

【水资源·水环境】

# 河南省典型样区地表水分布多样性研究

屈永慧<sup>1,2</sup>, 张学雷<sup>1,2</sup>, 段金龙<sup>1,2</sup>

(1. 郑州大学 自然资源与生态环境研究所 河南 郑州 450001;

2. 郑州大学 水利与环境学院 河南 郑州 450001)

**摘要:** 选取河南省5个典型样区,将多样性理论与方法应用于水体空间分布特性评价中,探索了各样区地表水空间分布的离散性。利用仙农熵变形公式,结合水体资源分布特点,计算了各样区在不同网格尺度下的水体空间分布多样性指数,并分析了异网格尺度下水体空间分布格局。研究表明:豫南、豫东样区地表水体分布比较均匀,豫中、豫西样区的水体分布在空间格局上具有明显不均匀性;不同网格尺度下,水体空间分布多样性指数略有差异;水体比例增量与水体空间分布多样性指数增量之间存在一定正相关关系,水体比例与水体空间分布多样性指数之间也存在正相关关系,即水体比例的增大或减小往往造成水体空间分布格局离散性的增大或减小。

**关键词:** 空间分布多样性; 仙农熵; 地表水; 网格尺度

中图分类号: TV211.1 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1000-4379.2014.04.015

## Analysis of Surface Water Spatial Distribution Diversity for the Case Areas of Henan Province

QU Yong-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Xue-lei<sup>1,2</sup>, DUAN Jin-long<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Natural Resources and Eco-Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. School of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** To explore the spatial discreteness of surface water, case spatial areas from Henan Province were selected to practice the diversity theory and methods for water spatial distribution diversity and discrete characteristics. Based on the modified Shannon entropy formula and combined with the characteristics of water conditions, water spatial distribution diversity index in different grid scales for each research area were then calculated and finally the water distribution pattern of different grid scales were explored by using the recently developed theories and methods of pedodiversity. The results show that the surface water of areas in the east and south are more evenly distributed, but areas in the west and centre unevenly; three different grid scales have different water spatial distribution diversity index and there is a positive correlation ship between water spatial distribution diversity and water portion of the related case area, and between the increment of water spatial distribution diversity and increment of water portion.

**Key words:** spatial distribution diversity; Shannon entropy; surface water; grid scale

河南省乃至全国的水资源在时间和空间分布上存在明显差异性和不均衡性,经济的高速发展造成水资源需求量激增,带来诸如缺水、水污染等一系列问题,使水资源总量和质量受到不同程度的影响<sup>[1-2]</sup>。在这种形势下,迫切需要获取水体的全方位、立体特征,为水资源配置以及水体空间分布研究提供依据<sup>[3-6]</sup>。以往通过传统手段获取的水体分布特征不够全面,特别是在水体空间分布格局特征指数的获取上缺少有效手段。

起源于信息论领域的多样性概念与分析方法,被广泛应用于生物物种数量的计量和分析等生态学研究<sup>[7]</sup>,而将多样性理论引入到土壤空间变异或空间可变性研究中,使得量化描述土壤空间分布格局成为可能<sup>[8-11]</sup>。在不同尺度下,许多学者进行了土壤多样性相关研究,在研究中结合了诸如土地利用方式、嵌套性分析、河流阶地、土壤发育等不同要素<sup>[12-15]</sup>,从而使土壤多样性这一研究领域的视野变得更为开阔。段金龙等<sup>[12,16]</sup>将多样性理论与方法引入到水体空间分布格局的研究中,探索了水土资源在空间分布上的内在联系,发现水体的空

间分布与土壤的构成组分存在一定负相关关系,以及水体面积与水体空间分布多样性具有一定正相关关系。笔者尝试将土壤多样性理论引入到水体空间分布格局的研究中,探索水资源空间分布的演变特点。为进一步验证多样性理论在水体空间分布格局研究中的可操作性,利用仙农熵变形公式计算不同网格尺度下河南省5个典型样区地表水空间分布的多样性,探索并评价了各典型样区地表水空间分布格局的不同特征,以期弥补传统水资源特征计算与统计方法的不足,从宏观上对水体的聚集和离散特性进行客观评价,为中原经济区建设中水资源的可持续利用和生态环境保护提供科学依据。

收稿日期: 2013-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41171177)。

作者简介: 屈永慧(1990—),女,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为地理信息技术与土地资源评价。

