

doi: 10.6046/gtzyyg.2015.03.19

引用格式: 梁守真, 禹定峰, 王猛, 等. 应用遥感时序数据研究植被变化与气候因子的关系——以环渤海地区为例[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 114–121. (Liang S Z, Yu D F, Wang M, et al. Application of remote sensing time-series data to investigate the relationship between vegetation change and climatic factors: A case study of Circum-Bohai Sea area[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(3): 114–121.)

应用遥感时序数据研究植被变化与气候因子的关系 ——以环渤海地区为例

梁守真¹, 禹定峰², 王猛¹, 施平³

(1. 山东省农业科学院可持续发展研究所, 济南 250100; 2. 山东省科学院海洋仪器仪表研究所, 青岛 266001; 3. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

摘要: 在全球气候变化背景下研究陆地植被的时空变化规律, 探讨气候因素的驱动作用, 对于预测未来气候变化对生态系统的可能影响、制定合适的生态环境保护策略具有重要意义。利用2000—2009年MODIS归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)时间序列数据和地面气象站点的气温、降水量数据, 从遥感角度分析环渤海地区植被的时空变化, 并研究变化与气温、降水的相关关系, 探讨区域植被年内和年际变化的驱动因素。结果表明, 2000—2009年环渤海地区植被覆盖总体呈增加的趋势, 但存在一定的空间异质性, 局部有减少的倾向; 区域植被的生长受温度和降水的双重驱动, 对降水和温度的响应存在明显的滞后, 滞后期大约为1个合成期; 年际的变化主要受降水和人类活动的影响, 降水增加可使区域NDVI提高; 不同的人类活动会导致NDVI向相反的方向发展。

关键词: 植被; MODIS NDVI; 气温; 降水; 环渤海地区

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2015)03-0114-08

0 引言

植被是陆地生态系统的主体、是连接土壤、大气和水分的自然纽带, 对全球能量平衡、生物化学循环、水循环起着调控作用。植被对气候变化敏感, 其类型的空间分布和活动状况是长期适应气候驱动的结果^[1]。植被与气候的关系已成为全球气候变化研究中的重要组成部分。能否准确地预测气候变化以及未来气候变化对生态系统的可能影响, 取决于我们对当前植被生态系统和气候之间关系的了解程度和它们之间关系模式的建立^[2-4]。

卫星遥感具有覆盖面积大、时间分辨率高的特点, 是获取地物空间和时间变化信息的重要技术手段^[5]。基于卫星遥感的归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)以其明确的物理意义和简洁的计算方法, 在国家、洲际、全球尺度的植被活动研究中被广泛应用^[6]。近年来, 国内外学者基于NOAA/AVHRR, MODIS, SPOT等NDVI数据产品对植被及其气候驱动的研究发现, 随着

气候的改变, 陆地植被活动变化显著, 变化程度和方向具有明显的空间异质性; 气温和降水是影响植被活动的2个最主要的气候因素, 它们对植被的影响随着时间和空间尺度以及气候本身的变化也表现出极大的空间异质性^[7-12]。由于不同的研究者所用资料类型、时间长度、数据的处理与分析方法等存在一定的差异, 研究所得结论并不完全一致。例如, 有研究认为我国东北地区降水对NDVI的影响大于气温, 属降水驱动型^[13], 而其他研究得出的结论则是气温影响大于降水^[14-15]。

环渤海地区地处中纬度, 横跨湿润、半湿润及半干旱3个干湿地带, 其环境具有空间上的复杂性、时间上的易变性特点, 是中国也是全球气候变化的敏感区和脆弱区之一。该区经济发达, 人类活动对植被的干扰强烈, 主要表现为城市扩张和生态保护工程的开展。气候变化、土地利用开发、生态环境保护工程等多因素的共同作用使得区域植被的时空变化错综复杂, 因此需要开展区域尺度上植被的时空变化及其与气候的相关关系研究, 揭示多因素影响下植被变化规律, 阐明植被对气候的响应以及人类活

收稿日期: 2014-05-19; 修订日期: 2014-09-26

基金项目: 国家自然科学基金项目“森林冠层绿色FPAR的高光谱遥感反演研究”(编号: 41401407)和山东省农业重大应用技术创新项目“基于遥感的玉米洪涝监测、预警与评估技术研究”(编号: 1-0402)共同资助。

动在植被变化中所起的作用。此类研究可为保护和改善区域生态环境,制定合适的生态环境保护措施提供一定的科学依据,并且为其他区域的相关研究提供一定的借鉴。

1 研究区概况

环渤海地区指环绕渤海的河北省、辽宁省、山东省、天津市以及毗邻的北京市(图1)。该区域位于N34°25′~43°35′,E113°23′~125°52′之间,属温带季风气候。大部分区域为暖温带落叶阔叶林带,温带针阔混交林仅分布在辽东的部分区域,辽宁西北部和河北的承德和张家口北部等小部分山区属温带草原带。区域农业发达,是我国重要的粮食生产区,河北北部和辽宁为一年一熟区,其他地区为一年两熟或两年三熟区。

