

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.03.007

黄河三角洲地区城市化测度与水环境系统耦合关系

徐祥功¹,任丽军¹,刘明^{1,2},王建春^{3,4}

(1. 山东大学环境科学与工程学院, 山东 济南 250100; 2. 山东省环境保护科学研究设计院, 山东 济南 250013;
3. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 4. 山东省建设项目环境评审服务中心, 山东 济南 250012)

摘要:构建了黄河三角洲地区城市化与水环境综合评价指标体系,采用熵值法、均方差法和层次分析法确定1995—2012年黄河三角洲地区城市化与水环境系统指标权重,得出系统内主要影响因素。城市化与水环境系统演变趋势对比分析表明,城市化初期对水环境状态影响较大,后期则相对较弱,反之,水环境对城市化的胁迫作用始终较小。黄河三角洲地区城市化与水环境耦合协调度计算结果表明:1995—2012年间,黄河三角洲地区城市化与水环境分别经历了中度失调的低度耦合期(1995—1998年)、失调的拮抗期(1998—2002年)、基本协调的磨合期(2002—2007年)和良好协调的高度耦合期(2007—2012年)。2007年之后,黄河三角洲城市化发展水平较高,水环境污染防治措施发挥作用明显,使水环境维持良好状态。

关键词:城市化;水环境;耦合协调度;黄河三角洲

中图分类号:X22 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2015)03-0033-07

Coupling relationship between urbanization and water environment in Yellow River Delta

XU Xianggong¹, REN Lijun¹, LIU Ming^{1,2}, WANG Jianchun^{3,4}

((1. School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China;
2. Shandong Academy of Environmental Science, Jinan 250013, China;
3. College of Environmental Science and Engineering, Ocean university of China, Qingdao 266100, China;
4. Environmental Audits Service Center for Construction Projects in Shandong Province, Jinan 250012, China))

Abstract: By building a comprehensive evaluation index system of urbanization and water environment, using entropy method, mean square error method and AHP, We calculated the weight of each indicator in urbanization system and water environment system in Yellow River Delta between 1995 and 2012, and find the key indicator in the system. By comparing the trends of urbanization and water environment system, we conclude that the impact of the urbanization on the water environment state is significant at the initial stage and weaker in the later stage. On the contrary, water environment have a little effect on the development of urbanization over the whole process. The coupling coordination degree model of the urbanization and water environment of Yellow River Delta shows that during 1995-2012, the urbanization system and water environment system were experienced moderate disordered development with the lowest coupling degree from 1995 to 1998, disordered development with conflicts from 1998 to 2002, barely balanced development with coordination from 2002 to 2007, and well balanced development with harmony from 2007 to 2012, respectively. Since 2007, the development level of the urbanization in Yellow River Delta keeps high. Water environment pollution prevention and control measures play important role in region, so making the water environment maintaining a good state.

Key words: urbanization; water environment; coupling and coordination degree; Yellow River Delta

基金项目:国家自然科学基金(41301649);山东省科技厅优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2010HZ011)
作者简介:徐祥功(1988—),男,硕士研究生,研究方向为环境管理与规划。E-mail: xsg1215686@163.com
通信作者:任丽军,副教授。E-mail: ljren@sdu.edu.cn

随着各国城市化进程的不断发展,城市化与生态环境之间的关系研究成为近年来国内外研究的热点^[1-5]。我国自改革开放以来,由于社会经济的快速发展,已成为当前世界上城市化发展最为迅速的国家之一。城市化的加速给生态环境造成了极大的压力,而生态环境的恶化又会反过来制约城市的发展。在这种情况下,研究我国城市化与生态环境之间的胁迫与约束机制,分析二者的耦合协调关系对于推进城市化进程,促进城市可持续发展至关重要^[6]。

城市化发展过程中,水资源的需求量急剧增加,废水排放,水资源短缺等水环境问题日趋突出。水环境作为生态环境的重要组成部分,是人类社会赖以生存和发展的,也是受人类干扰和破坏最严重的场所^[7]。

近年来,国内外学者广泛开展了城市化与水环境之间的关系研究。国外学者如 Hall^[8]较早地指出城市化进程中产生的水污染、洪涝灾害以及水短缺问题;Granie 等^[9]研究并得出在墨西哥尤卡坦半岛地区,其城市化发展过程与地下水污染最严重的地区具有较高的相关性;Imbe 等^[10]认为城市化发展将导致城市不透水地面的扩展,增加水资源需求量和工业和生活废水量,减少水面和绿地面积;Makoto 等^[11-12]深入探讨了亚洲地区城市化发展同地下水环境变化之间的关系问题,Srinivasan 等^[13]研究了快速发展城市中城市化与水环境脆弱性之间的关

