

# 水体空间分布多样性分析的网格尺度研究

段金龙<sup>1,2</sup>, 李卫东<sup>1</sup>, 张学雷<sup>2</sup>, 李滨<sup>1</sup>

(1.河南工业大学信息科学与工程学院, 河南 郑州 450001;  
2.郑州大学自然资源与生态环境研究所, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 水体空间分布多样性的提出为地表水资源的分布特征评价提供了一种新的思路和方法, 网格尺度设置是其研究结论获取的前提条件。以河南省内 5 个典型样区为例, 计算了 14 种不同网格尺度下水体空间分布多样性的变化特征, 以期探索水体空间分布多样性研究中合理网格尺度的设置准则。结果表明, 水体空间分布多样性研究中的网格尺度设置为 2km~500m 之间为宜。

**关键词:** 土壤多样性; 地表水体; 空间分布; 网格尺度

**中图分类号:** P966      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0852(2015)06-0019-05

中国的水资源受季风气候、地理位置和地形结构的影响, 具有明显的空间分布不均匀现象<sup>[1]</sup>, 借助于空间遥感手段的水环境研究是相关研究领域的前沿性内容<sup>[2]</sup>, 对水资源的空间分布不均匀特征进行分析也是自然科学相关研究中的热点问题, 主要涉及不同尺度下的水资源分布特征分析、不同研究区或不同研究时期的水资源分布特征比较<sup>[3]</sup>、水资源变化预测等, 同时主要使用水面面积<sup>[4]</sup>、水资源总量、径流量<sup>[5-6]</sup>、河流密度等相关指数作为评价指标, 以期为区域水资源和其他资源类型的可持续合理利用提供理论及数据参考。

起源于信息论领域的土壤多样性是土壤地理学研究中的前沿性内容<sup>[7-9]</sup>, 21 世纪初张学雷等将其引入中国, 并基于山东省、海南岛、江苏省等地的土壤和土地利用数据做出了系统化研究<sup>[10-12]</sup>, 相关研究成果表明, 土壤多样性能够很好地评价区域土壤的空间变异特征。较早研究中<sup>[13-14]</sup>, 笔者基于土壤多样性的相关理论和方法提出了“水体空间分布多样性”的概念, 并使用这种新指数对区域地表水体的空间分布离散性进行了数字化表达, 为水资源的分布特征评价提供了一种新的思路和方法。在水体空间分布多样性研究中, 网格尺度对多样性数值具有直接影响, 合理网格尺度的设置是正确评价结果获取的前提条件。本研究以中国内陆省份河南省不同生态环境、地形、经济条件下的典型样

区为例, 计算了 14 种不同网格尺度下的水体空间分布多样性, 评价了最佳网格尺度的设置准则, 以期资源遥感研究和区域土地利用规划提供数据和理论支持。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况及数据来源

选择河南省东部、西部、南部、北部和中部的 5 个典型样区参与研究(图 1), 除豫南样区外, 其他样区均为暖温带大陆性季风气候, 年均降雨量大于 600mm, 农作物种植以小麦玉米轮作为主; 豫南样区属亚热带向暖温带过渡气候, 年均降雨量 1 000mm 左右, 河湖众多, 以水稻种植为主, 耕地类型以水耕田为主。研究选取美国地球资源卫星的 TM 或 ETM+ 传感器数据(表 1), 样区面积均为 5 100km<sup>2</sup> 左右。

表1 研究区信息统计  
Table1 The information statistics of the case area

	豫东样区	豫西样区	豫南样区	豫北样区	豫中样区
样区面积 /km <sup>2</sup>	5051	5271	5051	5304	5175
地表水体面积/km <sup>2</sup>	84.9	90.7	415.5	55.6	87.1
数据获取日期	2006.05.02	2006.05.23	2007.04.19	2009.06.25	2007.05.19

收稿日期: 2014-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171177); 河南工业大学高层次人才科研基金项目(2014BS017)

作者简介: 段金龙 (1984-), 男, 河南民权人, 博士, 讲师, 主要从事地理信息及水土资源遥感研究。E-mail: 215385212@qq.com

通讯作者: 张学雷 (1960-), 男, 江苏沛县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事运用数据库、3S 技术对自然资源(土壤与土地资源为主)与生态环境效应的分析与研究。E-mail: ZXIzzu@zzu.edu.cn



图1 研究区分布  
Fig.1 The distribution of the case area

1.2 研究方法

使用土壤多样性的最新计量方法并以此更好地评价地表水体的空间分布特征：

$$Y_h = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i}{\ln S} \quad (1)$$

