

基于灰色模型的农村生活用水影响因子分析

严岩^{1a,2}, 王辰星^{1a,3}, 张亚君^{1a,3}, 吴钢^{1a}, 赵春黎^{1a,3}, 范彬^{1b,2}, 朱仕坤^{1b,2}

(1. 中国科学院生态环境研究中心, a. 城市与区域生态国家重点实验室; b. 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085;
2. 住房和城乡建设部农村污水处理技术北方研究中心, 北京 100085; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 我国农村人口多, 生活用水总量大, 农村用水在时间和空间上存在显著的差异和复杂性。对我国农村居民生活用水的特征和规律进行研究, 是对农村用水和污水治理进行科学规划与管理的重要基础。基于全国农村居民用水抽样调查, 将影响农村居民生活用水的因素分为家庭状况、经济水平、基础设施、生活习惯等 4 大类、8 个具体指标, 利用灰色系统理论与方法, 对农村居民生活用水与影响因素进行了灰关联分析。结果表明: 人均住房面积、家庭人均收入和洗浴习惯是影响农村居民生活用水量的 3 个最主要的因子, 在制定农村水资源和用水、污水治理规划时, 应该结合区域发展情景, 充分考虑和科学预测这些因素对农村用水和排水的影响; 同时, 也可以看出, 推行居住地节水工程、加大加强节水意识宣传、培养优良节水习惯和改进农村用水基础设施对提高农村生活用水效率、缓解水资源矛盾具有重要意义。

关键词: 农村居民; 生活用水; 影响因素; 灰色关联分析

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)05-0050-04

Analysis of impact factor of domestic water in rural area based on gray model

YAN Yan^{1a,2}, WANG Chenxing^{1a,3}, ZHANG Yajun^{1a,3}, WU Gang^{1a},
ZHAO Chunli^{1a,3}, FAN bin^{1b,2}, ZHU Shikun^{1b,2}

(1. a. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology; b. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
2. North Research Center for Rural Wastewater Treatment Technology, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Beijing 100085, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Due to a huge rural population and the large amount of domestic water usage, there is evident difference in time and space at water usage of rural areas. The paper studied the characters of rural domestic water usage and its principle, which is the important foundation of science plan and management for rural water usage and sewage treatment. Based on the spot check on the national rural domestic water usage, it chose four influence factors such as family status, levels of economic development, infrastructure and lifestyle, and eight specific influence indexes in total, and use gray system to analyze the rural domestic water usage and its influence factors. The results showed that the average living space and income per capita, bathing style are the most important factors influencing the rural residential water usage. While developing plans for water usage and sewage treatment, these factors which affect water usage and sewage treatment should be fully considered and reasonably predicted, and combined scenario of regional development. Meantime, to implement the residence water-saving projects, strengthen publicity of water-saving, cultivate water-saving habits and improve the infrastructure of rural water usage have important significance for enhancing the benefit of rural water usage and reducing the contradiction of water resources in rural areas.

Key words: rural resident; domestic water usage; influence factor; gray relational analysis

收稿日期: 2013-06-18; 修回日期: 2013-07-22

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2011ZX07301-003-09); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目课题(SKLURE2008-1-02)

作者简介: 严岩(1974-), 男, 甘肃人, 副研究员、硕士生导师, 主要从事区域可持续发展与生态经济政策、复合生态系统规划与管理的研究。

通讯作者: 吴钢(1965-), 男, 内蒙古赤峰人, 博士, 博士生导师, 研究员, 主要从事环境经济与管理、流域生态学及恢复生态学方向的研究。

1 概述

农村居民生活用水是我国社会经济用水的重要组成部分,在水资源日益短缺与用水量不断增加的供需矛盾下,对农村生活用水进行科学地规划管理是缓解水资源矛盾的重要方面。由于自然条件,以及收入水平、基础设施的完善程度、生活习惯等社会经济条件的不同,我国农村居民生活用水具有明显的地域特征和复杂的多样性,使得对其管理的难度较大,效率较低。因此对我国农村居民生活用水的研究有助于进一步了解农村居民生活用水的基本特征、影响因素和时空规律,为科学、高效地进行水资源管理提供基础。