系,Atef 等^[14]研究了约旦南部干旱时期城市化对水质恶化的影响。国内学者如陈定贵等^[15]以长春市为例研究了城市发展与水资源环境约束关系;方创琳等^[16]以甘肃河西走廊为例,分析了水资源变化与城市化过程的交互耦合效应;徐启新等^[17]以上海市为例,分析了城市化与水环境质量之间的相关性;朱鹏等^[18]基于生态学理论研究了城市化与水资源之间的相互影响关系。国内外学者从多方面、多角度开展了城市化与水环境之间的关系研究,但这些研究往往只是探究城市化过程中某些主导因子对水资源或者水质的影响,将城市化与水环境两系统之间交互胁迫、综合协调关系进行更细致的优化研究的案例相对较少。

黄河三角洲特殊的地理条件使得该地区水资源严重匮乏,加之该地区城市化进程不断加速,水资源短缺及其水环境污染问题已经严重制约了该地区的经济发展。以黄河三角洲东营市为例,构建出城市化与水环境耦合协调评价指标体系,运用熵值法、均方差法和层次分析法,从时间序列角度揭示黄河三角洲地区城市化与水环境交互耦合的主要因素及耦合协调程度。这对于从宏观上把握黄河三角洲地区城市化发展同水环境变化之间的相互关系,实现水资源可持续利用具有重要意义。东营市城市化与水环境关系见图 1。

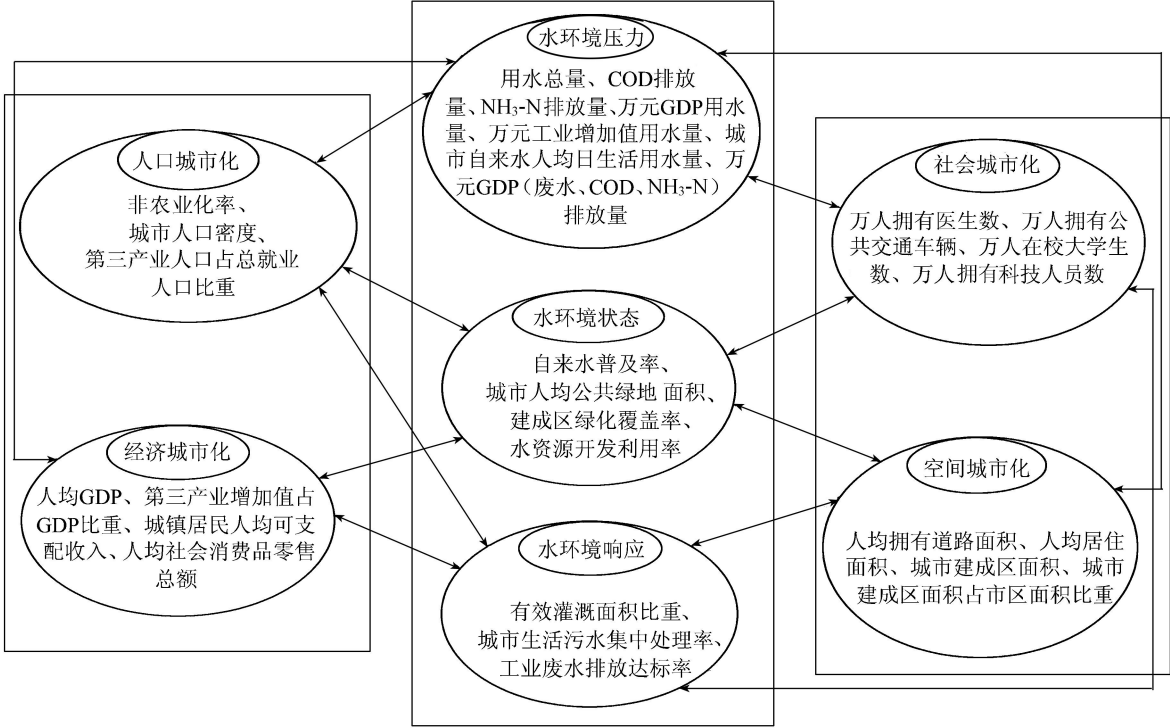


图 1 东营市城市化与水环境关系示意图

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

黄河三角洲位于渤海湾南岸和莱州湾西岸,地处东经 117°31′~119°18′、北纬 36°55′~38°16′,是由黄河泥沙淤积而成的三角洲冲积平原,是古代、近代和现代 3 个三角洲组成的联合体,主要分布于东营市和滨州市境内。

