

NDVI与气候因子关系在不同时间尺度上的结果差异

沈斌^{1,2}, 房世波¹, 余卫国¹

1. 中国气象科学研究院, 北京 100081;

2. 抚顺市气象局, 辽宁 抚顺 113006

摘要: 植被指数是反映地表植被覆盖状况的重要参数, 分析气候因子与植被指数间的相互关系有助于揭示气候变化对植被的影响, 然而当前研究有两种分析植被指数与气候因子关系的方法, 分别为分析植被指数与生长季内和生长季间气候因子的关系, 然而这两种方法差异如何, 何种方法更为合适需要进一步分析。利用2000年—2009年生长季的MODIS的归一化植被指数NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)数据集和藏北那曲地区3个气象站逐月气象资料(月平均气温、 ≥ 0 °C活动积温和月降水量), 分析比较了生长季内和生长季间气候因子对植被生长影响的差异, 并分析了两种方法的优劣。结果表明: (1)生长季内植被NDVI与同期气温和降水量均呈高度正相关, 生长季内时滞时间尺度为1个月时, 植被NDVI对月平均气温及降水响应均最为强烈。(2)生长季间NDVI与同期降水量相关性并不明显, 气候因子的滞后效应在生长季间也较弱。(3)生长季内和生长季间植被NDVI与气候因子的关系所得出的结论有一定差异性, 可能是因为两方面的原因: 生长季内植被NDVI与水热因子的高相关性与中国季风季候造成的高温多雨出现在夏季有关, 而生长季内高水热条件与高植被指数对应的多年重复必然造伪的高相关系数, 但这种相关性不一定能真实反映植被与水热条件的关系, 而生长季间水热等气候因子与植被指数年际变化相关性分析不存在水热与高植被指数同期问题, 更能真实反映气候因子年际变化对植被的影响。

关键词: NDVI, 气候因子, 时间尺度, 气候变化, MODIS, 植被指数

中图分类号: TP97 **文献标志码:** A

引用格式: 沈斌, 房世波, 余卫国. 2016. NDVI与气候因子关系在不同时间尺度上结果差异. 遥感学报, 20(3): 481–490

Shen B, Fang S B and Yu W G. 2016. Different correlations between NDVI and meteorological factors at temporal-time scales. *Journal of Remote Sensing*, 20(3): 481–490 [DOI:10.11834/jrs.20165004]

1 引言

全球气候变化对地表植被覆盖产生极其显著的影响(Watson等, 1996)。同时, 地表覆盖特征的变化又会对区域气候以及全球气候系统产生相应的反馈作用(Skinner和Majorowicz, 1999; Bounoua等, 2000)。植被不仅在调节全球碳平衡、减缓大气中CO₂等温室气体浓度上升起着重要作用, 而且在全球物质与能量循环以及维护全球气候稳定等方面有着举足轻重的作用, 是气候对环境影响的敏感指标(Cramer和Leemans, 1993)。由于植被具有明

显的年际和季节变化的特点, 在一定的程度上能代表土地覆盖的变化, 所以植被是生态环境变化最鲜明的反映和标志(张新时, 1993; 周广胜和王玉辉, 1999)。因此植被的动态变化可以从一定程度上反映气候变化的趋势, 遥感动态监测植被状况以及地表植被与大气的相互作用过程也是近年来地球科学领域的研究重点和热点(Pettorelli等, 2005)。目前, 利用植被指数数据监测植被对气候变化的响应已有大量研究(Bullock, 2004; Fang等, 2015; Fang & Zhang, 2013; Shen等, 2014; Leahy等, 2005; 崔林丽和史军, 2011; 陈怀亮等, 2009; 房世波

收稿日期: 2015-01-21; 修订日期: 2015-11-20; 优先数字出版日期: 2015-11-27

基金项目: 国家自然科学基金(编号:41375117); 国家重大国际(地区)合作研究项目(编号:2009DFA91900)

第一作者简介: 沈斌(1983—), 男, 工程师, 主要从事大气科学、农业遥感研究。E-mail:tong830201@163.com

通信作者简介: 房世波(1974—), 男, 研究员, 主要从事气候变化对农业的影响。E-mail:sbfang0110@163.com

等, 2009; 张等, 2011; 周定文等, 2009; 杨元合和朴世龙, 2006; 渠翠平等, 2009; 张宏斌等, 2009; 杨光华等, 2009)。

为了研究气候变化对草地生态系统的潜在影响, 许多学者基于植被指数对草地植被的动态变化进行了研究, 并试图从中找出植被与气候因子之间的关系(Shen等, 2014; 杨秀海等, 2008; 卓嘎等, 2007; 除多等, 2007; 毛飞等, 2007; 赵玉萍等, 2009; 宋怡和马明国, 2008)。目前在阐述植被指数与气候因子关系时, 多数研究采用生长季内或年内植被指数同气候因子进行比较的方法(Fang & Zhang, 2013; 崔林丽等, 2010; 罗玲等, 2009; 李晓兵和史培军, 2000; 林辉等, 2007; 高志强和刘纪远, 2000)。另外, 也有部分研究采用生长季内植被指数同气候因子进行比较的方法(房世波等, 2009; 李霞等, 2007; 陈怀亮, 2007)。然而, 由于所运用的时间尺度不同, 得出的结论也尚存在一定分歧, 这些结论是否具有普适性还需深入研究。

鉴于前人针对不同时间尺度研究的结论会有差异, 本文选择藏北那曲草地作为研究区, 基于月尺度对2000年—2009年NDVI与同期和前期的气候因子(温度、大于0℃活动积温和月平均降水)进行了细致的相关分析, 在此基础上对影响藏北高原NDVI与气候因子之间关系的因素和文中用到的不同时间尺度进行了探讨, 以期对植被活动与气候因子之间的关系有更进一步的了解。

