doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.05.017

山西省县域城镇低效用地空间格局分异与影响因素研究

刘慧芳　毕如田　王　瑾　郭永龙
（山西农业大学资源环境学院，太谷 030801）

摘要：基于人地系统理论，构建区域低效化的理论分析框架，以山西省 106 个县为研究单元，运用空间自相关和地理探测器等方法，分析了山西省城镇低效用地的空间分异格局，定量探测了城镇低效用地空间分异的主导因子，揭示县域城镇低效用地与空间要素之间的相互作用机理。结果表明：构建“低效-自然-经济-社会”分析框架，分析城镇低效用地与空间要素之间作用路径和表现形式，总体上包括“人”、“地”2 类要素和自然、经济、社会 3 个维度，其中自然要素在低效用地空间分异中发挥基础性作用，经济要素起决定性作用，社会要素具有强化放大效应。山西省 89.09% 的县域城镇低效用地规模低于 265.86 hm^2，整体偏向低值集聚，具有较弱的同质集聚特征；从空间分布上看，经济发展水平高的县域城镇低效用地规模高于经济发展水平低的县域，平原地区县域的城镇低效用地规模高于山区丘陵地区。常住人口规模、GDP、对外交通枢纽数、地均 GDP 和规模以上工业企业数是山西省城镇低效用地规模空间分异的主导因子，但各因子在县域内驱动力有明显差异；因子交互作用类型以非线性增强为主，双因子增强为辅，其中常住人口规模对因子交互作用的影响最强，凸显了人口因子的驱动效应。

关键词：县域；低效用地；空间分异；影响因素
中图分类号：F301.21　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2022)05-0169-12　　**OSID**：

Spatial Pattern Differentiation and Influential Factors of Urban Underused Land in County Territories in Shanxi Province

LIU Huifang　BI Rutian　WANG Jin　GUO Yonglong
(*College of Resource and Environment*, *Shanxi Agricultural University*, *Taigu* 030801, *China*)

Abstract: Based on the theory of human-environment system, a theoretical analytical framework for the urban underused land was built. Taking 106 counties in Shanxi Province as the study unit, the spatial auto-correlation method and Geodetector method were employed, the spatial differentiation pattern of urban underused land in Shanxi Province was analyzed, also the leading factors for spatial differentiation of urban underused land in county territories in Shanxi Province were quantitatively detected, so as to explore the interaction mechanism between the urban underused land in county territories and spatial factors. The results showed that with the analytical framework of “inefficiency - nature - economy - society” built, the acting path between urban underused land and spatial factors as well as their pattern of manifestation analyzed. It was found that, on the whole, two types of factors, respectively “human” and “earth”, and three dimensions, respectively, the natural dimension, the economical dimension and the social dimension, were there, among which the natural factor played a basic role in the spatial differentiation of underused land, while the economic factor played a decisive role, and the social factor had a strengthening and amplifying effect. Totally 89.09% of the urban underused land in county territories in Shanxi Province was less than 265.86 hm^2, showing the features of low-value agglomeration and weak homogeneous agglomeration; in spatial distribution, the urban underused land in highly-developed county territories was more than that in not so highly-developed county territories, and the urban underused land in counties which were in a flat area was more than that in counties which were in a mountainous and hilly area. The size of permanent resident population, GDP, degree of external transportation convenience, regional average GDP and the number of industrial enterprises above

收稿日期：2021-05-18　修回日期：2021-07-12
基金项目：山西省软科学一般项目(2018041069-3)
作者简介：刘慧芳(1982—)，女，副教授，主要从事土地可持续利用研究，E-mail：liuhuifang0354@sxau.edu.cn
通信作者：毕如田(1963—)，男，教授，博士生导师，主要从事资源环境信息技术、土地复垦与规划研究，E-mail：brt@sxau.edu.cn

designated size were the leading factors for spatial differentiation of urban underused land in Shanxi Province, though the driving forces of each factor were obviously different at the county level. Among various factor interactions, the non-linear enhancement type was of majority, supplemented by the double-factor enhancement type. Since the size of permanent resident population had the strongest influence on the factor interactions, the active effect of the population factor got highlighted.

Key words: county; underused land; spatial differentiation; influence factor

0 引言

新一轮国土空间规划要求空间利用从增量开发向存量运营转变,在此背景下城镇低效用地成为城市创造增量价值、提升空间质量及提高生活品质等问题解决的焦点。根据 2013 年原国土资源部下发的《开展城镇低效用地再开发试点指导意见》中低效用地识别标准,中国土地勘测规划院进行城镇低效用地的调研,结果显示城镇空闲地面积为 40.9 万 hm^2,约占全国城镇土地总面积的 5.63%,为全国城镇工业用地面积的 1/4。从空间分布上,经济发达地区的低效用地规模相对较大,东部地区明显多于东北、中部和西部地区,其总量超过全国 1/2[1]。随着国家政策强制、产业转型发展及土地供需失衡等问题凸显,城镇低效用地成为建设用地潜力挖潜的重要来源[2]。

根据《开展城镇低效用地再开发试点指导意见》,城镇低效用地是指布局混乱、利用粗放、用途不合理和建筑危旧的城镇存量建设用地,其规模会根据土地供给市场和低效标准动态调整而发生变化。城镇低效用地的产生不仅表现为利用效率、产出效益、地块形态及转型方向等方面[3]的条件不足或缺失,还表现出区域地形地貌、经济水平、政策制度、社会条件、历史背景等方面的约束。因此,城镇低效用地问题研究不仅要关注微观层面条件不足或缺失,更应该关注区域层面城镇低效用地的宏观演化机理。

城镇低效用地是由多因素、多主体、多目标、多尺度综合作用下形成,具有多维属性和空间属性。近年来国内外学者对低效用地进行了深入研究,从影响因素看,地理区位[4]、投入强度[5]、基建程度[6]、管理水平[7]、参与对象[8]、利用方式[9]均是低效用地形成的关键因素;从管理主体看,主要围绕中央政府、地方政府、企业、个人及市场等主体[10-11]与低效用地之间互动作用进行研究;评价目标也逐步多元化,丁一等[12]通过构建内部性质和外部特征两个维度评价低效用地地块自身发展状况及用地适宜程度。徐刚等[13]以实施为导向,构建用地升级潜力成本和区域发展诉求评价指标体系,以成本累计和价值修正方式对用地内涵式精细化进行评价;在研究尺度上,多集中在城市[14]、县级[15]及乡镇[16]等尺度,还未涉及省级层面。但在当前国土空间规划中,一方面"三线"控制及城镇用地外延管控要求重新布局城镇用地,另一方面城镇建设用地供给短缺驱动城镇建设用地格局发生演变。因此系统研究低效用地的空间分异规律及驱动机制,是优化城镇用地格局,完善国土空间规划的客观需要,但现有研究中,鲜有从省级层面研究低效用地空间分布格局及其分异机理的报道。

山西省地形地貌类型多样,城镇低效用地分布点多面广,城镇低效用地与空间要素相互作用的机理错综复杂。2017 年山西省完成了 106 个县级的城镇低效再开发规划,对 7 000 多块低效用地完成评价、识别及再开发利用规划。在已有成果基础上,深入研究低效用地空间分异规律,厘清低效用地和空间要素之间作用机理,揭示宏观省域层面低效用地形成机制,对建立有效的城镇低效用地管理机制具有一定参考价值。因此,本文立足于国土空间规划需求,以城镇低效用地为研究对象,构建城镇建设用地低效化的"低效-自然-经济-社会"(Inefficiency - nature- economy - society,INES)理论分析框架,刻画山西省城镇低效用地空间分布格局,探测识别城镇用地低效化的主导因子,揭示省域低效用地分异规律,以深化低效用地形成的理论认知和促进对国土空间规划学科前沿问题的探索。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

山西省位于北纬 34°36′~40°44′,东经 110°15′~114°32′,地处黄河流域中部,总面积 15.67 万 km^2,辖 11 个市,117 个县级行政单位(图 1)。山西省地貌类型复杂多样,具有"两山夹一川"的独特地貌,即吕梁山脉、太行山脉及汾河谷地。省年平均气温 4.2~14.2℃,总体分布趋势为由北向南升高,由盆地向高山降低;多年平均降水量为 508.8 mm,2017 年全省多年平均水资源总量 123.8 亿 m^3;矿产资源丰富,煤炭保有资源储量 2 709.01 亿 t,占全国保有资源储量的 17.3%,居全国第三位;2017 年末常住人口 3 702.4 万人,全年实现地区生产总值约 15 528.4 亿元,全社会固定资产投资 6 140.9 亿元。

