秦岭牛背梁植被覆盖变化及其对气温的时空响应

冯林林，白红英，马新萍，刘荣娟，程德强，秦 进
（西北大学 城市与环境学院，陕西 西安 710127）

摘 要：[目的] 揭示牛背梁保护区植被覆盖变化特征及其对区域气温的响应机理，为牛背梁地区的生态建设和管理提供依据。[方法] 基于秦岭 1975—2013 年气温数据和 2000—2013 年 NDVI 数据，运用 GIS 空间分析技术以及相关检验和回归分析方法。[结果] (1) 近 40 a 来牛背梁地区年均温增加速率为 0.30 ℃/10 a，1999 年增温趋势达到显著水平。(2) 2000—2013 年研究区植被变化呈不显著的减少趋势，且季节和区域差异较大。(3) 年尺度上，植被 NDVI 与气温整体呈正相关关系。季尺度上，春季植被 NDVI 与气温均呈显著正相关；夏季 NDVI 与气温呈不显著正相关；而秋季主要呈负相关。月尺度上，随植被生长阶段的变化，不同月份植被 NDVI 对气温的响应程度也有差异。[结论] 牛背梁地区 NDVI 与气温关系密切，一年之中，5 月植被对气温反应最敏感，且中高海拔地区的植被对气温的响应比低海拔植被更加敏感。

关键词：牛背梁保护区；NDVI；气温；时空响应；相关分析
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)02-0093-06 **中图分类号**：Q948.11

文献参数：冯林林，白红英，马新萍，等. 秦岭牛背梁植被覆盖变化及其对气温的时空响应[J]. 水土保持通报，2016，36(2)：93-98. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.018

Variations of Vegetation Coverage and Its Response to Air Temperature at Niubeiliang of Qinling Mountains

FENG Linlin, BAI Hongying, MA Xinping, LIU Rongjuan, CHENG Deqiang, QIN Jin
(*College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi* 710127, *China*)

Abstract: [Objective] To obtain the mechanisms of vegetation coverage variations and its response to the regional air temperature in Niubeiliang Natural Reserve so as to provide the references for eco-construction and management for this region. [Methods] Based on the air temperature data from 1975 to 2013 and NDVI data during 2000—2013 of Qinling Mountains, GIS spatial analysis techniques, relevant test and regression analysis method was utilized. [Results] (1) During the last 40 years, the air temperature increasing rate was 0.30 ℃/10 a, the warming trend was abrupt in 1999. (2) Vegetation in this region had an insignificant reducing trend from 2000 to 2013, but had relative big seasonal and regional variations. (3) When observed at annual scale, NDVI mainly correlated positively with air temperature; at seasonal scale, spring NDVI showed a significant positive correlation with air temperature; NDVI of summer and air temperature showed an insignificant positive correlation; correlation between NDVI of autumn and the temperature was negative. At monthly scale, vegetation had different responses to NDVI. [Conclusion] NDVI was closely related to the air temperature, and was mostly sensitive to the temperature variation in May. Vegetation at middle and high altitude areas was more sensitive to temperature variation than the one at low altitude.

Keywords: **Niubeiliang Nature Reserve; NDVI; temperature; temporal-spatial response; correlation**

植被作为陆地生态系统的主体[1]，既是气候变化的承受者，同时又对气候变化产生反馈作用[2]，在全球气候变化研究中具有“指示器”的作用。在植被对气候变化的响应研究中，以归一化植被指数(NDVI)应用最为广泛，它能很好地反映植被覆盖、叶面积指数和生物量等情况[3]。学者们[4-10]利用 NDVI 数据对区域植被覆盖变化及其与气候因子的关系作了大量研究，在植被覆盖变化方面，我国整体上植被活动

收稿日期：2015-07-10 **修回日期**：2016-08-25
资助项目：国家林业公益性行业科研专项“秦岭天然林对气候变化的时空响应及其管理对策”(201304309)
第一作者：冯林林(1989—)，女(汉族)，山东省德州市人，硕士研究生，研究方向为区域气候变化。E-mail：fenglinlin1201@163.com。
通信作者：白红英(1962—)，女(汉族)，陕西省凤翔县人，教授，博士生导师，主要从事全球变化生态学、自然地理学等方面的科研与教学。E-mail：hongyingbai@163.com。

