

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.12.017

中小城市水资源生态足迹与生态承载力时空分析

——以宿迁市为例

侯焮晨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: 为研究中小城市水资源消耗情况和可持续利用状态, 以江苏省宿迁市为例, 利用水资源生态足迹分析方法对宿迁市 2011—2017 年水资源生态足迹、生态承载力的时空变化进行分析, 结果表明: 宿迁市水资源生态足迹呈先下降后上升的趋势, 2015 年最低, 为 $42.84 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 2017 年最高, 为 $50.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$; 水资源生态承载力呈波动发展趋势与降水量成显著正相关关系; 万元 GDP 水资源生态足迹呈逐步下降的趋势; 泗洪县和泗阳县生态赤字现象较轻缓, 工宿豫区和沭阳县较严重. 建议合理利用水利工程, 提高水资源的利用效率, 优化地区用水结构.

关键词: 中小城市; 宿迁市; 水资源生态足迹; 水资源生态承载力; 生态赤字; 可持续发展

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)12-0134-08

进入 21 世纪以来, 随着我国城市化进程的加速, 作为社会经济发展新兴势力的中小型城市, 为创造更多的社会经济价值, 对自然资源的需求也越来越大, 自然资源被开发利用程度也越来越高, 经常出现资源短缺、生态破坏等现象, 由此可持续发展理念逐渐成为当代社会的主导理念. 在可持续发展战略中, 对自然资源的利用状况是自然地理科学研究的重点. 生态足迹理论由 William E R^[1] 在 1992 年首先提出, 其大致含义为: 具有一定的能够容纳人类排放废物的、提供人类社会发展物质资源的、具有生物生产能力的地域面积. 人们对自然资源的利用相当于在其表面留下了足迹, 生态足迹的值越高, 表示人类对它的破坏程度越高. 在 Wackernagel 对生态足迹理论的完善和推动下^[2-3], 该理论被用来计算区域生态足迹总供给与总需求之间的差值, 以此反映当地生态资源环境的利用状况. 若差值小于零, 即出现生态赤字, 表示该区域内自然资源被利用程度超过自身限度, 该区域资源不可持续发展; 若差值大于零, 即出现生态盈余, 表示该区域内自然资源被利用情况在自身限度内, 该区域资源可以持续发展.

水资源不仅是控制生态环境的基本自然资源, 也是社会全面发展的物质基础和国家综合发展的战略经济资源. 由于 Wackernagel 的计算模型对水域账户的计算不完善, 针对这一问题, 国内学者^[4-8]建立了水资源生态足迹模型, 用来评价国内区域水资源开发利用程度和可持续利用潜力, 并被广泛用于区域水资源的评价. 国际上, Venetoulis^[9], Luck^[10], Jenerette^[11] 等分别对美国的大学、城市以及城市通道的水足迹进行了研究分析; 国内学者们利用水足迹模型对珠海、成都、河南、四川、重庆、山东、江西、上海等地^[12-17]进行了不同角度的计算与研究, 证明了该模型的普遍适用性, 同时为各地区水资源的可持续发

收稿日期: 2019-07-29

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项目(XDJK2015C006, SWU114058).

作者简介: 侯焮晨(1995—), 男, 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, 教授.

展提供了方法与建议。

本文在现有基础上, 将生态足迹模型应用到对中小城市的研究中, 并以江苏省宿迁市为例, 对宿迁市 2011—2017 年水资源生态足迹和生态承载力进行计算与分析, 研究全市及其各个区县的水资源生态足迹和生态承载力的空间分布特征, 拟为宿迁市以及诸多新兴中小型城市水资源的开发利用程度以及利用效率提供科学依据, 为可持续发展战略的贯彻提供参考。

1 研究区状况和研究方法

1.1 研究区域概况

宿迁市位于江苏省北部, $33^{\circ}12'17''-34^{\circ}24'38''N$, $117^{\circ}6'19''-119^{\circ}12'50''E$, 辖沭阳县、泗阳县、泗洪县、宿城区和宿豫区。宿迁市地处秦岭—淮河分界线上, 属温带季风气候, 冬季寒冷干燥, 降水稀少, 夏季高温多雨; 因该市位于华北平原南部, 地形平坦, 土地肥沃, 农业发展迅速。宿迁市地处淮河、沂沭泗流域中下游, 南临洪泽湖, 北接骆马湖。年均降水量 910 mm, 受季风影响, 降水年际间变化不大, 但分布不均匀, 易形成春旱、夏涝、秋冬干燥天气。根据江苏省 2017 年水资源公报显示, 宿迁市的降水量位于江苏省第六位, 水资源总量位于第七位, 水资源总量较为匮乏。