在地表水体空间分布多样性中, S 表示空间网格的数目,  $p_i$  表示第  $i$  个空间网格中的水体面积在水体总面积中所占比例, 这时多样性指数  $Y_h$  表示研究区内地表水体的空间分布离散性程度。多样性指数  $Y_h$  取值区间为[0,1], 当地表水体仅在 1 个网格内存在时,  $Y_h$  取

值等于 0; 当地表水体均匀分布于每个网格内时(即每个网格内的地表水体面积相等),  $Y_h$  取值等于 1。

研究使用土地利用监督分类方法提取了样区遥感数据中的地表水体信息(图 2), 水体类型包括河流、湖泊、水库、鱼塘、高级别灌溉用沟渠等, 依次计算了各样区在 25km、20km、17km、15km、12km、10km、7km、5km、4km、3km、2km、1km、500m 和 200m 这 14 种不同网格尺度下的地表水体空间分布多样性(表 2), 评价了该指数在大尺度至小尺度网格变化下的数值变化特征, 并以“水面面积”(表 1) 这一传统水体分布特征评价指数为参考, 探索了水体空间分布多样性研究中最佳网格尺度的设置准则, 以期后续相关研究提供方法论支持。

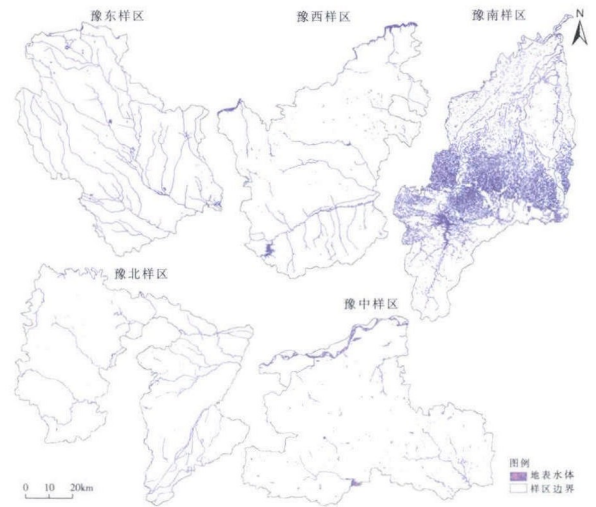


图2 各样区地表水体分布  
Fig.2 The surface water distribution of the case area

表2 不同网格尺度下网格个数统计  
Table2 The statistics of the grid number in different grid scale

研究区	25km	20km	17km	15km	12km	10km	7km	5km	4km	3km	2km	1km	500m	200m
豫东样区	14	23	27	34	53	70	132	244	377	640	1384	5299	20713	127587
豫西样区	16	24	32	39	60	76	146	261	397	687	1466	5583	21721	133389
豫南样区	19	21	28	39	54	70	136	252	371	646	1391	5324	20774	127746
豫北样区	19	27	35	43	62	84	156	277	421	713	1514	5706	22030	134683
豫中样区	15	24	29	36	53	77	141	261	388	660	1431	5470	21295	130886

2 结果与分析

2.1 不同网格尺度下水体空间分布多样性的变化

基于各样区地表水体类型的几何特征, 研究计算了从大尺度(25km)到小尺度(200m)共 14 种常用网格下的水体空间分布多样性。研究发现, 除豫南样区外,

其他各样区的水体空间分布多样性数值均随网格尺度的扩大而增加, 且两者之间的正相关关系明显符合对数函数曲线(图 3); 豫南样区数据点以 4km 网格为分界线, 当网格尺度低于 4km 时, 呈现出较明显的对数函数正相关关系, 而当网格尺度高于 4km 时, 呈现出明显的线性负相关关系。

