

基于气候的植被空间分布的数字模拟——以内蒙古为例

牛建明

(中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特, 010010)

摘要:介绍了一种在 GIS 支持下, 基于气候的植被空间分布的数字模拟方法。研究以内蒙古为例, 结果表明, 内蒙古植被的空间分布与气候存在明显的相关性。以气候因子为变量, 对植被类型的判别较好, 地带性植被、山地植被、沙地植被和低湿地植被的判对率分别为 61.82%、64.44%、82.72% 和 77.44%, 数字模拟的结果较好, k 值为 0.50。对植被地带的判别和模拟的准确性明显提高, 判对率达 86.84%, k 值为 0.57, 模拟结果属很好。判别和模拟的错误主要出现在因基质、地形、人类干扰等因素而产生的非地带性和次生、退化的植被中。该方法适于分析大尺度空间中植被地带与气候的关系。与传统的植被-气候研究方法相比, 所使用的植被和气候因子数字图象具备空间和数值上的连续性, 结果客观且可以重复。使用精准的专题数据如数字遥感信息, 以及引入更多的专题数据如土壤、植被生产力、样地资料等, 是提高判别和模拟准确性的有效途径。

关键词: 植被-气候关系; 判别分析; 模拟; GIS; 内蒙古

Climate-based digital simulation on spatial distribution of vegetation —— A case study in Inner Mongolia

NIU Jian-Ming (Grassland Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China)

Abstract: In Inner Mongolia, previous researches showed correlation between vegetation zones and climate in early 1960s. Later, humidity data was used to describe zonation in detail. Since 1980s, vegetation-climate relationship was studied deeply with the successful application of remote sensing on vegetation survey, and the range of humidity for main vegetation zones was modified. Moreover, multivariate analysis was also introduced to explain vegetation attributes quantitatively in climate space. The objective of this paper is to model vegetation type and zonation with climate factors by means of discrimination analysis, and to simulate spatial distribution of them digitally based on climate data under the support of GIS.

Two sets of data, climate data and thematic maps, were used. Climate data was cited from 30 years observations of 156 meteorological stations in Inner Mongolia Autonomous Region. Among the 23 selected climate factors, 14 belonged to simple climate data (e. g. annual mean temperature). Others were indices derived from integrating two or more climate factors (e. g. Penman's aridity). Thematic maps were vegetation type map and vegetation zonation map.

Firstly, to set up climate model with geographic elements. Correlative models of the 23 climate factors with longitude, latitude, and altitude were generated by mean values. Factors related to temperature changed linearly with geographic elements, and showed significant correlation. Factors concerning precipitation had nonlinear relationships with geographic elements, and models were more complicated. Digital images of climate factors were produced by integrating these models to images of geographic elements

基金项目: 国家自然科学基金重大项目“中国东部陆地农业生态系统与全球变化相互作用机理研究(39899370)”资助

收稿日期: 2000-09-20 修回日期: 2001-02-18

作者简介: 牛建明(1963~), 男, 内蒙古人, 博士。主要从事植物生态学研究。

through GIS operation.

Secondly, to recognize climate pattern of vegetation type and zonation. Climate data sets for vegetation types and zones, at first, were extracted by overlaying images of vegetation type and zonation with climate images. Then, these sets were re-sampled by pseudo-freedom sampling. Finally, Fisher functions using climate factors as variables were generated by stepwise discrimination analysis based on re-sampled data. These functions were models of pattern recognition. Simulated spatial distribution of vegetation type and zonation was produced by integrating these models and related climate images. The agreement of actual and simulated distributions was identified by Kappa Statistic (k).

Vegetation types were divided into 4 groups, i. e., zonation, mountain, sandy land and wetland type, and analyzed group-by-group. Total correct recognition rates for them were 61.82%, 64.44%, 82.72% and 77.44% respectively. Among the low rated types, some of the mis-recognition was caused by changes of soil or local topography. In zonal vegetation, for example, correct recognition rate for rocky desert in low mountains and hills was 26.6%, and for *Haloxylon ammodendron* desert was 32.5%. In sandy land, only two types showed less than 90% of correct rate, i. e., *Ulmus pumila* open forest (39.8%), *Cargana* spp. and *Salix* spp. shrubs (34.3%). In wetland, mis-recognition occurred in two types, i. e., swamp meadow (grass and sedge) and valley meadow (mesic forb and grass). Others were degraded or secondary types developed under human disturbances. They had the same climate condition as native ones, so it was difficult to distinguish them only by climate-based pattern recognition. For example, *Cleistogenes squarrosa* and micro-bunchgrasses steppe induced by overgrazing had low correct rate of 26.7%. In Daxinganling Mountains, most of *Betula platyphylla* and *Populus davidiana* forest was wrongly recognized as *Larix gmelini* forest (27.2%), *Corylus* spp. and *Lespedeza bicolor* shrub (25.3%), or *Quercus mongolicus* forest (15.1%). 33.8% of *Larix gmelini* forest was wrongly recognized as *Corylus* spp. and *Lespedeza bicolor* shrub.

