

地表水体空间分布多样性的实用性与科学性验证*

段金龙¹ 李卫东¹ 张学雷²

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

摘要: 选择传统的水体周长、水体总面积和河流密度以及最新的水体空间分布多样性4类地表水体分布特征评价参数,对河南省中部典型样区的地表水体信息进行深入分析。研究表明,当研究区内水体以河流等线状水体类型为主时,4者均能较好地描述区域地表水体的分布特征,且两两之间具有明显的一元线性正相关关系,判定系数平均达到0.89左右;当研究区由河流、湖泊、水库等复杂水体类型构成时,选择最新的水体空间分布多样性评价参数能够更好地描述区域地表水体的空间分布特征。

关键词: 地表水体 河流密度 土壤多样性 河南省 空间分布

中图分类号: K928.4; P331 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)02-0162-06

Practicability and Scientificity Verification of Surface Water Spatial Distribution Diversity

Duan Jinlong¹ Li Weidong¹ Zhang Xuelei²

(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: There is a significant spatial imbalance in the water resources distribution in China and the study on it is very important for the sustainable use of natural resources and rational distribution of agricultural structure. A typical research area in central Henan Province is selected for a correlative analysis about surface water distribution characteristic between the traditional indices (water perimeter, water area and drainage density) and the new water spatial distribution diversity methodology. Results show that there is a significant positive relationship among these four indices with the average coefficient of determination (R^2) of 0.89 when the regional water is predominated by rivers or such linear surface water types, and in this situation each of these indices is suitable. However, when the regional water is predominated by rivers, lakes, reservoirs and such complex surface water types, the newest index 'water spatial distribution diversity' performs better and should be chosen in describing the water spatial distribution characteristic.

Key words: Surface water Drainage density Pedodiversity Henan Province Spatial distribution

引言

水是人类赖以生存和发展的不可或缺的物质资源之一,地球表面超过70%的面积为海洋所覆盖,但是其中的淡水资源十分有限,而且在空间分布上

具有明显的不均衡性。中国是13个贫水国家之一^[1],中国水资源空间分布不均衡主要表现在水资源持有量由东部沿海省份向西北内陆地区递减;而作为中国中部地区的重要省份,河南省内河流虽多,但天然湖泊较少,水资源的空间分布具有明显的

收稿日期:2014-01-29 修回日期:2014-04-09

* 国家自然科学基金资助项目(41171177)和河南工业大学高层次人才科研基金资助项目(2014BS017)

作者简介:段金龙,讲师,主要从事地理信息及资源遥感研究, E-mail: 215385212@qq.com

通讯作者:张学雷,教授,博士生导师,主要从事土地资源管理与生态环境效应分析研究, E-mail: ZXLzhu@zzu.edu.cn

均衡性,水资源持有量由北向南逐渐增加。

作为自然资源核心要素,对地表水体的空间分布特征进行研究与合理调度是人与自然和谐发展的必然要求,是区域农业结构科学规划的基础条件之一,也是对其他自然资源要素的空间分布特征进行分析评价的重要参考因子。在以往研究中,借助于遥感技术、实测数据等手段,相关学者使用水体表面积^[2-3]、径流量^[4]、河流密度^[5]、湖泊周长^[6]、水资源总量^[7]等参数对区域水资源空间分布特征进行描述,但这些评价因子通常是从宏观上表述区域水资源的总量、规模等特征,缺乏有效评价区域地表水体空间分布离散性的参数。土壤多样性是近年来国内外土壤地理学研究领域的前沿性内容^[8-13],起源于生物学研究领域的土壤多样性相关理论与方法已被证明能够很好地评价区域土壤的分布特征。较早研究中^[14-15],本文作者基于土壤多样性最新评价方法提出水体多样性概念也为区域地表水体的空间分布特征评价提供了一种崭新的思路与方法,但其实用性和科学性尚需进一步的数据和理论支持。本文以中国内陆农业大省河南省的典型样区为例,分别选取传统的水体周长(参照湖泊周长定义)、水体总面积和河流密度评价方法与最新的水体空间分布多样性评价方法对区域地表水体空间分布特征进行深入研究,分析并比较传统和最新评价方法的异同点与各自优缺点,以期对地表水体的分布特征研究和区域农业结构规划提供必要的数据和理论支持。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况及数据来源

