

# 基于 ESDA 的武汉城市圈耕地利用集约度空间差异分析

柯新利, 黄翔, 杨柏寒

(华中农业大学 土地管理学院, 武汉 430070)

**摘要:**通过对武汉城市圈 35 个县(区、市)耕地利用集约度全局空间自相关和局部空间自相关分析,剖析了武汉城市圈过去 10 a 耕地利用集约度差异的时空分异特征,结果表明:(1) 武汉城市圈耕地利用集约度总体上处于不断上升的趋势;(2) 耕地利用集约化水平受地形条件影响较大,研究期间局部耕地集约度差异显著,形成了“东西平原高、南北山区低”的空间格局;(3) 武汉城市圈耕地利用集约度江汉平原高值区逐渐形成,但其对整个武汉城市圈耕地利用集约度的极化效应明显大于其扩散效应。武汉城市圈县域耕地集约化水平全面协调发展的道路还需要进一步努力。

**关键词:**空间自相关; 耕地利用集约度; ESDA; 武汉城市圈; 空间差异

中图分类号:F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)02-0287-05

## Analysis on Spatial Heterogeneity of Cultivated Land Use Intensity in Wuhan City Circle Based on ESDA

KE Xinli, HUANG Xiang, YANG Bohan

(College of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In this paper, both global and local spatial autocorrelation analysis were employed to figure out the temporal-spatial heterogeneity of cultivated land use intensity at county-level in Wuhan City Circle during the past 10 years. The results showed that: (1) generally, the degree of cultivated land intensive use advanced obviously in Wuhan City Circle and increased obviously in the past 10 years; (2) terrain conditions have the significant impact on cultivated land intensive use degree, during the period of this research, there was a significant spatial heterogeneity of cultivated land use intensity in Wuhan City Circle with the characteristics of “higher intensity in eastern and western plain areas and lower intensity in northern and southern mountainous regions”; (3) the high-value area of cultivated land use intensity of Wuhan City Circle has formed in Jiangnan Plain. However, for the whole research area, the polarization effect of the high-value area was significantly stronger than its diffusion effect. It can be safely drawn that more attention should be paid to comprehensive and coordinated development of cultivated land use intensity in Wuhan City Circle.

**Keywords:** spatial autocorrelation; cultivated land use intensity; ESDA; Wuhan City Circle; spatial heterogeneity

随着我国人口数量和经济水平的持续增长,人们对耕地产品和服务的需求不断增加。有两种途径可以满足人们对耕地功能的需求:扩大耕地面积或提高单位面积上的产出<sup>[1]</sup>。当前我国处于快速城镇化阶段,耕地面积减少是这一阶段我国土地利用的主要特征。因此,耕地集约度的提升成为维持耕地产出增加、保证粮食安全的重要途径<sup>[2]</sup>。在这一背景下,耕地集约利用研究具有重要的现实意义。目前,有关耕

地集约利用的研究主要集中在耕地利用集约度评价<sup>[3]</sup>、耕地集约利用变化驱动因素分析<sup>[4]</sup>以及耕地集约利用变化研究<sup>[5]</sup>三个方面,也有少量的研究开始关注耕地利用集约度的区域差异性<sup>[6]</sup>。然而,当前有关耕地利用集约度区域差异的研究由于缺乏空间视角、忽视地理位置的影响,无法反映区域间差异变化的空间特征<sup>[7]</sup>。ESDA(Exploratory Spatial Data Analysis,探索性空间数据分析)是以空间关联性测度为核

收稿日期:2015-04-04

修回日期:2015-04-27

**资助项目:** 国家社会科学基金项目(13CGL092);国家自然科学基金项目(41371113,41101098);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013QC012);华中农业大学人文社会科学优秀青年人才计划项目“耕地利用变化与耕地功能演变的互动机理及其调控策略研究—以武汉市为例”

**第一作者:** 柯新利(1977—),男,湖北天门人,副教授,博士,主要研究方向:土地利用变化建模及土地利用变化效应。E-mail:kexl@mail.hzau.edu.cn

**通信作者:** 黄翔(1991—),女,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向:土地利用变化效应。E-mail:hx\_0521@webmail.hzau.edu.cn

