

基于生态分区的内蒙古地区植被覆盖变化及其影响因素研究

张清雨^{1,2}, 赵东升¹, 吴绍洪¹, 戴尔阜¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 基于 GIMMS 数据和 MODIS 数据反演 1982~2011 年内蒙古生长季 NDVI, 分析内蒙古不同生态区内 NDVI 变化时空特征, 探讨自然和人为因素对 NDVI 的影响。结果表明: 30 a 来内蒙古生长季平均 NDVI 整体呈增加趋势, 分布在呼伦贝尔、锡林郭勒典型草原的部分地区 NDVI 有下降趋势。大部分地区 NDVI 与年降水量呈显著相关, 与温度的相关性不显著; 近 30 a 人类活动对植被 NDVI 的影响程度逐渐增强, 其中人类活动在西辽河平原、大兴安岭南端草原区以及华北山地落叶阔叶林区促进植被生长, 在内蒙古东北部草原区抑制植被生长。

关键词: 生态地理分区; NDVI; 内蒙古; 影响因素; 相关系数

中图分类号: K903 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)05-0594-08

植被作为陆地生态系统的主体在全球物质和能量循环中具有不可替代的作用, 在降低大气温室气体浓度、调节全球碳平衡等方面作用明显, 在全球变化背景下, 自然和人为因素对植被覆盖变化的影响以及植被覆盖对影响因素的反馈现在已成为全球变化的研究热点^[1-3]。遥感影像以其较大空间尺度和较长的时间连续观测, 现在已成为研究地表植被覆盖变化状况的重要数据, 归一化植被指数 (Normal Difference Vegetation Index, NDVI) 是用于不同尺度植被动态监测及其对气候因子响应研究的有效手段^[4,5], 对植物生物物理特征变化非常敏感^[6]。国外学者利用 NDVI 数据分析气候因素和人类活动对美国中部平原农用地、北极圈不同类型植被以及旱地退化的影响^[7-9]; 中国学者也从全国尺度^[10]和区域尺度^[11-14]对不同植被类型 NDVI 变化特征及其与气候因素、人类活动关系进行研究, 但由于不同 NDVI 数据源、不同空间尺度、不同植被类型的 NDVI 对气候因子和人类活动的响应差异显著, 仍无法得出较一致的结论。

内蒙古地区位于中国北疆, 气候类型复杂, 植被覆盖以草地为主, 对气候变化和人类活动响应敏感, 相关研究得到许多学者的关注^[15-17]。近年

来, 内蒙古气候变化速度加快^[18], 同时畜牧业发展迅速, 牲畜存栏量增加, 舍饲牧业普及率提高, 在这种背景下, 内蒙古草地覆被呈怎样的变化趋势, 其主要原因是什么, 仍无从得知。生态地理区划是根据地表自然界的生物和非生物要素地理相关的比较研究和综合分析, 按照自然地域分异规律划分或合并而成的不同等级的区域系统^[9], 相同生态分区内气候和植被具有较好的一致性。因此, 从生态地理分区角度研究内蒙古植被覆盖变化对气候要素的响应能够更好地揭示区域差异特征。本文将 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据通过建立线性回归方程进行修正, 分析内蒙古 30 a 来不同生态地理区 NDVI 时空动态特征和空间演变规律, 并从自然和人为因素两个方面探讨内蒙古植被覆盖变化原因, 旨在揭示陆地植被对全球变化的响应情况, 为更好地适应和减缓气候变化以及地方生态环境建设提供科学依据。

1 研究数据与方法

1.1 数据

1) GIMMS 数据。GIMMS 数据采用的是 GL-CF (Global Land Cover Facility) 研究组生产的

收稿日期: 2012-07-05; **修订日期:** 2012-10-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2011CB403206)、国家十二五科技支撑计划(2012BA C19B04)项目支持。

作者简介: 张清雨 (1984-), 女, 内蒙古丰镇人, 博士研究生, 专业方向为综合自然地理。E-mail: zhangqy.10b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 赵东升, 助理研究员。E-mail: zhaods@igsnrr.ac.cn

GIMMS NDVI 半月数据作为数据源,时间尺度为1982~2003年,空间分辨率为8 km×8 km,该数据集已经过辐射校正和几何精校正等一系列处理,数据质量可靠,被广泛应用于大尺度区域植被变化的研究中。本研究采用最大合成法获得月NDVI数据。

