

青藏高原保护区植被与生态系统 服务功能变化的一致性分析

程琳琳¹, 刘华¹, 刘焱序²

[1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;

2. 北京师范大学 地理科学学部 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875]

摘要: [目的] 探讨青藏高原保护区 2000—2010 年生态系统服务功能对植被变化的响应, 为进一步明晰生态系统服务功能和遥感植被指数的关系, 为区域生态系统服务功能评估与生态保护提供科学参考。[方法] 聚焦青藏高原各类保护区, 基于中分辨率成像光谱仪(MODIS)增强型植被指数(EVI)产品进行植被变化制图, 针对碳固定、土壤保持、水源涵养、栖息地保护等生态系统服务功能, 判断青藏高原保护区内 2000—2010 年生态系统服务功能变化趋势是否与植被变化趋势一致。[结果] 青藏高原 EVI 在 2000—2010 年以非显著变化为主, 在栅格和保护区两个尺度上均表现为非显著增加样本多于非显著减少样本, 青藏高原植被呈现整体好转局部退化的特征。[结论] 青藏高原保护区各项生态系统服务功能在 2000—2010 年以非显著变化为主, 但生态系统服务功能非显著减少样本明显多于非显著增加样本, 与 EVI 变化趋势不一致。

关键词: 植被变化; 净初级生产力; 生态系统服务功能; 青藏高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)06-0277-06

中图分类号: Q148

文献参数: 程琳琳, 刘华, 刘焱序. 青藏高原保护区植被与生态系统服务功能变化的一致性分析[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 277-282. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.042. Cheng Linlin, Liu Hua, Liu Yanxu. Consistency analysis of vegetation and ecosystem services changes in the conservation area of Qinghai-Tibet Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 277-282.

Consistency Analysis of Vegetation and Ecosystem Services Changes in Conservation Area of Qinghai-Tibet Plateau

CHENG Linlin¹, LIU Hua¹, LIU Yanxu²

[1. Institute of Land Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and

Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes

and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China]

Abstract: [Objective] The response of the ecosystem service system to vegetation change in the Qinghai-Tibet Plateau conservation area from 2000 to 2010, and to further clarify the relationship between ecosystem services and remote sensing vegetation index were studied in order to provide a scientific reference for regional ecosystem service assessment and ecological protection. [Methods] This study focuses on various types of protected areas on the Tibetan Plateau and uses MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) EVI (enhanced vegetation index) products for vegetation change mapping. The ecosystem services such as carbon fixation, soil conservation, water conservation and habitat protection are used to determine the consistency of ecosystem services and EVI changes in the Qinghai-Tibetan Plateau conservation area from 2000 to 2010. [Results] The EVI of the Qinghai-Tibetan Plateau was dominated by non-significant changes

收稿日期: 2018-06-10

修回日期: 2018-07-24

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项课题“青藏高原生态安全屏障体系优化与生态资产价值提升”(XDA20020402); 中国博士后科学资助项目(2018T110066; 2017M620029); 中央高校基本科研业务费(2017NT02)

第一作者: 程琳琳(1977—), 女(汉族), 山东省泰安市人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用、生态补偿、土地评价等方面的研究工作。E-mail: chl1@cumtb.edu.cn.

通讯作者: 刘焱序(1988—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 主要从事综合自然地理与景观生态方面的研究工作。E-mail: yanxuli@bnu.edu.cn.

from 2000 to 2010, and the non-significant increased samples were greater than the non-significantly decreased samples in both the grid and the protected areas, indicating that the vegetation on the Qinghai-Tibet Plateau is characterized by overall improvement and local degradation. [Conclusion] The ecological system services in the Qinghai-Tibet Plateau conservation area were mainly non-significant changes from 2000 to 2010, but the non-significant reduction samples of ecosystem services was significantly more than the non-significant increased samples, which was inconsistent with the change trend of EVI.

