

安西极旱荒漠国家级自然保护区南、北部植被指数和水热因子变化及相关性分析

陈军纪^{1,2}, 杨更强^{1,2}, 曹秋梅^{1,3}, 刘彬^{1,4}, 王蕾¹, 尹林克^{1,①}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 4. 新疆师范大学生命科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: 根据安西极旱荒漠国家级自然保护区南部和北部 2000 年、2003 年、2006 年、2009 年和 2012 年的 MODIS 影像数据和相关气象数据, 对该保护区荒漠植被的归一化植被指数 (NDVI) 和比值植被指数 (RVI) 及水热因子 (七月份均温、年均温和年均降水量) 进行比较和相关性分析。结果表明: 在 2000 年至 2012 年, 该保护区南部植被的 NDVI 和 RVI 指数均随着时间推移持续升高; 北部植被的 NDVI 指数在 2003 年达到最高值、2006 年明显下降、之后持续升高但均低于 2003 年水平, 而 RVI 指数则总体呈逐渐升高的趋势。该保护区南部和北部的七月份均温和年均温均在 2003 年最低、之后逐渐升高, 其年均降水量变化趋势与北部 NDVI 指数的变化趋势一致。相关性分析结果表明: 该保护区南部和北部植被的 NDVI 和 RVI 指数间存在极显著正相关; 南部植被的 NDVI 和 RVI 指数均与年均温、七月份均温和年均降水量呈显著或极显著正相关; 北部植被的 NDVI 指数仅与年均降水量呈显著正相关, 其 RVI 指数与七月份均温和年均温呈极显著正相关。与该保护区南部相比, 北部植被的 NDVI 和 RVI 指数均较低, 年均温和年均降水量也较低, 但七月份均温却较高。综合分析结果显示: 与同期的水热因子变化相比, 安西极旱荒漠国家级自然保护区南部和北部植被的 NDVI 指数虽然具有较明显的时滞效应, 但仍然能够较好地反映植被的生长状况; 而它们的植被 RVI 指数变化不明显, 不适用于该保护区荒漠植被的影像研究。总体来看, 该保护区的荒漠植被的生长缓慢但生长状况良好。

关键词: 安西极旱荒漠国家级自然保护区; 归一化植被指数 (NDVI); 比值植被指数 (RVI); 时滞效应; 水热因子; 相关性分析

中图分类号: Q948.11; X37 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)03-0094-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.03.12

Analyses on changes in vegetation indexes and hydrothermic factors and their correlations in the south and north of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve CHEN Junji^{1,2}, YANG Gengqiang^{1,2}, CAO Qiumei^{1,3}, LIU Bin^{1,4}, WANG Lei¹, YIN Linke^{1,①} (1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 4. School of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(3): 94-98

Abstract: According to MODIS image data and related meteorological data in the south and north of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve in 2000, 2003, 2006, 2009 and 2012, comparison and correlation analysis on normalized difference vegetation index (NDVI) and ratio vegetation index (RVI) of desert vegetation and hydrothermic factors including mean temperature of July, annual mean temperature and annual mean precipitation of the reserve were done. The results show that from 2000 to 2012, NDVI and RVI indexes of vegetation in the south of the reserve increase gradually as time goes on. NDVI index of vegetation in the north reaches the highest value in 2003, decreases obviously in

收稿日期: 2014-12-29

基金项目: 2013 年甘肃省环境保护科技计划项目 (GSEP-2013-12)

作者简介: 陈军纪 (1987—), 男, 甘肃白银人, 硕士研究生, 主要从事植物资源保护利用方面的研究。

① 通信作者 E-mail: yinlk@ms.xjb.ac.cn

2006, then increases continuously but all are lower than the level in 2003, while *RVI* index basically appears the trend of increasing gradually. Mean temperature of July and annual mean temperature in the south and north of the reserve all are the lowest in 2003, then increase gradually, change trend of their annual mean precipitation is consistent with that of *NDVI* index in the north. The result of correlation analysis shows that there are extremely significantly positive correlation between *NDVI* and *RVI* indexes of vegetation in the south and north of the reserve. Both of *NDVI* and *RVI* indexes of vegetation in the south have a significantly or extremely significantly positive correlation with annual mean temperature, mean temperature of July and annual mean precipitation. *NDVI* index of vegetation in the north only has a significantly positive correlation with annual mean precipitation, while *RVI* index has an extremely significantly positive correlation with mean temperature of July and annual mean temperature. Compared with the south of the reserve, *NDVI* and *RVI* indexes of vegetation in the north are lower, annual mean temperature and annual mean precipitation are also lower, but mean temperature of July is higher. The comprehensive analysis result indicates that compared with change of hydrothermic factors during the same period, although *NDVI* index of vegetation in the south and north of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve has an obviously time-lag effect, but it still can reflect well the vegetation growth status, while the change in their *RVI* index of vegetation is not obvious, so it is not suitable for image research of the reserve desert vegetation. Overall, the reserve desert vegetation grows slowly but its growth status is better.

