基于熵权物元模型的黄芩适宜生境区划

朱俐南[1,2], 卫海燕[1], 郭彦龙[1,2], 桑满杰[1,2], 崔晋亮[1,2], 顾 蔚[2,3]

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 西北濒危药材资源开发国家工程实验室, 陕西 西安 710062; 3. 陕西师范大学 生命科学学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: [目的] 黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)是中国 3 级野生保护药材物种。利用生境适宜性评价模型对黄芩的适宜生境进行区划,并计算各适宜生境面积,为保护和实现黄芩资源的可持续利用提供科学依据。[方法] 利用熵权物元模型,建立黄芩标志性药用成分黄芩苷($C_{21}H_{18}O_{11}$)含量与 15 个环境评价因子之间的模糊隶属函数,采用熵值法确定各评价因子权重,结合 GIS 空间分析模拟中国黄芩生境适宜区地理空间分布。[结果] 中国黄芩不适宜生境、低适宜生境、中适宜生境和高适宜生境的面积分别为5.07×10^6,1.65×10^6,1.88×10^6 和1.00×10^6 km^2,其中高适宜生境主要集中在秦岭—淮河一线以北,以河南、山东、辽宁、陕西中南部、河北、吉林、黑龙江南部、山西南部等地区为显著代表,此外云南、安徽等省也有少量分布,与实际分布范围极为吻合。[结论] 评价因子中平均日较差、降水季节性变化、最湿月降水量以及坡向基本控制了黄芩的地理空间分布。

关键词: 黄芩; 熵权物元; 隶属函数; GIS

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2015)01-0153-06 **中图分类号**: Q949.95

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.029

Suitable Habitat Division of *Scutellaria Baicalensis* Georgi Based on Entropy Weight and Matter Element Model

ZHU Linan[1,2], WEI Haiyan[1], GUO Yanlong[1,2],
SANG Manjie[1,2], CUI Jinliang[1,2], GU Wei[2,3]

(1. *College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*; 2. *National Engineering Laboratory for Resource Developing of Endangered Chinese Crude Drugs in Northwest of China, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*; 3. *College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: [Objective] *Scutellaria baicalensis* Georgi is the third-class conservation of wild medicinal species. We used habitat suitability assessment model to divide the suitable habitat because this information could provide scientifical support for the conservation and sustainable utilization of resources. [Methods] Entropy weight and matter element model were used to determine the fuzzy membership function of baicalin content and 15 assessment factors. The entropy evaluation method was used to determine the weight of each factor. Finally, we estimated the spatial distribution of S. *Baicalensis* by GIS spatial analysis in China. [Results] The area of unsuitable, less-suitable, moderately-suitable and high-suitable habitat for S. *baicalensis* was 5.07×10^6, 1.65×10^6, 1.88×10^6 and 1.00×10^6 km^2, respectively. The high-suitable habitat are mainly located in the north of Qinling Mountains—Huaihe River line, significantly Henan, Shandong, Liaoning, central and southern of Shaanxi, Hebei, Jilin, southern of Heilongjiang and Shanxi. In addition, there were some distribution in Yunnan, Anhui Province and other places, which was highly consistent with the actual distribution range. [Conclusion] Among all selected factors, mean diurnal range (MDR), precipitation seasonality(PS), precipitation of wettest month(PMAX) and aspect(ASPE) are the main control factors.