通信作者: 张学雷(1960—),男,江苏沛县人,教授,博士生导师,主要从事自然资源与生态环境方面的研究工作。

E-mail: zzuqyh@163.com

# 1 研究区概况与技术方法

## 1.1 研究区概况

河南省位于中国中部偏东、黄河中下游,是中国传统的农业和人口大省,地形复杂,地势西高东低。河南省北部为暖温带,南部为亚热带气候交错的边缘地带。根据地形、气候、降水等不同自然、社会因素,选取河南省的5个典型样区(见图1)进行对比研究。研究样区面积均为5 000 km<sup>2</sup>左右。豫南典型样区属于亚热带与暖温带过渡区,降水丰沛,年平均降水量为900~1 400 mm,江河众多;其余样区年平均降水量约为600 mm。

## 1.2 数据源及数据处理

研究所用遥感数据为美国地球资源卫星(Landsat)的TM

表1 遥感数据统计

典型样区	研究区域范围	研究区面积/km <sup>2</sup>	研究时期1	研究时期2
豫东	商丘(永城、夏邑、虞城)	5 054	2002-04-13	2006-05-02
豫西	三门峡(陕县、渑池)、洛阳(洛宁)	5 275	2001-05-01	2006-05-23
豫南	信阳(固始、商城)	5 052	2002-04-13	2007-04-19
豫北	安阳(林州、安阳县、汤阴)、鹤壁(浚县)	5 299	2001-04-24	2009-06-25
豫中	郑州(巩义、登封、上街、荥阳、新密、新郑)	5 173	2001-05-10	2007-05-19

## 1.3 技术方法

经典土壤多样性计算公式,即仙农熵公式:

$$H = - \sum (P_i \ln P_i) \quad (1)$$

式中:H为仙农指数;P<sub>i</sub>通过计算n<sub>i</sub>/N所得,n<sub>i</sub>为被第i个土壤类别所覆盖的面积,N为研究区的总面积<sup>[17]</sup>。

H表示土壤种类的多样性分布程度,取值范围是[0, ln S],S为土壤类别数。当某个土类占据全部面积时H取0,当所有土类均匀分布时H取极大值ln S。计算水体空间分布多样性的理论依据是在式(1)的基础上演变得到的<sup>[12]</sup>,可以更好地评价研究对象的空间离散性:

$$Y_h = \frac{- \sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i)}{\ln S} \quad (2)$$

式中:Y<sub>h</sub>为研究区水体的空间分布多样性特征指数;S为空间网格数目;p<sub>i</sub>为第i个空间网格内水体面积占研究区水体总面积的比例。

多样性指数Y<sub>h</sub>表征水体空间分布的离散性程度,Y<sub>h</sub>取值范围为[0, 1]。当对象的相对丰度分布极度不均匀,即对象集中分布在研究区少数几个网格时,Y<sub>h</sub>取值趋于0;当对象在研究区网格中均匀分布时,Y<sub>h</sub>取值为1。

根据5个典型样区的遥感数据,利用遥感软件ENVI 4.5对研究区TM影像进行土地利用分类,并参考Google Earth高分辨率影像对典型样区的水体信息进行校正。对已分类的数据利用ArcGIS 9.3提取其中的水体信息(属性信息和空间信息)并获取水体矢量分布图。利用式(2)计算网格尺度为①2.0 km×2.0 km、②3.5 km×3.5 km、③5.0 km×5.0 km时的水体空间分布多样性指数,探索不同自然和人文条件下水资源的空间分布特点。

或ETM+传感器数据(表1),其他相关数据来源于各样区行政区划矢量数据和相关统计资料等。



图1 典型样区分布

# 2 结果与分析

## 2.1 水体空间分布多样性格局分析

研究水体主要包括河流、湖泊、水库、鱼塘、灌溉用地、沟渠等地表水体。利用式(2)计算各样区在两个时期3种网格尺度下的水体空间分布多样性指数,及各样区3种网格尺度下多样性指数的平均值,计算结果见表2、表3。

表2 水体空间分布多样性统计(时期1)

典型样区	研究区面积/km <sup>2</sup>	水体总面积/km <sup>2</sup>	占研究区比例/%	水体空间分布多样性指数			
				网格尺度①	网格尺度②	网格尺度③	平均值
豫东	5 054	69.81	1.381	0.850	0.886	0.904	0.880
豫西	5 275	83.68	1.586	0.745	0.757	0.772	0.758
豫南	5 052	318.75	6.309	0.917	0.909	0.901	0.909
豫北	5 299	36.01	0.680	0.734	0.763	0.779	0.759
豫中	5 173	119.64	2.313	0.736	0.755	0.790	0.761

