

1981-2010年气候变化和人类活动对内蒙古地区植被动态影响的定量研究

王子玉¹, 许端阳², 杨 华^{1*}, 丁 雪³, 李达净⁴

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 东北农业大学, 哈尔滨 150030; 4. 华中师范大学, 武汉 430000)

摘 要:基于 GIMMS NDVI 以及 MODIS NDVI 数据, 分析内蒙古地区 1981-2010 年的植被变化趋势, 并结合气候、社会经济数据, 以旗县为单位定量分析气候变化和人类活动对植被变化的影响, 结果表明: ①1981-2010 年间, 内蒙古地区植被变化具有典型的区域异质性, 其中植被显著增加区域主要集中在西南部的阿拉善盟、鄂尔多斯市以及东部通辽市等地区, 显著减少区域主要集中在北部的锡林郭勒盟以及东北部的呼伦贝尔市的部分地区; ②对于植被显著增加区域, 人类活动作用的影响面积最大, 其次为气候因素, 气候与人类活动的耦合作用也对植被增加有一定显著影响; 内蒙古西部降水量的增加、围封禁牧政策的实施以及农作物播种面积的增加为驱动植被增加的主要因素; ③对于植被显著减少区域, 人类活动的作用略大于气候因素; 内蒙古中东部地区降雨减少以及近 10 年来部分旗县风速的增加是导致植被显著减少的重要气候因素; 虽然人工造林、农作物播种面积会增加局部植被盖度, 但在县域尺度不足以抵消干旱对植被生长的不利影响, 反而会导致区域植被退化。

关键词:植被变化; 气候因素; 人类活动; 多元回归; 内蒙古

1 引言

内蒙古自治区不仅是中国重要的畜牧业生产基地, 也是北方重要的生态屏障, 在保障国家畜牧业安全与生态安全方面具有重要战略地位。同时, 内蒙古自治区也是全球变化最为敏感的区域之一, 属于干旱、半干旱气候向东南沿海湿润、半湿润季风气候的过渡带以及农、牧业生产的过渡带, 干旱多风的自然环境以及长期过度放牧使得其土地退化问题十分严重(孙根年等, 2008)。近年来, 随着中国北方地区温度的普遍升高, 退耕还林(草)、围封禁牧等生态工程与政策的实施, 以及能矿资源开采、城市扩张等多元化人类活动的加剧, 该地区生态环境更加复杂、多样。植被变化是生态环境变化的直接结果, 在很大程度上反映了区域的环境状况(陈效逯等, 2009)。因此, 定量研究区域植被变化及驱

动机, 可为科学认识气候变化和人类活动的作用规律, 并为区域生态建设以及政策制定提供依据。

遥感数据覆盖面积广、时相分辨率高的特点使过去难以实现的长时间序列、大区域的植被监测成为可能, 特别是 NOAA/AVHRR、SPOT、MODIS-NDVI 数据提高了全球及区域尺度长时间序列植被变化研究的可靠性(王娟等, 2012)。围绕内蒙古植被变化, 学者们开展了一系列相关研究。在植被覆盖时空变化特征分析方面, 主要基于 MODIS-NDVI、MODIS/EVI 遥感数据反演植被覆盖度的空间格局以及动态变化, 分析其变化规律。如包刚等(2013)的研究发现, 1982-2006 年间内蒙古 NDVI 呈显著增加的地区主要集中在南部农牧交错带、河套灌溉区、浑善达克沙地和科尔沁沙地等地区; 从不同植被类型区的 NDVI 平均值来看, 2002-2006 年草地 NDVI 值波动最大, 其次为林地、耕地和沙地(李

收稿日期: 2016-11; 修订日期: 2017-02。

基金项目: 国家自然科学基金项目(71573245); 国家重点研发计划项目(2016YFC0501002) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.71573245; National Program on Key Research Project of China, No.2016YFC0501002]。

作者简介: 王子玉(1993-), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要研究方向为森林资源监测与评价, E-mail: wangzy9319@163.com。

通讯作者: 杨华(1964-), 女, 北京人, 副教授, 主要从事资源与环境信息系统和森林资源监测技术研究, E-mail: huayang8747@163.com。

引用格式: 王子玉, 许端阳, 杨华, 等. 2017. 1981-2010 年气候变化和人类活动对内蒙古地区植被动态影响的定量研究[J]. 地理科学进展, 36(8): 1025-1032. [Wang Z Y, Xu D Y, Yang H, et al. 2017. Impacts of climate change and human activities on vegetation dynamics in Inner Mongolia, 1981-2010[J]. Progress in Geography, 36(8): 1025-1032.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.08.011

