

陇东地区植被指数 NDVI 与降水的关系研究

梁 芸^{1,2}, 金文岩³, 郭 锐¹, 刘世祥⁴, 韩 涛²

(1. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020;
3. 普兰店市气象局, 辽宁 普兰店 116200; 4. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 利用 1982~2003 年 NOAA/AVHRR(advanced very high resolution radiometer)资料及同期的降水资料,对甘肃省陇东地区半干旱区环县和半湿润区西峰的植被指数 NDVI 与不同时间尺度的标准化降水指数 SPI 进行相关分析。结果表明:在植被生长季,植被对降水的敏感程度半干旱区大于半湿润区;大多数月 NDVI 与 3-SPI 的相关系数较高,而与 1-SPI 较低;半干旱区和半湿润区 NDVI 的年变化幅度分别为: -12%~10%和 -10%~13%,半干旱区 NDVI 的年变化与 SPI 变化趋势吻合较好,显著相关 ($P<0.05$),而在半湿润区二者并不显著;半干旱区的年 NDVI 与四季降水均显著相关 ($P<0.05$),而半湿润区年 NDVI 只与冬春季的降水显著相关 ($P<0.05$)。

关键词: 植被指数; 标准化降水指数; 陇东

中图分类号: S161.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0247-05

地表植被类型的时空分布既是对长期气候适应的结果,又是对短期的气候波动产生的极为敏感响应,有关气候变化与地表植被变化及二者相互关系的研究主要集中在这对矛盾体上^[1]。随着全球变化研究的深入,植被对气候变化的响应方式及其程度已成为全球变化研究的热点。利用遥感数据提取研究区域植被信息的方法,已成为当前区域生态建设、监测等的重要手段^[2]。在遥感影像构造的各类植被指数中,归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)常用来描述植被生产力^[3]、叶面积指数(LAI)^[4]、植被生长状况^[5,6]、环境的监测等^[7~13],应用最为广泛。目前,针对 NDVI 与气候要素(温度、降水)的关系研究^[14~16]多是基于 NDVI 对月降水积累的响应关系,未考虑降水分布的时空差异,因而不能进行时空的对比研究,不能反映区域之间的干旱情况。降水分布是一种偏态分布,由于不同时间、不同地区降水量变化幅度很大,简单的降水积累很难在不同时空尺度上相互比较。标准化降水指标(standardized precipitation index, SPI)就是根据降水累积频率分布来反映不同时间和地区的降水特点,它消除了降水量分布的时空差异,因而在与 NDVI 的关系研究中,能够以同一指标来描述不同区域降水差异及其对植被生长的影响,使得用同一指标反映不同时间尺度和不同区域的水资源状况成为可能^[17,18],其大小也是描述某一区域气候及其变化的

重要参量。在计算 SPI 的过程中,将实测的 1、2、3、6、9、或 12 个月的降水总量首先拟合成 γ 概率分布,然后用高斯函数将 γ 概率分布转换为标准正态分布,并给出每个时间刻度上的 SPI 值。本文试图通过 22 年的 AVHRR(advanced very high resolution radiometer)/NDVI 及同期的降水资料分析,揭示陇东黄土高原植被指数 NDVI 对不同时间尺度的标准化降水指数 SPI 的响应规律。

1 研究区概况

甘肃省东北部的平凉、庆阳地区统称“陇东”,介于 105°20′~108°42′E 和 34°54′~37°09′N 之间,是典型的雨养农业区。地势自东南向西北升高,海拔高度在 885~2 858 m,属温带半干旱半湿润大陆性季风气候。按降水量从北到南分为两个气候区(图 1)。降水不均所形成的干旱,是陇东主要自然灾害,素有“十年九旱”之说^[19]。农作物以冬小麦为主,其次是玉米。

环县地处陇东的最北部,北临毛乌素沙漠,年降水量相对最少,在 400 mm 以下,是典型的半干旱农牧交错区;西峰地处陇东中南部、座落在有“天下黄土第一塬”之称的董志塬腹地,年降水 400~600 mm,区内地势平坦,土壤肥沃,是陇东主要的农业区。本文选择分别位于半干旱区和半湿润区的环县和西峰两气象站及周边地区,作为研究区。

收稿日期: 2009-06-24

基金项目: 兰州干旱气象研究所干旱气象科学研究基金(IAM200815); 甘肃省气象局科研项目(2008-08)