表3 水体空间分布多样性统计(时期2)

典型样区	研究区面积/km <sup>2</sup>	水体总面积/km <sup>2</sup>	占研究区比例/%	水体空间分布多样性指数			
				网格尺度①	网格尺度②	网格尺度③	平均值
豫东	5 054	84.89	1.680	0.868	0.890	0.916	0.894
豫西	5 275	90.68	1.719	0.736	0.755	0.760	0.750
豫南	5 052	415.51	8.225	0.919	0.909	0.903	0.910
豫北	5 299	55.64	1.050	0.806	0.838	0.850	0.831
豫中	5 173	86.24	1.667	0.727	0.741	0.771	0.746

通过式(2)计算出水体空间分布多样性指数,其值越高说明水体的空间分布格局越离散。在研究区面积相近的情况下,由表1、表2可知:研究的两个时期,豫南样区的水体比例均最大,其中2002年水体空间分布多样性指数平均值是0.909,2007年是0.910。由此可以推断,豫南样区的水体分布离散性

比较大,即地表水分布较均匀。豫北样区的水体比例最小,水体空间分布多样性指数平均值相对较小,表明豫北样区水体空间分布离散性小,地表水分布相对集中。

## 2.2 异网格尺度下水体空间分布多样性

利用多样性方法评价研究对象的空间离散性时,有两方面的问题值得探讨:对象空间分布多样性数值与网格尺度有直接关系,同一研究区水体在不同网格尺度下,其空间分布多样性指数略有不同;图斑分布位置在一定程度上影响空间分布的多样性格局,也就是说即使有相同的网格尺度和面积,也可能因位置不同而具有不同的多样性指数。这是利用多样性理论评价研究对象的空间分布离散性时的固有缺点。为解决该问题,一种方法是在同一网格尺度下通过平行移动所有网格,计算多种移动方式下所得多样性指数的平均值;另一种方法是计算多种网格尺度下所得多样性指数的平均值<sup>[12]</sup>。笔者采用第二种方法。

3种网格尺度下地表水的空间分布多样性指数(表2、表3)显示,在不同网格尺度下,样区的水体空间分布多样性指数略有差异。豫南样区水体空间分布多样性指数在3种不同网格尺度下虽有差异,但是在5个典型样区中均最大,且大于0.90,说明豫南典型样区的水体空间分布最为均匀。另外,为了更好地评价水体的空间分布格局,取3种网格尺度下多样性指数的平均值,例如,两个时期豫南样区地表水空间分布多样性指数均为最大,其中时期1为0.909、时期2为0.910,表明豫南样区的水体空间分布格局比较离散。

## 2.3 水体比例与水体空间分布多样性关联分析

时期1、时期2水体比例与水体空间分布多样性关系见图2、图3,其中空间分布多样性指数为5个典型样区在异网格尺度下水体空间分布多样性指数的平均值。水体比例与水体空间分布多样性指数之间存在明显的正相关关系。豫南样区在两个时期的水体比例最大,其空间分布多样性指数在5个样区中也最大,随着样区内水体比例的增大,水体的空间分布离散性一般也呈增大趋势。

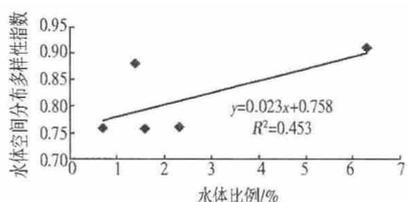


图2 时期1 水体比例与水体空间分布多样性关系

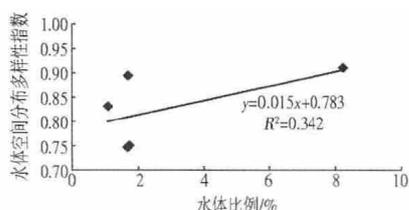


图3 时期2 水体比例与水体空间分布多样性关系

通过表2和表3对比发现,两个时期内各研究区水体总面积均存在不同程度的变化,豫北、豫南、豫东、豫西时期2水体比例相对于时期1变化较大,分别增加了54.51%、30.36%、21.60%、8.37%,而豫中则减少了27.92%。两个时期内研究区的水体空间分布多样性指数也存在不同程度的变化,其中豫

