

Assessment of Water Ecosystem Service Value and Industrial Impacts in Qihe, Shandong Province

Yun Yun, Lei Shi

State Environmental Protection Key Laboratory on Eco-Industry, School of Environment, Tsinghua University, Beijing

Email: kathycui666@163.com, slone@tsinghua.edu.cn

Received: Jun. 23rd, 2015; accepted: Jul. 11th, 2015; published: Jul. 14th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the United Nations Millennium ecosystem assessment framework, this paper established a water ecosystem service evaluation system. According to the framework, we carried out the calculation and analysis of water ecosystem service value in Qihe, Shandong Province in 2012. The results showed that the total economic value of water ecosystem service of Qihe was 3.913 billion RMB. From the perspective of value, the highest two kinds of ecosystem services were regulating services, 2.641 billion RMB and cultural services, 0.967 billion RMB, accounting for 67.50% and 24.71% of total economic value. And the values of provision service and supporting service were 0.273 billion and 32 million. In terms of individual ecosystem service value, the top three ecosystem services were climate regulation, recreation & eco-tourism and surface water regulation & storage, the values of which were 2.05 billion, 0.967 billion and 0.578 billion. Industrial activities have impact on ecosystem by influencing water quantity, water quality and water functions. Among different impact factors, water consumption, wastewater discharge and treatment have a direct impact on water ecosystem service values, while industrial land use, raw materials & energy consumption and waste emission are indirect factors, which will cause impairment of ecosystem services.

Keywords

Ecosystem Services, Water Ecosystem Services, Industrial Activities, Qihe

水生态系统服务价值评估及工业活动影响 ——山东省齐河县案例

云 昀, 石 磊

清华大学环境学院国家环境保护生态工业重点实验室, 北京

Email: kathycui666@163.com, slone@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2015年6月23日; 录用日期: 2015年7月11日; 发布日期: 2015年7月14日

摘 要

本文基于生态系统评估框架建立了针对区域复合生态系统的水生态系统服务价值评价指标体系, 并对2012年山东省齐河县水生态系统服务价值进行了核算。结果显示, 2012年齐河县的水生态服务价值总计为39.13亿元。其中, 调节服务和文化服务的价值较高, 分别为26.41亿元和9.67亿元, 占总价值量的67.50%和24.71%, 其次为供给服务、支持服务, 分别为2.73亿元和0.32亿元。从单项水生态服务价值来看, 气候调节、娱乐和生态旅游及地表水调蓄的服务价值排在前三位, 分别为20.5亿元, 9.67亿元和5.78亿元。工业活动会通过影响水生态系统的水量、水质和水功能而对系统服务造成影响, 其中工业取水用水、废水排放和废水处理过程会直接造成水资源消耗和水污染从而影响水生态系统服务价值, 而工业用地、原料能源消耗及废物排放等过程会间接损害水生态系统健康, 使生态系统服务减值。

关键词

生态系统服务, 水生态系统服务, 工业活动, 齐河县

1. 引言

水作为生态系统不可或缺的生态要素, 不仅对于维持自然生态系统的结构与功能起到基础性作用, 而且也对社会经济系统的可持续发展发挥着关键作用。随着经济社会的快速发展, 一方面, 人类不合理的开发利用已经对水生态系统的健康带来了严重的威胁; 另一方面, 人们对于水生态系统服务的需求却越来越大。因此, 有关水生态系统功能与服务的研究越来越受到国内外的重视, 已经成为生态学研究热点之一。

目前, 大多数水生态系统服务研究主要针对于某一特定的水生态系统, 例如湿地生态系统、河流生态系统和湖泊生态系统等, 然而将区域人工复合生态系统作为整体进行水生态系统服务的综合评价在国内则不多见。事实上, 针对特定区域内水生态系统服务的总体价值评估和影响分析研究对于水资源的科学利用、水生态系统的保护、环境与生态保护政策制定等工作具有重要意义。

本文以山东省齐河县为案例进行区域尺度上与人类生活、工业生产关系密切的水生态系统服务的识别和测算, 利用价值量化的方法表征水生态系统为区域发展提供的经济价值, 并在此基础上初步探究区域工业活动对水生态服务的影响关系。

2. 研究进展

2.1. 水生态系统服务内涵界定

生态系统服务概念于 20 世纪 60 年代提出[1] [2]。联合国千年评估报告(2005) [3]将其定义为人类从生态系统所获取的效益,同时根据评价与管理的需要,将生态系统服务分为四大类:供给服务、调节服务、文化服务和支持服务。生态系统服务评价作为联合国千年生态系统评估的主要内容之一,在全球生态系统管理和可持续发展生态学研究处于十分重要的地位,是认识生态系统与人类相互作用的基础[3] [4]。

水的生态服务功能可以界定为水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用[5] [6]。主要研究领域包括[7] [8] 1) 水生态系统服务的内涵界定与分类; 2) 水生态系统服务的评估框架与测算方法; 3) 水生态系统服务影响因素与驱动机制研究; 4) 基于水生态服务评估的政策管理启示研究等。

目前水生态系统服务研究主要针对特定水生态系统,包括湿地、河流、湖泊等。例如,Woodward [9]对湿地生态系统服务进行了归类、价值评价方法的总结,国内学者王伟等[10] (2005)、韩美等[11] (2009)、张黎娜等[12] (2014)则分别对温州三垟湿地、黄河三角洲湿地和黄淮海湿地进行了价值评估研究。张振明等[13]、熊雁晖[14]和贾军梅等[15]分别对永定河(北京段)、海河流域以及太湖的生态系统服务价值进行了货币化评估和结果分析。

