DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.05.04

洞庭湖生态经济区水资源与社会经济发展协同度评价

胡光伟[1,2,3], 黄作维[1,2], 许 滢[4], 张 旺[1,2], 李志文[1]

(1. 湖南工业大学 城市与环境学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 农牧业废弃物资源化综合利用湖南省重点实验室, 湖南 株洲 412007; 3. 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 4. 湖南工业大学 经济与贸易学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 洞庭湖流域水资源短缺日益严峻,水资源成为制约湖区社会经济发展的重要因素。选取洞庭湖生态经济区为研究对象,借助于协同理论和集对分析方法,构建经济区26个县(市区)水资源与社会经济发展协同度评价模型。结果表明:经济区两个系统之间的协同度整体水平不高,且各县市区之间协同度差异明显,其中澧县、临澧县、桃源县、石门县、赫山区、沅江市、大通湖区和桃江县的水资源与社会经济系统的协同度较高,而临湘市和岳阳县则处于不协同状态,其他县市区处于中等协同水平。分析发现水资源与社会经济系统的协同程度高低的决定因素是水资源系统稳定程度,所以经济区水资源开发利用潜力较大。最后提出了促进水资源与社会经济系统协同发展的对策和建议。

关键词: 水资源与社会经济系统; 序参量; 集对分析; 协同度评价; 洞庭湖生态经济区

中图分类号:TV213.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-643X(2018)05-0021-07

Evaluation of synergy degree between water resources system and socio-economic development in Dongting Lake eco-economic zone

HU Guangwei[1,2,3], HUANG Zuowei[1,2], XU Ying[4], ZHANG Wang[1,2], LI Zhiwen[1]

(1. *College of Urban and Environment Science, Hunan University of Technology, Zhuzhou* 412007, *China*; 2. *Hunan Provincial Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Agricultural and Animal Husbandry Waste Resources, Hunan University of Technology, Zhuzhou* 412007, *China*; 3. *Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, CAS, Beijing* 100101, *China*; 4. *College of Economics and Trade, Hunan University of Technology, Zhuzhou* 412007, *China*)

Abstract: Water resources shortage in Dongting Lake is increasingly serious, which has become an important limited factor for economic development in the Dongting Lake basin. The Dongting Lake eco-economic zone was selected as the research object, and the Synergistic Evaluation Model of water resources and socio-economic system in the 26 counties of the economic zone was constructed with the help of synergy theory and set pair analysis (SPA) method. The results showed that the overall synergy degree between the two systems in the eco-economic zone is not high, and the synergy degree among the counties is obvious. Among them, the water resources and socio-economic systems in Li County, Linli County, Taoyuan County, Shimen County, Heshan District, Yuanjiang City, Datonghu District, and Taojiang County have a high synergy degree. However, the synergy degree of Linxiang City and Yueyang County is relatively low, and other counties are at a moderate level of synergy. It was found that the degree of coordination between the water resources and the socio-economic system is determined by the degree of stability of water resources system; therefore, the potentiality of the water resources development and utilization in the economic zone is great. Finally, the solutions and suggestions to promote the coordination between water resources and socio-economic system were provided..

收稿日期:2018-03-26; **修回日期**:2018-06-23

基金项目:湖南省社会科学基金项目(16YBQ022); 湖南省自然科学基金项目(2017JJ3056); 湖南省社会科学成果评审委员会课题(XSP18YBC064); 株洲市科技计划项目; 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室开放基金项目(WL2016A001); 湖南工业大学教学改革项目(2017B40)

作者简介:胡光伟(1983-),男,河南固始人,博士,讲师,研究方向为湖泊水资源与水环境。

Key words: water resources and socio-economic system; order parameter; set pair analysis; synergy degree evaluation; Dongting Lake ecological economic zone

1 研究背景

洞庭湖区作为长江中游重要的粮仓,对维护国家粮食安全和区域水资源安全方面起着重要作用。2014 年,国务院批准洞庭湖生态经济区规划。经济区的建设成为国家战略,水资源作为社会经济系统可持续发展的重要支撑要素,对洞庭湖生态经济区的发展至关重要。然而,受自然和人为因素的影响,造成洞庭湖水资源恶化,湖区面临水质性缺水和季节性缺水并存的局面,严重影响社会经济可持续发展。因此构建水资源和社会经济系统协同度模型,探讨经济区的区域发展协同程度,对提高区域水资源利用效率,促进区域水资源与社会经济协调可持续发展至关重要。

已有文献中专门针对水资源与社会经济系统协同度的研究成果不多,一种是定性分析两者之间的关系,如万伟等[1]将满意度作为衡量水资源与社会经济系统协调发展的关键指标,一种是定量分析,如李同升等[2]构建 SD 模型对渭河流域水资源 - 社会经济系统协同情况进行评价。大多数学者[3-10]通过建立指标体系计算两者之间的协同程度,另外模糊识别模型[11-13]也得到一定程度的应用,并且研究对象涉及区域[14-16]、省域[3,17-19]和市域等不同尺度[9,20-22]。但是水资源系统受自然条件、社会进步、经济发展和技术创新等众多因素的制约,其构成一个动态复杂的系统。之前的研究虽然取得较大进展,但是研究方法本身存在过于复杂的缺陷,不易于操作,且不能反映各子系统之间的差异。而协同理论[23]和集对分析方法[24]的提出使协同分析有了更简便的方法,能够反映出各子系统之间的各种关系,同时现有文献缺乏洞庭湖生态经济区水资源与社会经济的协同度评价的研究,本文尝试将协同理论[23]和集对分析方法[24]运用到洞庭湖生态经济区水资源与社会经济协同度评价,以期为湖区可持续发展政策制定提供借鉴。