Keywords: ***Scutellaria baicalensis* Georgi**; **entropy weight and matter element**; **membership function**; **GIS**

黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)为多年生草本植物,主产于中国东北、华北和部分华中、西北地区,是中国传统常用大宗药材之一,具有清热燥湿、泻火解毒、止血、安胎等功效[1]。近年来随着黄芩及提取物需

收稿日期:2014-06-23 **修回日期**:2014-07-31

资助项目:国家自然科学基金项目"秦岭地区五味子属遗传多样性与药用资源适宜性评价"(31070293); 国家"十一五"科技支撑计划项目"华中五味子、三叶木通野生抚育关键技术研究"(2006BAI06A13-06)

第一作者:朱俐南(1991—),女(汉族),山西省忻州市人,硕士研究生,研究方向为地理生态建模研究。E-mail:zhulinan1991@foxmail.com。

通信作者:卫海燕(1966—),女(汉族),陕西省西安市人,学士,副教授,主要从事数字制图与地理建模研究。E-mail:weihy@snnu.edu.cn。

求量的增加，有限资源被掠夺式过度开采，加之保护措施不够等原因，导致黄芩资源破坏严重，物种数量锐减，供需矛盾日益突出，目前已被纳入《国家重点保护野生药材物种名录》，属于Ⅲ级保护野生药材物种。

国内外对黄芩研究主要集中在种质资源[2]、化学成分[3]、药理作用[4]以及栽培技术[5]等方面，而对其生境适宜性研究相对较少，物种适宜生境特征不清，是导致物种濒危的重要原因之一。运用不同模型对特定物种的生境适宜性评价与区划，通常从目标物种已知分布为依据，利用数学方法或模型归纳、模拟生态位需求，通过与目标区域生境对比，得到目标物种的生境适宜分布区[6]，但这些模型主要用于预测分布，无法对不同环境下生长的物种品质进行评估及预测。本文利用熵权物元模型，依据 2010 版药典对黄芩标志性药用成分黄芩苷（$C_{21}H_{18}O_{11}$）含量规定，即不得少于 9.0%为指标[1]，结合 GIS 和熵值法对黄芩在中国的适宜生境进行综合量化分析，区划不同生境适宜区及地理空间分布，同时确定不同生境适宜区黄芩的品质，为保护和可持续利用黄芩资源提供一定的数据参考与建议。

1 材料与方法

1.1 数据获取

黄芩在中国分布较广，分布区域北纬 31°30′—50°00′，东经 99°50′—129°29′，最北达黑龙江省爱辉县，最南至四川省甘孜县，东起黑龙江省宁安县，西到新疆天山山麓。通过查阅中国数字植物标本馆标本记录（http://www.cvh.org.cn）以及黄芩相关文献[2,5,7]，将获得的原始信息分类整理，如有重叠，按标本馆标本数字资料、相关文献的顺序选取，得到全国范围内黄芩种群分布点位 113 个（图 1）以及各点位黄芩苷含量数据。

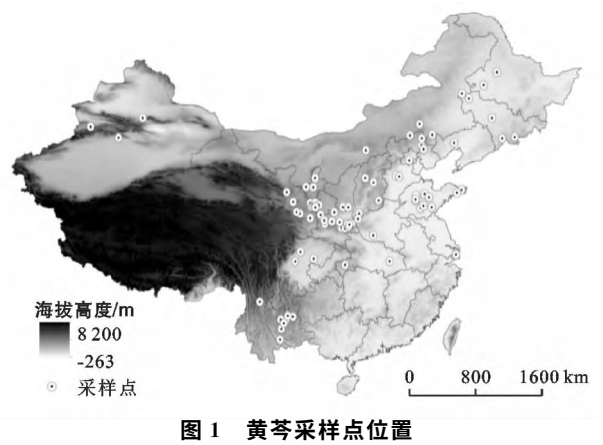


图 1 黄芩采样点位置

1.2 评价因子选取与预处理

评价因子的选择、权重的确定以及如何将 GIS 技术与评价过程相结合，是评价方法成功的关键[8]，根据黄芩的生物学特征、习性以及研究成果，选择了 3 个地形因子和 12 个气候因子，共计 15 个评价因子（表 1），其中 2 个地形因子数据（SLOP 和 ASPE）由中国科学院国际科学数据服务平台（ISDSP，http://datamirror.csdb.cn）提供，ASL 和 9 个气候因子（AMT，TMAX，TMIN，TS，MDR，AP，PMAX，PMIN，PS）数据来自世界气候数据库（WORLDCLIM version 1.3，http://www.worldclim.org），ATG 与 PG 由人地系统专题数据库（TDHES，http://www.data.ac.cn）提供，ARH 数据从中国气象数据共享服务系统（CMDSSS，http://cdc.cma.gov.cn）获取，土地覆被类型数据（GLC，2000）来源于寒区旱区科学数据中心（http://westdc.westgis.ac.cn）。

