

引用格式:张佰发,苗长虹. 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 460-473. [Zhang B F, Miao C H. Spatiotemporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 460-473.] DOI: 10.18402/resci.2020.03.05

# 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力

张佰发<sup>1</sup>, 苗长虹<sup>1,2</sup>

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明省部共建协同创新中心, 开封 475001;

2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004)

**摘要:**土地利用时空格局是人类与自然相互作用状况的重要表征。研究黄河流域土地利用时空格局及其驱动因素,厘清土地利用类型转换及粮食保障用地、生态保育用地、城乡建设用地的时空变化特征,可为黄河流域生态保护和高质量发展国家重大战略的规划制定与实施提供参考。本文基于土地利用类型转移矩阵和空间自相关,从城市群、省、市、县多尺度入手,利用7期土地利用数据对黄河流域1970—2015年土地利用状况及变化进行探究。结果表明:①黄河流域生态保育用地和耕地占比多年平均值分别为79.04%和18.64%,表明生态保护和粮食生产是其两大主体功能;②城乡建设用地占比逐年提高,城市群地区是建设用地扩张的主体空间;③黄河流域耕地、生态保育用地和城乡建设用地各节点年份Moran's *I*均大于0.75,表明3种功能类型用地具有强空间正向集聚效应,呈现出“凹”字型分布格局;④城乡建设用地扩张以牺牲耕地为代价,同时部分农村居民点用地逐渐转化为城镇用地;⑤人口规模 and 经济发展是促进土地利用变化的核心因素,驱动力因素存在区域差异,在黄河下游的山东、河南,经济水平达到一定规模后,伴随经济再发展不会出现大规模城乡建设用地扩张。

**关键词:**耕地;生态保护;粮食生产;城市群;空间自相关;驱动力;黄河流域

DOI :10.18402/resci.2020.03.05

## 1 引言

土地是人类社会经济活动的主要空间载体,土地利用/覆被变化是人类与自然相互作用状况的重要表征,是全球环境变化和可持续发展研究的重要组成部分<sup>[1,2]</sup>。生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台(IPBES)2018年发布的《土地退化和恢复》专题评估报告指出,人类活动造成的土地退化影响到32亿人的福祉,每年因土地退化造成的生态系统服务损失高达全球总产值的10%以上<sup>[3]</sup>。中国人口和经济规模巨大,人多地少矛盾突出,快速的工业化、城镇化、市场化、全球化所引起的土地利用变化,已成为学术界高度关注的重要议题。特别是城乡建设用地不断扩张,农业和生态用地空间受到挤压,不同空间尺度都存在着人和自然之间、生产

和生活活动之间、自然生态系统内部关系不尽协调的矛盾,国土空间开发秩序和三生空间结构有待优化<sup>[4,5]</sup>。近年来,学者们从多维度、多视角展开了对中国土地利用变化的研究,基本形成全国<sup>[6,7]</sup>、城市群<sup>[8,9]</sup>、市域<sup>[10,11]</sup>、县域<sup>[12]</sup>等多尺度研究体系,在时空格局及土地利用转型分析等方面也取得了丰硕的成果<sup>[6,7,13,14]</sup>。有关研究揭示,在20世纪90年代,全国耕地面积呈现北增南减、总量增加的趋势<sup>[15]</sup>;但如果从1990—2010年的耕地变化来观察,则呈现为南减北增、总量基本持衡、新增耕地重心逐步由东北向西北移动的特征,同时城乡建设用地表现出“扩展提速,东部为重心,向中西部蔓延”的特征。

黄河是中华民族的母亲河。自古以来,黄河流域就是国家经济和文化发展的中心,同时又是流域

收稿日期:2019-12-19;修订日期:2020-03-06

基金项目:国家自然科学基金项目(41430637)。

作者简介:张佰发,男,河南济源人,硕士生,主要从事人文地理研究。E-mail: 157546338@qq.com

通讯作者:苗长虹,男,河南鄢陵人,博士,教授,主要从事经济地理与区域发展研究。E-mail: chhmiao@henu.edu.cn

2020年3月

治理的重点和难点。中国经济进入新常态以来,经济增长出现了“南高北低、南强北弱”的新格局,区域发展在东西差异的基础上又呈现出南北分化的新态势。为促进区域经济协调发展,推动以流域为单元的上中下游地区联动发展,国家在实施长江经济带发展战略的基础上,又将黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,强调保护黄河是事关中华民族伟大复兴的千秋大计,这为黄河流域社会经济发展、生态文明建设、黄河文化的保护传承弘扬提供了前所未有的历史机遇。

黄河流域生态保护和高质量发展需要结构合理、空间有序的土地利用格局来支撑。20世纪80年代末至90年代末,黄河流域土地利用呈现出草地、林地减少,耕地、建设用地、未利用土地增加的特征<sup>[17]</sup>。但近年来针对黄河流域不同地区的研究表明,土地利用变化及其驱动因素存在显著的时空差异。例如,对河南省建设用地时空格局及驱动力的研究认为,河南省建设用地扩张迅速,驱动其发展的主要因素为基础设施需求<sup>[18]</sup>;对青海三江源地区土地利用的分析发现,三江源地区是黄河流域土地利用变幅最小的区域<sup>[19]</sup>;对山东半岛城市群的研究显示,城乡建设用地与基本农田之间存在较大冲突<sup>[20]</sup>。鉴于黄河流域上中下游不同区域存在的巨大的地理与发展差异,有必要以整个流域为研究区,从长时段、多尺度入手,系统分析土地利用变化的时空格局及驱动因素。基于此,本文从城市群、省、市、县多个尺度,对黄河流域1970—2015年的土地利用空间格局及其动态变化进行分析,旨在定量分析黄河流域土地利用时空格局特征、转换模式以及驱动因素,弥补黄河流域土地利用在多尺度、长时段变化研究上的缺失,为黄河流域生态保护和高质量发展提供数据支撑和决策参考。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

研究区以黄河干流流经的省区为主体,其范围以行政边界为标准确定,共包含山东、山西、河南、陕西、宁夏回族自治区、内蒙古自治区(不含赤峰市、通辽市、兴安盟和呼伦贝尔市)、甘肃以及青海8个省级行政单元,91个市级行政单元和739个区县

行政单元,总面积为255万 $\text{km}^2$ 。黄河流域横跨东中西三大地形阶梯,包含青藏高原、内蒙古高原、黄土高原、华北平原、山东丘陵等多种地形,地势西高东低;多年平均气温和降雨量均由东南部向西北部递减,荒漠和草地比重较大;同时包含山东、河南和内蒙古3个粮食主产区,是中国重要的粮食生产带。

### 2.2 数据来源及处理

由于研究时段较长,行政单元变动较大,为便于分析研究,以2015年行政区划为标准,将各年份数据均统一至该年行政单元。数据主要有4个方面:①黄河流域省级、市级和县级行政单元区划依据是中国科学院资源环境科学数据中心提供的中国1:25万基础地理数据,共包含8个省级行政单元、91个市级行政单元和739个区县行政单元<sup>[21]</sup>;②城市群划分的依据主要来源于国家发展和改革委员会发布的各城市群发展规划、各省发展和改革委员会提供的城市群发展规划,主体功能区划的依据主要来自各省人民政府发布的省级主体功能区划的通知<sup>[22]</sup>;③黄河流域1970、1980、1995、2000、2005、2010、2015年共7期土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心。该数据以Landsat-MSS、Landsat TM/ETM和Landsat 8为主要信息源解译完成,分辨率为60 m和30 m。其土地利用分类系统为2级,6个一级土地利用类型,分别为耕地、林地、草地、水域、未利用土地及城乡、工矿、居民用地,25个二级土地利用类型<sup>[21]</sup>;④回归所使用的社会经济数据来源于中国县域统计年鉴和各省统计局<sup>[23]</sup>,使用的自然地理数据直接或间接来源于90 m分辨率的中国数字高程模型(DEM)。