Results of discrimination on vegetation zonation were much better than that on vegetation type, Total correct recognition rate was 86.84%. Zones with correct rate over 90% accounted for 64%. Particularly, zones distributed separately in spatial and had obvious differences in climate were accurately distinguished, correct rate being nearly to 100%.

Simulated maps of vegetation type and zonation were produced by spatial operation on Fisher functions and related climate images. Totally, vegetation type simulation was good, k value being 0.50. Nine types, accounting for 22.5%, were excellently simulated with k value greater than 0.70. There were 14 nicely simulated types, i. e. k values ranging from 0.40 to 0.70, accounting for 35% of the total. Vegetation zonation simulation belonged to a category of very good, k value being 0.57.

This study showed that the spatial distribution of vegetation correlated strongly with climate in Inner Mongolia. Discrimination and simulation of vegetation type and zonation based on climate variables showed satisfied results. Disagreement occurred in non-zonal and secondary vegetation categories.

The case study suggested that climate-based digital vegetation simulation is suitable for the regions with distinct climate differences, homogenous topography and land covers, and for studies on high level categories such as vegetation zonation. Therefore, this method can be used to interpret vegetation-climate relationship on macro areas, i. e., on continental or global scale. From this point of view, it may play an important role to study impacts of climate change on terrestrial biome.

The study indicated that lower level vegetation categories couldn't be satisfactorily simulated only according to climate data, such as soil, NPP, and site observations should be introduced in order to increase the accuracy of simulation.

Common vegetation-climate researches depend on site observations. It is difficult to get enough and well-distributed samples due to practical limitation, and to extrapolate spatially, too. Digital vegetation and climate images used in the paper had features of spatial and numeric continuity. So, it is possible to infer the nature of vegetation primarily in an area where detailed field survey is not carried out.

Thematic maps digitized in the study were generated from interpretation of Landsat images, MSS and TM, in 1980s. Characteristics and boundary of vegetation were well defined. But, some disagreement between vegetation and climate existed evidently, which resulted in errors of discrimination and simulation. Consequently, it is necessary to use up-to-date vegetation map as far as possible when this kind of method is employed.

Key words: vegetation-climate relationship; discrimination analysis; simulation; GIS; Inner Mongolia

文章编号:1000-0933(2001)07-1064-08 中图分类号:P426 文献标识码:A

植被生态学认为,主要的植被类型表现出植物界对主要气候类型的响应^[1]。气候是决定地球上植被类型及其分布的最主要因素,植被则是地球气候最鲜明的反映和标志^[2]。探讨现代植被与气候间的相互关系,不仅是植被生态学领域的主要研究内容,具有重要的理论和实际意义,而且对于预测未来气候变化对植被的影响也具有重要的参考价值。

植被与环境的关系在 20 世纪初就是生态学家所关注的问题。早在 20 世纪 60 年代初李博就注意到内蒙古植被分布与气候因子变化的协同现象,阐述了植被地带与水热的相关性^[3]。后来,有学者进一步利用湿润度具体描述了内蒙古植被的地带性^[4]。80 年代以来,随着遥感技术的成功应用,人们对内蒙古植被与气候的关系有了更深入的认识,重新划定出主要植被地带的湿润度范围^[5]。在部分区域还通过多元分析技术,定量描述了植被在气候空间中的表达^[6,7]。

本文在 GIS 的支持下,以气候数据为基础,通过判别分析建模,对内蒙古主要植被类型和植被地带的空间分布进行了数字模拟研究。

1 研究区域概况

内蒙古自治区地域辽阔,南北跨占纬度 $15^{\circ}59'$ (北纬 $37^{\circ}24' \sim 53^{\circ}23'$),直线距离 1700km;东西跨占经度 $28^{\circ}52'$ (东经 $97^{\circ}12' \sim 126^{\circ}04'$),相隔 2500km。总面积 1,183,000km²。该区域平均海拔 1000m 左右,大兴安岭-阴山-贺兰山-北山(合黎山、龙首山)相连接,构成内蒙古高原的外缘山地,沙漠和沙地也有广泛分布。研究区域中的大部分地区属温带大陆性季风气候,只有大兴安岭北段的一小部分为寒温带大陆性季风气候,西部为温带干旱气候。温度分布从东北向西南递增,年平均气温由大兴安岭北段的 -4°C 以下,到阿拉善高原西部 8°C 以上。年降水量的分布则刚好相反,从东北向西南递减。大兴安岭东南侧年降水最多,在 450mm 以上,阿拉善西部则小于 50mm。复杂的地理环境和气候条件,造就了植被分布明显的地带性以及非地带性植被的多样性。由于气候的大陆性由东向西逐渐增强,本区自东向西依次分布 6 个植被地带(或亚地带)^[3~5]:山地针叶林和阔叶林带、草甸草原带、中温典型草原带、中温荒漠草原带、草原化荒漠带和荒漠带。另一方面,受热量条件南北向变化的影响,一些植被地带在本区的南部还发育了相应的暖温类型。主要的非地带性植被,即沙地植被和低湿地植被散布在各个地带性植被区域内,也具有明显的东西向差异^[6,7]。

