

黄土高原近 40 年人类活动强度时空格局演变

赵亮^{1,2}, 刘宇², 罗勇¹, 刘汉湖¹

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要:为了探讨人类活动强度的时空格局演变及其驱动因素,采用土地利用/覆被折算建设用地当量方法定量化和空间化人类活动强度。以黄土高原为研究区,利用 1975—2015 年期间 4 期的土地利用/覆被数据,利用人类活动强度指数,阐释了人类活动强度的时空演变,探讨了人类活动空间分异的驱动因素。结果显示:在所研究的 40 年间,黄土高原人类活动强度变化大致以 2000 年为界,前期较为稳定,后期整体迅速降低。这一时期黄土高原人类活动强度具有较强的空间变异,其空间格局发生显著变化,主要表现为人类活动强度由中等强度广泛覆盖全区丘陵、塬面和平原、谷地的格局转变为覆盖平原谷地等地貌类型区的高强度区域镶嵌于大范围的低强度区域的空间格局,总体上趋于与地貌格局相一致;六盘山—陕北黄土高原出现大范围的人类活动冷点集聚区,关中平原—洛阳盆地形成较大范围的热点集聚区。黄土高原人类活动强度时空变化,是不同的地形地貌条件下生态政策、产业结构及社会经济等因素推动人类开发活动与生态承载力耦合的结果。

关键词:黄土高原; 人类活动强度; 土地利用/覆被; 时空演变

中图分类号: TP79; Q948.15; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)04-0306-08

Temporal and Spatial Evolution of Human Impact Intensity on the Loess Plateau in Recent 40 Years

ZHAO Liang^{1,2}, LIU Yu², LUO Yong¹, LIU Hanhu¹

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059,

China; 2. Key Laboratory of Ecosystem Observation and Modelling, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To explore the temporal and spatial evolution of human impact intensity and its driving factors, the land use/cover conversion construction land equivalent method is used to quantify and spatialize the intensity of human impact. We map the spatial and temporal evolution of human impact intensity on the Loess Plateau. Land use/cover data of four stages during 1975—2015 are used to construct the index of human impact intensity. By coupling information on landform pattern and policy incentives, driving factors for the variation of human activities are discussed. The results showed that, during the 40 years studied, change of the intensity of human activities in the Loess Plateau had two stages, there was a stable period before 2000, a rapid decrease stage occurred after 2000; during this period, the intensity and its spatial pattern of human activities in the Loess Plateau had changed significantly; the intensity of human activities changed from a pattern featured by moderate intensity that widely covered hills, table-lands and plains to a mosaic pattern of a widely cover of low intensity areas and patches of high human impact intensity in plains and river valleys; Liupanshan Mountain—northern Shaanxi Province on the Loess Plateau had a large area of human activity cold spots, and the Guanzhong Plain—Luoyang Basin formed a large-scale hotspot agglomeration area. Generally, spatial pattern of human activities in the Loess Plateau is on the trend to fit the topographic pattern. The temporal and spatial variations of human activities in the Loess Plateau are the results of the coupling of

收稿日期: 2018-11-02

修回日期: 2018-11-20

资助项目: 国家自然科学基金重大项目“黄土高原生态系统承载力的空间格局及调控途径”(41390464)

第一作者: 赵亮(1991—), 男, 四川南充人, 在读硕士研究生, 研究方向为地图制图学与地理信息工程。E-mail: zhaoliangcdut@163.com

通信作者: 刘宇(1981—), 男, 贵州六盘水人, 博士, 副研究员, 主要从事景观格局与生态过程、生态系统监测与评估研究。E-mail: liuyu@igsnnr.ac.cn

human policy incentives, economic development, and ecological carrying capacity promoted from topographic and physiographic conditions.

Keywords: the Loess Plateau; intensity of human activities; land use/cover change; temporal and spatial evolution

人类活动是景观变化的主要驱动之一^[1-2], 重塑土地利用格局是人类改变景观格局的主要方式。因此, 土地利用/覆被印刻了人类活动对景观的改造活动, 其时空变化反映了人类活动的时空格局^[3]。不同的土地利用类型反映了强度各异的人类活动^[4-5], 因此土地利用/覆被数据常被用来构建人类活动强度指标, 以表征人类对区域景观的影响程度。黄土高原地处半干旱半湿润向干旱荒漠的过渡地带, 生态环境十分脆弱, 长期人类活动导致区内植被破坏严重, 水土流失剧烈, 成为我国生态环境问题突出的区域, 是中国人地关系矛盾极其尖锐的地区之一^[6-7]。由于这些原因, 过去几十年来, 黄土高原成为中国生态恢复、修复和重建的重点区域。在国家生态建设政策和区域社会经济的快速发展的背景下, 产业结构调整整体上减轻了对生态系统硬性的破坏, 植被得到大规模恢复^[8-9]。这改变了土地利用的方式, 人类景观改造活动的类型、强度及其空间格局发生了巨大的变化, 并直观地反映在土地利用/覆被的空间格局演变上。本研究基于遥感数据提取的长时间序列土地利用/覆被数据构建的人类活动强度指数, 揭示黄土高原人类活动强度时空格局演变, 探讨黄土高原人类活动变化驱动因素。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

