

DOI: 10.5846/stxb201606301309

侯彩霞,周立华,文岩,赵敏敏,陈勇.社会-生态系统视角下沙漠化逆转定量评价——以宁夏盐池县为例.生态学报,2017,37(18):6186-6195.

Hou C X, Zhou L H, Wen Y, Zhao M M, Chen Y. Quantitative evaluation of desertification restoration based on the social-ecological system: A case study in Yanchi, Ningxia Hui Autonomous Region. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 6186-6195.

社会-生态系统视角下沙漠化逆转定量评价 ——以宁夏盐池县为例

侯彩霞^{1,3}, 周立华^{1,2,*}, 文 岩⁴, 赵敏敏^{1,3}, 陈 勇^{1,3}

1 中国科学院西北生态环境资源研究院, 沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000

2 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

3 中国科学院大学, 北京 100049

4 北京师范大学 资源学院, 北京 100875

摘要:对沙漠化逆转区进行有效管理是沙漠化治理至关重要的环节,研究沙漠化逆转区社会-生态系统的干扰状况可以为沙漠化逆转区的管理提供理论支持。基于 MODIS NDVI 产品数据,用移动窗口法则计算了不同空间尺度上盐池县社会-生态系统的干扰强度和干扰连通度,并分析了 2000—2015 年间不同时间段内宁夏盐池县社会-生态系统干扰的空间分布。结果表明:①盐池县不同时间段内社会-生态系统干扰的空间分布具有较大差异,2000—2004 年强干扰主要集中于盐池县的南部;2004—2008 年强干扰在北部、中部均有表现;2008—2012 年强干扰分别位于东、中、西 3 个小区域,并没有集中于一个区域,且北部强干扰区域进一步增强;2012—2015 年强干扰的区域主要集中于县域的北部、中西部和西北部。②不同空间尺度上社会-生态系统干扰强度和连通度有很大差异,随着移动窗口的增大,不同集群的干扰类型也发生了变化,主要表现为低干扰离散型向低干扰集聚型转变,高干扰集聚型向低干扰离散型转变。③总体上看,除了个别区域社会-生态系统干扰强度和连通度较大以外,盐池县大部分地区社会-生态系统受干扰的强度和连通度并不大,沙漠化逆转程度较低,还有待进一步加强沙漠化治理力度。

关键词:沙漠化地区;生态恢复;社会-生态系统;干扰强度;干扰连通度

Quantitative evaluation of desertification restoration based on the social-ecological system: A case study in Yanchi, Ningxia Hui Autonomous Region

HOU Caixia^{1,3}, ZHOU Lihua^{1,2,*}, WEN Yan⁴, ZHAO Minmin^{1,3}, CHEN Yong^{1,3}

1 Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

4 Beijing Normal University, College of Resources Science & Technology, Beijing 100875, China

Abstract: The assessment of socio-ecological systems can reflect the effects of nature, social economics, and human activities on the ecological environment, which is helpful to understand the context of complex social-ecological systems. Desert areas are ideal for socio-ecological system assessments because the land cover of deserts seriously influences the improvement of the local ecological environment and social economy. Yanchi County in the Ningxia Hui Autonomous Region is a typical desertification area where the ecological environment is very fragile. The government has implemented the Grain for Green Project and a prohibited-grazing policy to suppress and reverse desertification since 2000, and these ecological policies have positive effects on ecological restoration of desert areas. Therefore, it is very important to control desertification

基金项目:国家自然科学基金项目(41471436,41471436,41601587);国家科技支撑计划项目(2015BAC06B01)

收稿日期:2016-06-30; **网络出版日期:**2017-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lhzhou@lzb.ac.cn

and maintain the normal function of local social-ecological systems. In this paper, the social-ecological system disturbance in Yanchi County was analyzed to understand the changes of the local social-ecological system. The MODIS (Moderate resolution Imaging Spectrometer) normalized difference vegetation index (NDVI) data of the study region was applied to investigate the spatial distribution of the existing social-ecological system disturbance during 2000—2015. In addition, moving window computational algorithms were used to calculate social-ecological system disturbance intensity and connectivity at different spatial scales. The results showed that (1) the disturbance had different spatial distributions over different periods, and strong disturbances were mainly distributed in southern Yanchi County during 2000—2004, whereas strong disturbances were distributed in the northern and central areas during 2004—2008. Furthermore, strong disturbances were detected in three small areas: southeastern, central, and western Yanchi County during 2008—2012. Moreover, the proportion of strong disturbances in the North showed an increasing trend. Strong disturbances were mainly distributed in the north, mid-west, and northwest of the county during 2012—2015. (2) There was a significant difference of disturbance intensity and connectivity of social-ecological systems at multi-scale levels. The types of clusters changed with the increase in the study window: lower disturbance discrete types converted to lower disturbance concentration types, and higher disturbance concentration types converted to lower disturbance discrete types. (3) Overall, except in some small areas, the disturbance intensity and connectivity of social-ecological systems were generally not large in most regions of Yanchi County. However, the desertification management is still insufficient, and the government should implement additional active policies to control desertification in the future.

Key Words: desertification region; ecological restoration; social ecological system; disturbance intensity; disturbance connectivity

沙漠化是人类社会面临的重要问题之一,如何预防和治理沙漠化也成为当前国际研究的重点和热点^[1,2]。中国作为世界上受沙漠化影响最为严重的国家之一,高度重视对沙漠化问题的研究和治理。近年来,中国的沙漠化治理取得了显著成效^[3],但沙漠化是干旱半干旱区特殊的自然环境和长期以来不合理的人类活动共同作用所致^[4,5],沙漠化的威胁仍会长期存在,因此如何对沙漠化逆转区进行有效合理的管理成为亟需解决的问题。以往对沙漠化研究大多从生态系统或社会经济的某一方面进行研究,较少把两者结合起来,从整体的角度分析问题^[6]。2009年 Elinor Ostrom 在 Science 上发表论文提出社会-生态系统的理论分析框架^[7],为从社会-生态系统整体性角度研究沙漠化治理提供了理论基础。