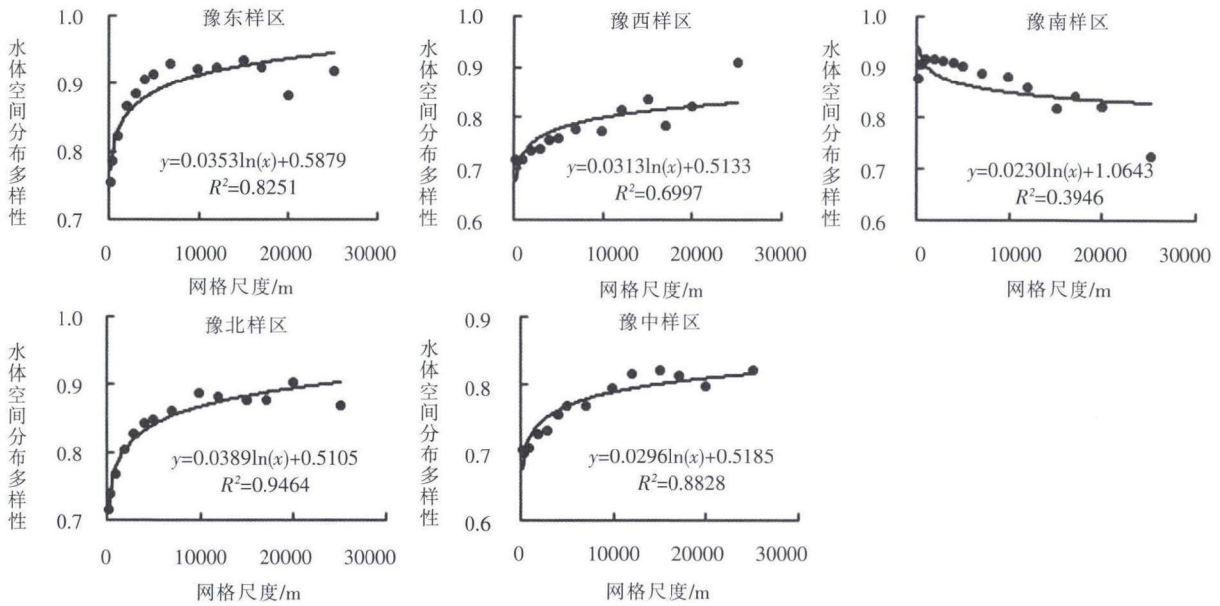


图3 网格尺度与水体空间分布多样性的关系  
Fig.3 The relationship between the grid scale and water spatial distribution diversity

在前期土地利用分类研究中,发现豫南样区的地表水资源持有量明显高于其他样区,除豫南样区外,其他各样区的地表水体均以河流、沟渠等线状水体类型为主,而豫南样区自身多湖泊、水库、鱼塘,粮食作物又以水稻种植为主,因此豫南样区的地表水体包含有大比例面状水体类型。

综上所述,当研究区不变时,如研究区以线状地表水体类型为主,随网格尺度的不断扩大,研究区水体空间分布多样性数值也将逐渐增大,但增加速度逐渐减慢;如研究区以面状地表水体类型为主,水体空间分布多样性数值将有一个先增大后减小的过程。研究还发现一般在5km网格尺度以内时,水体空间分布多样性

和网格尺度之间遵循严格的对数或线性正相关变化关系,但当网格尺度大于10km时,水体空间分布多样性的变化具有更大的随机性。

2.2 不同样区水体空间分布多样性的对比

不同样区间水体空间分布多样性的对比能够直观反映出不同区域地表水体分布离散性的区别。为探索网格尺度对以上对比结果的影响,首先将14种网格尺度下的各样区水体空间分布多样性指数进行了排序(表3)。研究发现,当网格尺度介于4km和500m之间时,各样区水体空间分布多样性之间的排序结果均为豫中<豫西<豫北<豫东<豫南,当网格尺度大于4km时,排序结果一般不同且差别较大。

表3 不同网格尺度下水体空间分布多样性排序  
Table3 The sequence of the water spatial distribution diversity in different grid scale

	25km	20km	17km	15km	12km	10km	7km
样区排序	南中北西东	中南西东北	西中南北东	南中西北东	西中南北东	西中南北东	中西北南东
	5km	4km	3km	2km	1km	500m	200m
样区排序	西中北南东	中西北东南	中西北东南	中西北东南	中西北东南	中西北东南	中北西东南

注:表中“南中北西东”的含义是“各样区水体空间分布多样性数值的排序结果为豫南<豫中<豫北<豫西<豫东”,其余同理。

较早研究中<sup>[13-14]</sup>,一般认为地表水体面积与水体空间分布多样性之间具有较为明显的线性正相关关系。本研究对14种网格尺度下的各研究区水面面积与水体空间分布多样性进行一元线性回归分析(表4),并评价了14组回归分析方程的变化特征。结果表明,

当网格尺度大于等于12km时,两者之间均呈负相关变化关系,但判定系数 $R^2$ 无明显变化规律,表明高网格尺度下,区域水面面积和水体空间分布多样性之间不存在明显联系;当网格尺度小于等于10km时,两者之间均呈正相关变化关系,且当网格尺度不断缩小时,

