

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.01.011

基于生态位的安阳市用水结构与产业结构动态演化分析

焦士兴¹,李青云¹,王安周²,刘亚奇³,尹义星⁴,赵荣钦⁵,张建伟¹

(1. 安阳师范学院资源环境与旅游学院,河南 安阳 455002; 2. 洛阳市第十九中学,河南 洛阳 471000;
3. 黄河水利委员会水文局,河南 郑州 450004; 4. 南京信息工程大学水文气象学院,江苏 南京 210044;
5. 华北水利水电大学测绘与地理信息学院,河南 郑州 450046)

摘要:为促进安阳市水资源利用和社会经济协调发展,采用生态位、生态熵和耦合协调度等模型,系统分析了安阳市用水结构与产业结构的生态位动态演化及其耦合协调状况。结果表明:安阳市工业用水生态位呈现上升趋势且生态熵区域差异明显,农业用水生态位占主导地位且生态熵发展趋势不同,生活用水生态位波动增长而生态熵呈现下降趋势;安阳市第一产业和第二产业生态位波动下降、第三产业生态位持续上升,各县市产业结构生态熵变化趋势各异;安阳市用水结构与产业结构耦合协调度处于失调状态,但发展态势良好,其中农业用水与第一产业、工业用水与第二产业的耦合协调度波动下降,生活用水与第三产业的耦合协调度由严重失调提升为中度失调。

关键词:生态位;用水结构;产业结构;耦合协调度;安阳市

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)01-0079-07

Dynamic evolution analysis of water consumption structure and industrial structure based on niche in Anyang City
// JIAO Shixing¹, LI Qingyun¹, WANG Anzhou², LIU Yaqi³, YIN Yixing⁴, ZHAO Rongqin⁵, ZHANG Jianwei¹
(1. Department of Resources & Environment and Tourism, Anyang Normal University, Anyang 455002, China; 2. The Luoyang 19th High School, Luoyang 471000, China; 3. Hydrological Bureau of Yellow River Water Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China; 4. School of Hydrology and Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 5. College of Surveying and Geo-informatics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: In order to promote the coordinated development of water resources utilization and social economy, the niche dynamic evolution and coupling coordination of water consumption structure and industrial structure in Anyang City were systematically analyzed by using niche, ecological entropy and coupling coordination degree and other models. The results show that the niche of industrial water consumption in Anyang City was on the rise and the regional difference of ecological entropy was obvious. The niche of agricultural water consumption was dominant and the development trend of ecological entropy was different. The niche of domestic water consumption increased in fluctuation and the ecological entropy was on the decline. The niche of primary industry and secondary industry declined with fluctuation while the niche of tertiary industry kept rising. The variation trends of ecological entropy of industrial structure were different among various countries. The coupling coordination degree of water consumption structure and industrial structure was in a state of maladjustment in Anyang City, but the development trend was good. The coupling coordination degree of agricultural water consumption and primary industry, industrial water consumption and secondary industry declined with fluctuation while the domestic water consumption and tertiary industry were promoted from serious maladjustment to moderate maladjustment.

Key words: niche; water consumption structure; industrial structure; coupling coordination degree; Anyang City

水资源是支撑区域经济社会发展的重要物质基础。近年来,水资源利用与经济供需矛盾日益严峻,水资源污染、浪费、短缺等问题已经成为制约经济社会发展的瓶颈。合理的用水结构能够确保

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(21A170001);安阳市2020年科技发展计划(101);安阳师范学院大学生创新基金(S202010479032)

作者简介:焦士兴(1970—),男,教授,博士,主要从事水资源和水环境研究。E-mail:jiaoshixing@163.com

区域经济效益最大化,而产业结构的优化调整有利于水资源的合理利用与优化配置,因此加强用水结构和产业结构的互动机制研究,对于促进水资源和社会经济的持续、稳定和协调发展具有重要意义。

