

黄芩生态适宜性评价及生态因子对 5 种主要指标性成分的影响

周国富^{1,2}, 刘金欣³, 李晓娟^{1,2}, 徐宁^{1,2}, 朱文全², 孟繁蕴^{1,2*}

- (1. 中药资源保护与利用北京市重点实验室, 北京 100875;
2. 北京师范大学资源学院, 资源生态与中药资源研究所, 北京 100875;
3. 承德医学院河北省中药研究与开发重点实验室, 河北承德 067000)

[摘要] 目的: 预测黄芩在中国的生态适宜区, 研究生态因子对黄芩中 5 种主要指标性成分的影响, 为黄芩的栽培引种提供参考。方法: Maxent 模型对黄芩的生态适宜性进行评价, 超高效液相色谱法测定黄芩中黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素 5 种化学成分的含量, 用逐步线性回归的方法研究生态因子对化学成分的影响。结果: 黄芩的最适宜分布区位于大兴安岭南部山脉和燕山山脉, 以此为中心适宜程度向两边逐渐降低, 黄芩中的化学成分与生态因子密切相关, 特别是与温度和降水的变异性密切相关。结论: 得到了黄芩在中国的生态适宜区, 初步探讨了生态因子对黄芩中 5 种指标性成分的影响。

[关键词] 黄芩; Maxent 模型; 适宜性评价; 化学成分; 生态因子

[中图分类号] R282 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)20-0028-05

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2016200028

[网络出版地址] <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20160830.0742.006.html>

[网络出版时间] 2016-08-30 7:42

Evaluation for Ecological Adaptability of Scutellariae Radix and Effects of Environmental Variables on Chemical Components

ZHOU Guo-fu^{1,2}, LIU Jin-xin³, LI Xiao-juan^{1,2}, XU Ning^{1,2}, ZHU Wen-quan², MENG Fan-yun^{1,2*}

- (1. Beijing Key Laboratory of Protection and Application of Traditional Chinese Medicine (TCM) Resources, Beijing 100875, China; 2. Institute of Resource Ecology and TCM Resources, School of Resources, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Hebei Key Laboratory of Study and Exploitation of TCM, Chengde Medical College, Chengde 067000, China)

[Abstract] **Objective:** To predict the ecologically adaptable area of Scutellariae Radix in China, and study the effects of twenty environmental variables on the five main chemical components, in order to provide reference to introduction and cultivation of Scutellariae Radix. **Method:** Maxent model was used to study the ecological adaptability of Scutellariae Radix. The ultra-high performance liquid chromatography was used to determine the five main chemical components, namely including baicalin, wogonoside, baicalein, wogonin and oroxylin, and multiple linear regressions were adopted to study the effects of environmental variables on the chemical components. **Result:** The most adaptable area for Scutellariae Radix is located in the southern ridges of Greater Hinggan Mountains and Yanshan Mountain, with the adaptability declining towards both edges of the ridges. And the chemical components in the herbs were closely correlated with the environmental variables,

[收稿日期] 20160511(012)

[基金项目] 国家科技基础性工作专项(2015FY111500)

[第一作者] 周国富, 硕士, 从事中药资源道地性及生态适宜性研究, E-mail: zgf@mail.bnu.edu.cn

[通讯作者] * 孟繁蕴, 教授, 从事道地药材的研究, Tel: 010-58808405, E-mail: mfy@bnu.edu.cn

especially the variation of temperature and precipitation. **Conclusion:** This study determines the ecologically adaptable area of *Scutellariae Radix* in China, and explores the effect of environmental variables on the chemical components in *Scutellariae Radix*.