相比之下,将区域人工复合生态系统作为总体进行水生态系统服务的识别和评估研究则相对较少。1999 年 Wilson 和 Carpenter [16]对 1971~1997 二十多年间美国淡水生态系统的服务价值评估进行了总结和回顾,其中更多涉及了河流生态系统的娱乐文化服务功能。近年来,国内学者也在该领域进行了探索和研究。2003 年,侯小阁和尚金城[17]对长春市的五项水生态系统服务进行估算,并与 1990 年的结果进行比较,发现长春的水生环境已经受到很大程度的损害。刘蕾等[18]对三工河流域的水生态服务变化驱动因子进行了识别,得出结论是水生态服务变化主要来源于自然影响和人工影响,其中人类活动导致的土地利用变化是人工影响中的最重要因素。李芬等[19]则采用水当量的方法,计算了 1998~2007 年间北京地区人类活动对于水生态服务功能的占用当量。

2.2. 评估框架与测算方法

1997 年, Costanza 等[20]提出将全球生物圈分为 16 类生态系统,并定义了 17 种生态系统服务功能类型。2005 年千年生态系统评估报告提出生态系统服务定义,并给出供给服务、调节服务、文化服务和支持服务的评估框架。其后,国内外学者也先后提出了不同的分类方法。例如,Paul L 等[21]提出了基于最终服务的河流生态系统服务指标分类方法。欧阳志云等[22]在千年评估报告的基础上提出了生态服务的直接价值和间接价值指标。

从方法上来看,生态服务评价可以从以生态学为基础的物质数量角度出发,也可以结合经济学对服务进行价值量的评价[23]。但由于物质质量评价结果相对缺乏统一性和可比性,故而目前的研究中广泛采纳的是价值化方法,包括影子工程法、替代工程法、机会成本法,此外还有构建生态经济模型等等[7]。表 1 总结了水生态系统服务主要指标及其常用测算方法。

2.3. 人类活动对生态系统服务影响研究进展

在生态系统服务价值评估的基础上,学者们开始逐渐关注生态系统服务的影响因素研究,尤其是人类活动对于生态系统服务的影响分析。2003 年,郑华等[28]分析了人类活动对生态系统服务的影响方式、结果及变化趋势。张彩霞等[29]计算了纸坊沟流域不同年间的生态服务价值,并对比人类活动变化给出了影响分析。目前针对人类活动对生态系统服务的影响主要着重在几个领域[30]: 1) 土地变化影响。如再

圣宏等[31]核算了 1996~2004 年间我国不同省市内土地利用变化引起的生态服务价值的变化；李文楷等[32]对不同年份深圳市生态服务价值进行估算，从而探讨不同土地利用对于生态服务的影响。2) 工程建设及产业活动。例如，杜国明等[33]、李明明等[34]、张微等[35]分别探讨了农业开发、煤炭开采、旅游开发对于生态系统服务价值的影响。肖建红等[36]从生态服务价值损失角度预评估了三峡工程对于河流的生态服务影响。3) 规划与政策。例如，冉圣宏等[37]以安塞县为例，分析了生态退耕对于该县土地利用及生态服务的影响。总体来看，针对人类活动(尤其是工业活动)对于生态系统服务的影响研究还存在很大不足。

3. 研究区域与研究方法

3.1. 区域概述

齐河县位于山东省德州市的南部，与省会济南仅有黄河之隔。齐河县境内主要河流分属黄河和徒骇河两大水系，其中黄河由齐河县南边境自西南向东北流过，通过引黄灌渠与区内相通，不接纳境内排水，县内长度 62.38 km。徒骇河流域在该县境内主要支流有老赵牛河、新赵牛河、齐济河、六六河等，潘庄引黄总干由南至北贯穿齐河县西部。

齐河县总面积 1411 平方公里，总人口 78 万人，户籍人口 63 万。2013 年全县创造 GDP 360 亿元，在山东省 137 个县、县市、区中排名 43 位，同比增长 24%，三次产业结构调整为 7.5:54:38.5。2013 年规模以上工业实现增加值 168 亿元，同比增长 23%。齐河县的工业类型主要包括冶金装备制造、煤化工、食品医药、文化旅游、现代物流和高端服务业等。

虽然近年来齐河县境内水资源状况持续得以改善，但仍是海河流域污染较严重的部分。尤其是以晏黄沟、柳官干沟、老倪伦河县城段、赵牛河部分支流污染最为严重，其水质基本均劣于 V 类标准。长期工业及居民的废水排放和生态破坏使齐河县境内流域水生生态系统脆弱，自然修复功能差，主要污染物为化学需氧量、氨氮等。

3.2. 评价框架与指标体系

遵循联合国千年生态系统评估报告中对生态系统服务的分类方法，参考表 1 所示的常用水生态服务指标，从区域发展的视角，并根据与人类生活、工业生产关系密切程度综合考量，选取主要项目共 4 大类 10 项价值指标如图 1 所示。

3.3. 测算方法

3.3.1. 供给服务

淡水供应：为居民生活、工业生产等提供淡水资源。

$$V_{\text{淡水供应}} = P_{\text{生}} \cdot Q_{\text{生}} + P_{\text{工}} \cdot Q_{\text{工}} \quad (1)$$

其中， $P_{\text{生}}$ 为居民生活用水水价， $Q_{\text{生}}$ 为居民生活用水量； $P_{\text{工}}$ 为工业用水水价， $Q_{\text{工}}$ 为工业用水量。

