

文章编号: 2096-1618(2019)03-0302-06

# 近 17 a 秦巴山区 NDVI 季节变化差异 及其海拔依赖性特征分析

宾 昕, 程志刚, 王俊锋, 靳立亚

(成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

**摘要:**针对秦巴山区植被特征的研究主要集中在陕西省境内,数据年份较早,难以表现近10 a快速城市化背景下整个山区植被变化特征。利用 2001–2017 年秦巴山区 MODIS NDVI 资料,结合 MODIS LST 数据,对横跨 5 省 1 市的整个秦巴山区 NDVI 的季节变化、海拔依赖性及其对地表温度响应进行了研究。结果表明:17 a 秦巴山区 NDVI 已 4.65%/10 a 的速率增加,NDVI 季节差异明显,表现为夏季>秋季>春季>冬季,冬季植被增长趋势最明显;秦巴山区植被覆盖整体随海拔升高先增加后减小,500~1500 m 植被覆盖最大;在不同海拔梯度上,2001–2017 年秦巴山区 NDVI 均呈增加趋势,增长速率随海拔升高先增加后减小,在 500~1500 m NDVI 增长速率最大为 5.5%/10 a;秦巴山区范围内 NDVI 与地表温度均呈正相关关系,且随着海拔升高,NDVI 对地表温度的响应越大。

**关键词:**大气科学;气候变化与数值模拟;NDVI;秦巴山区;海拔;变化趋势

**中图分类号:**P463.22

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.016

## 0 引言

植被是陆地上最重要的生态系统,是生物生存和发展的基础。它不仅反映了气候对自然环境的影响,也是连接土壤圈、大气圈、水圈和生物圈的一个重要纽带<sup>[1-2]</sup>。随着卫星遥感技术的发展,遥感影像能更加清晰、准确地记录植被的状态<sup>[3]</sup>,归一化植被指数(normal differential vegetation index, NDVI)是基于卫星遥感影像计算,用来表征植被覆盖的指标,它能检测植被生长状态、消除部分辐射误差,同时也能反映出植物冠层的背景影响<sup>[4]</sup>,相对于传统的基于站点观测的植被监测数据,NDVI 具有高时间分辨率和空间分辨率,能更加客观地反映研究区植被生长状态<sup>[5]</sup>。

国内外学者针对植被覆盖时空分布特征及其与气象要素间关系开展了大量研究。从植被变化特征来看,气候变化和人类活动对全球不同区域植被均有较明显影响,其中北半球中高纬度植被变化明显<sup>[6-7]</sup>,中国植被整体呈缓慢增加趋势<sup>[8]</sup>,而青藏高原 NDVI 则整体呈波动上升<sup>[9]</sup>,近年来随着植树造林、退耕还林等政策实施,榆林地区和西北地区植被覆盖也有明显的增加趋势<sup>[10-12]</sup>。从植被对气候要素响应来看,由于北美季风导致夏季强降水,墨西哥西北部和美国西南地区植被显著增加<sup>[13-14]</sup>,中国东部 NDVI 受气温影响明显大于降水<sup>[15]</sup>且对夏季 700 hPa 经向风具有较强响应<sup>[16]</sup>,海拔与坡度对土壤侵蚀和植被生长都具有重要的影响<sup>[17-18]</sup>。

