

我国以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布

郭泉水¹, 郭志华¹, 阎 洪², 王春玲³, 谭德远⁴, 马 超¹, 何红艳¹

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;
3. 国家林业局野生动植物保护司, 北京 100043; 4. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083)

摘要:以我国最新出版的《中国植被图集》为基础,应用地理信息系统 GIS 软件 ARC/INFO(NT 版)和数字化仪,提取以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理分布信息,制作地理分布专题图;在生态信息系统(GREEN)软件支持下,定义地理气候适应参数区间,生成以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布图;将现存和潜在的分布图叠加并对照比较,揭示以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布特征,预测适宜以梭梭属植物为优势的荒漠植被发展的地理空间。结果表明:以梭梭柴为优势的潜在荒漠植被分布的行政区域包括新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区、甘肃省、青海省等省(区),以白梭梭为优势的潜在荒漠植被分布的行政区域仅限于新疆维吾尔自治区;以梭梭柴为优势和以白梭梭为优势的潜在荒漠植被分布与现存的以梭梭柴为优势和以白梭梭为优势的荒漠植被分布的行政区域一致,分布的地貌也基本相同,但两者之间在地理分布边界和面积上存在较大差异。以梭梭柴为优势的潜在荒漠植被分布的北界超出现存的以梭梭柴为优势的荒漠植被的分布北界约 0.9 个纬度,南界超出约 0.4 个纬度;东界超出约 5.9 个经度,西界超出约 3.5 个经度;以白梭梭为优势的潜在荒漠植被分布的北界超出现存的以白梭梭为优势的荒漠植被分布的北界约 1 个纬度;南界超出约 0.9 个纬度;东界超出约 2.1 个经度,西界超出约 3.3 个经度;全国现存的以梭梭柴为优势的荒漠植被分布的面积约占以梭梭柴为优势的潜在荒漠植被分布面积的 9.1%。其中甘肃省现存以梭梭柴为优势的荒漠植被分布的面积约占该省以梭梭柴为优势的荒漠植被分布分布面积的 5.6%,青海省约占该省的 16.1%,内蒙古自治区约占该省的 6.4%,新疆维吾尔自治区约占该省的 10.5%。全国现存的以白梭梭为优势的荒漠植被分布面积约占以白梭梭为优势的潜在荒漠植被分布面积的 34.1%。以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被的预测结果可为梭梭荒漠植被的恢复和重建以及引种区划提供科学依据。

关键词:梭梭; 荒漠植被; 现存分布; 潜在分布

Study on potential distribution of *Haloxylon* plants dominated desert vegetation in China

GUO Quan-Shui¹, GUO Zhi-Hua¹, YAN Hong², WANG Chun-Ling³, TAN De-Yuan⁴, MA Chao¹, HE Hong-Yan¹

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China; 2. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 3. Department of Wildlife Protection, State Forestry Administration, Beijing 100043, China; 4. College of Bioscience and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 848~853.

Abstract: Based on a new published Vegetation Atlas of China and digitizing function of ARC/INFO GIS package, we produced a digital map to describe the actual distribution of *Haloxylon* plants dominated desert vegetation. The climatic requirements of *Haloxylon* species were extracted from the map subsequently using GREEN, a climate matching and mapping program for their potential distribution prediction. Compared between actual and potential distribution maps, the major factors that determine the potential distribution of *Haloxylon* plants dominated vegetation can be recognized and used to evaluate ecological potential

基金项目:国家林业局野生动植物保护司资助项目(2002-1);国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90211006)

收稿日期:2004-09-21; **修订日期:**2005-02-23

作者简介:郭泉水(1954~),男,河北易县人,研究员,主要从事森林生态研究。E-mail: guoqs. @forestry. ac. cn

致谢:本文在研究过程中得到国家林业局森林生态环境重点实验室技术支持,谨表谢意。

Foundation item: The study was supported by a project of Department of Wildlife Protection, State Forestry Administration (No. 2002-1) and National Natural Science Foundation of China (No. 90211006)