东营市是黄河三角洲的中心城市,是黄河三角洲高效生态经济区的核心区域,地处北纬 36°55′~38°10′、东经 118°07′~119°10′,总面积 7 923 km²。2012 年东营常住人口达 206.27 万人,非农比达到 43.6%,全市实现生产总值(GDP)3 000.66 亿元,居全省第 8 位,人均 GDP 达 145 395 元。黄河三角洲地区人均水资源量仅有 288 m³/a,低于山东省人均 334 m³/a 的平均水平,仅为全国平均水平的 1/7。黄河三角洲地区的主要供水来自于黄河,近些年来,随着黄河水量的持续减少,黄河取水量已经不能满足黄河三角洲地区居民生活、生产和生态需水的要求,加上水资源浪费以及水质恶化的严重性,更使得该地区水资源供需矛盾加剧,从而对该地区脆弱的生态环境构成严重威胁,并且严重制约该地区社会经济持续、健康发展。

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系建立原则与方法

一般来说,评价指标体系在建立过程中,要遵守以下 4 个原则:①独立性原则。就城市化系统与水环境系统而言,针对这两个系统所选取的每一个指标要彼此相互独立,所要表达的内容清晰,统一层次下的各项指标相互之间要尽量不存在因果关系,且不要相互重叠。建立的指标体系要简明扼要,层次分明,最终确定的指标体系要与综合评价的目的密切相关,使最终得出的结论更好地反映评价意图。②可行性原则。指标的可行性就是所筛选的指标要符合客观情况,数据来源须权威可靠并且具有可操作性,指标体系所要表达的意义明确,数据来源口径要尽量一致,搜集数据资料的过程可行。③易简不易繁,宜少不宜多原则。指标的选取关键在于其在系统中所起作用的大小。指标体系应包含为达到综合评价的要求所需要的基本指标,尽量能代表要解决问题的所有信息。按照此原则所选取的指标可以减少评价时间,使评价过程更容易进行。④代表性与差异性原则。所选取的指标要具有代表性,可以很好地反映评价对象在某一方面的特性;差异性本质上就是各指标之间相关性大小,其指标体系的确定要与客观实际情况相符合。

城市化进程是在一个在较长时期内逐渐发展起来的复杂过程,因此,城市化具有多重含义,主要包括人口增长、经济发展、空间扩张和生活提高等互相联系、互相促进的 4 个方面^[6],因此在筛选众多的城市化系统评价指标体系时,选择人口、经济、社会 and 空间 4 项指标。水环境系统也是一个复杂系统,通常包括水量、水质以及水与其他环境因素的相互作用,PSR (pressure-state-response) 框架能够清晰地表达出该复杂系统内部的相互关系^[19],可用其建立水环境系统评价指标体系。本文采用频度分析法确定黄河三角洲地区城市化系统与水环境系统主要指标,并经专家咨询法进一步优化所选指标,最终确定城市化系统的 15 评价指标和水环境系统的 17 个指标,具体见表 1。

1.2.2 数据来源及预处理

本文以东营市为研究单位,数据来源于 1996—2013 年山东省统计年鉴和 1996—2013 年东营市统计年鉴,由于所选指标原始数据量纲不同,指标间数量级存在明显差异,为消除数据间的屏蔽效应,采用极差标准化方法对数据进行无量纲处理。

对于正向指标:

$$x'_{ij} = (x_{ij} - x_{minj}) / (x_{maxj} - x_{minj}) \tag{1}$$

对于负向指标:

$$x'_{ij} = (x_{maxj} - x_{ij}) / (x_{maxj} - x_{minj}) \tag{2}$$

式中: x'_{ij} 为标准化后的指标值; x_{maxj} 、 x_{minj} 分别为历年来的 j 指标的最大值和最小值。

1.2.3 评价方法

由于城市化与水环境耦合协调性分析中各指标发挥的作用不同,因而需要确定各指标的权重。本文选用 1995—2012 年 18 年间的的历史数据,时间序列较长,可根据客观原始数据信息采用熵值法、均方差法和层次分析法分别确定各指标权重,最后取其平均值作为各指标最终权重 W_j (表 1)。

