

## 北方农牧交错带植被对气象因子变化的响应规律研究\*

苏伟<sup>1,2</sup> 刘晓暄<sup>1,2</sup> 罗倩<sup>1,2</sup> 常书齐<sup>2</sup> 张晓东<sup>2</sup>

(1. 农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 研究了2001—2013年我国北方农牧交错带内表征植被生态特征的归一化差值植被指数(NDVI)、总初级生产力(GPP)时空变化规律,分析了研究区该时间段内的温度、降水量变化特征,利用Pearson相关系数法分析了不同植被类型对气象因子的响应规律。结果显示:研究区内生长季的植被生态状况与温度呈负相关、与降水量呈正相关;非生长季的植被生态状况则相反,其生态状况与温度呈正相关、与降水量呈负相关。这是因为生长季温度高于最适温度会抑制增长,而干旱地带的降水会促进植被生长;而非生长季气温较低,温度的增加会对植被有明显的促进作用,而降水量并不是影响植被生态状况的主要因素,植被对其响应也并不明显。

**关键词:** 中国北方农牧交错带 归一化植被指数 总初级生产力 气象因子 相关系数法

**中图分类号:** S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)11-0352-08

## Responses of Vegetation to Change of Meteorological Factors in Agricultural – Pastoral Area of Northern China

Su Wei<sup>1,2</sup> Liu Xiaoxuan<sup>1,2</sup> Luo Qian<sup>1,2</sup> Chang Shuqi<sup>2</sup> Zhang Xiaodong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Agricultural – pastoral area of Northern China is a ecologically fragile belt. Climate change has increased the risk of ecological vulnerability in this region. Besides, it has made the ecological vulnerability more serious because of the pattern of alternant farming and animal husbandry. Therefore, the aim of this paper was to study the responses of vegetation to the change of meteorological factors in agricultural – pastoral areas of Northern China during 2001—2013, using correlation analysis method. First, temporal and spatial variation rules of vegetation growing were explored based on NDVI (Normalized differential vegetation index) and GPP (Gross primary productivity) data. Then, variation rules of temperature and precipitation were found. Finally, we analyzed the responses of vegetation to the change of meteorological factors of different vegetation types using Pearson correlation coefficient method. The results showed that in the research area, vegetation ecological situation was negatively correlated with temperature and positively correlated with precipitation in growing season, while the correlations were on the contrast in non-growing season. The vegetation ecological situation was positively correlated with temperature and negatively correlated with precipitation. Because the higher temperature will inhibit the vegetation growth than the optimum temperature, while the precipitation in semi-arid area could promote the growth of vegetation. However, temperature was very low in non-growing season, so the increase in temperature promotes vegetation ecological situation obviously and the response of vegetation to precipitation was not obvious because precipitation was not the main factor influencing the vegetation ecological situation in this period.

**Key words:** Agricultural – pastoral area of Northern China Normalized differential vegetation index Gross primary productivity Meteorological factors Correlation coefficient method

收稿日期: 2015-04-30 修回日期: 2015-05-21

\* 国家自然科学基金资助项目(41371327)、“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD20B0103)、北京高等学校青年英才计划资助项目(YETP0316)和地表过程与资源生态国家重点实验室资助项目(2013-KF-11)

作者简介: 苏伟,副教授,博士生导师,主要从事农业遥感应用研究,E-mail: suwei@cau.edu.cn

## 引言

许多学者在对全球气候和环境变化的分析中,发现生态过渡带具有明显的生态梯度和气候梯度,在动力学上是不稳定的。这些生态过渡带的植被对全球气候变化和人类活动的影响非常敏感<sup>[1]</sup>。北方农牧交错带位于我国干旱半干旱地区,属于典型的农牧交错带,是生态环境的一条过渡带和生态安全的重要屏障带<sup>[2]</sup>。IPCC 第 4 次报告指出,21 世纪全球地表温度将持续升高,到世纪末可能升高 1.1 ~ 6.4℃,极端天气出现的频率也会越来越高<sup>[3-4]</sup>。纵观中国北方农牧交错带生态退化的现状、原因、经济社会发展的现状和需求,植被恢复过程亟需回答的问题是:在过去的几十年中我国北方农牧交错带的气候变化如何?这种变化是怎么影响植被的?这种影响对生态来说又有什么副作用?许多专家学者对上述问题进行了一系列的研究和回答:蒋卫国等<sup>[5]</sup>利用能反映生态环境特点的多种空间数据信息,利用数字网格模型,通过采用空间叠加的分析方法,评估北方农牧交错带 1989 年和 1999 年的生态环境背景状况,并对北方农牧交错带生态环境变化及空间格局特征进行了研究;章文波等<sup>[6]</sup>研究了我国北方农牧交错带降水量、侵蚀性降水及暴雨等方面降水极值的时间变化和空间分布;陈海等<sup>[7]</sup>采用定量方法,分析了近 40 年气温、降水与季节的变化特征及趋势;借助 GIS 空间分析技术探讨了研究区气候类型与气候时空分异特征,通过对气温、降水及气候类型的分析,得出研究区气候各因子及气候的空间分布规律。