Key words: Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve; normalized difference vegetation index (*NDVI*); ratio vegetation index (*RVI*); time-lag effect; hydrothermic factor; correlation analysis

植被是人类与动物获取物质和能量的源泉,也是调节水热等气候条件的重要因子;植被的生长状况可以反映其生长环境和气候特点,以及随时间变化的演变规律^[1]。植被指数是植物生长状况的指示因子之一,对植物的光合作用和长势变化反映灵敏。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, *NDVI*)和比值植被指数(ratio vegetation index, *RVI*)是2种最常用的植被指数,其中,*NDVI*指数与植被盖度呈正相关^[2-3],但在植被高密度覆盖区域其灵敏度下降;而*RVI*指数则与叶绿素浓度等指标具有较强的相关性^[4],适用于反映高盖度植被的生长状况,可用于估算和监测绿色植物的生物量。植被指数还与区域气候变化密切相关。Ichii等^[5]的研究结果显示北半球中高纬度地区春季和夏季的植被*NDVI*值随温度升高而增大,与温度呈显著正相关;Nemani等^[6]认为年降水量越大、植被指数越高,二者具有明显的相关性。因此,对区域植被指数进行分析有助于深入研究区域内的植被结构和功能与区域气候和水热状况之间的关系。

气候变化可导致中高纬度地区的植被活动发生明显变化,全球气候变暖致使位于北半球中高纬度地区的植被活动增强^[7]。中国西北地区地处中高纬度,属于干旱与半干旱区,其荒漠植被对气候变化尤为敏感,因此对其进行植被与水热条件的关系研究十分重

要。刘宪锋等^[8]发现1982年至2006年间新疆、青海和甘肃等地的植被变化较气温和降水量变化滞后,认为植被的这种大尺度变化与全球气候变化密不可分,并从全球气候变化的角度阐释了干旱区植被盖度对气候因子的综合响应程度。但是,目前对中高纬度地区局部小区域植被指数与气候尤其是水热条件变化的关系尚缺乏系统的研究。

为了解中国中高纬度小区域植被变化与水热条件的对应关系,作者依据安西极旱荒漠国家级自然保护区的植被MODIS影像数据图,对该保护区植被的*NDVI*和*RVI*指数进行分析,并结合该区域的气温和降水资料,对该保护区植被动态变化与水热条件的关系进行分析,以期研究和预测该区域荒漠植被的未来时空变化提供参考信息,同时为该保护区植被的管理与保护、发展与规划以及可持续经营等提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

安西极旱荒漠国家级自然保护区是中国唯一一个以保护极旱荒漠生态系统及其生物多样性为主的多功能综合性国家级自然保护区。该保护区位于甘肃省境内,由2个部分构成,其中一部分位于瓜州县南部(以下称保护区南部),另一部分位于瓜州县北部

(以下称保护区北部)。区内的年降水量较小,但蒸发量较大,风沙日数相对较多;冬季寒冷、夏季酷热,年均温 $6\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 11\text{ }^{\circ}\text{C}$;年均降水量 $40\sim 150\text{ mm}$,主要集中在夏季,占全年降水量的70%。

该保护区位于青藏高原和蒙新荒漠的结合部,其荒漠生态系统在整个古地中海区域中具有一定的典型性和代表性,植物区系主要成分为亚洲中部成分,均以灌木、半灌木荒漠种类为主;植被建群种有泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa* Maxim.)、红砂[*Reaumuria soongarica* (Pall.) Maxim.]、裸果木(*Gymnocarpus przewalskii* Maxim.)、膜果麻黄(*Ephedra przewalskii* Stapf)、合头草(*Sympegma regelii* Bunge)及珍珠猪毛菜(*Salsola passerina* Bunge)等^[9]。