2) MODIS 数据。由NASA 免费提供的空间分辨率为0.05°×0.05°月MODIS NDVI数据,该数据是已经过系统校正等一系列处理的MOD13C2这3级产品,其质量符合研究要求,数据时间跨度为1982~2011年。对该数据进行数据格式和投影转换、影像裁剪以及重采样处理,最终得到内蒙古2000~2011年空间分辨率为8 km月NDVI数据。

3) 气象数据。气象数据是由国家气象局气候数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供的内蒙古1982~2011年50个气象站点及其附近45个气象站点的年降水量、年平均温度,利用普通克里格法对其进行空间差值,得到空间分辨率为8 km的年气象数据栅格图。

4) 生态地理区划。对中国生态地理区划图^[20]进行数字化,裁切得到内蒙古生态地理区划图。将内蒙古自治区划分为12个自然区,其中包括3个温度带和4个干湿区;由中国科学院资源环境科学数据中心提供的1:100万内蒙古植被矢量数据(图1,表1)。

1.2 研究方法

1) 回归分析法。回归分析法(Regression Analysis Method)是研究要素之间具体数量关系的

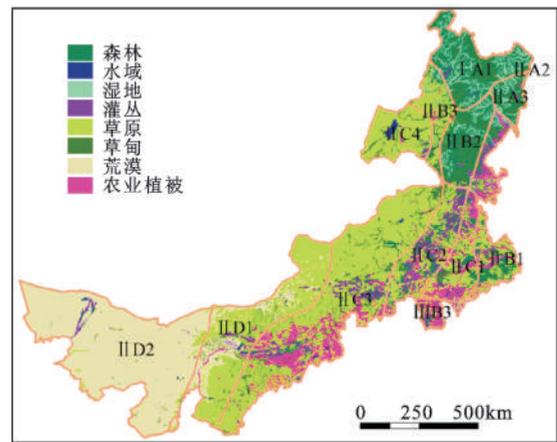


图1 内蒙古生态地理区划与植被分布

Fig.1 Distribution of eco-geographical region and vegetation types in Inner Mongolia during 1982 to 2011

一种分析方法,能够建立反映地理要素之间具体的数量关系的数学模型^[21]。其基本结构形式为:

$$y_{\alpha} = a + bx_{\alpha} + \varepsilon_{\alpha} \quad (1)$$

式中, a 、 b 为待定参数, $a=1,2,\dots,n$ 为各组观察数据的下标; x_{α} 为自变量,即1982~2003年GIMMS NDVI; ε_{α} 为随机变量。

2) 趋势分析法。为更好地了解内蒙古地区NDVI及其残差随时间的空间变化规律,本文通过趋势分析法来表征研究区NDVI及其残差的变化趋势。采用最小二乘法拟合1982~2011年间平均NDVI和残差的斜率(下式值为 S_{Slope}),从空间上反映内蒙古地区过去30 a植被变化及其人类活动影响的空间格局及变化趋势。其计算公式如下:

表1 内蒙古生态地理区划系统

Table 1 Eco-geographical region systems of Inner Mongolia

温度带	干湿地区	自然区	主要植被
I 寒温带	A(湿润区)	IA1 大兴安岭北段山地落叶针叶林区	针叶林、湿地
	A(湿润区)	IIA3 松辽平原东部山前台地针阔叶混交林区	针阔混交林、湿地
	B(半湿润区)	IIB1 松辽平原中部森林草原区	典型草原、农田
		IIB2 大兴安岭中段山地草原森林区	阔叶林、草甸
II 中温带	C(半干旱区)	IIB3 大兴安岭北段西侧森林草原区	草甸草原、草甸
		IIC1 西辽河平原草原区	典型草原、农田
		IIC2 大兴安岭南端草原区	典型草原、灌丛
	D(干旱区)	IIC3 内蒙古东部草原区	典型草原、农田
		IIC4 呼伦贝尔平原草原区	典型草原、草甸
		IID1 鄂尔多斯及内蒙古高原西部荒漠草原区	荒漠草原、荒漠
III 暖温带	B(半湿润区)	IID2 阿拉善与河西走廊荒漠区	荒漠、荒漠草原
		IIB3 华北山地落叶阔叶林区	农田、典型草原

注:下文提及到的生态分区均采用自然分区代号表示。

$$S_{\text{Slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times X_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n X_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2} \quad (2)$$

式中,变量*i*为年序号,*n*为研究的时间序列长度;*X_i*为第*i*年的年生长季平均NDVI或残差,如果*S_{Slope}*>0,说明变化趋势是增加,反之则减少。