黄土高原地区南抵秦岭北麓, 北至阴山, 东达太行山脉, 西以乌鞘岭—日月山为界, 包括陕西、山西、内蒙古、宁夏、青海、甘肃、河南 7 个省区 287 个县, 总面积 62 万 km²。黄土高原为受大陆性季风气候影响的半湿润半干旱区, 多年平均降水量 50~700 mm, 汛期降水量占全年降水量大部分, 多暴雨^[10], 雨热同期。黄土高原因广布深厚的风成黄土层而闻名, 是世界上最大的黄土堆积区, 适宜农业生产, 具有悠久的农耕历史^[11]。黄土层及其上发育的土壤因结构疏松, 抗蚀性差, 地形起伏破碎, 加之农耕等人类生产生活对植被的破坏, 使得黄土高原成为水土流失问题突出的区域^[6-7], 是黄河泥沙的主要来源区。植被恢复与重建是黄土高原水土流失治理的根本性措施。自 20 世纪 90 年代末开始, 得益于国家生态建设政策、区域社会经济的快速发展和产业结构调整, 黄土高原进入植被大规模、快速恢复和重建的历史时期^[8-9]。

山区坡地是植被恢复重建和保育的主要区域^[12]。这些政策、经济和社会驱动的作用推动黄土高原人类活动的方式、强度和空间分布格局发生变化。

1.2 数据来源

本研究采用的数据包括土地利用/覆被数据和 DEM 数据。基于 1975 年、2000 年、2010 年和 2015 年的土地利用/覆被遥感监测数据计算得到黄土高原人类活动强度指数的空间分布。研究区土地利用/覆被解译自 Landsat 卫星遥感影像^[13], 分辨率 30 m。地形数据为 ASTER GDEM, 源自中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台 (<http://data.mirror.csdb.cn>), 空间分辨率为 30 m。

2 研究方法

2.1 人类活动强度定量方法

从土地利用/覆被的角度, 人类活动强度可定义为一定地域人类对地表自然覆被的利用、改造和开发程度, 它可通过土地利用/覆被得到反映, 可用如下公式计算^[5]:

$$HAIS = \frac{S_i}{S} \times 100 \tag{1}$$

$$S_i = \sum_{i=1}^n (SL_i \times C_i) \tag{2}$$

式中: HAIS 为人类活动强度; S_i 为建设用地当量面积, 即将计算单元内各类土地利用/覆被面积折算为等当量的建设用地后的面积; S 为计算单元总面积; C_i 为计算单元内第 i 种土地利用/覆被的建设用地当量折算系数; SL_i 为第 i 种土地利用/覆被类型的面积; n 为计算单元内土地利用/覆被类型数。根据徐勇等^[5]的研究, 研究区土地利用/覆被的建设用地当量折算系数见表 1。

表 1 土地利用/覆被类型建设用地当量折算系数^[5]

土地利用/ 建设用地当量		说明
覆被类型	折算系数(C)	
森林	0	天然林和非生产性的森林为主
灌丛	0	天然灌丛为主
草地	0.067	存在放牧等利用方式
耕地	0.4	以一年生作物为主
居民地	1	包裹农村、城市居民地
河流湖泊	0	
荒漠	0	主要为沙地

2.2 人类活动时空格局分析

人类活动强度演变具有空间差异和时间变异。在空间尺度上按县级行政单元统计每个单元的平均人类活动强度,分析人类活动强度的空间分布和演变特征。采用空间关联分析技术对人类活动强度演变的空间依赖性和异质性进行分析,以识别空间联系的热点或集聚区域。采用热点分析(Getis-Ord G_i^*)识别人类活动的热点与冷点区域的空间分布,Getis-Ord 局部统计可以表示为:

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}}{S_i \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n \omega_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (3)$$

为每个单元的统计数据 G_i 计算 z 得分。对于具有显著统计学意义的正的 z 得分, z 得分越高,高值(热点)的聚类就越紧密。对于统计学上的显著性负 z 得分, z 得分越低,低值(冷点)的聚类就越紧密。将置信区间为 1% 的极显著县级行政单元划分为热点和冷点区域,90% 的单元次划为次热点区域、次冷点区域,其余不显著区域为无意义区。

时间尺度上,采用长时间序列(1975—2015 年)对人类活动强度变化进行分析,统计人类活动强度整体和区域变化,同时结合人类活动变化特征与地形、生态政策、社会经济因素等关系分析人类活动强度的时空演变驱动因素。

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆被的时空动态

黄土高原的土地利用/覆被包括草地、森林、灌丛、耕地、水域、聚落和荒漠 7 种类型,以林草地为主。由图 1 可知,黄土高原土地利用/覆被类型结构总体变化大致以 2000 年为界,1975—2000 年变化较小,2000 年以后变化较为明显。40 年来森林、灌丛、草地面积总和持续增加,由 55.8% 增长到 75.83%,其中 2010—2015 年增量最大。与人类活动密切的耕地和聚落面积总和持续减少,由 1975 年的 36.17% 减少到 2015 年的 20.19%,表明人类活动空间得到了较大压缩。其中,耕地面积持续减少,聚落面积增加。荒漠和水域面积在 40 年间呈减少趋势变化。

坡度影响地表水热条件、风沙作用方式和水力侵蚀强度^[14-15],也是影响土壤肥力和土地适宜性的重要因素^[15],对土地利用有着明显的控制作用。1975—2015 年,不同坡度带土地利用/覆被的组成发生了显著变化。按 $0^\circ \sim 2^\circ$, $2^\circ \sim 6^\circ$, $6^\circ \sim 15^\circ$, $15^\circ \sim 25^\circ$, $> 25^\circ$