1.2 研究方法

1.2.1 水资源生态足迹模型

水资源生态足迹指在特定人口和经济状况下, 将社会发展、人类生存等必备的水资源量折算为所必须的生态生产性面积, 通过国家或地区产量因子和均衡因子参数, 得到国家或地区范围内可以进行比较的均衡值, 其计算模型如下:

$$EF_w = N \times ef_w = N \times \gamma_w \times (W/p_w) \quad (1)$$

式中: EF_w 为水资源总生态足迹 (hm^2); γ_w 为水资源均衡因子; W 为人均消耗的水资源量 (m^3); p_w 为世界水资源的平均生产能力 (m^3/hm^2); N 为人口总数; ef_w 为人均水资源生态足迹 ($hm^2/人$)。其中, 均衡因子 γ_w 为 5.19; 水资源全球平均生产能力 p_w 值为 $3\ 140\ m^3/hm^2$ ^[4]。

1.2.2 水资源生态承载力模型

水资源承载力是指水资源对区域社会经济发展支持的最大阈值。有研究显示^[17], 一个国家和地区的水资源承载力中必须至少扣除 60% 用于维持生态环境。本文在水资源生态承载力计算中按上述原则扣除维持生态环境的水资源量, 其计算模型如下:

$$EC_w = N \times ec_w = 0.4 \times \phi \times \gamma_w \times Q/p_w \quad (2)$$

式中: EC_w 为水资源承载力 (hm^2); ec_w 为人均水资源承载力 ($hm^2/人$); ϕ 为区域水资源的产量因子; Q 为水资源总量 (m^3)。其中, 区域水资源的产量因子 ϕ 是该区域水资源平均生产能力与世界水资源平均生产能力的比值, 经查阅相关资料, 江苏省产量因子为 1.02。各地产量因子为多年水资源量平均生产能力与世界水资源生产能力的比值, 经计算得到宿迁市水资源产量因子为 1.01。

1.2.3 水资源生态盈余/赤字

生态盈余/赤字是当地水资源生态承载力与水资源生态足迹的差值, 是判断当地水资源利用是否已经超过其自身承载力的工具, 可以评判区域内水资源的可持续利用状况^[18], 其计算公式如下:

$$M = EC_w - EF_w \quad (3)$$

式中: M 为水资源生态盈余/赤字。当 $M > 0$ 时, 代表区域内水资源的供给大于需求, 水资源可以持续利用; $M = 0$ 时, 为水资源临界状态; $M < 0$ 时, 表明区域内水资源的需求大于供给, 水资源不可持续利用。

1.2.4 万元 GDP 水资源生态足迹

万元 GDP 水资源生态足迹是一个国家或地区水资源生态足迹与 GDP 的比值, 用来衡量用水效率, 其计算公式如下:

$$O = EF_w / GDP \quad (4)$$

式中: O 为万元 GDP 生态足迹. O 越大, 表明该国家或地区水资源利用效率越高; 反之越小.

1.2.5 数据来源

宿迁市人口数、GDP 值来源于《宿迁市统计年鉴(2011—2017)》与《江苏省统计年鉴(2011—2017)》; 宿迁市水资源总量等相关数据来源于《宿迁市水资源公报(2011—2017)》; 江苏省水资源总量数据来源于《江苏省水资源公报(2017)》.

2 结果与分析

2.1 宿迁市历年水资源生态足迹与生态承载力

2.1.1 宿迁市生态足迹、生态承载力、生态赤字以及万元 GDP 生态足迹

如图 1 所示, 在 2011—2017 年间, 宿迁市水资源生态足迹最大值出现在 2016 年, 为 $51.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 最小值出现在 2015 年, 为 $42.84 \times 10^6 \text{ hm}^2$. 其变化可以分为 3 个阶段: 2011 年至 2015 年为第一阶段, 呈下降趋势, 水资源生态足迹由 $50.22 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 下降到了 $42.84 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 下降幅度为 14.7%; 2015 年至 2016 年为第二阶段, 水资源生态足迹由 $42.84 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 增长到 $51.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 2016 年达到峰值, 增长率为 19.0%; 2016—2017 年为第三阶段, 水资源生态足迹下降到 $50.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 下降幅度为 1.1%, 增减幅度最小.