2 材料和方法

2.1 数据 本项研究使用的数据有两类,即气候数据和专题图件。

气候数据源于内蒙古自治区内 156 个气象站的 30a 统计资料。所选择的气候因子有 23 个。其中,14 个属单一气候因子,包括年平均气温、年平均最低气温、最热月平均气温、最冷月平均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温、无霜期、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的日数、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数、年平均降水量、夏秋季平均降水量、冬春季平均降水量、年平均蒸发量和年平均相对湿度。另有 9 个属经过计算产生的指标或综合指数,包括 Holdridge 年平均生物温度、Holdridge 年可能蒸散率、Holdridge 年可能蒸散、Kira(吉良)寒冷指数、Kira 温暖指数、Kira 湿度指数、伊万诺夫湿润系数、Penman 干燥度和 Penman 年可能蒸散。

专题图件为植被类型图(彩版图Ⅱ)和植被地带图(彩版图Ⅲ)^[8]。其中的植被类型图是在原图的基础上,经过图例和图斑综合重新绘制的。上述图件的数字化采用了 ARC/INFO 软件。

2.2 建模 为了实现植被空间分布的数字模拟,需要建立以下模型。

第一,气候模型及其空间数值化。依据气象站提供的多年平均数据,采用多元线性回归、曲线拟合、非线性回归以及逐步回归相结合的方法,分别建立上述 23 个气候因子与经度(LNG)、纬度(LAT)和海拔(ALT)的相关模型。

与温度有关的那些指标随经度(即距离海洋的远近)、纬度和海拔的改变呈线性变化,相关性显著。最冷月平均气温(CMT)的相关系数最小,为 0.91。相关系数最大为 0.96,有 8 个指数,包括年平均气温(MT)、积温($\geq 0^\circ\text{C}$ 和 $\geq 10^\circ\text{C}$)和吉良温暖指数(WI)等。下面列出部分多元线性回归模型:

$$CMT = 79.749 - 0.142LNG - 1.704LAT - 0.006ALT (R^2 = 0.91)$$

$$MT = 82.933 - 0.248LNG - 1.029LAT - 0.007ALT (R^2 = 0.96)$$

$$WI = 478.188 - 2.008LNG - 3.340LAT - 0.042ALT (R^2 = 0.96)$$

然而,与水分有关的指标在空间上的表现却比较复杂。它们与经度有较好的相关性,但与纬度和海拔的相关性很差。所以,仅使用单一的、一次幂的地理要素和简单的线性方法建模不能满足研究的精度。为此,除变量中加入了上述 3 个地理要素的交叉项和二次幂外,还结合使用了非线性的曲线拟合等手段。再经过逐步回归分析,剔除无效项,获得有较高相关性的模型。相关系数最小的是冬春季平均降水量(PWS),为 0.75。最大的是 Penman 干燥度(ARD),为 0.96。年平均降水量(P)的相关系数为 0.84。下面列出部分模型:

$$PWS = 6.2789e^{(0.0501P - W5)} (R^2 = 0.75)$$

$$P - WS = 1438.203 - 2.003LAT + 0.678LAT^2 - 0.286ALT + 0.002LNG \times ALT$$

$ARD = 842.979 - 19.254LNG + 15.187LAT - 0.094ALT + 0.102LNG^2 - 0.125LNG \times LAT (R^2 = 0.96)$

$$P = 13872.124 - 176.057LNG - 198.273LAT - 0.894ALT + 0.830LNG^2 + 2.236LAT^2 + 0.020LNG \times ALT - 0.031LAT \times ALT (R^2 = 0.84)$$

最后,通过 GIS 操作,将模型与经度、纬度和海拔数字图像进行运算,产生相应的气候因子数字图像,使气候的空间分布数值化。

第二,植被类型和植被地带的模式识别。将植被类型和植被地带数字图像分别与 23 个气候因子数字图像叠加,提取关于各植被类型和地带的气候因子数据集合。该数据经随机抽样后,利用逐步判别分析,以气候因子为变量,建立 Fisher 判别方程,即模式识别模型。植被类型的判别是分组进行的,植被地带的判别则一次完成。

2.3 模拟和检验 将判别方程中所包含的气候因子数字图像与判别模型进行集成运算,获得植被类型和植被地带空间分布的模拟图像。因此,该方法是一种基于气候的植被分布的数字模拟。

采用 Kappa 统计量(k)进行了模拟效果的检验^[9]。设 p_{ij} 为一个图中的第 i 个类型被另一个图赋值为第 j 个类型的全部像元的比率。 p_{ij} 构成一个矩阵, p_{ii} 为该矩阵的对角线上的值,其和是 p_o ,即两幅图中所有符合的比率之和。 p_i 和 $p \cdot i$ 分别是该矩阵的行和及列和, p_e 是所有不符合比率之和。其计算方程是:

$$k = (p_o - p_e) / (1 - p_e)$$

$$k_i = (p_{ii} - p_i \cdot p \cdot i) / ((p_i + p \cdot i) / 2 - p_i \cdot p \cdot i)$$