根据所得权重平均值计算各年份城市化与水环境各子系统综合指数值 $P_{ij} = W_j x'_{ij}$,而用加权求和法,计算各年份城市化系统或水环境系统综合指标值确定各年份城市化系统与水环境系统综合指标值之后,首先计算城市化与水环境综合评价指数 T :

$$T = \alpha U(x) + \beta W(y) \tag{3}$$

式中, $U(x)$ 、 $W(x)$ 分别为城市化系统与水环境系统综合评价价值,系数 α 取 0.5, β 取 0.5。

其次,计算耦合度 C :

$$C = U_k(x) W_k(x) / T_{2k} \tag{4}$$

式中, k 为调节系数,取值为 2。

最后,计算耦合协调度 D :

$$D = \sqrt{CT} \tag{5}$$

结合国内外学者对城市化与环境质量之间协调

表 1 黄河三角洲城市化与水环境综合评价指标体系

目标层	要素层	指标符号	指标层	指标类型	熵值法权重	均方差法权重	层次分析法权重	权重平均值
城市化	人口城市化	U_1	非农业化率(%)	正向	0.026 6	0.115 0	0.05 71	0.066 2
		U_2	第三产业人口占总就业人口比重(%)	正向	0.027 0	0.079 7	0.059 7	0.055 5
		U_3	城市人口密度(人/km ²)	正向	0.142 8	0.055 3	0.092 8	0.097 0
	经济城市化	U_4	人均 GDP(元)	正向	0.101 7	0.081 8	0.070 3	0.084 6
		U_5	第三产业增加值占 GDP 比重(%)	正向	0.074 5	0.054 5	0.070 4	0.066 5
		U_6	城镇居民人均可支配收入(元)	正向	0.080 6	0.068 2	0.064 0	0.070 9
		U_7	人均社会消费品零售总额(元)	正向	0.114 4	0.095 4	0.066 0	0.092 0
	社会城市化	U_8	万人拥有医生数(人)	正向	0.038 0	0.056 6	0.061 0	0.051 9
		U_9	万人拥有公共交通工具(辆)	正向	0.037 6	0.068 3	0.048 3	0.051 4
		U_{10}	万人在校大学生数(人)	正向	0.095 8	0.055 6	0.084 3	0.078 6
		U_{11}	万人拥有科技人员数(人)	正向	0.050 1	0.069 5	0.066 4	0.062 0
	空间城市化	U_{12}	人均拥有道路面积(m ²)	正向	0.025 1	0.016 7	0.052 1	0.031 3
		U_{13}	人均居住面积(m ²)	正向	0.102 4	0.083 3	0.079 7	0.088 5
		U_{14}	城市建成区面积(km ²)		0.042 0	0.050 0	0.064 1	0.052 0
		U_{15}	城市建成区面积占市区面积比重(%)	正向	0.041 4	0.050 0	0.0637	0.051 7
水环境	水环境压力	W_1	用水总量(万 t)	负向	0.069 9	0.029 2	0.062 9	0.054 0
		W_2	COD 排放量(t)	负向	0.053 0	0.046 2	0.044 1	0.047 8
		W_3	NH ₃ -N 排放量(t)	负向	0.074 7	0.046 2	0.054 2	0.058 3
		W_4	万元 GDP 用水量(m ³)	负向	0.050 1	0.029 2	0.063 1	0.047 5
		W_5	万元工业增加值用水量(m ³)	负向	0.051 1	0.029 2	0.064 2	0.048 2
		W_6	城市自来水人均日常生活用水量(L)	负向	0.096 6	0.031 6	0.067 2	0.065 1
		W_7	万元 GDP 废水排放量(t)	负向	0.042 4	0.046 2	0.058 7	0.049 1
		W_8	万元 GDP COD 排放量(kg)	负向	0.038 3	0.046 2	0.055 6	0.046 7
		W_9	万元 GDP NH ₃ -N 排放量(kg)		0.038 8	0.046 2	0.056 3	0.047 1
	水环境状态	W_{10}	自来水普及率(%)	正向	0.016 7	0.020 7	0.044 2	0.027 2
		W_{11}	城市人均公共绿地面积(m ²)	正向	0.052 5	0.036 3	0.058 9	0.049 2
		W_{12}	建成区绿化覆盖率(%)	正向	0.082 5	0.051 9	0.071 6	0.06 87
		W_{13}	人均水资源量(m ²)	正向	0.093 7	0.120 6	0.057 8	0.090 7
		W_{14}	水资源开发利用率(%)	负向	0.070 1	0.120 6	0.062 9	0.084 5
	水环境响应	W_{15}	有效灌溉面积比重(%)	正向	0.048 6	0.058 7	0.057 5	0.054 9
		W_{16}	城市生活污水集中处理率(%)	正向	0.083 6	0.093 2	0.060 3	0.079 1
		W_{17}	工业废水排放达标率(%)	正向	0.037 3	0.148 0	0.060 6	0.082 0

发展的研究成果,设定城市化与水环境耦合协调度分类级别(表 2)。

表 2 城市化与水环境耦合协调度评价等级

协调等级	耦合状态	耦合协调度
严重失调	低度耦合	(0.25]
中度失调	低度耦合	(0.25,0.45]
失调	拮抗阶段	(0.45,0.55]
协调	磨合阶段	(0.55,0.65]
基本协调	磨合阶段	(0.65,0.8]
良好协调	高度耦合	(0.8,1.0]