Received date: 2004-09-21; **Accepted date:** 2005-02-23

Biography: GUO Quan-Shui, Professor, mainly engaged in forest ecology. E-mail: guoqs. @forestry. ac. cn

of *Haloxylon* dominated desert vegetation in the future. The results showed that the desert vegetation dominated by *Haloxylon* plants mainly distribute in Xinjiang Uygur Autonomous Region, Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu and Qinghai Provinces, while the distribution of *Haloxylon persicum* dominated desert vegetation inhabit only in Xinjiang. Both actual and potential distributions of *Haloxylon* plants dominated desert vegetations cover the same administration divisions with similar topographic distribution. However, there are large differences in geographical extension and areas between actual and potential distribution. The potential distributions of *Haloxylon* plants are much bigger than their actual distribution. In China, the proportion of actual distribution area of *Haloxylon ammodendron* dominated desert vegetation accounts for 9.1% of its potential distribution area. Of which the actual area of *H. ammodendron* dominated desert vegetation accounts for 5.6% of potential area in Gansu province and vary from 16.1% to 6.4% and 10.5% in Qinghai, Inner Mongolia and Xinjiang, respectively. Meanwhile, the proportion of actual area of *Haloxylon persicum* dominated desert vegetation is 34.1% of its potential distribution area. The prediction of potential distribution of *Haloxylon* plants dominated desert vegetation provides a support of decision making for *Haloxylon* dominated desert vegetation restoration in western China.

Key words: *Haloxylon* plants; desert vegetation; potential distribution

文章编号:1000-0933(2005)04-0848-06 中图分类号:S727.23 文献标识码:A

潜在植被(Potential vegetation)或自然植被是指在现代气候条件下,当植被与气候条件达到平衡时所应发育的植被^[1];现存植被或实际植被(Actual vegetation)是指目前所观察到的现状植被的镶嵌^[2]。从潜在植被的定义可以看出,潜在植被是建立在现存植被与现代气候关系基础之上的,其中含有“植被的所有演替系列都没有人为干扰,仅是在现代气候条件下完成的”这种假定,所以潜在植被分布也被称之为“理论分布”^[3]。由于人类活动的干扰,目前地球上大部分地区的现存植被已经脱离了潜在植被分布状态^[1]。

世界植被类型的空间分布与大尺度的气候类型高度相关,对地区尺度来说这种相关仍然存在^[3]。按照生态学观点,现存植被在分布地区的气候条件和历史条件下形成的气候适应性是其对现实气候生态位的占有,因此,现存植被与现代气候的内在联系可以作为潜在植被研究的依据。过去,人们对潜在植被的研究主要是根据现存植被分布,借助气候和植被历史资料,参考土壤调查和土壤分布图来完成^[4],但这种方法往往容易受到历史气候资料难以收集的限制。根据生物气候相似性原理,构建大范围生物地理模型来预测潜在植被的分布是当今世界发展的主要趋势^[5~9]。由于每个物种根据其生命史和适应方式对环境的变化均有不同的反应,那么多物种组成的植被必然存在多种生态适应性,从而给植被分布边界的确定带来了一定的困难。近年来,有些学者把潜在植被分布的研究定位在以单一物种或以单一物种为优势的植被类型上,对解决潜在植被分布预测中出现的边界问题进行了一些探索^[10,11]。

以梭梭(*Haloxylon Bunge*)属植物为优势的荒漠群系有“荒漠森林”之称,是亚洲荒漠区分布最广的荒漠植被类型^[12]。在我国,梭梭荒漠分布的面积十分广阔,约占整个荒漠(不包括山地)面积的十分之一。世界上梭梭属植物约有 11 种,我国有 2 个种,即梭梭柴(*H. ammodendron*(C. A. Mey.)Bunge)和白梭梭(*H. persicum* Bunge ex Boiss. et Buhse)^[13],目前,这两个种都被列为国家珍稀濒危保护植物。鉴于以梭梭属植物为优势的荒漠植被在维护我国区域生态平衡和促进国民经济发展中的重要作用,多年来,有关梭梭属植物和以梭梭属植物为优势的荒漠植被的研究倍受关注,并取得了许多卓有成效的研究结果^[13~17],但对以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布的研究尚未见过报道。

