

蒙古黄芪的生态适宜性数值分析*

□索风梅** 丁万隆 谢彩香 董 梁 林余霖**

(中国医学科学院 药用植物研究所 北京 100193)
(北京协和医学院)

孙成忠 (中国测绘科学研究院 北京 100039)

李应东 (甘肃中医学院 兰州 730000)

摘要:目的:明确蒙古黄芪的重要生态因子,分析其在中国的适宜生长区域,为蒙古黄芪的引种扩种以及合理规划生产布局提供参考。方法:综合实地采样、标本查阅和文献研究结果,应用 ArcGIS 和气候数据库提取蒙古黄芪各样点生态因子,应用层次分析法对生态因子综合分析确定因子权重,并以此为依据利用中药材产地适宜性分析平台(TCMGIS-II)对蒙古黄芪的生态适宜区进行分析。结果:蒙古黄芪生态因子的最适范围:活动积温 9831.4~31145.6℃;相对湿度 40.6%~77.7%;年均日照时数 2413.5~3212.5h;年降水量 178.6~541.4mm;1月最低温-35.6~-11.7℃;7月均温 16.5~23.5℃;7月最高温 22.8~29.9℃;土壤类型主要为褐土、灰色森林土、黑钙土等,结果表明:蒙古黄芪主要分布在中国北部相对干旱的地区,与主产区生态因子相似度为 95%~100%的区域位于中国西北和东北地区,总共包括 299 个县市,面积约 396325.6km²,其中内蒙古、新疆、黑龙江、河北和山西的适宜面积最大,达到 688676km²,占总适宜面积的 95.48%。内蒙古的适宜县市数最多且相对集中,包括 79 个县市,面积达 438931km²,新疆其次;相似度为 90%~95%的区域有 263 个县市的 134163km²,其中以新疆适宜面积最大;相似度在 80%~90%的区域分布较广,主要包括青海、西藏、四川、内蒙古等 9 个省份 356 个县市,总适宜面积为 101540km²。结论:与蒙古黄芪 TCMGIS-I 分析相比,本研究在方法学、分析系统和分析结果上都具有绝对的优越性,而且本系统分析结果完全涵盖了 TCMGIS-I 分析的结果范围,同时分析出了很多新的适宜区域,通过后期实地考察和实验,这些区域很有可能发展成为未来蒙古黄芪潜在的适生区。

关键词:蒙古黄芪 生态适宜性 生态因子 TCMGIS-II

doi: 10.3969/j.issn.1674-3849.2010.03.034

黄芪药材来源于豆科植物蒙古黄芪[Astragalus membranaceus (Fisch.) Bge. var. mongholicus (Bge.) Hsiao]

或膜荚黄芪[Astragalus membranaceus (Fisch.) Bge.]的干燥根,具有补气固表,利尿托毒,排脓,敛疮生肌之功效^[1]。药用以蒙古黄芪为主,主产于山西、内蒙古、河北等地^[2-3]。黄芪药性平和,称之为“补气固表之圣

收稿日期:2010-06-02

修回日期:2010-06-12

* 科学技术部“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAI06A15-12):蒙古黄芪产业化关键技术研究,负责人:王兰英;科学技术部“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAI21B07):中药材引种适宜产地评价方法及模式研究,负责人:宋经元。

** 联系人:索风梅,助理研究员,主要研究方向:中药资源学,E-mail:fmsuo@implad.ac.cn;林余霖,副研究员,主要研究方向:中药资源可持续利用,E-mail:yilin@implad.ac.cn。

药”、“仙药之品”，广泛应用于临床配方，已有 2000 多年的应用历史。以黄芪为原料生产的中成药达 200 多种，如十全大补丸、人参归脾丸、安神养心丸等均是应用历史悠久，长盛不衰的补益良药；近年来推出的脑络通胶囊、醒脑再造胶囊、冠心苏合片等深受市场欢迎。尤其是“北芪精”、“参芪蜂王浆”及“北芪酒”等有很高的医疗保健价值，畅销国内外。同时，黄芪还是我国传统大宗的出口商品，远销东南亚、日本、新加坡等国家和地区。由于长期过度采挖，蒙古黄芪野生资源锐减，现被认定为易危物种^[4]。为了满足市场的需要，各地对蒙古黄芪进行了大规模的引种栽培^[5]，而产地适宜性研究是引种栽培的前提和基础。