1.2 研究方法

根据2012年5月至9月该保护区南部和北部植物生长状况的调查结果和保护区科研开发科提供的各年份的植物生长监测报告,每年7月份该保护区南部和北部的植物生长状况均最好,且南部的植被覆盖度大于北部,因此选取每年7月份的相关数据进行分析。

研究涉及的2000年7月、2003年7月、2006年7月、2009年7月和2012年7月的安西极旱荒漠国家级自然保护区的MODIS数据均来源于MODIS官方网站(<http://modis.gsfc.nasa.gov/>),空间分辨率为250 m;气温和降水量数据由瓜州气象局提供,包括上

述5个年份的七月份均温、年均温和年均降水量。利用MRT软件的转换和提取工具获取NDVI和RVI指数的数值,再运用SPSS 19.0和EXCEL 2013软件进行相关性分析;对NDVI指数与七月份均温、年均温和年均降水量进行单因素方差分析和双变量相关分析,并采用显著性检验分析NDVI指数与上述水热因子的相关变化特征。

2 结果和分析

2.1 保护区南部和北部的植被指数以及水热因子的动态变化

2.1.1 保护区南部的植被NDVI和RVI指数以及气温和降水量的变化 2000年至2012年安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被的NDVI和RVI指数及气温和降水量的统计结果见表1。结果显示:2000年至2012年期间,安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被的NDVI和RVI指数一直持续增加,并且2009年和2012年的NDVI和RVI指数均显著($P<0.05$)高于2000年;七月份均温和年均气温总体呈逐渐升高的趋势,2个指标数值均在2003年显著低于2000年和2006年,并且均在2012年达到最高值;年均降水量无明显的变化规律,其中,2006年的年均降水量最低(显著低于其他年份),而2003年和2012年的年均降水量均较高。

表1 2000年至2012年安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被NDVI和RVI指数及气温和降水量的变化¹⁾

Table 1 Changes in NDVI and RVI indexes of vegetation, air temperature and precipitation in the south of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve from 2000 to 2012¹⁾

年份 Year	NDVI	RVI	T ₇ /°C	T _a /°C	P _a /mm
2000	0.095 8±0.001 9b	0.908 1±0.091 3b	27.64±0.75b	9.52±0.95b	148.32±1.29a
2003	0.111 0±0.003 9b	0.947 6±0.031 2ab	26.42±0.84c	8.24±1.01c	154.40±1.24a
2006	0.121 1±0.004 9ab	0.958 9±0.062 1a	29.32±0.78a	9.22±0.91b	108.34±1.33b
2009	0.129 2±0.004 7a	0.999 5±0.051 4a	29.82±0.89a	9.92±0.97a	146.22±1.31a
2012	0.132 1±0.005 3a	1.085 8±0.043 1a	30.14±0.88a	10.34±1.08a	149.24±1.28a

¹⁾ T₇: 七月份均温 Mean temperature of July; T_a: 年均温 Annual mean temperature; P_a: 年均降水量 Annual mean precipitation. 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

从2个植被指数的变化幅度来看,2012年安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被的NDVI指数较2000年增加37.89%,RVI指数增加19.57%,说明该保护区南部的植被盖度增加明显,但从具体数值来看南部植被的总体盖度仍较低。另外,安西极旱荒漠国家级自然保护区南部的年均降水量在2006年较2000

年降低27.03%,但NDVI指数增加26.45%,说明南部植被的变化出现时滞现象。

2.1.2 保护区北部的植被NDVI和RVI指数以及气温和降水量的变化 2000年至2012年安西极旱荒漠国家级自然保护区北部植被的NDVI和RVI指数及气温和降水量的统计结果见表2。统计结果表明:安西

极旱荒漠国家级自然保护区北部植被的 *NDVI* 指数在 2003 年显著升至最高值,在 2006 年又明显下降,之后逐渐升高,但并未超过 2003 年水平,并且 2003 年的 *NDVI* 指数较 2000 年增加 12.84%;*RVI* 指数大体呈逐渐升高的趋势,且其在 2006 年和 2012 年的增幅均低

于同年 *NDVI* 指数的增幅;七月份均温和年均温均在 2003 年显著降低,之后持续增加,并在 2012 年达到最大值;而年均降水量则在 2003 年显著增加,但在 2006 年却显著下降。

表 2 2000 年至 2012 年安西极旱荒漠国家级自然保护区北部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数及气温和降水量的变化¹⁾