但是上述对北方农牧交错带的气象因子变化趋势、不同地类植被生态特征所做的研究中,有的学者关注植被生态特征的变化,有的学者则重视气象角度的变化分析,而将二者结合起来分析的文章较少,不能揭示植被变化与气象因子的相关性,也无法了解研究区植被变化对气象因子变化的响应规律。因此,本文以中国北方农牧交错带的植被生态变化作为分析对象,结合同期气象数据、土地覆被数据,分析 2001—2013 年间不同植被类型的归一化差值植被指数 (Normalized differential vegetation index, NDVI) 和总初级生产力 (Gross primary productivity, GPP) 时空变化特征,并阐述气象因子变化对植被生态特征的影响程度以及不同地类之间影响的差异。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究区概况

中国北方农牧交错带是我国北方半湿润农区与干旱、半干旱牧区接壤的过渡交汇地带,也是将我国农业区与草原牧区区分开来的半农半牧、时农时牧交替变化的地域,系农业生产边际地带,也是生态脆弱带。对于我国北方农牧交错带区域的边界划分有很多种方法,各学者也对其边界划分做了一定的研究,但一般都认为其大致沿北方 400 mm 降水等值线的走向,分布于我国东北、华北等地。本文研究区范围是参考苏伟等<sup>[8]</sup>所划分的范围 (100.874°E ~ 124.773°E, 34.72°N ~ 48.455°N),覆盖了黑龙江、内蒙古、吉林、辽宁、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海等在内的 10 个省(市、自治区)的 312 个县,总面积 742 727 km<sup>2</sup>,研究区范围如图 1 所示。

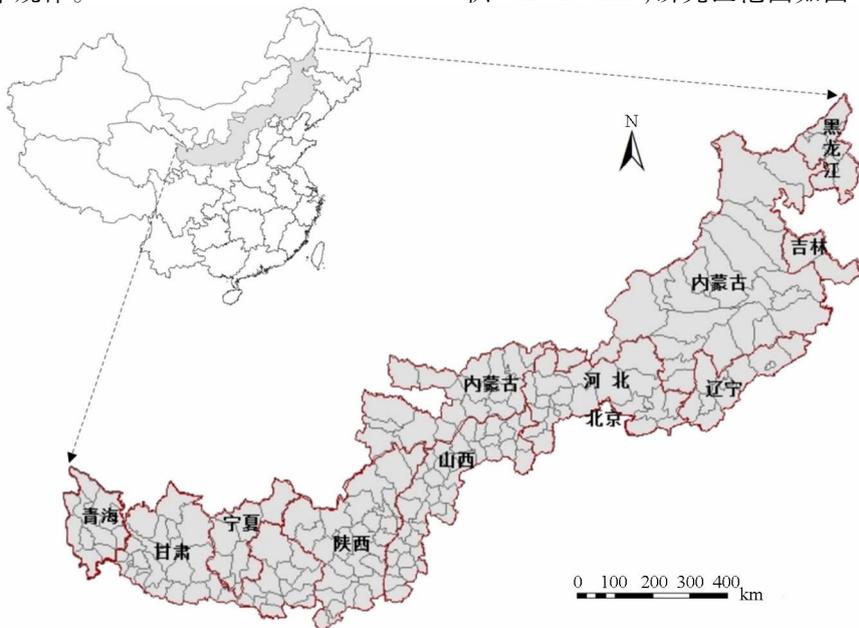


图 1 研究区范围

Fig. 1 Scope of study area

## 1.2 数据来源及处理

### 1.2.1 遥感数据

使用的遥感数据均来源于美国地质调查局(USGS)所提供的 MODIS 产品(<https://lpdaac.usgs.gov/products/>),利用归一化植被指数(NDVI)、总初级生产力(GPP)这2个植被指数分析研究区植被生态特征的变化。其中 NDVI 数据来源于 Terra 卫星 1 km × 1 km 空间分辨率 16 d 合成的 MOD13A2 数据,时间序列为 2001—2013 年;GPP 数据来源于 Terra 卫星 1 km × 1 km 空间分辨率 8 d 合成的 MOD15A2 数据,时间序列为 2001—2013 年(个别缺失数据通过与相邻时间点的 GPP 值进行插补,确保序列的完整性与连续性),其计算公式为

$$p_{GPP} = \varepsilon \gamma_{APAR}$$

$$\gamma_{APAR} = \gamma_{PAR} \gamma_{FPAR}$$

$$\gamma_{PAR} = 0.45 R_{SWRad}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} T_{\min\_scalar} p_{VPD}$$

式中  $p_{GPP}$ ——总初级生产力(GPP)

$\gamma_{APAR}$ ——吸收光合有效辐射(APAR)

$\gamma_{PAR}$ ——光合有效辐射(PAR)

$\gamma_{FPAR}$ ——光合有效辐射吸收分量(FPAR)

$R_{SWRad}$ ——单位时间太阳总辐射,由 NASA 数据同化办公室(Data Assimilation Office, DAO)提供

$p_{VPD}$ ——日均蒸汽压差标量,由 NASA 数据同化办公室提供

$T_{\min\_scalar}$ ——日最低温度标量,由 NASA 数据同化办公室提供

$\varepsilon_{\max}$ ——最大光能利用率,根据 MOD12Q1 产品中获取的 Land Cover 数据的植被类型,对照 NASA 提供的生物属性查找表(Biome Parameter Look-Up Table, BPLUT)确定