2 数据来源

植被指数NDVI数据来自美国对地观测系统EROS (Earth Observation System) MODIS的产品数据, 为16日最大值合成法生成的NDVI (MOD13A1), 其空间分辨率为500 m, 数据为时间分辨率为每16天覆盖一次, 数据周期为2000年—2009年(2000年第49日前无数据)。矢量数据包括研究区那曲1:100万行政区划图、1:400万植被图。由于16天合成的NDVI为MODIS数据产品, 无需进行几何校正、辐射校正等操作, 在处理过程中仅需要利用MRT (MODIS Reprojection Tool)MODIS工具软件将下载的NDVI进行地图投影和格式转换, 最终实现将把地图投影转换为UTM, 椭球体为WGS84, HDF格式转化成Tiff格式, 同时完成遥感图像镶嵌, 并利用ENVI IDL进行影像文件边界裁

剪的批处理, 生成研究区的长时间序列的NDVI影像序列。气象数据由中国国家气象局气象信息中心提供, 包括3个气象站(嘉黎、安多和申扎)2000年—2009年的逐月气象资料, 包括: ≥ 0 ℃积温、月平均气温和月降水量。那曲地区气象站点分布见图1。



图1 研究区示意图

Fig. 1 The study area

3 研究方法

3.1 气象站点生长季及植被类型的确定

那曲草地处于高海拔地区(平均海拔为4700 m以上), 高海拔的那曲地区当年10月到次年3月的月平均气温在 -1 ℃以下, NDVI均小于0.15, 所以当10月到次年3月为非生长季。本文主要研究4月—9月生长季的植被指数与气候因子的关系。气象站点的周边多为居民区, 建筑物和道路等人为景观可能影响植被指数选取, 为近站点区域建筑物等因素的干扰, 以气象站点的经纬度为中心, 取5 km—25 km为半径的环形缓冲区内的NDVI平均值作为气象站点对应的植被指数。根据中国草地资源类型图(中国1:400万草地资源图, 1980), 将研究区划分为3个植被类型及其包含的气象站如下: 高寒草原植被类型(西部申扎站), 高寒草甸草原植被类型(中部安多站), 高寒草甸植被类型(东部嘉黎站)。

3.2 数据处理方法

3.2.1 生长季内植被的NDVI对不同因子同时段的响应强弱程度

将2000年—2009年月NDVI序列(4—9月)作为一组变量, 月平均温度序列(4—9月)作为另一组变

量(样本数为60), 计算NDVI与当月平均温度的相关系数。同样, 通过月NDVI序列(4—9月)与月平均温度序列(3—8月)求出NDVI前1个月平均温度的相关系数(样本数为60)。同理, 计算出植被的NDVI与前2个月平均气温的相关系数及NDVI与大于等于 0° 活动积温、月降水量的相关系数。

3.2.2 生长季间植被的NDVI对不同因子的响应强弱程度

将2000年—2009年4月NDVI作为一组变量(样本数为10), 2000年—2009年4月平均气温作为另一组变量(样本数为10), 计算出4月份植被NDVI与当月平均气温的相关分析, 得到当月相关系数。同样, 通过4月NDVI与3月平均气温求出4月份植被NDVI与前1个月平均温度的相关系数。依此类推, 通过4月NDVI与4月份前两个月和前3个月平均气温相关分析, 可求出4月份植被NDVI与前两个月和前3个月平均温度的相关系数。相同方法可以计算出4月NDVI与各个月大于 0° 活动积温、月降水量的相关系数。同理, 可计算5—9月NDVI与各月平均气温、各月大于等于活动积温和各月降水量的相关系数。

4 结果与分析

4.1 生长季内与生长季间NDVI与气候因子的简单相关分析比较

图2列出了2000年—2009年研究区生长季内, 植被的NDVI与同期气候因子(月平均气温、 $\geq 0^{\circ}$ 活动积温和月降水量)的相关系数。由图2可知, 3种草地类型, NDVI与同期温度(月平均气温、大于等于 0° 活动积温)和月降水量均呈高度正相关($P < 0.01$), 且与温度的相关性要好于降水量。从空间上考虑, 高寒草甸、高寒草甸草原、高寒草原3种草地类型NDVI与温度的相关系数呈现出自东向西逐渐降低的趋势; NDVI与降水量的相关系数趋势恰好相反。3种草地类型, NDVI与温度和降水相关系数的绝对值比较中, NDVI与温度的相关性更为强烈。可见, 影响那曲地区草地生长的最主要气候因子是温度, 这与藏北高原独特、恶劣的气候条件有关。在藏北地区由于海拔高, 气候常年寒冷干燥, 温度对该地区植被生长的影响明显高于其他因子, 是植被生长最显著的限制性因素。因此, 热量资源对牧草生长是至关重要的。NDVI与同期降水量的相关性相对较差, 可能是因为降水量的

时间系列波动剧烈, 而NDVI的变化相对平稳, 且降水对植被生长的影响存在一定的滞后效应。

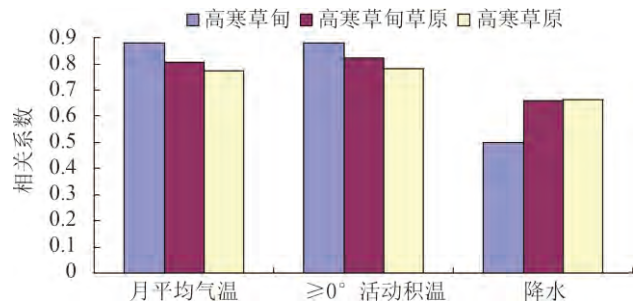


图2 生长季内NDVI与同期气候因子相关系数图

Fig. 2 Within-grown-season correlation coefficients between NDVI and concurrent climatic factors

