

川黄柏和关黄柏全球产地生态适宜性分析

杨俐^{1,2}, 孟祥霄², 李洪运¹, 丁丹丹², 孙成忠³, 叶萌^{1*}, 向丽^{2*}

(1. 四川农业大学 林学院, 成都 611130;

2. 中国中医科学院 中药研究所 中药鉴定与安全性检测评估重点实验室, 北京 100700;

3. 中国测绘科学研究院, 北京 100039)

[摘要] 目的: 黄柏是中国传统大宗中药材, “三木药材”之一, 国家二级保护植物, 是退耕还林、天然林保护工程和荒山造林的优良树种, 具有较高的经济和生态价值。根据物种和产地不同, 黄柏分为“川黄柏”和“关黄柏”, 通过产地适宜性研究分析其潜在的适宜分布区, 为正确选择物种及栽培区域提供科学依据。方法: 收集全球道地产区、主产区、野生分布区样点生态信息, 其中川黄柏 364 个样点, 关黄柏 247 个样点, 采用《药用植物全球产地生态适宜性信息系统》(GMPGIS) 分析其全球适宜生长区域。结果: 川黄柏和关黄柏全球适宜分布区域有明显分界, 川黄柏主要分布于亚热带季风气候区, 在亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、大洋洲均有一定面积的最大生态相似度区域, 包括中国、美国、法国、巴西、日本、意大利、新西兰等 65 个国家和地区。关黄柏主要分布于温带季风气候区, 在亚洲、欧洲、北美洲有一定的生态相似度区域, 包括美国、中国、俄罗斯、加拿大等 30 个国家和地区。结论: GMPGIS 分析结果能为黄柏引种时选择正确的基原物种和栽培区域提供科学依据。

[关键词] 川黄柏; 关黄柏; 生态因子; 产地适宜性

[中图分类号] R284.1; R282.2; R282.5; R289; R22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)04-0167-08

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20182491

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20180929.1507.008.html>

[网络出版时间] 2018-09-30 14:22

Globally Ecological Suitability Analysis of *Phellodendron chinense* and *Phellodendron amurense*

YANG Li^{1,2}, MENG Xiang-xiao², LI Hong-yun¹, DING Dan-dan², SUN Cheng-zhong³,
YE Meng^{1*}, XIANG Li^{2*}

(1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Key Laboratory of Beijing for Identification and Safety Evaluation of Chinese Medicine, Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;

3. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

[Abstract] **Objective:** *Phellodendron* Cortex, one of the “three wood medicine materials”, is a Chinese traditional medicinal material and also a national second-class protected plant in China. It is considered as excellent trees for the Natural Forest Conservation Program and the Grain-to-Green Program because of its high economic value and ecological value. The *Phellodendron* Cortex is divided into *Phellodendron chinense* and *P. amurense* according to species and origins. The global potential suitable areas predicted by *Global Geographic Information System for Medicinal Plant* (GMPGIS) can provide data for us to decide which species can be selected

[收稿日期] 20180523(019)

[基金项目] 国家中药标准化项目(ZYBZH-Y-SC-41); 国家科技计划港澳台合作专项(2015DFM30030)

[第一作者] 杨俐, 在读硕士, 从事中药栽培研究, E-mail: 396236977@qq.com

[通信作者] * 叶萌, 博士, 教授, 从事植物资源开发利用工作, E-mail: 691102350@qq.com;

* 向丽, 博士, 副研究员, 从事中药资源工作, E-mail: 915101021@qq.com

in different areas. **Method:** Sample ecological information was collected from global genuine areas, main producing areas and wild distribution areas, and a total of 364 sampling sites of *P. chinense* and 247 sampling sites of *P. amurense* were used by GMPGIS to analyze the suitable growth areas in the world. **Result:** A clear geographical line existed between *P. chinense* and *P. amurense*. *P. chinense* was mainly distributed in tropical monsoon climate and had the most suitable areas in Asia, Europe, North America, South America and Oceania, including 65 countries and regions such as China, the United States, France, Brazil, Japan, Italy and New Zealand. *P. amurense* was mainly distributed in temperate monsoon climate and had the most suitable areas in Asia, Europe, and North America, including 30 countries and regions such as the United States, China, Russia and Canada. **Conclusion:** The results of GMPGIS can provide scientific data for selecting correct species and cultivation areas for *Phellodendron chinense* in future.

[Key words] *Phellodendron chinense*; *Phellodendron amurense*; ecological factor; origin suitability

黄柏是中国传统大宗中药材,药用部位为树皮,在我国已有 2 000 多年药用历史,最早的记载见于《神农本草经》,原名“檟木”,列上品^[1]。黄柏味苦,性寒,具有清热燥湿,泻火除蒸,解毒疗疮的功效^[2],收载于历版《中国药典》(以下简称《药典》)。1963—2000 年版《药典》记载黄柏来源于芸香科植物黄皮树 *Phellodendron chinense* 和黄檗 *P. amurense* 的干燥树皮,前者习称“川黄柏”,后者习称“关黄柏”。2005—2015 年版《药典》将黄柏药材分为黄柏和关黄柏 2 种药材,以黄皮树 *P. chinense* 为药材黄柏基原植物,黄檗 *P. amurense* 为药材关黄柏基原植物(本文为了区分,黄柏为川黄柏和关黄柏统称)。川黄柏主产于四川、重庆、贵州、云南、湖北等地,为川产地道药材^[3],关黄柏主产于黑龙江、辽宁、吉林等省区^[4-6]。黄柏主要有效成分为生物碱,川黄柏和关黄柏在生物碱种类和成分含量上差异显著,川黄柏主要为小檗碱和黄柏碱,关黄柏为小檗碱和巴马汀,且川黄柏中小檗碱含量远高于关黄柏^[5-7]。现代研究表明黄柏具有抗菌、抗炎、抗癌、抗病毒、抗心律失常、抗应激性溃疡、解热、利尿、降压、降血糖等作用。川黄柏和关黄柏在药理药效上的差异研究较少,且由于药材名称和形态上的相似,药材市场和临床应用上二者普遍存在混用现象^[8-10]。

