

文章编号: 1008-2786-(2020)2-276-14

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000509

# 太行山区国土空间格局演变特征及其驱动力

周 鹏<sup>1,2</sup>, 邓 伟<sup>1,2,3\*</sup>, 张少尧<sup>1,2</sup>, 孟 宝<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 山区发展研究中心, 成都 610041;

2. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049; 3. 四川师范大学 地理与资源科学学院, 成都 610101)

**摘 要:** 国土空间是人类活动的基础空间载体,开展山区国土空间格局演变特征和分异特征研究,有利于优化区域发展格局。以太行山区为研究对象,选取 1980、1990、1995、2000、2005、2008、2010、2015 年 8 期土地利用数据,将其分为城镇空间、农业空间和生态空间,揭示其时空演变特征,并采用地理探测器方法分析太行山区国土空间演变的驱动力。结果表明:(1)太行山区城镇空间散布在各地级市中心,农业空间主要分布在山麓和盆地,生态空间分布在高海拔山区。35 年间城镇空间扩张显著,农业空间和生态空间大幅度减少,县域国土空间面积的变化同主体功能区定位相吻合。(2)太行山区国土空间分异显著。1980—2015 年国土空间变化以海拔 1000 m 和坡度 15°为阈值,阈值以下城镇空间随地形上升逐渐减少,农业空间逐渐增加,阈值以上生态空间增幅最显著。与此同时,国土空间类型区面积变化在地貌区上存在较高的分异性,特别是在台地、平原以及中、高起伏山地变幅最大。(3)太行山区国土空间格局的演变是自然条件、交通区位、社会经济、国家政策共同作用的结果,其中,自然条件是基础性决定条件,交通区位是重要驱动力,社会经济是主要驱动力,国家政策是外在驱动力。研究结果可为优化山区国土空间格局,与提升国土空间功能提供参照。

**关键词:** 国土空间格局;演变特征;驱动力;地理探测器;太行山区

**中图分类号:** K909

**文献标志码:** A

国土是生态文明建设的空间载体和空间规划的物质基础。随着中国社会经济快速发展和城镇化进程的加速推进,其国土空间格局正在经历着剧烈的变化。为促进国土空间的合理开发利用与协调生态环境保护,在过去的十多年,国家层面上相继出台了生态功能区划与主体功能区规划,初步构建了国土生态安全格局。然而,由于国土空间是一个开放的复杂系统,其空间格局的演变具有时空二维性,且尺度效应明显<sup>[1]</sup>。然而不同区域存在区位条件、资源禀赋、政策制定等差异,导致面临的空间开发问题有

所不同。山地作为相对独立的地域综合体,其独特的地理格局、过程、机制,构成了自然与人文综合性高度梯变,也造就了山区国土空间的复杂性、多尺度性、多维性<sup>[2-3]</sup>。当前生态文明建设已成为最为重要的国家战略之一,占全国面积 65% 的山区,是国家生态安全的重要屏障,但受人类活动长期不合理的开发影响,使山区国土空间开发与保护问题更为突出<sup>[4]</sup>。

目前国内关于国土空间的研究主要集中在“三生空间”和“三区三线”两方面,其中,“三生空间”的

收稿日期(Received date):2019-12-24;改回日期(Accepted date):2020-03-06

基金项目(Foundation item):国家重点基础研究发展计划项目(2015CB452706)。[National Key Basic Research and Development Program of China (2015CB452706)]

作者简介(Biography):周鹏(1988-),男,陕西横山人,博士研究生,主要研究方向:山区资源环境与国土空间管理。[ZHOU Peng (1988-), male, born in Hengshan, Shaanxi province, Ph. D. candidate, research on mountain resources and environment and land space management] E-mail:zhoupeng726@sina.com

\* 通讯作者(Corresponding author):邓伟(1957-),男,辽宁沈阳人,博士,研究员,主要研究方向:山区资源环境与国土空间发展。[DENG Wei (1957-), male, born in Shenyang, Liaoning province, Ph. D., professor, research on mountain resources and environment and land space development] E-mail:dengwei@sicnu.edu.cn

研究侧重于“三生空间”与“三生功能”时空变化分析<sup>[5-7]</sup>、“三生空间”冲突性诊断<sup>[8-9]</sup>、“三生空间”优化<sup>[10-11]</sup>,研究尺度涵盖了村域<sup>[12]</sup>、县域<sup>[13]</sup>、城市群<sup>[14]</sup>、全国<sup>[15]</sup>等多种尺度。由于城镇地区城镇化与工业化相辅相成,生产和生活空间紧密相连,同时城乡之间产业结构、生活方式差异巨大,而“三生空间”的分类存在复合空间模式,在中小尺度难以精准识别,也不利于国土空间的管控<sup>[16]</sup>。因此“三区三线”的分类比“三生空间”划分更为细致,在国土空间优化实践方面更具优势<sup>[17]</sup>。为推动主体功能区划在国家空间规划中的深化应用,中国政府提出了开展“多规合一”的国土空间规划,以此科学划定“生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界三条控制线”,实现国土空间的综合管控。学者们已从规划角度开展了城镇空间、农业空间、生态空间的相关研究,如生态空间和生态保护红线的划定<sup>[18]</sup>、城镇空间和城镇开发边界<sup>[19]</sup>、耕地红线划定<sup>[20]</sup>,采用的方法有资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价<sup>[21]</sup>、最小累计阻力模型<sup>[20]</sup>、MCR-CLUE-S模型<sup>[22]</sup>、FLUS模型等<sup>[23]</sup>。但上述研究缺乏对山区国土空间格局的时空演化与分异特征,以及其演变的驱动力研究。因此,本文以太行山区为研究对象,进行大尺度、长时序的国土空间演变特征分析,同时从山区内部地形地貌多维视角揭示其分异特征。最后采用地理探测器方法分析国土空间演变的驱动力,以期开展山区国土空间格局优化与功能提升提供参考依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

太行山区地处黄土高原向华北平原过渡带,是海河及其他诸多河流的发源地,属于中国八大林业工程和八大生态脆弱区之一,其水源涵养和水土保持功能对保障京津冀晋豫生态安全极其重要(图1)。太行山区位于 $34^{\circ}58' \sim 40^{\circ}79'N$ , $110^{\circ}23' \sim 116^{\circ}57'E$ ,行政单元总面积 $13.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,包括北京、河北、河南、山西4个省(市)115个县(区、市),其中47个重点开发区、29个农产品主产区、39个重点生态功能区。太行山区地貌类型复杂多样,平原占25.89%、丘陵占5.31%、山地占68.80%,整体上地势西高东低,南北呈长条形。气候类型为温带大陆季风性气候,降水变率大、水资源短缺严重;土壤

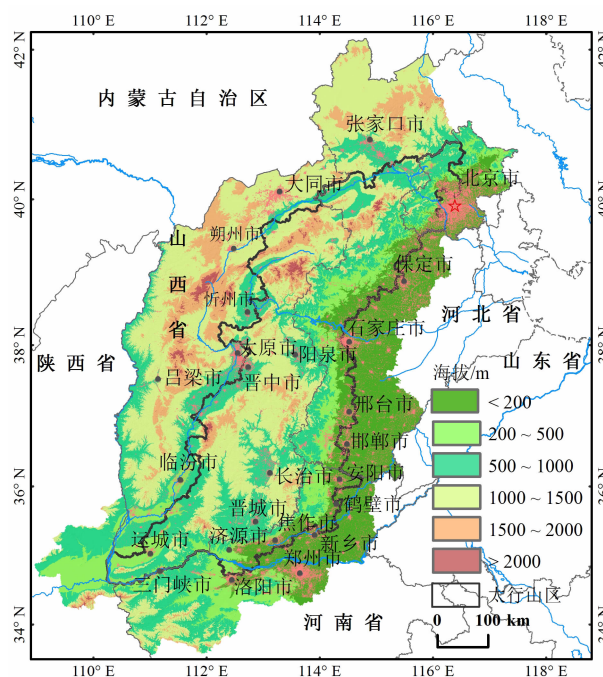


图1 太行山区概况图

Fig. 1 Location of Taihang Mountain region, China

类型主要为石质土、粗骨土、山地草地土等,土壤较贫瘠,土层浅薄,平均不足15 cm,保水性差;植被类型主要有落叶阔叶林、针阔混交林等,森林覆盖率为36%。截至2015年常住人口4108万,城镇化率52.70%,地区生产总值1.43万亿,人均GDP为37 617元,农村居民人均可支配收入9822元。

