

近 10 年蒙古高原植被覆盖变化 及其对气候的季节响应

包 刚^{1,2}, 包玉海¹, 覃志豪², 周 义², Shiirev-Adiya³

(1. 内蒙古师范大学内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010022; 2. 南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏南京 210093; 3. 蒙古国科学院地理研究所, 蒙古国乌兰巴托 14192)

摘要: 利用 2001~2010 年间 MODIS NDVI 数据、同期气象数据和 MODIS 土地覆盖分类产品, 探讨蒙古高原植被覆盖变化趋势及其对气温和降水量的季节响应特征。结果表明, 10 a 来, 蒙古高原植被覆盖度呈增加趋势和呈下降趋势的面积基本持平; 春季和夏季植被覆盖度呈下降趋势, 而秋季呈上升趋势, 降水量是最主要的影响因子; 在秋季 5 种植被类型均呈增加趋势, 而在春季和夏季不同植被类型的增减趋势因植被类型而异。

关键词: 蒙古高原; MODIS NDVI; 植被变化; 气候响应

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)05-0613-09

气候条件是植被分布与变化的直接驱动力之一, 同时, 植被是区域气候特征的反映和指示, 两者之间存在着密不可分的联系^[1]。因此, 从植被与气候的相互关系入手、揭示区域及全球植被活动对气候的响应方式及其强度成为当今全球变化研究的一个热点问题^[2-5]。尤其, 卫星遥感数据在全球及区域尺度的植被变化监测中的应用, 进一步推动了全球变化研究^[6-9]。

蒙古国作为中国北方的重要邻国, 在其地理条件和生态系统类型上与中国内蒙古毗邻在一起形成蒙古高原的主体部分^[10](以下简称蒙古高原), 不仅成为中国重要的生态屏障, 对“三北”地区乃至全国的生态环境有着重要作用^[11], 而且作为东亚生态系统的重要组成部分, 在全球碳循环中有着重要影响^[12]。蒙古高原由于地处干旱半干旱地区, 脆弱的生态条件使其对气候变化的响应十分敏感, 并引起从事生态、环境、气候、地理等研究的学者的广泛关注, 开展了一系列相关研究, 但由于数据资源的限制, 尤其蒙古国长时间序列气象观测数据和相关统计资料的匮乏, 大多数研究主要集中在气候变化及影响因素、土壤风蚀、NDVI 空间

格局等方面^[13-17]。而在全球气候变化大背景下, 蒙古高原植被生长状况变化, 植被对气温和降水变化的响应方式等问题一直未能得到及时的研究。尤其对最近 10 a 来蒙古高原植被变化趋势及其对气温和降水变化的季节响应方式, 目前还未见到相关报道。本研究利用 2001~2010 年间 MODIS NDVI 数据、同期气象观测数据和 MODIS 土地覆盖分类产品, 研究蒙古高原植被覆盖变化趋势及其对气温和降水量的季节响应特征, 为该地区植被演化趋势研究和生态环境建设等方面提供科学依据, 也为区域尺度的气候变化对陆地生态系统的影响研究提供参考。

1 研究区概况

蒙古高原属于亚洲内陆高原, 东抵大兴安岭, 西界阿尔泰山脉, 北至萨彦岭、肯特山、雅布洛诺夫山脉, 南界阴山山脉, 包蒙古国全部, 俄罗斯南部和中国北部部分^[10]。在此选取的研究区为蒙古高原的中部主体部分蒙古国和中国内蒙古地区(图 1)。该区域位于 87°43'~126°04'E 和 37°22'~53°20'N 之间, 面积约为 260×10⁴ km², 其中内蒙古

收稿日期: 2012-09-19; 修订日期: 2012-11-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161060、41261099)、内蒙古自然科学基金项目(2012MS0607)资助。

作者简介: 包 刚(1978-), 男, 内蒙古库伦旗人, 博士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: baogang@imnu.edu.cn