本文拟以我国近年来出版的《中国植被图集》为基础,应用地理信息系统 GIS 和数字化仪等现代信息处理技术,提取以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理分布信息,并制作专题图,进而在生态信息系统(GREEN)软件支持下,定义其地理气候适应参数区间,预测以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被的地理分布。旨在为梭梭荒漠植被的恢复和重建以及引种区划提供科学依据。

1 研究方法

1.1 以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理分布图文资料的收集和整理

以中国科学院中国植被图编辑委员会 2001 年编纂出版的 1:100 万《中国植被图集》^[18]为基础,应用地理信息系统 GIS 软件 ARC/INFO(NT 版)和数字化仪,按照图幅扫描→拼接→核校→数字化→编辑→属性数据计算→图形输出等操作程序,提取以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理分布信息,制作现存荒漠植被地理分布专题图。

1.2 应用生态信息系统(GREEN)查询并定义以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理气候适应参数区间

生态信息系统(GREEN)软件是根据地理信息系统原理,用 TURBOPASCAL 计算机语言编制的专用软件。其中含有 1:200 万地形图数字化产生的数字海拔高程、我国 768 个气象基本台站和周边国家的长年气候平均值、从 2000 多个台站获取

的降水资料以及以此为基础,通过对地形资料和各气象台站的气候资料在考虑地形数据条件下进行高精度插值后生成的中国现实气候场。对应用该软件预测的结果采用交互验证方式进行误差检验的结果表明,温度值和降水量的误差分别小于 0.5%和 10%^[3]。该软件的主要功能在于能够将地形和气候数据与植物分布相联系,较准确的判断适宜植物生长或植被分布的地理和气候条件,并以图形方式显示植物或植被的潜在分布。关于系统设计原理以及系统的构建过程请参阅有关文献^[3,19,20]

查询并定义以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理气候适应参数区间的具体步骤:①以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被的地理分布专题图为基础,按着 0.1 个经度和纬度为间隔,在其分布区的边缘和分布区域内,均匀布设地理气候查询点,将各查询点的地理坐标输入生态信息系统(GREEN),即可获得每个查询点上的年平均温度、最冷月平均最低温度、最热月平均最高温度、年平均降水量、干旱期(降水量小于 40mm 的月数)、极端最低温度、干燥度和海拔高度等一系列与梭梭属植物分布有关的地理气候要素信息;②将查询结果汇总,提取各地理气候要素的上下限数值,即可定义以梭梭属植物为优势的荒漠植被的地理气候适应参数区间。

1.3 以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布图的制作及其与现存荒漠植被分布的比较

将以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被的地理气候适应参数区间作为阈值,输入生态信息系统(GREEN),则可生成以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布图;将以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被和潜在荒漠植被图叠加,并以此为基础,比较两者之间的异同。

2 结果与分析

2.1 以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被的地理气候适应参数区间

根据以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被地理分布专题图,查询并定义其地理气候适应参数区间,结果见表 1。

对照比较表 1 可以看出,适宜以梭梭柴为优势的现存荒漠植被分布的各项地理和气候指标数值变化幅度都远远宽于以白梭梭为优势的现存荒漠植被适宜分布的各项地理和气候指标。这一结果与我国以白梭梭为优势的现存荒漠植被分布地域狭窄而以梭梭柴为优势的现存荒漠植被分布地域广阔的现状是吻合的,同时也表明,本文确定的地理和气候条件对以梭梭柴和白梭梭为优势的现存荒漠植被地理分布具有明显的制约作用。

表 1 用以定义以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被的地理气候适应参数区间
Table 1 Climate requirements of *Haloxylon* plants dominated desert vegetation

地理气候要素 Geographical climatic factor	以白梭梭为优势的现存荒漠植被 <i>H. persicum</i> dominated desert vegetation	以梭梭柴为优势的现存荒漠植被 <i>H. ammodendron</i> dominated desert vegetation
经度 Longitude (°)	84.3~89.9	77.3~107.6
纬度 Latitude (°)	44.4~47.3	36.1~47.4
海拔高度 Altitude (m)	87.0~1004.0	87.0~3174
年平均温度 Annual mean temperature (°C)	2.5~9.9	1.1~10.7
最冷月平均最低温度 Mean minimum temperature of coldest month (°C)	-26.0~-19.0	-29.0~-14.0
最热月平均最高温度 Mean maximum temperature of hottest month (°C)	28.0~35.0	21.0~35.0
年均降水量 Annual mean precipitation(mm)	103.0~211.0	22.0~382.0
干旱月份 Dry season	12	11~12
极端最低温度 Extremely minimum temperature (°C)	-42.6~-34.3	-44.1~-27.9
干燥度 Aridity	7.2~25.5	3.8~50.0