3) 偏相关分析法。偏相关分析是指当两个变量同时与第3个变量相关时,将第3个变量的影响剔除,只分析另外2个变量间相关程度的过程^[21]。该方法可解决地理系统中因某一要素的变化而影响其他要素与因变量关系的问题。其计算公式以及显著性检验公式如下:

$$r_{xyz} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (3)$$

$$t = \frac{r_{xyz}}{\sqrt{1 - r_{xyz}^2}} \sqrt{n - 2} \quad (4)$$

式中,*r_{xyz}*为变量*z*固定后变量*x*与*y*的偏相关系数;*r_{xy}*为变量*x*与变量*y*的相关系数;*r_{yz}*为变量*y*与变量*z*的相关系数;*r_{xz}*为变量*x*与变量*z*的相关系数,*n*为样本数30。其中*r_{xyz}*为正值,表示正相关,*r_{xyz}*为负值,表示负相关;*t*表示显著性检验系数,查*t*分布表,可得出不同显著水平上的临界值*t_α*,若*t*>*t_α*则表示相关显著;反之,*t*<*t_α*则表示相关不显著。

4) 残差分析法。残差是指实际观察值与回归估计值的差值。其主要作用是分析数据的可靠性和其他干扰,其表达式为:

$$e_{\alpha} = y_{\alpha} - \hat{y}_{\alpha} \quad (5)$$

式中,*e_α*为第*α*组观测值的残差,*α*=1,2,⋯,*n*为各组观察数据的下标,*y_α*为第*α*组实际观测值,*ŷ_α*为第*α*组回归分析估算值。

2 结果分析

2.1 内蒙古生长季NDVI时空变化特征

GIMMS 和MODIS 两种数据采用了不同的传感器,本文通过采用不同植被类型的50样点对应的2000~2003年两种数据的NDVI建立一元线性回归模型,反演出内蒙古1982~2011年空间分辨率为8 km的NDVI值。将修正后2000~2003年5~9月NDVI与对应月份MODIS NDVI进行一致性检验,修正结果通过置信度0.05检验,*R*²为0.805。由此可说明,建立线性回归方程修正内蒙古NDVI可行度较高。

近30 a内蒙古植被NDVI整体呈上升趋势,增加速率0.265%,但不同阶段呈现不同的变化特征,1982~1986年为NDVI显著降低,1997~2002年为NDVI极显著增加,1986~1997年和2002~2011年为NDVI小幅波动的相对稳定期(图2)。从空间上看,绝大部分地区NDVI呈现不变或增加趋势,大兴安岭地区的森林区增加趋势最为明显,然而仍有5.075%的植被NDVI有下降趋势,主要集中呼伦贝尔、锡林郭勒高原典型草原区(图3)。IIC2生态区NDVI变化趋势最为明显,年平均增加速率达到0.277;其次为IA1、IIB2、IIA3、IIB3生态区,年平均增加速率均在0.006以上;IIB1、IIB3、IIC1生态区次之,其年平均增加速率均在0.003以上;IIC3、IIC4、IID1区年平均增长速率均为0.002;IID2区的增加速率最小年增加速率仅为0.001(表2)。