洞庭湖横跨湖南湖北,位于荆江南岸,流域面积约为 26.28×10^4 km^2。洞庭湖生态经济区(以下简称经济区)总面积 6.05×10^4 km^2,包括岳阳市、常德市、益阳市、望城区和荆州市共 33 个县(市、区)。经济区 2016 年末常住人口 $1\ 666.91 \times 10^4$ 人,地区生产总值达 $8\ 297.79 \times 10^8$ 元,城镇化平均水平 52.34%。经济区建设对于长江中游经济带建设,落实国家主体功能区规划,保障粮食安全具有重要作用。为了保持数据的一致性,研究范围仅包括湖南省境内的 26 个县(市、区)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究数据来源于《长沙统计年鉴》、《益阳统计年鉴》、《常德统计年鉴》、《岳阳统计年鉴》、《湖南统计年鉴》、湖南省及市(县、区)水资源公报、国民经济与社会经济发展公报等,部分缺失数据通过多重替代法插补。

2.2 研究方法

2.2.1 协同理论 协同学是由德国学者哈肯所创,该理论是一种用于研究复杂系统协同作用的学说,主要作用是研究各子系统怎样通过协同作用形成有序的时空结构[25]。协同系统是由随时间变化的参量构成,其中变化慢的参量决定系统的有序变化程度,这些参量被称为序参量[23]。本文中的协同度就是指定量描述水资源与社会经济系统之间的协同程度,其协同度大小体现了系统从无序到有序的变化过程。

2.2.2 集对分析法 1989 年,赵克勤[24]首次使用集对分析研究系统的确定性与不确定性之间的关系。假设集合 A 和集合 B 具备某种联系共同构成一个系统,称集合 A 和集合 B 为一个集对,然后定义同一性、差异性和对立性的量化指标,具体计算见参考文献[3,22,24]。

设相互关联的集合 A 和 B 组成一个集对 $H(A,B)$,则集对 $H(A,B)$ 的联系度可定义为:

$$\mu_{A\sim B} = \frac{s}{n} + \frac{f}{n}i + \frac{p}{n}j \tag{1}$$

式中:s 为同一性;f 为差异性;p 为对立性;n 为特征值数量;$i \in [-1,1]$ 为不确定系数;j 一般取值 -1,代表两个集合之间的对立性。

令 $a = s/n, b = f/n, c = p/n$。公式(1)可写成:

$$\mu_{A\sim B} = a + bi + cj \tag{2}$$

则两个集合之间的同一度、差异度和对立度分别用 a、b、c 表示,满足 $a + b + c = 1$。

根据上述公式可知,联系度的取值范围介于 $[-1,1]$ 之间,当 $0 < \mu_{A\sim B} < 1$ 时,代表两个集合趋向同一,$\mu_{A\sim B}$ 与 1 越接近代表协同度越高,与 0 越接近代表协同度越低,即集合 A 和 B 趋向于差异;若 $-1 < \mu_{A\sim B} < 0$ 时,代表两个集合趋于对立,即处于不

协同状态。

因此,可以把水资源与社会经济系统看作一个集对 $H(S_1,S_2)$,用 S_1 和 S_2 分别代表水资源系统和社会经济系统。则系统 S_1 和 S_2 的协同度 C 为:

$$C \hat{=} \mu_{S_1 \sim S_2} = a + bi + cj \tag{3}$$

2.2.3　有序度　用集合 $X_1 = (x_{11},x_{12},\cdots,x_{1n})$ 表示水资源系统,$X_2 = (x_{21},x_{22},\cdots,x_{2n})$ 代表社会经济系统,则集合 X_1 和 X_2 就称为系统的序参量,$i \in [1,2]$,$n \geqslant 1$,且 $a_{ij} \leqslant x_{ij} \leqslant b_{ij}$,$a_{ij}$、$b_{ij}$ 分别为两个系统序参量的极小值和极大值,$j \in [1,n]$。若前 m 项指标 $x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{im}$ 的值愈大代表系统有序度愈高,即为效益型指标;后 $n-m$ 项指标取值越高,有序度愈低,即为成本型指标,则系统 S_i 序参量有序度[24] 为:

$$u_i(x_{ij}) = \begin{cases} (x_{ij} - a_{ij})/(b_{ij} - a_{ij}) & (j \in [1,m]) \\ (b_{ij} - x_{ij})/(b_{ij} - a_{ij}) & (j \in [m+1,n]) \end{cases} \tag{4}$$