Keywords: vegetation variation; net primary productivity; ecosystem services; Qinghai-Tibet Plateau

植被是陆地生态系统的主体,是调节全球和区域物质和能量平衡的关键要素,也是生态系统提供服务的重要载体^[1-2]。在近年研究中,遥感植被指数已被广泛用于陆地植被时空变化的刻画,其中归一化差值植被指数(NDVI, the normalized difference vegetation index)是衡量植被变化的最常用遥感监测参数^[3-6]。不同数据源的 NDVI 产品交互验证表明,近 30 a 来中国植被变化普遍呈现增加趋势,但不同数据产品和趋势提取方法所呈现的区域植被变化状态略有差异^[7-9]。然而,NDVI 在高覆盖植被区的取值往往存在饱和现象,导致不利于监测高密度植被的时空演化。为解决这一问题,增强型植被指数(EVI, enhanced vegetation index)被逐步应用于植被变化研究中,并已成为监测大尺度植被变化特征的重要工具^[10-12]。

青藏高原被誉为亚洲水塔,是世界多条大江大河的发源地。青藏高原生态系统的碳固定、土壤保持、水源涵养、栖息地保护等生态系统服务功能对中国和亚洲人类生活具有重要的影响。作为评估生态系统服务功能的关键指标,青藏高原植被变化一直备受关注^[13-15]。1982—2011 年,青藏高原生态系统碳汇的增加占全国增加碳汇的 10% 左右,但也有部分地区出现了植被退化^[16]。对应了生态十年评估,是前人研究往往采用的时段,并且 2000 年以来,中分辨率成像光谱仪(MODIS, moderate-resolution imaging spectroradiometer)系列产品的发布为更高精度的刻画植被变化、评估生态系统服务功能提供了新的数据支持。在此背景下,本研究聚焦青藏高原各类保护区,试图回答以下两项科学问题:①基于 MODIS EVI 产品的植被变化制图是否反映了青藏高原植被整体好转局部退化的特征;②青藏高原保护区内 2000—2010 年的生态系统服务变化是否与同期的植被变化一致。研究结果将有助于进一步明晰生态系统服务功能和遥感植被指数的关系,为区域生态系统服务功能评估与生态保护提供科学参考。

1 数据与方法

1.1 研究区与数据来源

本研究所采用的青藏高原边界源自张懿铨等的划定结果,源自全球变化科学研究数据出版系

统^[17-18]。青藏高原的保护区边界源自世界保护区数据库(WDPA, world database on protected areas) (<https://www.protectedplanet.net/>)。考虑到数据库中保护区矢量图层相互交叠,以取最大面积为规则,对图层拓扑关系进行调整,共提取保护区矢量区块 105 个。2000—2010 年生态系统服务功能制图数据源自 Zhang 等的评估结果,包括碳固定、土壤保持、水源涵养、栖息地保护以及总生态系统服务功能 5 项^[19]。所有生态系统服务功能图层标准化至 0~1,并统计各保护区的平均值。

MODIS EVI 数据源自地理空间数据云中国月合成产品(<http://www.gscloud.cn>)。在月合成影像向年值转化中,最大值合成法较为常见^[20-23]。同时,也有研究采用生长季的平均 NDVI 作为各个季节的植被变化^[24-26]。本研究拟同时采用以上两种方法,进行相互对比。由于青藏高原东南与西北的生长季时段差异较大,本研究将 EVI 小于 0.1 的部分作为非植被区域予以去除,而将其余部分作为有植被覆盖的生长季 EVI,从而得到基于 EVI 年最大值和年平均值。

1.2 变化趋势识别

为避免最小二乘法方法对异常点拟合而产生的参数误差,Theil-Sen(TS)中位数斜率与 Mann-Kendall(M-K)单调性检验作为一种非参数趋势识别方法逐渐被引入植被变化分析中^[8,27-28]。TS-MK 算法对植被变化的具体形式可表征为^[29-30]:

$$\text{slope} = \text{Median} \left(\frac{\text{EVI}_j - \text{EVI}_i}{t_j - t_i} \right)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(\text{EVI}_i - \text{EVI}_j) \quad (2)$$

$$\text{sign}(\text{EVI}_i - \text{EVI}_j) = \begin{cases} 1 & (\text{if } \text{EVI}_i - \text{EVI}_j < 0) \\ 0 & (\text{if } \text{EVI}_i - \text{EVI}_j = 0) \\ -1 & (\text{if } \text{EVI}_i - \text{EVI}_j > 0) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & (S < 0) \end{cases} \quad (5)$$