河南省是中国的农业大省,但其面临的水资源紧缺、污染、分布不均等问题日益严重。本研究选择河南省中部典型样区(图1)作为研究区,包括漯河市部分地区(下辖临颖县、舞阳县)、平顶山市部分地区(下辖汝州市、郟县、宝丰县、平顶山市市辖区、叶县)和许昌市部分地区(下辖禹州市、长葛市、许昌县、许昌市市辖区、襄城县),总面积 10 517 km²,中心坐标为东经 113°29',北纬 33°53'。样区大部为平原地形,西部包含较多山地、丘陵地带,属暖温带季风气候,四季分明,农业基础条件较好,境内河流多属淮河流域,年平均降水量 800 mm 左右。研究选用 2001 年 5 月 10 日的 ETM+ 和 2007 年 5 月 19 日的 TM 遥感数据,数据处理软件为 ENVI 4.8 和 ArcGIS 10.1。

1.2 研究方法

河流密度又称为河网密度,指区域内干支流总

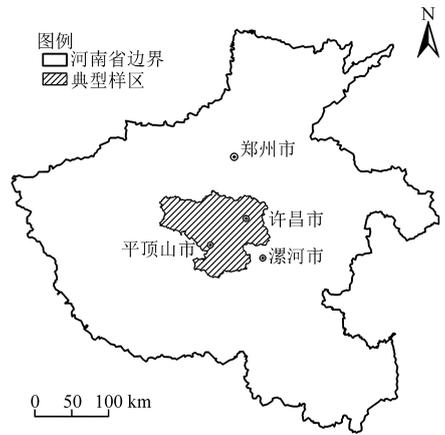


图1 河南省典型样区分布

Fig. 1 Distribution of case area in Henan Province

长度与区域面积的比值,即区域单位面积内的河流长度,它表明了水系发展和河流分布疏密的程度,其计算式为

$$\rho = \frac{L}{A} \quad (1)$$

式中 ρ ——河流密度, km/km²
 L ——区域内河流总长度, km
 A ——区域面积, km²

一般情况下,河流密度大的地区,水资源总量相对丰富,反之亦然。

研究采用一种土壤多样性的最新计量方法^[15]并以此更好地评价地表水体的空间分布特征

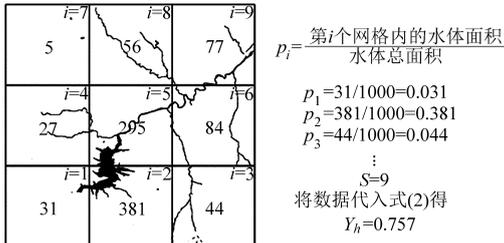
$$Y_h = \frac{-\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i}{\ln S} \quad (2)$$

式中 Y_h ——研究区内地表水体的空间分布离散性程度

S ——空间网格的数目

p_i ——第 i 个空间网格中水体面积在水体总面积中所占的比例

多样性指数 Y_h 取值区间为 $[0, 1]$, 当相对丰度分布极度不均匀, 也就是当一个或者少数几个对象占支配地位时, Y_h 取值趋于 0; 当每个对象都均匀分布时, Y_h 取值等于 1。图 2 为一个人工构造的地表水体分布例子, 其中 $S = 9$, 即网格数目为 9, 网格尺寸为 1 km × 1 km, 即网格尺度为 1 km, 网格内右上角数字表示网格编号, 中心数字表示该网格内地表水体的面积, 区域内地表水体总面积为 1 000 m², 代入式(2)后求得该例子中的空间分布多样性指数 $Y_h = 0.757$ (计算过程参照图 2 右侧), 即在这个 9 km² 的研究区内, 地表水体在 1 km 网格尺度下的水体空间分布多样性为 0.757, 具有较高的空间分布离散性。



