

DOI: 10.5846/stxb201301230138

廖清飞, 张鑫, 马全, 姚瑶, 于东平. 青海省东部农业区植被覆盖时空演变遥感监测与分析. 生态学报, 2014, 34(20): 5936-5943.

Liao Q F, Zhang X, Ma Q, Yao Y, Yu D P. Spatiotemporal variation of fractional vegetation cover and remote sensing monitoring in the eastern agricultural region of Qinghai Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 5936-5943.

青海省东部农业区植被覆盖时空演变遥感监测与分析

廖清飞¹, 张鑫^{1,*}, 马全¹, 姚瑶¹, 于东平²

(1. 西北农林科技大学, 水利与建筑工程学院, 杨凌 712100; 2. 山东省水利勘测设计院, 济南 250014)

摘要: 基于象元二分模型, 利用 MODIS 植被指数产品定量估算研究区 2000—2009 年生长季(4—9 月) 植被覆盖度, 采用相关系数法和有序聚类分析方法对植被覆盖度时空变化趋势及突变进行了分析, 并结合 DEM 分析其对地形因子的响应。结果显示: 1) 研究区 2000—2009 年整体植被覆盖度在波动中呈不显著增加趋势, 其中 2001 年是显著突变年份, 表明研究区植被覆盖度发生比较显著的变化; 2) 通过对地形因子的响应分析, 植被覆盖度在高程 2500m 和 4100m, 坡度 4° 和 26° 发生突变; 对各高程带、坡度带植被覆盖度年际变化趋势及突变年份进行分析, 获得了各带的变化趋势及其突变年份。对研究获得的结果进行讨论, 结果表明: 研究区降水量的变化及退耕还林措施是植被覆盖度变化的重要影响因素, 其中退耕还林措施对植被覆盖度变化的影响较大。

关键词: 植被覆盖度; 时空演变; 遥感监测; 退耕还林; 青海省东部农业区

Spatiotemporal variation of fractional vegetation cover and remote sensing monitoring in the eastern agricultural region of Qinghai Province

LIAO Qingfei¹, ZHANG Xin^{1,*}, MA Quan¹, YAO Yao¹, YU Dongping²

1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 Shandong Survey and Design Institute Of Water Conservancy, Jinan 250014, China

Abstract: Based on dimidiate pixel model, the normalized difference vegetation index (NDVI) datasets deduced from MODIS product were used to calculate the fractional vegetation cover (FVC) in the eastern agricultural region of Qinghai Province in vegetation growing season (Apr.—Sep.) from 2000 to 2009. The correlation coefficient method and the ordered clustering analysis method were applied to detect the spatiotemporal trend and identify abrupt change points. In addition, DEM was considered to investigate the influence of terrain factors on fractional vegetation cover. The results indicated that: 1) fractional vegetation cover of the study area showed a slightly upward trend from 2000 to 2009 and the change was not significant; The year of 2001 was a significant abrupt change point, suggesting that the fractional vegetation cover changed significantly. 2) According to the analysis of fractional vegetation cover responding to terrain factors, the abrupt change points of fractional vegetation cover can be found at: 2500 m and 4100 m in the elevation zones, 4 degrees and 26 degrees in the slope zones, respectively. The trend and the abrupt change points in each specific elevation zone and slope zone were obtained through the investigation of interannual variation and abrupt change year between fractional vegetation cover and both elevation and slope zones. Furthermore, the contributing factors to spatiotemporal variation of fractional vegetation cover and its responding to terrain factors were further discussed. It can be conclude that changes in precipitation and returning cultivated land into forest measures were the important influence factors, but the latter had a greater influence.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD29B01); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目(14110209); 西北农林科技大学基本科研创新重点项目(Z109021202)

收稿日期: 2013-01-23; **网络出版日期:** 2014-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhxm@163.com

Key Words: fractional vegetation cover; spatiotemporal variation; remote sensing monitoring; returning cultivated land into forest; the eastern agricultural region of Qinghai province