国外学者对产业结构与用水结构的研究集中于相关性、协调性和调控策略等方面。Granger^[1]提出了因果关系检验法,并用于分析产业结构和用水结构的因果关系;Reynaud^[2]探讨了法国用水需求量与经济结构的关系,给出了产业结构的调整方向;Mall等^[3]讨论了气候变化对印度水资源的影响,认为通过改善产业用水结构可以实现节水减排;Gallagher等^[4]提出了水资源优化配置影响产业结构路径、存在风险及规避措施。国内学者多采用线性回归、协调控制、灰色关联、系统仿真等模型,开展了产业结构和用水结构的耦合协调、互动演化、优化调控研究^[5-10]。云逸等^[5]采用回归模型分析了北京市用水结构与产业结构的相关性;李志^[6]构建了协调控制模型,计算分析了山东省用水结构和产业结构的协调度;刘珊等^[7]采用集对分析方法,评价了山东省用水结构与产业结构,表明两者呈弱协调状态;王飞等^[8]运用灰色关联方法,分析了皖江城市带产业结构与用水结构耦合协调度的时空差异;唐宏等^[9]构建系统仿真模型,探讨了乌鲁木齐市产业结构与用水结构的调控策略;刘晓霞等^[10]采用变量平稳性检验等方法,研究了山西省用水结构与产业结构关系,表明第一和第三产业与用水量存在长期均衡关系。

1917年Grinnell提出了生态位理论,之后其概念、理论和模型逐步得到发展和完善^[11]。生态位测度方法具有计算过程简洁、生态意义明确、便于分析比较等优点^[12],已广泛应用于城市学、旅游学、生态学、资源学等领域^[13-17]。郭瑞敏等^[13]探讨了广东省城市用地和经济发展的关系,表明高生态位城市用地扩张与经济发展符合库茨涅兹曲线特征;王兆峰^[14]研究了旅游产业集群生态位的构成要素等,提出了生态位泛化、特化和优化的策略;林勇等^[15]探讨了不同群落的主要优势种群的生态位,揭示了生态位随自然恢复阶段的变化规律;张侠等^[16]对土地利用的经济生态位进行了分析,并探讨了建立耕地保护机制的途径;焦士兴等^[17]采用生态位理论对用水结构进行了研究,认为安阳市的用水结构有待调整。但是结合生态位理论和耦合协调度模型,系统分析用水结构和产业结构的研究相对较少。为此,本文采用生态位、生态熵和耦合协调度等模型分析安阳市用水结构与产业结构的生态位及其耦合协调状况,以期为促进水资源利用和社会经济协调发展提供参考。

1 研究方法

1.1 用水结构与产业结构生态位模型

用水结构生态位反映区域不同类型用水的地位和作用程度^[18]。用水结构生态位模型计算公式^[17]为

$$w_i = (S_i + A_i P_i) / \sum_{i=1}^3 (S_i + A_i P_i) \quad (1)$$

式中: w_i 为*i*类用水生态位, $0 < w_i < 1$, w_i 越大说明*i*类用水量越大,对水资源捕获能力越强; S_i 为*i*类用水类型的用水量; A_i 为量纲转换系数,与时间尺度有关,计算时取值为1; P_i 为研究年份与初始年份*i*类用水量的差值; $i = 1, 2, 3$ 分别表示农业用水、工业用水、生活用水。

产业结构生态位模型与用水结构生态位模型类似,产业结构生态位可参照用水结构生态位进行计算。

1.2 用水结构与产业结构生态熵模型

通过比较区域内用水结构生态位的相对变化情况,可以辨析具有相对优势或劣势的用水类型。用水结构生态熵模型计算公式^[17]为

$$Q_i = w_i / W_i \quad (2)$$

式中: Q_i 为*i*类用水生态熵; W_i 为上一级区域*i*类用水生态位。若 $Q_i > 1$ 表明用水生态位大于上一级同类用水生态位,该类用水在本区域处于优势地位,且用水量增长相对较快;若 $Q_i < 1$ 则小于上一级,该用水处于相对劣势;若 $Q_i = 1$ 为同步发展。

产业结构生态熵模型与用水结构生态熵模型类似,产业结构生态熵可参照用水结构生态熵进行计算。

1.3 用水结构与产业结构的耦合协调度模型

极差标准化法具有消除各指标间数值单位和量级差异的特点,分别采用正向标准化和负向标准化对指标层正、负向指标进行标准化处理^[19]。根据各子系统指标的标准化值,计算用水结构与产业结构各子系统的耦合协调度,其计算公式^[20]为

$$D = \sqrt{CT} \quad (3)$$

$$\text{其中} \quad C = \sqrt{\frac{Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}} \quad T = aZ_1 + bZ_2$$

式中: D 为耦合协调度; C 为耦合度; T 为协调指数; Z_1 、 Z_2 分别为用水结构和产业结构各子系统指标标准化值的平均值; a 、 b 为待定系数,假设产业结构与用水结构同等重要,则 $a = b = 0.5$ 。耦合度反映了用水结构与产业结构系统的相互作用程度,耦合协调度是对耦合协调关系的深入探讨,而协调指数指的是两系统相互联系的程度^[21-22]。各级耦合协调