慧静等, 2009)。此外, 也有研究表明内蒙古西部高原植被退化面积大于改善面积(范瑛等, 2014)。

在植被变化的驱动因子方面, 研究人员也进行了大量研究, 主要关注的是气候因子与植被变化的关系。孙艳玲等(2010)、穆少杰等(2012)的研究表明, 在年际水平上, 植被与降水有很好的相关性, 受降水影响较大; 在月际水平上, 降雨量和温度对NDVI都有影响。而Mao等(2012)的研究表明, 大部分情况下植被变化与温度比与降雨的相关性更强。除气候因子外, 人类活动对植被变化也有很大的影响。如有研究表明, 在2000-2010年间, 农业劳动力对植被变化的影响已经超过了气候等自然因素, 农业劳动力的迁出对植被变化的提高有显著促进作用(李仕冀等, 2015)。此外, 在年均温与年降水均无显著变化的背景下, 植被的显著变化主要受人为因素的影响(李晓光, 2014); 也有一些研究表明, 城镇化、人工造林等人类活动是导致具有相似气候条件地区植被时间序列变化趋势产生一定区域差异的原因(周锡饮等, 2014)。

然而, 大部分关于内蒙古地区植被变化的研究, 往往忽略了驱动因子作用空间差异的分析。此外, 由于缺乏县市一级的详细数据, 人类活动对植被变化的影响未能进行深入分析。因此, 本文以内蒙古地区为研究区域, 基于栅格尺度, 分析1981-2010年内蒙古植被变化, 识别出NDVI显著变化的区域; 基于旗县的统计数据, 分析气候、人类活动因素对内蒙古植被变化的驱动机制, 进而解释内蒙古地区植被变化过程。

2 材料与方法

2.1 研究区

内蒙古自治区(37°24'~53°23'N, 97°12'~126°04'E)地处我国北部边疆(图1), 总人口2504.8万, 总面积118.3万km², 为中国第三大省区。气候以温带大陆性季风气候为主, 年平均气温为0~8℃, 年总降水量50~450 mm, 东西差异显著, 东北降水多, 向西部递减, 蒸发量大部分地区都高于1200 mm。本区跨越经纬度比较大, 受降雨和温度等气候条件的综合影响, 植被类型丰富, 从东到西依次为山地针叶林和阔叶林、森林草原、温带草原、荒漠草原和荒漠。土壤类型以栗钙土、棕壤和风沙土为主。内蒙古畜牧业发达, 草原畜牧业占全区土地面积52%以上, 在干旱多风沙的自然环境和长期过度放牧等人类活动影响下, 本区土地退化较为严重, 植被覆盖度低。

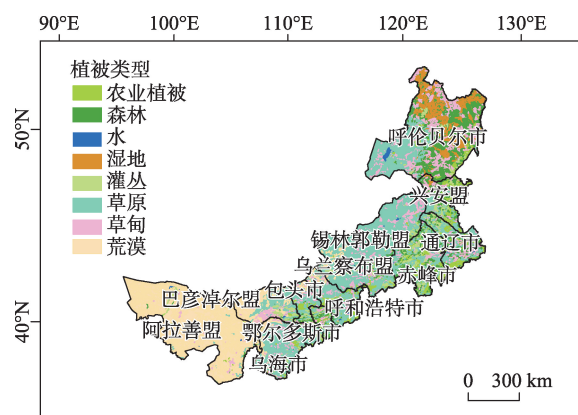


图1 研究区示意图

Fig.1 Location of the study area

2.2 数据收集与处理

本文所使用的数据主要包括遥感影像、气候、土壤、植被以及社会经济统计数据等。NDVI数据中, 1981-2006年为8 km分辨率的GIMMS NDVI数据, 来源于美国航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)全球监测与模型研究组(Global Inventor Modeling and Mapping Studies, GIMMS)发布的16天最大值合成数据; 2007-2010年为1 km分辨率的MODIS NDVI数据。为构建1981-2010年均一化的NDVI时间序列, 以1981-2006年GIMMS NDVI数据为基础, 在对两组数据进行月最大值合成(MODIS NDVI数据重采样为8 km)的基础上, 以2001-2006年两组数据的重叠部分为样本建立月尺度上两者的回归关系, 对2007-2010年MODIS NDVI数据进行转换。

1981-2010年研究区内的月平均降雨、温度、日照时数、风速等气候要素数据来源于国家气象信息中心。人口、GDP、农作物播种面积等社会经济数据来源于内蒙古各年份统计年鉴, 造林面积等数据来源于各年份相关中国林业统计年鉴。1:100万中国植被图来源于中国科学院资源环境数据中心, 根据1:100万植被类型空间分布数据, 确定内蒙古自治区的植被类型。为便于空间分析与对比, 同时考虑到所有数据中最低的分辨率, 将所有NDVI数据、降雨以及风速等气候数据统一重采样或转换为分辨率为8 km×8 km的空间数据。鉴于经济社会因素在县域水平的影响相对均一、稳定, 以旗县为基本分析单元, 按照驱动因素的县域均值进行分析。

2.3 研究方法

2.3.1 植被年际变化趋势分析

以年度NDVI总和作为反映植被盖度与生产力的代用指标, 并利用线性回归模型分析栅格尺度上

的植被年际变化趋势。趋势线分析法能模拟每个栅格的变化趋势,反映不同时期植被变化趋势的空间特征。利用线性趋势方程以及最小二乘法,对内蒙古过去 30 年植被年际变化趋势进行分析;此外,通过 t 检验法($p < 0.05$)对植被变化趋势的显著性进行检验,确定植被发生显著变化的区域。

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 t \quad (1)$$

$$b_1 = \frac{n \sum tY - \sum t \sum Y}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (2)$$