渔业产品：水生态系统提供的淡水产品，包括一些鱼类、贝类等。

$$V_{\text{渔业产品}} = \sum P_i \cdot Q_i \quad (2)$$

其中， P_i 为某类渔业产品市场价格， Q_i 为某类渔业产品产量。

3.3.2. 调节服务

地表水调蓄：地表水调蓄是水生态系统通过水循环过程提供给人类的一项服务。

Table 1. Water ecosystem service assessment index and methods [5]-[27]

表 1. 水生态服务评价指标及方法[5]-[27]

指标类型	评价指标	评价方法
供给服务	淡水资源	市场价值法
	水力发电	市场价值法、影子价格法
	内陆航运	市场价值法、影子价格法
调节服务	水产品生产	市场价值法
	水文调节	替代工程法
	侵蚀控制	机会成本法、市场价值法、恢复费用法
	水质净化	替代工程法
文化服务	空气净化	替代工程法、防治成本法
	气候调节	碳税法、造林成本法
	教育价值	意愿支付法、替代成本法、成果参照法
	美学价值	意愿支付法
支持服务	文化遗产价值	意愿支付法
	娱乐和生态旅游价值	旅行费用法、直接市场法
支持服务	固碳释氧	功能成本法、市场价值法
	初级生产力	影子价格法、市场定价法
	生物多样性	支付意愿法、市场定价法

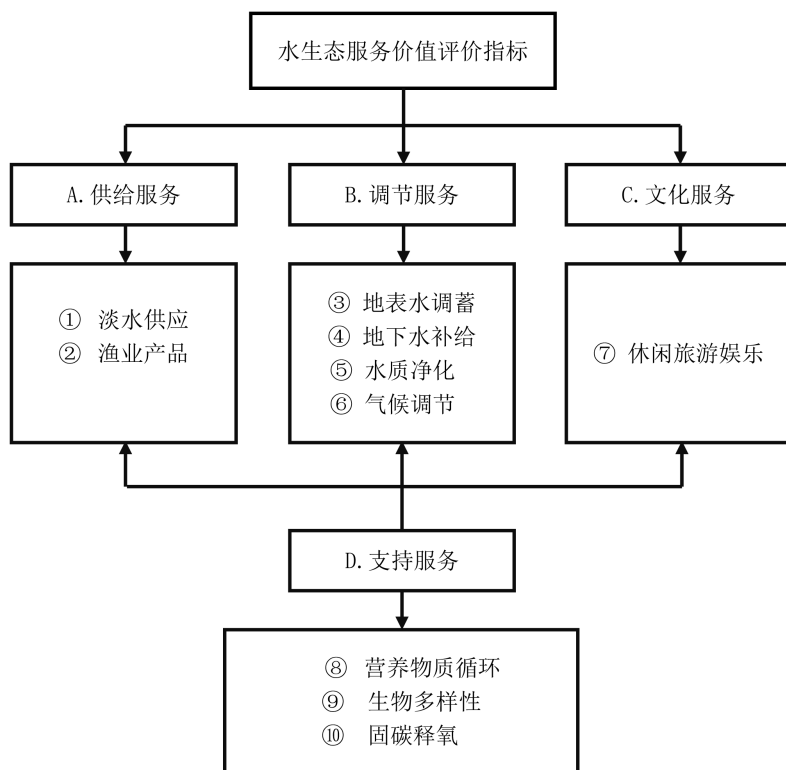


Figure 1. Water ecosystem service value assessment index system

图 1. 水生态服务价值评价指标体系

$$V_{\text{地表水调蓄}} = P_{\text{水库}} \cdot Q_{\text{水资源量}} \quad (3)$$

这里采用替代工程法。其中， $P_{\text{水库}}$ 水库为单位库容水库造价， $Q_{\text{水资源量}}$ 为地表水资源总量。

地下水补给：当地表水体水位高于两岸地下水位时，地表水体便会渗漏补给地下水。

$$V_{\text{地下水补给}} = P_{\text{水价}} \cdot Q_{\text{地下水补给量}} \quad (4)$$

其中, $Q_{\text{地下水补给量}}$ 为地表水平均渗漏补给地下水量, $P_{\text{水价}}$ 采取区域综合水价。

水质净化: 生态系统既可能是淡水中杂质的来源之一, 也能够过滤和分解进入内陆水体、海岸和近海生态系统的有机废物。

$$V_{\text{水质净化}} = P_N \cdot Q_N + P_P \cdot Q_P \quad (5)$$

其中, P_N 为氮处理成本, P_P 为磷处理成本, Q_N 为水生态系统对氮的消除量, Q_P 为水生态系统对磷的消除量。

气候调节: 一是通过蒸腾吸热降低温度, 具有缓解城市热岛效应作用。二是水生植物可以进行光合作用, 可以实现固碳释氧, 缓解温室效应。这里主要考虑降低温度的作用, 忽略固碳释氧作用。

$$V_{\text{气候调节}} = P_{\text{电}} \cdot Q_{\text{吸热}} / \alpha + \beta P_{\text{电}} Q_{\text{水蒸发}} \quad (6)$$

其中, α 为空调能效比, β 为 1 m^3 水蒸发耗电量, $P_{\text{电}}$ 为电价, $Q_{\text{水蒸发}}$ 为水面蒸发水量, $Q_{\text{吸热}}$ 为水蒸发吸热。

