

# 阿克苏河流域不同植被类型 *NDVI* 时空变化特征

张辉<sup>1</sup>, 刘江华<sup>2</sup>, 张超<sup>2</sup>

(1. 塔里木河流域阿克苏管理局, 新疆 阿克苏 843300; 2. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 归一化植被指数 (*NDVI*) 是反映地表植被生长状况的一类敏感的光谱信号。利用 *NDVI* 反演新疆阿克苏河流域内的植被覆盖及动态变化特征, 有利于及时准确地获取流域内植被的时空分布, 在气候变化背景下深入研究阿克苏河流域植被的生长及变化特征, 具有重要意义。根据土地利用类型划分标准, 结合研究区现状, 将阿克苏河流域植被分为林地、灌木林地、草地、园地和耕地共 5 种类型, 利用 2000 年 2 月–2014 年 12 月 *NDVI* 16 d 逐月合成数据, 分析了研究区不同植被类型的 *NDVI* 在各生长阶段的数量变化特征, 拟合了不同植被类型的生长状况及其变化曲线。研究表明: 2000–2014 年, 阿克苏河流域林地、灌木林地和耕地的 *NDVI* 整体呈下降趋势, 草地和园地的 *NDVI* 则呈现上升趋势; 各类植被的 *NDVI* 最低值均出现在冬季 (1–2 月), 峰值则出现在夏季 (7–8 月); *NDVI* 值急剧上升阶段处于 3–5 月, 下降阶段处于 9–11 月; 耕地和园地覆盖度明显增加, 林地、灌木林地和草地覆盖度则呈现减少趋势。

**关键词:** 归一化植被指数 (*NDVI*); 植被长势; 时空分布; 阿克苏河流域

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)04-0088-05

## Spatial – temporal variation of different vegetation based on *NDVI* of Aksu river basin in Xinjiang

ZHANG Hui<sup>1</sup>, LIU Jianghua<sup>2</sup>, ZHANG Chao<sup>2</sup>

(1. Aksu Management Bureau of the Tarim River Basin, Aksu 843300, China ;

2. Faculty of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** The normalized difference vegetation index ( *NDVI* ) is a kind of simple and sensitive spectral signal to reflect the vegetation growth. It is beneficial to capture the spatial – temporal distribution of vegetation by using *NDVI* to retrieve the vegetation cover and dynamic changes in Aksu River Basin. In the background of global climate change, it has important significance in studying on the vegetation growth and changes in Aksu River Basin. According to the classification of land use types and the characteristics of the research area, the vegetation of the study area was divided into 5 types: woodlands, shrub land, meadows, gardens and farmland. The changes of *NDVI* of different vegetation types in Aksu river basin were analyzed by using 16d *NDVI* data, from February 2000 to December 2014. It reflected the growth of vegetation types and the change curves. The results show that the *NDVI* of woodlands, shrub land and farmland from 2000 – 2014 in Aksu River Basin showed a downward trend, whereas the *NDVI* of meadows and gardens showed an upward trend. The minimum values of *NDVI* were in winter (January to February), while the maximum values of *NDVI* were in summer (July to August). From March to May, the *NDVI* value had been racing up, whereas from September to November, the *NDVI* value had been rapidly falling off. The coverage of farmland and gardens increased obviously but the coverage of woodlands, shrub land and meadows decreased.

**Key words:** normalized difference vegetation index ( *NDVI* ); vegetation growth; spatial – temporal distribution; Aksu river basin

植被作为生态系统的重要组分,其覆盖及长势变化在全球气候变化研究中发挥着指示作用<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2017-03-21; 修回日期: 2017-04-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31460195、31660236); 新疆维吾尔自治区水利厅科技支撑项目 (TGJAKS – SKS – 2014 – 002)

作者简介: 张辉 (1963–), 男, 甘肃榆中人, 本科, 高级工程师, 主要从事水资源管理及研究工作。

通讯作者: 刘江华 (1970–), 男, 湖北天门人, 博士, 副教授, 主要从事植被生态学和生态水文方面的研究工作。

首先,气候是植被变化的决定性因素<sup>[2]</sup>,每个气候类型区均存在与之对应的植被类型;其次,不同的植被类型亦能通过影响植被与大气间的物质和能量交换对气候产生影响<sup>[3]</sup>。植被与气候的关系是全球气候变化与陆地生态系统研究的热点问题<sup>[4]</sup>。当前,国内外学者利用长时间序列数据在植被生长对气候变化的响应方面已开展了广泛研究<sup>[5-8]</sup>。植被指数对植被的长势和生长量较为敏感,可以较好反映地表植被的生长状况<sup>[9]</sup>,能准确地反演植被覆盖程度<sup>[10]</sup>,已广泛用于定性/定量评价植被覆盖研究中,并已发展了几十种植被指数模型。其中,归一化植被指数(NDVI)的应用范围最广<sup>[11]</sup>。