心,用来描述与显示对象的空间分布,揭示空间联系、簇聚以及其他异质性的空间分布模式<sup>[8-9]</sup>。目前 ESDA 方法主要应用在区域经济差异<sup>[10]</sup>、城乡统筹发展空间差异<sup>[11]</sup>、住宅价格时空分异<sup>[12]</sup>等领域。本文以武汉城市圈为例,基于 2000—2009 年的统计数据,借助 GeoDA 和 ArcGIS 空间分析软件,利用 ESDA 方法深入剖析武汉城市圈各县(区、市)耕地利用集约度时空格局的差异性特征,为揭示区域耕地利用集约度的时空特征及空间差异提供科学依据。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区概况

武汉城市圈位于湖北省东部,长江中游,东经 112°30′—116°07′,北纬 29°05′—31°51′,以湖北省省会武汉市为城市圈中心城市,黄石市、孝感市为城市圈副中心城市,涵盖其周边约 100 km 以内的咸宁市、黄冈市、鄂州市、天门市、潜江市和仙桃市。占全省 31.2% 面积的武汉城市圈,集中了湖北省 51.9% 的人口、GDP 总量的 62.4%。该区域不仅是湖北经济发展的核心区域,也是中部崛起的重要战略支点。武汉城市圈位于我国长江中下游地区,地势大部分低平,西部和中东部为开阔的江汉平原和鄂东沿江平原,南部、东北部和北部是山地丘陵岗地区。

武汉城市圈耕地资源十分丰富,“湖广熟,天下足”,自明朝以来,湖北就是我国粮食主产区之一,在中国粮食生产格局中占有重要地位。而湖北省 46 个粮食主产区中就有 24 个在武汉城市圈,所以提高武汉城市圈耕地利用集约化水平对湖北省乃至全国的粮食安全具有重大意义。

### 1.2 数据来源

本研究涉及的数据包括耕地利用投入情况、利用程度、利用效率及持续状况四个方面的数据。耕地利用的投入情况涉及的数据主要包括武汉城市圈各县(区、市)化肥施用量、乡村劳动力、农业机械总动力;

利用程度方面涉及的数据主要包括各县(区、市)农作物总面积、耕地总面积、有效灌溉面积;利用效率方面涉及的数据主要包括各县(区、市)农林牧渔业总产值、粮食总产量及粮食播种面积;持续状况方面包括各县(区、市)人均粮食产量、地区总人口、乡村劳动力及耕地总面积。这些数据均来源于 2000—2009 年《湖北农村统计年鉴》。本文所采用的行政区划数据是从 1:400 万的国家基础地理信息数据提取的武汉城市圈县域边界数据。为了方便分析,本文在 ArcGIS 平台上将耕地利用投入情况、利用程度、利用效率及持续状况四个方面的数据与 shape 格式的行政区划数据进行挂接,形成了耕地利用集约度空间差异分析的基础数据库。

## 2 研究方法

### 2.1 耕地利用集约度测算

2.1.1 测算指标体系及其权重确定 耕地的集约利用是指通过在一定的耕地面积上增加适度的资本、劳动、技术等生产要素,以最大限度获得耕地利用的效益<sup>[13]</sup>。耕地利用集约度评估的思路主要有:(1) 基于 PSR 模型,从压力、状态、响应三个方面选取指标构成评价指标体系<sup>[14]</sup>; (2) 基于耕地利用集约度定义<sup>[15]</sup>,将耕地利用集约度界定为“一定时间内投入到单位面积耕地上的资金和劳动力的总货币额”,认为耕地利用集约度就是资金集约度同劳动集约度两者之和<sup>[16]</sup>; (3) 从投入强度、利用程度及利用效益三个方面选取指标构成耕地利用集约度评价指标体系<sup>[17]</sup>。结合武汉城市圈实际情况以及数据的可得性,本文参考崔丽等<sup>[18]</sup>的方法进行耕地利用集约度评价,结合武汉城市圈耕地利用现状,从投入强度、利用程度、利用效率和持续状况四个层面构建了包含 10 项指标的武汉城市圈耕地利用集约度评价指标体系。运用极差标准化方法对各指标进行标准化,并采用层次分析法确定指标权重。