### 1.2 数据来源

研究数据包括太行山区1980、1990、1995、2000、2005、2008、2010和2015年8期土地利用数据,地形地貌、气象数据、交通区位和社会经济数据。其中:(1)土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)提供的1:10万土地利用解译数据,森林面积提取自2000年和2015年土地利用类型中的有林地;(2)地形数据包括90 m分辨率的DEM、坡度、地形起伏度、地形位指数,DEM来源于地理空间数据云(Geospatial Data Cloud)(<http://www.gscloud.cn/>),坡度、地形起伏度、地形位指数均基于DEM计算而来,地貌类型数据来源于中国100万地貌类型空间分布数据(<http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=124>),利用ArcGIS 10.2软件计算各县域山地面积占比;(3)气象数据来源于中国气象数据网(<http://www.nmic.cn/>),采用ANUSPLIN插值软件得到2000年和2015年降水量和太阳辐射;(4)交通区位包括各

县政府驻地到最近市政府驻点的时间距离,各栅格到最近乡镇政府驻点的时间距离。河流数据和交通路网数据来源于 1:25 万全国基础地理数据库 (<http://www.webmap.cn/commres.do?method=dataDownload>),在 GIS 中将地形起伏度作为成本,计算所有栅格到河流的成本距离和到公路的成本距离;(5)社会经济数据来源于 2001 年和 2016 年对应省(市)统计年鉴。

### 1.3 国土空间类型转换分析

基于太行山区 1980 年和 2015 年 2 期土地利用数据,依据公式(1)和公式(2)计算两个时期国土空间类型的“转换减少”和“转换获得”在转换过程中的净得失中所占的百分比<sup>[24]</sup>:

$$P_{\text{loss}(i),j} = (P_{j,i} - P_{i,j}) / (P_{i,\cdot} - P_{\cdot,i}) \times 100, i \neq j \quad (1)$$

$$P_{\text{gain}(i),j} = (P_{i,j} - P_{j,i}) / (P_{i,\cdot} - P_{\cdot,i}) \times 100, i \neq j \quad (2)$$

式中,  $P_{\text{loss}(i),j}$  是转换矩阵中行  $i$  国土空间类型转为  $j$  国土空间类型在行  $i$  国土空间类型净减少中所占的比例(也即变化的贡献率);  $P_{\text{gain}(i),j}$  是转换矩阵中行  $i$  国土空间类型转为  $j$  国土空间类型在行  $i$  国土空间类型净增加中所占的比例;  $P_{i,j}$  和  $P_{j,i}$  是变化矩阵表中的单个值;  $P_{i,\cdot}$  和  $P_{\cdot,i}$  表示行  $i$  国土空间类型当期与初期面积。

### 1.4 国土空间格局演变的驱动因子选择

通常区域内国土空间开发利用是自然地理、社会经济、法律法规、工程技术等因素相互作用、共同约束的结果<sup>[25]</sup>。基于数据的可获得性和代表性,选取了自然因素、交通区位、社会经济因素、政策因素 4 方面因素,将 2015 年和 2000 年国土空间类型和社会经济指标之差,以及自然条件、交通区位作为国土空间格局的驱动因子(表 1)。

### 1.5 地理探测器分析方法

地理探测器是探测空间分异性,以及解释其背后驱动因子的一种新的统计方法<sup>[26]</sup>。地理探测器擅长自变量为类型量,因变量为数值量,采用决定力值  $q$  来解释自变量对因变量的空间分异,取值范围介于 0 到 1,其值越大表明解释力越强。

## 2 结果与分析

### 2.1 国土空间分类

国土空间由已利用空间和未利用空间组成,目前

中国学者从不同角度将其分为不同空间类型,为对应主体功能区 3 大战略需求,本文国土空间分类采用“三区三线”中“三区”分类方法,将研究区国土空间划分为三级(表 2),其中二级分类命名采用“三生空间”的二级分类<sup>[27]</sup>。这种划分方法方便对山区国土空间分区管治,城镇空间主抓产业发展,农业空间主抓农田保护,生态空间主抓生态脆弱区和重要区保护。

表 1 太行山区国土空间格局演变的驱动因子

Tab. 1 Driving factors of territory space pattern evolution in Taihang Mountain region

属性	名称	描述
自然条件	DEM/m	县域平均海拔
	地形起伏度/m	县域平均地形起伏度
	地貌复杂度/%	县域山地面积占比
	年降水量/mm	2000 和 2015 年县域年平均降水量
	年太阳辐射/(MJ·m <sup>-2</sup> )	2000 和 2015 年县域年平均太阳辐射
交通区位	到公路距离/m	所有栅格到公路的成本距离
	到河流距离/m	所有栅格到河流的成本距离
	行政可达性/h	县政府驻地到最近市政府驻地的时间距离
	栅格可达性/h	所有栅格到最近乡镇政府驻地的时间距离
社会经济	总人口/人	来源于 2001 和 2016 对应省(市)统计年鉴
	城镇化率/%	
	乡村劳动力/人	
	地区生产总值/万元	
	第一产业产值/万元	
	第二产业产值/万元	
	第三产业产值/万元	
	人均 GDP/元	
国家政策	农民人均纯收入/元	2000 和 2015 年郁闭度 > 30% 的天然林和人工林
	农业机械总动力/kW	
	森林面积/km <sup>2</sup>	

### 2.2 国土空间格局水平变化特征

1980—2015 年太行山区城镇空间扩张显著(2.72%),农业空间(-1.65%)和生态空间大量缩小(-1.07%)(图 2)。从国土空间分布来看,太行山区以生态空间为主(57%),其次是农业空间(40%),城镇空间最小(3%)。其中,农业空间主要分布在太行山区边缘的山地向平原过渡带、山地向盆地过渡带,以及南部的晋城盆地和长治盆地,城镇空间零散分布在各市行政中心,生态空间主要分布

