

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.01.001

老哈河流域 NDVI 动态变化及其与气候因子的关系

刘晓帆¹,任立良¹,袁 飞¹,徐 静²,刘 薇¹,喇承芳³

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;2.南京大学水科学系,江苏 南京 210093;
3.黄河水利委员会上游水文水资源局,甘肃 兰州 730030)

摘要:利用 1982~2006 年 GIMMS/NDVI 数据,赤峰气象站的气温数据和流域内 52 个雨量站的降水数据,采用一元线性回归分析、简单相关分析以及偏相关分析方法对老哈河流域内林地、灌丛、草地、耕地 4 种植被类型 NDVI 年内和年际变化及其与气温、降水的关系进行了研究.结果表明:老哈河流域 NDVI 年内变化呈单峰型,年最大值出现在 8 月份,月 NDVI 和气温、降水之间均具有显著的正相关关系,且存在滞后现象.林地与灌丛、草地相比,其 NDVI 受降水影响相对较小,气温对植被年内生长的影响大于降水;1982~2006 年流域年均 NDVI 呈上升趋势,其中 20 世纪 90 年代流域植被覆盖水平最好.夏季 NDVI 与同期和前期的气温呈显著的负相关,与前期降水呈显著的正相关,在老哈河流域夏季气温升高会导致植被覆盖减少,而降水增加有利于植被的生长.

关键词:NDVI;气温;降水;相关分析;回归分析;老哈河流域

中图分类号:P467 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2010)01-0001-05

目前全球气候变化成为许多学科的研究热点,主要是因为近百年来,地球表面的年平均气温上升了约 0.6℃,北半球的气温升高趋势为 1 000 a 来所罕见.这一变化与人类的生存密切相关^[1].植被覆盖变化是对全球气候变化和人类活动最重要的响应之一.因此,在气候变化背景下研究植被覆盖的时空变化对生态环境评估、预测以及理解植被与气候的关系都具有重要意义.

遥感数据覆盖范围广、时空连续性好,为研究大范围植被变化提供了依据^[2].其中归一化植被指数 NDVI (normal difference vegetation index)是目前应用最广的表征植被状况的指数,它可以很好地反映植被覆盖、生长活力以及生物量等情况^[3].20 世纪 90 年代以来,国内外许多学者利用 NDVI 研究了植被覆盖变化趋势及其与气候因子的关系. Ichii 等^[4]认为在中高纬度地区的春夏季 NDVI 的年际变化与气温的变化显著相关,而半干旱地区与降水和气温的相关性都很显著.信忠保等^[3]利用 GIMMS/NDVI 数据对黄土高原地区 1982~2003 年间植被覆盖变化的研究表明,黄土高原地区植被整体呈现增加趋势,并存在明显的空间差异,降水是影响黄土高原地区植被变化的重要因素.

老哈河流域位于北纬 40.9°~42.9°,东经 117.2°~120°之间,面积为 18 599 km²,多年平均年降水量为 450 mm,属于典型的半干旱区.由于水资源缺乏,气候变化深刻影响着流域内的植被状况.本文利用 1982~2006 年 GIMMS/NDVI 数据,对老哈河流域不同植被类型 NDVI 年内和年际变化及其与降水、气温的关系进行分析,以进一步了解全球气候变化背景下该流域内不同类型植被覆盖度的变化及其对气候因子的响应程度.

1 数据与研究方法

1.1 数据来源与处理

本文采用的 NDVI 数据是由美国航空航天局(NASA)全球监测与模型研究组(Global Inventory Modeling and Mapping Studies, GIMMS)发布的 GIMMS/NDVI 数据.该数据是来自 NOAA 系列卫星(NOAA7、9、11、14、16 和 17)AVHRR 的 15 d 最大化合成数据,空间分辨率为 8 km×8 km,时间是 1982 年 1 月~2006 年 12 月.利用遥感

收稿日期:2008-12-24

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2006CB400502);高等学校学科创新引智计划(B08048);教育部科学技术研究重大项目(308012);国家自然科学基金青年科学基金(50909033)

作者简介:刘晓帆(1982—),女,辽宁大石桥人,博士研究生,主要从事数字水文及流域水文过程模拟研究. E-mail:liuxiaofanhu@yahoo.

