

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.06.09

皖江城市带产业结构与用水结构的互动耦合关系

王 飞, 蒋文杰, 李景保, 陈 晓, 徐 志

(湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

摘要:运用灰色关联分析方法构建区域产业结构与用水结构之间相互作用的灰色关联度模型及耦合度模型,揭示皖江城市带产业结构与用水结构之间耦合的主要因素,并分析产业结构与用水结构耦合度的时序变化和空间差异。结果表明:皖江城市带产业结构与用水结构之间的关联度基本都在0.5以上,属于中等关联。产业结构与用水结构耦合度表现出明显的阶段性,大致呈倒U形,根据数值变化可以划分为3个阶段:磨合型(2005—2006年)、拮抗型(2007—2009年)、初级协调型和磨合型(2010—2014年)。皖江城市带各城市的耦合协调类型不尽相同:合肥、芜湖属于初级协调型;马鞍山、铜陵属于磨合型;滁州、宣城、池州属于拮抗型;安庆、六安属于失调型。

关键词:产业结构;用水结构;灰色关联分析;耦合度;皖江城市带

中图分类号:F407.9

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2017)06-0060-05

Interactive coupling relationship between industrial structure and water use structure in Wanjiang City Belt

WANG Fei, JIANG Wenjie, LI Jingbao, CHEN Xiao, XU Zhi

(College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: The grey relational model and coupling degree model of interaction between regional industrial structure and water use structure are constructed by using grey relational analysis method to reveal the main factors of coupling between industrial structure and water use structure in Wanjiang City Belt. Furthermore, the temporal variation and spatial difference of coupling degree between industrial structure and water use structure are analyzed. Results show that: (1) correlation between industrial structure and water use structure in Wanjiang City Belt is all above 0.5, belonging to medium association; (2) The coupling degree of industrial structure and water consumption structure shows an obvious phase, which is generally inverted U type and can be divided into three stages according to the numerical changes, which comprise running-in type (2005—2006), antagonistic type (2007—2009), primary coordination type and running-in type (2010—2014); (3) the coupling coordination types of cities in Wanjiang City Belt are different, Hefei and Wuhu are of the primary coordination type; Ma'anshan and Tongling belong to the type of running-in; Chuzhou, Xuancheng and Chizhou are the antagonistic type; Anqing and Lu'an belong to the maladjustment type.

Key words: industrial structure; water utilization structure; grey correlation analysis; coupling degree; Wanjiang City Belt

基金项目:国家自然科学基金(41571100);湖南省重点学科建设项目

作者简介:王飞(1992—),女,硕士研究生,研究方向为区域经济发展。E-mail:785923519@qq.com

通信作者:李景保,教授。E-mail:lijingbao1951@126.com

区域产业结构是国民经济的核心和基础,决定着区域经济的发展阶段和水平,产业结构的升级和优化是区域发展的重要方向。然而,任何产业的发展都离不开水资源的支撑和保障,水资源短缺已成为促使区域产业转型的重要因素。改变现行的经济增长方式和用水结构也是解决水资源短缺,实现水资源可持续利用的重要途径^[1-2]。目前基于产业结构与用水结构之间关系的研究也取得了一定的成果,蒋桂芹等^[3]利用系统动力学投入产出分析整合的方法研究了江苏省产业用水的综合效用;刘慧敏等^[4]从水资源在经济生产中的作用过程入手,系统梳理了水资源与产业结构的互动演进关系;蒋桂芹等^[5]基于协调度评价模型,对我国区域用水结构与产业结构的协调度进行评价;沈家耀等^[6]以安徽省为例对区域产业结构与用水结构的协调度进行评价与调控。

2010 年国家正式批复皖江城市带承接产业转移示范区、安徽沿江城市带承接产业转移示范区建设纳入国家发展战略。产业转型必然带动区域用水结构的变化,因此,本研究通过建立用水结构和产业结构的指标体系,利用灰色关联度模型计算其关联度,并在此基础上构建两者之间的耦合度模型,研究皖江城市带产业结构与用水结构的互动耦合关系。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