式中, k 为两幅图总的符合度; k_i 为图中单个类型的符合度。 k 等于 1 时,两幅图完全符合; k 等于 0 时,说明两幅图是完全随机的。随着 k 值的增大,所比较图像的符合度也在增加。

常使用下列量化指标,描述两幅相比较图像的符合度^[9]: k 小于 0.4,极差;0.4~0.55,较好;0.55~0.7,好;0.7~0.85,很好;大于 0.85,极好。

3 研究结果与数据

3.1 判别分析

3.1.1 植被类型的判别 将43个植被类型按地带性植被、山地植被、沙地植被和低湿地植被分组,结果有17个地带植被类型:11~21和30~35;10个山地森林、灌丛植被类型:1~10;8个沙地植被类型:22~29,5个低湿地植被类型:37~41。

地带性植被总的判对率为61.82%,但针对各个类型而言,差别较大(表1)。判对率最高是杂类草、禾草草原化草甸,为97.1%。杂类草、苔草林缘草甸也很高,为95.8%。最低的是低山残丘石质荒漠(26.6%),该类型的38.8%被判定为戈壁荒漠,17.6%被确定为亚菊、膜果麻黄荒漠。琐琐荒漠的判对率只有32.5%,它的大部分被戈壁荒漠(25.5%)、亚菊、膜果麻黄荒漠(16.8%)和小灌木、小禾草草原化荒漠(11.6%)所占有。荒漠在本区有大面积的分布,在极端的气候条件下,水热的小幅度改变不会带来植被类型在空间分布上的更替,类型的分化主要是基质差异造成的,例如低山残丘石质荒漠和琐琐荒漠,由此导致了对荒漠植被的误判。另外,对丛生小禾草草原的判别也很差,判对率为26.7%,剩余的25.3%被划为克氏针茅草原,24%划分成羊草草原,12.2%归为大针茅草原,还有10.3%被确定为小针茅、无芒隐子草荒漠草原。对该类型误判的原因也是显而易见的。一方面,丛生小禾草草原是典型草原植被的一种退化类型,主要是过度放牧后产生的,它的出现并不受气候控制。另一方面,该类型的部分群落处在典型草原与荒漠化草原的过渡区域,因气候特征相似,易产生与小针茅荒漠草原的相互误判。

山地植被的判别效果稍好于地带性植被,总判对率为64.44%(表1)。最高的有云杉林(100%)、樟子松林(99.1%)、山杏灌丛(93.3%)和大果榆疏林(94.3%)。判别较差的是白桦、山杨林(16.9%),它的绝大部分被分别判定为兴安落叶松林(27.2%)、榛子和胡枝子灌丛(25.3%)和蒙古栎林(15.1%)。另一个是虎榛子、绣线菊灌丛,判对率只有19.5%,超过一半的此类型被划分为山杏灌丛(52.6%)。另外,33.8%的兴安落叶松林被判定成了榛子、胡枝子灌丛。不难看出,在大兴安岭山地,气候顶级植被如兴安落叶松林和蒙古栎林被砍伐后,发育了象白桦、山杨林和榛子、胡枝子灌丛这样的次生植被,它们具有与原生植被相同的气候条件,因此,基于气候的模式识别是难以将它们分开的。

沙地植被的判别结果最好,总判对率达到82.72%(表2)。除沙地榆树疏林(39.8%)和沙地锦鸡儿和沙柳灌丛(34.3%)外,其他类型的判对率均在90%以上。误判主要表现在,将榆树疏林判定为差巴嘎蒿群落;将沙地锦鸡儿、沙柳灌丛认定成褐沙蒿群落。沙地疏林和灌丛的分布是沙地生境内局部地形变化的结果,不能形成独特的气候特征。

低湿地植被的判别效果较好,总判对率为77.44%(表2)。主要问题是,9.1%的禾草、苔草沼泽化草甸误判为河谷中生杂类草、禾草草甸。与此相反,后者中有27%又被误判为前者。上述两个类型的相互误判,说明它们具有相似的气候背景,只是因为地形和土壤的差异,发育了不同的类型。

3.1.2 植被地带的判别 对植被地带进行植被-气候判别分析,是为了直接获得宏观植被分布与大气气候的相关关系。所以,不再考虑沙地、沙漠和低湿地等非地带类型。判别分析的结果见表3。以气候因子为变量对植被地带的判别分析获得了很好的结果,总判对率达86.84%。在14个植被地带中,判对率在90%以上的有9个,占64%。最高判对率100%,为冀北山地暖温性落叶阔叶林地带。判对率97%以上的有7个,分别为阴山山地森林草原地带(98.2%)、贺兰山山地森林草原地带(98.0%)、松辽平原山杏-禾草草原带(99.2%)、狼山山地荒漠化草原地带(99.7%)、短花针茅暖温性荒漠化草原带(99.5%)、龙首山北麓粘土荒漠带(99.6%)和暖温荒漠带(97.6%)。判对率最低的也在70%以上,有3个:草甸草原带(71.3%)、典型草原带(74.9%)和草原化荒漠带(70.5%)。