秦巴山区作为中国南北气候交界带,生物种类、气

候条件等均具有显著的过渡带特征,也是中国植树造林、退耕还林等工程的重要试点,因此研究其生态环境变化具有明显的经济和社会意义。联合国政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change, IPCC)报告指出自 1880 年,全球地表温度持续上升,在 2012 年升温达 0.85 °C,且升温速率在不断加快<sup>[19]</sup>。同时自 20 世纪以来,随着人类社会的发展,城市化进程的推进,陆地生态系统不可避免地受到不同程度的影响<sup>[20]</sup>。雒新萍<sup>[21]</sup>利用 25 a(1982–2006 年)NDVI 资料详尽分析了秦巴山区植被时空变化特征;刘宪锋等<sup>[22]</sup>探讨了 2000–2014 年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及驱动因子;马新萍等<sup>[23]</sup>利用动态阈值法在宏观尺度上量化了 2000–2010 年秦岭山地气温升高对植物物候的影响程度。尽管如此,前人对秦巴山区研究多限于秦巴山区的陕西省境内,对整个秦巴山区的植被特征研究较少,且所用数据年份较早,难以表现近 10 a 来快速城市化背景下的秦巴山区植被变化特征。为此,利用 2001–2017 年秦巴山区,中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)NDVI 资料,结合 MODIS 地表温度数据,对横跨甘肃、四川、陕西、重庆、河南、湖北的整个秦巴山区 NDVI 的季节变化、海拔依赖性及其对地表温度响应进行了研究,以期为该区域气候、生态环境变化研究提供参考依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

以秦巴山区作为地理研究单元,其范围介于

收稿日期:2018-12-13

基金项目:国家科技基础资源调查专项资助项目(2017FY100903);  
国家电网公司总部科技资助项目(SGTYHT/17-JS-199)

102°42'E ~ 113°66'E, 30°74'N ~ 35°42'N。秦巴山区是指长江最大支流——汉水上游的秦岭大巴山及其毗邻地区,地跨甘肃、四川、陕西、重庆、河南、湖北 5 省 1 市,其主体位于陕南地区,地形以山地、盆地、丘陵为主,地势西高东低(图 1)。该区域水系发达,河流众多,是南水北调的水源区,又是中国暖温带和北亚热带过渡带,动植物种类复杂多样,以秦岭为界植被类型有明显差异。

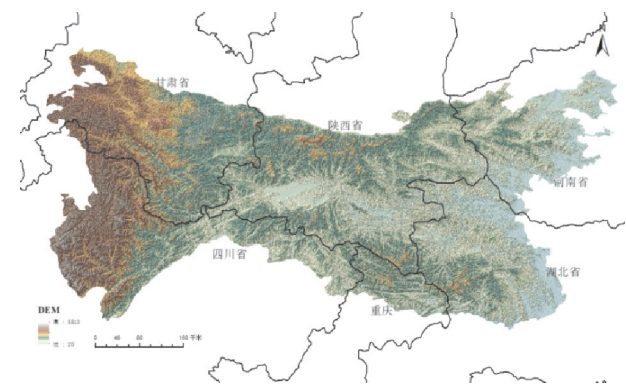


图 1 研究区概况

1.2 数据资料及其处理

1.2.1 归一化植被指数(NDVI)

NDVI 数据来源于 NASA 提供的 MOD13Q1 产品,时间跨度 2001 年 1 月至 2017 年 12 月,时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m×250 m。

NDVI 数据先利用 MRT(modis projection tools)投影工具对数据进行拼接及重投影,并利用 GIS 工具进行研究区范围掩膜提取,得到秦巴山区初始 NDVI 时间序列。为了更好地反映植被生长情况以及覆盖程度,消除云遮蔽、大气、地形等噪声影响,采用 MVC 最大合成法得到月最大 NDVI 值,并进行了季节、年平均处理。

1.2.2 地表温度(LST)

LST 数据来源于 NASA 提供的 MOD11A2 和 MOD11C3 产品,时间跨度 2001 年 1 月至 2017 年 12 月,其中 MOD11A2 时间分辨率为 8 d,空间分辨率为 1 km×1 km,MOD11C3 时间分辨率为 1 m,空间分率为 5 km×5 km。

MOD11A2 数据同样按照上述操作完成数据拼接、重投影及掩膜提取等,处理为月平均资料,结合 MOD11C3 数据完成月平均 LST 数据序列。

1.2.3 数字高程模型(DEM)