采用的土地利用基础数据是从土地利用/覆被角度出发,基于自然属性视角进行分类。对于土地利用的划分,不同学者从多个角度进行了尝试,部分学者使用统计数据对其进行定量识别<sup>[24-26]</sup>,除此之外多数学者基于土地利用遥感解译数据进行划分<sup>[27-29]</sup>,但由于同一种用地类型可能兼顾多种功能,从利用功能视角开展土地分类具有一定难度。针对此问题,有学者使用赋值法<sup>[30,31]</sup>对同一土地利用类型不同功能进行赋值以此进行研究,部分学者则将功能较为复杂的用地作为过渡类型进行分析<sup>[32,33]</sup>。

为更清晰地揭示黄河流域土地利用格局,本文借鉴已有研究成果<sup>[34,35]</sup>建立土地利用功能分类方案(表1)。将6个一级地类和25个二级地类归纳为3种功能类型:粮食保障用地、生态保育用地和城乡建设用地。其中耕地主产粮食,因此将其归为粮食保障用地;林地、草地、水域和未利用土地提供了主要的生态服务,故将其归为生态保育用地;城乡、工矿、居民用地是人类活动的主要场所,因此将其归为城乡建设用地。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 土地利用类型转移矩阵

土地利用类型转变主要通过转移矩阵模型表达。转移矩阵是将土地利用变化转移面积以矩阵的形式进行表达,作为结构分析和变化方向分析的基础,能够具体刻画出土地利用的结构特征和用地功能类型变化<sup>[35]</sup>。转移矩阵为:

$$S_{it'} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: $S_{mn}$ 为面积; $n$ 为土地利用的类型数; $t, t'$ 分别为研究初期与末期的土地利用类型。本文使用ArcGIS10.6软件的Union功能对不同时期土地利用类型数据进行交叉分析,建立各期土地利用类型转移矩阵。

#### 2.3.2 全局空间自相关

全局空间自相关是对属性值在整个区域的空间特征的描述,通过计算指标来分析总体的空间关联和空间差异程度,用于测度黄河流域粮食保障用

地、生态保育用地和城乡建设用地的空间集聚状况。其中最常用的是Moran's  $I$ ,其计算公式为<sup>[36]</sup>:

$$I = \left( \frac{n}{\sum_i \sum_j W_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \right) \quad (2)$$

式中: $W_{ij}$ 为空间权重矩阵; $n$ 为区域单元数, $x_i$ 为第*i*个单元的观测值; $\bar{x}$ 为观测量平均值。其中空间权重矩阵建立有相邻法、距离法等。本文采用拥有公共边界为相邻的原则建立空间关系。

#### 2.3.3 局域空间自相关

局域空间关联揭示空间差异的异质性特征以全面反映区域空间差异的变化趋势,可进一步揭示土地利用集聚状况的空间差异。其公式如下<sup>[34]</sup>:

$$I_i = z_i \sum_j W_{ij} z_j \quad (3)$$

式中: $z_i$ 和 $z_j$ 是区域*i*和*j*观测值的标准化值; $W_{ij}$ 是空间权重矩阵。 $I_i$ 为局部空间自相关指数,根据其可将研究单元划分为4种空间关联格局:高一高值区、低—低值区、高一低值区和低—高值区。

#### 2.3.4 回归模型构建

日益增强的人类活动强度导致土地利用产生较大变化。伴随着城镇化和工业化的快速进程,生态保育用地与耕地被城乡建设用地逐渐侵占;同时,黄河流域横跨三大阶梯,复杂的地形地貌对土地利用的变化及分布产生一定影响;除此之外,国家战略以及行政定位在一定程度上决定区域的开发强度。基于此,兼顾数据的可获取性,从人口规模、经济发展、自然属性和行政属性4个方面,选取常住人口(*population*)、国内生产总值(*GDP*)、平均

表1 土地功能类型划分

Table 1 Classification of land use

| 功能类型   | 一级地类       | 二级地类                       |
|--------|------------|----------------------------|
| 粮食保障用地 | 耕地         | 水田、旱地                      |
| 生态保育用地 | 林地         | 有林地、灌木林地、疏林地、其他林地          |
|        | 草地         | 高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地       |
|        | 水域         | 河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地、滩涂、滩地   |
| 城乡建设用地 | 未利用土地      | 沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石质地、其他 |
|        | 城乡、工矿、居民用地 | 城镇用地                       |
|        |            | 农村居民点用地                    |
|        |            | 其他建设用地(工矿、交通、特殊用地等)        |

2020年3月

海拔 (*elevation*) 以及虚拟变量 (是否是城市群, *city\_cluster*) 4 个变量对黄河流域 739 个区县的城乡建设用地进行回归分析。

采用多元线性回归模型对研究区土地利用面积变化的驱动因素进行探究, 表达式为:

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon \quad (4)$$

式中:  $y$  是被解释变量, 选取人类活动强度大且面积变化明显的城乡建设用地作为因变量;  $\beta_0$  是常数项;  $\beta_1 \sim \beta_4$  是各自变量回归系数;  $x_1$  是 GDP;  $x_2$  是常住人口;  $x_3$  是平均海拔;  $x_4$  是虚拟变量;  $\varepsilon$  是误差项。为消除量纲的影响, 对部分指标进行取对数处理。

### 3 空间特征分析

#### 3.1 地貌类型分布

2015 年, 黄河流域共 739 个区县, 其中有市辖区 192 个、平原县 212 个、丘陵县 147 个、山区县 188 个 (图 1)。从数量占比来看, 丘陵县和山区县总占比为 45.33%, 接近总样本量的一半。从面积占比来看, 平原县面积为 48.31 万  $\text{km}^2$ , 仅占整个研究区面积的 18.95%, 丘陵县和山区县面积较大, 分别为 77.17 万、114.07 万  $\text{km}^2$ , 占整个研究区的 30.26%、44.73%。

从区县分布来看, 平原县集中在河南、山东以及陕西中部地区, 3 个省份平原县数量占整个研究区平原县总量的 71.70%, 表明豫鲁陕 3 省具有较好的自然本底。丘陵县广泛分布于内蒙古和陕西北部, 其中内蒙 62 个区县中有近一半的丘陵县。山区

县则集中在青海和甘肃 2 省, 其中青海省 44 个区县中除仅有的 4 个市区, 其余均为山区县。

综上, 黄河流域丘陵县和山区县面积占比较大, 地形地貌条件较为恶劣, 适宜经济发展空间较小, 同时沿线 8 省自然条件相差较大, 下游山东、河南 2 省地貌条件较好, 而上游的青海、甘肃平均海拔高, 地形起伏度大。

#### 3.2 主体功能区与城市群分布

根据主体功能区划 (图 2a), 2015 年, 黄河流域 739 个区县中, 农产品主产区有 227 个, 其中国家级农产品主产区 185 个; 重点生态功能区 208 个, 国家级重点生态功能区 142 个; 重点开发区 262 个, 优化开发区仅 42 个。从面积占比来看, 重点生态功能区总面积为 166.28 万  $\text{km}^2$ , 占比达到 65.21%; 农产品主