表 1 黄芩生境适宜性评价因子

因子类型	评价因子简称	英文名称	中文名称
地形因子	ASL	Elevationabovesealevel	海拔高度
	SLOP	Slope	坡 度
	ASPE	Aspect	坡 向
气候因子	AMT	Annualmeantemperature	年平均气温
	TMAX	Maxtemperatureofwarmestmonth	最热月最高温
	TMIN	Mintemperatureofcoldestmonth	最冷月最低温
	TS	Temperatureseasonality	温度季节性变化
	MDR	Meandiurnalrange	平均日较差
	AP	Annualprecipitation	年降水量
	PMAX	Precipitationofwettestmonth	最湿月降水量
	PMIN	Precipitationofdriestmonth	最干月降水量
	PS	Precipitationseasonality	降水季节性变化
	ARH	Annualmeanrelativehumidity	年平均相对湿度
	ATG	Averagetemperatureofgrowth	生长期平均温度*
	PG	Precipitationofgrowth	生长期降水量*

注：*生长期为 4—10 月。

生境适宜性综合评价指数的计算以栅格为基本单元,计算前先使用 GIS 技术对以上数据进行空间栅格化,依据研究区域大小以及数据的精度,本文所有栅格分辨率设置为 1 km×1 km[9]。气候及地形栅格数据使用 ArcGIS 10.0 裁剪,气象站点观测数据(ATG 和 PG)应用 ArcGIS 10.0 中简单克里金插值法(simple Kriging)进行插值并将其转化成栅格数据[8],土地矢量数据直接在 ArcGIS 10.0 中转化为栅格数据。使用 DivaGIS 软件中 Extract values by points 功能在全国范围内提取各采样点相对应的各评价因子数据,以便在 Matlab 2011 软件中进行函数的拟合。

1.3　研究方法

1.3.1　评价模型　物元分析以形式化的模型研究物元及其变化规律,用于解决现实世界中不相容问题,适合于多因子评价[10],已广泛应用于水体富营养化评价[11]、土地生态安全评价[12]以及水资源研究[13]。

物元分析中所描述的事物 N、特征 c(评价因子)和特征量值 v(评价因子现值),用一个有序三元组 $R=(N,c,v)$来描述。特征量值 v 具有模糊性,则称为模糊物元。事物 N 有 n 个特征 $c_1,c_2,\cdots,c_n$ 和相应的特征量值 $v_1,v_2,\cdots,v_n$,则称 N 为 n 维模糊物元,记作 $R=(N,C,V)$,并称 $R_i=(N,c_i,v_i)(i=1,2,\cdots,n)$ 为 R 的分物元。如果有 m 个事物用共同的 n 个特征 $c_1,c_2,\cdots,c_n$ 及其相应的特征量值 $v_1,v_2,\cdots,v_n$ 来描述,则称为 m 个事物的 n 维复合模糊物元 R_{mn},相应的物元矩阵表示为:

$$\boldsymbol{R}_{mn}=\begin{bmatrix} & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1m} \\ C_2 & v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2m} \\ & & & \cdots & \\ C_n & v_{n1} & v_{n2} & \cdots & v_{nm} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中:N_j——第 j 个事物($j=1,2,\cdots,m$);C_i——第 i 个评价因子($i=1,2,\cdots,n$);v_{ij}——第 j 个事物第 i 个特征对应的模糊量值[10]($i=1,2,\cdots,n$;$j=1,2,\cdots,m$)。