式中:slope>0 表示植被增加;slope<0 表示植被减

少; $t_{i,j}$ ——年份; $EVI_{i,j}$ ——第 i 和 j 年的观测像元 EVI 值; $var(S)$ 表示方差; n ——时间长度; Z 的大小表示趋势的显著性, 基于 S 指数判定, 若 $|Z| > 1.64$ 则趋势是显著的。

1.3 生态系统服务功能评估

当前, 生态系统服务功能的评估方式尚未统一, 一些评估模型在运算中采用土地利用参数赋值的方式, 掩盖了同种土地利用类型中不同植被覆盖条件的生态系统服务功能差异。Zhang 等改进了一种针对生态系统服务供给的生态系统容量评估方法, 其以

CASA (carnegie-ames-stanford approach) 模型评估逐月净初级生产力 (net primary productivity, NPP), 并以年 NPP 为基础指标, 将不同生态系统服务功能表示为 NPP 及其对应的环境因子加权 (表 1)。由于 NPP 与植被覆盖程度直接关联, 这种生态系统评估方式可以更有效的体现出年际变化, 更有助于观测生态系统服务功能对植被变化的响应情况, 并服务于生态系统动态评估。由于荒漠、水体难以估算其 NPP, 本研究生态系统服务估算主要以森林、草地、耕地等有植被覆盖的生态系统为对象。

表 1 不同生态系统服务功能的生态系统容量评估方法

生态系统服务	公式	参数说明
碳固定	$NPP \times (1 - VC_{npp})$	NPP 为净初级生产力; VC_{npp} 为 NPP 的年内标准差
土壤保持	$NPP \times (1 - VC_{npp}) \times (1 - K) \times (1 - F_{slo})$	K 为土壤可蚀性; F_{slo} 为坡度
水源涵养	$NPP \times (1 - VC_{npp}) \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1 - F_{slo})$	F_{sic} 为土壤入渗能力; F_{pre} 为降雨量
栖息地保护	$NPP \times (1 - VC_{npp}) \times F_{pre} \times F_{tem} \times D$	F_{tem} 为温度; D 为地表粗糙度

2 研究结果

2.1 青藏高原 EVI 变化

对比 2000—2010 年青藏高原 EVI 变化如图 1 所示。在栅格尺度上, EVI 年内平均值合成与 EVI 年内最大值合成的趋势提取结果具有差异性。具体而言, EVI 年内平均值合成结果中, 7.44% 的像元显著增加, 63.49% 的像元呈现非显著增加趋势; 而在 EVI 年内最大值合成结果中, 显著增加像元仅占 3.38%, 非显著增加像元也降至 54.14%。相比之下, EVI 年内平均值合成结果中 27.98% 的像元呈现非显著减少, 而在 EVI 年内最大值合成结果中该比例提升至 40.83%。同时, 两组提取结果中呈现显著减少的像元极少, 仅有 EVI 年内平均值合成结果中的青海湖区域呈现集中的 EVI 显著下降。值得注意的是, EVI 非显著增加的像元和非显著减少的像元往往相互交叠, 并不呈集中连片分布。因此, 并不能有充足的证据将大面积的植被增加或减少直接归因于某一局部区域的生态恢复或破坏过程。将 EVI 统计至保护区尺度上, EVI 年内平均值合成与 EVI 年内最大值合成的趋势提取结果总体上具有一致性。其中, EVI 年内平均值合成结果中有 3 个区块出现 EVI 显著减少, 此外有非显著减少区块 37 个, 非显著增加区块 64 个。而在 EVI 年内最大值合成结果中, 不存在 EVI 显著变化的样本, 非显著减少和增加的区块分别为 35 个和 69 个。其中, 面积最大的四个区块, 即羌塘、阿尔金山、三江源、可可西里, 全部呈现出 EVI 的非

显著增加。总体而言, EVI 变化趋势在像元和保护区 2 个尺度上均反映出青藏高原植被整体好转、局部退化的特征。

2.2 保护区生态系统服务功能变化

图 2 为青藏高原 2000—2010 年生态系统服务功能保护区平均值。如图 2 所示, 青藏高原生态系统服务功能的保护区平均值体现为碳固定最高, 土壤保持次之, 栖息地保护最低。这是由于青藏高原大部分保护区如羌塘、阿尔金山等地尽管面积较大, 却大部分属于荒漠生态系统, 不能提供高质量的栖息地。水源涵养相对低也是由于荒漠生态系统广布所致。就时间变化而言, 水源涵养和栖息地保护服务略有增加, 而碳固定和土壤保持服务功能的变化不明显。