表 1 武汉城市圈耕地利用集约度评价指标体系

目标层	准则层	指标层	表达式	单位
耕地 利用 集约度	投入强度	单位化肥投入	化肥施用量/农作物总面积	t/hm <sup>2</sup>
		单位劳动力投入	乡村劳动力/农作物总面积	人/hm <sup>2</sup>
		单位动力投入	农业机械总动力/农作物总面积	kW/hm <sup>2</sup>
	利用程度	复种指数	农作物总面积/耕地总面积	无量纲
		灌溉指数	有效灌溉面积/农作物总面积	无量纲
	利用效率	劳动产值	农林牧渔业总产值/乡村劳动力	元/人
		粮食单产	粮食总产量/粮食播种面积	kg/hm <sup>2</sup>
	持续状况	粮食安全系数	人均粮食产量/400 kg	无量纲
		劳动力系数	乡村劳动力/总人口	无量纲
		人均耕地	耕地总面积/总人口	hm <sup>2</sup> /人

2.1.2 耕地利用集约度的计算 采用多因素加权分值法计算耕地集约度。具体操作方法:在通过确定个参评因子权重的基础上,将各评价单元的每一参评因子的标准化值与其权重相乘,之后再行累加。计算表达式为:

$$f(w) = \sum_{i=1}^n \{w_i \times \sum_{j=1}^m (w_j \times A_j)\}$$

式中: $f(w)$ ——耕地利用集约度; $w_i$ ——评价准则层权重; $w_j$ ——评价指标层权重; $A_j$ ——各评价指标的标准化值。耕地利用的集约化程度越高,计算得到的耕地利用集约度值就越大。

## 2.2 ESDA 方法

2.2.1 空间权重矩阵 通常,需要定义一个二元对称空间权重矩阵  $W$  来定义空间对象间相互作用的空间关系。空间权重的确定是进行空间分析的前提和基础,空间权重有两种定义方式:一是基于邻接规则,二是基于距离规则,本文采用的是邻接规则定义的权重矩阵。空间权重的定义表达式如下所示:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: $W_{ij}$ ——区域  $i$  和  $j$  的临近关系,它可以根据邻接标准或距离标准来度量。基于邻接规则定义的权重矩阵为:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{位置 } i \text{ 与位置 } j \text{ 是相邻} \\ 0 & \text{位置 } i \text{ 与位置 } j \text{ 不相邻} \end{cases}$$

2.2.2 全局空间自相关 全局空间自相关用来反映整个区域的空间集聚程度,是对属性值在整个区域空间特征上的描述。通过全局空间自相关来衡量区域间整体上的空间关联与差异<sup>[19]</sup>。目前,应用于全局自相关的最主要方法是 Moran's I 指数,本文选用 Moran's I 指数来对武汉城市圈耕地集约度空间模式整体进行定量描述,其计算公式为:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

式中: $N$ ——指研究区的县域总数; $w_{ij}$ ——空间权重; $x_i$ 和  $x_j$ ——区域  $i$  和  $j$  的属性; $\bar{x}$ ——属性的平均值。

Moran's I 指数值介于  $-1, 1$  间,当  $I$  值接近于  $1$  时,说明相同属性的县域集聚在一起(高值与高值相邻、低值与低值相邻);当值接近  $-1$  时,说明相异属性的县域集聚(高值与低值相邻、低值与高值相邻)。若 Moran's I 指数值接近于  $0$ ,代表县域属性随机分布,县域之间不存在空间相关性<sup>[20]</sup>。

2.2.3 局部空间自相关 局部空间自相关是区别于

全局空间自相关,其主要分析不同空间位置上可能存在的不同空间关联模式,以便于发现数据间的空间异质性。本文研究的局部空间相关性主要通过局部莫兰指数(Local Moran Index),又称 LISA (Local Indicator of Spatial Association),可以用来表明空间差异程度的显著性,度量县域  $i$  和其他区域的关联程度。

$$LISA = \frac{(x_i - \bar{x})}{S_x^2} \sum_i [w_{ij} (x_i - \bar{x})]$$

式中: $S_x^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / n$ ,其中  $j \neq i$ 。正的 LISA 表示一个高值被高值所包围或者一个低值被低值所包围,即高一高或者低一低;负的 LISA 表示一个低值被高值所包围或者一个高值被低值所包围,即高一低或者低一高。