度等级标准如下:优质耦合协调 $0.9 < D \leq 1.0$, 高度耦合协调 $0.8 < D \leq 0.9$, 中度耦合协调 $0.7 < D \leq 0.8$, 低度耦合协调 $0.6 < D \leq 0.7$, 弱度耦合协调 $0.5 < D \leq 0.6$, 弱度失调 $0.4 < D \leq 0.5$, 低度失调 $0.3 < D \leq 0.4$, 中度失调 $0.2 < D \leq 0.3$, 严重失调 $0.1 < D \leq 0.2$, 极度失调 $0 < D \leq 0.1$ 。

2 结果与分析

2.1 用水结构生态位与生态熵

根据 2008—2017 年《安阳市水资源公报》和 2014—2017 年《滑县水资源公报》的统计数据,采用式(1)和式(2)计算安阳市工业、农业和生活用水的生态位和生态熵,并对其进行分析。

2.1.1 工业用水

安阳市工业用水生态位和生态熵如图 1 所示。图 1(a)表明:安阳市工业用水生态位不断增大,从 2008 年的 0.110 升至 2017 年的 0.186,且各县市均有不同程度提升,表明安阳市工业发展迅速,工业用水量不断增加。年均工业用水生态位从大到小排序为:滑县(0.570)、林州市(0.399)、安阳县(0.164)、汤阴县(0.150)、内黄县(0.059),滑县和林州市工业发展相对较快,而其他县工业发展缓慢,尤其是内黄县工业用水量最少,工业发展水平有限。

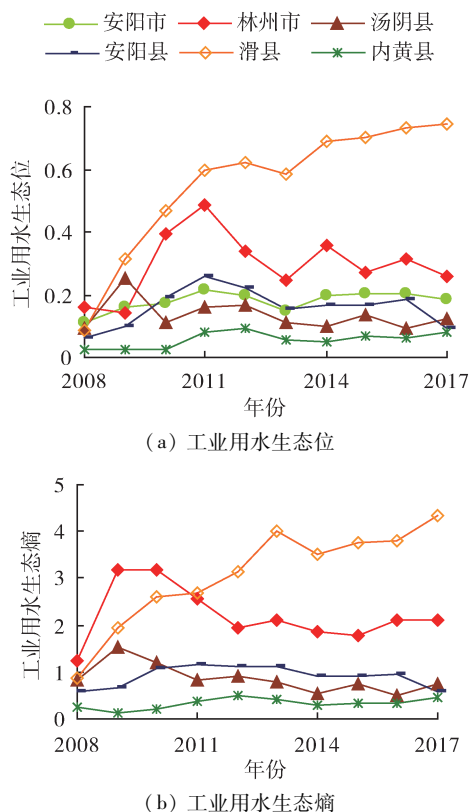


图 1 安阳市工业用水生态位和生态熵
Fig. 1 Niche and ecological entropy analysis of industrial water consumption in Anyang City

图 1(b)表明,安阳市工业用水生态熵区域差异明显。年均工业用水生态熵从大到小排序为:滑县(3.077)、林州市(2.205)、安阳县(0.903)、汤阴县(0.852)、内黄县(0.324)。滑县和林州市工业用水生态熵均大于 2,表明滑县和林州市工业发展迅速,处于全市优势地位。从发展变动看,2010 年后安阳县工业用水生态熵均大于汤阴县,说明安阳县工业用水优势显著,发展趋势较好;内黄县工业生态熵最小且均小于 1,说明内黄县工业用水处于相对劣势,工业发展水平较低。

2.1.2 农业用水

安阳市农业用水生态位占主导地位且波动减小(图 2(a))。年均农业用水生态位从大到小排序为:内黄县(0.897)、汤阴县(0.811)、安阳县(0.787)、林州市(0.684)、滑县(0.580),且各县市农业用水生态位均大于 0.5,表明安阳市农业用水生态位处于主导地位,但区域差异显著。内黄县、汤阴县农业用水生态位较高且均超过 0.8,表明该区域为传统的农业发展区,农业用水占比较大;汤阴县、安阳县和林州市农业生态位波动幅度较大,不同年际间最大差值分别为 0.199、0.200 和 0.213;滑县生态位年均减少 8.71%,原因在于通过节水灌溉、秸秆覆盖等举措,提高了农业用水效率,节水灌溉面积达到 40.1%^[23]。

