

基于 Voronoi 图与景观指数法的山区农村居民点 空间分布特征及其影响因素

钟紫玲, 王占岐, 李伟松

(中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074)

摘 要:农村居民点用地空间结构反映着人地关系演变趋势的同时,也影响着区域经济的发展。研究农村居民点空间分布特征及其影响因素对开展土地整治活动具有重要意义。运用 Voronoi 图和生态景观指数法,以湖北省神农架林区为研究区域,全面分析了山区农村居民点空间分布特征,同时运用数据统计分析方法对农村居民点空间分布影响因素进行了探究。结果表明:山区农村居民点集聚型分布现象明显,表现出大聚居、小散居的分布特征,整体呈现破碎度低、分布零散、分维数小、斑块稳定的景观格局;山区居民点空间分布格局主要影响因素为海拔、坡度、水系、道路交通等,其中受地形和道路交通影响尤其明显,呈现出较强的地形和道路交通指向。研究对目前新一轮土地整治规划的科学开展具有引导作用,同时可为政府部门实施农村居民点整理提供决策支持。

关键词:农村居民点; 空间分布; 山区; Voronoi 图; 景观指数

中图分类号: F301.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0211-06

Spatial Distribution Characteristics and Affecting Factors of Rural Residential Land in the Mountainous Area Based on Voronoi and Landscape Indices

ZHONG Zi-ling, WANG Zhan-qi, LI Wei-song

(School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Rural residential land spatial structure not only reflects the evolution trend of relationship between human and land, but also affects the regional economic development. Taking the typical mountainous land-form Shennongjia district as the study area, Voronoi diagram and ecological landscape index were applied in this paper. The result revealed that the rural settlement distribution pattern presented agglomerative type in general and the spatial landscape pattern showed low fragmentation, scattered distribution and stable plaque. The main influence factors are the terrain, the river distribution, transportation. What's more, the spatial layout of rural residential land is particularly affected by terrain and transportation. It offers theoretical support in renovation of the village residential area.

Key words: rural settlement; spatial distribution; mountainous area; voronoi diagram; landscape indices

农村居民点是人类社会发展到一定阶段的产物,是农村人地关系的核心表现。然而由于缺乏统一规划,我国农村居民点发展长期处于无序状态,农村居民点普遍存在着分布零散、集约利用程度低、土地资源浪费、基础设施不完善等问题。近年来,不少学者对农村居民点存在的这些问题进行了多角度研究。研究主要集中在三个方面:农村居民点整理潜力测算^[1-4]、农村居民点空间分布特征与布局优化^[5-9]和农村居民点用地适宜性评价^[10-11]。从已有的研究成果

可以发现,当前大多数学者研究农村居民点空间分布特征时均是从较为宏观的角度来分析,忽略了相邻农村居民点间相互作用的微观力量对其空间布局的影响,而且少有学者综合运用多种方法分析农村居民点空间分布特征,揭示农村居民点空间分布规律。

基于此,本文选取具有典型地貌的山区地域——湖北省神农架林区作为研究对象,综合运用 Voronoi 图和景观指数法来揭示农村居民点的空间分布特征、规律及其影响因素,以期对山区农村居民点的整治与

收稿日期:2013-07-24

修回日期:2013-08-07

资助项目:国家自然科学基金委员会科学部主任基金项目(411440014);国家科技支撑计划项目(2012BAB11B04)