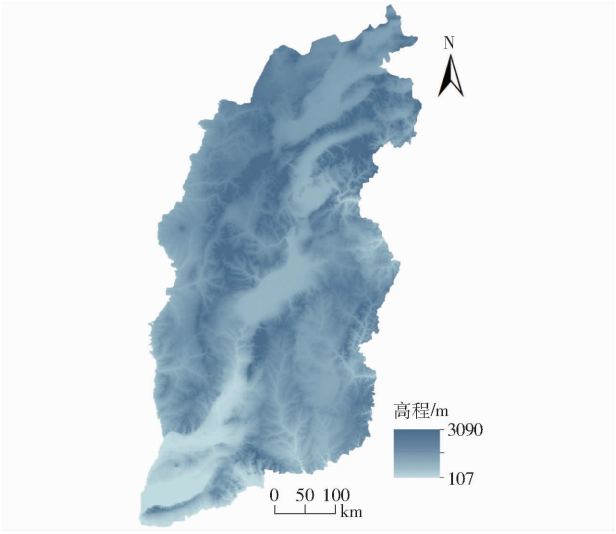

图 1　山西省地形地貌

Fig. 1　Landform of Shanxi Province

1.2　数据来源

城镇低效用地面积数据来源于 2017 年山西省各城镇低效用地调查数据库，根据山西省城镇低效用地再开发调查要点与规程，分为旧城镇、旧工矿和旧村庄 3 种类型城镇低效用地，共 106 个县域调查单元。DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台（http://www.gscloud.cn）30 m 分辨率的 DEM 数据，借助 Arc GIS 软件通过 DEM 数据进行海拔和地形起伏度的计算提取，土地资源数据来源于 2017 年土地利用变更数据库，水资源总量来源于《水资源统计公报》（2017 年），行政区划数据来源于国家测绘局地理信息资源目录服务系统，比例尺为 1∶1 000 000；土地出让面积及类型来源于中国国土资源与经济社会发展统计数据库（2015—2017 年）；各县域对外交通枢纽数据来源于百度、高德地图；其他社会经济类数据来源于《中国县域统计年鉴（县市卷）》（2018 年）、《2017 年经济和社会发展统计公报》。

2　理论框架与研究方法

2.1　理论框架

2.1.1　区域多维城镇低效用地系统

土地系统核心问题是人地关系[17]，区域多维城镇低效用地系统（简称“区域低效”）是在特定区域内，由地理区位、资源禀赋、经济水平、基础设施等多维要素相互作用构成的，具有一定功能和结构的复杂人地系统（图 2）。主要包括 2 类要素 3 个维度：①以“地”为核心要素的自然维度，刻画城镇低效用地的自然环境、生态条件、资源禀赋等方面的劣势，反映低效用地与自然地理环境之间的关系。②以“人”为核心要素的经济维度和社会维度，经济维度表征区域在经济水平、市场发育、劳动力规模及对外交通等方面对低效用地的影响；社会维度表征人口规模、用地制度政策限制、公共基础设施建设及用地技术等方面区域差异，对城镇低效用地空间分异的影响，反映了城镇低效用地与社会系统之间的关

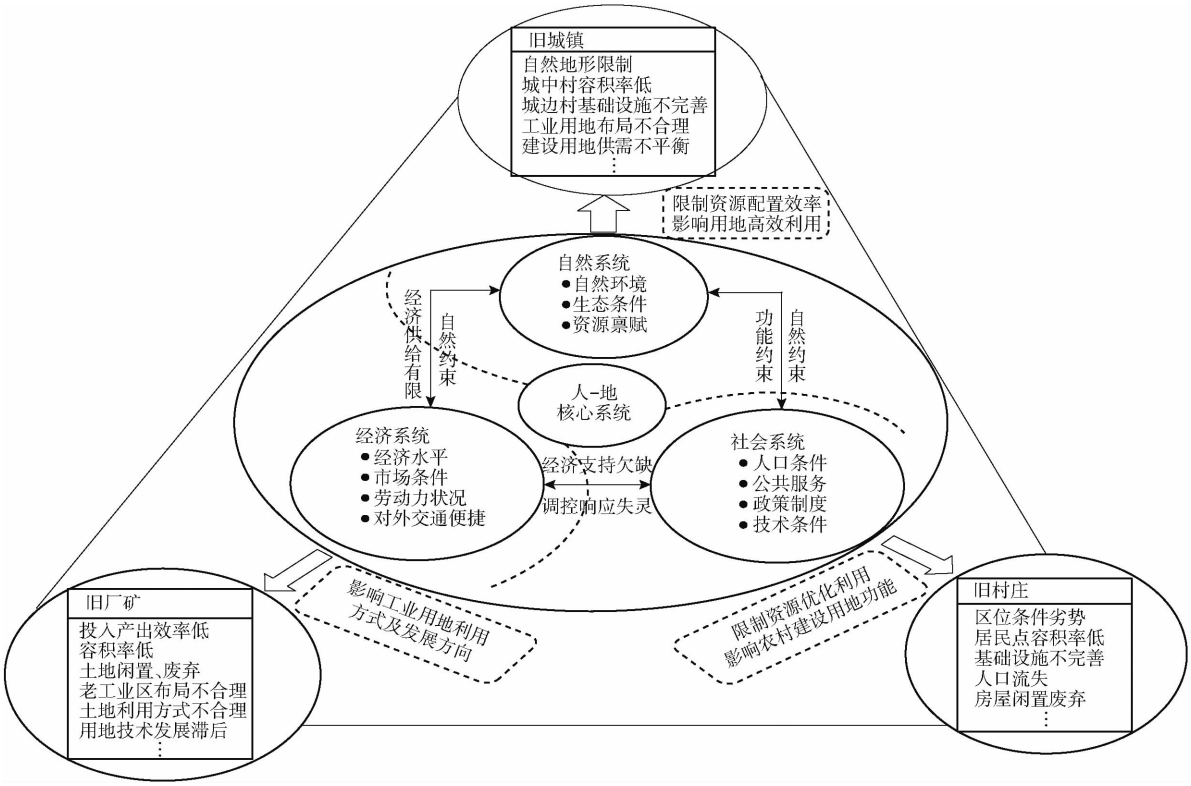

图 2　区域多维低效用地系统的作用关系

Fig. 2　Interaction between regional multidimensional urban underused land

系[18]。区域低效是人地系统发展演化过程中“人-地”之间动态耦合失衡的外在表现形式。

2.1.2 系统分析框架

区域低效的多维性决定了其复杂性特征。在区域低效形成机理上,这种复杂性表现为城镇低效用地影响因子的多样性、作用途径的交互性以及低效用地表征的多维性。从影响因素看,影响区域低效用地空间格局分布的因子包括以“地”为核心的自然环境和以“人”为核心的经济社会两类。其中自然环境包括地形气候、生态系统和资源禀赋,社会经济要素包括经济水平、市场条件、劳动力条件及对外交通枢纽数、人口规模、公共服务、政策制度及技术条件。从作用途径来看,区域低效的发生发展是区域之间以及区域内部空间要素共同作用的结果。从表征维度来看,包括自然、经济和社会等 3 个维度(图 3)。“低效-自然-经济-社会”框架具体表现在以下 3 方面。

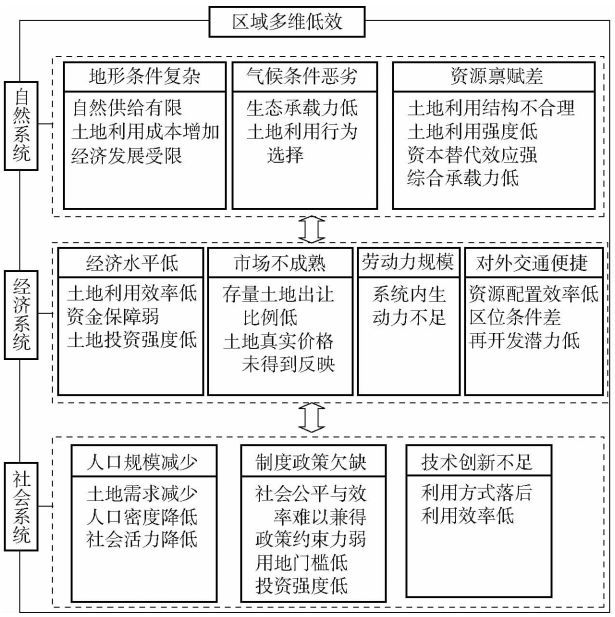

图 3 区域低效用地系统的“低效-自然-经济-社会”分析框架

Fig. 3 Theoretical framework of “inefficiency - nature - economy - society (INES)” of regional multidimensional urban underused land