恢复力是社会-生态系统的重要属性^[8-9],Holling 将恢复力正式引入社会-生态系统,将恢复力定义为系统经受干扰并可维持其功能和控制的能力^[10];Adger 认为恢复力是在社会-生态系统进入到一个由其它过程集合控制的稳态之前系统可以承受干扰的大小^[11];Carpenter 等将恢复力定义为系统能够承受且可以保持系统的结构、功能、特性以及对结构、功能的反馈在本质上不发生改变的干扰大小^[12]。因此,干扰理论也被认为是社会-生态系统最主要的理论之一^[9,13],是测量社会-生态系统恢复力的重要方法^[13]。植被变化是区域社会-生态系统变化的最直接反应,遥感技术为区域植被变化的监测提供了数据支持,基于 NDVI 数据的多尺度社会-生态系统干扰分析,可以评价当前社会-生态系统受干扰的强度及其周围环境受干扰的可能性,为社会-生态系统的管理提供数据支持。

宁夏回族自治区盐池县是典型的沙漠化地区,生态环境十分脆弱。自 2000 年来,国家在盐池县持续实施了退耕还林工程和禁牧政策,致力于抑制和逆转当地的沙漠化,已取得了一定成效。如何科学合理的维持当地社会-生态系统的正常运转,保护沙漠化治理成果,成为当前研究的重点。本文选择 2000、2004、2008、2012 和 2015 年 5 个时期的 MODIS NDVI 产品,用移动窗口法则计算了不同空间尺度下盐池县社会-生态系统的干扰强度(PD)和干扰连通度(PDD),并根据社会-生态系统的干扰强度、干扰连通度分析了盐池县在禁牧政策实施期间社会-生态系统受干扰状况,旨在为沙漠化逆转区社会-生态系统的管理提供科学依据。

1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部(北纬 $37^{\circ}04'—38^{\circ}10'$, 东经 $106^{\circ}30'—107^{\circ}41'$), 总面积约 6744km^2 , 海拔 $1295—1951\text{m}$, 北邻毛乌素沙漠, 东南与黄土高原相连, 地势南高北低, 自东南向北由黄土丘陵向鄂尔多斯台地(沙地)过渡, 气候从半干旱区向干旱区过渡, 植被从干草原植被向荒漠草原植被过渡, 属于典型的过渡地带, 这种地理上的过渡性造成了自然资源多样性和脆弱性的特点。盐池县年平均气温 8.1°C , 年降水仅 $250—350\text{mm}$, 并从东南向西北递减, 年蒸发量为降水量的 5 倍, 年平均风速 2.8m/s , 年平均大风日 24.2d , 沙尘暴日数 20.6d , 属于典型的温带大陆性气候。植被类型以灌丛、草原、草甸、沙地植被和荒漠植被为主, 其中灌丛、草原、沙地植被数量较大, 分布广, 社会-生态系统脆弱, 易受干扰。

盐池县现辖花马池镇, 大水坑镇, 惠安堡镇, 高沙窝镇, 王乐井乡, 冯记沟乡, 青山乡, 麻黄山乡四镇四乡, 总人口 17.1 万人, 其中农业人口 13.7 万人, 占全县人口的 79.1%, 少数民族人口 4094 人, 以回族为主。全县有耕地 88886hm^2 , 人均 0.52hm^2 , 其中水浇地 13534hm^2 。2015 年完成造林面积 11275hm^2 , 年末实有封山育林面积 20444hm^2 。2015 年农林牧渔及其服务业总产值 1.2×10^9 元, 其中农业 4.6×10^8 元, 牧业 5.8×10^8 元, 林业 9.7×10^7 元, 渔业 7.6×10^5 元。2015 年盐池县工业总产值 5.4×10^9 元, 其中绝大部分来自石油开采^[10]。盐池县经济以畜牧业和农业为主, 素有“甘草之乡”和“滩羊之乡”之称, 工业则以粗放的矿产采掘业为主。

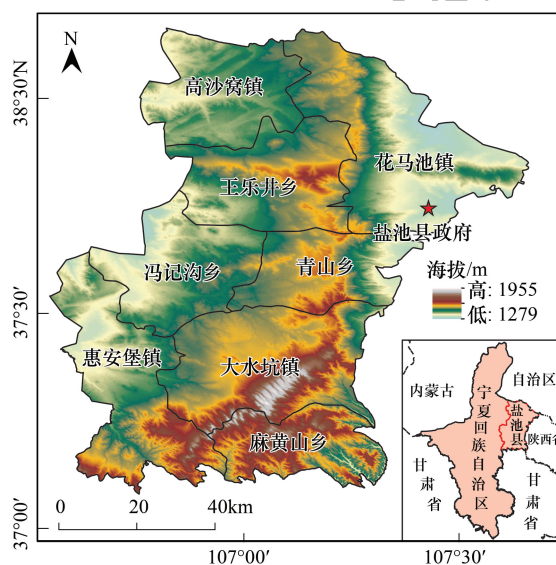


图1 研究区概况图

Fig.1 The study area

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

MODIS NDVI 产品数据以其高时间分辨率的特点被广泛应用于植被变化的研究中, 本文选择 2000、2004、2008、2012、2015 年 6、7、8 三个月份的 MODIS NDVI 产品数据(下载自 <http://glovis.usgs.gov/>, 空间分辨率为 250m , 时间分辨率为 16d)来表征盐池县的植被变化, 利用 MRT(MODIS Reprojection Tool) 软件对数据进行投影变换, 并用最大值合成法 MVC(Maximum Value Composites)对数据进行合成^[14]。Zurlini 等认为 4a 作为一个时间窗口可以反映如农业生产、干旱、疾病火灾和城市化等引起的 NDVI 的变化^[15], 若间隔时间太长, 可能忽略中间的干扰变化, 若间隔时间太短, 则干扰变化可能无法形成。为了评估盐池县社会-生态系统干扰在时间和空间上的变化, 基于当地的实际情况及数据的可得性, 本文选择 2000—2004, 2004—2008, 2008—2012, 2012—2015 年四个时间段的 NDVI 数据计算不同时期盐池县社会-生态系统的干扰值和干扰连通度。