黄柏野生资源在解放初期较多,但随着资源需求的增加,人们随意砍伐,过度利用,加之其自然更新缓慢,导致野生资源锐减,已很难见到大面积的分布。国务院 1987 年颁布了《野生药材资源保护管理条例》,川黄柏和关黄柏被列为第一批国家重点保护野生药材,保护级别为二级,《中国珍稀濒危植物》(1989)和《中国植物红皮书》(1990)也将其列为保护树种,1999 年《国家重点保护野生植物名录》(第一批)将其列为二级保护物种,同时川黄柏也被

确认为贵州珍稀濒危保护植物^[11]。黄柏为“三木药材”之一,除作为传统药材和现代医药原料外,还具有改善土壤、保持水土、保护森林生态系统多样性等作用,在退耕还林、天然林保护工程和荒山造林中占有重要地位^[12-14]。另外,黄柏还可以做工业用材,是生态、经济、社会效益兼备的树种之一,具有较高的生态价值和经济价值。现野生资源量已较难满足市场需求,需要大面积的人工种植,因此通过全球产地生态适宜性研究确定选择哪一种、在哪里种具有重要意义。

近年来 GIS 技术已广泛应用到药用植物的生态适宜性研究,结合 GIS 和生态学原理,利用物种原产地的生态因子来开发与探索潜在适宜分布区是一种普遍的研究方法^[15]。但黄柏的相关研究基础薄弱,仅索凤梅等^[16]利用 TCMGIS-I 基于一个县的生态因子对关黄柏进行了生态适宜性分析,研究范围较窄,而川黄柏暂无相关研究。本文基于川黄柏和关黄柏现有资源分布的调查数据,应用 GMPGIS 开展全球产地生态适宜性研究,分析其全球适宜生长区域,能为其引种和推广提供依据,为规范化栽培基地选址提供参考,对其资源可持续利用发展具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 黄柏分布点数据来源 黄柏分布点数据主要来自三部分。①相关标本库,包括 CVH 中国数字植物标本馆, <http://www.cvh.org.cn/>; 全球生物多样性信息平台 (Global Biodiversity Information Facility, GBIF), <http://www.gbif.org/>; Discover Life, <http://www.discoverlife.org/>; 四川大学和中国科学院成都生物研究所植物标本室。②《中国植物志》《四川植物志》等植物志以及黄柏相关的研究文献。③部分实地调查数据,来自课题组长期以来的实地

考察。其中川黄柏共采集到 364 个分布样点,关黄柏 247 个样点。

1.2 黄柏生态适宜性分析方法 《药用植物全球产地生态适宜性信息系统》(global geographic information system for medicinal plant, GMPGIS)是以 GIS 为平台,采用空间分析中的诸多方法,按照引种地与原产地气候、土壤的相似程度原理,实现在全球范围内对中药材产地的适宜性分析。GMPGIS 系统主要包括 4 个数据库:①基础地理信息数据库,为矢量数据结构的省区划、县区划和乡镇区划等数据;②气候因子数据库,来自 WorldClim 全球气候数据库(WorldClim-global climate data)和 CliMond 全球生物气候学建模数据库(CliMond-global climatologies for bioclimatic modelling),包含年均温、最热季均温、最冷季均温、年均降水、年均日照、年均相对湿度 6 个气候因子;③土壤数据库,包括全球土壤数据库(harmonized world soil database, HWSD)中的 28 种土壤类型数据;④高程数据是用雷达数据反演的 1 km²的全球栅格数据,来自地球系统科学数据共享平台。GMPGIS 已在人参^[17]、重楼^[18]等多种中药材产地生态适宜性研究上取得了较好的成果,分析原理参见《中国药材产地生态适宜性区划(第二版)》^[19],黄柏具体分析方法见图 1。