在增强[5]，但西北地区植被普遍存在退化的趋势[6]。气温和降水作为影响植被动态最重要的环境因子，对植被覆盖变化有着直接影响。一般来说，湿润半湿润地区，气温是植被生长的主要制约因素；而干旱半干旱地区，植被对降水量变化较为敏感[7]。且不同植被类型对气候因子的响应也存在很大差异。

秦岭是我国南北重要的地理分界线，属于暖温带和亚热带的生态过渡带，也是气候变化敏感区，其植被变化与气候间的关系一直是学者们关注的焦点。如雒新萍[8]研究了1982—2006年秦巴山区植被NDVI变化与气候的关系；孙华等[9]对秦岭南北坡地区植被覆盖变化对气候因子的响应进行了比较；张善红等[10]分析了秦岭太白山NDVI时空变化及其对区域温度的响应。然而，以往研究主要集中在秦岭大区域尺度或典型高山[8-11]，对秦岭东段特别是亚高山地区植被对气候的响应机理尚缺乏定量化研究。牛背梁保护区位于秦岭山脉东段，植被保护良好，是研究植被与气候变化关系的理想场所。基于前人研究发现，秦岭地区降水量充沛，南坡年平均降水量超过800 mm，北坡也在600 mm左右，该地区植被变化主要受气温影响[8,12-13]，而牛背梁地区降水量更为丰富，对植被的生长而言，已经相对充足。因此，本研究采用趋势分析法、相关分析法仅对牛背梁地区植被覆盖变化及其对气温的时空响应进行分析，旨在探究全球变暖大趋势下，气温对该地区植被存在怎样的影响机理，从而为牛背梁地区的生态建设和管理提供参考。

1 研究区概况

牛背梁自然保护区（108°45′—109°04′E，33°45′—33°56′N）横跨秦岭南北两侧，陕西省柞水、宁陕、长安3县（区）交界处，沿秦岭主脊呈东西狭长分布，总面积16 520 hm^2，海拔1 156～2 802 m，蕴含丰富的动、植物资源，对秦岭而言，它具有一定的典型性及代表性，具有很高的保护和研究价值。牛背梁作为秦岭东段最高峰，地貌特殊，北缓南陡，与秦岭中西段“南缓北陡”形成明显对照。保护区属暖温带半湿润季风气候，气候垂直分布明显，年均气温2～10 ℃，年降水850～950 mm，无霜期130 d左右。其植被以森林为主，森林覆盖率达94.1%，沿海拔梯度表现出明显的垂直地带性，自下而上依次是落叶栎林、落叶桦木林和亚高山针叶林[14-15]。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

2.1.1 *NDVI数据* 采用的NDVI数据为MODIS数据，来源于NASA（National Aeronautics and Space Administration，2000—2013），空间分辨率为250 m，时间分辨率为10 d。此NDVI数据集已进行过几何精校正、大气校正、辐射校正等处理。采用国际上通用的最大值合成法（MVC）获取研究区月NDVI数据[1,16]，该方法可进一步消除云、大气、太阳高度角等的部分干扰，以所获取的2000—2013年月NDVI数据集为基础，通过取平均值法获取年尺度上和季节尺度上的平均NDVI数据集。

2.1.2 *气温数据* 气温数据选取了研究区附近17个气象站点（分别为眉县、周至、户县、长安、蓝田、华县、洛南、丹凤、商县、山阳、柞水、镇安、宁陕、佛坪、石泉、汉阴、洋县）1975—2013年逐月气温资料，来源于陕西省气象局。采用克里格法对气温数据进行空间插值，插值采用的地理坐标系为D-WGS-1984，栅格大小为50 m，并基于DEM数据对插值结果进行修正，公式为：

$$T = T_0 - A_i \cdot E \tag{1}$$

式中：T——实际温度；T_0——海拔0 m处温度；E——海拔高度；A_i——第i月（或年）的气温垂直递减率。

通过交叉验证，结果与气象站点实测数据的误差均在合理范围内，说明借助DEM修正的气温空间分布结果较为可靠。为更好地对气温和NDVI数据进行空间分析，通过投影转换和重采样使气温栅格数据与NDVI数据具有一致的投影和空间分辨率。

2.2 研究方法

2.2.1 *Mann-Kendall非参数检验法* M-K检验法常检验径流量、温度、降水等水文气象长时间变化趋势的显著性特征，它能够剔除少数异常值，也不需要样本遵从一定的分布，适用于非正态分布的数据[17]。本研究采用该方法对1975—2013年气温的变化趋势进行检验。