DEM 来自于地理空间数据云,空间分辨率为 90 m,利用 Arcgis 软件完成数据拼接、裁剪等,获取研究区高分辨率的海拔信息。

2 结果分析

2.1 时间变化

为了清晰反映秦巴山区植被覆盖随时间的变化情况,利用最大合成法得到月最大 NDVI 值,分析了其季节、年均变化特征,结果显示,2001–2017 年秦巴山区 NDVI 整体呈增加趋势,增速为 4.65%/10 a ( $P<0.01$ ) (图 2)。由 NDVI 季节变化趋势图(图 3)可以看出,秦巴山区植被状况各季节差异明显,且 NDVI 均值表现为夏季(0.77)>秋季(0.64)>春季(0.56)>冬季(0.39);变化趋势上四季均呈增加趋势,冬季 NDVI 增长速度最大,为 4.9%/10 a,秋季增速为 4.7%/10 a,春季和夏季增速一致,为 4.4%/10 a,且均通过 0.01 置信度检验。

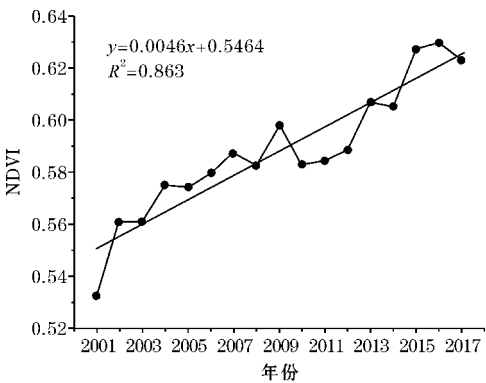
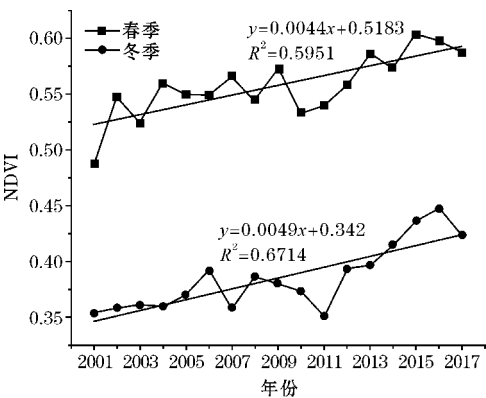
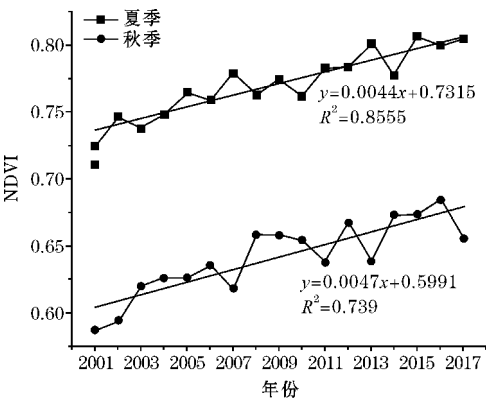


图 2 2001–2017 年 NDVI 时间变化趋势



(a) 春、冬季



(b) 夏、秋季

图 3 NDVI 四季变化趋势

2.2 空间变化

2.2.1 空间分布

秦巴山区植被覆盖较好,NDVI 超过0.6的区域占57.98%,整体上呈现出中间高,东西低的特点,其中高值区主要位于陕南、四川东北部以及重庆北部,这些地区海拔大部分在1000~2000 m,植被类型以阔叶林为主,气候条件适宜,人类活动比低海拔地区少,所以这个海拔范围的植被生长较好。低值区则主要位于甘肃中部、四川川西高原以及河南低海拔地区,其中川西大部分地区海拔高于3000 m,气候不宜植物根系生长,植被以灌木、草地为主,植被稀少;甘肃省由于水土流失严重,岩石裸露,土壤贫瘠,气候干燥等植被覆盖较低;南低海拔地区受人类活动影响,植被以耕作物为主,植被稀疏(图4)。