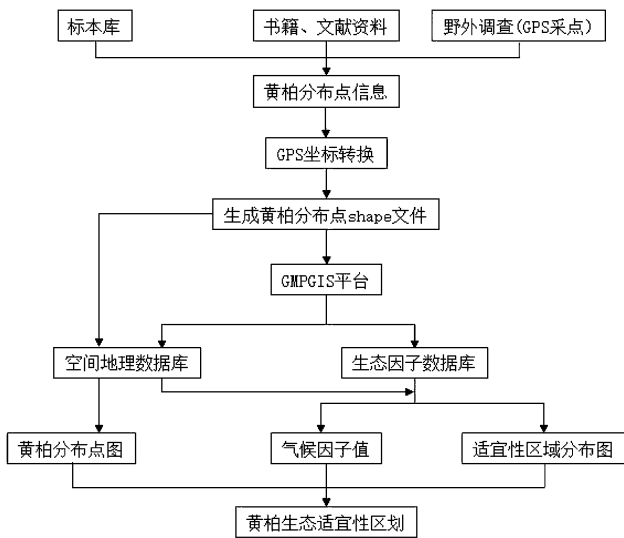


图 1 黄柏生态适宜性分析流程

Fig. 1 Ecological suitability analysis flow chart of *Phellodendri Cortex*

2 结果与分析

2.1 本草记述的黄柏产地 黄柏为传统中药材,不同历史时期关于其产区有不同的记载。汉末《名医别录》记载:“(黄柏)生汉中山谷及永昌”。南北朝

时期陶弘景云:“今出邵陵者,轻薄色深为胜”。五代后蜀《蜀本草》记有:“(黄柏)出房、商、合等州山谷中,以蜀中者为佳”。北宋《图经本草》记载:“今处处有之,以蜀中出者肉厚色深为佳”。《证类本草》:“檿木,黄檿也。生汉中川谷及永昌,今处处有之,以蜀中者为佳”。清代《本草崇原》记载:“黄柏木出汉中山谷及永昌、邵陵、房商、山东诸处皆有。今以蜀中出者,皮浓色深为佳”。本草记载的黄柏产区主要有汉中(今陕西汉中以东等地),永昌(今云南保山),房州(今湖北房县、竹山等地),商州(今陕西秦岭以南各地),合州(今四川武胜、重庆合川、铜梁、大足等县),蜀中(今荥经、洪雅等地),邵陵(今湖南邵阳)等地^[20]。由此可知传统本草记载的黄柏指川黄柏,以四川产质量最优,是川产道地药材。而关黄柏仅在《本草经集注》中有记载:“今出邵陵者,轻薄色深为胜。出山东者,浓重而色浅”。郭家林^[21]推测出山东处指的是关黄柏,也有人认为传统本草没有关黄柏的记载,所描述的都是川黄柏^[22-23]。1963—2000 年版《药典》“黄柏”药材项下同时收载“川黄柏”和“关黄柏”,未作任何区分。2005 年版以后《药典》将药材分为黄柏和关黄柏 2 种,以川黄柏作黄柏,关黄柏单列,并对主要有效成分及含量作了规定,强调了川黄柏与关黄柏的差异。

2.2 黄柏样点空间分布格局分析 2015 年版《药典》规定川黄柏原植物为芸香科黄檗属黄皮树(《中国植物志》中名为川黄檗),《四川中药志》^[24]和《四川道地中药材志》^[1]记载川黄柏的原植物为黄皮树和其变种秃叶黄皮树 *P. chinense* var. *glabriusculum*。由于黄皮树和秃叶黄皮树均作川黄柏使用,本文收集的川黄柏的样点包含了黄皮树和秃叶黄皮树两种。根据数据库、文献及本课题组的实际调查发现,川黄柏主要分布于东亚,中国川黄柏主产区涉及 7 个省 35 个市 75 个县(区),从地理分布看,以四川、重庆、贵州最为集中,湖北、陕西、湖南等地有一定的产量,其分布区域随着时代变化不大。关黄柏主要分布于东亚,在北美洲还有少量分布,在中国主产地涉及 4 个省 26 个市 74 个县(区),集中于东北三省,以黑龙江和吉林产量最大,辽宁次之,河北也有一定的产量。本文统计了全球道地产区、主产区、野生分布区的黄柏分布信息,川黄柏 364 个分布点和关黄柏 247 个分布点见图 2。收集的样点大部分在中国境内,且主要在丘陵和山地地带。