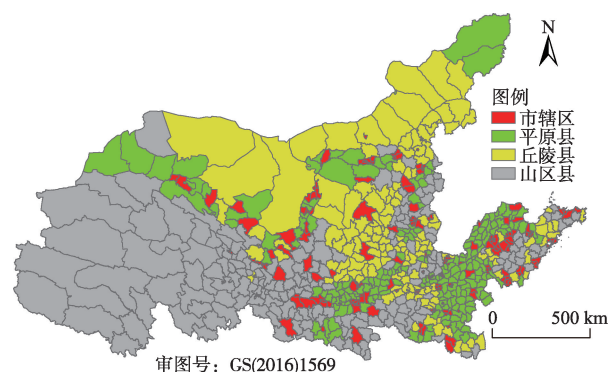


图 1 黄河流域不同地貌类型区县划分

Figure 1 Division of different landform types of counties in the Yellow River Basin

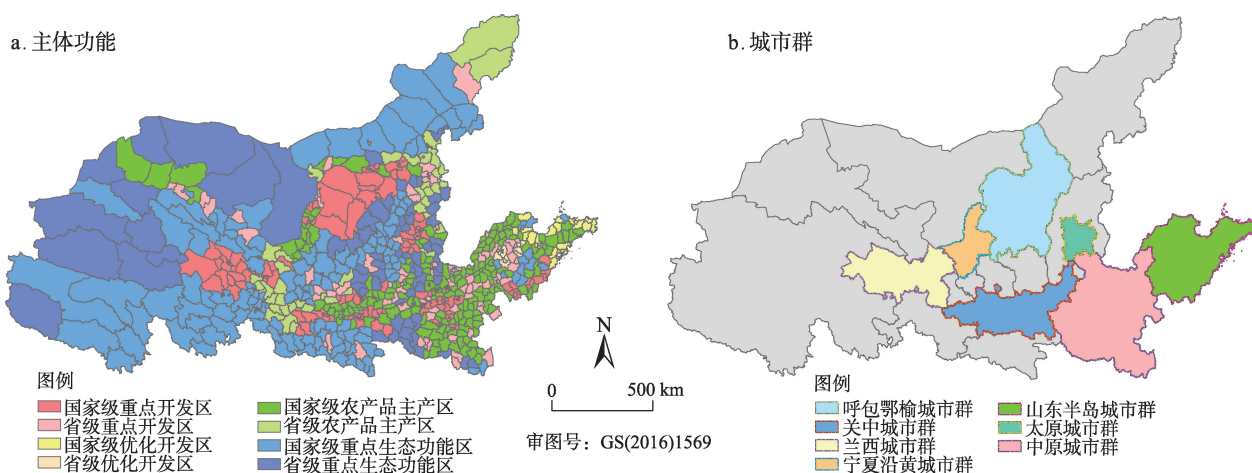


图 2 黄河流域主体功能区划 (a) 与城市群 (b)

Figure 2 The major function oriented zoning (a) and city cluster (b) of the Yellow River Basin

产区总面积为47.18万 $\text{km}^2$ ,占整个研究区的18.50%;而重点开发区和优化开发区仅占16.29%。主体功能区划的定位揭示出黄河流域目前的两大功能定位为生态保护和粮食主产。

研究区共有7个城市群,其中4个国家批复的城市群(图2b),分别为:中原城市群、关中城市群、兰西城市群和呼包鄂榆城市群;3个区域性城市群:山东半岛城市群、宁夏沿黄城市群和太原城市群。黄河流域城市群共包含528个区县,总面积为79.66万 $\text{km}^2$ ,面积仅占整个研究区的31.24%,数量多、面积小的城市群布局现状进一步证明黄河流域自然本底条件较差,适宜发展的空间较少。同时城市群多深居内陆,整体区位较差,且多为近年来才批复发展,其一体化程度和经济发展水平相较于京津冀城市群和长三角城市群仍然较低。缺乏发展又好又快的引领性城市群也是造成黄河流域发展较为滞后的原因之一。

从空间分布来看,重点开发区多分布在各市辖区附近,在208个样本中有154个为市辖区。其中呼包鄂榆城市群以其丰富的煤炭资源储量成为黄河流域中面积最大、较为集中的开发区。仅有的42个优化开发区集中分布在山东省内,表明整个黄河流域的经济发展质量整体较低,山东省的发展进程要快于其他地区。研究区227个农产品主产区中,有121个分布在河南、山东2省,其中河南省分布最多,占农产品主产区总个数的29.07%,表明在黄河流域中,豫鲁2省承担了主要的粮食主产任务,其中河南更是确保粮食安全的第一大省。

## 4 时空格局演变分析

### 4.1 土地利用类型变化

由1970、1980、1995、2000、2005、2010、2015年黄河流域土地利用类型分布(图3)可知,黄河流域的土地利用类型主要为以草地、未利用土地为代表的生态保育用地,7个年份的生态保育用地占比平均值为79.04%;其次为粮食保障用地,7个年份的耕地面积占比平均值为18.64%;人类活动强度较大的城乡建设用地最少,7个年份的城乡建设用地占比平均值仅为2.32%。从空间分布来看,生态保育用地最广,主要分布在除河南、山东2省之外的6个省

份;粮食保障用地集中分布在河南、山东2省;城乡建设用地零散分布在各省份,在河南、山东2省出现集中连片区域。

就细分土地利用类型而言,2015年,黄河流域草地和未利用土地分布最为广泛,土地面积分别占研究区面积的40.51%和27.72%;耕地排在第3位,面积占研究区面积的18.32%。草地集中分布在内蒙古自治区东北部和青海省南部,未利用土地则主要位于内蒙古自治区、甘肃西部以及青海省西北部(图3)。这两大类土地,受自然条件影响,生态系统极其脆弱。这些数据表明,黄河流域在发展经济的同时,承担着生态保护和粮食生产的重任。

从三大土地利用类型的演变来看,生态保育用地面积由1970年的202.25万 $\text{km}^2$ 减少至2015年的200.91万 $\text{km}^2$ ;粮食保障用地面积变化量绝对值较大,由1970年的47.73万 $\text{km}^2$ 减少至2015年的46.71万 $\text{km}^2$ ,呈现出“早期年份少量增加,但近些年来锐减”的态势;城乡建设用地面积迅速增加,2015年增加至7.39万 $\text{km}^2$ ,是1970年的1.47倍(表2)。

从细分土地利用类型的演变(表2)来看,1970—2015年,工矿及交通用地和城镇用地面积增长较快,2015年工矿及交通用地面积约为1970年时的5.55倍,城镇用地约为1970年时的2.92倍。分时段来看,1970—1995年,2类土地利用类型分别增加0.18万 $\text{km}^2$ 和0.23万 $\text{km}^2$ ,而在1995—2015年更短的时间段内,2类土地利用类型各增加0.82万 $\text{km}^2$ 和0.76万 $\text{km}^2$ ,增加幅度远大于前25年。与之相反,耕地在1995—2015年锐减1.20万 $\text{km}^2$ 。城镇与工矿交通用地的快速扩张和耕地的减少,表明随着城镇化水平的快速提升,尤其是近20年来,黄河流域生产生活用地需求增加,土地供需矛盾进一步加剧。

为进一步探索人类活动对土地利用变化的影响,以城市群为研究单元,计算1995—2015年间城乡居民点用地(即城镇用地、农村居民点用地的总和)与工矿及交通用地的变化量(表3)。1995—2015年,黄河流域城乡居民点用地面积净增加量约1.10万 $\text{km}^2$ ,城市群地区城乡居民点用地面积净增加量为9631.78 $\text{km}^2$ ,占整个研究区增加面积的87.47%。其中中原城市群、山东半岛城市群和关中