(1)低效-自然

自然环境对低效用地的影响是难以改变的,对区域低效形成发挥基础性作用。自然因子的用地低效化机理主要表现在自然条件、生态环境和资源禀赋对土地利用的影响 3 方面:①地形和气候是影响区域低效的主要自然条件。地形条件决定着城市用地的自然供给,是土地利用最基本的约束力量[19],自然刚性供给决定着土地利用规模及方式,如山区城市建设相对平原区规模小、建造成本高,交通较困难,自然灾害频发,且受地形条件限制人口较难集中居住,难以吸引人口聚集和经济发展,因此城市建设规模受到约束,降低了城镇低效用地形成概率和规模;气温、光照等条件对大区域的空间布局有一定影响,主要通过人们愿意选择温暖阳光区域的行为决策来影响土地利用。②生态系统表征该区生态保护功能。生态保护区设置限制建设用地扩张,强制该区域内涵式挖掘建设用地利用潜力,减少城镇低效用地规模。③资源禀赋主要指能源、水和土地,是二、三产业发展的基础,进而反映到城镇土地利用结构、布局、效益及强度等方面。山西省是典型的资源型省份,多地市依托矿产资源开发而繁盛,其用地结构也围绕矿产产业需求布局,但随着山西省产业逐步转型,旧工矿低效用地逐渐缩减转型;干旱缺水是山西省的基本省情,也是制约山西省二、三产业及城镇化发展的短板,因此水资源总量是山西省城市建设规模及用地强度和效益的重要依据;建设用地的稀缺程度直接影响人们对低效用地的利用观念和投入成本。在建设用地资源较少地区,其稀缺程度越高迫使土地使用者采用更多资本代替土地,区域低效化程度较低,反之在建设用地资源较多的地区,土地使用成本偏低,土地使用者偏向土地代替资本,不可避免形成区域低效化[20]。

(2)低效-经济

经济系统要素是低效用地影响最重要和最直接的因素,在区域低效形成过程中也发挥着决定性作用。经济系统因子的低效化机理主要表现在经济条件、市场条件、劳动力规模、对外交通枢纽数等方面:①经济条件是土地利用的重要影响因素,主要表现在,经济增长推动了城市边缘快速扩张及中心城区发展缓慢,土地要素与经济要素配置不平衡,催生了低效用地;经济发展又保障了城镇低效用地再开发所需的资金、物质、技术和人力,推动城镇低效用地再利用,其规模呈逐步缩减趋势。②市场条件主要指土地市场发育程度对区域低效形成的影响,增加存量土地出让比例引导土地使用者更加重视存量土地有效利用,减少城镇低效用地规模。③劳动力状况表征劳动力规模,充足优质的劳动力规模为产业发展提供内生动力,推动产业用地结构优化,减轻低效。④对外交通枢纽数反映地区对外交流的强度。对外交通枢纽数影响物质、信息和能量等要素的流动性,进而影响到土地和社会经济要素的流动速度和配置效率,对低效用地的形成或再利用具有基础性影响作用。

(3)低效-社会

社会系统对区域低效化具有放大强化效应,主要表现在人口规模、公共服务能力、政策制度和技术

条件[21]。①人是经济社会发展过程中重要的能动要素，也是最具活力的要素[22]，在区域低效化过程中，它也是最具有活力的驱动因素之一，表现为人口规模变化影响土地需求的变化，通常人口规模增大进而提高人口密度，带动土地需求，引导人们追求存量低效土地的开发利用。②公共服务能力主要体现在公共产品数量，是城市建设质量和品质的直接体现，公共服务能力降低会降低土地利用的外部效益形成低效[23]。③政策与制度设计表现在土地管理制度设计的公平与效率[24]。从区域上看，国家重大的土地利用政策直接影响土地市场供需和竞争态势，比如“三线”的设置强制政府追求存量、低效用地的内涵挖掘。国土空间规划直接推动区域低效用地与其他生产生态要素空间组合布局，引起用地格局空间分异。从项目管理上，政策约束力弱、用地门槛低，对投资强度、建筑容积率、建筑密度要求不到位，也是低效用地产生的原因。④技术水平对区域低效化的影响主要表现在，技术创新提高低效用地配置能力和利用效率。如土地节约集约利用技术、土地整理复垦技术、国土空间规划技术等从根本上优化低效用地利用方式及效率，一定程度上改变低效用地空间布局[25]。

根据区域多维低效用地理论分析框架建立城镇低效用地空间分布影响因子体系，如表 1 所示。

表 1　城镇低效用地空间分异影响因子体系

Tab. 1　Index system for spatial differentiation pattern of urban underused land

系统类型	影响要素	指标	计算方法或指标释义
自然系统	自然环境	海拔(m)	提取县域的高程
		地形起伏度(m)	最高海拔与最低海拔差值
		年均气温(℃)	2017 年平均气温
	生态条件	林草地面积比(%)	林草地面积占总面积百分比
	资源禀赋	人均建设用地面积(hm^2/人)	县域建设用地总面积占总人口数比值
经济系统	经济条件	水资源总量(万 t)	反映资源承载力
		矿产资源储量(万 t)	反映资源承载力
		GDP(万元)	反映经济发展规模
		人均 GDP(元/人)	反映经济发展质量水平
	市场条件	规模以上工业企业数(个)	反映工业发展规模体量
		人均社会消费品零售额(元)	反映消费市场繁荣度
		城镇存量土地出让比例	2015—2017 年实际供应城市存量土地面积与 2015—2017 年城市土地供应总量比值，反映约束低效用地的管理效果
	劳动力状况	二、三产业从业人员数(万人)	反映劳动力规模
	对外交通枢纽数	对外交通枢纽数(个)	包括高铁站、火车站、高速口、飞机场、港口等交通枢纽总数量，反映对外交通通达情况
社会系统	人口条件	常住人口规模(万人)	反映人口规模状态
	公共服务	人均公共设施(个/万人)	反映公共产品供给能力
	政策制度	平均容积率	反映用地门槛，即管理约束力
		地均 GDP(万元/hm^2)	反映用地门槛，即管理约束力
		建设用地地均固定资产投资(万元/hm^2)	县域固定资产投资额与建设用地面积比值，反映用地门槛，即管理约束力
	技术条件	R&G 经费投入强度(%)	反映技术发展水平

2.2　研究方法

2.2.1　空间自相关

根据地理学第一定律，事物和空间邻近事物存在空间自相关，且距离越近空间依赖程度越高，具体衡量指标可采用全局空间自相关和局部空间自相关指数。全局空间自相关指数反映区域低效用地整体的空间分布特征，局部空间自相关指数反映每个县域低效用地属性特征与邻近县域低效用地特征值之间的相似性或相关性。采用 GeoDa 软件中 Queen 原则计算不规则图形的空间权重矩阵[26]。

全局 Moran's I 指数和局部 Moran's I 指数计算公式为[27]

$$I=\frac{N}{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w(i,j)}\cdot\frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w(i,j)(X_i-\overline{X})(X_j-\overline{X})}{\sum_{i=1}^{N}(X_i-\overline{X})^2} \tag{1}$$

$$I_i=\frac{X_i-\overline{X}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\frac{X_i-X}{N-1}}}\sum_{j=1}^{n}w(i,j)(X_j-\overline{X}) \tag{2}$$

式中 N——调查县域的数量,为 106 个

n——与村庄 i 相邻接的村庄个数

X_i、X_j——第 i、j 调查县域城镇低效用地面积

$\overline{X}$——X_i 均值

$\boldsymbol{w}(i,j)$——空间权重矩阵

I——全局 Moran's I 指数,$I\in[-1,1]$,$I>0$ 表示空间正相关,$I=0$ 表示空间不相关,$I<0$ 表示空间负相关

I_i——局部 Moran's I 指数,$I_i\in[-1,1]$,$I_i>0$ 表示低效用地规模同质集聚(高高或低低集聚),$I_i=0$ 表示空间不相关,$I_i<0$ 表示低效用地规模异质集聚

局部 Moran's I 显著性检验指数公式为

$$z_{-score}=\frac{1-E(I_i)}{\sqrt{\mathrm{var}(I_i)}} \tag{3}$$

式中 $E(I_i)$——期望值 $\mathrm{var}(I_i)$——方差

z_{-score}值为正且显著,代表该区域范围内相似值的高值或低值的空间集聚;值为负且显著,则代表区域范围内高值和低值交错分布形成空间集聚。

2.2.2 地理探测器

采用地理探测器探测区域城镇低效用地空间分异及其因子驱动力,包含 4 个探测器:分异及因子探测、交互作用探测、风险区探测和生态探测。本研究主要采用分异及因子探测和交互作用探测 2 个探测器[28]。

因子探测:通过分析影响因子 Z 与因变量在空间分布上的相似性,探测单个因子对因变量驱动力,用 q 表示,反映影响因子 Z 能够解释 $q\times100\%$ 的因变量,$q\in[0,1]$,值越大表示影响因子 Z 的驱动力越强[24]。q 计算式为

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2}=1-\frac{SSW}{SST} \tag{4}$$