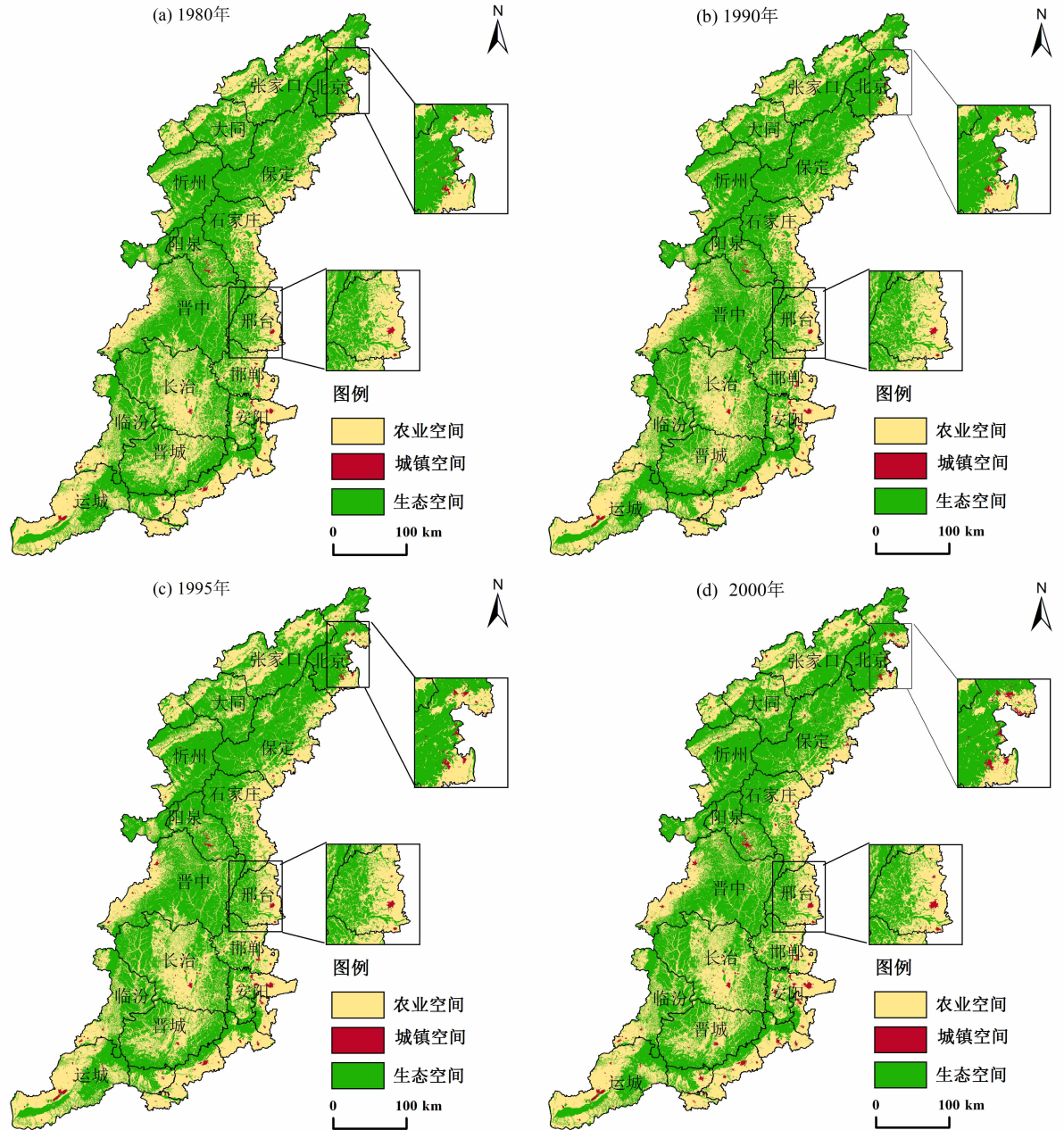
表 2 太行山区国土空间分类

Tab. 2 The classification of territory space in Taihang Mountain region

一级分类	二级分类	三级分类
城镇空间	城镇生活空间	51 城镇用地
	工矿业生产空间	53 工矿业和交通建设用地
农业空间	乡村生活空间	52 农村居民点用地
	农业生产空间	11 水田、12 旱地
生态空间	绿被生态空间	21 有林地、22 灌木林地、23 疏林地、24 其他林地、31 高覆盖度草地、32 中覆盖度草地、33 低覆盖度草地
	水域生态空间	41 河渠、42 湖泊、43 水库、坑塘、46 滩地
	其他生态空间	61 沙地、63 盐碱地、64 沼泽地、65 裸土地、66 裸岩石砾地

在太行山区高海拔山区。整体上北京市、阳泉市、邢台市、安阳市、长治市、晋城市等地区城镇扩张最显著,同时阳泉市农业空间和长治市的生态空间扩张也非常显著。

从县域国土空间类型变化来看(图 3),35 年来大部分县域城镇空间增加,农业空间和生态空间面积减少。城镇空间中有 114 个县域面积增加,仅 1 个县域面积减少。其中,房山区、昌平区城镇空间面积增加最大,分别为 217.93、346.22 km<sup>2</sup>,由于石家庄市井陉矿区属于资源衰退型城市,也是人口收缩型城市,所以城镇空间面积减少最大,为 3.12 km<sup>2</sup>;





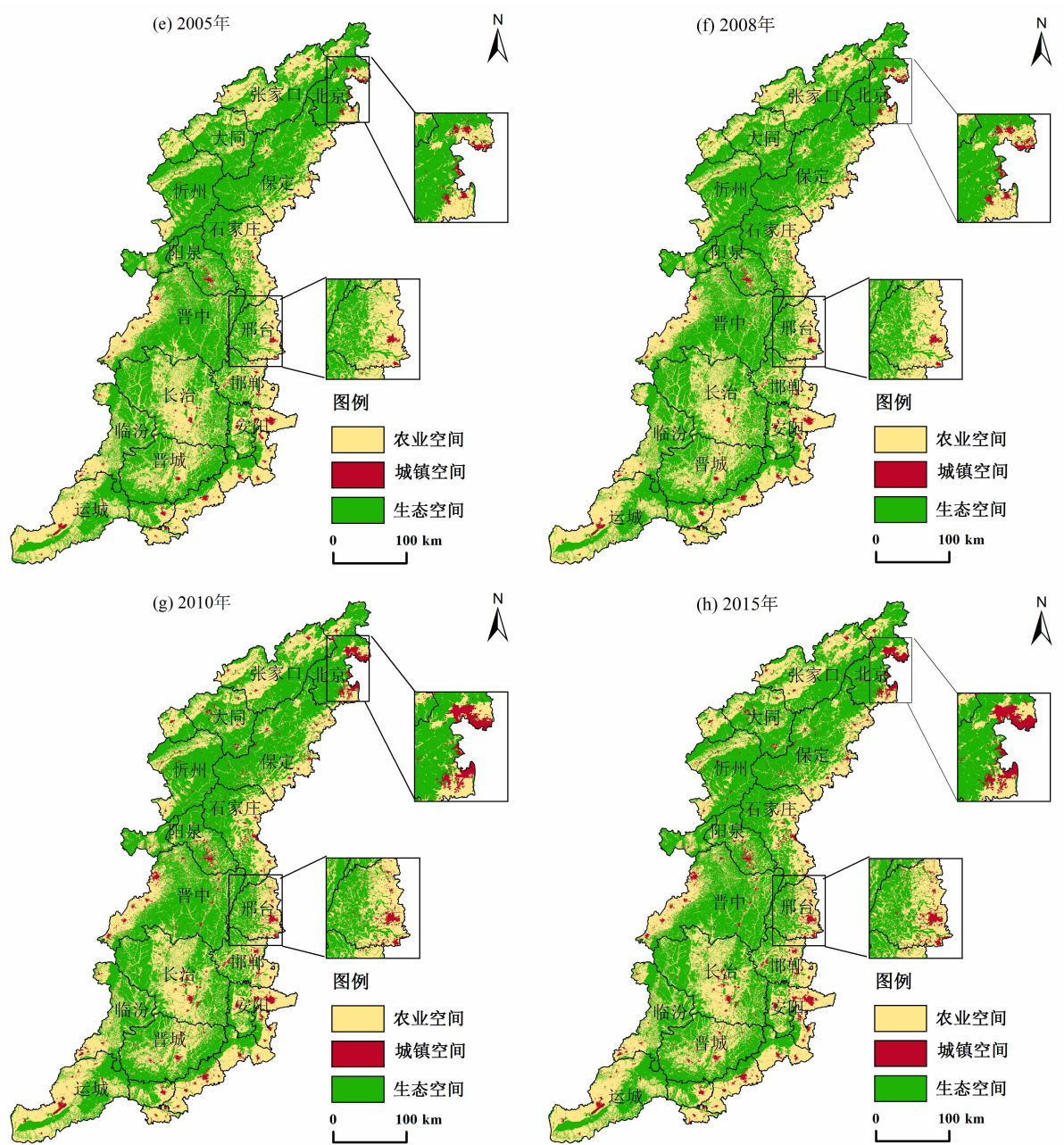


图 2 1980—2015 年太行山区国土空间类型分布

Fig. 2 Spatial distribution of territory space types in Taihang Mountain region from 1980 to 2015