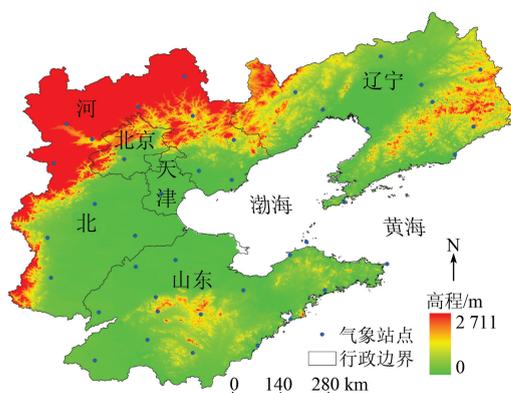


图1 研究区及气象站点分布图

Fig.1 Study area and the location of meteorological stations

2 数据与方法

2.1 数据及其预处理

本研究采用LPDAAC发布的MODIS 16 d合成、

$$SLOPE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (2)$$

式中: $SLOPE$ 为回归方程斜率; x, y 分别为年份和年均NDVI; \bar{x}, \bar{y} 分别为 x, y 的均值; i 为计算期间年份序号; n 为计算的总年份。如果 $SLOPE < 0$,则表明植被覆盖减少;反之,植被覆盖呈增加的趋势。

变量间的相关性程度一般采用相关系数来描述。考虑到气候因子之间可能会相互影响或存在协同效应,在本研究中也同时计算偏相关系数和复相

1 km分辨率的NDVI数据产品MOD13A2。该产品采用Integerized Sinusoidal投影,数据缩放尺度为10 000,有效值范围为-2 000~10 000,填充值为-3 000。为计算方便,研究中NDVI的缩放尺度保持不变。研究共收集环渤海地区2000—2009年MODIS NDVI数据(h26v04, h26v05, h27v04, h27v05)以及区域41个气象站点每日的气象数据,包括日平均气温、最高气温、最低气温和降水量。

尽管MODIS NDVI产品在生成的过程中经过了严格的处理,但最终得到的数据仍然受噪声的干扰^[16]。鉴于SPLINE插值法在时间序列重建方面的优势^[17],本研究采用3次SPLINE对NDVI时间序列进行去噪重建(2000年缺失的前3个合成期的数据由重建后的2001年对应合成期的数据来补充)。

为与16 d合成NDVI数据集匹配,对每日的气象数据进行合成处理。对于降水数据,求取每16 d的总降水量,气温数据则计算16 d的平均值。同时为避免气象数据空间插值误差可能引发的后续分析错误,参考相关研究^[18-20],本研究以气象站点为中心的10 km为半径的缓冲区内所有像元的NDVI均值代表站点植被的NDVI,形成基于台站的NDVI时间序列数据集。

考虑到NDVI与气温和降水的值域区间相差较大,为避免相关分析时大值对小值的掩盖,对数据进行标准化处理,即

$$X_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}, \quad (1)$$

式中: X_i 为标准化后的数据; X_i 为原始数据; \bar{X} 为原始序列 X_i 的均值; σ 为原始序列的标准方差。

2.2 研究方法

采用趋势线分析法研究区域NDVI的时间变化,即基于最小二乘法对NDVI时间序列拟合,以拟合方程的线性斜率表示植被的变化趋势,即

关系数。同时植被对气温和降水的响应可能存在一定的滞后^[21-23],因此研究还对NDVI与前期(16 d, 32 d, 48 d)的气温和降水之间的相关性进行分析。相关系数分别采用T检验(简单相关系数和偏相关系数)和F检验(复相关系数)进行0.05置信水平的显著性检验。如果假设检验概率 $P < 0.05$,则认为相关性显著,否则为不显著。

3 结果与讨论

3.1 NDVI 时空变化特征

依据显著性检验结果,将研究区年 NDVI 的变

化分为 4 个区域: NDVI 显著增加($P < 0.05$)、增加但不显著($P > 0.05$)、显著减少($P < 0.05$)、减少但不显著区($P > 0.05$),结果如图 2 所示。可以看出,2000—2009 年间,环渤海地区 80.8% 区域 NDVI 年均