## 3 结果与分析

### 3.1 全局空间自相关分析

全局空间自相关显著。利用 GeoDA 1.4.6 软件计算出武汉城市圈 2000—2009 年历年的县域耕地利用集约度的全局 Moran's I 值(图 1)。



图 1 武汉城市圈县域耕地集约度的全局 Moran's I 值

图 1 显示,自 2000 年以来,武汉城市圈耕地利用集约度的全局 Moran's I 计算值在  $0.25 \sim 0.55$  之间,说明武汉城市圈耕地利用集约度呈现较大的空间正相关性,线性趋势先平稳,再下降,后上升的态势。整体上可以分为两个阶段:第一阶段自 2000—2005 年,耕地利用集约度线性趋势平稳,空间关联度都较强,空间极化作用明显;第二阶段自 2006—2009 年,耕地利用集约度线性趋势先下降后上升,波动性较大,区域内部空间差异变化较大,但总体呈现高度集聚的状态。为了检验各年度 Moran's I 是否显著,在 GeoDA 中采用蒙特卡洛模拟的方法检验,2000 年、2003 年、2004 年、2005 年、2009 年  $p$ -value 均小于或等于  $0.001$ ,其余年度的  $p$ -value 均小于  $0.05$ ,通过显著性检验。这说明,武汉城市圈县域耕地利用集约度相似(高高或低低)的地区的在空间上集中分布(表 2)。

表 2 武汉城市圈 2000—2009 年耕地利用集约度的  
Global Moran's I 估计值

年份	Moran's I 自 相关系数	$E(I)$ 期望值	标准 差值	显著性 水平 $p$ 值	平均值
2000	0.521882	-0.0286	0.1203	0.001	-0.0293
2001	0.356802	-0.0286	0.1177	0.004	-0.0313
2002	0.404743	-0.0286	0.1229	0.002	-0.0296
2003	0.346994	-0.0286	0.1138	0.001	-0.0274
2004	0.419683	-0.0286	0.1189	0.001	-0.0282
2005	0.475705	-0.0286	0.1172	0.001	-0.0253
2006	0.372374	-0.0286	0.1166	0.002	-0.0270
2007	0.258119	-0.0286	0.1184	0.013	-0.0317
2008	0.254571	-0.0286	0.1147	0.01	-0.0297
2009	0.509622	-0.0286	0.1198	0.001	-0.0244

### 3.2 局部空间自相关分析

通过计算全局 Moran's I,可以得到武汉城市圈的耕

地利用集约度全局自相关显著,出现了明显的集聚现象的结论。但武汉城市圈县区总体空间差异的缩小,并不能说明这个地区的耕地利用集约化水平已经是全面、健康的发展道路,高高地区和低低地区的集聚同时说明了武汉城市圈耕地利用集约化水平空间分异的反映。为了更具体的表现集聚发生的位置,即耕地利用集约度空间分异现象,利用局部自相关探索集聚发生的位置。运行 GeoDA 中的 Local Moran's I Map 命令得到 2000 年,2004 年,2009 年 LISA 集聚地图(图 2)。

图 2 显示,耕地利用集约度 High—High 集聚中心主要出现在武汉城市圈西部的江汉平原(天门,孝感部分区域),且随着年份的增长,High—High 集聚中心变多,高耕地利用集约度区域集聚性增强;Low—Low 集聚中心主要出现在武汉城市圈的南部和东南部黄冈市、咸宁市,且随着年份的增长,Low—Low 集聚由南部向东南部扩散。