2.2.2 *一元线性回归分析* 一元线性回归分析法可以模拟每个栅格的变化趋势[12]。采用此方法计算2000—2013年牛背梁地区NDVI随时间的变化速率，Slope的值利用最小二乘法求得。

2.2.3 *相关分析法* 采用Pearson相关系数分析法研究植被覆盖变化对气温的空间响应特征[2,18]。通过查相关系数检验表得知，$p<0.05$的临界值$|r|=0.532$，$p<0.01$的临界值$|r|=0.661$。根据显著等级将相关系数分为4类，显著正相关、不显著正相关、不显著负相关、显著负相关，并统计各等级范围内的像元比例。

3　结果与分析

3.1　研究区 1975－2013 年气温变化

由牛背梁保护区 1975—2013 年年均温随时间变化曲线可知(图 1),近 40 a 来该地区气温呈波动上升趋势,线性增加速率为 0.30 ℃/10 a,高于陕南地区 1961—2009 年气温变化率 0.12 ℃/10 a[19]。采用M-K检验法检验气温突变情况(图 1),图中 UF 代表正向时间序列统计值,UB 代表逆向时间序列统计值,分析可知 UF 曲线在 1979—1994 年基本都小于 0,表明气温在此期间整体呈下降趋势。UF 和 UB 曲线交于信度线之间,突变点为 1994 年,即在 1994 年之后,气温发生了由低到高的突变,且 1999 年之后气温上升超过显著性水平 0.05 信度线,即气温显著增加。

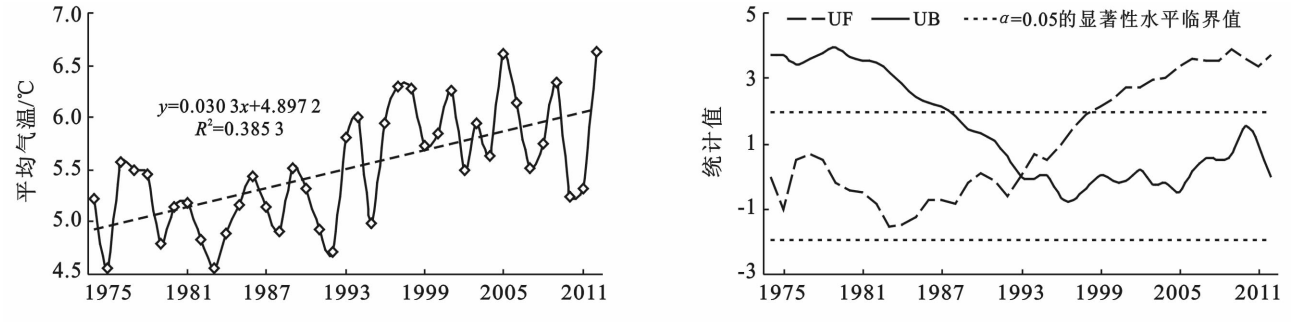


图 1　研究区 1975－2013 年年均温变化曲线及 M－K 突变检验

3.2　牛背梁保护区植被 NDVI 空间变化特征

为深入研究该地区气温显著上升后植被覆盖变化的空间特性,利用一元线性回归分析法计算 2000—2013 年植被 NDVI 在年尺度和季节尺度上的演化趋势(图 2)(研究区 NDVI 变化未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验)。为统计研究区植被 NDVI 增加和减少的区域,在 ArcGIS 10.1 中根据变化率的大小,采用重分类法将其分为 5 个等级,并统计各个等级范围内的像元比例(表 1)。年尺度上(图 2),牛背梁地区植被 NDVI 变化区域差异明显。分析表 1 可知,2000—2013 年该区域植被以负向减少为主,趋势线斜率 L_{slope}(若 $L_{slope}>0$ 说明 NDVI 在 n 年间的变化趋势是增加的;反之,则是减少的)小于－0.002/a 区域的面积达 7 557.9 hm^2,占研究区的 45.75%,主要分布在山脊线以北以及南部低海拔地区;$L_{slope}>0.002$/a 区域的面积所占比例很小,仅为 0.87%;NDVI 基本不变($-0.002/a\leqslant L_{slope}\leqslant 0.002/a$)的面积占研究区总面积的 53.38%。

