

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2020.10.010

基于生态足迹理论的青岛市水资源可持续分析^①

兰简琪¹, 谢世友^{1,2}

1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 为了解近年来青岛市水资源可持续利用状况, 利用生态足迹理论, 结合水资源利用效率指数、水资源生态压力指数和水资源可持续指数对青岛市2011年到2017年的水资源生态足迹及生态承载力变化趋势和水资源可持续利用状况进行评价分析。结果表明: 2011—2017年期间, 青岛市水资源生态足迹总体为先下降后上升波动状态; 水资源生态承载力总体为减少趋势, 人均水资源生态承载力达 $0.032 \text{ hm}^2/\text{人}$, 远小于我国平均水平; 在不同的年份, 处于不同的水资源生态赤字水平, 对客水依赖度很大, 跨流域调水已经成了青岛市地表水的主要来源, 水资源万元GDP生态足迹总体为下降趋势, 青岛市水资源利用效率在逐年提高; 水资源开发利用处于生态不安全状态和不可持续状态。为了实现青岛市水资源可持续利用与发展, 建议控制城市规模, 扩展水源, 加快调水和水源工程建设, 发展循环经济, 做好水资源管理和保护工作, 落实最严格水资源管理制度, 建立节水型社会。

关键词: 青岛市; 水资源生态足迹; 可持续分析

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2020)10-0055-08

可持续发展的本质是寻求有效利用资源、保护生态环境、促进经济发展、实现社会和谐。水资源作为自然资源和环境不可或缺的部分, 也是珍贵的经济资源, 在可持续发展思想体系中占据重要位置^[1-2]。近年来我国经济发展迅速, 如果一个地区水资源短缺和污染严重, 势必影响社会经济发展和城市化推进。为了建设“人水和谐”的社会, 必须强化区域水资源可持续发展的研究^[3]。生态足迹理论是一种基于土地空间面积占用来计量区域可持续发展程度的自然资源综合核算工具^[4-6]。生态足迹也称“生态占用”, 主要是从消费者的角度出发, 操作性强、视角新颖, 是评价可持续性发展与利用的有效方法^[7], 王文国等^[8]、黄林楠等^[9]对此进行了完善和补充, 在生态足迹计算中归入水资源用地, 建立了水资源生态足迹的计算模型。

近年来众多学者基于水资源生态足迹的基本原理和计算模型从不同角度对区域水资源生态足迹动态特征和可持续利用情况进行了定量分析和评价。孟丽红等^[10]、王文国等^[4]、卢艳等^[11]等分别计算并分析了江西省、重庆市、河南省水资源生态足迹、生态承载力动态变化特征; 赵春芳等^[12]、王文国等^[8]、李赫龙等^[13]、杨倩等^[14]从时空角度分别对浙江、四川、福建、湖北省等地水资源生态足迹时空格局进行了分析; 晓兰等^[15]、王荣森等^[16]从对比的角度分别对内蒙古东部、安徽省和江苏省水资源生态足迹进行了对比研究; 周悦等^[17]、方伟成等^[18]运用水资源生态足迹模型分别对辽宁省和东莞市水资源可持续利用进行了研究。青岛市是山东省经济中心, 也是一个严重缺水的海滨城市。本文采用水资源生态足迹模型, 借鉴水资源生态足迹的相关研究和分析方法, 结合水资源利用效率指数、水资源生态压力指数和水资源可持续指数, 利用青岛市2011年到2017年水资源相关数据, 定量计算和分析青岛市水资源生态足迹及生态承载力变化趋势和水资源可持续利用状况, 以期加速青岛市经济增长、提高青岛市水资源可持续利用效率和对水资源进行科学管理提供理论支撑。

① 收稿日期: 2019-04-12

基金项目: 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002); 中央高校基本业务费专项资金(XDJK2015C006, SWU114058)。

作者简介: 兰简琪(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事自然地理、水土保持、资源开发与区域可持续发展等方面的研究。

通信作者: 谢世友, 博士, 教授。

1 研究区域概况

青岛地理位置位于 119°30'E—121°00'E、北纬 35°35'N—37°09'N，地处山东半岛东南部，靠近黄海，总面积为 11 282 km²，是山东省特大城市。城市地势东高西低，属温带季风气候，具有明显的海洋性特征，温和湿润，雨热同季，年平均气温 12.8℃，年平均降水量为 664.4 mm，季节变化明显，在春季、初夏和晚秋经常发生干旱^[19]。境内河流有 224 条，分三大水系，依次为大沽河、北胶莱河以及沿海诸河流。多年平均水资源总量为 21.48×10⁸ m³，2017 年人均水资源为 137.6 m³，仅占全国平均水平的 6.5%，是中国北方最严重的缺水城市之一。表 1 为 2011—2017 年青岛市社会经济及用水量。由表 1 可知，从 2011 年到 2017 年，青岛市 GDP 增长了 66.83%，经济增长迅速，发展潜力很大；年末常住人口增长了 5.63%；水资源总量却减少了 38.94%。