农业生产空间中有 95 个县域面积缩小,20 个县域面积增加,其中长治市武乡县面积增加最大,达  $109.52\text{ km}^2$ ,而昌平区、房山区、榆社县面积减少最大,分别为  $279.79$ 、 $154.26$ 、 $136.03\text{ km}^2$ ;生态空间中有 34 个县域面积增加,81 个县域面积缩小,其中榆社县面积增加最大,为  $126.36\text{ km}^2$ ,孟县、武乡县面积减少最大,分别为  $130.39$ 、 $118.06\text{ km}^2$ 。总之,各县域城镇空间、农业空间和生态空间面积存在相互转化,主要表现为农业空间和生态空间向城镇空间

转变,也反映出国土空间格局是个动态变化的过程。

从主体功能区国土空间类型变化来看(图 4),重点开发区、农产品主产区和重点生态功能区城镇空间增加明显,农业空间和生态空间明显减少。具体来看,城镇空间增加面积表现为重点开发区 > 重点生态功能区 > 农产品主产区;农业空间减少面积表现为重点生态功能区 > 重点开发区 > 农产品主产区;生态空间减少面积表现为重点开发区 > 农产品主产区 > 重点生态功能区。由此可

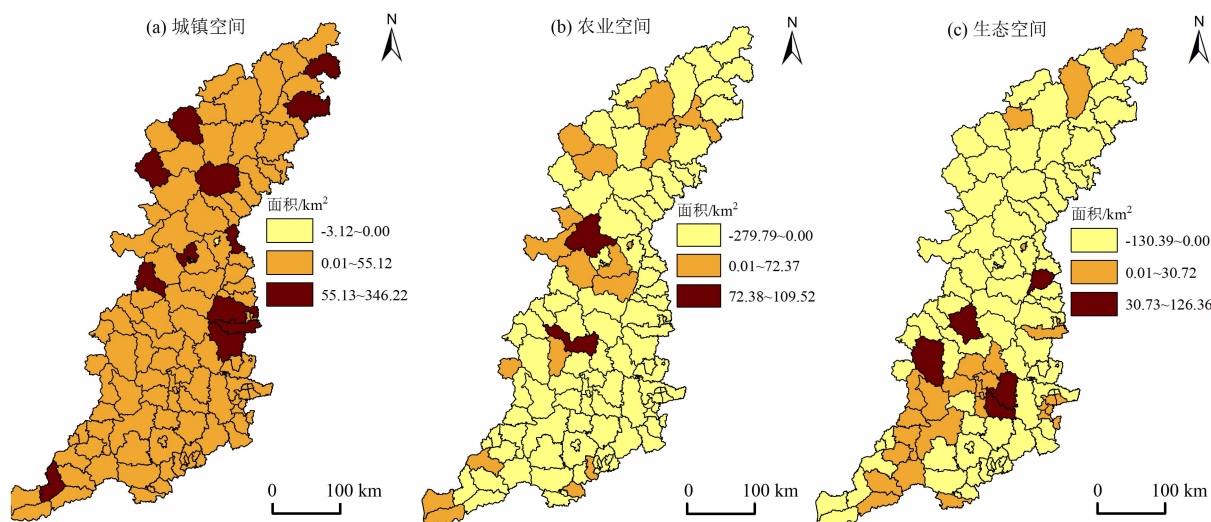


图3 1980—2015年太行山区县域国土空间类型变化

Fig. 3 Spatial changes of county territory space types in Taihang Mountain region from 1980 to 2015

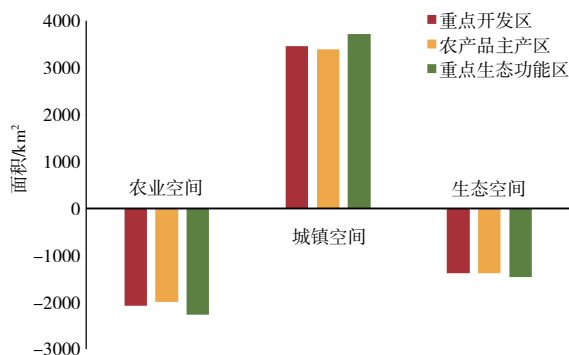


图4 1980—2015年太行山区各主体功能区国土空间类型变化

Fig. 4 Changes of territory space types for main functional areas in Taihang Mountain region from 1980 to 2015

见,太行山区国土空间类型变化同主体功能区定位密切相关,不同空间面积变化受其主体功能区定位的约束,也反映出主体功能区在国土空间开发利用中的指导作用。

### 2.3 国土空间格局垂直变化特征

从2015年太行山区国土空间格局垂直分布来看,“三类空间”以海拔1500 m和坡度25°为界(图5)。1500 m以下和25°以下三种空间均显著分布,并且城镇空间和农业空间随海拔和坡度上升而减少,1500 m以上和25°以上基本为生态空间。从1980—2015年国土空间格局垂直变化来看(图6),海拔1000 m以下农业空间大量减少,城镇空间大量增加,1000~1500 m三种空间均小幅度增加,

1500 m以上生态空间的增幅较城镇空间和农业空间更显著。从坡度来看,城镇空间随坡度上升逐渐减少,农业空间和生态空间在15°以下随坡度的上升而逐渐增加,特别是3°以下区域,两种空间均为负增长,15°以上两种空间增幅均逐渐减少。从1980—2015年国土空间类型面积在地貌类型变化来看,所有地貌类型中城镇空间面积均增加(64.36~1755.66 km<sup>2</sup>),除黄土台塬生态空间面积增加外(13.27 km<sup>2</sup>),其余地貌类型中农业空间和生态空间面积均减少(图7)。各地貌类型中城镇空间的增幅由大到小依次为平原>台地>大起伏山地>中起伏山地>黄土梁峁>低河漫滩>丘陵>小起伏山地>黄土台塬,农业空间面积的减少在地貌类型上依次为平原>台地>中起伏山地>丘陵>低河漫滩>小起伏山>黄土台塬>大起伏山地>黄土梁峁,生态空间面积的减少在地貌类型上依次为平原>大起伏山地>黄土梁峁>台地>低河漫滩>小起伏山地>丘陵>中起伏山地>黄土台塬。整体上,城镇空间、农业空间、生态空间面积的变化在各地貌类型区存在较高的分异性,均在台地、平原、中起伏山地、大起伏山地的面积变幅最大。

### 2.4 国土空间景观格局指数演化

借鉴相关研究<sup>[28]</sup>,本文选取了以下7个景观格局指数:斑块数量(Number of Patches, NP)、平均斑块面积(Mean Patch Area, AREN\_MN)、聚集指数

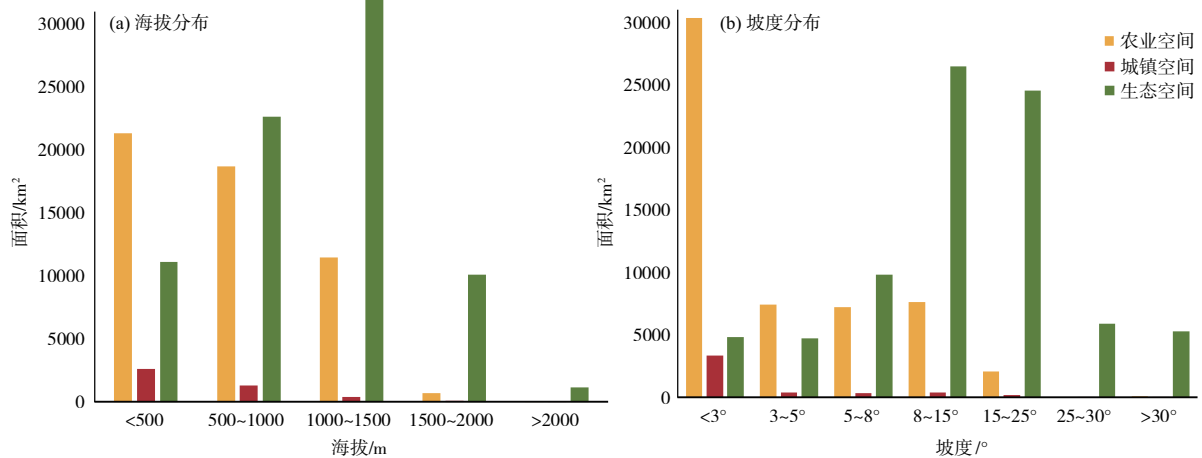


图5 2015年太行山区国土空间类型垂直分布

Fig. 5 Vertical distribution of territory space types in Taihang Mountain region in 2015