植被是土地覆盖中最主要部分,是连接土壤、大气和水分等要素的自然纽带^[1],具有截留降雨、减少雨滴击溅、减缓地表径流、增加土壤入渗、保土固土等功能,对减少水土流失起着重要作用^[2]。截至目前,研究者在中国及西北地区利用 NDVI 对植被覆盖及其变化趋势进行了大量的研究与应用^[1-11]。其中,朴世龙、方精云^[11]利用 NOAA-AVHRR 数据对我国 1982—1999 年以来的植被覆盖的动态变化进行了分析,结论表明 20 世纪 80 年代和 90 年代,西北地区和青藏高原是植被覆盖度下降的主要分布区;赵汉青^[1]利用 SPOT4-VEGETATION/NDVI 时间序列数据,对我国 1998—2005 年的植被覆盖状况及其年际变化进行研究分析,其研究表明在显著增加和显著减少区域之间的中间区域,包括陕甘宁、青海等地植被覆盖变化趋势缓和且较为复杂,植被减少和植被增加地区多交叉在一起;张宝庆等^[2]为监测黄土高原植被建设成效,采用 GIMMS 和 SPOT VGT2 种数据集的归一化植被指数作为植被覆盖评价指标,分析了近 30a 黄土高原植被覆盖时空演变趋势,研究显示青海省西宁——同仁平均坡度大于 15°的地区年度 NDVI 平均值与时间呈显著的正相关关系,表明该地区植被覆盖度呈上升趋势。

青海省东部农业区属于黄土高原向青藏高原过渡的镶嵌地带,地处祁连山支脉达坂山以南,龙羊峡以北,日月山以东,寺沟峡以西,属于暖凉温半干旱区,总面积 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要以农业生产为主,是青海省主要粮农作物产区,其耕地面积超过全省总耕地面积的 70%,高达 42 万 hm^2 ^[12]。但是境内大部分为山区,地形环境复杂,自然条件恶劣,干旱缺水,生态环境十分脆弱,故而研究该地区植被覆盖的时空演变及特征对当地生态文明建设有重要意义。以往关于青海省东部农业区植被覆盖及其变化的研究,多基于整个西北区域,且多用植被指数的变化来反映,较少涉及对于研究区植被覆盖度尤其是对地形因子响应的针对性研究。基于此,本文应用简单实用的象元二分模型,利用 MODIS 植被指数产品,结合 DEM 对该地区生长季(4—9 月)植被覆盖度进行估算、监测并分析其时空演变特征以及对地形因子

的响应,以期为该地区生态环境建设提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料及来源

遥感影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站:NDVI 影像数据为 2000—2009 年生长季分辨率为 1km/月的 MOD13A3 数据,以及各年 6 月中旬分辨率为 250m/16d 的 MOD13Q1 数据,研究区域位于 h25v5 及 h26v5 两区,该数据集为 Sinusoidal 投影,经过去云、辐射校正、大气校正等预处理。其中,MOD13A3 数据用于植被覆盖度时空演变分析,MOD13Q1 数据用于结合 GDEM 对地形因子进行响应分析。2001—2004 年 MOD12Q2 1KM 地表覆盖类型动态变化 L3 产品,包括 h25v5 及 h26v5 两区共 8 幅影像,用于分割 NDVI 影像,进而估算植被覆盖度。30m 分辨率的 GDEM 数据,包括数字高程和坡度两幅影像,用于分析植被覆盖度对地形因子的响应。

1.2 数据处理

利用 ENVI4.7 插件 MCTK (MODIS Conversion Toolkit)对 NDVI 影像进行重投影,将 Sinusoidal 投影转换为 WGS-84 地理坐标投影,之后将 h25v5 和 h26v5 两区进行拼接,然后利用研究区矢量边界进行裁剪,获得研究区的 NDVI 数据。为反映研究区植被覆盖状况,在分析植被覆盖度时空演变部分,计算生长季 NDVI 平均值,进而利用象元二分模型计算植被覆盖度。运用 Arcgis9.3 将下载的数字高程和坡度影像进行重投影、裁剪和重采样,使其投影为 WGS-84 地理坐标投影,空间分辨率为 250m,便于分析植被覆盖度对地形因子的响应。

1.3 植被覆盖度计算

MODIS 土地覆盖类型产品包括从每年 Terra 星数据中提取的土地覆盖特征不同分类方案的数据分类产品。基本的土地覆盖分为有 IGBP (国际地圈生物圈计划)定义的 17 类,包括 11 类自然植被分类,3 类土地利用和土地镶嵌,3 类无植生土地分类,分别为:水、常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林、郁闭灌丛、开放灌丛、多树的草原、

稀树草原、草原、永久湿地、作物、城市和建成区、作物和自然植被的镶嵌体、雪冰、裸地或低植被覆盖地。为较合理准确地估算研究区植被覆盖度,本文利用 MODIS 土地覆盖类型产品,分割生长季 NDVI 影像,计算各土地覆盖类型的植被覆盖度。其中 2001 年土地覆盖类型产品,分割 2000 和 2001 年 NDVI,2002、2003 年产品分割对应年份 DNVI,2004 年产品分割 2004—2009 年 NDVI。