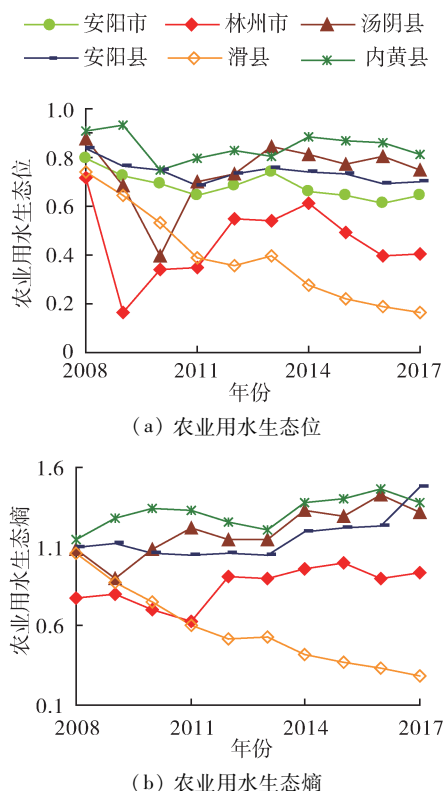


图 2 安阳市农业用水生态位和生态熵
Fig. 2 Niche and ecological entropy of agricultural water consumption in Anyang City

安阳市各县市农业用水生态熵发展趋势不同(图2(b))。年均农业用水生态熵从大到小排序为:汤阴县(1.194)、安阳县(1.156)、内黄县(1.138)、林州市(0.85)、滑县(0.574)。汤阴县、安阳县、内黄县农业用水生态熵均大于1,表明该地区农业用水在全市处于优势;而林州市和滑县均小于1,表明农业用水处于相对劣势。汤阴县、安阳县和林州市农业用水生态熵波动较大,表明农业用水年际变化较大,呈现不稳定性;内黄县基本稳定且均大于1,说明内黄县农业发展较稳定,农业用水在全市处于优势;2008—2017年滑县农业用水生态熵年均下降7.8%,说明农业用水在全市地位有所下降。

2.1.3 生活用水

安阳市(除滑县外)生活用水生态位呈波动增长趋势(图3(a))。年均生活用水生态位从大到小排序为:林州市(0.238)、汤阴县(0.121)、安阳县(0.101)、内黄县(0.090)、滑县(0.076),其中林州市和安阳县生活用水生态位呈现明显波动上升趋势,这表明随着生活水平的提高,以及人口机械增长等,生活用水呈现稳中有升的趋势;汤阴县生活用水生态位在2008—2011年波动较大,2012—2017年波动较小,并逐渐趋于平稳;内黄县生活用水生态

位波动幅度逐渐趋于平稳;滑县生活用水生态位最低,原因在于工业和服务业提供的就业岗位较少,以及农村剩余劳动力转移^[24],导致了常住人口数量减少。

安阳市生活用水生态熵波动较大,林州市、汤阴县和安阳县呈上升趋势,滑县和内黄县则呈下降趋势(图3(b))。林州市年均生活用水生态熵大于1,表明生活用水占有率高于全市;而汤阴县(0.879)、安阳县(0.741)、滑县(0.619)和内黄县(0.683)均小于1,表明生活用水占有率低于全市,其中汤阴县和安阳县生活用水生态熵有所增长,而滑县和内黄县呈现波动下降趋势。从波动趋势来看,林州市波动最大,而安阳县波动较小,原因在于近年来林州市大力发展工业和旅游业,外来人口流动频繁且波动变化较大,而安阳县人口数量较为稳定。

2.2 产业结构生态位和生态熵

根据2009—2018年《河南省统计年鉴》和2009—2018年《安阳市统计年鉴》的产业产值数据,采用式(1)和式(2)计算安阳市2008年、2010年、2012年、2014年和2017年三大产业生态位和生态熵,结果如表1所示。

由表1可知,安阳市以第二产业为主,三大产业发展不协调。各县市第二产业占比最大,第一、三产业则相对较小,年均第二产业生态位从大到小排序为:林州市(0.628)、安阳县(0.608)、汤阴县(0.595)、内黄县(0.417)、滑县(0.393)。可依据产业结构生态位将区域划分为两类:①第二产业生态位最大、第一产业生态位最小,包括林州市、安阳县、汤阴县,这些县市自然禀赋优良,区位优势明显,产业基础较好,第二产业占据首要地位。第三产业年均生态位大于第一产业,原因是林州市、汤阴县、安阳县分别依托山水旅游资源、周易文化资源、宗教文化资源等,大力发展了旅游业和配套服务业,第三产业生态位增速较快。②第二产业生态位最大、第三产业生态位最小,包括滑县和内黄县。滑县和内黄县均为欠发达传统农业区,农业产值占比较大,而第三产业整体水平偏低且发展缓慢^[25],因此第三产业生态位处于较低位次。