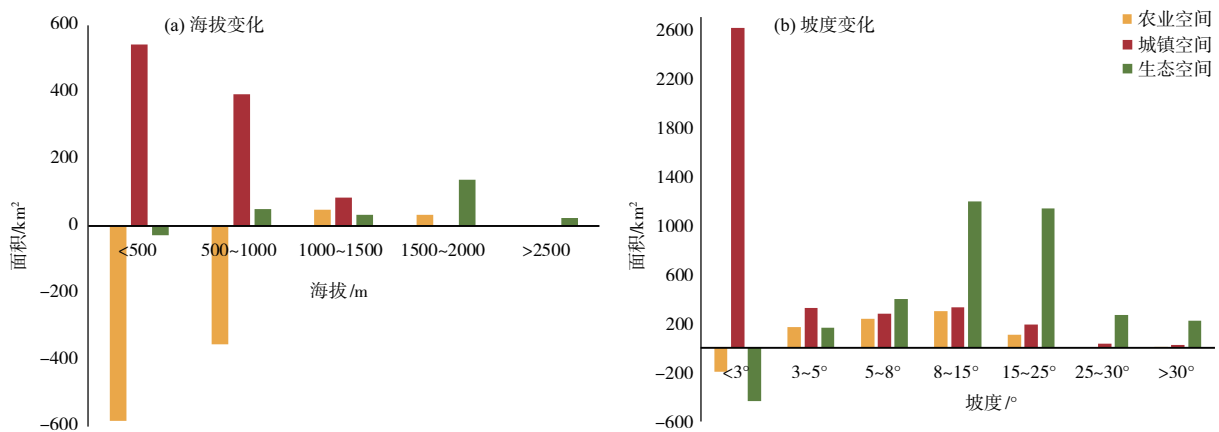


图6 1980—2015年太行山区国土空间类型垂直变化

Fig. 6 Vertical changes of territory space types in Taihang Mountain region from 1980 to 2015

(Aggregation Index, AI)、散步与并列指数 (Interspersion & Juxtaposition Index, IJI)、蔓延度 (Contagion, CONTAG)、香浓均匀度 (Shannon's Evenness Index, SHEI)、香浓多样性 (Shannon's Diversity Index, SHDI), 从景观水平上分析太行山区 35 年间国土空间演变特征。由表 3 可知, 太行山区国土空间景观格局指数斑块数量 (NP) 呈上升趋势, 平均斑块面积 (AREN\_MN) 呈下降趋势, 表明区域人类活动对景观的破坏性和干扰性加速了景观破碎化。同时, 蔓延度 (CONTAG) 整体呈下降趋势, 表明该景观是一个多要素的密集格局, 破碎化程度较高。散布与并列指数 (IJI) 和斑块聚集指数 (AI) 是反映不同斑块之间的聚集、分离程度和形状空间结构的重要生态指标。散布与并列指数呈上升趋势, 说明太行山区各斑块景观之间的相邻程度在不断增

加, 斑块聚集度指数总体呈下降趋势, 加强了破碎度。香浓多样性指数 (SHDI) 可以反映景观异质性, 香浓均匀度指数 (SHEI) 与景观优势度之间有较强的负相关, 研究期间这两种指数均呈上升趋势, 表明其景观异质性在增大, 优势度也提高。

## 2.5 国土空间类型转型特征

从 1980—2015 年太行山区国土空间类型转型结果来看, 主要特点表现为: 农业生产空间、绿被生态空间、水域生态空间面积的减少伴随着其他生态空间、城镇生活空间、乡村生活空间、工矿业生产空间面积的增加。具体表现为农业生产空间被生态空间、城乡生活空间、工矿业生产空间大量占用。35 年间, 农业生产空间、绿被生态空间、水域生态空间分别减少了 7.94%、1.42%、17.23%, 而其他生态空间、城镇生活空间、乡村生活空间、工矿业生产空

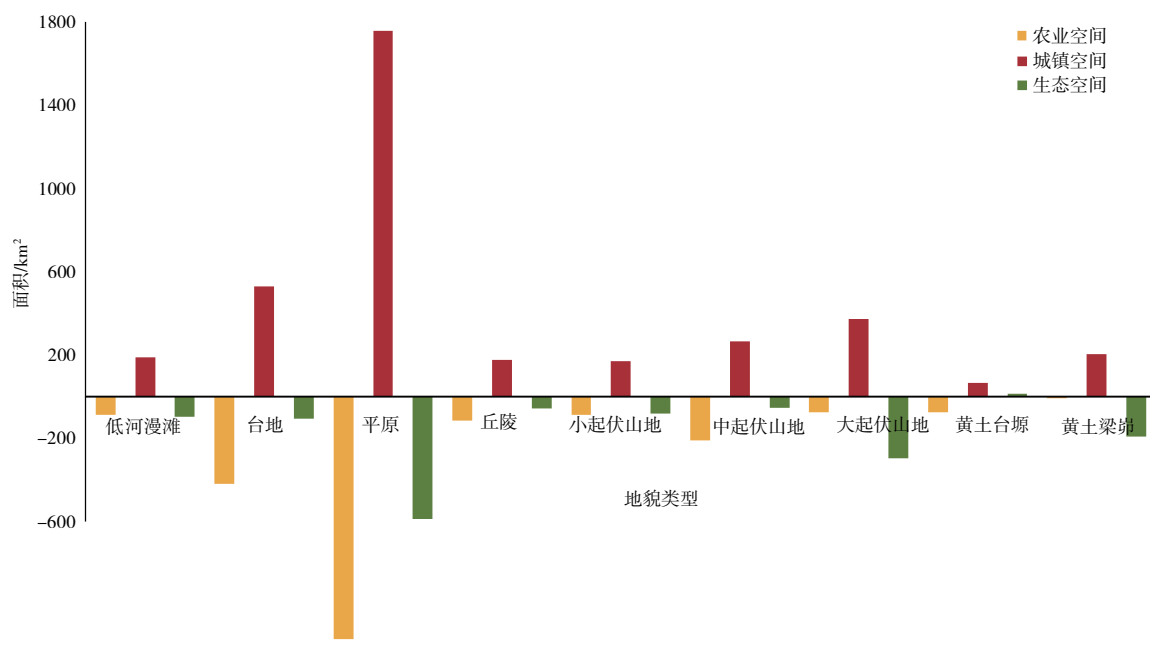


图7 1980—2015年不同地貌国土空间类型变化

Fig. 7 Changes of territory space types in different morphology from 1980 to 2015

间却分别增长了 18.77%、323.58%、54.30%、509.03%。从国土空间类型转移矩阵及类型间转换分析看(表4、表5),城镇生活空间、乡村生活空间、工矿业生产空间规模的扩张,主要来源于农业生产空间的转型,分别占其他地类向三者用地转换总面积的 74.40%、82.64%、53.16%。由于太行山区村庄、农田、道路均分布在河流两侧,受耕地资源有限的影响,导致占用河道水域现象较为普遍,所以绿被生态空间和水域生态空间主要被挤占为耕地,农业生产空间对其贡献率分别为 66.24%、60.45%。