式中 L——自变量 Z 的分区(类)数

N_h——第 h 个分区内的县域个数

σ_h^2——第 h 个分区内县域低效用地规模方差

σ^2——整个研究区的县域低效用地规模方差

SSW——层内低效用地规模方差之和

SST——全省低效用地规模总方差

交互探测:探测 2 个影响因子 Z_i和 Z_j共同作用时对自变量产生的驱动力,具体作用类型见表 2。

表 2 因子交互作用探测类型

Tab. 2 Types of interaction between two covariates

判据	交互作用
$q(Z_1\cap Z_2)<\min(q(Z_1),q(Z_2))$	非线性减弱
$\min(q(Z_1),q(Z_2))<q(Z_1\cap Z_2)<\max(q(Z_1),q(Z_2))$	单因子非线性减弱
$q(Z_1\cap Z_2)>\max(q(Z_1),q(Z_2))$	双因子增强
$q(Z_1\cap Z_2)=q(Z_1)+q(Z_2)$	独立
$q(Z_1\cap Z_2)>q(Z_1)+q(Z_2)$	非线性增强

3 结果与分析

3.1 县域低效用地规模统计特征

由图 4、5 可知,2017 年山西省县域城镇低效用地面积为 0.42 ~ 1 071.93 hm^2之间,其中面积介于 0.42 ~ 65 hm^2的县域最多,共 94 个,占 89.09%;

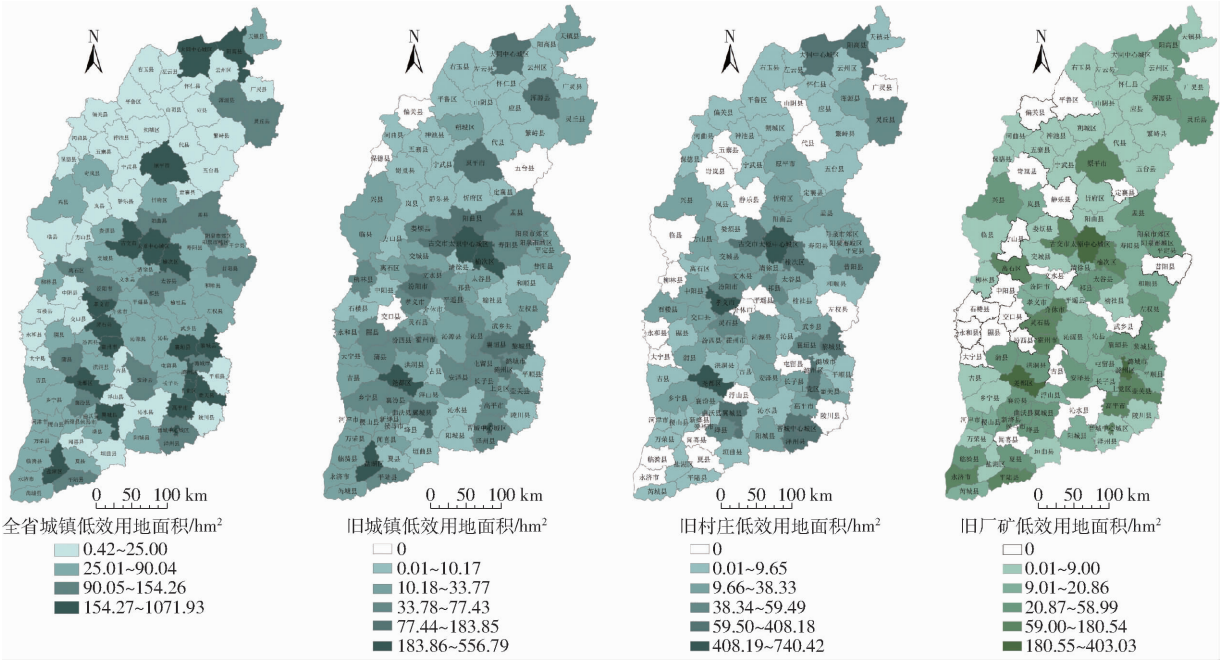

图 4 山西省城镇低效用地空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of urban underused land spatial distribution in Shanxi Province

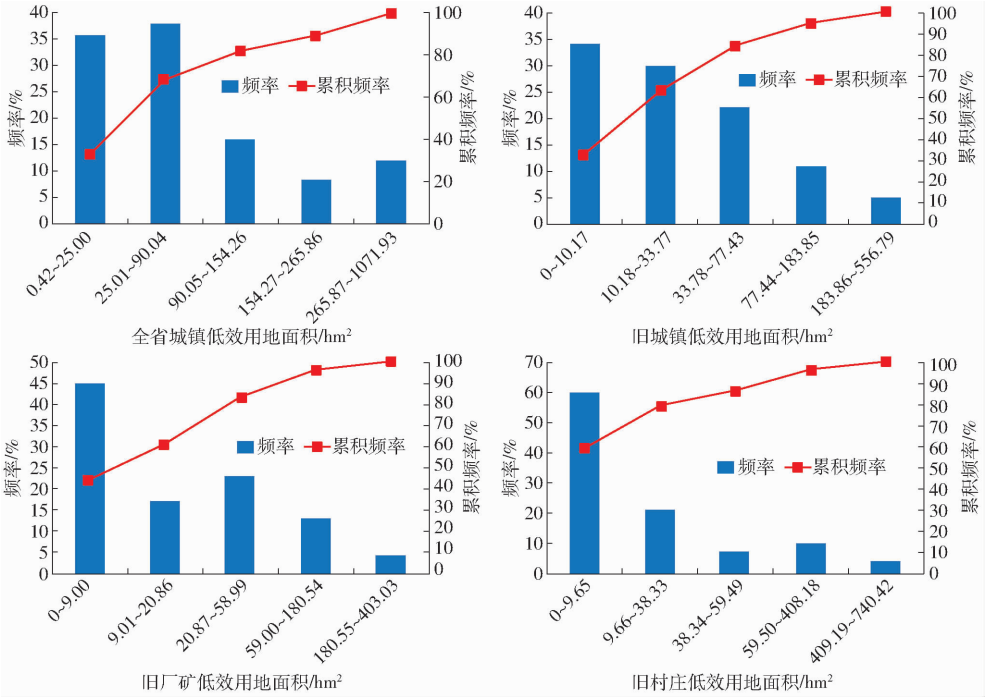

图 5　山西省低效用地面积累积频率分布

Fig. 5　Cumulative frequency distribution of urban underused land spatial distribution in Shanxi Province

265.87 ~ 1 071.93 hm^2 的县域共 12 个，占 10.91%，呈现一定的集聚分布特征；县域城镇低效用地规模均值为 118.11 hm^2，大于中位数 50.79 hm^2，峰度系数和偏度系数分别为 10.16 和 3.12，呈尖峰右偏尾分布，表明县域城镇低效用地规模呈低值集聚分布，高值零散分布。从空间格局上看，低海拔的汾河谷地分布的城镇低效用地规模高于高海拔的吕梁山和太行山区的低效用地规模。

从类型上看，县域旧城镇低效用地面积主要为 0 ~ 77.43 hm^2，只有 15.69% 的县域城镇低效用地面积在 77.43 hm^2 以上，峰度和偏度分别为 19.94 和 4.03；县域旧村庄低效用地面积主要在 0 ~ 59.49 hm^2 之间，峰度和偏度分别为 18.54 和 4.16；县域旧厂矿低效用地面积主要在 0 ~ 58.99 hm^2 之间，峰度和偏度指数为 11.85 和 3.28。总体上，3 类低效用地规模均呈尖峰右偏尾分布，为低值集聚分布特征。

3.2　县域低效用地规模空间集聚特征

3.2.1　全局空间分异特征

运用 GeoDa 计算全局自相关指数可知（表 3），山西省县域低效用地规模在 10% 的显著水平下呈现较弱的同质空间集聚性，Moran's I 指数为 0.056，z_{-score} 为 1.13，表明县域低效用地规模水平对邻近县域低效用地利用影响较弱。从类型上看，I 由大到小依次为旧厂矿（0.056）、旧城镇（0.027）、旧村庄（0.026），说明旧工矿呈现更强的集聚性，而旧城镇和旧村庄空间集聚性偏弱。

表 3　不同低效用地类型的空间集聚特征

Tab. 3　Spatial clustering characteristics of different urban underused land types

类型	面积均值/hm^2	面积中值/hm^2	Moran's I	z_{-score}
旧城镇	45.28	19.97	0.027	0.28
旧村庄	44.36	6.15	0.026	0.38
旧厂矿	38.65	11.68	0.056	1.26
全省城镇	118.11	50.79	0.056	1.13