分为 5 类坡度带统计土地利用/覆被类型组成。1975—2015 年黄土高原土地利用/覆被坡度分异特征较明显(图 2),5 个坡度带所占区域面积比例分别为 28.97%, 17.72%, 30.99%, 17.56%, 4.76%。1975 年 $0^\circ \sim 2^\circ$, $2^\circ \sim 6^\circ$, $6^\circ \sim 15^\circ$, $15^\circ \sim 25^\circ$ 共 4 个坡度带土地利用/覆被以草地和耕地为主(总和 $> 70\%$)。至 2015 年这些坡度带草地所占比例均增加,耕地所占比例均减少, $6^\circ \sim 15^\circ$ 耕地占比由 34.8% 减少至 9.41%。 $0^\circ \sim 2^\circ$ 坡度带聚落和荒漠变化也较大,聚落由 4.68% 上升至 10.99%,荒漠由 13.94% 降低至 7.52%。 $6^\circ \sim 15^\circ$ 坡度带森林占比由 8.93% 增加至 19.04。1975 年 $15^\circ \sim 25^\circ$ 坡度带主要土地利用/覆被类型为草地(47.55%),其次为耕地(22.37%)和林地(15.72%)。到 2015 年林地增至 31.29%,而耕地仅占 4.14%。 $> 25^\circ$ 的坡度带主要土地利用/覆被类型为森林和草地,各土地利用/覆被类型占比均减少,仅森林面积增加。

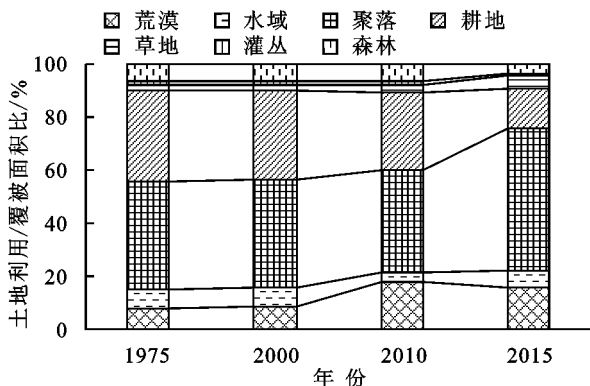


图 1 1975—2015 年黄土高原土地利用/覆被类型变化

1975—2015 年黄土高原土地利用/覆被的变化空间分异鲜明(图 3)。关中平原、汾渭谷地、河套平原、银川盆地、大同盆地、长治盆地、洛阳盆地等平原谷地区居民地面积持续增加,形成连片的城市群。青藏高原东部丘陵区、陇东—渭北黄土台塬区、吕梁山地区森林增加,草地、灌丛面积减少。黄土丘陵、塬面区耕地面积大幅减少,草地面积。毛乌素沙地荒漠面积减少,沙地东部东胜区、伊金霍洛旗、神木县等居民地面积增加。

3.2 人类活动强度的时间动态

由图 4 可看出,1975—2000 年人类活动强度指数大致以 0.5 为界,低于该指数的区县强度指数几乎无变化,高于该强度指数的区县人类活动强度均增强。2000—2015 年人类活动强度大致以 0.4 为界,人类活动强度指数低于 0.4 的区县人类活动强度大多降低,人类活动强度高于 0.4 的区域主要变化形式为增强,尤其是人类活动指数高于 0.6 的区县增加较剧烈。

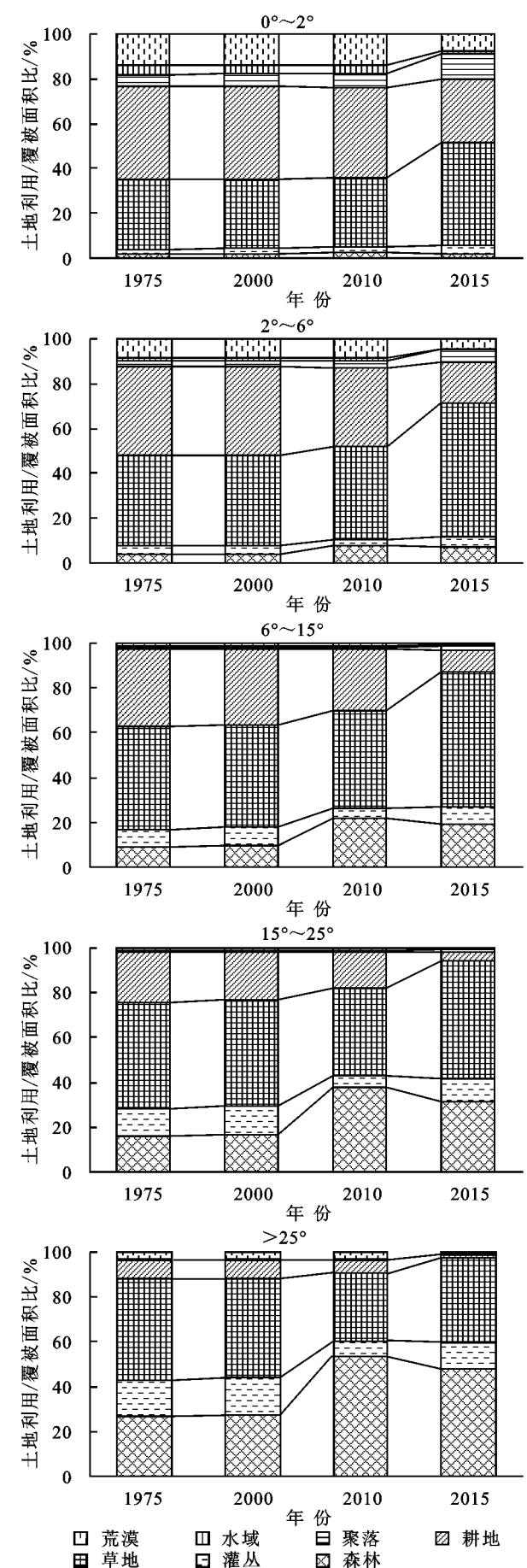


图 2 1975—2015 年黄土高原不同坡度带土地利用/覆被面积比

人类活动强度的时间动态变化如图 5 所示,黄土高原平均人类活动强度呈减弱趋势。人类活动强度变化大致以 2000 年为界线,2000 年以前人类活动强度变化较小,黄土高原平均人类活动强度几乎没有变化,仅有少数县级行政单元发生强度等级变化。2000 年以后,人类活动强度变化剧烈,黄土高原平均人类活动强度由 0.19 降低到 0.15,各县级行政单元人类活动强度变异较大。