通讯作者: 包玉海, 教授。E-mail: baoyuhai@imnu.edu.cn

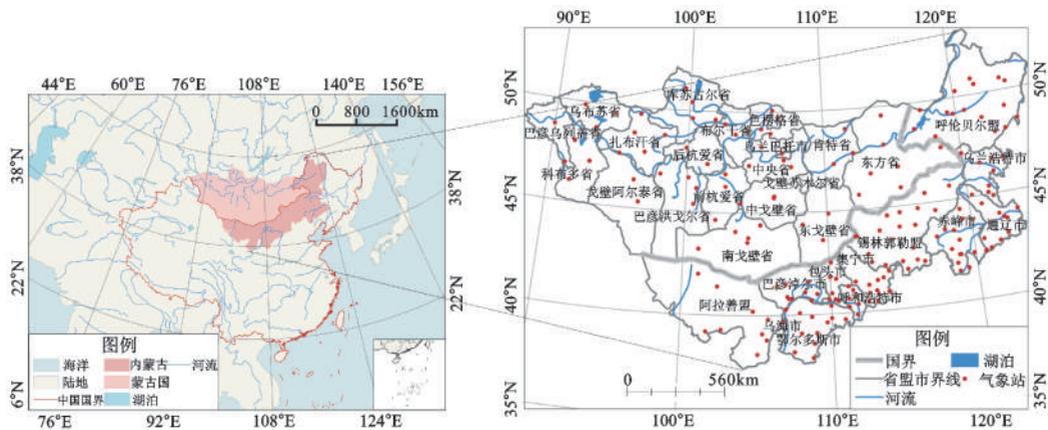


图1 研究区地理位置及气象观测站的分布

Fig.1 Location of study area and distribution of meteorological stations

面积为 $118.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 共包括 33 个行政区划(蒙古国 21 个省市, 内蒙古 12 个盟市)。地势总体上西北部多山地, 西南部为戈壁荒漠, 中部和东部为地形相对开阔平坦的大片丘陵草原, 地势自西向东逐渐降低, 平均海拔约为 1 580 m。由于蒙古高原北部受北冰洋水汽影响和东部受太平洋水汽的影响, 其降水量在蒙古国北部萨彦岭、肯特山脉以及内蒙古大兴安岭及其东部平原地区最多, 年总量约为 300~400 mm, 并随着离海洋的距离的增加, 降水量由北向南和由东向西逐渐减小, 在两个洋面水汽很难到达的西南部地区降水量最小, 仅 100 mm 左右。气温的分布基本与降水量一致, 北部和东部湿润地区温度相对低和西南干旱地区温度相对高的特点。受气候影响, 植被覆被由北向南依次跨越森林、森林草原、典型草原、荒漠草原、戈壁荒漠、典型草原, 生态环境多样且较脆弱, 适合于开展气候变化影响机理研究。

2 数据来源及预处理

2.1 遥感数据

本研究采用的遥感数据为 2001~2010 年间的 MODIS NDVI 产品 MOD13A2 和 MODIS 土地覆盖分类产品 MCD12Q1, 从美国宇航局 MODIS 网站 (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) 直接下载。其中, MODIS NDVI 数据是 16 d 最大值合成的图像, 空间分辨率为 $1 \text{ km}^{[18]}$ 。由于蒙古高原大部分地区的植被在冬季几乎停止生长或被积雪覆盖等原因, 在此每年选取第 97~289 d 间的数据, 即 4~10 月份的数据(表 1), 研究春季、夏季和秋季的植被变化及其对气候因子的响应特征。利用 MODIS Reprojec-

tion Tools (MRT) 工具对所下载的 NDVI 数据进行影像拼接、投影和数据格式转换等预处理。

表1 MOD13A2产品儒略日与月份的对应情况

Table 1 The Julian day and corresponding month of MOD13A2 product

月份	对应儒略日	月份	对应儒略日
4	97,113	8	225,241
5	129,145	9	257,273
6	161,177	10	289
7	193,209		

通过分析所下载的 NDVI 数据后发现, 蒙古高原北部部分山区或高纬度地区在 4 和 10 月份积雪还没有完全融化, 仍存在较大面积的由积雪引起的 NDVI 负值区。因此, 采用最大值合成法(Maximum Value Composites, MVC) 获得每个季节的 NDVI 值, 该方法可以进一步消除云、大气、积雪及太阳高度角等的部分干扰^[19]。对每年春夏秋冬 NDVI 进行求平均, 生成近 10 a 逐年年平均 NDVI。

由于戈壁荒漠地区的植被覆盖度稀少, 其 NDVI 值不能正确反映植被实际生长状况, 因此, 本研究将年平均 NDVI 值小于 0.1 的地区认为“无植被区”, 不参与研究^[20]。

MCD12Q1 数据是于 2008 年由 MODIS 陆地研究小组推出的 MODIS 年度土地覆盖分类产品, 空间分辨率为 500 m。首先将 IGBP 土地覆盖分类数据由 MCD12Q1 产品中导出, 经过投影变换, 裁剪、重采样以及类别合并等预处理, 生成空间分辨率与 MODIS NDVI 相匹配的, 包括森林、农田、草地、

灌丛和戈壁荒漠等5种类型的蒙古高原土地覆盖分类数据,用于分析不同植被类型的植被覆盖季节变化特征。

2.2 气象数据

所使用的气象数据为2001~2010年180个气象观测站(其中,蒙古国62个气象站和内蒙古118个气象站)(图1)的月平均气温和月总降水量资料,数据分别来自于蒙古国科学院地理科学研究所和内蒙古自治区气象局。在ARCGIS环境下,根据气象观测站的经纬度信息,采用Kriging方法对气象要素进行插值处理,获取空间分辨率与NDVI数据一致(1 km),投影相同的栅格格式的月气温和降水量图像。各季节气温和降水量数据是通过对各季节对应月份的值进行加权平均来获得(春季:3~5月份;夏季:6~8月份;秋季:9~11月份)。

3 研究方法

首先对每年各季节NDVI、气温和降水量数据在蒙古高原范围内进行空间平均,得到逐年NDVI、气温和降水量,进而分析不同季节NDVI年际变化趋势及其与气温和降水之间的关系。

为研究近10a年平均NDVI和不同季节植被变化的空间分布趋势,对各季节NDVI和逐年年平均NDVI与年份之间分别进行逐像元线性回归分析^[21],得到逐像元的相关系数R值与显著性P值,以表达植被变化的空间分布特征和变化趋势的显著与否。如果R为正值则认为植被覆盖呈上升趋势,R值为负值则认为植被覆盖呈下降趋势。如果R值通过0.05的显著性水平($P < 0.05$),则认为植被覆盖呈显著增加或显著下降。基于此假设,在ENVI环境下,对相关系数R值和显著性P值图像进行决策树分类(图2a),获得基于像元尺度的年平均NDVI和不同季节NDVI的空间分布趋势图。

为研究不同季节植被变化对气温和降水的季节响应特征的空间分布模式,对各季节NDVI与对

应季节气温和降水之间进行线性回归分析^[21],获得逐像元的各季节NDVI与对应气候因子之间的相关系数R值与显著性P值,以表达植被变化与气候因子的空间相关模式及其显著与否。同样,在ENVI环境下,对相关系数R值和显著性P值图像进行决策树分类(图2b),获得基于像元尺度的3个季节NDVI与气候因子的相关关系的空间分布图。