式中:$u_i(x_{ij}) \in [0,1]$,有序度的数值越大,说明其在系统中的作用越大,采用线性加权求和的方法即可得出 X_i 对系统 S_i 的总贡献:

$$u_i(X_i) = \sum_{j=1}^{n} [w_j u_i(x_{ij})] \tag{5}$$

式中:w_j 是第 j 项指标的权重;$u_1(X_1)$、$u_2(X_2)$ 分别为 S_1 和 S_2 的有序度。

3　协同度评价模型

水资源与社会经济系统之间构成相互关联和相互作用的复杂系统,集对分析是一种能够综合反映系统不确定性以及集对内部关系结构的有效方法。在进行文献梳理的基础上,以经济区湖南省内 26 个县(市、区)为例,利用公式(3)构建水资源 - 社会经济系统协同评价模型[3,22,26],并进行实证分析,评价分析结果和提出政策建议。本研究的思路主要是针对经济区的水资源存在的问题,提出水资源与社会经济系统协同发展程度的问题,然后寻求解决协同度评价的研究方法,结合计量分析方法和实证方法探讨协同度大小的问题,最后得出结论并提出建议。

3.1　序参量的选择

根据数据可获得性和科学性的原则,序参量选择具有代表性,对量化分析起关键性作用的指标,采用主成分分析方法对初选指标进行筛选,水资源系统的序参量选择单位面积降水总量(x_{11})、人均水资源占有量(x_{12})、供水量(x_{13})、人均生活用水量(x_{14})、用水普及率(x_{15})、有效灌溉面积(x_{16})、污水年处理总量(x_{17});社会经济系统的序参量选择人均 GDP(x_{21})、工业增加值(x_{22})、第三产业占 GDP 比重(x_{23})、城镇化水平(x_{24})、人均可支配收入(x_{25})、固定资产投资(x_{26}) 和社会消费品零售额(x_{27})。

3.2　数据处理

在进行评价前,对数据进行标准化处理,用熵值法确定每个指标的权重[22,27](表 1),指标的标准差越大,其权重越大,在评价中所起的作用也越大,反之亦然,具体计算方法可参照文献[27 - 28]。

熵值法计算如公式(6) ~ (8)。

第 j 项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^{n} [p_{ij} \ln(p_{ij})] \tag{6}$$

式中:$p_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^{n} r_{ij}$,$k = 1/\ln n$。

信息熵冗余度:

$$d_j = 1 - e_j \tag{7}$$

计算权重:

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{j=1}^{m} d_j} \tag{8}$$

3.3　水资源 - 社会经济系统有序度

3.3.1　*水资源系统有序度*　将处理后的序列代入公式(4)、(5)、(8),计算得出洞庭湖生态经济区 26 个县(市、区)2006 - 2016 年水资源系统有序度 ,将数据列在表中可以清楚地体现水资源系统有序度随时间的变化趋势(表 2)。

从表 2 可以看出,经济区 26 个县(市、区)的水资源系统有序度在 11 a 的时间里波动较为明显,但总体上也表现出了上升趋势,说明水资源系统有序度处在波动增加的过程,即系统在逐步向更加协调的方向发展。

水资源系统有序度存在大幅度波动现象是由于水资源具有时空变化不均匀性和随机性的特征,从序参量的权重可以得知,对水资源有序度的波动有较大影响的因素是单位面积降水总量和人均水资源占有量的变化,且这些因素的变化具有很大的不确定性,主要原因是受降水等气候条件制约,同时区域水资源开发利用率、政府环保政策和民众的节水理念等因素也影响水资源变化。

3.3.2　*社会经济系统有序度*　使用同样的有序度计算方法,计算出经济区 26 个县(市、区)社会经济系统的有序度 ,计算结果见表 3。由表 3 很明显地可以看出,社会经济系统有序度随时间的变化情况更为显著,表现出更加明显的上升态势。