中低分辨率遥感图像现势性好,覆盖面广,采用基于 NDVI 象元二分模型的植被覆盖度计算方法简单,不依赖于地面实测数据,可操作性强。根据象元二分模型原理,可以将象元的 NDVI 值表示为由有植被覆盖部分地表与无植被覆盖部分地表组成的形式,而植被覆盖度则是其权值。因此,计算植被覆盖度 FVC 的公式可表示为^[13]:

$$NDVI = FVC \times NDVI_{veg} + (1 - FVC) \times NDVI_{soil} \quad (1)$$

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

式中, $NDVI_{soil}$ 为裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值,理论上应接近于 0 且不易变化; $NDVI_{veg}$ 为完全由植被所覆盖的纯植被象元的 NDVI 值,但会随着植被类型和植被的时空分布而变化。为消除年际间的波动变化及便于计算分析, $NDVI_{soil}$ 统一取裸地或低植被覆盖地的各年生长季 NDVI 累积频率 0.5% 的平均值,其他土地覆盖类型 $NDVI_{veg}$ 取自土地覆盖类型的生长季 NDVI 累积频率 99.5% 的平均值。根据象元二分模型,在 ENVI4.7 中运用波段运算功能计算植被覆盖度,即可获得 10a 的生长季植被覆盖度灰度图。

1.4 植被覆盖度变化分析方法

植被覆盖度变化分析包括趋势分析和突变分析,本文趋势分析采用相关系数法,突变分析采用有序聚类分析法。相关系数法是当前植被覆盖时间序列最常用方法,不仅可以定量反映年际变化趋势,还可以结合地理空间数据分析发生的具体空间位置^[14]。以有序分类来推估最可能的突变点 τ ,其实质是寻求最优分割点,使同类之间的离差平方和最小而类与类之间的离差平方和较大。对于序列 $x_1, x_2, \dots, x_n$,若满足 $S = \min_{2 \leq \tau \leq n-1} \{S_n(\tau) = \sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_{\tau})^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2\}$ 时的 τ 为最优分割点,可推断为突变点,其中 $\bar{x}_{\tau}$ 、 $\bar{x}_{n-\tau}$ 分别为 τ 前后两部分的均值^[15]。

2 结果分析

2.1 植被覆盖度时空演变特征

研究区近十年植被覆盖度及其变化趋势见图 1,由图 1 可看出各年植被覆盖度的分布格局,植被覆盖度较低(小于 0.4)主要分布在黄河干支流及湟水河两岸海拔高度小于 3000m 的谷地区域,植被覆盖度较高(大于 0.6)主要分布在黄河谷地和湟水谷地两岸海拔高于 3000m 的山地,以及大通河沿线地区。

提取研究区各年整体植被覆盖度(图 1),植被覆盖度 2001 年与 2000 年相比有所回落,但 2002 年之后在波动中增加,其中 2006 年植被覆盖度较低。变化趋势检验结果如下:相关系数为 0.7227,表明研究区整体植被覆盖度呈显著增加趋势。有序聚类法分析所得的突变点为 2001 年,经 $\alpha=0.05$ 秩和检验,该突变显著,表明 2001 年研究区整体植被覆盖度发生了显著突变。

采用相关系数法分析象元植被覆盖度时空演变情况(图 1)。从图 1 中能够清晰的看到 2000—2009 年研究区植被覆盖度年际间演变的空间分布特征:植被覆盖度变化不显著占主要部分,分布在民和一乐都—西宁—湟中沿线以北的大片区域;植被覆盖度改善显著和改善极显著主要集中分布在黄河谷地和湟水谷地两岸海拔小于 3000m 的区域;植被覆盖度退化显著和退化极显著在湟水沿西宁以上区域及大通河下游出口处有零散分布。对图 1 进行统计分析,结果为:在空间分布上,植被覆盖度呈正相关极显著占研究区面积的 17.79%,呈正相关显著占 15.16%,变化不显著占 65.97%,负相关显著占 0.64%,负相关极显著占 0.44%。

2.2 植被覆盖度对地形因子的响应分析

为揭示植被覆盖度对高程和坡度的响应机制^[16],高程按 100m 间隔分成 29 个带,其中高程小于 1800m 归入 1800m 高程带,高程大于 4500m 归入 4600m 高度带;坡度按 2°间隔分成 19 个坡度带,其中坡度小于 2°归入 2°带,坡度大于 36°归入 38°带。将计算所得 250m 分辨率植被覆盖度 10a 平均值的灰度图,运用 ArcGIS 统计各带象元植被覆盖度均值,以代表该带的整体植被覆盖度,再利用有序聚类法寻找各带植被覆盖度序列的突变点,获得研究区植被覆盖度的空间变异特征。