新疆作为我国西部干旱区的主体,其植被类型具有一定典型性<sup>[12]</sup>。新疆阿克苏河流域内的自然植被和人工植被分布较为广泛,对调节区域气候变化和维护地区生态系统安全发挥了重要作用。研究阿克苏河流域自然植被和人工植被在不同时间和空间尺度上的动态变化特征,将有助于揭示全球气候变化对干旱区植被的影响机制<sup>[13]</sup>,掌握植被的时空变化规律,为今后有效保护和合理利用干旱区植被资源提供科学依据。

## 1 研究区概况

新疆阿克苏河流域地处欧亚大陆腹地,位于天山中段南麓西部地区、塔里木盆地西北边缘,介于北纬40°17'~42°27'、东经75°35'~80°59'之间,平均海拔1 100 m。由托什干河和库玛拉克河两大支流在喀拉都维汇合后称阿克苏河,全长530 km。

阿克苏河流域地势呈西北高、东南低,地貌分带较为明显。流域内气候温和,年平均气温10℃,无霜期210 d。水汽主要来源于西风环流,降水主要集中在山区,垂直地带分布显著,时空分布不均匀,高山区年降水量为900 mm,而海拔1 000 m左右地区的年降水量仅约50 mm。降水量从东向西递减,季节变化较大,夏季降水量较大,约占年降水量的70%,年际变化亦较明显,最大年降水量是最小年降水量的4倍。陆地蒸发量大,干旱指数为11.2,具有干旱地区河川径流补给的垂直地带性和多样性的典型特征<sup>[14]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据收集与处理

2.1.1 NDVI数据收集及预处理 NDVI数据来源于中国科学院计算机网络信息中心提供的MODIS

合成产品,时间尺度为2000年2月-2014年12月,为16 d合成数据,空间分辨率为500 m。运用栅格计算器将原始DN值转换为NDVI标准值 $[-1, 1]$ 的范围。有植被覆盖的区域其NDVI值大于0,负值则表示为云、水、雪等对象;0值表示为岩石或裸土等,其NIR和R近似相等;正值表示植被覆盖,且值随覆盖度/生物量增大而增大。利用NDVI可计算植被覆盖度,公式如下:

$$\text{植被覆盖度} = (NDVI_{\max} - NDVI) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (1)$$

植被覆盖度在0~0.1之间为极低覆盖度,0.1~0.3为低覆盖度,0.3~0.5为中等覆盖度,0.5~0.7为中高覆盖度,0.7~1为高覆盖度<sup>[15]</sup>。

常用的最大合成法(MVC)能消除部分云、大气和太阳高度角的干扰。采用MVC法计算了阿克苏河流域逐月植被NDVI最大值、多年平均月值和年均值。在植被生长季(4-10月),若NDVI值小于0则表示地表为裸土、沙漠、水体、冰雪或云覆盖区域<sup>[16]</sup>。

2.1.2 植被信息解译 基于覆盖研究区的Landsat TM/ETM/OLI卫星遥感影像和外业调查中建立的解译标志,采用监督分类和目视解译相结合的方法,以林地、灌木林地、耕地、园地和草地为分类系统,进行了研究区各时期、各土地利用类型的遥感信息提取。利用189个外业实测样点数据建立了混淆矩阵,对分类结果进行了精度验证,总体分类精度为90.73%,总体Kappa系数为0.834。

