数字地形特征对土地利用空间分布的定量影响

赵尚民

太原理工大学矿业工程学院,测绘科学与技术系,太原 030024

摘要　为了获取地形对土地利用空间分布的定量影响,以山西省为研究区,基于数字高程模型(DEM)数据生成4种地形因子(海拔高度、起伏度、坡度和坡向)表征数字地形特征,并通过遥感影像解译获得土地利用空间分布,利用地理探测器方法定量分析地形因子对土地利用空间分布的分异性、相关性及其交互作用的定量影响。研究结果表明:起伏度与坡度的空间分异性最显著(显著性水平p<0.01);起伏度空间相关性最强(空间统计量q=0.012),其次为坡度(q=0.010);任意两种地形因子交互均具有非线性增强作用,其中海拔高度与起伏度的交互作用最强(q=0.034)。因此,起伏度是影响土地利用空间分布最重要的单个地形因子,它和海拔高度一起对土地利用空间分布发挥重要作用。

关键词　数字地形因子;土地利用类型;地理探测器;空间分异性;空间相关性

作为环境要素最重要的组成部分之一,土地是人类社会和经济活动的重要载体[1-2]。土地利用则指人类对土地及其资源进行开发的直接结果[1,3]。同时,土地利用的空间分布状况对生态环境、土壤、水资源与社会经济发展进程有重要影响[4],同时影响着区域、全国甚至全球范围的政府决策[5]。因此,土地利用空间分布特征的相关分析成为地学研究的热点之一[6-8]。

作为最基本的自然地理要素,地形通过控制地球表层水分与热量的地域再分配,对土壤、植被、物质迁移以及生态系统的演替与发展有重要的间接影响[4,9],从而对土地利用的空间分布格局及特征具有明显的控制作用[10-12]。因此,大量学者进行了地形分布对土地利用类型之间相互关系的深入研究[13-15]。然而,多数研究主要对土地利用在不同地形类型下的分布情况或者土地利用与地形因子的空间叠加分布进行分析,而缺少对不同地形因子对土地利用类型的影响程度进行量化分析。

王劲峰等[16-19]开发出的地理探测器模型为分析数字地形特征对土地利用空间分布的定量提供

收稿日期:2019-11-11;修回日期:2020-04-24

基金项目:山西省自然科学基金项目(201901D111098);国家重点研发计划项目(2017YFB0503603)

作者简介:赵尚民,副教授,研究方向为数字地形地貌与生态环境遥感,电子信箱:zhaoshangmin@tyut.edu.cn

引用格式:赵尚民. 数字地形特征对土地利用空间分布的定量影响[J]. 科技导报, 2020, 38(13): 57-64; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.13.007

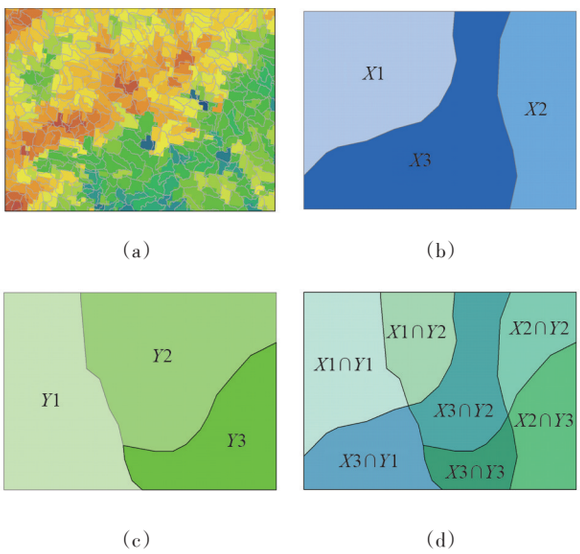
了途径,它不仅可以获取不同地理要素间的空间分异性的显著程度,同时可以定量分析地理要素空间分布的相关性,从而根据相关性获得地形及其交互因子对土地利用空间分布影响程度的定量数据,并在疾病、城镇化、土地利用、经济、气候、水文、农业和人口分布等多种要素空间分布格局的影响要素探索中得到广泛应用[20-24]。