## 2.6 国土空间格局演变的驱动力分析

### 2.6.1 驱动因子探测

由于城镇空间难以转变为其他空间或者仅局部发生微小变化,所以本文因变量主要分析生态空间和农业空间转型为其他空间。首先在 GIS 中根据各驱动因子的集聚特征进行分级,将其离散化,采用地理探测软件分别对生态空间转农业空间、生态空间转城镇空间、农业空间转生态空间、农业空间转城镇空间 4 个因变量和 20 个自变量分别进行因子探测(表6)。从探测结果来看,生态空间转农业空间的驱动因子决定力值整体较小,表现为农业机械总动力(0.1) > 第一产业产值(0.07);生态空间转城镇空间的驱动因子也比较小且均未通过显著性检验;农业空间转生态空间驱动因子依次为平均海拔

(0.37) > 地貌复杂度(0.35) > 到公路的距离(0.29) > 栅格可达性(0.25) > 地形起伏度(0.22) > 行政可达性(0.16) > 城镇化率(0.15) > 森林面积(0.11) = 年平均降水量(0.11) > 常住人口(0.04);农业空间转城镇空间的驱动因子依次为第二产业产值(0.34) > 地区生产总值(0.21) = 第三产业产值(0.21) > 常住人口(0.19) > 农业机械总动力(0.13) = 森林面积(0.13)。

### 2.6.2 驱动因子解析

(1)自然因素是国土空间格局演变的基础性决定条件。地形地貌越复杂对农业空间的胁迫性越强。由于太行山区县域平均海拔介于 66 ~ 1500 m,高差悬殊,其可开发利用土地资源极其有限,加之年降水量较少,难以满足农作物生长需求。而地形复杂生态脆弱区又是封山育林和退耕还林重点区,人类活动强度小,所以农业空间容易变为生态空间。

(2)交通区位是国土空间格局演变的重要驱动因子。由于文中交通区位的 4 个要素(到河流的距离、到公路的距离、行政点时间距离和栅格时间距离)均为负向指标,其值越大表明距离越远、耗时越长。交通区位差不利于人流、物流、信息流、能源流等多要素的交换,导致人类开发活动减弱,从而有助于农业空间转为生态空间。



表 3 1980—2015 年太行山区国土空间景观格局指数变化

Tab. 3 Landscape index variations of territory space in Taihang Mountain region from 1980 to 2015

年份	NP	AREN_MN	CONTAG	IJI	SHDI	SHEI	AI
1980	39 938	343.10	53.72	10.55	0.72	0.65	91.20
1990	40 073	341.94	53.45	11.21	0.72	0.66	91.17
1995	40 135	341.41	53.39	11.43	0.72	0.66	91.16
2000	40 333	339.73	52.63	14.60	0.74	0.67	91.10
2005	41 950	326.65	51.77	18.25	0.75	0.68	90.83
2008	43 026	318.48	51.25	21.92	0.75	0.69	90.74
2010	44 186	310.12	49.19	37.28	0.80	0.72	91.00
2015	44 223	309.85	48.88	39.07	0.80	0.73	91.06

表 4 1980—2015 年太行山区国土空间变化转移矩阵(单位:km<sup>2</sup>)

Tab. 4 Change matrix of each compared territory space types in Taihang Mountain region from 1980 to 2015 (Unit: km<sup>2</sup>)

1980 年国土 空间类型	2015 年国土空间类型						
	城镇	工矿业	农业	乡村	绿被	水域	其他
农业	1573.06	942.77	44 805.45	2459.65	3175.46	314.56	32.90
绿被	137.42	704.68	2986.07	422.74	72 518.87	166.47	90.73
水域	29.33	77.62	516.22	34.48	129.28	1199.85	67.02
城镇	621.70	0.44	11.88	8.83	2.62	0.44	0.00
乡村	321.46	40.11	616.42	2532.15	53.05	6.17	0.59
工矿业	51.50	161.17	39.29	45.54	19.00	0.68	0.47
其他	1.49	7.80	97.14	5.05	32.30	11.75	37.24
总计	2735.97	1934.59	49 072.47	5508.44	75 930.59	1699.91	228.95

注:农业、绿被、水域、城镇、乡村、工矿业、其他分别对应农业生产空间、绿被生态空间、水域生态空间、城镇生活空间、乡村生活空间、工矿业生产空间、其他生态空间。

表 5 1980—2015 年太行山区国土空间类型内部转换

Tab. 5 Internal conversions between territory space types in Taihang Mountain region from 1980 to 2015

国土空 间类型	期内增减率 /%	转换类型贡献率/%						
		农业	绿被	水域	城镇	乡村	工矿业	其他
农业	-7.94	-	37.37	3.70	18.51	28.94	11.09	0.39
绿被	-1.42	66.24	-	3.69	3.05	9.38	15.63	2.01
水域	-17.23	60.45	15.14	-	3.43	4.04	9.09	7.85
城镇	323.58	74.4	6.50	1.39	-	2.44	2.44	0.07
乡村	54.3	82.64	14.2	1.16	0.3	-	1.53	0.17
工矿业	509.03	53.16	39.74	4.38	0.03	9.09	-	0.44
其他	18.77	17.16	47.33	34.96	0.00	0.31	0.25	-

注:农业、绿被、水域、城镇、乡村、工矿业、其他分别对应农业生产空间、绿被生态空间、水域生态空间、城镇生活空间、乡村生活空间、工矿业生产空间、其他生态空间。

表 6 太行山区国土空间演变驱动因子探测结果

Tab.6 Detection results of territory space evolution driving force in Taihang mountain region

驱动因子	生态空间转农业空间		生态空间转城镇空间		农业空间转生态空间		农业空间转城镇空间	
	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>p</i>
地区生产总值	0.00	0.82	0.00	0.91	0.01	0.50	0.21	0.00***
第一产业产值	0.07	0.04**	0.04	0.12	0.00	0.97	0.01	0.69
第二产业产值	0.02	0.67	0.03	0.40	0.02	0.56	0.34	0.00***
第三产业产值	0.00	0.83	0.02	0.43	0.05	0.09*	0.21	0.00***
人均 GDP	0.04	0.43	0.03	0.60	0.02	0.75	0.02	0.62
常住人口	0.01	0.39	0.01	0.28	0.04	0.05**	0.19	0.00***
城镇化率	0.00	0.84	0.00	0.90	0.15	0.00***	0.02	0.40
农业机械总动力	0.10	0.02**	0.03	0.28	0.00	0.92	0.13	0.02**
农村人均纯收入	0.01	0.83	0.01	0.82	0.07	0.12	0.09	0.06*
乡村劳动力	0.00	0.71	0.00	0.74	0.00	0.74	0.01	0.44
行政点可达性	0.01	0.68	0.00	0.80	0.16	0.00***	0.00	0.85
地形起伏度	0.02	0.65	0.02	0.77	0.22	0.00***	0.01	0.89
年平均太阳辐射	0.02	0.66	0.01	0.77	0.06	0.08*	0.07	0.06*
到公路的距离	0.03	0.53	0.01	0.92	0.29	0.00***	0.07	0.12
平均海拔	0.03	0.79	0.16	0.63	0.37	0.00***	0.06	0.27
到河流距离	0.01	0.76	0.01	0.47	0.00	0.90	0.05	0.09*
年平均降水量	0.01	0.90	0.01	0.90	0.11	0.02**	0.02	0.77
栅格可达性	0.01	0.95	0.04	0.48	0.25	0.00***	0.08	0.13
地貌复杂度	0.01	0.86	0.02	0.67	0.35	0.00***	0.06	0.14
森林面积	0.00	0.93	0.01	0.71	0.11	0.05**	0.13	0.02**