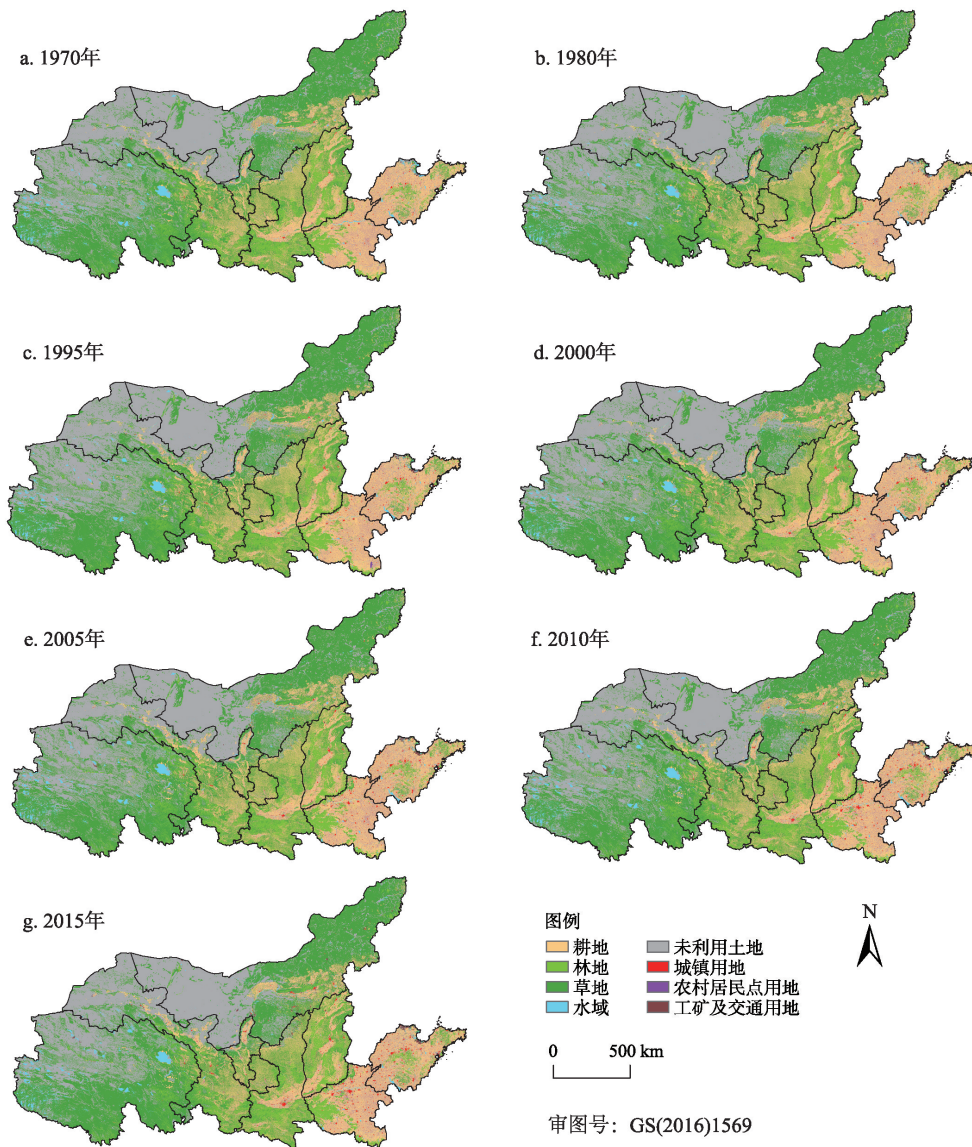


图3 1970—2015年黄河流域土地利用分布图

Figure 3 Land use distribution of the Yellow River Basin, 1970-2015

表2 黄河流域土地利用面积及其变化

Table 2 Area and change of land use in the Yellow River Basin

(10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>)

| 年份        | 林地    | 草地     | 水域    | 未利用土地 | 耕地    | 城镇用地 | 农村居民点用地 | 工矿及交通用地 |
|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|------|---------|---------|
| 1970      | 20.88 | 103.22 | 5.77  | 72.38 | 47.73 | 0.51 | 4.29    | 0.22    |
| 1980      | 20.89 | 102.98 | 5.23  | 72.79 | 47.82 | 0.59 | 4.34    | 0.38    |
| 1995      | 21.13 | 102.62 | 5.03  | 72.85 | 47.91 | 0.74 | 4.34    | 0.40    |
| 2000      | 20.86 | 102.34 | 5.26  | 72.75 | 48.10 | 0.80 | 4.46    | 0.45    |
| 2005      | 21.13 | 102.02 | 5.33  | 72.88 | 47.53 | 1.01 | 4.55    | 0.57    |
| 2010      | 21.25 | 102.74 | 5.54  | 72.03 | 46.95 | 1.23 | 4.57    | 0.70    |
| 2015      | 21.24 | 103.30 | 5.68  | 70.69 | 46.71 | 1.49 | 4.68    | 1.22    |
| 1970—1995 | 0.25  | -0.61  | -0.74 | 0.47  | 0.18  | 0.23 | 0.05    | 0.18    |
| 1995—2015 | 0.11  | 0.68   | 0.65  | -2.16 | -1.20 | 0.76 | 0.34    | 0.82    |
| 1970—2015 | 0.36  | 0.07   | -0.09 | -1.69 | -1.02 | 0.99 | 0.39    | 1.00    |

表3 1995—2015年各城市群城乡居民点用地与工矿及交通用地增加量与占比

Table 3 Increase and proportion of urban-rural construction land and mining and transportation land in each urban agglomeration, 1995-2015

|         | 城乡居民点用地增加量/km <sup>2</sup> | 比重/%   | 工矿及交通用地增加量/km <sup>2</sup> | 比重/%   |
|---------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|
| 中原城市群   | 4132.42                    | 37.53  | 1140.05                    | 13.87  |
| 山东半岛城市群 | 2323.63                    | 21.10  | 1099.85                    | 13.38  |
| 关中城市群   | 1367.45                    | 12.41  | 422.45                     | 5.14   |
| 呼包鄂榆城市群 | 738.56                     | 6.70   | 1853.97                    | 22.56  |
| 宁夏沿黄城市群 | 464.99                     | 4.22   | 511.40                     | 6.22   |
| 兰西城市群   | 488.46                     | 4.44   | 164.66                     | 2.00   |
| 太原城市群   | 116.27                     | 1.06   | 105.30                     | 1.28   |
| 城市群总和   | 9631.78                    | 87.47  | 5297.68                    | 64.46  |
| 黄河流域省区  | 11011.06                   | 100.00 | 8218.68                    | 100.00 |

城市群城乡居民点用地变化剧烈,净增加面积分别为4132.42 km<sup>2</sup>、2323.63 km<sup>2</sup>和1367.45 km<sup>2</sup>,占比超过整个研究区增加量的70%。而其余城市群变化较为平缓,呼包鄂榆城市群、兰西城市群、宁夏沿黄城市群和太原城市群净增加面积分别为738.56 km<sup>2</sup>、464.99 km<sup>2</sup>、488.46 km<sup>2</sup>和116.27 km<sup>2</sup>。1995—2015年,黄河流域工矿及交通用地总面积变化更为明显,共增加8218.68 km<sup>2</sup>。城市群地区工矿及交通用地增加面积为5297.68 km<sup>2</sup>,占增加面积的64.46%。其中呼包鄂榆城市群以其丰富的矿产资源大力发展工矿产业,工矿及交通用地面积增加量最大,达到1853.97 km<sup>2</sup>,中原城市群和山东半岛城市群紧随其后,增加面积分别为1140.05 km<sup>2</sup>、1099.85 km<sup>2</sup>。以上结果表明,黄河流域城市群承担着主要的经济生产和生活功能,且城市群作用在日益增强;其中中原城市群、山东半岛城市群和关中城市群具有较强的引领性作用。城市群的快速发展,使得生态保护、粮食安全与经济矛盾的矛盾成为黄河流域所面临的重大挑战之一。