本研究以山西省为研究区,基于地理探测器方法,通过遥感解译获得土地利用空间分布特征,利用数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据计算数字地形特征,进而探索山西省数字地形特征对土地利用空间分布类型的定量影响。

1 地理探测器方法介绍

地理探测器方法主要用来定量分析数字地形特征对土地利用类型空间分布的影响,不仅分析各个地形因子对土地利用空间分布的影响大小,同时确定因子的组合对土地利用空间分布的影响,即确定组合因子的情况及2个因子之间的相互作用情况,基本理论如下。

某一待探测要素D在区域中的分布如图1(a)所示。对于一离散要素X,在区域内的分布如图1(b)所示。



(a) (b) (c) (d)

图1 地理探测器方法示意[22]

D与X之间的空间相关性用统计量q表示

$$q=1-\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{Z=1}^{L}N_z\sigma_z^2 \quad (1)$$

式中,σ_z^2是要素D在X要素第Z个区域的方差,N_z是第Z个区域的采样点数目,σ^2是D在整个区域的全局方差,N是总采样点数目,L是要素X的区域数[19, 22]。

如果要素X能够完全控制要素D的空间分布,那么q的值为1;如果要素X与要素D的空间分布完全无关,那么q的值为0。因此,一般情况下,q的值处于0到1之间。根据q值的大小,可以判断要素对D的影响大小:q值越大,即影响越大。对于要素Y及叠加要素$X\cap Y$(图1(c)、(d)),根据$q(X)$、$q(Y)$、$q(X\cap Y)$和$q(X)+q(Y)$之间的相互对比结果,可以判断X与Y两个要素独立还是交互、交互增强还是减弱、线性还是非线性等空间相互关系。

因此,根据各种要素的q值及两种要素叠加后的q值可以确定要素之间的相关关系及确定某一要素的控制要素与几种控制要素的组合等定量影响特征。

2 研究区域与数据源

2.1 研究区

山西省位于中国中部,北邻内蒙古,西望陕西,南接河南,东与河北以太行山相连。山西省呈近南北走向,东部是地形第二级台阶与第三级台阶的分界——太行山脉;中间是新生代断陷盆地,自北至南依次为大同盆地、忻定盆地、太原盆地、临汾盆地和运城盆地;西部是黄土覆盖的吕梁山脉,属于黄土高原的东缘。山西省作为山西高原的主体,在地形分布上具有明显的地域特征(图2)。

在地形分布上,山西省中间盆地地区海拔高度低,两侧山地海拔高度高;中间盆地坡度小,起伏度低;两侧山地坡度大,起伏度高;同时,从北到南海拔高度呈逐渐降低趋势。在土地利用分布上,耕地和大的建筑用地(如城市和大的厂区等)主要分布在中部盆地区域,林地、草地和小的建筑用地(如居民点和小厂矿等)主要分布在两侧的山地地区,河