4 结果与分析

4.1 蒙古高原年平均NDVI的空间格局及其变化趋势

受气候因子,尤其受降水的影响,获太平洋水汽最多(约300~400 mm)的内蒙古大兴安岭地区和获北冰洋水汽最多(约300~400 mm)的蒙古国萨彦岭东部山区和肯特山脉及其临近地区的NDVI值最高,其值高于0.6,并由北部向南和由东部向西NDVI值逐渐减小。在中蒙边界,以二连浩特市往西地区,即在两个洋面水汽都很难到达的地区(约100 mm)NDVI值最小,其值一般小于0.2。由各级NDVI值的面积比例看,NDVI值小于0.2的面积最大,占高原总面积的40.76%,说明蒙古高原的大部分地区处于干旱半干旱地段,其生态环境极为脆弱;其次为NDVI值0.3~0.4范围的地区,约为18.4%;NDVI大于0.5的面积为15.2%;而NDVI值介于0.2~0.3和0.4~0.5范围的面积分别占了高原总面积的13.96%和11.66%(图3)。

图4是用年平均NDVI与年份之间的相关系数和置信度水平来表示的近10年蒙古高原植被覆盖度的空间变化趋势。10a来,蒙古高原植被覆盖呈增加趋势和呈减小趋势的面积分别占高原总面积(不包括水域和无植被区)的43.75%和42.22%,其中呈显著增加和呈显著减小趋势的面积相对较小,仅为2.90%和2.99%。由空间分布看,内蒙古植被覆盖呈显著增加的地区主要分布在:①西部:额济纳绿洲、巴丹吉林沙漠东部雅布赖山东麓、腾

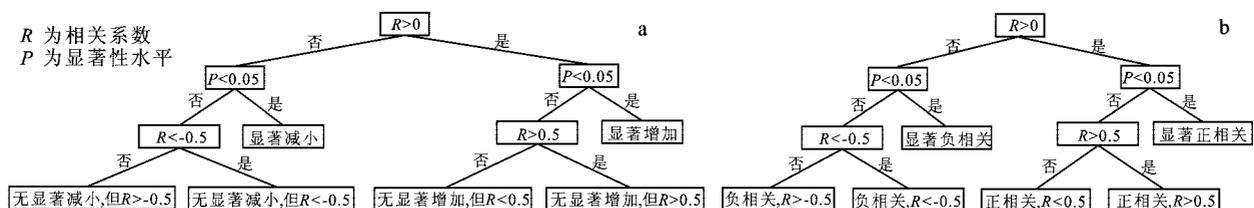


图2 表征植被覆盖变化趋势(a)、各季节NDVI与气候因子相关关系(b)的决策树

Fig.2 The decision tree of change trend of vegetation cover (a), correlativity between seasonal NDVI and climate variables (b)

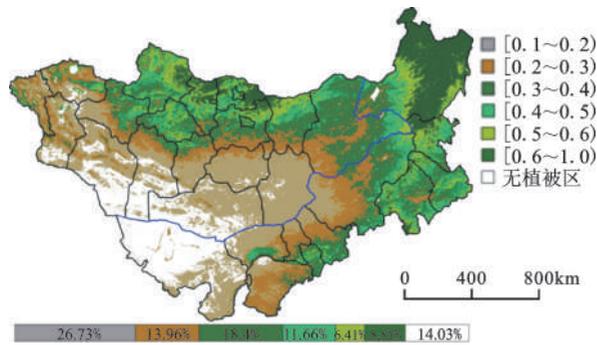


图3 蒙古高原NDVI空间分布特征

Fig.3 Spatial pattern of NDVI in Mongolian plateau

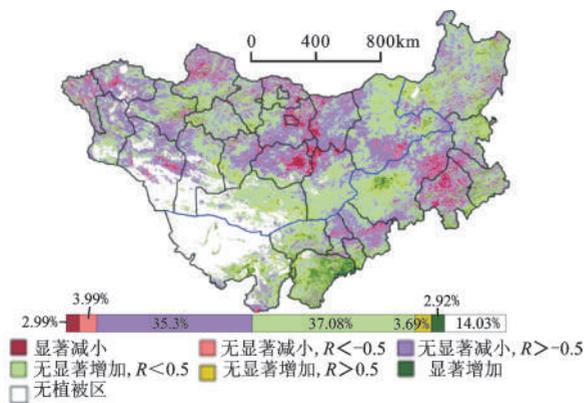


图4 2001~2010年蒙古高原植被覆盖时空变化

Fig.4 Spatial-temporal changes of vegetation cover in Mongolian plateau in 2001-2010

格里沙漠北段、鄂尔多斯高原禁牧及退耕还林还草地区、毛乌素沙地、狼山北麓、土默川平原南部地区；② 中部：锡林郭勒草原西部荒漠草原地区；③ 东部：赤峰市南部燕山北麓山地丘陵地区、西辽河平原中下游地区以及科尔沁沙地南部等区域。虽然大兴安岭北段山地及其东西两侧大部分平原区呈增加趋势，但增加趋势并不显著。植被覆盖显著下降的区域主要集中在：乌兰察布高原、锡林郭勒草原东南部、赤峰市阿鲁科尔沁旗、巴林左旗和巴林右旗的大部分地区。总体上，内蒙古植被覆盖呈显著增加的地区主要集中在南部农牧交错区，其中处于阿拉善左旗的腾格里沙漠、鄂尔多斯高原和科尔沁沙地尤为突出。

在蒙古国境内，植被覆盖呈增加趋势的地区主要由蒙古国北部萨彦岭南段开始、经过杭爱山脉及其邻近丘陵地区，向东南延伸至蒙古国南戈壁省和东戈壁省等荒漠草原地区以及东方省的大部分高平原地区，但只有杭爱山脉以及处于东方