$\varepsilon$ ——光能利用率,由各种植被类型最大光能利用率  $\varepsilon_{\max}$  以及环境中的温度  $T_{\min}$  和水气压  $p_{VPD}$  等因子综合确定

其中 0.45 为植被所能利用的太阳有效辐射(波长为 0.14 ~ 0.17  $\mu\text{m}$ )占太阳总辐射的比例<sup>[9]</sup>。

土地覆被数据来源于 Combined 卫星 1 km × 1 km 空间分辨率、以年为时间分辨率的 MCD12Q1 数据,时间序列为 2001—2012 年,为本文分植被类型分析提供依据。

### 1.2.2 气象数据

依据国家气象信息中心气象资料室(中国气象科学数据共享服务网 <http://cdc.nmic.cn/>)提供的数据库,使用的气象数据为 2001—2013 年中国地

面气温月值 0.5° × 0.5° 格点数据集(V2.0)和中国地面降水月值 0.5° × 0.5° 格点数据集(V2.0)。

## 1.3 数据处理方法

### 1.3.1 样带分析法

样带法是与样线法相似的植被(群落)调查方法,其方法是贯穿于某个或几个群落引出标准线,再沿着此线设一定的带状调查区进行调查。它对海岸沙丘或水边植被的带状结构、从林缘至林内的群落结构的变化、群落内结构变异的分析,或对群落边界的确定等都是有效的方法。

考虑到农牧交错带时农时牧、半农半牧的错杂分布,本文结合 MODIS 土地覆被数据,选取一条位于农牧交错带内生态较敏感区域的典型样带,此样带尽可能覆盖了所有的土地覆被类型,并着重体现了农用地、草地的空间分布,而且空间分布基本上与农业和牧业分布的空间边界一致,能体现研究区内的纬度差异和经度差异。样带范围如图 2 所示。



图 2 样带选取示意图

Fig. 2 Sketch map of belt transect

### 1.3.2 时空变化分析方法

通过观察 13 a 时间序列上 NDVI、GPP 的空间分布差异,对长时间序列上的植被生态特征空间分布规律进行分析,对比两植被指数 13 a 间的生态特征变化规律。

采用最小二乘法拟合 NDVI 和 GPP 随时间的变化速率和变化趋势,确保 NDVI 和 GPP 真值与拟合值之间离差平方和达到最小值,最终采用一次线性方程表示最小二乘法拟合 NDVI 和 GPP 的变化趋势结果。

此外,用定量的 K 线图分析气候因子在时间序列上的变化趋势,以直观表示时间序列上的变化规律。以去年均值作为开盘价,本年最大最小值作为盘高盘低,本年年均值作为收盘价,绘制 K 线图,较好地展现了气象因子的年际间趋势性,也很好地体现出年内变化波动的特点。

### 1.3.3 Pearson 相关系数

相关分析是研究现象之间是否存在某种依存关系,并对此依存关系探讨其相关方向以及相关程度,是研究随机变量之间相关关系的一种统计方法。Pearson 线性相关分析,主要用来研究 2 个变量间线性关系的程度,用相关系数  $r$  表征植被 NDVI 和 GPP 与气候因子之间的相关程度。

当  $r > 0$  时,为正相关;当  $r < 0$  时,为负相关。一般认为,可通过  $|r|$  的取值范围判断变量的相关强度,如表 1 所示。

表 1 Pearson 相关性强度

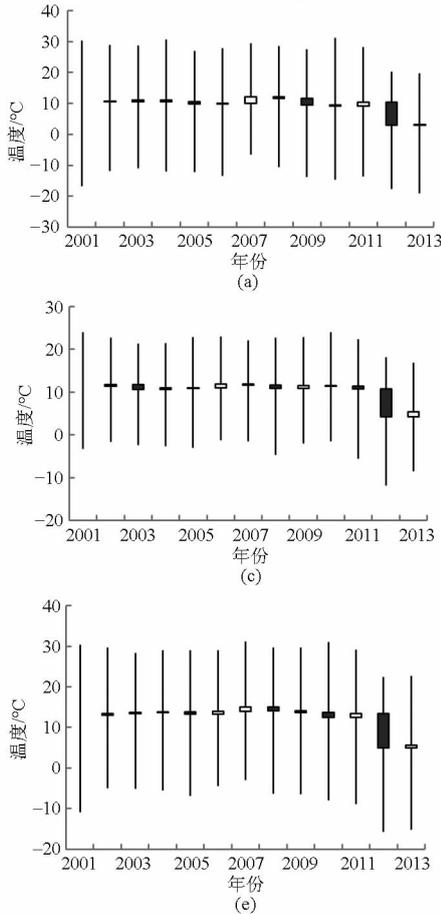
Tab.1 Intensity of Pearson correlation

$ r $	相关程度
0.8 ~ 1.0	极强相关
0.6 ~ 0.8	强相关
0.4 ~ 0.6	中等程度相关
0.2 ~ 0.4	弱相关
0 ~ 0.2	极弱相关或无相关