2 结果分析

2.1 城市化与水环境演变态势的主要因素分析

综合比较熵值法、均方差法和层次分析法的特点,最终确定使用熵值法所得权重来客观分析黄河三角洲地区城市化与水环境演变态势主要驱动因子。

根据城市化系统熵值法权重(表 1)得出,城市化系统中经济城市化对城市的影响最显著,此后依次是社会城市化、空间城市化和人口城市化。在城

市化子系统的 15 个指标中,城市人口密度($U_3=0.142\ 8$)、人均社会消费品零售总额($U_7=0.114\ 4$)、人均 GDP($U_4=0.101\ 7$)、人均居住面积($U_{13}=0.102\ 4$)、万人在校大学生数($U_{10}=0.095\ 8$)等 5 个指标在该系统所占比重为 55.71%,为该系统的主要影响因子。由此可以看出,黄河三角洲地区经济城市化的发展带动了该地区人口城市化、空间城市化及社会城市化水平的不断提高,进而也充分表现出黄河三角洲地区经济、社会、人口和对空间利用的协调发展。

黄河三角洲 1995—2012 年城市化系统综合水平整体呈上升趋势(图 2),人口、经济、社会、空间城市化水平均呈上升趋势。由于黄河三角洲地区胜利油田的存在,使得黄河三角洲地区工业较为发达,另外,2009 年 11 月 23 日,国务院正式批复《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》,使得黄河三角洲地区的发展上升为国家战略,使得黄河三角洲地区经济得到更进一步的发展,从而促使黄河三角洲地区人口、经济、社会、空间城市化的快速发展。在黄河三角洲地区城市化进程中,城市化系统评价中起主

导作用的因素为城市人口密度、人均社会消费品零售总额、人均 GDP、人均居住面积、万人在校大学生数等 5 个指标,它们可为科学制定城市化发展策略提供依据。

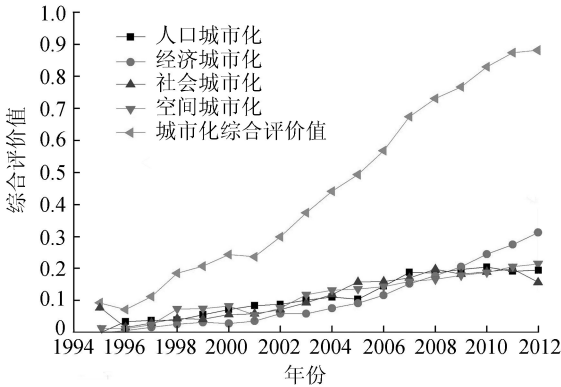


图2 1995—2012 年黄河三角洲城市化系统综合水平变化趋势

根据水环境系统中的熵值法权重可以看出(表 1),水环境压力指标对系统的影响最为显著,其次为状态、响应指标。在该系统 17 个指标中,城市自来人均日生活用水量($W_6=0.0966$)、人均水资源量($W_{13}=0.0937$)、城市生活污水集中处理率($W_{16}=0.0836$)、建成区绿化覆盖率($W_{12}=0.0825$)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量($W_3=0.0747$)、水资源开发利用效率($W_{14}=0.0701$)等 6 个指标占该系统比重的 50.12%,为该系统的主要影响因子。1995—2012 年期间,随着城市化的不断发展,黄河三角洲地区用水量呈逐年递增趋势,工业废水和生活污水产生量巨大,排放大量 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 污染物,随着环保投入的不断增加,污水处理设施逐年改进,工业废水排放达标率自 2008 年起达到 100%,2012 年,该地区城市生活污水集中处理率达到 93.69%;另外,由于黄河三角洲地区是国家重点湿地保护地区,国家注重对黄河三角洲地区的生态保护,因此使得黄河三角洲地区工业污染源得到有效控制,工业废水中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度呈递减趋势。1995—2000 年期间,黄河三角洲地区水资源开发利用效率变化范围在 41.5%~48.7%,高于国际上公认的 40%,不利于水资源的可持续利用,但是 2000 年之后,该地区水资源利用率均低于 40%,对水资源的利用与保护起到关键作用;建成区绿化程度的大小能够充分反映该地区对环境保护的重视程度,从而对水环境产生积极影响;人均水资源量可以衡量该地区水资源丰富程度。在黄河三角洲地区水环境保护过程中,依据水环境系统中的各项指标,科学制定水污染控制措施,减少水环境压力子系统的影响,将有利于水环境质量的改善,利于水环境系统综合水平的提高。