[**Key words**] *Scutellariae Radix*; Maxent model; suitability assessment; chemical component; environmental variable

黄芩为唇形科植物黄芩的干燥根,具有清热燥湿,泻火解毒等功效^[1]。近年来黄芩用量不断增加,野生资源不断减少^[2-3],人工种植面积不断扩大,相关学者对不同产地黄芩的质量进行了深入探讨^[4-6],但对于黄芩的栽培选址研究相对较少。生态位模型^[7]是将物种的分部信息与分布地环境变量相关联,进而预测物种适生区的模型,现被广泛应用于植物的适生地预测。研究药用植物的生态适宜性以及生态因子对药材质量的影响将有助于阐释道地药材^[8-11]的内涵。

本研究采用 Maxent 模型^[12]预测黄芩的生态适宜区。黄芩中活性成分主要为黄酮类化合物,如黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素^[13-15],本研究测定每个产地黄芩样品的黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素等 5 种化学成分的含量作为黄芩的指标性成分,进一步用多元线性回归的

方法研究生态因子对黄芩指标性成分的影响,力求为黄芩的栽培引种提供参考。

1 材料

1.1 样品信息 黄芩样品主要采集自河北、辽宁、吉林、内蒙古等 4 个省份的 21 个县市(表 1),用 GPS 定位仪记录其经纬度,每个样地随机采集 6 株黄芩,共采集 126 株,为避免人为干扰,所采集样品均为野生。所有样品均由北京师范大学孟繁蕴教授鉴定为唇形科黄芩 *Scutellaria baicalensis* 的干燥根。

1.2 生态因子数据 20 个环境变量(表 2)下载于 WorldClim 环境数据库 (<http://www.worldclim.org/>),分辨率均为 30 S(≈1 km × 1 km)。

1.3 供试软件 地理信息系统软件 ArcGIS10.2 (2012, ESRI),最大熵模型运行软件 Maxent 3.3 (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>),统计分析软件 IBM-SPSS 20.0。

表 1 采样以及化学成分信息

Table 1 Information of samples and their chemical components

No.	地点	经度/°E	纬度/°N	质量分数/mg·g ⁻¹					总质量分数
				黄芩苷	汉黄芩苷	黄芩素	汉黄芩素	千层纸素 A	
1	辽宁本溪	124.001 7	41.297 9	93.74	22.72	3.50	1.97	0.84	122.76
2	辽宁开原	124.247 3	42.229 8	83.32	21.78	3.87	1.82	1.58	112.37
3	吉林白城市洮北区	122.639 1	45.753 1	144.60	25.90	8.37	1.89	0.76	181.52
4	吉林白城市洮南区	122.269 4	45.287 3	138.58	23.81	7.54	2.24	1.06	173.23
5	河北围场	118.060 8	41.733 2	83.99	17.89	3.66	2.09	0.84	108.46
6	河北丰宁	116.635 9	41.095 8	63.76	13.74	3.32	1.49	0.46	82.78
7	河北平泉	118.676 7	40.801 9	84.33	16.57	4.23	1.55	0.32	107.00
8	河北承德双滦区	118.035 7	41.433 9	79.27	16.49	3.93	1.80	0.79	102.26
9	河北赤城	116.207 2	41.231 3	67.58	15.23	3.56	2.17	1.14	89.68
10	河北崇礼	115.506 2	41.044 2	75.50	16.20	3.61	1.88	1.06	98.24
11	河北武安	113.811 6	36.993 1	66.47	10.20	0.88	0.70	0.52	78.77
12	河北张北	114.725 5	40.999 6	72.20	14.53	2.99	1.64	0.87	92.24
13	河北隆化	117.792 6	41.325 7	75.73	15.51	3.46	1.72	0.83	97.25
14	河北承德县	118.093 1	41.016 1	72.48	14.11	2.73	1.48	0.82	91.62
15	河北滦平县	117.149 2	40.922 9	73.47	14.72	3.06	1.61	0.84	93.70
16	河北秦皇岛	119.098 2	40.391 3	71.92	14.36	2.90	1.60	0.87	91.64
17	河北阜平	114.397 7	39.006 9	72.62	14.39	2.90	1.56	0.84	92.32
18	内蒙古巴林右旗	118.700 4	44.231 1	96.83	20.34	9.26	3.86	2.62	132.90
19	内蒙古阿尔山	119.998 9	46.752 7	84.61	17.34	5.09	2.19	1.06	110.29
20	内蒙古霍林郭勒	119.685 7	46.579 5	79.64	16.89	3.33	1.67	1.24	102.77
21	内蒙古克什克腾旗	117.180 0	43.464 7	94.15	18.15	4.99	1.97	1.06	120.32