2.2 研究方法

(1) 干扰测算

Petraitis 等研究认为, 某地不同年份相同或相近时间上 NDVI 的极端变化称为干扰^[16], 当 NDVI 数值变的很大时, 说明植被覆盖增加明显; 当 NDVI 变得很小时, 则说明植被退化严重, 甚至成为裸地。干扰有正、负之分, 正面的干扰(NDVI 数值增大)可能来自诸如退耕还林/还草等人类活动导致的植被生长良好; 过度放牧、连年旱灾都可能导致植被退化, 出现负面的干扰(NDVI 数值降低)^[17]。无论干扰的正负, 它都会影响当地社会-生态系统的稳定性。本文通过计算两个时期 NDVI 的差异来辨识干扰, 计算方法采用 Zurlini, G 使用的公式^[18]:

$$D(x, y) = \frac{[f_{\tau_2}(x, y) - f_{\tau_1}(x, y)] - m}{\sqrt{S_{\tau_1}^2 + S_{\tau_2}^2 - 2cov \tau_1 \tau_2}} \quad (1)$$

式中, $f_{\tau_i}(x, y)$ 为第 i 年的 NDVI 像元值, m 为两副图像像元差异的平均值, $S_{\tau_i}^2$ 为一副 NDVI 图像上的所有像元的方差, $cov \tau_1 \tau_2$ 为两幅图像的协方差。

公式(1)的计算结果为一幅灰度图像,其直方图基本呈正态分布,根据 Petraitis 有关 NDVI 极端变化的论述,NDVI 是一个连续的变量,为了界定干扰有必要定义一个阈值,当观测到的变化超过阈值时,该像元便可以视作变化的或受干扰的像元^[16]。阈值是根据标准差主观设定的,选择不同的阈值,灰度图中受干扰的像元数是不一样的。在本文中,参考前人的研究,将 $D(x, y)$ 经验分布的固定比率(10%)设置为干扰的阈值,获取盐池县的干扰二值图。这种选择降低了在高比率分析时出现的“背景噪声”或低比率时对少数极值的过分强调^[19]。

(2)多尺度干扰模型

通过设置不同大小的移动窗口,可以定量计算像元在不同大小窗口内的干扰值(PD),并讨论该像元在不同大小窗口内干扰连通度(PDD),从而综合表达该像元自身及其周围环境的受干扰状况。本文借鉴 Zurlin 和杨新军等^[17,19]的研究成果并根据研究区的实际情况,选取了 10 组不同大小的移动窗口计算每个像元的 PD 和 PDD。窗口的大小分别为 3×3 (0.56 km^2), 5×5 (1.56 km^2), 7×7 (3.06 km^2), 9×9 (5.06 km^2), 15×15 (14.06 km^2), 21×21 (27.56 km^2), 27×27 (45.56 km^2), 33×33 (68.06 km^2), 39×39 (95.06 km^2), 45×45 (126.56 km^2)。对每个窗口,统计像元及其周围像元的干扰像元的数量,计算中心像元的干扰值和干扰连通度^[17,20]。以 3×3 窗口为例,具体的算法如图所示:

对于一个固定的像元,其 PD 和 PDD 随着窗口大小的变化趋势可以解释该像元在不同空间范围内干扰的变化,如当像元在小窗口内 PD 值很高而在相同位置大窗口内 PD 值很低,说明该像元为高干扰的小窗口镶嵌在低干扰的大窗口内。

3 结果分析

3.1 社会-生态系统干扰的空间分析

根据公式(1)计算 2000—2004、2004—2008、2008—2012、和 2012—2015 年 4 个时期的 NDVI 变化,并取像元经验分布的 10%作为干扰像元,用图(2)所示 PD 的计算方法分别计算 10 个窗口下的干扰值。空间聚类的方法可以研究不同干扰类别在空间上的差异,而类别内部差异较小。分别将各个时期 10 个窗口生成的 PD 图层聚为 7 类,其空间分布如图 3 所示,集群 C1—C7 的 PD 逐渐增加。

研究结果显示,不同时间段内盐池县社会-生态系统干扰的空间分布具有较大差异,2000—2004 年强干扰主要集中于县域南部;2004—2008 年强干扰在北部、中部均有出现,南部的强干扰消失;2008—2012 年强干扰的空间分布与 2000—2004 年类似,但南部的强干扰分别位于东、中、西 3 个小区域,并没有集中于一个区域,且北部强干扰区域进一步增强;2012—2015 年强干扰的区域主要集中于县域的北方、中西部和西北部(图 3)。

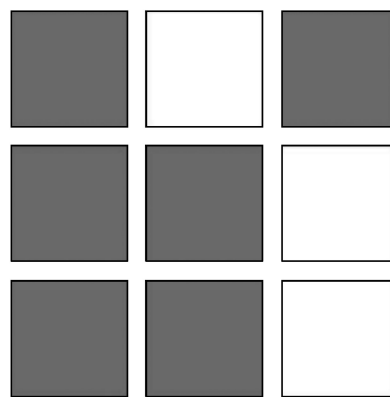


图 2 社会-生态系统干扰像元示意图

Fig.2 Example of the computation of Pd and Pdd for a landscape represented, where disturbed pixels are shaded

灰色表示干扰,白色表示不干扰;因此中心像元的干扰值 $PD = 6/9$;窗口任意相邻的两个像元两两组合共有 12 对,其中至少有一个像元为干扰像元的组合为 11 对,两个像元同时为干扰像元的组合有 5 对,因此中心像元的干扰连通度 $PDD = 5/11$