作者简介:钟紫玲(1991—),女,湖北云梦人,硕士生,主要研究方向为土地利用规划与土地信息系统。E-mail: cuglws@126.com

通信作者:王占岐(1965—),男,陕西岐山人,教授,博导,主要从事土地经济与土地利用的教学和研究。E-mail: zhqwang@cug.edu.cn

优化布局提供参考,为政府部门决策提供一定的科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

神农架林区位于湖北省西部边陲,地跨东经 $109^{\circ}56'$ — $110^{\circ}58'$,北纬 $31^{\circ}15'$ — $31^{\circ}75'$ 。属典型的中纬度北亚热带季风区,年降水量 $900\sim 1\,000\text{ mm}$ 。地形西南高东北低,平均海拔 $1\,700\text{ m}$ 。林区山峦叠嶂,沟壑纵横,河谷深切,山坡陡峻,地貌复杂多样。神农架山脉近东西向横亘于神农架林区西南部,以神农顶最高,高程为 $3\,105.4\text{ m}$ 。辖区交通以公路为主,209国道及多条省道贯穿境内。辖区共5镇3乡:松柏、木鱼、红坪、阳日镇,新华、宋洛、九湖、下谷土家族乡,总人口8.2万人,土地总面积为 $3\,233\text{ km}^2$,农村居民点图斑共计4 615个。

1.2 数据来源与处理

本文以农村居民点空间分布特征为研究对象,研究中用到的数据主要来源于:神农架林区 $1:10\,000$ 土地利用现状图(2009年)及 $1:50\,000$ 地形图、交通现状及规划图,数字高程模型数据(DEM)和《神农架志》,《神农架林区统计年鉴》以及神农架林区土地利用总体规划(2006—2020年)等。

研究首先将栅格图件扫描、几何校正,进行矢量化,然后将不同的矢量数据类型利用 ArcGIS 9.3 统一转为 shp 格式,进而提取本研究所需的数据信息。主要信息包括面状农村居民点要素、线状交通及水系要素、地形高度及坡度数据等。

2 研究方法

2.1 Voronoi 图

运用计算几何学中 Voronoi 图的变异系数(C_v)对农村居民点空间分布类型进行探讨分析,Voronoi 图的定义如下^[12-15]:

设平面上的一个离散发生点集 $S=\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$,则任意点 P_i 的 Voronoi 图定义为:

$$T_i=\{x:d(x, p_i)<d(x, p_j) \mid p_i, p_j \in S, p_i \neq p_j\} \quad (1)$$

式中: d ——欧式距离。由定义(1)可知, T_i 是一个凸多边形。Voronoi 图是对平面的一种剖分,在任意一个凸 Voronoi 多边形中,任意一个内点到该凸多边形的发生点 P_i 的距离都小于该点到其他任何发生点 P_j 的距离,这些发生点也叫 Voronoi 图的质心或发生元。 C_v 值是 Voronoi 多边形面积的标准差与平均值,其计算公式为:

$$C_v=\text{标准差}/\text{平均差} \times 100\% \quad (2)$$

C_v 值可以衡量现象在空间上的相对变化程度。当某个点集的空间分布为均匀分布时,其 Voronoi 多边形面积的变化性小, C_v 值是低的;当为集群分布时,在集群内(“类”内)的 Voronoi 多边形面积较小,而在集群间(“类”间)的 Voronoi 多边形面积较大, C_v 值是高的。但是,应该注意到规则的周期结构也会导致较高的 C_v 值,周期性重复出现的集群分布也会形成较高的 C_v 值^[16]。

DUYCKAERTS 提出了3个建议值:当点集为随机分布时, C_v 值为57%(包含33%~64%);当点集为集群分布时, C_v 值为92%(包括大于64%的值);当点集为均匀分布时, C_v 值为29%(包括小于33%的值)^[17]。

农村居民点用地比例(P_R)、农村居民点密度(P_D)、农村居民点平均面积(P_V)的计算公式分别为:

$$P_R=a/A \quad (3)$$

$$P_D=n/A \quad (4)$$

$$P_V=a/n \quad (5)$$

式中: a ——农村居民点用地面积(km^2); A ——研究区面积(km^2); n ——研究区域内农村居民点斑块数。

该方法以居民点地理位置坐标作为质心来研究居民点分布特征,具有较强的空间尺度效应,其中 C_v 值是度量点状目标农村居民点集群度的有效指标。

2.2 景观指数法

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面的简单定量指标^[18-23]。本文在景观空间格局分析软件Fragstas 4.1支持下,综合考虑山区农村居民点自身特点,选取最具代表性的7项生态景观度量指标(见表1),采用景观指数分析法研究农村居民点分布特征。该方法从生态景观学的角度对农村居民点分布特征进行剖析,可以有效地揭示农村居民点的景观格局。