植被地带的气候判别结果说明,在更大的空间尺度上,内蒙古植被分布与气候显著相关。各地带具有明显的气候特点,特别是那些空间分布上彼此隔离、水热条件差别较大的类型,判别的准确率几乎是100%。而那些彼此相邻的类型,在过渡区域则出现了少量误判。

3.2 数字模拟

3.2.1 植被类型空间分布的数字模拟 除沙漠、耕地和水体外,以23个气候因子数字图像中有关的因子为变量,对其也按判别分析时的分组结果进行空间运算,生成内蒙古植被类型模拟分布图(彩版图II)。

表 1 地带性和山地植被类型判别分析结果(%)

Table 1 Discrimination analysis on zonal and mountain vegetation types

类型 Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	30	31	32	33	34	35		
1	61.4			3.3	1.2	33.8			0.3																				
2		100																											
3	0.1		99.1	0.1			0.7																						
4	27.2		3.1	16.9	15.1	25.3	5.1	1	6.2	0.1																			
5	1.7		0.9	0.3	65.9	9.2	5.7		16.3																				
6	15.3			1.1	9.1	73.9			0.6																				
7			2.8	1.7	7.9		19.5	8.8	52.6	6.7																			
8							1.7	78.4		19.9																			
9			0.8	0.5	1.5		3.9		93.3																				
10							0.1	5.6		94.3																			
11											95.8		4	0.1	0.1														
12												0.1	97.1	0.2							2.6								
13												34.1	0.2	61.3	0.6	2.3	0.3	0.9			0.1							0.2	
14												1.4		0.8	58.3	29.3	0.9	5.9			3.4								
15												1.6	0.2	0.3	17.6	71.5	0.7	6.1			2								
16														0.3	9.6	7.9	48.6	7.8	20.7	1.2	2.5	0.8	0.6						
17												0.1	0.4		24	12.2	25.3	26.7	10.3		1								
18																	3.2	0.3	79	13			4.3			0.1		0.1	
19																	0.6		3.8	91.2		3.4	1						
20													0.4			4.1	0.6		0.9			94							
21																					29.4		65.8	4.8					
30															0.1				22.2	15.3		9.6	49.1		1.1	2.1		0.5	
31																			0.10	0.1		0.1	1.8	50	4	5	8.3	30.6	
32														3.3								12.9	0.2	26.6	38.8	17.6	0.6		
33																						15.2		9.6	42.3	31.5	1.4		
34																								1.6	0.3	5.2	92.4	0.5	
35																				0.1	0.7			11.6	6.9	5.9	25.5	16.8	32.5

表 2 沙地和低湿地植被类型判别分析结果(%)

Table 2 Discrimination analysis on vegetation types of sandy land and wetland

类型 Type	22	23	24	25	26	27	28	29	37	38	39	40	41
22	39.8	0.6	5.6	37.3	16.7								
23		100											
24	13.7		34.3	2.2	47.4	2.4							
25	2.1			97.9									
26	1.2		1.8		97								
27						93.8	5.2	1					
28						1.8	98.2						
29						1.7		98.3					
37									82.2	5.4	12.4		
38									5.9	82.2	9.1	2.8	
39									12	27	53.4	7.6	
40										13.3	3.6	70.5	12.6
41												7.3	92.7

表 3 植被地带的判别分析结果(%)

Table 3 Discrimination analysis on vegetation zones

地带 Zone	1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	15	17	20	21
1	92.1		7.9											
2		100												
3	8	1.3	71.3			4.5	11	3.8						
4				98.2		0.1		1.6					0.1	
5					98								2	
6			7.6	7.6		74.9		2.3	7.6					
7			0.8				99.2							
8		1.6	2	1.6			0.6	88.2			6			
13				0.1		1.9			89	6.3			2.7	
14									0.2	99.7			0.1	
15								0.2			99.5		0.3	
17					1.7				16.2	4.7	2.8	70.5	2.3	1.8
20												0.1	99.6	0.3
21												2.3	0.1	97.6

比较模拟图像和原始图像,并使用 k 值进行检验。每一个植被类型的 k 值见表 4。其中, k 大于 0.7 的有 9 个类型,模拟的相当好,占 22.5%。模拟较好,即 k 介于 0.4~0.7 之间的类型有 14 个,占 35%。另有较多的类型,模拟结果很差, k 小于 0.4,共 17 个类型,占 42.5%。总的结果较好, k 为 0.50。

3.2.2 植被地带空间分布的数字模拟 除沙漠、沙地和农业区外,模拟了植被地带的空间分布(见彩版图 III)。

采用 k 值检验模拟结果,具体数值见表 5。总的 k 等于 0.57,属很好。模拟结果较差的有冀北山地暖温带落叶阔叶林地带, k 为 0.23;阴山山地森林草原地带, k 是 0.21;狼山山地荒漠化草原地带, k 为 0.23。这与植被地带判别时的结果有矛盾。在抽样判别时,上述 3 个类型均具有很高的判对率。究其原因,主要是它们在专题图中的分布范围与实际的适宜气候范围不一致,要么过大,要么太小。