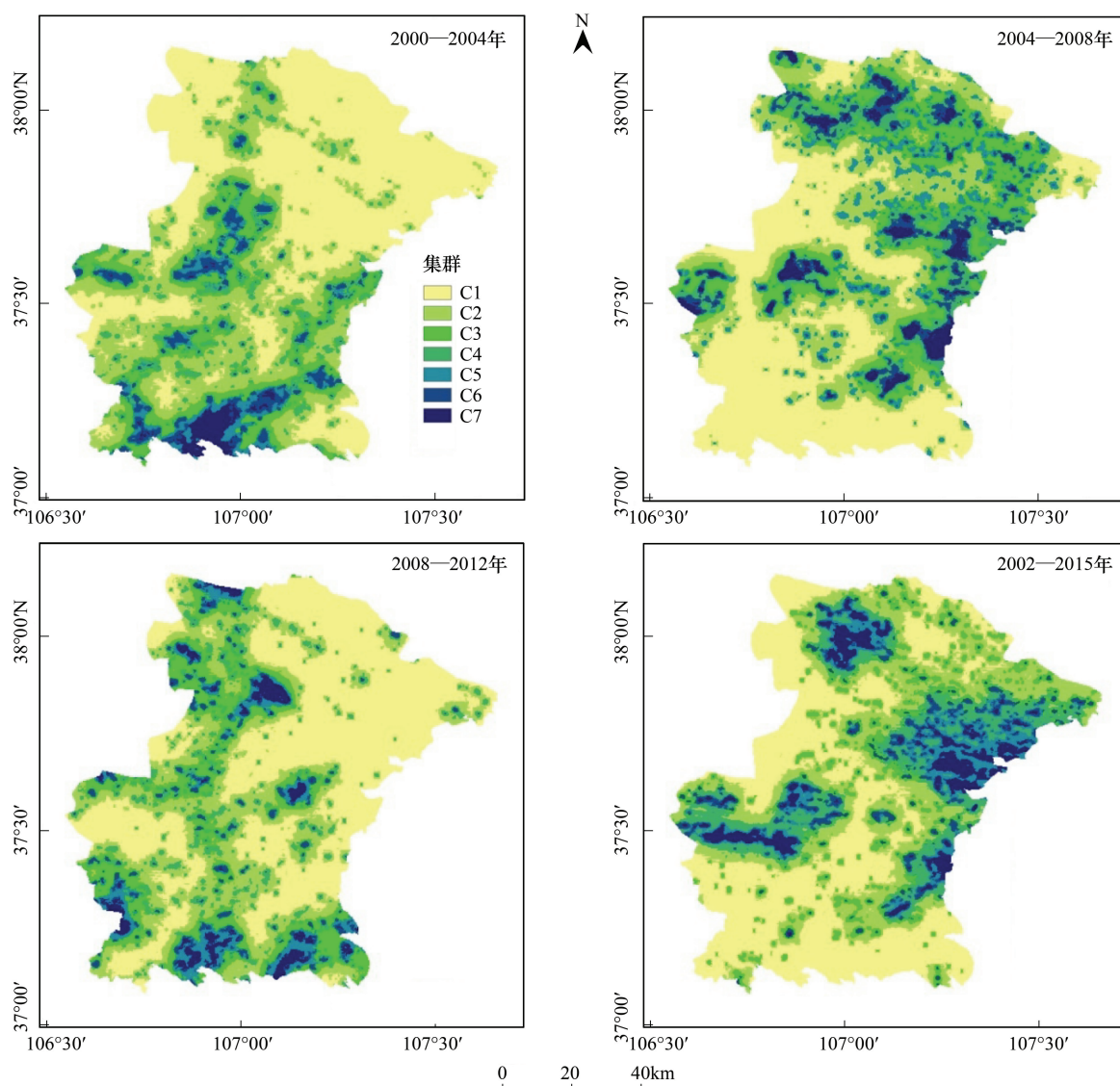


图3 社会-生态系统干扰聚类图

Fig.3 Social-ecological system disturbance distribution of seven clusters

统计结果(表1)显示,2000—2004年期间,盐池县社会-生态系统受干扰最强的集群C6和C7所占面积分别为329.43km²和123.09km²,主要分布于南部山区(图3)。主要是因为南部地区地势较高,以山地为主,从2000年国家实施退耕还林工程后^[21],人们开始积极在南部山区进行退耕还林工程,通过对NDVI的分析发现南部山区的植被变化较大且以增加为主,说明采取沙漠化治理措施之后,盐池县南部地区社会-生态系统受到正向的干扰。

2004—2008年期间,盐池县社会-生态系统受干扰面积进一步扩大,受干扰最强的C6和C7分别为437.38km²和247.20km²,比上个阶段增加了232.06km²(表1)。从空间上来看,受干扰最强的C7从南部转移到了中部和北部地区,北部地区的干扰集群出现连续分布的特征,而中部地区的干扰集群则呈现孤岛式的分布特征(图3)。这主要和人类活动有关,由于前一阶段人们活动主要是在南部山区进行,经过一段时间的退耕还林工程后,南方山区生态环境得到恢复。这个时期人们活动的焦点主要是北部和中部的草地和荒漠区,对该地区实施了禁牧封育政策,使得该区域草地得到很好的恢复。同时2008年降水量减少,对农作物的生长造成了很大的影响,而农业用地主要在中部和北部地势平坦的地区,同时也对草地和林地的恢复造成一定的影响,综

合正向干扰和负向干扰的结果,北部和中部的草地和农田受到了强烈干扰。

2008—2012 期间,盐池县社会-生态系统受干扰最强的 C6 和 C7 面积有所减少,分别为 224.56km² 和 210.64km²,比上个阶段减少了 249.38km²(表 1)。从空间上来看,主要受干扰的地区出现在西部和南部,而且分布较分散(图 3)。这些地区主要是草原和荒漠区,由于禁牧政策以及其他防沙治沙工程的继续实施,使得草地和荒漠地区生态环境得到了恢复。而且受到 2008 年降水减少的影响,南部山区受到了一定影响^[22],与草地相比,林地的恢复较滞后。因此,在这个时期南部地区也受到很强的干扰。

2012—2015 期间,盐池县社会-生态系统受到的干扰进一步增强,受干扰最强的 C6 和 C7 面积进一步扩大,达到 386.96km² 和 397.87km²,尤其是 C7 的面积,远远超过了前 3 个时期(表 1)。从空间上来看,这个时期干扰主要集中分布在盐池县的西北、东北和中西部地区,且呈现聚集分布的态势,说明在此期间社会-生态系统受到的干扰更为聚集(图 3)。这主要是由于 2011 年开始实施的草原生态保护补助奖励机制,而这些受干扰强烈的地区大都是草原和荒漠区,在政策和利益的驱动下,使得当地的草原得到了很好的保护,荒漠化地区得到很大程度的恢复。

由此可见,沙漠化逆转区社会-生态系统比较脆弱,很容易受到干扰,而影响干扰的原因主要是人类活动和自然环境共同作用的结果,尤其是政策和降水对当地的影响比较强烈。通过分析植被 NDVI 的变化可知,盐池县社会-生态系统受到的干扰以正向干扰为主,当地植被得到了很好的恢复,但是也有一部分是负向干扰,比如降水减少,土壤结皮以及当地偷牧现象的存在,对植被恢复造成了一定影响。