图3列出了2000年—2009年研究区生长季间, 植被的NDVI与同期气候因子(月平均气温、大于等于 0° 活动积温、月降水量)的相关系数。由图3可以看出, 整体看来, 3种草地类型NDVI与同期气温相关性较好, 但与月降水量相关性并不十分明显。这与生长季内NDVI与气候因子关系所得出的结论一致。然而, 各月表现出NDVI对同期温度(月平均气温、大于等于 0° 活动积温)与降水的相关性却并不统一, 且规律性不明显。(1)在整个生长季, 只有6月份NDVI对温度相关系数呈现出高寒草甸>高寒草甸草原>高寒草原, 而在其他月份趋势并不统一。(2)整个生长季植被NDVI与降水主要呈负相关, 这与生长季内所讨论的结果有很大差异。

4.2 生长季内与生长季间NDVI与气候因子的滞后分析比较

4.2.1 生长季内与生长季间NDVI与气温的滞后效应分析比较

地理现象总是具有时效性和地域性的特点, 热量条件和水分条件是影响植被生长的重要因素, 其动态变化能够对NDVI产生一定的影响, 但是不同时间段的温度和水分与NDVI的相关性的差异也比较明显(李月臣, 2006)。植物对气候变化具有累积效应, 除了当时的气候状况影响植被变化外, 前一段时间的气候状况对植被生长状况也有滞后效应(张学霞等, 2005)。本文运用不同分析方法对NDVI同前期的温度条件和水分条件(前1—3个月)进行了细致的分析, 研究发现两种不同的统计方法所得出的结论有一定的差异性。

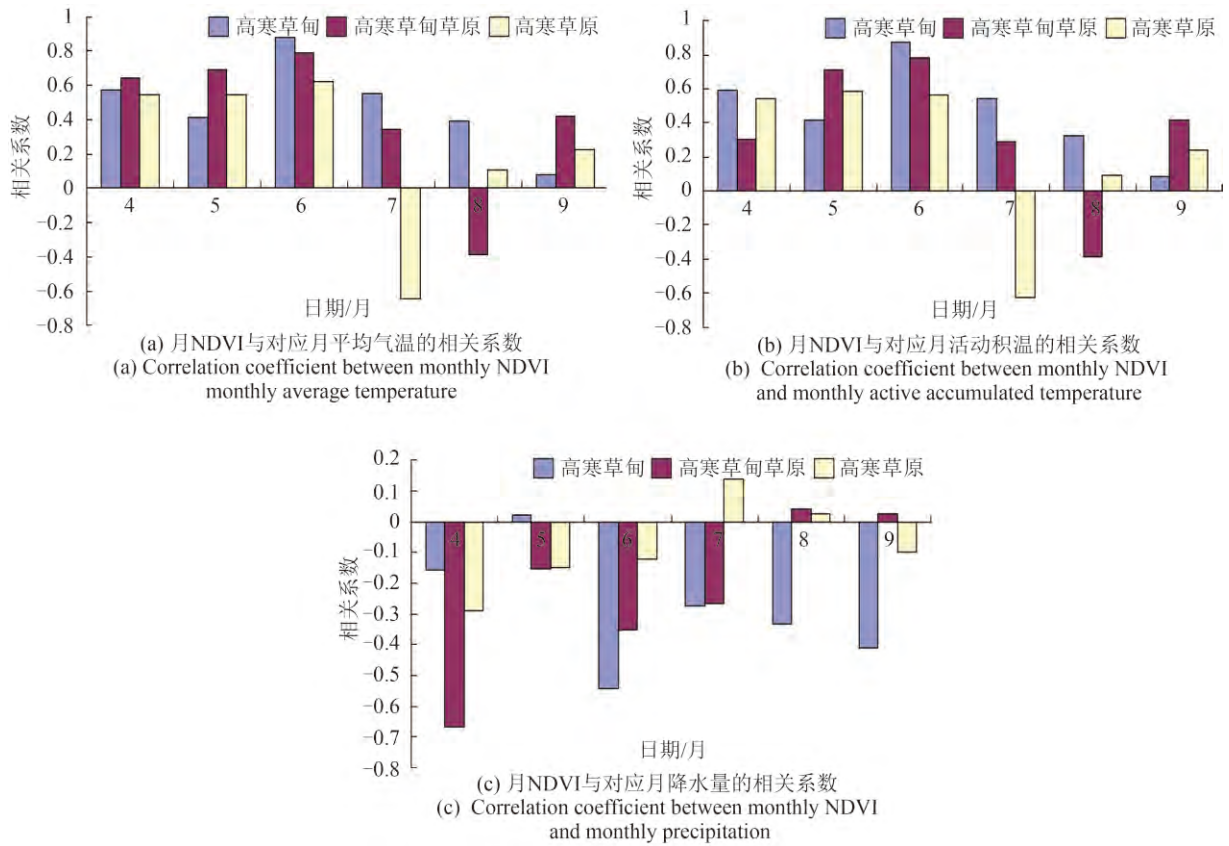


图3 2000年—2009年生长季间月NDVI与对应多年各月气候因子相关系数图

Fig. 3 Inter-grown-season correlation coefficients between mothly NDVI and concurrent mothly meteorological factors from 2000 to 2009

