

## 宁夏盐池近年来植被与气候变化分析

陈晓光<sup>1</sup>, 李剑萍<sup>1</sup>, 李志军<sup>2</sup>, 陈葆德<sup>3</sup>, 韩颖娟<sup>1</sup>

(1. 宁夏防灾减灾重点实验室, 宁夏 750000; 2. 宁夏气象局宁夏 750000; 3. SAIC/NASA/GMAO)

**摘要:** 使用 1981 年到 2004 年的植被指数 (NDVI) 资料, 分析了盐池县植被指数的历史演变情况, 发现从 1981 年以来植被覆盖的状况在变好, 尤其是近 4a 的春季最明显, 植被指数在 0.2 ~ 0.3 级别的年平均面积较前 20a 增大了 1.9 倍 (887 km<sup>2</sup>)。统计分析发现年平均 NDVI 与降水量、气温、相对湿度呈正相关, 与蒸发量呈负相关, 并且植被覆盖增加对能见度改善的影响非常显著。从季节平均来看, 春季的降水与夏季的 NDVI、夏季降水与秋季的 NDVI 具有显著的正相关, 夏季降水是决定夏季和秋季以及全年植被覆盖的关键因子。

**关键词:** 植被; NDVI; 气候变化

**文章编号:** 1000-0933(2006)05-1516-07 **中图分类号:** P467, Q948, TP79 **文献标识码:** A

## Vegetation change in Yanchi of Ningxia and its relationship with climate change in recent years

CHEN Xiao-Guang<sup>1</sup>, LI Jian-Ping<sup>1</sup>, LI Zhi-Jun<sup>2</sup>, CHEN Bao-De<sup>3</sup>, HAN Ying-Juan<sup>1</sup> (1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention of Mitigation of Ningxia, Ningxia 750000, China; 2. Ningxia Meteorological Bureau, Ningxia 750000, China; 3. SAIC/NASA/Global Modeling and Assimilation Office, USA). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1516 ~ 1522.

**Abstract:** Interannual variations of vegetation and its relationship with climate variables in Yanchi County of Ningxia between 1981 and 2004 were examined by using the monthly GIMMS Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data and local meteorological records. Overall the annual mean of NDVI increased from 1981 to 2004, and the largest increase occurred in the latest four springs. Since 1981 the area with NDVI values in the 0.2 ~ 0.3 category gained about 1005 km<sup>2</sup>, i. e. an increase of 14%. The annual NDVI showed a positive correlation with precipitation, surface air temperature, relative humidity and visibility respectively, and a negative correlation with evaporation. Moreover there is a significant positive correlation between spring mean precipitation and following summer, fall and annual mean NDVI, suggesting that spring rainfall is a key factor to determine the distribution of vegetation in Yanchi.

**Key words:** vegetation; NDVI; climate change

盐池县位于宁夏回族自治区东部, 毛乌素沙漠南缘, 与陕西省、内蒙古自治区、甘肃省接壤, 总面积为 7130 km<sup>2</sup>, 其中耕地面积占 8.4%; 草原面积占 80%, 沙化草原面积占草原总面积的 50.1%。盐池县虽然草原资源丰富, 但是长期以来在发展农业经济时忽视了社会效益和生态效益, 使草原载畜量过大, 加之滥采、滥挖、滥垦、滥牧现象严重, 草原生态失去平衡, 草原退化日趋严重, 成为宁夏历史上发生沙尘暴最多的地方, 特别是在上世纪 60 年代、70 年代, 沙尘暴的日数和强度达到了气象记录的峰值<sup>[1-3]</sup>。

经过长期的科学实验和治理<sup>[4-6]</sup>, 特别是盐池 2001 年被列入退耕还林试点县后, 全县境内实行封山禁

**基金项目:** 国家科技部公益类研究资助项目 (2004DIB3J121)

**收稿日期:** 2005-09-06; **修订日期:** 2006-02-10

**作者简介:** 陈晓光 (1955 ~), 男, 宁夏中卫人, 硕士, 研究员, 主要从事气候研究. E-mail: chenxg11@126.com

**致谢:** 张智、林莉、亢艳丽参加了资料统计工作, 表示感谢。

**Foundation item:** The project was supported by Social Service project of the ministry of science and technology, China (No. 2004DIB3J121)

**Received date:** 2005-09-06; **Accepted date:** 2006-02-10

**Biography:** CHEN Xiao-Guang, Master, Professor, mainly engaged in weather and climate research. E-mail: chenxg11@126.com