3.2.2　局部空间分异特征

由图 6 可知，县域城镇低效用地规模显著高值集聚区（HH）主要分布在晋中部的太原中心城区与晋东南的上党区和壶关县；显著低值集聚区（LL）主要分布在晋北吕梁山区（右玉等 9 县）；显著高低集聚区（HL）主要分布在晋北的大同城区和原平市；显著低高集聚区（LH）分布在清徐等 5 县，分别围绕在太原城区和上党城区周围。从类型上看，旧城镇低效用地 HH 区集中在山西太原中心城区，LL 区分布在晋北吕梁山区（右玉等 9 县），LH 区分布在晋中部（寿阳等 4 县）；HL 区分布在晋北的浑源县和原平市，围绕在低值集聚区周围。旧厂矿低效用地 HH 区分布在晋中部（阳泉郊区和阳泉矿区）和晋东南（上党区和壶关县）；LL 分布在晋西北部（右玉等 9 县）及晋西南部（石楼等 3 县），LH 区分布在晋中部的清徐和晋东南部（长子县和平顺县），HL 区分布在晋北部（原平县）和晋中部（离市区）。旧村庄低效用地 HH 区分布在晋中部（灵石县），LL 区分布在晋北部（偏关等 6 县）及晋南部（万荣县和盐湖

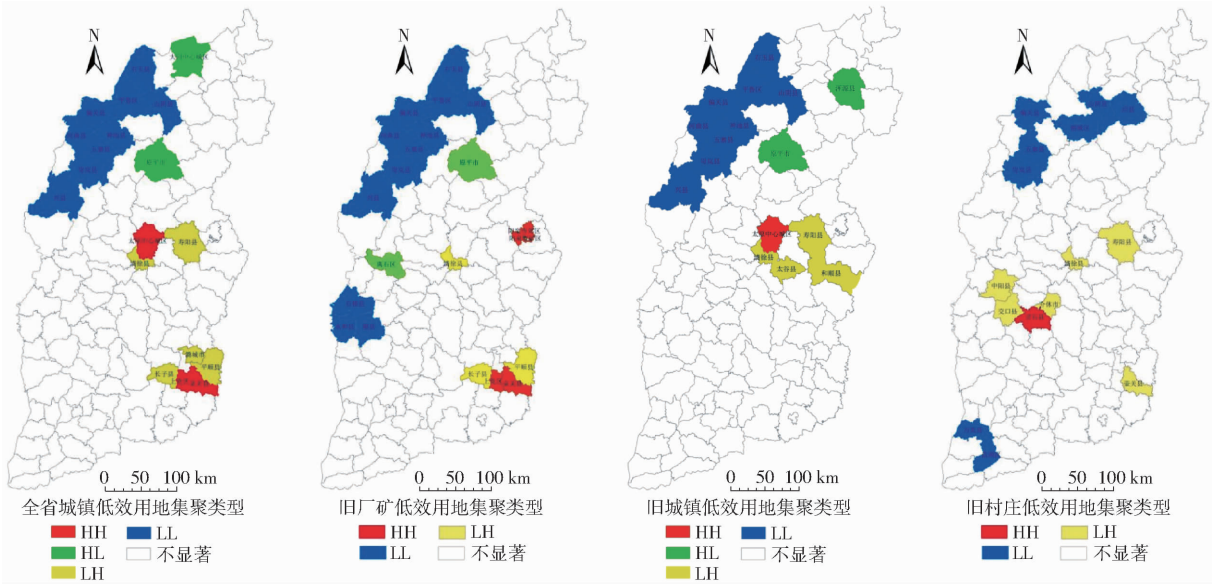

图 6 城镇低效用地局部空间相关性分析

Fig. 6 Local spatial correlation of urban underused land

区),LH 区离散分布在晋中部(寿阳等 5 县)及晋东南部(壶关县)。

总体而言,山西省城镇及各类型低效用地的 HH 区主要分布在晋中部及晋南部的太原、阳泉、灵石、长治等中心城区,LL 区主要分布在晋西北的吕梁山区,LH 区主要围绕在各中心城区周围,HL 区分布较零散。太原等中心城区人口、经济和地形条件等核心优势明显,在城镇化快速进程中,以土地作为经济发展的条件,出现多批少用或批而未用等浪费土地现象,形成低效用地 HH 区;而晋西北吕梁地区由于地形条件限制,建设用地面积有限,限制了低效用地产生,形成 LL 区;LH 区主要围绕具有核心优势的中心城区周围。

3.3 县域低效用地规模影响因素的地理探测器分析

根据地理探测器对自变量为类型变量的要求,借助专家经验法和自然断裂法,将因子分为高、中高、中低和低共 4 级,分别以全省城镇、旧城镇、旧厂矿和旧村庄低效用地规模水平为因变量,探讨各因子对不同类型低效用地的影响作用。

3.3.1 因子探测

因子探测是通过比较因子驱动力 q 识别空间分异的主导因子(表 4)。从全省看,常住人口规模(q = 0.498)、GDP(q = 0.447)、对外交通枢纽数(q = 0.291)、地均 GDP(q = 0.237)和规模以上工业企业数(q = 0.181)是山西省城镇低效用地规模空间分异的主导因子,且都通过了显著性检验(P < 0.1)。表明山西省低效用地规模空间分异主要受人口、经济、政策和交通等社会经济类因子影响,而人均建设用地面积、水资源总量和矿产资源储量等自然资源类因子的q较小;社会经济类因子与土地利用转型

表 4 山西省城镇低效用地及不同类型低效用地影响因素的 q 分布

Tab. 4 q distribution of influencing factors of different urban underused land types in Shanxi Province

因子	q			
	全省城镇低效用地	旧厂矿低效用地	旧城镇低效用地	旧村庄低效用地
海拔	0.037	0.058	0.035	0.044
地势起伏度	0.071	0.120	0.038	0.059
年均气温	0.095	0.106	0.081	0.062
林草地面积比	0.032	0.044	0.011	0.067
人均建设用地面积	0.007	0.032	0.012	0.010
水资源总量	0.002	0.011	0.013	0.013
矿产资源储量	0.001	0.026	0.009	0.002
GDP	0.447	0.192	0.324	0.421
人均 GDP	0.064	0.059	0.037	0.071
规模以上工业企业数	0.181	0.045	0.093	0.218
人均社会消费品零售额	0.125	0.099	0.104	0.105
城镇存量土地出让比例	0.116	0.305	0.019	0.059
二三产业从业人员数	0.099	0.080	0.068	0.077
对外交通枢纽数	0.291	0.128	0.172	0.237
常住人口规模	0.498	0.382	0.363	0.435
人均公共基础设施数	0.147	0.086	0.113	0.114
平均容积率	0.045	0.009	0.020	0.037
地均 GDP	0.237	0.353	0.181	0.222
建设用地地均固定资产投资	0.093	0.045	0.052	0.091
R&D 经费投入强度	0.040	0.062	0.025	0.028

有密切联系,其空间分异特征明显,反映社会经济类要素空间流动引导效果差,与土地要素空间配置失衡,对城镇低效用地空间分异驱动显著;而自然资源对低效用地的驱动力较弱,一方面是与资源禀赋的地域性有关,另一方面经济技术高速发展削弱了自然因子对土地利用限制的影响。

从类型来看,旧厂矿低效规模空间分异的主导因子为常住人口规模(q = 0.382)、地均 GDP(q =

0.353)、城镇存量土地出让比例(q = 0.305)、GDP(q = 0.192)及对外交通枢纽数(q = 0.128)，且都通过了显著性检验(P < 0.1)；而矿产资源储量、水资源总量和平均容积率的 q 值偏小，表明资源禀赋和制度政策对旧厂矿低效用地规模的驱动力较弱；主要因为资本、人才、交通、市场等社会经济类因子促进工业发展集聚，竞争力增强，政府加强投资，因子集聚程度不同影响全省工业用地空间布局；而自然资源因子逐步被技术和劳动力而替代，驱动力逐渐减弱。旧城镇低效用地规模空间分异的主导因子为社会经济类因子，主要包括常住人口规模(q = 0.363)、GDP(q = 0.324)、地均 GDP(q = 0.181)、对外交通枢纽数(q = 0.172)和人均公共基础设施数(q = 0.113)，且都通过了显著性检验(P < 0.1)；而自然类因子中人均建设用地面积、林草地面积比例和矿产资源储量对旧城镇低效用地类型的驱动力偏弱；人口、GDP、地均 GDP、交通及公共服务等都是县域发展驱动因子，但由于随着区域经济的发展以及城市扩张，一方面社会经济类要素向新建城区集聚，中心城区发展驱动力被削减，基础设施陈旧、落后，经济衰落；另一方面新增建设用地供给过剩，综合效应催生低效用地。旧村庄低效用地规模空间分异的主导因子为常住人口规模(q = 0.435)、GDP(q = 0.421)、对外交通枢纽数(q = 0.237)、地均 GDP(q = 0.222)和规模以上工业企业数(q = 0.218)，且都通过显著性检验(P < 0.1)；而水资源总量、人均建设用地面积和矿产资源储量对旧村庄低效用地类型的驱动力偏弱。随着城镇化加快，部分村庄出现“有宅无房，有房无人，外实内空”的闲置凋敝低效用地，其主要原因是村庄偏远交通不便、经济支柱产业缺失、经济发展迟缓、农村人口减少，对土地高效利用没有迫切的市场需求，上述因子的空间分布差异直接影响了旧村庄低效用地空间分异格局。