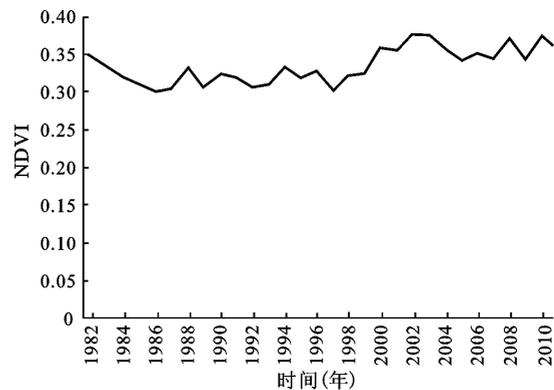


图2 1982~2011 内蒙古NDVI变化趋势

Fig.2 NDVI change trend in Inner Mongolia in 1982-2011

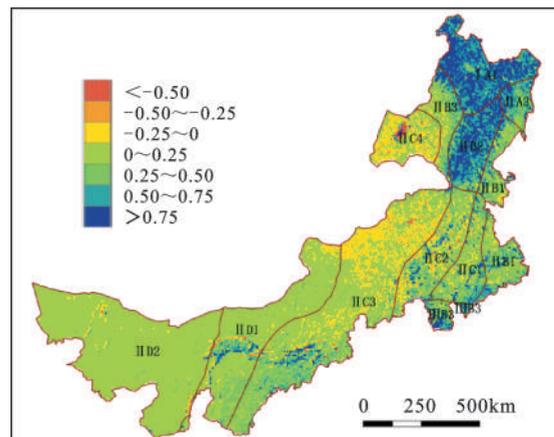


图3 内蒙古1982~2011年NDVI变化趋势空间分布

Fig.3 Spatial distribution of NDVI trends in Inner Mongolia in 1982-2011

表2 不同生态分区NDVI变化特征及其与气象因子的相关系数

Table 2 Change characteristics of NDVI and correlation coefficients between NDVI and climate factors in different eco-geographical region

生态分区	多年平均 NDVI	变化幅度		偏相关系数	
		NDVI	残差	NDVI与降水	NDVI与温度
IA1	0.697	0.008	0.003	0.500	0.078
IIA3	0.667	0.006	0.011	0.622	0.123
IIB1	0.460	0.004	0.017	0.393	0.138
IIB2	0.688	0.007	0.007	0.497	0.164
IIB3	0.572	0.004	0.094	0.262	0.109
IIC1	0.386	0.003	0.154	0.337	0.152
IIC2	0.466	0.277	0.123	0.280	0.168
IIC3	0.296	0.002	0.075	0.299	0.229
IIC4	0.374	0.002	0.038	0.373	0.161
IID1	0.174	0.002	0.018	0.362	0.265
IID2	0.082	0.001	0.023	0.208	0.197
IIIB3	0.498	0.006	0.109	0.382	0.141

2.2 NDVI与气候因子关系

本研究采用偏相关分析法从年际尺度上探讨NDVI与降水和温度的关系并进行显著性检验(图4、5)。NDVI与降水量的相关性存在较大的区域差异,IIA3、IA1、IIB2生态区年生长季NDVI与年降水量均呈显著负相关,相关系数均在0.5左右;其次是IIB1、IIIB3、IIC1和IID1、IIC4生态区,其NDVI与降水量的相关系数均在0.3~0.4之间,IIB1、IIIB3、IIC1生态区NDVI与降水量呈显著负相关,而IID1、IIC4生态区NDVI与年降水量呈正相关;IIC3、IIC2、IIB3、IID2生态区NDVI与降水量的相关系数在0.2~0.3之间,其中IIC3和IIC2区NDVI与降水量呈正相关,且部分地区相关性显著,IIB3分区与NDVI呈负相关,而大部分区域相关性不显著,IID2区NDVI与降水相关性最小。NDVI

与年降水量的相关系数从东向西呈现显著负相关、负相关、正相关、显著正相关的变化特征,呈现如上规律可能是水热因子共同作用的结果。

生态区NDVI与年均温均呈现正相关,但是大部分区域显著性不明显。IID1和IIC3生态区NDVI与温度的相关性最高大于0.2,且部分地区通过($p < 0.01$)极显著性检验;其次是IID2、IIB2、IIC2、IIIB3和IIB3生态区,其相关系数均在0.1~0.2之间,但是绝大部分地区未通过显著性检验;IIC4、IIC1、IIA3、IIB1和IA1生态区与年平均温度的相关性最低,且几乎未通过显著性检验。