收集的川黄柏分布点的纬度在 21°57'N ~ 34°28'N,经度在 98°12'E ~ 121°28'E。经纬度频率分析

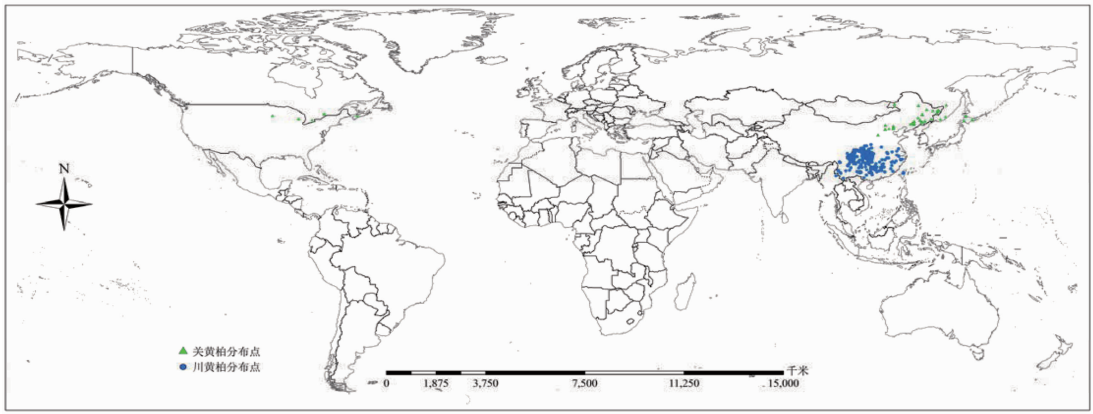
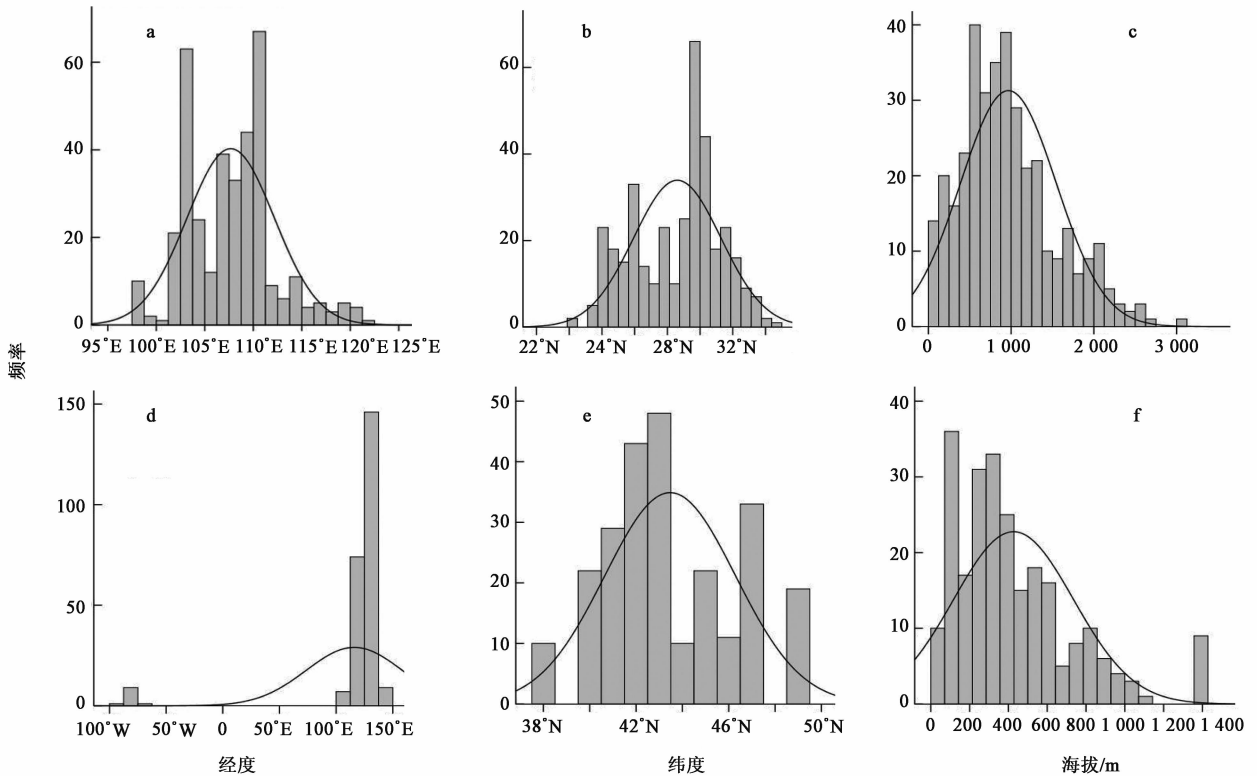


图 2 川黄柏和关黄柏样点分布
Fig. 2 Sample distribution of *Phellodendron chinense* and *P. amurense*

结果表明川黄柏纬度范围较窄。经度变异系数为 0.041 9, 纬度变异系数为 0.093 5, 即其分布格局受经度的影响较大。高程分析结果显示, 川黄柏海拔在 3 ~ 3 025 m, 从频率分析图可以看出川黄柏分布点海拔大部分在 2 000 m 以下, 集中分布于 1 000 m 左右, 在 500 ~ 1 500 m 海拔频率达到 62%, 黄明远等^[25]的研究结果表明川黄柏主要分布在海拔 500 ~ 1 800 m, 与本研究的结果基本一致。

关黄柏纬度在 37°51'N ~ 49°25'N, 经度在 112°27'E ~ 144°58'E 和 93°22'W ~ 64°29'W。经纬度频率分析结果表明关黄柏在纬度分布上范围狭窄, 经度范围较宽。关黄柏经度变异系数为 0.365 8, 纬度变异系数为 0.064 5, 即其分布格局受纬度的影响较大。关黄柏海拔在 1 ~ 1 421 m, 分布点海拔最高为 1 421 m, 普遍在 1 000 m 以下, 与于俊林等^[26]、屈景祥^[27]的调查结果一致。见图 3。



a. 川黄柏经度频率分析; b. 川黄柏纬度频率分析; c. 川黄柏海拔频率分析; d. 关黄柏经度频率分析; e. 关黄柏纬度频率分析; f. 关黄柏海拔频率分析
图 3 黄柏经纬度、海拔频率分析

Fig. 3 Latitude, longitude and elevation frequency analysis of *Phellodendri Cortex*

2.3 生态因子分析 通过 GMPGIS 提取分布点的生态因子进行分析,得到川黄柏和关黄柏的适宜区的生态因子值范围。

川黄柏分布的生态因子分布范围:最冷季均温为 $-2.3 \sim 15.6 \text{ }^\circ\text{C}$,最热季均温为 $12.5 \sim 28.7 \text{ }^\circ\text{C}$,年均温为 $5.4 \sim 22.4 \text{ }^\circ\text{C}$,年均相对湿度为 $51.05\% \sim 76.19\%$,年均降水量为 $668 \sim 2\,783 \text{ mm}$,年均日照为 $118 \sim 155 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,土壤类型主要为强淋溶土、高活性强酸土、暗色土等。结合分布点的生态因子及气候带划分来看,主要分布于亚热带季风气候区域。