总体而言，社会经济要素是影响各类低效用地空间分异的重要驱动因子，而自然因素对各类低效用地空间分异的驱动力偏弱。

3.3.2　交互探测

通过显著性检验的 20 个因子对山西省及 3 个类型低效用地的交互作用类型以非线性增强为主、双因子增强为辅，因子交互作用的驱动力大于单因子驱动力。对山西省城镇低效用地及各类型而言，常住人口规模、地均 GDP、GDP、R&D 经费投入强度 4 个因子驱动力较强，其他因子和这 4 个因子交互作用后 q 均有不同程度提高；其中常住人口规模对因子交互作用的影响力最强，凸显人力资源在区域低效中的驱动效应(图 7，受篇幅限制未表示出各类

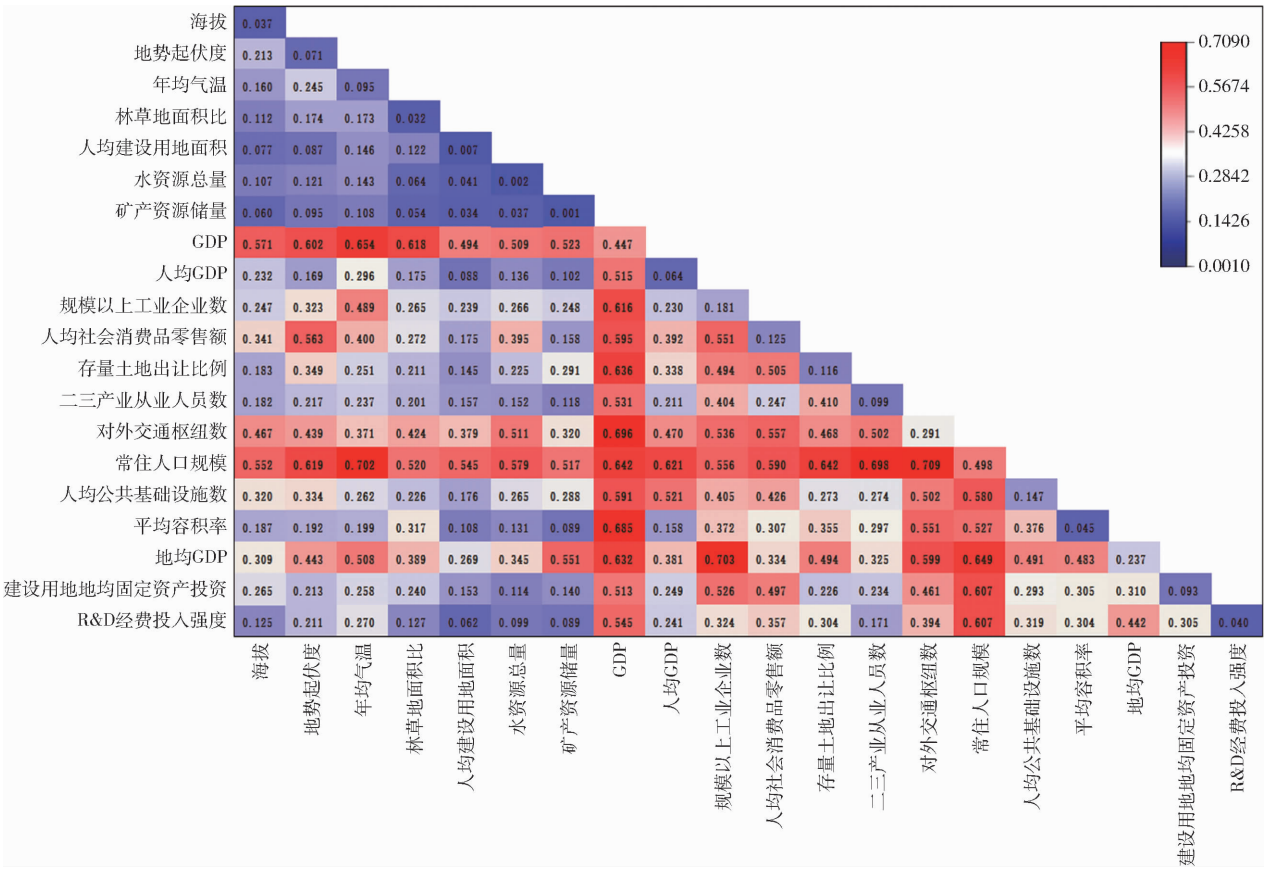

图 7　山西省城镇低效用地空间分异的因子交互探测结果

Fig. 7　Interactive detection results of spatial differentiation pattern of urban underused land in Shanxi Province

型低效用地影响因子的交互探测结果)。

就各类型而言,对旧厂矿低效用地空间分异驱动力较高前5组由大到小依次为地均GDP∩人均公共设施数(q=0.679 8)、地均GDP∩常住人口规模(q=0.649)、存量土地出让比例∩二三产业从业人员数(q=0.614)、存量土地出让比例∩GDP(q=0.613)、存量土地出让比例∩人均GDP(q=0.581),且经济系统因子间、经济系统因子与自然系统因子的交互作用均表现为非线性增长,说明经济因子的交互作用更强,对旧厂矿低效用地空间分异驱动显著。社会系统因子中(除平均容积率和建设用地地均固定资产投资)与其他因子交互作用以双因子增强为主,说明社会系统因子对旧厂矿低效用地规模驱动较大,但低于经济系统因子交互作用产生的驱动力。对旧城镇低效用地驱动力较高的前5组由大到小依次为常住人口规模∩对外交通便利度(q=0.804)、常住人口规模∩二三产业从业人口数(q=0.692)、常住人口规模∩年均气温(q=0.708)、对外交通枢纽数∩GDP(q=0.678)、常住人口规模∩存量土地出让比例(q=0.677),社会系统因子与其他因子交互作用类型以非线性增强为主,总体高于经济系统因子(除GDP)与自然系统因子交互作用的q值,表明社会系统因子对旧城镇低效用地的驱动力更强。对旧村庄低效用地驱动力较高的前5组由大到小依次为地均GDP∩规模以上工业企业数(0.867)、地均GDP∩GDP(0.764)、GDP∩林草地面积(0.695)、GDP∩海拔(0.590)、GDP∩年均气温(0.548),社会系统因子与其他因子交互作用类型以非线性增强为主,而经济系统因子中只有GDP与其他因子交互作用的q有明显提高,显然社会系统因子对旧村庄低效用地规模的驱动更强,而经济系统和自然系统对旧村庄低效用地规模的影响偏弱。

3.3.3 主导因子分异机理

基于上述影响因子探测结果,结合区域低效理论分析框架,进一步探讨影响城镇低效用地规模的主导因子及内在机理,主导因子空间分异格局如图8所示。

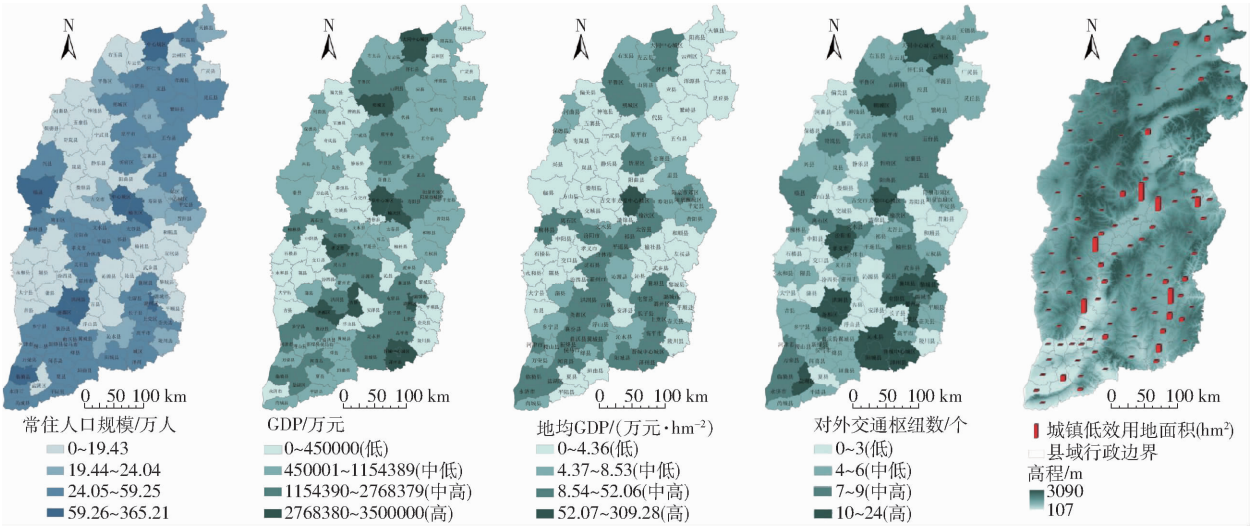

图8 山西省城镇低效用地主导因子空间分异格局

Fig. 8 Spatial differentiation pattern of leading factors of urban underused land in Shanxi Province