两者之间的线性相关性不断增强,当网格尺度低于2km时,两者之间的线性相关性显著增强(判定系数 $R^2$ 大于等于0.5)。由此可知,在较低网格尺度下(小于

2km),区域水面面积和水体空间分布多样性之间存在明显的线性正相关变化关系,且随着网格尺度的降低,该特征不断增强。

表4 不同网格尺度下水面面积与水体空间分布多样性的关系

Table4 The relationship between the water area and water spatial distribution diversity in different grid scale

网格尺度	回归方程	网格尺度	回归方程	网格尺度	回归方程
25km	$y=-4.50E-10x+0.9157, R^2=0.7443$	10km	$y=8.65E-11x+0.8395, R^2=0.0419$	2km	$y=3.85E-10x+0.7547, R^2=0.4931$
20km	$y=-1.05E-10x+0.8620, R^2=0.1260$	7km	$y=1.45E-10x+0.8246, R^2=0.0977$	1km	$y=4.74E-10x+0.7177, R^2=0.6912$
17km	$y=-3.00E-11x+0.8547, R^2=0.0069$	5km	$y=2.18E-10x+0.8078, R^2=0.2072$	500m	$y=5.00E-10x+0.6962, R^2=0.8194$
15km	$y=-1.49E-10x+0.8806, R^2=0.2120$	4km	$y=2.66E-10x+0.7967, R^2=0.2807$	200m	$y=4.59E-10x+0.6879, R^2=0.9272$
12km	$y=-8.81E-12x+0.8619, R^2=0.0008$	3km	$y=3.32E-10x+0.7722, R^2=0.3688$		

综上所述,当网格尺度不变时,为探索不同区域地表水体空间分布离散性的区别,合理网格尺度的选取是研究结论获取的前提。研究认为,一般情况下,网格尺度设置为2km~500m为宜,这将使研究结果更具规律性,同时兼顾了传统水体分布特征评价指数的参考作用和多样性计算的便捷性。但应注意到,上述结论的获取基于本研究土地利用分类中的地表水体提取策略,当研究精度和尺度改变时,网格尺度的设置也应有相应改变。

### 3 结论

本文通过对“水体空间分布多样性”这一最新水资源分布特征评价研究中的网格设置准则进行深入分析,得到了以下主要结论:

(1)在地表水体空间分布多样性研究中,合理网格尺度的设置具有重要意义,是研究结论获取的前提条件。

(2)水体空间分布多样性研究中的网格尺度设置为2km~500m之间为宜,如地表水体类型仅考虑高级别河流、湖泊等,即进行宏观角度的大尺度研究时,可以适当扩大网格尺度。

(3)随网格尺度的不断降低,区域水面面积和水体空间分布多样性之间存在线性正相关变化关系不断增强的趋势。

#### 参考文献:

- [1] 李浩然,郝滢洁,路紫.我国水资源特点及其对区域经济的影响[J].国土与自然资源研究,2007,4:63-65. (LI Haoran, HAO Yingjie, LU Zi. The characteristic of water resources and its effect on economy of the region in China [J]. Territory & Natural resources Study, 2007,4:63-65. (in Chinese))
- [2] 张友静,邓世赞,马荣华,等.湖泊水环境卫星遥感监测系统的设计与实现[J].武汉大学学报(信息科学版),2011,36(9):1017-1019.

(ZHANG Youjing, DENG Shizan, MA Ronghua, et al. Design and development of remote sensing lake water environmental monitoring system[J]. Journal of Wuhan University (Geomatics and Information Science), 2011,36(9):1017-1019. (in Chinese))

- [3] 阿依努尔·买买提,邱玉宝.近20年和田绿洲水资源变化及其驱动力分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(4):117-122. (Aynur·Mamat, QIU Yubao. The water resources change and its driving force analysis in Hotan Oasis during the past 20years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013,27(4):117-122. (in Chinese))
- [4] 徐涵秋.基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析[J].生态学报,2011,31(14):3890-3901. (XU Hanqiu. Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(14):3890-3901. (in Chinese))
- [5] 牛最荣,赵文智,黄维东,等.黑河下游生态调水对水资源时空变化的影响分析[J].水文,2011,31(5):52-56. (NIU Zuirong, ZHAO Wenzhi, HUANG Weidong, et al. Impact of ecological water diversion on temporal and spatial change of water resources in Heihe downstream [J]. Journal of China Hydrology, 2011,31(5):52-56. (in Chinese))
- [6] 张晓晓,张钰,徐浩杰.1950-2005年大通河流域径流变化特征及影响因素[J].水文,2013,33(6):90-96. (ZHANG Xiaoxiao, ZHANG Yu, XU Haojie. Variation characteristics of runoff and its driving forces in Datong river basin from 1950 to 2005 [J]. Journal of China Hydrology, 2013,33(6):90-96. (in Chinese))
- [7] Ibáñez, J J, Krasilnikov P V, Saldaña A. Archive and refugia of soil organisms: applying a pedodiversity framework for the conservation of biological and non-biological heritages [J]. Journal of Applied Ecology, 2012,49:1267-1277.
- [8] Ibáñez, J J, Zinck J A, Dazzi C. Soil geography and diversity of the European biogeographical regions [J]. Geoderma, 2013,192:142-153.
- [9] Giuseppe L P, Vanessa P, Carmelo D. Is land-use change a cause of loss of pedodiversity? The case of the Mazzarrone study area, Sicily [J]. Geomorphology, 2011,135:332-342.
- [10] 张学雷,陈杰,檀满枝,等.土壤多样性理论方法的新近发展与应