3 山区农村居民点分布特征分析

3.1 基于 Voronoi 变异系数的居民点特征分析

通过统计分析,得出农村居民点相关的各项参数值(表2)。由表2可知,神农架林区农村居民点总面积为 663.39 hm^2 ,共有1 404个居民点斑块,用地比例为0.21%,平均用地面积为 0.47 hm^2 ,基于 Voronoi 图的农村居民点空间分布 C_v 值为233.44%,远大于64%,表明林区整体空间分布类型属集聚型。这与区内气候及地形有关,由于研究区属于北亚热带季风气候区,气候垂直分带明显;地貌复杂多样,多为高山,平均海拔 $1\,700\text{ m}$,农村居民点多呈集聚型分布。

表 1 生态景观度量指标

景观指数	缩写	取值范围	公式	描述说明
斑块总面积	CA	$CA>0$	$CA_i=\sum_{j=1}^n a_{ij}$	斑块总面积是指某类景观所有斑块面积的总和。它反映了该类景观大小的整体水平
斑块数目	NP	$NP\geqslant 1$	$NP=n_i$	斑块数目是对景观异质性和破碎度的简单描述
斑块密度	PD	$PD>0$	$PD=\frac{n_i}{A}$	斑块密度是体现了景观斑块破碎化程度的变化
最大斑块指数	LPI	$0<LPI\leqslant 100$	$LPI=\frac{\max\sum_{j=1}^n(a_{ij})}{A}\times 100$	最大斑块指数是对某类景观中最大斑块对于景观类型面积优势程度的度量
景观形态指数	LSI	$LSI\geqslant 1$	$LSI=\frac{E}{\min E}$	景观形态指数是对斑块形状复杂程度的度量,指数越大,形状越复杂。
斑块分维数	FRAC	$1\leqslant FRAC\leqslant 2$	$FRAC=\frac{2\ln(0.25p_{ij})}{\ln(a_{ij})}$	斑块分维数反映的是空间尺度范围内形状复杂性
形状指数	SHAPE	$SHAPE\geqslant 1$	$SHAPE=\frac{P_{ij}}{\min P_{ij}}$	形状指数反映的是斑块形状的规则程度

表 2 神农架林区各乡镇农村居民点空间分布

区域	总面积/hm ²	斑块数/个	用地比例/%	密度	平均面积/hm ²	C _v 值/%
神农架林区	663.39	1404	0.21	2.12	0.47	233.44
新华镇	48.00	231	0.23	2.69	0.37	134.33
阳日镇	119.60	134	0.46	2.30	0.43	178.86
松柏镇	151.04	275	0.46	1.53	0.65	202.96
宋洛乡	104.66	129	0.17	2.15	0.47	220.64
红坪镇	54.41	225	0.07	2.46	0.41	37.70
木鱼镇	75.42	120	0.17	2.07	0.48	45.97
下谷坪乡	58.63	134	0.27	2.29	0.44	176.15
大九湖乡	51.62	156	0.15	2.32	0.43	150.15