表1列出了2000年—2009年研究区生长季内, 植被的NDVI与同期和前期月平均气温的相关系数。由表1可知, 3种草地类型NDVI与同月和前1—3个月气温的相关系数均通过0.01显著性水平检验, 说明前期气温对研究区内各草地植被均有明显的时滞效应。相对于其他月份, 时滞时间尺度为1个月时, NDVI对月平均气温的响应最强烈。然后依次为前推两个月、同期、前推3个月。这说明在藏北草地植被生长过程中, 同期气温并不是其

生长的最主要制约因子, 上一个月的气温才是草地植被生长的关键因素。另外, 前推两个月的气温也对植被的生长产生一定的影响。而前3推个月的气温则对植被的生长影响最小。这与周定文等人(2009)、赵玉萍等人(2009)及Braswell等人(1997)研究结果一致。

表2列出了在2000年—2009年研究区生长季间, 植被的NDVI与同期和前期气温的相关系数。由表2可以看出, 在生长季的不同阶段, 植被

表1 生长季内NDVI与前推月份平均气温的相关系数

Table 1 Within-grown-season correlation coefficients between NDVI and push-forward month mean temperature

草地类型	对应月份			
	<i>n</i>	<i>n</i> -1	<i>n</i> -2	<i>n</i> -3
高寒草甸	0.859	0.917	0.866	0.827
高寒草甸草原	0.806	0.927	0.887	0.843
高寒草原	0.772	0.928	0.905	0.849

注: *n*、*n*-1、*n*-2和*n*-3分别表示当月、前推1个月、前推2个月和前推3个月; 表内各个相关系数都达到了极显著相关($P < 0.01$)。

NDVI与气温的相关性与生长季内所表现出的规律并不相同。在高寒草甸地区,4月份植被NDVI与前1个月的气温相关性最好。5—8月份,NDVI与当月的气温相关性最好。9月份NDVI与前两个月气温呈较高负相关。说明在高寒草甸生长季初期,前月的气温对植被生长影响最为明显,到了中期,当月的气温对植被的影响最大,而到了生长季后期,气温则对植被的生长没有明显的相关性;在高寒草甸草原地区,4月份NDVI与前1个月的气温相关性最好。5—9月份,除8月份以外,NDVI均与当月的气温相关性最好,且5、6月份均达到显著相关。说明在高寒草甸草原,生长季初期,前月的气温对植被生长有较高的促进作用,而生长季中后期,当月气温则对植被生长影响更大;在高寒草原地区,植被的NDVI与气温的相关性呈现出不同的规律。4、9月份NDVI与前1个月(3月份、8月份)的气温相关性最好,5月NDVI与前推3个月(2月份)的气温呈显著负相关,7月与当月气温呈显著负相关,8月与前推两个月(6月份)气温呈显著负相关。说明在高寒草原地区,生长季初

期及后期,前月的气温对植被生长有促进,而在中期,NDVI与气温的负相关性更加显著,说明高温会抑制植被的生长,因为气温升高会加速植物的蒸腾作用和地表的蒸散,进而抑制草原植被的生长。

4.2.2 生长季内与生长季间NDVI与降水量的滞后效应分析比较

考虑到降水通过土壤渗透、植物根系吸收到反应在NDVI上的过程较为缓慢,NDVI相对于降水有一定的时间滞后(李本纲和陶澎,2000)。表3列出了生长季内植被的NDVI与降水量的滞后效应相关系数。从中可知,在特定的时段,植被的NDVI与降水的相关性很高。相对于当月降水量和较长的时间尺度,时滞时间尺度为1个月时,植被NDVI对降水的响应最强烈。从表4可以看出,3种草地类型NDVI与前推1—3个月降水的相关系数均通过0.01显著性水平检验,且与前推1个月降水的相关系数最大,与前推3个月降水的相关系数最小;这说明时滞期为1个月时,降水对不同草地的时滞效应最强烈。

表2 生长季间NDVI与前推月份平均气温的相关系数

Table 2 Inter-grown-season correlation coefficients between NDVI and push-forward month mean temperature

草地类型	时段	4月份	5月份	6月份	7月份	8月份	9月份
高寒草甸	<i>n</i>	0.572	0.414	0.88*	0.555	0.395	0.078
	<i>n-1</i>	0.656*	-0.329	0.133	0.431	-0.225	0.1
	<i>n-2</i>	0.023	-0.237	0.272	-0.235	-0.391	-0.587
	<i>n-3</i>	-0.201	-0.359	-0.027	0.088	0.05	-0.327
高寒草甸草原	<i>n</i>	0.642*	0.694*	0.791**	0.343	-0.385	0.421
	<i>n-1</i>	0.668*	-0.214	0.303	0.272	-0.171	0.159
	<i>n-2</i>	0.146	-0.364	0.013	-0.233	-0.298	-0.314
	<i>n-3</i>	0.249	-0.371	-0.094	0.324	-0.562	-0.108
高寒草原	<i>n</i>	0.547	0.547	0.622	-0.647*	0.104	0.227
	<i>n-1</i>	0.758*	-0.109	0.481	-0.323	-0.242	0.847**
	<i>n-2</i>	-0.197	-0.119	0.02	0.152	-0.808**	-0.163
	<i>n-3</i>	0.203	-0.655*	-0.074	0.062	-0.307	0.096

注: *n*、*n-1*、*n-2*和*n-3*分别表示当月、前推1个月、前推2个月和前推3个月; *表示 $P < 0.05$; **表示 $P < 0.01$ 。