基于县级行政单元,计算每个单元平均人类活动强度,将人类活动强度按 <0.1 , $0.1\sim0.2$, $0.2\sim0.3$, >0.5 分为低、较低、中等、较高、高 5 种强度等级,各等级人类活动强度区县数量时间变化序列见图 5。从人类活动强度等级来看,1975 年人类活动强度以较低和中等为主,2015 年变为中等为主。其中,中等和较高人类活动的区县个数减少,其余人类活动强度等级的区县个数均增加。中等和低强度的个数变化较大,其他等级变化较小。1975—2015 年低强度区县由 24 个增至 74 个,低强度人类活动的县级行政单元主要来源于较低强度人类活动强度,1975—2015 年由较低转化为低强度的区县为 44 个,其余由中等强度人类活动转化。中等强度区县个数由 120 个减少至 49 个,主要转变形式为较低(图 6),1975—2015 年由中等转为低等的县有 61 个。高强度和较高强度人类活动单元主要转变形势为少量较高强度转化为高强度人类活动。

3.3 人类活动强度的空间格局演变

如图 6 所示,人类活动强度空间分布具有集聚特征。人类活动强度较高以上等级的空间变异特征不明显,大部分连片分布于关中平原—汾渭谷地、河套平原、大同盆地、长治盆地,豫西北亦有少数高和较高强度的县级行政单元分布。21 世纪前,较低强度和低强度人类活动主要分布在青藏高原东部丘陵区、陕北黄土丘陵区、东部山地区及毛乌素沙地。2000 年后,低强度、较低强度人类活动区域急剧增大,黄土丘陵沟壑、山地丘陵区等丘陵山及毛乌素沙地均为低强度、较低强度人类活动。1975 年中等强度人类活动广泛分布于黄土丘陵沟壑区和平原谷地区,2000 年以后仅少量分布于平原谷地区。黄土高原 334 个县级行政单元中大多数区县人类活动强度降低,仅少部分人类活动强度增强。人类活动强度增加的区域主要包括毛乌素沙地、河套平原、关中平原—汾渭谷地、豫西北,增幅较大的地区主要为西安、银川、包头等城区。人类活动强度降低较快区域为六盘山地区和陕北(图 7)。