参照 DUYCKAERTS 提出的 3 个建议值^[17],由神农架林区 5 镇 3 乡计算得出的值可知,除红坪镇与木鱼镇 C_v 值小于 64%,空间分布类型为随机分布型以外,其余 6 个乡镇的农村居民点空间分布类型均为集聚型。其中林区政府所在地松柏镇的农村居民点斑块数最多,有 275 个,农村居民点平均斑块面积也最大,为 0.65 hm²,密度为 1.53,C_v 值为 202.96%,表现为集聚分布。这主要是由于该镇是地区政治、经济、文化的中心,综合对比神农架林区 2009 第二次农村土地调查成果以及数字高程模型(DEM),可发现该镇地形地势较平坦,且 307 省道横穿辖区,居民点多分布在城镇周围或者靠近水源的地方且大多数村庄连片性较好,规模较大。而新华镇、阳日镇、宋洛乡、下谷坪乡、大九湖乡五乡镇 C_v 值也均大于 64%,分布类型均为集聚型。结合社会经济数据可知,五乡镇经济发展较慢,人口较少,居民点多分布在主干道旁或者河流两侧,受地形约束较为明显,居民点规模较小,多在 0.4 hm² 左右。红坪镇农村居民点总面积为 54.41 hm²,斑块个数为 225,用地比例为 0.07%,农村居民点空间分布 C_v 值为 37.70%,表现为随机型分布;木鱼镇农村居民点斑块个数为 120,用地比例

为 0.17%,农村居民点空间分布 C_v 值为 45.97%,同样表现为随机分布,原因在于两乡镇地貌类型相似均为河谷型,且高程变化不大,公路分布合理,居民点选址布局相对自由。

总体来看,乡镇尺度下的神农架林区农村居民点空间分布类型主要以集聚型分布为主,整体表现出大散居、小聚居的分布特征。借助 Voronoi 图的 C_v 值可以从定量和定性两方面很好地揭示农村居民点空间分布的集群度,具有较强的空间尺度效应。

3.2 基于景观生态的农村居民点分布特征分析

运用 ArcGIS 软件和景观分析软件 Fragstas 测算神农架 5 镇 3 乡的景观生态指标,计算结果如表 3 所示。由表 3 可知斑块密度(PD)指标中,阳日镇和红坪镇较高,新华乡、下谷坪乡较低,表明阳日镇和松柏镇的农村居民点的景观破碎度高,而新华乡、下谷坪乡农村居民点的景观破碎度低。景观破碎度越低,则空间分布形态越稳定越好,新华乡和下谷坪乡的农村居民点空间分布形态上处于连片状态。从最大斑块指数(LPI)指标来看,宋洛乡最大,新华乡、红坪镇较小;景观形态指数(LSI)指标中,阳日镇和松柏镇较大,新华乡最小,分析表明阳日镇和松柏镇的农村居

民点受人类活动干扰较大,新华镇的农村居民点受人类活动干扰较小;斑块分维数(FRAC)指标中,红坪镇和九湖乡的值较接近于 1,表明红坪镇和九湖乡的农村居民点形状较规则;平均形状指数(SHAPE)指

标中,松柏镇最大,木鱼镇最小,表面松柏镇的农村居民点大部分都呈不规则状,而木鱼镇的农村居民点大都呈规则状,这与木鱼镇作为神农架风景旅游区的旅游接待中心镇相关。

表 3 神农架林区各乡镇农村居民点景观指数分布

区域	CA	NP	PD	LPI	LSI	FRAC	SHAPE
新华乡	84.4	409	38.8998	0.2054	25.4565	1.0662	1.2368
阳日镇	190.58	812	77.2289	0.448	36.4801	1.0697	1.2643
松柏镇	197.14	644	61.2505	0.7856	31.7331	1.0695	1.2839
宋洛乡	153.12	579	55.0684	0.9796	29.8548	1.0642	1.2408
红坪镇	116.01	689	65.5304	0.35	32.1852	1.0635	1.2176
木鱼镇	114.91	466	44.321	0.506	26.814	1.0692	1.2552
下谷坪乡	96.9	434	41.2775	0.7999	26.3553	1.0693	1.2572
九湖乡	98.36	506	48.1254	0.798	27.6683	1.0638	1.2194

神农架林区农村居民点景观指数结果从景观学的角度表明:除了松柏镇、阳日镇以外,其他乡镇的景观破碎度都较低,表明神农架林区农村居民点空间形态稳定,自然景观保护较好,受人类干扰较少;居民点的形状除了旅游集镇——木鱼镇、红坪镇以外,其他乡镇形状大都不规则,反映了农村居民居住习惯的差异。