牧、封山育林草。马红彬等<sup>[7]</sup>在2001年和2003年对盐池县天然草地围栏内外植被特征进行了实地调查,发现天然草地经封育后,草地植被盖度、高度、产量和密度均有不同程度的增加,生态环境得到改善。但是大面积植被恢复的程度如何,当地植被与气候变化之间有怎样的联系等问题,显然靠人工调查很难全面客观和定量的回答。经过较长时间的卫星观测和资料的积累,使得人们现在研究和回答这些问题成为可能。研究表明卫星观测的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index 简称为 NDVI,下同)与绿色叶片生物量、叶面积指数、植物光合能力、总的干物质积累及年净初级生产力等均有很好的相关性,可用于表征植被盖度的好坏<sup>[8,9]</sup>。颜长珍<sup>[10]</sup>等使用宁夏1996年和2000年的TM影像资料,分析得出沙地占宁夏总土地面积的比例由1996年的6.533%减少到2000年的6.054%,平均每年净减少0.12%,其中盐池县的沙地面积4a减少了2795/hm<sup>2</sup>。祁元<sup>[11]</sup>等使用盐池县(1986年、1996年、2000年)3期的遥感TM影像等资料,得出盐池县荒漠化土地面积有所减小,但程度在加重。显然文献中使用的资料年限较短<sup>[10,11]</sup>,所得结论有一定的局限性。本文使用24a逐月的NDVI观测资料和气象资料,较深入的研究了24a来盐池县境内植被指数数值、面积的变化和气候的变化以及它们之间的相互关系,并试图科学定量的回答上述问题。

## 1 资料

本研究主要使用的资料是1981年到2003年AVHRR月平均NDVI,取自美国马里兰大学GIMMS(Global Inventory Modeling and Mapping Studies)8km×8km分辨率的全球数据<sup>[12]</sup>。这个数据集中,对云、太阳高度角、仪器视场角、气溶胶的影响进行了校正。2004年的NDVI资料取自NASA Land Processes Distributed Active Archive Center的MODIS月资料。NDVI的理论值在-1到1之间,其中-0.1为水体,0代表裸露地表,NDVI值从大于0到1代表了植被从疏到密的分布。在GIS支持下从全球数据中提取了盐池县的NDVI指数。其他气象资料,如降水量、气温、相对湿度、大气能见度和蒸发量全部取自宁夏气象档案馆。从2002年开始的4月到10月,蒸发量的观测采用大型蒸发皿,为了便于分析比较对这些资料进行了订正。

## 2 研究结果与讨论

### 2.1 植被变化分析

**2.1.1 植被指数的年际变化** 图1给出了盐池县1982年到2004年的植被指数年平均直方图和由线性回归得到的趋势线。从5a平均值来看,1982年到1985年的平均值最小,1986年到1995年平均值变化很小,1996年到2000年略有上升,2001年到2004年是近20a来最高的。从年际变化来看,盐池县的植被指数在波动起伏中增大,1982年最差,其次是2000年和2001年。这里需要指出的是2000年植被指数为0.13,2002年为0.16,3a中增加了23%,增幅在23a中最大,这可能与2002年盐池县全境的封山禁牧有关。从线性趋势来看,平均每年的植被指数增加为 $4.6 \times 10^{-4}$ 。

用5点平滑方法滤去一些短期气候波动对NDVI的影响,得到趋势NDVI,代表了NDVI随生态环境、长期气候变化及其综合效应的影响。可以看出从2002年开始近3a处于上升趋势。

**2.1.2 植被指数的季节变化** 图2给出了盐池县四季的植被指数变化情况和它们的线性变化趋势。所有的线性变化趋势都为正值即植被都在增加,其中夏季最大为 $6.28 \times 10^{-4}/a$ ,其次是春秋季分别为 $4.51 \times 10^{-4}/a$ 和 $4.75 \times 10^{-4}/a$ ,冬季最小为 $2.03 \times 10^{-4}/a$ 。如果从时间序列减掉线性趋势(即对时间序列去倾处理),可以看出春季植被指数距平值在2000年以前都是正负相间出现,从2001年之后的4a都是连续正距平,这是过去所没有的。夏季植被指数24a来明显增加,最差的年份是1982年、2000年、2001年,最好的年份是1986、1988、

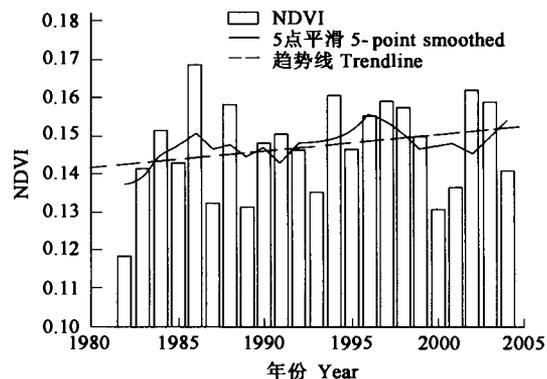


图1 盐池县NDVI年平均直方图和线性趋势

Fig.1 Annual mean of NDVI and its trend in Yanchi

1998、2002。秋季植被指数也是增加的趋势,最差的年份是1982、1989、2000年,最好的年份是1994年。冬季植被指数最差的年份是1984年、1988年,最好的年份是1985年。