作者简介: 梁 芸(1975-),女,宁夏中卫人,工程师,主要从事农业气象与遥感应用研究。E-mail: ly2432@sina.com。

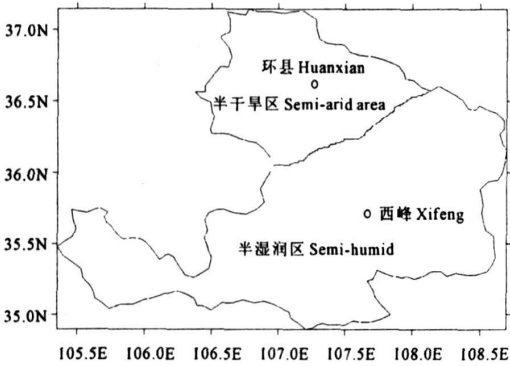


图 1 研究区的地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

2 数据来源及处理方法

2.1 数据来源

本文采用的遥感数据为 NASA/GIMMS 半月合成的 8km 分辨率的 NDVI 数据集, 时间为 1982~2003 年。该数据集由美国 NASA-Godard 空间飞行中心制作, 采用最大值合成法合成半月植被指数, 考虑了辐射校正、交叉定标、卫星漂移校正等。气象数据为 1982~2003 年的环县、西峰气象站的月降水资料, 由甘肃省气象局资料室提供。

2.2 数据处理方法

2.2.1 卫星数据处理 为了进一步消除数据中残留的云、大气和太阳高度角等因素的影响, 上下两个半月 NDVI 采用最大值合成, 作为该月的 NDVI, 在 ENVI 软件的支持下, 以各气象站点所在像元为中心求取 9×9 像元 NDVI 平均值作为该站点的 NDVI 值, 代表此站点及周边的植被指数状况。据此, 获得研究区各站点 1982~2003 年逐月 NDVI 数据序列。

2.2.2 降水数据处理 标准化降水指数 SPI 的基本思想是: 由于不同时间、不同地区降水量变化幅度很大, 所以在降水分析中, 采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化, 然后再经正态标准化求得 SPI 值。假设某一时段的降水量为 x , 则其 Γ 分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0) \quad (1)$$

其中, 函数 $\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty x^{\gamma-1} e^{-x} dx$, $\beta > 0$, $\gamma > 0$ 分别为尺度和形状参数, β 和 γ 可用极大似然估计方法

求得。

对于某一年的降水量 x_0 , 其概率为:

$$P(x < x_0) = \int_0^{x_0} f(x) dx \quad (2)$$

标准化降水指数 SPI 是将偏态的分布转化为标准正态分布的结果。降水量为 x_0 的 SPI 指数近似解如下:

$$Z = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{((d_3 t + d_2)t + d_1)t + 1.0} \quad (3)$$

其中: $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2}}$ 。当 $P > 0.5$ 时, $P = 1.0 - P$, $S = 1$; 当 $P \leq 0.5$ 时, $S = -1$ 。 c_i 和 d_{i+1} ($i = 0, 1, 2$) 为系数。

据此, 获得 1982~2003 年的 1、2、3、6、9 及 12 个月尺度的标准化降水指数(记为 1-、2-、3-、6-、9-和 12-SPI)。

3 结果分析

3.1 NDVI 与 SPI 的相关性分析

对 1982~2003 年逐月 NDVI 序列与同期的 1-SPI、2-SPI、3-SPI、6-SPI、9-SPI 及 12-SPI 序列分别进行相关分析, 得到逐月 NDVI 与 1-、2-、3-、6-、9-和 12-SPI 的相关系数(表 1)。可以看出半干旱区环县和半湿润区的西峰植被指数 NDVI 与标准化降水指数 SPI 的相关系数随时间和 SPI 的尺度在改变。环县 11 月到翌年 4 月植被指数 NDVI 与降水的关系较低, 均不能通过显著性检验。在 5~10 月, 除 1-SPI, 其它尺度的 SPI 与 NDVI 显著相关, 且 7~10 月 NDVI 与 3-SPI 相关系数最高。西峰 11 月到翌年 3 月植被指数 NDVI 与降水的关系较低, 从 4 月开始植被与降水就显著相关, 但在 5~10 月 NDVI 和 SPI 的相关系数大多没有环县的高, 说明陇东中南部植被的返青期较北部早, 且半干旱区植被对降水的敏感程度大于半湿润区。总体看来, 在植被的生长季节大多数 NDVI 与 3-SPI 的相关最大或者是第二高值, 与 1-SPI 的相关系数相对较小。说明降水对植被的影响不是瞬时就出现的, 而是有一定滞后性。有研究结果也证实了 NDVI 与两三个月的降水有很好的相关关系^[20]。这种滞后现象可以解释为降水到达植物根部, 被根吸收并输送到叶部, 并影响到叶的色素和结构所需要的时间。