表 1 2011—2017 年青岛市社会经济及用水量

年份	人口 /10 ⁴ 人	GDP /亿元	年降水量 /mm	水资源 总量 /10 ⁸ m ³	地表水 /10 ⁸ m ³	地下水 /10 ⁸ m ³	农业 用水量 /10 ⁸ m ³	工业 用水量 /10 ⁸ m ³	城镇公共 用水量 /10 ⁸ m ³	居民生活 用水量 /10 ⁸ m ³	生态环境 用水量 /10 ⁸ m ³
2011	879.51	6 615.60	747.10	20.93	13.34	11.19	3.81	1.91	0.93	2.87	0.57
2012	886.85	7 302.11	612.60	12.80	8.38	7.21	3.69	1.82	0.86	2.92	0.52
2013	896.41	8 147.32	581.40	14.13	9.57	7.24	3.98	1.97	1.00	2.97	0.66
2014	904.62	8 850.54	589.70	12.57	7.32	8.53	4.17	2.03	1.04	2.80	0.65
2015	909.70	9 472.40	426.60	6.85	3.11	4.92	2.43	1.98	1.00	2.73	0.61
2016	920.40	10 193.29	538.40	7.94	3.63	5.34	2.45	2.01	0.99	3.11	0.76
2017	929.05	11 037.28	627.00	12.78	8.99	6.39	2.25	2.14	1.07	3.16	0.81

注：数据来源于《青岛市水资源公报》《青岛市统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 水资源生态足迹模型

水资源生态足迹模型建立在生态足迹模型基础之上，它指将某一地区消耗的水资源量转换为相应账户的水资源用地面积。根据青岛市水资源利用现状，本文将水资源生态足迹分为 5 个二级账户，即农业用水、工业用水、城镇公共用水、生活用水和生态环境用水生态足迹^[10]，其计算模型分别如下：

$$W_{EFW} = N \times \omega_{efw} = \gamma_w \times (W/P_w) \quad (1)$$

$$W_{EFA} = \gamma_w \times (W_a/P_w) \quad (2)$$

$$W_{EFI} = \gamma_w \times (W_i/P_w) \quad (3)$$

$$W_{EFC} = \gamma_w \times (W_c/P_w) \quad (4)$$

$$W_{EFD} = \gamma_w \times (W_d/P_w) \quad (5)$$

$$W_{EFE} = \gamma_w \times (W_e/P_w) \quad (6)$$

式中： W_{EFW} 为水资源总生态足迹(hm²)； N 为年末常住总人口数； ω_{efw} 为人均水资源生态足迹(hm²/人)； γ_w 为水资源的全球均衡因子； W 为消耗的水资源总量(m³)； P_w 为水资源全球平均生产能力(m³/hm²)； W_{EFA} 为农业用水生态足迹； W_a 为农业用水总量； W_{EFI} 为工业用水生态足迹； W_i 为工业用水总量； W_{EFC} 为城镇公共用水生态足迹； W_c 为城镇公共用水总量； W_{EFD} 为生活用水生态足迹； W_d 为生活用水总量； W_{EFE} 为生态环境用水生态足迹； W_e 为生态环境用水总量。公式中涉及 2 个参数 γ_w 和 P_w ，参照黄林楠等^[9]的研究成果， γ_w 为全球水资源均衡因子，其值为 5.19； P_w 为全球水资源平均生产能力，采用水文学中产水模数来表示，可以定义为全球多年平均产水模数，其值为 3 140 m³/hm²。

2.2 水资源生态承载力模型

水资源承载力是某区域特定历史发展阶段对社会经济发展的最大支撑能力^[20-21]，本文基于生态足迹理论的水资源生态承载力模型来定量分析水资源生态承载力。据相关研究^[9]，为了达到生态环境可持续发展，一个区域的水资源开发利用不得高于 30%~40%，必须扣除 60% 来确保生态环境良性循环，所以在计算时要乘系数 0.4，其计算模型为：

$$W_{ECW} = N \times \omega_{\alpha w} = 0.4 \times \phi \times \gamma_w \times Q / P_w \quad (7)$$

式中: W_{ECW} 为水资源生态承载力(hm^2); N 为年末常住总人口数; $\omega_{\alpha w}$ 为人均水资源承载力($\text{hm}^2/\text{人}$); ϕ 为区域水资源的产量因子; γ_w 为水资源的全球均衡因子; Q 为水资源总量(m^3); P_w 为水资源全球平均生产能力(m^3/hm^2). 区域水资源的产量因子, 即区域水资源平均生产能力 / 世界水资源平均生产能力, 2011—2017 年青岛市水资源平均生产能力约为 $111\,420\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 世界水资源平均生产能力为 $3\,140\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 计算得到 2011 年到 2017 年青岛市水资源产量因子, 其值约为 0.35.