使用 ArcScan 功能提取面状栅格水体数据的中心线 (根据河流密度定义和 ArcScan 实际操作要求, 数据处理过程中删除较大面积的湖泊、水库, 只保留河流、少量高级别沟渠、条带状湖泊等水体类型)。

2 结果与分析

图 3 为 2001 年研究区面状地表水体和 1 km 网格分布情况 (图 3a), 以及线状河网和各分区分布情况 (图 3b, 数字表示分区编号), 2007 年专题图略。基于图 3 和研究区实际情况, 发现研究区地表水体类型以河流为主, 仅在分区 5 包含有面积较大的白龟山水库。

图 2 某地表水体空间分布及其多样性计算过程
Fig.2 Example of spatial distribution of ground water and its diversity computation process

2.1 水体周长、水体总面积、河流密度和水体空间分布多样性的关系

首先对研究区进行土地利用监督分类, 而后基于 Google Earth 高清卫星图片 (分辨率 0.6 ~ 4 m, 部分城市区域使用更高分辨率的 DigitalGlobe 图片, 县级区域、农村和山区使用低分辨率的 Cnes/Spot 图片) 进行分类后处理工作, 提取其中的水体信息。按照邻接原则将研究区分为面积相等的 (误差低于 1 km²) 8 个下属分区, 计算并比较 1 km 网格尺度下分区水体空间分布多样性、河流密度、水体周长和水体总面积这 4 类参数在地表水体分布特征评价中各自的优越性和局限性。研究区虽然含有一定比例的山地和丘陵地带, 但仍以平原地形为主, 因此在线状河网提取中未使用传统的 DEM 提取河网法 (DEM 提取法在山区表现出色, 但平原表现较差), 而选择通过土地利用监督分类所得结果进行河网提取, 并

表 1 对 2 个年份的水体相关信息进行统计汇总, 研究发现, 水体周长与水体总面积、水体总面积与河流密度、水体总面积与水体空间分布多样性这 3 组参数之间不存在明显联系 (图 4a、4c、4e、5a、5c、5e), 而水体周长与河流密度、水体周长与水体空间分布多样性、河流密度与水体空间分布多样性之间存在明显的线性正相关关系 (图 4b、4d、4f、5b、5d、5f), 上述规律在 2 个年份的水体统计信息中均有相似体现。

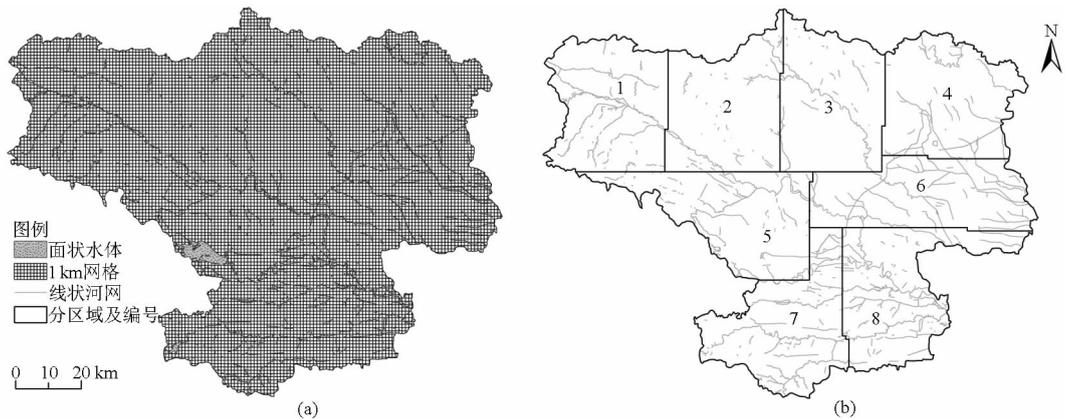


图 3 研究区面状水体、网格、线状河网和分区分布 (2001 年)

Fig.3 Surface water, grid, linear river network and subarea of case area (2001)