表 1 NDVI 与 SPI 的关系
Table 1 Relationship between NDVI and SPI

地点 Site		1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
环县 Huanxian	SPI01	-0.626	-0.302	-0.304	0.090	0.551*	0.313	0.134	0.536*	0.170	0.342	-0.174	-0.323
	SPI02	-0.542	-0.570	-0.236	0.054	0.697*	0.680*	0.459*	0.630*	0.729*	0.410*	-0.004	-0.399
	SPI03	-0.371	-0.617	-0.308	0.063	0.677*	0.671*	0.733*	0.725*	0.768*	0.570*	0.360	-0.089
	SPI06	-0.207	-0.193	0.039	0.083	0.672*	0.690*	0.700*	0.673*	0.713*	0.564*	-0.010	0.299
	SPI09	-0.038	-0.183	0.185	0.361	0.843*	0.70	0.697*	0.676*	0.696*	0.535*	0.011	0.268
	SPI12	-0.064	-0.153	0.050	0.432*	0.732*	0.782*	0.602*	0.658*	0.704*	0.524*	0.006	0.275
西峰 Xifeng	SPI01	-0.146	-0.454	-0.043	0.461*	0.334	0.167	0.328	0.230	-0.051	0.295	0.082	-0.233
	SPI02	-0.404	-0.532	0.037	0.453*	0.526*	0.470*	0.713*	0.436*	0.359	0.136	0.140	-0.065
	SPI03	-0.018	-0.633	0.085	0.428*	0.569*	0.479*	0.677*	0.437*	0.405*	0.393	0.127	-0.040
	SPI06	0.030	-0.154	0.038	0.557*	0.599*	0.571*	0.722*	0.302	0.104	0.087	0.130	0.194
	SPI09	-0.216	-0.391	0.380	0.311	0.717*	0.584*	0.701*	0.303	0.128	0.127	0.099	0.167
	SPI12	-0.160	-0.355	0.206	0.443*	0.825*	0.698*	0.466*	0.156	0.146	0.133	0.114	0.180

* : $P<0.05$.

3.2 NDVI 月变化及其与 3-SPI 动态关系

大多数月 NDVI 与 3-SPI 有较好的相关关系, 为了进一步说明研究区域 NDVI 与 3-SPI 时间上的动态变化, 做出月 NDVI 及 3-SPI 随时间变化关系 (图 2)。不难看出, 研究区域 NDVI 的变化有很强的季节性, 北部半干旱区的环县 NDVI 呈单峰曲线, 即 1~4 月植被指数都非常的低, 5~6 月份 NDVI 值迅速上升, 8 月到达峰值, 此后 NDVI 值迅速降低; 中南部半湿润区的西峰 NDVI 曲线呈双峰结构, 即 5、8 月为峰值, 7 月出现谷值。出现这种不同的动态曲线是因为, 陇东北部属于典型的农牧交错带^[21,22], 可能由于夏秋作物的种植结构及近年来的退耕还林还草的政策落实的结果。而中南部属于陇东农业区, 冬小麦和玉米是该区的主要粮食作物, 3 月后, 冬小麦返青、拔节, 5 月下旬到 6 月上旬是该区冬小麦的抽穗期^[23], 该时期是冬小麦植被指数相对稳定期, 此后开花到成熟植被指数 NDVI 就逐渐下降, 7 月, 各地的冬小麦依次成熟, 植株发黄, NDVI 降至低谷值。7~8 月是各种植被生长最旺盛的季节, 玉米在 7 月中下旬到 8 月初抽雄、吐丝, 9 月中旬成熟。抽雄到吐丝是玉米生长最好也是稳定的时期, 也是 NDVI 最大的时期。各站 8 月 NDVI 达第二个峰值, 这与实际相吻合。各站 NDVI 与 3-SPI 相关系数随着月尺度在改变。3~7 月份, 相关系数迅速上升, 7 月达最大, 然后下降。相关系数的变化与 NDVI 的变化趋势基本一致, 即植被生长旺盛的中期、植被指数比较高的季节, NDVI 与 3-SPI 的相关系数也是最高的, 表明植被生长旺盛的季节也是水分需求量最大的季节。