2.3 水资源生态盈余 / 赤字

水资源生态足迹代表消耗区域水资源, 水资源生态承载力代表区域发展的水资源支撑能力, 因此比较两者的值, 即可得到水资源生态盈余 / 赤字, 该指标能够用来分析区域内水资源的可持续利用情况, 其计算公式如下:

$$\text{水资源生态盈余 / 赤字} = W_{ECW} - W_{EFW} = N \times (\omega_{\alpha w} - \omega_{\beta w}) \quad (8)$$

式中: 若 $W_{ECW} > W_{EFW}$ 时, 表示出现了水资源生态盈余; $W_{ECW} = W_{EFW}$ 时, 为水资源平衡状态; $W_{ECW} < W_{EFW}$ 时, 表示出现了水资源生态赤字; N 为年末常住总人口数.

2.4 水资源利用效率指数

万元 GDP 是指区域内水资源生态足迹与 GDP 的比值, 可以根据这个比值的大小来比较区域内水资源的利用效率. 其计算公式为:

$$W_{UEI} = \text{万元 GDP 生态足迹} = W_{EFW} / \text{GDP} \quad (9)$$

式中: W_{UEI} 为水资源利用效率指数; 若比值越小, 则水资源的利用效率越高; 反之越低^[22].

2.5 水资源生态压力指数

水资源生态压力指数能够显示某区域受到的生态压力强度, 并以此来衡量区域水资源生态安全程度, 能够看出该区域水资源生态需求与供给的关系^[22], 其计算公式为:

$$W_{EPI} = W_{EFW} / W_{ECW} \quad (10)$$

式中: W_{EPI} 为水资源生态压力指数; 当 $W_{EPI} > 1$ 时, W_{EPI} 越大, 说明区域水资源消费量大于水资源供给能力, 水资源生态压力越大, 处于生态不安全状态; 当 $W_{EPI} < 1$ 时, W_{EPI} 越小, 说明区域水资源供给量高于水资源消费量, 水资源供给能力能满足社会经济发展的需求, 区域水资源生态压力越小, 处于生态安全状态.

2.6 水资源可持续指数

水资源可持续指数是用来评价区域水资源可持续发展利用程度, 其计算公式^[18] 为:

$$W_{ESI} = W_{ECW} / (W_{EFW} + W_{ECW}) \quad (11)$$

式中: W_{ESI} 为水资源可持续指数; $0 < W_{ESI} < 1$, W_{ESI} 值越大, 则水资源可持续发展利用程度越高; W_{ESI} 值越小, 水资源可持续发展利用程度越低, 0.5 是水资源是否可持续利用的分界点. 借鉴方伟成等^[18] 的研究, 将水资源可持续指数划分为以下 6 个等级类型, 如表 2.

表 2 水资源可持续指数等级划分^[18]

等级	W_{ESI}	可持续程度
I	≥ 0.80	强可持续
II	0.65~0.80	中可持续
III	0.50~0.64	弱可持续
IV	0.35~0.49	弱不可持续
V	0.20~0.34	中不可持续
VI	≤ 0.20	强不可持续

2.7 数据来源

文中涉及的青岛市年末常住总人口数(N)、青岛市 GDP 数据来源于《青岛市统计年鉴(2011—2016 年)》与《青岛市国民经济和社会发展统计公报(2017 年)》; 水资源总量等相关水资源数据来源于《青岛市水资源公报(2011—2017 年)》.