(a) 面状地表水体和 1 km 网格分布 (b) 线状河网和各分区分布

表 1 研究区信息汇总

Tab.1 Information statistics of case area

分区 编号	总面积 /km ²	分区内网格 个数/个	水体周长/km		水体总面积/km ²		河流总长度/km		河流密度/(km·km ⁻²)		水体空间分布多样性	
			2001 年	2007 年	2001 年	2007 年	2001 年	2007 年	2001 年	2007 年		
1	1 314.13	1 385	702.34	655.61	18.40	19.54	268.43	250.34	0.204 3	0.190 5	0.739 0	0.746 8
2	1 314.35	1 346	365.47	328.15	9.95	11.52	135.18	120.79	0.102 8	0.091 9	0.666 1	0.656 5
3	1 314.42	1 340	369.27	362.32	9.05	12.32	138.59	134.59	0.105 4	0.102 4	0.686 2	0.680 4
4	1 314.25	1 372	640.67	682.79	14.14	17.65	255.11	269.33	0.194 1	0.204 9	0.753 0	0.757 6
5	1 314.34	1 374	889.24	843.34	75.46	86.38	291.11	297.62	0.221 5	0.226 4	0.716 2	0.729 2
6	1 314.34	1 333	990.59	824.80	25.75	23.46	398.11	325.98	0.302 9	0.248 0	0.806 6	0.784 3
7	1 316.00	1 386	982.86	741.78	26.76	30.96	373.31	278.22	0.283 7	0.211 4	0.781 3	0.750 0
8	1 315.35	1 392	1 055.13	848.14	25.42	26.80	413.44	338.60	0.314 3	0.257 4	0.817 4	0.792 7

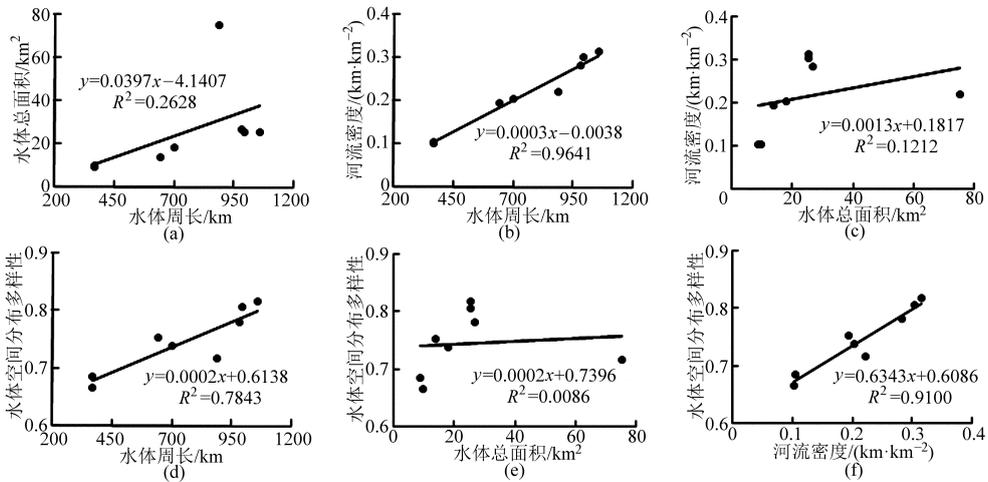


图 4 水体周长、水体总面积、河流密度和水体空间分布多样性的关系(2001年)

Fig. 4 Relationships between water perimeter, water area, drainage density and water spatial distribution diversity (2001)

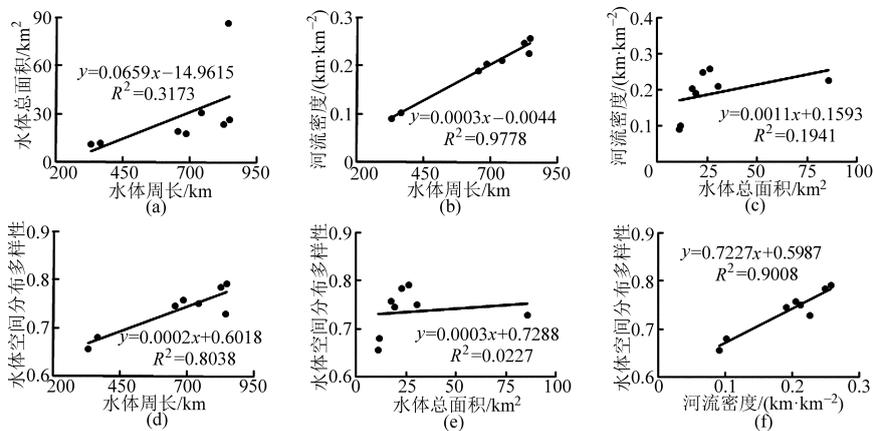


图 5 水体周长、水体总面积、河流密度和水体空间分布多样性的关系(2007年)