虽然遥感植被指数是估算生态系统服务功能的重要参数, 但后者更多的考虑了区域实际的气候状况, 二者不能等同。图 3 所反映的青藏高原保护区生态系统服务功能变化表明, 植被增加并不一定意味着生态系统服务功能增加。具体而言, 在保护区尺度上, 青藏高原生态系统服务功能减少的区块数量大于服务功能增加的区块数量, 与植被整体好转、局部退化的总现象相反。总生态系统服务功能呈现显著减少的区块共 9 个, 非显著减少的区块共 66 个, 而非显著增加的区块仅 29 个。面积较大的生态系统服务功能显著减少区包括色林错和雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤保护区等。就各类生态系统服务功能而言, 碳固定服务功能与土壤保持服务功能的变化规律比较相似, 显著减少区块均为 7 个, 非显著减少区块分别

为 61 和 60 个,而非显著增加区块分别为 36 和 37 个。水源涵养服务功能的显著减少区块高达 12 个,非显著减少区块 78 个,而非显著增加区块仅为 14 个;与之对应,栖息地保护服务功能的显著减少区块仅为 4 个,非显著减少区块 72 个,而非显著增加区块为 28 个。同时,羌塘、阿尔金山、三江源、可可西里 4

个面积最大的区块均呈现出栖息地保护服务功能的增加,该服务功能与 EVI 的对应关系相比其他服务功能更为紧密,但在东南部其他区块仍显现出与 EVI 相反的变化趋势特征。该结果证明,2000—2010 年青藏高原保护区的各项生态系统服务功能并未随植被增加有明显的增加趋势。