4 结论和讨论

在 GIS 的支持下,分析内蒙古了植被-气候关系,并基于气候对植被的空间分布进行数字模拟,取得了较满意的结果。研究表明,内蒙古植被的空间分布与气候存在明显的相关性。以气候因子为变量,对植被类型的判别较好,地带性植被、山地植被、沙地植被和低湿地植被的判对率分别为 61.82%、64.44%、82.72% 和 77.44%,数字模拟的结果较好, k 值为 0.50。与植被类型的处理相比,对植被地带的判别和模拟的准确性均有明显提高,判对率 86.84%,模拟结果属很好, k 值为 0.57。

基于气候的植被分布研究对于地带性植被和具有地带性差异的非地带性植被十分有效,判别和模拟的错误出现在一些非地带性植被和次生植被上,而且,在植被类型和地带中有不同的表现。就植被类型而

言,因基质、地形等因素造成误判的有荒漠、沙地和低湿地植被,对于因人类干扰而发育的次生或退化类型的误判,发生在森林和草原植被中。在对植被地带的模拟时,因为山地垂直带的适宜气候范围与它们的实际分布范围差异较大,所以,尽管判别的结果很好,但模拟却普遍较差。

表 4 植被类型的 k 值Table 4 Kappa statistic(k) values of vegetation types

类型 Type	k	类型 Type	k	类型 Type	k	类型 Type	k
1	0.67	11	0.81	21	0.40	31	0.94
2	0.98	12	0.49	22	0.87	32	0.28
3	0.29	13	0.30	23	0.41	33	0.17
4	0.47	14	0.51	24	0.29	34	0.20
5	0.61	15	0.57	25	0.34	35	0.45
6	0.15	16	0.19	26	0.91	37	0.84
7	0.35	17	0.67	27	0.31	38	0.58
8	0.67	18	0.32	28	0.38	39	0.39
9	0.32	19	0.74	29	0.40	40	0.80
10	0.41	20	0.24	30	0.26	41	0.92

表 5 植被地带的 k 值Table 5 Kappa statistic(k) values of vegetation zones

地带 Zone	k	地带 Zone	k	地带 Zone	k	地带 Zone	k
1	0.84	5	0.49	13	0.71	20	0.83
2	0.23	6	0.66	14	0.23	21	0.93
3	0.49	7	0.62	15	0.59		
4	0.21	8	0.59	17	0.54		

以内蒙古为例说明,基于气候的数字模拟适于研究气候差异明显、地形和下垫面较为一致的地区,适合模拟植被地带这一类高层次水平、宏观类型的分布。因此,该方法能够用于研究更大空间如洲际、乃至全球尺度的植被-气候问题,因而在气候变化对陆地生物群落的影响研究领域中也有一定的参考价值。

研究表明,在植被分类等级较低的层次水平上,仅依靠气候因子模拟其空间分布是不够的。通过分析植被类型的判别和模拟结果不难看出,对于因地形、下垫面类型、人类干扰等所产生的类型的判别普遍较差。尽管用分组的方法做了处理,比如区分了山地植被、沙地植被和低湿地植被等,也取得一些效果,但不是最优。因此,建议引入更多的专题数据,如土壤、植被生产力,甚至使用样地资料,提高判别和模拟水平。

传统的植被-气候研究主要依据样地进行,由于一些实际原因,这些数据普遍存在着样本数量少、空间分布不均匀等缺陷,难以实施空间上的外推。本文所使用的植被和气候因子数字图象具备了空间和数值上的连续性,结果是客观的,结论是可以重复的。而且,对于缺乏详细地面调查资料的地区,使用该方法还可以初步推断其植被性质。

精准的专题数据是正确进行这类分析的基础。本文采用的专题地图数据是依据 20 世纪 80 年代陆地卫星影像 MSS 和 TM,经地面调查、分析和解译后获得的,定性和定位较为准确。虽然如此,也发现了一些植被分布和气候表达不一致的地方,造成误差。因此,在进行类似研究时,应尽可能利用最新的植被资料。

参考文献

- [1] 张新时. 植被 PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类(一)——几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 1(13): 1~9.
- [2] 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统. 第四纪研究, 1993, 2: 157~169.
- [3] 李 博. 内蒙古地带性植被的基本类型及其生态地理规律. 内蒙古大学学报, 1962, 4(2): 41~71.
- [4] 王义凤, 雍世鹏, 刘钟龄. 内蒙古自治区的植被地带性. 植物学报, 1979, 21(3): 274~283.
- [5] 李 博, 雍世鹏, 曾泗弟, 等. 生态分区原则、方法与应用-内蒙古自治区生态分区图说明. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1): 55~62.
- [6] 牛建明, 李 博. 鄂尔多斯高原植被与生态因子的多元分析. 生态学报, 1992, 12(2): 105~112.
- [7] Niu Jianming. The Analysis of Spatial Distribution and Succession of Main Sandy land Plant Communities on the Ordos Plateau, Inner Mongolia. In: Li Bo ed. *Proceedings of International Symposium on Grassland Resources*. 1994.
- [8] 李 博, 赵 济, 雍世鹏, 等. 内蒙古自治区资源系列地图. 北京: 科学出版社, 1991.
- [9] Monserud R, Hadja M T, Leemans R. Global Vegetation Change Predicted by the Modified Budyko Model. *Climatic Change*, 1993, 25: 59~83.