#### 4.2 土地利用空间特征变化

进一步探索黄河流域土地利用的空间分布状况,同时为消除行政单元面积大小差异较大造成的误差,以91个地级市为样本对单位面积(1000 km<sup>2</sup>)内耕地、生态保育用地、城乡建设用地面积做全局(表4)和局域空间自相关分析(图4)。由表4可知,3类用地在1970年、1995年和2015年的Moran's *I*均大于0.75,表明黄河流域土地利用有着极强的空间正向集聚效应,即各类用地的分布表现为集中连

片的簇团状。由图4可知,3类用地在1970年、1995年和2015年表现出相似现象。耕地和城乡建设用地“高一高”集聚区集中分布在鲁豫2省,“低—低”集聚区集中分布在青海、甘肃西部以及内蒙西部地区;而生态保育用地则表现出完全相反的现状,“高一高”集聚区集中分布在青海、宁夏、甘肃中西部以及内蒙中西部地区,“低—低”集聚区集中在河南、山东2省。3类用地分布表现出明显的空间异质性,且呈“凹”字型格局,即黄河流域两端的用地类型集中度高,中间用地类型较为复杂多样、集中度较低。

#### 4.3 土地利用转型模式

为探讨黄河流域土地利用类型间的内部转换,利用ArcGIS的空间分析功能对1970年、1995年和2015年3期土地利用类型图进行叠加分析,得到研究区3个时期不同土地类型的转换模式及面积(表5、表6)。

如表5所示,1970—1995年间,各类型用地变化相对较小,草地与水域面积减少,其余各类型用地面积均有所增加。从土地流出方向来看,草地主要的流向为未利用土地和耕地,转换面积分别为4.72万 km<sup>2</sup>、2.88万 km<sup>2</sup>;水域的流向为未利用土地和草

表4 1970、1995、2015年黄河流域土地利用全局空间自相关指数

Table 4 Global Moran's *I* of land use of the Yellow River Basin in 1970, 1995, and 2015

|        | 1970年 | 1995年 | 2015年 |
|--------|-------|-------|-------|
| 粮食保障用地 | 0.85  | 0.86  | 0.84  |
| 生态保育用地 | 0.86  | 0.87  | 0.86  |
| 城乡建设用地 | 0.84  | 0.85  | 0.76  |

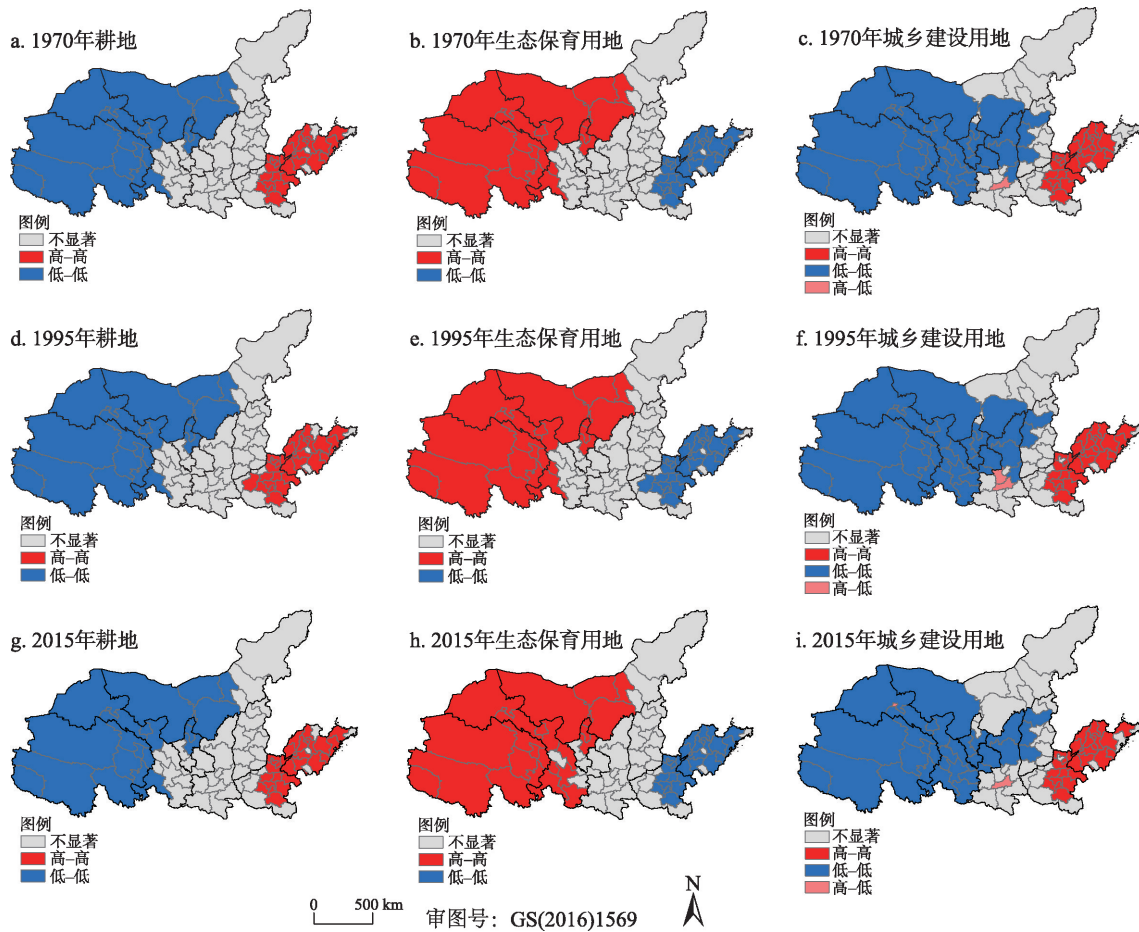


图4 黄河流域土地利用局域空间自相关

Figure 4 Local Moran's *I* of land use of the Yellow River Basin

地,转换面积分别为0.48万 km<sup>2</sup>、0.43万 km<sup>2</sup>。在土地来源方面,结合表2和表5可知:1970—1995年,耕地净增加面积为0.18万 km<sup>2</sup>,其主要来源于草地的转化;工矿及交通过地净增加面积为0.18万 km<sup>2</sup>,其主要来源于水域;林地和未利用土地主要来源均

为草地。1995年人类活动最为集中的城镇用地总面积为0.74万 km<sup>2</sup>,其中由耕地转化而来的面积为0.21万 km<sup>2</sup>,占比为28.38%,由农村居民点用地转化而来的面积为0.03万 km<sup>2</sup>,占比为4.05%;1995年农村居民点用地总面积为4.34万 km<sup>2</sup>,由耕地转化而

表5 1970—1995年黄河流域土地利用类型转移矩阵

Table 5 Transition matrix of land use types in the Yellow River Basin, 1970-1995

(10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>)

| 1970年   | 1995年 |       |       |      |       |      |         |         |
|---------|-------|-------|-------|------|-------|------|---------|---------|
|         | 耕地    | 林地    | 草地    | 水域   | 未利用土地 | 城镇用地 | 农村居民点用地 | 工矿及交通过地 |
| 耕地      | 43.53 | 0.70  | 2.42  | 0.16 | 0.14  | 0.21 | 0.54    | 0.05    |
| 林地      | 0.49  | 18.78 | 1.46  | 0.02 | 0.12  | 0.01 | 0.01    | 0.00    |
| 草地      | 2.88  | 1.48  | 93.82 | 0.24 | 4.72  | 0.01 | 0.05    | 0.02    |
| 水域      | 0.33  | 0.04  | 0.43  | 4.39 | 0.48  | 0.00 | 0.01    | 0.08    |
| 未利用土地   | 0.19  | 0.09  | 4.43  | 0.22 | 67.38 | 0.01 | 0.01    | 0.06    |
| 城镇用地    | 0.02  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.47 | 0.00    | 0.00    |
| 农村居民点用地 | 0.46  | 0.03  | 0.04  | 0.00 | 0.00  | 0.03 | 3.72    | 0.01    |
| 工矿及交通过地 | 0.02  | 0.00  | 0.01  | 0.00 | 0.01  | 0.00 | 0.00    | 0.18    |