省与内蒙古呼伦贝尔草原交界处的东方蒙古高原地区存在着有少量像元呈显著增加。而呈显著下降趋势的地区主要分布于蒙古国人口最密集的中央省和乌兰巴托市地区。虽然，蒙古阿尔泰山脉、戈壁阿尔泰山脉和杭爱山脉所环抱的大湖盆地地区具有较大面积的植被覆盖下降区域，但都不显著。

4.2 蒙古高原平均NDVI的季节变化特征

近10 a来，蒙古高原植被生长季平均NDVI变化趋势分别表现为春季和夏季下降和秋季上升特征(图5)。这意味着在全球气候变化大背景下，近10 a蒙古高原植被没有明显的春季生长季的提前和夏季生长强度的增加趋势，而有所表现秋季生长季节的延长趋势^[6, 22]。由不同季节的温度变化来看，夏季在18.6~20.5℃之间波动，总体上呈下降的趋势，而春季和秋季在3.27~5.57℃之间，总体上呈上升趋势，其中春季平均温度高于秋季，且上升趋势比秋季更加明显；而近10 a生长季平均降水量约为214.49 mm，没有发生显著的趋势性变化，其波动趋势基本与NDVI的波动一致。通过对NDVI与气候因子之间进行相关分析可发现(表2)，春季和夏季NDVI与降水之间存在着显著正相关(春季： $P=0.02$ ；秋季： $P=0.003$)，秋季NDVI和降水之间虽然不显著，但其显著性水平仍然达到了90%的可信度。而三个季节温度与NDVI之间没有显著的相关关系。这说明在蒙古高原这一干旱半干旱地区，影响植被变化的主要驱动因子是水分条件，不管是年内还是年际变化上，降水量对植被变化的作用都比温度要高，且近10 a蒙古高原植被变化对气候，尤其对温度没有显著的响应趋势。

4.3 蒙古高原平均NDVI季节变化的空间特征

近10 a间，蒙古高原各季节平均NDVI都呈现出不同程度的增加或减小趋势，且存在着较大的空间差异(图6a、7a和8a)。其中，秋季是3个季节中平均NDVI呈上升趋势的面积最大的季节，约占高原总面积的50%；而春季呈下降趋势的面积(占高原总面积的47%)略大于呈上升趋势的面积(占高原总面积的40%)；夏季呈增加趋势和呈减小趋势的面积基本持平，分别为研究区总面积44%和42%。

从区域分布看，春季近10 a的平均NDVI的变化特点可总结为南升北降，即呈增加趋势的地区主要集中在蒙古高原南部的内蒙古及蒙古国南部的南戈壁省和东戈壁省的荒漠草原地带，其中内

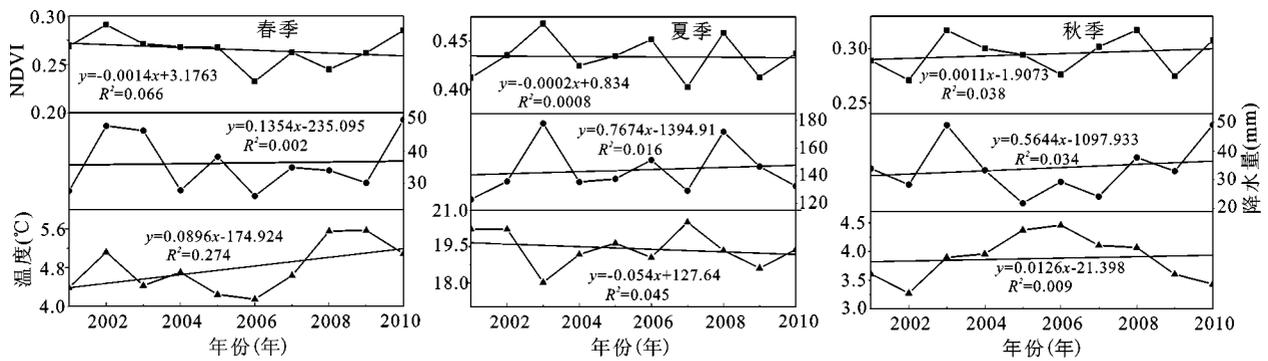


图5 蒙古高原不同季节NDVI、气温和降水量的变化

Fig.5 Changes of seasonal NDVI, temperature and precipitation in Mongolian plateau

表2 各季节NDVI与气候因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between seasonal NDVI and climate variables

	春季		夏季		秋季	
	R	P	R	P	R	P
降水量	0.72	0.02	0.82	0.003	0.56	0.09
温度	0.16	0.66	-0.59	0.07	0.19	0.59

注:表中R为相关系数;P为相关系数的显著性。

蒙古鄂尔多斯高原禁牧及退耕还林还草生态服务区、狼山北麓、土默川平原南部、锡林郭勒草原西部荒漠草原区、西辽河平原中下游等地区都呈显著的增加趋势(图6a)。三个季节中春季NDVI呈显著增加趋势的面积最大,占高原总面积的4.11%。从这些呈显著增加趋势的地区的地理位置来看,显然与21世纪初我国开始实施的退耕还林还草、禁牧休牧轮牧等生态保护和重建工程有关。由春季NDVI与气候因子的相关分析可看出,在内蒙古锡林郭勒草原西部荒漠草原区出现的NDVI呈显著增加趋势地区的另一个主要原因可能是与该地区近10a的春季温度的升高和降水量的增加有关(图6b和c);同样,蒙古国南部荒漠草原区春季降水量的增加是蒙古国南戈壁省和东戈壁省植被显著增加的直接原因(图6c)。而呈减小趋势的地区主要分布于以蒙古国中央省和乌兰巴托市为中心的蒙古国中部和杭爱山脉地区。其中显著减小趋势的地区主要集中在中央省以及蒙古国两大城市乌兰巴托市和达尔罕市及其邻近地区。统计数据表明蒙古国46.95%的人口主要集中在乌兰巴托市、中央省和包含达尔罕市的色楞格省^[23]。

