈中坚,等. 三七有效成分与气候生态因子的相关性分析 [J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 16-18.
- [12] 姚绍嫦,凌征柱,蓝祖裁,等. 广西道地药材山豆根的适宜气候条件分析 [J]. 中国农业气象, 2013, 34(6): 673-677.
- [13] 辛博. 产地气候、土壤因子及生长年限对黄芪药材质量的影响研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2015.
- [14] 杨存建,陈静安,白忠,等. 利用遥感与 GIS 进行四川省生态安全评价研究 [J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(5): 701-706.
- [15] Stow D, Hamada Y K, Coulter L, *et al.* Monitoring shrubland habitat changes through object-based change identification with airborne multi-spectral imagery [J]. *Remote Sens Environ*, 2008, 112: 1051-1061.
- [16] 张祎楠. 川牛膝种质资源评价研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2013.
- [17] 赵华杰,舒光明,周先健,等. 我国川牛膝资源分布及生产状况调查 [J]. 资源开发与市场, 2012, 28(5): 414-415.
- [18] 张祎楠,裴瑾,马云桐,等. 四川产栽培川牛膝遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. 中成药, 2013, 35(8): 1724-1729.
- [19] 廖彭莹,王东,杨崇仁,等. 苋科牛膝资源植物的化学成分研究进展 [J]. 中草药, 2013, 44(14): 2019-2026.
- [20] 李成,马新建. 道地药材之怀牛膝、川牛膝的草本考证 [J]. 中医学报, 2011, 26(11): 1336-1337.
- [21] 叶品良,彭娟,刘娟. 川牛膝研究概况 [J]. 中药医学报, 2007, 35(2): 51-52.