表1 水资源和社会经济系统序参量权重

县/市区	水资源系统指标							社会经济系统指标						
	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
望城区	0.2370	0.0580	0.0122	0.0939	0.5277	0.0696	0.0016	0.1255	0.1324	0.0102	0.0389	0.2839	0.3670	0.0422
岳阳楼区	0.4550	0.0193	0.0427	0.1079	0.0694	0.0360	0.2697	0.1888	0.2319	0.0278	0.0073	0.1106	0.0337	0.3999
云溪区	0.5017	0.0368	0.0003	0.1719	0.2735	0.0018	0.0139	0.4539	0.1645	0.2286	0.0211	0.1243	0.0064	0.0011
君山区	0.6417	0.1016	0.0004	0.0196	0.2257	0.0097	0.0012	0.2000	0.0238	0.0553	0.0401	0.5366	0.1381	0.0061
汨罗市	0.2989	0.0141	0.0040	0.0742	0.5866	0.0142	0.0079	0.1516	0.2036	0.0293	0.0451	0.2671	0.2678	0.0355
临湘市	0.5234	0.0859	0.0105	0.0106	0.3190	0.0463	0.0044	0.1701	0.1131	0.0300	0.0468	0.3409	0.2528	0.0463
岳阳县	0.7001	0.0320	0.0009	0.0561	0.2035	0.0057	0.0016	0.0942	0.1061	0.0216	0.0482	0.3015	0.3734	0.0551
平江县	0.2194	0.0271	0.0011	0.2230	0.5131	0.0054	0.0109	0.0481	0.0780	0.0642	0.0956	0.2467	0.3958	0.0716
湘阴县	0.8846	0.0388	0.0020	0.0177	0.0049	0.0456	0.0065	0.1067	0.1256	0.0063	0.0689	0.3388	0.3152	0.0385
华容县	0.1449	0.1185	0.1203	0.1316	0.1988	0.1690	0.1169	0.0811	0.0799	0.0237	0.0270	0.3802	0.3631	0.0450
武陵区	0.1434	0.0778	0.2070	0.1537	0.1722	0.0559	0.1900	0.2476	0.2546	0.0164	0.0052	0.2238	0.1262	0.1260
鼎城区	0.1605	0.1093	0.0915	0.1725	0.1788	0.1939	0.0935	0.0596	0.0317	0.0639	0.1526	0.2612	0.3242	0.1068
津市市	0.1540	0.1390	0.1294	0.1514	0.2287	0.0803	0.1172	0.2323	0.0335	0.0082	0.0272	0.5032	0.1614	0.0341
安乡县	0.1575	0.1130	0.1125	0.2173	0.1632	0.1328	0.1036	0.0624	0.0173	0.1449	0.0489	0.6417	0.0439	0.0408
汉寿县	0.1534	0.1239	0.0998	0.1971	0.1513	0.1794	0.0951	0.0742	0.0372	0.0403	0.0623	0.4441	0.3044	0.0376
澧县	0.1580	0.1283	0.1107	0.1704	0.1412	0.1829	0.1085	0.0751	0.0483	0.0781	0.0862	0.2874	0.3622	0.0626
临澧县	0.1773	0.1297	0.1014	0.1553	0.2113	0.1218	0.1033	0.0879	0.0190	0.0456	0.1079	0.5328	0.1826	0.0242
桃源县	0.1552	0.1902	0.0885	0.1046	0.1813	0.1960	0.0842	0.0784	0.0578	0.0578	0.0505	0.3174	0.3279	0.1103
石门县	0.1486	0.2448	0.0940	0.1939	0.1311	0.1003	0.0873	0.1227	0.0636	0.0320	0.1583	0.2285	0.3056	0.0893
资阳区	0.1659	0.1504	0.1167	0.1709	0.1808	0.0860	0.1293	0.0952	0.0305	0.0540	0.0385	0.6412	0.1131	0.0274
赫山区	0.1604	0.1125	0.1364	0.1749	0.1577	0.1110	0.1471	0.1259	0.2203	0.0753	0.0139	0.2427	0.1703	0.1516
沅江市	0.1494	0.1656	0.0977	0.1917	0.1773	0.1208	0.0975	0.0861	0.0574	0.0407	0.0318	0.4537	0.2837	0.0466
南县	0.1477	0.1228	0.0953	0.1681	0.1921	0.1678	0.1062	0.1018	0.0543	0.0360	0.0982	0.6027	0.0468	0.0603
大通湖区	0.1568	0.1983	0.0853	0.1919	0.2044	0.0788	0.0844	0.1903	0.0062	0.0606	0.0950	0.6235	0.0223	0.0021
桃江县	0.1813	0.1598	0.0959	0.1717	0.1809	0.1071	0.1034	0.0666	0.0715	0.0499	0.1103	0.3790	0.2633	0.0595
安化县	0.1896	0.1739	0.0931	0.1685	0.1895	0.0844	0.1010	0.0666	0.0674	0.0399	0.1226	0.3236	0.2731	0.1068

表2 洞庭湖生态经济区水资源系统有序度

年份	望城区	岳阳楼区	云溪区	君山区	汨罗市	临湘市	岳阳县	平江县	湘阴县	华容县	武陵区	鼎城区	津市市
2006	0.516	0.464	0.352	0.313	0.360	0.379	0.359	0.351	0.418	0.248	0.403	0.487	0.395
2007	0.290	0.401	0.418	0.379	0.196	0.366	0.368	0.292	0.236	0.239	0.398	0.480	0.335
2008	0.556	0.513	0.509	0.453	0.522	0.485	0.577	0.362	0.334	0.313	0.397	0.476	0.354
2009	0.304	0.473	0.460	0.405	0.191	0.493	0.469	0.418	0.309	0.338	0.390	0.472	0.335
2010	0.504	0.505	0.438	0.458	0.342	0.464	0.465	0.257	0.310	0.375	0.394	0.474	0.363
2011	0.602	0.340	0.326	0.337	0.503	0.430	0.399	0.289	0.167	0.322	0.427	0.454	0.357
2012	0.861	0.426	0.304	0.224	0.700	0.616	0.682	0.516	0.862	0.377	0.480	0.576	0.396
2013	0.714	0.538	0.454	0.408	0.651	0.478	0.406	0.593	0.365	0.406	0.496	0.547	0.346
2014	0.790	0.622	0.623	0.570	0.738	0.668	0.654	0.614	0.589	0.422	0.506	0.486	0.365
2015	0.761	0.675	0.690	0.704	0.758	0.856	0.872	0.694	0.622	0.452	0.427	0.494	0.343
2016	0.828	0.631	0.728	0.695	0.694	0.826	0.868	0.693	0.632	0.462	0.483	0.532	0.395