皖江城市带承接产业转移示范区包括合肥、芜湖、滁州、马鞍山、铜陵、安庆、池州、宣城以及六安的裕安区和舒城县,总面积 7.6 万 km²,人口 3 096 万,分别占全省的 54% 和 45%。2014 年的地区生产总值达 10 万亿元,占全省 67%。2014 年,三次产业比重为 8%、57%、35%,产值分别占全省的 47%、72%、66%。皖江城市带是安徽省能源消费比较大的区域,随着承接产业转移步伐的加快,将重点承接装备制造、石油化工、汽车零配件、农产品深加工、有色金属深加工、化工等能源和水资源消耗比较大的产业,这些高耗电高耗水产业的发展无疑会对水资源的可持续利用产生一定的影响。

皖江城市带多年平均降雨量 1 300 mm,年内降水分布不均,主要集中在 5~9 月。水资源总量约 540 亿 m³,占安徽省水资源总量的 70% 左右,人均水资源拥有量约 1 400 m³,低于全国平均水平。城市带沿岸重工业分布密集,用水量巨大,污染严重,面临水资源短缺、水质下降等水资源环境问题。

1.2 数据来源

数据主要来源于 2005—2014 年安徽省的统计

年鉴以及安徽省水资源公报。2005—2010 年皖江城市带的数据库缺失,因此通过分别统计皖江城市带各城市 2005—2014 年产业结构与用水结构的各项指标值,用其平均值作为皖江城市带的指标值。鉴于资料的可得性,文中利用六安市代替六安市中属于皖江城市带的舒城县和裕安区。

2 研究方法

2.1 指标体系的构建

产业结构和用水结构是两个动态的复杂的系统,必须建立一个科学合理的指标体系作为其评判标准,在遵循指标体系选取的独立性、动态性、科学性、可比性、可操作性等原则的基础上,参考相关文献^[7-8]并结合皖江城市带的实际情况选取以下 9 个指标来反映产业结构的现状和 6 个指标来表征用水结构的情况(图 1)。

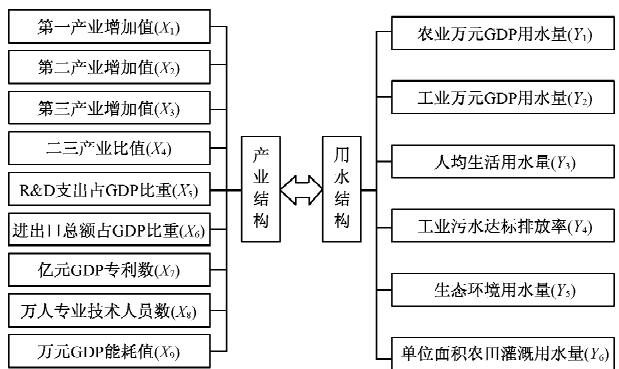


图 1 产业结构与用水结构耦合指标体系

2.2 灰色关联度模型和耦合度模型的建立

由于原始数据的量纲不同,无法进行计算和比较,运用极差法对原始数据进行无量纲化处理^[9-11]:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \tag{1}$$

式中: Z_{ij} 为无量纲化后的指标值; X_{ij} 为指标值。

考虑到产业结构与用水结构的耦合作用具有交错性和复杂性,采用能够较全面反应两系统多因素交互作用的灰色关联模型^[12],定量分析皖江城市带产业结构与用水结构的互动耦合关系,其公式为

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\min_i \min_j |Z_i^x(t) - Z_j^y(t)| + \rho \max_i \max_j |Z_i^x(t) - Z_j^y(t)|}{|Z_i^x(t) - Z_j^y(t)| + \rho \max_i \max_j |Z_i^x(t) - Z_j^y(t)|} \tag{2}$$

式中: $\xi_{ij}(t)$ 为第 t 年的关联系数; $Z_i^x(t)$ 、 $Z_j^y(t)$ 分别为第 t 年产业结构与用水结构指标的标准化值; ρ 为分辨系数,一般取 0.5。将关联系数按样本数 k 求其平均数可以得到关联度:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \xi_{ij}(t) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, γ_{ij} 为关联度值。

通过比较各个指标间关联度的大小可以分析出产业结构与用水结构各个指标的相关程度。在参考相关文献的基础上对关联度进行等级划分: 无关联、弱关联、中等关联、较强关联、极强关联、完全关联的关联度值分别为 0 、 $(0, 0.35]$ 、 $(0.35, 0.65]$ 、 $(0.65, 0.85]$ 、 $(0.85, 1)$ 、 1 。