3.3.3. 文化服务

娱乐和生态旅游: 人们经常选择那些以自然或农业景观为特征的地方度过他们的休闲时光。

$$V_{\text{娱乐与生态旅游}} = V_{\text{旅游}} + V_{\text{其他}} \quad (7)$$

其中, $V_{\text{旅游}}$ 为水生态系统创造的旅游服务的价值, $V_{\text{其他}}$ 为水生态系统提供的其他休闲娱乐价值。

3.3.4. 支持服务

营养物质循环: 这里主要考虑水生态系统中营养元素 N、P 和 K 的循环。

$$V_{\text{营养物质循环}} = P_N \cdot Q_N / \alpha + P_P \cdot Q_P / \beta + P_K \cdot Q_K / \gamma \quad (8)$$

其中, P_N 为尿素价格, P_P 为过磷酸钙价格, P_K 为氯化钾价格, Q_N , Q_P , Q_K 分别为参与循环的 N、P、K 价格。 α , β , γ 分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾中 N、P 和 K 元素的含量。

生物多样性(栖息地): 为物种繁衍进化提供场所, 生态系统的多样性是文化多样性的影响因素之一。

$$V_{\text{生物多样性}} = P_{\text{单位面积}} \cdot S_{\text{生态系统}} \quad (9)$$

其中, $P_{\text{单位面积}}$ 为单位面积水生态系统的年生态效益, $S_{\text{生态系统}}$ 为区域内水生态系统的面积。

固碳释氧: 水生态系统中绿色植物具有固碳释氧的功能。

$$V_{\text{固碳释氧}} = P_C \cdot Q_C + P_O \cdot Q_O \quad (10)$$

其中, P_C 为 CO_2 造林成本价或碳税, Q_C 为水生态系统植物年固定 CO_2 的量, P_O 为工业制氧影子价格, Q_O 为水生态系统植物年释放 O_2 的量。

4. 齐河县水生态系统服务价值核算结果

4.1. 供给服务

4.1.1. 淡水供应

据《2012 年齐河县水资源公报》的数据, 得到 2012 年该县生活、工业、农业及其他行业的用水量分别为 1639 万立方米, 1847 万立方米, 25,310 万立方米(包括农田灌溉用水和林牧渔畜用水), 184 万立方米。其中居民用水完全取自于地下水; 工业用水中 69.3% 水量取自于地下水; 农业用水中农田灌溉用水 24.8% 取自地下水, 林牧渔畜用水均取自地表水; 其他类用水中 71.2% 用水为地下水。同时, 齐河县的

生活、工业用水价格采用《2012年齐河县水资源公报》中的价格，工业用水3元/吨，居民生活用水2.6元/吨，农业用水和其他用水价格则采用《2012年齐河县水资源公报》公布的全国水利工程的原水水价：0.1元/立方米。则可以计算淡水供应的服务价值总量为12351.8万元/年。

4.1.2. 渔业产品

水生态系统提供的淡水产品包括河流、湖泊、沼泽等的一些鱼类、贝类产品。根据《2012年1~9月份齐河县经济运行情况》的统计数据，2012年1~9月齐河县渔业总产值为1.12亿元(忽略水生植物)，由此估算估算，2012年齐河县水生态系统提供的渔业产品服务的市场价值约为1.49亿元。

4.2. 调节服务

4.2.1. 地表水储蓄

齐河县境内河流主要有赵牛河、倪伦河、温聪河等，还有潘庄引黄干渠、李家岸引黄干渠穿境而过。客水来源主要是黄河水，其次是赵牛河、中心河、徒骇河的过境水量。数据显示[38]，齐河县的地表水资源量为9459万立方米。单位库容水库造价[39]取6.1107元/t。估算得到每年齐河县的地表水调蓄服务价值约为5.78亿元。

4.2.2. 地下水补给

当地表水体水位高于两岸地下水位时，地表水体便会渗漏补给地下水。这里以海河流域的历史数据进行粗略估算。海河流域平原区矿化度 $M \leq 2 \text{ g/L}$ 的淡水区1980~2000年地表水体平均渗漏补给地下水量[27]为 $20.74 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，根据齐河县内水生态系统面积所占比例估算，齐河县地表水平均渗漏补给地下水量约为 $0.16 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，地下水的单价取海河流域用水均价0.75元/ m^3 ，则可以估算齐河县每年水生态系统地下水补给服务价值约为1207.41万元。

4.2.3. 水质净化

这里的水质净化主要考虑水生态系统对于氮和磷的净化价值。假设齐河县水生态系统对排入系统的总氮总磷有50%的去除率，氮和磷的处理成本分别取1.5元/kg，2.5/kg [40]。则由此可以估算出水质净化服务价值量约为136.85万元。

4.2.4. 气候调节

根据资料，海河流域2005年河湖蒸发损失量为12.69亿立方米[41]，占流域水资源总量(370.4亿立方米)的3.4%。由此，根据齐河县内水资源总量估算其每年蒸发损失量。考虑随温度升高，水汽化热会越来越小，这里取保守值，即水在100℃，1个标准大气压下的汽化热2260 kJ/kg，则齐河县水生态系统蒸发吸热约为9394.5亿千焦，水面蒸发降低气温按照空调的制冷消耗进行计算，空调能效比取3.0，电价取0.515元·kW⁻¹·h⁻¹。估算可得每年齐河水生态系统该项服务价值量约为20.5亿元。