4 山区农村居民点空间分布影响因素

根据上述乡镇尺度下的山区农村居民点特征分析,可知山区居民点空间分布特征影响因素主要包括自然环境因素和社会经济因素。自然环境因素是农村居民点形成和发展的基础,自然环境因素决定的地形地貌条件是影响居民点空间布局的重要因素。社会经济因素则是农村居民点后期扩张的重要驱动力。结合山区农村居民点自身特点,考虑到数据采集的可行性和定量数据的可操作性,选取海拔、坡度、距河流距离三方面对自然环境因素进行反映,社会经济因素则选取距城镇距离、距道路距离两方面加以刻画。

为定量分析研究影响居民点空间分布特征的自然环境因素和社会经济因素,选取以下 7 项景观指数:斑块总面积(CA)、斑块所占景观比例(PLAND)、斑块个数(NP)、景观形态指数(LSI)、斑块密度(PD)、距离指数(E)、分散度(RC)。利用景观分析软件 Fragstas 按分类级别计算各项景观指数值,计算结果如表 4 所示。

4.1 自然环境因素分析

(1) 居民点空间分布与海拔的关系。随着海拔的增加,居民点的各项景观指数呈逐渐递增或递减的变化趋势,并在平均海拔高度附近范围内达到极大值或极小值。当海拔为 1 000~1 500 m 时,斑块总面积 CA,PLAND,NP,LSI,PD 最大,该区域农村居民点

分布的总量最大,形状最复杂。海拔处于小于 1 000 m 和 1 000~1 500 m 两个范围时,居民点分散度 RC 均小于 0.1,表明居民点集聚度较高。距离指数 E 随着海拔的增加逐渐增大,农村居民点的分散度逐渐加大,海拔越高,居民点空间布局表现越零乱。上述分析表明在海拔较高的地区,居民点较少有分布。而在海拔相对较低的地区,居民点空间分布相对密集。这主要是因为较低的海拔有利于基础设施的建设和农作物的生长,更适合居民点的聚居。

(2) 居民点空间分布与坡度的关系。随着坡度的增加,居民点景观指数 CA,NP,PLAND 值逐渐减小,而 PD,LSI,E,RC 呈现先增大后减小的总体趋势。78.82%的农村居民点分布在 0~5°相对平缓的区域,当坡度超过 25°时,已经基本上不适合人类居住,较少有居民点分布在该区域。当坡度为 5°~15°时,景观形态指数 LSI 值和距离指数最大,RC 值较大,表明居民点斑块形状复杂,空间分布零散,集聚程度低。上述分析表明坡度的变化是影响农村居民点布局的重要因素,坡度越小,工程建设成本越低,更容易进行基础设施建设,因此居民点易集聚分布。

(3) 居民点空间分布与河流的关系。随着居民点与河流距离的增加,居民点的数量明显下降,景观指数 CA,PLAND,NP,LSI,PD 值逐渐降低,E 和 RC 值逐渐升高。在距离河流 300 m 的范围内,居民点斑块密度最大,分散度最小,居民点集约利用程度高。表明这个距离是山区农村居民点聚居的最佳位置。当居民点距河流 300~600 m 和大于 600 m 时,居民点距离指数相等,说明在这两个区域范围内居民点斑块面积平均大小接近。上述分析表明神农架林区农村居民点分布显示出强烈的河流指向,距离水源越近,生产生活用水越方便,越适宜于居民点分布。