1.3.2　隶属函数确定　用隶属函数描述模糊集合是构建模型的关键环节[8]。根据黄芩的标志性药用成分黄芩苷含量与各评价因子滑动平均值之间特定关系,拟合两者间的回归曲线,并参考隶属函数特点[14],确定各评价因子的隶属函数(表 2)。

隶属函数取值范围 0～1。0 表示在此环境下黄芩无法生长或无法完成黄芩苷合成和积累,即该环境不适合黄芩生长,1 表示该环境下黄芩中黄芩苷的生成和积累达到最大,即最适宜黄芩生长,数值越大表示越适合生长[8,14]。用 Matlab 2011 软件对每个单因子的隶属函数进行误差检验,得到所有隶属函数的拟合度为 80.00%～92.35%(表 2),平均为 87.26%,说明构建的模型准确可用。

表 2　评价因子的隶属函数及拟合度

评价因子	隶属函数	拟合度/%
ASL	$y=e^{-(\frac{x-1089}{1819})^2}$	90.70
SLOP	$y=\begin{cases}1 & (0\leqslant x\leqslant 10)\\ -0.05x+1.5 & (10<x\leqslant 30)\end{cases}$	89.23
ASPE	$y=e^{-(\frac{x-150}{357.3})^2}$	84.00
AMT	$y=e^{-(\frac{x-12.55}{11.75})^2}$	80.00
TMAX	$y=e^{-(\frac{x-29.47}{9.81})^2}$	84.60
TMIN	$y=e^{-(\frac{x-1.04}{1.08})^2}$	81.84
TS	$y=0.25\times e^{-(\frac{x-1.03}{0.13})^2}+0.78\times e^{-(\frac{x-1.46}{3.07})^2}$	86.94
MDR	$y=0.53\times e^{-(\frac{x-9.16}{1.11})^2}+0.98\times e^{-(\frac{x-12.01}{3.49})^2}$	87.90
AP	$y=e^{-(\frac{x-568}{858.5})^2}$	92.35
PMAX	$y=e^{-(\frac{x-176}{169.3})^2}$	89.45
PMIN	$y=e^{-(\frac{x-9.2}{14.35})^2}$	91.97
PS	$y=e^{-(\frac{x-69.63}{12.46})^2}$	87.51
ARH	$y=e^{-(\frac{x-65.74}{26.35})^2}$	91.83
ATG	$y=e^{-(\frac{x-23.32}{13.1})^2}$	85.69
PG	$y=e^{-(\frac{x-122.5}{109})^2}$	84.91

1.3.3　评价因子权重系数确定　权重确定方法一般可分为主观赋权法和客观赋权法两类。本研究利用客观赋权法中的熵值法来确定权重系数,熵值越大,表明信息的无序度越高,信息的效用值越小;反之,熵值越小,信息效用值越大[8]。根据熵的定义,把第 i 个评价因子的熵定义为:

$$H_i=-(\ln m)^{-1}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}k_{ij}\ln k_{ij} \quad (i=1,2,\cdots,m,\ j=1,2,\cdots,n) \tag{2}$$

式中:k_{ij}——经隶属函数标准化的各评价因子数值;m——用于建模的样本数;n——评价因子的个数。

令 $k_i=\sum_{j=1}^{m}k_{ij}$,则第 i 个评价因子熵值归一化后为:

$$E_i=-(\ln m)^{-1}\sum_{j=1}^{m}\frac{k_{ij}}{k_i}\ln\frac{k_{ij}}{k_i} \tag{3}$$

此时，第 i 个评价因子的权重系数可表示为：

$$W_i=\frac{1-E_i(k_{ij})}{n-H_i}\quad(0\leqslant W_i\leqslant 1,\sum_1^m W_i=1)\qquad(4)$$