## 2 结果分析

### 2.1 气象因子变化特征分析

利用 K 线图分析气候因子的变化趋势。使用



温度、降水量月平均栅格数据,在 ArcGIS 软件中利用样带法提取南北部草地、农用地样带点的相关属性值,再运用 Excel 计算得到年平均值、最大值、最小值,绘制相应的 K 线图,得到 2001—2013 年的温度、降水的变化趋势,如图 3 所示。

从图 3a、3c、3e 中可以看出,2001—2011 年,农用地、南部草地和北部草地内的温度呈现总体稳定、略微波动、缓慢增加的趋势;降水量的变化则呈现出总体平衡、略微减少的趋势(图 3b、3d、3f),研究区内气候呈现出整体暖干的变化趋势,这与杜华明等<sup>[10]</sup>、陈海等<sup>[7]</sup>关于北方农牧交错带气候的研究结论一致。但是 2012—2013 年,K 线图中农用地、南部草地和北部草地的温度变化均在 2012 年表现为一条明显的大阴线,呈现出反常的减少趋势;降水量变化 K 线图则在 2012 年显现为一条大阳线,呈现出明显的增加趋势。原因可能是 2012—2013 年北方农牧交错带地区出现过历史罕见的强降雨<sup>[11-12]</sup>,导致这 2 年间年均降水量增加,温度也随降水量的增加而呈现出下降的趋势。

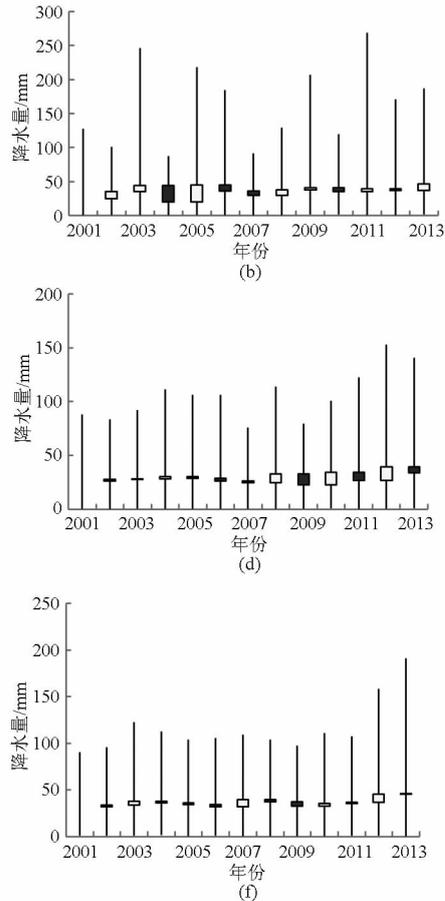


图 3 北方农牧交错带温度和降水变化

Fig. 3 Change of temperature and precipitation in agricultural-pastoral areas of Northern China

(a) 农用地气温 (b) 农用地降水 (c) 南部草地气温 (d) 南部草地降水 (e) 北部草地气温 (f) 北部草地降水

## 2.2 植被时空变化特征分析

由遥感数据提供的红光波段和红外波段生成的 NDVI 数据可以准确地反映植被的覆盖信息,为利用遥感监测植被物候期提供了条件<sup>[13]</sup>;而 GPP 是植物将光能转化为生物量的总转化能量,其不仅可以反映植被生长状况,也可以反映陆地生态系统与

大气之间的碳交换过程,是全球变化以及碳循环研究的重要过程<sup>[14]</sup>。使用 NDVI 的 16 d 数据和 GPP 的 8 d 数据合成年平均数据来表示植被的变化信息,用样带法提取草地、农用地不同地类样带点的植被数据,得到 2001—2013 年不同地类植被生态特征在时间序列上变化图,如图 4 所示。