应用生态信息系统(GREEN)定义的以梭梭柴和白梭梭为优势的现存荒漠植被的气候适应参数区间与前人研究的结果不尽相同。过去报道^[12]以梭梭属植物为优势的荒漠植被分布区的年平均温度为 2~11℃,年降水量为 30~200mm,极端最低温度为 -42℃,而应用生态信息系统(GREEN)查询的结果为:年平均温度为 1.1~10.7℃,年均降水量为 22~382mm,极端最低温度为 -44.1℃。作者认为产生这种差异的原因可能在于获取这些气候数值的途径不同。过去查询以梭梭属植物为优势的荒漠植被分布区的气候要素时,主要依据分布区边缘的气温或降水的等值线图,这些气候要素数值仅仅反映的是分布区边缘的气候近似值。而本研究查询的气候信息,不仅包含了以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被分布区边缘的气候条件,而且还包括分布区内部每 0.1 个经度和纬度间隔点上,因海拔高度变化而改变的气候状况。因此,本研究定义的以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被的气候适应参数区间,综合反映的是以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被分布区内部及其边缘以及因地形变化而随之改变的适宜以梭梭属植物为优势的现存荒漠植被分布的地理气候条件。

2.2 以梭梭柴为优势的现存与潜在荒漠植被地理分布的比较

以梭梭柴为优势的现存荒漠植被的地理气候适应参数区间为阈值,输入生态信息系统(GREEN),生成以梭梭柴为优势的荒漠植被潜在分布图,并将以梭梭柴为优势的现存与潜在荒漠植被分布图叠加,其结果见彩版 I。

从彩版 I 可以看出,以梭梭柴为优势的潜在和现存的荒漠植被分布的行政区域上基本一致的,都集中分布在新疆维吾尔自治区、青海省、内蒙古自治区、甘肃省等 4 个省(区)的境内。对照中国地势图^[20]分析,其分布的地貌类型也基本上是一致的。在新疆维吾尔自治区,以梭梭柴为优势的潜在和现存的荒漠植被主要分布在阿尔泰山以南、天山以北的准噶尔盆地以及天山以南、昆仑山以北的塔里木盆地的边缘;在内蒙古自治区,主要分布在巴丹吉林、乌兰布和、腾格里沙漠和库布齐沙漠的西部;在青海省,主要分布在柴达木盆地;在甘肃省,主要分布在河西走廊一带。以梭梭柴为优势的潜在与现存的荒漠植被分布的边界有所不同。潜在分布的北界可以达到 48.3°N 左右,超出现存的分布北界约 0.9 个纬度;潜在分布的南界可以达到北纬 35.7°N 左右,超出现存的分布南界约 0.4 个纬度;潜在分布的东界可以达到 113.5°E,超出现存的分布东界约 5.9 个经度,潜在分布的西界可以达到东经 73.8°E,超出现存的分布西界约 3.5 个经度。潜在的和现存的分布面积也有较大差异(表 2)。

表 2 以梭梭柴为优势的现存与潜在荒漠植被面积比较
Table 2 Actual and potential area of *Haloxylon ammodendron* dominated desert vegetation

统计单位 Statistics unit	以梭梭柴为优势现存荒漠植被面积 Actual area of <i>H. ammodendron</i> desert vegetation (hm ²)	以梭梭柴为优势的潜在荒漠植被面积 potential area <i>H. ammodendron</i> desert vegetation area(hm ²)	现存的占潜在的面积百分比 Ratio of actual and potential area(%)
全国 China	8529916	92766515	9.1
甘肃省 Gansu Province	555627	9886378	5.6
青海省 Qinghai Province	898597	5562994	16.1
内蒙古自治区 Inner Mongolia Aut. Region	1607899	25072749	6.4
新疆维吾尔自治区 Xinjiang Uighur Aut. Region	5467793	52244394	10.5