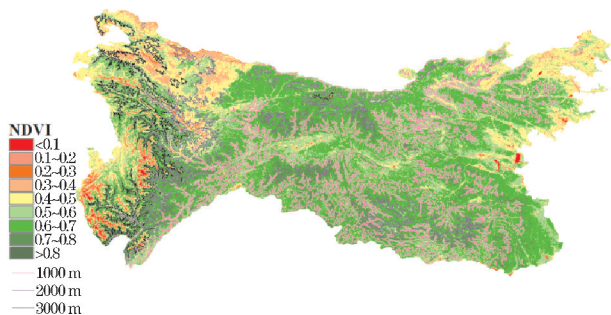


图4 秦巴山区 NDVI 空间分布图

2.2.2 空间变化趋势

对2001–2017年NDVI进行了季节回归分析,并进行F检验,并按置信度将变化趋势分为极显著( $P<0.01$ )、显著( $0.01<P<0.05$ )、弱显著( $0.05<P<0.1$ )、无显著变化( $P>0.1$ )。研究发现,秦巴山区四季

NDVI 整体上均呈上升趋势。就上升趋势而言,冬季NDVI 呈上升趋势的像元占比最大,为97.68%,春季最小为76.41%;夏季NDVI 呈极显著上升的像元占68.50%,高于其他季节。在减少趋势中,春季NDVI 呈减少趋势的像元占比最大,为2.25%;秋季最小仅占1.12%。春夏两季无显著变化的面积明显高于秋冬两季分别占21.34%和18.27%(表1)。空间上,秦巴山区四季NDVI 都表现出上升趋势分布广、集中,减少趋势分布少、分散的特点。海拔1000 m以下的区域,四季NDVI 大部分呈显著上升,但在河南、湖北等低海拔地区植被覆盖基本没有增长。在1000~2000 m海拔范围,大部分区域近10 a植被覆盖增长非常明显,比如甘肃东南部,且夏秋两季比春冬明显,这个地区受土壤和气候条件等自然因素影响本身植被覆盖较低,而近10 a来由于植树造林、土壤加固等工程的实施,这些地区植被覆盖显著增加。2000~3000 m海拔植被生长较为缓慢,其中四川汶川附近四季均呈极显著下降趋势,主要原因是2008年地震,导致该区域植被覆盖急剧减少,虽然进行了土壤加固、植树造林等灾后重建工程,但短时间内植被仍难以恢复到灾前的水平。在大于3000 m海拔的川西高原地区,植被覆盖增长非常缓慢(图5)。

表1 NDVI 变化类型占比 %

变化类型	春	夏	秋	冬
极显著下降	1.10	0.47	0.44	0.53
显著下降	0.80	0.49	0.28	0.46
弱显著下降	0.35	0.27	0.40	0.45
无显著变化	21.34	18.27	1.21	0.88
弱显著上升	14.11	0	22.70	20.01
显著上升	19.41	12	16.28	14.62
极显著上升	42.89	68.50	58.69	63.05