2.3 NDVI与人类活动的关系

气候变化是引起内蒙古植被覆盖变化的重要影响因素,其中水热因子对植被控制的主要途径是通过增加温度和降水量,提高土壤养分和水分

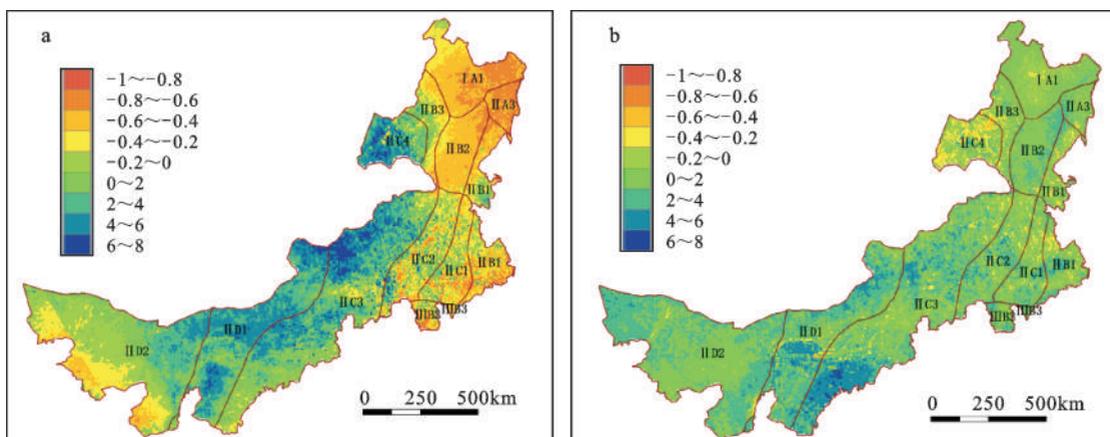


图4 NDVI与年降水量(a)和年平均温度(b)的相关系数空间分布

Fig.4 Spatial distribution of correlation coefficients between NDVI and annual average precipitation (a), annual average temperature (b)

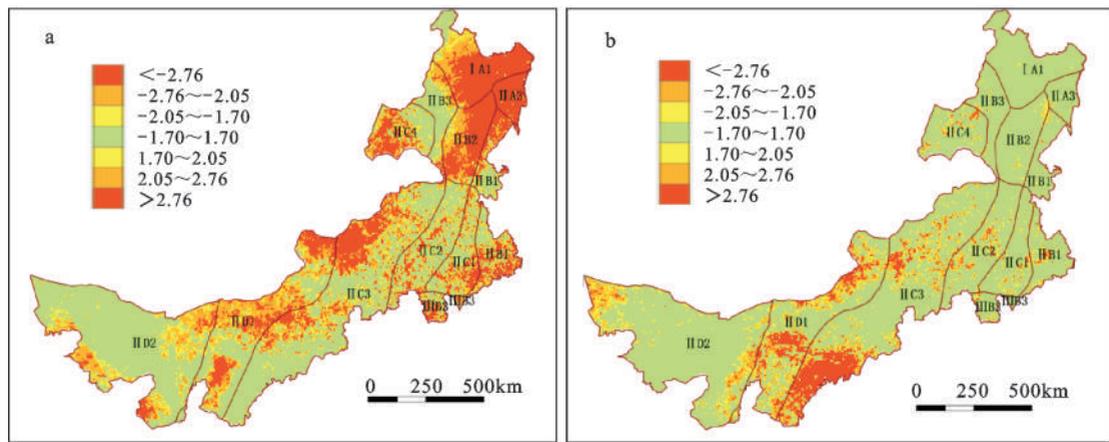


图5 NDVI与年降水量(a)和年平均温度(b)的相关性检验

Fig.5 Significance tests of correlation between NDVI and annual average precipitation (a), annual average temperature (b)

的有效性,加速植被的光合作用,进而加速植被增长,然而人类活动也是不可忽视的重要驱动因素。本研究假设除气候因素对NDVI影响之外,其他影响因素均划为人类活动范畴,且忽略线性回归对潜在NDVI结果估算的误差,然而由于温度对内蒙古NDVI影响较小,且温度与降水量的偏相关系数较高,因此本研究仅以降水作为解释变量与NDVI建立一元线性回归模型预测由气候因素控制下的潜在NDVI,将1982~2011年实际NDVI与潜在NDVI相减得到由人类活动引起NDVI变化的量化值即残差。利用趋势分析法表达1982~2011年残差变化的空间特征。并进一步借助ArcGIS空间分析功能研究人类活动对植被影响的变化过程,对不同生态分区的变化斜率进行统计结果如图6、表2所示。