表4列出了在2000年—2009年生长季间,研究区内植被的NDVI与同月和前1—3个月降水量的相关系数。在高寒草甸地区,生长季初期的4月份,

月降水对植被生长发育没有明显的促进作用。5月份,前期降水量对植被的促进作用十分明显。进入生长季后期(6—9月),当月降水量则成为制约

植被生长的因素。而前一个月的降水量则对植被生长有促进作用；在高寒草甸草原地区4月份降水量是植被生长的制约因子。但4月份降水量对5月份NDVI有贡献作用。5、6月份降水量虽然对当月植被生长无明显作用，但对后两个月的植被生长

起到了很好的促进作用；在高寒草原地区，生长季初期降水量对NDVI无明显作用；进入到中期(5—7月)，前1个月的降水则对植被生长有良好的促进作用；后期(8—9月)，前2个月的降水量对植被生长作用较大。

表3 生长季内NDVI与前推月份降水量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between NDVI and push-forward monthly precipitation Within-grown-season

草地类型	对应月份			
	n	$n-1$	$n-2$	$n-3$
高寒草甸	0.562	0.851	0.795	0.559
高寒草甸草原	0.648	0.829	0.72	0.521
高寒草原	0.663	0.775	0.695	0.486

注： n 、 $n-1$ 、 $n-2$ 和 $n-3$ 分别表示当月、前推1个月、前推2个月和前推3个月；表内各个相关系数都达到了极显著相关($P<0.01$)。

表4 生长季间NDVI与前推月份降水量的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between NDVI and push-forward monthly precipitation Inter-grown-season

草地类型	时段	4月份	5月份	6月份	7月份	8月份	9月份
高寒草甸	n	-0.157	0.022	-0.543	-0.273	-0.334	-0.411
	$n-1$	-0.366	0.314	-0.342	0.347	0.423	0.541
	$n-2$	-0.315	0.045	-0.357	-0.029	-0.07	0.366
	$n-3$	0.067	0.771*	-0.171	-0.161	0.018	0.466
高寒草甸草原	n	-0.667*	-0.155	-0.352	-0.267	0.041	0.024
	$n-1$	-0.676*	0.337	-0.018	0.006	0.061	0.615
	$n-2$	-0.453	-0.116	-0.072	0.729*	0.468	0.282
	$n-3$	0.12	0.378	0.018	-0.065	0.297	0.23
高寒草原	n	-0.289	-0.15	-0.121	0.14	0.025	-0.098
	$n-1$	-0.059	0.513	0.285	0.473	-0.118	0.263
	$n-2$	0.052	-0.285	-0.204	0.146	0.593	0.331
	$n-3$	-0.184	0.25	-0.586	0.023	0.025	-0.415

注： n 、 $n-1$ 、 $n-2$ 和 $n-3$ 分别表示当月、前推1个月、前推2个月和前推3个月；*表示 $P<0.05$ 。

4.3 关于NDVI与气候因子关系不同时间尺度结论差异的探讨

对于文中两种不同时间尺度分析得到不同的结论，可能有以下两种原因：首先，气候因子在年内均呈单峰型变化，且伴随着雨热同季。植被在温度与降水等条件均非常丰富的夏、秋季生长发育自然会好于其他季节，整个生长发育过程也呈单峰型变化。若将整个研究时段(通常为多年)生长季内植被指数同气候因子罗列起来进行比较，

结果会非常明显，且相关系数达到很高(通常会通过0.01置信区间)。而生长季间植被指数同气候因子的比较则将雨热同期对植被生长的影响剔除，只进行单一月份的比较，因此两种尺度分析在结论上产生了差异。另外，若只考虑年内植被指数同气候因子的相关性，样本数据通常会达到几十至上百组数据进行比较，从统计学角度来讲，如此多的数据产生的相关性结果往往会很高。本文分析时发现，若将同一年气候因子反复重复再与

不同年份对应月份NDVI进行相关比较, 相关程度依然很高, 这种相关性从研究意义上来讲是种伪相关。中国季风气候造成的雨热同期出现在夏季, 每年的夏季高温和丰富降水期对应高植被指数, 而生长季内的这种高温多雨与高植被指数对应的多年重复必然造成高的相关性, 但这种相关性不一定能真实反映水热条件对植被的影响。

生长季间植被指数同气候因子的比较时, 将不同月份与气候因子相关性分开比较, 剔除了伪相关的可能性。然而由于样本数较少, 通常仅为10—20组, 使得结论通常没有前一种时间尺度规律性明显。但随着样本数的逐年增加, 相关性也会逐渐提高。生长季间水热等气候因子与植被指数年际变化相关性分析不存在水热与高植被指数同期问题, 更能真实反映气候因子年际变化对植被指数的影响。通过两种时间尺度结论差异的分析, 后一种分析方式更能有效的说明植被变化对气候因子的响应。

5 结 论

(1) 生长季内、生长季间植被生长对同期降水和气温的变化存在着较大的差异。生长季内NDVI与同期气温和月降水量均呈高度正相关。生长季间NDVI与同期气温相关性较好, 但与月降水量相关性并不明显。

(2) 生长季内、生长季间植被NDVI对气温时滞效应分析结果并不具有一致性。生长季内3种草地类型NDVI同前推1个月气温的相关系数最大, 前推3个月最小。生长季间NDVI与气温时滞分析表明, 高寒草甸生长季初期, 前月的气温对植被生长影响最为明显, 到了中期, 当月的气温对植被的影响最大; 在高寒草甸草原, 生长季初期, 前月的温度对植被生长有较高的促进作用, 而生长季中后期, 当月气温则对植被生长影响更大; 高寒草原地区, 生长季初期及后期, 前月的温度对植被生长有促进。