Fig. 5 Relationships between water perimeter, water area, drainage density and water spatial distribution diversity (2007)

2.2 水体周长、水体总面积、河流密度和水体空间分布多样性的关系(去除特殊分区)

基于研究区水体实际分布特征以及图 4、图 5 中数据点分布特征,发现分区 5 情况特殊,分区内的白龟山水库面积约为 55 km^2 ,占该分区内水体面积的一半以上,而其他分区内地表水体类型均以河流为主,因此分区 5 的相关统计参数对回归分析结果造成较大影响。如删除分区 5 的相关数据点,并重新进行一元线性回归分析(图 6、图 7),研究发现在 2 个研究时期内,水体周长、水体总面积、河流密度、水体空间分布多样性这 4 类参数两两之间均具有明显的线性正相关关系(图 6、图 7),而此时水体周长与河流密度、水体周长与水体空间分布多样性、河流密度与水体空间分布多样性之间线性正相关关系的判定系数也明显高于未删除分区 5 时的对应值。

基于本研究数据,通过对这 4 类地表水体分布特征评价参数的分析对比,本文认为一般情况下会出现以下 3 种情况:

(1) 当研究区内地表水体以河流、沟渠等线状

水体类型主导时,水体周长、水体总面积、河流密度与水体空间分布多样性这 4 类参数均能有效体现研究区内不同区域地表水体分布特征间的差异。

(2) 当研究区内地表水体由河流、沟渠、湖泊、水库等复杂水体类型组成时,水体周长、河流密度与水体空间分布多样性参数均能有效体现不同区域地表水体分布特征间的差异(三者中水体周长的灵敏度最低);此时水体总面积参数由于数值随机性较大(由湖泊等大规模面状地表水体类型的地理分布特征决定,如本文中分区 5 内的白龟山水库对分区 5 水体分布特征的决定性影响),一般不能稳定表现不同区域地表水体分布特征间的差异。

(3) 当研究区内地表水体由湖泊、水库等面状水体类型为主导时,水体总面积与水体空间分布多样性参数均能有效体现不同区域地表水体分布特征间的差异;此时由于地表河流的匮乏,受限于其自身定义,河流密度参数将完全无法体现不同区域地表水体分布特征间的差异;同时,水体周长参数的适用性将由面状地表水体类型的几何形状决定(例如面

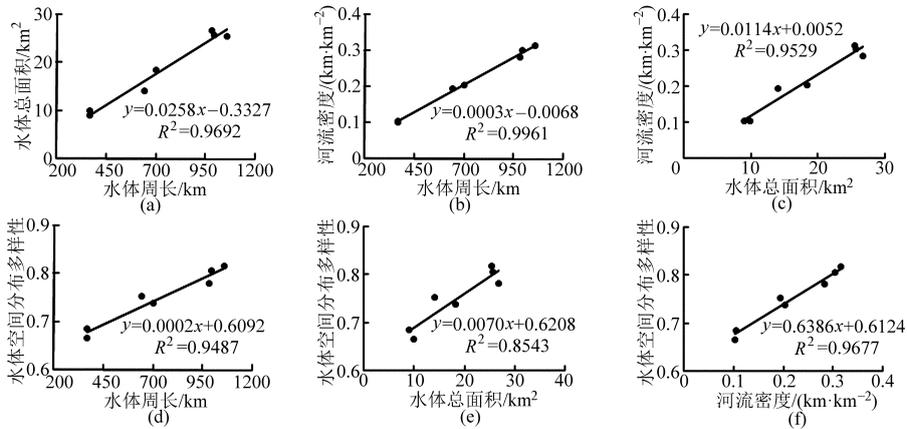


图6 水体周长、水体总面积、河流密度和水体空间分布多样性的关系(删除分区5, 2001年)