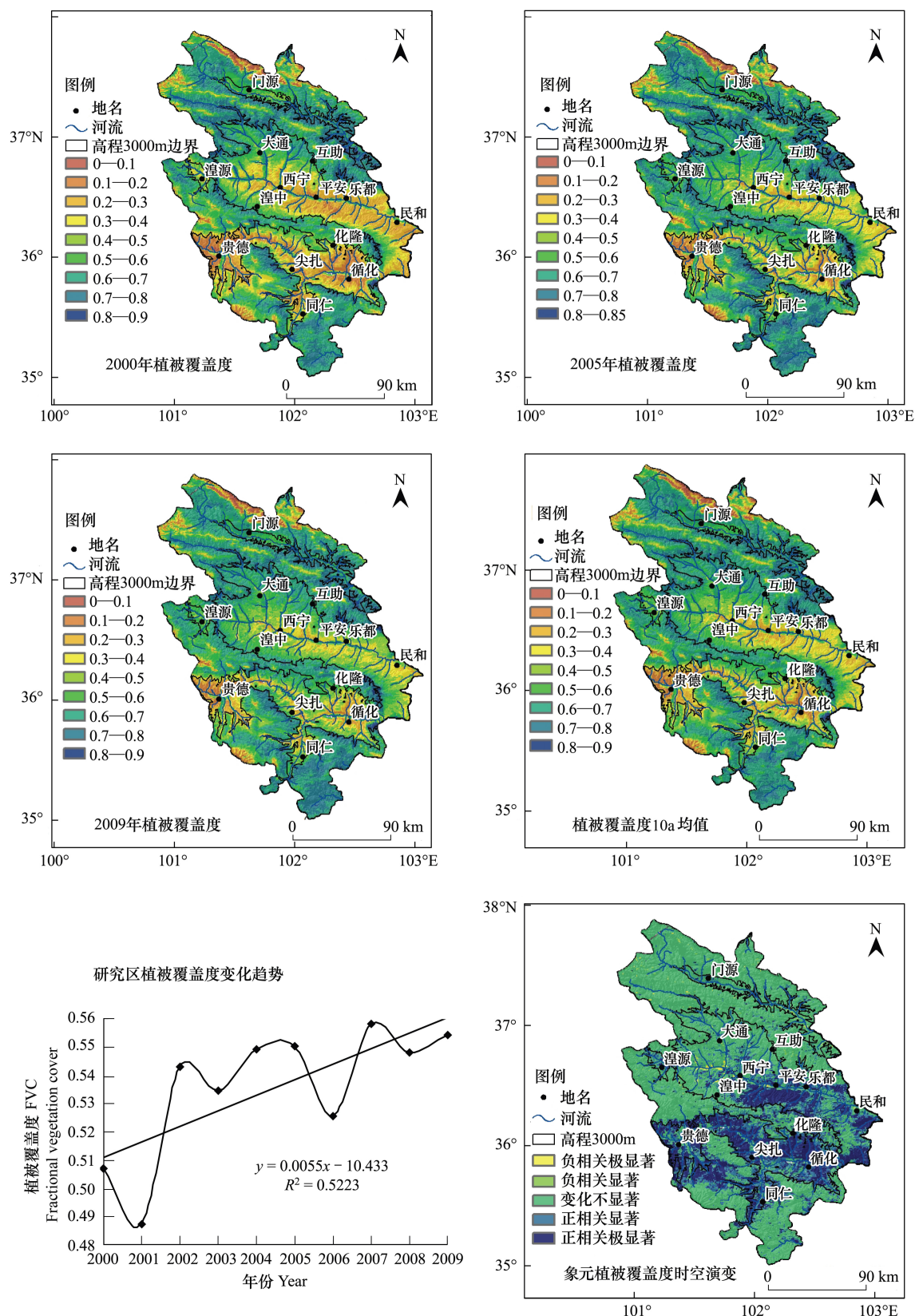


图1 研究区植被覆盖度及其变化趋势

Fig.1 FVC and variation trend of FVC in the study area

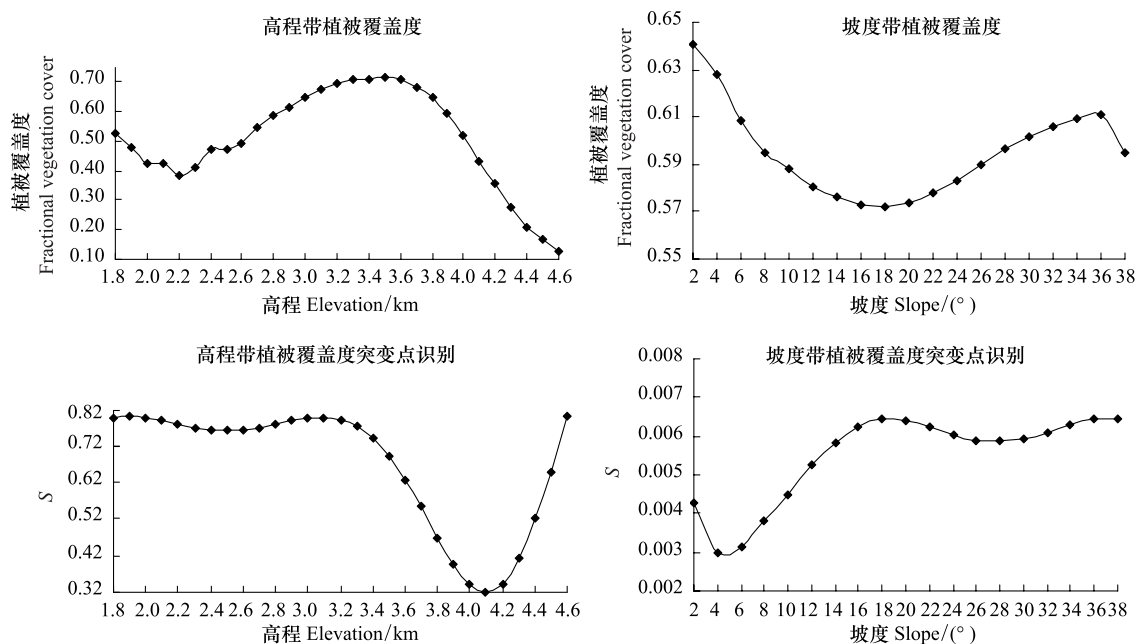


图2 各高程带、坡度带植被覆盖度及突变点识别

Fig.2 Fractional vegetation cover and the identification of abrupt change points

2.2.1 对高程的响应分析

图2是高程带植被覆盖度序列及其突变点的有序聚类分析结果,对照高程两图,4100m高程带是一个突变明显的点,2500m是一个突变不明显的点。为检验突变的显著性,采用秩和检验方法进行检验,结果显示4100m高程带通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,表明该高程带突变显著,2500m则未通过显著性检验,突变不显著。虽然2500m高程带突变不显著,在其之下各高程带植被覆盖度在较低,考虑实际情况,可将植被覆盖度垂直分布划分为3个部分:第一部分高程小于2500m,植被覆盖度较低,平均为0.45;第二部分为2500—4100m,植被覆盖度相对较高,平均为0.64;第三部分为4100m以上,植被覆盖度很低,平均为0.26。

2.2.2 对坡度的响应分析

图2是坡度带植被覆盖度序列及其突变点的有序聚类分析结果,对照坡度两图清晰表明,4°和26°坡度带是两个突变点。利用秩和检验法进行显著性检验,结果显示第一个突变点通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,而第二个突变点则未能通过,表明4°带是一显著的突变点,而26°带是一不显著突变点。因此,可将植被覆盖度沿坡度的分布分为3个部分:第一部分,分布于坡度2°以下,植被覆盖度较高,为0.64;第二部分,分布于坡度4°—26°之间,植被覆盖度平均为