如图 2 所示, 宿迁市万元 GDP 水资源生态足迹最大值出现在 2011 年, $3.8 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$, 最小值出现在 2017 年, 为 $1.9 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$. 从各年数据来看, 除 2016 年相较 2015 年稍有上升以外, GDP 水资源生态足迹总体上呈缓慢下降趋势, 下降幅度分别为 19.5%、14.4%、13.7%、11.1%、10.2%. 就其原因, 宿迁市在大力发展经济的同时, 水资源的开发利用效率有所提高, 民众的节水意识增强, 污水处理方式得到创新发展. 从总体发展趋势来看, GDP 水资源生态足迹从 2011 年的 $3.8 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$ 下降到了 2017 年的 $1.9 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$, 下降幅度为 57.9%, 下降的幅度较大, 说明宿迁市水资源利用率总体上提高较快.

如图 3 所示, 宿迁市水资源生态承载力最大值出现在 2014 年, 为 $21.31 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 最小值出现在 2013 年, 为 $7.02 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 增加幅度为 203.6%. 除 2013 年为枯水年, 2016 年为丰水年以外, 其他年份数值差距不大, 总体上呈现波动的趋势. 从表 1 可以看出, 2013 年全市降水总量为 $60.73 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比上一年下降 24.6%, 当年的水资源总量为 $10.51 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比上一年下降 62%, 导致当年的水资源生态承载力同样下降了 62%, 属于枯水年. 从图 4 可以看出, 宿迁市水资源生态承载力与降水量之间的相关系数为 0.972 7. 因此, 宿迁市水资源生态承载力和当年降水量呈显著正相关关系.

表 1 宿迁市 2011—2017 年降水总量和水资源总量

年份	降水总量/ 亿 m^3	水资源总量/ 亿 m^3	年份	降水总量/ 亿 m^3	水资源总量/ 亿 m^3
2011	77.50	27.13	2015	71.67	22.70
2012	80.53	27.60	2016	84.33	31.39
2013	60.73	10.51	2017	80.16	27.63
2014	82.98	31.92			

注: 表中数据来源于《宿迁市水资源公报》《宿迁市统计年鉴》.

经过计算发现 2011—2017 年宿迁市的水资源生态盈余均为负值(表 2), 水资源均出现生态赤字. 由于降水分布不均匀以及年降水量的差别, 宿迁市水资源生态赤字在所调查的 7 年内, 呈现波动上升趋势, 最大值出现在 2013 年, 数值为 $-37.77 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 最小值出现在 2014 年, 为 $-22.34 \times 10^6 \text{ hm}^2$. 由于生态盈余/赤字等于生态承载力和生态足迹的差值, 所以宿迁市生态足迹除 2013 年受降水量影响导致生态承载力相较于其他年份较低以外, 生态赤字呈现波动下降趋势; 在宿迁市生态足迹急剧增长的 2 年中(2016 年、2017 年), 宿迁市的生态赤字相较于 2014 年、2015 年有上升的趋势.