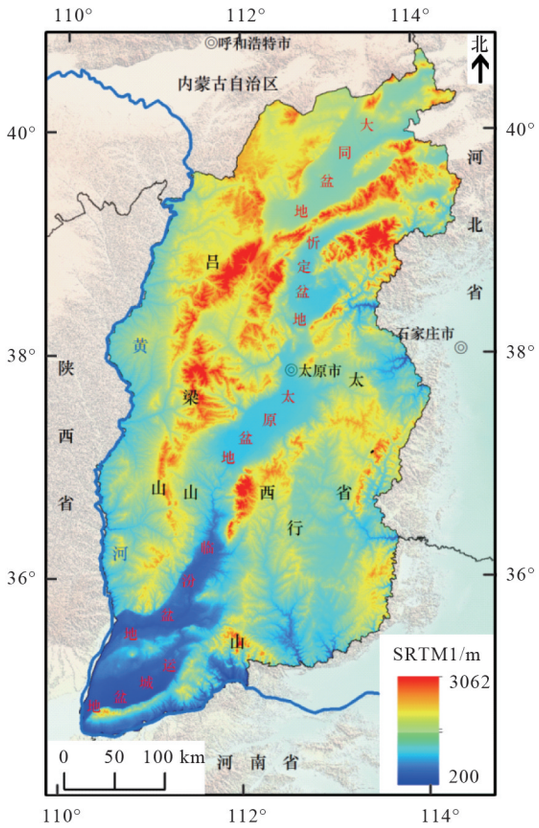


图2　山西省地势及SRTM1 DEM数据图

网水系在山间广布,大的河流和水域则主要分布在盆地地区。

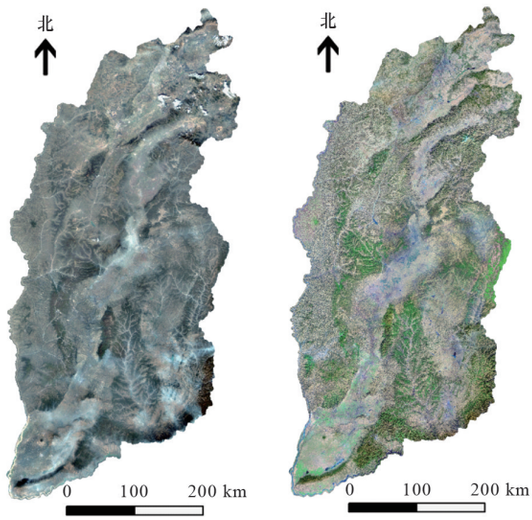
2.2　数据源

数据源包括源数据和派生数据。源数据为SRTM1 DEM数据;派生数据则为土地利用数据与数字地形特征数据。

2.2.1　源数据

遥感影像是获取地表信息的重要基础数据源。作为获得山西省2015年土地利用数据的源数据,遥感影像主要采用2015年夏季的高分影像和Landsat 8影像(图3)。高分影像为采购产品,空间分辨率16 m;Landsat 8影像基于753波段叠加并与全色波段融合,空间分辨率15 m。两幅影像相互对比和参照,可以有效消除有云区域,提高解译结果的精度和质量。

SRTM1 DEM数据源自美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)于2000年通过"奋进"号航天飞机联合测量获取的雷达影像数据,覆盖范围为56°S~60°N,约占地球陆地面积的80%,分辨率为1"(约30 m),称为SRTM1 DEM。通过下载山西省范围内的SRTM1 DEM源数据(https://earthexplorer.usgs.gov/),并在ArcGIS软件中进行拼接、转投影等处理,形成了山西省SRTM1 DEM数据(图2),作为本研究中数字地形特征提取的基础数据。



(a) 高分影像　(b) Landsat 8影像

图3　山西高原2015年遥感影像数据

2.2.2　派生数据

1) 土地利用空间分布数据。

首先利用1:50000地形图对山西省2015年的遥感影像进行几何校正,然后参考2000、2005和2010年的土地利用数据与Google Earth等高清影像资料,再利用ArcGIS平台在1:50000以上尺度下进行遥感目视解译,最后对目视解译结果进行野外验证和对应修改,使遥感目视解译精度在95%以上,从而获得山西省2015年的土地利用分布空间分布数据[25]。解译获得的土地利用数据具有详细的分类系统,为了研究方便,在本研究中将其归纳为耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用地6类(图4)。

从图4可以看出,山西省东西两侧的山地主要

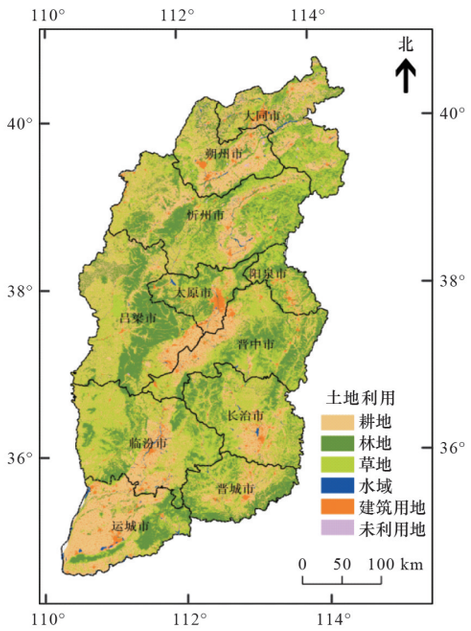


图4 2015年山西省土地利用数据

分布草地和林地,中间的盆地和平坦区域则主要分布耕地和建设用地,这与地形特征的空间分布特征相对一致。水域和未利用地面积较小,很难发现。对各种土地利用类型的分布面积进行数理统计,结果如表1所示。