朱建明: 基于气候的植被空间分布的数字模拟——以内蒙古为例

图版 II 说明 Note of plate II

1 兴安落叶松林 (*Larix gmelini* forest), 2 云杉林 (*Picea crassifolia* forest), 3 樟子松林 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest), 4 白桦、山杨林 (*Betula platyphylla*, *Populus davidiana* forest), 5 蒙古栎林 (*Quercus mongolicus* forest), 6 榛子、胡枝子灌丛 (*Corylus* spp., *Lespedeza bicolor* shrub), 7 虎榛子、绣线菊灌丛 (*Ostryopsis davidiana*, *Spirea* spp. Shrub), 8 黄刺玫、扁桃灌丛 (*Rosa xanthina*, *Amygdalus* spp. Shrub), 9 山杏灌丛 (*Prunus sibirica* shrub), 10 大果榆疏林 (*Ulmus macrocarpa* open forest), 11 杂类草、苔草林缘草甸 (Forest meadow of forbs and sedge), 12 杂类草、禾草草原化草甸 (Steppe meadow of forbs and grass), 13 禾草、杂类草甸草原 (Meadow steppe of grass and forbs), 14 羊草草原 (*Aneurolepidium chinense* steppe), 15 大针茅草原 (*Stipa grandis* steppe), 16 克氏针茅草原 (*Stipa krylovii* steppe), 17 丛生小禾草草原 (Steppe of *Cleistogenes squarrosa* and micro-bunchgrasses), 18 小针茅、无芒隐子草荒漠草原 (Desert steppe of *Stipa gobica*, *S. klemenzii*, *S. glareosa* and *Cleistogenes songorica*), 19 锦鸡儿—小针茅荒漠草原 (Desert steppe of small *Stipa* grasses with *Caragana* spp.), 20 本氏针茅草原 (*Stipa bungeana* steppe), 21 短花针茅荒漠草原 (Desert steppe of *Stipa breviflora*), 22 沙地榆树疏林 (*Ulmus pumila* open forest in sandy land), 23 沙地杂木灌丛 (Woody shrubs in sandy land), 24 沙地锦鸡儿、沙柳灌丛 (*Caragana* spp., *Salix* spp. shrubs in sandy land), 25 沙地差巴嘎蒿群落 (*Artemisia halodendron*), 26 沙地褐沙蒿群落 (*Artemisia intramongolica*), 27 沙地油蒿群落 (*Artemisia ordosica*), 28 沙地甘草群落 (*Glycyrrhiza uralensis*), 29 油蒿丛, 含霸王、沙冬青、四合木 (*Artemisia ordosica* community with *Zygophyllum xanthoxylon*, *Ammopiptantus mongolicus* and *Tetraena mongolica*), 30 小灌木、小禾草草原化荒漠 (Steppe desert of dwarf shrubs and small grasses), 31 红砂、珍珠荒漠 (*Reaumuria soogorica*, *Salsola passerina* desert), 32 低山残丘石质荒漠 (Rocky desert in low mountains and hills), 33 戈壁荒漠, 裸戈壁红砂、泡泡刺 (Gobi desert of *Reaumuria soogorica*, *Nitraria sphaerocarpa*), 34 荒漠亚菊、膜果麻黄等 (Desert of *Ajanía* spp. and *Ephedra przewalskii*), 35 琐琐荒漠 (*Haloxylon ammodendron* desert), 36 沙漠 (Sandy desert), 37 沼泽 (Swamp), 38 禾草、苔草沼泽化草甸 (Swamp meadow of grass and sedge), 39 河谷中生杂类草、禾草草甸 (Meadow of mesic forbs and grass in valley), 40 盐化草甸 (Saline meadow), 41 盐湿荒漠 (Haloeremion), 42 耕地 (Crop land), 43 水体 (Water body)

图版 III 说明 Note of plate III

1 大兴安岭森林地带 (Forest in Daxinganling Mountain), 2 冀北山地暖温性落叶阔叶林地带 (Warm broad-leaved deciduous forest in mountains of North Hebei), 3 草甸草原地带 (Meadow steppe), 4 阴山山地森林草原地带 (Mountain forest-steppe of Yinshan Mountain), 5 草甸草原地带 (Mountain forest-steppe of Helanshan Mountain), 6 大针茅等典型草原地带 (Typical steppe of *Stipa grandis*, *S. krylovii*), 7 松辽平原山杏-禾草草原地带 (Steppe with *Prunus sibirica* in Songliao Plain), 8 本氏针茅、百里香暖温草原地带 (Warm steppe of *Stipa bungeana*, *Thymus mongolicum*), 9 科尔沁沙地 (Keerqin sandy land), 10 浑善达克沙地 (Hunshandake sandy land), 11 毛乌素沙地 (Maowusu sandy land), 12 库布齐沙地 (东段) (East Kubuqi sandy land), 13 小针茅荒漠草原地带 (Desert steppe of *Stipa gobica*, *S. klemenzii*, *S. glareosa*), 14 狼山山地荒漠化草原地带 (Mountain desert-steppe of Langshan Mountain), 15 短花针茅暖温性荒漠草原地带 (Warm desert steppe of *Stipa breviflora*), 16 库布齐沙漠 (西段) (West Kubuqi desert), 17 草原化荒漠地带 (Steppe desert), 18 乌兰布和沙漠 (Wulanbuhe desert), 19 腾格里沙漠 (Tenggeli desert), 20 龙首山北麓珍珠粘土荒漠地带 (Clay desert of *Salsola passerina* in the northern piedmont of Longshoushan mountain), 21 暖温荒漠地带 (Warm desert), 22 巴丹吉林沙漠 (Badanjilin desert), 23 绿洲及灌溉农业区 (Oasis and irrigative farmland), 24 水体 (Water body)