式中: \hat{Y}_t 代表时间序列 Y_t 的预测值; t 代表时间标号; b_0 代表趋势线在 Y 轴上的截距, b_1 是趋势线的斜率, 若 $b_1 > 0$ 表明植被覆盖呈增加的趋势, $b_1 < 0$ 表明呈减少的趋势; n 为监测累计年数; Y 为每年对应的 NDVI 值。

2.3.2 植被年际变化驱动因素的定量分析

植被变化作为表征生态环境变化的综合指示器,受温度、降水等气候因素以及城镇化率、人工造林等因素的共同影响。因此,考虑气候因素的空间变异性以及经济社会数据的可获取性,选择年均温度、年降雨、日照时数、平均风速作为反映气候变化的指标,选择城镇化率、农作物耕种面积、牲畜数量、人工造林面积作反映人类活动的指标;其中,牲畜数量以羊单位进行折算,大牲畜主要包括牛、马、驴等(按一头大牲畜等于五个羊单位换算)。在此基

础上,针对各旗县植被显著增加和显著减少的区域,建立NDVI与气候及人类活动等因素的多元线性回归模型,其一般方程为:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \dots b_nx_n \quad (3)$$

式中: y 表示各旗县植被显著增加和显著减少区域的NDVI均值; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 分别表示温度、降雨、城镇化率等气候及人类活动因素; $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ 分别表示不同驱动因素的回归系数; a 为方程截距。

建立回归方程后,对方程进行显著性检验($p<0.05$);并根据回归系数的显著性检验结果($p<0.05$),判定气候、人类活动因素对各旗县植被显著增加和显著减少的影响是否显著。

3 结果与分析

3.1 1981-2010年内蒙古植被动态变化空间分布

1981-2010年内蒙古NDVI变化趋势及显著性分析结果表明(图2),30年来该地区植被变化存在明显的空间差异。植被呈增加趋势的区域面积为556600 km²,其中显著增加的区域面积为251840 km²,占总增加面积的45.25%,主要分布在西部的阿拉善盟、鄂尔多斯市,东部的通辽市,以及东北部的呼伦贝尔市的北部等地区。不同植被类型变化方面,荒漠植被显著增加面积最大,为98432 km²,占显著增加区域面积的39.09%;草原植被显著增加区

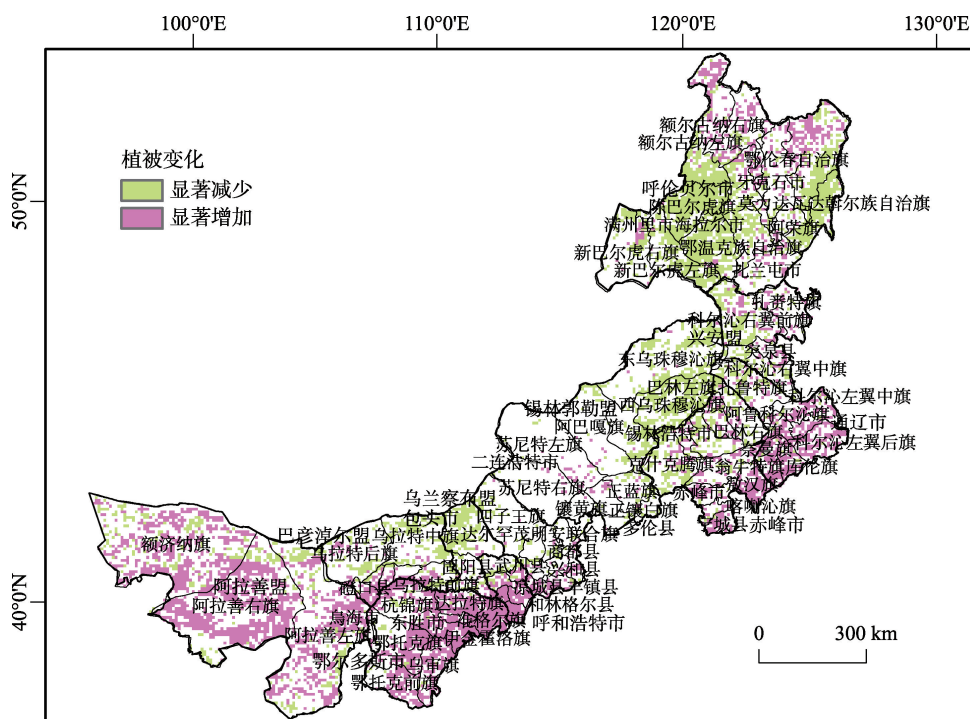


图2 内蒙古植被变化空间分布

Fig.2 Spatial distribution of vegetation coverage change in Inner Mongolia

域面积为60608 km²;植被显著增加最少的类型为湿地,显著增加面积为4672 km²。植被呈减少趋势的区域面积为583900 km²,其中显著减少的区域面积为218750 km²,占总减少面积的37.46%,主要分布在北部锡林郭勒盟和东北部呼伦贝尔市,以及中西部的巴彦淖尔市、包头市等地区。对于不同植被类型而言,草原植被显著减少区域面积最大,为92864 km²,占显著减少区域面积的42.45%;森林植被显著减少面积为33728 km²;沙漠与草甸植被显著减少的面积相近,分别为27072 km²、26752 km²。