夏季平均NDVI呈增加趋势的面积由春季的40%上升至44%,主要分布于蒙古国杭爱山脉、南戈壁省、东戈壁省、东方省以及内蒙古呼伦贝尔草原、鄂尔多斯高原和阿拉善高原东部地区,但除鄂

尔多斯高原外其它地区的增加趋势都不显著。而呈显著下降趋势的地区分布在蒙古国中戈壁省和内蒙古西辽河平原中下游等地区(图7a)。由夏季平均NDVI与温度和降水量的相关分析看(图7),凡是同时出现夏季温度的升高和夏季降水量的减少或增加趋势不显著的地区基本都呈现出NDVI下降趋势。这主要是因为夏季温度的升高会加快土壤水分的蒸发而导致干旱的加剧,从而限制了植被的生长^[24-27]。

秋季平均NDVI呈增加趋势的面积(50%)明显高于前两个季节,其中呈显著增加趋势的区域主要分布在蒙古国布尔干省和中央省的交界处、内蒙古鄂尔多斯高原和锡林郭勒草原的西部荒漠草原地区(图8a)。NDVI与温度之前的相关分析表明,蒙古国布尔干省和中央省交界处的秋季气温的升高可能延长该区域的植被的生长期,从而导致其NDVI的显著增加。虽然处于蒙古国南戈壁省的NDVI呈不显著的增加趋势,但其不少像元的相关系数都达到0.5以上,同样该地区的温度也呈明显的上升趋势。而秋季NDVI呈显著下降趋势的地区主要集中在蒙古国戈壁苏木布尔省及其临近地区,由与气候因子之间的相关分析看(图8),该地区的秋季降水量有明显的增加,秋季降水量的增多可能导致气温的明显下降和冰冻现象的出现,从而抑制了植被生长。

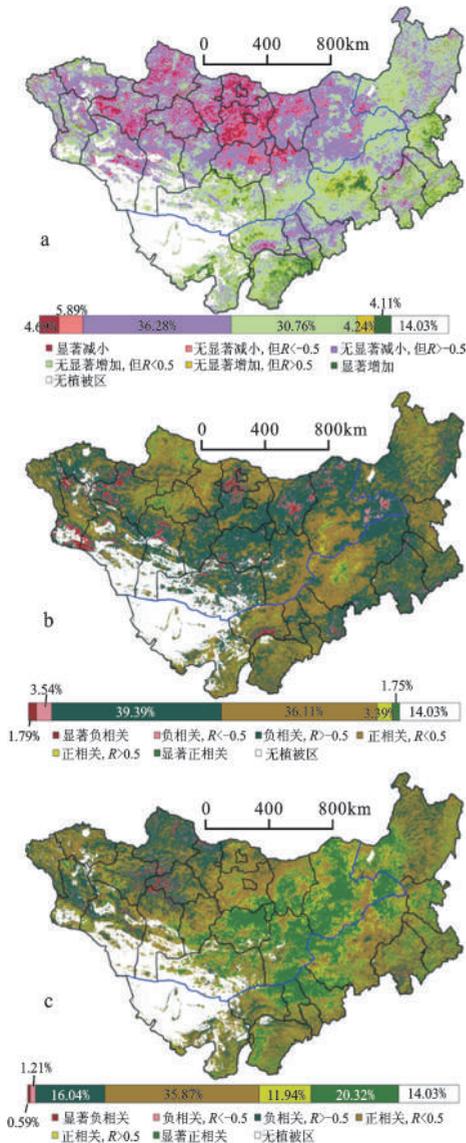


图6 春季NDVI变化趋势(a)及其与温度(b)和降水(c)的相关关系

Fig.6 Change trend of NDVI (a), and the correlativity between NDVI and temperature (b) and precipitation (c) in spring

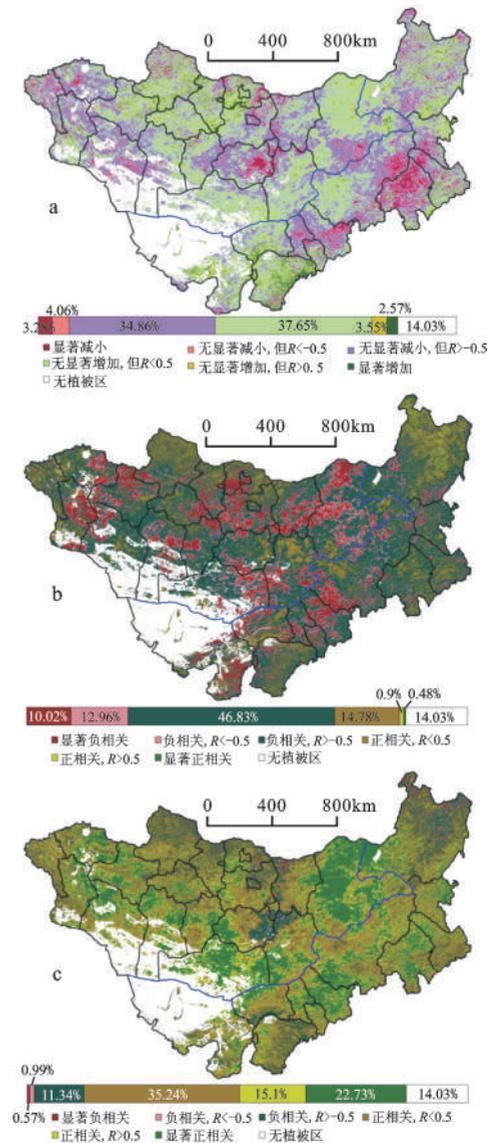


图7 夏季NDVI变化趋势(a)及其与温度(b)和降水(c)的相关关系

Fig.7 Change trend of NDVI (a), and correlativity between NDVI and temperature (b) and precipitation (c) in summer