安阳市第一产业生态位波动下降,第三产业则持续上升,而第二产业各县市变化不同(表1)。从第一产业来看,滑县从2008年的0.428下降至2017年的0.225,下降幅度最大;林州市从2008年的0.068下降至2017年的0.034,下降幅度最小。从第二产业来看,林州市、汤阴县和安阳县下降明显,滑县、内黄县却呈现小幅度增加,说明滑县、内黄县工业发展较快,其余各县市工业发展较为缓慢。从

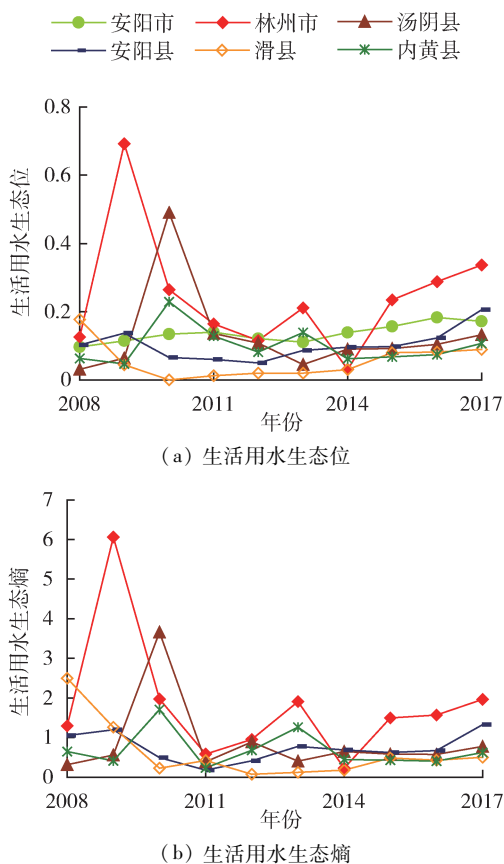


图3 安阳市生活用水生态位和生态熵
Fig. 3 Niche and ecological entropy of domestic water consumption in Anyang City

表1 安阳市三大产业生态位和生态熵

Table 1 Niche and ecological entropy of three industries in Anyang city

地区	产业结构	生态位					生态熵				
		2008年	2010年	2012年	2014年	2017年	2008年	2010年	2012年	2014年	2017年
林州市	第一产业	0.068	0.053	0.050	0.050	0.034	0.490	0.457	0.429	0.596	0.411
	第二产业	0.700	0.717	0.672	0.582	0.513	1.120	1.173	1.184	1.184	1.080
	第三产业	0.232	0.230	0.278	0.368	0.453	0.980	0.842	0.880	0.959	1.025
安阳县	第一产业	0.102	0.092	0.090	0.097	0.062	0.740	0.805	0.774	1.158	0.746
	第二产业	0.680	0.692	0.649	0.563	0.521	1.088	1.131	1.144	1.144	1.098
	第三产业	0.218	0.216	0.261	0.340	0.416	0.920	0.788	0.825	0.887	0.943
汤阴县	第一产业	0.168	0.176	0.171	0.158	0.115	1.217	1.533	1.461	1.892	1.377
	第二产业	0.605	0.666	0.603	0.557	0.550	0.969	1.088	1.063	1.063	1.158
	第三产业	0.227	0.158	0.227	0.285	0.335	0.956	0.579	0.717	0.744	0.759
滑县	第一产业	0.428	0.364	0.349	0.329	0.225	3.102	3.173	2.991	3.937	2.696
	第二产业	0.363	0.410	0.406	0.413	0.387	0.580	0.671	0.716	0.716	0.815
	第三产业	0.209	0.225	0.245	0.259	0.388	0.883	0.824	0.774	0.675	0.878
内黄县	第一产业	0.389	0.336	0.348	0.302	0.255	2.817	2.925	2.983	3.619	3.054
	第二产业	0.393	0.452	0.406	0.413	0.426	0.630	0.740	0.715	0.715	0.897
	第三产业	0.218	0.212	0.246	0.285	0.319	0.918	0.774	0.778	0.744	0.722

第三产业来看,林州市上升幅度最大,年均提高0.024,汤阴县提高幅度最小,年均增加0.011;林州市山水旅游资源丰富,太行山大峡谷、红旗渠风景区等旅游景点众多,第三产业生态位上升幅度最大;汤阴县旅游资源较为丰富,但开发深度不足,且基础设施较为落后,因此增加缓慢。