3.2 植被显著增加区域的驱动因素定量分析

1981-2010年间,内蒙古88个旗县中,49个旗县NDVI值呈显著增加趋势。驱动因素多元回归结果显示,46个旗县受气候及人类活动因素的显著影响,不同驱动因素作用的空间分布如图3所示。

气候因素对植被显著增加的影响面积为99200 km²,占全区植被显著增加区域面积的39.39%。根据每个植被显著增加旗县的驱动因子分析结果,可以看出存在明显的区域差异;部分植被显著增加的旗县只受降雨、风速、温度及日照的单独影响,也有一些旗县则受降雨、风速等因素的耦合作用。在不同气候因素中,降雨对植被变化影

响最大,影响面积为41984 km²,占气候因素影响面积的42.32%,特别是内蒙古西部的阿拉善左旗、磴口县、准格尔旗等地最为集中,这主要与上述地区30年来降雨量增加以及区域内荒漠植被对降雨响应的高敏感性有关(孙杰, 2007);降雨与风速、温度耦合作用也是导致内蒙古植被增加的重要驱动因素,但在影响区域方面较为分散,主要集中在内蒙古东北部的鄂伦春自治旗,以及中南部的丰镇县、宁城县等地。风速、温度对内蒙古东南部地区的植被增加具有显著影响,如敖汉旗、库伦旗、突泉县以及扎赉特旗等地,影响面积分别为21888 km²和3072 km²;这主要归因于研究区30年来风速降低(图4a)及其导致的内蒙古东南部高植被覆盖地区土壤风蚀的减弱(花婷等, 2014; Lang et al, 2015),以及温度上升(图4b)对内蒙古东部突泉县等地植被低温胁迫的缓解。日照时数对内蒙古西南部的杭锦旗、林格尔县等有显著影响,影响面积为11968 km²;同时,日照时数与温度的耦合也对植被变化有一定影响,影响面积为3456 km²。

人类活动因素对植被显著增加的影响面积为176640 km²,占全区植被显著增加区域面积的70.14%。其中,牲畜数量及其与其他因素的耦合作用

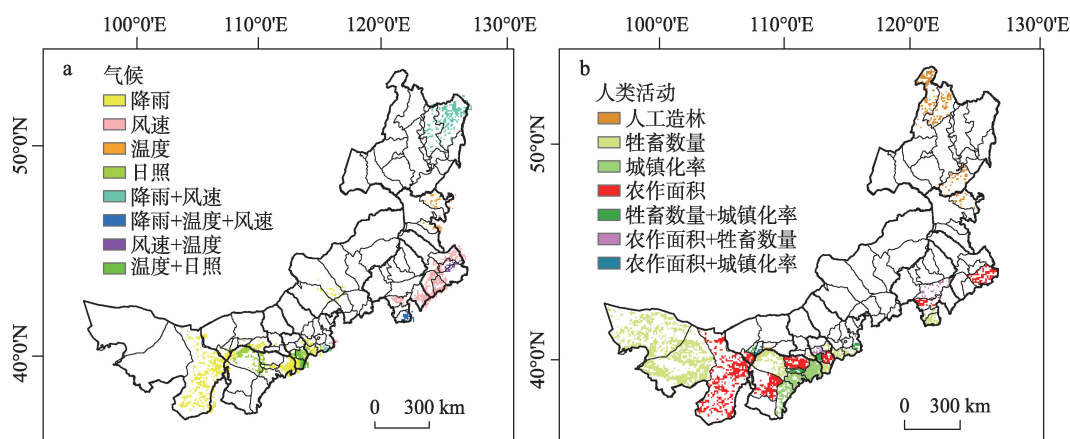


图3 植被显著增加区域气候(a)和人类活动(b)驱动因素分布

Fig.3 Spatial distribution of climatic factors and human activities driving vegetation increase