续表 2

年份	安乡县	汉寿县	澧县	临澧县	桃源县	石门县	资阳区	赫山区	沅江市	南县	大通湖区	桃江县	安化县
2006	0.379	0.384	0.276	0.397	0.473	0.416	0.283	0.316	0.283	0.266	0.320	0.258	0.303
2007	0.339	0.352	0.309	0.373	0.426	0.552	0.261	0.266	0.309	0.306	0.257	0.268	0.348
2008	0.283	0.343	0.307	0.361	0.445	0.453	0.292	0.270	0.353	0.390	0.353	0.347	0.427
2009	0.263	0.328	0.322	0.376	0.520	0.437	0.347	0.266	0.356	0.385	0.325	0.341	0.407
2010	0.248	0.352	0.328	0.342	0.517	0.452	0.378	0.359	0.442	0.465	0.422	0.397	0.503
2011	0.333	0.322	0.337	0.337	0.538	0.464	0.300	0.324	0.358	0.408	0.383	0.360	0.381
2012	0.383	0.514	0.453	0.454	0.613	0.535	0.382	0.415	0.459	0.487	0.494	0.523	0.525
2013	0.350	0.447	0.425	0.428	0.587	0.467	0.303	0.403	0.354	0.442	0.399	0.402	0.471
2014	0.352	0.497	0.465	0.420	0.608	0.438	0.430	0.424	0.400	0.457	0.395	0.459	0.514
2015	0.417	0.486	0.369	0.417	0.603	0.415	0.412	0.457	0.378	0.503	0.423	0.495	0.502
2016	0.411	0.541	0.373	0.443	0.651	0.445	0.392	0.438	0.436	0.486	0.462	0.496	0.493

表 3　洞庭湖生态经济区社会经济系统有序度

年份	望城区	岳阳楼区	云溪区	君山区	汨罗市	临湘市	岳阳县	平江县	湘阴县	华容县	武陵区	鼎城区	津市市
2006	0.111	0.115	0.197	0.089	0.060	0.065	0.061	0.063	0.061	0.063	0.161	0.067	0.059
2007	0.150	0.130	0.209	0.109	0.074	0.081	0.081	0.068	0.072	0.082	0.202	0.089	0.071
2008	0.199	0.148	0.216	0.127	0.098	0.099	0.104	0.068	0.091	0.104	0.250	0.102	0.091
2009	0.225	0.272	0.263	0.153	0.139	0.128	0.133	0.082	0.118	0.134	0.321	0.117	0.106
2010	0.289	0.308	0.290	0.180	0.167	0.146	0.160	0.085	0.142	0.162	0.381	0.150	0.128
2011	0.395	0.439	0.409	0.218	0.215	0.175	0.186	0.110	0.178	0.200	0.481	0.181	0.159
2012	0.552	0.494	0.529	0.258	0.261	0.215	0.234	0.141	0.226	0.245	0.556	0.220	0.198
2013	0.711	0.558	0.584	0.292	0.314	0.237	0.263	0.192	0.282	0.297	0.626	0.264	0.230
2014	0.706	0.622	0.584	0.332	0.359	0.272	0.289	0.216	0.332	0.347	0.694	0.310	0.263
2015	0.802	0.664	0.602	0.368	0.405	0.292	0.335	0.248	0.383	0.397	0.737	0.352	0.292
2016	0.802	0.717	0.590	0.405	0.407	0.318	0.361	0.285	0.421	0.435	0.787	0.394	0.341
年份	安乡县	汉寿县	澧县	临澧县	桃源县	石门县	资阳区	赫山区	沅江市	南县	大通湖区	桃江县	安化县
2006	0.129	0.059	0.070	0.076	0.063	0.053	0.105	0.096	0.084	0.069	0.099	0.072	0.030
2007	0.139	0.068	0.081	0.085	0.075	0.057	0.122	0.111	0.099	0.086	0.081	0.084	0.039
2008	0.153	0.085	0.095	0.107	0.082	0.070	0.147	0.133	0.119	0.106	0.111	0.101	0.045
2009	0.177	0.103	0.121	0.124	0.094	0.089	0.164	0.166	0.135	0.123	0.124	0.118	0.055
2010	0.192	0.124	0.150	0.147	0.111	0.111	0.180	0.182	0.158	0.144	0.151	0.136	0.063
2011	0.225	0.151	0.186	0.175	0.140	0.135	0.216	0.224	0.193	0.178	0.185	0.162	0.079
2012	0.269	0.193	0.234	0.215	0.175	0.162	0.261	0.266	0.236	0.213	0.223	0.194	0.096
2013	0.327	0.248	0.287	0.283	0.218	0.198	0.319	0.308	0.286	0.264	0.257	0.228	0.138
2014	0.359	0.292	0.315	0.313	0.260	0.215	0.363	0.361	0.329	0.301	0.295	0.265	0.160
2015	0.398	0.321	0.361	0.346	0.300	0.245	0.402	0.400	0.366	0.331	0.327	0.300	0.182
2016	0.407	0.353	0.383	0.375	0.333	0.274	0.440	0.439	0.400	0.366	0.362	0.329	0.201

经济区的 26 个县(市、区)社会经济系统有序度从 2006 年开始均呈现出较为一致的增长趋势,且表现稳定。分析影响社会经济系统的驱动因素可以发现,经济发展指标和社会进步指标呈现出逐年增

长的态势,说明 26 个县(市、区)的社会经济发展水平平稳,且呈现稳步增长态势。经济区在中部崛起战略具有重要的地位,又处在长江中游经济带的核心位置,同时受长株潭城市群和武汉城市圈的双重辐射带动,经济社会发展程度较高。各县(市、区)的人均 GDP、固定资产投资、可支配收入、城市化水平均稳步提升,因此,社会经济系统的有序度表现出更为有序的状态。影响社会经济系统有序度大小的主要因素集中在人均可支配收入、全社会固定资产投资和人均 GDP 等 3 个主要指标。