关于居民生活用水已有的研究大多是关注城市居民生活用水,通过对气候及社会经济相关数据进行统计分析,识别影响因素进行预测模拟。影响居民生活用水的影响因素众多,影响程度与影响机理不尽相同。研究显示,降水量对居民生活用水起着最基础和最显著的控制作用^[1-7]。同时,水价、家庭人口数量、居民收入等社会经济因素对居民生活用水量也具有重要影响^[8],有些研究还通过非气候因素对居民生活用水进行了模拟和预测^[9]。此外,城市化的发展也对城市居民生活用水具有重要影响^[10-11]。

目前,关于我国农村居民生活用水的研究还比较欠缺,对于农村居民生活用水的关键影响因素、作用关系、时空规律等缺乏系统地了解,这对提升农村生活用水与排水规划与管的科学性造成了很大限制。本研究在全国范围内对农村家庭生活用水现状和家庭状况进行抽样入户调查,对农村居民用水进行跟踪测量,进而运用灰色模型,分析各类影响因素与居民生活用水量之间的关系,以为农村生活用水、排水规划与管理提供科学支持。

2 研究方法

2.1 数据

采用问卷调查与入户实测相结合的方式,以户为单位对我国26个省、直辖市的1310户农村居民的生活用水现状进行的全面调查数据。调查问卷获取的资料信息包括居民生活现状、家庭供水设施、生活用水习惯等家庭中的各个相关方面,入户实测是对被访者采用连续5d入户实测求取平均的方式入户跟踪实际测量。

2.2 灰色模型

灰色模型是对一系列信息不完全的数据结构,难以用一般的统计分析方法实现数据规律时采用的模型^[12]。它通过对于信息不完全的数据建立灰色关联空间,在此空间上建立非函数型的灰关联序模型,基于灰关联序模型对影响因素之间的关联程度进行分析,以此给出各因素之间发展状态的相似或者相异程度^[13]。灰色模型是以灰色关联空间为分析基础,以GM(N, M)为模型主体,以灰色过程及其生成空间为方法体系,以系统的关联分析、建模、预测、决策、控制、评估为主要内容的理论体系。

2.3 计算家庭影响因素的灰色关联度

影响我国居民生活用水的家庭影响因素众多,根据农村居民生活用水抽样调查结果的整理与分析,将农村生活用水的影响因素分为家庭状况、经济水平、基础设施、生活习惯等4个方面,具体指标见表1。通过这些因素对农村居民生活用水的影响程度的排序可以识别出各类影响因素的重要程度。

表1 农村居民生活用水具体影响指标

影响因素	影响指标	指标单位及说明
家庭状况	家庭人口	人
	人均住房面积	m ²
	供水方式	包括自取水和自来水两种
经济水平	人均收入	元
基础设施	厕所冲洗类型	按耗水量多少分公共厕所、简易旱厕、简易水冲厕所和抽水马桶4种
	计量水表状况	部分自来水家庭也无计量水表
生活习惯	洗衣习惯	分手洗为主和洗衣机洗涤两种
	洗浴习惯	按耗水量多少分公共浴室、简易无淋浴和淋浴3种

水价是影响居民用水的一个重要因素,但在本文中,没有纳入水价的指标进行分析,主要是由于:①调查发现我国农村地区平均自来水覆盖率很低,部分地区虽然有自来水覆盖并不收取相应的水费,农村居民并无水价的概念。②即使在自来水覆盖的地区水价相关的数据也极少,并且获取难度比较大。