式中：H_i——第 i 个评价因子的熵值；E_i——第 i 个评价因子的熵值归一化值。

通过公式(4)，可确定不同评价因子对黄芩苷含量影响的权重(表 3)。

表 3 各评价因子最优值、阈值及权重

因子类型（权重）	评价因子	阈值	最优值	权重/%
地形因子（15.46%）	ASL/m	0～3 084	1 089	2.10
	SLOP/(°)	0～30	≤10	2.71
	ASPE/(°)	—	150	10.65
气候因子（84.54%）	AMT/℃	≥－10	12.55	6.13
	T_{max}/℃	18.71～40.23	29.47	4.19
	T_{min}/℃	－0.15～2.23	1.04	4.74
	TS	—	1	3.13
	MDR	7.2～15.80	10	19.37
	AP/mm	12～1 510	568	3.76
	P_{max}/mm	0～361.77	176	12.18
	P_{min}/mm	0～24.94	9.20	4.71
	PS/%	55.96～83.30	69.63	14.64
	ARH/%	36.83～94.65	65.74	4.10
	ATG/℃	8.95～37.69	23.32	3.54
	PG/mm	2.90～242.10	122.50	4.05

1.3.4 生境适宜性综合评价指数计算 在隶属函数与权重都确定的基础上应用加权平均法和 ArcGIS 10.0 栅格运算功能，计算黄芩生境适宜性综合评价指数，每个栅格单元值由各评价因子的权重系数与隶属度的乘积确定[14]，以此得到全国范围内栅格单元为 1 km×1 km的基于黄芩苷含量生境适宜性空间分布图。

$$Y_j=\sum_{i=1}^n W_i\times X_{ij}\qquad(5)$$

式中：Y_j——第 j 个栅格生境适宜性综合评价指数；W_i——第 i 个评价因子权重系数；X_{ij}——第 i 个评价因子的第 j 个栅格值。Y_j 的取值范围为 0～1，值越大，表明该栅格单元越适合黄芩生长。

1.3.5 模型检验 采用均方根误差(root mean square error，RMSE)对黄芩生境适宜性评价模型检验，RMSE 为 0.04，小于 0.1，表明模拟值与实际观测值一致性很高[8]，模型模拟效果良好。

2 结果与分析

基于黄芩苷含量，依据各栅格单元生境适宜性综合评价指数 Y_i，可将中国黄芩生境适宜性区划为 4 个等级[14]，$Y_j<0.3$ 为不适宜生境，黄芩苷含量小于 9.0%，达不到药典标准；$0.3\leqslant Y_j<0.5$ 为低适宜生境，黄芩苷含量小于 13.3%且大于 9.0%；$0.5\leqslant Y_j<0.7$ 为中适宜生境，黄芩苷含量介于 13.3%与 16.6%之间；$Y_j\geqslant 0.7$ 为高适宜生境，黄芩苷含量大于 16.6%。同时，利用 ArcGIS 10.0 将 1 km×1 km 黄芩苷含量生境适宜性分布图与中国土地覆被类型图层叠加，去除河流、湖泊、沼泽、冰川、城市、沙漠等，最终得到黄芩生境适宜性地理空间分布(图 2)，并计算各生境分布面积。

