

基于SPOT-VGT的承德地区NDVI变化 及其气候因子分析

吴杨洁,李楠,袁金国

(河北师范大学资源与环境科学学院,河北省环境演变与生态建设省级重点实验室,石家庄 050016)

摘要:为了快速准确地提取出地表植被的状况,分析植被的变化,以保护研究区的植被,为人类的生存提供有利的环境。笔者利用1998—2007年SPOT卫星的旬月时间序列的数据和同期的气象数据,利用相关性分析和多元线性回归方法分析河北省的承德地区近10年的植被覆盖变化以及NDVI及其驱动性因子气温降水和地表温度之间的相关关系。结果表明:在1998—2007年间,植被状况最好的月份出现在每年的7、8月份。NDVI的最低值出现在2000年,最高值出现在2005年。承德地区植被与气温、降水和地表温度从整体上来看都成弱的正相关,从年内的变化来看整体也都有着显著的线性关系。研究区的年平均NDVI与年平均气温间的相关系数(0.24)明显大于降水(0.07)和地表温度(0.02)。2005年NDVI显著变化的区域主要分布在承德地区北部坝上一带,即丰宁县和围场县。气温在20~24℃研究区的植被长势较好;地表温度在20~30℃时,植被长势比较好。降水在10~40 mm之间植被长势较好。在空间上,研究区的植被受气温的影响明显大于降水和地表温度。

关键词:NDVI;植被覆盖;遥感;气候因子;相关分析

中图分类号:TP753

文献标志码:A

论文编号:2010-3463

NDVI Changes and Their Relation with Climate Factors in Chengde Based on SPOT-VGT

Wu Yangjie, Li Nan, Yuan Jinguo

(Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction,

College of Resource and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016)

Abstract: In order to quickly and accurately extract vegetation situation, analyze vegetation change, protect vegetation and provide favorable environment for survival of mankind, this research used 10-day SPOT VEGATION NDVI time-series data and meteorological data from 1998 to 2007 in Chengde district of Hebei Province, using correlation analysis and multiple linear regression methods, to analyze vegetation change and correlations between NDVI and driving factors including air temperature, precipitation and land surface temperature of chengde district during these 10 years. The results showed that vegetation grew best in July and August every year. The lowest value of NDVI appeared in 2000, the highest value of NDVI appeared in 2005. Correlation between vegetation and temperature, precipitation and surface temperature were weak positive, and also were significant linear relationship. The correlation between annual average NDVI and annual average temperature was higher (0.24) than that of precipitation (0.07) and surface temperature (0.02). Significant NDVI change in 2005 was mainly distributed in the north of Chengde district, that is to say, Bashang area in

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB714406);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-313);河北师范大学博士基金(L2008B15);河北师范大学重点基金(L2009Z08);欧盟项目CEOP-AEGIS(FP7-ENV-2007-1 Grant nr.212921);河北省社科基金(HB10DLJ009)。

第一作者简介:吴杨洁,女,1986年出生,云南曲靖人,硕士,研究方向:遥感。通信地址:050016 河北省石家庄市裕华东路113号 河北师范大学资源与环境科学学院, E-mail: wuyangjie6132@163.com。

通讯作者:袁金国,女,1972年出生,河北故城人,副教授,博士,研究方向:遥感应用。通信地址:050016 河北省石家庄市裕华东路113号 河北师范大学资源与环境科学学院, Tel: 0311-86057079, E-mail: yuanjinguo8@163.com。

收稿日期:2010-11-30, **修回日期:**2011-04-15。

Fengning and Weichang Counties. Vegetation grew better in area of temperature 20–24°C, surface temperature 20–30°C and 10–40 mm precipitation. In space, vegetation in the study area was affected by air temperature more significantly than precipitation and surface temperature.

Key words: *NDVI*; vegetation cover; remote sensing; climate factors; correlation analysis

0 引言

植被是联结土壤、大气和水分等要素的自然纽带^[1],它对地表的年际覆盖变化有很强的指示作用^[2],气候变化、人类活动,以及大气中 CO₂的施肥效应都会对植被覆盖变化产生影响^[3-4],其中以气温和降水对植被生长的影响最为直接和重要^[5-6]。在植被覆盖变化研究中,归一化植被指数(NDVI)能很好地反映植被覆盖、生物量及生态系统参数的变化^[7]。近几年,河北省承德地区的植被状况日益恶化,对植被状况与气候因子的相关关系进行分析,为该地区的生态保护和发

展能够提供科学的依据。国外学者研究认为,地区最小 NDVI 是由该地土壤水分等资源条件决定,而最大 NDVI 是由当地气象条件决定^[8-9]。国内学者在分析植被 NDVI 变化影响因子时,对气候因子与植被 NDVI 的关系考虑也比较多。李本纲等^[10]对 AVHRR/NDVI 与气候因子作了相关分析,认为中国大部分地区植物生长情况与降水和气温显著相关。气候因子气温、降水与植被 NDVI 关系较密切,并表现出滞后效应和显著的空间差异性^[11-13]。许多学者在全球和区域尺度研究了植被 NDVI 对气温

和降水的响应特征^[14-16]。

国内外的研究主要是对气温、降水、地形等自然因子来分析,对地表温度的相关分析较少,这也是直接影响植被动态需要考虑的一方面。本研究在引入了地表温度因子的前提下,并考虑了植被变化与地表温度的相关关系,能够更深刻地说明地表温度间接地影响着植被的变化。本研究首先利用 SPOT-VGT NDVI 数据,提取出承德地区 NDVI 的实际值,然后分析承德地区植被的分布及时空动态变化,根据计算出的年平均 NDVI 值来反映植被的变化,最后分析气候因子对植被的影响。