(3) 生长季内与生长季间植被的NDVI与降水时滞分析的结果存在一定差异。生长季内时滞时间尺度为1个月时, 植被NDVI对降水的响应最强烈, 与前推3个月降水的相关系数最小。生长季间3种草地类型所表现出来的响应程度不具有统一性。

(4) 生长季内植被NDVI与水热因子的高相关性

与中国季风气候造成的雨热同期出现在夏季有关, 每年的夏季高温和丰富降水对应高植被指数, 而生长季内高温多雨期与高植被指数对应的多年重复必然造成高的相关性, 但这种相关性不一定能真实反映植被指数与水热条件的关系, 而生长季间水热等气候因子与植被指数年际变化相关性分析就不存在水热与高植被指数同期问题, 基于生长季间植被发育与气候因子的关系进行讨论的结果更具有科学性与说服力。

本研究仅仅在藏北那曲进行了研究, 对生长季内和生长季间的气候因子与植被指数的关系仍需要多地研究验证, 尤其在非大陆性季风区的气候因子与植被指数的相关性及其时滞分析需要进一步研究。

参考文献(References)

- Bounoua L, Collatz G J, Los S O, Sellers P J, Dazlich D A, Tucker C J and Randall D A. 2000. Sensitivity of climate to changes in NDVI. *Journal of Climate*, 13(13): 2277 – 2292 [DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<2277:SOCTCI>2.0.CO;2]
- Braswell B H, Schimel D S, Linder E and Moore B. 1997. The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability. *Science*, 278(5339): 870 – 873 [DOI: 10.1126/science.278.5339.870]
- Bullock P R. 2004. A comparison of growing season agrometeorological stress and single-date Landsat NDVI for wheat yield estimation in west central Saskatchewan. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(1): 101 – 108 [DOI: 10.5589/m03-054]
- Chen H L. 2007. Variations of Vegetation Cover and Its Impact on Climate and Water Source in Huanghe-Huaihe-Haihe Zone. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology (陈怀亮. 2007. 黄淮海地区植被覆盖变化及其对气候与水资源影响研究. 南京: 南京信息工程大学)
- Chen H L, Xu X D, Du Z X and Zou C H. 2009. Vegetation activity responses to climate change in the Huang-Huai-Hai area based on GIMMS NDVI dataset. *Journal of Applied Meteorological Science*, 20(5): 513 – 520(陈怀亮, 徐祥德, 杜子璇, 邹春辉. 2009. 黄淮海地区植被活动对气候变化的响应特征. *应用气象学报*, 20(5): 513 – 520)
- Chu D, Deji Y Z, Pubu C R, Bian D and Li C. 2007. The response of typical vegetation growth to climate conditions in North Tibetan Plateau. *Journal of Applied Meteorological Science*, 18(6): 832 – 839 (除多, 德吉央宗, 普布次仁, 边多, 李春. 2007. 西藏藏北高原典型植被生长对气候要素变化的响应. *应用气象学报*, 18(6): 832 – 839)
- Cramer W P and Leemans R. 1993. Assessing impacts of climate change on vegetation using climate classification systems.// *Vegetation change on vegetation using climate classification systems*.// <http://www.cnki.net>