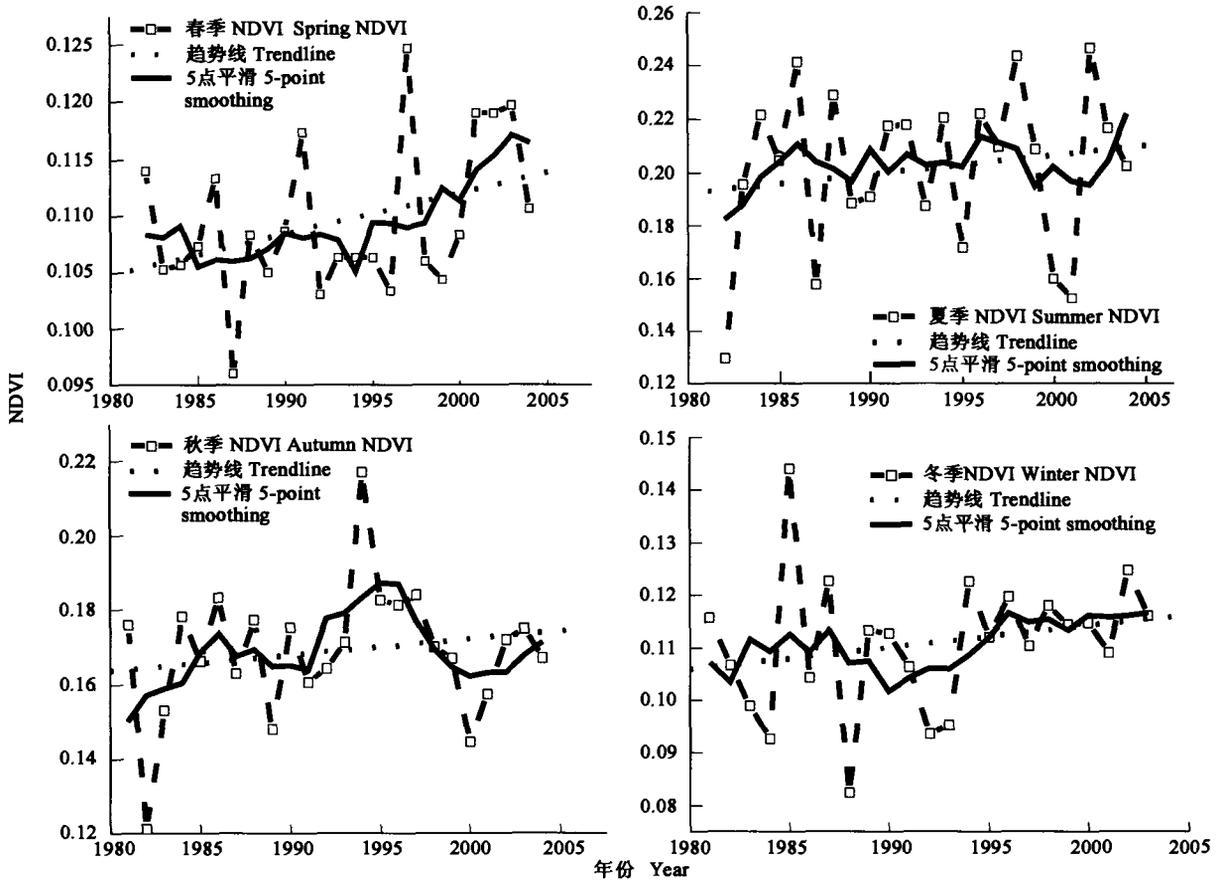


图2 盐池县四季 NDVI 及趋势变化曲线图

Fig.2 Seasonal means of NDVI from 1982 to 2004 in Yanchi

同样用5点平滑方法滤去一些短期气候波动对各季NDVI的影响,得到各季趋势NDVI,代表了NDVI随生态环境、长期气候变化及其综合效应的影响。可以看出23a来春季NDVI在波动中上升,尤其是2000年以来上升的很明显;夏季23a来波动较大,2001年后上升明显;秋季从1981到1996年在波动中上升,1996~2000年明显下降,2000年以后又明显升高;冬季从1990年开始缓慢上升。可以说从四季NDVI的趋势变化看,2000年以后存在较明显的上升趋势,进一步说明近3a来盐池县植被在好转。