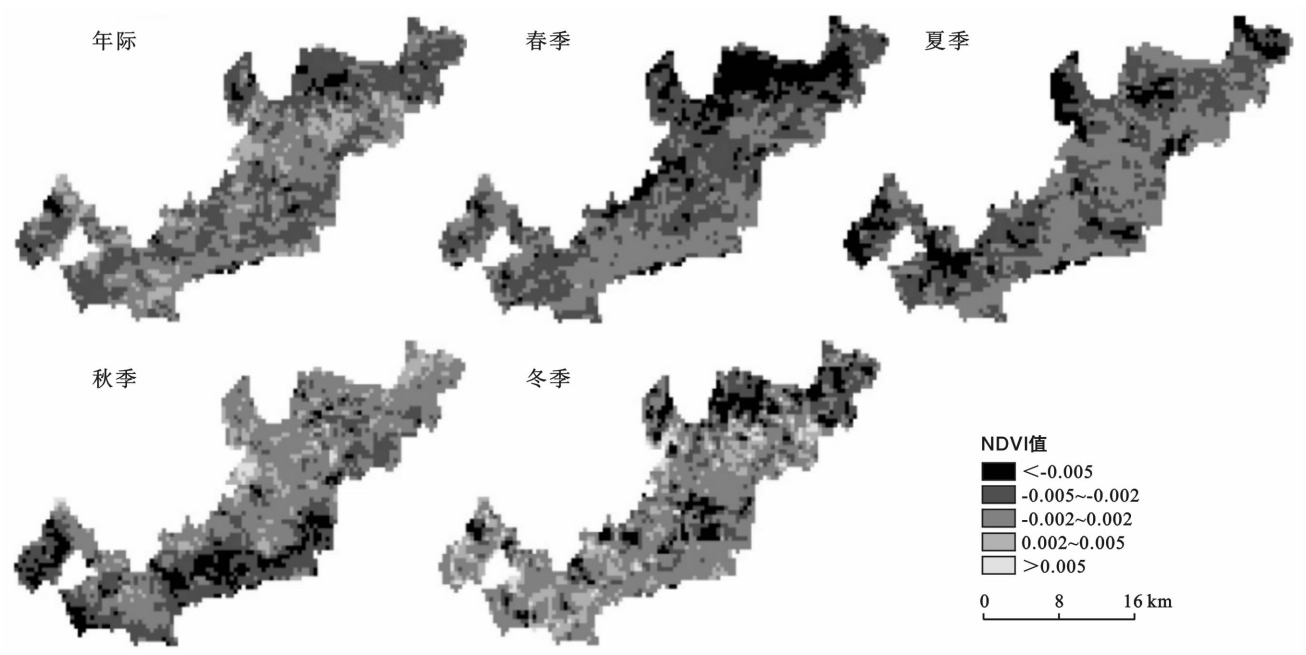


图 2　研究区 2000－2013 年年尺度、季节尺度上植被 NDVI 变化趋势

季节尺度上(图2),四季植被NDVI变化均以轻微减少趋势为主,但季节差异十分明显。分析表1可知,植被退化面积比例顺序为:春季>夏季>秋季>冬季,春季轻微退化面积(L_{slope}<−0.002/a)达到研究区总面积的64.09%,退化现象以研究区北部最为严重,结合植被分类图得知,植被类型以针叶林和针阔混交林为主;夏季植被仍以减少趋势为主,只是面积相对减少,L_{slope}<−0.002/a区域占到全区域的55.68%,退化现象在植被类型上与春季一致;秋季和冬季NDVI变化率大于0.002/a的区域较春、夏季明显增多,分别为11.55%,19.91%,但整体仍以轻微退化为主。

从以上数据分析可知,14 a来牛背梁地区植被指数变化率较小,但以轻微退化面积居多。这一结论与孙华等[9]、崔晓临等[20]的研究结果基本一致,出现这种现象原因可能是由于该地区旅游业的发展,不断增加的人为活动引起的,也可能是由于自然因素,但其具体原因还有待进一步研究。

表1 研究区2000−2013年年均、季均NDVI空间变化像元统计

L_{slope}	年均NDVI变化		各季节NDVI变化/%			
	百分比/%	面积/hm²	春季	夏季	秋季	冬季
<−0.005	3.24	535.2	17.47	13.96	10.94	11.17
−0.005~−0.002	42.51	7 022.7	46.62	41.72	29.57	19.88
−0.002~0.002	53.38	8 818.4	35.50	44.21	47.94	49.04
0.002~0.005	0.83	137.1	0.38	0.11	10.34	16.52
>0.005	0.04	6.6	0.04	0.00	1.21	3.39