4.3. 文化服务

这里的文化服务主要考虑旅游的部分，以齐河县内的旅游收入为基础进行估算。齐河县主要旅游景点包括荷盛源有机浅水藕产业园区、泉城海洋极地世界、国科温泉、定慧寺、黄河咽喉、红心广场等。根据齐河政府网站上的统计信息，2013年上半年全县接待游客245万人次，实现旅游收入11.6亿元。假设其中以水生态系统为直接或间接目的来访的游客的比例为50%，则可以估算2013年齐河县水生态系统文化服务的价值量约为11.6亿元，假设2012~2013年齐河县旅游收入增长率为20%，则2012年齐河县水生态系统文化服务的价值量约为9.67亿元。

4.4. 支持服务

4.4.1. 营养物质循环

水生态系统的营养循环主要在水体、生物、泥层之间进行。这里以水生态系统植物净初级生产力为基础,计算其营养物质循环价值。由于数据的限制,这里仅考虑 N 和 P 两种主要的营养元素。其中,浮游植物 N 和 P 含量约占其干重的 7.98% 和 0.94% [42]。取尿素价格为 2000 元/t,含 N 46%,过磷酸钙价格为 600 元/t,含 P 12%。经过计算,2012 年齐河县水生态系统营养物质循环价值约为 1042.22 万元。

4.4.2. 生物多样性

各种水体与湿地是地球上野生生物最重要的栖息地或避难所。根据 Costanza 等人的研究成果,沼泽或泛滥平原提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益为 439 美元/hm² [20],折合人民币 2687.075 元/hm² (以 100 美元兑换人民币 612.09 元计),按齐河县水生生态系统面积进行估算,可得出齐河县提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益约为 156.79 万元。

4.4.3. 固碳释氧

水生态系统的绿色植物通过光合作用固定空气中的 CO₂, 释放 O₂。文献资料[4] [19]指出,近海生态系统中浮游植物每产生 1 g 干物质可以固定 3.67 g CO₂, 同时释放 2.67 g O₂。对于湿地来说,每产生 1 g 干物质可以固定 1.63 g CO₂, 同时释放 1.20 g O₂。以造林成本 352.93 元/tO₂ 和氧气工业成本 0.4 元/kgO₂ 的均值 376.47 元/tO₂ 计算释氧价值,以造林成本和 IPCC 得到的热带森林的固碳成本均值 189.37 元/tC 来计算固碳价值。齐河县共有 12,000 亩生态湿地,4500 亩的天心湖水面。经计算,齐河县水生态系统每年提供的固碳释氧服务价值约为 2011.75 万元。

综合以上供给、调节、文化和服务四类生态服务,2012 年齐河县水生态服务价值总计为 39.13 亿元,见表 2。其中,齐河县水生态系统供给服务价值为 2.73 亿元,占总价值的 6.98%;调节服务价值为 26.41 亿元,占总价值的 67.50%;文化服务价值为 9.67 亿元,占总价值的 24.71%;支持服务价值为 0.32 亿元,占总价值的 0.81%。

对齐河县水生态系统服务价值计算结果进行分析,可以看出:

1) 齐河县水生态系统服务价值按照从大到小依次排序(见图 2)为调节服务 > 文化服务 > 供给服务 > 支持服务。其中,调节服务价值占总价值的 2/3,且主要来源于气候调节和地表水调蓄服务,见图 3。

Table 2. Qihe water ecosystem service value

表 2. 齐河县水生态服务价值计算结果

服务类型	服务名称	服务价值(亿元)	所占比例
供给服务	淡水供应	1.24	3.17%
	渔业产品	1.49	3.81%
	地表水储蓄	5.78	14.77%
调节服务	地下水补给	0.12	0.31%
	水质净化	0.014	0.036%
	气候调节	20.5	52.39%
文化服务	娱乐和生态旅游	9.67	24.71%
	营养物质循环	0.10	0.26%
支持服务	生物多样性	0.016	0.04%
	固碳释氧	0.20	0.51%

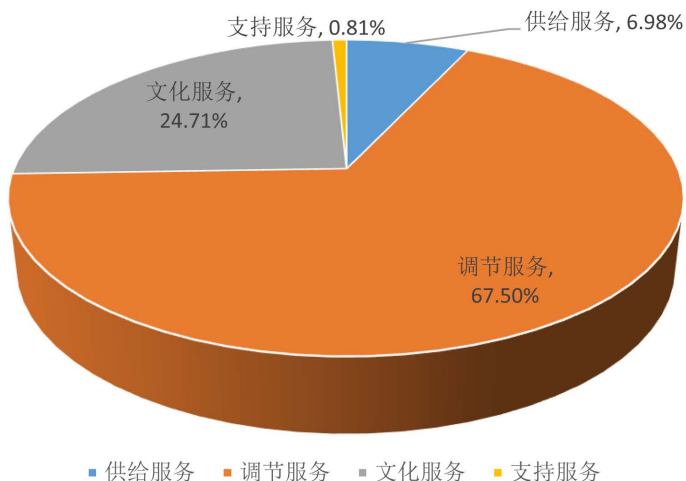


Figure 2. Qihe water ecosystem service value result
图 2. 齐河县水生态服务价值比例图

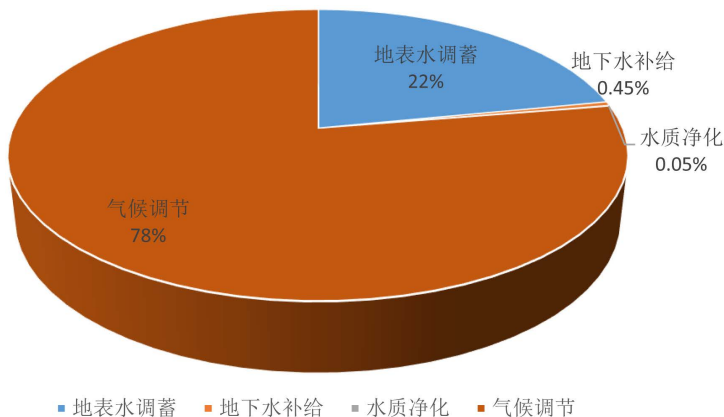


Figure 3. Qihe water ecosystem regulating service value result
图 3. 齐河县水生态系统调节服务价值比例图