**2.1.3 植被指数的年变化** 图3给出了盐池县24a植被指数的月平均曲线(1~6月份为23a平均)。可以看出,植被指数从4月份开始增大,8月份达到极大值,9月份开始下降,1月达到较低值,2月份略有升高,4月份达到全年最低值。计算的季节植被指数的相关结果也表明,春季的NDVI与夏季、秋季和年的NDVI是弱的正相关,而夏季、秋季NDVI与年的NDVI相关系数分别达到了0.56和0.87,显著性水平为0.01,说明夏季植被好秋季和全年的植被也会好的可信度达到了99%,说明夏秋两季的植被状况基本决定了盐池县全年的植被

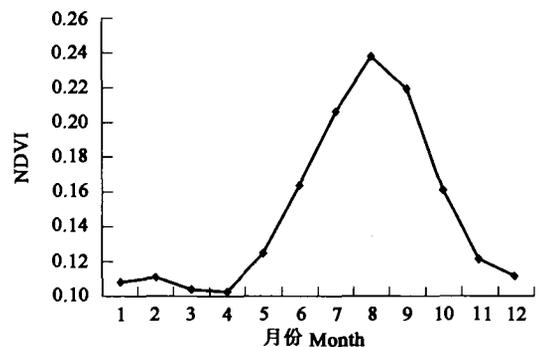


图3 盐池县多年平均 NDVI 的月变化

Fig.3 24-year averaged monthly NDVI

分布状况。

**2.1.4 植被指数的面积变化** 图 4a 给出了从 1981 年到 2004 年 4 到 6 月每 5 年盐池县不同级别的植被指数面积。可以看出,植被指数在 0 到 0.1 级别上的面积是减少的,在 0.1 到 0.2 级别上变化较平缓,植被指数面积在 0.2 到 0.3 级别上,从 1981 到 2000 年在 352 ~ 516 km<sup>2</sup> 之间,2001 年到 2004 年为 1350 km<sup>2</sup>,比前 20a 的平均值 463 km<sup>2</sup> 增大了 887 km<sup>2</sup>,面积增大的非常明显,这说明近 4a 盐池县春季的植被状况明显转好。

图 4b 给出了 7 月到 9 月的植被指数面积。NDVI 在 0.1 到 0.2 级别上的面积,从 1986 年到 2000 年是持续减少,2001 年到 2004 年比前 5a 增加了 475km<sup>2</sup>。NDVI 在 0.2 到 0.3 级别上的面积,从 1981 年到 1995 年的平均值是 5934km<sup>2</sup>,而 1996 年到 2004 年的平均值是 6740 km<sup>2</sup>,后者比前者增大了 806 km<sup>2</sup>。NDVI 在 0.3 级别上的面积,只有 1991 年到 1995 年是比较大,其他年份都比较小,说明盐池县植被转好的程度还停留在较低水平上,近 4a 仅仅是植被的恢复性增长。

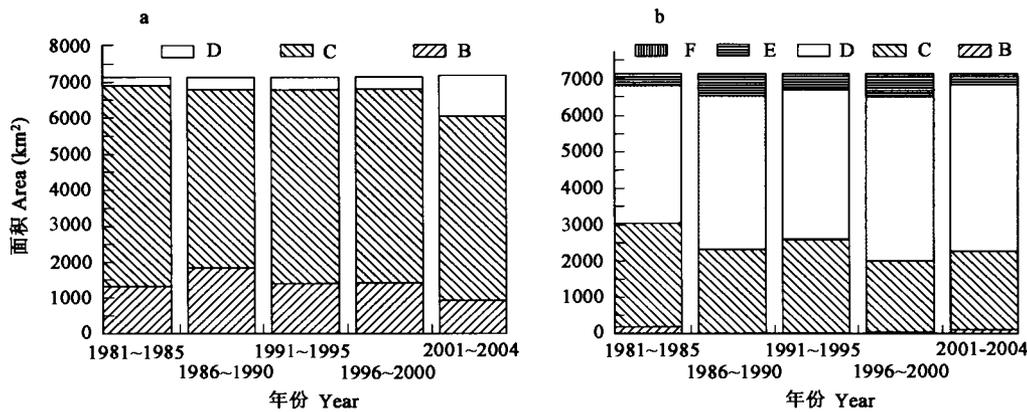


图 4 盐池县不同植被指数面积图(a.4~6月,b.7~9月)

Fig.4 5-year mean of area with different NDVI level (a) April to June (b) July to September

B ~ F 为植被指数等级 B ~ F is NDVI level(B:0 ~ 0.1, C:0.1 ~ 0.2, D:0.2 ~ 0.3, E:0.3 ~ 0.4, F:0.4 ~ 0.5)