近30 a来内蒙古大部分地区人类活动对植被

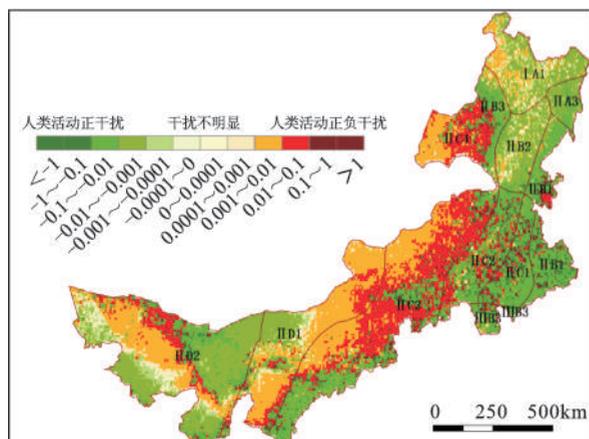


图6 1982~2011年NDVI残差变化趋势

Fig.6 NDVI residual change trends in 1982-2011

的影响强度有增加趋势,但人类活动对NDVI影响主要包括2个方面:一方面人类活动对NDVI增加起到促进作用,即人类活动正干扰,该部分面积占到研究区总面积的58.835%,主要生态区为IIC1、IIC2、IIIB3、IID1、IIB1、IIA3、IIB2和IA1,如IIA3生态区在20世纪80年代初期林地保护较好,尤其到1998年实施天然林保护工程以后促进作用愈加明显;另一方面是人类活动对NDVI起到抑制作用,即人类活动负干扰,该类作用面积占到41.165%,主要分布在IIC2、IIC3、IIC4和IID2生态区,如IIC3生态分区,呼伦贝尔草原区从20世纪80年代到现在一直受人类活动影响,早期的乱垦草原现象和之后的过度放牧是导致NDVI降低的主要人为因素。

3 讨论与结论

3.1 讨论

张戈丽等^[22]研究发现1982~2009年呼伦贝尔草原区NDVI变化平稳,略有增加趋势,本文通过对不同生态分区NDVI的变化特征进行分析,亦发现IIC4生态区即呼伦贝尔平原草原区近30 a来NDVI整体变化不明显,年增加速率仅为0.002。内蒙古植被年生长季NDVI整体呈现上升趋势,但是不同生态分区的变化趋势差异较大,且随着植被类型的变化NDVI变化趋势在逐渐降低,NDVI年变化速率的具体变化顺序为农田和灌丛(IIC2生态区)>森林(IA1、IIB2、IIA3生态区)>农田和典型草原(IIIB3生态区)>草甸草原和草甸(IIB3生态区)>典型草原和农田(IIB1、IIC1生态区)>典型草原(IIC3、IIC4生态区)>荒漠草原(IID1)>荒漠(IID2)。

多数研究认为气候变化是植被覆盖变化主要原因,然而不同地区对温度与降水的响应存在较大的差异。如萨赫勒地区、热带非洲等低纬度地区^[23,24]植被变化与降水的关系密切,而欧洲北部以及北极等中高纬度地区NDVI变化主要影响因子为温度^[25],本文通过将年生长期平均NDVI与年降水量、年平均气温进行偏相关分析,探讨处于低纬度和中高纬度之间的内蒙古地区NDVI变化与气候因子关系,研究发现内蒙古绝大部分地区植被生长与年降水量的相关性显著,其中东北部地区NDVI与降水量呈负相关,中部地区呈正相关,西部地区相关性不显著;内蒙古绝大部分地区NDVI与温度呈正相关,但相关性不显著,由于对温度插值时并未考虑海拔对其影响,且仅停留在年际尺度上研究植被和温度相互关系,相关性分析时存在较大的不确定性。因此提高温度插值的精度以及从季节尺度和月尺度来研究温度对内蒙古植被的影响是下一步研究的主要方向。

气候因子对植被生长起到控制作用,但人类活动的影响不容忽视,通过本文对内蒙古地区人类活动对植被的影响研究发现,除人类活动几乎无法触及到的部分荒漠区以及大兴安岭森林区外,近30 a来内蒙古大部分地区人类活动对植被的影响在增加,其中人类活动促进NDVI增加的区域面积占总面积的58.835%,主要集中在内蒙古东部地区以及荒漠区东部和荒漠草原区,主要是由于天然林保护工程、“三北”防护林体系工程、退耕还林还草以及荒漠化治理等一系列国家政策和法规的有效开展,促进了该区域植被覆盖度的增加;而具有抑制作用区域面积约占41.165%,主要集中在研究区中部的典型草原区以及荒漠区西部,主要是由于超载放牧、过度开垦、乱采乱伐等现象导致草地逐渐退化^[26-30],虽然近年来政府实施了退耕还草政策、部分地区开展“三牧”工程、“草畜平衡”策略等一系列保护草地的措施,但是由于工业化和城市化快速进程,尤其是在呼伦贝尔草原和锡林郭勒草原上的矿业开采对草地改善没有起到促进作用^[31]。通过以上分析我们可以看出,不同的植被类型对人类和自然因素的响应不同,因此从植被类型方面研究植被及其影响因子需要进一步研究讨论。