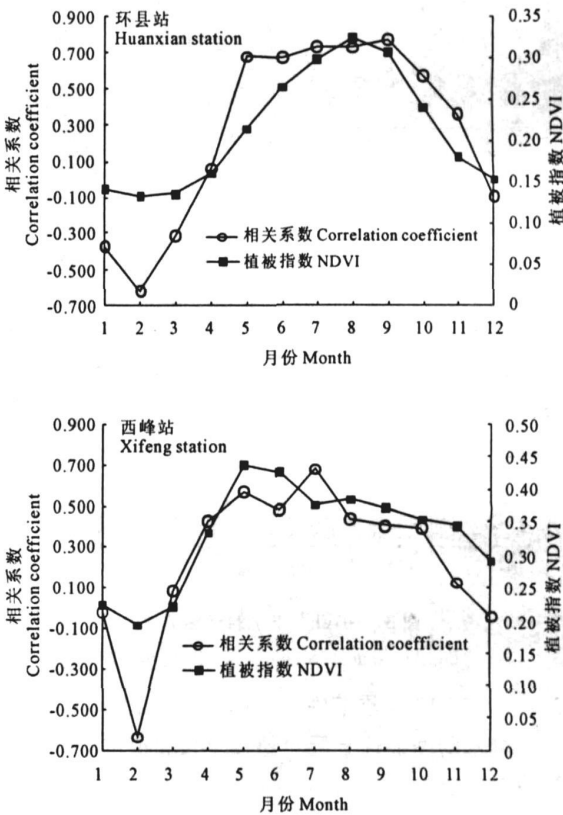


图 2 NDVI 及其与 3-SPI 的相关关系的月变化
Fig. 2 Monthly variations of NDVI and its correlation with 3-SPI

3.3 NDVI 与 SPI 的年际变化

图 3 列出了 1982~2003 年环县和西峰 SPI 和 NDVI 的年变化曲线, 与 22 的平均值相比, 环县和西峰年 NDVI 的变化幅度分别为: -12%~10% 和 -10%~13%。可以看出环县在 1982~1990、1998~2003 年 NDVI 呈波动变化, 峰值出现在 1983、

1988、1990 和 2002 年,谷值分别在 1987、1989 和 2000 年。1990~1998 年 NDVI 的变化幅度不大。除个别年份外(例如 1986 年 NDVI 相对较高,而同年的 SPI 值却较低),SPI 也分别在上述年中出现峰值和谷值,与 NDVI 的年变化趋势吻合较好,经计算两者的相关系数为 0.542,通过 95% 信度检验。西峰站年 NDVI 也呈波动变化,大体出现 3 个峰值和 4 个谷值,峰值区分别是 1983、1990 和 1998 年。谷值出现在 1985、1992、1995 和 2000 年。NDVI 与 SPI 在许多年份都显示出不一致的变化趋势。经计算二者的相关系数为 0.33,不显著。