**2.2 植被与气候的变化**

**2.2.1 降水量与植被指数的关系** 盐池县降水量与植被指数的隔季相关值很大(见表 1)。春季降水量与夏季 NDVI 的相关值为 0.504,通过了显著性水平 0.05 的检验。夏季、秋季的降水量与秋季、冬季 NDVI 的相关值分别达到了 0.79 和 0.62,并且都通过了 0.01 显著性水平的检验,即置信度水平达到了 99%。而冬季降水量与冬季的 NDVI 相关值为 -0.5,显著性水平也通过了 0.05 的检验。这是由于冬季降水主要为降雪,雪量越大植被被覆盖的就越多。另外年降水量与夏、秋、冬的 NDVI 相关都很高,并且年降水量与年 NDVI 值的相关系数达到了 0.6,显著性水平为 0.01,这一方面说明夏秋季的植被决定了全年的植被分布状况,另一方面也说明盐池县的降水主要在夏秋季。

表 1 盐池县降水量与植被指数各季相关

Table 1 Correlation coefficients between seasonal mean NDVI and precipitation

项目 Item	春季降水 Spring precipitation	夏季降水 Summer precipitation	秋季降水 Autumn precipitation	冬季降水 Winter precipitation	年降水量 Annual precipitation
春季 NDVI Spring NDVI	0.046	-0.051	0.087	-0.123	0.013
夏季 NDVI Summer NDVI	0.504 *	0.322	-0.178	0.109	0.481 *
秋季 NDVI Autumn NDVI	-0.083	0.792 **	-0.180	-0.215	0.501 *
冬季 NDVI Winter NDVI	0.089	0.138	0.618 **	-0.498 *	0.389
年 NDVI Annual NDVI	0.339	0.544 **	-0.006	-0.163	0.620 **

\*\* 表示显著性水平通过 0.01 检验(双侧检验)Passing the level 0.01 significance test (2-tailed); \* 表示显著性水平通过 0.05 检验(双侧检验)

Passing the level 0.05 significance test (2-tailed)

**2.2.2 气温与植被指数的关系** 盐池县的春季气温与春季植被指数(见表 2)的相关系数为 0.36,显著性水平通过了 0.05 的检验,说明春季气温回升快,植被也恢复快。夏季、秋季的气温与同期的植被指数都是弱的负相关,说明气温越高植被越差。由于盐池县位于毛乌素沙漠地区,植物生长所需的水分全部来自大气降水,而多年平均降水量只有 275mm,显然温度越高对植被的蒸腾作用越强,当水分不能保证时植被必然会越来越差。冬季气温与植被指数是弱的正相关,说明冬季气温偏高有利于植被状况的改善。

表 2 盐池县气温与植被指数的相关

Table 2 Correlation coefficients between seasonal mean NDVI and temperature

项目 Item		春季温度 Spring temperature	夏季温度 Summer temperature	秋季温度 Autumn temperature	冬季温度 Winter temperature
春季 NDVI	Spring NDVI	0.363*	0.151	-0.359*	0.195
夏季 NDVI	Summer NDVI	-0.069	-0.226	0.063	0.127
秋季 NDVI	Autumn NDVI	-0.022	-0.186	-0.056	0.139
冬季 NDVI	Winter NDVI	0.275	0.369*	0.106	0.228

\* 表示显著性水平通过 0.05 检验(双侧检验) Correlation is significant at the level 0.05 (2-tailed)

由 2.2.1 和 2.2.2 中的研究可看出宁夏盐池 NDVI 与降水的相关系数比 NDVI 与气温的相关系数大,这与李本纲<sup>[13]</sup>等人的研究结果有所不同,这主要是李本纲等人研究范围大,空间分辨率较低所致。

**2.2.3 蒸发量与植被指数的关系** 盐池的春季蒸发量与夏季植被指数,以及夏季蒸发量与夏秋两季的 NDVI 都是显著的高负相关(见表 3),说明春夏季蒸发量小,夏秋季和全年的植被指数就比较大,它们的显著性水平为 0.01,置信度达到了 99%。图 5 给出了 1981 年到 2004 年的盐池县春季蒸发量与夏季植被指数的曲线图,明显可见,两者的变化为反位相,相关系数为 -0.69。这进一步说明盐池县当春季蒸发量小时,夏季植被状况就比较好,反之亦然。

表 3 盐池县植被指数与蒸发量各季相关

Table 3 Correlation coefficients between seasonal mean NDVI and evaporation

项目 Item		春季 Spring evaporation	夏季 Summer evaporation	秋季 Autumn evaporation	冬季 Winter evaporation	年平均 Annual evaporation
春季 NDVI	Spring NDVI	0.007	0.111	-0.196	0.035	0.004
夏季 NDVI	Summer NDVI	-0.690**	-0.596**	0.245	-0.048	-0.575**
秋季 NDVI	Autumn NDVI	-0.105	-0.656**	-0.008	-0.114	-0.420*
冬季 NDVI	Annual NDVI	0.114	-0.028	-0.205	0.323	0.016
年 NDVI	Winter NDVI	-0.472*	-0.637**	0.073	0.018	-0.540**