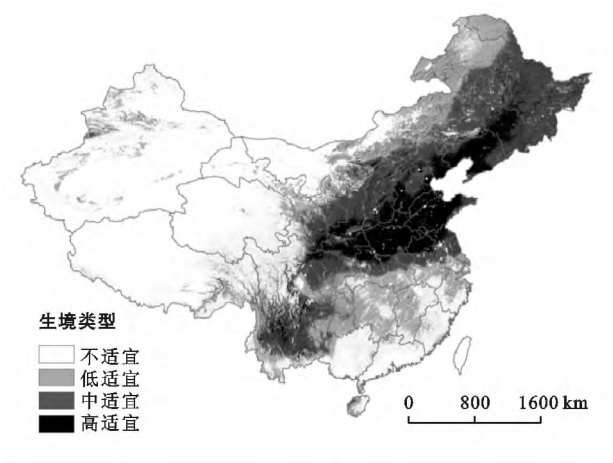


图 2 中国黄芩适宜生境区化

结果显示，基于黄芩苷含量的黄芩高适宜生境在中国总面积约为 1.00×10^6 km²，主要集中在秦岭—淮河一线以北，以河南、山东、辽宁和陕西省的中南部、河北、吉林、黑龙江南部、山西南部等为显著代表，此外在云南、安徽、四川等省也有少量分布。黄芩中适宜生境面积约为 1.88×10^6 km²，主要分布在黑龙江、内蒙古南部、云南、四川东北部、吉林、陕西和山西省大部分地区、河北以及甘肃省南部等区域。

黄芩低适宜生境面积约为 1.65×10^6 km²，在中国各省区都有分布，说明各地均有区域适合黄芩生长，但有些省区分布面积较小，在内蒙古、新疆境内分布面积较大，其余大多集中在中国南部，如湖南、四川、云南、贵州、江西省等地，该适宜生境中黄芩苷含量较低，在 9.0%～13.3%之间。黄芩不适宜生境面积约为 5.07×10^6 km²，主要分布在中国西部地区，如新疆、西藏、青海、内蒙古西北部、甘肃西北部以及四川西北部，另外在中国南部如广西、广东、福建、江西等省，不适宜生境分布也较广。

3 讨 论

3.1 模型评价

熵权物元分析法将生境作为物元、生境适宜性评价因子为特征以及各评价因子的值作为特征量值，并

利用模糊数学原理,根据各评价因子与黄芩苷含量的隶属度关系实现原始数据的标准化,确立了黄芩苷含量与各评价因子的隶属函数关系,在缺少专家经验支撑下建立生境适宜性评价的物元评判模型,计算出基于黄芩苷含量各评价因子最适宜范围。确定权重系数采用了客观赋权法的熵值法,确定限制性较大的评价因子,不仅克服了评价过程中人为因素的影响,而且对评价因子进行量化处理,提高了生境适宜性评价的精度[15]。GIS 具有强大的空间数据和属性数据处理分析功能,本研究将其应用到生境适宜性评价,不仅快速获取了研究区域信息,而且在数据分析基础上输出了适宜生境专题图,使用 Matalab 2011 建模过程涉及的隶属函数进行误差检验,确保模型的准确性,客观地区划中国黄芩不同适宜生境类型的地理空间分布。

3.2　黄芩生境适宜性分析

由表 3 不同评价因子影响权重可知,气候因子中水分、气温相关因子权重分别为 43.44%和 41.10%,地形因子权重为 15.46%。由此可见,气候因子对黄芩影响较大,地形因子的作用在大尺度上比较有限。

对黄芩苷含量影响最大的评价因子为 MDR(平均日较差),权重为 19.37%,约占所有评价因子的 1/5,表明 MDR 对黄芩苷的积累极为重要,其 10 ℃最适合黄芩生长和黄芩苷积累。MDR 对植物生长影响较大,在其他条件等同的情况下,植物有效成分积累量与近地面气温日较差变化极为密切,呈极显著正相关[16],当气温日较差较大时,有利于植物的光合作用,制造、积累较多的有效物质,易于形成优质丰产,反之不利于植物光合作用,影响植物的生育、产量和品质。

其他气温相关因子 AMT(年平均气温)、TMIN(最冷月最低温)、TMAX(最热月最高温)、ATG(生长期平均温度)及 TS(温度季节性变化)的权重分别为 6.13%,4.74%,4.19%,3.54%和 3.13%,影响作用有限,对黄芩的生长以及黄芩苷的积累影响较小,这与黄芩冬季在 −30 ℃低温下仍可安全越冬,夏季在 35 ℃左右高温下也可正常生长的研究结论[17]一致。