根据各指标间的关联度值建立关联度矩阵, 分别按照行和列求其平均值, 求得到的数值可以根据其数值大小排序得到产业结构胁迫水资源的主要因素以及水资源对产业结构制约的主要因素。在计算灰色关联度的基础上计算产业结构和用水结构的耦合度模型^[11], 计算公式为

$$C(t) = \frac{1}{ml} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l \zeta_{ij}(t) \quad (4)$$

式中: $C(t)$ 为耦合度值; l 、 m 分别为用水结构系统与产业结构系统的指标数。

耦合度越大表明用水结构与产业结构的相互约束作用越强, 而耦合度越小则表明两者的发展程度越好, 受彼此的制约和影响作用越小。根据耦合数值的大小对其耦合类型进行划分: 完全协调型、高级协调型、中级协调型、初级协调型、磨合型、拮抗型、失调型、完全失调型对应的耦合度范围分别为 0 、 $(0, 0.35]$ 、 $(0.35, 0.55]$ 、 $(0.55, 0.60]$ 、 $(0.60, 0.65]$ 、 $(0.65, 0.70]$ 、 $(0.70, 1.0)$ 、 1.0 。

3 结果与分析

3.1 产业结构与用水结构互动耦合的主要因素

皖江城市带产业结构与用水结构的关联度矩阵见表 1, 从表 1 中可以看出两系统各指标之间的关联度基本都在 0.5 以上, 属于中等关联, 表明皖江城市带产业结构与用水结构之间存在一定的联系。

由表 1 可见, 产业结构对用水结构的影响主要表现在产业结构的升级和演进引起水资源利用方式的变化, 进而带动了用水量、用水结构和用水效率的

变化^[10]。产业结构从第一、第二到第三产业的演进带来用水结构向二、三产业的转移, 产业结构的高级化也使得用水效率得到逐步提高。R & D 占 GDP 的比重和二、三产业比重都超过了 0.65, 属于较强关联, R & D 占 GDP 的比重体现产业的科技含量, 二、三产业比重能够较强地反映产业的高级化。

用水结构对产业结构的影响主要表现在水资源短缺制约产业的发展, 促使产业结构做适应性调整^[3]。生态环境用水、人均生活用水以及单位面积农田灌溉用水都超过了 0.65, 属于较强关联, 皖江城市带的生态环境用水量逐年增加, 对产业用水起到一定的限制作用; 2005—2014 年, 随着经济的发展人民生活质量逐步提高, 生活用水量逐年增加, 但到后期随着国民素质的全面提升, 生活用水量开始逐渐减少, 用水效率提高较为明显; 皖江城市带的农业占比仍不小, 农业产值逐年上升, 而农业用水量则呈现先增加后减少的趋势, 表明第一产业用水效率的明显提高, 也为二、三产业的发展提供更多的用水空间, 使产业结构向更加协调的方向发展。