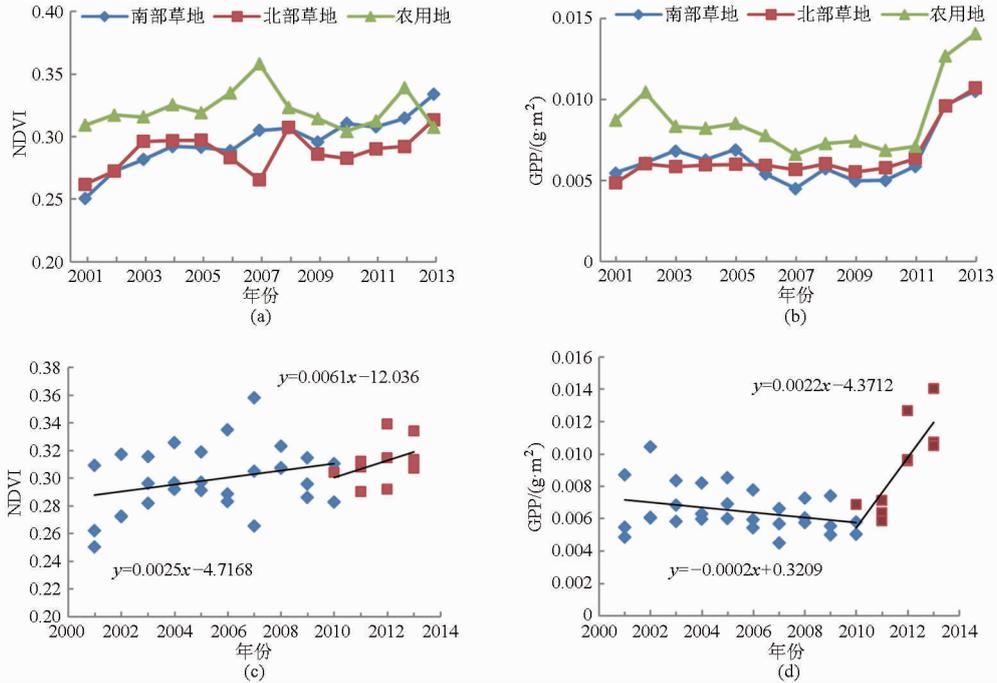


图 4 不同植被类型生态特征年际变化及变化趋势

Fig. 4 Annual change and variation trend of NDVI and GPP in different vegetation types

(a) 植被 NDVI 年际变化 (b) 植被 GPP 年际变化 (c) 植被 NDVI 变化趋势 (d) 植被 GPP 变化趋势

2001—2013 年,植被 NDVI 和 GPP 总体呈现增加的趋势,且 2 个指数的变化总体一致,如图 4a、4b 所示。然而,根据植被 NDVI 和 GPP 的年际变化趋势情况,划分为 2001—2010 年和 2011—2013 年 2 个时间段内的南部草地、北部草地、农用地 NDVI 和 GPP 的增长率变化差异十分明显,如图 4c、4d,具体分析如下:

从草地来看,2001—2010 年南部草地和北部草地的 NDVI 和 GPP 呈现出总体稳定的趋势。而 2011—2013 年,南部草地和北部草地的 NDVI 呈现出上升的趋势,即 2011 年后迅速增加的降水对草地生长状态产生积极影响。

从农用地来看,2001—2010 年农作物的 NDVI 和 GPP 则呈现下降趋势,即农作物对气候变化的响应相对草地更加敏感,且气候的暖干趋势对农作物生长产生消极影响。而 2011—2013 年,农作物则受到人为因素影响,对强降水量的变化响应非常微弱,究其原因可知,由于灌溉,致使降水并不能成为限制农作物生长的主要因素。

对比图 4a 和图 4b 中草地与农作物的 NDVI 和

GPP 值的相对大小,可知农作物生长状态明显好于草地,这与人类活动干预农作物生长、追求高产出的现状一致。另外,对比图 4c 和图 4d,2011—2013 年 GPP 的增长率明显大于 NDVI 的增长率,从侧面说明在植被的覆盖度达到一定的程度时,GPP 能更好地反映植被生态特征的变化信息。

为综合分析植被生态特征的时空变化规律,使用 16 d NDVI 合成数据和 8 d GPP 合成数据,分析 2001—2013 年间两种植被生态因子在空间上的变化规律,主要时间点的空间变化如图 5 所示。

2001—2013 年植被生态特征的空间分布变化明显,且总体上都是逐渐向覆盖率高的方向发展。考虑到研究区经纬度跨度大,下述分析按研究区在经度的跨度大致将其分为西、中、东 3 部分来阐述其空间的变化规律。

NDVI 在西段大体呈现出由南向北递减的趋势,而在中、东段则均保持较高的 NDVI 值,并没有明显变化趋势,只在北部小范围内有下降趋势。对比图 5a 和图 5b 的时间跨度变化,可知研究区 NDVI 的时空变化规律:2001—2013 年,研究区在空间大