- ation Dynamics and Global Change. US: Springer: 190 – 217 [DOI: 10.1007/978-1-4615-2816-6_10]
- Cui L L, Shi J, Xiao F J and Fan W Y. 2010. Variation trends in vegetation NDVI and its correlation with climatic factors in Eastern China. *Resources Science*, 32(1): 124 – 131 (崔林丽, 史军, 肖风劲, 范文义. 2010. 中国东部NDVI的变化趋势及其与气候因子的相关分析. *资源科学*, 32(1): 124 – 131)
- Cui L L and Shi J. 2011. Inter-monthly response characteristics of NDVI to the variation of temperature and precipitation in east China and its surrounding areas. *Journal of Natural Resources*, 26(12): 2121 – 2130 (崔林丽, 史军. 2011. 中国华东及其周边地区NDVI对气温和降水的月际响应特征. *自然资源学报*, 26(12): 2121 – 2130)
- Fang S B, Yu W G and Qi Y. 2015. Spectra and vegetation index variations in moss soil crust in different seasons, and in wet and dry conditions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 38: 261 – 266
- Fang S B, Xu D Y, Zhang X S. 2009. Desertification Process and Its Driving Meteorological Factors in Mu Us Sandland. *Journal of Desert Research*. 29(5): 796 – 801 (房世波, 许端阳, 张新时. 2009. 毛乌素沙地沙漠化过程及其气候因子驱动分析. *29(5): 796 – 801*
- Fang S B, Zhang X S. 2013. Control of vegetation distribution: climate, geological substrate and geomorphic factors. A case study of grassland in Ordos, Inner Mongolia, China. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 39(2): 167 – 174
- Gao Z Q and Liu J Y. 2000. The study on driving factors and models of NDVI change based on remote sensing and GIS in China. *Climatic and Environmental Research*, 5(2): 155 – 164 (高志强, 刘纪远. 2000. 基于遥感和GIS的中国植被指数变化的驱动因子分析及模型研究. *气候与环境研究*, 5(2): 155 – 164)
- Leahy M G, Jollineau M Y, Howarth P J and Gillespie A R. 2005. The use of Landsat data for investigating the long-term trends in wetland change at Long Point, Ontario. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 31(3): 240 – 254 [DOI: 10.5589/m05-012]
- Li B G and Tao P. 2000. Correlation between AVHRR NDVI and climate factors. *Acta Ecologica Sinica*, 20(5): 898 – 902 (李本纲, 陶澎. 2000. AVHRR NDVI与气候因子的相关分析. *生态学报*, 20(5): 898 – 902)
- Li X B and Shi P J. 2000. Sensitivity analysis of variation in NDVI, temperature and precipitation in typical vegetation types across China. *Acta Phytocologica Sinica*, 24(3): 379 – 382 (李晓兵, 史培军. 2000. 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. *植物生态学报*, 24(3): 379 – 382)
- Li X, Li X B, Chen Y H and Ying G. 2007. Temporal responses of vegetation to climate variables in temperate steppe of northern China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 31(6): 1054 – 1062 (李霞, 李晓兵, 陈云浩, 莺歌. 2007. 中国北方草原植被对气象因子的时滞响应. *植物生态学报*, 31(6): 1054 – 1062)
- Li Y C, Gong P, Liu C X, Chen J and Yu D Y. 2006. Vegetation cover changes and correlation with climatic factors in Northern China during 1982 ~ 1999. *Resources Science*, 28(2): 109 – 117 (李月臣, 宫鹏, 刘春霞, 陈晋, 于德永. 2006. 北方13省1982年-1999年植被变化及其与气候因子的关系. *资源科学*, 28(2): 109 – 117)
- Lin H, Xiong Y J, Wan L F, Mo D K and Sun H. 2007. Temporal and spatial variation of MODIS vegetation indices in Hunan Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(3): 581 – 585 (林辉, 熊育久, 万玲凤, 莫登奎, 孙华. 2007. 湖南省MODIS遥感植被指数的时空变化. *应用生态学报*, 18(3): 581 – 585)
- Luo L, Wang Z M, Song K S, Zhang B, Liu D W, Ren C Y and Zhang S M. 2009. Research on the correlation between NDVI and climatic factors of different vegetations in the Northeast China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 29(4): 800 – 808 (罗玲, 王宗明, 宋开山, 张柏, 刘殿伟, 任春颖, 张素梅. 2009. 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. *西北植物学报*, 29(4): 800 – 808)
- Mao F, Lu Z G, Zhang J H and Hou Y Y. 2007. Relations between AVHRR NDVI and climate factors in Northern Tibet in recent 20 years. *Acta Ecologica Sinica*, 27(8): 3198 – 3205 (毛飞, 卢志光, 张佳华, 侯英雨. 2007. 近20年藏北地区AVHRR NDVI与气候因子的关系. *生态学报*, 27(8): 3198 – 3205)
- Pettorelli N, Vik J O, Mysterud A, Gaillard J M, Tucker C J and Stenseth N C. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(9): 503 – 510 [DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011]
- Qu C P, Guan D X, Wang A Z, Jin C J, Wu J B, Wang J J, Ni P and Yuan F H. 2009. Relationships between Horqin meadow NDVI and meteorological factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(1): 58 – 64 (渠翠平, 关德新, 王安志, 金昌杰, 吴家兵, 王纪军, 倪攀, 袁凤辉. 2009. 科尔沁草甸草地归一化植被指数与气象因子的关系. *应用生态学报*, 20(1): 58 – 64)
- Skinner W R and Majorowicz J A. 1999. Regional climatic warming and associated twentieth century land-cover changes in northwestern North America. *Climate Research*, 12(1): 39 – 52 [DOI: 10.3354/cr012039]
- Shen B, Fang S B and Guang L. 2014. Vegetation Coverage Changes and Their Response to Meteorological Variables from Year 2000 to 2009 in Naqu, Tibet, China. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 40(1): 67 – 74
- Song Y and Ma G M. 2008. Variation of AVHRR NDVI and its relationship with climate in Chinese arid and cold regions. *Journal of Remote Sensing*, 12(3): 499 – 505 (宋怡, 马明国. 2008. 基于GIMMS AVHRR NDVI数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系. *遥感学报*, 12(3): 499 – 505)
- Watson R T, Zinyowera M C and Moss R H. 1996. Climate Change