影响力位居第 2 的评价因子为 PS(降水季节性变化),权重为 14.64%,在水分相关因子中该权重值最大,PS 数值大小可反映某地区年内降水时间分配的均匀程度,数值越小,表明降水时间分配越均匀,反之,降水时间分配较集中,相对更易形成干旱[18]。本研究得 PS 最优值为 69.63%(表 3),值相对较高,说明黄芩生长对水分需求并不苛刻,这与黄芩耐旱、怕涝、适宜在排水良好地区生长相吻合[17]。中国降水季节性变化范围为 10%～85%,高值区在东经 105°以东、北纬 35°以北[18],其值大于 60%,适宜黄芩生长,往西或往南均为降水季节性变化低值区,相对不太适宜黄芩生长,这也与本研究所得的黄芩生境适宜分布图(图 2)一致。

黄芩对气温要求的范围较宽,对水分要求虽耐旱,但不宜太旱,对雨量要求为中等[17]。本研究得出黄芩生长 PMAX(最湿月降水量)最优值为 176 mm,表明当最湿月降水量在 176 mm 左右时,黄芩生长状况良好,黄芩苷含量较高。

植物生长环境中,坡向对其光照强度、温度环境等影响很大,这些条件对于植物种群生长至关重要[19]。本研究得到黄芩生长 ASPE(坡向)最优值为 150°,表明东南坡更有利于黄芩苷的积累,该坡向光照充足、温度较高、昼夜温差大,这与黄芩喜温和气候、耐寒冷,常野生于山野阳坡、高山森林边缘或草坡、路边等向阳干燥地方[17]相吻合。

3.3　黄芩保护建议

研究结果显示黄芩在中国适宜生长生境(高适宜生境与中适宜生境)面积为 2.89×10^7 km^2,适宜生境面积不大,其中黑龙江、河南、山东等省为中国粮食生产大省,耕地占绝对优势,可以用来种植黄芩等药材的面积相对较少。

在黄芩适宜生境(高适宜生境与中适宜生境)分布面积较大的 12 个省内将适宜生境面积与耕地所占面积[20]进行对比(表 4),发现耕地面积均远小于适宜生境面积,仅占适宜生境面积的20.78%～49.58%,说明黄芩适合生长范围较广,对于它的保护可不占用耕地。如在山坡、林缘、草坡或向阳干燥的路边等处,要求排水良好,而低洼积水处、林下阴湿地不宜生长。

表 4　中国黄芩适宜生境分布面积与耕地面积的比较

省 份	适宜生境面积/km^2		耕地面积/km^2	耕地占适宜生境比/%
	高适宜	中适宜		
黑龙江	59 164.34	327 375.99	118 301	30.61
内蒙古	26 664.55	317 205.72	71 472	20.78
云 南	46 340.96	171 224.37	60 721	27.91
陕 西	91 820.70	99 340.55	40 503	21.19
四 川	34 979.64	155 501.75	59 474	31.22
吉 林	68 631.25	112 933.55	55 346	30.48
河 北	88 854.43	92 133.68	63 173	34.90
河 南	139 845.54	21 958.31	79 264	48.99
山 东	136 919.72	14 650.45	75 153	49.58
山 西	53 014.56	97 030.57	40 558	27.03
辽 宁	106 752.26	37 871.81	40 853	28.25
甘 肃	24 912.22	92 078.26	46 588	39.82

黄芩药用价值较高，市场需求量大，而有限的野生资源遭到掠夺性采挖，资源破坏严重，人工栽培的黄芩群体混杂，植株间个体、产量、质量差异较大，有效成分含量较低，难以满足药用需求，应加强对其保护与管理。

首先，应在辽宁、陕西、河北、吉林、山西等省黄芩高适宜生境区内，建立自然保护区和 GAP 基地，保障黄芩资源可持续利用。其次，人工抚育和种植是发展黄芩药材资源的根本保证，应通过选育优良种质、加强抚育和种植技术，以扩大黄芩种群数量和产量。