2.1.3 NDVI的计算 NDVI为近红外波段与可见光红波段数值之差与此二波段数值之和的比值。式(2)中 $R_{CH2}$ 是MODIS数据第2波段(近红外波段)的地表反射率; $R_{CH1}$ 是MODIS数据第1波段(可见光红波段)的地表反射率。

$$NDVI = (R_{CH2} - R_{CH1}) / (R_{CH2} + R_{CH1}) \quad (2)$$

### 2.2 均值法

均值法即统计研究区内所有像元的平均值。采用式(3)将2000-2014年间每年4-10月(植被生长季)NDVI平均值作为新疆植被空间分布指标,记为K。

$$K = \sum_{i=4, j=1}^{i=10, j=15} NDVI_{ij} / 15 \quad (3)$$

式中: $i$ 为月份; $j$ 为年份。

参考相关研究成果<sup>[17-18]</sup>,将阿克苏河流域植被等级划分为:植被空间分布指标K在0.1以下(含0.1)时为极低植被区;K处于0.1到0.25之间(含

0.25) 时为低植被区;  $K$  处于 0.25 到 0.4 之间(含 0.4) 时为中等植被区;  $K$  处于 0.4 到 0.6 之间(含 0.6) 时为高植被区;  $K$  值在 0.6 以上时为浓密植被区。将植被指数不同值和不同变化值赋予不同的评价标准:  $NDVI$  年平均值  $<0$ , 表示为冰雪覆盖区域和水域地区;  $NDVI$  年平均值在  $0 \sim 0.1$  之间, 表示为无植被或植被较少区域;  $NDVI$  年平均值  $\geq 0.1$ , 表示为有植被区域, 其中  $NDVI$  年平均值  $>0.3$  为植被较好区域,  $NDVI$  年差值  $<0$  为植被减少区, 差值在  $0 \sim 0.1$  之间为植被增加但不显著区, 差值  $\geq 0.1$  为植被显著增加区域。

2.3 转移概率矩阵法

植被类型之间相互转移的面积或比例即为状态转移矩阵, 用式(4)对植被类型状态进行定量描述:

$$S_{t+1} = P_{ij} \times S_t \tag{4}$$

式中:  $S_t$ 、 $S_{t+1}$  分别为  $t$ 、 $t+1$  时刻的系统状态;  $P_{ij}$  是状态转移矩阵。

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中:  $0 \leq P_{ij} < 1$ , 且  $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, \cdots, n)$ 。

2.4 一元线性回归法

对每一个像元对应的年平均值与时间进行线性拟合, 用最小二乘法计算其趋势斜率:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{6}$$

式中:  $b$  为趋势斜率;  $x$ 、 $y$  分别为年份和该年的  $NDVI$  值;  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  分别为年份平均值和所有年份  $NDVI$  平均值。

负斜率表示植被覆盖度下降, 正斜率表示植被覆盖度上升。趋势显著性检验采用多元统计分析中的  $F$  检验。

3 结果与分析

3.1 空间尺度上的分布特征及动态变化

3.1.1 空间分布特征 图 1 为 2000 年和 2014 年阿克苏河流域植被斑块解译结果。从图 1 中可以看出, 2000 年, 园地零散分布于研究区西北部及中部地区, 且覆盖度较低; 林地主要分布于研究区东北部及北部; 灌木林地较集中分布于中部和西南部; 耕地零散分布于除东北部以外的其他地区; 草地则分布于研究区南部及北部, 且覆盖度极低。2014 年园地集中分布于西北部和北部; 林地集中分布于东北部; 灌木林地主要分布于南部及东南部, 北部有少量分布; 耕地主要集中分布于研究区中部及东南部, 西北部有少量分布; 草地分布于研究区南部, 西南部有少量分布, 覆盖度较低。

3.1.2 动态变化特征 阿克苏河流域 2000 - 2014 年土地利用转移矩阵概率矩阵如表 1 所示。2000 - 2014 年间, 草地主要转化为其他土地和耕地, 其中 13.70 % 转化为其他土地, 24.86 % 转化为耕地, 补充来源主要是水域; 林地有 19.88 % 转化为耕地, 增加部分来源于其他土地和草地; 水域有 12.03 % 转化为林地, 3.93 % 转化为草地, 10.26 % 转化为耕地; 41.19 % 的园地转化为耕地, 29.81 % 的耕地转化为园地; 建设用地的增加主要来源于耕地、园地和其他土地。其他土地有 10.18 % 转化为林地, 19.93 % 转化耕地, 5.62 % 转化为园地, 新增加的其他土地主要来源于草地和林地。上述转化情况说明阿克苏河流域人为经营活动较为频繁, 各地类间均存在相互转化的情况, 受经济利益驱使及一些轮作措施的影响, 耕地和园地之间相互转化尤为突出。