\*\* 表示显著性水平通过 0.01 检验(双侧检验) Correlation is significant at the level 0.01 (2-tailed), \* 表示显著性水平通过 0.05 检验(双侧检验) Correlation is significant at the level 0.05 (2-tailed)

**2.2.4 相对湿度与植被指数的关系** 表 4 给出了植被指数与相对湿度的相关系数。可以看出高相关值都是正的,与表 3 对应季节的相关符号正好相反,而且显著性水平都通过了 0.01 的检验,置信度为 99%。说明春夏季的相对湿度大时,夏秋季和全年的植被指数也大。

图 6 给出了 1981 年到 2004 年年植被指数与夏季相对湿度的曲线图,由图可见,两者的一致性非常好,说明夏季的相对湿度比较大时全年的植被状况就比较好,夏季的相对湿度比较小时全年的植被状况就比较差。

**2.2.5 植被变化与能见度的关系** 表 5 中的 N11 代表 1km 到 10km 能见度出现的频率,即浮沉和扬沙天气出现的频率,N12 代表 10km 到 20km 能见度出现的频率。可以看出,春季的 NDVI 与全年各季的 1km 到 10km 能见度都是负相关,而与全年各季 10km 到 20km 的能见度频率都是正相关,特别是与夏季 10km 到 20km 能见度

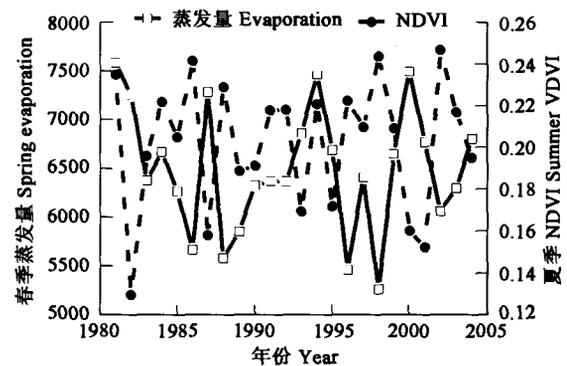


图 5 盐池县春季蒸发与夏季 NDVI 变化曲线

Fig. 5 Time series of spring evaporation and summer NDVI

表 4 盐池县植被指数与相对湿度各季相关

Table 4 Correlation coefficients between seasonal mean NDVI and relative humidity

项目 Item		春季 Spring humidity	夏季 Summer humidity	秋季 Autumn humidity	冬季 Winter humidity	年平均 Annual humidity
春季 NDVI	Spring NDVI	0.135	0.026	0.069	-0.011	0.220
夏季 NDVI	Summer NDVI	0.603**	0.577**	-0.360	-0.064	0.406*
秋季 NDVI	Autumn NDVI	0.004	0.568**	-0.181	-0.189	0.036
冬季 NDVI	Winter NDVI	-0.107	-0.105	0.239	-0.019	-0.093
年 NDVI	Annual NDVI	0.401	0.578**	-0.234	-0.122	0.299

\*\*表示显著性水平通过 0.01 检验(双侧检验)Correlation is significant at the level 0.01(2-tailed), \*表示显著性水平通过0.05检验(双侧检验), Correlation is significant at the level 0.05(2-tailed)

频率的相关系数通过了 0.01 的显著性水平检验,与秋季的和全年的都通过了 0.05 的显著性水平检验。从统计上来看他们的可信度分别达到了 99%和 95%,说明春季植被越好,全年各季的浮尘、扬沙天气越少,能见度好的天气越多。

图 7 给出了春季 NDVI 与夏季、秋季 10km 到 20km 能见度频率的距平曲线图,可以看出,它们的变化趋势非常吻合。夏季、秋季 NDVI 与各季 1km 到 10km 和 10km 到 20km 能见度频率都是负相关(见表 5),但是与 1km 到 10km 能见度频率的负相关值比较大,其中夏季 NDVI 与春季、冬季的相关系数的显著性水平通过了 0.05 的检验,秋季 NDVI 与冬季的相关系数的显著性水平通过了 0.01 检验。这也说明夏季、秋季的植被越好,冬季的浮尘、扬沙天气越少。