3.4 水资源 - 社会经济系统协同度

按照上述构建的协同度评价模型,采用公式(3)计算系统 S_1 和 S_2 之间的协同度,即 $C = \mu_{S_1 \sim S_2} = a + bi + cj$。本文将 2006 - 2016 年中每一年的水资源系统和社会经济系统的有序度看作是一个系统属性,这样 11 a 的有序度值就代表了 11 个属性。根据集对分析法的定义,求出两个系统有序度系数 a、b、c,再代入公式(3),得到系统 S_1 和 S_2 的协同度,即为水资源与社会经济系统的协同度[3,24]。首先,分别对水资源和社会经济系统有序度数列进行分级处理,为了便于计算,将每组数列均匀的分成 3 组,有序度指标值在[0,0.3333)之间的定义为一级,在[0.3333,0.6666)之间的定义为二级,在[0.6666,1]之间的定义为三级。再根据同一性、差异性和对立性的定义,求得同、异、反的个数即分别对应有序度的 s、f、p 的取值,将数值代入公式(1)即可算出水资源与社会经济系统的协同度。

将计算结果绘制成柱状图(图 1)。

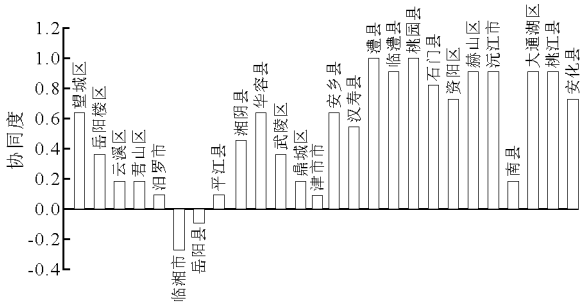

图 1 洞庭湖生态经济区水资源 - 社会经济系统协同度

从协同度计算结果图 1 中可以看出,26 个县(市、区)的水资源与社会经济系统的协同程度有明显差异,不同县市区两个系统之间的协同度有高有低。使用聚类分析对水资源与社会经济系统协同度进行划分,作出树状聚类谱系图(图 2),其中,协同度较高的区域是澧县、临澧县、桃源县、石门县、赫山区、沅江市、大通湖区和桃江县,说明这些县市区的水资源和社会经济系统处在较为协同的状态,水资源能够保障本区社会经济发展的需要,最低的是临湘市和岳阳县,其协同度为负值,水资源系统和社会经济系统处于极不协同的状态,其他的县市区处于中等协同水平。

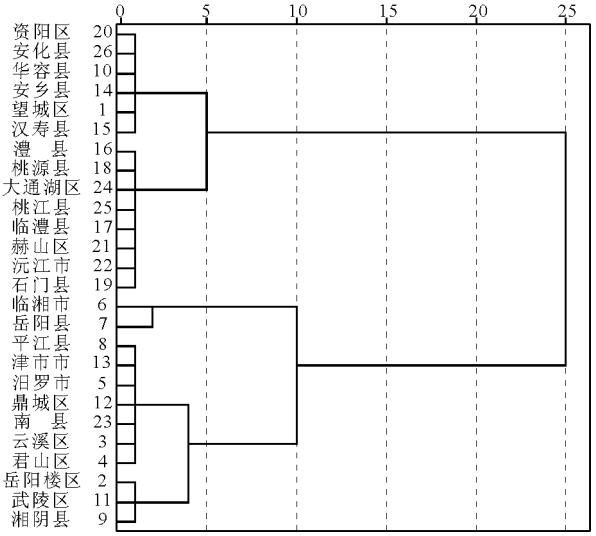

图 2 水资源 - 社会经济系统协同度聚类树状图

4 结论与建议

通过运用协同理论和集对分析方法,在分析水资源与社会经济系统协同特征的基础上,选取水资源和社会经济系统序参量,结合信息熵原理计算指标权重,构建了基于协同学原理的区域水资源与社会经济协同模型,一定程度上解决了之前的研究方法过于复杂不易操作的问题,而且可以清晰地反映水资源与社会经济两个子系统之间的差异性,为解决区域水资源与社会经济系统协同度研究提供了一种思路。

(1)对经济区 26 个县(市、区)水资源与社会经济系统的协同程度进行对比分析,从计算结果可以看出,经济区的水资源与社会经济系统的协同度指标差异明显,其中澧县、临澧县、桃源县、石门县、赫山区、沅江市、大通湖区和桃江县的水资源与社会经济系统的协同度较高,其协同度分别为 1、0.9091、1、0.8182、0.9091、0.9091、0.9091 和 0.9091,而临湘市和岳阳县的协同度较低,其协同度分别为 -0.2727和 -0.0909,处于不协同状态,其他县市区处于中等协同水平。

(2)经济区水资源与社会经济系统的协同程度存在明显差异,分析影响其协同度差异的驱动因子

可以发现,主要是由于水资源系统有序度存在显著的波动现象,而社会经济系统有序度呈稳定的上升趋势,说明水资源与社会经济复合系统的协同程度的高低是水资源系统的不稳定造成的。具体分析影响 2 个子系统有序度的因素可以看出,影响社会经济系统有序度的主要因素是人均可支配收入、人均 GDP 和固定资产投资,说明区域经济水平在稳步提升,而影响水资源系统有序度波动的主要原因是区域水资源总量和供水量指标。