1 研究区概况

承德是河北省省辖市,位于河北省东北部,东经 115°54' —119°15', 北纬 40°11' —42°40', 处于华北和东北 2 个地区的连接过渡地带,地近京津,背靠蒙辽,省内与秦皇岛、唐山 2 个沿海城市以及张家口市相邻。属温带大陆性季风型山地气候,四季分明。冬天虽然寒冷,但由于四周环山,阻滞了来自蒙古高原寒流的袭击,故温度要高于同纬度其他地区;夏季凉爽,雨量集中,基本上无炎热期。研究区位置见图 1,全市有

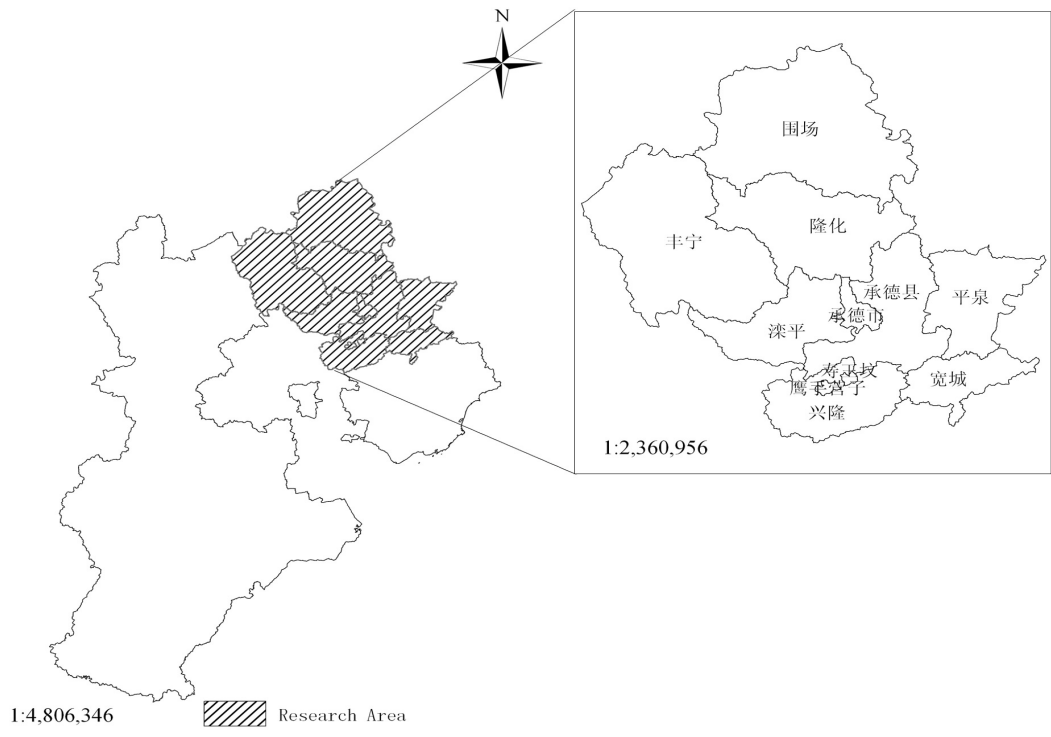


图1 研究区位置

围场满族蒙古族自治县、丰宁满族自治县、隆化县、滦平县、平泉县、承德县、宽城满族自治县、兴隆县和鹰手营子矿区。

2 数据与研究方法

2.1 数据预处理

本研究利用 1998—2007 年 SPOT-VEGETATION NDVI 数据来分析承德地区植被覆盖变化, 以期为河北省承德生态环境的保护与恢复提供科学依据。数据由国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”网站下载, 其空间分辨率为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$, 时间分辨率为逐旬, 时间序列为 1998 年 4 月—2007 年 9 月。数据处理采用 SPASS 统计软件, 遥感图像处理软件 ERDAS8.7、ENVI4.2、ARCGIS 软件。对数据进行几何校正, 使其校正到 UTM 投影系统下。首先, 根据中国的边界得到中国区域的原始 NDVI 值, 根据公式 $0.004 \times \text{NDVI} - 0.1$ 计算出中国的 NDVI 实际值, 然后裁切出承德地区, 计算出承德地区的 NDVI 实际值, 再统计提取出承德地区 NDVI 的旬最大值最小值和平均值, 以及年最大值、最小值和平均值。

植被指数是由多光谱数据经线性和非线性组合构成的、对植被有一定指示意义的各种数值, 广泛应用于植被覆盖的时空动态监测以及一些生物参数的估算。遥感估算植被覆盖研究中最常用的植被指数为 NDVI, 它是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子, 与植物分布密度呈线性相关, 又可称之为生物量指标。

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{red}}} \quad (1)$$

式中: ρ_{NIR} 为近红外波段的地表反射率; ρ_{red} 为可见光红波段的地表反射率。

气象数据采用河北省气象局资料室提供的研究区 9 个气象站 1998—2007 逐月的平均气温降水和地表温度资料。一些气象数据还来源于中国统计年鉴 1998—2007 的数据。

2.2 研究方法

NDVI 与相应气温、降水和地表温度等气候因子之间的关系采用相关分析法进行分析。利用 ENVI 软件提取出年均和月均 NDVI 值, 利用气象数据统计出年均和月均的气温降水和地表温度值, 用 SPSS 软件计算出 NDVI 与气温、降水和地表温度之间的相关系数, 并把该相关系数绘成 NDVI 与气温、NDVI 与降水、NDVI 与地表温度的相关性分布图。通过 1998—2007 年 4—9 月之间每旬的 NDVI 均值和气温降水地表温度的相关系数进行二项式线性拟合, 可以分析出旬平均