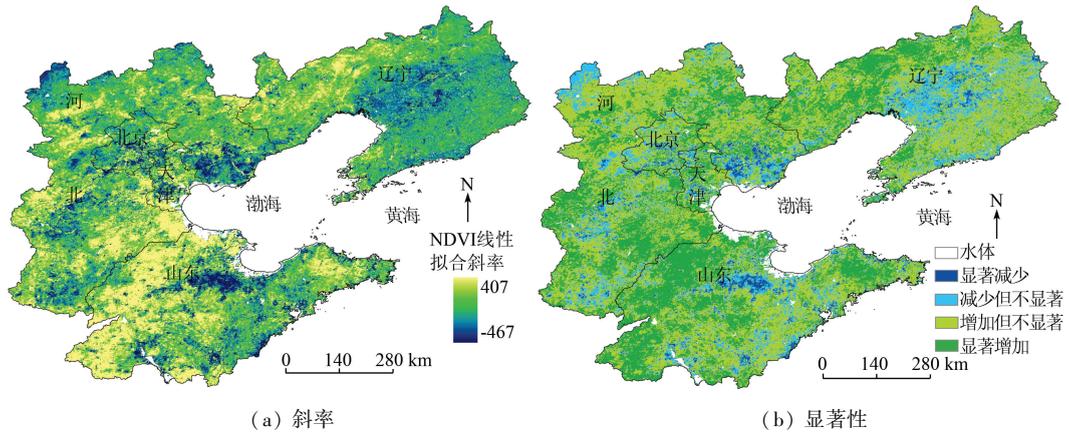


图 2 环渤海地区年均 NDVI 变化

Fig. 2 Change trend of annual mean NDVI in Circum - Bohai Sea area

值呈现增加的趋势。但仅有 33.7% 的区域表现为显著性增加,主要分布于山东西部、胶东半岛部分地区、辽宁西部以及河北部分地区,增长率多在 60 (缩放尺度为 10 000,下同) 以下。显著性减少的区域占总面积的 3.3%,主要分布在山东的潍坊和淄博中部地区、临沂、日照滨海地区、北京市中部南部地

区、沈阳市周围地区、唐山地区以及本溪与辽阳交界处;年均 NDVI 减少率最大为 467,但大部分都小于 100。年 NDVI 呈减少趋势的区域大都为经济发展较快的地区,可能是城市扩张导致。环渤海地区植被在生长季(即 4—10 月)的 NDVI 变化情况如图 3 所示。

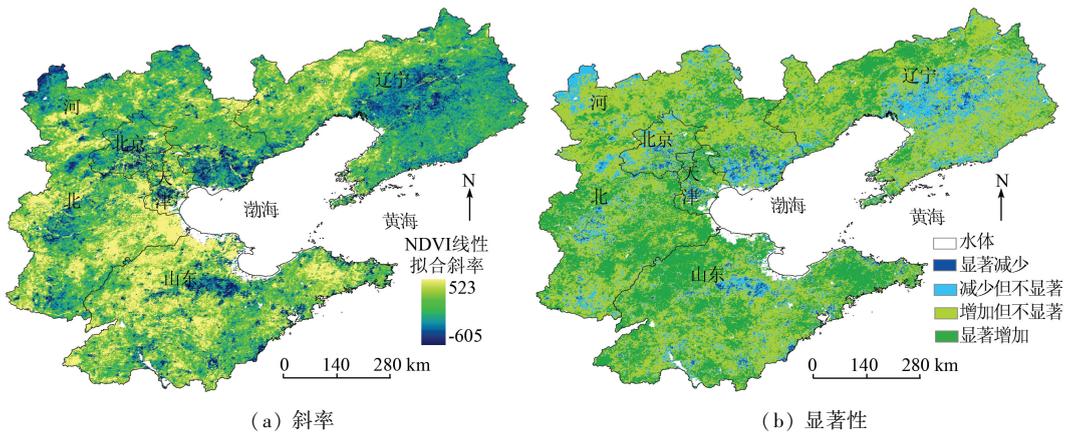


图 3 环渤海地区生长季 NDVI 均值变化

Fig. 3 Change trend of mean NDVI in growing season in Circum - Bohai Sea area

由图 3 可知,环渤海地区变化趋势和年均值在空间上基本一致,两者的差异主要表现为变化率不同。环渤海地区不同区域 NDVI 年均值变化见图 4。

由图 4 可知,总体上,2000—2009 年环渤海地区 NDVI 呈显著性增加趋势,平均年增加率为 27.8%,这与侯西勇、崔林雨等采用 SPOT 数据分析得到的结果一致^[7,24]。在环渤海区的 5 个省市中,除北京市的 NDVI 斜率表现为非显著性增长外,其他地区都呈显著增加的趋势,其中以山东省的 NDVI 增加最高,辽宁省最低。