表 1 社会-生态系统受干扰面积/km²
Table 1 Social-ecological system disturbance area

2000—2004		2004—2008		2008—2012		2012—2015	
集群 Cluster	面积/km ² Area	集群 Cluster	面积/km ² Area	集群 Cluster	面积/km ² Area	集群 Cluster	面积/km ² Area
C1	3031.56	C1	2433.00	C1	3002.63	C1	2601.24
C2	1766.57	C2	1535.54	C2	1570.75	C2	1561.13
C3	713.83	C3	961.60	C3	821.07	C3	630.95
C4	583.49	C4	602.93	C4	627.75	C4	769.37
C5	280.23	C5	610.56	C5	370.80	C5	480.67
C6	329.43	C6	437.38	C6	224.56	C6	386.96
C7	123.09	C7	247.20	C7	210.64	C7	397.87

3.2 社会-生态系统干扰的强度和连通度分析

3.2.1 社会-生态系统干扰的强度分析

分别计算了每个时期各集群在不同移动窗口下干扰的平均值(图 4),可以对各集群在不同空间尺度上的受干扰状态进行分析。结果显示,在 4 个阶段中,C1 和 C2 不论在小窗口还是在大数据窗口,PD 的平均值都在 0—0.1 之间,很少发生变化或保持不变,说明 C1 和 C2 受到的干扰很小,他们包含了所有几乎未受干扰的区域。2000—2004 年,C7 在最小窗口上的 PD 值接近 0.9,随着窗口的增大,PD 值不断减小,但是最小值也大于 0.6,说明 C7 在该时期受干扰强度最大。其他 3 个时期的 C7 在最小窗口上干扰值接近 0.8,随着窗口的扩大,PD 值不断减小,最小值在 0.3 左右。C6 干扰强度随窗口扩大而逐渐减小,2000—2004 年,C6 的 PD 值在 0.3 到 0.8 之间,其他 3 个时期 PD 值在 0.2 到 0.6 之间。C6 和 C7 几乎包含了所有受干扰比较强的区域。C3、C4、C5 干扰值有很大的差异,代表了干扰的不同类型,反映了干扰的空间变化。比如,2000—2004 年期间的 C3,在小的区域内不受干扰,但是它镶嵌在一个受干扰严重的大区域内;C4 在小区域内受干扰严重,但是他镶嵌在一个不受干扰的大区域内。除 2004—2008 年期间,剩余 3 个时期的 C5,干扰值随着窗口的增加先增加后减小,说明 C5 在小区域和大区域都是相对不受干扰的区域,但在中间大小的窗口内该区域更容易受干扰(图 4)。

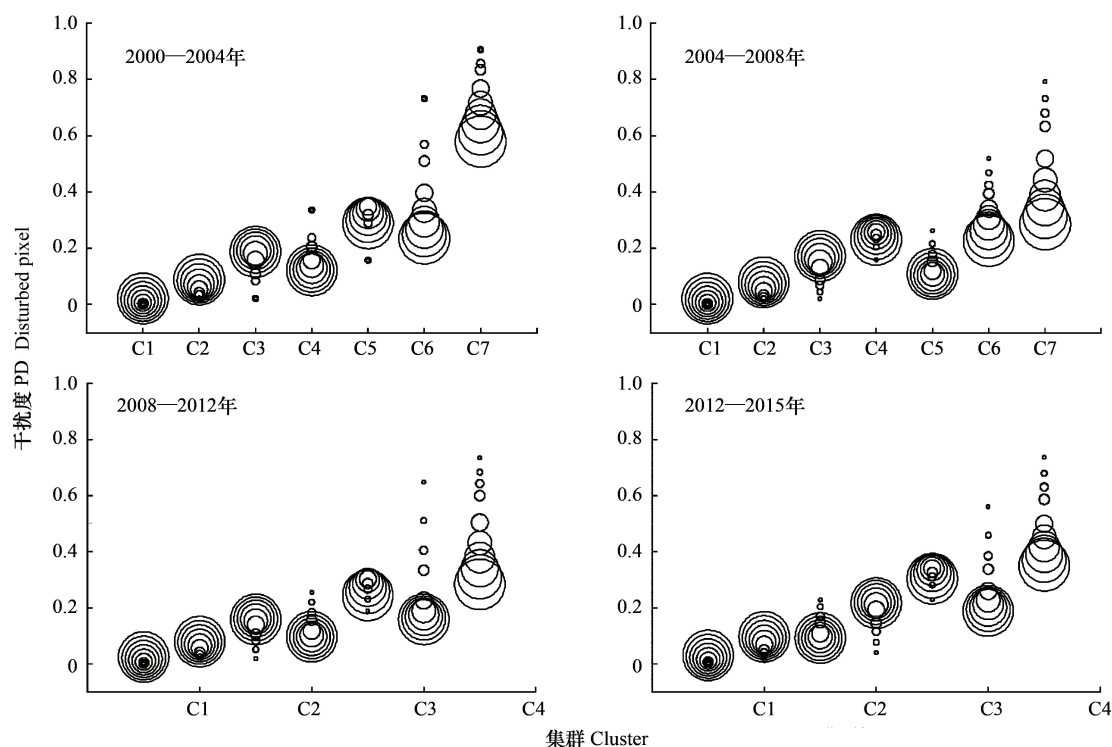


图4 社会-生态系统干扰值(PD),气泡大小代表移动窗口的大小

Fig.4 Social-ecological system disturbance intensity (PD), bubbles size represent the size of the moving windows

3.2.2 社会-生态系统干扰的连通度分析

社会-生态系统干扰的连通度(PDD)对于社会-生态系统恢复力的研究有重要的作用。它反映了不同干扰集群随着窗口的增大社会-生态系统受干扰可能性的大小。本文运用移动窗口计算法则进一步分析了社会-生态系统的连通度(图5)。研究结果显示,2000—2004 期间,随着窗口的扩大,C7 的干扰连通度略有所降低,最终 PDD 趋于 0.8 附近,受干扰的可能性远远高于其他集群。C1 上升速度较慢,PDD 值趋于 0.2 附近,说明 C1 受干扰的可能性很小。C3 和 C5 随着窗口的扩大,PDD 值快速上升,最终趋于 0.6 附近,说明 C3 和 C5 受干扰的可能性较大。C2 和 C4 的 PDD 最终趋于 0.4。2004—2008,2008—2012,2012—2015 年 3 个期间,随着窗口的扩大,C1 到 C5 的 PDD 值逐渐增大,C6 和 C7 的 PDD 值不断减小,最终 PDD 值大都趋于 0.3 到 0.5 之间(图 5),可见这 3 个时期社会-生态系统受干扰的几率较小。