以人均日用水量(L/d)为参考序列 X_0 ,8个分析序列依次为家庭人口 X_1 、人均收入 X_2 、人均住房面积 X_3 、供水方式 X_4 、水表计量状况 X_5 、厕所冲洗类型 X_6 、洗衣习惯 X_7 、洗浴习惯 X_8 。

分析序列 X_i 的确定过程和数据特征,参考序列与比较序列均为截面数据,不具备时间序列特性,因此,在无量纲化过程中不考虑最常见适用于时间序列类型数据的 $x_i(0) = x_i(1)$ 的方法。为计算方便,

将所有序列数据控制在 $[0,1]$ 区间范围内,这里选取 $x_i(0) = \max_{k=1}^m \{x_i(k)\}$,即以各个序列的序列最大值为无量纲化的基准。

比较序列各元素与参考序列对应元素的灰色关联系数 $\xi_i(k)$ 为:

$$\xi_i(k) = \gamma(\varphi_i(k), \varphi_0(k)) = \frac{\Delta_{\min \min} + \rho \Delta_{\max \max}}{\Delta_i(k) + \rho \Delta_{\max \max}} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$

根据已经求得的灰色关联系数序列可以得出每一影响因素的灰色关联系数均值 $\bar{\gamma}_i$ 为:

$$\bar{\gamma}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \xi_i(k), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

3 研究结果

对全国及各地区农村居民生活用水影响因素灰色关联分析结果如表2。

表2 我国农村居民生活用水家庭影响因素的灰色关联度

影响因素	全国	华北	东北	华东	中南	西南	西北
家庭人口 $\gamma(x_1, x_0)$	0.546	0.530	0.583	0.549	0.529	0.552	0.545
人均收入 $\gamma(x_2, x_0)$	0.888	0.867	0.817	0.912	0.858	0.910	0.906
人均住房面积 $\gamma(x_3, x_0)$	0.903	0.908	0.944	0.894	0.910	0.905	0.877
供水方式 $\gamma(x_4, x_0)$	0.566	0.455	0.677	0.549	0.532	0.618	0.648
计量水表状况 $\gamma(x_5, x_0)$	0.697	0.654	0.842	0.632	0.733	0.728	0.747
厕所冲洗类型 $\gamma(x_6, x_0)$	0.810	0.898	0.895	0.749	0.798	0.800	0.888
洗衣习惯 $\gamma(x_7, x_0)$	0.808	0.731	0.793	0.813	0.845	0.765	0.832
洗浴习惯 $\gamma(x_8, x_0)$	0.883	0.816	0.789	0.926	0.924	0.910	0.768