用[J]. 地球科学进展, 2003,18(3):374-379. (ZHANG Xuelei, CHEN Jie, TAN Manzhi et al. Some most recent research progress on pedodiversity. Advance in Earth Science. 2003,18(3):374-379. (in Chinese))

[11] 张学雷,陈杰,张甘霖. 海南岛不同地形上土壤性质的多样性分析[J]. 地理学报, 2003,58(6):839-844. (ZHANG Xuelei, CHEN Jie, ZHANG Ganlin. Landform based pedodiversity of some soil properties in Hainan [J]. Acta Geographica Sinica, 2003,58(6): 839-844. (in Chinese))

[12] 孙燕瓷,张学雷,陈杰. 城市化对苏州地区土壤多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2005,16(11):2060-2065. (SUN Yanci, ZHANG Xuelei, CHEN Jie. Impact of urbanization on pedodiversity in Suzhou area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005,16(11):2060-2065. (in Chinese))

[13] 段金龙,张学雷. 中国中、东部典型样区土壤和水体多样性关联分析[J]. 水科学进展, 2012,23(5):635-641. (DUAN Jinlong, ZHANG Xuelei. Correlative analysis of pedodiversity and spatial distribution of water body diversity at different scales in central and east China. Advances in Water Science, 2012,23(5):635-641. (in Chinese))

[14] 段金龙,屈永慧,张学雷. 地表水空间分布与土壤类别多样性关联分析[J]. 农业机械学报, 2013,44(6):110-116. (DUAN Jinlong, QU Yonghui, ZHANG Xuelei. Correlative analysis between surface water spatial distribution diversity and pedodiversity [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(6):110-116. (in Chinese))

### Grid Scale Study in Water Spatial Distribution Diversity Analysis

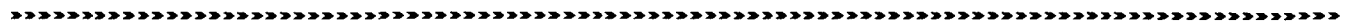
DUAN Jinlong<sup>1,2</sup>, LI Weidong<sup>1</sup>, ZHANG Xuelei<sup>2</sup>, LI Bin<sup>1</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The water spatial distribution diversity provides a new idea and method for the evaluation of surface water distribution, and the grid scale setting is the prerequisite for its research conclusions. Five typical case areas in Henan Province were selected for a variation analysis of water spatial distribution diversity in 14 different grid scales to explore the setting strategy of proper grid scale in the water spatial distribution diversity study. Results show that the best grid scale in the water spatial distribution diversity is between 2km to 500m.

**Key words:** pedodiversity; surface water body; spatial distribution; grid scale



(上接第5页)

### Study on Flood Submergence of River Beaches Based on Two-dimensional Numerical Simulations of Shallow Water Flow

XU Dong<sup>1</sup>, XU Bin<sup>1</sup>, BAI Yuchuan<sup>1</sup>, FU Chuanjun<sup>2</sup>, LI Longbing<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Hydrology and Water Resource Survey Bureau of Hainan Province, Haikou 570203, China)

**Abstract:** A multi-resolution treatment method for the analysis of flood submergence of river beaches was advanced. With this method, the flow in rivers was simulated by solving the two-dimensional water equation using finite element method. Drying and wetting judgement was adopted for treatment of the dynamic boundary of river channels. The water surface elevations corresponding to various flow rates were obtained by simulations. The surface was used to split the high-resolution DEM (digital elevation model) topography. Image segmentation and region growing methods were used to recognize the wet and dry areas. This method was used in practice for the estuary section of downstream Nanduijiang River, during which the low resolution (10m) two-dimensional shallow water numerical simulations were effectively combined with the high resolution local topography (2m). In this way, high precision computations were obtained for the submerged area.

**Key words:** two-dimensional shallow water; numerical simulation; submerged area; dynamic boundary