Fig. 6 Relationship between water perimeter, water area, drainage density and water spatial distribution diversity (delete subarea 5, 2001)

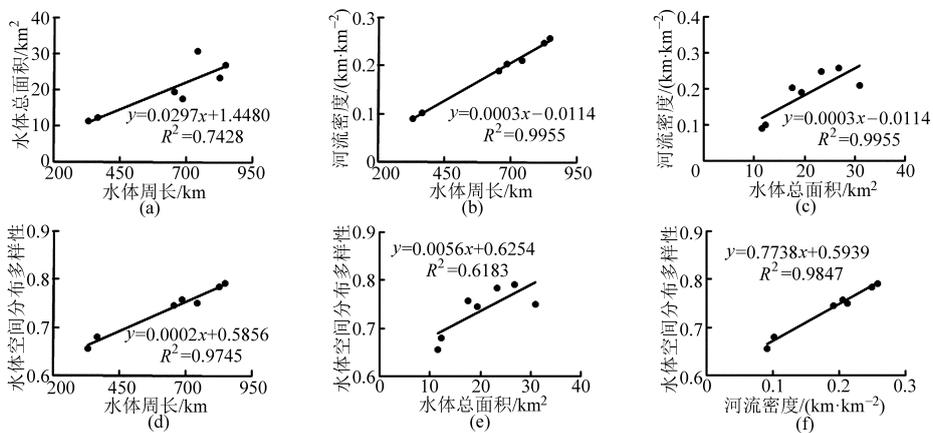


图7 水体周长、水体总面积、河流密度和水体空间分布多样性的关系(删除分区5, 2007年)

Fig. 7 Relationship between water perimeter, water area, drainage density and water spatial distribution diversity (delete subarea 5, 2007)

积相等的湖泊 A 和 B, 拥有复杂几何形状的湖泊 A 周长有可能远远大于几何形状简单的湖泊 B)。

综上所述, 水体空间分布多样性参数在地表水体的分布特征评价中比其他几类传统参数具有更强的普适性。基于水体空间分布多样性的定义, 其数值限定于 0~1 之间, 在对不同气候、地形、自然环境条件下地表水体类型的空间分布特征进行评价时, 只要网格尺度相同, 即可使用水体空间分布多样性这一新参数。但水体空间分布多样性评价工作依托于面状地表水体信息的获取, 如要获取精确度较高的数据, 目前一般仍通过土地利用分类等遥感数据建模分析进行提取, 工作量较大。

基于本研究数据所获得的研究结论和推论尚需更多样区数据支持, 后续研究中, 将选择中国东南部等湿润地区的多湖泊样区数据进行相关分析, 以进一步对比几种地表水体分布特征评价方法的优缺点, 同时将选择更大尺度样区数据参与研究, 以期为水资源、农业资源的分布特征评价和合理利用提供理论和数据支持。

3 结论

(1) 在典型内陆地区, 区域地表水体以河流、沟渠等线状水体类型为主时, 水体周长、水体总面积、河流密度这 3 类传统水体分布特征评价参数和水体空间分布多样性这一最新评价参数均能客观表现区域内的水体分布特征, 且 4 类参数两两之间均存在明显的线性正相关关系, R^2 平均达到 0.89 左右。

(2) 在水体空间分布特征评价中, 随研究区内湖泊、水库等面状水体类型所占比例的不断增大, 地表水资源构成更加复杂, 水体周长、水体总面积和河流密度这 3 类传统参数往往受限于地表水体构成的区域性特征而呈现出不同程度的局限性, 而水体空间分布多样性参数则体现出更强的普适性。

(3) 实际操作中, 本研究认为线状河流数据来源更广, 更易获取, 而面状水体数据多需事先进行土地利用分类等水体信息的提取工作, 这也加大了工作量和数据获取难度, 因此在区域水体分布特征评价中, 需要综合现有数据基础、研究目的、评价要求等相关信息并据此选择最适合的评价方法。