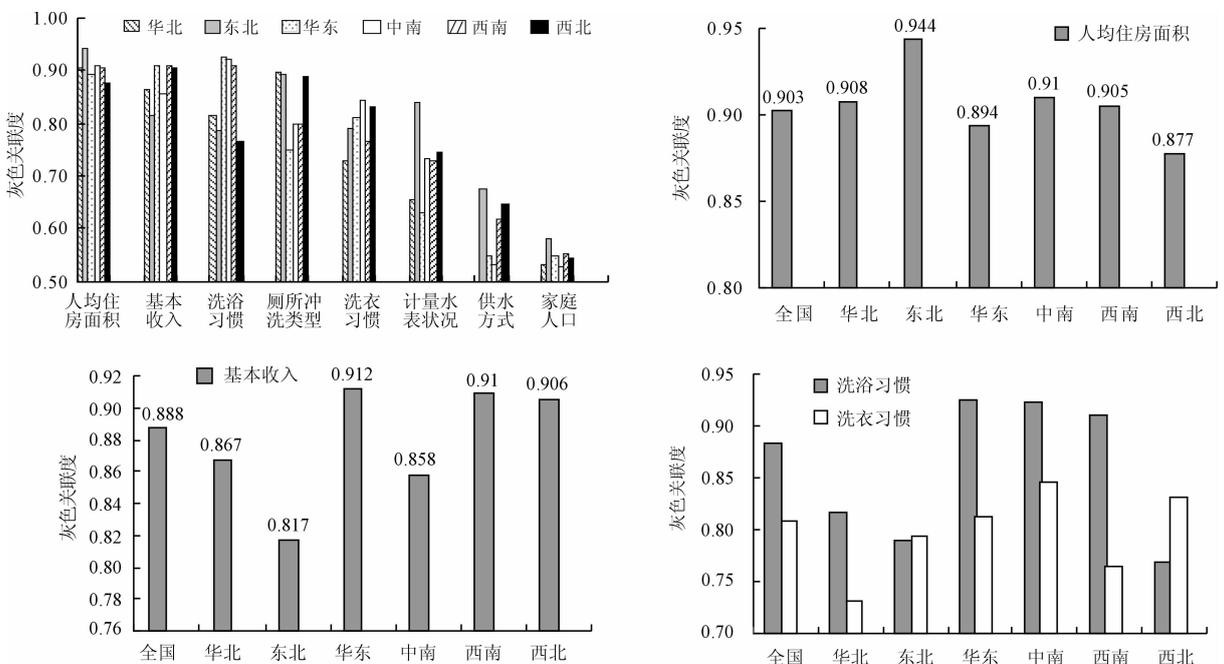


图1 各地区农村居民生活用水不同影响因素的灰色关联度

对全国农村居民生活用水影响因素灰色关联度进行排序可知各个影响因素对我国农村居民生活用水量的影响序列为: $\{\gamma(x_3, x_0) > \gamma(x_2, x_0) > \gamma(x_8, x_0) > \gamma(x_6, x_0) > \gamma(x_7, x_0) > \gamma(x_5, x_0) > \gamma(x_4, x_0) > \gamma(x_1, x_0)\}$

由灰关联序列可知,人均住房面积与农村居民生活用水量的灰色相关性最高,接下来依次为人均收入、洗浴习惯、厕所冲洗类型、洗衣习惯、计量水表状况、供水方式,与农村居民生活用水量相关性最低的是家庭人口,详见图1。

4 分析与讨论

影响我国农村居民生活用水的各类家庭因素中,人均住房面积、人均收入、洗浴习惯、厕所冲洗类型和洗衣习惯的灰色关联度均大于0.8,而计量水表状况、供水方式、家庭人口的灰色关联度均小于

0.7,灰色关联序列在0.8处进行了跳跃式分界。同时对各地区的灰色关联度的排序也可以看出,前五类影响因素的灰色关联度也远高于后三类,因此,可以认为在影响我国农村居民生活用水的各类家庭因素中,人均住房面积、人均收入、洗浴习惯、厕所冲洗类型和洗衣习惯与生活用水的关联程度更高,对居民生活用水的影响更大。

4.1 家庭状况

影响我国农村居民生活用水的家庭状况方面的因素包括家庭人口、人均住房面积和供水方式。人均住房面积对居民生活用水的相关性最高,而供水方式和家庭人口的影响最低。人均住房面积对我国农村居民生活用水量影响的关联度均在0.87以上,最高的为东北地区,其灰关联度为0.944,其余依次为华东、华北、西南、华东和西北。我国农村居民生活用水量对人均住房面积的依赖程度最高,我国农村地区住房以居民自建的自有住房为主,房屋面积较大甚至很多房屋自带庭院,人均住房面积的增加意味着需要更多的水来支持家庭基本活动。

家庭人口对居民生活用水的影响主要体现在对家庭总用水量的影响上,在计算过程中为摒除不同家庭规模对结果的影响,我们采用人均日用水量作为比较序列,因此家庭人口数量与人均用水量之间关系不大。供水方式是指自来水供水的覆盖程度,农村地区自来水覆盖程度并不高,居民受传统生活方式影响,很多地区即使有自来水也会使用井水等供水方式进行补充,这部分的影响程度也相对较低。