从表1可以看出,山西省以耕地和草地为主,均占总面积的约35.3%;其次为林地,约占山西省总面积的23.8%;建筑用地占全省总面积的4.2%,水域和未利用地则面积很少。

2) 数字地形特征数据。

基于SRTM1 DEM数据,山西省的数字地形特征主要选择了海拔高度、起伏度、坡度和坡向4个

表1 山西省土地利用类型的分布面积

类型	面积/km²	百分比/%
耕地	55247.9	35.3
林地	37223.3	23.8
草地	55240.6	35.3
水域	1752.0	1.1
建筑用地	6548.9	4.2
未利用地	419.6	0.3
总计	156432.3	100

地形因子分析。地理探测器方法要求自变量为类型量;如果自变量是数值量,需要进行离散化处理[19]。考虑到土地利用类型为6类,为了保证结果的可信度(分的类型越多,q统计量的值越大,但置信度越低),本研究根据数字地形因子的数值分布特征和特点,将其分为5个等级。

对于海拔高度和起伏度,参考自然断点法和分位数法分类结果,并按照取整原则,将海拔高度以750、1000、1250和1500 m为间隔点分为5个等级,起伏度以50、200、350和500 m为间隔点分为5个等级。对于坡度,利用自然断点法和分位数法并参考坡面分类研究成果[9],按照取整原则,将坡度以3°、8°、15°和25°为间隔点,分为5类。对于坡向,平坦区域(坡度为0°)坡向值为-1,其他区域坡向值为0°~360°。由于坡向的数值只代表坡度方向,不表示数值大小。因此,按照315°~360°(平)和0°~45°(北)、45°~135°(东)、135°~225°(南)、225°~315°(西)分为5个等级。

对不同地形因子各种类型分别用1、2、3、4和5进行表示,其分布面积如表2所示。

表2 数字地形因子各类型的分布面积

地形因子	海拔高度		起伏度		坡度		坡向	
面积	面积/km²	百分比/%	面积/km²	百分比/%	面积/km²	百分比/%	面积/km²	百分比/%
1	19243.9	12.3	13730.1	8.8	29962.9	19.2	864.8	0.6
2	31676.1	20.2	37181.6	23.8	27174.1	17.4	39595.9	25.3
3	44507.5	28.5	58744.8	37.6	36685.9	23.5	39164.6	25.0
4	34204.2	21.9	27608.2	17.6	42669.9	27.3	41491.5	26.5
5	26802.8	17.1	19169.8	12.3	19941.7	12.7	35317.7	22.6
总计	156434.4*	100	156434.4	100	156434.4	100	156434.4	100

注:*此处总面积与表1略有出入,这是由于表1为矢量数据,表2为栅格数据,界线不一致造成的。

从表2可以看出:除了坡向中平地(等级为“1”)的面积较小外,其他数字地形因子各个类型的面积分布均有一定的占有度,同时尽量使其面积差的不太大;相近的面积分布为各类型之间的对比提供了数据基础和可信度。如果采用其他的阈值,使地形因子不同等级面积相差很大时,由于面积很小的等级在空间上分布很少,在一定程度上就失去了分级的意义;因此会对结果产生一定影响,影响的程度取决于阈值选取的情况。

3　研究结果

参考山西省的面积和研究尺度[26],并基于地理探测器软件的计算能力,将山西省按照每个网格面积约为100 km^2,划分为1562个网格[14,18]。然后,利用ArcGIS软件获得每个网格中心点的土地利用类型及数字地形特征,并分析数字地形因子等级与土地利用类型空间分布的耦合情况的基础上,通过地理探测器软件分别计算单个地形因子及其交互作用对土地利用空间分布的定量影响。

3.1　数字地形因子与土地利用空间分布的叠加分析

根据获取的每个网格中心点的土地利用类型及其对应的地形因子等级,将其进行叠加,得到土地利用类型与地形因子之间的空间耦合关系,每种类型的网格中心点分布数量如表3所示。