《中药材产地适宜性分析地理信息系统-II》(TCMGIS-II)是在 TCMGIS-I 系统的基础上进行改进和完善的第二代系统，相比第一代系统，第二代系统生态因子数据更加丰富、数据格式更加科学、定量和空间化程度更高，本课题组应用 TCMGIS-I 已经成功分析了包括蒙古黄芪、人参、西洋参、黄檗等 20 多种药材的产地适宜性，在一定程度上起到了指导药材引种栽培和合理生产布局的作用^[6-9]。但科学的脚步日新月异，蒙古黄芪的产地适宜性研究的初步尝试也具有一定的局限性，如基点县的选择具有较大的人为主观性、主要根据文献记载来确定生态因子范围，具有一定的笼统性且生态因子采用平均权重等使分析结果不尽完善。因此，有必要对蒙古黄芪产地适宜性进行重新分析和确定。本文应用统计学手段，并首次将层次分析法引用到数据分析中，综合分析确定生态因子及其数值范围和权重，以全新的 TCMGIS-II 为平台，重新对蒙古黄芪进行定量化、空间化的生态适宜性分析，得到了客观理想的数据和结果，以期对蒙古黄芪的引种栽培提供更加科学的参考和依据。

一、蒙古黄芪主产区生态因子值分析和权重确定

1. 资料来源

通过实地采样以及标本和文献查阅确定蒙古黄芪分布点共 444 份标本，资料分别来源于中国数字植物标本馆(CVH; <http://www.cvh.org.cn/>)、中国科学院植物研究所标本馆等 13 所标本馆 228 份；国家科技部教学标本资源共享平台(<http://mnh.scu.edu.cn/index/>)标本 216 份；同时查阅《中国植物志》、《四川植物志》等地方植物志以及蒙古黄芪相关的研究文献确定其分布点。

2. 生态因子选择

黄芪商品中的山西浑源、应县的膜荚黄芪、内蒙古自治区的蒙古黄芪，以条粗直、粉质好，味清甜，具浓郁豆香气等优良性状驰名中外^[2]，多生长在山区或半山区的干旱向阳草地或林缘，植被为针阔混交林或山地杂木地，具有喜冷凉、耐旱向阳和怕涝的习性^[7]。本研究以中国省、县和乡镇区划图为底图，ArcGIS 和全国气候与土壤数据库为平台，选取内蒙古自治区杭锦旗锡尼镇、乌拉特前旗朝阳乡、鄂伦春自治旗、阿里河武川县西乌兰不浪等乡镇，基于全国 1971~2000 年各地气象站的气候数据采用插值法生成的全国 1km² 气候栅格数据库、1:400 万土壤数据库和 1:100 万地形数据库，利用 TCMGIS-II 进行点面叠置分析，确定样点在气候图层中的栅格位置，并将该栅格的气象数值作为样点的相应属性值，得到各样点处的不同生态因子值，本研究选取 1 月、7 月、7 月最高温、1 月最低温、年降雨量、相对湿度、日照时数、活动积温、年均温、海拔、土壤等 217 个样点的生态因子进行综合分析。

从表 1 中各生态因子的变异系数来看，海拔和 3 月均温的变异系数较大，都在 80% 以上，显然不是蒙古黄芪的分布的主要限制因子。另外，年均温和 1 月均温的变异系数也大于 50%。在本研究中，选择变异系数相对较小的活动积温、相对湿度、日照时数、年降雨量、1 月最低温、7 月均温、7 月最高温等因子来进行分析，结果得到蒙古黄芪主产区的生态因子值如下：活动积温 14086~26891℃；相对湿度 48%~70.3%；日照时数 2573~3053h；土壤类型以褐土、灰色森林土、黑钙土、淡栗褐土、棕钙土、灰褐土、淋溶灰褐土等为主。