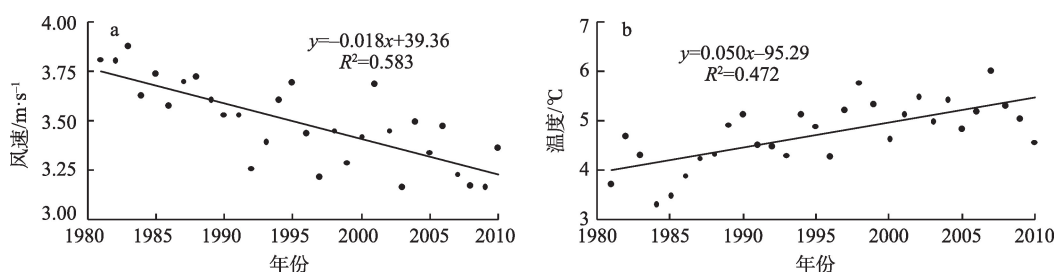


图4 1981-2010年内蒙古地区风速(a)以及温度(b)变化

Fig.4 Change of wind speed and temperature in Inner Mongolia, 1981-2010

用对植被显著增加的影响最大,主要集中在内蒙古西部的额济纳旗、阿拉善右旗、杭锦旗等地,影响面积为83268 km²,占人类活动影响的植被显著增加区域面积的47.14%,这主要与内蒙古地区实施多年的围封禁牧政策有关;从空间范围来看,上述地区均为内蒙古的禁牧区,以杭锦旗为例,虽然该地区每年牲畜数量呈上升趋势,但牲畜数量的增加并没有加重对草地的压力并导致植被退化,而植被则在禁牧条件下逐步恢复(佟斯琴, 2015)。人工造林主要对内蒙古东北部的额尔古纳左旗、额尔古纳右旗、扎兰屯市等地植被显著增加有影响,影响面积为15744 km²。农作物播种面积对植被显著增加的影响较为分散,主要集中在内蒙古西部的阿拉善左旗、鄂托克旗以及内蒙古东部的科尔沁左翼后旗等地,影响面积为51264 km²。城镇化率对个别旗县植被显著增加有一定影响,如西南部的乌审旗、伊金霍洛旗等地,影响面积为18496 km²;主要归因于乡村人口减少或迁出在一定程度上缓解了生态系统的压力,使得植被覆盖状况有一定改善,这也与前人研究的结论较为一致(李仕冀等, 2015)。

在植被显著增加的区域,气候和人类活动共同影响的面积为61312 km²,占植被显著增加区域面积的24.35%,涉及18个旗县。与气候以及人类活动单独对植被显著增加的影响相比,两者的耦合影响相对较小,主要分布在内蒙古西部的杭锦旗、东胜市、准格尔旗等地区,主要表现为降雨与牲畜数量、农作物播种面积以及城镇化率的耦合作用,气候因素中的温度、日照时数与牲畜数量、农作物播种面积也有一定耦合作用。

3.3 植被显著减少区域的驱动因素定量分析

1981-2010年间,内蒙古88个旗县中,30个旗县的NDVI值呈显著减少趋势,且均受气候及人类

活动驱动因素的显著影响(图5)。

气候因素对植被显著减少的影响面积为85632 km²,占全区植被显著减少区域面积的39.15%。在不同气候因素中,降雨和风速对植被显著减少的影响最为明显,主要集中在内蒙古中东部地区的克什克腾旗、西乌珠穆沁旗、阿鲁科尔沁旗、鄂温克族自治旗等,其影响面积分别为21824 km²和44800 km²。上述区域1981-2010年间降雨量下降趋势明显,其中阿鲁科尔沁旗降雨量30年来降低了147.08 mm,区域性的干旱加剧了植被退化风险;风速对植被显著减少的影响面积占气候因素影响总面积的52.32%,这些区域过去30年特别是近10年来风速的增加也是导致植被退化的重要原因,如西乌珠穆沁旗平均风速在2000-2010年间增加了0.66 m/s。日照时数以及温度对植被减少的影响整体不显著,仅体现在少数地区,如日照时数对东部的莫力达瓦达斡尔族自治县以及牙克石市有显著影响,影响面积为18048 km²,而东南部的多伦县则受到温度、降雨以及日照时数的共同影响。

人类活动因素对植被显著减少的影响面积为110464 km²,占全区植被显著减少区域面积的50.5%。人工造林、农作物播种面积对植被显著减少的影响最大;其中,人工造林主要对内蒙古东部的新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗、西乌珠穆沁旗等地植被显著减少有影响,影响面积为41920 km²,占受人类活动影响而植被显著减少区域的37.95%;农作物播种面积影响的植被显著减少区域主要集中在内蒙古东北部的科尔沁右翼前旗、科尔沁右翼中旗、陈巴尔虎旗等地,影响面积为36224 km²;农作物播种面积以及人工造林对植被变化的耦合影响主要集中在莫力达瓦达斡尔族自治县与阿荣旗,影响面积为11712 km²。尽管人工造林、农作物播种会

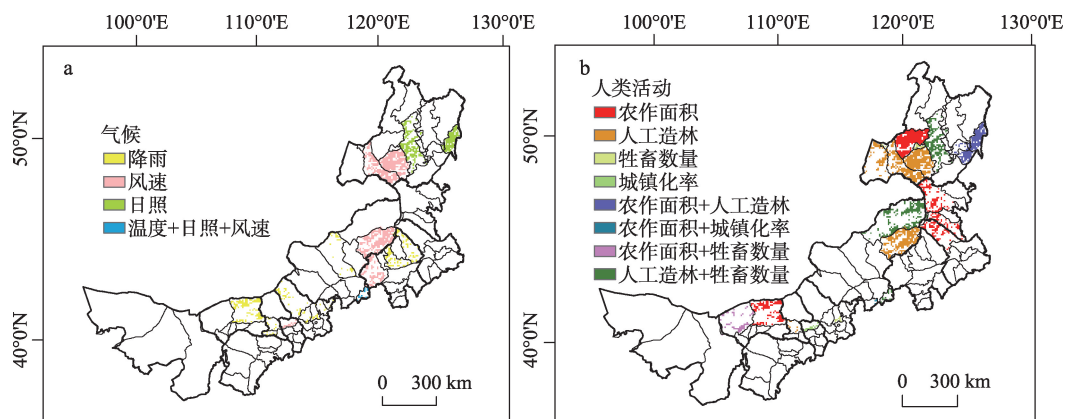


图5 植被显著减少区域气候(a)和人类活动(b)驱动因素分布

Fig.5 Spatial distribution of climatic factors and human activities driving vegetation decrease