Table 2 Changes in *NDVI* and *RVI* indexes of vegetation, air temperature and precipitation in the north of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve from 2000 to 2012¹⁾

年份 Year	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>	$T_7/^\circ\text{C}$	$T_a/^\circ\text{C}$	P_a/mm
2000	0.054 5±0.008 3b	0.893 2±0.067 3b	32.14±0.81b	5.12±0.93b	79.25±1.31c
2003	0.061 4±0.007 4a	0.880 6±0.041 2b	30.94±0.73c	4.64±0.89c	102.34±1.27a
2006	0.055 0±0.009 6ab	0.903 5±0.069 4b	33.72±0.77b	5.54±0.83ab	54.42±1.23d
2009	0.059 7±0.004 3a	0.955 2±0.072 3ab	34.34±0.85a	5.62±0.97ab	78.26±1.19c
2012	0.060 4±0.005 2a	1.098 3±0.048 1a	34.52±0.87a	6.12±0.93a	95.24±1.25b

¹⁾ T_7 : 七月份均温 Mean temperature of July; T_a : 年均温 Annual mean temperature; P_a : 年均降水量 Annual mean precipitation. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.2 保护区南部和北部的植被指数与水热因子的相关性分析

2.2.1 保护区南部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数与气温和降水量的相关性

安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数与气温和降水量的相关系数见表 3。结果表明:安西极旱荒漠国家级自然保护区南部的年均降水量与七月份均温和年均温的相关性均不显著,但七月份均温与年均温呈极显著正相关 ($P<0.01$),相关系数为 0.980;*NDVI* 和 *RVI* 指数呈极显著正相关,相关系数为 1.000;*NDVI* 和 *RVI* 指数与七月份均温和年均降水量均呈极显著正相关、与年均温呈显著正相关 ($P<0.05$),并且二者与七月份均温、年均温和年均降水量的相关系数完全一致,分别为 0.900、0.700 和 0.910。

表 3 安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数与气温和降水量的相关系数¹⁾

Table 3 Correlation coefficient of *NDVI* and *RVI* indexes of vegetation with air temperature and precipitation in the south of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve¹⁾

因子 Factor	各因子间的相关系数 Correlation coefficient among factors				
	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>	T_7	T_a	P_a
<i>NDVI</i>	1.000				
<i>RVI</i>	1.000**	1.000			
T_7	0.900**	0.900**	1.000		
T_a	0.700*	0.700*	0.980**	1.000	
P_a	0.910**	0.910**	-0.300	-0.100	1.000

¹⁾ T_7 : 七月份均温 Mean temperature of July; T_a : 年均温 Annual mean temperature; P_a : 年均降水量 Annual mean precipitation. **: $P<0.01$; *: $P<0.05$.

2.2.2 保护区北部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数与气温和降水量间的相关性

安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数与气温和降水量的相关系数见表 4。结果表明:安西极旱荒漠国家级自然保护区七月份均温与年均温呈极显著正相关,相关系数为 0.997,而年均降水量与七月份均温和年均温的相关性均不显著;*NDVI* 和 *RVI* 指数呈极显著正相关,相关系数为 1.000;*NDVI* 指数与年均降水量呈显著正相关,相关系数为 0.700,但与七月份均温和年均温的相关性均不显著;*RVI* 指数与 3 个水热因子的相关性则恰好相反,表现为与年均降水量的相关性不显著,但与七月均温和年均温均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.991 和 0.900。

表 4 安西极旱荒漠国家级自然保护区北部植被 *NDVI* 和 *RVI* 指数与气温和降水量的相关系数¹⁾

Table 4 Correlation coefficient of *NDVI* and *RVI* indexes of vegetation with air temperature and precipitation in the north of Anxi Extra-Arid Desert National Nature Reserve¹⁾

因子 Factor	各因子间的相关系数 Correlation coefficient among factors				
	<i>NDVI</i>	<i>RVI</i>	T_7	T_a	P_a
<i>NDVI</i>	1.000				
<i>RVI</i>	1.000**	1.000			
T_7	0.001	0.991**	1.000		
T_a	0.001	0.900**	0.997**	1.000	
P_a	0.700*	0.300	-0.300	-0.300	1.000

¹⁾ T_7 : 七月份均温 Mean temperature of July; T_a : 年均温 Annual mean temperature; P_a : 年均降水量 Annual mean precipitation. **: $P<0.01$; *: $P<0.05$.