NDVI 与气温降水地表温度的关系。

3 NDVI 变化分析

3.1 NDVI 时空变化趋势

承德地区 1998—2007 年 NDVI 整体上呈上升趋势 (见图 2), 在这 10 年间的增速为 0.61%, 植被的覆盖程度增长比较缓慢。承德地区 1998—2007 年 NDVI 平均值为 0.54, 最高值出现在 2005 年, 最低值出现在 2000 年, 1999—2002 年的 NDVI 值都比 1998 年有所下降, 主要由于 1999 年降水减少, 地表温度增加, 植被受到降水和地表温度的影响导致了 NDVI 值有所下降。在其后的几年, 降水与地表温度同样影响着 NDVI, 直至 2003 年 NDVI 值才有所上升, 主要原因为 2003 年温度上升, 降水较多, 地表温度下降, 因此植被长势比较好, 直到 2005 年 NDVI 出现了峰值, 主要原因是温度增加同时降水量增多和地表温度的降低。2007 年 NDVI 值有所降低, 可能是由于干旱或者植被退化的原因。NDVI 在 1998 年表现为波峰, 2000 年为波谷, 振幅比较明显, 说明这 10 年间该地区的植被出现了很大程度的波动。

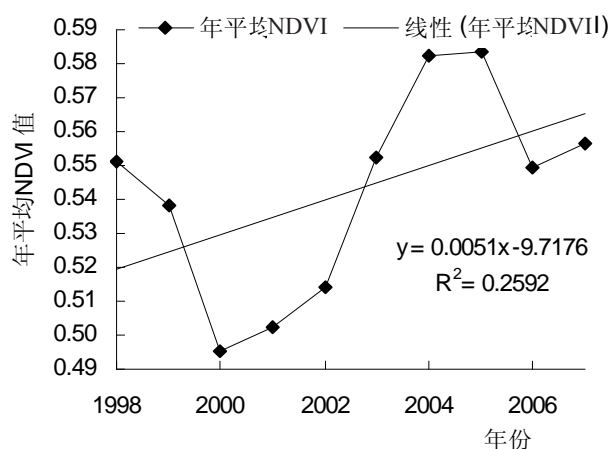


图 2 1998—2007 年年平均 NDVI 变化图

研究区 1998—2007 年 4—9 月份之间的月平均 NDVI 值的变化趋势如图 3, 可以看出: NDVI 年内季节变化也是比较明显, 月平均 NDVI 值从 4 月—8 月份都呈上升趋势, 而 5 月份上升的速度都比较快, 幅度比较大, 每年的最高值基本都出现在 7 月或 8 月份, 而在此期间的 NDVI 峰值 (0.74) 出现在 2005 年的 7 月, 但是到 9 月份就迅速下降了, 变化程度逐渐缓慢直至第 2 年 4 月份达到最低值。

因为 2005 年植被长势比较好, 利用 ENVI4.2 遥感图像处理软件对 2005 年的 NDVI 进行分级处理, 图 4 为 2005 年 NDVI 分布图。由图 4 可知, 植被的长势是随着

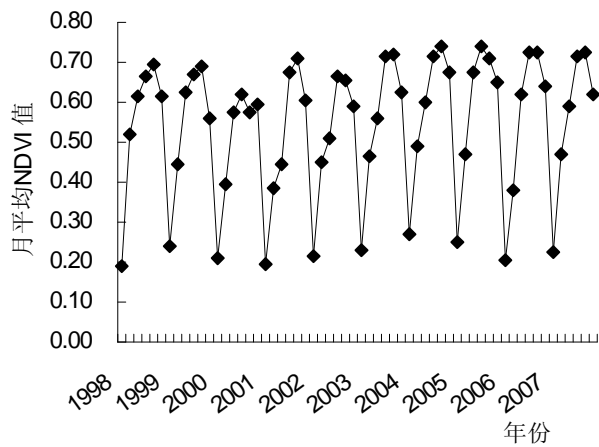


图3 1998—2007年间4—9月月平均NDVI值变化趋势

季节的变化而变化。承德地区地处于河北省东北部，大部分属于坝上地区，植被返青比较晚，由于坝上地区种植小麦水稻等农作物较少，因此4月份NDVI值比较低。而到了5月，承德地区除了丰宁和围场地区的一部分外，其他地区都开始返青，因为丰宁县的北部和围场县的北部位于内蒙古高原南沿，南部属于燕山山脉山区，被当地俗称为“坝上”，南北气候相差很大，北部年平均气温只有0.8℃，南部平均气温达6.1℃，所以丰宁县得北部和围场县的北部的植被比较少。到了6月份，丰宁县的北部和围场县的北部随着气温和降水还有地表温度的影响开始返青，但一部分的NDVI值还是在0.26~0.43。7月和8月植被长势都比较好，7月份承