3 结果与分析

3.1 2011—2017 年青岛市水资源生态足迹和生态承载力分析

由图 1 可知, 青岛市总水资源生态足迹总体上呈现先下降后上升的波动状态. 图 2 为青岛市各账户水资源生态足迹. 由图 2 可知青岛市平均农业用水生态足迹 $5.382 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总生态足迹的 32.95%, 总体为减少趋势. 2011—2014 年农业用水生态足迹在总水资源生态足迹中比重最大, 2014—2017 年比重开始下降. 究其原因, 一方面是因为青岛持续干旱, 另一方面地方政府认真落实最严格水资源管理制度, 将 2016 年度水资源管理“三条红线”控制目标分解下达达到各区市, 建立了市、县二级的“三条红线”指标控制体系, 并大力发展高效节水农业. 生活用水生态足迹平均为 $4.843 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总生态足迹的 29.71%, 生活用水生态足迹除 2014 年、2015 年有所下降外, 总体呈现为上升的趋势, 从 2015 年开始, 生活用水生态足迹高于农业用水生态足迹, 说明居民生活用水开始逐渐占据用水总量的主要部分. 工业用水生态足迹平均为 $3.273 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总生态足迹的 20.04%, 工业用水生态足迹历年变化不大, 总体呈上升趋势. 城镇公共用水生态足迹平均为 $1.630 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总生态足迹的 9.98%, 历年变化不大. 生态环境用水生态足迹总体呈现上升趋势, 平均为 $1.082 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总生态足迹的 6.63%, 7 年间上升了 42.39%, 说明青岛市政府越来越重视生态环境的治理.

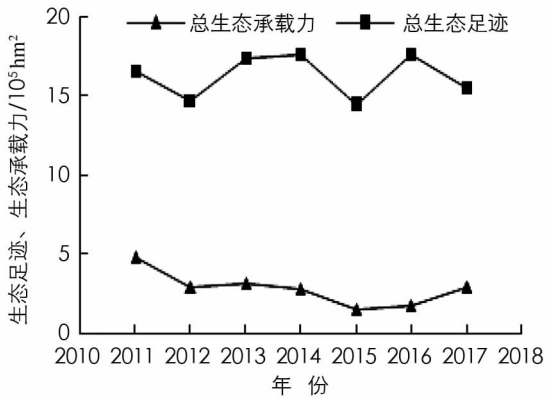


图 1 青岛市总水资源生态足迹、生态承载力的变化趋势

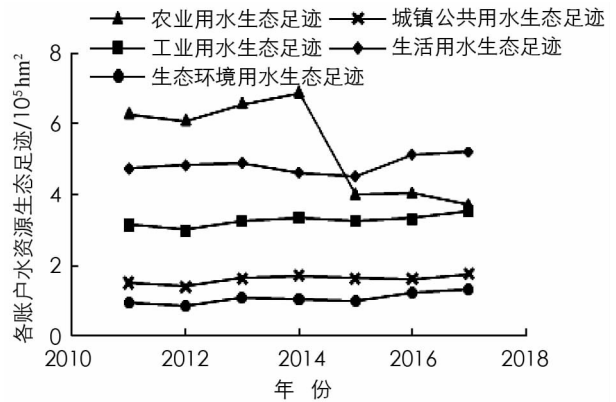


图 2 2011—2017 年青岛市各账户水资源生态足迹

从青岛市水资源生态承载力历年变化趋势来看(图 1), 水资源生态承载力总体为减少趋势, 最高年份 2011 年为 $4.842 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 而最低的年份 2015 年仅为 $1.585 \times 10^5 \text{ hm}^2$. 由图 3 得到青岛市水资源生态承载力与降水量之间相关系数约为 0.87, 说明青岛市水资源生态承载力的变化受降水量的影响很大. 2014 年到 2016 年, 青岛市遭遇持续干旱, 降水量明显比往年减少, 工程蓄水严重不足, 供水形势极为严峻, 水资源生态承载力也明显降低.

图 4 为 2011—2017 年青岛市水资源生态承载力构成变化图, 由图 4 可知, 2011—2017 年青岛市地表水资源生态承载力与地下水资源生态承载力相差不大, 但是不同年份数值大小不一样. 青岛地下水开发利用程度较高, 供水条件丰富的地区基本已被开发利用, 20 世纪末实际开采量达到可开采量的 90%^[23-24]. 2011—2013 年青岛市地表水资源生态承载力大于地下水资源生态承载力, 而 2014—2016 年地表水资源生态承载力小于地下水资源生态承载力, 这是由于大气降水是青岛市地表水资源的主要来源. 2014—2016 年青岛市遭遇持续干旱, 降水量较多年分别平均偏小 11%, 36%, 22%, 尤其是 2015 年全市降水量为 426.6 mm, 是 1982 年以来降水最少的年份.