(1)常住人口规模

人口规模反映了县域人口集聚规模,刻画了低效用地的主体发展能力和人力资本潜力水平。因子探测结果显示,常住人口规模是影响因子中驱动力最强的因子,q为0.498。从省域尺度看,低效用地规模与常住人口呈一定负相关关系,多数县域人口规模越高,低效用地规模相对较低。常住人口规模是地区社会经济发展的重要基础,也是市场需求的重要来源,常住人口规模越高,社会发展所依靠的人力资源及其创造的资本技术越多,土地市场需求也会越旺盛,有助于降低城镇低效用地规模。但是,常住人口规模越大对土地需求越大,推动城市快速扩张,造成建设用地粗放利用,城市低效用地随之形成,比如太原、大同及长治中心城区。

(2)GDP

因子探测结果显示,GDP是经济系统中驱动力较强的影响因子,q为0.447。从空间分布上,经济发展水平低的县域主要分布在吕梁山和太行山等高海拔地区,且县域城镇低效用地规模偏低;经济发展水平高的县域主要分布在平川地区,且低效用地规模较高;经济发展水平与低效用地规模在空间分布上呈正相关关系,经济发展水平高的县域,对建设用地需求较高,再加上地方政府对土地财政依赖,需求供给双向提高,可能造成土地供给过量及土地利用

效率偏低，形成低效。

（3）地均 GDP

因子探测结果显示，地均 GDP 是山西低效用地空间分异的主导因子，q 为 0.237。从空间格局上看，地均 GDP 水平却与低效用地规模分布总体呈正相关关系，即地均 GDP 水平越高，低效用地规模越高，尤其是在山西省平川地区表现更突出，说明在城镇化初期，山西省土地利用政策约束力度偏弱，建设用地开发利用呈高投入低产出的低效外延扩张模式发展，土地利用效率偏低。

（4）对外交通枢纽数

该值反映了县域到其他区域的便捷程度及区位条件，表征了火车站、港口、长途车站、机场、高速公路出入口和其他重要对外交通节点的数目，是经济系统中影响较显著的因子，q 为 0.291，且通过了显著性检验（$P < 0.1$）。低效用地规模与对外交通枢纽数呈一定的空间正相关关系，即对外交通枢纽数越高，低效用地规模越高。对外交通枢纽数决定了县域的社会、自然和经济要素之间流动和集聚的通畅性，进而耦合又决定土地利用效益区位差异。在省域内，对外交通枢纽数越高，其土地利用效益应该随之增加，但由于用地结构和用地方式不合理，造成土地利用效益偏低形成低效用地。如太原中心城区的城中村、城边村和工业用地，其用地方式与区位条件不匹配造成预期用地效益低下，形成低效。

（5）海拔

因子探测结果显示，海拔是决定要素空间分布的基础影响因子，q 为 0.037。从低效用地规模与海拔的空间分异特征看，两者具有较强的负相关性，海拔较高的区域，低效用地规模偏低。海拔作用于低效用地规模分异的途径主要表现在两方面：海拔较高的地区空间约束条件较强，建设用地供给有限；海拔高的区域，经济发展水平偏低，建设用地需求偏低，没有快速扩张的过程，低效用地规模有限。

3.4　讨论

受资料限制，本研究还存在一些不足。首先从研究尺度上，由于数据限制无法从地块尺度对低效用地的空间布局差异进行研究，研究结果不全面；其次从研究时间上，仅针对 2017 年的数据进行研究，研究结果缺乏动态趋势分析；第三，空间要素对低效用地的影响是复杂非线性的，还需要从多角度多理论继续完善理论框架。因此应深入探究城镇低效用地空间分布与空间规划的互动衔接，实现低效用地的高效持续利用，以便制定更具有针对性的国土空间规划。

4　结论

（1）区域多维低效用地系统主要从 2 类要素和 3 大维度来解析，即“人”、“地”2 类要素代表的社会、经济和自然 3 大维度。自然要素对区域低效用地空间分异的影响是固有的且难以改变，在空间分异过程中发挥着基础性作用，主要表现在自然环境、生态条件、资源禀赋等方面。经济要素在城镇低效用地空间分异中发挥着重要决定性作用，主要表现在经济条件、市场条件、劳动力状况及对外交通枢纽数。社会要素则发挥着放大强化作用，主要包括人口条件、公共服务、政策制度和技术条件等。

（2）山西省城镇低效用地空间布局呈明显分异特征。城镇低效用地以低值集聚分布为主，高值分布离散为辅；山西省城镇低效用地空间分布呈较弱的空间正相关性，从类型上分析，旧厂矿低效用地呈现更强的集聚性，而旧城镇和旧村庄低效用地空间集聚性偏弱；总体上经济发达县域的城镇低效用地规模高于经济落后县域，平原地区县域的城镇低效用地规模高于山区丘陵地区，和全国低效用地空间分布规律相一致。

（3）山西省城镇低效用地空间分异与空间要素密切相关，是多空间要素综合作用的结果。从整体上看，常住人口规模、GDP、对外交通枢纽数、地均 GDP 和规模以上工业企业数是山西省城镇低效用地规模空间分异的主导因子；常住人口规模、地均 GDP、存量土地出让比例、GDP、对外交通枢纽数、人均公共基础设施数和规模以上工业企业数据是 3 个类型低效用地空间分异的主导因子，但各主导因子在不同类型低效用地的驱动力有一定差异。双因子交互作用类型以非线性增强为主、双因子增强为辅，且交互作用驱动力强于单因子驱动力。

参　考　文　献

[1]　黄薇，肖晓锵，陈杰. 如何对低效用地说“不”——城镇低效用地再开发的实践与思考[J]. 中国土地，2014(4)：29－31.

[2]　刘新平，严金明，王庆日. 中国城镇低效用地再开发的现实困境与理性选择[J]. 中国土地科学，2015，29(1)：48－54.
LIU Xinping, YAN Jinming, WANG Qingri. Practical dilemma and rational choice of underused urban land readjustment in China[J]. China Land Sciences, 2015,29(1):48－54. (in Chinese)

[3]　罗遥，吴群. 城市低效工业用地研究进展——基于供给侧结构性改革的思考[J]. 资源科学，2018，40(6)：1119－1129.
LUO Yao, WU Qun. Research progress on inefficient urban industrial land based on supply side structural reform[J].