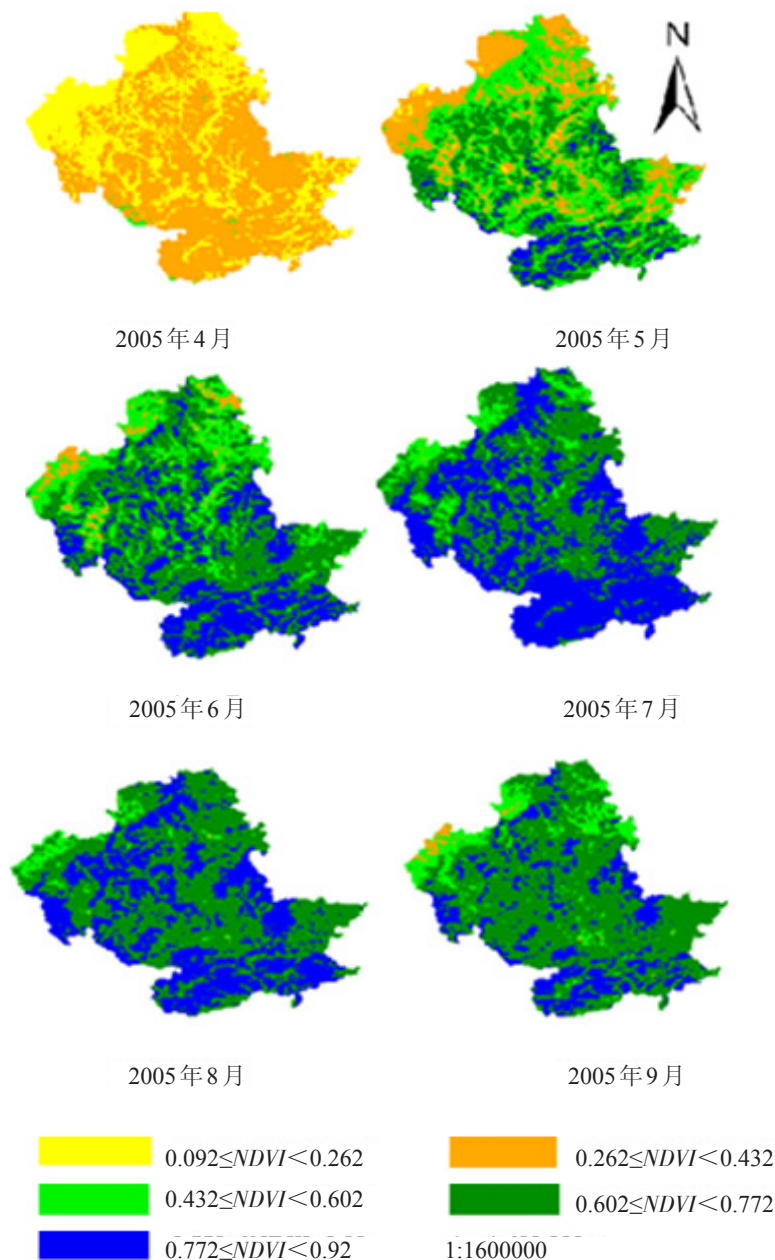


图4 2005年NDVI分布图

德地区南部兴隆县和宽城县的植被长势比较明显,到了8月植被长势稍微减弱。到了9月份,坝上地区的草原植被长势开始下降,NDVI值降低,承德地区中部以及南部都有明显的减弱趋势。NDVI值的变化与当地的农作物、气温、降水及地表温度等因子有关。

3.2 NDVI与气候因子的关系分析

采用相关分析法分析出NDVI与同期的气温、降水和地表温度等驱动性因子之间的相关关系。运用SPASS软件分析出相关系数,并用该相关系数来分析哪个驱动性因子影响NDVI的程度比较大,哪个因子的显著性较高。

3.2.1 NDVI与气温的关系 研究区1998—2007年平均气温的变化如图5所示,在该研究区内近10个气象站点1998—2007年平均气温和年均NDVI之间的相关系数达到0.24($P<0.05$),说明1998—2007年承德地区的年平均温度呈下降趋势。经相关分析得到,研究区10

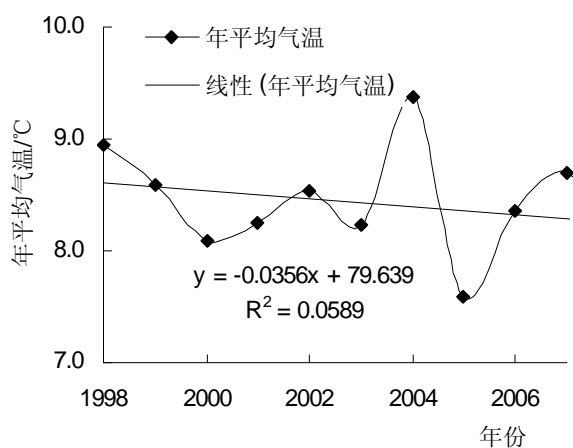


图5 1998—2007年平均气温变化趋势

个站点年平均NDVI值与年平均气温的相关系数为0.558($P<0.05$),表明在1998—2007年间年平均NDVI值与年平均温度之间存在较高的正相关。

图6为1998—2007年旬平均NDVI与旬平均气温的相关关系,相关系数为0.78。随着平均温度的增加,NDVI值也增加,则植被覆盖度逐渐的变好。当温度在20~24℃植被长势比较好,从4月份开始是植物返青的季节,随着植被逐渐变绿,NDVI也在增加,而植被长到一定程度时,变化就不会太明显,因此NDVI的变化就不大。

图7是2005年NDVI与气温相关关系的分布图,NDVI与年平均气温相关系数小于-0.3为极显著负相关,介于-0.3~0之间为显著负相关,介于0~0.4之间的为显著正相关,0.4~0.9之间的是极显著正相关,等于1则完全正相关。由图7可看出,4月份滦平县,承德地区中部和南部承德县和兴隆县NDVI与气温呈极显著

正相关,该地区北部丰宁以及围场县呈显著正相关,5月份除了该地区北部呈显著正相关,其他地区大部分成极显著正相关,原因可能是该时期正是植被的返青期,NDVI值显著增加。6月份该地区中南部呈显著正相关性,显著程度逐渐减弱。7月份该地区北部也就是坝上一带呈显著负相关,到了8月和9月该地区的中部和南部的一些地方如滦平和承德市还有隆化都成显著负相关。2005年,由图5和图6可知,从4月开始温度就一直上升直到7月,而8、9月气温下降,说明随着温度的升高植被长势覆盖度比较好。尤其是该地区中部比较明显比如隆平县,滦平县,承德县以及平泉县,可能是因为当地的一些农作物的影响。

3.2.2 NDVI与降水的关系 1998—2007年之间平均降水变化如图8所示,经相关分析,研究区内近10个气象

站1998—2007年平均降水和年平均NDVI之间的相关系数达到0.07($P<0.05$),表明在1998—2007年间年平均NDVI值与年平均降水之间存在正相关性。1998—2007年承德地区的年平均降水呈下降趋势。

图9为1998—2007年旬平均降水与旬平均NDVI相关关系图,说明随着平均降水的增加,NDVI值也增加,则植被覆盖度逐渐变好。当降水量在10~40 mm之间植被长势比较好。