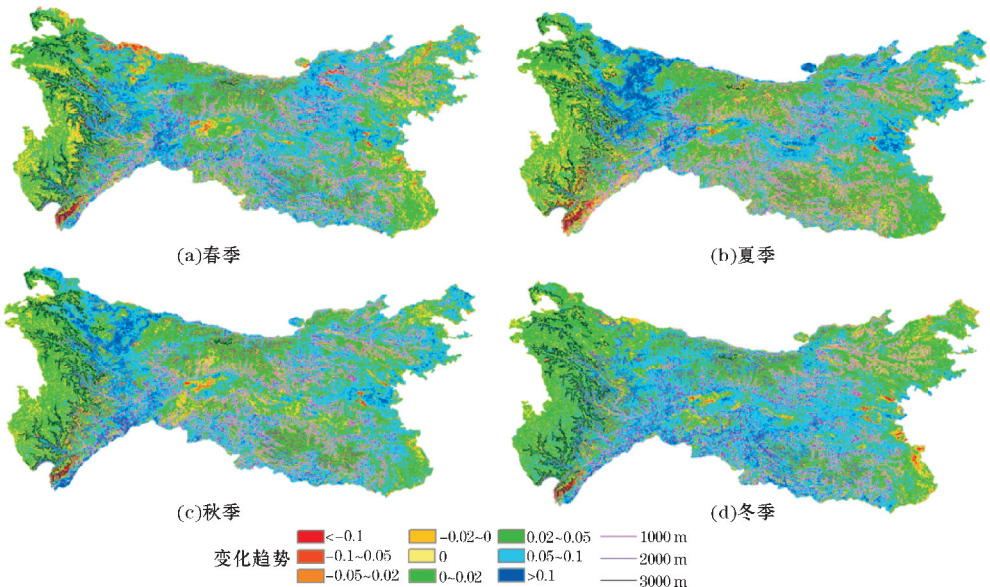


图5 秦巴山区 NDVI 四季变化趋势分布图



2.3 垂直特征

2.3.1 海拔梯度差异

为分析不同海拔梯度秦巴山区植被分布特征,基于 DEM 数据,将秦巴山区海拔按照500 m一个等级进行划分。由 NDVI-海拔分布图可知,NDVI 随着海拔增高出现先增加后减小的趋势。海拔 0 ~ 1000 m NDVI 呈明显增加趋势,并在 1000 ~ 1500 m 达最大,均值 0.63,之后随着海拔的升高,NDVI 值呈下降趋势,当海拔超过3500 m时 NDVI 减少趋势非常明显。统计分析

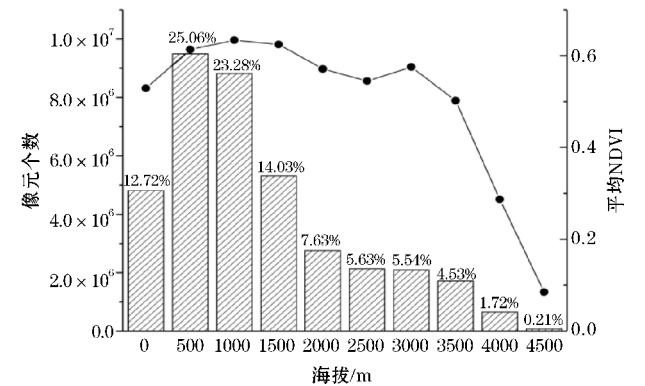


图6 秦巴山区不同海拔梯度平均 NDVI

全区高程信息发现,秦巴山区海拔主要分布在 500 ~ 2000 m, 占 52.37%, 海拔大于 2000 m 区域约占 24.91%, 海拔小于500 m区域约为12.72% (图 6)。

利用 DEM 数据对不同海拔梯度的 NDVI 进行了趋势分析。结果表明,小于500 m海拔的地区主要分布在秦巴山区东侧的河南以及湖北地区,大部分区域变化趋势超过0.02,极少数区域小于-0.1 (图 7a)。500 ~ 1000 m海拔主要位于河南湖北西部、陕西汉中盆地以及四川东北与重庆接壤地区,大部分区域变化趋势大于0.05,陕西汉中盆地附近 NDVI 增加趋势不明显 (图 7b)。1000 ~ 1500 m海拔主要分布在陕西省,该海拔梯度 NDVI 均呈增加趋势,且大部分区域增加趋势超过0.05,植被覆盖增加趋势明显 (图 7c)。1500 ~ 2500 m海拔梯度各省均有分布,NDVI 变化趋势各等级均有分布,其中甘肃中部植被覆盖增加趋势较为明显 (图 7d、e)。2500 ~ 3500 m海拔集中在四川与甘肃西部,NDVI 增加趋势不明显,少数地区大于0.05,汶川附近植被覆盖减少趋势明显 (图 7f、g)。大于3500 m海拔地区集中在川西高原,NDVI 变化趋势很小,植被覆盖基本无显著变化 (图 7h、i、j)。