影像处理软件 ENVI 分割出老哈河流域的 NDVI 数据,并按照临近原则对原始数据进行重采样,使其空间分辨率转变为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 。为了减少云层对遥感影像的影响,采用最大像元合成法 MVC(maximum value composites)^[5]选取各月中最大 NDVI 值作为该月的 NDVI 值。

1982~2005 年气温数据来源于老哈河流域内赤峰气象站,降水数据来源于老哈河流域内 52 个雨量站(图 1)。采用反距离平方方法^[6]将老哈河流域内雨量站实测的降水量插值到空间分辨率为 $30''$ 的栅格单元,在栅格的基础上分别计算各类植被类型的区域平均值,并将区域平均值作为该类植被的雨量值。

土地覆被资料采用的是美国马里兰大学的全球 1 km 土地覆被资料 UMIX(University of Maryland's 1 km global land cover data),空间分辨率为 $30''$ 。老哈河流域内主要植被类型有林地、灌丛、草地和耕地,其面积分别占流域面积的 18.1% 、 5.6% 、 40.2% 和 35.6% ,其余水体和城乡用地面积约占流域面积的 0.5% (图 1)。

1.2 研究方法

应用一元线性回归分析^[7]模拟各种植被类型年均 NDVI 和季均 NDVI 的年际变化趋势,经验回归方程斜率的正负反映了植被覆盖的增减趋势,其绝对值的大小反映植被覆盖的增减速率。为了研究 NDVI 与气温和降水的关系,选用了简单相关系数和偏相关系数^[8]作为评价指标。简单相关系数能衡量 2 个变量之间的直接相关程度,而偏相关系数能在对其他变量的影响进行控制的条件下,衡量多个变量中某 2 个变量之间的线性相关程度。为了客观真实地反映气温、降水对植被生长的影响,避免冬季积雪对 NDVI 值的影响,本文只对生长季(4~10 月)的 NDVI 进行研究^[9],在栅格的基础上分别计算各类植被类型的区域平均值,并将区域平均值作为该类植被的 NDVI 值。

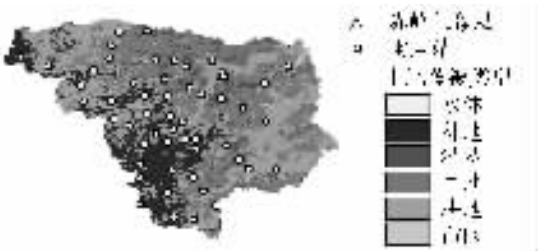


图 1 老哈河流域土地覆被类型、气象站和雨量站分布

Fig. 1 Distribution of land cover, meteorological stations, and rainfall gauge stations in Laohe River Basin

2 结果分析

2.1 NDVI 年内变化及其与气候因子的关系

2.1.1 NDVI 年内变化

计算得到的不同植被类型 25 a 平均月 NDVI 如图 2 所示。由图 2 可知,林地、灌丛、草地和耕地的 NDVI 年内变化均呈单峰型,年最大值出现在 8 月,分别为 0.677 、 0.583 、 0.595 和 0.628 ,生长季 NDVI 平均为 0.523 、 0.389 、 0.411 和 0.447 ,各种植被类型 NDVI 从 4 月开始迅速增加,至 7 月达到较大值,之后缓慢增加至 8 月达到最大值,然后 NDVI 开始下降,到 11 月回到春天明显增加前的水平。11 月到翌年 4 月老哈河流域植被枯黄,NDVI 很小,变化也很小。

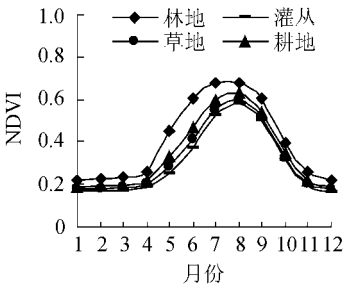


图 2 老哈河流域 NDVI 年内变化
Fig. 2 Annual variation of NDVI in Laohe River Basin

2.1.2 月 NDVI 与月平均气温、降水的关系

建立不同植被类型 1982~2005 年生长期月 NDVI 与月气温、月降水的相关统计样本,样本容量为 168。植被的生长相对于气候因子的变化要缓慢得多,因而 NDVI 对气候因子的响应存在滞后现象,滞后现象与气候因子和所研究的区域有关^[10]。为了定量分析老哈河流域 NDVI 对降水、气温的响应,分别计算了不同植被类型生长期月 NDVI 与同期以及前期月气温、月降水的简单相关系数,见表 1。