3.3 牛背梁保护区NDVI对同期气温的时空响应特征

3.3.1 年尺度和季节尺度上植被NDVI对气温的响应 表2数据显示,2000—2013年年均NDVI与气温呈正相关的像元远大于呈负相关的像元,其中达到显著正相关(p<0.05)的像元占研究区的15.90%,主要集中在保护区西南部(图3)。不显著正相关和不显著负相关的像元分别占研究区的80.68%,3.38%,说明在年尺度上,该区域植被NDVI整体与气温呈正相关。

在季节尺度上,春季和冬季植被NDVI与气温的相关性均达到了显著,相关系数分别为0.541,0.600(p<0.05)。对四季NDVI与同期气温的相关系数空间分布(图3)进行像元统计(表2)可知,春季和冬季呈正相关的像元分别占该区的97.87%和94.76%,其中达到显著正相关的像元分别占21.96%和13.21%,不存在显著负相关性。说明春季正值林木发芽展叶期,其NDVI变化受气温正向影响十分明显,且负面影响为零。而冬季考虑到植被进入休眠期,特别是落叶植被,因此与气温的相关没有实际意义。

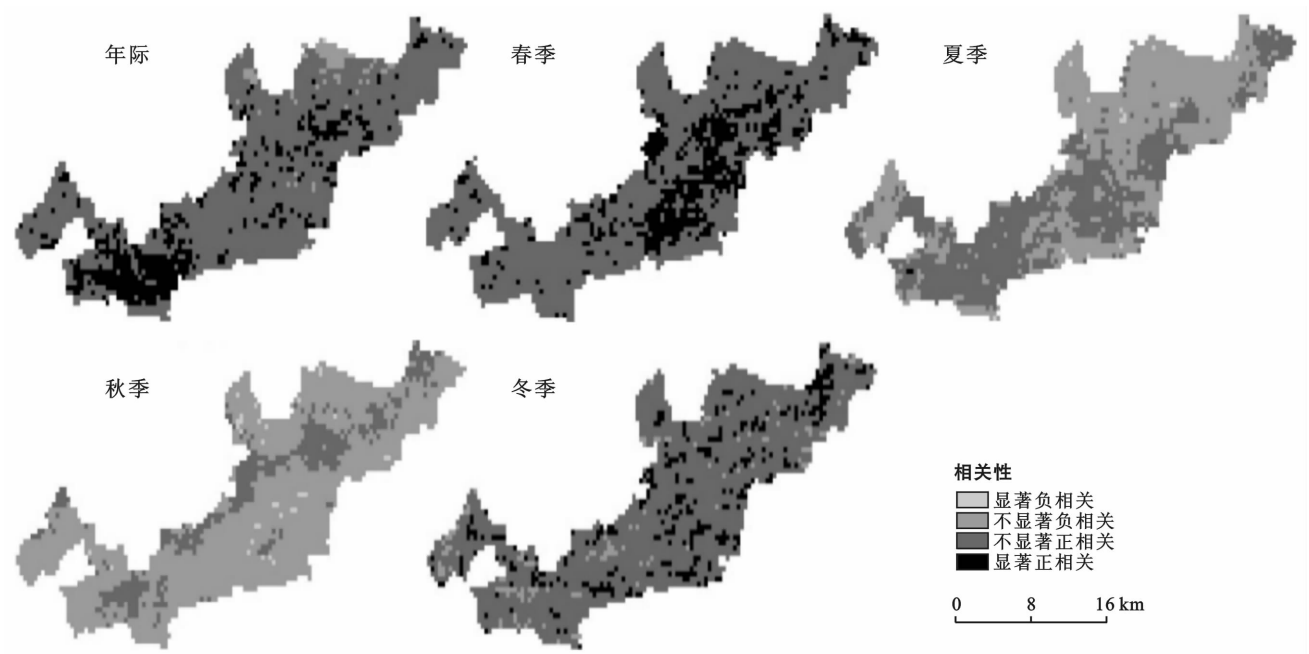


图3 研究区2000−2013年年尺度、季节尺度上植被NDVI与气温的相关性空间分布

表 2　研究区 2000—2013 年年均、季均 NDVI 与气温空间相关性的像元统计

相关性等级	R 分布范围	比例/%				
		年际	春季	夏季	秋季	冬季
显著负相关	$-1<R<-0.53$	0.04	0	0.69	1.32	0
不显著负相关	$-0.53\leqslant R<0$	3.38	1.13	43.22	80.14	5.12
不显著正相关	$0<R\leqslant 0.53$	80.68	75.91	55.61	18.46	81.55
显著正相关	$0.53<R<1$	15.90	21.96	0.08	0	13.21
负像元(总计)	—	3.42	1.13	43.91	81.46	5.12
正像元(总计)	—	96.58	97.87	55.69	18.46	94.76