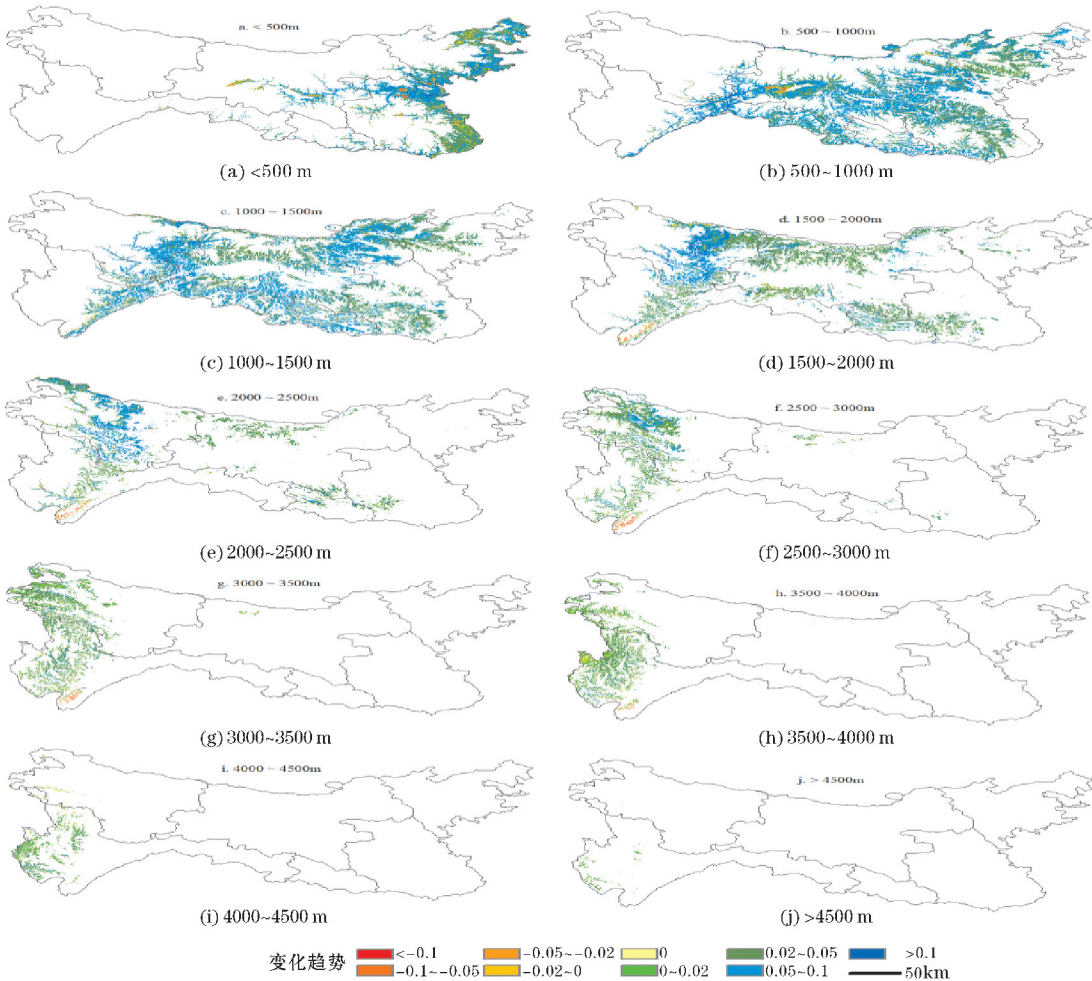


图7 秦巴山区不同海拔梯度 NDVI 变化趋势空间分布

为了更直观地分析秦巴山区不同海拔梯度植被覆盖变化特征,对不同海拔 NDVI 变化趋势进行了空间平均。从图 8 看出,秦巴山区植被覆盖在不同海拔梯度上均呈增加趋势,增加趋势随海拔升高先增加后减小的特征。0~1500 m 海拔梯度上,NDVI 增长速率逐渐增加,并在 500~1000 m 达最大,为 5.5%/10 a,之后随着海拔的升高,增长速率显著下降,在 3500 m 之后趋于稳定,增长速率约为 2.2%/10 a。