表 1 不同植被类型月 NDVI 与气温、降水简单相关系数和偏相关系数(1982~2005 年)

Table 1 Pearson and partial correlation coefficients between monthly NDVI and temperature and precipitation for different vegetation types from 1982 to 2005

相 关 项	简单相关系数				偏相关系数			
	林地	灌丛	草地	耕地	林地	灌丛	草地	耕地
NDVI 与当月气温	0.828*	0.629*	0.680*	0.744*	0.693*	0.438*	0.491*	0.566*
NDVI 与前 1 个月气温	0.854*	0.846*	0.863*	0.876*	0.737*	0.712*	0.742*	0.764*
NDVI 与前 2 个月气温	0.631*	0.742*	0.734*	0.714*	0.595*	0.606*	0.616*	0.626*
NDVI 与当月降水	0.648*	0.531*	0.566*	0.612*	0.199	0.199	0.205*	0.222*
NDVI 与前 1 个月降水	0.675*	0.783*	0.780*	0.764*	0.281*	0.575*	0.559*	0.509*
NDVI 与前 2 个月降水	0.338*	0.538*	0.508*	0.455*	-0.221*	0.020	-0.041	-0.127

注: * 显著性 t 检验的概率值 $P < 0.01$ 。

从相关分析结果可以看出,各种植被类型 NDVI 与气温、降水之间均具有正相关关系,相关性较大,尤其是 NDVI 与前 1 个月气温之间简单相关系数均达到了 0.85 以上,而且相关性均通过置信度 99% 的显著性检验。各种植被类型 NDVI 对气温和降水的响应均存在滞后现象,当滞后时间为 1 个月时,各种植被类型 NDVI 与气温、降水的简单相关系数均达到了最大。灌丛、草地 NDVI 与前 1 个月降水的相关性较大,而林地相对较小,这主要受到 2 个方面因素的影响:一是植被生长的环境,老哈河流域林地主要分布在上游高海拔区,雨水相对充足,降水不是植被生长的限制因素,因而其 NDVI 与降水的相关性较小;二是植被自身的生长特性,灌丛和草地根系发达且相对较浅,对降水很敏感,因而其 NDVI 与降水的相关系数较大。由简单相关分析结果可知,月 NDVI 与气温、降水之间均存在显著的相关关系。为了区别这两者对 NDVI 的影响程度,又进行了 NDVI 与降水、气温的偏相关分析,即在假定气温或降水因子不变的情况下,分析 NDVI 与其中 1 种因子的相关性,偏相关系数见表 1。各种植被类型 NDVI 与气温的偏相关系数均大于与降水的偏相关系数,而且相关性均通过了置信度 99% 的显著性检验,因而老哈河流域气温对植被年内生长的影响大于降水。

2.2 NDVI 年际变化及其与气候因子的关系

2.2.1 NDVI 年际变化

本文只对生长季(4~10月)的 NDVI 进行研究,利用 4~10 月 NDVI 均值作为年均 NDVI,4~5 月 NDVI 均值作为春季 NDVI,6~8 月 NDVI 均值作为夏季 NDVI,9~10 月 NDVI 均值作为秋季 NDVI。图 3 给出了老哈河流域 1982~2006 年均和季均 NDVI 的年际变化趋势。从图 3 可以看出,老哈河流域年均 NDVI 在 1980~1999 年呈显著上升趋势,2000 年陡降至最低点,在 2000~2006 年又呈显著上升趋势,植被覆盖逐渐恢复到 20 世纪 90 年代后期水平。总体上,1982~2006 年老哈河流域年均 NDVI 呈上升趋势,其中 20 世纪 90 年代老哈河流域植被覆盖水平最好。从季节来看,老哈河流域夏秋季 NDVI 增加显著,而春季没有明显的变化趋势,各种植被类型均未通过 0.01 水平的显著性检验。从植被类型来看,林地 NDVI 增加趋势不显著,其趋势均未通过 0.01 水平的显著性检验,而灌丛 NDVI 增加最显著,其次为草地和耕地。表 2 给出了不同植被类型 NDVI 年际变化斜率、样本决定系数 R^2 和 t 检验的概率值 P 。