图10是2005年NDVI与降水相关关系的分布图,NDVI与年平均降水相关系数小于-0.3为极显著负相关,介于-0.3~0之间为显著负相关,介于0~0.4之间的为显著正相关,0.4~0.9之间的是极显著正相关,等于1则完全正相关。由图10可看出,4月份兴隆县的小部分地区出现了极显著负相关,滦平县,承德地区中部和

站1998—2007年平均降水和年平均NDVI之间的相关系数达到0.07($P<0.05$),表明在1998—2007年间年平均NDVI值与年平均降水之间存在正相关性。1998—2007年承德地区的年平均降水呈下降趋势。

图9为1998—2007年旬平均降水与旬平均NDVI相关关系图,说明随着平均降水的增加,NDVI值也增加,则植被覆盖度逐渐变好。当降水量在10~40 mm之间植被长势比较好。

图10是2005年NDVI与降水相关关系的分布图,NDVI与年平均降水相关系数小于-0.3为极显著负相关,介于-0.3~0之间为显著负相关,介于0~0.4之间的为显著正相关,0.4~0.9之间的是极显著正相关,等于1则完全正相关。由图10可看出,4月份兴隆县的小部分地区出现了极显著负相关,滦平县,承德地区中部和

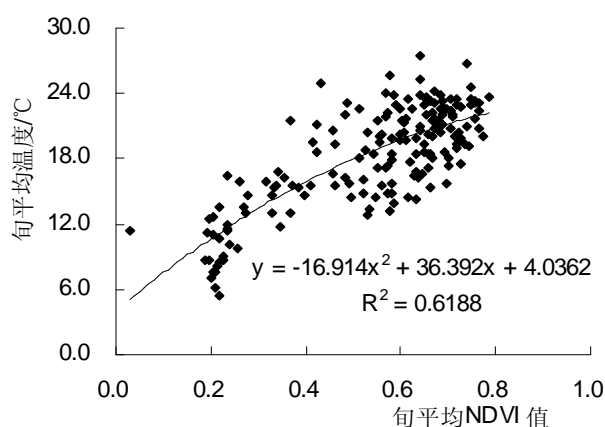


图6 1998—2007年旬平均NDVI与旬平均气温的相关关系

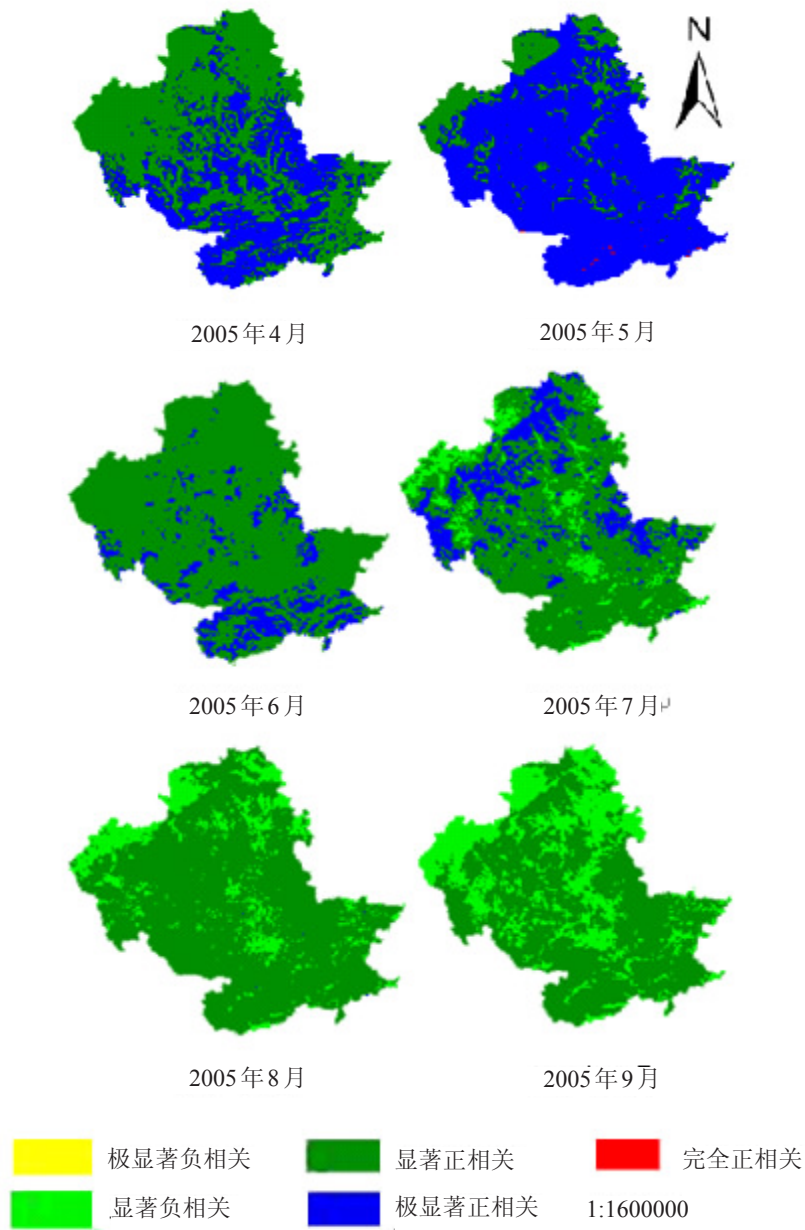