0.59;第三部分,分布于坡度大于26°,植被覆盖度平均为0.60。

2.2.3 变化趋势及突变分析

为揭示各高程带及坡度带植被覆盖度年际演变特征,利用相关系数法及有序聚类法分析各带十年植被覆盖度序列的变化趋势及其发生突变的年份,表1、表2为分析结果。

从表1可看出,植被覆盖度在高程带上,2000—4300m以及4500m有上升趋势,其余呈下降趋势。经过相关系数检验,2200—2700m高程带通过 $\alpha=0.05$ 正相关显著性检验,表明这些高程带植被覆盖度呈显著增加趋势,2800m高程带通过 $\alpha=0.01$ 正相关极显著检验,表明该带植被覆盖度增加趋势极显著。植被覆盖度呈下降趋势的高程带,均未通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,表明下降趋势不显著。坡度带植被覆盖度均呈上升趋势,经相关系数检验,各带均未通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,表明各坡度带植被覆盖度增加趋势均不明显。

对表2中具有突变点的高程带和坡度带进行 $\alpha=0.05$ 显著性秩和检验,各高程带突变点显著性如下:突变显著的高程带有1800m和2800m,突变不显著的高程带有1900—2800m以及2900—3900m。坡度带突变点显著性检验结果:2°—34°坡度带突变显著,36°和38°坡度带突变不显著。

表 1 各带植被覆盖度趋势分析结果

Table 1 The results of trend of FVC

变化趋势 Variation trend	上升 Rise	下降 Decline
高程带 Elevation zone	2000—4300、4500	1800、1900、4400、4600
坡度带 Slope zone	全部	无