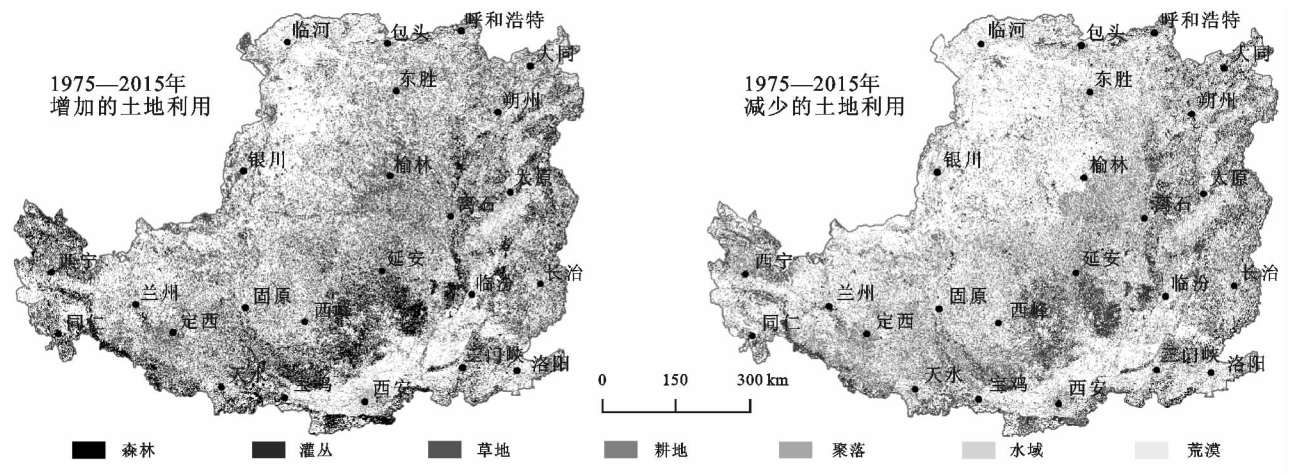


图 3 1975—2015 年黄土高原土地利用/覆被变化

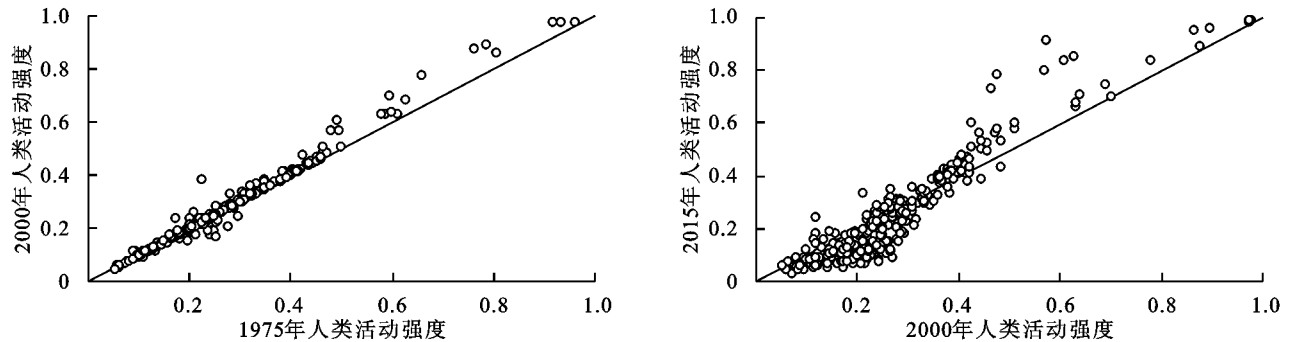


图 4 1975—2015 年黄土高原人类活动强度指数变化

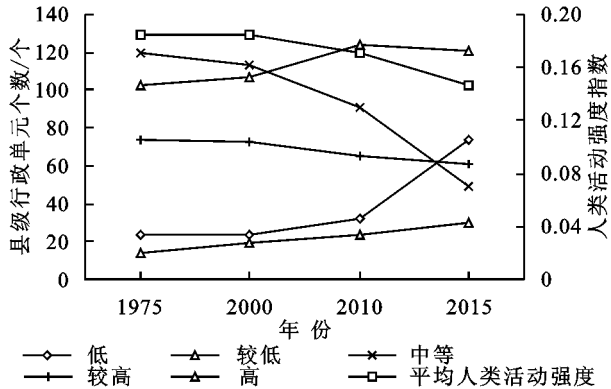


图 5 1975—2015 年各人类活动强度等级县级单元数量及平均人类活动强度指数变化

如图 8 所示,近 40 年来,黄土高原人类活动强度的冷热点区域发生迁移。1975 年人类活动强度冷点区域可以分为 3 块——毛乌素沙地、西宁—同仁、西峰—离石—延安。西峰—离石—延安具有显著意义的冷点区县分布较集中,毛乌素沙地冷点区县分布零散且均为次冷点。热点区域主要有以西安为中心的关中平原热点区域和洛阳为中心的洛阳盆地热点区域。随时间变化,毛乌素沙地人类活动冷点集聚区区县数量急剧减少,至 2010 年彻底消失。西宁—同仁冷点区域发生了较大变化,西宁逐渐退出冷点区域,至 2015 年缩减为伊通为中心的冷点区域。1975—2015 年西峰—离石—延安冷点区域迅速扩张,向西南方向囊括六盘山区,沿东西方向陕北拓展,至 2015 年形成六盘山—

陕北的大范围冷点区域。河套平原形成以包头为中心的人类活动热点区域,关中平原和洛阳盆地变化不明显,但两区域之间有逐渐相连的趋势。

4 讨论

黄土高原人类活动强度时空分异是自然环境、社会经济发展和国家政策等多因素共同作用的结果。2000 年以前黄土高原人类活动强度变化缓慢,2000 年以后人类活动急剧降低,空间的集聚和转移是人类活动变化的主要方式。国家生态建设政策和产业结构调整是近 40 年来影响黄土高原区域人类活动的主要社会经济因素^[8-9]。自 20 世纪 90 年代末开始,退耕还林还草等生态政策大规模实施和产业结构的调整使大量耕地转为草地、林地(图 3)。同时区域社会经济的快速发展使大量的人口由农村向城市转移。黄土沟壑丘陵区是退耕还林还草工程实施的重点区域,人类对土地的开发活动的强度减弱的幅度最大,呈现空间高度集聚的变化过程(图 7)。

地形条件也是人类活动转移的重要驱动力。地形对生态环境、人类经济承载力具有重要指示作用^[16],是驱动人类空间活动转移的重要因子。黄土丘陵沟壑区虽然是传统的农耕地,但该区域地形破碎化且地形起伏较大造成土地的人口和经济承载力较低,且开发提高收益的难度大,推动着大量人口向条件优越的地区流动,