4.4 蒙古高原平均NDVI的季节变化与气候的相关关系

无论是春季,夏季还是秋季,蒙古高原NDVI与降水之间呈正相关关系的面积都远大于NDVI与温度之间呈正相关关系的面积(表3)。三个季节几乎都没有NDVI与降水之间呈显著负相关的像元。这说明,与温度相比,降水量是蒙古高原植被生长的主导因素,植被的年际变化趋势对降水量的响应比温度更加敏感。

春季NDVI与降水之间呈正相关的面积(68.13%)远大于负相关的面积(17.84%),其中呈

显著正相关和呈显著负相关的面积分别为20.32%和0.59%(表3和图6b,c)。呈显著正相关地区主要分布在内蒙古阴山山脉北部草原、锡林郭勒草原、呼伦贝尔草原以及蒙古国东方省、东戈壁省、中戈壁省和肯特省南部的大面积的草原区。而春季NDVI与温度呈正相关的地区相对明显地集中在蒙古高原的高纬度地区——蒙古国萨彦岭及其杭爱山脉地区和内蒙古大兴安岭北部地区(图6b和c)。说明这些高纬度或高山森林区域,与降水相比,春季温度是影响植被生长的主要因素。

夏季NDVI与降水之间呈正相关的面积由春

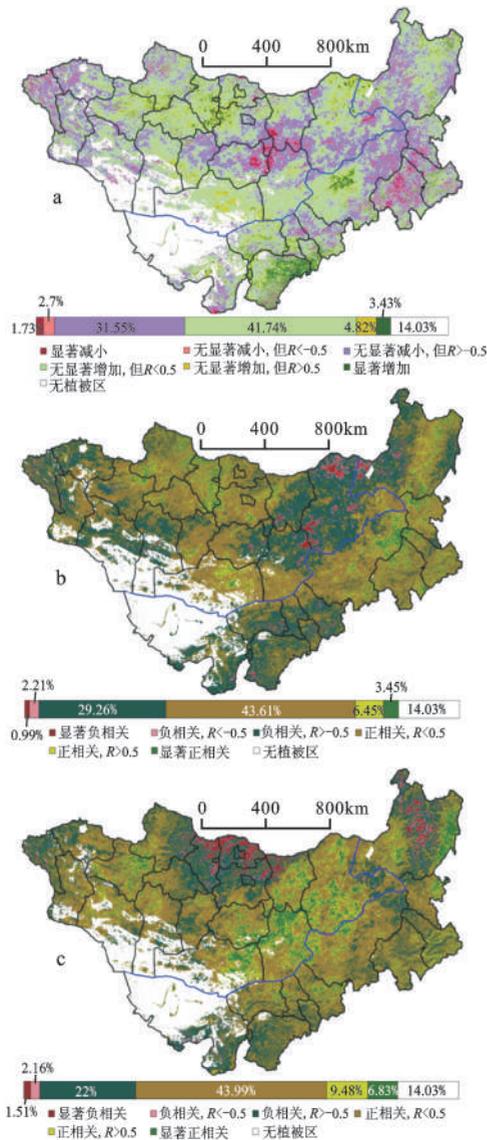


图8 秋季NDVI变化趋势(a)及其与温度(b)和降水(c)的相关关系

Fig.8 Change trend of NDVI (a), and the correlativity between NDVI and temperature (b) and precipitation (c) in autumn

季的68.13%上升至73.07%(表3),其中22.73%的地区达到显著性水平,其分布区域由春季呈显著正相关的地区向西北扩展至蒙古国戈壁阿尔泰山脉,杭爱山脉,蒙古阿尔泰山脉及这些山脉所环

抱的大湖盆地地区(图7b和c)。相反,夏季NDVI与气温之间几乎没有出现显著的正相关像元(仅为0.48%),而出现了大面积的呈负相关关系的像元(69.81%),其中有10.01%的像元为显著的负相关。

虽然秋季NDVI和降水之间呈正相关关系的面积仍较高(60%),但秋季NDVI与气温之间呈正相关关系的面积在3个季节中最大,达到高原总面积的53.51%,远大于春季的41.15%和夏季的16.16%(表3)。这说明,与春季和夏季相比,蒙古高原秋季温度对植被变化影响较大,大部分秋季NDVI呈增加趋势的地区的秋季气温都呈升高趋势。总体上,秋季NDVI与降水的正相关像元主要集中在草原区域,NDVI与气温的正相关像元主要分布在肯特山脉、萨彦岭和杭爱山脉及其所环抱的高平原地区和大兴安岭山区等高纬度和高山地区。

4.5 不同植被类型平均NDVI变化趋势

从不同植被类型的春季、夏季和秋季NDVI变化趋势可看出(图9),在秋季蒙古高原5种主要植被类型均呈增加趋势,其增加趋势以森林>荒漠植被>草原>农田>灌丛的顺序依次降低。这表明5种植被类型近10a来主要表现为秋季生长季延长的特征^[22]。在5种植被类型中,戈壁荒漠植被在3个季节中均呈增加趋势,这显然与戈壁荒漠植被分布区近10a间降水量的增加和温度的减少有关(图6~8),温度的减少会降低土壤水分的蒸发以及降雨量的增加将进一步增加土壤水分,从而促进了该地区植被的生长。森林、草原和灌丛在春季和夏季都呈下降趋势,而农田在春季NDVI呈下降趋势,夏季NDVI呈增加趋势。