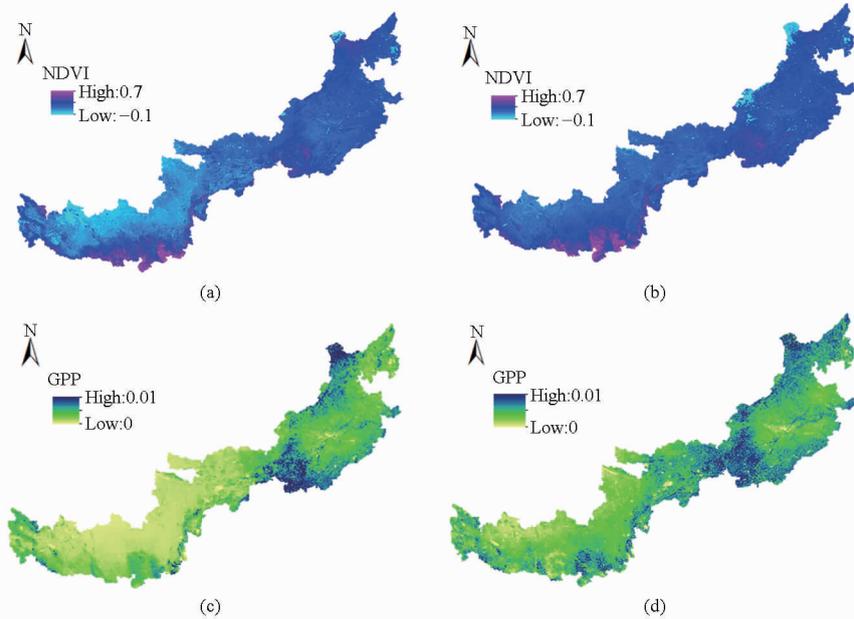


图 5 研究区 NDVI 和 GPP 多年空间变化图

Fig. 5 Spatial variation for years of NDVI and GPP in research area

(a) 2001 年 7 月 NDVI (b) 2013 年 7 月 NDVI (c) 2001 年 7 月 GPP (d) 2013 年 7 月 GPP

部区域呈现增长趋势,尤其是西段的北部增长趋势更为明显;而以中段北部为主的少部区域则呈现下降趋势。

GPP 在西、中段也大体呈现出由南向北递减的趋势,与 NDVI 的变化规律相似。而在东段则呈现由北向南递减趋势,与 NDVI 的变化规律不一致。对比图 5c 和图 5d 的时间跨度变化,可知研究区 GPP 的时空变化规律:与 NDVI 变化规律相同,2001—2013 年,研究区在空间大部区域呈现明显的增长趋势,仍是西段的北部增长趋势更为明显;而只有极少数零星地区呈现下降趋势。

总的来看,2001—2013 年研究区 NDVI 与 GPP 的下降幅度和范围远小于其升高的幅度和范围,这可能是得益于中国退耕还林还草等政策的出台<sup>[13]</sup>,其生态环境保护得到政府的重视,近些年植被恢复很快,致使植被覆盖度变高。但也不排除仍有个别区域在经历 2001 年、2004 年、2009 年的干旱后至 2013 年仍没有完全恢复。

### 2.3 相关性分析

通过 Pearson 相关系数法分析植被生态特征与气候因子之间的相关程度,可得出研究区内植被对气象因子的响应规律。在 Pearson 相关性分析中,植被生态特征使用 NDVI 的 16 d 数据和 GPP 的 8 d 数据合成月平均数据,气象数据为下载的月平均温度和月平均降水量数据,在 ArcGIS 软件中用样带法提取样带点的相关数据,分为 12 个月对植被指数和气候因子数据进行相关性分析,如表 2 和表 3 所示。

总体来看,在植被的生长季中,研究区 NDVI、GPP 与月平均温度大致呈负相关,且在 7 月份呈现出较强相关性 ( $|r| > 0.8$ ),此结果与刘军会等<sup>[15]</sup>研究一致;NDVI、GPP 与月平均降水量却大致呈正相关,也在 7 月份呈现出较强相关性。而在植被的非生长季,NDVI、GPP 与月平均温度呈正相关,有些月份甚至表现为强正相关 ( $|r| > 0.6$ );NDVI、GPP 与月平均降水量则呈极弱的相关性或者负相关。有相关研究表明,中国寒旱区大部分区域植被变化与温

表 2 2001—2013 年不同地类 NDVI 与气候因子之间每月的 Pearson 相关系数

Tab. 2 Monthly pearson correlation coefficient between NDVI and climate factors in different land covering types during 2001—2013

地类	气候因子	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
农用地	温度	0.321 759	0.540 083	0.711 749	-0.170 240	-0.039 310	-0.095 740	-0.531 910	-0.413 720	-0.611 350	0.323 726	0.698 582	0.698 582
	降水量	-0.154 940	-0.504 410	-0.030 640	0.143 482	0.224 131	0.067 926	0.040 687	0.300 123	0.749 161	-0.572 510	-0.726 850	-0.726 850
南部草地	温度	0.000 933	0.389 662	-0.207 850	0.107 829	-0.245 130	-0.398 720	-0.569 210	-0.407 790	-0.310 810	-0.381 060	0.168 247	0.168 247
	降水量	-0.563 760	0.065 184	-0.611 530	-0.286 550	0.500 563	0.621 584	0.663 782	0.406 101	0.443 687	0.324 589	-0.296 520	-0.296 520
北部草地	温度	0.596 464	-0.060 970	-0.348 590	0.303 467	-0.047 700	-0.440 740	-0.572 850	-0.473 210	-0.783 020	0.195 993	0.254 022	0.254 022
	降水量	-0.680 820	-0.465 090	-0.516 310	-0.030 160	0.242 938	0.429 370	0.590 916	0.564 485	0.476 577	0.088 262	-0.667 190	-0.667 190

表3 2001—2013年不同地类GPP与气候因子之间每月的Pearson相关系数  
Tab.3 Monthly Pearson correlation coefficient between GPP and climate factors in different land cover types during 2001—2013

地类	气候因子	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
农用地	温度		0.467 712	0.824 097	-0.069 950	-0.445 930	-0.257 890	-0.832 830	-0.793 060	-0.921 760	-0.002 610	0.488 080	
	降水量		0.027 571	0.028 023	-0.479 560	-0.421 140	-0.160 580	0.030 678	-0.063 120	0.399 596	0.195 771	-0.726 850	-0.640 610
南部草地	温度	0.335 896	0.275 198	-0.339 430	-0.403 670	-0.808 160	-0.775 980	-0.857 940	-0.653 160	-0.850 010	-0.467 480	-0.066 720	-0.138 290
	降水量	-0.283 210	-0.052 130	-0.177 680	-0.456 470	0.700 324	0.615 750	0.868 925	-0.042 440	0.272 606	-0.237 760	-0.237 190	-0.555 470
北部草地	温度		0.512 127	0.538 315	-0.020 440	-0.702 010	-0.823 270	-0.922 640	-0.840 770	-0.936 190	-0.153 890	0.478 732	0.527 754
	降水量		-0.184 960	-0.074 460	-0.330 990	-0.270 830	0.491 590	0.799 138	-0.094 920	0.437 845	-0.368 300	-0.667 190	-0.850 400