安阳市产业结构生态熵空间差异显著(表1)。从第一产业来看,滑县、汤阴县和内黄县产业结构生态熵均大于1,林州市、安阳县则小于1,原因是滑县、汤阴县和内黄县属于传统产粮大县,发展具有优势,而林州市、安阳县则与全市相比处于劣势。从第二产业来看,林州市、安阳县、汤阴县产业结构生态熵均大于1,滑县和内黄县则小于1且逐年增加,表明滑县和内黄县第二产业在全市中的地位较低,但工业化呈现快速发展态势。从第三产业来看,各县市产业结构生态熵均小于1,但发展趋势不同,其中林州市和安阳县逐渐提高,说明该地区第三产业发展趋势良好,汤阴县、内黄县、滑县的均有较小幅度的下降,其中汤阴县从2008年的0.956下降至2017年的0.759,下降幅度最大,表明该地区第三产业发展相对缓慢。

2.3 耦合协调度

图4为安阳市用水结构与产业结构耦合协调度计算结果。需要说明的是,由于统计口径不同,不能得到第三产业用水数据,仅以生活用水替代,尽管会因此导致研究结果出现一定偏差,但在一定程度上能体现两者耦合协调度的动态变化趋势^[7,26-27]。

安阳市农业用水与第一产业的耦合协调度呈下降(2008—2011年)—上升(2011—2013年)—下降(2013—2017年)的波动趋势,2014年由低度失调

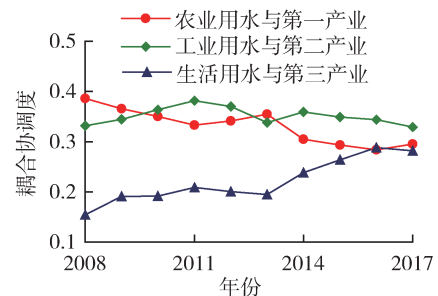


图4 安阳市用水结构和产业结构的耦合协调度

Fig. 4 Coupling coordination degree of water consumption structure and industrial structure in Anyang City

降为中度失调。2008—2011年耦合协调度从0.386逐年下降到0.333,且处于低度失调状态,原因在于安阳市降水量由2008年的582.7 mm增至2011年的609.8 mm,农业用水量则由10.877亿m³降至7.818亿m³,而农业产值从143亿元增加到175亿元,因此两者耦合协调度处于低度失调状态。2011—2013年耦合协调度由0.333增至0.354,呈现不断增长的趋势但仍属于低度失调状态,原因在于农业用水从7.818亿m³增加至8.890亿m³,且农业产值从175亿元增加到199亿元,两者保持同步增长,耦合协调度不断增大。2014—2017年两者的耦合协调度由0.354降至0.295,呈现波动下降趋势,原因在于2013年后随着微喷灌技术的成熟与应用^[28],农业用水效率逐步提高,使得用水总量减少,而农业产值由2014年的141亿元增至2017年的193亿元,因此2013年后二者的耦合协调度不断降低,两者属于中度失调状态。

安阳市工业用水与第二产业的耦合协调度呈先上升后下降趋势,但仍处于低度失调状态。2008—2017年工业用水与第二产业的耦合协调度介于

0.3~0.4之间,属于低度失调状态。安阳市工业用水由2008年的1.51亿 m^3 上升到2012年的2.22亿 m^3 ,而第二产业产值由647亿元增加到901亿元,工业用水增速滞后于第二产业增速,虽然耦合协调度不断上升,但上升幅度较小。2013年工业用水与第二产业耦合协调度处于较低水平,2014年后两者耦合协调度不断下降,原因是2013年国务院批复了《全国老工业基地调整改造规划(2013—2022年)》,在确定的95个地级市中包括安阳市^[29],从而全面推进了工业转型升级,工业结构也不断优化调整。2014—2017年工业用水由1.83亿 m^3 波动下降至1.63亿 m^3 ,工业用水效率提高明显,而第二产业产值由862亿元增加到1084亿元,且第二产业产值不断增长,因此2014年后两者耦合协调度不断下降,但仍属于低度失调状态。