二、蒙古黄芪主产区生态因子权重确定

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 可以较为客观的确定各因子的权重，具体分为如下 3 个步骤：

1. 建立层次结构模型

按照各生态因子对适宜性的影响不同，分成两个层次，见图 1。

2. 构造判断(成对比较)矩阵

在确定各层次各因素之间的权重时，如果只是定性的结果，则不容易被别人接受，美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂(T. L. Saaty)等^[10]提出：一致矩阵法。

设要比较各生态因子 $C_1, C_2, \dots, C_n$ 对目标 A 的重要性：

$$C_i: C_j \rightarrow a_{ij}$$

$$A=(a_{ij})_{n \times n}, a_{ij} > 0, a_{ij} = 1/a_{ji}$$

$$a = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 1/4 & 1/2 & 1/2 & 3 & 2 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 5 \\ 1/3 & 2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1/3 & 2 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1/3 & 2 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/4 & 3 & 1/2 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

根据 Matlab 算出矩阵 A 的最大特征值 $\lambda=9.1020$ 权向量 (特征向量) $w=(0.4664, 0.2236, 0.7133, 0.2309, 0.2912, 0.2106, 0.1713, 0.1090)^T$ 。

3. 一致性检验 (CR 检验)

根据一致性检验公式: $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$ (其中 n 为 A 的对角线元素之和, 也为 A 的特征根之和), 得到 $CI = \frac{8.7264 - 8}{8 - 1} = 0.103771$, 进而算出一致性比率: $CR = 0.103771 / 1.41 = 0.074 < 0.1$, 通过一致性检验。由特征向量归一化得到各生态因子的权重, 见表 2。

三、蒙古黄芪生态适宜性数值分析

1. 分析方法

TCMGIS-II 根据输入的蒙古黄芪因子值进行数据标准化处理, 采用绝对偏差均值法:

$$S_f = \frac{1}{n} (|x_{1f} - m_f| + |x_{2f} - m_f| + \dots + |x_{nf} - m_f|)$$

$$\text{其中: } m_f = \frac{1}{n} (x_{1f} + x_{2f} + \dots + x_{nf})$$

标准化值为 $Z_{if} = \frac{x_{if} - m_f}{S_f}$ 归一化到 0~100 之间;

采用公式 $d_{ij} = [\sum_{k=1}^n a_i |x_{ik} - x_{jk}|^2]^{1/2}$ 计算每个栅格对蒙古黄芪适宜因子范围的统计距离。

其中, a_i 为每个因子的权重; m_f 表示 n 个聚类对象第 f 各要素的均值; S_f 是绝对偏差均值; m_f 代表 n 个数值的均值; Z_{if} 是第 i 个因子的标准化值; d_{ij} 为明科夫斯基距离。

将得到的每个栅格的统计距离按照均等分出不同距离等级, 从而确定蒙古黄芪的不同相似系数产区; 将蒙古黄芪不同相似系数产区的栅格数据转换

成矢量数据文件, 与县行政区划数据进行相交运算和面积计算, 得到不同产区在各个县的分布面积。

2. 蒙古黄芪适宜产区分析结果

根据 TCMGIS-II 系统对蒙古黄芪进行分析, 得到蒙古黄芪产地适宜区全国分布图, 见图 1。系统分析结果显示, 蒙古黄芪主要分布在中国北部相对干旱的地区, 与主产区生态因子相似度为 95%~100% 的区域位于中国西北和东北地区, 总共包括 299 个县市, 面积约 396325.6 km², 其中内蒙古、新疆、黑龙江、河北和山西的适宜面积最大, 达到 688676 km², 占总适宜面积的 95.48%。内蒙古的适宜县市数最多且相对集中, 包括东乌珠穆沁旗、苏尼特左旗、阿巴嘎旗、新巴尔虎右旗、西乌珠穆沁旗、苏尼特右旗、四子王旗、锡林浩特市等 79 个县市 (面积 438931 km², 占县市比例为 42%, 下同); 新疆其次, 包括托里、和布克赛尔蒙古自治县、青河、额敏、阿勒泰、富蕴、裕民、尼勒克、博乐、昭苏等 57 个县市 (面积 137271 km², 比例 18%); 黑龙江包括伊