度呈正相关关系<sup>[16]</sup>,结合当地气候类型和研究区内主要植被类型可知,植被处在非生长季时,受制于低温的植被会随温度升高而长势趋好,因而NDVI和GPP增加,而此时降水量并不是影响植被长势的主要因素,故植被对温度变化的响应要高于对降水量的响应。

从农作物来看,NDVI、GPP在生长季与温度呈较强的负相关性,而与降水量则呈弱相关甚至无相关,即当夏季温度高于农作物生长的适宜温度时,温度的升高对其植被生长有抑制作用<sup>[17]</sup>;而降水量则对其影响甚小,实际上可以通过灌溉、人工干预等弥补降水不足的现状,故农作物长势对降水量的响应并不明显。相反,在非生长季,温度升高将有助于使气温接近最适温度,故大部分非生长季月份NDVI、GPP与温度之间呈现正相关,在早春时节甚至呈现较强相关性;而农田中因为有灌溉等人为干预的存在,降水量并不是其主要控制因素,故在非生长季,NDVI、GPP会有与降水量呈现负相关的情况。

从草地来看,研究区南部草地、北部草地NDVI、GPP在生长季与温度呈较强的负相关性,而与降水量则呈正相关性,这也印证了草地生长的最适温度为15.4℃<sup>[17]</sup>,当夏季温度高于此温度时,温度的升高对其植被长势有负影响;而降水则对生长季的草地生长有很明显的促进作用,故呈现正相关性。相反,在非生长季,与农用地类似,NDVI、GPP均与温度、降水量呈较弱的相关性,或者与生长季呈相反的相关性。

### 3 结论

以中国北方农牧交错带为研究区,基于MODIS

NDVI和MODIS GPP遥感数据体现植被生态特征的变化,利用温度和降水量2个气候因素的变化表征气候,结合MODIS土地覆被数据,分地类分析植被生态特征的逐月变化对气象因子变化的响应,得出结论如下:

(1) 2001—2011年除特殊年份外,平均温度总体呈升高趋势,而平均降水量则呈下降趋势,故研究区总体呈暖干的趋势。而在强降水的影响之下,研究区2012—2013年降水量突然增加,温度也受到影晌,呈下降趋势。

(2) 2001—2011年,研究区内植被NDVI、GPP呈下降的趋势,而2011—2013年,植被生态特征出现趋向明显的增加趋势。

(3) 中国北方农牧交错带NDVI、GPP与月均温度在植被的生长季中,整体上呈负相关,且均在7月份时相关性最显著;而在植被的非生长季,NDVI、GPP和月平均温度的关系表现为正相关性,有些月份甚至表现为强正相关。相反地,NDVI、GPP与月平均降水量在植被的生长季中整体上呈正相关,也在7月份呈相对较强的相关性,而在植被的非生长季,则呈极弱的相关性或者负相关。

(4) 农用地的NDVI与GPP在生长季呈现出与温度较强的负相关性,与降水量则呈弱相关甚至无相关;非生长季NDVI、GPP与温度之间呈正相关,与降水量呈负相关。而草地的NDVI与GPP在生长季呈现出与温度较强的负相关性,而与降水量则呈正相关性;非生长季,NDVI、GPP均与温度、降水量呈较弱的相关性,或相反的相关性。

### 参 考 文 献

- 董满宇,江源,任斐鹏,等.近50a来北方农牧交错带气温变化趋势及突变分析[J].中国沙漠,2010,30(4):926-932. Dong Manyu, Jiang Yuan, Ren Feipeng, et al. Variation trend and catastrophe change of air temperature in the farming-pastoral ecotone of northern China during recent 50 years[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(4):926-932. (in Chinese)
- 李秋月,潘学标.气候变化对我国北方农牧交错带空间位移的影响[J].干旱区资源与环境,2012,26(10):1-6. Li Qiuyue, Pan Xuebiao. The impact of climate change on boundary shift of farming pasture ecotone in northern China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(10):1-6. (in Chinese)
- 闫冠华,李巧萍,吕冬红.中国北方农牧交错带气候变化特征及未来趋势[J].大气科学学报,2008,31(5):671-678.