5 结论

1) 近10a来,蒙古高原年平均NDVI呈增加趋势和呈下降趋势的面积基本持平,分别占高原总面积的43.75%和42.22%,其中呈显著增加和呈显著下降趋势的面积相对较小,仅为2.90%和

表3 各季节平均NDVI与气候因子的相关关系(面积比例%)

Table 3 Correlativity between seasonal NDVI and climate variables (Area ratio %)

	气温				降水			
	显著正相关	正相关	显著负相关	负相关	显著正相关	正相关	显著负相关	负相关
春季	1.75	39.4	1.79	42.93	20.32	47.81	0.59	17.25
夏季	0.48	15.68	10.02	59.79	22.73	50.34	0.57	12.33
秋季	3.45	50.06	0.99	31.47	6.83	53.47	1.51	24.16

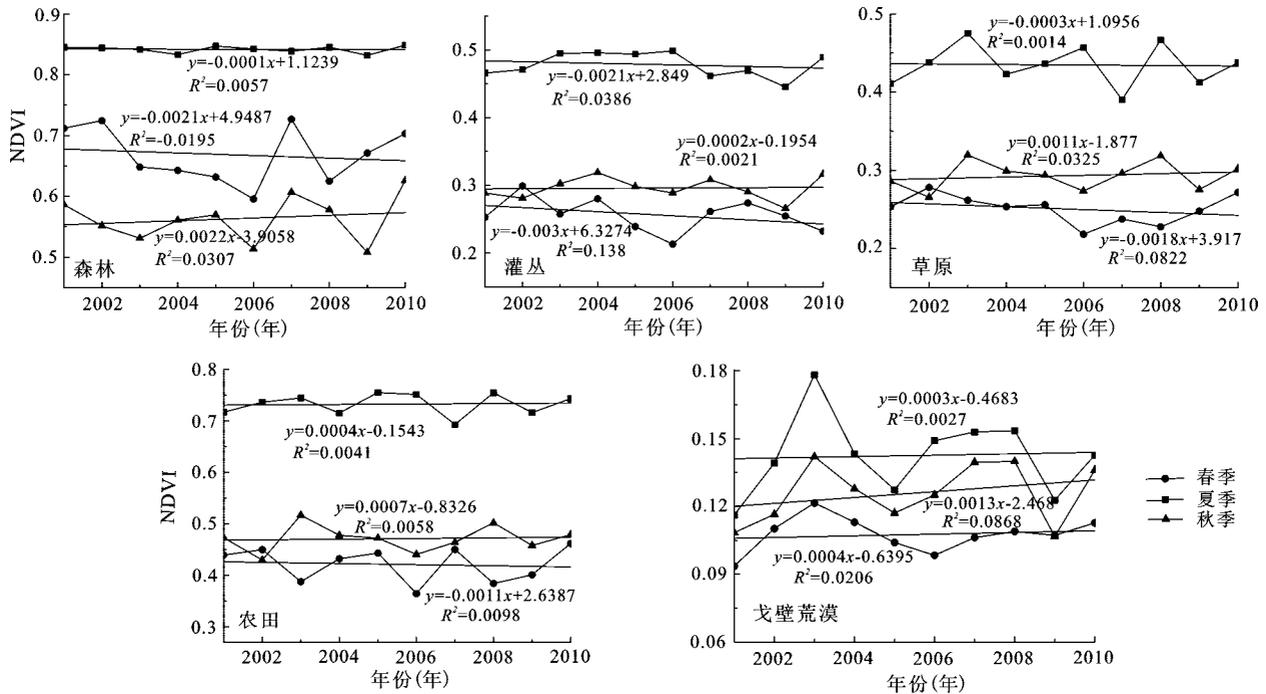


图9 不同植被类型的春季、夏季和秋季平均NDVI变化趋势

Fig.9 Average NDVI changes of different vegetation types in spring, summer and autumn

2.99%。总体上,呈显著增加的地区主要集中在高原南部,即内蒙古农牧交错区,处于阿拉善左旗的腾格里沙漠、鄂尔多斯高原和科尔沁沙地尤为突出。而呈显著下降趋势的地区主要分布于蒙古国中央省和乌兰巴托市地区以及内蒙古乌兰察布高原、锡林郭勒草原东南部、赤峰市部分地区。

2) 各季节NDVI与降水之间的正相关性明显高于NDVI与温度之间的正相关性,表明在蒙古高原影响植被变化的主要驱动因子是水分条件,不管是年内还是年际变化上,降水对植被变化的作用都比温度要高。

3) 秋季是3个季节中NDVI呈上升趋势面积最大的季节;春季呈下降趋势的面积略大于呈上升趋势面积;夏季NDVI呈增加趋势和呈减小趋势的面积基本持平。这意味着在全球气候变化大背景下,近10 a蒙古高原植被没有明显的春季生长季的提前和夏季植被生长强度的增加趋势,而有所表现出秋季植被生长季节的延长趋势。

4) 在秋季蒙古高原5种主要植被类型均呈增加趋势;戈壁荒漠植被在3个季节中均呈增加趋势;森林、草原和灌丛在春季和夏季都呈下降趋势,而农田在春季NDVI呈下降趋势,夏季NDVI呈增加趋势。

参考文献:

- [1] 李洪权,范广洲,周定文,等.青藏高原春季植被变化特征及其对夏季气温的影响[J].地理科学,2008,28(2):259~265.
- [2] Piao S,Fang J,Zhou L,et al. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999[J].Journal of Geophysical Research, 2003,108(D14):4401.
- [3] 崔林丽,史军,杨引明,等.中国东部植被NDVI对气温和降水的旬响应特征[J].地理学报,2009,64(007):850~860.
- [4] 贾文雄.近50年来祁连山及河西走廊极端气温的季节变化特征[J].地理科学,2012,32(10):1377~1390.
- [5] 郭元喜,龚道溢,汪文珊,等.中国东部夏季云量与日气温统计关系[J].地理科学,2013,33(1):104~109.
- [6] Tucker C J,Slayback D A,Pinzon J E,et al.Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999[J].International Journal of Biometeorology, 2001,45(4):184~190.
- [7] Zhou L M,Tucker C J,Kaufmann R K.Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999[J].Journal of Geophysical Research, 2001,106(D17):20069~20083.
- [8] 甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近18年来植被覆盖度变化分析[J].地理科学,2011,31(8):1019~1024.
- [9] 陈辉,刘劲松,王卫.冀北地区植被指数变化特征及影响因素分析[J].地理科学,2008,28(6):793~798.
- [10] 魏云洁,甄霖,Batkishig O,等.蒙古高原生态服务消费空间

- 差异的实证研究[J].资源科学,2009,31(10):1677~1684.
- [11] 甄霖,刘纪远,刘雪林,等.蒙古高原农牧业系统格局变化与影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(1):144~151.
- [12] 方精云,唐艳鸿.碳循环研究:东亚生态系统为什么重要[J].中国科学(生命科学),2010,40(7):561~565.
- [13] 王菱,甄霖,刘雪林,等.蒙古高原中部气候变化及影响因素比较研究[J].地理研究,2008,27(1):171~180.
- [14] 刘纪远,齐永青,师华定,等.蒙古高原塔里亚特-锡林郭勒样带土壤风蚀速率的¹³⁷Cs示踪分析[J].科学通报,2007,52(23):2785~2791.
- [15] 齐永青,刘纪远,师华定,等.蒙古高原北部典型草原区土壤风蚀的¹³⁷Cs示踪法研究[J].科学通报,2008,53(9):1070~1076.
- [16] 乌云娜,张凤杰,冉春秋.近50年蒙古高原东部克鲁伦河流域气候变化分析[J].大连民族学院学报,2009,11(003):193~195.
- [17] 张雪艳,胡云锋,庄大方,等.蒙古高原NDVI的空间格局及空间分异[J].地理研究,2009,28(1):10~18.
- [18] Huete A, Didan K, van Leeuwen W, et al. MODIS vegetation indices[C]//Land Remote Sensing and Global Environmental Change. New York: Springer, 2011: 579-602.
- [19] Holven B N.Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J].International Journal of Remote Sensing,1986,7(11):1417-1434.
- [20] Zhou L,Kaufmann R,Tian Y,et al. Relation between interannual variations in satellite measures of northern forest greenness and climate between 1982 and 1999[J].J Geophys Res,2003,108:4004.
- [21] 朴世龙,方精云.最近18年来中国植被覆盖的动态变化[J].第四纪研究,2001,21(4):294~302.
- [22] 朴世龙,方精云.1982~1999年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J].地理学报,2003,58(1):119~125.
- [23] S Mensaikan,G Gerelt-Od,B Erdenesuren,et al.Mongolian statistical yearbook 2008[M].Ulaanbaatar National statistical office of Mongolia,2009:84-85.
- [24] Ren J,Liu H,Yin Y,et al.Drivers of greening trend across vertically distributed biomes in temperate arid Asia[J].Geophysical research letters,2007,34(7):L07707.
- [25] 毛德华,王宗明,韩信兴,等.1982~2009年中国东北地区植被NPP时空格局及驱动因子分析[J].地理科学,2012,32(9):1511~1519.
- [26] 韩鹏,吴耿,吴勇泉,等.芦苇形态结构对黄河三角洲不同生境的响应[J].湿地科学,2011,9(2):185~190.
- [27] ZHANG Lijuan,LIU Dong,YAN Xiaodong,et al.Analyzing and Forecasting Climate Change in Harbin City, Northeast China [J]. Chinese Geographical Science, 2011,21(1):65-73.

Vegetation Cover Changes in Mongolian Plateau and Its Response to Seasonal Climate Changes in Recent 10 Years

BAO Gang^{1,2}, BAO Yu-hai¹, QIN Zhi-hao², ZHOU Yi², Shiirev-Adiya³

(1.Inner Mongolian Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information System,Inner Mongolia Normal University, Huhhot, Inner Mongolia 010022, China; 2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;3. Institute of Geography, Mongolian Academy of Science, Ulaanbaatar 14192, Mongolia)

Abstract: The change trend of vegetation cover in Mongolian plateau and its response to seasonal temperature and precipitation were analyzed by employing MODIS NDVI in 2001-2010, composed by 16 day maximum value synchronous climate variables and MODIS land cover product MCD12Q1. The result indicated that the area of vegetation cover increased which was similar to that of vegetation cover decreased, reaching 43.75% and 42.22% of the total area of Mongolian plateau, respectively. In recent 10 years, the vegetation cover decreased in spring and summer, while increased in autumn. The correlation analysis between seasonal NDVI and corresponding seasonal climate factors showed that the correlativity between NDVI and precipitation was significant in spring and summer ($P=0.02$ in spring, $P=0.003$ in summer), and the correlation coefficient between NDVI and precipitation in autumn also reached 90% confidence level, indicating that precipitation was a main factor of influencing vegetation cover changes in Mongolian plateau. It was found that five different vegetation types experienced increasing trend in autumn, vegetation changes in Gobi-desert experienced increasing trend in all 3 seasons.NDVI of forest, grassland and shrub decreased in spring and summer, while farmland decreased in spring and increased in summer.

Key words: Mongolian plateau; MODIS NDVI; vegetation changes; response to climate change