表 4 神农架林区农村居民点影响因子景观指数分析

影响因素	影响因子	分类	CA	PLAND	NP	LSI	PD	E	RC
自然环境因素	海拔	<1000 m	153.04	23.15	308	24.01	46.60	2.01	0.09
		1000~1500 m	335.28	50.72	709	35.98	107.26	2.11	0.04
		1500~2000 m	147.24	22.28	374	25.93	56.58	2.54	0.11
		≥2000 m	25.44	3.85	52	9.39	7.87	2.04	0.53
	坡度	<2°	34.08	5.16	63	10.95	9.53	1.85	0.36
		2°~5°	31.32	4.74	65	11.54	9.83	2.08	0.44
		5°~15°	273.12	41.32	596	32.93	90.17	2.18	0.05
		15°~25°	247.88	37.50	521	30.61	78.82	2.10	0.06
		≥25°	74.60	11.29	200	18.92	30.26	2.68	0.24
	距河流距离	<300 m	477.72	72.27	953	42.17	144.18	1.99	0.03
		300~600 m	115.52	17.48	307	23.47	46.44	2.66	0.15
		≥600 m	67.76	10.25	180	17.69	27.23	2.66	0.26
社会经济因素	距城镇距离	<1000 m	98.92	14.97	146	16.99	22.09	1.48	0.10
		1000~5000 m	188.28	28.48	480	29.64	72.62	2.55	0.09
		≥5000 m	373.80	56.55	814	38.40	123.15	2.18	0.04
	距道路距离	<100 m	530.72	80.29	1114	45.23	168.53	2.10	0.03
		100~300 m	102.60	15.52	243	21.01	36.76	2.37	0.15
		300~600 m	20.88	3.16	65	10.52	9.83	3.11	0.99
		≥600 m	6.80	1.03	25	6.30	3.78	3.68	3.57

4.2 社会经济因素分析

(1) 居民点空间分布与城镇距离的关系。随着居民点与城镇距离的增加,居民点分布的数量越来越多,景观指数 CA、PLAND、NP、LSI、PD、E 值也逐渐升高,RC 值逐渐降低。当农村居民点处于距离城镇 5 000 m 以上的范围时,距离指数 E 值最大,而分散度 RC 值最小。表明在该区域农村居民点总体呈离散分布,局部呈集聚状。上述分析表明,农村居民点的数量与距城镇距离呈“负相关”的关系。与城镇距离越远,农村居民点反而越多。这主要是由于神农架林区整体城镇化程度很低,除了林区政府所在地松柏镇和旅游中心集散地木鱼镇的城镇用地规模较大,其他乡镇的城镇用地规模都很非常小,导致大部分农村居民点距离城镇较远。

(2) 居民点空间分布与道路交通的关系。随着居民点与道路距离的增加,居民点分布越来越少,所有选取的景观指数都随之减小。距离道路越近,居民点斑块总面积越大,数量越多,斑块所占景观面积越高,当居民点距离道路 100 m 范围内,各项景观指数达到极值。在距离道路只有 100 m 的范围内,景观指数分散度值只有 0.03,居民点沿着道路集聚分布状态明显。上述分析表明山区农村居民点分布的道路指向性明显,居民点离道路距离越近,居民点集聚程度越高。这主要是由于研究区属高山区,道路两侧较为平坦,这有利于农村居民点的选址建设,同时靠近公路定居也有利于人们的交通出行。

5 结论与讨论

本文从山区农村居民点自身的特点出发,运用 Voronoi 图与景观指数法相结合的分析方法,从乡镇尺度上多角度揭示区域农村居民点空间布局特征,为典型高山地貌类型区域进行居民点科学合理的空间布局规划提供参考。

(1) 借助 Voronoi 图的 Cv 值可以从定量和定性两方面确定农村居民点的集群程度,景观指数法则可以从生态学的角度描述农村居民点的景观格局特征。基于两者相结合的分析方法能够综合考虑相邻农村居民点间相互作用的微观力量对居民点空间布局的影响,很好地刻画山区农村居民点分布特征,揭示山区农村居民点分布规律。

(2) 自然环境因素中的海拔、坡度、距河流距离等因子和社会经济因素中的道路交通、城镇辐射距离等因子是山区农村居民点空间分布格局的主要影响因素。其中地形和道路交通因素对山区居民点分布影响显著,居民点分布呈现出较强的地形和道路交通指向。