黄河三角洲 1995—2012 年水环境系统综合水平整体呈上升趋势(图 3),其中水环境压力上升趋势最为明显,在 1995—2012 年期间,由 0.0345 上升到 0.4370;水环境状态自 2003 年后增幅趋于平缓;水环境响应子系统综合值在 2001 年之前呈缓慢上升趋势,由于 2002 年、2003 年城市污水集中处理率的突然下降导致水环境状态自 2001—2003 年呈短暂下降趋势,之后呈平稳上升状态。

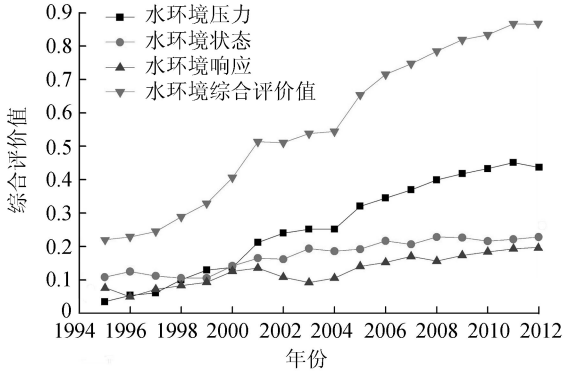


图3 1995—2012 年黄河三角洲水环境系统综合水平变化趋势

由图 2、图 3 对比分析可以看出,1995—1998 年间,黄河三角洲地区城市化处于起步阶段,城市化水平较低,对水体影响较大,使得水环境质量处于一般状态;1998—2001 年间,城市化发展速度加快,此时,由于环保投入的相应增加,使得水环境污染得到有效控制,水质较以前有所改善;2001—2007 年间,城市化发展速度大幅增加,水环境质量也得到大幅度提升,整体质量水平较好;2007—2012 年间,城市化增幅变得较为缓慢,水环境质量较好。以上结果表明,黄河三角洲地区城市化对水环境的胁迫作用在城市化发展初期较为显著,后期胁迫性较小,而水环境对城市化发展也有一定的胁迫作用,但这种胁迫作用在城市化发展过程中相对较小。

2.2 黄河三角洲城市化与水环境耦合协调态势分析

通过对黄河三角洲 1995—2012 年间的城市化与水环境耦合关系及协调程度的定量评价,得到表 3。为了更为清楚地反映黄河三角洲城市化与水环境在时间序列上的耦合演化态势,根据表 3 绘制出二者间耦合协调度的演化曲线(图 4)。

由图 4 可以看出,1995—2012 年间,黄河三角洲城市化与水环境的耦合协调度呈直线增加趋势;1995—1998 年二者耦合协调度较差;1998—2000 年二者耦合协调度成直线增加趋势;2000—2002 年二者耦合出现较大波动;2002—2007 年二者耦合协调度持续增加;2007—2012 年二者耦合协调度出现平缓上升趋势。因此,结合表 2 城市化与水环境耦合

表 3 1995—2012 年黄河三角洲城市化与
水环境耦合协调度

年份	城市化 综合指标	水环境 综合指标	综合 指数	耦合度	耦合 协调度
1995	0.093 6	0.220 2	0.156 9	0.701 0	0.331 6
1996	0.073 1	0.228 9	0.151 0	0.538 5	0.285 1
1997	0.113 6	0.245 4	0.179 5	0.748 7	0.366 6
1998	0.186 5	0.289 0	0.237 8	0.909 2	0.464 9
1999	0.208 4	0.329 0	0.268 7	0.901 9	0.492 3
2000	0.244 3	0.406 3	0.325 3	0.879 8	0.535 0
2001	0.237 6	0.513 1	0.375 4	0.748 7	0.530 1
2002	0.300 0	0.510 7	0.405 4	0.869 4	0.593 6
2003	0.375 1	0.538 1	0.456 6	0.937 3	0.654 2
2004	0.441 8	0.543 8	0.492 8	0.978 7	0.694 5
2005	0.494 1	0.653 6	0.573 8	0.961 7	0.742 9
2006	0.568 6	0.714 6	0.641 6	0.974 3	0.790 7
2007	0.674 9	0.746 9	0.710 9	0.994 9	0.841 0
2008	0.731 2	0.784 2	0.757 7	0.997 6	0.869 4
2009	0.767 1	0.818 4	0.792 7	0.997 9	0.889 4
2010	0.830 1	0.83 3	0.831 6	1	0.911 9
2011	0.873 9	0.866 3	0.870 1	1	0.932 8
2012	0.882 3	0.864 6	0.873 5	0.999 8	0.934 5