使该地人口急剧流失。平原谷地因其优越的自然条件,人口迅速增长,社会经济快速发展,城区面积不断扩张,吸引着人口的转入,使得人类活动强度迅速增强。此

外,21 世纪以来北部风沙区毛乌素沙地区人活动强度增强,人类活动扰动作用增强,其主要原因是耕地开垦、资源开采和道路修建等活动不断增强导致^[17-18]。

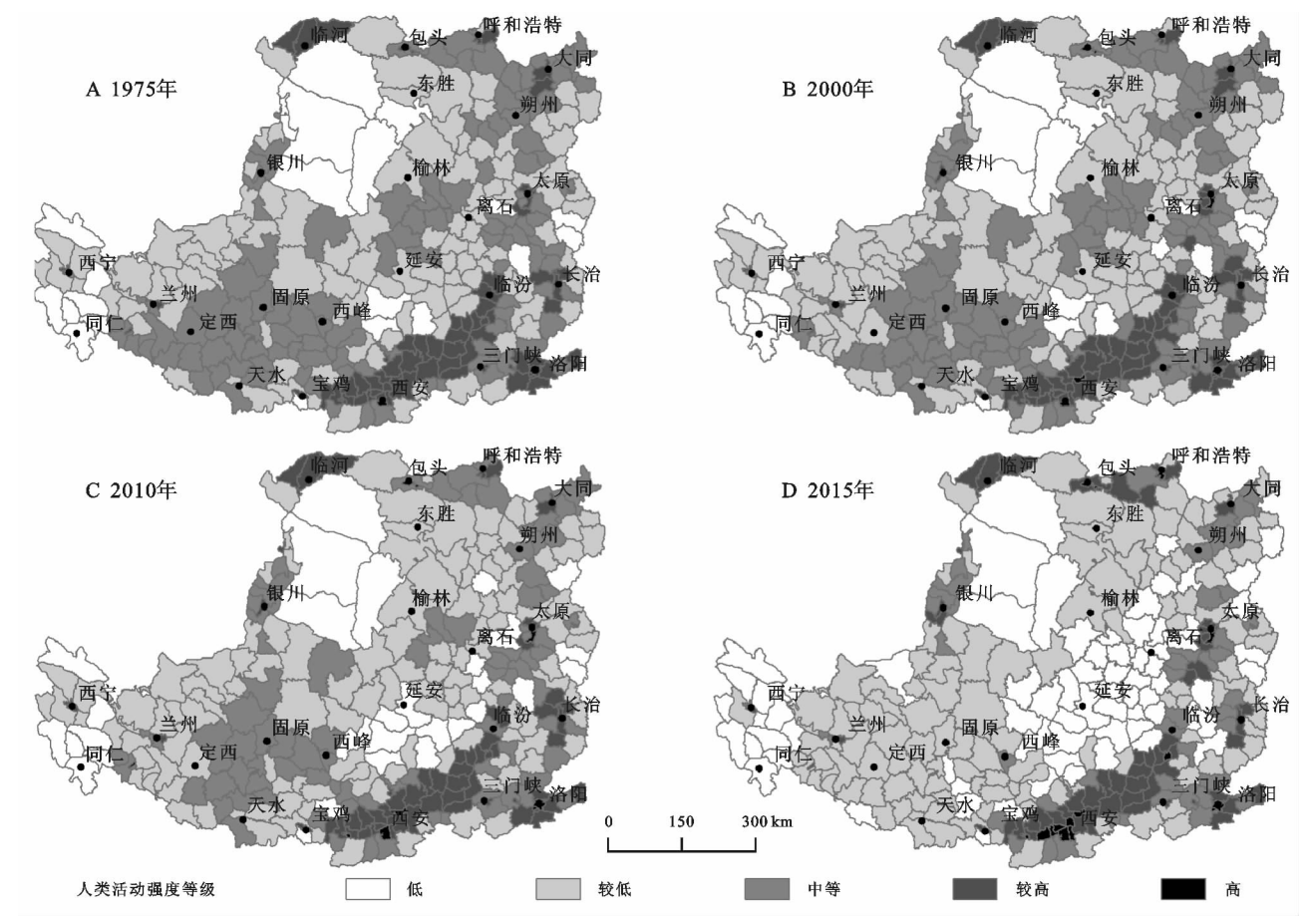


图 6 1975—2015 年黄土高原人类活动强度空间格局

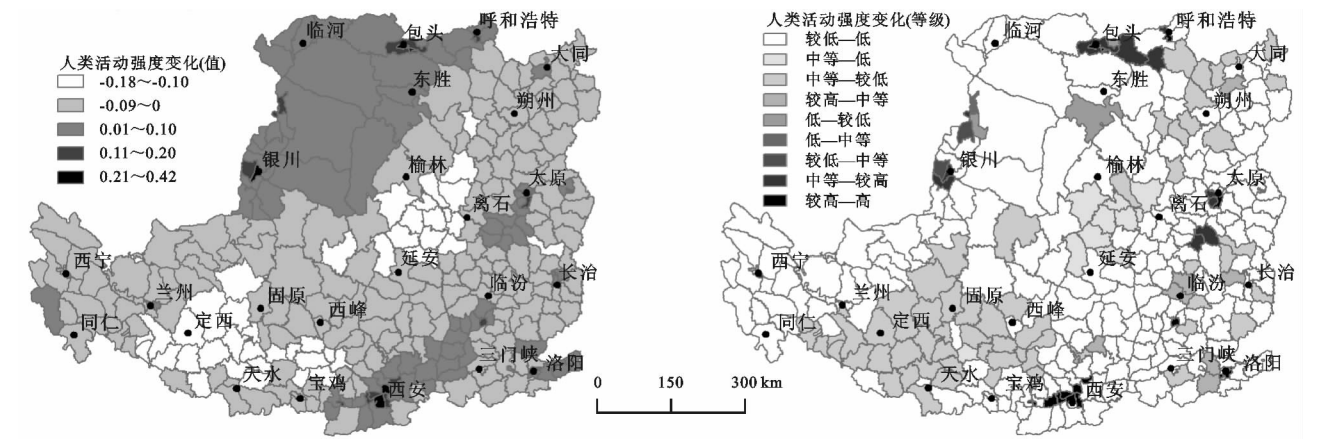


图 7 1975—2015 年黄土高原人类活动强度空间变化

1975—2015 年黄土高原地区人类活动强度与地形起伏度的回归关系(图 9)进一步说明:政策和经济发展的导向性作用使得人类活动强度的空间格局与地形格局的一致性在不断增强,平原和谷地等地形条件优越的地方成为人类开发利用活动高度集中的地形位置。

5 结论

近 40 年来,黄土高原人类活动强度总体呈减弱趋势,

局部地区增强。以 2000 年为界,前期人类活动强度变化较小,后期人类活动强度发生剧烈的时空变异。关中平原—汾渭谷地、河套平原、大同盆地、长治盆地及豫西北等平原谷地区人类活动持续增强,人类活动空间具有空间集聚特征。毛乌素沙地人类活动强度也略微增加,但人类活动强度仍处于较低水平。黄土丘陵沟壑区、青藏高原山地丘陵区、东部山地区等山地丘陵区人类活动强度减弱,尤其是六盘山地区和黄土丘陵沟壑区人类活动强度减弱幅度较大。