3.3 社会-生态系统干扰的空间结构

PD 和 PDD 的值均与同样大小窗口内的干扰像元的数量有关,因此在一个窗口内二者必然存在一定的关联,弄清楚这种关联有助于探索干扰的空间结构。图 6 显示了不同 PD-PDD 值干扰的空间结构,当 $PD > PDD$ 时,干扰和非干扰呈离散分布(图 7a 和 c),称高干扰离散型(图 6a)和低干扰离散型(图 6c),当 $PD < PDD$ 时,干扰和非干扰呈集聚分布(图 6b 和 d),称高干扰集聚型(图 6b)和低干扰集聚型(图 6d)。当 PD 值高于 0.6 时,可以认为是高干扰区,当 PD 值低于 0.4 时,为低干扰区^[14]。

研究结果显示,随着窗口的不断扩大,每个集群的轨迹最终将会收敛于某一个点,4 个时期的收敛点分别为 $PD=0.1, PDD=0.431$ 、 $PD=0.1, PDD=0.396$ 、 $PD=0.1, PDD=0.407$ 、 $PD=0.1, PDD=0.4$ 。这些点都在 $PD=0.1, PDD=0.4$ 周围(图 7)。事实上,C1(最小干扰)和 C7(最大干扰)在 PD-PDD 空间上是两条简单的曲线,这两条曲线是沿着 $PD=PDD$ 为轴线的一个椭圆的一部分,我们把这条曲线定为干扰的基线,在这条曲线上系统所有的结构都可能发生。由此便可以分析每个集群的运动轨迹。

四个时期的 C2 和 C3 都几乎平行于这条基线,并且随着窗口的扩大 PD 值和 PDD 值不断增大,可见这些集群运动轨迹是由低干扰离散型向低干扰集聚型转变,干扰几率不断增大。说明这些集群的干扰强度将会随

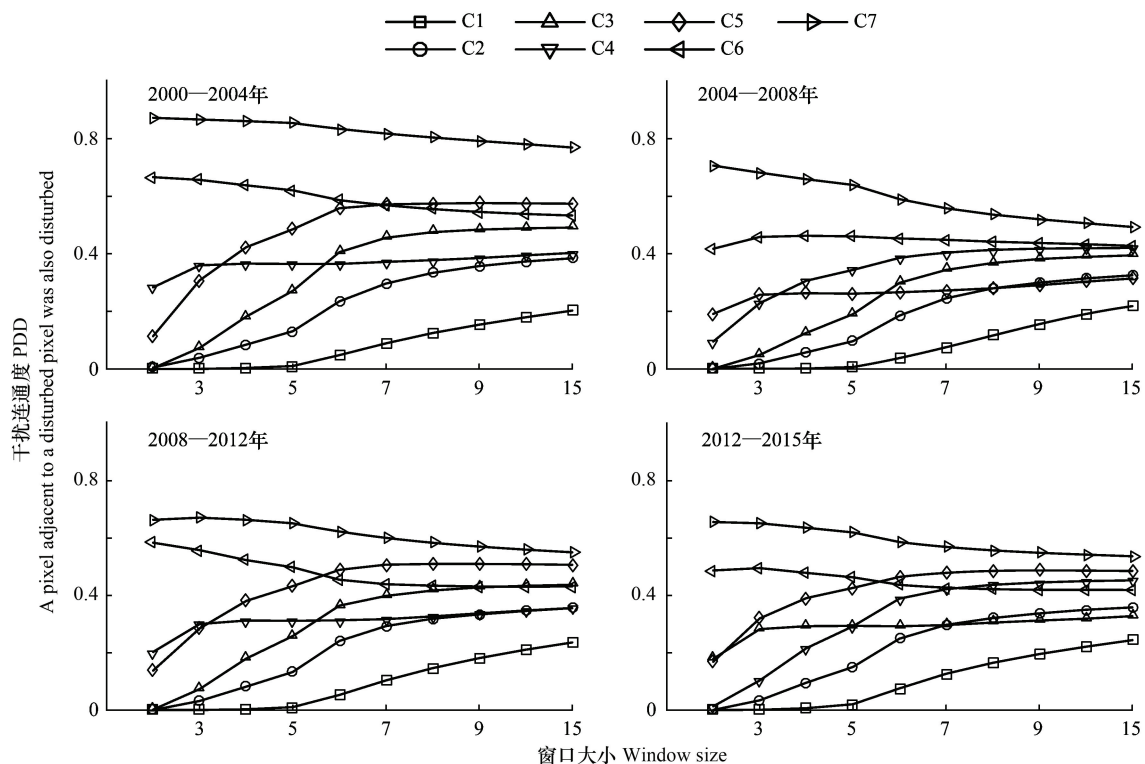


图5 盐池县社会-生态系统的连通度(PDD)

Fig.5 Social-ecological system disturbance connectivity (PDD)

着窗口的增大而增加。C6 在这条基线之上并平行于它,随着窗口的扩大 PD 值和 PDD 值不断减小,可见 C6 的运动轨迹是由高干扰集聚型向低干扰离散型转变,说明 C6 的干扰强度将会随着窗口的增大而减小。C4 和 C5 在基线之上但不平行于该基线,他们的 PD 值和 PDD 值一开始是增加,但是接着当轨迹接近基线时 PD 值和 PDD 值开始减小。可见,随着窗口的扩大,C4 和 C5 运动轨迹是由低干扰离散型向高干扰集聚型转变,随后又向低干扰集聚型转变,最终趋于当地的平均值(图7)。

4 结论

4.1 结论

(1)不同时间段内社会-生态系统的干扰值空间分布差异较大,2000—2004 年强干扰主要集中于盐池县南部;2004—2008 年强干扰在北部、中部均有表现,南部的强干扰消失;2008—2012 年南部的强干扰分别位于东、中、西 3 个小区域,并没有集中于一个区域,且北部强干扰区域进一步增强;2012—2015 年强干扰的区域则主要集中于县域的北方、中西部 and 西北部。