夏季 NDVI 与气温主体呈现正相关关系,但显著正相关像元仅占研究区的 0.08%,即夏季植被 NDVI 受气温影响并不显著,说明随着年内气温的升高,植被对温度的敏感性逐渐降低,该时段温度不再是植被生长的限制因子,这与秦岭南北坡夏季植被 NDVI 对同期气温的响应结果一致[9]。

秋季植被变化与气温呈负相关的像元远大于正相关像元,占研究区的 81.46%。由图 3 可以看出,除山脊线附近(植被类型以针叶林、草甸和灌丛为主)植被 NDVI 与气温呈正相关外,其他地区均呈负相关,但呈显著负相关像元数不足 2%。说明入秋后,高海拔植被受气温正向影响,中低海拔植被 NDVI 与同期气温的负相关关系却逐渐明显,但这种相关性不显著。

3.3.2　*月尺度上植被 NDVI 对气温的响应*　对逐月 NDVI 与气温的相关系数空间分布进行像元统计得到表 3。由表 3 可以看出,春季各月 NDVI 与气温呈正相关的像元均大于呈负相关的像元,分别为 73.93%,58.14%,96.61%,但就显著性而言,3 和 4 月呈显著正相关的像元均不足 3%,且 4 月植被NDVI 与气温不存在显著负相关性,3 月呈显著负相关像元也仅为 0.65%。而 5 月份比较特殊,相关系数通过了 $p<0.01$ 的显著性检验,植被 NDVI 与气温呈显著正相关的像元数占全区域的 56.50%,说明 5 月 NDVI 与气温的极显著关系是导致整个春季植被 NDVI 与气温呈显著相关的主要原因。6,7,8 月 NDVI 与气温达到 $p<0.05$ 的显著(显著正、显著负)相关的像元分别为 1.11%,5.65%和 1.26%,总体而言,不显著正相关和不显著负相关关系居主体地位,可见由春季到夏季植被生长变化受气温的影响逐渐减弱。

表 3　研究区逐月植被 NDVI 与气温空间相关性的像元统计

相关性等级	R 值	比例/%								
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
显著负相关	$-1<R<-0.53$	0.65	0	0.12	0.78	0.16	1.06	0.41	4.42	1.58
不显著负相关	$-0.53\leqslant R<0$	25.01	41.53	3.27	59.31	23.26	40.75	14.91	75.34	71.45
不显著正相关	$0<R\leqslant 0.53$	71.28	55.45	40.11	39.34	70.64	57.58	81.64	19.91	26.60
显著正相关	$0.53<R<1$	2.65	2.69	56.50	0.33	5.49	0.20	3.01	0.16	0.12
负像元(总计)	—	25.66	41.53	3.39	60.12	23.42	41.81	15.31	79.76	73.03
正像元(总计)	—	73.93	58.14	96.61	39.67	76.13	57.78	84.65	20.07	26.73

秋季各月植被 NDVI 与气温的关系并不一致,其中 9 月 NDVI 与气温总体呈正相关,正相关像元占全区域的 84.65%,其中达显著正相关的像元为 3.01%;10 和 11 月两者的关系转变为总体呈负相关,其中呈负相关的像元分别为 79.76%,73.03%。说明 10 和 11 月是造成秋季 NDVI 与气温主体呈负相关的主要原因。

以上分析可知,5 月作为植被生长的关键期,对气温变化最为敏感。将 5 月 NDVI 与气温的相关系数空间分布图与 DEM 图叠加可知(附图 5),显著正相关的像元主要分布在海拔 1 900 m 以上的区域,该区域植被类型主要为针阔混交、针叶林、亚高山灌丛和草甸;呈负相关的像元集中分布在 1 500 m 以下的地区,植被类型为阔叶林,表明中高海拔区域的植被对气温响应比低海拔植被更加敏感。这与秦岭太白山地区的研究结论一致[10],高海拔的针叶林、草灌对温度变化的敏感性远大于低海拔地区的阔叶林,主要因为在海拔较高的地区,温度相对较低,气温升高可以加速土壤有机质的分解从而促进植被净初级生产力的提高。