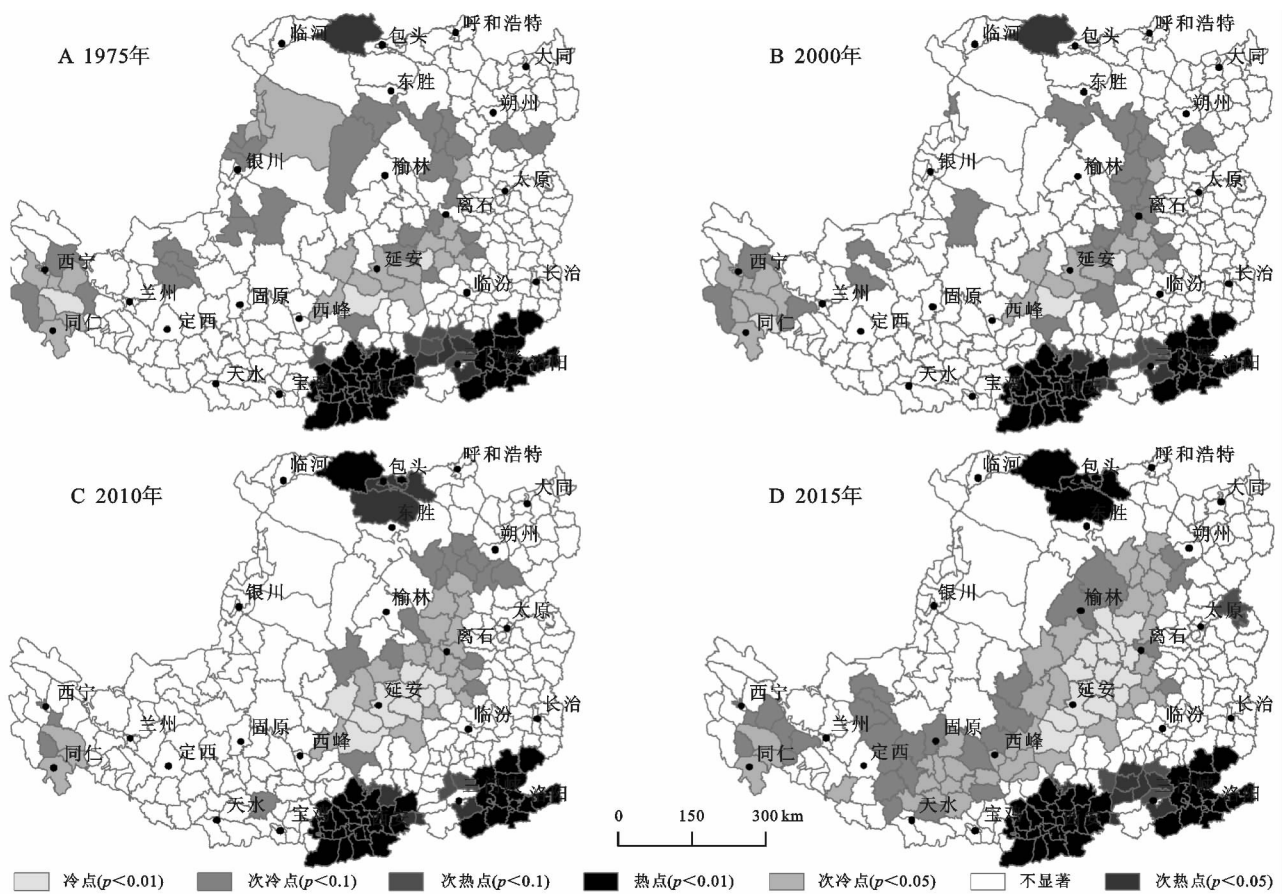


图 8 1975—2015 年黄土高原人类活动强度热点分析

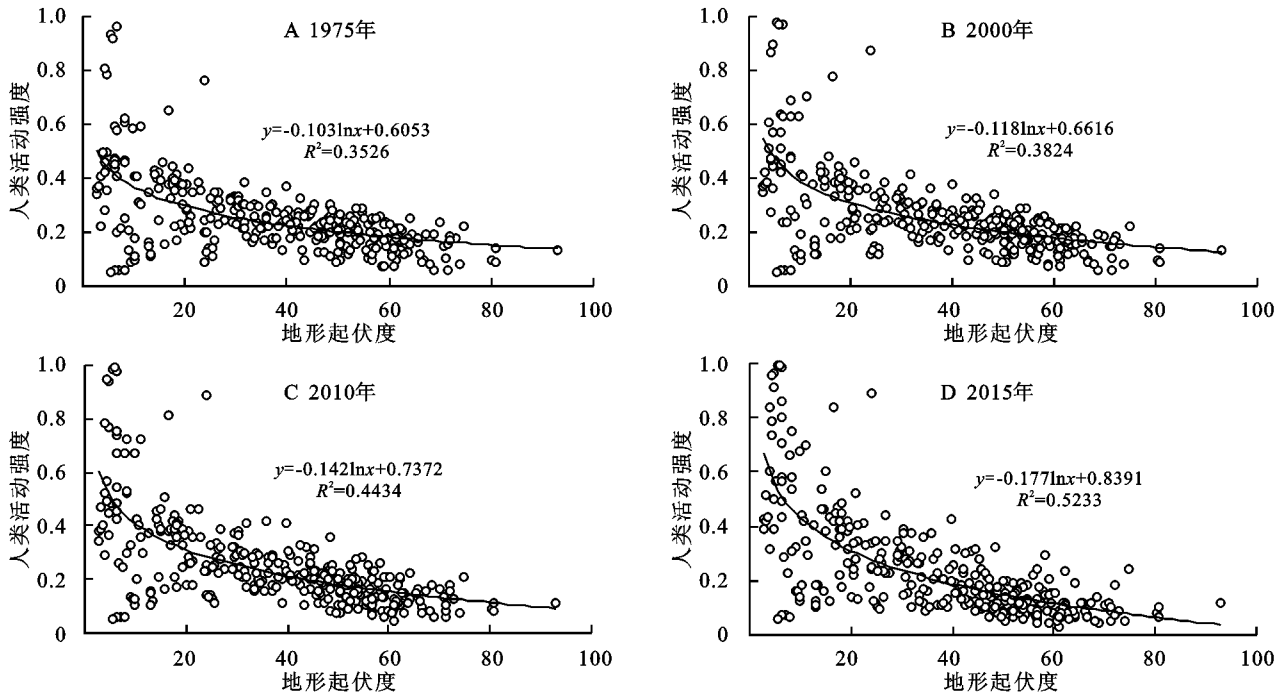


图 9 1975—2015 年黄土高原地区人类活动强度与地形起伏度的相关关系

黄土高原人类活动强度演变具有较强的时空分异性。空间分异性主要依赖于黄土高原的地形地貌，时间分异性产生的主要因素是国家生态政策、产业结构调整及社会经济发展。地形地貌差异、国家生态政策、产业结构及社会经济发展共同推动黄土高原人类