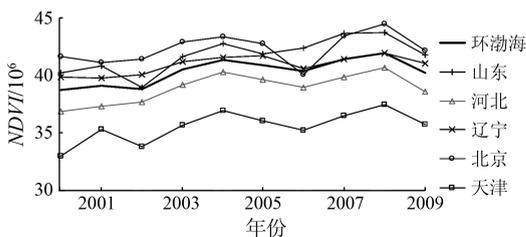


图 4 环渤海地区不同区域 NDVI 年均值变化
Fig. 4 Time series of annual NDVI of each region in Circum - Bohai Sea area

3.2 NDVI 与气温、降水的相关性分析

3.2.1 总体相关性

环渤海区 41 个站点平均 NDVI 值与温度和降水的相关分析结果如表 1 和表 2 所示。

表1 环渤海地区站点平均NDVI和温度、降水的相关分析

Tab.1 Correlation coefficients between NDVI and temperature, precipitation in Circum-Bohai Sea area

指标	同期	前16 d	前32 d	前48 d
平均温度	0.88	0.91	0.88	0.78
最高温度	0.86	0.89	0.86	0.77
最低温度	0.90	0.93	0.90	0.80
降水	0.79	0.84	0.77	0.63

表2 NDVI和温度、降水的偏相关系数和复相关系数

Tab.2 Partial and multiple correlation coefficients between NDVI and temperature, precipitation

相关分析	降水/平均温度	降水/最低温度	降水/最高温度	平均温度/降水	最低温度/降水	最高温度/降水
偏相关 ^①	0.48	0.40	0.54	0.74	0.77	0.72
复相关	0.91	0.92	0.90	-	-	-

①偏相关分析时“/”后的变量表示控制变量。

由表1,2可知,环渤海地区NDVI和温度、降水之间存在着明显的正相关关系($P < 0.05$),与温度的相关性总大于降水,且与最低温度的相关性最大;区域NDVI与最低温度/降水的复相关系数最高。统计表明,NDVI与前一个合成期的温度和降水具有最大的相关系数(表1),尤其是最低温度,其相关系数为0.93。随着时间的推移,相关系数开始减小。

在每年的NDVI逐渐增加阶段,NDVI的表现总滞后于温度,而降水的滞后主要表现在NDVI的峰值后期(图5)。图中纵坐标为标准化处理后的结果。

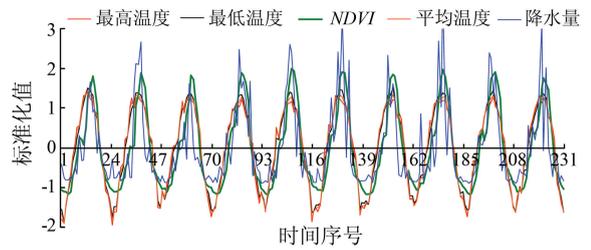
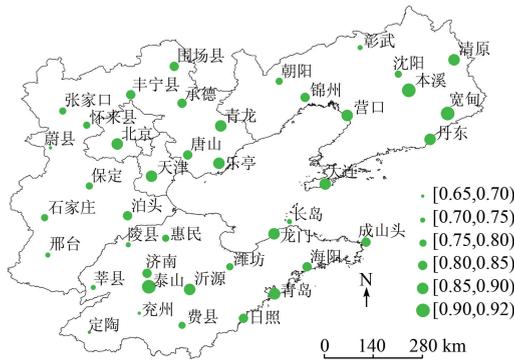


图5 环渤海地区气象站点NDVI、温度和降水时间序列
Fig.5 Time series of mean NDVI, temperature and precipitation in meteorological stations in Circum-Bohai Sea area

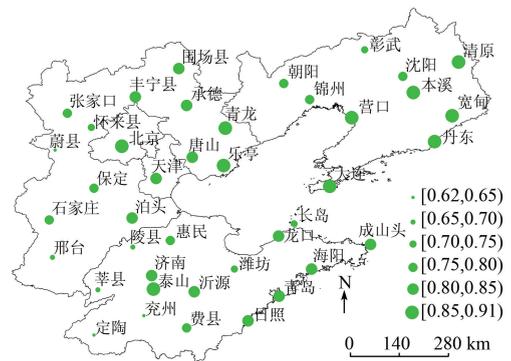
这些研究表明,尽管其他的气候因素(如湿度等)可能也会影响植被生长,但整体上环渤海地区植被生长主要由最低温度和降水驱动,在年内变化上,温度比降水对植被的影响更大。温度和降水对环渤海地区NDVI的影响具有显著的滞后效应,前半个月的温度和降水对植被NDVI的影响最大。这与崔林丽等利用旬数据分析得到的结果一致^[21]。