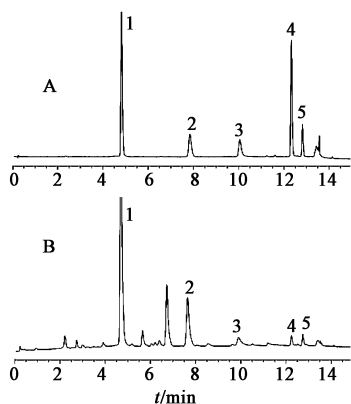
表 2 环境数据

Table 2 Environmental data

环境变量	变量描述
bio1	年均温
bio2	昼夜温差月均值
bio3	等温性
bio4	温度季节变化标准差
bio5	最暖月最高温
bio6	最冷月最低温
bio7	年温差
bio8	最湿季节平均温度
bio9	最干季节平均温度
bio10	最暖季节平均温度
bio11	最冷季节平均温度
bio12	年均降水
bio13	最湿月降水
bio14	最干月降水
bio15	降水变异系数
bio16	最湿季度降水量
bio17	最干季度降水量
bio18	最暖季度降水量
bio19	最冷季度降水量
alt	海拔高度

2 方法

2.1 黄芩样品的 5 种化学成分测定 测定方法采用刘金欣等^[16]测定黄芩成分所采用的超高效液相色谱法(UPLC)。各化学成分质量分数见表 1。对照品混合溶液和黄芩样品的 UPLC 见图 1。



1. 黄芩苷; 2. 汉黄芩苷; 3. 黄芩素; 4. 汉黄芩素; 5. 千层纸素 A

图 1 对照品混合溶液(A)和黄芩样品(B)的 UPLC

Fig.1 UPLC of mixed reference solution (A) and Scutellariae Radix sample (B)

2.2 数据处理与分析 为了降低环境变量多重共线性的影响,先将 20 个环境图层导入到 ArcGIS,再

提取出采样点下生态因子的具体数值,将其两两进行相关分析,最终选取 8 个变量(若 2 个环境变量之间 Pearson 系数 $|\geq 0.80$,则选择其中 1 个变量)并将其转为 asc 格式用于 Maxent 模型进行适生地预测。最终根据模型预测结果的取值将黄芩适生区分为 4 个等级,即高度适宜(0.6~0.9),适宜(0.3~0.6),中度适宜(0.1~0.3),不适宜(0~0.1)。模型结果以及各环境变量对模型的贡献率分别用模型自带的 ROC 曲线和刀切法来评价。

将样品中黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素以及 5 种化学成分的含量与提取出的 20 个生态因子进行相关性分析,分别将各个化学成分以及总化学成分与其本身显著相关的生态因子进行多元线性回归,进而分析生态因子对化学成分的影响。

工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC) 下面积(area under curve, AUC)^[17] 现广泛用于生态位模型的评价中,本研究运用 Maxent 模型得到 AUC 值为 0.936,远大于随机预测值 0.5,表明模型效果良好。Maxent 模型的刀切法原理是先抽取某个环境变量用其余的环境变量建模,然后单独用抽取的变量建模,以此类推通过每个模型得到的 gain 值与使用全部变量得到的 gain 值(图 2 红色,一般为最大值)比较来评价每个环境变量对模型的影响^[18]。