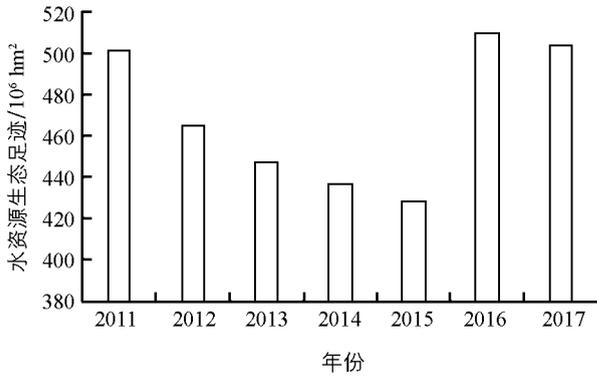


图 1 宿迁市 2011—2017 年水资源生态足迹变化

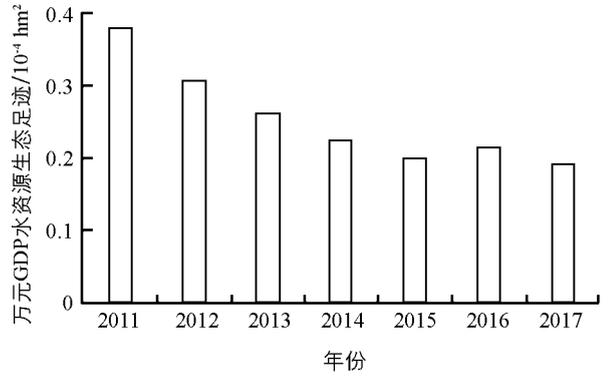


图 2 宿迁市 2011—2017 年万元 GDP 水资源生态足迹变化

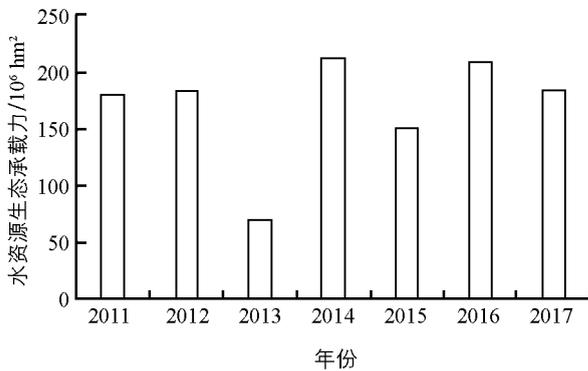


图 3 宿迁市 2011—2017 年水资源生态承载力变化

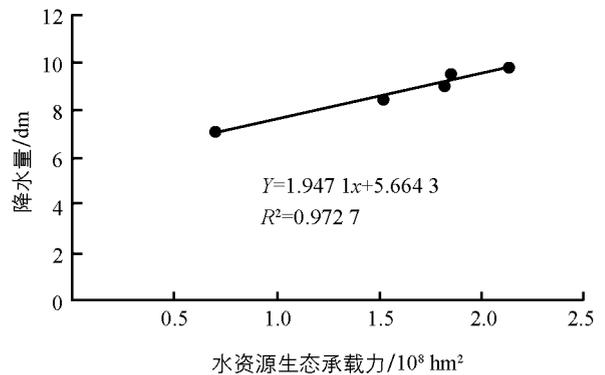


图 4 宿迁市水资源生态承载力与降水量之间的关系

从表 2 中可以看出, 宿迁市全市人均水资源生态承载力最大值出现在 2014 年, 为 $36.7 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 最小值出现在 2013 年, 为 $12.27 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$. 人均水资源生态足迹在 2011—2015 年呈下降趋势, 2016 年有显著上升, 2017 年保持平稳. 最大值为 2011 年的 $90.48 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 最小值为 2015 年的 $73.07 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 下降幅度为 19.24%, 全市人均水资源生态足迹保持在 $73.07 \times 10^6 \sim 90.48 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$ 之间, 人均生态赤字数值范围为 $38.47 \times 10^6 \sim 66.01 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$.

区域角度上, 水资源生态足迹最大值出现在宿豫区, 其值为 2013 年的 $121.85 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 最小值出现在宿城区, 其值为 2013 年的 $22.18 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$. 生态承载力最大值出现在泗洪县, 其值为 2011 年的 $84.91 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 最小值同样出现在泗洪县, 其值为 2013 年的 $7.20 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$. 生态赤字最严重的为宿豫区, 其值为 2011 年的 $108.21 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 最轻微的出现在泗洪县, 其值为 2016 年的 $4.77 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$. 因为 2016 年为丰水年, 泗洪县境内洪泽湖水位上涨, 水资源总量增加, 导致当年该县水资源承载力较高, 生态赤字程度相较于其他区县以及宿迁市全市都比较轻微.

2.1.2 宿迁市各生产账户生态足迹、生态承载力

从表 3 中可以看出, 2011—2017 年宿迁市全市的人均生产用水生态足迹占总生态足迹的比重最大, 为 87%, 其次为人均生活用水生态足迹, 占比为 3%, 最小为人均生态用水生态足迹, 占总量的 10%. 由于宿迁市加大对第二、三产业的发展力度, 以及对生态环境、绿色经济发展的重视, 生产用水生态足迹和生态用水生态足迹的比重上升. 在生态足迹各账户中, 占全市人均水资源生态足迹比重最大的为生产账户, 占比为 86%; 其次为生活用水账户, 占比为 9%; 生态环境用水账户, 占比为 5%.