关黄柏分布的生态因子分布范围:最冷季均温

为 $-23.3 \sim -2.8 \text{ }^\circ\text{C}$,最热季均温为 $15.4 \sim 25.3 \text{ }^\circ\text{C}$,年均温为 $-1.3 \sim 12.0 \text{ }^\circ\text{C}$,年均相对湿度为 $51.80\% \sim 73.80\%$,年均降水量为 $311 \sim 1\,319 \text{ mm}$,年均日照为 $110 \sim 159 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,土壤类型主要为白浆土、黑钙土、低活性淋溶土等。结合分布点的生态因子及气候带划分来看,主要分布于温带季风气候区域。

从各项生态因子来看,川黄柏和关黄柏各生态因子差异显著,水平分布上有较为明显的分界。从生态因子变异系数来看,川黄柏和关黄柏受年均日照、年均相对湿度、最热季均温的影响较大。见表 1。

表 1 川黄柏和关黄柏生态因子值

Table 1 Ecological factor values of *Phellodendron chinense* and *P. amurense*

物种	生态因子类型	最冷季均温/ $^\circ\text{C}$	最热季均温/ $^\circ\text{C}$	年均温/ $^\circ\text{C}$	年均日照/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	年降水量/ mm	年均相对湿度/ $\%$
川黄柏	最大值	15.6	28.7	22.4	155	2 783	76.19
	最小值	-2.3	12.5	5.4	118	668	51.05
	平均值	5.968 4	23.632 1	15.266 5	131.726 8	1 289.890 1	68.629 0
	标准差	3.151 1	2.874 0	2.782 2	6.552 0	288.910 9	5.487 8
	变异系数	0.528 0	0.121 6	0.182 2	0.049 7	0.224 0	0.080 0
关黄柏	最大值	-2.8	25.3	12.0	159	1 319	73.80
	最小值	-23.3	15.4	-1.3	110	311	51.80
	平均值	-13.055 5	20.370 9	4.728 7	141.737 4	658.781 4	59.084 1
	标准差	5.139 6	1.844 2	3.004 8	13.009 7	181.386 2	4.555 1
	变异系数	-0.393 7	0.090 5	0.635 4	0.091 8	0.275 3	0.077 1

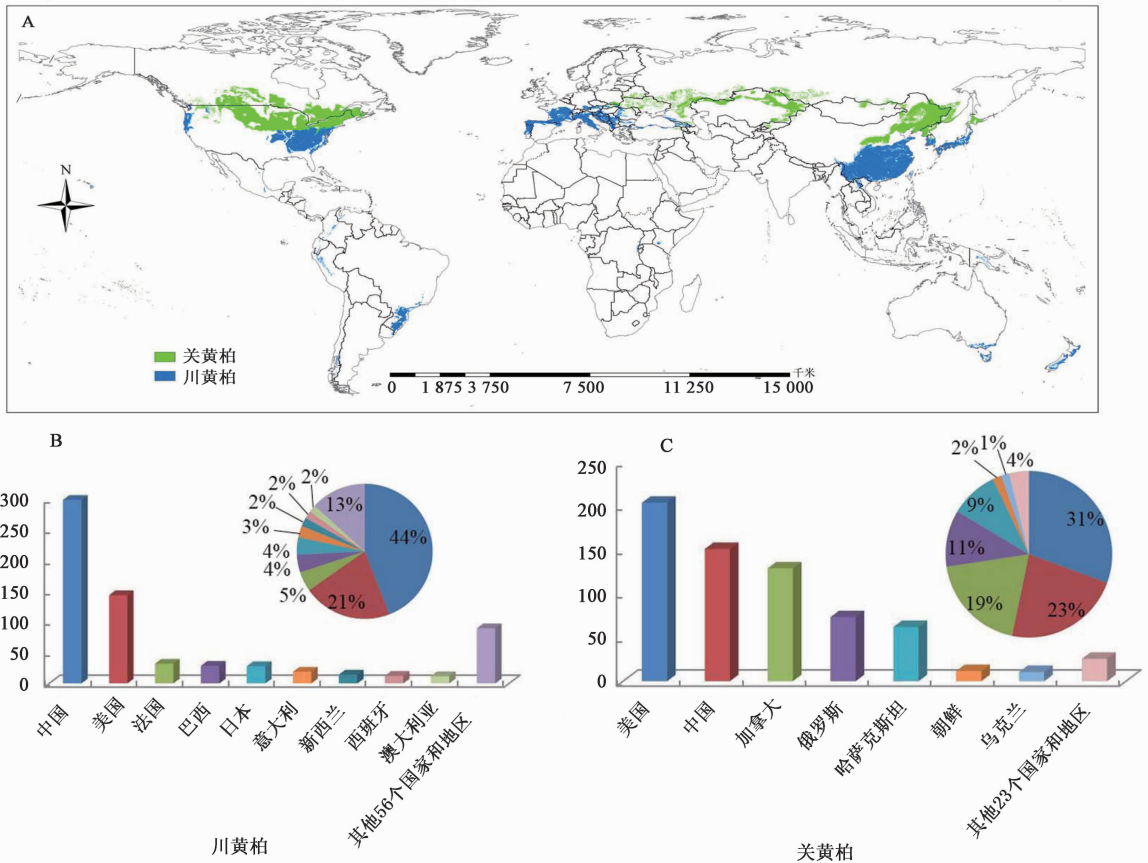
2.4 全球最大生态相似度区域分析 根据黄柏主要生长区域的生态因子阈值,利用 GMPGIS 进行计算分析,得到川黄柏和关黄柏全球最大生态相似度区域分布图,分析得到全球适宜其分布的国家面积及占总分布面积的比例,见图 4。