注:*q* 表示决定力值大小,*p* 表示显著性水平,\*\*\*、\*\*、\* 分别表示变量在 1%、5%、10% 水平下显著,黑色加粗数字表示其决定力值较大且通过 5% 显著性水平检验。

(3) 社会经济是国土空间格局演变的主导驱动因子。通常情况下,第一产业产值的增加和农业机械化水平的提升,会提高农业生产效率和增加农业生产投入要素,进而增加耕地需求量,间接推动生态空间转变为农业空间。随着城镇化和工业化的发展,农村人口大量流出,导致不适宜耕地容易撂荒或者退耕还林,促使农业空间转为生态空间。同时,得益于城镇地区第二、三产业产值增加,以及流入人口的增加,城镇空间规模快速扩大,促使农业空间转变为城镇空间。

(4) 国家政策是国土空间格局演变的外在驱动因子。由于太行山区历史上开发早,受战争破坏、人类毁林拓田的影响,导致区域旱涝频繁,水土流失严

重,生态极度脆弱。为了修复太行山区生态屏障作用和重要的水源涵养地,1994 年国家实施了太行山绿化工程,在“退耕还林”和“封山育林”政策的带动作用 下,项目区森林覆盖率由 11.0% (1994 年) 提高到 22.4% (2018 年),局部深山区森林覆盖率达 75% 以上。其中,仅 2000—2015 年太行山绿化工程完成造林面积 129.04 万  $\text{hm}^2$ ,年均造林面积 8.6 万  $\text{hm}^2$ ,所以国家政策扶持有助于生态空间持续地扩大。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 太行山区国土空间差异显著,城镇空间集

聚于各市行政中心,农业空间主要分布在山麓和盆地,生态空间分布在高海拔山区。35 年间太行山区城镇空间显著扩张,农业空间和生态空间大幅度缩小,但仍旧以生态空间占主导、农业空间次之。各县域国土空间的变化同主体功能区定位相吻合,城镇空间在重点开发区扩张最大,农业空间在农产品主产区变化最小,生态空间在重点生态功能区变化最小。

(2)太行山区国土空间分异明显,1980—2015 年国土空间变化以海拔 1000 m 和坡度 15°为阈值,阈值以下农业生产空间大量减少,城镇空间大量增加,阈值以上生态空间增加最显著。此外,城镇空间、农业空间、生态空间面积的变化在地貌上存在较高的分异性,三种空间均在台地、平原以及中高起伏山地变幅最大。

(3)35 年来太行山区国土空间景观破碎度上升,景观多样性下降,景观优势度提高,太行山区国土空间类型转型表现为农业生产空间、生态空间面积的减少伴随着其他生态空间、建设空间面积的增加,且建设空间面积的增加主要来源于农业生产空间的转型。

(4)太行山区国土空间格局演变是自然因素、社会经济、交通区位、国家政策综合作用的结果。其中,生态空间转农业空间主要受农业生产要素投入的增加和农业生产效率提升的驱动;农业空间转生态空间主要受地形复杂度和交通区位较差的胁迫,以及城镇化吸引力的拉动;农业空间转城镇空间主要受人口集聚规模和经济水平发展的影响,促使农业空间转向城镇空间;国家政策主要通过对生态环境脆弱区实施“退耕还林”和“封山育林”促使生态空间扩张。

### 3.2 讨论

太行山区是一个相对独立的地理综合体,同时也是一个复杂的开放系统,受历史上人类活动高强度的开发,以及改革开放后矿山资源开采和基础设施建设的影响,显著改变了区域生态系统的稳定性。本研究将太行山区国土空间类型分为城镇空间、农业空间和生态空间,从多维度视角(水平变化、垂直分异、景观格局)揭示了太行山区 35 年来国土空间格局演变特征,选取多种要素采用地理探测器分析国土空间格局演变的驱动力。研究发现太行山区国

土空间格局在垂直变化上具有显著的阈值,在地貌类型上的变化不仅具有地势和经济双重指向性,而且国土空间变化幅度存在跳跃性,在大起伏山地、中起伏山地国土空间格局变化强度远高于低海拔地区。虽然政府部门已开展了长达 26 年之久的太行山绿化工程,显著地改善了生态环境,同时城镇空间、农业空间和生态空间格局总体上变化趋于稳定,但是景观格局指数表明区域破碎化程度加剧,局部国土空间格局冲突性突出。因此,今后仍需要继续推进太行山绿化工程,根据不同地形地貌单元国土空间面临的冲突性,开展国土空间格局优化及功能提升路径研究。

### 参考文献(References)

- [1] 林伊琳,赵俊三,张萌,等. 滇中城市群国土空间格局识别与时空演化征分析[J]. 农业机械学报,2019,50(8):176-191. [LIN Yilin, ZHAO Junsan, ZHANG Meng, et al. Identification of territory space pattern and spatio-temporal evolution analysis of urban agglomeration in Central Yunnan[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8):176-191]
- [2] 明庆忠. 山地人地关系协调优化的系统性基础研究——山地高梯度效应研究[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2008,40(2):4-10. [MING Qingzhong. Highland gradient effect study: a systematic and basic study on the optimizing of the relations between highland and mankind[J]. Journal of Yunnan Normal University (Humanities and Social Sciences Edition), 2008, 40(2):4-10]
- [3] 邓伟,南希,时振钦,等. 中国山区国土空间特性与区域发展[J]. 自然杂志, 2018,40(1):17-24. [DENG Wei, NAN Xi, SHI Zhenqin, et al. Territory space characteristics and regional development of mountain region in China[J]. Chinese Journal of Nature, 2018,40(1):17-24]
- [4] GUO Xudong, CHANG Qing, LIU Xiao, et al. Multi-dimensional eco-land classification and management for implementing the ecological redline policy in China[J]. Land Use Policy, 2018(74):15-31
- [5] 马晓冬,李鑫,胡睿. 基于乡村多功能评价的城市边缘区“三生”空间划分研究[J]. 地理科学进展,2019,38(9):1382-1392. [MA Xiaodong, LI Xin, HU Rui, et al. Delineation of “production-living-ecological” space for urban fringe based on rural multifunction evaluation[J]. Progress in Geography, 2019, 38(9):1382-1392]
- [6] 魏小芳,赵宇鸾,李秀彬,等. 基于“三生功能”的长江上游城市群国土空间特征及其优化[J]. 长江流域资源与环境, 2019,28(5):1070-1079. [WEI Xiaofang, ZHAO Yuluan, LI Xiubin, et