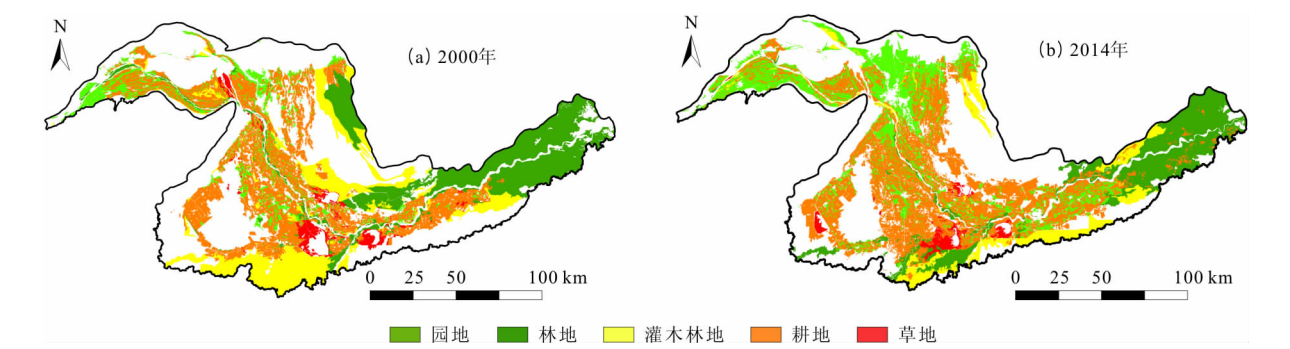


图 1 阿克苏河流域植被斑块解译结果

表 1 阿克苏河流域 2000 – 2014 年土地利用转移概率矩阵

%

| 土地利用类型 |      | 2014 年 |       |       |       |       |       |       |
|--------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |      | 草地     | 林地    | 水域    | 园地    | 建设用地  | 其他土地  | 耕地    |
| 2000 年 | 草 地  | 27.03  | 15.10 | 18.51 | 0.74  | 0.07  | 13.70 | 24.86 |
|        | 林 地  | 0.67   | 53.55 | 2.12  | 3.74  | 0.27  | 19.78 | 19.88 |
|        | 水 域  | 3.93   | 12.03 | 63.17 | 1.72  | 0.14  | 8.76  | 10.26 |
|        | 园 地  | 0.15   | 0.61  | 0.24  | 53.16 | 2.77  | 1.88  | 41.19 |
|        | 建设用地 | 0.00   | 0.14  | 0.00  | 2.41  | 71.00 | 4.11  | 0.34  |
|        | 其他土地 | 0.42   | 10.18 | 1.21  | 5.62  | 0.35  | 62.29 | 19.93 |
|        | 耕 地  | 0.32   | 1.26  | 0.38  | 29.81 | 1.38  | 2.75  | 66.09 |

近 15 年,阿克苏河流域植被空间分布发生了显著变化。园地和耕地覆盖度大幅增加,且集中区由西北部向北部蔓延;林地覆盖度减少且研究区北部的林地覆盖区大幅退化;灌木林地覆盖度明显减少,且分布集中区由南部向东部和东南部迁移;草地覆盖度呈现略微减少趋势,研究区北部的草地覆盖区转移到了西南部。

3.2 时间尺度上的分布特征及动态变化

3.2.1 年均 *NDVI* 变化趋势 图 2 为阿克苏河流域林地、灌木林地、耕地、园地和草地共 5 种植被类型 2000 – 2014 年间的年均 *NDVI* 变化曲线及其曲

线拟合结果。

由图 2 可知,5 种植被类型的年均 *NDVI* 均呈现波动变化。其中,林地 *NDVI* 整体呈现微弱下降趋势,变化趋势线斜率为  $-0.000\ 06$ ,其植被覆盖略有减少;灌木林地 *NDVI* 呈明显下降趋势,变化趋势线斜率为  $-0.007\ 91$ ,其覆盖减少速率明显大于林地;耕地和园地则整体呈上升趋势,其植被覆盖有所增加,二者变化趋势线斜率分别为  $0.001\ 75$  和  $0.000\ 4$ ,园地的植被覆盖增加速率明显大于耕地;草地的 *NDVI* 整体呈现明显的下降趋势,变化趋势线斜率为  $-0.007\ 65$ ,草地覆盖度明显减少。