3.2.2 NDVI与气候因子相关关系的区域分异

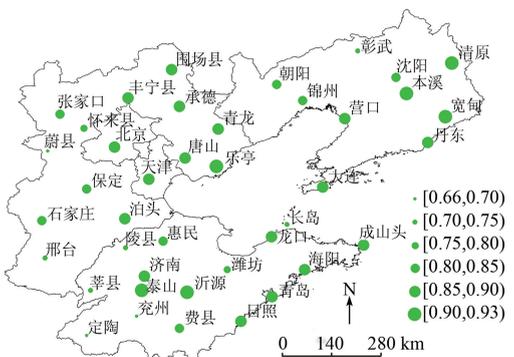
总体上,各站点的NDVI都随着温度和降水的增加而增加,与降水的相关性小于与温度的相关性,且与平均最低温度有最高的相关性。但由于气象站点所在的位置、气候带不同,各站点的相关系数具有一定的空间差异性(图6)。



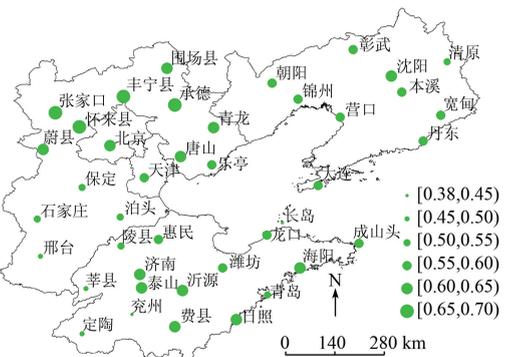
(a) NDVI与平均气温的相关系数



(b) NDVI与最高气温的相关系数



(c) NDVI与最低气温的相关系数



(d) NDVI与降水的相关系数

图6 不同站点的NDVI同气温和降水的相关系数分布图

Fig.6 Correlation coefficients between NDVI and temperature, precipitation for different meteorological stations

由图 6 可知, 兖州、定陶、莘县、陵县、邢台等环渤海区西南部站点 NDVI 与温度、降水的相关系数都偏低; 这些站点地处华北平原传统的灌溉农业耕作区, 缓冲区内的植被多为农田, 因此作物的生长受人类活动影响大, 这可能是 NDVI 与气温、降水相关系数较小的原因。而在辽东地区的宽甸、本溪、清原和丹东这几个站点的 NDVI 和温度的相关系数较大, 在 0.9 左右; 这些区域属中温带湿润气候, 年降水量大, 但由于地处山区, 温度偏低, 区域植被更容易受温度波动的影响。山东中部山区的泰山和沂源站点的 NDVI 和温度的相关系数也比较大, 尤其是泰山站, 其 NDVI 和平均最低温度的相关系数达到了 0.92, 是所有相关系数中最大的一个; 可能是台站站点海拔比较高(1 536 m), 站点植被的生长受温度限制较大所致。河北北部的张家口、丰宁、怀来、承德、蔚县、围场几个站点 NDVI 和降水的相关系数较大; 它们在气候上属中温带半干旱气候, 降水量偏少, 因此, 相比于其他地区, 降水对其植被的影响

更大。

除山东长岛(主要受温度影响)外, NDVI 与气温、降水的偏相关系数、复相关系数都通过了 0.05 置信水平的 T 检验, 与温度的相关性大于降水。这说明环渤海地区大部分站点植被受温度和降水的双重驱动, 温度对 NDVI 的影响总体大于降水, 即使是处于半干旱区的张家口、丰宁、围场以及朝阳也是如此。

研究区大部分站点的温度、降水和 16 d 后的 NDVI 数据存在着最大的相关系数, 只有个别站点的滞后时间较长(蔚县、张家口、怀来和彰武)或没有滞后(成山头 and 西南的兖州、定陶、莘县)。并且在研究区, 无论是半干旱区还是湿润区, NDVI 始终与平均最低温度具有最大的滞后相关性, 且与降水的相关性总低于温度。

3.3 NDVI 年际变化的驱动分析

根据环渤海地区年均温度和降水变化曲线(图 7), 2000—2009 年环渤海区域的年均气温变化不明显, 降水波动较大, 无显著的变化趋势。年平均 NDVI

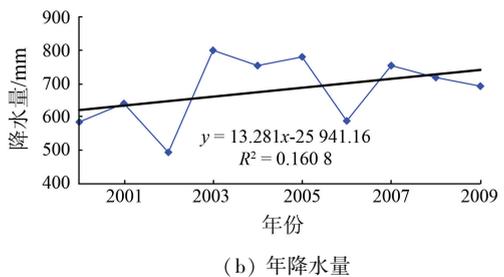
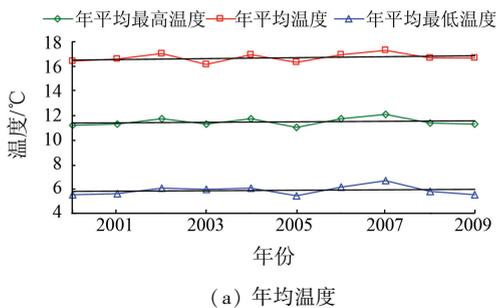