各区县生态足迹各账户与全市占人均水资源生态足迹的比重趋势与全市大致相同. 沭阳县由于人口众多, 经济发展迅速, 且第二、第三产业发展较为成熟, 生活用水生态足迹和生产用水生态足迹占总生态足迹的比重最大; 宿城区由于大力发展绿色经济, 耗水型产业逐步迁出, 因此其生态用水生态足迹占总生态足迹比重最大.

表 2 宿迁市历年各水资源人均生态足迹、生态承载力与生态盈余

/(10⁶ hm²/人)

年份	宿 城 区			宿 豫 区			沐 阳 县		
	生态足迹	生态承载力	生态盈余	生态足迹	生态承载力	生态盈余	生态足迹	生态承载力	生态盈余
2011	36.38	14.70	-21.69	127.22	19.02	-108.21	69.41	19.88	-49.53
2012	58.41	23.60	-34.81	112.28	34.47	-77.81	62.46	22.60	-39.86
2013	22.18	9.00	-13.22	121.85	14.17	-107.68	58.39	15.60	-42.80
2014	46.94	19.00	-27.98	117.17	41.02	-76.15	56.61	30.26	-26.36
2015	32.20	13.00	-19.19	117.39	17.64	-99.75	57.60	16.01	-41.59
2016	36.88	14.90	-21.98	108.08	40.22	-67.86	57.73	27.02	-30.71
2017	51.85	20.95	-30.90	96.76	26.59	-70.17	58.63	18.64	-40.00
年份	泗 阳 县			泗 洪 县			宿 迁 市(全 市)		
	生态足迹	生态承载力	生态盈余	生态足迹	生态承载力	生态盈余	生态足迹	生态承载力	生态盈余
2011	86.08	29.17	-56.92	98.09	84.91	-13.18	90.48	32.64	-57.84
2012	83.44	29.89	-53.55	88.47	61.15	-27.32	83.10	32.90	-50.20
2013	79.11	13.53	-65.58	84.17	7.20	-76.97	78.28	12.27	-66.01
2014	73.19	26.19	-47.00	81.98	72.57	-9.41	75.17	36.70	-38.47
2015	68.29	28.55	-39.74	79.78	58.24	-21.54	73.07	25.86	-47.22
2016	70.63	25.77	-44.87	81.93	77.16	-4.77	86.21	35.44	-50.78
2017	71.25	26.48	-44.77	78.43	71.55	-6.88	85.34	31.22	-54.12

注:表中数据来源于《宿迁市水资源公报》《宿迁市统计年鉴》。

表 3 宿迁市历年人均水资源生态足迹

/(10⁶ hm²/人)

年份	宿 城 区			宿 豫 区			沐 阳 县		
	生 活	生 产	生 态	生 活	生 产	生 态	生 活	生 产	生 态
2011	0.000 81	0.007 09	0.000 70	0.000 47	0.008 14	0.000 53	0.001 42	0.010 71	0.000 81
2012	0.000 86	0.007 76	0.000 17	0.000 45	0.007 66	0.000 18	0.001 48	0.010 15	0.000 36
2013	0.000 90	0.007 23	0.000 30	0.000 49	0.007 31	0.000 35	0.001 57	0.009 55	0.000 69
2014	0.000 86	0.006 62	0.000 47	0.000 49	0.007 36	0.000 18	0.001 30	0.009 49	0.000 17
2015	0.000 91	0.005 98	0.000 88	0.000 57	0.006 78	0.000 40	0.001 27	0.009 72	0.000 27
2016	0.000 74	0.005 85	0.000 23	0.000 45	0.006 48	0.000 27	0.001 00	0.010 17	0.000 21
2017	0.001 01	0.006 43	0.000 25	0.000 54	0.005 62	0.000 24	0.001 35	0.010 01	0.000 23
年份	泗 阳 县			泗 洪 县			宿 迁 市(全 市)		
	生 活	生 产	生 态	生 活	生 产	生 态	生 活	生 产	生 态
2011	0.000 58	0.007 83	0.000 49	0.000 67	0.008 87	0.000 52	0.003 94	0.043 24	0.003 05
2012	0.000 68	0.007 90	0.000 68	0.000 65	0.008 66	0.000 02	0.004 11	0.041 54	0.000 31
2013	0.000 74	0.007 53	0.000 51	0.000 70	0.008 31	0.000 04	0.004 40	0.039 90	0.000 49
2014	0.000 72	0.006 92	0.000 15	0.000 70	0.008 13	0.000 10	0.004 07	0.038 51	0.001 07
2015	0.000 69	0.006 42	0.000 18	0.000 66	0.007 97	0.000 15	0.004 10	0.036 87	0.001 88
2016	0.000 54	0.006 93	0.000 11	0.000 56	0.008 38	0.000 16	0.005 68	0.035 41	0.000 97
2017	0.000 77	0.006 68	0.000 19	0.000 81	0.007 67	0.000 14	0.004 47	0.036 41	0.001 05