2) 第二为文化服务，主要体现为生态旅游价值。这与齐河县大力开展人工湿地建设工作具有很大关系，湿地又称地球之肾，作为温室气体的储存库、源和汇，湿地在缓解气候变化方面发挥着重要作用，齐河县通过建设人工湿地公园等举措，一方面促进了生态环境的改善，另一方面，湿地公园也吸引着居民休闲娱乐、外地旅客前来观光旅行，达到了环境和经济效益的双赢。

3) 供给服务价值量排在第三，其中淡水供应价值和渔业产品价值各占一半。从淡水供应的行业分布来看，生活用水、工业用水、农业用水各占 34.50%，44.86%，20.49%，且很大比例的用水来自于地下水的开采，这对于生态环境的稳定健康是不利因素。

4) 根据本文的计算结果，支持服务所占的比例很小，不到 1%。事实上，该结果并不能完全反映水生态系统支持服务的真实价值。支持服务包括物质初级生产、固碳释氧、生物多样性等多方面功能，是支撑生态系统正常运行的基础和保障，其内在价值很难以物质质量和价值量简单衡量。故而该结果显示的价值较小并不代表支持服务提供的功能不重要或是实际价值低。

5. 工业活动对水生态服务影响分析

工业活动的生产过程中涉及资源能源消耗和废物排放，会对周围的环境和生态造成破坏。要了解工

业活动对水生态系统服务的影响，可以通过建立工业活动、影响途径以及生态服务受体之间的关系加以分析。

从影响途径来看，工业活动主要通过水量、水质和水功能三个方面对水生态系统产生影响，其中水质变量指水生态系统的各项物理化学指标，包括 pH，温度，营养物质含量，有毒物质含量等，水功能主要指水生态系统的各项生物指标，包括微生物种类和数量，物质代谢功能等。

由于所处行业、生产工艺和参数、产品服务种类等的不同，工业活动的种类和流程也各有不同，但不同工业生产过程对水生态系统的利用和影响方式是相似的。工业活动中对水生态系统产生直接影响的过程主要包括取水、废水排放和其后的废水处理三个过程。其中，取水过程主要通过水量对生态系统产生影响；废水排放在改变水量的同时，对水体产生污染，并会更深层次地影响水生态功能的正常运行；而废水处理的过程主要通过物理化学或者生物的处理手段改善污染水体，在一定程度上恢复水体功能，但在废水处理的过程中也造成了水的消耗和排放。

除了工业的取水、废水排放和废水处理过程，工业用地、原料消耗、能源消耗及废物排放(这里指废气和固废排放)也会间接消耗水，并对水生态系统产生影响。如工业用地可能侵占原有的水生态系统，造成生态服务的损失；而工业生产所需的原料和能源，在其生产过程中事实上也造成了水的消耗和污染(即虚拟水)；而对于工业废物排放而言，一方面部分废气废物是随废水排放至水生态系统中，另一方面，在工业废物的处理处置过程中也间接消耗水资源抑或对水体造成污染。

综合以上的分析(见图 4)，可以看出不同的工业活动会通过影响水生态系统的水量、水质和水功能而对系统服务造成影响，其中工业取水用水、废水排放和废水处理过程会直接造成水资源消耗和水污染从而影响水生态系统服务价值，而工业用地、原料能源消耗及废物排放等过程会间接损害水生态系统健康，使生态系统服务减值。

从齐河县实际情况来看，齐河县的工业产业主要包括煤炭开采和洗选、食品加工、木材加工及皮革、造纸行业、石油化工等。其中，石油化工、造纸行业和金属冶炼等企业用水排水量较大。根据齐河县工业用水和排水信息初步估算，2012 年齐河县工业企业用水对应的淡水供应价值约为 1.8 亿元，排水对应的水质净化价值(经过污水处理厂处理后)约为 46.39 万元。由于工业活动对于其他生态服务项，如气候调节、生物多样性等的影响程度难以预估，这里无法给出定量化的计算。但由此我们已经可以较为直观看出，工业活动对于水生态系统的影响，及由此造成的生态服务价值的损耗是巨大的。

6. 结论与建议

本文根据联合国千年生态系统评估框架，选取主要指标共 4 大类 10 项建立了水生态系统服务价值指标体系，并对 2012 年齐河县水生态系统服务价值进行核算，计算结果显示，2012 年齐河县水生态服务价值总计为 39.13 亿元。其中，齐河县水生态系统供给服务价值为 2.73 亿元，占总价值的 6.98%；调节服务价值为 26.41 亿元，占总价值的 67.50%；文化服务价值为 9.67 亿元，占总价值的 24.71%；支持服务价值为 0.32 亿元，占总价值的 0.81%。除此之外，文章通过建立工业活动、影响途径以及生态服务受体之间的关系来定性表述工业活动对于水生态系统服务的影响关系，这也为生态环境保护、工业活动管理提供了启示：现有的管理措施多针对水体的水量和水质指标进行监测和控制，但对于生态系统功能的恢复则尚存在欠缺，地区政府应该进一步完善生态系统功能监测机制，并建立相应的生态补偿机制，为城市的可持续发展奠定良好的生态环境基础。