在表3中,为了表示单位面积中心点的密度,用中心点的数量除以对应等级的面积百分比。从表3可以看出土地利用类型的空间分布与不同等级的数字地形因子之间有着密切的关系。对于海拔高度,耕地、水域和建设用地分布密度随海拔升高而减少;林地密度则随着海拔升高而增加;相比林地,草地分布在次高海拔区;未利用地分布很少。对于起伏度,耕地、林地与建设用地3种类型在不同等级起伏度的分布与海拔高度的分布特征

表3　数字地形因子与土地利用空间分布的叠加结果

地形因子	等级	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
海拔高度	1	109/886	15/122	43/350	5/171	21/171	1/8
	2	135/668	37/183	103/510	5/168	34/168	4/20
	3	137/481	81/284	191/670	2/67	19/67	1/4
	4	103/470	114/521	139/635	2/18	4/18	0/0
	5	34/199	137/801	84/491	0/0	2/12	0/0
起伏度	1	84/955	6/68	5/57	7/80	33/375	2/23
	2	196/824	33/139	108/454	4/17	28/118	2/8
	3	180/479	131/348	255/678	0/0	16/43	0/0
	4	51/290	117/665	110/625	2/11	3/17	1/6
	5	7/57	97/789	82/667	1/8	0/0	1/8
坡度	1	180/938	13/68	11/57	7/36	57/297	2/10
	2	140/805	33/190	100/575	6/34	15/86	2/11
	3	114/485	79/336	168/715	0/0	4/17	1/4
	4	67/245	149/546	203/744	1/4	3/11	0/0
	5	17/134	110/866	78/614	0/0	1/8	1/8
坡向	1	2/333	0/0	0/0	2/333	0/0	0/0
	2	120/474	89/352	119/470	1/4	16/63	1/4
	3	182/728	92/368	134/536	3/12	29/116	4/16
	4	131/494	100/377	184/694	3/11	28/106	0/0
	5	83/367	103/456	123/544	5/22	7/31	1/4

注:“/”前为对应中心点数量,“/”后为中心点数量数除以对应等级的面积百分比,表示中心点数量的分布密度。

近似;草地主要分布在中高起伏区;水域则主要分布在小起伏区。对于坡度,耕地、林地与建设用地3种类型在不同等级起伏度的分布与海拔高度和起伏度的分布特征近似;林地则主要分布在高坡度区;草地分布在中高坡度区;水域主要分布在中低坡度区。对于坡向,耕地主要分布在东向;林地则主要分布在南向和东向;草地以南向为主,另外3个方向也有较多分布;水域主要分布在平坦区域;建设用地主要分布在东向和南向;未利用地也主要位于东向。

从土地利用与数字地形因子之间的空间叠加分析可以看出,二者之间有比较密切的关系,从而提供了利用地理探测器方法分析数字地形因子对土地利用空间分布的定量影响的可行性。

3.2 单个数字地形因子对土地利用空间分布的定量影响

基于地理探测器软件(下载地址:http://www.geodetector.org/),通过ArcGIS的surface Spot工具获取每个网格中心点的土地利用类型及对应的数字地形因子的类型,并以此获取数字地形因子对土地利用类型空间分布分布的定量作用,如表4所示。

在表4中,q统计量主要利用地理探测器软件通过式(1)获取,土地利用类型代表待探测的要素D,数字地形因子则对应与离散要素X,L代表数字地形因子经过分类后的区域数,N是总的采样点数目,在本研究中为1562,式(1)中其他要素的含义可以以此类推。而p值则代表了空间分异性是否显著[27],同样可由地理探测器软件计算获得。

表4 数字地形因子对土地利用空间分布的定量作用

地形因子	q统计量	p值
海拔高度	0.006	0.048
起伏度	0.012	0.007
坡度	0.010	0.004
坡向	0.005	0.472

从表4可以看出:在数字地形因子与土地利用类型的空间分异性上,起伏度和坡度非常显著($p<0.01$),海拔高度比较显著($p<0.05$),坡向不太显著($p=0.472$);在空间相关性上,起伏度与坡度的空间相关性最大(q统计量分别为0.012和0.010),海拔高度与前2种因子有明显差距(q统计量为0.006)。