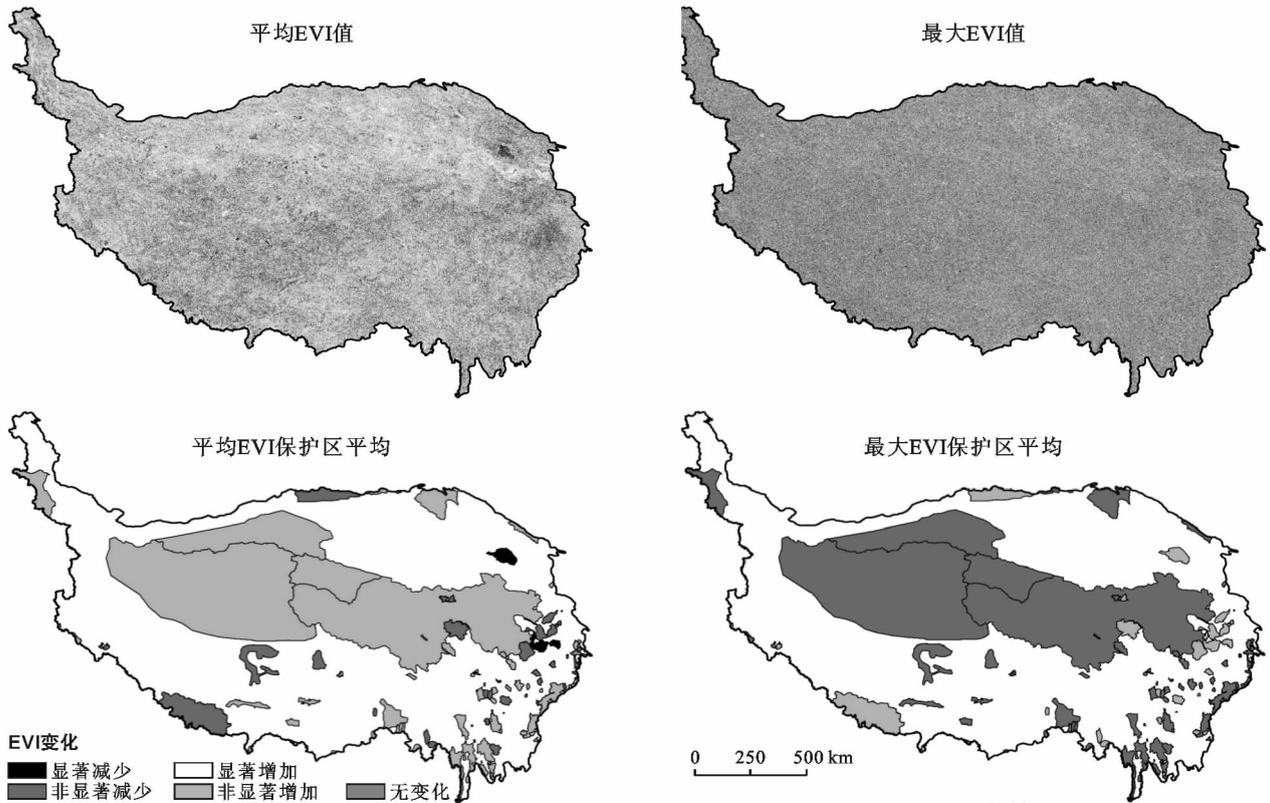


图 1 青藏高原 2000—2010 年 EVI 变化

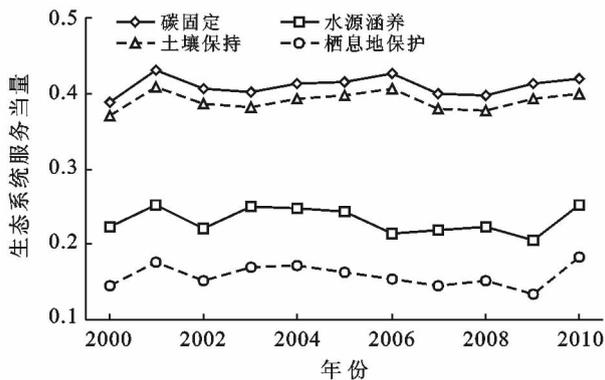


图 2 青藏高原 2000—2010 年生态系统服务功能保护区平均当量

3 讨论

目前,遥感植被指数已经成为表述植被变化的常用手段,虽然不同的遥感产品、不同的植被指数、不同的年内合成方法势必影响最终结果的表征,但全球和中国近年来的植被总体增加已经在学界达成共

识^[21,8-28]。本研究也证实,尽管 EVI 与 NDVI 在取值上确有差异,不同的年内合成方法也导致了一定幅度的结果改变,但不影响青藏高原植被总体增加的结论。然而,与以往认知有所差异的是,本研究认为植被增加并不一定导致除水生态系统以外的陆地生态系统服务的增加。该现象一方面可能源于生态系统服务自身评估方法的不确定性,而另一方面并更有可能是由于生态系统服务功能评估需要考虑当前的气候状况,未经过模型处理的遥感参数信息并不应直接作为生态过程、功能的表征途径。

近年来,InVEST(integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs)等生态系统服务功能评估模型在生态系统服务评估中被广泛采用。然而,此类模型的部分模块如碳固定、生境质量等对土地利用数据的依赖较强,并不能细致刻画植被的疏密特征,以及气候的年际变化。本研究采用以 NPP 为基础数据的生态系统服务供给的生态系统容量评估方法,虽然

在权重系数的刻画上较为简单,但可以有效反映气候变化下几项关键生态系统服务功能的时空变化格局。尤其是 NPP 本身估算采用 CASA 模型,该模型已相对成熟并在近年研究中取得了大量应用。NPP 所反映的碳固定生态系统服务功能呈现非显著退化,即反

映了碳固定能力的变化并不能等同于植被变化,这也是符合植被年内季节生长的碳循环规律的。在未来研究中,可以考虑将生态模型的计算结果与遥感参数观测结果进行进一步对比,从而深入验证遥感植被指数的实际应用能力。