3.2 产业结构与用水结构耦合度的时序变化

在求出产业结构与用水结构关联系数的基础上, 选取 2005—2014 年的时间序列数据得到皖江城市带两系统之间的耦合度随时间变化趋势(图 2)。

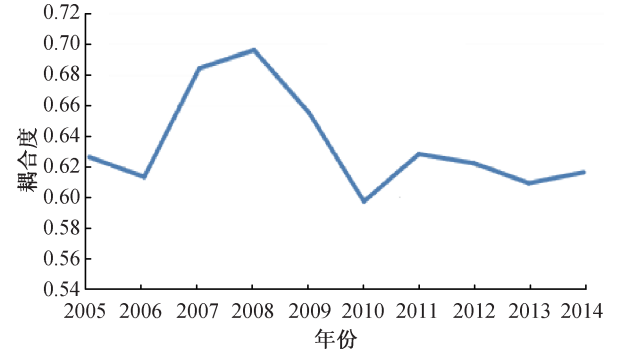


图 2 2005—2014 产业结构与用水结构耦合度随时间变化趋势

从图 2 可以看出皖江城市带 2005—2014 年产业结构与用水结构的耦合度基本都在 0.6 以上, 且具有明显的波动性, 表明产业结构与用水结构之间

表 1 产业结构与用水结构的关联度矩阵

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	均值
Y_1	0.607	0.563	0.512	0.492	0.533	0.597	0.493	0.559	0.824	0.575
Y_2	0.650	0.587	0.518	0.501	0.511	0.580	0.504	0.565	0.712	0.570
Y_3	0.650	0.673	0.688	0.774	0.769	0.567	0.687	0.708	0.521	0.671
Y_4	0.581	0.611	0.694	0.674	0.739	0.554	0.787	0.666	0.459	0.641
Y_5	0.708	0.701	0.772	0.772	0.777	0.548	0.737	0.678	0.414	0.679
Y_6	0.660	0.708	0.684	0.778	0.704	0.587	0.644	0.653	0.512	0.659
均值	0.643	0.641	0.645	0.665	0.672	0.572	0.642	0.638	0.574	

的关系较为紧密,并且在城市带发展的不同阶段呈现出不同的响应特征。根据耦合度的变化大致可以将其划分为3个阶段:

a. 第一阶段 2005—2006 年,其耦合度为 0.60 ~ 0.63,耦合类型属于磨合型。在此阶段,皖江城市带还是一个地域上较为模糊的概念,城市化及产业的发展速度较慢,各市的优势产业还未完全形成。根据计算结果可知 2006 年皖江城市带一、二、三产业的比重分别为 12.6%、48.0%、39.4%。第一产业的比重过大,挤压了大量的用水空间,二、三产业发展不足,且企业的科学技术水平不高,万元农业 GDP 用水以及万元工业 GDP 用水都较低,用水效率低下,用水结构不尽合理。

b. 第二阶段 2007—2009 年,耦合度为 0.65 ~ 0.70,耦合类型属于拮抗型。在此阶段,皖江城市带的产业开始加速发展,特别是一些能源和技术密集型的产业都在这几年内发展壮大,这无疑在一定程度上增加了区域用水压力。在此期间,万元 GDP 科技投入、亿元 GDP 专利数、万人技术人员数等指标增长都较为缓慢。皖江城市带三次产业比重也由 2006 年的 12.6%、48.0%、39.4% 转变到 2009 年的 10.8%、52.9%、36.3%。农业比重虽有所减小,但期间单位面积农田灌溉用水量却处于持续增加状态,因此农业和工业仍是用水的大户,第三产业用水、生态环境用水以及人民生活用水量则占比较少,用水结构不尽合理,用水效率也较低。

c. 第三阶段是 2010—2014 年,耦合度由 0.65 以上下降到 0.58 ~ 0.63,耦合类型属于初级协调型和磨合型。2010 皖江城市带进入科学发展时期,在此阶段,万元 GDP 的 R & D 投入增长快速,单位 GDP 进出口额、亿元 GDP 专利数、万人技术人员数都呈现持续增长的状态,二、三产业比重也开始由大向小转变,第三产业获得长足发展,万元 GDP 能耗值和用水量持续下降,工业用水效率提高较快,一、二产业用水量逐渐减少,生态环境用水和生活用水占比增加,产业结构与用水结构的关系逐渐趋向协调。

3.3 产业结构与用水结构耦合度的空间差异

皖江城市带内部各城市产业结构与用水结构之间的耦合度也存在一定的空间差异,选取 2005—2014 年 9 个地级市各指标的均值作为截面数据,计算出合肥、滁州、六安、马鞍山、芜湖、宣城、铜陵、池州和安庆的产业结构与用水结构的耦合度分别为 0.583、0.673、0.702、0.613、0.578、0.685、0.622、0.664 和 0.758。绘制出皖江城市带各城市产业结构与用水结构耦合类型的空间分布图(图 3),