表 2 各带植被覆盖度突变分析结果

Table 2 The results of the abrupt change points

突变年份 Abrupt year	2001 年	2003 年	2004 年	2006 年	无 Inexistence
高程带 Elevation zone	无	1800	1900、2000	2100—3900	≥4000
坡度带 Slope zone	全部	无	无	无	无

3 讨论与结论

(1)气候因素中降水量是引起植被覆盖年际波动的主要因子,非气候因素则是植被覆盖增加的主要原因,非气候因素中生态保护和环境建设等人为措施,如植树造林等是导致植被显著增加的重要原因^[6]。将从这两个方面对研究区植被覆盖度变化进行成因分析。

1)气候因素

研究区生长季降水量与研究生长季植被覆盖度之间的关系曲线如图 3 所示。研究区植被覆盖度随

降水量的上下波动而波动,2003 年以后尤为明显,通过二者做相关图,两者间有线性正相关关系,相关系数为 0.5331,未通过 0.05 显著性检验,由此可判定研究区降水量与植被覆盖度线性相关不显著。为进一步分析二者的变化趋势大小,比较两者的线性倾向变化百分率^[6],经过计算,降水量线性倾向变化百分率为 21.11%,植被覆盖度线性倾向变化百分率为 10.26%,由此可见,研究区植被覆盖度与降水量均呈增加趋势且前者小于后者,表明降水量的增加不是决定植被覆盖度增加的唯一因素。

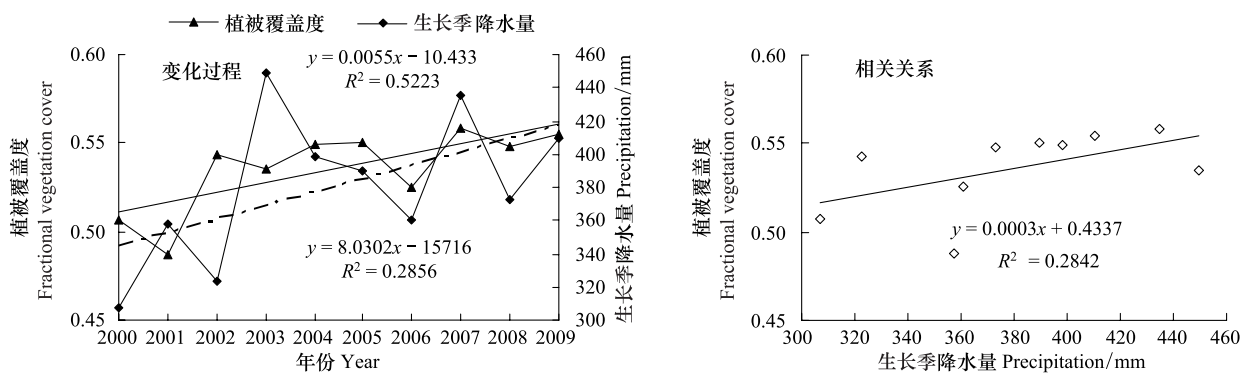


图 3 研究区生长季降水量与植被覆盖度变化关系

Fig.3 Relationship between growing season precipitation and fractional vegetation cover

2)非气候因素

研究区自 2000 年以来主要在坡度 25°以上,产量低于 1500kg/hm²的低产田及海拔 3000m 以上不适宜农作物生长的耕地和适宜造林的荒山均进行退耕还林^[17]。截至 2008 年,退耕还林实施 8a 以来,完成退耕还林工程 1475.4km²(占研究区面积 4.22%),其中退耕还林 586km²,周边荒山 890km²。自工程实施以来,研究区的生态环境得到了改善,植被覆盖率

增大,水土流失得到明显遏制。

结合图 1,截取退耕还林措施所在区域,并统计不同显著性等级的面积,结果见表 3。退耕还林区域植被覆盖度改善显著和极显著,分别占研究区面积为 6.26%和 5.19%,与退耕还林面积相比较,改善极显著面积比退耕还林总面积多出 0.97%。这表明,利用相关系数法检验结果,可反映研究区退耕还林的效果。

表 3 退耕还林区域植被覆盖度不同显著性等级面积统计

Table 3 Area ratio of FVC at different significant levels in returning farmland to forest areas

显著性 Significance	高程>3000m Elevation>3000m	坡度>25° Slope>25°	重叠区域 Overlap areas	面积/% Area ratio /%
负相关极显著 Extremely negative correlation	0.07	0.06	0.02	0.12
负相关显著 Significantly negative correlation	0.29	0.15	0.09	0.35
变化不显著 No significantly change	44.27	14.11	11.63	46.75
正相关显著 Significantly positive correlation	5.01	2.46	1.21	6.26
正相关极显著 Extremely positive correlation	3.59	2.17	0.58	5.19