表 1 蒙古黄芪主产区气候指标统计

指标生态因子	最小值	最大值	平均数	标准差	变异系数(%)
活动积温(℃)	14086	26891	20488.5	4564.2	44.2
年均温(℃)	5.4	13.4	9.4	21.3	60.2
相对湿度(%)	48	70.3	59.2	62.8	26.7
日照时数(h/y)	2573	3053	2813.0	141.8	12.1
年降水量(mm)	251	469	360.0	70.0	42.8
1月均温(℃)	-25.8	-11.5	-18.7	37.7	54.2
1月最低温(℃)	-30.8	-16.5	-23.7	38.0	42.8
7月均温(℃)	17.9	22.1	20.0	12.8	14.8
7月最高温(℃)	24.2	28.5	26.4	13.1	11.5
3月均温	-12	-2	-7	29.43	101.0
海拔 km	500	2004	1252.0	433.2	84.9

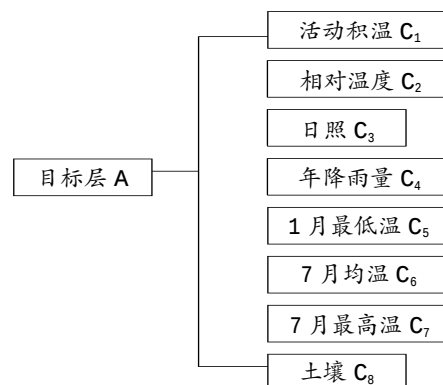


图 1 蒙古黄芪的产地适宜性层析结构模型

陕西包括神木、黄龙等 7 个县市(面积 1162km², 比例 4%), 此外, 宁夏、吉林、天津等省市也有零星分布。

相似度在 80%~90% 的区域分布较广, 主要包括青海、西藏、四川、内蒙古等 9 个省份 356 个县市, 总适宜面积为 101540km², 其中, 青海适宜区分布面积最广, 达 44693.07km², 占总适宜面积的 44%, 其次为西藏、四川、内蒙古等省份。

四、讨 论

1. 蒙古黄芪的产地变迁

《神农本草经》记载“黄芪生蜀郡山谷、白水、汉中, 二月、十月采, 阴干。”表明黄芪起初产于四川一带; 梁代, 黄芪产地发生了变化, 认为今甘肃的东南部和临潭质量最好, 四川松潘、茂汶西北部一带和甘肃岷县之南次之; 唐代, 据苏敬曰“今出原州华原者最良, 蜀汉不复采用。直州、宁州者亦佳。”表明宁夏固原、陕西华原的最佳, 其次为甘、川、陕三省边界地区, 四川的黄芪已不再采用; 宋代, 《本草蒙荃》中记载“绵耆出山西沁州绵山(原文“上”), 此品极佳。”表明山西沁县绵山产的绵耆最好; 清代, 据《植物名实图考》记载“黄芪有数种, 山西、蒙古者最佳”; 现代, 黄芪商品中的山西浑源、应县的膜荚黄芪、内蒙古黄芪, 以条粗直、粉质好, 味清甜, 具浓郁豆香气等优良性状驰名中外^[2]。从朝代更替和黄芪的产地变化, 可以看出古代黄芪正品的产地有从四川、甘肃、经宁夏、陕西、向山西、内蒙古逐渐过渡的历史^[14], 而且, 从最初黄芪的品种完全混淆到现在的蒙古黄芪和膜荚黄芪关系逐渐明朗, 目前正品黄芪以蒙古黄芪为主, 但膜荚黄芪仍在使用的。