当然，本文研究还存在一定的局限性：1) 由于数据资料的限制，本文仅选取了齐河县的 10 项水生态服务进行了价值评价。其中文化服务和支持服务相对不易量化，故而计算出的评估结果会比实际价值要低。2) 本文通过定性分析的方法分析了工业活动对于水生态服务的影响关系，这里主要考虑了对生态

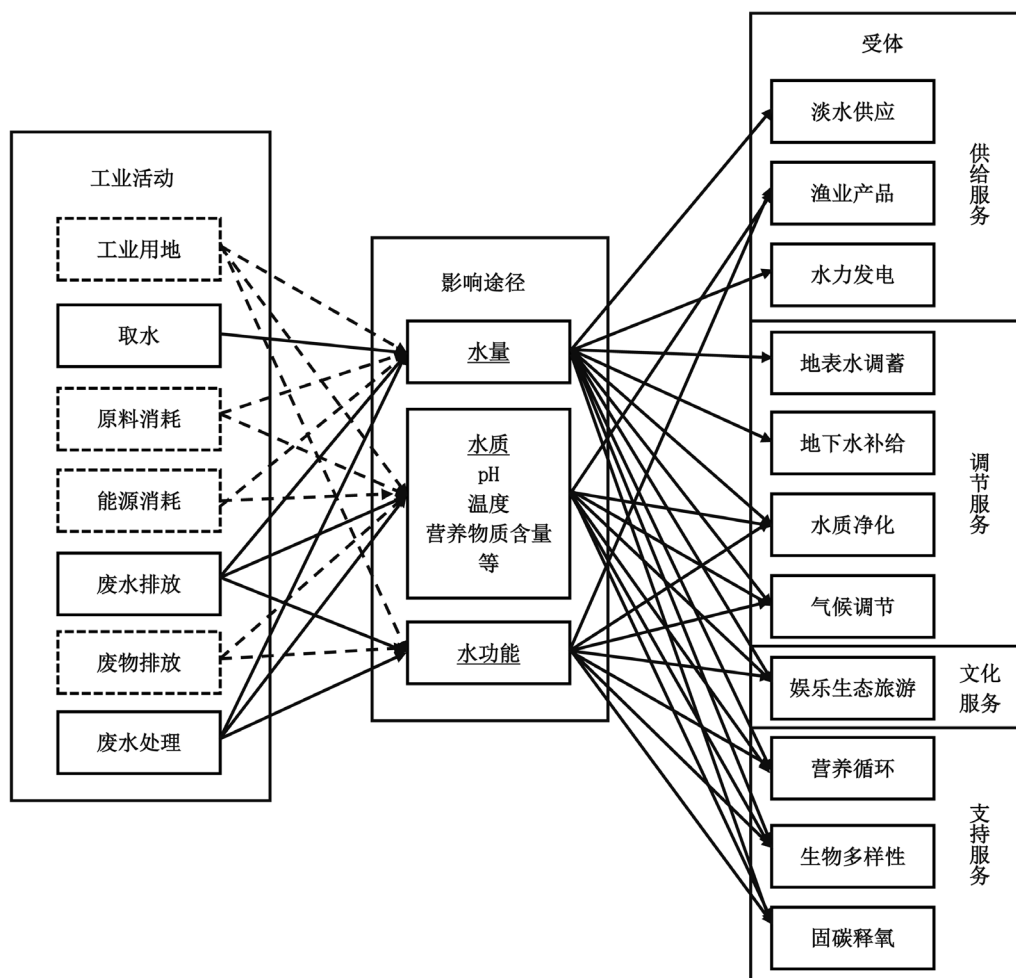


Figure 4. The impacts of industrial activities on water ecosystem services

图 4. 工业活动对水生态服务的影响

环境造成威胁的工业活动类型以及重点水生态服务项，但由于工业活动中间接用水排水量以及水生态系统服务受损程度难以量化而未给出更详细的定量分析。建议未来可以借鉴风险评价模型，进一步量化分析工业活动对于水生态服务的影响，从而为工业活动规划管理、水生态系统的保护提供政策建议和理论支持。

基金项目

水体污染控制与治理重大专项(2012ZX07203-004)和(2012ZX07301-005)。

参考文献 (References)

- [1] King, R.T. (1966) Wildlife and man. *NY Conservationist*, **20**, 8-11.
- [2] Helliwell, D.R. (1969) Valuation of wildlife resources. *Regional Studies*, **3**, 41-49.
<http://dx.doi.org/10.1080/09595236900185051>
- [3] Maes, J., Paracchini, M.L. and Zulian, G. (2011) A European assessment of the provision of ecosystem service. EUR: Publications Office of the European Union, 10-44.
- [4] 李文华 (2008) 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 中国人民大学出版社, 北京.
- [5] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 魏艳昌 (2003) 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价.

自然资源学报, 18, 443-444.