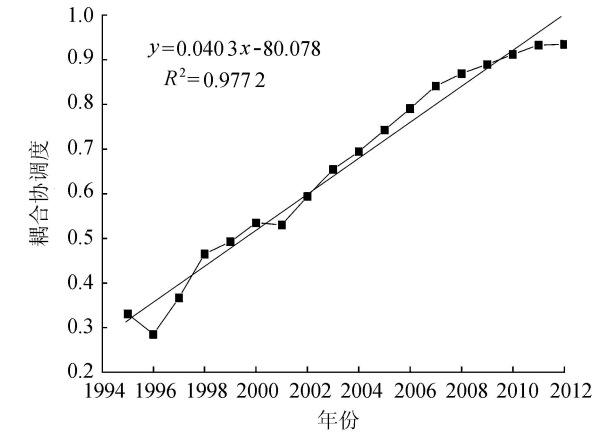


图 4 1995—2012 年黄河三角洲城市化与
水环境耦合协调度演化

协调度评价等级,将黄河三角洲城市化与水环境的耦合协调态势分为 4 个阶段:①1995—1998 年黄河三角洲城市化与水环境处于低度耦合状态,二者中度失调,城市化水平较低,处于城市化发展的初步增速期,水环境质量下降,但在可恢复范围之内;②1998—2002 年黄河三角洲城市化与水环境发展处于拮抗时期,二者发展处于失调状态,城市化发展进入增速发展期,该阶段水资源需求量、消耗量较大,污染物排放量大,水环境质量受城市化发展影响表现明显,但仍处在可恢复范围内;③2002—2007 年城市化与水环境的发展处于磨合时期,二者间的发展基本协调,城市化进入快速发展期,通过前期加大环保投资力度,加强对水环境的污染控制,水环境质量明显好转;④2007—2012 年城市化与水环境步入了高度耦合阶段,在该阶段,二者间的发展协调良

好,城市化水平较高,水环境质量优良,城市化发展与水环境保护共同步入良性阶段。

3 结 语

通过城市化与水环境演变态势的主要因素分析,得出以下结论:经济城市化对城市化系统的影响最为显著,其次为社会城市化、空间城市化和人口城市化;城市化系统中起主导作用的因素主要为城市人口密度、人均社会消费品零售总额、人均 GDP、人均居住面积、万人在校大学生数等 5 个指标。水环境系统中压力指标对系统的影响最为显著,其次为状态、响应指标;水环境系统中起主导作用的因素主要为城市自来水人均日生活用水量、人均水资源量、城市生活污水集中处理率、建成区绿化覆盖率、NH₃-N 排放量、水资源开发利用效率等 6 个指标。根据识别出的主要因素,可为科学制定城市化发展策略和水环境保护措施提供依据。

通过城市化与水环境耦合协调态势分析可知,1995—2012 年间黄河三角洲城市化水平不断提高,水环境由良好状态经短暂下降之后基本呈上升趋势,期间有波动幅度较小,水环境与城市化之间相互影响。2007 年之后,黄河三角洲处于城市化与水环境高度耦合的良好协调阶段,城市水环境污染控制措施发挥作用明显,维持了良好的水环境质量状态。

综合来看,黄河三角洲城市化发展初期对水环境胁迫作用比较明显,水环境质量明显下降之后反过来抑制城市的发展,在城市发展规划中,水污染防治措施的制定与实施成为重点发展对象,政府、企业、群众从多角度加强对水环境的保护,从而使水环境对城市化的约束作用逐渐减弱,城市化水平不断提高。另外,在城市化与水环境高度耦合阶段,应进一步提高水环境安全预警能力,预防水危机爆发,从而更好地促进城市化与水环境之间的协调发展。

参考文献:

[1] LIU Yuebin, LI Rendong, SONG Xuefeng. Analysis of coupling degrees of urbanization and ecological environment in China [J]. Journal of Natural Resources, 2005,20(1):14-20.

[2] DUH J D, SHANDAS V, CHANG H, et al. Rates of urbanisation and the resiliency of air and water quality [J]. Science of the Total Environment, 2008, 400: 238-256.

[3] ALBERTI M, MARZLUFF J M. Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions[J]. Urban Ecosystems, 2004, 7(3): 241-265.