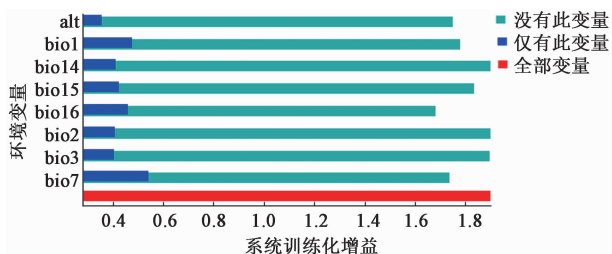


图 2 基于刀切法的环境变量分析

Fig.2 Analysis on environmental variables based on Jackknife test

3 结果

模型结果表明黄芩适生区大多分布在中国东北地区,高度适生区位于河北承德大部分地区,北京西部(门头沟、延庆、昌平),辽宁西部(朝阳市、葫芦岛市、丹东市),内蒙古大兴安岭东侧地区(锡林浩特市、赤峰市、通辽市)等地。适生区位于吉林西北部与东南部,山西北部以及内蒙古与陕西的交界处、陕西东南部等地区。中度适生区位于黑龙江大部分地区、吉林中部、内蒙古东部、陕西北部以及山东中部、北部地区等。黄芩适宜分布区适宜度以大兴安岭南

部山脉和燕山山脉为中心向两侧逐渐降低。

基于刀切法对模型中的环境变量进行分析(图 2),最湿季度降水量(bio16)和年温差(bio7)对模型预测结果的影响较大,而最干月降水(bio14)和海拔(alt)对模型预测无明显影响。可以推测最湿季度降水量和年温差对黄芩的分布有明显的影响。

将 5 种化学成分与生态因子进行多元线性回归(表 3),结果表明化学成分与生态因子有密切的联系。黄芩苷和汉黄芩苷含量与等温性(bio3)呈负相关,其中黄芩苷含量还与海拔呈负相关。黄芩素和汉黄芩素含量与温度季节变化值(bio4)呈正相关,其中黄芩素还与降水变异系数(bio15)呈正相关。千层纸素与冬季平均温度(bio9)呈负相关,5 种化学成分的总含量与等温性(bio3)呈负相关。综合几个回归方程可以看出温度和降水的变异性对黄芩的化学成分有比较大的影响,尤其是温度的变异性(bio3 和 bio4)对黄芩苷与汉黄芩苷这两种主要成分影响作用显著。

表 3 5 种化学成分与气候因子的回归方程

Table 3 Regression equation of environmental variables and five chemical components

成分	回归方程	R ²	P
黄芩苷	$Y = 299.986 - 7.447bio3 - 0.018alt$	0.563	0.017
汉黄芩苷	$Y = 61.783 - 1.661bio3$	0.612	<0.01
黄芩素	$Y = -21.635 + 0.001bio4 + 0.1bio15$	0.603	<0.01
汉黄芩素	$Y = -1.295 + 0.000257bio4$	0.216	0.02
千层纸素	$Y = 0.436 - 0.005bio9$	0.169	0.037
总含量	$Y = 383.452 - 10.231bio3$	0.471	<0.01

不同地区黄芩的化学成分含量有比较明显的差异,北部地区 5 种化学成分的总含量明显高于南部地区。位于最南部采样地河北武安地区的黄芩化学成分含量最低,黄芩苷为 66.77 mg·g⁻¹,5 种化学成分的总量为 78.77 mg·g⁻¹,位于吉林白城市的 2 个采样地的黄芩化学成分含量最高,黄芩苷为 130 mg·g⁻¹,总量为 170 mg·g⁻¹以上。道地产区的黄芩化学成分含量较低,黄芩苷一般在 60~90 mg·g⁻¹,5 种化学成分的总量在 80~110 mg·g⁻¹,其中承德围场县、隆化县和双滦区的黄芩化学成分含量较高,总量均超过 100 mg·g⁻¹。