- [6] Daily, G.C. (1997) Nature's services societal dependence on natural ecosystem. Island Press, Washington DC.
- [7] 张诚, 严登华, 郝彩莲, 秦天玲, 王凌河 (2011) 水的生态服务功能研究进展及关键支撑技术. *水科学进展*, 22, 126-129.
- [8] 孟庆义, 欧阳志云, 马冬春, 等 (2012) 北京水生态服务功能与价值. 科学出版社, 北京.
- [9] Woodward, R.T. and Wui, Y.-S. (2001) The economic value of wetland services: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 37, 257-270. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00276-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00276-7)
- [10] 王伟, 陆健健 (2005) 三垌湿地生态系统服务功能及其价值. *生态学报*, 25, 404-407.
- [11] 韩美, 张晓慧 (2009) 黄河三角洲湿地主导生态服务功能价值估算. *中国人口·资源与环境*, 6, 37-43.
- [12] 张黎娜, 李晓文, 宋晓龙, 梁晨, 诸葛海锦 (2014) 黄淮海湿地生态系统服务与生物多样性保护格局的耦合性. *生态学报*, 14, 3987-3995.
- [13] 张振明, 刘俊国, 申碧峰, 刘培斌, 魏炜, 高鹏杰, 张艺 (2011) 永定河(北京段)河流生态系统服务价值评估. *环境科学学报*, 9, 1851-1857.
- [14] 熊雁晖 (2004) 海河流域水资源承载能力及水生态系统服务功能的研究. 硕士学位论文, 清华大学, 北京.
- [15] 贾军梅, 罗维, 杜婷婷, 李中和, 吕永龙 (2015) 近 10 年太湖生态系统服务功能价值变化评估. *生态学报*, 7, 2255-2264.
- [16] Wilson, M.A. and Carpenter, S.R. (1999) Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States: 1971-1997. *Ecological Applications*, 9, 772-783.
- [17] 侯小阁, 尚金城 (2003) 长春市水环境生态系统服务功能价值评估. *江苏环境科技*, 3, 24-27.
- [18] 刘蕾, 夏军, 丰华丽, 占车生, 尹雄锐 (2005) 水生态系统服务功能变化的驱动因子分析——以三工河流域为例. *干旱区地理*, 3, 347-350.
- [19] 李芬, 孙然好, 杨丽蓉, 陈利顶 (2010) 基于供需平衡的北京地区水生态服务功能评价. *应用生态学报*, 5, 1146-1152.
- [20] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R. and Farber, S. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>
- [21] Ringold, P.L., Boyd, J., Landers, D. and Weber, M. (2009) Report from the workshop on indicators of final ecosystem services for streams. Denver, Colorado 22-23.
- [22] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿 (1999) 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 5, 607-613.
- [23] 赵景柱, 肖寒, 吴刚 (2000) 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析. *应用生态学报*, 2, 290-292.
- [24] 刘向华 (2009) 生态系统服务功能价值评估方法研究. 中国农业出版社, 北京.
- [25] 孔东升, 张灏 (2015) 张掖黑河湿地自然保护区生态服务功能价值评估. *生态学报*, 4, 1-14.
- [26] 丁小迪, 丁咚, 李广雪 (2015) 山东省滨海湿地生态价值评估. *中国海洋大学学报*, 1, 71-75.
- [27] 江波, 欧阳志云, 苗鸿, 郑华, 白杨, 庄长伟, 方瑜 (2011) 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价. *生态学报*, 8, 2236-2244.
- [28] 郑华, 欧阳志云, 赵同谦, 李振新, 徐卫华 (2003) 人类活动对生态系统服务功能的影响. *自然资源学报*, 1, 118-124.
- [29] 张彩霞, 谢高地, 杨勤科, 李士美 (2008) 人类活动对生态系统服务价值的影响——以纸坊沟流域为例. *资源科学*, 12, 1910-1915.
- [30] 郝弟, 张淑荣, 丁爱中, 潘成忠, 许新宜 (2012) 河流生态系统服务功能研究进展. *南水北调与水利科技*, 1, 106-109.
- [31] 冉圣宏, 吕昌河, 贾克敬, 齐永华 (2006) 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价. *环境科学*, 10, 2139-2144.
- [32] 李文楷, 李天宏, 钱征寒 (2008) 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响. *自然资源学报*, 3, 440-445.
- [33] 杜国明, 李全峰, 刘艳, 赖振博 (2014) 农业开发对区域生态系统服务功能的影响研究——以三江平原北部地区为例. *水土保持研究*, 3, 261-266.
- [34] 李明明, 丁忠义, 卞晓红, 高婷 (2012) 煤炭开采对矿区农田生态系统生态服务功能影响评价. *土壤通报*, 6, 1312-1316.

- [35] 张微, 石焱 (2014) 基于生态服务功能的旅游景区开发生态影响评价实证研究——以北京三海子郊野公园为例. *环境科学与管理*, **4**, 156-160.
- [36] 肖建红, 施国庆, 毛春梅, 邢贞相 (2006) 三峡工程对河流生态系统服务功能影响预评价. *自然资源学报*, **3**, 424-429.
- [37] 冉圣宏, 吕昌河, 王茜 (2010) 生态退耕对安塞县土地利用及其生态服务功能的影响. *中国人口·资源与环境*, **3**, 111-116.
- [38] 周中臣, 曹玉忠, 高清, 张洪云 (2006) 齐河县水资源承载力探讨. *山东水利*, **8**, 7.
- [39] 国家林业局 (2008) 中华人民共和国林业行业标准. LY/T 1721-2008: 森林生态系统服务功能评估规范. 中国标准出版社, 北京.
- [40] 张修峰, 刘正文, 谢贻发, 陈光荣 (2007) 城市湖泊退化过程中水生态系统服务功能价值演变评估——以肇庆仙女湖为例. *生态学报*, **6**, 2349-2354.
- [41] 任宪韶 (2007) 海河流域水资源评价. 中国水利水电出版社, 北京.
- [42] 林婉莲, 刘鑫洲 (1985) 武汉东湖浮游植物各种成分分析与沉淀物中浮游植物活体碳、氮、磷的测定. *水生生物学学报*, **4**, 359-364.