(3)使用系统聚类分析方法对水资源与社会经济系统协同度进行聚类分析,作出树状聚类谱系图,可以大致将 26 个县(市、区)分为 3 类,第 1 类包括资阳区、安化县、华容县、安乡县、望城区、汉寿县、澧县、桃源县、大通湖区、桃江县、临澧县、赫山区、沅江市和石门县,为较为协同区域,协同度位于[0.5,1]之间;第 2 类包括平江县、津市市、汨罗市、鼎城区、南县、云溪区、君山区、岳阳楼区、武陵区和湘阴县,为一般协同区域,协同度位于[0,0.5)之间;第 3 类包括临湘市和岳阳县,为不协同区域,协同度为负值。

(4)从经济区的整体协同度来看,除个别县市区协同程度较高外,其他区域协同度均不高。从另一个角度同时说明,经济区的社会经济发展系统较为健康,水资源系统的保障作用还有很大的发挥空间,水资源开发利用潜力和空间较大,从 26 个县(市、区)协同度的变化情况看,经济发展超前而水资源利用和开发保障作用滞后,是造成短期内不能保持与社会经济发展同步的主要原因。

(5)协同度低的县市区说明了在经济发展过程中,水资源系统与社会经济系统之间的协同作用未达到最优状态,没有发挥局部之和大于整体功能的系统协同优势,必然会对经济社会的发展进步造成一定程度的危害,因此,为了维护经济区水资源与社会经济系统的协同发展,必须在发展经济的同时,从根本上重视水生态环境的保护和建设,协调区域水资源的供给和优化配置,倡导和树立节约和保护水资源的意识,严格控制区域用水总量,进一步提高水资源利用率,同时必须严格限制工农业废水和生活污水的排放量,加大环保投入,提高中水回用比重,公众要树立节水意识,缓解区域水资源的供需矛盾,从而实现区域经济社会与水资源系统的协调发展。

本文针对经济区水资源与社会经济系统协同发展问题进行探讨,运用协同理论和集对分析方法构建协同度评价模型,取得了一定的成果,同时也存在一些问题需要进一步研究。

(1)序参量的选择对复合系统协同度的影响较大,如何选择最优的序参量至关重要,今后需要挖掘新的研究方法优化序参量指标的选择。

(2)受篇幅限制,文中采用熵值法确定权重,没有与其他赋权法进行对比分析,不同方法的优劣对比需要深入探讨。

(3)经济区协同度评价单元划分至县级单位,为进行区域水土资源承载能力监测与预警研究做了很好的铺垫,今后应在协同度研究的基础上进一步进行经济区水土资源承载力方面的研究。

参考文献:

[1] 万 伟,陈森林,潘红中,等. 水资源生态环境与社会经济的关系研究[J]. 人民黄河,2007,29(1):53 - 55.

[2] 李同升,徐冬平. 基于 SD 模型下的流域水资源 - 社会经济系统时空协同分析——以渭河流域关中段为例[J]. 地理科学,2006,26(5):5551 - 5556.

[3] 万 晨. 安徽省水资源 - 社会经济系统的协同度研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2017.

[4] 孟庆松,韩文秀. 复合系统协调度模型研究[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),2000,33(4):444 - 446.

[5] 宋松柏,蔡焕杰. 区域水资源 - 社会经济 - 环境协调模型研究[J]. 沈阳农业大学学报,2004,35(5 - 6):501 - 503.

[6] 李德一,张树文. 黑龙江省水资源与社会经济发展协调度评价[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(4):8 - 11.

[7] 周亮广. 安徽省水资源与社会经济协调发展空间分布研究[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(4):149 - 152.

[8] 吕王勇,陈美香,王 波,等. 基于主成分的区域水资源与社会经济的协调度评价[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(1):122 - 125.

[9] 冀连华. 朝阳市水资源与社会经济发展协调度评价[J]. 水利技术监督,2018(1):56 - 58.

[10] 胡胜祥,潘争伟,周戎星. 水资源与社会经济协调发展水平分析[J]. 人民珠江,2018,39(2):79 - 81 + 89.

[11] 王春泽,崔振才,田文苓. 区域水资源与社会经济协调程度评价研究[J]. 水文,2004,24(3):25 - 29.

[12] 盖 美,李伟红. 基于可变模糊识别模型的大连市水资源与社会经济协调发展研究[J]. 资源科学,2008,30(8):1141 - 1146.

[13] 陈守煜. 多阶段多目标决策系统模糊优选理论及其应用[J]. 水利学报,1990(1):1 - 10.

[14] 宋 颖. 鄱阳湖生态经济区资源环境与社会经济发展的协调性研究[D]. 南昌:江西财经大学,2017.

[15] 郑 敏. 中部地区水资源与社会经济协调度研究[D]. 长春:吉林大学,2012.

[16] 王猛飞. 区域水资源、经济发展和生态环境协调度研究[D]. 郑州:华北水利水电大学,2016.