全球适宜川黄柏分布的有 65 个国家和地区,总面积为 $6.79 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。其中以亚洲的中国最大,达到 $2.99 \times 10^6 \text{ km}^2$,占全球总分布面积的 44%。其次是北美洲的美国,适宜区域面积约 $1.44 \times 10^6 \text{ km}^2$,占全球总分布面积的 21%。欧洲也有较大的适宜区域面积,包括法国、意大利、西班牙、塞尔维亚、克罗地亚、波斯尼亚和黑塞哥维那、奥地利等。南美洲主要适宜区域在巴西南部,面积 $2.87 \times 10^5 \text{ km}^2$,占总分布面积 4%。大洋洲的新西兰和澳大利亚也有较大分布面积,各占总分布面积的 2%。

全球有 30 个国家和地区适宜关黄柏生长,总面积为 $6.65 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。排在前五的国家分别是美国、

中国、加拿大、俄罗斯、哈萨克斯坦,总面积占全球总分布面积的 93%。适宜面积最大的国家为美国,面积达到 $2.03 \times 10^6 \text{ km}^2$,占全球总分布面积的 31%。中国排名第二,面积为 $1.51 \times 10^6 \text{ km}^2$,占全球总分布面积的 23%。加拿大面积为 $1.27 \times 10^6 \text{ km}^2$,占总分布面积的 19%。俄罗斯和哈萨克斯坦适宜面积分别为 $7.30 \times 10^5 \text{ km}^2$ 和 $6.17 \times 10^5 \text{ km}^2$,占总面积的 11% 和 9%。此外朝鲜、乌克兰、日本、蒙古也有一定的适宜面积。

从分布图来看,川黄柏和关黄柏在分布上有明显的分界,川黄柏主要分布于亚热带季风气候区域,属亚热带常绿阔叶林区,在热带季风区域和暖温带区域有零星分布。关黄柏主要分布于温带季风气候区域,属温带落叶阔叶林、针阔叶混交林和温带草原区域,在温带大陆性气候区域有部分分布。此外关黄柏的适宜分布区均位于北半球,而川黄柏除北半球外在南半球也有一定的适宜面积。



a. 全球最大生态相似度区域分布; b. 川黄柏全球最大生态相似度区域面积比例; c. 关黄柏全球最大生态相似度区域面积比例

图 4 川黄柏、关黄柏全球最大生态相似度区域分布及面积比例

Fig. 4 Distribution regions and proportional graphs of maximum ecological similarity in global scale of *Phellodendron chinense* and *P. amurense*

2.5 中国最大生态相似度区域分析 分析得到黄柏在中国的最大生态相似度区域及适宜区域的面积比例见图 5。

川黄柏生态适宜区主要在中国南方各省,包括四川、云南、重庆、贵州、湖北、湖南、江西等多个省。以云南省面积最大,达到 $4.04 \times 10^5 \text{ km}^2$,其次为四川省,面积达到 $2.97 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。广西、湖南、湖北、贵州等适宜区域面积也在 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 以上。从图上看,川黄柏分布的最北端位于山东省,面积有 $9.91 \times 10^4 \text{ km}^2$,最南端在海南省,仅有 595.84 km^2 。

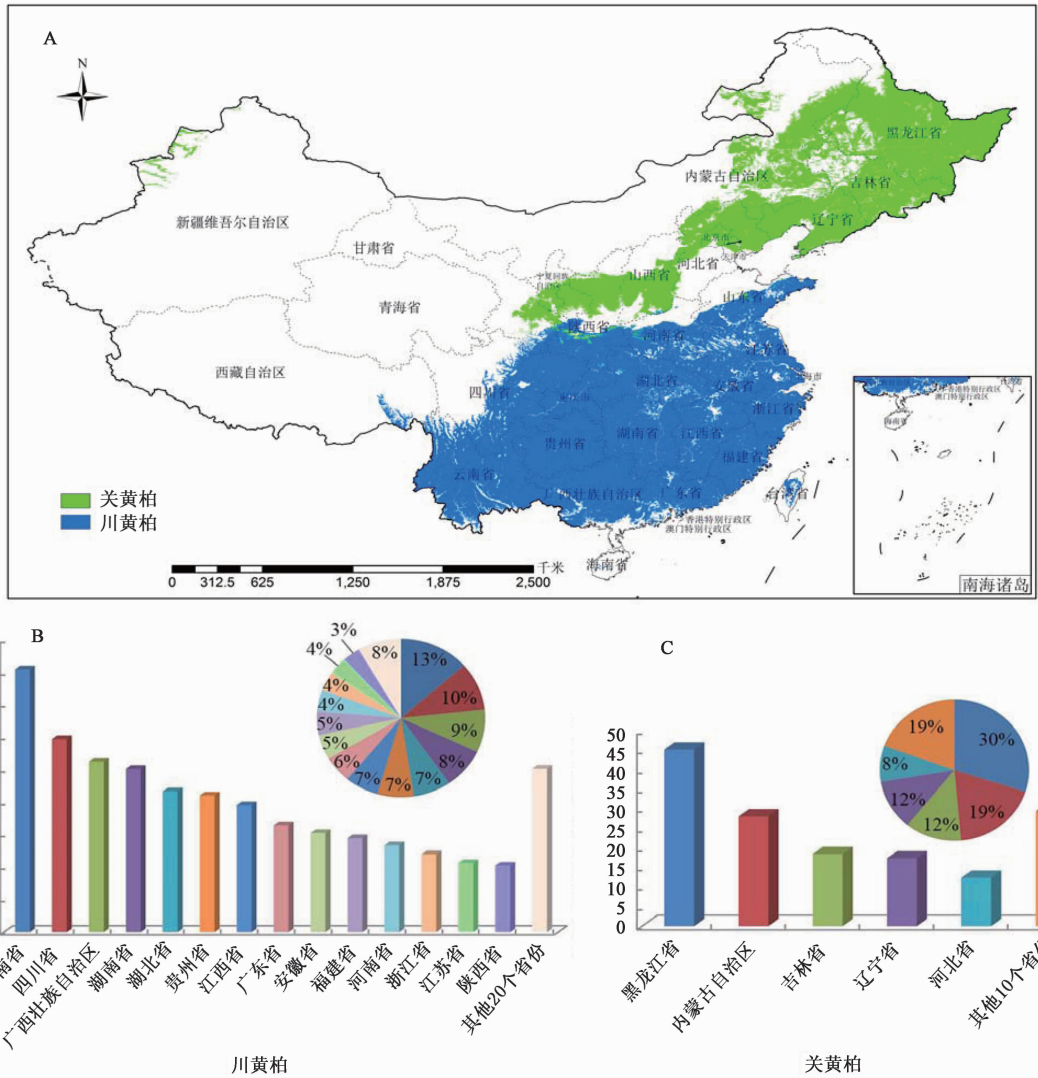
关黄柏生态适宜区主要在中国北方,包括黑龙江、内蒙古、吉林、辽宁、河北、山西、陕西等 15 个省份。以黑龙江的面积最大,达到 $4.52 \times 10^5 \text{ km}^2$,其次为内蒙古,有 $2.81 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。吉林、辽宁、河北的面积在 $1 \times 10^5 \text{ km}^2$ 以上。关黄柏分布的最南端在湖北省,有较小的一块面积,与川黄柏有共同区域。