对土地开发利用的优化。总体上以部分区域人类活动强度的持续增强换取大部分区域人类活动的减弱，使黄土高原向人地协调的可持续方向发展。

参考文献：

[1] 胡志斌,何兴元,李月辉,等. 岷江上游地区人类活动强

- 度及其特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 539-543.
- [2] 宣勇, 范一大, 王兴玲, 等. 西部荒漠典型区 LUCC 及景观格局时空变化驱动机制研究: 以尉犁县为例[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 188-195.
- [3] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- [4] 李小云, 杨宇, 刘毅. 中国人地关系演进及其资源环境基础研究进展[J]. 地理学报, 2016, 71(12): 2067-2088.
- [5] 徐勇, 孙晓一, 汤青. 陆地表层人类活动强度: 概念、方法及应用[J]. 地理学报, 2015, 70(7): 1068-1079.
- [6] Shi H, Shao M. Soil and water loss from the Loess Plateau in China[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 45(1): 9-20.
- [7] He X, Tang K, Zhang X. Soil erosion dynamics on the Chinese Loess Plateau in the last 10,000 years[J]. Mountain Research & Development, 2004, 24(4): 342-347.
- [8] Fu B, Yu L, Lü Y, et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China[J]. Ecological Complexity, 2011, 8(4): 284-293.
- [9] Wang X, Catt S, Pangestu M, et al. Impact of China's Grain for Green Project on the landscape of vulnerable arid and semi-arid agricultural regions: a case study in northern Shaanxi Province[J]. Journal of Applied Ecology, 2009, 46(3): 536-543.
- [10] Liding Chen, Wei Wei, Bojie Fu, et al. Soil and water conservation in the Loess Plateau in China: Review and perspective [J]. Progress in Physical Geography, 2007, 31(4): 389-403.
- [11] 赵景波, 朱显谟. 黄土高原的演变与侵蚀历史[J]. 水土保持学报, 1999(2): 58-63.
- [12] 刘宇, 傅伯杰. 黄土高原植被覆盖度变化的地形分异及土地利用/覆被变化的影响[J]. 干旱区地理: 汉文版, 2013, 36(6): 1097-1102.
- [13] 朱源, 刘宇, 赵亮. 2015 年黄土高原地区土地利用/覆被栅格数据[J/OL]. 中国科学数据, 2017, 2(4). [2017-10-25]. <http://www.csdata.org/p/94/2/>.
- [14] 张晓萍, 李锐, 杨勤科, 等. 基于 RS/GIS 的中尺度地区退耕变化及其坡度分异研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 388-392.
- [15] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间 1998—2010 年土地利用变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 42-53.
- [16] 周亮, 徐建刚, 林蔚, 等. 秦巴山连片特困区地形起伏与人口及经济关系[J]. 山地学报, 2015(6): 742-750.
- [17] 柏菊, 闫峰. 2001—2012 年毛乌素沙地荒漠化过程及驱动力研究[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2016, 39(1): 132-138.
- [18] 李娜, 颜长珍. 毛乌素沙地现代人为活动的生态环境效应研究进展[J]. 中国沙漠, 2015, 35(2): 487-492.

~~~~~  
(上接第 305 页)

- [20] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services [J]. Ecology Letters, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [21] 王昆. 基于适宜性评价的生产—生活—生态(三生)空间划定研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [22] 吴艳娟, 杨艳昭, 杨玲, 等. 基于“三生空间”的城市国土空间开发建设适宜性评价: 以宁波市为例[J]. 资源科学, 2016, 38(11): 2072-2081.
- [23] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304.
- [24] 柳冬青, 马学成, 巩杰, 等. 流域“三生空间”功能识别及时空格局分析: 以甘肃白龙江流域为例[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1490-1497.
- [25] 董捷, 陈星, 张安录. 基于“三生”功能的长江中游城市群土地集约利用空间差异研究[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2017(6): 110-117, 152.
- [26] 龙花楼, 屠爽爽. 论乡村重构[J]. 地理学报, 2017, 72(4): 563-576.
- [27] 余文波, 蔡海生, 张莹, 等. 基于 RS 及 GIS 的南昌市土地生态安全动态评价及分区[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 244-249, 256.
- [28] 李建华, 许懿豪, 陈运春, 等. 服务乌蒙山区农业产业发展的土地利用分区: 以云南省寻甸县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(5): 145-153.
- [29] 金星星, 陆玉麒, 林金煌, 等. 闽三角城市群生产—生活—生态时空格局演化与功能测度[J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4286-4295.
- [30] 温荣伟. 基于生态系统管理的滨海湿地“多规合一”空间分类体系研究[D]. 福建厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2017.
- [31] 于莉, 宋安安, 郑宇, 等. “三生用地”分类及其空间格局分析: 以昌黎县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(2): 89-96.
- [32] 王考, 姚云峰, 包金兰. 县级尺度“三生”用地动态变化及其空间集聚特征[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 306-312.
- [33] 徐磊, 董捷, 陈恩. 基于“三生”功能的长江中游城市群国土空间利用协调特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 257-263.