增加上述旗县局部地区植被覆盖度,但在县域尺度上未能抵消干旱对植被生长的不利影响,而且还存在过度消耗地下水的风险,特别是在区域性干旱背景下尤为突出(Cao et al, 2016);以西乌珠穆沁旗为例,虽然该地区人工造林面积呈增加趋势,但区域NDVI却逐渐下降(图6b)。此外,牲畜数量以及城镇化率对植被显著减少影响较小,其中牲畜数量对东部的海拉尔区、满洲里等地区有显著影响,这主要与上述地区植被条件相对较好且并未全面实施禁牧政策有关;城镇化率对内蒙古中部的武川县有显著影响。

在植被显著减少的区域,气候和人类活动共同影响的面积为65600 km²,占植被显著减少区域面积的29.99%,主要分布在东北部的鄂温克族自治旗、牙克石市以及乌拉特中旗等10个旗县,具体表现为降雨与农作物播种面积、牲畜数量、人工造林的耦合作用,以及风速与人类活动的耦合作用。气候因素中日照、温度与人类活动耦合作用不显著。

4 讨论与结论

4.1 讨论

区域植被动态变化及其驱动机制分析一直是全球变化科学研究以及生态文明建设关注的核心问题,其中的关键在于选择合适的尺度并结合大量数据进行多维度的分析。本研究充分考虑气候及人类活动因素的空间变异性以及数据的可获取性,综合植被、气候栅格数据以及旗县社会经济数据,在县域尺度上探讨内蒙古地区植被变化及其驱动机制,并反映不同因素影响的区域差异,这相对于以往栅格尺度上的气候变化和人类活动整体性分析(Mu et al, 2013; Zhou et al, 2014)以及省域尺度的多因素分析能更好地解释植被变化的机制与空间差异(时忠杰等, 2011)。同时,在经典多元回归方法支撑下,分析结果也较为可靠,与前人在研究区内的研究结论也相对一致。例如,许旭等(2010)的研

究表明内蒙古地区植被变化与降雨量有较强的相关关系;王娟等(2012)对磴口县植被变化的研究发现,该区域植被增加与区域草原开垦和持续植树种草、禁牧轮牧等防沙治沙等活动有关。

本文虽取得了一些结果,尚存在以下一些不足之处,需在今后的研究中进一步改进:一是受数据获取限制,选取的变量较少,今后需要引入更多变量,如体现该区水资源利用情况以及地下水动态变化等方面的数据;二是研究方法较为单一,今后需要进一步结合更多不同类型的研究方法,如多主体均衡模型、系统动力学模型等,建立耦合自然—人类活动因素的植被动态变化模型,进一步明确各驱动因素与植被变化的数量关系,更详细地刻画气候因素以及人类活动的影响机制;三是在植被建设与恢复工作中,还需进一步探讨旗县尺度上不同因素的影响及耦合特征,结合当地实际情况作进一步的深入调查研究。

4.2 结论

本文基于栅格尺度,利用趋势分析等方法,分析了内蒙古地区1981-2010年间植被变化的空间分布及差异,并结合气候与社会经济数据,以旗县为单位定量分析了气候变化和人类活动对植被变化的影响。主要结论为:

(1) 1981-2010年间,内蒙古地区植被显著增加与显著减少的面积基本相当,但在气候变化和人类活动的作用下,植被变化具有典型的区域异质性。植被呈显著增加的区域主要分布在内蒙古西南部的荒漠和草原带以及东南地区的草原和森林带,包括阿拉善盟、鄂尔多斯市及通辽市等地区。植被显著减少的区域主要分布在内蒙古偏北部的草原和灌丛带以及北部地区的草原带,包括锡林郭勒盟、巴彦淖尔市等地区。

(2) 在植被显著增加的区域,降雨是影响植被显著增加的主要因素,占气候因素影响面积的42.32%,其影响范围主要集中在内蒙古西部地区;降雨、风速与温度的耦合对植被显著增加也有一定

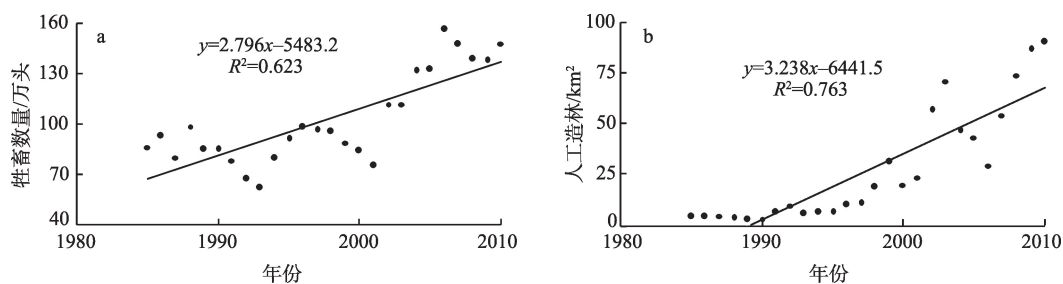


图6 1985-2010年杭锦旗牲畜数量(a)与西乌珠穆沁旗人工造林(b)变化

Fig.6 Changes in the number of livestock in Hangjin Banner and afforestation in West Wuzhumuqin Banner, 1985-2010