表 2 统计结果表明,我国以梭梭柴为优势的现存荒漠植被的面积远远小于以梭梭柴为优势的潜在荒漠植被分布的面积。全国以梭梭柴为优势的现存荒漠植被面积仅占以梭梭柴为优势的潜在荒漠植被分布面积的 9.1%。其中各省(区)的情况略有不同。甘肃省现存的约占潜在的 5.6%,青海省现存的约占潜在的 16.1%,内蒙古自治区现存的约占潜在的 6.4%,新疆维吾尔自治区现存的约占潜在的 10.5%。这一预测结果表明,在地域空间上,我国发展梭梭柴的潜力是很大的。

2.3 以白梭梭为优势的现存与潜在的荒漠植被地理分布的比较

以白梭梭为优势的现存荒漠植被地理气候适应参数区间输入生态信息系统(GREEN),生成以白梭梭为优势的潜在荒漠植被分布图,并将以白梭梭为优势的现存的和潜在荒漠植被分布图进行叠加,结果见彩版 II。

从彩版 II 可知,我国以白梭梭为优势的现存和潜在荒漠植被分布的行政区域也是一致的,主要集中分布在新疆维吾尔自治区境内。对照中国地势图^[20],从地貌上分析,以白梭梭为优势的现存和潜在荒漠植被主要集中分布在以天山以北和阿尔泰山以南的准噶尔盆地。以白梭梭为优势的潜在的与现存的荒漠植被分布边界上的差异也比较明显。潜在分布的北界可以达到 48.3°N 左右,超出现存的分布北界约 1 个纬度;潜在的南界可以达到 43.5°N 左右,超出现存的分布南界约 0.9 个纬度;潜在的东界可以达到 92°E,超出现存的分布东界约 2.1 个经度,潜在的西界可以达到 81°E 左右。超出现存的分布西界约 3.3 个经度。以白梭梭为优势的现存荒漠植被分布面积约占潜在的 34.1%(表 3)。

表 3 以白梭梭为优势的现存与潜在荒漠植被的面积比较
Table 3 Actual and potential distribution of *H. persicum* dominated desert vegetation

统计单位 Statistics unit	现存的以白梭梭为优势的荒漠植被 分布面积 actual area of <i>H. persicum</i> desert vegetation area(hm ²)	潜在的以白梭梭为优势的荒漠植被 分布面积 potential area of <i>H. persicum</i> desert vegetation (hm ²)	现存的占潜在的面积的百分比 Ratio of actual and potential area(%)
新疆维吾尔自治区 Xinjiang Uighur Aut. Region	2863406.5	8389920	34.1

3 结论与讨论

3.1 以梭梭为优势的现存和潜在荒漠植被分布的行政区域和地貌类型基本一致,主要区别在水平分布边界和面积的差异上。预测结果显示,以梭梭柴和白梭梭为优势的荒漠植被,在我国适宜发展的地域空间广阔,具有较大的发展潜力。

3.2 植被图是现存植被空间分布在地图上的具体表达。本文采用的 1:1000000 中国植被图是国际分幅的中比例尺现状植被图。该植被图依据的资料主要是 1949 年以后,50a 来在全国各地进行的植被调查的研究成果,并应用了航空遥感和卫星影像以及地质学、土壤学和气候学的有关资料。是迄今为止以全国为对象的最详细、最精确的植被图^[18]。因此,应用该植被图提取以梭梭为优势的荒漠植被分布信息具有一定的确定性。

3.3 以现存植被为基础,根据生物气候相似性原理,将植被分布与气象台站观测的一些气候因子相联系,构建大范围的生物地理模型,以此来预测潜在植被分布,具有一定的科学理论基础,实践证明也是可行的。但我国林区的气象台站不多,仅应用这些

台站的气候数据来判断满足植被生存的气候条件,进而预测潜在植被分布,则会产生较大的不确定性。生态信息系统 GREEN 软件将现有各气象台站的气候资料,在考虑地形条件下进行高精度插值,并将地形和气候数据与植物分布相联系,借以准确判断植被适宜的地理气候条件,经过不断的开发和完善,必将成为预测潜在植被分布的有利工具。