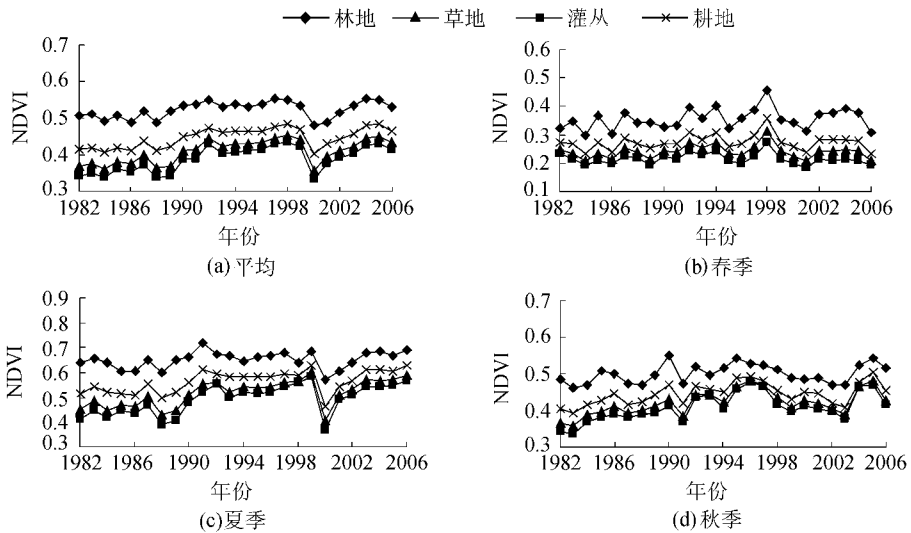


图 3 老哈河流域 1982~2006 年不同植被类型 NDVI 年际变化

Fig. 3 Inter-annual variation of NDVI for different vegetation types in Laoha River Basin from 1982 to 2006

表 2 老哈河流域 1982~2006 年 NDVI 年际变化斜率、样本决定系数 R^2 和 t 检验的概率值 P

Table 2 Values of regression slope, determination coefficient R^2 , and probability P of t -check for inter-annual variation of NDVI in Laoha River Basin from 1982 to 2006

季节	林地			灌丛			草地			耕地		
	斜率	R^2	P	斜率	R^2	P	斜率	R^2	P	斜率	R^2	P
年均	0.001 2	0.164	0.044 4	0.003 1	0.428	0.000 4	0.002 8	0.423	0.000 4	0.002 2	0.372	0.001 2
春季	0.001 4	0.081	0.167 7	-0.000 3	0.009	0.648 2	0.000 2	0.006	0.712 9	0.000 5	0.016	0.545 8
夏季	0.001 2	0.072	0.194 1	0.005 3	0.411	0.000 6	0.004 7	0.410	0.000 6	0.003 5	0.345	0.002 0
秋季	0.001 1	0.092	0.139 9	0.003 2	0.358	0.001 6	0.002 6	0.323	0.003 1	0.001 9	0.234	0.014 3

2.2.2 NDVI 与气温、降水年际变化之间的关系

为了分析老哈河流域 1982~2005 年 NDVI 变化的原因,以植被生长最旺盛的夏季(6~8 月)NDVI 平均值为代表,分别计算了 1982~2005 年各种植被类型夏季 NDVI 与 5~7 月平均气温、6~8 月平均气温、5~7 月平均降水、6~8 月平均降水的简单相关系数和偏相关系数,见表 3.其中样本容量为 24.由简单相关分析结果可知,夏季 NDVI 与同期和前期的气温呈显著的负相关,与前期降水呈显著的正相关.这说明,老哈河流域夏季气温升高会导致植被覆盖减少,而降水增加有利于植被的生长.由偏相关分析结果可知,林地和耕地夏季 NDVI 与同期和前期气温的偏相关系数的绝对值均大于与降水的偏相关系数的绝对值,因而在老哈河流域林地和耕地 NDVI 的年际变化主要是受到了气温年际变化的影响,而灌丛和草地 NDVI 的年际变化受前期降水变化的影响较大.图 4 给出了老哈河流域 1982~2005 年 5~7 月平均气温以及各植被类型 5~7 月平均降水年际变化趋势.对比图 3(c)和图 4 可以看出,老哈河流域 NDVI 在 1982~1999 年呈显著上升趋势,这是 1982~1999 年期间老哈河流域气温降低和降水增加共同作用的结果.2000 年老哈河流域夏季气温骤升和降水减少导致 NDVI 在 2000 年出现了最小值,2000 年后气温的降低和降水的升高使流域植被覆盖逐渐得到恢复.