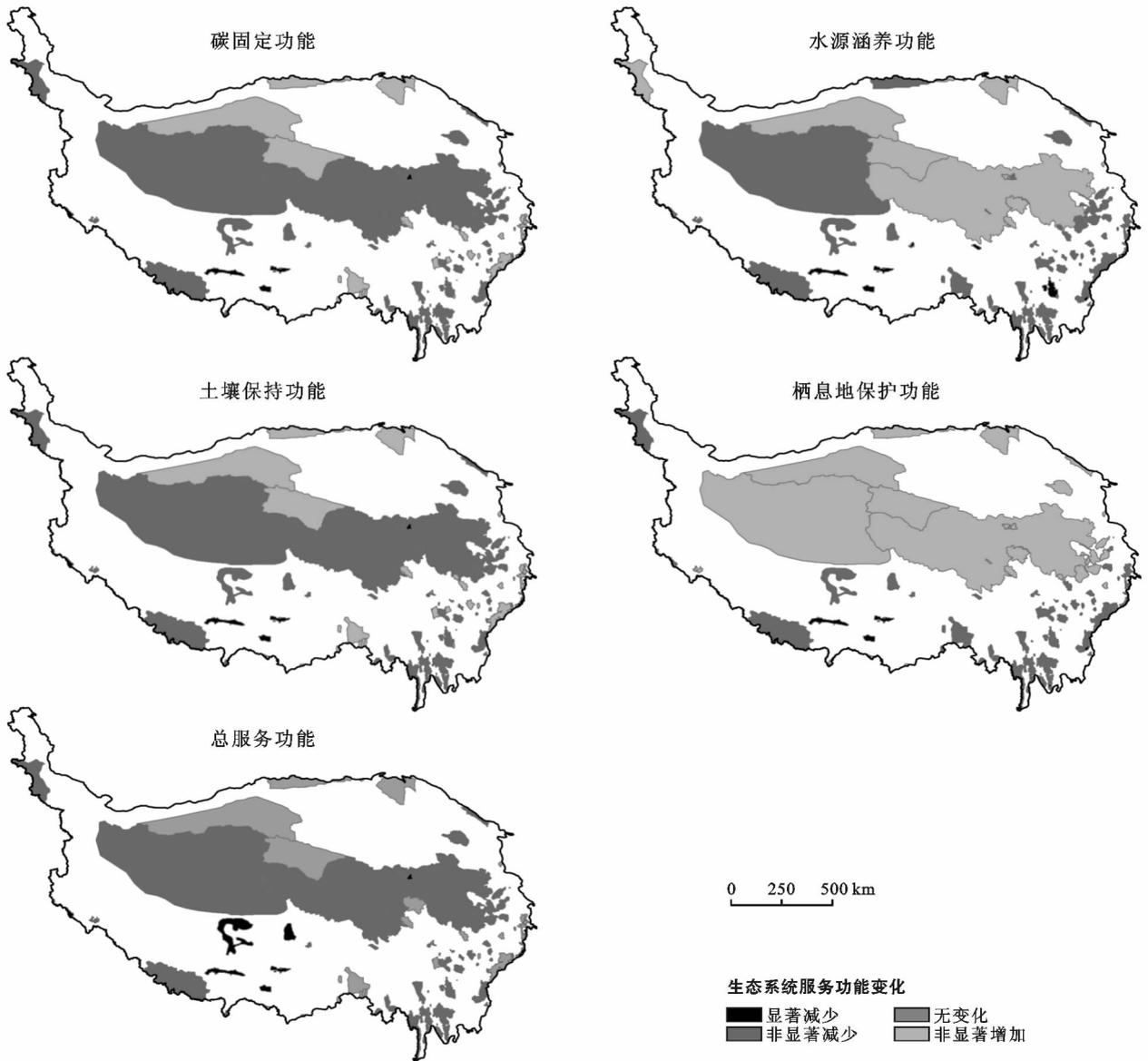


图 3 青藏高原保护区 2000—2010 年生态系统服务功能变化趋势

4 结论

(1) 青藏高原 EVI 在 2000—2010 年以非显著变化为主,在栅格和保护区两个尺度上均表现为非显著增加样本多于非显著减少样本,即青藏高原植被整体好转局部退化。同时,青藏高原 EVI 变化并没有呈现明显的集中连片特征,推测气候对青藏高原植被变化的影响大于人类活动对其的直接影响。

(2) 青藏高原保护区各项生态系统服务功能在

2000—2010 年也以非显著变化为主,105 个区块中生态系统服务功能显著减少样本在 4~12 个之间,生态系统服务功能非显著减少样本明显多于非显著增加样本,与植被变化趋势不一致。推测年际气候的差异可能是导致该不一致性的主要因素。