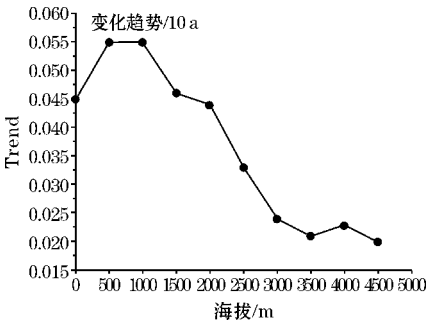


图 8 NDVI 变化趋势折线图

2.3.2 不同海拔梯度 NDVI 与地表温度的响应

以 2001–2017 年秦巴山区 MODIS LST 和 NDVI 产品为基础,分析不同海拔梯度上地表温度与 NDVI 的响应关系(图 9)。结果发现,NDVI 与地表温度之间的相关系数在 0~4000 m 呈增加趋势,并在 3500~4000 m 达最大 0.87;回归系数在 0~4500 m 也呈增加趋势。说明不同海拔梯度上,秦巴山区植被覆盖均随着地表温度的升高而升高,且随着海拔升高,植被覆盖对地表温度的响应越大。在低海拔地区,植被覆盖与地表温度的相关性较小,人类活动丰富,近年来开展的植树造林、退耕还林等项目可能是低海拔地区植被覆盖度增加的主要原因;随着海拔的上升,地形复杂,人类活动受到限制,植被覆盖对地表温度的响应增大。说明地表温度是秦巴山区植被生长的重要影响因素,特别是在高海拔地区地表温度作用更加明显,近年来受全球升温影响,地表温度也随着升高,导致植被覆盖呈上升趋势。

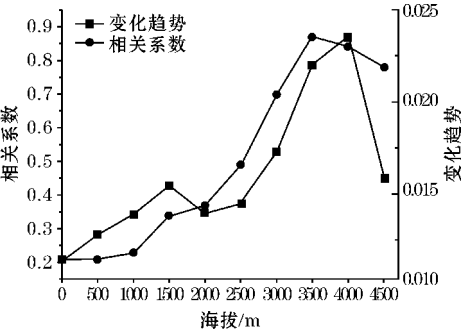


图 9 不同海拔梯度 LST 与 NDVI 响应关系

3 结论

以 2001–2017 年 MODIS-NDVI、LST 和 90 m 分辨率高程数据为基础,分析了秦巴山区 NDVI 季节差异、海拔依赖性及其与地表温度的响应,得出如下结论:

(1) 17 a 秦巴山区 NDVI 整体以 4.65%/10 a 的速率增加,NDVI 数值季节差异明显,表现为夏季>秋季>春季>冬季,冬季植被覆盖增加趋势最明显。

(2) 空间分布上,秦巴山区 NDVI 呈现出中部高,东西低的特征,NDVI 大于 0.6 区域占 57.98%,其中高值区主要位于陕南、四川东北部和重庆,低值区主要位于河南、湖北低海拔地区以及四川、甘肃高海拔区域。

(3) 秦巴山区 NDVI 整体随海拔的上升先增高后减小,在 1000~1500 m,NDVI 达最大,在>3500 m 后,NDVI 急剧减小。不同海拔梯度上,2001–2017 年秦巴山区 NDVI 均呈增加趋势,增长速率也呈随海拔上升先增加后减小的特征,500~1500 m 海拔梯度上,增长速率最大为 5.5%/10 a,随后增长速率随海拔上升而下降,在大于 3500 m 后增长速率约为 2.2%/10 a。

(4) 地表温度是秦巴山区植被生长的重要影响因素,植被覆盖与地表温度存在显著的正相关关系,且随着海拔上升,地表温度对植被生长影响越明显。

参考文献:

[1] PIAO S, WANG X, CIAIS P, et al. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006 [J]. Global Change Biology, 2011, 17(10): 3228–3239.

[2] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报,1998(2):204–209.

[3] 林玉英,胡喜生,邱荣祖,等. 基于 Landsat 影像的 NDVI 对植被与影响因子交互耦合的响应机制[J]. 农业机械学报,2018(10):212–219.

[4] 王正兴,刘闯,Huete A R. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报,2003,23(5):980–987.

[5] 白建军,白江涛,王磊. 2000–2010 年陕北地区植被 NDVI 时空变化及其与区域气候的关系[J]. 地理科学,2014,34(7):882–889.

[6] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1999 [J]. Nature, 1997, 386:698–702.