4　结 论

(1) 1975—2013 年牛背梁地区年均温上升趋势明显,线性增加速率为 0.30 ℃/10 a,在 1994 年气温

发生暖突变,1999年后气温升高幅度达到显著。

(2) 2000—2013年牛背梁地区年均NDVI变化呈负向减少趋势,且具有明显的区域差异。四季NDVI变化整体上以轻微退化趋势为主,退化面积比例顺序为:春季>夏季>秋季>冬季。

(3) 年尺度上,植被NDVI与气温整体呈正相关,其中达到显著正相关的像元占研究区的15.90%。季尺度上,春季和冬季NDVI与气温的相关性均通过了显著性检验,其中达到显著正相关的像元分别占全区的21.96%,13.21%;夏季植被与气温呈不显著的正相关关系;秋季NDVI与气温负相关性增强,负像元占研究区的81.46%,但达到显著的不足2%。月尺度上,随植被生长阶段的变化,不同月份植被NDVI对气温的响应程度也有差异,一年之中,5月植被NDVI对气温响应最显著,且中高海拔区域的植被对气温响应敏感程度高于低海拔植被。

(4) 本研究仍然存在很多不足和有待完善之处,如未详细分析不同类型植被的变化特征,未探讨植被NDVI与气温或降水的时滞效应等,这都是今后需要进一步研究的问题。

[参 考 文 献]

[1] 朴世龙,方精云.1982—1999年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J].地理学报,2003,58(1):119-125.

[2] 刘宪锋,任志远,林志慧,等.2000—2011年三江源区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2013,68(7):897-908.

[3] 易浪,任志远,张翀,等.黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J].资源科学,2014,36(1):166-174.

[4] 袁丽华,蒋卫国,申文明,等.2000—2010年黄河流域植被覆盖的时空变化[J].生态学报,2013,24(24):7798-7806.

[5] 邱海军,曹明明.基于SPOTVEGETATION数据的中国植被覆盖时空变化分析[J].资源科学,2011,33(2):335-340.

[6] 马明国,董立新,王雪梅.过去21 a中国西北植被覆盖动态监测与模拟[J].冰川冻土,2003,25(2):232-236.

[7] 杜加强,舒俭民,张林波,等.黄河上游不同干湿气候区植被对气候变化的响应[J].植物生态学报,2011,35(11):1192-1201.

[8] 雒新萍.近25a来秦巴山区植被NDVI时空变化及其对区域气候的响应[D].陕西 西安:西北大学,2009.

[9] 孙华,白红英,张清雨,等.秦岭南北地区植被覆盖对区域环境变化的响应[J].环境科学学报,2009,29(12):2635-2641.

[10] 张善红,白红英,高翔,等.太白山植被指数时空变化及其对区域温度的响应[J].自然资源学报,2011(8):1377-1386.

[11] 崔晓临,白红英,王涛.秦岭地区植被NDVI海拔梯度差异及其气温响应[J].资源科学,2013,35(3):618-626.

[12] 戴声佩,张勃,王海军,等.中国西北地区植被覆盖变化驱动因子分析[J].干旱区地理,2010,33(4):636-643.

[13] 郭铌,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,2008,32(2):319-327.

[14] 赵双喜.秦岭牛背梁国家级自然保护区植物多样性海拔梯度格局分析[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2010.

[15] 张昌贵,李景侠,强晓鸣.陕西牛背梁国家级自然保护区生态评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(2):73-80.

[16] 张戈丽,徐兴良,周才平,等.近30年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J].地理学报,2011,66(1):47-58.

[17] 潘学鹏,吴喜芳,沈彦俊,等.三江并流河源区植被覆盖度对气候要素的响应[J].山地学报,2015,33(2):218-226.

[18] 王永财,孙艳玲,王中良.1998—2011年海河流域植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J].资源科学,2014,36(3):594-602.

[19] 李双双,延军平,万佳.全球气候变化下秦岭南北气温变化特征[J].地理科学,2012,32(7):853-858.

[20] 崔晓临,赵娟,白红英,等.基于MODISNDVI的陕西省植被覆盖变化分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(5):87-93.