Resources Science,2018,40(6):1119 - 1129. (in Chinese)
[4] 张鸿雁.空间正义:空间剩余价值与房地产市场理论重构——新城市社会学的视角[J].社会科学,2017(1):53 - 63.
ZHANG Hongyan. Spatial justice: theory of spatial surplus value and innovation of retheorization of real estate market—perspective from new urban sociology[J]. Journal of Social Sciences, 2017(1):53 - 63. (in Chinese)
[5] 卢宗亮,王红梅,刘光盛,等.生态—经济竞合下低效建设用地再开发空间重构——以湛江市中心城区为例[J].中国土地科学,2018,32(12):34 - 41.
LU Zongliang, WANG Hongmei, LIU Guangsheng, et al. The spatial reconstruction of inefficient land redevelopment under ecological - economic competition and cooperation: a case study of urban district in Zhanjiang[J]. China Land Science, 2018, 32(12):34 - 41. (in Chinese)
[6] 赵定涛,吴丽,范进.中国城市建设用地集约利用水平差异的影响因素分析[J].中南大学学报(社会科学版),2014,20(2):1 - 6.
ZHAO Dingtao, WU Li, FAN Jin. Driving factors in the differences of urban construction land intensive utilization level in China[J]. Journal of Central South University (Social Science), 2014,20(2):1 - 6. (in Chinese)
[7] 曾乐春,龚军伟,朱一中.低效建设用地再开发的制度困境与对策——以广东省为例[J].中国土地,2021(3):41 - 43.
[8] 张梦琳. 集体建设用地流转的资源配置效应与优化调控研究[D].南京:南京农业大学,2010.
ZHANG Menglin. Study on resource allocation effects and optimization control of collective construction land transfer[D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2010. (in Chinese)
[9] 常骞.低效闲置用地再开发对策研究:以江苏省泰兴市为例[J].中国土地,2017(5):54 - 55.
[10] 马安胜,雷涯邻,袁国华,等.东北三省闲置低效用地成因分析及对策建议[J].中国人口·资源与环境,2015,25(增刊1):102 - 103.
MA Ansheng, LEI Yalin, YUAN Guohua, et al. Cause of idle and inefficient lands and suggestions in Northeast China[J]. China Population, Resources and Environment, 2015,25(Supp.1):102 - 103. (in Chinese)
[11] 金晶,黄忠华,陈多长.多重逻辑下低效工业用地改革的困境与出路[J].管理现代化,2021,41(2):70 - 73.
[12] 丁一,郭青霞,陈卓,等.系统论视角下欠发达县域城镇低效用地识别与再开发策略[J].农业工程学报,2020,36(14):316 - 326.
DING Yi, GUO Qingxia, CHEN Zhuo, et al. Identification and redevelopment strategy of underused urban land in underdeveloped counties using system theory[J]. Transactions of the CSAE, 2020,36(14):316 - 326. (in Chinese)
[13] 徐刚,廖胤希,冯刚,等.实施导向的用地精细化评价及分类设计导引:以上海松江经开区城市设计为例[J].城市规划,2018,42(5):69 - 77,93.
XU Gang,LIAO Yinxi,FENG Gang,et al. Refined evaluation and classified urban design guidance of land resources in practical perspective: a case study of Shanghai:Songjiang economic and technological development zone[J]. City Planning Review, 2018,42(5):69 - 77,93. (in Chinese)
[14] 曹飞.城市存量建设用地低效利用问题的解决途径——以工业用地为例[J].城市问题,2017(11):72 - 77.
CAO Fei. Solution on the inefficient use of urban stock construction land—take industrial land as an example[J]. Urban Problems, 2017(11):72 - 77. (in Chinese)
[15] 陈旭东,任士伟."腾笼换鸟"的县域实践——嘉善县盘活利用土地和整治提升"低小散"块状行业的调查[J].浙江国土资源,2017(9):42 - 43.
[16] 张赛赛,冯秀丽,马仁锋,等.镇域尺度城镇低效用地空间格局分析——以宁波市为例[J].华中师范大学学报(自然科学版),2017,51(4):542 - 547.
ZHANG Saisai, FENG Xiuli,MA Renfeng, et al. Spatial pattern analysis of urban inefficient land in the town scale—a case study of Ningbo[J]. Journal of Central China Normal University(Natural Sciences), 2017,51(4):542 - 547. (in Chinese)
[17] 刘彦随.现代人地关系与人地系统科学[J].地理科学,2020,40(8):1221 - 1234.
LIU Yansui. Modern human-earth relation-ship and human-earth system science[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(8):1221 - 1234. (in Chinese)
[18] 王家庭, 张换兆, 季凯文. 中国城市土地集约利用:理论分析与实证研究[M]. 天津:南开大学出版社, 2008.
[19] 章金城,周文佐.四川省地形起伏度与人口/经济的空间自相关关系[J].水土保持通报,2019,39(1):250 - 257.
ZHANG Jincheng, ZHOU Wenzuo. Spatial autocorrelation between topographic relief and population/economy in Sichuan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(1):250 - 257. (in Chinese)
[20] 张佳婧. 城镇建设用地集约利用水平时空变化及其与土地财政关系研究[D].杭州:浙江大学,2019.
ZhANG Jiajing. Spatial-temporal analysis of intensification level of urban construction land and its relationship with land finance[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2019. (in Chinese)
[21] 肖林,焦华富.皖江城市带城市土地集约利用与社会经济发展协调性分析[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2012,35(4):365 - 370.
XIAO Lin, JIAO Huafu. Coordination evaluation between urban land intensive use and economic society development in the cities along Wanjiang River in Anhui Province[J]. Journal of Anhui Normal University(Natural Science),2012,35(4):365 - 370. (in Chinese)
[22] 密长林. 土地节约集约利用与经济发展的协调性研究[D].天津:天津大学,2015.
MI Changlin. Research on the coordination of land intensive use and economic development[D]. Tianjin:Tianjin University, 2015. (in Chinese)

(下转第 208 页)

[10] 王文杰,贡亮,汪韬,等. 基于多源图像融合的自然环境下番茄果实识别[J]. 农业机械学报,2021,52(9):156 - 164.
WANG Wenjie, GONG Liang, WANG Tao, et al. Tomato fruit recognition based on multi-source fusion image segmentation algorithm in open environment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021,52(9):156 - 164. (in Chinese)
[11] 冯俊惠,李志伟,戎有丽,等. 基于改进 Hough 圆变换算法的成熟番茄果实识别[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(4): 191 - 196.
FENG Junhui, LI Zhiwei, RONG Youli, et al. Identification of mature tomatoes based on an algorithm of modified circular Hough transform[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42 (4): 191 - 196. (in Chinese)
[12] GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014: 580 - 587.
[13] LI J, LIANG X, SHEN S M, et al. Scale-aware Fast R - CNN for pedestrian detection[C]// IEEE Transactions on Multimedia, 2015.
[14] AMAIA S, XAVIER G, FERRAN M, et al. Faster R - CNN features for instance search[C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016: 394 - 401.
[15] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: unified, real-time object detection[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
[16] WEI Liu, DRAGOMIR A, DUMITRU E, et al. SSD: single shot multibox detector[C]// ECCV, 2016: 21 - 37.
[17] FRIBERG B, SENNERBY L, LINDEN B, et al. Stability measurements of one-stage Brnemark implants during healing in mandibles[J]. International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, 2010, 28(4):266 - 272.
[18] 成伟,张文爱,冯青春,等. 基于改进 YOLOv3 的温室番茄果实识别估产方法[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(4):177 - 182.
CHENG Wei, ZHANG Wen'ai, FEI Qingchun, et al. Method of greenhouse tomato fruit identification and yield estimation based on improved YOLOv3[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(4): 177 - 182. (in Chinese)
[19] 赵春江,文朝武,林森,等. 基于级联卷积神经网络的番茄花期识别检测方法[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 143 - 152.
ZHAO Chunjiang, WEN Chaowu, LIN Sen, et al. Tomato florescence recognition and detection method based on cascaded neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(24): 143 - 152. (in Chinese)
[20] 项荣,段鹏飞. 番茄采摘机器人夜间照明系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016,47(7): 8 - 14.
XIANG Rong, DUAN Pengfei. Design and experiment of night lighting system for tomato picking robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(7): 8 - 14. (in Chinese)
[21] JU Moran, LUO Haibo, WANG Zhongbo, et al. The application of improved YOLO v3 in multi-scale target detection[C]// Applied Sciences-Basel, 2019,9(18): 3775.
[22] XIAO Liuyun, ZHOU Peng, XU Ke, et al. Multi-directional scene text detection based on improved YOLO v3[J]. Sensors, 2021,21(14): 4870.

(上接第 180 页)

[23] 曾文,向梨丽,张小林. 南京市社区服务设施可达性的空间格局与低收入社区空间剥夺研究[J]. 人文地理,2017(1): 73 - 81.
ZENG Wen, XIANG Lili, ZHANG Xiaolin. Research in spatial pattern of accessibility to community service facilities and spatial deprivation of low income community in Nanjing[J]. Human Geography, 2017(1):73 - 81. (in Chinese)
[24] 周扬,李寻欢,童春阳,等. 中国村域贫困地理格局及其分异机理[J]. 地理学报,2021,76(4):903 - 920.
ZHOU Yang, LI Xunhuan, TONG Chunyang, et al. The geographical pattern and differentiational mechanism of rural poverty in China[J]. Acta Geographica Sinica,2021,76(4):903 - 920. (in Chinese)
[25] 王丹,方斌,陈正富. 基于外部性理论的单中心城市土地经济效益测度与低效用地诊断研究——以扬州市区为例[J]. 中国土地科学,2018,32(6):61 - 67.
WANG Dan, FANG Bin, CHEN Zhengfu. Land economic benefit measurement and underused land diagnosis of single central city based on the externality theory: a case study in Yangzhou City[J]. China Land Science, 2018,32(6):61 - 67. (in Chinese)
[26] 戴尔阜,王亚慧. 横断山区产水服务空间异质性及归因分析[J]. 地理学报,2020,75(3):607 - 619.
DAI Erfu, WANG Yahui. Spatial heterogeneity and driving mechanisms of water yield service in the Hengduan mountain region [J]. Acta Geographica Sinica, 2020,75(3):607 - 619. (in Chinese)
[27] 杨建宇, 徐凡,赵龙,等. 基于综合质量空间自相关性分析的耕地保护分区方法[J]. 农业机械学报,2017,48(3):156 - 163.
YANG Jianyu, XU Fan, ZHAO Long, et al. Protection zoning of cultivated land comprehensive quality based on spatial autocorrelation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(3):156 - 163. (in Chinese)
[28] 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. (in Chinese)