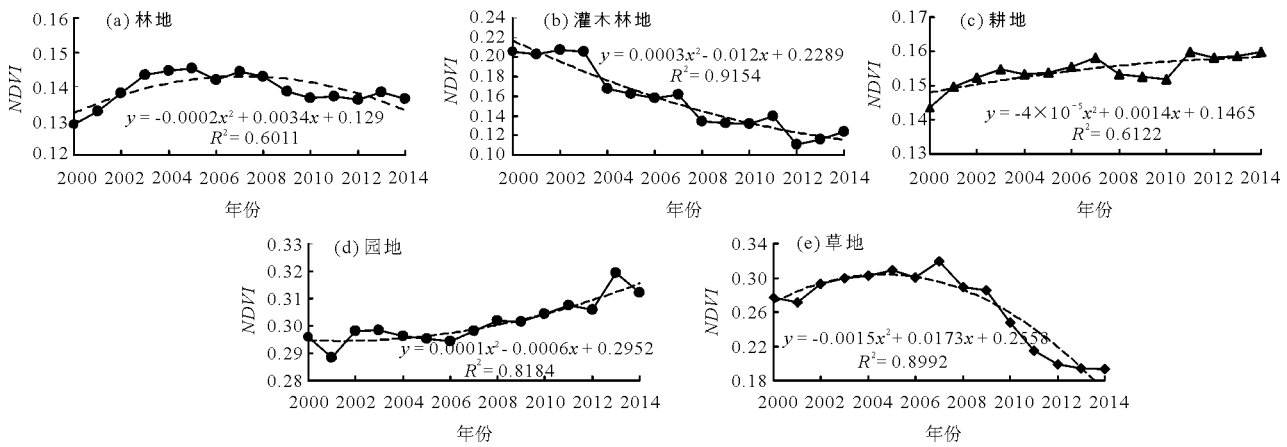


图 2 阿克苏河流域主要植被类型年平均 *NDVI* 曲线和曲线拟合

3.2.2 月均 *NDVI* 变化趋势 图 3 为阿克苏河流域林地、灌木林地、耕地、园地和草地共 5 种植被类型 2000 – 2014 年间的月均 *NDVI* 变化曲线。从图 3 可以看出,研究区各植被类型年内变化整体上均呈现显著的季节性。一年内:2 – 3 月,各类植被 *NDVI* 均达最低值;4 – 6 月,各类植被 *NDVI* 均呈现急剧上升趋势,表明植被覆盖显著增大,即植被均处于生长旺盛期;7 – 8 月达最高值;9 – 11 月则呈现急剧下降趋势。6 – 9 月期间 *NDVI* 值普遍较高,且波动不大,即 6 – 9 月为植被 *NDVI* 达到波峰期。从各植被类型平均 *NDVI* 数值来看,园地和耕

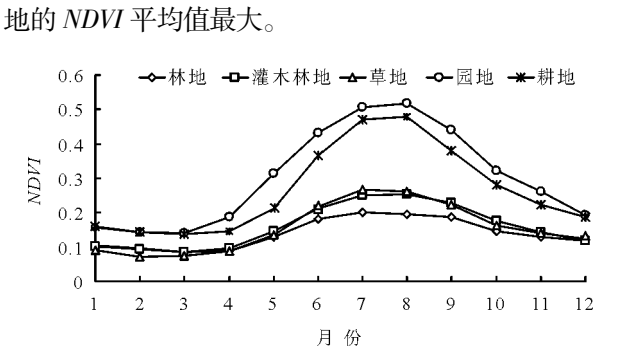


图 3 阿克苏河流域主要植被类型月平均 *NDVI* 曲线

## 4 结论与讨论

利用 MODIS - *NDVI* 植被指数月合成数据,对新疆阿克苏河流域 2000 - 2014 年林地、灌木林地、耕地、园地和草地共 5 种植被类型的年均 *NDVI* 和月均 *NDVI* 指数变化进行了分析,主要研究结论如下。

(1) 2000 - 2014 年阿克苏河流域内林地的 *NDVI* 整体下降趋势,植被覆盖有所减少;灌木林地的减少速率明显大于林地;耕地和园地 2000 - 2014 年的 *NDVI* 整体呈现上升趋势,植被覆盖略有增加,园地的增加速率明显大于耕地;草地的 *NDVI* 整体呈明显下降趋势,表明草地的覆盖明显减少。