表 3 是青岛市 2011—2017 年供用耗水量情况, 由表 3 可知, 在供水量中, 地表水、地下水、其他平均占比分别为 63%, 31%, 6%, 地表水源供水来自蓄水、引水和提水工程及跨流域调水. 引水工程和提水工程供水量变化较小, 而蓄水工程总量总体上在不断减少, 2011 年到 2017 年蓄水工程地表水源供水量占比由 66% 下降到 15%, 而跨流域调水供水量逐年增加. 2011—2015 年主要是引黄河水, 而 2016—2017 年既引黄河水又引长江水, 2011 年到 2017 年跨流域调水供水量占地表水源供水量的比由 24% 上升到 74%, 说

明青岛市对客水依赖度越来越大. 跨流域调水已经成了青岛市地表水的主要来源, 目前解决青岛市水资源不足的根本出路就在于节水和跨流域调水. 青岛市地表水资源除来自大气降水, 更重要的来源便是跨流域调水, 说明青岛市地表水资源生态承载力和跨流域调水有密切关系.

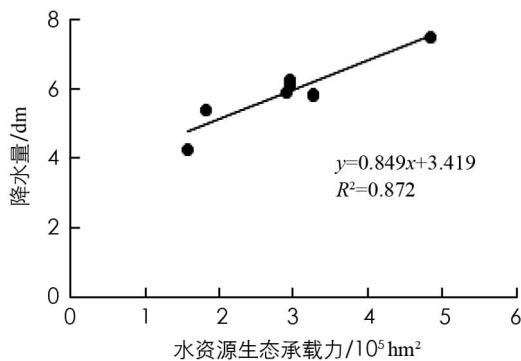


图 3 青岛市水资源生态承载力与降水量之间的关系

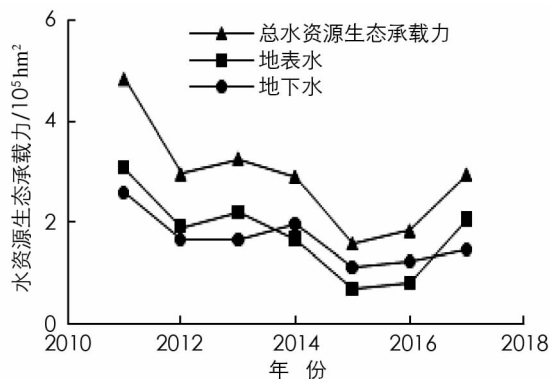


图 4 2011—2017 年青岛市水资源生态承载力构成

表 3 2011—2017 年青岛市供用耗水量情况

年份	供水量/ 10^8 m^3			总供水量	地表水源供水量/ 10^8 m^3				用水量/ 10^8 m^3	耗水量/ 10^8 m^3
	地表水	地下水	其他		蓄水工程	引水工程	提水工程	跨流域调水		
2011	6.010	3.668	0.405	10.082	3.990	0.150	0.410	1.460	10.0821	5.282
2012	6.019	3.377	0.418	9.814	3.292	0.780	0.367	1.629	8.9143	5.095
2013	6.715	3.454	0.425	10.594	3.305	0.903	0.430	2.077	10.5937	5.458
2014	6.333	3.875	0.487	10.695	3.271	0.664	0.317	2.081	10.695	5.469
2015	5.727	2.395	0.635	8.757	2.015	0.404	0.093	3.214	8.7572	4.091
2016	6.467	2.192	0.662	9.321	1.407	0.284	0.055	4.720	10.695	4.303
2017	6.049	2.445	0.935	9.439	0.930	0.640	0.020	4.460	9.4388	4.180

注: 数据来源于《青岛市水资源公报》。

利用水资源生态足迹和水资源生态承载力模型计算得到表 4. 由表 4 可知, 青岛市人均水资源生态足迹总体呈先下降后上升的波动趋势, 7 年间青岛市人均水资源生态足迹达 $0.181 \text{ hm}^2/\text{人}$, 远小于我国平均水平 ($0.81 \text{ hm}^2/\text{人}$), 总体呈下降趋势. 人均水资源生态承载力整体为下降趋势, 从 2011 年的 $0.055 \text{ hm}^2/\text{人}$ 下降到 2017 年的 $0.032 \text{ hm}^2/\text{人}$, 年均下降率为 5.97% , 2015 年最低, 为 $0.017 \text{ hm}^2/\text{人}$, 7 年间青岛市人均水资源生态承载力为 $0.032 \text{ hm}^2/\text{人}$, 远小于我国平均水平 ($1.26 \text{ hm}^2/\text{人}$). 这主要是因为人均水资源生态承载力受降水量影响, 由于持续干旱, 降水量减少, 青岛市水资源总量呈波动下降趋势, 因此人均水资源生态承载力减少. 由表 4 可以看出青岛市 7 年都处于人均水资源生态赤字, 说明青岛市水资源的开发利用不能满足其现有的需要, 应从外部调水来弥补其欠缺的水资源.