从图中可以看出耦合类型整体上大致呈现东优西劣的态势。

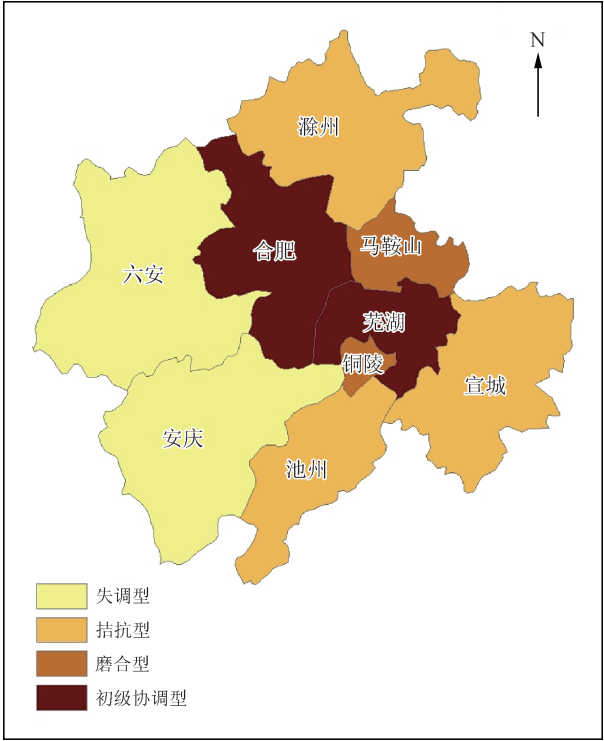


图3 皖江城市带各城市产业结构与用水结构耦合类型空间分布

初级协调型包括合肥和芜湖 2 个城市。合肥和芜湖作为安徽省的两个增长极,其经济发展已经达到一定水平,2014 年人口城镇化都达到了 60% 以上,人均 GDP 也都超过了 6 万元,人民在追求物质生活的同时开始关注节约资源和环境保护,努力提高产业科技水平,增加技术装备,提高水资源的利用效率,减少水污染的产生。在第二产业用水效率提高的同时,生态环境以及第三产业用水也逐步增加,用水结构也得到明显改善,产业的发展对水资源的负荷逐渐减小,产业结构和用水结构逐步向协调方向转变,因此表现出的耦合度较小。

磨合型包括铜陵和马鞍山 2 个城市。铜陵和马鞍山是皖江城市带上两个重要的资源型城市,优势产业较为明显,经济发展水平较高。由于面积和人口较少,城市化水平和人均 GDP 也较高。第一产业占比很小,用水量较少,生态环境用水量逐步增加并达到较高水平。但这两个城市面临的同样的问题是第二产业占比过大,产业结构较为单调,第三产业发展不足,万元工业产业用水量一直居高不下,工业用水过度导致第三产业水量不足,因此水资源的利用率相对于合肥和芜湖来说较低,总体上产业结构与用水结构处于适应与磨合期。

拮抗型包括滁州、池州、宣城 3 个城市。这 3 个城市的经济发展水平相对较低,城市化水平不高,第

一产业比重过大,数据表明,2014 年其第一产业占比分别达到 17.63%、13.26%、12.85%,都超过了 12%,单位面积农业灌溉用水量较大,农业用水占比过大。第二产业发展缺乏科技支撑和资金支持,水污染较为严重,用水效率也不高,产业发展对水资源的依赖性较强。表现出较大的耦合度,目前仍属于拮抗期。

失调型包括六安和安庆 2 个城市。这两个城市都位于皖西,是皖江城市带上面积最大的两个城市,2014 年人口城市化分别是 41.4%、42.2%,在皖江城市带上处于最低水平。农业用水量占比较大。2014 年人均国民生产总值也处于最低水平,城乡差距较大,节水意识较差,第二产业用水效率低,第三产业发展不足,产业结构与用水结构属于失调型。

4 结 论

a. 产业结构与用水结构之间的关系复杂而密切。通过灰色关联法计算得出皖江城市带产业机构与用水结构两个系统之间的关联度基本都在 0.5 以上,属于中等关联。

b. 产业结构与用水结构的耦合度在时间上的变化趋势大致呈一个倒 U 形,大致可以划分为 3 个阶段:2005—2006 年属于磨合型;2007—2009 年属于拮抗型;2010—2014 年属于初级协调型和磨合型。就最近两年的变化趋势来看,有再次向磨合期转变的趋向,因此皖江城市带要更加注意产业结构与用水结构之间的关系,努力促进产业结构向高度化发展,提高产业的用水效率,减少水污染的产生,不断地改善用水结构。

c. 皖江城市带产业结构与用水结构的耦合度在空间上呈现西高东低的态势,根据耦合度的大小将其划分为初级协调、磨合、拮抗和失调 4 个类型。各地级市有必要在水资源约束的条件下,调整产业结构,提高水资源的重复利用率^[13]。大力发展第三产业,限制高耗能高耗水产业的发展,同时引进先进的科学技术,提高一二产业的用水效率,减少水污染,使产业结构与用水结构之间的关系向更加协调的方向发展。