安阳市生活用水与第三产业的耦合协调度不断上升,2011年实现了由严重失调到中度失调转变。安阳市第三产业产值年均增长率为14%,生活用水增长率仅为0.9%,两者增速差距较大,虽然耦合协调度有所增加,但整体上仍处于不协调状态。2008—2017年第三产业产值由245亿元增加到972亿元,随着人口增长和生活水平不断提高,全市居民生活人均年用水量由287.8 m^3 增加至302.7 m^3 ,生活用水总量由1.331亿 m^3 增加至1.498亿 m^3 ,二者保持同步增长且耦合协调度不断上升,2011年由严重失调转变为中度失调。从变化速度来看,2008—2013年两者耦合协调度增速缓慢,年均增长0.71%;2013—2017年增长较快,年均增长2.24%。2013年以来安阳市大力发展信息、金融、旅游等现代服务业,构建现代市场体系等,促进了第三产业的转型升级,2013—2017年第三产业产值由523亿元增加到972亿元,生活用水量由0.065亿 m^3 增加至0.202亿 m^3 ,两者耦合协调度不断提升。随着社会经济发展,安阳市生活用水量将不断增长,第三产业将持续发展,生活用水与第三产业的耦合协调度也将不断提高。

3 结 论

a. 从用水结构来看,安阳市农业用水占主导,各县市用水结构变化趋势不同。安阳市工业和生活用水生态位不断增大,农业则波动减少;林州市和滑县工业用水生态熵较大,安阳县、汤阴县和内黄县农业用水生态熵较大,林州市生活用水生态熵较大。基于此,安阳市应压缩农业用水规模,限制高耗水产业发展,保障“三生”用水安全。

b. 从产业结构来看,安阳市以第二产业为主,

三大产业发展不协调。安阳市第一产业和第二产业生态位波动下降,第三产业生态位持续上升。林州市和安阳县第一产业生态熵较小,其他县较大;滑县和内黄县第二产业生态熵较小,其他县市较大;各县市第三产业生态熵均较小。基于此,安阳市应不断改善投资环境,加强技术引进和创新,优化产业内部结构。

c. 安阳市用水结构与产业结构的耦合协调度整体处于失调状态,但发展趋势不同。农业用水与第一产业的耦合协调度由低度失调降为中度失调,工业用水与第二产业的耦合协调度波动下降但一直处于低度失调状态,生活用水与第三产业的耦合协调度则由严重失调提升为中度失调。因此,安阳市要加大资金技术投入,发展高效节水农业;优化产业内部结构,发展循环经济;合理配置水资源,保障区域用水安全,以实现区域社会经济和水资源持续协调发展。

参考文献:

- [1] GRANGER C W J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods [J]. *Econometric*, 1969, 37(3): 424-438.
- [2] REYNAUD A. An econometric estimation of industrial water demand in France [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 25(2): 213-232.
- [3] MALL R K, GUPTA A, SINGH R, et al. Water resources and climate change: an Indian perspective [J]. *Current Science*, 2006, 90(12): 1610-1626.
- [4] GALLAGHER L, LAFLAIVE X, ZAESKE A, et al. Embracing risk, uncertainty and water allocation reform when planning for green growth [J]. *Aquatic Procedia*, 2016, 6: 23-29.
- [5] 云逸, 邹志红, 王惠文. 北京市用水结构与产业结构的成分数据回归分析 [J]. *系统工程*, 2008, 26(4): 67-71. (YUN Yi, ZOU Zhihong, WANG Huiwen. A regression model based on the compositional data of Beijing's water consumed structure and industrial structure [J]. *Systems Engineering*, 2008, 26(4): 67-71. (in Chinese))
- [6] 李志. 区域用水结构与产业结构协调控制研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [7] 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))
- [8] 王飞, 蒋文杰, 李景保, 等. 皖江城市带产业结构与用水结构的互动耦合关系 [J]. *水资源保护*, 2017, 33(6):