(2) 研究区各植被类型年内变化整体上均呈现较强的季节性分布。各植被类型的 *NDVI* 最低值均出现在春季(2 - 3 月),峰值出现在夏季(7 - 8 月)。

(3) 研究区各植被类型的 *NDVI* 急剧上升阶段处于每年 4 - 6 月,表明植被覆盖急剧增大,而急剧下降阶段处于 9 - 11 月,表明植被覆盖急剧减少。导致上述结果的主要原因为流域内主要植被类型在 4 月份左右逐渐开始萌发,植物体内的叶绿素强烈反射近红外波段的电磁波, *NDVI* 数值增大;9 - 11 月为叶片凋落期,近红外波段的反射率降低。

(4) 2014 年与 2000 年相比,园地与耕地覆盖明显增加且均向西北方向迁移,而林地、灌木林地与草地覆盖则呈减少趋势且大幅向东南方向迁移。

本研究利用 *NDVI* 反演阿克苏河流域内的植被覆盖及动态变化特征,通过分析不同植被类型 *NDVI* 的时空变化特征,有利于及时准确地获取流域内植被的空间分布和动态变化,能够进一步交叉分析同一时相的植被覆盖在空间地域上的差异和同一空间的植被覆盖在不同时相上的差异。由于“同物异谱”和“同谱异物”现象的存在,为减少解译误差对研究结果的影响,本研究中遥感解译的分类系统仅选取了研究区主要的植被类型(包括林地、灌木林地、耕地、园地和草地),未进行土地利用亚类/植被种类的深层研究。同时,结合研究区长期气象观测数据和社会经济信息研究阿克苏河流域植被类型对全球气候变化的响应机制,将具有更为深远的意义。

### 参考文献:

[1] 元志辉,包刚,银山,等. 2000 - 2014 年浑善达克沙地植被覆盖变化研究[J]. 草业学报,2016,25(1):33 - 46.

[2] 孙红雨,王常耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报,1998,2(3):204 - 210.

[3] Los S O, Collatz G J, Bounoua L, et al. Global interannual variations in sea surface temperature and land surface vegetation, air temperature, and precipitation [J]. Journal of climate, 2001, 14 (7): 1535 - 1549.

[4] Piao Shilong, FANG Jingyun. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in china between 1982 and 1999 [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58 (1): 119 - 125.

[5] Zhou Liming, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite date of vegetation index during 1981 - 1999 [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106 (17): 20069 - 20083.

[6] Ji Lei, Peters A J. A spatial regression procedure for evaluating the relationship between AVHRR - *NDVI* and climate in the northern Great Plains [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25 (2): 297 - 311.

[7] 郭梦媚,郭胜利,周佳雯,等. 江西省植被 *NDVI* 变化及其对气候变化的响应[J]. 江苏农业科学,2015,43 (11):421 - 426.

[8] 周伟,刚成诚,李建龙,等. 1982 - 2010 年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):15 - 30.

[9] Li Zuotao, Kafatos M. Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Nino / Southern Oscillation [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 71 (3): 239 - 247.

[10] 奚砚涛,徐勇,刘欣婷. 2000 - 2013 年江苏省不同植被类型 *NDVI* 时空变化特征[J]. 水土保持研究,2016,23(1):86 - 91.

[11] 王琳,景元书,张悦. 基于 MODIS 的长江中下游地区植被净第一性生产力时空变化规律[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(6):829 - 836.

[12] 许玉凤,杨井,李卫红,等. 1982 - 2013 年新疆不同植被生长时空变化[J]. 草业学报,2016,25(1):47 - 63.

[13] 周梦甜,李军,朱康文,等. 近 15a 新疆不同类型植被 *NDVI* 时空动态变化及对气候变化的响应[J]. 干旱区地理,2015,38(4):779 - 787.

[14] 苗立志,姜岩,闫国年,等. 阿克苏河流域土地利用变化与动态监测分析[J]. 地球信息科学,2007,9(2):124 - 128.

[15] 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.

[16] 宋怡,马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠,2007,27(1):89 - 93.

[17] 李震,阎福礼,范湘涛. 中国西北地区 *NDVI* 变化及其与温度和降水的关系[J]. 遥感学报,2005,9(3):309 - 313.

[18] 高丽敏,陈兴鹏,黄艳. 基于 RS 和 GIS 的中国西北不同生态类型区生态环境时空变化研究[J]. 中国沙漠,2007,27(1):65 - 71.