4.2 经济水平

用人均收入作为对我国农村居民生活用水量的经济水平影响因素的衡量指标,而人均收入与我国农村居民生活用水的关联程度也位于灰关联序列的第二位。相关程度最高的为华东、西南与西北,其余依次为华东、中南与东北,影响程度均小于0.9。

区别来看,华东地区是我国经济最发达的地区之一,但深入分析华东地区内部经济水平差异可以看出,其内部贫富差距更大,并且该地区的农村已基本实现了自来水入户工程,居民生活用水与城镇居民一样受水价的制约其用水对经济收入的变化更加敏感。西南与西北地区均为我国不发达的地区,居民生活对经济水平的敏感性显著高于其他地区,因此居民生活用水量与家庭人均收入之间的相关性也更高。

4.3 基础设施

对居民生活基础设施进行节水化改进也可以有

效降低家庭生活用水的消耗,而对我国农村居民生活用水基础设施现状的了解可以有针对性地提出节水设施的改进措施。基础设施中厕所冲洗类型对居民生活用水量的影响要高于是否拥有计量水表,农村家庭以简易的旱厕和水厕为主,是否有水冲洗厕所对家庭用水的影响较大。

4.4 生活习惯

华东、中南、西南等水资源较为充裕且居民具有时常洗澡的习惯的地区,洗浴习惯对家庭生活用水量的影响程度较高,而西北由于水资源长期严重匮乏,很多家庭洗浴频率很低且用水量较少,洗浴习惯对家庭用水量的影响程度也相应较低。洗衣习惯与居民生活用水的关联程度较洗浴习惯更低也较为平均,其各地区灰色关联度分布在0.8左右。调研结果显示,家庭洗浴和洗衣用水量占其日用水量接近一半,对不同地区而言生活习惯的差异也导致其影响程度有很大不同。同时,居民生活习惯与家庭状况、经济水平之间存在一定的互相影响的关系,收入水平高的家庭在卫生清洁方面的需求也会增大,反映在用水量上的贡献就会较大。

5 结 语

本文运用灰色模型对我国农村居民生活用水量的影响因素进行了定量分析,可以得出以下结论:

(1)人均住房面积、人均收入、生活习惯中的洗浴习惯与用水量的关联程度最高,说明其对生活用水的影响程度最大。往后依次为厕所冲洗类型、洗衣习惯、计量水表状况、供水方式和家庭人口。

(2)分地区来看,人均住房面积也是与农村居民生活用水量影响程度最高的因子,东北、中南地区人均收入对用水量影响程度不高。生活习惯中除西北和东北地区以外,洗浴习惯的关联度均远高于洗衣习惯。

(3)人均住房面积与生活用水的强关联性揭示了农村住宅规划与建设对于水资源节约的重要作用和意义。在我国城市化快速发展、村镇体系调整和建设迅速的现阶段,科学合理的规划和建设农村住宅,不仅与土地等资源的可持续利用密切相关,而且是提高水资源利用效率、缓解水资源矛盾的途径之一。

(4)调查结果显示,农村自来水覆盖率有限,水价对农村生活用水的调控作用难以发挥。因此,农村生活用水的管理,要重视发挥宣传和教育的作用,提高居民的资源节约意识和培养节水习惯。

m^3 , 占输水量的 35.6%。第十次输水结束后, 地下水储量增加了 6.94 亿 m^3 , 占输水量的 30.1%, 消耗于包气带和植被腾发的总水量为 15.02 亿 m^3 , 占总输水量的 65.1%。如果将生态输水前与第十次输水后视为一个总的计算时段, 地下水的累计补给量应与第十次输水后地下水储量与输水期间地下水蒸腾量之和相等, 由此可知在输水的同时则又有 6.82 亿 m^3 地下水消耗于包气带蒸发和植被腾发。