- 60-64. (WANG Fei, JIANG Wenjie, LI Jingbao, et al. Interactive coupling relationship between industrial structure and water use structure in Wanjiang urban belt [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(6) :60-64. (in Chinese))
- [9] 唐宏,黄凤,冉瑞平,等. 干旱区绿洲城市产业结构与用水结构双向调控策略[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(3) :26-31. (TANG Hong, HUANG Feng, RAN Ruiping, et al. Two way control strategy of industrial structure and water use structure of oasis city in arid area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(3) :26-31. (in Chinese))
- [10] 刘晓霞,解建仓. 山西省用水结构与产业结构变动关系[J]. 系统工程, 2011, 29(4) :45-52. (LIU Xiaoxia, XIE Jianchang. The interactive relationship between water consumption structure and industrial structure of Shanxi Province[J]. Systems Engineering, 2011, 29(4) :45-52. (in Chinese))
- [11] 王刚,赵松岭,张鹏云,等. 关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究[J]. 生态学报, 1984, 4(2) :119-127. (WANG Gang, ZHAO Songling, ZHANG Pengyun, et al. On the definition of niche and the improved formula for measuring niche overlap[J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(2) :119-127. (in Chinese))
- [12] 李契,朱金兆,朱清科. 生态位理论及其测度研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2003, 2(1) :100-107. (LI Jie, ZHU Jinzhao, ZHU Qingke. A review on niche theory and niche metrics[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 2(1) :100-107. (in Chinese))
- [13] 郭瑞敏,千怀遂,张灵,等. 不同生态位城市用地扩张和经济发展的互动关系研究:以广东省为例[J]. 自然资源学报, 2016, 31(5) :800-811. (GUO Ruimin, QIAN Huaisui, ZHANG Ling, et al. The interactive mechanism of urban expansion and economic development in the different niche of urban: a case study of Guangdong Province[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(5) :800-811. (in Chinese))
- [14] 王兆峰. 旅游产业集群的生态位策略研究[J]. 人文地理, 2009, 24(1) :12-15. (WANG Zhaofeng. Research on the niche strategy of tourism industry cluster[J]. Human Geography, 2009, 24(1) :12-15. (in Chinese))
- [15] 林勇,艾训儒,姚兰,等. 木林子自然保护区不同群落类型主要优势种群的生态位研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(2) :223-234. (LIN Yong, AI Xunru, YAO Lan, et al. Niches of main dominant species of different community types in Mulinzi Nature Reserve[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(2) :223-234. (in Chinese))
- [16] 张侠,葛向东,濮励杰,等. 土地利用的经济生态位分析和耕地保护机制研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6) :677-683. (ZHANG Xia, GE Xiangdong, PU Lijie, et al. A study on the economic niche of land use theory and mechanisms of cropland conservation [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(6) :677-683. (in Chinese))
- [17] 焦士兴,王腊春,李静,等. 基于生态位及其熵值模型的用水结构研究:以河南省安阳市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(12) :2248-2254. (JIAO Shixing, WANG Lachun, LI Jing, et al. Water consumption structure based on the niche and its entropy model: a case study of Anyang City, Henan Province [J]. Resources Science, 2011, 33(12) :2248-2254. (in Chinese))
- [18] 胡德秀,熊江龙,刘铁龙,等. 基于生态位及其熵值模型的陕西省渭河流域用水结构特征[J]. 水利水电技术, 2018, 49(11) :137-143. (HU Dexiu, XIONG Jianglong, LIU Tielong, et al. Ecological niche and its entropy model-based characteristics of water consumption structure of Weihe River Basin in Shaanxi Province [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(11) :137-143. (in Chinese))
- [19] 毛慧慧,王勇,董琳. 海河流域水利与经济社会协调发展定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10) :44-47. (MAO Huihui, WANG Yong, DONG Lin. The quantitative evaluation of coordinated development between water conservancy and economic society in Haihe Basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(10) :44-47. (in Chinese))
- [20] 马海良,李珊珊,侯雅如. 河北省城镇化与水资源系统的耦合协调及预测[J]. 水利经济, 2017, 35(3) :37-41. (MA Hailiang, LI Shanshan, HOU Yaru. Coupling coordination and forecast of urbanization and water resource system in Hebei Province [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2017, 35(3) :37-41. (in Chinese))
- [21] 焦士兴,王安周,李青云,等. 河南省城镇化与水资源耦合协调发展状况[J]. 水资源保护, 2020, 36(2) :21-26. (JIAO Shixing, WANG Anzhou, LI Qingyun, et al. Study on coupling and coordinated development of urbanization and water resources in Henan Province [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2) :21-26. (in Chinese))
- [22] 喻笑勇,张利平,陈心池,等. 湖北省水资源与社会经济耦合协调发展分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4) :809-817. (YU Xiaoyong, ZHANG Liping, CHEN Xinchu, et al. Analysis on the coordinated development of water resources and social economy in Hubei Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2018, 27(4) :809-817. (in Chinese))
- [23] 许朗,胡莉红. 井灌区玉米灌溉用水效率及其影响因素:以河南省滑县、山东省巨野县农户数据为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10) :296-300. (XU Lang, HU Lihong. Water use efficiency and its influencing factors of maize irrigation in well irrigation area: taking the data of farmers in Hua County, Henan Province and Juye County, Shandong Province as an example[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2017, 45(10) :296-300. (in Chinese))

(下转第 109 页)