表中重叠区域为高程>3000m 且坡度>25°的区域

(2) 根据海拔高度、水热条件、土地利用方式的不同,研究区可分为海拔小于 2600m 的川水区,海拔在 2600—3200m 的浅脑山区及海拔大于 3200m 的脑山区^[18]。川水区为海拔低于 2600m 的河湟谷地,土地利用程度高,农业耕作频繁,植被覆盖度不高,浅脑山区草地、旱地、林地、灌木林地分布广泛,植被覆盖度相对较高,而脑山区土地利用类型单一,山体阳坡主要分布有草地,阴坡为灌木,尤其在海拔高于 4000m 的山顶高寒区域主要为草地和未利用地,植被覆盖度极低。因而,研究区植被覆盖度对地形因子的响应,大致可归结为地形条件、土地利用、降水量变化、退耕还林措施等之间综合作用的结果。

由 2.2.1 小节可知,研究区整体植被覆盖度对高程响应分析中获得的 2500m 和 4100m 高程突变点基本与分区吻合。由于降水量呈增加趋势且区内实施了退耕还林措施,2.2.3 小节中高程带植被覆盖度大部分呈增加趋势,且在 4000m 以下高程带均在不同年份出现了突变;1800、1900m 高程带因地处研究区湟水、黄河干流出河口附近,分布面积很小,植被覆盖度容易因农业耕作而产生变动,出现了小幅度的下降趋势,4400m 和 4600m 处于山顶高寒区域,植被覆盖度极低,出现了微小的下降趋势。各坡度带在研究区内的分布很均匀且各带象元个数差别不大,因而植被覆盖度受降水量的影响很大,均出现了上升趋势。研究区高程带除 4000m 以上植被覆盖度极低的区域没有出现突变,其余均在不同年份出现突变,主要可能是降水增加及退耕还林措施等综合作用的结果。研究区 26°及以上坡度带的植被覆盖度在 2001 年出现了突变,很大一部分原因在于研究区实施了退耕还林,而 26°以下坡度带出现的突变,一部分原因是降水量的增加导致植被覆盖度增加,部分可能是土地利用变化尤其是农业种植结构变化

带来的结果,而研究区整体植被覆盖度也在 2001 年发生突变,与降水量的增加、退耕还林的实施密切相关,与各坡度带均发生突变也有关系。综合表 3 统计结果与以上分析可知,研究区降水量的变化及退耕还林措施是植被覆盖度变化的重要影响因素,其中退耕还林措施影响较大。

文章基于象元二分模型,利用 MODIS 植被指数产品对青海省东部农业区植被覆盖度进行估算,分析近十年植被覆盖度的时空演变特征以及对地形因子的响应,获得了相应的研究结果,并分析了原因。研究表明降水量的变化及退耕还林措施是重要影响因素,其中退耕还林对植被覆盖度变化的影响较大。但由于数据序列长度、影像分辨率及植被覆盖度计算模型等对分析结果影响较大,今后应加强高分分辨率及长时序卫星资料的研究与应用。

References:

- [1] Zhao H Q. Research on the Vegetation coverage changes of China based on SPOT- 4/VEGETATION data. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2010, 33(1): 164-166.
- [2] Zhang B Q, Wu P T, Zhao X N. Detecting and analysis of spatial and temporal variation of vegetation cover in the Loess Plateau during 1982—2009. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(4): 287-293.
- [3] Sun H Y, Wang C Y, Niu Z, Bukhosor, Li B. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(3): 204-210.
- [4] Zhang H B, Tang H J, Yang G X, Li G, Chen B R, Xin X P. Changes of spatial-temporal characteristics based on MODIS NDVI data in Inner Mongolia grassland from 2000 to 2008. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(9): 168-175.
- [5] Wang H J, Jin X H, Li H L, Zhang B, Dai S P. NDVI variation and coupling analysis with climate change in northwest of China based on GIS and RS. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(11):

194-203.