4 讨论

生态位模型的原理是将物种的分部信息与其环境变量进行关联分析,通过统计模型、机器理论模型等对物种的适生区进行预测。Maxent 模型是基于

最大熵的原理拟合物种分布信息与环境变量,最终得出物种的适生地分布的机器理论模型,众多实践结果^[19-23]表明其预测结果真实可靠,是目前最广为应用的生态位模型。模型的适宜度分级是把所有采样地中相应的最低预测值作为分级的起始值,并且具体分级是结合实际和已有文献所作。本研究将适宜度 <0.1 的区域定为黄芩不适宜生长区,导致模型预测的黄芩适生区面积相对于实际分布区^[24]偏小,但是模型预测的黄芩适生区包含了黄芩分布的绝大部分区域,表明预测结果比较准确。模型中所采取的变量均为生物气候变量,并未将土壤、坡度、植被类型、人为因素^[25-26]等考虑在内,结果有一定的局限性。通过目视比较预测分布区的土壤植被分布图发现,预测区地跨温带针叶、阔叶混交林暗棕壤土地带,温带森林草原黑土黑钙土地带、暖温带森林草原褐土地带温带干草原栗钙土地带等多个土壤植被地带,更增加了问题的复杂性,郭兰萍等^[27]就土壤无机元素与黄芩品质之间的关系进行过深刻的讨论,本研究将继续研究,探讨土壤因素对黄芩的作用,更全面的分析黄芩生长以及药材品质与环境的关系^[28]。此外在植物相关模型领域有众多的生物气候指标来模拟和分析植被结构与功能与环境的定量关系,如 α 指数(实际蒸散与可能蒸散的比率)、标准降水指数(SPI)以及 Worldclim 全球数据库的一些气候指标等^[29],这些气候指标也可以用于研究中药的生理生化功能与生态因子的相关性。预测黄芩适生区所用环境变量空间分辨率约为 1 km × 1 km,从宏观上试图解释了黄芩生长以及质量与生态因子的关系,在微观尺度上解释力度不大,说明了生态位模型的局限性^[30],但另一方面对黄芩的引种栽培有一定的宏观指导意义,为微观研究打下一定的基础。

Maxent 模型是对黄芩的适生地进行预测,相同适宜度的地理区域虽然气候环境存在差异,但是多种生态因子的综合作用是类似的。研究结果表明黄芩的高度适生区包括道地产区承德的大部分地区,说明该区域内生态因子的综合作用与承德是类似的,在黄芩的高度适生区内进行栽培选址会极大的保持黄芩的道地性。本研究针对生态因子对黄芩次生代谢产物的影响进行了宏观探讨,力求为黄芩的引种栽培以及质量控制提供依据,并为进一步研究环境对黄芩次生代谢产物影响的微观机制提供参考。

本研究预测了黄芩在中国的生态适宜区,发现

黄芩适生区多在东北地区,高度适生区包含其道地产区,而且黄芩适生区的适宜度有沿大兴安岭南部山脉和燕山山脉向两边逐渐降低的趋势。通过黄芩中 5 种化学成分与生态因子的回归方程发现,黄芩中的化学成分与生态因子有比较密切的联系,尤其是与环境中温度和降水的变异性大小有关。本研究期望在保持道地药材内涵的前提下对黄芩的引种栽培与资源保护有指导作用。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015:301-302.

[2] 崔璐,路俊仙,林慧彬,等. 我国黄芩资源及生产现状调查研究[J]. 时珍国医国药,2009,20(9):2279-2280.

[3] 黄璐琦,李欣,邵爱娟,等. 黄芩种质资源的研究概况[J]. 世界科学技术—中医药现代化,2003,5(6):54-58.

[4] 肖蓉,袁志芳,王春英,等. 不同产地黄芩药材 HPLC 指纹图谱的研究[J]. 中草药,2005,36(5):743-747.

[5] 杨立新,刘岱,冯学锋. 高效液相色谱法测定不同产地黄芩中黄酮化合物的含量[J]. 中国中药杂志,2002,27(3):166-170.

[6] 王丹,张秋燕,蔡少青,等. 基于 HPLC 指纹图谱的黄芩道地药材与非道地药材的鉴别研究[J]. 中国中药杂志,2013,38(12):1954-1960.

[7] Vandermeer J H. Niche theory[J]. Annu Rev Ecol Syst, 1972(3):107-132.

[8] 索凤梅,陈士林,任德权,等. 道地药材的产地适宜性研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(19):1485-1488.