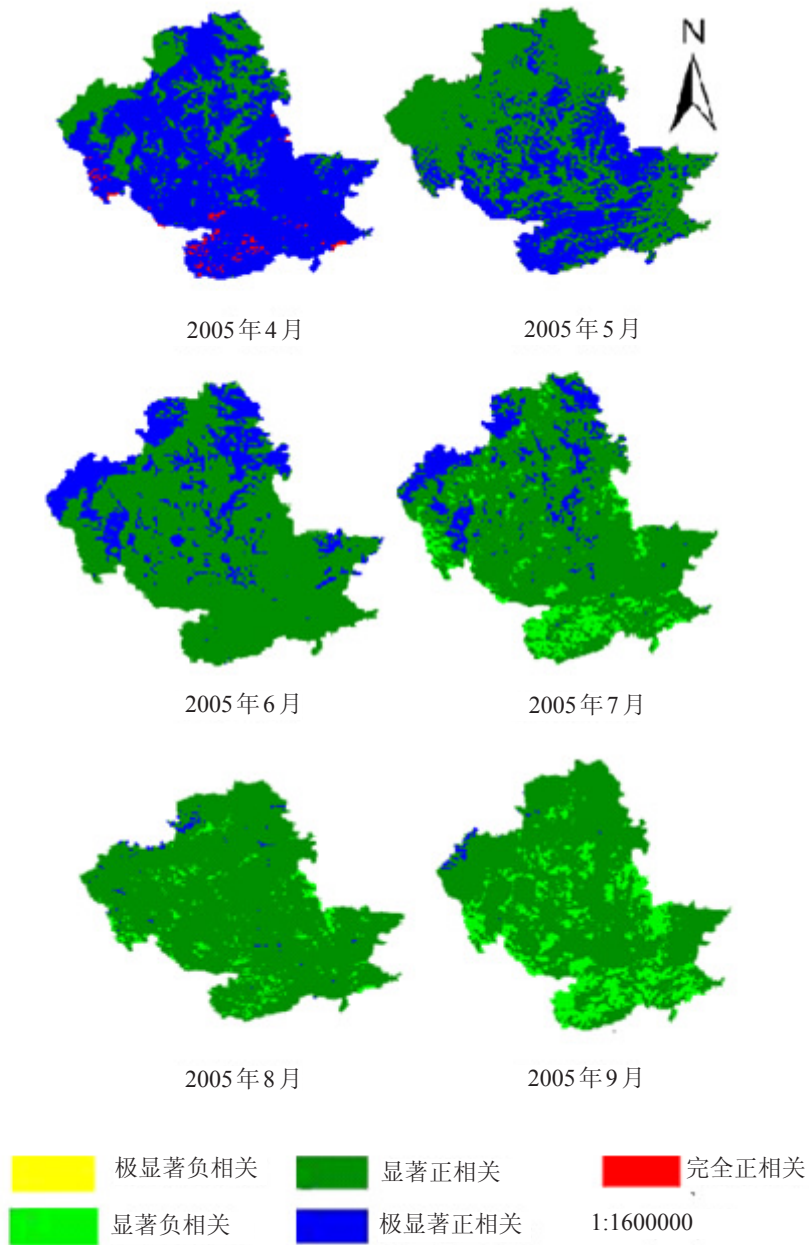
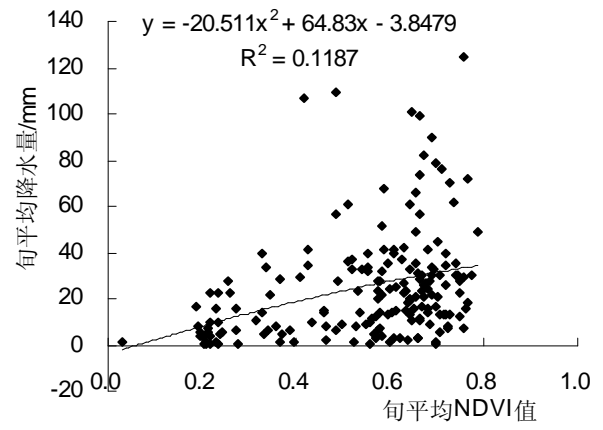
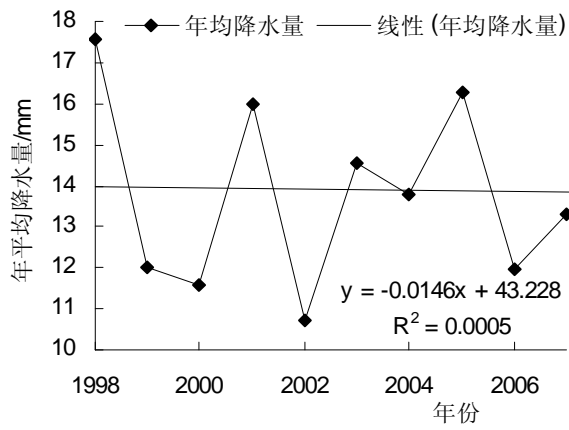


图7 2005年NDVI值与气温相关关系分布图

南部承德县和兴隆县NDVI与气温呈极显著正相关,该地区北部丰宁以及围场呈显著正相关,5月份除了该地区北部是呈显著正相关,其他地区南部以及一部分中部成极显著正相关性。6月份该地区中南部呈显著正相关性,显著程度明显逐渐减弱。7月份该地区北部也就是坝上一带小部分地区呈显著负相关,而到了8月和9月,该地区的中部和南部的一些地方如滦平县、承德市和隆化县都成显著负相关,说明2005年从4月开始降水就一直上升直到6月,到了8月降水明显下降,说明随着降水的增多植被长势覆盖度比较好。尤

其是该地区中部比较明显比如隆平县、滦平县、承德县以及平泉县,可能是因为当地的一些农作物的收割和草原的退化,还有植被的退化以及其他一些人为因素的影响。

3.2.3 NDVI与地表温度的关系 1998—2007年之间平均地表温度变化如图11所示。在该研究区内近10个气象站点1998—2007年平均地表温度和年平均NDVI之间的相关系数达到0.03 ($P < 0.05$),表明在1998—2007年间年平均NDVI值与年平均地表温度之间存在正相关性。由图11可知,1998—2007年承德地区的年