2. 与文献和 TCMGIS-I 分析结果比较

本系统分析的蒙古黄芪适宜区基本涵盖了《中国常用中药材》记载区域“黄芪主要分布于山西、内蒙古、吉林、黑龙江、辽宁、河北、甘肃; 新疆、西藏、四川、陕西、宁夏、青海、河南、山东、江苏等亦有分布”^[2]。另有报道^[12-15]蒙古黄芪分布于内蒙古的锡林郭勒、白音锡勒、克什克腾旗、黄岗梁和白音敖包; 华北地区的燕山山地、大青山、蛮汗山、小五台山、恒山、五台山、吕梁山北部, 与本系统分析结果也有极高的吻合度。同时, 本研究还得出一些以往文献中没有记载过的区域, 如新疆的托里、和布克赛尔蒙古自治县、青河、额敏、阿勒泰、富蕴、裕民等县市(面积 137271km², 比例 18%); 北京怀柔、延庆、密云等 8 个县市(面积 967km², 比例 7%), 这些区域很有可能成为潜在蒙古黄芪适宜区。

本文与 TCMGIS-I 分析研究相比, 在方法学上, 本文采用了多数据库查询系统和标本馆、植物志等资料确定标本点数据, 采用统计学手段计算标准差和变异系数, 以此为依据对各生态因子进行筛选; 同时, 首次应用层次分析法确定各蒙古黄芪各生态因子权重, 克服了原来使用平均权重的局限, 是分析结果更加科学; 在分析系统上, TCMGIS-II 是在 TCMGIS-I 的基础上改进和完善而产生的, 在原有基础上增加了活动积温、1 月最低温、7 月最高温、3 月均温等 10 个因子数据; 土壤数据由原来的二元数据通过程序语言转换成具有一定连续性的数据格式; 在底层数据库中, 采用了最新的地图数据, 使分析结果更加准确、可靠; 在分析结果上, 本系统分析结果完全涵盖了 TCMGIS-I 分析的结果范围, 虽然第一次分析采用内蒙古武川和山西浑源两个基点县, 但是分析范围比较小, 发现的新的潜在的适宜区很有限, 本系统分析结果在涵盖蒙古黄芪原有分布的基础上, 分析出了很多新的适宜区域, 通过后期实地考察和实验, 这些区域很有可能发展成为蒙古黄芪潜在的适生区。

3. 综合区划的建议

与蒙古黄芪主产区相似度达到 80%~100% 的区域主要位于中国地形图第二级阶梯范围之内的干旱中温带内, 分成两部分, 一部分集中于东北部内蒙古高原东部、大兴安岭南段、向中部延伸至太行山北端, 包括内蒙古、山西和河北等区域, 见图 3, 这些区域适宜区面积较大, 又是传统的蒙古黄芪的主产区, 分布相对集中, 栽培、加工条件较好, 蒙古黄芪的人工种植生产基地可以这一带作为重点; 另一部分主要位于西北部阿尔泰山南侧经准噶尔西部山地延伸至天山山脉东部北坡区, 呈环形分布, 适宜性面积相对较少, 主要包括新疆等地, 该区域是文献没有记载过的分布区域, 通过系统抽查发现, 该区域不论是土壤类型和气候因子数据均与蒙古黄芪主产区具有极高的相似性, 虽然新疆的大气候与蒙古黄芪主产区略有差异, 但在这些山脉的一侧和周围, 因为特殊的地形地势, 形成了一些小气候, 所以经过实地调研和适当的田间的实验, 这些区域很可能成为蒙古黄芪潜在的适生区域。整体来讲, 与主产区生态因子相似度达到 80%~100% 的区域中, 东北部地形开阔平坦, 以波状平原为主, 也有起伏丘陵, 土壤质地轻粗, 类型主要为黑钙土、栗钙土、沼泽土等; 西北部土壤类型主要为棕钙土、灰褐土等气候比较湿润, 也比较适宜蒙古黄芪的引种和栽培。