注:表中数据来源于《宿迁市水资源公报》《宿迁市统计年鉴》。

2.1.3 宿迁市三大产业生态足迹、生态承载力

从图 4 可以看出,宿迁市第一产业人均水资源足迹除 2014 年略有上升外,其他调查年份整体上呈现先下降后上升的发展趋势;第二产业人均水资源生态足迹呈现先上升后下降的趋势,2013 年达到最大值,

2015 年后降幅缩小, 变动趋于平缓; 第三产业人均水资源生态足迹变动趋势与第一产业相反, 除 2014 年略有下降外, 其他调查年份整体上呈现先上升后下降的发展趋势。

2.2 宿迁市 2011—2017 年各区县水资源生态足迹和生态承载力

从表 2 可以看出, 宿豫区人均水资源生态足迹高于宿迁全市水平, 该区为工业经济较发达地区, 人均生态足迹在 $112 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$ 以上; 泗阳县、泗洪县人均水资源生态足迹与宿迁全市水平大致相同; 沭阳县、宿城区人均水资源生态足迹低于宿迁全市人均水平, 尤其是宿城区, 人均水资源均在 $58 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$ 以下, 远低于全市人均水平。

从水资源生态承载力来看, 各区县水资源生态承载力受当年降水量影响严重。2013 年, 宿迁市降水量相较 2012 年下降了 24.6%, 水资源总量最充沛的泗洪县, 水资源生态承载力由 2012 年的 $61.15 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 下降到了 2013 年的 $7.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 下降了 88.2%, 下降幅度巨大。水资源生态承载力最低的沭阳县, 也由 2012 年的 $22.60 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 下降到 2013 年的 $15.60 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 下降了 31.0%。

从万元 GDP 水资源生态足迹来看, 经济最发达的沭阳县和宿城区均低于全市水平; 水资源充足以及大力发展绿色经济的泗洪县、宿豫区均高于全市水平; 泗阳县与宿迁全市水平保持接近。从宿迁全市来看, 宿迁市万元 GDP 水资源生态足迹呈下降趋势, 其中, 2011—2015 年下降幅度最大, 为 47%。宿迁市 2011—2015 年 GDP 增长 61%, 经济发展迅速。但由于大力发展绿色经济, 万元 GDP 水资源生态足迹因此也逐年下降。

从水资源生态盈余/赤字角度来看, 宿迁市水资源利用状况出现严重的赤字, 水资源的供给远远小于需求, 水资源的利用程度在不断加大。其中, 生态赤字最为严重的是宿豫区, 人均生态赤字的最大值为 $-108 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 其次为沭阳县、泗阳县, 泗洪县由于水资源总量较为丰富, 人均水资源生态赤字为轻度, 最后是宿城区, 人均生态赤字 $-20 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。各区县均出现不同程度的生态赤字, 说明当地水资源的消耗在不断增加。