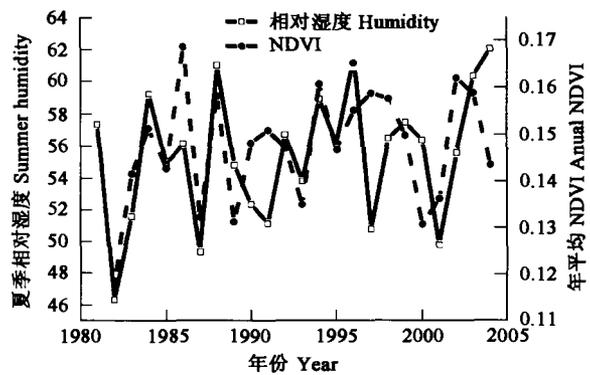


图 6 盐池县夏季相对湿度与年 NDVI 变化曲线

Fig.6 Time series of summer relative humidity and annual NDVI

表 5 盐池县各季 NDVI 与能见度频率相关表

Table 5 Correlation coefficients between seasonal mean NDVI and visibility frequency

NDVI	春季 N11	夏季 N11	秋季 N11	冬季 N11	春季 N12	夏季 N12	秋季 N12	冬季 N12	年 N12
	Spring N11	Summer N11	Autumn N11	Winter N11	Spring N12	Summer N12	Autumn N12	Winter N12	Annual N12
春季 Spring NDVI	-0.261	-0.246	-0.126	-0.087	0.238	0.536(**)	0.512(*)	0.317	0.441(*)
夏季 Summer NDVI	-0.415(*)	-0.342	-0.343	-0.414(*)	-0.193	-0.018	-0.004	-0.043	-0.062
秋季 Autumn NDVI	-0.281	-0.014	-0.242	-0.526(**)	-0.508(*)	-0.099	-0.115	-0.196	-0.235
冬季 Winter NDVI	0.008	-0.022	0.013	-0.161	0.259	0.149	0.191	-0.027	0.144

\*\*表示显著性水平通过 0.01 检验(双侧检验)Correlation is significant at the level 0.01(2-tailed), \*表示显著性水平通过 0.05 检验(双侧检验)Correlation is significant at the level 0.05(2-tailed)

### 3 结论

通过对盐池县 1981~2004 年卫星遥感的植被指数和地面气象观测数据的分析,可以得出如下主要结论:

(1) 盐池县的植被状况 24 年来尽管有波动起伏,但是整体在持续转好。4 月到 6 月植被指数在 0.2 到 0.3 的面积,1981 到 2000 年在 352~516 km<sup>2</sup> 之间,2001 年到 2004 年为 1350 km<sup>2</sup>,比前 20a 的平均 463 km<sup>2</sup> 增大了 887km<sup>2</sup>,面积增大的非常明显。7 月到 9 月 NDVI 在 0.1 到 0.2 级别上的面积,从 1986 年到 2000 年是持续减少,2001 年到 2004 年比前 5a 增加了 475km<sup>2</sup>。NDVI 在 0.2 到 0.3 级别上的面积,前 15a 的面积平均值是 5934km<sup>2</sup>,而后 14a 的面积平均值是 6740 km<sup>2</sup>,后者比前者增大了 806 km<sup>2</sup>。这说明近年来盐池县生态环境建设和全境封山禁牧、植被恢复的成效是显著的。

(2) 降水量与植被指数存在着明显的年相关和隔季相关。年降水量与年植被指数的相关,春季降水量与夏季植被指数的相关,夏季、秋季降水量与秋季、冬季植被指数的相关性都非常高,说明降水量是影响盐池县植被分布状况的关键性因子。

(3) 气温与植被指数四季的相关符号不同。冬季、春季是正相关,夏季、秋季是负相关,说明冬季、春季气温偏高有利于植被生长,夏季、秋季气温偏高在年平均降水量只有 275mm 的盐池是不利于植被生长的。

(4) 蒸发量与植被指数是负相关。当春夏季蒸发量小时,夏秋季和全年的植被指数就比较大,当蒸发量比较大时,植被指数比较小。

(5) 相对湿度与植被指数是正相关。当春夏季的相对湿度比较大时夏秋季的和全年的植被指数都比较大,春夏季相对湿度小时夏秋季的和全年的植被指数也都比较小。但是植被状况对相对湿度有明显的反馈作用,特别是近 5a 似乎表现的更清楚。

(6) 春季植被指数与能见度的关系非常密切。春季植被指数越高夏季、秋季和年的 10~20km 能见度出现的频率就越少;夏秋季的植被指数越高全年各季的浮尘、扬沙天气出现的频率就越少。