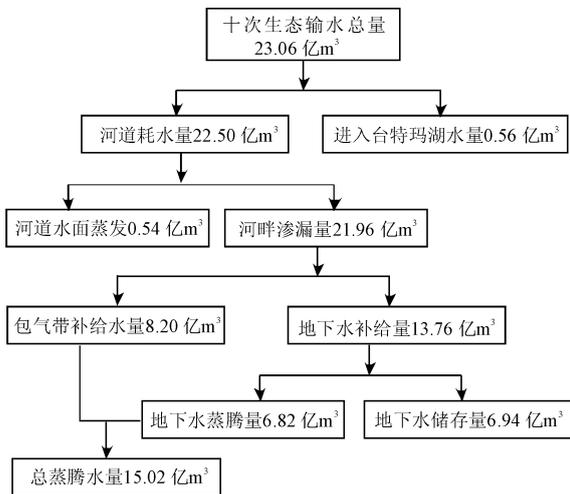


图5 10次输水结束后水量转化示意图

随着输水次数的增加与地下水位的恢复, 河道对地下水的补给量呈逐渐减小的趋势。与此同时地下水的蒸腾量则会逐渐增加, 使得地下水补给量与消耗量逐渐趋于接近。也就是说, 随着输水的持续进行, 地下水位在经历了上升-下降-再上升这样的波段式逐级抬升后, 会逐渐稳定在某一区间内, 其上下变动的幅度也越来越小, 最终会形成一个动态稳定的地下水位区间。

参考文献:

- [1] 芦艳玲, 叶朝霞. 塔里木河下游地下水对生态输水的响应[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 574-578.
- [2] 张蔚榛. 地下水非稳定流计算和地下水资源评价[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 274-275.
- [3] 张蔚榛. 土壤的给水度和自由孔隙率[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 353-357.
- [4] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2003: 401-405.
- [5] 杨鹏年. 塔里木河下游间歇输水条件下地下水恢复与植被响应研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2005: 53-58.
- [6] 杨鹏年, 张胜江, 董新光. 塔里木河干流下游生态输水后水量转化特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 174-178.

(上接第53页)

参考文献:

- [1] Mohamed M Mohamed, Aysha A Al - Mualla. Water demand forecasting in Umm Al - Quwain (UAE) using the IWR - MAIN specify forecasting model[J]. Water Resour Manage, 2010, 24(4): 4093-4120.
- [2] 崔慧珊, 邓逸群. 居民用水量的影响因素研究评述[J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 83-85.
- [3] 陈晓光, 徐晋涛, 季永杰. 华北地区城市居民用水需求影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 275-280.
- [4] 陈惠娟, 千怀遂. 中国城市水资源消费与气候的关系研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 297-306.
- [5] 胡峰. 城市居民生活用水需求影响因素研究 - 以南通市为例[D]. 浙江大学, 2006.
- [6] 成晋松, 吕惠进, 刘玲. 太原市用水量影响因素的灰色关联分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(2): 109-111+115.
- [7] Martinez - Espineira R. Residential water demand in the Northwest of Spain [J]. Environmental and Resource Economics, 2002, 21(2): 161-187.
- [8] Schefter J E, David E L. Estimating residential water demands under multi - part tariffs using aggregate data [J]. Land Economics, 1985, 61(3): 272-280.
- [9] Day D, Howe C. Forecasting peak demand what do we need to know [J]. Water Supply, 2003, 3(3): 177-184.
- [10] 张华丽, 董婕, 延军平. 城市用水变化的驱动力研究综述[J]. 江西农业学报, 2009, 21(11): 195-199.
- [11] 王亚丽, 冯利华, 赵丹丹, 等. 金华市居民用水量影响因素的关联分析[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(3): 51-54.
- [12] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1990.
- [13] 王涛, 张宏伟, 牛志广. GM组合模型用于城市生活用水量预测[J]. 水资源保护, 2007, 23(5): 28-30.