4 结 论

本文依据熵权物元模型、模糊数学方法，并结合 GIS 技术综合区划黄芩四种生境及地理空间分布，得出影响黄芩苷积累的主要影响因子为 MDR(平均日较差)、PS(降水季节性变化)、PMAX(最湿月降水量)、坡向(ASPE)等，为黄芩 GAP 基地选址与建设提供数据支撑，并为野生物种、珍稀濒危药材资源的保护和管理提供参考。

[参 考 文 献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京：中国医药科技出版社，2010：282-283.

[2] 王立平. 不同来源地黄芩生长发育及药材质量和产量的比较研究[D]. 长春：吉林农业大学，2012.

[3] 侯学智，张振秋，尤春雪，等. HPLC 法测定黄连、黄芩药对提取物中 11 个成分的含量[J]. 药物分析杂志，2013，33(1)：57-62.

[4] Jeong K，Shin Y C，Park S，et al. Ethanol extract of *Scutellaria baicalensis* Georgi prevents oxidative damage and neuroinflammation and memorial impairments in artificial senescense mice[J]. Journal of Biomedical Science，2011，18(1)：1-12.

[5] 赵建军，胡仲红，马鹏生，等. 宁夏六盘山地区人工种植黄芩质量研究[J]. 时珍国医国药，2012，23(1)：13-14.

[6] 郭彦龙，卫海燕，路春燕，等. 气候变化下桃儿七潜在地理分布的预测[J]. 植物生态学报，2014，38(3)：249-261.

[7] 肖雁青，江源，李磊，等. 北京西部山地黄芩主要有效成分与不同环境条件的关系研究[J]. 中草药，2009(8)：1291-1296.

[8] Lu Chunyan，Gu Wei，Dai Aihua，et al. Assessing habitat suitability based on geographic information system (GIS) and fuzzy：A case study of *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. in Qinling Mountains，China[J]. Ecological Modelling，2012，242(9)：105-115.

[9] Hijmans R J，Cameron S E，Parra J L，et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas[J]. International Journal of Climatology，2005，25(15)：1965-1978.

[10] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京：科学技术文献出版社，1994.

[11] 陈林，许其功，李铁松，等. 模糊物元识别模型在巢湖水体富营养化评价中的应用研究[J]. 环境工程学报，2010(4)：729-736.

[12] 余健，房莉，仓定帮，等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报，2012，28(5)：260-266.

[13] 田静宜，王新军. 基于熵权模糊物元模型的干旱区水资源承载力研究：以甘肃民勤县为例[J]. 复旦学报：自然科学版，2013，52(1)：86-93.

[14] 郭彦龙，顾蔚，路春燕，等. 基于五味子甲素与乙素的秦岭地区野生华中五味子的潜在空间分布[J]. 植物学报，2013，48(004)：411-422.

[15] Weber T C. Maximum entropy modeling of mature hardwood forest distribution in four US states[J]. Forest Ecology and Management，2011，261(3)：779-788.

[16] 江爱良，陈沈斌，富世贤. 西双版纳气温日较差的特点及其在农业上的意义[J]. 中国农业气象，1990，11(1)：44-46.

[17] 陈士林，魏淑秋，兰进，等. 黄芩在中国适生地分析及其数值区划研究[J]. 中草药，2007，38(2)：254-257.

[18] 赵名茶. 黄土高原降水的季节性指标及其与作物水分亏缺的关系[J]. 自然资源学报，1990，5(3)：218-229.

[19] 胥晓，苏智先，严贤春. 坡向对四川冶勒红豆杉种群分布格局的影响：基于斑块信息的分析[J]. 应用生态学报，2005，16(6)：985-990.

[20] 中华人民共和国年鉴编辑部. 中华人民共和国年鉴[M]. 北京：中华人民共和国年鉴社，2012.