平均地表温度呈下降趋势。

图 12 为 1998—2007 年旬平均地表温度变化趋势图,说明随着平均地表温度的增加,NDVI 值也增加,则植被覆盖度逐渐变好。当地表温度在 20~30℃ 植被长势比较好。

图 13 是 2005 年 NDVI 与地表温度相关关系图,NDVI 与年平均地表温度相关系数小于 -0.3 为极显著

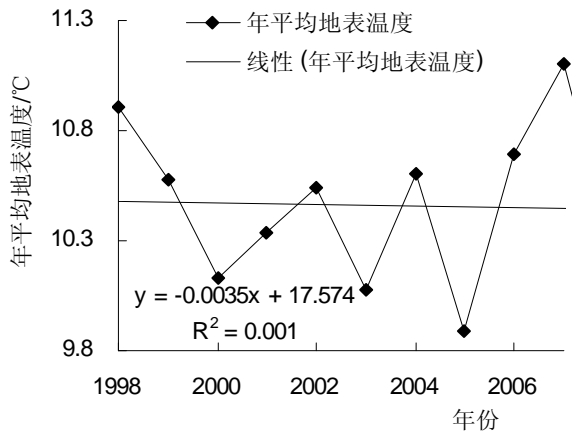


图 11 1998—2007 年地表温度变化趋势图

县的少部分呈完全正相关性。6 月份该地区中南部呈显著正相关性,但是显著程度逐渐减弱了。7 月份该地区北部也就是坝上一带呈显著负相关,而到了 8 月和 9 月,该地区的中部和南部的一些地方如滦平和承德市还有隆化都成显著负相关。说明 2005 年从 4 月地表温度就一直上升直到 7 月,而 8 月 9 月地表温度下降,说明随着地表温度的升高植被长势覆盖度比较好。尤其是该地区中部比较明显比如隆平县,滦平县,承德县以及平泉县,可能是因为当地的一些农作物的影响,还有是植被退化或者其他的一些人为因素造成。

4 结论

(1)近 10 年来,承德地区的 NDVI 整体上来说呈增加的趋势,NDVI 的峰值一直都处于 8 月份,说明该地区植被结构没有太大的变化,而随着季节的变化 NDVI 的变化比较明显。

(2)1998—2007 年来承德地区植被覆盖度也逐渐地变好,温度在 20~24℃ 植被长势较好。1997—2008 年承德地区降水在 10~40 mm 之间植被长势较好。1997—2008 年承德地区地表温度在 20~30℃ 植被长势比较好。

(3)1998—2007 年平均 NDVI 与年平均气温、降水和地表温度的相关系数来看,1998—2007 年 NDVI 值和年平均温度之间的相关系数达到 0.24 ($P < 0.05$), NDVI 值和年平均降水之间的相关系数达到 0.07 ($P <$

负相关,介于 -0.3~0 之间为显著负相关,介于 0~0.4 之间的为显著正相关,0.4~0.9 之间的是极显著正相关,等于 1 则完全正相关。由图 13 可看出,4 月份滦平县,承德地区中部和南部承德县和兴隆县 NDVI 与地表温度呈极显著正相关,该地区北部丰宁县和围场县呈显著正相关,5 月份除了该地区北部是呈显著正相关的,其他地区大部分成极显著正相关性,该地区南部兴隆

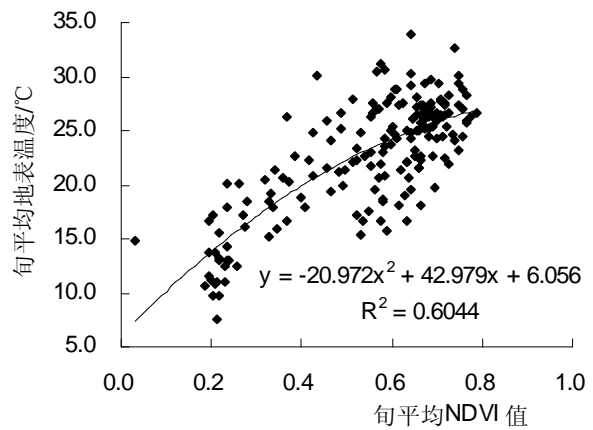


图 12 1998—2007 年旬平均 NDVI 与旬平均地表温度的相关关系图

0.05)), NDVI 值和年平均地表温度之间的相关系数达到 0.03 ($P < 0.05$),整体都呈正相关,只是 NDVI 与气温的相关性较强,而与地表温度的相关性最弱。

(4)研究区植被年平均 NDVI 受气温影响大于降水,研究区中部与南部 NDVI 与气温呈显著正相关,而北部 NDVI 与气温呈负相关,是由于该区的主要植被为耕地植被,气温的增加能够促进耕地植被的生长,因此呈正相关。气温的增加也能加快植被本身的蒸发,从而抑制了植被的生长,故而植被 NDVI 与气温呈显著负相关。植被生长需要充足的水分,降水减少不能成为植被生长的主要限制因子,所以年平均 NDVI 受气温影响大于降水。

(5)长时间序列的 SPOT-VEGETATION 数据可以有效地动态监测区域性的植被覆盖时空变化,并具有廉价可靠的优点,是进行大尺度植被覆盖动态变化监测的一个重要的数据源。

5 讨论

(1)扩展与 NDVI 有关的研究。选取 NDVI 值作为衡量植被状况的因子,能很好地反映地表植被状况的变化。植被受到气候因子影响的同时也受到其他驱动因子的影响。这些驱动因子包括快速增加的城市化生活和以及人类活动和社会经济因素的影响。植被的生态系统的评估以及 NDVI 与生物的多样性,都应值得研究和重视。