图 7 2000—2009 年环渤海地区的年均温度和年降水量变化趋势

Fig. 7 Trend of annual mean temperature and precipitation in Circum - Bohai Sea area during 2000 to 2009

与温度无显著的相关性, 但与降水呈显著的正相关关系, 相关系数为 0.8。考虑到冬季环渤海地区大多数植被都进入冬眠期, 此时降水和温度的变化对 NDVI 的影响不明显, 为此去除冬季数据, 分析每年生长季降水量、温度与 NDVI 的相关性。对比生长季和全年的 NDVI、降水量时间序列(图 8, 图中纵坐标为标准化处理的结果), 可以发现生长季的降水和 NDVI 时间序列比年均值有更好的一致性, 相关系数达到 0.88, 而温度与年平均 NDVI 相关系数仍

较小, 无法通过 0.05 置信水平的检验, 这个结果与赵茂盛等的研究结果一致^[3]。由此可以看出, 降水量的变化是影响环渤海地区 NDVI 的年际变化一个重要因素, 降水量的增加可促进 NDVI 的增加, 而温度对 NDVI 的年际变化并没有显著的影响。出现这种现象的原因可能在于环渤海大部分地区为半湿润、半干旱气候, 降水偏少且波动大, 而日照时数和年太阳总辐射量较大, 加上温度年际变化较小, 降水更容易成为影响植被年际变化的因子。

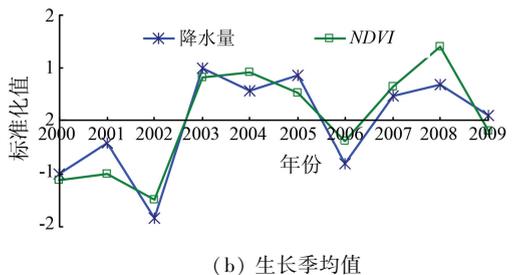
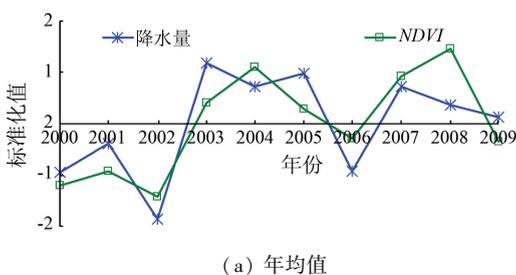


图 8 2000—2009 年环渤海地区 NDVI 和降水时间序列

Fig. 8 Time series of NDVI and precipitation in Circum - Bohai Sea area during 2000 to 2009

除气候因子外,研究短时间尺度上区域 NDVI 的时空变化还须考虑人类活动的影响。环渤海地区是我国重要的农业耕作区,也是生态环境脆弱区,生态环境的保护与治理是政府和民众关注的焦点。近些年,政府大力开展植树造林,实施“天然林保护工程”和“退耕还林还草”工程,在一定程度上提高了区域森林覆盖率,增加区域 NDVI。同时,环渤海地区经济城市快速扩展,部分农田、林地转为建设用地或交通过地,植被覆盖度降低,NDVI 减少。在人口与经济社会要素高度密集的大、中、小城市周边 NDVI 显著减少。根据郭丽英等研究,在 1998—2007 年间,环渤海地区耕地面积减少 42.98 万 hm^2 ,城乡居民点及工矿用地面积增加 36.56 万 hm^2 。林地面积增加 16.64 万 hm^2 ^[25]。人类活动引起的土地覆盖的变化部分导致了区域 NDVI 的增加和减少;同时,人类对农田管理程度的加强(施肥、良种选育)可能是导致华北平原农田 NDVI 增加的一个重要因素。

由以上分析可知,环渤海地区 NDVI 的年际变化主要受降水和人类活动的影响,降水量越大,其平均 NDVI 就越大。人类活动通过改变土地利用方式,降低了部分区域的 NDVI,同时也使部分区域森林覆盖率升高,生态环境得到改善,NDVI 增加。随着社会的进一步发展,人类对自然的干扰可能会越来越强烈,可能增加或降低区域植被覆盖。因此,在全球变化研究中,需要考虑人类活动对自然的干扰,区分人类活动在植被变化中的作用,尤其是在短时间尺度上的研究。

4 结论

利用 2000—2009 年 MODIS NDVI 时间序列数据以及环渤海地区 41 个站点的气温、降水数据,分析了环渤海地区 NDVI 的时空变化及其与气温、降水的相关关系,得到如下结论:

1) 2000—2009 年,环渤海地区的 NDVI 值总体呈增加趋势,局部减少,空间差异明显。

2) 植被的生长受温度和降水的双重驱动,但温度对植被生态系统的季相变化起着比降水略大的作用,且 NDVI 对气温和降水的响应存在明显的滞后性;温度和降水对 NDVI 的影响程度与其地理位置、高程和气候类型有关。

3) 区域植被 NDVI 的年际变化主要受降水和人类活动的影响。年降水量增加可提高区域年 NDVI;城市化过程导致 NDVI 降低,同时“退耕还林还草”等生态工程的实施使部分区域 NDVI 增加,农业活

动的加强部分促进了农田 NDVI 的增加。

由于本研究只是采用了 10 a 的遥感和气象数据进行分析,尽管这些数据在分析植被的年内变动是足够的,但是在年际变化上序列长度仍稍显不足。因此,在未来的研究中,采用更长时间序列的数据和更加密集的气象站点数据开展相关研究十分必要。

参考文献(References):

- [1] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate - driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. *Science*, 2003, 300(5625): 1560 - 1563.
- [2] 周广胜,张新时. 中国气候 - 植被关系初探[J]. *植物生态学报*, 1996, 20(2): 113 - 119.
Zhou G S, Zhang X S. Study on climate - vegetation relationship [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(2): 113 - 119.
- [3] 赵茂盛,符淙斌,延晓冬,等. 应用遥感数据研究中国植被生态系统与气候的关系[J]. *地理学报*, 2001, 56(3): 287 - 296.
Zhao M S, Fu C B, Yan X D, et al. Study on the relationship between different ecosystems and climate in China using NOAA/AVHRR data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 287 - 296.
- [4] Roerink G J, Menenti M, Soepboer W, et al. Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003, 28(1/3): 103 - 109.
- [5] 方精云,朴世龙,贺金生,等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. *中国科学(C辑:生命科学)*, 2003, 33(6): 554 - 565.
Fang J Y, Piao S L, He J S, et al. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982 - 1999 [J]. *Science in China (Ser C: Life Sciences)*, 2004, 47(3): 229 - 240.
- [6] Julien Y, Sobrino J A. The yearly land cover dynamics (YLCD) method: An analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(2): 329 - 334.
- [7] 崔林丽,史军,肖风劲,等. 中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(1): 124 - 131.
Cui L L, Shi J, Xiao F J, et al. Variation trends in vegetation NDVI and its correlation with climatic factors in Eastern China [J]. *Resources Science*, 2010, 32(1): 124 - 131.
- [8] 王宗明,国志兴,宋开山,等. 中国东北地区植被 NDVI 对气候变化的响应[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1041 - 1048.
Wang Z M, Guo Z X, Song K S, et al. Responses of vegetation NDVI in Northeast China to climate change [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(6): 1041 - 1048.
- [9] 陈欢,任志远. 中国大陆植被覆盖对降水与温度变化的响应[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(2): 78 - 82, 74.
Chen H, Ren Z Y. Response of vegetation coverage to changes of precipitation and temperature in Chinese mainland [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(2): 78 - 82, 74.
- [10] Ichii K, Kawabata A, Yamaguchi Y. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982 - 1990 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(18): 3873 - 3878.
- [11] 王箬,赵天保,侯美亭,等. 21 世纪初中国北方地区植被变化