影响。牲畜数量及其与其他因素的耦合作用是影响植被显著增加的主要人类活动,占人类活动影响面积的47.14%,以内蒙古西部、西南部为主。

(3) 在植被显著减少的区域,风速是最主要的影响因素,占气候因素影响面积的52.32%,其影响范围主要分布在内蒙古中部及东北部一些旗县;此外,内蒙古东部地区降雨量减少及其引发的区域性干旱对植被减少也有显著影响。人类活动中,人工造林对植被显著减少的影响最大,占人类活动影响总面积的37.95%,主要分布在内蒙古东北部地区;尽管人工造林活动使得植被退化得到一定程度的缓解,但在上述地区并未能抵消干旱对植被生长的不利影响;农作物播种面积以及城镇化率等的耦合作用也对植被显著减少有一定影响。

(4) 在植被发生显著变化的区域,人类活动的影响面积均大于气候因素,并且气候因素与人类活动的耦合作用都比较突出。在植被显著增加区域主要表现为降雨与农作物播种面积、牲畜数量的共同影响;在植被显著减少区域主要表现为降雨、风速与人工造林、农作物播种面积的共同影响。

参考文献(References)

- 包刚,覃志豪,包玉海,等. 2013. 1982-2006年蒙古高原植被覆盖时空变化分析[J]. 中国沙漠, 33(3): 918-927. [Bao G, Qin Z H, Bao Y H, et al. 2013. Spatial-temporal changes of vegetation cover in Mongolian Plateau during 1982-2006[J]. Journal of Desert Research, 33(3): 918-927.]
- 陈效述,王恒. 2009. 1982-2003年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报, 64(1): 84-94. [Chen X Q, Wang H. 2009. Spatial and temporal variations of vegetation belts and vegetation cover degrees in Inner Mongolia from 1982 to 2003[J]. Acta Geographica Sinica, 64(1): 84-94.]
- 范瑛,李小雁,李广泳. 2014. 基于MODIS/EVI的内蒙古高原西部植被变化[J]. 中国沙漠, 34(6): 1671-1677. [Fan Y, Li X Y, Li G Y. 2014. Spatio-temporal vegetation variation in the western Inner Mongolia Plateau based on MODIS/EVI [J]. Journal of Desert Research, 34(6): 1671-1677.]
- 花婷,王训明. 2014. 东亚干旱半干旱区沙漠化与气候变化相互影响研究进展[J]. 地理科学进展, 33(6): 841-852. [Hua T, Wang X M. 2014. Research progresses on the interaction between desertification and climate change in arid and semiarid East Asia[J]. Progress in Geography, 33(6): 841-852.]
- 李慧静,包玉海,包刚,等. 2009. 基于MODIS-NDVI的内蒙古植被变化遥感监测[J]. 测绘科学, 34(5): 25-27, 51. [Li H J, Bao Y H, Bao G, et al. 2009. RS monitoring of vegetation change in Inner Mongolia based on MODIS-NDVI[J]. Science of Surveying and Mapping, 34(5): 25-27, 51.]
- 李仕冀,李秀彬,谈明洪. 2015. 乡村人口迁出对生态脆弱地区植被覆盖的影响:以内蒙古自治区为例[J]. 地理学报, 70(10): 1622-1631. [Li S J, Li X B, Tan M H. 2015. Impacts of rural-urban migration on vegetation cover in ecologically fragile areas: Taking Inner Mongolia as a case[J]. Acta Geographica Sinica, 70(10): 1622-1631.]
- 李晓光. 2014. 基于MODIS-NDVI的内蒙古植被覆盖变化及其驱动因子分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学. [Li X G. 2014. Variations and impact factors of vegetation cover in Inner Mongolia based on the MODIS-NDVI[D]. Hohhot, China: Inner Mongolia University.]
- 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2012. 2001-2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 67(9): 1255-1268. [Mu S J, Li J L, Chen Y Z, et al. 2012. Spatial differences of variations of vegetation coverage in Inner Mongolia during 2001-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 67(9): 1255-1268.]
- 孙杰. 2007. 1982-2000年中国植被覆盖变化及典型区域与气候因子的响应关系[D]. 南京: 南京信息工程大学. [Sun J. 2007. 1982-2000 vegetation change in China and the response of typical areas with climatic factors[D]. Nanjing, China: Nanjing University of Information Science and Technology.]
- 孙根年,王美红. 2008. 内蒙古植被覆盖与土地退化关系及空间结构研究[J]. 干旱区资源与环境, 22(2): 140-144. [Sun G N, Wang M H. 2008. Study on relation and distribution between vegetative coverage and land degradation in Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 22(2): 140-144.]
- 时忠杰,高吉喜,徐丽宏,等. 2011. 内蒙古地区近25年植被对气温和降水变化的影响[J]. 生态环境学报, 20(11): 1594-1601. [Shi Z J, Gao J X, Xu L H, et al. 2011. Effect of vegetation on changes of temperature and precipitation in Inner Mongolia, China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 20(11): 1594-1601.]
- 孙艳玲,郭鹏,延晓冬,等. 2010. 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, 25(3): 407-414. [Sun Y L, Guo P, Yan X D, et al. 2010. Dynamics of vegetation cover and its relationship with climate change and human activities in Inner Mongolia[J]. Journal of Natural Resources, 25(3): 407-414.]
- 佟斯琴,刘桂香,包玉海. 2015. 2000-2012年鄂尔多斯禁牧区植被覆盖度变化监测[J]. 水土保持通报, 35(02): 136-140. [Tong S Q, Liu G X, Bao Y H. 2015. Monitoring of vegetation coverage changes in Graze-prohibited area of Ordos from 2000 to 2012[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 35(2): 136-140.]
- 王娟,李宝林,余万里. 2012. 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, 26(2): 132-138. [Wang J, Li B L, Yu W L. 2012. Analysis of vegetation trend and their causes during recent 30 years in Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 26(2): 132-138.]
- 许端阳,佟贺丰,李春蕾,等. 2015. 耦合自然—人文因素的