3 讨论和结论

相关研究表明:基于水热因子的影响,小区域气候因子和植被特征存在较大差异^[10-11],并且区域植被的 *NDVI* 指数对气温和降水量有累积滞后效应^[12]。对于植被覆盖度较低的干旱荒漠区,*NDVI* 指数是基于植被影像研究的最优选择^[13]。随着气温和降水量的波动变化,*NDVI* 指数与月均温和降水量均有较强的相关性,尤其是与月均温的相关性最强,并且 *NDVI* 指数随季节变化差异明显,尤其是在夏季变化显著^[12,14]。在安西极旱荒漠国家级自然保护区,气温与保护区南部植被的 *NDVI* 指数有较强的相关性,且植被生长变化较年均降水量的变化相对滞后,说明在荒漠地区气温更易对植被的生长产生影响。

上述研究结果表明:2000年至2012年安西极旱荒漠国家级自然保护区南、北部植被的 *NDVI* 和 *RVI* 指数总体上均呈增加趋势,且南部的植被 *NDVI* 指数的涨幅大于北部。随着气温和降水量的波动变化,该保护区南、北部的植被 *NDVI* 指数变化的滞后效应明显,与气温和降水量的变化相比,植被对气候的响应具有一定的时效性。对植被的 *NDVI* 和 *RVI* 指数进行比较,可见2000年至2012年间 *NDVI* 指数变化能较好地反映安西极旱荒漠国家级自然保护区荒漠植被的生长状况,有助于荒漠生态系统演替和生态学过程的进一步研究;而 *RVI* 指数变化不明显,不适用于干旱荒漠的植被影像研究。

与安西极旱荒漠国家级自然保护区南部植被相比,该保护区北部的植被覆盖度较低、地表裸露面积大,且七月份均温较高、年均降水量和年均温均较低,植被的 *NDVI* 指数及其变幅均较低,而 *RVI* 指数的变化也不明显,进一步说明在植被覆盖度较小的荒漠地区,*RVI* 指数的变化不能够准确反映植被生长状况的变化。总体上看,安西极旱荒漠国家级自然保护区的荒漠植被生长缓慢、变幅较小且相对稳定,植被生长状况良好,并且随时间推移植被覆盖度稳步增加,说明该保护区植被生态系统的抗干扰力逐渐增强。

参考文献:

- [1] CHEN X Q, HU B, YU R. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China [J]. *Global Change Biology*, 2005, 11: 1118-1130.
- [2] 李丽娜, 杨联安. 陕西省近年 *NDVI* 变化及其与气候因子相关性分析 [J]. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2008 (S1): 123-125.
- [3] 龚建周, 夏北成. 基于遥感影像的广州市植被覆盖度内部结构与时空变化 [J]. *植物资源与环境学报*, 2006, 15 (4): 25-29.
- [4] 顾万花, 马蔚纯, 周立国, 等. 基于 *RVI* 分区的淀山湖蓝藻暴发期叶绿素 *a* 的遥感估测 [J]. *环境科学研究*, 2011, 24 (6): 666-672.
- [5] 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*, 2010, 23: 3873-3878.
- [6] 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: 1560-1563.
- [7] ZHOU L M, TUCKER C J, KAUFMANN R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 20069-20083.
- [8] 刘宪锋, 任志远. 西北地区植被覆盖变化及其与气候因子的关系 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45 (10): 1954-1963.
- [9] 刘洒发, 杨增武. 甘肃安西极旱荒漠国家级自然保护区二期综合科学考察 [M]. 甘肃: 兰州大学出版社, 2006: 15-38.
- [10] 郝成元, 朱宗泽, 吴绍洪. 哀牢山东、西两侧植被 *NDVI* 指数和植被类型与主要环境因子的相关性分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2009, 18 (2): 68-72.
- [11] 朱文彬, 吕爱锋, 贾绍凤. 基于 *NDVI* 的柴达木盆地植被空间分异规律及影响因素 [J]. *干旱区研究*, 2010, 27 (5): 691-698.
- [12] 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.
- [13] 郭玉川, 何英, 李霞. 基于 MODIS 的干旱区植被覆盖度反演及植被指数优选 [J]. *国土资源遥感*, 2011 (2): 115-118.
- [14] 罗玲, 王宗明, 宋开山, 等. 1982~2003年中国东北地区不同类型植被 *NDVI* 与气候因子的关系研究 [J]. *西北植物学报*, 2009, 29 (4): 800-808.

(责任编辑: 佟金凤)