参考文献:

[1] 沈家耀,张玲玲.不同 GDP 增长率下的江苏省用水结构模拟[J].水利经济,2016,34(4):21-25. (SHEN Jiayao,ZHANG Lingling. Simulation of water use structure in Jiangsu Province under different GDP growth rates [J]. Journal of Economic of Water Resource,2016,34(4):21-25. (in Chinese))

[2] 刘珊,吴成国,潘争伟,等.基于集对分析的区域产业结构与用水结构协调评价[J].水资源保护,2016,32(3):64-68. (LIU Shan,WU Chengguo,PAN Zhengwei,et al. Coordinate assessment of regional industrial structure and water utilization structure based on set pair analysis [J]. Water Resources Protection,2016,32(3):64-68. (in Chinese))

[3] 蒋桂芹,赵勇,于福亮.水资源与产业结构演进互动关系[J].水电能源科学,2013,31(4):139-142. (JIANG Guiqin,ZHAO Yong,YU Fuliang. Interaction between water resources and industrial structure evolution [J]. Water Resources and Power,2013,31(4):139-142. (in Chinese))

[4] 刘慧敏,周戎星,于艳青,等.我国区域用水结构与产业结构的协调评价[J].水电能源科学,2013,31(9):159-163. (LIU Huimin,ZHOU Rongxing,YU Yanqing,et al. Evaluation of coordination between water consumption structure and industrial structure in Chinese [J]. Water Resources and Power,2013,31(9):159-162. (in Chinese))

[5] 蒋桂芹,赵勇,于福亮.区域产业结构与用水结构协调度评价与调控:以安徽省为例[J].水利水电技术,2012,43(6):8-11,15. (JIANG Guiqin,ZHAO Yong,YU Fuliang. Assessment and regulation of coordinated degree between regional industrial structure and water utilization structure;a case of Anhui Province [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2012,43(6):8-11,15. (in Chinese))

[6] 沈家耀,张玲玲,王家志.基于系统动力学:投入产出分析整合方法的江苏省产业用水综合效用分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(1):16-24. (SHEN Jiayao,ZAHNG Lingling,WANG Jiazhi. Analysis of comprehensive utility of water utilization structure based on the integration methods of system dynamic and input-output analysis in Jiangsu province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2016 25(1):16-24. (in Chinese))

[7] 雷社平,解建仓,阮本清.产业结构与水资源相关分析理论及其实证[J].运筹与管理,2004,13(1):100-105. (LEI Sheping,XIE Jiancang,RUAN Benqing. The correlation analysis and demonstration between industrial structure and Water resources [J]. Operations Research and Management Science,2004,13(1):100-105. (in Chinese))

[8] 刘轶芳,刘彦兵,黄姗姗.产业结构与水资源消耗结构的关联关系研究[J].系统工程理论与实践,2014,34(4):861-869. (LIU Yifang,LIU Yanbing,HUANG Shanshan. Study on the correlation between industrial structure and water resources consumption structure [J]. Systems Engineering Theory & Practice,2014,34(4):861-869. (in Chinese))

(下转第 73 页)

Dalian [J]. China Health Statistics, 2016, 33 (2): 274-277. (in Chinese))

[30] 陈凤格,范尉尉,赵伟,等. 诺如病毒污染供水系统引发感染性腹泻的调查[J]. 环境卫生学杂志, 2016, 6(4): 304-307. (CHEN Fengge, FAN Weiwei, ZHAO Wei, et al. Infectious diarrhea case caused by norovirus contamination of water supply system [J]. Journal of Environmental Hygiene, 2016, 6(4): 304-307. (in Chinese))