(2)不同空间尺度上社会-生态系统干扰强度和连通度不同,不同的集群包含了干扰强度不同区域,C1 和 C2 几乎包含了所有几乎未受干扰的区域,且随着窗口扩大,干扰值和连通度都明显增大,干扰曲线运动轨迹由低干扰离散型向低干扰集聚型转变;C6 和 C7 包含了干扰强度最大的区域,且随着窗口扩大,干扰值和连通度都明显减小,干扰曲线运动轨迹由高干扰集聚型向低干扰离散型转变。

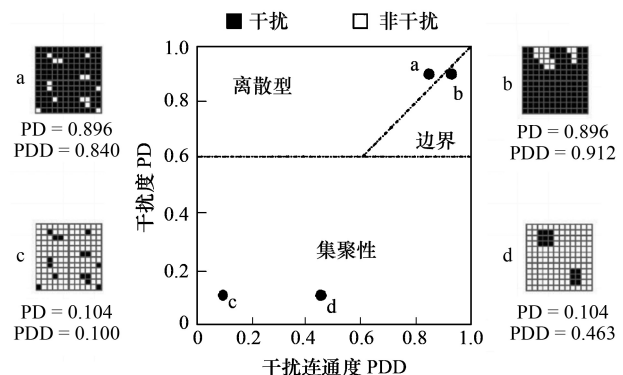
图6 社会-生态系统干扰类型示意图^[19]

Fig.6 A example of social-ecological system disturbance type

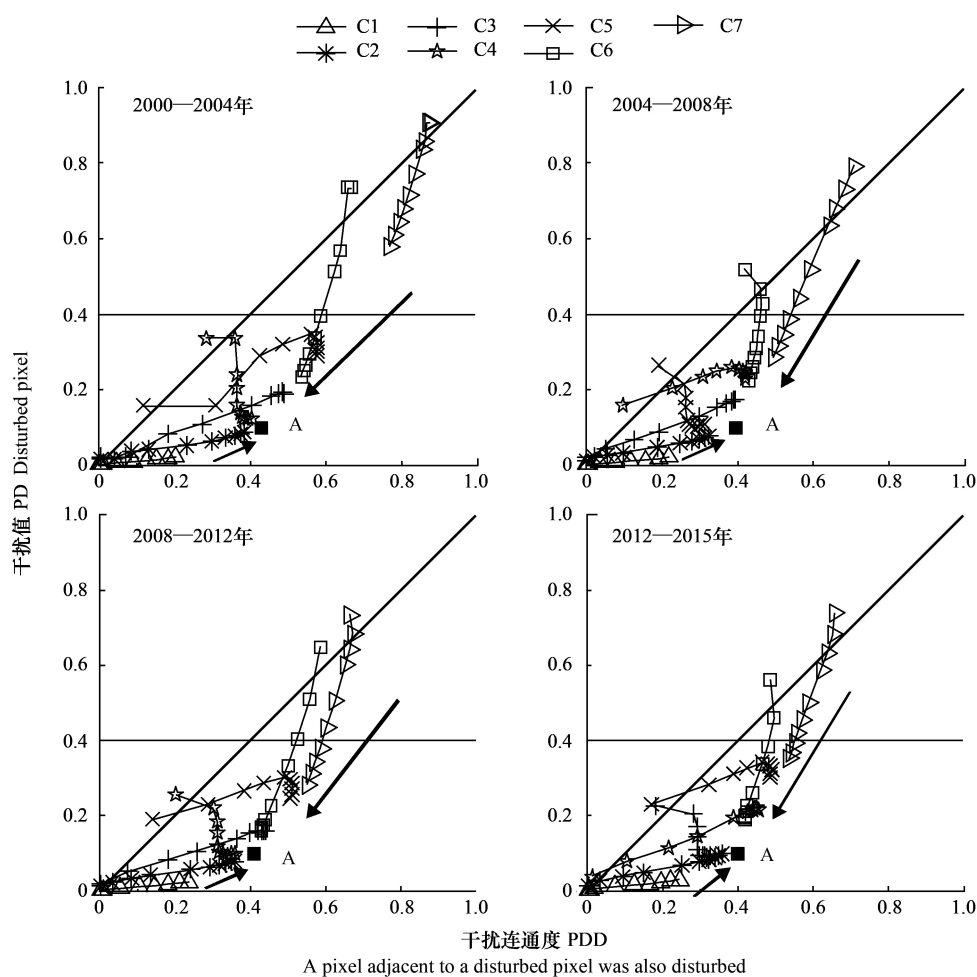


图7 盐池县社会-生态系统受干扰类型图

Fig.7 Social-ecological system disturbance type in Yanchi

(3) 总体上看,除了个别区域社会-生态系统干扰强度和连通度较大以外,盐池县大部分地区社会-生态系统干扰强度和连通度并不大,可见盐池县沙漠化虽有逆转,但逆转程度较低,还有待进一步加强沙漠化治理力度。

4.2 讨论

2000—2004, 2004—2008, 2008—2012 和 2012—2015 年四个时期段盐池县的社会-生态系统干扰强度和连通度在空间上存在很大差异,2000—2004 年期间的社会-生态系统干扰强度和连通度最大,这主要是因为盐池县作为沙漠化逆转区,社会-生态系统比较脆弱,容易受到干扰,且正值退耕还林和全县禁牧政策实施的初始阶段,对当地的生态环境影响较大,是生态环境的转折点,沙漠化逆转效果明显;2004—2008 年期间,盐池县社会-生态系统受干扰面积比上个时期有所增长,但干扰强度和连通度不高,这主要是因为随着禁牧政策继续实施,盐池县生态环境变化逐渐减小,趋于一个稳定的状态,但由于 2007 年和 2008 年降雨量减少,当地植被普遍受到影响,干扰面积增大,沙漠化逆转受到阻碍;2008—2012 年期间,社会-生态系统的干扰面积有所减少,干扰强度和连通度也较小,主要干扰区位于西部和南部山区,这主要是因为盐池县禁牧政策的实施已有一段时间,沙漠化逆转达到了一定程度后,社会-生态系统变化不再明显;2012—2015 年期间,社会-生态系统的干扰强度和连通度没有明显的变化,但干扰面积却有所增加,主要原因是 2011 年国家实施新的草原生态保护补助奖励机制,在新利益的驱动下,人们对于保护草原和治理沙漠化的热情高涨,沙漠化逆转效果更加明显,但随着禁牧封育时间的增加,禁牧封育区土壤得不到牲畜的践踏,结皮厚度不断的增加,限制了当地植被对降水的利用率,导致草地质量下降^[23],沙漠化逆转受到了限制,这一时期盐池县社会-生态系统在正向干扰和负向干扰共同作用下,干扰面积达到了最大。另外,由于全县禁牧政策实施,大部分农户失去了经济来源,虽有