表6 1995—2015年黄河流域土地利用类型转移矩阵

Table 6 Transition matrix of land use types in the Yellow River Basin, 1995-2015

(10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>)

| 1995年   | 2015年 |       |       |      |       |      |         |         |
|---------|-------|-------|-------|------|-------|------|---------|---------|
|         | 耕地    | 林地    | 草地    | 水域   | 未利用土地 | 城镇用地 | 农村居民点用地 | 工矿及交通用地 |
| 耕地      | 41.74 | 0.73  | 3.12  | 0.31 | 0.13  | 0.57 | 1.00    | 0.29    |
| 林地      | 0.73  | 18.61 | 1.54  | 0.05 | 0.10  | 0.02 | 0.05    | 0.02    |
| 草地      | 2.94  | 1.68  | 90.94 | 0.44 | 6.15  | 0.05 | 0.11    | 0.30    |
| 水域      | 0.19  | 0.02  | 0.27  | 4.17 | 0.33  | 0.01 | 0.02    | 0.03    |
| 未利用土地   | 0.43  | 0.17  | 7.34  | 0.69 | 63.95 | 0.01 | 0.03    | 0.23    |
| 城镇用地    | 0.01  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.71 | 0.00    | 0.00    |
| 农村居民点用地 | 0.66  | 0.01  | 0.06  | 0.01 | 0.01  | 0.10 | 3.47    | 0.01    |
| 工矿及交通用地 | 0.01  | 0.00  | 0.01  | 0.01 | 0.00  | 0.02 | 0.01    | 0.34    |

来的面积为0.54万 km<sup>2</sup>,占比为12.44%。

如表6所示,1995—2015年间,各类用地变化较为剧烈,耕地与未利用土地面积减少,其余各类型用地面积均有所增加。从土地流出方向来看,耕地主要转化为草地,转换面积为3.12万 km<sup>2</sup>;未利用土地主要的流向为草地,转换面积为7.34万 km<sup>2</sup>。在土地来源方面,2015年工矿及交通用地总面积为1.22万 km<sup>2</sup>,其主要来源于草地、耕地以及未利用土地,转换面积分别为0.30万 km<sup>2</sup>、0.29万 km<sup>2</sup>、0.23万 km<sup>2</sup>;林地的主要来源为草地,转换面积为1.68万 km<sup>2</sup>;草地和水域的主要来源均为未利用土地;在2015年共1.49万 km<sup>2</sup>的城镇用地中,有0.57万 km<sup>2</sup>是由耕地转化而来,有0.10万 km<sup>2</sup>由农村居民点用地转化,占比分别为38.26%、6.71%;4.68万 km<sup>2</sup>的农村居民点用地中有21.37%的面积是由耕地转化而来。

综合来看,生态保育用地在1970—2015年间的变化量占总量的比例较低,但整体上呈现减小趋势,其主要变化方向是二级分类土地内部间的相互转化;耕地转化为其他用地面积较多,其中转化成林地和草地的面积在1970—1995年和1995—2015年2个时间段内呈增长趋势,且草地总面积在1970—1995年间减少0.61万 km<sup>2</sup>,而在1995—2015年间增加0.68万 km<sup>2</sup>(表2),表明在2000年后随着退耕还林、退耕还草政策的提出与实施,黄河流域尤其是上游与中游高原地区效果较为明显。同时其他用地,尤其是生态保育用地转化为耕地的面积也有所增加,但耕地总面积仍然减少,表明虽不断推进以实现耕地占补动态平衡为目的的土地整治

运动,但仍难弥补其总量上的减少。值得注意的是人类活动强度较大的城乡用地空间——城镇用地和农村居民点用地在所研究的2个时间段内,其面积变化主要来源均为耕地,且随着时间发展,转换面积增加,同时农村居民点用地也逐渐成为城镇用地的主要来源之一。3种用地的转化方式定量揭示出黄河流域土地发展模式:随着经济发展,人类活动越来越多地占用耕地,部分耕地逐渐转化为农村居民点用地和城镇用地,且随着城镇化进一步推进,农村居民点用地也逐渐成为城镇用地的主要来源,人地矛盾进一步加剧,粮食安全受到威胁。

## 5 驱动因素探究

为探索土地利用的驱动力,对黄河流域人类活动强度较大的城乡建设用地面积进行截面回归,同时由图4可知,研究区土地利用的分布存在着较强的空间异质性,因此将其划为上游(青海、内蒙、宁夏和甘肃)、中游(山西和陕西)和下游(山东和河南)并进行分段回归,结果如表7。

以整个黄河流域为研究对象,2000年和2015年常住人口、GDP和平均海拔对城乡建设用地面积变化的影响显著。其中常住人口和GDP起到促进作用;而平均海拔则限制了城乡建设用地的增加;城市群影响结果不显著,可能与纳入城市群区县的个数较多有关,在739个区县中有528个样本均为城市群。综合分析,人口规模是影响黄河流域城乡建设用地变化的显著因素之一,无论是2000年还是2015年,常住人口均通过1%的显著检验并在指标体系中系数最大。进入21世纪以来,城镇化进程加速,人口规模逐渐扩大,更多的城乡建设用地被扩

表7 城乡建设用地影响因素回归系数

Table 7 Regression analysis of influencing factors of urban-rural construction land

|                     | 2000年              |                    |                   |                    | 2015年              |                    |                   |                    |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|                     | 全域                 | 上游                 | 中游                | 下游                 | 全域                 | 上游                 | 中游                | 下游                 |
| <i>lnpopulation</i> | 0.50***<br>(0.06)  | 0.18**<br>(0.08)   | 0.86***<br>(0.14) | 0.98***<br>(0.05)  | 0.46***<br>(0.05)  | 0.21***<br>(0.07)  | 1.15***<br>(0.11) | 0.97***<br>(0.06)  |
| <i>lnGDP</i>        | 0.37***<br>(0.05)  | 0.51***<br>(0.09)  | 0.35***<br>(0.10) | 0.05<br>(0.04)     | 0.35***<br>(0.04)  | 0.50***<br>(0.06)  | 0.09<br>(0.07)    | 0.04<br>(0.04)     |
| <i>lnelevation</i>  | -0.16***<br>(0.03) | -0.85***<br>(0.17) | 0.07<br>(0.18)    | -0.30***<br>(0.02) | -0.09***<br>(0.03) | -0.22**<br>(0.10)  | 0.29*<br>(0.15)   | -0.22***<br>(0.03) |
| <i>city_cluster</i> | 0.00<br>(0.09)     | -0.16<br>(0.13)    | 0.41***<br>(0.11) |                    | 0.03<br>(0.08)     | -0.20*<br>(0.11)   | 0.38***<br>(0.10) |                    |
| 常数项                 | 8.02***<br>(0.72)  | 15.65***<br>(1.92) | 1.14<br>(2.04)    | 6.23***<br>(0.64)  | 7.82***<br>(0.61)  | 10.28***<br>(1.32) | -0.59<br>(1.73)   | 6.13***<br>(0.68)  |

注:\*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0.1$ 。

张开发,因此人口规模是促进城乡建设用地增长的最主要因素;经济发展是促进城乡建设用地面积增加的动力,区域发展的一切经济活动均以土地为承载,工业化的快速发展促使经济水平不断提高,不断提高的经济水平对城镇用地需求逐渐增加,因此经济增长是促进其增长的驱动力之一;地形地貌仍是制约生活用地变化的不可抗力因素,在2个年份的回归中,平均海拔均表现为负值,表明在平均海拔高的地方人类活动空间较小,而在平均海拔低,地形较好的区域,城乡建设用地面积则增长迅速;“城市群身份”特征虽不显著,但在2015年的回归结果中表现为正向促进作用。