[7] Myneni R B, Tucker C J, Asar G, et al. Increased variations in satellite-sensed vegetation index data

- from 1981 to 1991 [J]. *Geophys Res*, 1998, 103 (6):6145–6160.
- [8] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 1982–2012 年中国植被覆盖的时空变化特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(16):5331–5342.
- [9] 王青霞,吕世华,鲍艳,等. 青藏高原不同时间尺度植被变化特征及其与气候因子的关系分析[J]. *高原气象*, 2014, 33(2):301–312.
- [10] 石玉琼,郑亚云,李团胜. 榆林地区 2000–2014 年 NDVI 时空变化[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(1):211–218.
- [11] 李忠峰,李雪梅,蔡运龙,等. 基于 SPOT VEG-TATION 数据的榆林地区土地覆盖变化研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(2):56–59.
- [12] 宋怡,马明国. 基于 SPOT VEG-TATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(1):89–94.
- [13] Forzieri G, Castelli F, Vivoni E R. Vegetation Dynamics within the North American Monsoon Region [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(6):1763–1783.
- [14] Tang Q, Vivoni E R, Muñozarriola F, et al. Predictability of Evapotranspiration Patterns Using Remotely Sensed Vegetation Dynamics during the North American Monsoon [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2012, 13(1):103–121.
- [15] 崔林丽,史军,杨引明,等. 中国东部植被 NDVI 对气温和降水的旬响应特征[J]. *地理学报*, 2009, 64(7):850–860.
- [16] 史军,孙国武,崔林丽. 中国东部 NDVI 时空变化及对东亚夏季风响应[J]. *高原气象*, 2008(s1):170–174.
- [17] 陈艳英,游扬声,唐云辉,等. 重庆市植被指数与高度/坡度的关系研究[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 41(11):122–129.
- [18] 李薇,谈明洪. 太行山区不同坡度 NDVI 变化趋势差异分析[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(4):509–519.
- [19] IPCC. *Climate change 2013:the physical science basis*[M]. Cambridge University Press, 2013.
- [20] Fu Bojie. The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8):1052–1059.
- [21] 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]. 西安:西北大学, 2009.
- [22] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等. 2000–2014 年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. *地理学报*, 2015, 70(5):705–716.
- [23] 马新萍,白英红,贺映娜,等. 基于 NDVI 的秦岭山地植被遥感物候及其与气温的响应关系——以陕西境内为例[J]. *地理科学*, 2015, 35(12):1616–1621.

## Seasonal Variation of NDVI and Altitude Dependent Characteristics in Qinling-Daba Mountains in Recent 17 Years

BIN Xin, CHENG Zhigang, WANG Junfeng, JIN Liya

(Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province College of Atmospheric Sciences Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** The study on vegetation characteristics of Qinling-Daba Mountains area is mainly concentrated in shananxi province, these data come from earlier years, so it is difficult to show the characteristics of vegetation change in the whole mountainous area under the background of rapid urbanization in recent 10 years. Based on the MODIS NDVI data from Qinling-Daba Mountains in 2001–2017 and the MODIS LST data, the seasonal variation, altitude dependence and surface temperature response of NDVI in the entire Qinling-Daba Mountains area are analyzed. The results show: NDVI in Qinling-Daba Mountains increased by 4.65%/10 a, the seasonal difference of the NDVI is obvious, the expression summer>autumn>spring>winter, and the winter vegetation growth trend is the most obvious; The vegetation cover of Qinling-Daba Mountains area increases first and then decreases with increasing altitude, the vegetation coverage of 500–1500 m is the largest; In different altitude gradients, the NDVI in Qinling-Daba Mountains area increased from 2001 to 2017, and the growth rate increased first and then decreased with altitude, the maximum growth rate of NDVI in the range of 500–1500 m was 5.5%/10 a; There is a positive correlation between NDVI and surface temperature in the Qinling-Daba Mountains, and the greater the response of NDVI to surface temperature as the altitude increases.

**Keywords:** atmospheric sciences; climate change and numerical simulation; NDVI; Qinling-Daba mountains; altitude; trend