3.3 地形因子交互作用对土地利用空间分布的定量影响

在获得单个地形因子q统计量的基础上,将任意2个地形因子叠加,计算其叠加之后的q值,并将其与2个因子的q值之和进行对比,获得数字地形因子对土地利用空间分布的交互作用(表5)。

表5主要是通过对比两个地形因子交互的q统计量与他们统计量的和,来判断这两个地形因子是独立还是交互、交互增强还是减弱、线性还是非线性等空间相互关系,因此没有给出对应的p值。从表5可以看出:将任意两种数字地形指标进行交互,其交互作用时q统计量明显提高,全部大于对应的两种因子的q统计量之和,因此任意两种数字地形指标均具有显著的非线性交互增强作用。尤为显著的是海拔高度与起伏度的交互,其q统计量为0.034,为因子交互中q统计量最高的;即使交互作用效果最差的坡度与坡向交互,其q统计量也达到0.022,明显高于单一因子的作用,比如最重要地形因子——起伏度的q统计量(0.012)。

表5 地形因子对土地利用空间分布的交互作用

$X\cap Y$	$q(X\cap Y)$	$q(X)+q(Y)$	结果	交互作用
海拔高度∩起伏度	0.034	0.019	$q(X\cap Y)>q(X)+q(Y)$	非线性交互增强
海拔高度∩坡度	0.030	0.017		
海拔高度∩坡向	0.026	0.011		
起伏度∩坡度	0.032	0.023		
起伏度∩坡向	0.026	0.017		
坡度∩坡向	0.022	0.015		

4　结论

在数字地形因子与土地利用类型空间分布的分层异质性上,起伏度与坡度和土地利用类型的空间分异性非常显著;其次为海拔高度,其与土地利用类型空间分布的空间分异性比较显著;坡向则与土地利用类型的空间分异性不太显著。在数字地形因子与土地利用类型空间分布的空间相关性上,起伏度与土地利用的空间相关性最大,其次为坡度,二者相差不大;海拔高度与坡向与土地利用的空间相关性较小,其中坡向与土地利用类型的空间相关性最小。对数字地形因子进行交互,发现交互因子与土地利用空间分布的空间相关性均呈非线性交互增强。其中交互作用最显著的是海拔高度与起伏度的交互,而交互作用效果最不明显的是坡度与坡向的交互,其空间相关性也远大于所有单一地形因子与土地利用的空间相关性。

起伏度与坡度均为表征地表平坦程度的地形因子,其与土地利用类型空间分布上的空间分异性及空间相关性均最为显著。这与人们的传统认知相一致,很多土地利用规划就是建立在不同等级的坡度上的。比如,平地一般分布建筑用地、耕地和水域,随着坡度增大,土地利用类型逐渐过渡为草地、林地和未利用地等。在本研究中,耕地和建设用地随海拔高度、起伏度和坡度升高而分布密度明显减小;林地则随海拔高度、起伏度和坡度升高而分布密度随之增加。了解数字地形因子对土地利用类型空间分布的定量作用,对合理开发利用土地、科学进行土地利用规划、政策制定和环境保护等提供科学指导和合理建议。

在分析山西省数字地形特征及土地利用空间分布的基础上,本研究利用地理探测器方法计算了山西省数字地形特征对土地利用空间分布的影响。除了地形特征之外,气候、土壤、地质等要素对土地利用的空间分布也具有不同程度的影响;同时,可以在分析这些要素对土地利用空间分布影响的基础上,研究这些要素对土地利用空间分布变化的影响。

参考文献(References)

[1] Kiran G, Joshi U. Estimation of variables explaining urbanization concomitant with land-use change: A spatial approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(3): 824-847.

[2] 鲁春阳, 杨庆媛, 田永中, 等. 基于主成分法的区域土地利用变化驱动力分析[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(21): 5627-5628.

[3] 陈利顶, 杨爽, 冯晓明. 土地利用变化的地形梯度特征与空间扩展[J]. 地理研究, 2008, 27(6): 1225-1235.