北、豫东、豫南分别增加了9.49%、1.59%、0.11%,豫中和豫西减少了1.97%、1.06%。

上述两组数据水体比例的增量与水体空间分布多样性指数增量之间的关系可以用一元线性回归模型简单描述,其一元线性(图4)回归方程为  $y = 0.124x - 0.527$ ,  $R^2 = 0.677$ ,表明水体比例的增大或减小往往造成水体空间分布格局离散性的增大或减小。另外,豫中样区在两个研究期内水体比例和空间分布多样性指数随着时间的变化均逐渐减小,水体比例减小了27.92%,水体空间分布多样性指数减少了1.97%,水体比例比水体空间分布多样性指数变化强烈,这与段金龙等<sup>[18]</sup>在研究土壤多样性分布格局中发现的空间分布多样性数值的对数函数变化曲线是一致的,即随着区域水体比例的线性增大,其水体空间分布多样性指数呈缓慢增大趋势。研究水体面积的变化与快速城市化进程中需水量的增加导致地表水总量减少这一事实是一致的。

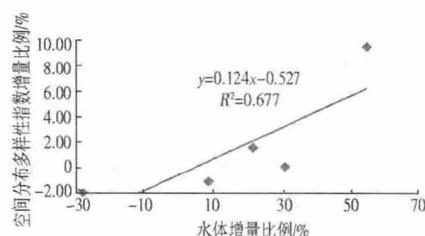


图4 水体比例增量与其空间分布多样性指数增量比例的关系

从以上研究可以发现,水体空间分布多样性直观反映出研究区内水体分布的离散程度,而水体面积直观反映出研究区内的地表水总量。多样性的引入对于评价区域地表水资源分布具有实际意义,为传统宏观上的面积统计方法提供了新的研究角度。

## 3 结 语

将多样性理论与方法应用到水资源空间分布离散性评价中,并利用GIS强大的空间分析功能,结合相关资料,采用定量分析与定性分析、理论研究和实证分析相结合的方法评价了河南省典型样区的地表水空间分布特性。结果表明:豫南、豫东样区地表水分布比较均匀,豫中、豫西样区的水体分布在空间格局上具有明显不均匀性;不同网格尺度下,水体空间分布多样性指数略有差异;水体比例增量与水体空间分布多样性指数增量之间存在一定正相关关系,水体比例与水体空间分布多样性指数之间也存在正相关关系,即水体比例的增大或减小往往造成水体空间分布格局离散性的增大或减小。地表水分布格局的研究可以指导水利工程建设,从而更好地调节水体在空间和时间上分布的不协调性。多样性的引入为地表水资源分布研究中传统的水资源统计方法提供了新思路,多样性理论在包括水资源等各类自然资源要素的分布特征评价中具有广阔的应用前景。

## 参考文献:

[1] 夏军,翟金良,占车生.我国水资源研究与发展的若干思考[J].水科学进展 2011(9):905-915.

(下转第91页)

表1 流量为0.45 m<sup>3</sup>/s时的变速泵转速与效率数据

扬程/ m	恒速泵		1台变速泵		2台变速泵		3台变速泵	
	转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	效率/ %						
71.0	1 480	50.97	1 376	53.0	1 376	54.0	1 416	54.6
52.0	1 480	39.12	1 210	49.7	1 216	51.1	1 300	55.7
34.5	1 480	26.53	1 016	52.9	1 076	53.4	1 136	59.2

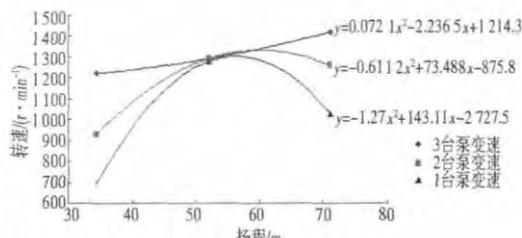


图4 扬程与变速泵转速关系曲线

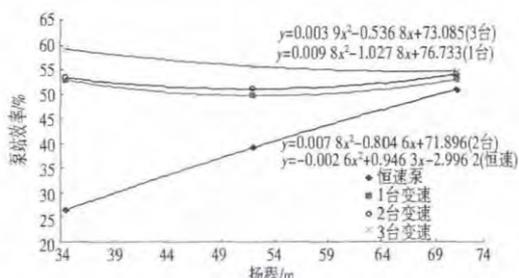


图5 扬程与泵站效率关系曲线

当上、下游水位变化时,可根据相关曲线得到需要变频的水泵台数及转速,经技术经济比较后,最终选取系统效率最高、能耗最小的方案。

## 2.2 结果分析

从表1可以看出,水库水位发生变化时,泵在额定转速下,泵站效率为26.53%,若采用调速系统,3台泵都进行变速,泵站效率达到59.2%,并且此时水泵依旧在高效区范围内运行。随着扬程的增加,变速水泵台数对泵站效率的影响不是很大,约为54%。说明通过变频器调节转速,不仅能满足供水要求,而且能够达到节能的目的。