(3) 农村居民点影响因子众多,限于数据获取的难度,本文在选取影响因子时存在一定的主观性,仅考虑了自然环境因素和社会经济因素中的主要影响因素。在实际应用中,应同时考虑农村人口、人均纯收入、居住习惯、地方政策等因子对农村居民点空间布局的影响,这在今后的研究中有待不断完善。

参考文献:

- [1] 乔蕻强,刘秀华,李让恩.农村居民点用地整理现实潜力测算及分区:以重庆市丰都县为例[J].水土保持研究,2012,19(2):222-225.
- [2] 曲衍波,张凤荣,姜广辉,等.农村居民点用地整理潜力与“挂钩”分区研究[J].资源科学,2011,33(1):134-142.
- [3] 周伟,曹银贵,王静.彭州市熙玉村农村居民点整理潜力的景观特征[J].农业工程学报,2011,27(10):316-321.
- [4] 杨俊,王占岐,邹利林,等.基于村尺度的山区农村居民点用地现状及其整理事序研究[J].经济地理,2013,33(5):150-157.
- [5] 鄯瑞卿,刘富民,刘洪,等.吉林省磐石市农村居民点用地空间布局优化模式研究[J].水土保持研究,2013,20(1):197-201.
- [6] 潘竞虎,靳学涛,韩文超.甘谷县农村居民点景观格局与空间分布特征[J].西北大学学报:自然科学版,2011,41(1):127-133.
- [7] 姜磊,雷国平,张健,等.农村居民点空间布局及优化分析[J].水土保持研究,2013,20(1):224-229.
- [8] 车明亮,聂宜民,姜曙千,等.平邑山区农村居民点分形特征及影响因素[J].农业工程学报,2010,27(S2):360-365.
- [9] 龙英,舒晓波,李秀娟,等.江西省安福县农村居民点空间分布变化及其环境因素分析[J].水土保持研究,2012,19(5):171-175.
- [10] 孔雪松,刘耀琳,邓宣凯,等.村镇农村居民点用地适宜性评价与整治分区规划[J].农业工程学报,2012,28(18):215-222.
- [11] 曲衍波,张凤荣,姜广辉,等.基于生态位的农村居民点用地适宜性评价与分区调控[J].农业工程学报,2010,26(11):290-296.
- [12] 张红,王新生,余瑞林.基于 Voronoi 图的测度点状目标空间分布特征的方法[J].华中师范大学学报:自然科学版,2005,39(3):422-426.
- [13] 陈军,赵仁亮,乔朝飞.基于 Voronoi 图的 GIS 空间分析研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2003,28(S1):32-37.
- [14] 朱建华. Voronoi 图在土地定级中的应用[J].国土资源科技管理,2005,22(1):88-90.
- [15] 刘仙桃,郑新奇,李道兵.基于 Voronoi 图的农村居民点空间分布特征及其影响因素研究:以北京市昌平区为例[J].生态与农村环境学报,2009,25(2):30-33,93.
- [16] Okabe A, Boots B, Sugihara K, et al. Spatial Tessellation: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams [M]. Chichester, UK: John Wiley, 2000.
- [17] Duyckaerts C, Godefroy G. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones[J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 2000,20(1):83-92.
- [18] 赵中华,李春林,鄯瑞卿,等.基于景观生态学的土地利用景观格局特征分析:以磐石市为例[J].安徽农业科学,2012,40(8):4658-4659,4702.
- [19] 田光进,张增祥,张国平,等.基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化[J].生态学报,2002,32(7):1028-1034.
- [20] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等.近 20 年黄河三角洲典型地区农村居民点景观格局[J].资源科学,2004,26(5):89-97.
- [21] 王诗雨,雷国平,姜超,等.黑龙江省宝泉岭垦区农村居民点景观格局与空间分布特征分析[J].水土保持研究,2013,20(2):196-200.
- [22] 李伟峰,欧阳志云,肖赓.景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用[J].生态学报,2011,31(3):593-601.
- [23] 张荣天,张小林,李传武.镇江市土地利用景观格局分析[J].经济地理,2012,32(9):132-137.