- 特征分析[J]. 气候与环境研究, 2013, 18(2): 156–164.
- Wang Z, Zhao T B, Hou M T, et al. Vegetation index trends for the northern part of China at the beginning of the 21st century[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2013, 18(2): 156–164.
- [12] Kawabata A, Ichii K, Yamaguchi Y. Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(7): 1377–1382.
- [13] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 基于遥感的植被 NDVI 与气候关系图式研究[J]. *中国图象图形学报*, 2002, 7(4): 332–335.
- Chen Y H, Li X B, Shi P J. The image forms of correlation between NDVI change and climate factors in China using remotely sensed data[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, 7(4): 332–335.
- [14] 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.
- Li B G, Tao S. Correlation between AVHRR NDVI and climate factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 898–902.
- [15] 李月臣, 宫 鹏, 刘春霞, 等. 北方 13 省 1982 年—1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J]. *资源科学*, 2006, 28(2): 109–117.
- Li Y C, Gong P, Liu C X, et al. Vegetation cover changes and correlation with climatic factors in Northern China during 1982–1999[J]. *Resources Science*, 2006, 28(2): 109–117.
- [16] 李杭燕, 颀耀文, 马明国. 时序 NDVI 数据集重建方法评价与实例研究[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(5): 596–602.
- Li H Y, Xie Y W, Ma M G. Reconstruction of temporal NDVI dataset: Evaluation and case study[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(5): 596–602.
- [17] 梁守真, 施 平, 邢前国. MODIS NDVI 时间序列数据的去云算法比较[J]. *国土资源遥感*, 2011, 22(1): 33–36. doi:10.6046/gtzyyg. 2011. 01. 06.
- Liang S Z, Shi P, Xing Q G. A comparison between the algorithms for removing cloud pixel from MODIS NDVI time series data[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2011, 22(1): 33–36. doi:10.6046/gtzyyg. 2011. 01. 06.
- [18] 辜智慧, 陈 晋, 史培军, 等. 锡林郭勒草原 1983—1999 年 NDVI 逐旬变化量与气象因子的相关分析[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 753–765.
- Gu Z H, Chen J, Shi P J, et al. Correlation analysis of NDVI difference series and climate variables in Xilinguole steppe from 1983 to 1999[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 753–765.
- [19] Ji L, Peters A J. A spatial regression procedure for evaluating the relationship between AVHRR – NDVI and climate in the northern Great Plains[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(2): 297–311.
- [20] Yu F F, Price K P, Ellis J, et al. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 87(1): 42–54.
- [21] 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(7): 850–860.
- Cui L L, Shi J, Yang Y M, et al. Ten – day response of vegetation NDVI to the variations of temperature and precipitation in Eastern China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(7): 850–860.
- [22] 赵玉萍, 张宪洲, 王景升, 等. 1982 年至 2003 年藏北高原草地生态系统 NDVI 与气候因子的相关分析[J]. *资源科学*, 2009, 31(11): 1988–1998.
- Zhao Y P, Zhang X Z, Wang J S, et al. Correlation analysis between NDVI and climatic factors of grassland ecosystems in the Northern Tibetan Plateau from 1982 to 2003[J]. *Resources Science*, 2009, 31(11): 1988–1998.
- [23] Wang J, Price K P, Rich P M. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3827–3844.
- [24] 侯西勇, 应兰兰, 高 猛, 等. 1998—2008 年中国东部沿海植被覆盖变化特征[J]. *地理科学*, 2010, 30(5): 735–741.
- Hou X Y, Ying L L, Gao M, et al. Character of vegetation cover change in China's eastern coastal areas 1998–2008[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(5): 735–741.
- [25] 郭丽英, 王道龙, 邱建军. 环渤海区域土地利用类型动态变化研究[J]. *地域研究与开发*, 2009, 28(3): 92–95.
- Guo L Y, Wang D L, Qiu J J. Study on the land – use types changes in the area around Bohai Bay in China[J]. *Areal Research and Development*, 2009, 28(3): 92–95.

Application of remote sensing time – series data to investigate the relationship between vegetation change and climatic factors: A case study of Circum – Bohai Sea area

LIANG Shouzhen¹, YU Dingfeng², WANG Meng¹, SHI Ping³

(1. Shandong Institute of Agricultural Sustainable Development, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. Institute of Oceanographic Instrumentation, Shandong Academy of Sciences, Qingdao 266001, China; 3. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Vegetation is one of the most important components of terrestrial ecosystem. The dynamics of vegetation is affected by climate factors and human activities. Generally, natural vegetation is mainly affected by climate factors, especially temperature and precipitation. Presently, global climate change has occurred. To predict the influence of global climate change on vegetation, reduce the unfavorable or adverse effect and protect the ecosystem

environment, it is necessary to study the correlation between vegetation and climate factors. Normalized difference vegetation index (NDVI) is generally regarded as a good indicator of terrestrial vegetation. In this study, ten-year MODIS NDVI time-series data and temperature, precipitation data from 2000 to 2009 in Circum-Bohai Sea area were used. A modified SPLINE method was adopted to remove the effect of noise and to reconstruct NDVI time series. On the basis of these data, the temporal and spatial dynamics of NDVI were analyzed through least-square regression. The correlation and lagged correlation coefficients between NDVI and temperature, precipitation were calculated. The results showed that an increasing trend in NDVI was found in the study area, but there was an obvious heterogeneity. The areas with significant increase and decrease in NDVI were small. In the Circum-Bohai Sea area, the development of vegetation was driven by temperature and precipitation, and the correlation coefficients between vegetation NDVI and temperature were greater than those between vegetation NDVI and precipitation in the same period. The response of vegetation to temperature and precipitation lagged and the lag period was about 16 days. Inter-annual NDVI change in the Circum-Bohai Sea area was mainly influenced by precipitation and human activities, and a positive correlation between precipitation and annual NDVI was found. Human activities influenced vegetation dynamics through changing land use. Urban sprawl led to decrease in NDVI, but the effort to return farmland to forest increased NDVI.

Keywords: vegetation; MODIS NDVI; temperature; precipitation; Circum-Bohai Sea area

第一作者简介: 梁守真(1979-),男,博士,主要从事环境遥感研究。Email: szliang_cas@163.com。

(责任编辑: 李瑜)