- [6] Fan J Z, Li D K, Dong J F. Remote sensing analysis of vegetation restoration in key ecological construction areas of Shaanxi province. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(7): 228-234.
- [7] Song Y, Ma M G. Study on vegetation cover change in Northwest China based on SPOT VEGETATION data. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 89-93.
- [8] Song F Q, Xing K X, Liu Y, Liu Z C, Kang M Y. Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 354-363.
- [9] Yan F L, Li Z, Shao Y, Lu H F, Fan X T, Ren X. Monitoring of changes in land vegetation covers using NOAA /AVHRR NDVI datasets. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2003, 39(2): 90-94.
- [10] Li J, Gong C W. RS monitoring on the dynamic change of vegetation coverage in Lanzhou South-North hills. *Science of Surveying and Mapping*, 2011, 36(2): 175-177.
- [11] Piao S L, Fang J Y. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(4): 294-302.
- [12] Yu D P, Zhang X, He Y, Shi X. Temporal-spatial variations of reference crop evapotranspiration in eastern plateau agricultural region of Qinghai province. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(2): 66-71.
- [13] Liu L, Yao B. Monitoring vegetation-cover changes based on NDVI dimidiate pixel model. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(Supplement 1): 230-234.
- [14] Cai B F, Yu R. Advance and evaluation in the long time series vegetation trends research based on remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(6): 1177-1186.
- [15] Wang W S, Ding J, Jin J L. *Stochastic Hydrology* (2nd edition): Beijing: China WaterPower Press, 2008, 37-41.
- [16] Jiang Z L, Jing C Y, Li D, Yu X, Wu J P. Dynamics of vegetation and its responses to terrain factors with Mann-Kendall approach: a case study in Tiaoxi watershed, Taihu Lake. *Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci)*, 2011, 37(6): 684-692.
- [17] Wu J H. Consideration on the development of subsequent industry of forest rehabilitation from slope agriculture project in eastern agricultural region of Qinghai province. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2008, 12(6): 114-115.
- [18] Zeng Y N, Jin W P, He L L, Wu K J, Yu F F, Xu Y Y. Land use mapping using remote sensing for eastern part of Qinghai plateau. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(16): 225-231.

参考文献:

- [1] 赵汉青. 基于 SPOT-4/VEGETATION 数据的中国植被覆盖动态变化研究. *测绘与空间地理信息*, 2010, 33(1): 164-166.
- [2] 张宝庆, 吴普特, 赵西宁. 近 30a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 287-293.
- [3] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 布和敖斯尔, 李兵. 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. *遥感学报*, 1998, 2(3): 204-210.
- [4] 张宏斌, 唐华俊, 杨桂霞, 李刚, 陈宝瑞, 辛晓平. 2000——2008 年内蒙古草原 MODIS NDVI 时空特征变化. *农业工程学报*, 2009, 25(9): 168-175.
- [5] 王海军, 靳晓华, 李海龙, 张勃, 戴声佩. 基于 GIS 和 RS 的中国西北 NDVI 变化特征及其与气候变化的耦合性. *农业工程学报*, 2010, 26(11): 194-203.
- [6] 范建忠, 李登科, 董金芳. 陕西省重点生态建设工程区植被恢复状况遥感监测. *农业工程学报*, 2012, 28(7): 228-234.
- [7] 宋怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 89-93.
- [8] 宋富强, 邢开雄, 刘阳, 刘志超, 康慕谊. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价. *生态学报*, 2011, 31(2): 354-363.
- [9] 阎福礼, 李震, 邵芸, 卢华复, 范湘涛, 任鑫. 基于 NOAA/AVHRR 数据的西部植被覆盖变化监测. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2003, 39(2): 90-94.
- [10] 李娟, 龚纯伟. 兰州市南北两山植被覆盖度动态变化遥感监测. *测绘科学*, 2011, 36(2): 175-177.
- [11] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294-302.
- [12] 于东平, 张鑫, 何毅, 石鑫. 青海省东部高原农业区参考作物蒸散量的时空变化. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 66-71.
- [13] 刘琳, 姚波. 基于 NDVI 象元二分法的植被覆盖变化监测. *农业工程学报*, 2010, 26(增刊 1): 230-234.
- [14] 蔡博峰, 于嵘. 基于遥感的植被长时序趋势特征研究进展及评价. *遥感学报*, 2009, 13(6): 1177-1186.
- [15] 王文圣, 丁晶, 金菊良. *随机水文学* (第二版). 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 37-41.
- [16] 江振蓝, 荆长伟, 李丹, 虞湘, 吴嘉平. 运用 Mann-Kendall 方法探究地表植被变化趋势及其对地形因子的响应机制-以太湖苕溪流域为例. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2011, 37(6): 684-692.
- [17] 吴江红. 关于青海省东部农业区退耕还林工程后续产业发展的思考. *河北农业科学*, 2008, 12(6): 114-115.
- [18] 曾永年, 靳文凭, 何丽丽, 吴孔江, 于菲菲, 徐艳艳. 青海高原东部农业区土地利用遥感分类制图. *农业工程学报*, 2012, 28(16): 225-231.