(下转第 34 页)

水处理中的应用[J]. 生态学杂志,2003,22(3):74 -78.
[4] 于少鹏,王海霞,万忠娟,等. 人工湿地污水处理技术及其在我国发展的现状与前景[J]. 地理科学进展,2004,23(1):22 -29.
[5] 刘 冬,张慧泽,徐梦佳. 我国人工湿地污水处理系统的现状探析及展望[J]. 环境保护,2017,45(4):25 -28.
[6] 陶 敏,贺 锋,王 敏,等. 人工湿地强化脱氮研究进展[J]. 工业水处理,2014,34(3):6 -10.
[7] 黄锦楼,陈 琴,许连煌. 人工湿地在应用中存在的问题及解决措施[J]. 环境科学,2013, 34(1):401 -408.
[8] 王建翔,金 璇. 生物接触氧化 - 人工湿地组合工艺处理集镇污水[J]. 给水排水,2013,49(S1):135 -137.
[9] 刘 婧,黎 忠,张太平,等. 生物接触氧化/人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J]. 安徽农业科学,2010,38(17):9163 -9164.
[10] 朱琼璐,楼 倩,崔理华,等. 生物接触氧化 - 复合人工湿地组合工艺对工业园区污水的处理效果研究[J]. 环境污染与防治,2012,34(1):37 -41 +55.
[11] 蒋岚岚,胡 邦,冯成军,等. 温度对膜生物反应器运行效果的影响分析[J]. 给水排水,2014,50(11):124 -127.
[12] 姜 涛,赫俊国,杨晓南,等. 温度对复合式 A/O 工艺的影响研究[J]. 给水排水,2007, 33(S1):115 -118.
[13] 胡 奇. 生物接触氧化 - 温室结构潜流人工湿地处理农村生活污水[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
[14] 谷先坤. 生物接触氧化和人工湿地组合工艺处理生活污水尾水研究[D]. 南京:南京师范大学,2011.
[15] 梁建军,陈 莽,何 强. 潜流人工湿地 - 生物接触氧化处理低温低浓度生活污水[J]. 环境工程学报,2013,7(11):4275 -4280.
[16] APHA. Standard methods for the Examination of water and wastewater[M]. Washington DC: American Public Health Association, 2007.
[17] 端正花,潘留明,陈晓欧,等. 低温下活性污泥膨胀的微生物群落结构研究[J]. 环境科学, 2016,37(3):1070 -1074.
[18] 梁建祺,宁寻安. 生物接触氧化技术在低温条件下脱氮除磷效果试验研究[J]. 环境工程, 2009,27(S1):334 -336 +37.
[19] 李志杰,孙井梅,刘宝山. 人工湿地脱氮除磷机理及其研究进展[J]. 工业水处理,2012, 32(4):1 -5.
[20] 钟成华,李 杰,邓春光. 人工湿地废水处理中氮、磷去除机理研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2008,30(4):141 -145.
[21] 徐 丽,葛大兵,谢小魁. 水力停留时间对人工湿地运行的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(31):219 -223.
[22] 张 波,高廷耀. 生物脱氮除磷工艺厌氧/缺氧环境倒置效应[J]. 给水排水,1997,13(3): 7 -10 +2.
[23] 王亚宜,彭永臻,王淑莹. 反硝化除磷理论、工艺及影响因素[J]. 给水排水,2003,19(1):33 -36.
[24] 王志勇,许振成,虢清伟,等. HRT 对悬挂链曝气式生物接触氧化工艺的影响[J]. 环境科学与技术,2009,32(5):52 -56 +61.
[25] 张 岩,李秀艳,徐亚同,等. 8 种植物床人工湿地脱氮除磷的研究[J]. 环境污染与防治,2012,34(8):49 -52.
[26] 梁奇奇,沈耀良,吴 鹏,等. 植物种类与水力负荷对人工湿地去除污染物的交互作用[J]. 环境工程学报,2016,10(6):2975 -2980.

(上接第 27 页)

[17] 温 亮,侯英姿. 山东省水资源与社会经济发展协调度评价[J]. 国土与自然资源研究,2017(6):30 -31.
[18] 杨红霞,蔡 昕. 基于 WDO - PP 模型的区域水资源系统与经济社会生态系统协调度评价[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(2):68 -75.
[19] 谢永红,张云英. 云南省区域水资源与社会经济协调发展研究[J]. 水资源保护,2015,31(3):112 -114.
[20] 邵金花,刘贤赵,李德一. 烟台水资源与社会经济可持续发展协调度分析[J]. 经济地理,2007,27(2):599 -602.
[21] 周校培,陈建明. 南京市水资源与社会经济耦合协调发展研究[J]. 水利经济,2016,34(4):26 -30 +34 +74.
[22] 万 晨,万伦来,金菊良. 安徽省水资源 - 社会经济系统协同分析[J]. 人民黄河,2016,38(9):50 -55 +67.
[23] 马向东,孙金华,胡震云. 生态环境与社会经济复合系统的协同进化[J]. 水科学进展,2009,20(4):566 -571.
[24] 赵克勤. 集对分析对不确定性的描述和处理[J]. 信息与控制,1995,24(3):162 -166.
[25] HAKEN H. Synergetics[M]. Springer, Berlin, Heidelbeng:1983.
[26] 孙 镞,刘玲基,居 娴. 天津市社会经济与水资源发展协同预警研究[J]. 水资源保护,2009,25(6):81 -84 +89.
[27] 彭 耿,刘 芳. 武陵山片区区域经济协同度的评价研究[J]. 经济地理,2014,34(10):39 -45.
[28] 胡光伟. 湖南省“3 +5”城市群土地综合承载力评价与提升对策[D]. 长沙:湖南师范大学,2010.