表 4 2011—2017 年青岛市水资源生态足迹与生态承载力

年份	总水资源生态承载力/ 10^5 hm^2	地表水资源生态承载力/ 10^5 hm^2	地下水资源生态承载力/ 10^5 hm^2	总水资源生态足迹/ 10^6 hm^2	人均水资源生态足迹/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	人均水资源生态承载力/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	人均水资源生态盈亏/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$
2011	4.842	3.087	2.589	1.666	0.189	0.055	-0.134
2012	2.962	1.939	1.669	1.473	0.166	0.033	-0.133
2013	3.270	2.215	1.676	1.751	0.195	0.036	-0.159
2014	2.909	1.694	1.974	1.768	0.195	0.032	-0.163
2015	1.585	0.719	1.139	1.447	0.159	0.017	-0.142
2016	1.837	0.839	1.237	1.768	0.192	0.020	-0.172
2017	2.957	2.080	1.479	1.560	0.168	0.032	-0.136

3.2 青岛市水资源可持续发展能力分析

3.2.1 水资源利用效率分析

图 5 为 2011—2017 年青岛市水资源万元 GDP 生态足迹变化趋势图。由图 5 可知, 青岛市水资源万元 GDP 生态足迹整体上呈下降趋势, 7 年间青岛市水资源万元 GDP 生态足迹平均值为 0.019 hm^2 , 从 2011 年的 0.025 hm^2 下降到 2017 年的 0.014 hm^2 , 年均下降率为 6.29% , 说明青岛市水资源利用效率在逐年提高。原因在于: ①不断优化调整产业结构, 改善粗放型发展模式; ②努力抓好水资源管理保护, 不断推进节水型社会建设, 认真落实最严格水资源管理制度; ③加强农田节水灌溉工程建设, 农村水利建设取得了新成效。

3.2.2 水资源生态压力指数分析

由图 6 可知, 2011—2017 年青岛市水资源生态压力指数总体上呈现先上升后下降趋势, 2011—2016 年青岛市水资源生态压力指数在不断上升, 6 年上升了 179.55% , 说明 6 年间青岛市水资源生态压力在不断上升, 水资源消费量大于供给能力, 处于生态不安全状态。2016—2017 年水资源生态压力指数出现大幅度下降, 下降了 45.18% , 水资源生态压力有所缓解, 仍然处于生态不安全状态。2011—2017 年 7 年间水资源生态压力指数都远远大于 1, 最高年份为 2016 年, 达到 9.622, 说明水资源供给能力不能满足社会经济发展的需求。青岛市近年来经济发展迅速, 2011 年到 2017 年国民生产总值由 6 615.60 亿元上升到 11 037.28 亿元, 除农业用水量有所下降, 工业用水以及生活用水量都在增加, 而青岛降水偏枯, 是资源型缺水城市, 因此水资源供需矛盾日益加剧, 水资源与经济、社会、环境发展不协调, 水资源产生危机。

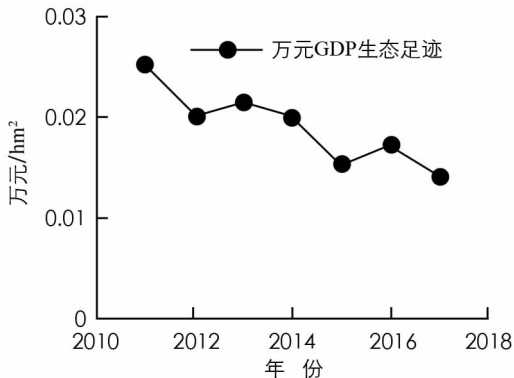


图 5 2011—2017 年青岛市水资源万元 GDP 生态足迹

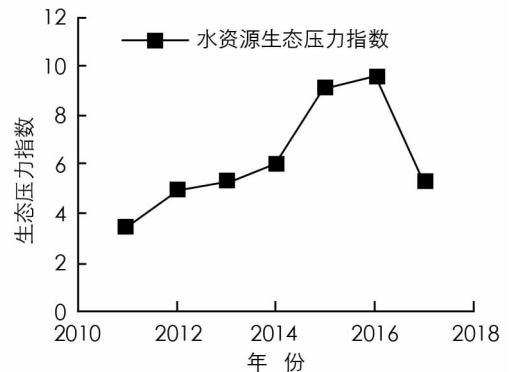


图 6 2011—2017 年青岛市水资源生态压力指数

3.2.3 水资源可持续指数分析

图 7 为青岛市水资源可持续指数。由图 7 可看出, 水资源可持续指数总体上呈现先下降后上升趋势, 以 2016 年为上升的转折点, 最高值为 2011 年的 0.225, 最低值为 2016 年的 0.094。2011 年水资源可持续指数处于 $0.2 \sim 0.34$ 之间, 说明水资源处于中不可持续状态, 2012—2017 年 W_{ESI} 值都小于 0.2, 说明水资源处于“强”不可持续状态, 青岛市水资源处于不可持续状态。因此, 为保证青岛市水资源可持续发展, 需要不断提高水资源利用效率, 发展循环经济, 节约用水, 加强节水技术和用具的推广。