水资源承载力是水安全的基本度量, 其大小是决定社会经济发展速度和规模的条件之一。根据 2017 年的水资源统计数据, 宿迁市的水资源总量位于江苏省的第七位, 属于中度缺水城市, 水资源生态承载力较低。由于经济发展迅速, 对水资源的需求越来越大, 水资源生态足迹较大, 生态盈亏上呈现严重的赤字。根据万元 GDP 水资源生态足迹的概念, 宿迁市万元 GDP 水资源生态足迹呈逐年下降的趋势表明宿迁市对水资源的利用效率正在逐步提高。宿豫区和沭阳县, 本身的水资源总量并不多, 但是由于人口众多, 对水资源的开发利用程度很高, 导致生态赤字相当严重。泗洪县和宿豫区, 虽然本身的水资源总量比较多, 但是在社会经济发展中, 对水资源的开发利用程度超过了自身的承载力, 出现了生态赤字。宿城区作为主城区, 能耗型较大的产业已经迁出城区, 但由于水资源总量较低, 出现了轻微的生态赤字。

宿迁市全市水资源生态足迹较高的地方为宿豫区、泗洪县和沭阳县, 最高的为宿豫区。这是因为该地区是宿迁市工业发展的基地, 对水资源的开发利用程度很高, 且利用效率不佳。沭阳县作为宿迁市最大的区县, 人口众多, 经济发展较快, 对水资源的需求量也大于周边区县。自 2016 年以来, 沭阳县经济以发展轻工业和重工业结合的新型工业模式为主, 对于水资源的开发利用程度明显高于其他的区县, 水资源生态足迹也高于其他区县; 宿城区作为市政府所在的辖区, 绿化环境较好, 且区内重工企业数量较少, 所以水资源生态足迹在宿迁市内最低; 泗洪县虽然水资源较为丰富, 域内流经淮河, 且洪泽湖的蓄水功能良好, 但由于产业结构中以耗水型产业为主, 对水资源的开发利用程度较高, 而对水资源的利用效率却较低, 导致其生态足迹较高。

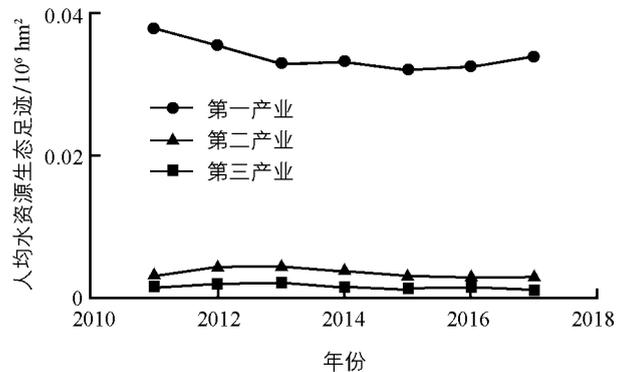


图 5 宿迁市人均水资源生态足迹生产账户历年变化

3 结论与建议

3.1 研究结论

1) 从生态足迹的角度来看, 宿迁市水资源生态足迹呈先下降后上升的趋势, 由 2011 的 $51.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 下降到 2015 的 $42.84 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 下降幅度为 14.7%, 再上升到 2017 年的 $50.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 上升幅度为 17.7%。水资源生态足迹在 2016 年开始回涨且趋于较高值。万元 GDP 生态足迹除 2016 年有较小幅度的增长外, 其他调查年份呈现下降趋势。由 2011 年的 $3.8 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$ 下降到 2017 年的 $1.9 \times 10^{-4} \text{ hm}^2$, 下降幅度为 50%。

2) 从生态承载力的角度来看, 宿迁市水资源生态承载力除 2013 年为枯水年外, 其它调查年份呈现平稳波动的发展趋势。宿迁市水资源生态承载力与降水量成显著的正相关。宿迁市水资源生态承载力受降水量的影响很大, 降水量越大, 水资源生态承载力越高, 反之越低。

3) 从生态赤字的角度来看, 2011—2017 年间宿迁市水资源生态赤字现象严重, 人均水资源生态赤字最低值为 $-66.011 \times 10^6 \text{ hm}^2/\text{人}$, 与成都、武汉等水资源总量充沛的城市比较, 宿迁市的人均水资源生态赤字现象十分严重。