[4] 张理茜,蔡建明,王妍. 城市化与生态环境响应研究综

- 述[J]. 生态环境学报, 2010 (1): 250-258. (ZHANG Liqian, CAI Jianming, WANG Yan. Advance in study on urbanization and urban eco-environment[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010 (1): 250-258. (in Chinese))
- [5] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报, 2005 (2): 63-73. (LIU Yaobin, LI Rendong, SONG Xuefeng. Grey associative analysis of regional urbanization and eco-environment coupling in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005 (2): 63-73. (in Chinese))
- [6] 陈彤, 任丽军. 山东省城市化与水环境耦合协调模式分析[J]. 人民黄河, 2013 (6): 75-79. (CHEN Tong, REN Lijun. Analysis of the coupling and coordination model between urbanization and water environment in Shandong Province[J]. Yellow River, 2013 (6): 75-79. (in Chinese))
- [7] 张胜利, 肖宏武, 刘永宏. 生态环境与水环境关系辨析[J]. 人民黄河, 2009 (8): 5-6. (ZHANG Shengli, XIAO Hongwu, LIU Yonghong. Relationship of the ecological environment and water environment[J]. Yellow River, 2009 (8): 5-6. (in Chinese))
- [8] HALL M J. Urban hydrology [M]. London: Elsevier Applied Science Publishers, Ltd., 1984.
- [9] GRANIEL C E, MORRIS L B, CARRILLO-RIVERA J J. Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico [J]. Environmental Geology, 1999, 37(4): 303-312.
- [10] IMBE M, OHTA T, TAKANO N. Quantitative assessment of improvements in hydrological water cycle in urbanized river basin[J]. Water Science and Technology, 1997, 36 (8): 219-222.
- [11] MAKOTO TANIGUCHI, WILLIAM C B, GAY D N. Integrated research on subsurface environments in Asian urban areas[J]. Science of the Total Environment, 2008, 404: 377-392.
- [12] YOSHIKOSHI A, ADACHI I, TANIGUCHI T, et al. Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407: 3105-3111.
- [13] SRINIVASAN V, SETO K C, EMERSON R, et al. The impact of urbanization on water vulnerability: a coupled human-environment system approach for Chennai, India [J]. Global Environmental Change, 2012, 23: 229-239.
- [14] ATEF A K, RAKAD T. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at south[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(4): 619-630.
- [15] 陈定贵, 吕宪国, 王艳平. 长春市城市发展与水资源环境约束关系研究[J]. 东北师范大学学报: 自然科学版, 2008 (2): 136-141. (CHEN Dinggui, LÜ Xianguo, WANG Yanping. Study on constraint of urbanization of Changchun City from urban water resources and environments[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2008 (2): 136-141. (in Chinese))
- [16] 方创琳, 孙心亮. 河西走廊水资源变化与城市化过程的耦合效应分析[J]. 资源科学, 2005 (2): 1-8. (FANG Chuanglin, SUN Xinliang. Coupling effects between water resources change and urbanization process in Hexi Corridor of Northwest China[J]. Resources Science, 2005 (2): 1-8. (in Chinese))
- [17] 徐启新, 杨凯, 许世远. 上海高速城市化进程对水环境的影响及对策探讨[J]. 世界地理研究, 2003 (1): 55-60. (XU Qihang, YANG Kai, XU Shiyuan. Study on water environment effects and counter measures for high-speed urbanization process in Shanghai [J]. World Regional Studies, 2003 (1): 55-60. (in Chinese))
- [18] 朱鹏, 张雷. 城市化与水资源相互关系研究述评[J]. 城市问题, 2008 (11): 28-32. (ZHU Peng, ZHANG Lei. Review the relationship between urbanization and water resources research[J]. Urban Problems, 2008 (11): 28-32. (in Chinese))
- [19] 曾畅云, 李贵宝, 傅桦. 水环境安全及其指标体系研究: 以北京市为例[J]. 南水北调与水利科技, 2004 (4): 38-42. (ZENG Changyun, LI Guibao, FU Hua. Study on water environment security and its evaluation index system: a case study of Beijing[J]. South-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004 (4): 38-42. (in Chinese))

(收稿日期: 2014-05-21 编辑: 高渭文)

· 简讯 ·

中国农业水土资源保护与自然农法国际论坛 将于 2015 年 7 月 24—27 日举办

为深入研究和探讨农业水利、自然农法、生态农业、农业节水、水土环境保护以及水土资源可持续利用领域的学术问题, 加强该领域学者的国际国内交流与合作, 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室联合日本自然农法国际研究开发中心和上海大学, 拟定于 2015 年 7 月 24—27 日在南京/上海举办中国农业水土资源保护与自然农法国际论坛。会议主要议题包括: ①有机农业、自然农法研究与实践; ②有效微生物技术(EM)在水土环境修复以及盐碱地改良中的应用; ③劣质水的灌溉模式和高效安全利用; ④农业生物环境工程及农业废弃物循环利用; ⑤节水灌溉技术和控制排水技术的生态环境效应; ⑥农作物水肥微生物协作效应与耦合机制; ⑦农业水利、生态水利和农业面源污染防治; ⑧土壤连作障碍及其修复技术与模式; ⑨农业水土保持理论与技术; ⑩智能化灌溉理论与技术。

(本刊编辑部供稿)