参 考 文 献

- 1 王宗太, 苏宏超. 世界和中国的冰川分布及其水资源意义[J]. 冰川冻土, 2003, 25(5): 498 - 503.
Wang Zongtai, Su Hongchao. Glaciers in the world and China: distribution and their significance as water resources[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(5): 498 - 503. (in Chinese)
- 2 刘浏, 胡昌伟, 徐宗学, 等. 情景分析技术在未来太湖水位预见中的应用[J]. 水利学报, 2012, 43(4): 404 - 413.
Liu Liu, Hu Changwei, Xu Zongxue, et al. Application of scenario analysis technique on future water level foresight of the Taihu lake[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(4): 404 - 413. (in Chinese)
- 3 李强子, 闫娜娜, 张飞飞, 等. 2010年春季西南地区干旱遥感监测及其影响评估[J]. 地理学报, 2010, 65(7): 771 - 780.
Li Qiangzi, Yan Nana, Zhang Feifei, et al. Drought monitoring and its impacts assessment in southwest China using remote sensing in the spring of 2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(7): 771 - 780. (in Chinese)
- 4 袁喆, 杨志勇, 史晓亮, 等. 灰色微分动态自记忆模型在径流模拟及预测中的应用[J]. 水利学报, 2013, 44(7): 791 - 799.
Yuan Zhe, Yang Zhiyong, Shi Xiaoliang, et al. Differential hydrological grey self-memory model for runoff simulation and prediction[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(7): 791 - 799. (in Chinese)
- 5 孙爱立, 余钟波, 杨传国, 等. 我国水系提取阈值影响因素分析[J]. 水利学报, 2013, 44(8): 901 - 908.
Sun Aili, Yu Zhongbo, Yang Chuanguo, et al. Impact factors of contribution area threshold in extracting drainage network of rivers in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(8): 901 - 908. (in Chinese)
- 6 张凤太, 王腊春, 冷辉, 等. 近40年江苏省湖泊形态特征动态变化研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(5): 103 - 107.
Zhang Fengtai, Wang Lachun, Leng Hui, et al. Dynamic changes of lakes morphology in Jiangsu province during the past 40 years [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(5): 103 - 107. (in Chinese)
- 7 刘金鹏, 费良军. 民勤盆地生态环境需水优先次序和需水量[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4911 - 4917.
Liu Jinpeng, Fei Liangjun. Ecological environment water requirement priority and ecological environment water demand in Minqin basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4911 - 4917. (in Chinese)
- 8 张学雷, 王辉, 张薇, 等. 土壤系统分类与生物系统分类体系中的多样性特征对比分析[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 1 - 8.
Zhang Xuelei, Wang Hui, Zhang Wei, et al. Comparison of diversity characteristics between pedological and biological taxonomies [J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(1): 1 - 8. (in Chinese)
- 9 张学雷. 从第19届世界土壤学大会看土壤地理与生态学研究现状[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 257 - 261.
Zhang Xuelei. A review on soil geography and ecology studies after attending the 19th WCSS[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(2): 257 - 261. (in Chinese)
- 10 郭慧, 毕如田. 以土地利用为基础的土壤多样性研究——以永济市为例[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(1): 77 - 80.
Guo Hui, Bi Rutian. Soil diversity studies on based on the different land utilization-taking Yongji city as an example[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Nature Science Edition, 2009, 29(1): 77 - 80. (in Chinese)
- 11 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(6): 1267 - 1277.
- 12 Ibáñez J J, Zinck J A, Dazzi C. Soil geography and diversity of the European biogeographical regions[J]. Geoderma, 2013, 192: 142 - 153.
- 13 Petersen A, Gröngroft A, Miehlich G. Methods to quantify the pedodiversity of 1 km² areas—results from southern African drylands [J]. Geoderma, 2010, 155: 140 - 146.
- 14 Duan Jinlong, Zhang Xuelei. Correlative comparison of pedodiversity and land use diversity between case areas from the developed east and less developed central China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(6): 1101 - 1116.
- 15 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)