3.3 潜在植被的思想及其复杂性受到大陆欧洲国家生态学者和土地管理学者的极大重视。原因在于人类对当地植被的影响历史悠久,所以人们迫切需要了解在现代气候条件下,什么样的植物能够天然生长。但是,在北美却相反,由于在这些地区,只是在几百年前才变得明显起来,现存植被中还有很多原始植被的残留部分存在,因此他们仍然有可能不采取任何假设而进行直接研究,所以北美关于潜在天然植被的考虑仅限于干旱景观(如草原和半荒漠)的边缘^[2]。在我国,人类对地表植被干预的历史可能比原来预想的要早而且严重。面对这样一个长期受人为干扰的景观,研究揭示在现代气候条件下潜在植被分布状况,不仅有助于澄清一个国家植被发展的潜力,同时也有利于阐明与受人为影响较少的植被之间的关系。因此,对潜在植被分布的研究,无论是实践上,还是作为其他研究的基础都具有重要意义。

3.4 气候是影响树种分布的主导因素,它在决定树种生存的可能性方面起着重要作用,这一点可以从世界植被类型的空间分布与大尺度的气候类型高度相关上得到理解,但也不可否认,在树种的潜在分布区域内该树种能否出现,还将受到其他因素的影响。例如:①由于树种之间的生存竞争,其潜在生态位不可能完全被占有;②对于生态幅度较广、对土壤条件要求不严,不论石质、砾质、粘质、沙质荒漠上均可生长^[12]的梭梭属植物而言,气候因素对其地理分布的制约作用无疑是主要的,但也不可排除土壤条件和地下水位的制约作用。只是目前对土壤的分布和理化性质以及地下水位分布状况,还很难象气候因素那样作出定量的有规律性的描述,在生态信息系统(GREEN)建模过程中还存在一定的困难。所以,在应用以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布预测结果进行梭梭荒漠植被重建和引种区划时,不可否认在现地进行一些小规模试验的作用。

References:

- [1] Qin D H ed. *Environment characters and its evolution in West China*. Vol. 1 *Evaluation on the environment evolution in West China*. Beijing: Science Publishing House, 2002. 217~248.
- [2] Mueller-Dombois D, Ellenberg H. Translated by Bao X C, Zhang S, Yang B S, *et al. Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Beijing: Science Publishing House, 1986. 278~279.
- [3] Xu D Y, Guo Q S, Yan H. *Study on impacts of climate change on forests in China*. Beijing: China Science and Technology Press, 1997. 26~27.
- [4] Song Y C. *Vegetation Ecology*. Shanghai: East China Normal University Press, 2001. 518.
- [5] Holdridge L R. Determination of world plant formation from simple climatic data. *Science*, 1947, **105**:367~368.
- [6] Prentice I C, Cramer W, Harrison S P, *et al.* Global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *J. Biogeogr.*, 1992, **19**:117~133.
- [7] Box E O. Macro climate and plant forms. An Introduction to predictive Modeling in physiogeography. The Hague, Junk, 1981.
- [8] Zhang X S. The potential evapotranspiration (PE) index for vegetation and vegetation-climatic classification (I) an introduction of main methods and PEP program. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1989, **13**(1):1~9.
- [9] Hulme M, Wigley T, Tao Jiang, *et al.* *Climate Change due to the Greenhouse Effect and its Implications for China*. WWF, Switzerland: Gland, 1992. 57.
- [10] Guo Q S, Xu D Y, Yan Hong. A study on the impacts of climate change on the distribution of *Pinus tabulaeformis* in China. *Forest Science*, 1995, **31**(5):393~402.
- [11] Guo Q S, Yan Hong, Xu D Y, *et al.* Effects of climate changes on geographical distribution of *Pinus korainensis* in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(5):484~488.
- [12] China Vegetation Committee. *Vegetation in China*. Beijing: Science Publishing House, 1983. 589.
- [13] Hu S Z. *Haloxylon ammodendron* Bunge desert in Western China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1963, **1**(1~2):81~108.
- [14] China Forest Committee. *Forest in China* (Vol. 4). Beijing: China Forest Publishing House, 2000. 1978.
- [15] Jia Z Q, Lu Q, Guo B G, *et al.* Progress in Research on *Psammophyte-Haloxylon*. *Forest Research*, 2004, **17**(1):125~132.
- [16] Yang M X, Zou S Y. Study on natural regeneration of *Haloxylon* forest in Jilantai Region. *Journal of Inner Mongolia Forestry College*, 1995, **17**(2):74~86.
- [17] Ma H B, Bao G X, Ma W D, *et al.* The grassland resources of *Haloxylon ammodendron* deserted steppe in Inner Mongolia and its preservation and utilization. *Pratacultural Science*, 2000, **17**(4):1~5.
- [18] China Vegetation Atlas Editing Committee of Chinese Academy of Sciences. *Vegetation Atlas of China*. Beijing: Science Publishing House, 2001.