基于气候的植被空间分布的数字模拟——以内蒙古为例

Climate-based digital simulation on spatial distribution of vegetation

牛建明

Niu Jian-Ming

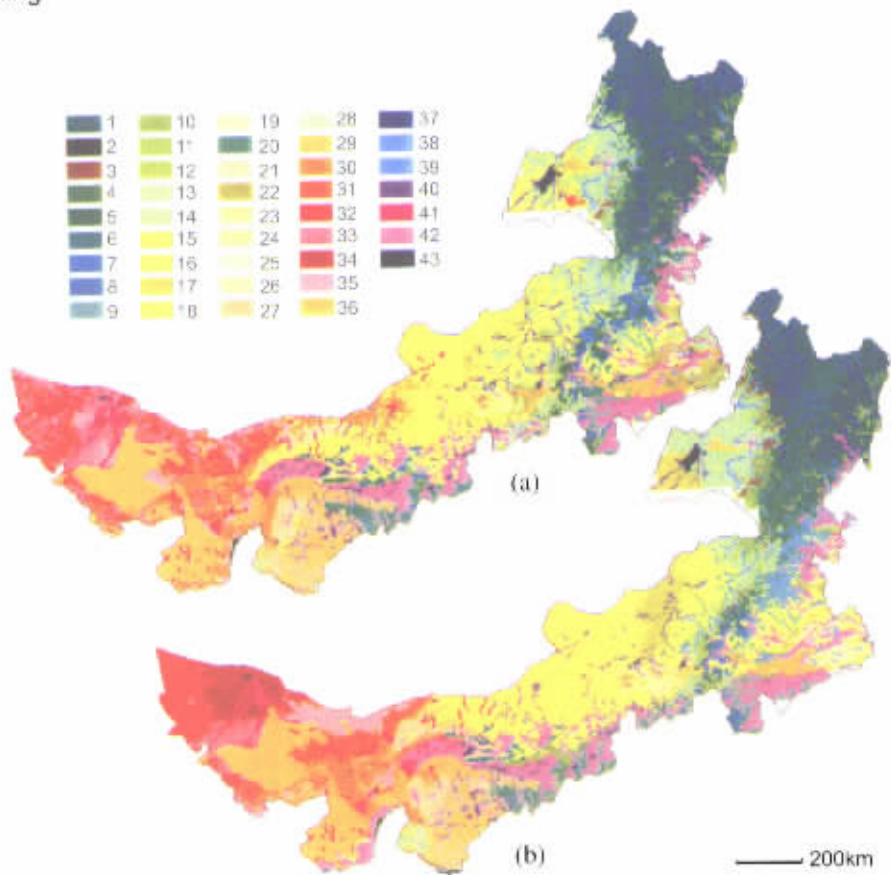


Plate II 植被类型分布现状(a)和模拟(b)图

Distribution maps of vegetation types, actual (a) and simulation (b)

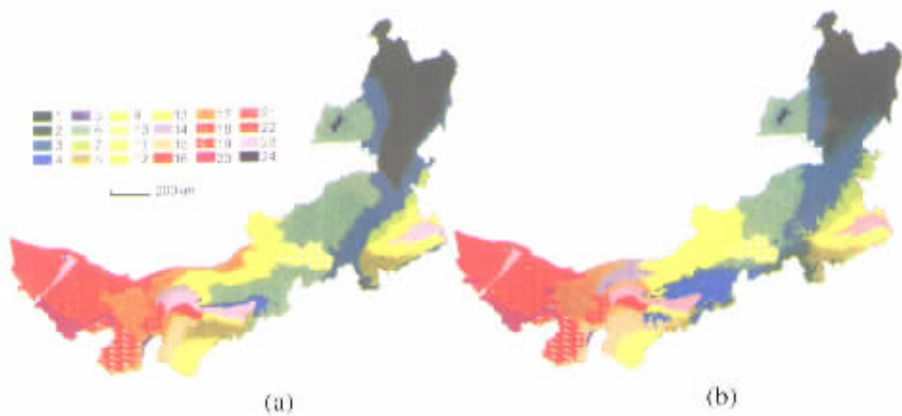


Plate III 植被地带分布现状(a)和模拟(b)图

Distribution maps of vegetation zones, actual (a) and simulation (b)

万方数据