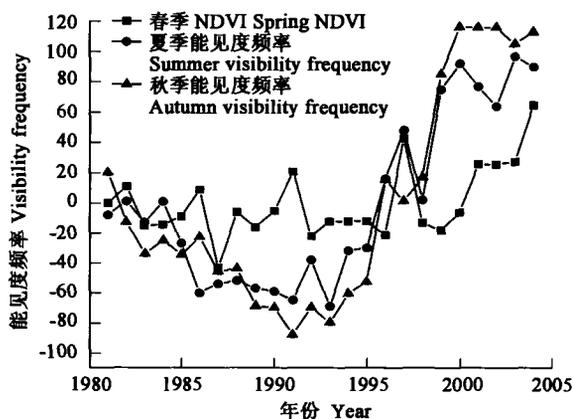


图 7 盐池县春季 NDVI 与夏秋季 10km 到 20km 能见度频率变化图

Fig.7 Time series of spring NDVI and summer and autumn visibility frequency of 10~20km

#### References:

- [1] Liu L C, An X Q, Li X R, et al. Characteristics of Sand—Dust Storm in Yanchi County, Ningxia Province. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(1): 33~37.
- [2] Ma L w, Zhao G P, Chen N, et al. Statistical Analysis on Characteristics of Sandstorm Occurred in Yanchi of Ningxia. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(2): 217~222.
- [3] Zhao G P, Chen N, Yang J L, et al. An Analysis on The Relationship Between The Ecological Change and Sandstorm in The Drought Zone of Middle Ningxia. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2004, 15(4): 477~484.
- [4] Liu M. Present Situation, Causes and Countermeasures of Sandy Desertification in Yanchi Grassland, *Pratacultural Science*, 2002, 19(6): 5~6.
- [5] Zhang K B, Wang J L, Li R, Hou R P. Study on the Land Desertification and Its Control in the Crop-grazing Crisscross Area of China: Taking Yanchi County in Ningxia Hui Autonomous Region as Example. *Science of Soil and Water Conservation*, 2003, 1(1): 85~90.
- [6] Zhang K B, Li R, Hou R P. Study on Plant Diversity of Different Control Measures of Desertification in Yanchi County, Ningxia. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2(4): 66~72.
- [7] Ma H B, Wang N. A Study on Effects of Enclosing on Fencing Natural Grassland in Yanchi County of Ningxia. *Sichuan Caoyuan*, 2004, 12: 25~26.
- [8] Tucker C J, Vanpraet C I, Sharman M J, and van Ittersum G. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980~1984. *Remote Sens. Environ*, 1985, 17: 233~249.
- [9] Gramer W, et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results. *Global Change Biol.*, 1999, 5: 1~15.
- [10] Yan Ch Zh, Wang Y M, Feng Y S, et al. Macro-scale Survey and Dynamic Studies of Sandy Land in Ningxia by Remote Sensing. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(2): 132~135.
- [11] Qi Y, Wang Y M, Wang J H, et al. Analysis on Desertification Dynamics based on Remote Sensing and GIS—Exemplified in Yanchi County, Ningxia. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(3): 275~279.
- [12] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, Slayback D, Pak E W, Mahoney R, Vermote E and El Saleous N. 2005. An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing* (in press).
- [13] Li B G, Tao S. Correlation between AVHRR NDVI and climate factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 898~902.

#### 参考文献:

- [1] 刘立超, 安兴琴, 李新荣, 等. 宁夏盐池沙尘暴特征分析. *中国沙漠*, 2003, 23(1): 33~37.
- [2] 马力文, 赵光平, 陈楠, 等. 宁夏盐池地区沙尘暴发生特征的统计分析. *中国沙漠*, 2004, 24(2): 217~222.
- [3] 赵光平, 陈楠, 杨建玲, 等. 宁夏中部干旱带生态变化与沙尘暴发生的关系分析. *应用气象学报*, 2004, 15(4): 477~484.
- [4] 刘满仓. 盐池县草原沙漠化的现状、成因与对策. *草业科学*, 2002, 19(6): 5~6.
- [5] 张克斌, 王锦林, 侯瑞萍, 等. 我国农牧交错区土地退化研究——以宁夏盐池县为例. *中国水土保持科学*, 2003, 1(1): 85~90.
- [6] 张克斌, 李瑞, 侯瑞萍, 等. 宁夏盐池县不同荒漠化治理措施植物多样性研究. *中国水土保持科学*, 2004, 2(4): 66~72.
- [7] 马红彬, 王宁. 宁夏盐池县草原围栏封育效果. *四川草原*, 2004, 12: 25~26.
- [10] 颜长珍, 王一谋, 等. 宁夏沙地遥感宏观动态研究. *中国沙漠*, 2003, 23(2): 132~135.
- [11] 祁元, 王一谋, 王建华, 等. 基于遥感和 GIS 技术的荒漠化动态分析. *中国沙漠*, 2003, 23(3): 275~279.
- [13] 李本纲, 陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析. *生态学报*, 2000, 20(5): 898~902.