- 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. Cambridge: Cambridge University Press: 95 – 130
- Yang G H, Bao A M, Chen X, Liu H L, Huang Y and Dai S Y. 2009. Study of the vegetation cover change and its driving factors over Xinjiang during 1998–2007. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 31(3): 436 – 445 (杨光华, 包安明, 陈曦, 刘海隆, 黄莹, 代述勇. 2009. 1998–2007年新疆植被覆盖变化及驱动因素分析. *冰川冻土*, 31(3): 436 – 445)
- Yang X H, Za X Y Z, Zhuo G and Bian B C R. 2008. Relation of vegetation coverage to meteorological conditions in the Naqu area of Tibet. *Acta Prataculturae Sinica*, 17(2): 102 – 109 (杨秀海, 扎西央宗, 卓嘎, 边巴次仁. 2008. 西藏那曲地区植被覆盖状况与气象条件分析. *草业学报*, 17(2): 102 – 109)
- Yang Y H and Piao S L. 2006. Variations in grassland vegetation cover in relation to climatic factors on the Tibetan Plateau. *Journal of Plant Ecology*, 30(1): 1 – 8 (杨元合, 朴世龙. 2006. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系. *植物生态学报*, 30(1): 1 – 8)
- Zhang H B, Tang H J, Yang G X, Li G, Chen B R and Xin X P. 2009. Changes of spatial-temporal characteristics based on MODIS NDVI data in Inner Mongolia grassland from 2000 to 2008. *Transactions of the CSAE*, 25(9): 168 – 175 (张宏斌, 唐华俊, 杨桂霞, 李刚, 陈宝瑞, 辛晓平. 2009. 2000–2008年内蒙古草原MODIS NDVI时空特征变化. *农业工程学报*, 25(9): 168 – 175)
- Zhang X S. 1993. A vegetation-climate classification system for global change studies in China. *Quaternary Sciences*, 13(2): 157 – 169 (张新时. 1993. 研究全球变化的植被-气候分类系统. *第四纪研究*, 13(2): 157 – 169)
- Zhang X X, Ge Q S and Zheng J Y. 2005. Impacts and lags of global warming on vegetation in Beijing for the last 50 years based on remotely sensed data and phenological information. *Chinese Journal of Ecology*, 24(2): 123 – 130 (张学霞, 葛全胜, 郑景云. 2005. 近50年北京植被对全球变暖的响应及其时效-基于遥感数据和物候资料的分析. *生态学杂志*, 24(2): 123 – 130)
- Zhang Z, Ren Z Y and Yuan X. 2011. Intra-Annual response of NDVI to changes in temperature and precipitation and its spatial characteristics in Northwest China. *Resources Science*, 33(12): 2356 – 2361 (张翀, 任志远, 袁鑫. 2011. 西北地区NDVI对水热条件年内变化的响应及其空间特征. *资源科学*, 33(12): 2356 – 2361)
- Zhao Y P, Zhang X Z, Wang J S and Shen Z X. 2009. Correlation analysis between NDVI and climatic factors of grassland ecosystems in the Northern Tibetan Plateau from 1982 to 2003. *Resources Science*, 31(11): 1988 – 1998 (赵玉萍, 张宪洲, 王景升, 沈振西. 2009. 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. *资源科学*, 31(11): 1988 – 1998)
- Zhou D W, Fan G Z, Hua W, Li X M, Liu Y Q and Wang Y L. 2009. Relationship between spring rainfall in China and winter normalized difference vegetation index in the southeast of Tibetan Plateau. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 33(3): 649 – 656 (周定文, 范广洲, 华维, 李学敏, 刘雅勤, 王永立. 2009. 我国春季降水与青藏高原东南部冬季归一化植被指数变化的关系. *大气科学*, 33(3): 649 – 656)
- Zhou G S and Wang Y H. 2000. Global change and climate-vegetation classification. *Chinese Science Bulletin*, 45(7): 577 – 585 (周广胜, 王玉辉. 1999. 全球变化与气候-植被分类研究和展望. *科学通报*, 44(24): 2587 – 2593) [DOI: 10.1007/BF02886031]
- Zhuo G, Awang N M and Yang X H. 2007. Relation analysis between vegetation cover and meteorological factors over Tibet area. *Scientia Meteorologica Sinica*, 27(5): 488 – 494 (卓嘎, 阿旺尼玛, 杨秀海. 2007. 西藏地区植被覆盖特征与气象因子的相关分析. *气象科学*, 27(5): 488 – 494)

Different correlations between NDVI and meteorological factors at temporal-time scales

SHEN Bin^{1,2}, FANG Shibo¹, YU Weiguo¹

1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Meteorological Bureau of Fushun City, Fushun 113006, China

Abstract: Vegetation index is an important parameter that reflects the status of vegetation in an area. Analyzing the relationship between climatic factors and the vegetation index is helpful to fully understand the impact of climate change on vegetation. However, some conclusions on the relationship between the vegetation index and climatic factors are inconsistent across various time scales. Thus, this issue is addressed in the present study to enhance our understanding of the relationship between vegetation and climatic factors.

With the use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data of moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) during the growing seasons from 2000 to 2009, the monthly climatic factors (i.e., mean air temperature, accumulated temperature above

0 °C, and monthly precipitation) of three observations in the northern Tibetan Naqu were combined, and the within-growing-season and cross-growing-season correlations between the NDVI and the climatic factors were analyzed. First, we preprocessed the data. To eliminate the interference of human factors, especially the urban buildings in the near site, we obtained the NDVI values outside the radius of 25km around the meteorological station. Second, we calculated the correlation coefficient between the NDVI and the monthly mean air temperature. Similarly, the correlation coefficient between the mean air temperature for the month ahead and NDVI was also calculated using the NDVI (4–9 months) and the monthly mean temperature series (3–8 months). The same process is applied to the two months ahead and the other factors. Third, we calculated the correlation coefficient between the NDVI and the mean air temperature of the month. Similarly, the correlation coefficient of the mean air temperature for the month ahead and the NDVI for April was calculated using the NDVI for April and the mean air temperature for March. The same process is applied to the two months ahead and the other factors.

The within-growing-season correlations between the NDVI and the temperature and precipitation factors were highly and positively significant, and the lag effects of the climatic factors on NDVI were most obvious for the one-month lag. By contrast, the inter-growing-season correlation between NDVI and precipitation was not significant, and the lag effect was much weaker than the within-growing-season lag effect. Therefore, the correlations between the NDVI and climatic factors vary between the within-growing-season and the inter-growing-season. Such a variation can be attributed to two aspects: the within-growing-season correlation fully considered the synchronization of the rainfall and temperature, whereas the inter-growing-season did not; the difference in sample sizes resulted in different results.

In this paper, the relationship between NDVI and climatic factors is discussed at different time scales. Results show differences in some aspects. At present, most of the studies are based on the relationship between vegetation changes and climate factors in the growing season. The analysis of the relationship between vegetation development and climatic factors are more scientific and persuasive. In conclusion, much more attention should be paid to the different approaches to obtain the various correlations between NDVI and climatic factors. Aspects: the within-growing-season correlation fully considered the synchronization of the rainfall and temperature, whereas the inter-growing-season did not; the difference in sample sizes resulted in different results.

Key words: NDVI, remote sensing, climatic factors, time scales, climate change, MODIS, vegetation indices

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41375117); Major International (Regional) Joint Research Program of China(No. 2009DFA91900)