国家对禁牧进行补偿,但是相较于放牧带来的经济利益,补偿太低,在利益的驱动下,偷牧行为成为普遍现象,对沙漠化逆转带来了一定的负面影响。由此可见,影响沙漠化逆转的原因主要是人类活动和自然环境共同作用的结果,尤其是政策和降水对当地的影响比较强烈。在未来的研究中,将对影响沙漠化逆转区社会-生态系统的因素进行详细研究。

4.3 政策建议

社会-生态系统受干扰的原因主要是人类活动与自然环境的共同作用的结果,合理的政策实施有助于减小社会-生态系统负向干扰,增加正向干扰,促进沙漠化逆转。研究结果显示,除了个别区域社会-生态系统干扰强度和连通度较大以外,盐池县大部分地区社会-生态系统受干扰的强度和连通度并不大,沙漠化逆转程度低,还有待进一步加强沙漠化治理力度。首先,根据沙漠化治理政策实施的效果和存在的问题,不断调整沙漠化治理政策,使其更加适合盐池县的实际情况,如对普遍存在的偷牧行为,政府要加大管理和监督力度,同时还要创造条件帮助农户转变生产方式,合理利用当地的土地资源,加强对更易受到干扰的土地利用类型的管理;其次,对于长期禁牧政策引起的土壤结皮、草地退化现象,可以适当的进行开牧,如轮牧或者季节性放牧,这不仅有助于草地进一步恢复,还可增加农户收入,使当地社会-生态系统进入良性循环;最后,政府需加大沙漠化治理政策的实施力度,充分发挥人类的主观能动性,积极的应对可能出现的问题,促使盐池县社会-生态系统良性发展,巩固沙漠化治理成果的同时,促进盐池县沙漠化治理工作的进一步推进。

参考文献 (References):

- [1] Arrow K, Bolin B, Costanza R, Dasgupta P, Folke C, Holling C S, Jansson B O, Levin S, Mäler K G, Perrings C, Pimentel D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science*, 1995, 268(5210): 520-521.
- [2] Abahussain A A, Abdu A S, Al-Zubari W K, El-Deen N A, Abdul-Raheem M. Desertification in the Arab Region: analysis of current status and trends. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(4): 521-545.
- [3] 周立华, 朱艳玲, 黄玉邦. 禁牧政策对北方农牧交错区草地沙漠化逆转过程影响的定量评价. *中国沙漠*, 2012, 32(2): 308-313.
- [4] Portnor B A, Safriel U N. Combating desertification in the Negev: dryland agriculture vs. dryland urbanization. *Journal of Arid Environments*, 2004, 56(4): 659-680.
- [5] D'Odorico P, Bhattachan A, Davis K F, Ravi S, Runyan C W. Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 2013, 51: 326-344.
- [6] 王涛. 我国沙漠化研究的若干问题——2. 沙漠化的研究内容. *中国沙漠*, 2003, 23(5): 477-482.
- [7] Ostrom E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 2009, 325(5939): 419-422.
- [8] Cumming G S, Barnes G, Perz S, Schmink M, Sieving K E, Southworth J, Binford M, Holt R D, Stöckler C, Van Holt T. An exploratory framework for the empirical measurement of resilience. *Ecosystems*, 2005, 8(8): 975-987.
- [9] 王群, 陆林, 杨兴柱. 千岛湖社会-生态系统恢复力测度与影响机理. *地理学报*, 2015, 70(5): 779-795.
- [10] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. *Ecosystems*, 2001, 4(5): 390-405.
- [11] Adger W N. Social and ecological resilience: Are they related? *Progress in Human Geography*, 2000, 24(3): 347-364.
- [12] Carpenter S, Walker B H, Anderies J M, Abel N. From metaphor to measurement: resilience of what to what?. *Ecosystems*, 2001, 4(8): 765-781.
- [13] 陈娅玲. 陕西秦岭地区旅游社会-生态系统脆弱性评价及适应性管理对策研究[D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [14] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417-1434.
- [15] Zurlini G, Zaccarelli N, Petrosillo I. Multi-scale resilience estimates for health assessment of real habitats in a landscape. In: Jorgenssen S, Costanza R, Xu F L, Eds. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. Boca Raton, FL: CRC-Lewis Publ, 2004: 303-330.
- [16] Petraitis P S, Latham R E, Niesenbaum R A. The maintenance of species diversity by disturbance. *The Quarterly Review of Biology*, 1989, 64(4): 393-418.
- [17] 王俊, 孙晶, 杨新军, Zaccarelli N, 刘文兆, 张向龙, 汪兴玉. 基于 NDVI 的社会-生态系统多尺度干扰分析——以甘肃省榆中县为例. *生态学报*, 2009, 29(3): 1622-1628.
- [18] Zurlini G, Zaccarelli N, Petrosillo I. Indicating retrospective resilience of multi-scale patterns of real habitats in a landscape. *Ecology Indicators*, 2006, 6(1): 184-204.
- [19] Zurlini G, Riitters K, Zaccarelli N, Petrosillo I, Jones K B, Rossi L. Disturbance patterns in a socio-ecological system at multiple scales. *Ecological Complexity*, 2006, 3(2): 119-128.
- [20] Riitters K H, Wickham J, O'Neill R V, Jones B, Smith E. Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Ecology*, 2000, 4(2): 3.
- [21] 张克斌, 李瑞, 夏昭华, 沈彦. 宁夏盐池植被盖度变化及影响因子. *中国水土保持科学*, 2006, 4(6): 18-22.
- [22] 乔峰, 张克斌, 张生英, 刘刚, 李瑞, 杨俊杰. 农牧交错区植被覆盖度动态变化遥感监测——以宁夏盐池为例. *干旱区研究*, 2006, 23(2): 283-288.
- [23] 刘建. 宁夏盐池县沙化草地植被变化及围封措施效果研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.