黄河上游城乡建设用地的影响因素与整个流域结果相似。常住人口和GDP在2个年份的回归系数分别是0.18、0.51和0.21、0.50,表明其是促进上游地区扩张的主要驱动力;海拔回归系数为-0.85和-0.22,表明海拔同为限制其面积扩张的不可抗拒因素;但城市群身份特征表现不同,2000年其回归系数为-0.16,2015年为-0.20,且显著性由2000年的不显著变为2015年的显著,表明在上游阶段城市群地区并未发挥引领作用,非城市群地区的发展要稍好于城市群地区。

与黄河上游的表现相反,黄河中游地区平均海拔的回归结果在2个年份中均为正值,分别为0.07、0.29,同时也由不显著转化为显著,表明在中游地区海拔并未完全限制城乡建设用地的扩张。城市群

身份特征也与上游地区表现相反,2个年份均通过1%的检验,且为正值,表明在城市群地区城乡建设用地的扩张较为迅速。2015年中游地区GDP的回归系数为0.09,且不显著,表明随着发展,经济再增长的同时并不会带来新兴城乡建设用地的扩张。

黄河下游地区与上、中游表现明显不同的是经济因素,2个年份GDP回归系数分别为0.05和0.04,值小且均不显著,进一步印证下游地区河南和山东的发展阶段在整个黄河流域中较为超前,在更高的发展阶段中经济再增长并不会带来城乡建设用地大面积的增加,而是精细化发展,在固有的空间创造高质量的经济。

综合而言,人口规模是促进土地利用变化的最核心因素,经济发展是主要动力,平均海拔则是限制城乡建设用地扩张的不可抗拒因素。分区而言,黄河流域土地利用驱动力存在较强的空间异质性,相同因子在不同空间表现并不一致。黄河下游和中游发展阶段超前,GDP的增长已不能带来大面积土地扩张,而上游地区发展较慢,经济发展仍是促进土地利用变化的主要驱动力之一。平均海拔和城市群在黄河上游和中游则表现出截然相反的趋势。

## 6 结论与政策建议

### 6.1 结论

(1)黄河流域生态保护和粮食生产的功能非常突出。从行政区划来看,黄河流域739个区县中,重

点生态功能区有208个,农产品主产区有227个,面积占比分别为65.21%和18.50%;从土地利用划分来看,生态保育用地面积占比多年平均值为79.04%,耕地面积占比平均值为18.64%,人类活动强度较大的城乡建设用地占比平均值仅为2.32%。

(2)城市群地区是建设用地扩张的主体空间,承担着主要的经济生产和生活功能。1995—2015年间城市群地区城乡居民点用地面积净增加量占整个研究区城乡居民点用地增加面积的87.47%;城市群地区工矿及交通用地增加面积占整个研究区同类用地增加面积的64.46%;中原城市群、山东半岛城市群和关中城市群在城乡建设用地扩张上具有引领作用。

(3)耕地、生态保育用地、城乡建设用地具有显著空间自相关性和空间异质性。黄河流域耕地、生态保育用地、城乡建设用地面积表现出极强的空间正向集聚效应,空间异质性明显且呈“凹”字型格局,即黄河流域上游和下游两端的内部用地类型集中度高,中间用地类型较为复杂、集中度低。山东、河南2省承担着最主要的经济发展和粮食生产功能;青海、甘肃以及内蒙承担着主要的生态保护功能。

(4)城乡建设用地等人类活动空间对耕地的侵占非常严重,人地矛盾更加突出。在土地利用面积变化方面,城镇用地、工矿及交通用地增加面积最大,减少的主要是耕地与未利用土地。从转化类型来看,在1995—2015年间,城镇用地中由耕地和农村居民点用地转化而来的面积比例分别为38.26%和6.71%;农村居民点用地中有21.37%是由耕地转化而来,工矿及交通用地中有23.77%是由耕地转化而来。

(5)人口规模 and 经济发展是促进土地利用变化的核心因素,但它们之间并非简单的线性关系,具有空间异质性和对经济发展水平的依赖性。在下游的山东和河南2省,GDP增长与城乡建设用地扩张之间的关系并不显著,表明经济水平达到一定规模后,伴随着经济再发展,人类活动强度较大的城乡建设用地并不会出现大规模扩张;城市群身份特征和海拔在上中下游不同区域表现出对土地利用变化的不同驱动状态。

## 6.2 政策建议

鉴于黄河流域承担着保障国家粮食安全和生态安全的重任,严格保护耕地和生态保育用地不再被城乡建设所侵占,应该成为黄河流域生态保护和高质量发展特别是城市群发展的先决条件和首要任务;鉴于黄河流域上中下游地区之间的高度异质性,上游的青海、甘肃、宁夏、内蒙古,应该把提供生态保障和生态产品放在更加突出的位置;下游的河南和山东应该把提供粮食保障和以不牺牲农业和粮食、生态和环境为前提的经济高质量放在更加突出的位置;中游的陕西和山西,应该统筹生态保障、粮食生产和经济发展的关系,严格保护生态保育用地和耕地,着力促进城市群的节约集约发展。

## 参考文献(References):

- [1] Perring M P, De F P, Baeten L, et al. Global environmental change effects on ecosystems: The importance of land-use legacies[J]. *Global Change Biology*, 2016, 22(4): 1361-1371.
- [2] Güneralp B, Seto K C, Ramachandran M. Evidence of urban land teleconnections and impacts on hinterlands[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 445-451.
- [3] Montanarella L, Scholes R, Brainich A, et al. The IPBES Assessment Report on Land Degradation and Restoration[R]. Bonn: IPBES Secretariat, 2018.
- [4] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础[J]. *地理学报*, 2007, 62(4): 339-350. [Fan J. The scientific foundation of major function oriented zoning in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 339-350.]
- [5] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 378-391. [Huang J C, Lin H X, Qi X X. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space[J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 378-391.]
- [6] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [7] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802. [Liu J Y, Ning J, Kuang W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789-802.]
- [8] 章波, 濮励杰, 黄贤金, 等. 城市区域土地利用变化及驱动机制