川黄柏和关黄柏分别分布于中国的一南一北,分界较明显,在甘肃与四川接壤区域、陕西的南部以

及山东的中部一线明显是南北的一个分界线,有少量的交叉,大致分界是秦岭-黄河,这一结果与前人^[3,28]的研究结果一致。根据分析结果,结合生物学特性,并考虑自然条件、社会经济条件、药材主产地栽培和采收加工技术,建议川黄柏选择引种栽培区域主要以四川、重庆、云南、湖北、湖南、贵州等省(区)为宜,关黄柏区域以黑龙江、吉林、辽宁、河北、内蒙古等省(区)为宜。

3 讨论

《中国植物志》等资料记载川黄柏主要分布中国秦岭以南各地,包括云南、湖北、湖南、四川、重庆、陕西、江苏、浙江、广东、广西、贵州等省,查阅标本库上只查到中国的分布点数据,全球仅发现美国的阿诺德树木园有其标本记载,因此本文收集的分布点均来自中国。而经 GMPGIS 预测的适宜区域主要在亚热带季风气候带,亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、大洋洲均有适宜分布区,其在中国的适宜区域基本上涵盖了资料记载的区域,且其分布的边界范围也与



a. 中国最大生态相似度区域分布; b. 川黄柏中国最大生态相似度区域面积比例; c. 关黄柏中国最大生态相似度区域面积比例

图 5 川黄柏、关黄柏中国最大生态相似度区域分布及面积比例

Fig. 5 Distribution regions and proportional graphs of maximum ecological similarity in China of *Phellodendron chinense* and *P. amurense*

资料记载^[3,28]基本一致,此外还发现了一些新的分布区域,如河南、山东、江西、安徽、台湾等省,其中沿海一些发达城市虽然自然条件适宜川黄柏的生长,但可能因为社会经济条件的变化导致这些地区不再种植,因而与现今的实际产区有差异。

关黄柏主要分布于亚洲东部,俄罗斯远东和萨哈林南部、朝鲜以及日本也有分布,也见于中亚和欧洲东部^[29-31],北美地区有引种^[32]。在中国集中于东北三省,主要在大兴安岭东南部、小兴安岭、完达山、长白山等山区,河北、北京、内蒙古有少量分布^[29,33],此外在山西大同、太原、晋中、临汾等地和北疆沿天山一带有引种^[34-35]。关黄柏分布点多数来自于中国,少部分来自美国、加拿大、俄罗斯、日本。经 GMPGIS 预测的适宜分布区域主要在温带季

风气候带,在温带大陆性气候区有较少分布,在亚洲、欧洲、北美洲有其适宜分布区,这些适宜区域包含了前人的研究范围^[16],与资料记载的分布边界大致相符。

黄柏为高大乔木树种,集生态和经济价值于一身,根据前人的研究和记载^[26,36-37]以及本课题组收集的数据,结合生态学特性,建议选择上述适宜地区的丘陵、山区栽培,川黄柏海拔宜 2 000 m 以下,关黄柏 1 500 m 以下的地区,以节约土地,合理利用资源,更大地实现其价值。本研究根据引种地与原产地气候、土壤的相似程度原理,以 GMPGIS 软件进行空间大数据分析,实现在全球范围内对黄柏产地的生态适宜性分析,有别于传统的生态适宜性的研究方法,能为产地适宜性研究提供一种简单、直观更有

效的方法。

[参考文献]

[1] 万德光,彭成,赵军宁. 四川道地中药材志[M]. 成都:四川科学技术出版社,2005:523-534.

[2] 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,2015:146,305.