3.3 青岛市水资源可持续发展建议

青岛市是一个资源型缺水城市, 水资源总量少, 2011 年到 2017 年青岛市处于水资源赤字状态, 人均水资源承载力远远小于全国平均水平, 处于不可持续状态。为实现青岛市水资源可持续利用与发展, 根据青岛市水资源面临的具体问题提出以下建议:

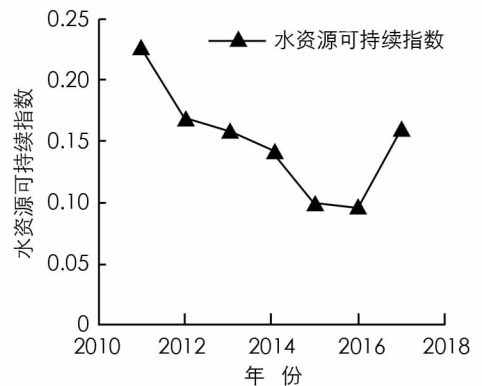


图 7 2011—2017 年青岛市水资源可持续指数

1) 控制城市发展规模. 青岛市生活用水总生态足迹在 2011—2017 年间占总数的 29.71%, 比重较大, 居民生活用水开始逐渐成为占据用水总量的主要部分, 应该控制城市规模. 只有资源与城市规模相匹配, 城市才能健康发展.

2) 采用多种方式扩展水源. 由于青岛市水资源总量少, 水资源生态承载力呈减少趋势, 不同年份都处于不同程度的生态赤字. 因此可以从水资源来源入手解决水资源短缺的矛盾. 扩展水源的方式主要有: ① 加快调水和水源工程建设, 如引黄入青、南水北调等工程; ② 发展循环经济, 提高污水净化技术, 实现污水处理后再利用, 提高工业用水重复利用率, 加大中水回用力度, 制定中水利用政策, 并严格执行; ③ 强化雨水收集设施, 规划雨水利用建设系统; ④ 充分利用青岛作为海滨城市的优势, 可以采取海水代用和海水淡化的方式增加水的来源.

3) 树立全社会节水观念, 抓好水资源管理保护. 青岛市水资源生态处于不安全和不可持续状态, 要采取相应措施提高水资源利用效率. 认真落实最严格水资源管理制度, 加强农田节水灌溉工程建设, 抓好中小河流治理工作, 提高河流水生态平衡, 抓好小流域治理, 提高水土保持工作水平; 大力宣传节约用水, 树立节水观念, 推广节水、清洁用水治理污染等新技术, 建立节水型社会.

4 结 论

1) 2011—2017 年青岛市总水资源生态足迹整体上呈先下降后上升波动状态, 人均水资源生态足迹为 $0.181 \text{ hm}^2/\text{人}$, 远小于我国平均水平, 总体呈下降趋势. 总水资源生态承载力和人均水资源生态承载力总体呈减少的趋势, 人均水资源生态承载力从 2011 年的 $0.055 \text{ hm}^2/\text{人}$ 下降到 2017 年的 $0.032 \text{ hm}^2/\text{人}$, 年均下降率为 5.97%. 人均水资源生态承载力达 $0.032 \text{ hm}^2/\text{人}$, 远远小于我国平均水平. 7 年间人均水资源生态足迹都大于人均水资源生态承载力, 不同年份都处于人均水资源生态赤字. 青岛市水资源生态承载力的变化受降水量影响很大, 对客水依赖度也越来越大, 跨区域调水已经成了青岛市地表水的主要来源.

2) 2011—2017 年青岛市水资源万元 GDP 生态足迹整体上呈下降趋势, 年均下降率为 6.29%, 水资源利用效率在逐年提高. 水资源生态压力指数 7 年间水资源生态压力指数都大于 1, 表明青岛市水资源处于不安全状态. 水资源可持续指数总体上呈现先下降后上升趋势, 2012—2017 年水资源可持续指数都小于 0.2, 水资源处于强不可持续状态. 水资源供需矛盾不断加剧, 水资源与经济、社会、环境发展不协调, 水资源产生危机.