## 3 结 语

(1) SIMULINK 是 MATLAB 中应用广泛的仿真平台,以模块化建模为思路,对于不同的工程实际,只需要改变一些相应的参数,便可以通过模块流程进行仿真计算,这样会使得计算方便快捷。

(2) 供水工程在实际运行中,扬程、供水流量等随时发生变化,若水泵一直处于额定工况,则难免会产生泵站效率低下、弃水增加,造成电能、水资源的浪费。在确定的供水流量下,通过改变扬程与变速水泵台数之间的关系曲线,可以得出不同工况下变速泵转速、泵站效率的相互关系,这样可以选择适应不同工况的运行方式,达到节约水资源和电能的效果。

## 参考文献:

[1] 张昭君. 供水泵站优化及其应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.  
 [2] 李林磊, 林峰. 基于 MATLAB/SIMULINK 的管网系统稳态性能仿真研究[J]. 燃气轮机技术, 2012(3): 50-51.  
 [3] 栾鸿儒. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1993.  
 [4] 吴持恭. 水力学(上册)[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2008.  
 [5] 张承慧, 夏东伟, 石庆升. 计及变频器和电机损耗的全变速泵站效率优化控制[J]. 电工技术学报, 2006(5): 52-57.  
 [6] Moreira J C, Lipo T A, Simple V B. Simple Efficiency Maximizer for an Adjustable Frequency Induction Motor Drive[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1991, 27(5): 940-946.  
 [7] 李洪斌. 泵站效率优化控制理论与应用[D]. 济南: 山东大学, 2001.

【责任编辑 许立新】

(上接第49页)

[2] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 120-125.  
 [3] 余世鹏, 杨劲松, 刘广明. 易盐渍区粘土夹层对土壤水盐运动的影响特征[J]. 水科学进展, 2011(4): 495-501.  
 [4] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 847-854.  
 [5] 李云驹, 王志飞, 马浩录, 等. 基于 RS 与 GIS 的黄河下游河势演变分析[J]. 人民黄河, 2009, 31(4): 23-26.  
 [6] 毛伟, 如黑艳, 玛丽娜, 等. 基于 GIS 的涅水流域民和县土地利用变化研究[J]. 人民黄河, 2010, 32(12): 167-169.  
 [7] Rosenzweig M L. Species Diversity in Space and Time[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.  
 [8] Ibáñez J J, De-Alba S, Bermúdez F F, et al. Pedodiversity: Concepts and Tools[J]. Catena, 1995, 24: 214-232.  
 [9] Ibáñez J J. The Background of Pedodiversity and Pedogeomorphic Diversity[J]. Pedometron, 1995(4): 2-4.  
 [10] Ibáñez J J, De-Alba S, Lobo A, et al. Pedodiversity and Global Soil Patterns at Coarse Scales (with Discussion)[J]. Geoderma, 1998, 83: 171-192.

[11] Ibáñez J J, De-Alba S. On the Concept of Pedodiversity and Its Measurement[J]. Geoderma, 1999, 93: 339-344.  
 [12] 段金龙, 张学雷. 基于仙农熵的土壤多样性和土地利用多样性关联评价[J]. 土壤学报, 2011, 48(5): 893-903.  
 [13] 王辉, 张学雷, 张薇, 等. 南京市土壤集合组成及其嵌套性分析[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 220-227.  
 [14] 王辉, 张学雷, 张薇, 等. 基于嵌套子集方法对南京市城镇化用地时空变化分析[J]. 土壤, 2007, 39(3): 421-427.  
 [15] Saldaña A, Ibáñez J J. Pedodiversity Analysis at Large Scales: an Example of Three Fluvial Terraces of the Henares River (Central Spain)[J]. Geomorphology, 2004, 62: 123-138.  
 [16] 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(5): 635-641.  
 [17] 张学雷, 陈杰, 龚子同. 土壤多样性理论在欧美的实践及在我国土壤景观研究中的应用前景[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 1063-1072.  
 [18] 段金龙, 张学雷, 吴强. 区域土壤多样性的格局、评价与意义: 以河南省为例[C]//中国土壤学会第十二次全国会员代表大会暨第九届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集. 成都: 电子科技大学出版社, 2012: 1681-1689.

【责任编辑 吕艳梅】