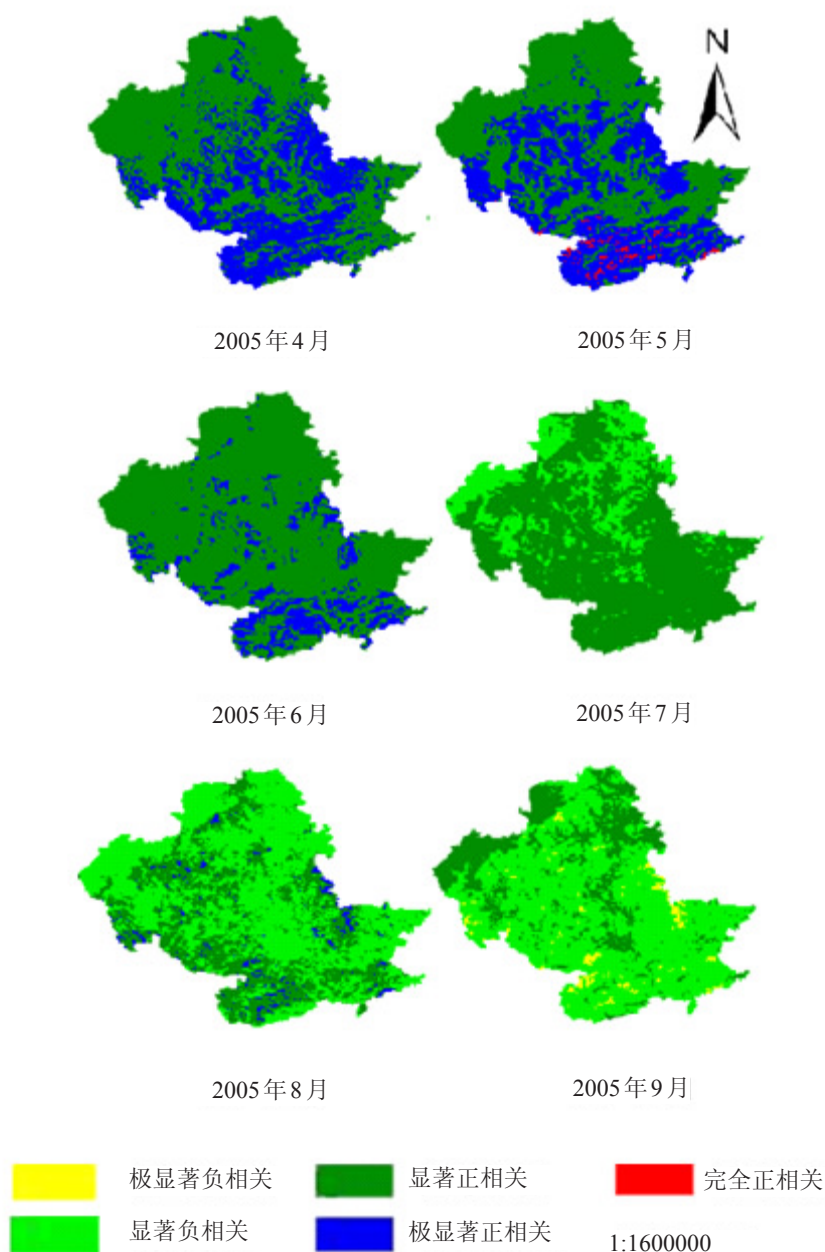


图 13 2005 年 NDVI 值与地表温度相关关系图

(2)研究的方法还有待突破。目前,对 NDVI 及其相关因子分析研究时,重点在于相关分析和线性回归等方法,但有时线性回归等方法的效果并不是很理想,因此需要尝试其他地学统计的方法,来探索和研究 NDVI 在空间上的分布及其成因。

参考文献

[1] 孙红雨,王常耀,牛铮,等.中国植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据[J].遥感学报,1998,2(3):204-210.
 [2] 王晶晶,白雪,邓晓曲,等.基于 NDVI 的三峡大坝岸边植被时空特征分析[J].地球信息科学,2008,10(6):808-815.
 [3] 信忠保,许炯心,郑伟.气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖

变化的影响[J].中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(11):1504-1514.
 [4] Marco Albani, David Medvigy, George C Hurt, et al. The contributions of land-use change, CO₂ fertilization, and climate variability to the eastern US carbon sink[J].Global Change Biology, 2006,12(12):2370-2390.
 [5] Braswell B H, Schimel D S, Linder E, et al. The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability[J]. Science,1997,278:870-873.
 [6] Fang Jingyun, Piao Shilong, He Jinsheng, et al. Increasing terrestrial vegetation activity in China,1982-1999[J].Science in China (Series C),2004,47:229-240.
 [7] 赵志平,邵全琴,黄麟.2008 年南方特大冰雪冻害对森林损毁的 NDVI 响应分析——以江西省中部山区林地为例[J].地球信息科

- 学学报,2009,11(4):535-540.
- [8] Tucker C J, Dregne H E, Newcomb WW. Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990[J]. *Science*, 1991, 253: 299-301.
- [9] Kogan F N. Remote Sensing of weather impacts on vegetation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11: 1405-1419.
- [10] 李本纲,陶澍. AVHRR /NDVI 与气候因子的相关分析[J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 898-902.
- [11] Nemani R, Keeling C, Hashimoto H, et al. Climate-driven in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999[J]. *Science*, 2003, 300: 1560-1563.
- [12] 龚道溢,史培军,何学兆. 北半球春季植被 NDVI 对温度变化响应的区域差异[J]. *地理学报*, 2002, 57(5): 505-514.
- [13] 李晓兵,史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水敏感性分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 379-382.
- [14] 陈云浩,李晓兵,史培军. 1983-1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 716-720.
- [15] 徐兴奎,林朝晖,薛峰,等. 气象因子与地表植被生长相关性分析[J]. *生态学报*, 2003, 23(2): 221-230.
- [16] 信忠保,许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应[J]. *自然科学进展*, 2007, 17(6): 770-778.