[3] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草(第四册)[M]. 上海:上海科学技术出版社,1999:949-957.

[4] 杨明,丁立威,丁乡. 关黄柏产销趋势分析[J]. 中国现代中药,2013,15(4):336-339.

[5] 张阳,张志鹏,张昭,等. 野生关黄柏中生物碱及绿原酸含量区域性特征分析[J]. 中国中药杂志,2016,41(10):1797-1802.

[6] 齐耀东,张志鹏,张昭,等. 关黄柏产区土壤重金属污染及药材安全性评价[J]. 中国中药杂志,2016,41(3):383-389.

[7] LI Y B, ZHANG T J, ZHANG X L, et al. Chemical fingerprint analysis of *Phellodendri Amurensis* Cortex by ultra performance LC/Q-TOF-MS methods combined with chemometrics [J]. J Sep Sci, 2010, 33 (21): 3347-3353.

[8] WANG L, WANG X, ZHU X M, et al. Gastroprotective effect of alkaloids from Cortex *Phellodendri* on gastric ulcers in rats through neurohumoral regulation [J]. Planta Med, 2017, 83(3/4): 277-284.

[9] XIAN Y F, MAO Q Q, Ip S, et al. Comparison on the anti-inflammatory effect of Cortex *Phellodendri* Chinensis and Cortex *Phellodendri* Amurensis in 12-*O*-tetradecanoyl-phorbol-13-acetate-induced ear edema in mice[J]. J Ethnopharmacol, 2011, 137(3): 1425-1430.

[10] XIAN Y, LIN Z, Ip S, et al. Comparison the neuroprotective effect of Cortex *Phellodendri* Chinensis and Cortex *Phellodendri* Amurensis against beta-amyloid-induced neurotoxicity in PC12 cells[J]. Phytomedicine, 2013, 20(2): 187-193.

[11] 孙超,张勇民,朱立. 贵州珍稀濒危药用植物与可持续发展利用[J]. 资源开发与市场, 2006, 22(4): 368-370.

[12] 胡芳名,谭晓风,刘惠民. 中国主要经济树种栽培与利用[M]. 北京:中国林业出版社,2005:438-440.

[13] 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(3): 88-90.

[14] 唐大岳. 杉木黄柏混交林初期生长研究[J]. 湖北林业科技, 2000(3): 5-7.

[15] 李越,姚霞,李振华,等. 3S技术在药用植物资源领域中的应用现状[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(5): 228-233.

[16] 索风梅,陈士林,张昭,等. 基于 TCMGIS- I 的黄檗生

态适宜性分析[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(13): 1536-1539.

[17] 沈亮,吴杰,李西文,等. 人参全球产地生态适宜性分析及农田栽培选地规范[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(18): 3314-3322.

[18] 程睿昶,吴明丽,沈亮,等. 中药重楼全球产地生态适宜性分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(14): 19-24.

[19] 陈士林. 中国药材产地生态适宜性区划[M]. 北京:科学出版社, 2011: 7-13.

[20] 肖培根,李大鹏,杨世林. 新编中药志. 第三卷[M]. 北京:化学工业出版社, 2001: 664-670.

[21] 邬家林. 川黄柏药材资源的研究[J]. 华西药学杂志, 1994(2): 132-134.

[22] 黄郑爽,周宁. 关于黄柏种类的探讨[J]. 中草药, 1999(8): 621-623.

[23] 中国医学科学院药用植物研究所. 中药志, 第五册[M]. 北京:人民卫生出版社, 1994: 494.

[24] 中国科学院四川分院中医中药研究所. 四川中药志. 第2册[M]. 成都:四川人民出版社, 1960: 1726-1730.

[25] 黄明远,周仕春,弓加文,等. 四川的川黄柏资源调查[J]. 乐山师范学院学报, 2002(4): 45-48.

[26] 于俊林,张昭,张本刚,等. 长白山黄檗基本情况调查及保护[J]. 中草药, 2006, 37(3): 461-463.

[27] 屈景祥. 黄菠萝与红松混交林生长情况研究[J]. 林业勘查设计, 2011(2): 58-62.

[28] 布日额,巴根那. 蒙药材黄柏的本草考证[J]. 中药材, 2007, 30(8): 1037-1038.

[29] 易雪梅,张悦,姬兰柱. 长白山黄檗种群结构[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2257-2262.

[30] 周正,陈喜军,薛贤贤. 世界主要用材树种概论[M]. 北京:中国林业出版社, 1997: 153-155.

[31] MA J S, CAO W, LIU Q R, et al. A revision of *Phellodendron* (Rutaceae) [J]. Edinburgh J Bot, 2006, 63(2/3): 131-151.

[32] MA J S, Brach A R. The identify of cultivated *Phellodendron* (Rutaceae) in North America [J]. J Botanical Res Inst Texas, 2007, 1(1): 357-365.

[33] 马福. 中国重点保护野生植物资源调查[M]. 北京:中国林业出版社, 2009: 156-157.

[34] 吴晓玲. 黄菠萝在山西省的引种驯化[J]. 山西林业科技, 2001(1): 21-22, 26.

[35] 刑相智. 黄檗的引种效果和生态适宜性分析[J]. 新疆农业科学, 2001, 38(5): 293-294.

[36] 唐宗英,乔璐,阮植媛,等. 资源树种川黄檗的研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(2): 82-86.

[37] 沈力,付绍智,马羚,等. 川黄柏野生资源调查研究[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(4): 25-27.

[责任编辑 顾雪竹]