表 3 不同植被类型夏季 NDVI 与气温、降水简单相关系数和偏相关系数(1982~2005 年)

相关项	简单相关系数				偏相关系数			
	林地	灌丛	草地	耕地	林地	灌丛	草地	耕地
NDVI 与 5~7 月平均气温	-0.655 *	-0.421 *	-0.454 *	-0.514 *	-0.545 *	-0.237	-0.275	-0.340
NDVI 与 6~8 月平均气温	-0.437 *	-0.448 *	-0.435 *	-0.444 *	-0.398	-0.365	-0.364	-0.385
NDVI 与 5~7 月平均降水	0.443 *	0.496 *	0.495 *	0.506 *	0.0976	0.368	0.348	0.325
NDVI 与 6~8 月平均降水	0.195	0.352	0.303	0.272	0.0081	0.223	0.168	0.192

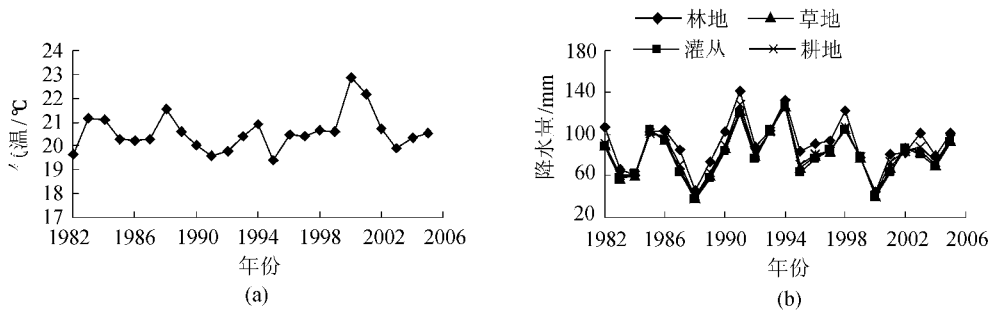


图 4 老哈河流域 1982~2005 年 5~7 月平均气温、降水年际变化趋势

Fig. 4 Inter-annual variation trends of average temperature and precipitation in Laoha River Basin from May to July, 1982–2005

3 结 论

本文利用 1982~2006 年 GIMMS/NDVI 数据,对老哈河流域不同植被类型 NDVI 年内和年际变化及其与气温、降水的关系进行了研究,并得到了如下结论:

- a. 老哈河流域 NDVI 年内变化均呈单峰型,年最大值出现在 8 月,年最小值出现在冬季. NDVI 和气温、降水之间均具有显著的正相关关系,且存在滞后现象,当滞后时间为 1 个月时,NDVI 与气温、降水的简单相关系数均达到了最大值.老哈河流域林地与灌丛、草地相比,其 NDVI 受前 1 个月降水影响相对较小.老哈河流域气温对植被年内生长的影响大于降水.
- b. 老哈河流域 NDVI 的年际变化表现为 1982~2006 年老哈河流域年均 NDVI 呈上升趋势,其中 20 世纪 90 年代老哈河流域植被覆盖水平最好.从季节来看,老哈河流域夏秋季 NDVI 增加显著,而春季没有明显的变化.从植被类型来看,林地 NDVI 增加趋势不显著,而灌丛 NDVI 增加趋势最显著,其次为草地和耕地.老哈河流域夏季气温升高会导致植被覆盖减少,降水增加有利于植被的生长.老哈河流域林地和耕地 NDVI 的年际变化主要是受到了气温年际变化的影响,而灌丛和草地 NDVI 的年际变化受前期降水变化的影响较大.2000 年老哈河流域夏季气温骤升和降水减少导致 NDVI 在 2000 年出现了最小值.