3.2 结论

1) 1982~2011年内蒙古NDVI呈现明显增加

趋势,且1997~2002年增加速度明显。研究区内大部分地区NDVI均有增加趋势,而下降趋势地区的面积仅为研究区面积的5.075%,主要集中在呼伦贝尔高原和锡林郭勒高原的典型草原区。从生态地理分区看,内蒙古东北部IA1、IIB2、IIA3生态区的增加速度最快,IID1区的增加速率最小仅为0.001。

2) 内蒙古降水对NDVI影响高于温度,且不同生态区对水热因子的响应存在较大差异。IIA3、IA1、IIB2生态分区NDVI与年降水量呈显著负相关,其相关系数均在0.5左右, IID2生态分区与降水的相关性最小,且表现出明显的带状分布规律。内蒙古NDVI与温度呈正相关,而仅IID1和IIC3生态分区的部分地区通过显著性检验。

3) 近30 a来人类活动对内蒙古大部分地区植被覆盖的影响呈增强趋势,其影响包括促进NDVI增加的正干扰和抑制NDVI增加的负干扰。其中IIC3、IIC4和IID2生态区人类活动对NDVI增加起到抑制作用,其中IIC3区的作用最大;其他生态区人类活动对NDVI均表现为促进作用,其中IIC1、IIC2、IIB3生态区的促进作用最为明显,而IIB2和IA1生态区的促进作用最小。

参考文献:

- [1] Wessels K J, Prince S D, Frost P E, et al. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, (91):47-67.
- [2] Xin Z B, Xu J X, Zheng W. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981-2006): Impacts of climate changes and human activities [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(1):67-78.
- [3] Piao S L, Wang X H, Philippe C, et al. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006 [J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(10): 3228-3239.
- [4] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979, (8):127-150.
- [5] 历 华, 柳钦火, 邹 杰. 基于MODIS数据的长株潭地区NDBI和NDVI与地表温度的关系研究 [J]. *地理科学*, 2009, 29(2): 262-267.
- [6] Beck P S A, Atzberger C, Högda K A. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes, a new method using MODIS NDVI [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100(3): 321-336.
- [7] Wardlow B D, Egbert S L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U.

- S. Central Great Plains[J].Remote Sensing of Environment, 2008,112:1096-1116.
- [8] Reynolds M K,Comiso J C,Walker D A,et al.Relationship between satellite-derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI[J].Remote Sensing of Environment,2008, 112:1884-1894.
- [9] Evans J,Geerken R.Discrimination between climate and human-induced dry land degradation[J].Journal of Arid Environments,2004,(57):535-554.
- [10] 李晓兵,史培军.中国典型植被类型NDVI动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J].植物生态学报,2000,24(3):379~382.
- [11] 张学珍,戴君虎,葛全胜.1982~2006年中国东部春季植被变化的区域差异[J].地理学报,2012, 67(1):53~61.
- [12] Piao S L,Mohammad A,Fang J Y,et al.NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China[J].Global Environmental Change,2006,16(4): 340-348.
- [13] 李喜仓,郭瑞清,杨丽桃,等.近50年内蒙古东部水热变化及对农业的影响[J].地理科学,2009,29(5):755~759.
- [14] 谢 静,王宗明,毛德华,等.基于面向对象方法和多时相HJ-1影像的湿地遥感分类——以完达山以北三江平原为例[J].湿地科学,2012,10(4):429~438.
- [15] 陈效逖,郑 婷.内蒙古典型草原地上生物量的空间格局及其气候成因分析[J].地理科学,2008,28(3):369~374.
- [16] 张戈丽,欧阳华,张宪洲,等.基于生态地理分区的青藏高原植被覆被变化及其对气候变化的响应[J].地理研究,2010,29(11): 2004~2016.
- [17] 王 娟,李宝林,余万里.近30年内蒙古自治区植被变化趋势及影响因素分析[J].干旱区资源与环境, 2012,26(2):132~138.
- [18] 孙艳玲,郭 鹏,延晓冬,等.内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系[J].自然资源学报,2010,25(3): 407~414.
- [19] 尤 莉,戴新刚,邱海涛.1961~2006年内蒙古年平均气温突变分析[J].内蒙古气象,2010,(2): 3~5.
- [20] 郑 度,杨勤业,吴绍洪,等.中国生态地理区域系统研究[M].北京:商务印书馆,2008.
- [21] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社, 2002.
- [22] 张戈丽,徐兴良,周才平,等.近30年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J].地理学报,2011,66(1):47~58.
- [23] Anyamba A,Tucker C J.Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA AVHRR NDVI data from 1981-2003[J].Journal of Arid Environments,2005, 63:596-614.
- [24] Camberlin P,Martiny N,Philippon N,et al.Determinants of the inter-annual relationships between remote sensed photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa[J].Remote Sensing of Environment,2007,106: 199-216.
- [25] Karlsen S R,Tolvonen A,Kubin E,et al.MODIS-NDVI based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia[J].International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information,2008,(10):253-266.
- [26] 黄银洲,王乃昂,何彤慧,等.毛乌素沙地历史沙漠化过程与土地关系[J].地理科学,2009,29(2):206~211.
- [27] 马 娜,胡云锋,庄大方,等.基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J].地理科学,2012,32(2):251~256.
- [28] 胡云锋,艳 燕,于国茂,等.1975~2009年锡林郭勒盟生态系统宏观格局及其动态变化[J].地理科学,2012,32(9): 1125~1131.
- [29] 麦麦提吐尔逊·艾则孜,海米提·依米提,迪拉娜·尼加提,等.昆仑山北麓克里雅绿洲生态服务价值对土地利用变化的响应[J].地理科学,2012,32(9):1148~1154.
- [30] 徐 佳,刘普灵,邓瑞芬,等.黄土坡面不同植被恢复阶段的减流减沙效益研究[J].地理科学,2012,32(11):1391~1396.
- [31] 杨 艳,牛建明,张 庆,等.基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例[J].生态学报,2011,31(17):5096~5104.