[4] 何维灿, 赵尚民, 程维明. 山西省不同地貌形态类型区土地覆被变化的GIS分析[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(2): 210-219.

[5] Dwivedi R, Sreenivas K, Ramana K. Land-use/land cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(7): 1285-1287.

[6] 毛蒋兴, 李志刚, 闫小培, 等. 深圳土地利用时空变化与地形因子的关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2): 71-76.

[7] 国巧真, 宁晓平, 王志恒, 等. 地形地貌对半山区土地利用动态变化影响分析[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(1): 153-159.

[8] 李京京, 吕哲敏, 石小平, 等. 基于地形梯度的汾河流域土地利用时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 230-236.

[9] 周成虎, 程维明, 钱金凯. 数字地貌遥感解析与制图[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[10] 黄贤金. 城乡土地市场一体化对土地利用/覆被变化的影响研究综述[J]. 地理科学, 2017, 37(2): 200-208.

[11] 张丽娟, 于洋, 粟练灵, 等. 1960—2010年黑龙江省土地利用变化对气温的影响[J]. 地理科学, 2017, 37(6): 952-959.

[12] 梁发超, 刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2138-2144.

[13] 王琳, 武虹. 基于DEM 的遗址域定量算法及可获取耕地统计[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(2): 274-281.

[14] 于佳, 刘吉平. 基于地理探测器的东北地区气温变化影响因素定量分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(19): 4682-4687.

[15] 刘军, 张正福, 胡燕凌. 应用DEM数据进行耕地坡度分级量算方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(5): 691-697.

[16] Wang J F, Li X, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107-127.
[17] Wang J F, Hu Y. Environmental health risk detection with GeogDetector[J]. Environmental Modelling & Software, 2012(33): 114-115.
[18] Cao F, Ge Y, Wang J F. Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment[J]. GIScience & Remote Sensing, 2013, 50(1): 78-92.
[19] 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.
[20] 徐成东, 王劲峰. 基于地理探测器的手足口病风险因子分析[C]. 中国地理学会2012年学术年会, 2012: 150.
[21] 刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1011-1020.
[22] Luo W, Jasiewicz J, Stepinski T, et al. Spatial association between dissection density and environmental factors over the entire conterminous United States[J]. Geophysical Research Letters, 2016(43): 692-700.
[23] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别——以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2015, 34(6): 1077-1087.
[24] 湛东升, 张文忠, 余建辉, 等. 基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理[J]. 地理科学进展, 2015, 34(8): 966-975.
[25] 谷晓天, 高小红, 马慧娟, 等. 复杂地形区土地利用/土地覆被分类机器学习方法比较研究[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(1): 57-67.
[26] 杨叶涛, 龚健雅, 王迎迎, 等. 基于格网划分的城市区域土地利用景观格局[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(4): 480-485.
[27] Wang J, Zhang T, Fu B J. A measure of spatial stratified heterogeneity[J]. Ecological Indicators, 2016(67): 250-256.

Quantitative effects of digital terrain features on land use spatial distribution

ZHAO Shangmin

Department of Surveying and Mapping, College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

Abstract To evaluate the quantitative effect of the topographic conditions on the spatial distribution of land use, the Shanxi Province is taken as the research area, to study four topographic factors (the elevation, the relief, the slope and the aspect) obtained from the DEM dataset, representing the digital topographic characteristics, and the spatial distribution of the land use is interpreted based on the remote sensing images, finally to analyze the spatial stratified heterogeneity, the spatial correlation and the interaction effect of the four digital topographic factors on the spatial distribution of the land use. It is shown that: (1) the relief and slope factors have the most remarkable spatial stratified heterogeneity effect (p<0.01); (2) the relief factor has the strongest spatial correlation effect (q=0.012), followed by the slope (q=0.010); (3) any two kinds of digital terrain indicators have a significant interaction enhancement; the interaction between the altitude and the relief has the strongest effect with the highest statistic value q of 0.034. Hence, the relief factor is the most important single factor affecting the spatial distribution of the land use, which plays an important role in the spatial distribution of the land use by combining the elevation factor.

Keywords digital terrain factor; land use type; geographical detector; spatial stratified heterogeneity; spatial correlation

（责任编辑 徐丽娇）