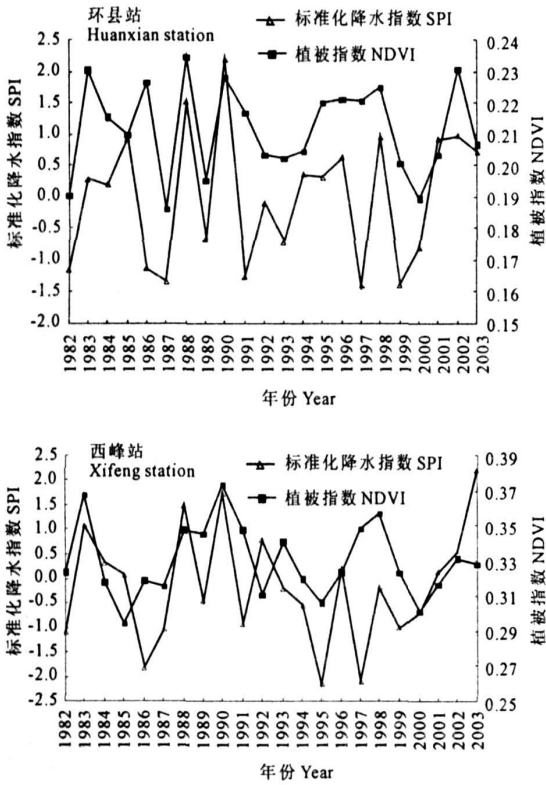


图 3 NDVI 与 SPI 的年际变化

Fig. 3 Annual variations of NDVI and SPI

3.4 年 NDVI 与季节性降水的关系

降水的季节性分配对植被生长和植被生产力的形成有重要的影响^[24],将年平均 NDVI 分别与上年秋冬和当年的春夏标准化降水指数进行相关分析,找出季节降水对研究区植被生长贡献,结果见图 4。图中 $P=0.05$ 直线表示 $P=0.05$ 的显著性水平。可以看出半干旱区环县的年植被对每个季节的降水都很敏感,通过 0.05 的显著性检验;半湿润区西峰年植被指数仅与上年冬、当年春季的降水呈正相关,通过 0.05 的显著性检验。陇东北部的半干旱区农牧交错带,降水较少,干旱频繁,植被结构、种类比较复杂,好多牧草是多年生植物,主根较深,降水对其

当年或来年的生长都有贡献;而中南部半湿润区,主要植被是冬小麦,冬季积雪为越冬作物创造有利的水热条件,保护幼苗免遭大风、冻害袭击、防止病虫害。另外春旱又是陇东地区的主要灾害之一^[25],积雪融水利于土壤蓄水,为农作物及其它植被返青提供一定的水分。也有研究表明,冬小麦的气象产量与越冬和返青—扬花期的降水显著正相关^[26],水分复合因子与冬小麦产量的相关性均比单因子显著,其中返青—孕穗期降水量与早春土壤水库蓄水之和最显著;单因子中,土壤水库蓄水和产量的相关性比生育期间降水显著^[27]。同时冬春季降水也为夏秋作物玉米等出苗正常生长提供必要的水分条件,所以在陇东中南部农区,相对夏秋季而言,冬春季的降水对年植被的贡献更大些。

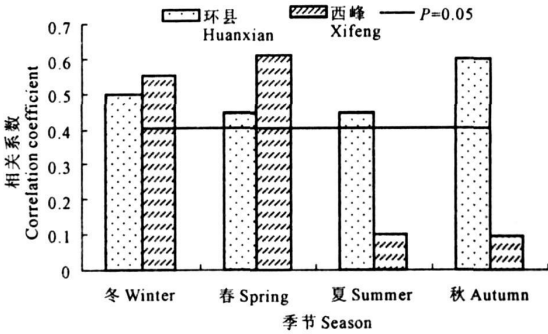


图 4 年 NDVI 和季节降水的关系

Fig. 4 Annual NDVI and seasonal precipitation

4 结 论

1) 在植被生长季,植被对降水的敏感程度为半干旱区>半湿润区,大多数 NDVI 与 3—SPI 的相关系数较高,而与 1—SPI 的相关性相对较低;NDVI 与 3—SPI 相关系数的变化与 NDVI 的季节变化趋势基本一致,即植被生长好的季节,NDVI 与 3—SPI 的相关系数也是最高的。

2) 1982~2003 年,半干旱区和半湿润区植被指数的变化幅度分别为:—12%~10%和—10%~13%。半干旱区 NDVI 年变化与 SPI 的变化趋势吻合较好,相关系数为 0.542,通过 0.05 的显著性检验;半湿润区的 NDVI 与 SPI 的年变化相关不显著。

3) 季节性降水对陇东地区年植被生长有重要的影响,地处半干旱区农牧交错带的环县植被对四季的降水都比较敏感,均通过 0.05 的显著性检验;而半湿润农业区的西峰年 NDVI 只与去冬、今春的标准化降水指数的相关系数较高,通过 0.05 的显著性检验。

参 考 文 献:

[1] 毕晓丽,王辉,葛剑平.植被归一化指数(NDVI)及气候因子相关起伏型时间序列变化分析[J].应用生态学报,2005,16(02):284—288.

[2] 张克斌,李 瑞,夏照华,等.宁夏盐池植被盖度变化及影响因素[J].中国水土保持科学,2006,4(6):18—22.

[3] 肖乾广,陈维英,盛永伟,等.用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的净第一性生产力[J].植物学报,1996,38(1):35—39.

[4] 田翠玲,李秉柏,郑有飞.基于植被指数与叶面积指数的水稻生长状况监测[J].江苏农业科学,2005,(6):13—15.