3.2 可持续发展的建议

中小型城市普遍存在追求经济增长、对水资源等自然资源开发利用过度等现象, 本文以宿迁市为例, 对水资源生态足迹和生态承载力存在的主要问题提出相关建议。宿迁市水资源生态足迹和生态承载力存在 2 个主要的问题: ① 水资源总量欠缺, 水资源生态承载力低; ② 虽然宿迁市并非以耗水型产业发展为主, 但由于水资源利用程度较高, 且利用方式不合理, 水资源生态足迹高, 水资源生态赤字严重。由此给出以下两点建议: ① 采取多渠道开源的形式增加水资源供给, 丰水年蓄水, 枯水年进行水资源补给, 确保各年间水资源总量的稳定性, 以增加水资源生态承载力; ② 建议调整生产结构, 将耗水型产业逐渐改型为节水型产业, 减少对水资源的污染。针对水资源的开发利用程度大、利用效率较低, 本文认为, 需要提高企业和个人节水意识, 增强企业对水资源利用的效率, 督促当地环境部门加大督查力度以及发展循环经济, 完善污水排放制度, 推动污水处理后再利用; 此外, 应提高水资源的利用效率, 尤其是第一产业的用水重复率, 在促进经济发展的同时, 应以推动整个宿迁市经济社会的可持续发展为战略目标。

参考文献:

- [1] WILLIAM E R. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out? [J]. Environ Urban, 1992, 4: 121-130.
- [2] WACKERNAGEL, MATHIS. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [3] WACKERNAGEL M, ONISTO I, BELLO P. National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375-390.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 邱微, 樊庆铎, 赵庆良, 等. 黑龙江省水资源生态承载力计算 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(6): 1000-1003.
- [7] 李培月, 钱会, 吴健华, 等. 银川市 2008 年水资源生态足迹研究与分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 69-71.
- [8] 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.
- [9] VENETOULIS J. Assessing the Ecological Impact of a University: The Ecological Footprint for the University of Redlands [J]. International Journal of Sustainability in Higher Education, 2001, 2(2): 180-196.
- [10] LUCK M A, JENERETTE G D, WU J G. The Urban Funnel Model and the Spatially Heterogeneous Ecological Footprint [J]. Ecosystems, 2001, 4(8): 782-796.
- [11] JENERETTE G D, WU W L, GOLDSMITH S, et al. Contrasting Water Footprints of Cities in China and the United States [J]. Ecological Economics, 2006, 57(3): 346-358.

- [12] 陈栋为, 陈晓宏, 孔 兰. 基于生态足迹法的区域水资源生态承载力计算与评价——以珠海市为例 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2224-2229.
- [13] 熊娜娜, 谢世友. 成都市水资源生态足迹及承载力时空演变研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(6): 118-126.
- [14] 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.
- [15] 丁 华, 邱卫国. 基于生态足迹的上海市水资源生态承载力评价 [J]. 人民长江, 2013, 44(15): 19-21.
- [16] 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, 27(7): 159-162.
- [17] 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], 水土保持学报, 2015, 35(1): 256-261.
- [18] 范晓秋. 水资源生态足迹研究与应用 [D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [19] 叶 田, 杨海真. 生态足迹模型的修正与应用 [J]. 环境科学与技术, 2010, 33(s1): 449-454.

A Spatial and Temporal Analysis of Water Resources Ecological Footprint and Ecological Carrying Capacity in Small and Medium-Sized Cities

——A Case Study of Suqian City

HOU Xin-chen¹, XIE Shi-you^{1,2}

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

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

Abstract: In order to study the situation of water consumption and sustainable utilization in small and medium-sized cities, a case study was made of Suqian city of Jiangsu province, in which the spatio-temporal changes from 2011 to 2017 in the ecological footprint and ecological capacity of water resources of this city were analyzed. The results showed that the ecological footprint of water resources in Suqian city first decreased and then increased, the lowest being in 2015 ($42.84 \times 10^6 \text{ hm}^2$), and the highest in 2017 ($50.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$); that the ecological carrying capacity of water resources showed a fluctuating development trend and was in a significant positive correlation with precipitation; that the ecological footprint of water resources with a GDP of 10 000 yuan was gradually decreasing; and that the ecological deficit was moderate in Sihong and Siyang counties, and more serious in Suyu district and Shuyang county. It is, therefore, proposed to make reasonable use of water conservancy projects, improve the utilization efficiency of water resources, and optimize the regional water consumption structure.

Key words: small and medium-sized cities; Suqian city; ecological footprint of water resource; ecological carrying capacity of water resources; ecological deficit; sustainable development

责任编辑 胡 杨