[31] 赵艳玲,姚伟,陶勇. 农村饮用水和环境卫生与介水传染病的相关性研究[J]. 环境与健康杂志, 2009, 21(1): 6-7. (ZHAO Yanling, YAO Wei, TAO Yong. Relationship among rural drinking water, sanitation and waterborne infectious diseases [J]. Journal of Environmental and Health, 2009, 21(1): 6-7. (in Chinese))

[32] 王若师,张娴,许秋瑾,等. 东江流域典型乡镇饮用水源地有机污染物健康风险评价[J]. 环境科学学报, 2012, 32(11): 2874-2883. (WANG Ruoshi, ZHANG Xian, XU Qiujin, et al. Health risk assessment of organic pollutants in typical township drinking water sources of Dongjiang River Basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(11): 2874-2883. (in Chinese))

[33] 崔书田. 农村家庭安全饮用水对儿童健康的影响[D]. 杭州:浙江工商大学, 2015.

[34] OLSEN S J, MILLER G, BREUER T, et al. A waterborne outbreak of *Escherichia coli* O157: H7 infections and hemolytic uremic syndrome: implications for rural water systems [J]. Emerging Infectious Diseases Journal, 2002, 8: 370-375.

[35] 张录龙,孙敏. 饮用水常规处理工艺对多环芳烃去除的影响[J]. 水资源保护, 2013, 29(3): 66-69. (ZHANG Lulong, SUN Min. Removal effect of polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking water conventional treatment process [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(3): 66-69. (in Chinese))

[36] CLASEN T F, THAO D H, BOISSON S, et al. Microbiological effectiveness and cost of boiling to disinfect drinking water in rural Vietnam [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 42: 4255-4260.

[37] 丁春生,李乃军,张涛,等. 天冬氨酸在氯化过程中生成消毒副产物二氯乙腈的研究[J]. 环境科学, 2016, 37(5): 1831-1836. (DING Chunsheng, LI Naijun, ZHANG Tao, et al. Aspartic acid generated in the process of chlorination disinfection by-product dichloroacetonitrile [J]. Environmental Science, 2016, 37(5): 1831-1836. (in Chinese))

[38] 赵树理,庞宇辰,席劲瑛,等. 电化学消毒法对水中大肠杆菌的灭活特性[J]. 环境科学学报, 2016, 36(2): 544-549. (ZHAO Shuli, PANG Yuchen, XI Jinying, et al. Inactivation of antibiotic-sensitive and antibiotic-resistant *E. coli* in water by electrochemical disinfection [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(2): 544-549. (in Chinese))

[39] 刘玥,陈忠林,沈吉敏,等. 硅酸锌催化臭氧氧化净水效能连续流实验研究[J]. 水资源保护, 2015, 31(5): 72-76. (LIU Yue, CHEN Zhonglin, SHEN Jimin, et al. Continuous-flow study on efficiency of water treatment using zinc silicate catalyzing ozonation [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(5): 72-76. (in Chinese))

(收稿日期:2017-03-20 编辑:徐 娟)

(上接第 64 页)

[9] 乔标,方创琳,黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2183-2190. (QIAO Biao, FANG Chuanglin, HUANG Jinchuan. The coupling law and its validation of the interaction between urbanization and eco-environment in arid area in chinses [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2183-2190. (in Chinese))

[10] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 387-398. (CHEN Mingxing, LU Dadao, ZHANG Hua. Comprehensive evaluation and the driving factors of China's urbanization [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 387-398. (in Chinese))

[11] 蒋元勇,章茹,丰锴斌. 南昌城市化与水资源环境交互耦合作用关系分析[J]. 人民长江, 2014, 45(14): 18-23. (JIANG Yuanyong, ZHANG Ru, FENG Kaibin. Analysis on coupling interaction between urbanization of Nanchang City and water resources environment [J]. Yangtze River, 2014, 45(14): 18-23. (in Chinese))

[12] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1992: 186-263.

[13] 吴昊,华骅,王腊春,等. 区域用水结构演变及驱动力分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(6): 477-484. (WU Hao, HUA Hua, WANG Lachun, et al. Analysis of change and driving forces of regional water consumption structure [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2016, 44(6): 477-484. (in Chinese))

(收稿日期:2017-01-06 编辑:王 芳)