- 沙漠化动态系统动力学模型[J]. 中国沙漠, 33(2): 267-275. [Xu D Y, Tong H F, Li C L, et al. 2015. A system dynamic model with coupled natural and human factors for desertification simulation[J]. Journal of Desert Research, 33(2): 267-275.]
- 许旭, 李晓兵, 梁涵玮, 等. 2010. 内蒙古温带草原区植被盖度变化及其与气象因子的关系[J]. 生态学报, 30(14): 3733-3743. [Xu X, Li X B, Liang H W, et al. 2010. Change in vegetation coverage and its relationships with climatic factors in temperate steppe, Inner Mongolia[J]. Acta Ecologica Sinica, 30(14): 3733-3743.]
- 周锡饮, 师华定, 王秀茹. 2014. 气候变化和人类活动对蒙古高原植被覆盖变化的影响[J]. 干旱区研究, 31(4): 604-610. [Zhou X Y, Shi H D, Wang X R. 2014. Impact of climate change and human activities on vegetation coverage in the Mongolian Plateau[J]. Arid Zone Research, 31(4): 604-610.]
- Cao S X, Zhang J Z, Chen L, et al. 2016. Ecosystem water imbalances created during ecological restoration by afforestation in China, and lessons for other developing countries [J]. Journal of Environmental Management, 183: 843-849.
- Lang L L, Wang X M, Wang G T, et al. 2015. Effects of Aeolian processes on nutrient loss from surface soils and their significance for sandy desertification in Mu Us Desert, China: A wind tunnel approach[J]. Journal of Arid Land, 7 (4): 421-428.
- Mao D H, Wang Z M, Luo L, et al. 2012. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18: 528-536.
- Mu S J, Zhou S X, Chen Y Z, et al. 2013. Assessing the impact of restoration-induced land conversion and management alternatives on net primary productivity in Inner Mongolian grassland[J]. Global and Planetary Change, 108(3): 29-41.
- Zhou W, Gang C C, Zhou F C, et al. 2015. Quantitative assessment of the individual contribution of climate and human factors to desertification in northwest China using net primary productivity as an indicator. Ecological Indicators, 48: 560-569.

Impacts of climate change and human activities on vegetation dynamics in Inner Mongolia, 1981–2010

WANG Ziyu¹, XU Duanyang², YANG Hua^{1*}, DING Xue³, LI Dajing⁴

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 4. Central China Normal University, Wuhan 430000, China)

Abstract: This study constructed growing season NDVI in 1981-2010 based on GIMMS NDVI and MODIS NDVI data in Inner Mongolia. The characteristics of NDVI change were analyzed and natural and human influencing factors were investigated in each county (banner) by trend analysis and multiple regression analysis. The results indicate that NDVI changes in Inner Mongolia showed great heterogeneity. The regions that experienced significantly increased vegetation cover were mainly distributed in Erdos City and Alashan Prefecture in southwestern and Tongliao City in eastern Inner Mongolia, and the regions that experienced significantly decreased vegetation cover were in HulunBuir and Xilinguole Prefectures in northern Inner Mongolia. For the increased vegetation cover regions, human activities were the dominant factor, and climate change played the second role; the coupling of climate change and human activities also had certain impact on the vegetation increase. The increase of the rainfall, implementation of banned grazing policies and increase of cropping area were the main factors driving the increase of vegetation. However, for the decreased vegetation cover regions, the role of human activities was slightly greater than that of climate change. The reduction of rainfall in the central and eastern Inner Mongolia and the raise of wind speed in some counties in nearly 10 years were the main climatic factors driving the significant decrease of vegetation. Although afforestation and the increase of cropping area might lead to the increase of vegetation cover at local scale, it was not enough to counteract the adverse effects of drought on vegetation growth at county scale; nevertheless, it might lead to regional vegetation degradation.

Key words: vegetation change; climatic factor; human activity; multiple regression analysis; Inner Mongolia