[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] 石焱,王如松,黄锦楼,等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. 科学通报,2012,57(9):720-731.
- [3] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学:地球科学,2007,37(11):1504-1514.
- [4] 刘宪锋,任志远. 西北地区植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 中国农业科学,2012,45(10):1954-1963.
- [5] 李双双,延军平,万佳. 近 10 年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报,2012,67(7):960-970.
- [6] 李飞,曾源,李晓松,等. 近 30 年中国陆地植被活动遥感监测[J]. 中国科学:地球科学,2014,44(8):1671-1678.
- [7] Beck H E, McVicar T R, van Dijk A I J M, et al. Global evaluation of four AVHRR-NDVI data sets: Inter-comparison and assessment against landsat imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2011,115(10):2547-2563.
- [8] Fensholt R, Proud S R. Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends: Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series[J]. Remote Sensing of Environment, 2012,119(3):131-147.
- [9] Liu Yanxu, Liu Xianfeng, Hu Yina, et al. Analyzing nonlinear variations in terrestrial vegetation in China during 1982—2012[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015,187(11):722-736.
- [10] 陈燕丽,罗永明,莫伟华,等. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 对气候因子响应差异[J]. 自然资源学报,2014,29(10):1802-1812.
- [11] 王行汉,丛沛桐,刘超群,等. 2004—2013 年珠江流域植被变化及其胁迫分析[J]. 生态学报,2017,37(19):6494-6503.
- [12] 朱林富,谢世友,杨华,等. 基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应[J]. 自然资源学报,2017,32(12):2023-2033.
- [13] 于伯华,吕昌河,吕婷婷,等. 青藏高原植被覆盖变化的地域分异特征. 地理科学进展,2009,28(3):391-397.
- [14] Peng Jian, Liu Zhenhuan H, Liu Yihe, et al. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent[J]. Ecological Indicator, 2012,14:28-39.
- [15] 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.
- [16] 李文华,赵新全,张宪洲,等. 青藏高原主要生态系统变化及其碳源/碳汇功能作用[J]. 自然杂志,2013,35(3):172-178.
- [17] 张懿铨,李炳元,郑度. 论青藏高原范围与面积[J]. 地理研究,2002,22(1):1-8.
- [18] 张懿铨,李炳元,郑度. 青藏高原界线地理信息系统数据[DB]. 全球变化科学研究数据出版系统,2014. doi:10.3974/geodoi.2014.01.12. v1.
- [19] Zhang Liwei, Lü Yihe, Fu Bojie, et al. Mapping ecosystem services for China's ecoregions with a biophysical surrogate approach[J]. Landscape Urban Plan, 2017,161:22-31.
- [20] Holben B N. Characteristics of maximum-Value composite images from temporal AVHRR Data[J]. International Journal of Remote Sensing 1986,11(7):1417-1434.
- [21] 刘爽,宫鹏. 2000—2010 年中国地表植被绿度变化[J]. 科学通报,2012,57(16):1423-1434.
- [22] 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,2013,33(24):7798-7806.
- [23] 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.
- [24] 李月臣,宫鹏,刘春霞,等. 北方 13 省 1982—1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J]. 资源科学,2006,28(2):109-117.
- [25] 陈怀亮,刘玉洁,杜子璇,等. 基于卫星遥感数据的黄淮海地区植被覆盖时空变化特征[J]. 生态学杂志,2010,29(5):991-999.
- [26] 杜加强,贾尔恒·阿哈提,赵晨曦,等. 三江源区近 30 年植被生长动态变化特征分析[J]. 草业学报,2016,25(1):1-12.
- [27] Guay K C, Beck P S A, Berner L T, et al. Vegetation productivity patterns at high northern latitudes: A multi-sensor satellite data assessment [J]. Global Change Biology, 2014,20(10):3147-3158.
- [28] Liu Yanxu, Wang Yanglin, Du Yueyue, et al. The application of polynomial analyses to detect global vegetation dynamics during 1982—2012 [J]. International Journal of Remote Sensing, 2016,37(7):1568-1584.
- [29] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau[J]. Journal of the American Statistical Association, 1968,63(324):1379-1389.
- [30] Kendall M G. Rank Correlation Methods[M]. London: Charles Griffin, 1975.