[9] 陈士林,周应群,谢彩香,等. 基于 TCMGIS 的西洋参生态适宜性分析[J]. 中国中药杂志,2008,33(7):741-744.

[10] 陈士林,周应群,谢彩香,等. 中国药材生态适宜性分析及生产区划[J]. 中草药,2007,38(4):481-487.

[11] 郭兰萍,黄璐琦,阎洪,等. 基于地理信息系统的苍术道地药材气候生态特征研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(8):1-5.

[12] 乔慧捷,胡军华,黄继红. 生态位模型的理论基础、发展方向与挑战[J]. 中国科学:生命科学,2013,43(11):915-927.

[13] 郑勇凤,王佳婧,傅超美,等. 黄芩的化学成分与药理作用研究进展[J]. 中成药,2016,38(1):141-147.

[14] 辛文好,宋俊科,何国荣,等. 黄芩素和黄芩苷的药理作用及机制研究进展[J]. 中国新药杂志,2013,22(6):647-659.

[15] 周锡钦,梁鸿,路新华,等. 中药黄芩主要黄酮类成分及其生物活性研究[J]. 北京大学学报:医学版,

2009,41(5):578-584.

[16] 刘金欣,孟繁蕴,张胜海,等. UPLC 同时测定黄芩中黄芩苷、黄芩素、汉黄芩苷、汉黄芩素、千层纸素 A [J]. 中草药,2014,45(10):1477-1480.

[17] 曹向锋,钱国良,胡白石,等. 采用生态位模型预测黄顶菊在中国的潜在适生区[J]. 应用生态学报,2010,21(12):3063-3069.

[18] 朱耿平,刘晨,李敏,等. 基于 Maxent 和 GARP 模型的中国双棘长蠹在中国的潜在地理分布分析[J]. 昆虫学报,2014,57(5):581-586.

[19] 张路. 基于 Maxent 模型预测齿裂大戟在中国的潜在分布区[J]. 生物安全学报,2015,24(3):194-200.

[20] 刘蒙蒙,邢咏梅,郭顺星,等. 基于 Maxent 生态位模型预测药用植物真菌猪苓在中国潜在适宜区[J]. 中国中药杂志,2015,40(14):2792-2795.

[21] 孙洪兵,孙辉,蒋媛媛,等. 基于 3S 技术的羌活区划研究:基于 Maxent 和 ArcGIS 的羌活生长适宜性分析及评价[J]. 中国中药杂志,2015,40(5):853-862.

[22] Remya K, Ramachandran A, Iyakumar S. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India [J]. Ecol Eng, 2015(82):184-188.

[23] Khanum R, Mumtaz A S, Kumar S, et al. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using *Maxent modeling* [J]. Acta Oecol, 2013(49):23-31.

[24] 谷婧,黄玮,张文生. 黄芩野生与栽培资源分布调查研究[J]. 中国中医药信息杂志,2013,20(12):42-45.

[25] 张小波,郭兰萍,黄璐琦,等. 中药区划研究进展[J]. 中国农业资源与区划,2010,31(2):64-69.

[26] 郭兰萍,黄璐琦,吕冬梅,等. 基于 3S 技术的中药道地药材空间分析数据库的构建和应用[J]. 中国中药杂志,2007,32(17):1821-1824.

[27] 郭兰萍,王升,黄璐琦,等. 生态因子对黄芩次生代谢产物及无机元素的影响及黄芩道地性分析[J]. 中国科学:生命科学,2014,44(1):66-74.

[28] 郭兰萍,黄璐琦. 中药资源生态学研究的理论框架[J]. 资源科学,2008,30(2):296-304.

[29] 倪健. 全球变化研究中的生物气候指标[C]. 桂林:中国古生物学会孢粉学会第九届一次学术年会,2013.

[30] Gotelli N J, Anderson M J, Arita H T, et al. Patterns and causes of species richness: a general simulation model for macroecology [J]. Ecol Lett, 2009, 12(9):873-886.

[责任编辑 邹晓翠]