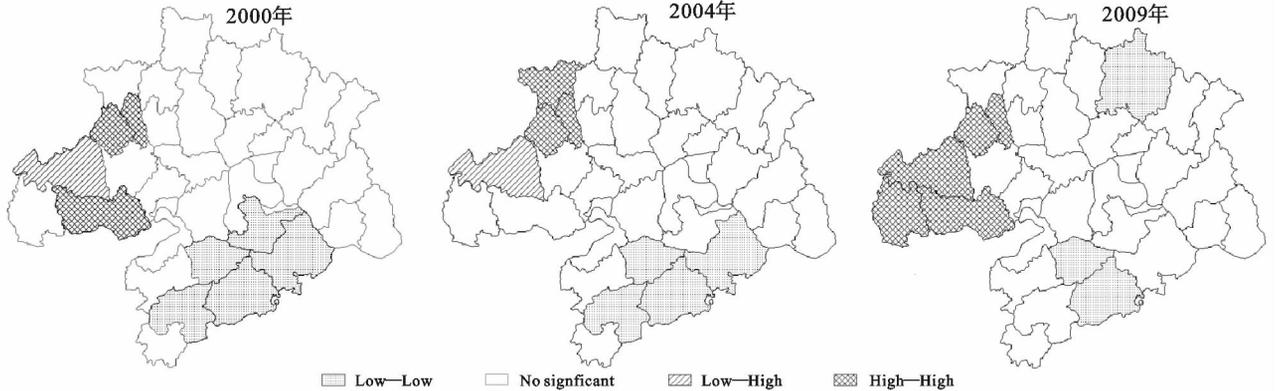


图 2 武汉城市圈耕地利用集约度 LISA 集聚地图

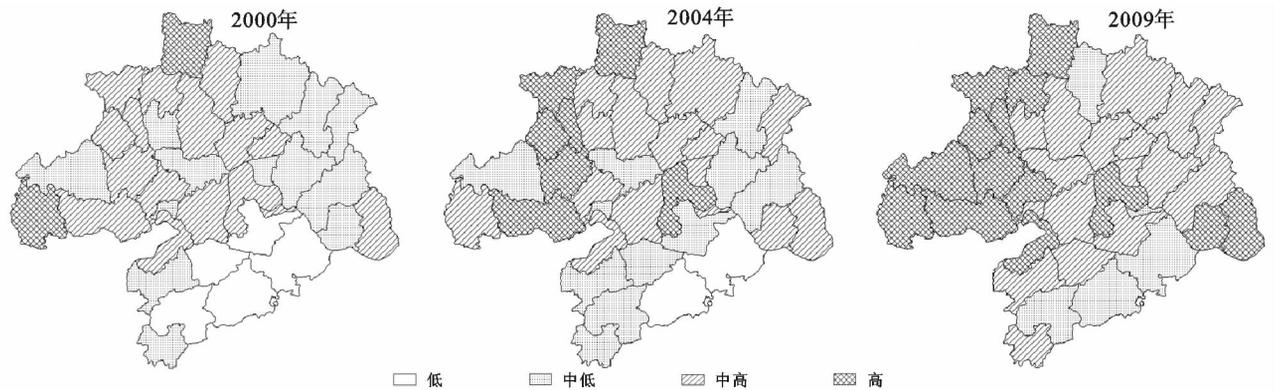


图 3 武汉城市圈耕地利用集约度空间格局

为了更进一步表现武汉城市圈西北部耕地利用集约度高值区的形成过程,选取间隔大致相当的 2000 年,2004 年,2009 年三个年份,按照武汉城市圈 2000—2009 年平均耕地利用集约度值的 75%,100% 和 125%,依次将县域耕地利用集约度划分为低水平、中低水平、中高水平和高水平四个等级(图 3)。图 3 显示在 2000 年高水平集约度地区只有潜江市和大悟县 2 个,没有明显连片高值区;到 2004 年,高水

平集约度地区达到了 7 个,包括潜仙桃、汉川、应城、云梦、安陆、大悟县和鄂州市辖区,其中 6 个县域分布在汉江流域,初步形成了临江耕地利用集约度高值区;2009 年,武汉城市圈高水平集约度地区达到了 14 个,包括潜江市、仙桃市、天门市、汉川市、蔡甸区、应城市、云梦县、安陆市、孝昌县、大悟县、黄梅县、鄂州市辖区、武穴市、嘉鱼县,这些县域大都分布在江汉平原、鄂东沿江平原及其辐射地带,表明江汉平原县域

之间存在着正的空间效应,从而使得县域与相邻地区的耕地利用集约化水平呈现相互联系和相互影响的态势,至此形成了江汉平原耕地利用集约度高值区。

通过局部空间自相关分析可以发现,2000年以来,武汉城市圈县区耕地利用集约化水平发展较快,但局部空间差异却在增加。近年来,虽然随着经济水平和技术水平不断改善,武汉城市圈县区间经济、农业技术的交流明显增加,促使县区间耕地利用集约化水平发展不同步的现象大大减少,到2009年低水平耕地利用集约度区域已经没有了。但由于武汉城市圈南部和北部耕地自身条件比较差,导致这些地区及其周边地区,经过近10a的发展,依然没有摆脱耕地利用集约化水平相对滞后的局面。到2009年为止,武汉城市圈的崇阳、通山、阳新等地区依旧处于耕地利用集约度中低水平。这个结果也表明武汉城市圈耕地利用集约化水平全面协调发展的道路还需要进一步努力。