[5] 江 东,王乃斌,杨小唤,等.NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律[J].生态学报,2002,22(2):247—252.

[6] 裴志远,杨邦杰.多时相归一化植被指数 NDVI 的时空特征提取与作物长势模型设计[J].农业工程学报,2000,16(5):20—22.

[7] 王鹏新,Wan Zheng-ming,龚健雅,等.基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J].地球科学进展,2003,18(4):527—532.

[8] 郭 钊.植被指数及其研究进展[J].干旱气象,2003,21(4):71—75.

[9] 武建军,杨勤业.干旱区农作物长势综合监测[J].地理研究,2002,21(5):593—597.

[10] 郭 钊,梁 芸,王小平.黑河调水对下游生态环境恢复效果的卫星遥感监测分析[J].中国沙漠,2004,24(6):740—744.

[11] 陈维英,肖乾广.距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J].环境遥感,1994,9(2):106—112.

[12] 郭 钊,李栋梁,蔡晓军,等.1995 年中国西北部特大干旱的气候诊断与卫星监测[J].干旱区地理,1997,20(3):69—74.

[13] 张成才,吴泽宁,余弘婧.遥感计算土壤含水量方法的比较研究[J].灌溉排水学报,2004,23(2):69—72.

[14] 李晓兵,史培军.中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J].植物生态学报,2000,24(3):379—382.

[15] 张 军,葛剑平,国庆喜.中国东北地区主要植被类型 NDVI 变化与气候因子的关系[J].生态学报,2001,21(4):522—527.

[16] 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):288—295.

[17] 袁文平,周广胜.标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J].植物生态学报,2004,28(4):523—529.

[18] 侯英雨,何延波,柳钦火,等.干旱监测指数研究[J].生态学杂志,2007,26(6):892—897.

[19] 邓振镛,仇化民,李怀德.陇东气候与农业开发[M].北京:气象出版社,2000.

[20] 赵英时.遥感应用分析原理与算法[M].北京:科学出版社,2003.

[21] 李师翁,范小峰.环县天然草地植被近 40 年演变的研究[J].水土保持学报,2003,17(6):114—117.

[22] 李师翁,薛林贵,冯虎元,等.陇东黄土高原丘陵沟壑区天然草地群落学特征研究[J].西北植物学报,2006,26(9):1921—1927.

[23] 邓振镛.高原干旱气候作物生态适应性研究[M].北京:气象出版社,2005.

[24] 李晓兵,王 瑛,李克让.NDVI 对降水季节性和年际变化的敏感性[J].地理学报,2000,55(增刊):82—88.

[25] 蒲金涌,张存杰,赵红岩,等.干旱对陇南及陇东南地区粮食产量的影响评估[J].华北农学报,2008,23(增刊):163—166.

[26] 张志红,王咏安,马青荣,等.冬小麦生育期降水对产量敏感性分析[J].安徽农业科学,2008,32(28):12134—12135.

[27] 郭海英.陇东黄土高原冬小麦生产农业气象要素分析[J].干旱区农业研究,2004,22(2):123—126.

Study on correlation between NDVI and precipitation in Longdong

LIANG Yun^{1,2}, JIN Wen-yan³, GUO Ni², LIU Shi-xiang⁴, HAN Tao²

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China;

3. Pulandian Meteorological Bureau of Liaoning Province, Pulandian, Liaoning 116200, China;

4. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: Normalized difference vegetation index (NDVI) can be characterized as an indicator of vegetable growing conditions while precipitation resources is a key factor to affect the vegetable growing conditions and ecological construction in Longdong of Gansu. The correlation between NDVI and different temporal-scale standard precipitation index (SPI) in Longdong of Gansu are studied based on the data of NOAA/AVHRR and precipitation over the same period in 1982~2003. The results show: (1) The sensitivity of vegetable to precipitation is more significant to semi-arid area than semi-humid area in vegetable growing season; (2) The most significant correlation is found in NDVI and 3-SPI while the most insignificant is in NDVI and 1-SPI; (3) The annual-variational amplitudes of NDVIs are -12%~10% in semi-arid area and -10%~13% in semi-humid area, respectively, which agree well with SPI in the former at 95% significant level ($P<0.05$), but not significant in the latter; (4) Annual NDVIs are significantly correlated with the precipitations of four seasons in arid area ($P<0.05$) while significant only in winter and spring in semi-humid area.

Keywords: NDVI; SPI; Longdong

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>