Research on Vegetation Changes and Influence Factors Based on Eco-geographical Regions of Inner Mongolia

ZHANG Qing-yu^{1,2}, ZHAO Dong-sheng¹, WU Shao-hong¹, DAI Er-fu¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This study constructed growing season NDVI in 1982-2011 based on GIMMS and MODIS data in Inner Mongolia. The spatial and temporal characteristics of inter-annual NDVI changes were analyzed and natural and human influence factors were investigated in different eco-geographical regions. The results show that,

linear regression equation is a good method to modify NDVI in GIMMS and MODIS remote images. The growing season NDVI increased on the whole and the increase rate was 0.265% and displayed significant inter-annual fluctuations in the past 30 years. NDVI decreased significantly in 1982-1986, then increase significantly during 1997-2002, and relative steady phases were in 1986-1997 and in 2002-2011. NDVI that increased most significantly were located in the northern of Inner Mongolia. However, there were 5.075% regions decreased which mainly distributed on typical steppe in Hulun Buir and Xilin Gol. NDVI change rates of different vegetations from eco-geographical region were in the following order: farm and shrub > forest > farm and typical steppe > meadow and meadow steppe > typical steppe and farm > typical steppe > desert steppe > desert. NDVI change rate was fastest in IIC2 eco-geographical region which was 0.277 and slowest in IID2 eco-geographical region which was 0.001. NDVI was significantly correlated with precipitation in most regions and presented obvious strap regularity from east to west, which was negative correlation in the eastern region, positive correlation in center region and no correlation in the western region. However, great differences existed in different eco-geographical region of Inner Mongolia. Eco-geographical region of IIA3, IA1 had biggest correlation which more than 0.5 but significant negative correlate between NDVI and precipitation in all regions. NDVI had little significantly positive correlations with temperature in Inner Mongolia whose correlations were less than 0.2 in most eco-geographical regions. However, NDVI exhibited significant positive correlations with temperature in highland desert steppe region of Western Inner Mongolia and highland steppe region of Eastern Inner Mongolia. Vegetation that influenced by human activities was gradually increased with the increase of vegetation complex degree in the last 30 years. There are most effects by human activities in IIC1, IIC2, IIIB3 eco-geographical region which located on the south of the Da Hinggan Mountains and least effects in IA1, IIB2, IIA3 eco-geographical region which distributed in the northeastern of the mountains. In the areas where human activities heavily restrained NDVI increased by 41.165%, and they were located in IIC3, IIC4 and IID2 eco-geographical region, in the other eco-geographical regions NDVI were promoted about 58.835% obviously. In IIC1, IIC2, IIIB3 eco-geographical region human activities promote NDVI most significantly. NDVI was promoted by national policies such as the natural forest protection project, conversion of cropland to forest and grassland project, desertification treatment and so on. However, over grazing, excessive reclamation, rapid urbanization etc could lead NDVI decrease.

Key words: eco-geographical regions; NDVI; Inner Mongolia; influence factors; correlation coefficient