参考文献:

- [1] WCED, World Commission on Environment and Development, Our Common Future [M]. Oxford University Press, UK, 1987.
- [2] 陈 宁, 张彦军. 水资源可持续发展的概念, 内涵及指标体系 [J]. 地域研究与开发, 1998, 17(4): 37-39.
- [3] 张永勇, 夏 军, 王中根. 区域水资源承载力理论与方法探讨 [J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 126-132.
- [4] 王文国, 龚久平, 青 鹏, 等. 重庆市水资源生态足迹与生态承载力分析 [J]. 生态经济, 2011(7): 159-162.
- [5] REES W E. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [6] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [7] 张 义, 张合平, 郭 琳. 我国水生态足迹研究进展 [J]. 水电能源科学, 2013, 31(2): 57-60, 243.
- [8] 王文国, 何明雄, 潘 科, 等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(9): 1555-1565.
- [9] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法 [J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1279-1286.
- [10] 孟丽红, 叶志平, 等. 江西省 2007—2011 年水资源生态足迹和生态承载力动态特征 [J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 256-261.
- [11] 卢 艳, 于鲁冀, 王燕鹏, 等. 河南省水资源生态足迹和生态承载力分析 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 182-186.
- [12] 赵春芳, 董朝阳, 伍 磊, 等. 浙江省水资源生态足迹时空格局 [J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 242-248.
- [13] 李赫龙, 林 佳, 等. 福建省水资源生态足迹时空差异及演变特征 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 2015, 31(6): 109-116.

- [14] 杨倩, 孙铖, 李山勇, 等. 湖北水资源生态承压能力的时空分异特征 [J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 289-295, 302.
- [15] 晓兰, 王丹丹, 等. 内蒙古东部地区水资源生态足迹比较分析 [J]. 环境科学与技术, 2016, 39(7): 193-199.
- [16] 王荣森, 张宇舟, 等. 安徽省与江苏省水资源生态足迹比较分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2017, 19(2): 106-110.
- [17] 周悦, 谢屹. 基于生态足迹模型的辽宁省水资源可持续利用分析 [J]. 生态学杂志, 2014, 33(11): 3157-3163
- [18] 方伟成, 孙成访. 基于水资源生态足迹模型的东莞市水资源可持续性研究 [J]. 水电能源科学, 2014, 32(1): 25-28.
- [19] 青岛市气象局[OL]. <http://qdqx.qingdao.gov.cn/qxfw/59.html>
- [20] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水资源承载力内涵的新认识 [J]. 水利学报, 2004, 35(1): 38-45.
- [21] 段春青, 刘昌明, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨 [J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82-90.
- [22] 谭秀娟, 郑钦玉. 我国水资源生态足迹分析与预测 [J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3559-3568.
- [23] 张海林, 吴立进, 等. 青岛市主要水源地地下水资源潜力评价方法研究 [J]. 能源技术与管理, 2017, 42(2): 159-161.
- [24] 张绪良, 付炳中, 陈东景. 青岛市生态环境需水量研究 [J]. 节水灌溉, 2008(11): 1-6.

Sustainable Analysis of Water Resources in Qingdao Based on Ecological Footprint Theory

LAN Jian-qi¹, XIE Shi-you^{1,2}

1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Laboratory of Eco-Environment in the Three-Gorge Reservoir Region (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to understand the sustainable use of water resources in Qingdao in recent years, the ecological footprint theory, combined with the water use efficiency index, the water ecological pressure index and the water resources sustainability index, the water resources ecological footprint and ecological carrying capacity of Qingdao from 2011 to 2017 have been used and the sustainable use of water resources been evaluated. The results show that during the period of 2011-2017, the ecological footprint of Qingdao's water resources will first decline and then rise and fluctuate. The ecological carrying capacity of water resources has shown a decreasing trend as a whole. The ecological carrying capacity of per capita water resources in Qingdao has reached 0.032 hm²/person, far less than the average level in China. Different years are at different levels of water resources ecological deficits, relying heavily on passenger water, and trans-basin water transfer has become the main source of surface water in Qingdao. The ecological footprint of water resources per 10,000 yuan GDP has shown a downward trend as a whole. The utilization efficiency of water resources in Qingdao has been increasing year by year. Water resources development and utilization are ecologically unsafe and unsustainable. In order to realize the sustainable utilization and development of water resources in Qingdao, firstly, control the scale of the city; secondly, expand the water source, accelerate the construction of water transfer and water source projects, and develop a circular economy; and finally, do a good job in water resources management and protection, and the most stringent water resources management. The system is implemented and a water-saving society is established.

Key words: Qingdao; ecological footprint of water resources; sustainable analysis