2020年3月

- 研究:以长江三角洲地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 28-33. [Zhang B, Pu L J, Huang X J, et al. Land use change and driving mechanism research in city region: The Yangtze river delta as an example[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 28-33.]
- [9] 杨海泉, 胡毅, 王秋香. 2001-2012年中国三大城市群土地利用效率评价研究[J]. 地理科学, 2015, 35(9): 1095-1100. [Yang H Q, Hu Y, Wang Q X. Evaluation of land use efficiency in three major urban agglomerations of China in 2001-2012[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(9): 1095-1100.]
- [10] 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘:以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1497-1507. [Qiao W F, Sheng Y H, Fang B, et al. Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: A case study of Suzhou, Jiangsu Province [J]. Geographical Research, 2013, 32(8): 1497-1507.]
- [11] 张新乐, 张树文, 李颖, 等. 近30年哈尔滨城市土地利用空间扩张及其驱动力分析[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 157-163. [Zhang X L, Zhang S W, Li Y, et al. Spatial expansion of urban land use and its driving forces in Harbin City over the past 30 years[J]. Resources Science, 2007, 29(5): 157-163.]
- [12] 盖永芹, 李晓兵, 张立, 等. 土地利用/覆被变化与植被盖度的遥感监测:以北京市密云县为例[J]. 资源科学, 2009, 31(3): 523-529. [Gai Y Q, Li X B, Zhang L, et al. Land use/cover change and vegetation coverage monitoring by remote sensing: A case study of Miyun, Beijing[J]. Resources Science, 2009, 31(3): 523-529.]
- [13] 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. [Liu D Q, Ma X C, Gong J, et al. Functional identification and spatiotemporal pattern analysis of production-living-ecological space in watershed scale: A case study of Bailongjiang Watershed in Gansu[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(5): 1490-1497.]
- [14] Kuang W H, Liu J Y, Dong J W, et al. The rapid and massive urban and industrial land expansions in China between 1990 and 2010: A CLUD-based analysis of their trajectories, patterns, and drivers[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 145: 21-23.
- [15] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12.]
- [16] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3-14.]
- [17] 王光谦, 王思远, 陈志祥. 黄河流域的土地利用和土地覆盖变化[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(9): 1218-1222. [Wang G Q, Wang S Y, Chen Z X. Land use/land cover changes in the Yellow River basin[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2004, 44(9): 1218-1222.]
- [18] 吕可文, 苗长虹, 安乾. 河南省建设用地扩张及其驱动力分析[J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28(4): 69-74. [Lv K W, Miao C H, An Q. Analysis on constructive land expansion and its driving forces in Henan Province[J]. Geography and Geo-Information Science, 2012, 28(4): 69-74.]
- [19] 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 等. 30年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 829-838. [Xu X L, Liu J Y, Shao Q Q, et al. The dynamic changes of ecosystem spatial pattern and structure in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province during recent 30 years[J]. Geographical Research, 2008, 27(4): 829-838.]
- [20] 许学工, 彭慧芳, 徐勤政. 海岸带快速城市化的土地资源冲突与协调:以山东半岛为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(4): 527-533. [Xu X G, Peng H F, Xu Q Z. Land resource conflicts and coordination in fast urbanized coastal zone: a case study of the Shandong Peninsula[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(4): 527-533.]
- [21] 中国科学院地理科学与资源研究所. 资源环境数据云平台[EB/OL]. (2019-10-10) [2020-03-06]. <http://www.resdc.cn/>. [Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS. Resource and Environment Data Cloud Platform [EB/OL]. (2019-10-10) [2020-03-06]. <http://www.resdc.cn/>.]
- [22] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 政务公开[EB/OL]. (2019-10-10) [2020-03-06]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/>. [National Development and Reform Commission. Policy Release[EB/OL]. (2019-10-10) [2020-03-06]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/>.]
- [23] 中国经济社会大数据平台. 统计年鉴[EB/OL]. (2019-10-18) [2020-03-06]. <http://nianjian.cnki.net/>. [Economic and Social Big Data Research Platform of China. Statistical Yearbook[EB/OL]. (2019-10-18) [2020-03-06]. <http://nianjian.cnki.net/>.]
- [24] 李秋颖, 方创琳, 王少剑. 中国省级国土空间利用质量评价:基于“三生”空间视角[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(5): 163-169. [Li Q Y, Fang C L, Wang S J. Evaluation of territorial utilization quality in China: Based on the aspect of production-living-ecological space[J]. Areal Research and Development, 2016, 35(5): 163-169.]
- [25] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. 地理研究, 2018, 37(6): 1100-1114. [Wang C, Tang N. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production-living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality[J]. Geographical Research, 2018, 37(6):

- 1100-1114.]
- [26] 邹利林, 王建英, 胡学东. 中国县级“三生用地”分类体系的理论构建与实证分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(4): 59-66. [Zou L L, Wang J Y, Hu X D. An classification systems of production-living-ecological land on the county level: Theory building and empirical research[J]. China Land Science, 2018, 32(4): 59-66.]
- [27] 时振钦, 邓伟, 张少尧. 近25年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J]. 地理研究, 2018, 37(3): 607-621. [Shi Z Q, Deng W, Zhang S Y. Spatial pattern and spatio-temporal change of territory space in Hengduan Mountains region in recent 25 years[J]. Geographical Research, 2018, 37(3): 607-621.]
- [28] 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. [Wu Y J, Yang Y Z, Yang L, et al. Land spatial development and suitability for city construction based on ecological-living-industrial space: Take Ningbo City as an example[J]. Resources Science, 2016, 38(11): 2072-2081.]
- [29] 崔家兴, 顾江, 孙建伟, 等. 湖北省三生空间格局演化特征分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(8): 67-73. [Cui J X, Gu J, Sun J W, et al. The spatial pattern and evolution characteristics of the production, living and ecological space in Hubei Province[J]. China Land Science, 2018, 32(8): 67-73.]
- [30] 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. [Liu J L, Liu Y S, Li Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290-1304.]
- [31] 李明薇, 鄢雨旱, 陈伟强, 等. 河南省“三生空间”分类与时空格局分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(9): 13-20. [Li M W, Yun Y H, Chen W Q, et al. Classification and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in Henan Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(9): 13-20.]
- [32] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1332-1338. [Zhang H Q, Xu E Q, Zhu H Y. An ecological-living-industrial land classification system and its spatial distribution in China[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1332-1338.]
- [33] 廖李红, 戴文远, 陈娟, 等. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J]. 资源科学, 2017, 38(10): 1823-1833. [Liao L H, Dai W Y, Chen J, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization [J]. Resources Science, 2017, 38(10): 1823-1833.]
- [34] 苑韶峰, 唐奕钰, 申屠楚宁. 土地利用转型时空演变及其生态环境效应: 基于长江经济带127个地级市的实证研究[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 174-181. [Yuan S F, Tang Y Y, Shentu C N. Spatiotemporal change of land-use transformation and its eco-environmental response: A case of 127 counties in Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2019, 39(9): 174-181.]
- [35] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应: 以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106. [Yang Q K, Duan X J, Wang L, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(1): 97-106.]
- [36] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的中国区差异研究[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 11-18. [Meng B, Wang J F, Zhang W Z, et al. Evaluation of regional disparity in China based on spatial analysis[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(4): 11-18.]

# Spatiotemporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin

ZHANG Baifa<sup>1</sup>, MIAO Changhong<sup>1,2</sup>

(1. Key Research of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization, Henan University, Kaifeng 475001, China; 2. The College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** The spatiotemporal pattern of land use is an important representation of the interaction between human and nature. Study on the spatial-temporal pattern of land use and its driving factors in the Yellow River Basin and to clarify land-use conversion as well as the spatial-temporal variation of cultivated land, ecological land and urban-rural construction land, which can provide some reference for the planning and implementation of the national strategy of ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin. Based on the transfer matrix of land use types and spatial autocorrelation, the study explored the land use in the Yellow River Basin provinces from 1970 to 2015 by using land use data of seven periods from multiple scales of city cluster, province, city, and county. The results show that: (1) The proportion of ecological land and arable land in the Yellow River Basin is 79.04% and 18.64% respectively on average, indicating that ecological protection and food production are two main functions there; (2) The urban-rural construction land proportion increases year by year, and urban agglomeration region is the main space of construction land expansion; (3) Moran's  $I$  of arable, ecological, urban-rural construction land of the Yellow River Basin provinces was more than 0.75 in different years and showed a strong positive spatial agglomeration effect and a pattern of concave type distribution; (4) The expansion of urban-rural construction land is at the expense of arable land, and at the same time, part of rural land is gradually transformed into urban land, and the imbalance between human and land is increasingly prominent. (5) Population size and economic development are the core factors to promote land use change, and the performance of different spatial driving factors is inconsistent. There will not appear large-scale expansion of urban and rural construction land with the economic development in Shandong and Henan provinces located in the lower reaches of the Yellow River.

**Key words:** arable land; ecological protection; food production; city cluster; spatial autocorrelation; driving force; Yellow River Basin