参考文献

- 1 国家药典委员会.中华人民共和国药典年版,一部.北京:化学工业出版社,2005.
- 2 中国药材公司.中国常用中药材.北京:科学出版社,1995:454~825.
- 3 赵一之.黄芪植物来源及其产地分布研究.中草药,2004,35(10):1189~1190.
- 4 汪松,解焱主编.中国物种红色名录.红色名录(第1卷).北京:高等教育出版社,2004:343~345.
- 5 赵明,段金殿,黄文哲,等.中国黄芪属(*Astragalus* Linn.)药用植物资源现状及分析.中国野生植物资源,2000,19(6):5~9.
- 6 陈士林,魏建和,孙成忠,等.中药材产地适宜性分析地理信息系统的开发及蒙古黄芪产地适宜性研究.世界科学技术-中药现代化,2006,8(3):47~53.
- 7 陈士林,索凤梅,韩建萍,等.中国药材生态适宜性分析及生产区划.中草药,2007,38(4):481~487.
- 8 陈士林,周应群,谢彩香,等.基于TCMGIS-I的西洋参生态适宜性分析.中国中药杂志,2008,33(7):741~745.
- 9 索凤梅,陈士林,张昭,等.基于TCMGIS-I的黄芪生态适宜性分析.中国中药杂志,2008,33(13):40~43.
- 10 李元左,邱涤珊.基于广义判断形式的模糊排序方法.模糊系统与数学,1997,11(4):65~71.
- 11 赵一之.黄芪植物来源及其产地分布研究.中草药,2004,35(10):1189~1190.
- 12 陈志国,马世震,陈桂琛,等.甘肃陇西道地药材蒙古黄芪规范化栽培技术规程初步研究.中草药,35(11):1289~1293.
- 13 傅沛云.东北草本植物志.北京:科学出版社,1990,4:89~93.
- 14 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志.北京:科学出版社,1999,43(2):152.
- 15 马毓泉.内蒙古植物志.呼和浩特:内蒙古人民出版社,1989:67~69.

GIS-Based Ecological Evaluation of Suitable Areas of *Astragalus membranaceus* GrowthSuo Fengmei¹, Ding Wanlong¹, Xie Caixiang¹, Dong Liang¹, Lin Yulin¹, Sun Chengzhong², Li Yingdong³

(1. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Beijing 100193, China;

2. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China;

3. Gansu College of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

Abstract: This work aimed to investigate the comprehensive ecological factors of *Astragalus membranaceus* and its regional suitability in China. Based on the field surveys, specimen examination and literature investigation, a nationwide analysis concerning the ecological factors and growing areas of *A. membranaceus* was made by the Traditional Chinese Medicine Geographic Information System (TCMGIS). The optimal range of ecological factors of *A. membranaceus* was determined as follows: 9831.4-31145.6°C for the active accumulated temperature, 40.6%-77.7% for the relative humidity, 2413.5-3212.5 h for the annual sunshine time, 251-469 mm for the annual precipitation, -35.6-11.7°C for the lowest temperature in Jan, 16.5-23.5°C for the average temperature in July, 22.8-29.9°C for the highest temperature in July, and cinnamon soil, orthic luvisols and chernozem the soil types. The analysis of the appropriate areas for *A. membranaceus* growth by TCMGIS-II showed that the suitable growth areas of *A. membranaceus* (similarity as 95%-100%) are the arid areas located in northern China, including 299 cities and counties and occupying 396325.6 km². Among these provinces Inner Mongolia, Xinjiang, Heilongjiang, Hebei and Shanxi are larger and occupy 688676 km², making up 95.48% of the total suitable area. Inner Mongolia has the largest number of suitable cities and counties which are relatively concentrated, covering 79 counties and areas and occupying 438931 km². Xinjiang takes the second place, with the suitable area of *A. membranaceus* (similarity as 90%-95%) growth covering 263 cities and counties and occupying 134163 km². Xinjiang Province also has the largest growth area of 45935 km² (5%). At the similarity of 80%-90%, Xinjiang has 356 cities and counties suitable for *A. membranaceus* growth, reaching 101540 km². Compared with the TCMGIS-I analysis, the methodology and the system developed in this work are better. The suitable areas obtained here not only completely cover those by the TCMGIS-I, but also have found a number of new suitable areas for *A. membranaceus* growth. Through field study and experiments, these regions may develop into potential suitable areas in the future.

Keywords: *Astragalus membranaceus*, Ecological suitability, Climatic factors, TCMGIS-II

(责任编辑:王 瑀, 责任译审:张立威)