- Yan Guanhua, Li Qiaoping, Lü Donghong. Climate change and future trends of the farming-grazing zone in northern China [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(5): 671–678. (in Chinese)
- 4 王志伟, 王平, 王迅, 等. 中国农牧交错带生态评价研究 [J]. *草业科学*, 2009, 26(4): 64–73.  
Wang Zhiwei, Wang Ping, Wang Xun, et al. Study on the ecological safety assessment of farming-grazing transition zone in China [J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(4): 64–73. (in Chinese)
- 5 蒋卫国, 陈云浩, 李京, 等. 中国北方农牧交错带生态环境的空间格局演变 [J]. *自然资源学报*, 2005, 20(6): 871–878.  
Jiang Weiguo, Chen Yunhao, Li Jing, et al. Change and spatial pattern of eco-environment in the farming-pastoral ecotone of northern China [J]. *Journal of Natural Science*, 2005, 20(6): 871–878. (in Chinese)
- 6 章文波, 刘宝元. 北方农牧交错带降水极值变化空间特征 [J]. *自然资源学报*, 2003, 18(3): 274–280.  
Zhang Wenbo, Liu Baoyuan. Spatial distribution of precipitation extremum in the ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China [J]. *Journal of Natural Science*, 2003, 18(3): 274–280. (in Chinese)
- 7 陈海, 梁小英, 李立新. 近 40 年中国北方农牧交错带气候时空分异特征 [J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2007, 37(4): 653–656. (in Chinese)  
Chen Hai, Liang Xiaoying, Li Lixin. Analysis on the spatial differentiation pattern of climate of the farming-pastoral zone in North China in the recent 40 years [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2007, 37(4): 653–656. (in Chinese)
- 8 苏伟, 陈云浩, 武永峰, 等. 生态安全条件下的土地利用格局优化模拟研究——以中国北方农牧交错带为例 [J]. *自然科学进展*, 2006, 16(2): 207–214.
- 9 李海臣. 基于 MODIS 数据和地形因子的大兴安岭呼中林区净初级生产力变化分析 [J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(32): 11578–11579.  
Li Haichen. Effects of topographic factors on forest net primary productivity in Huzhong forest region of Great Xing'an Mountains [J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2014, 42(32): 11578–11579. (in Chinese)
- 10 杜华明, 延军平, 王鹏涛. 北方农牧交错带干旱灾害及其对暖干气候的响应 [J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(1): 124–128.  
Du Huaming, Yan Junping, Wang Pengtao. The drought disaster and its response to the warming-drying climate in the farming-pastoral ecotones in northern China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(1): 124–128. (in Chinese)
- 11 周玉淑, 刘璐, 朱科锋, 等. 北京“7·21”特大暴雨过程中尺度系统的模拟及演变特征分析 [J]. *大气科学*, 2014, 38(5): 885–896. (in Chinese)  
Zhou Yushu, Liu Lu, Zhu Kefeng, et al. Simulation and evolution characteristics of mesoscale systems occurring in Beijing on 21 July 2012 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2014, 38(5): 885–896. (in Chinese)
- 12 李敏敏, 延军平. “蒸发悖论”在北方农牧交错带的探讨 [J]. *资源科学*, 2013, 35(11): 58–60. (in Chinese)  
Li Minmin, Yan Junping. The evaporation paradox in the farming-pastoral ecotone of northern China [J]. *Resources Science*, 2013, 35(11): 58–60. (in Chinese)
- 13 侯学会, 牛铮, 高帅, 等. 基于 SPOT-VGT NDVI 时间序列的农牧交错带植被物候监测 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(1): 142–150.  
Hou Xuehui, Niu Zheng, Gao Shuai, et al. Monitoring vegetation phenology in farming-pastoral zone using SPOT-VGT NDVI data [J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(1): 142–150. (in Chinese)
- 14 何勇, 董文杰, 严晓瑜. 基于 MODIS 的我国北方农牧交错带植被生长特征 [J]. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 716–721.  
He Yong, Dong Wenjie, Yan Xiaoyu. Characteristics of vegetation growth in the farming-pastoral zone over the north parts of China based on MODIS data [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2008, 19(6): 716–721. (in Chinese)
- 15 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对中国北方农牧交错带植被覆盖变化的影响 [J]. *应用生态学报*, 2008, 9(9): 2016–2022.  
Liu Junhui, Gao Jixi. Effects of climate and land use change on the changes of vegetation coverage in farming-pastoral ecotone of Northern China [J]. *Academy of Environmental Sciences*, 2008, 9(9): 2016–2022. (in Chinese)
- 16 宋怡, 马明国. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系 [J]. *遥感学报*, 2008, 12(3): 499–505.  
Song Yi, Ma Mingguo. Variation of AVHRR NDVI and its relationship with climate in Chinese arid and cold regions [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(3): 499–505. (in Chinese)
- 17 刘正佳, 刘纪远, 邵全琴. 不同土地覆盖类型上植被生长的最适温度 [J]. *地球信息科学学报*, 2014, 16(1): 1–7.  
Liu Zhengjia, Liu Jiuyan, Shao Quanqin. Optimum temperature of vegetation growth for various land cover types in China [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014, 16(1): 1–7. (in Chinese)
- 18 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对北方农牧交错带植被 NPP 变化的影响 [J]. *资源科学*, 2009, 31(3): 493–500.  
Liu Junhui, Gao Jixi. Effects of climate and land use change on the changes of NPP in the farming-pastoral ecotone of northern China [J]. *Resources Science*, 2009, 31(3): 493–500. (in Chinese)
- 19 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.  
Zhang Geli, Xu Xingliang, Zhou Caiping, et al. Responses of vegetation changes to climatic variations in Hulun Buir grassland in past 30 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 47–58. (in Chinese)
- 20 Liu C, Dong X, Liu Y. Changes of NPP and their relationship to climate factors based on the transformation of different scales in Gansu, China [J]. *Catena*, 2015, 125: 190–199.
- 21 Zhang Y, Gao J, Liu L, et al. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: a case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas [J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 108(3): 139–148.