参考文献：

- [1] 齐述华,王长耀,牛铮,等.利用 NDVI 时间序列数据分析植被长势对气候因子的响应[J].地理科学进展,2004,23(3):91-99.(QI Shu-hua ,WANG Chang-yao ,NIU Zheng ,et al.SVI and VCI based on NDVI time-series dataset used to monitor vegetation growth status and its response to climate variables[J].Progress in Geography,2004,23(3):91-99.(in Chinese))
- [2] 郭锐,朱燕君,王介民,等.近 22 年来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J].植物生态学报,2008,33(2):319-327.(GUO Ni ,ZHU Yan-jun ,WANG Jie-min ,et al.The relationship between NDVI and climate elements for 22 years in different vegetation areas of northwest China[J].Journal of Plant Ecology,2008,33(2):319-327.(in Chinese))
- [3] 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.(XIN Zhong-bao ,XU Jiong-xin.Time-space evolution of vegetation response to climate in the loess plateau[J].Advances in Natural Science,2007,17(6):770-778.(in Chinese))
- [4] ICHII K ,KAWABATA A ,YAMAGUCHI Y.Global decadal changes in NDVI and its relationships to climate variables[C]//International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).Sydney [s. n.] 2001 :1818-1819.
- [5] 袁飞.考虑植被影响的水文过程研究[D].南京:河海大学,2006.
- [6] ASHRAF M ,LOFTIS J ,HUBBARD K G.Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks[J].Agricultural and Forest Meteorology,1997,84:255-271.
- [7] 孙荣恒.应用数理统计[M].北京:科学出版社,1998.
- [8] 刘顺忠.数理统计理论、方法、应用和软件计算[M].武汉:华中科技大学出版社,2005.
- [9] 陈世强,文莉娟,吕世华,等.黄河上游玛曲县植被指数与气候变化研究[J].冰川冻土,2007,29(1):131-136.(CHEN Shi-qiang ,WEN Li-juan ,LV Shi-hua. et al. Study of NDVI and climate change in Maqu county upstream of Yellow River[J].Journal of Glaciology and Geocryology,2007,29(1):131-136.(in Chinese))
- [10] 毛飞,卢志光,张佳华,等.近 20 年藏北地区 AVHRR NDVI 与气候因子的关系[J].生态学报,2007,27(8):3198-3205.(MAO Fei ,LU Zhi-guang ,ZHANG Jia-hua ,et al. Relations between AVHRR NDVI and climate factors in Northern Tibet in recent 20 years[J].Acta Ecologica Sinica,2007,27(8):3198-3205.(in Chinese))

Dynamic variation of NDVI in Laoha River Basin and its relationship with climatic factors

LIU Xiao-fan¹, REN Li-liang¹, YUAN fei¹, XU Jing², LIU Wei¹, LA Cheng-fang³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. Department of Hydrological Science , Nanjing University , Nanjing 210093 , China ;

3. Upper and Middle Yellow River Bureau , Yellow River Conservancy Commission , Lanzhou 730030)

Abstract : The annual and inter-annual variation of the NDVI of forest land , shrubs , grassland and farmland and its relationship with the air temperature and precipitation in Laoha River Basin were studied using unary linear regression analysis , Pearson correlation analysis and partial correlation analysis based on GIMMS/NDVI data , temperature data from the Chifeng meteorological station and precipitation data from 52 stations from 1982 to 2006. The test results show that the annual variation of NDVI is unimodal , and the maximum value occurs in August. The monthly NDVI exhibits a positive correlation with the air temperature and precipitation and shows a logging phenomenon. The influence of the precipitation on NDVI in the forest land is relatively smaller than that in the shrubs and grassland. The influence of the air temperature on the annual growth of vegetation is larger than that of the precipitation. The average inter-annual NDVI in the basin had an increasing tendency from 1982 to 2006 , and the most satisfactory performance of NDVI appeared in the 1990s. The NDVI during summer is negatively correlated with the air temperature in the corresponding and previous periods and positively correlated with the precipitation in the previous period. The increase of the air temperature in summer in Laoha River Basin results in a decrease of vegetation , and the increase of the precipitation supports the growth of vegetation.

Key words : NDVI ; temperature ; precipitation ; correlation analysis ; regression analysis ; Laoha River Basin