- al. Characteristics and optimization of geographical space in urban agglomeration in the upper reaches of the Yangtze River based on the function of "production-living-ecological" [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, **28**(5): 1070–1079]
- [7] 李广东,方创琳.城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析[J].地理学报,2016, **71**(1):49–65. [LI Guangdong, FANG Chuanglin. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, **71**(1):49–65]
- [8] 赵旭,汤峰,张蓬涛,等.基于CLUE-S模型的县域生产-生活-生态空间冲突动态模拟及特征分析[J].生态学报,2019, **39**(16): 5897–5908. [ZHAO Xu, TANG Feng, ZHANG Pengtao, et al. Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living-ecological spatial conflicts based on CLUE-S model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, **39**(16): 5897–5908]
- [9] 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, **39**(10):1823–1833. [LIAO Lihong, DAI Wenyuan, CHEN Juan, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization [J]. Resources Science, 2017, **39**(10): 1823–1833]
- [10] 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 Jinchuan, LIN Haoxi, QI Xiaoxiao. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space [J]. Progress in Geography, 2017, **36**(3): 378–391]
- [11] 朱媛媛,余斌,曾菊新,等.国家限制开发区“生产-生活-生态”空间的优化——以湖北省五峰县为例[J].经济地理,2015, **35**(4):26–32. [ZHU Yuanyuan, YU Bin, ZENG Juxin, et al. Spatial optimization from three spaces of production, living and ecology in national restricted zones – a case study of Wufeng county in Hubei Province [J]. Economic Geography, 2015, **35**(4): 26–32]
- [12] 李晓青,刘旺彤,谢亚文,等.多规合一背景下村域三生空间划定与实证研究[J].经济地理,2019, **39**(10):146–152. [LI Xiaoqing, LIU Wangtong, XIE Yawen, et al. The delineation and empirical study of production-living-ecological space in village under the background of multiple planning integration [J]. Economic Geography, 2019, **39**(10): 146–152]
- [13] 李欣,方斌,殷如梦,等.江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J].自然资源学报,2019, **34**(11):2363–2377. [LI Xin, FANG Bin, YIN Rumeng, et al. Spatial-temporal change and collaboration/trade-off relationship of “production-living-ecological” functions in county area of Jiangsu province [J]. Journal of Natural Resources, 2019, **34**(11): 2363–2377]
- [14] 陈仙春,赵俊三,陈国平.基于“三生空间”的滇中城市群土地利用空间结构多尺度分析[J].水土保持研,2019, **26**(5): 258–264. [CHEN Xianchun, ZHAO Junsan, CHEN Guoping. Analysis of multi-scale spatial structure of land use based on ecological-production-living spaces in urban agglomeration area of Central Yunnan [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, **26**(5): 258–264]
- [15] 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 Jilai, LIU Yansui, LI Yurui. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(7):1290–1304]
- [16] 黄安,许月卿,卢龙辉,等.“生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展[J].地理科学进展,2020, **39**(3): 503–518. [HUANG An, XU Yueqing, LU Longhu, et al. Research progress of the identification and optimization of production-living-ecological spaces [J]. Progress in Geography, 2020, **39**(3): 503–518]
- [17] 王颖,刘学良,魏旭红,等.区域空间规划的方法和实践初探——从“三生空间”到“三区三线”[J].城市规划学刊,2018(4):65–74. [WANG Ying, LIU Xueliang, WEI Xuhong, et al. The method and practice of regional spatial planning from “three basic spaces” to “three-zones and three-lines” [J]. Urban Planning Forum, 2018(4): 65–74]
- [18] 张雪飞,王传胜,李萌.国土空间规划中生态空间和生态保护红线的划定[J].地理研究,2019, **38**(10):2430–2446. [ZHANG Xuefei, WANG Chuansheng, LI Meng. Demarcating ecological space and ecological protection red line under the framework of territory spatial planning [J]. Geographical Research, 2019, **38**(10): 2430–2446]
- [19] 高晓路,吴丹贤,周侃,等.国土空间规划中城镇空间和城镇开发边界的划定[J].地理研究,2019, **38**(10):2458–2472. [GAO Xiaolu, WU Danxian, ZHOU Kan, et al. The urban space and urban development boundary under the framework of territory spatial planning [J]. Geographical Research, 2019, **38**(10): 2458–2472]
- [20] 魏玉强,程倩雯,单金霞,等.快速城镇化大都市边缘地区耕地红线划定研究[J].水土保持研究,2016, **23**(1):80–85. [WEI Yuqiang, CHENG Qianwen, SHAN Jinxia, et al. Study on the demarcating method of farmland redline in metropolitan fringe area with rapid urbanization [J]. Research of Soil and Water Conserbation, 2016, **23**(1):80–85]
- [21] 王亚飞,樊杰,周侃.基于“双评价”集成的国土空间地域功能优化分区[J].地理研究,2019, **38**(10):2415–2429. [WANG Yafei, FAN Jie, ZHOU Kan. Territorial function optimization regionalization based on the integration of “Double Evaluation” [J]. Geographical Research, 2019, **38**(10): 2415–2429]
- [22] 赵筱青,李思楠,谭琨,等.城镇-农业-生态协调的高原湖泊流域土地利用优化[J].农业工程学报,2019, **35**(8):296–307. [ZHAO Xiaqing, LI Sinan, TAN Kun, et al. Land use



- optimization of plateau lake basin based on town-agriculture-ecological spatial coordination [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, **35**(8): 296–307]
- [23] 马小宁, 林沛锋, 陈美招. 基于 FLUS 模型的花都区土地利用动态模拟研究 [J]. 社会科学前沿, 2019, **8**(7): 1327–1341. [MA Xiaoning, LIN Peifeng, CHEN Meizhao. Simulation of land use spatial layout based on FLUS model: a case study of Huadu district, Guangzhou [J]. Advances in Social Sciences, 2019, **8**(7): 1327–1341]
- [24] LONG Hualou, TANG Guoping, LI Xiubin, et al. Socio-economic driving forces of land-use change in Kunshan, the Yangtze River Delta Economic Area of China [J]. Journal of Environmental Management, 2007, **83**(3): 351–364.
- [25] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理 [J]. 地理研究, 2015, **34**(9): 1607–1618. [LONG Hualou. Land use transition and land management [J]. Geographical Research, 2015, **34**(9): 1607–1618]
- [26] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望 [J]. 地理学报, 2017, **72**(1): 116–134. [WANG Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 116–134]
- [27] SHI Zhenqin, DENG Wei, ZHANG Shaoyao. Spatio-temporal pattern changes of land space in Hengduan Mountains during 1990–2015 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, **28**(4): 529–542.
- [28] 邓元杰. 低碳导向下的土地利用结构优化及模拟研究 [D]. 成都: 四川师范大学, 2018: 68–71. [DENG Yuanjie. Land use structure optimization and simulation of low-carbon-oriented – a case study of Deyang city [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2018: 68–71]

## Evolution Characteristics and Its Driving Force of Territory Space Pattern in the Taihang Mountain, China

ZHOU Peng<sup>1,2</sup>, DENG Wei<sup>1,2,3\*</sup>, ZHANG Shaoyao<sup>1,2</sup>, MENG Bao<sup>1,2</sup>

(1. Research Center for Mountain Development, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. College of Resources and Environment, CAS, Beijing 100190, China;

3. College of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China)

**Abstract:** As the widely extended geo-platform, territory space is pivotal for sustainability development of human-nature. Performing research on the evolution and differentiation characteristics of mountainous territory space is contributes to the optimization of the regional development pattern. In this paper, the Taihang Mountain region was taken as the research object, it was divided into urban space, agricultural space and ecological space, and the characteristics of spatial-temporal evolution was revealed, based on the land use data of 1980, 1990, 1995, 2000, 2005, 2008, 2010, and 2015. Besides, the driving force of territory space pattern was analyzed by using Geodetector. The results showed that: (1) The urban space in the Taihang Mountain region was scattered in various city centers, the agricultural space was mainly distributed in the foothills and basins, and the ecological space was distributed in the high-altitude mountain area. Particularly, the urban space had significantly expanded during the past 35 years, the agricultural space and ecological space had been greatly reduced; the change of counties areas coincided with the main functional areas. (2) The spatial differentiation of territory space in the Taihang Mountain region was remarkable. From 1980 to 2015, the altitude of 1000 m and the slope of 15 ° were taken as the threshold of the spatial change in the territory space; below the threshold, the urban space gradually decreased and the agricultural space gradually increased as the terrain rose; above the threshold, the increase in ecological space was the most significant. Simultaneously, the area changes of territory space types had a highly differentiation in geomorphic types, especially in the platform, plain, medium relief mountains and high relief

mountains. Moreover, there was a large difference in the changes of geomorphic types between urban space and ecological space. (3) The evolution of territory space pattern in the Taihang Mountain region was caused by the combined effects of natural conditions; transportation locations, socio-economics, and national policies. Among them, natural conditions were the basic decision conditions, transportation locations were an essential driving force, socio-economics was the main driving force, and national policies were an external driving force. The results can contribute to optimizing the spatial pattern of mountainous territory space and improving its spatial function.

**Key words:** territory space pattern; evolution characteristics; driving factors; Geodetector; Taihang Mountain region