## 4 结论与讨论

(1) 武汉城市圈耕地利用集约度总体上处于不断上升的阶段;(2) 耕地利用集约化水平受地形条件影响较大,研究期间局部耕地集约度差异显著,形成了“东西平原高、南北山区低”的空间格局;(3) 武汉城市圈耕地利用集约度江汉平原高值区逐渐形成,但其对整个武汉城市圈区域的极化效应明显大于其扩散效应。武汉城市圈县域耕地利用集约化水平全面协调发展的道路还需要进一步努力。

本研究揭示了武汉城市圈耕地利用集约度的时空特征及空间差异,对推进武汉城市圈耕地利用集约度的提升具有如下政策启示:(1) 江汉平原地区的耕地凭借良好的地貌特征,其耕地利用集约度在研究期间内都是处于武汉城市圈领先地位,在此基础上,应借鉴东北平原大型农业合作社经验,通过建立合作社、土地流转等措施,提高农业机械化、现代化,不断加强其耕地利用集约化经营水平;(2) 应加强对农业技术的投入,通过技术水平的提高减小地形地势对农业生产的影响,以提高武汉城市圈南部和北部山区耕地利用集约度,减小耕地利用集约度的空间差异。要实现武汉城市圈县域耕地利用集约化水平的全面协调发展,在保障现有优质耕地利用集约化水平不断提升的基础上,应着力改善山区耕地利用条件,最终达到维持耕地产出增加、保障粮食安全的目的。

### 参考文献:

[1] 李秀彬. 土地利用变化的解释[J]. 地理科学进展, 2002,

21(3):195-203.

- [2] 朱会义,李秀彬,辛良杰. 现阶段我国耕地利用集约度变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 907-915.
- [3] 胡志朋,杨凤海,周晓飞. 肇源县耕地集约利用评价及障碍度诊断[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 148-151.
- [4] 倪超,杨胜天,罗秋滨,郭红,董隽,高鹏. 黑龙江省耕地集约利用驱动因素分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 146-151.
- [5] 邓楚雄,谢炳庚,李晓青等. 长沙市耕地集约利用时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 230-237.
- [6] 郑华伟,刘友兆. 基于PSR模型的耕地集约利用空间差异分析:以四川省为例[J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(3): 258-262.
- [7] 谢花林. 环鄱阳湖地区农业经济空间差异分析:基于探索性空间数据分析(ESDA)方法[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(3): 299-303.
- [8] Anselin L. Interactive techniques and exploratory spatial data analysis[J]. Geographic Information System Principles Techniques Management & Applications, 1999, 47(2): 415-421.
- [9] 马晓东,马荣华,徐建刚. 基于ESDA-GIS的城镇群体空间结构[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1048-1057.
- [10] 刘楠,谢永生,索改弟,等. 基于ESDA的陕西省县域经济空间格局演变[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 73-78.
- [11] 王磊,李涛,曹小曙. 基于ESDA-GIS的广东省城乡统筹发展空间分异[J]. 经济地理, 2012, 32(9): 44-50.
- [12] 任辉,吴群. 基于ESDA的城市住宅地价时空分异研究:以南京市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(5): 760-765.
- [13] 曾杰,姚小微. 武汉城市圈耕地集约利用时空分异特征[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 215-223.
- [14] 窦妍,南灵. 基于PSR框架的耕地集约利用评价及驱动力研究[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(5): 615-618.
- [15] 伊利·理查德·T,莫尔豪斯·爱德华·W. 土地经济学原理[M]. 北京:商务印书馆, 1982.
- [16] 张琳,张凤荣,安萍莉,等. 不同经济发展水平下的耕地利用集约度及其变化规律比较研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 108-112.
- [17] 赵京,杨钢桥. 耕地集约利用与经济发展的耦合关系[J]. 中国土地科学, 2011, 25(9): 35-41.
- [18] 崔丽,许月卿. 河北省农用地利用集约度时空变异分析[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 116-125.
- [19] 蒋国富,刘长运. 河南省县域经济的空间分析[J]. 经济地理, 2008, 28(4): 636-639.
- [20] 赵檐瑾. 山西省县域经济发展时空格局演变研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2012.