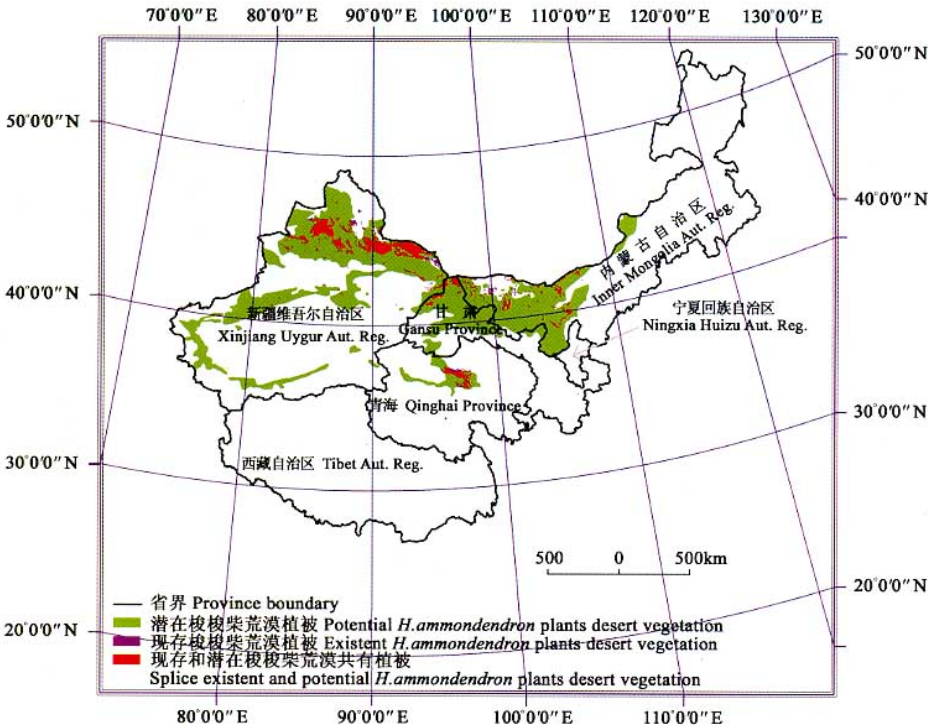
- [19] Yan H. A computerized decision support system for introduction of exotics I. delineation of suitable zones. *Scientia Silvae Sinica*, **25** (5):395~399.
- [20] Yan H, Booth T and Zuo H. Green—a climatic mapping program for China and its application in forestry, In *Matching Trees and Sites. Aciar Proceedings*, 1996, **63**:10~17.

参考文献:

- [1] 秦大河总主编,王绍武,董光荣主编.中国西部环境演变评估.第1卷,中国西部环境特征及其演变.北京:科学出版社,2002. 217~248.
- [2] Mueller-Dombois D. Ellenberg H 著,鲍显诚,张绅,杨邦顺,等译.植被生态学的目的和方法.北京:科学出版社,1986. 278~279.
- [3] 徐德应,郭泉水,阎洪,等著.气候变化对中国森林影响研究.北京:中国科学技术出版社,1997. 26~27.
- [4] 宋永昌著.植被生态学.华东师范大学出版社,2001. 518.
- [8] 张新时.植被 PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类.植物生态学与地植物学学报,1989, **13**(1):1~9.
- [10] 郭泉水,徐德应,阎洪.气候变化对油松地理分布影响的研究.林业科学,1995, **31**(5):393~402.
- [11] 郭泉水,阎洪,徐德应,等.气候变化对红松林地理分布的影响研究.生态学报,1998, **18**(5):484~488.
- [12] 中国植被编辑委员会编著.中国植被.科学出版社,1983. 589.
- [13] 胡式之.国西北地区的梭梭荒漠.植物生态学与地植物学丛刊,1963, **1**(1~2):1~108.
- [14] 中国森林编委会编著.中国森林.第4卷.北京:中国林业出版社,2000. 1978.
- [15] 贾志清,卢琦,郭保贵,等.沙生植物-梭梭研究进展.林业科学研究,2004, **17**(1):125~132.
- [16] 杨美霞,邹受益.吉兰泰地区梭梭林天然更新研究.内蒙古林学院学报(自然科学版),1995, **17** (2):74~85.
- [17] 马海波,包根晓,马微东,等.内蒙古梭梭荒漠草地资源及其保护利用.草业科学,2000, **17**(4):1~5.
- [18] 中国科学院中国植被图编辑委员会编纂.中国植被图集.北京:科学出版社,2001.
- [19] 阎洪.计算机引种决策支持系统的建立及其应用——引种区划.林业科学,1989, **25**(5):396~399.

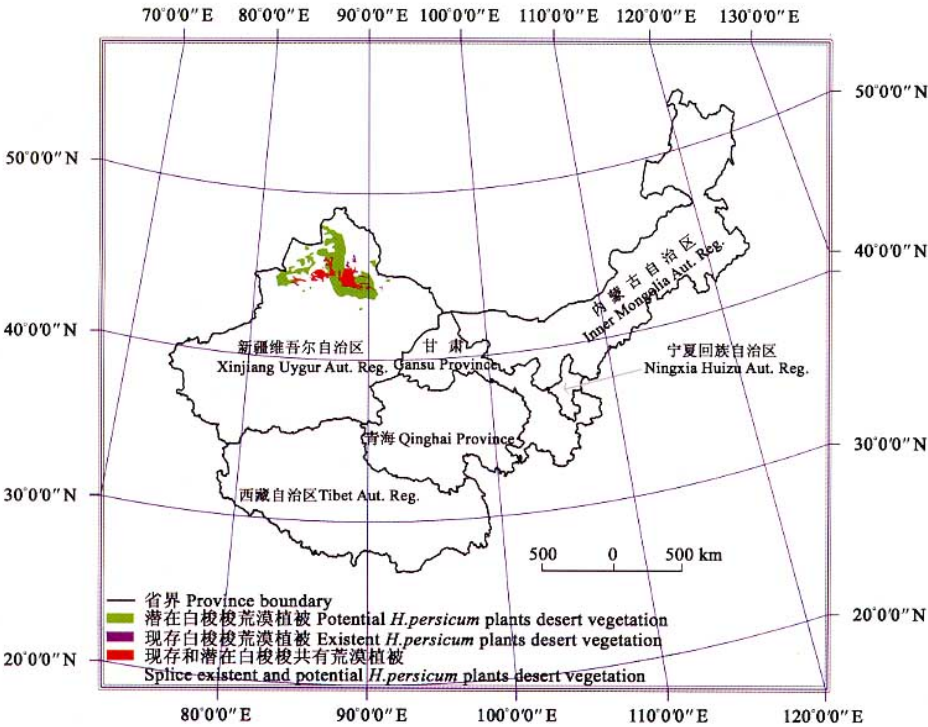
郭泉水, 等: 我国以梭梭属植物为优势的潜在荒漠植被分布

GUO Quan-Shui, *et al*: Study on potential distribution of *Haloxylon* plants dominated desert vegetation in China



图版 I 以梭梭柴为优势现存与潜在荒漠植被地理分布叠加图

Plate I Actual and potential distribution of *H.ammodendron* plants dominated desert vegetation



图版 II 以白梭梭为优势的现存与潜在的荒漠植被叠加图