

吉林省水资源可持续利用的水足迹模型分析

陈晓颖

辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2025年5月23日; 录用日期: 2025年7月28日; 发布日期: 2025年8月6日

摘要

伴随现代化进程的加快, 城市人口规模不断扩大, 对水资源的需求日益增加。水资源紧张已不再是少数缺水地区所面临的问题, 正逐渐成为全国城市发展过程中的共性问题。水足迹理论使得水资源逐渐变得社会化, 从过往只对资源进行研究的角度逐步拓展到了社会经济领域, 为研究水资源可持续发展不断提供新思路。本研究从吉林省水资源现状入手, 利用水足迹理论分析了吉林省的水足迹及其变化特征, 并对吉林省水资源可持续发展做出了综合性评价。结果表明: 2016~2020年吉林省总水足迹年际含量总体上呈现出下降趋势, 但农产品水足迹仍然占比较大, 消耗水资源较多。另外, 吉林省水资源自给率始终保持在98%以上, 说明水资源有一定程度的可持续性, 但吉林省仍然面临着水资源压力较大的问题, 尤其是在吉林省工业用水方面, 整体呈现出持续增长的态势。保护水资源, 提高水资源的利用效率仍然是如今吉林省发展所必须要改善的一个重要方向。

关键词

水足迹理论, 吉林省, 水资源可持续利用

Analysis of Water Footprint Model for Sustainable Utilization of Water Resources in Jilin Province

Xiaoying Chen

School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning

Received: May 23rd, 2025; accepted: Jul. 28th, 2025; published: Aug. 6th, 2025

Abstract

With the acceleration of modernization, the population and scale of cities are constantly expanding, and the demand for water resources is increasing. The shortage of water resources is no longer a problem faced by a few water scarce areas, but is gradually becoming a common problem in the

process of urban development throughout the country. The water footprint theory makes water resources gradually become socialized, and gradually expands to the social and economic field from the perspective of only studying resources in the past, providing new ideas for the study of the sustainable development of water resources. Starting from the current situation of water resources in Jilin Province, this study analyzed the water footprint of Jilin Province and its change characteristics by using the water footprint theory, and made a comprehensive evaluation of the sustainable development of water resources in Jilin Province. The results show that the annual content of the total water footprint of Jilin Province in 2016~2020 shows a general downward trend, but the water footprint of agricultural products still accounts for a large proportion and consumes more water resources. In addition, the self-sufficiency rate of water resources in Jilin Province has always remained above 98%, indicating a certain degree of sustainability of water resources. However, Jilin Province still faces significant pressure on water resources, especially in terms of industrial water use in Jilin Province, which shows a sustained growth trend overall. Protecting water resources and improving the utilization efficiency of water resources is still an important direction that must be improved in the development of Jilin Province today.

Keywords

Water Footprint Theory, Jilin Province, Sustainable Utilization of Water Resources

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

水是人类赖以生存和发展的基本自然资源之一,但伴随着经济的快速发展以及人口数量的不断激增,人们对于水资源的污染和不合理利用,成为了我们如今要面临的主要问题之一。针对水足迹的深入探索,为区域水资源的优化配置与长效管控开辟了创新性的研究路径,并提出了切实可行的策略。2002年荷兰学者 Arjen Y. Hoekstra 基于虚拟水理论提出了水足迹的概念[1]。水足迹理论从生产和消费的角度出发,更全面、更真实地核算了居民对水资源的占用,说明了在生产生活中个人消费与水资源的联系,从而帮助人们认识到水资源的消耗与生产、个人消费产品的类型和数量密不可分,也为更好地管理水资源奠定了基础,促进了区域水资源的可持续发展[2]。

从国际上来说,水足迹研究主要集中在大尺度范围内[3]。比如, Hoekstra 和 Hung [4]两位学者主要从全球尺度核算了 1995~1999 年五年的水足迹,该研究是对水足迹的基础研究,在一些方面还不成熟,有待完善。Chapagain 等利用具有较高空间分辨率的地理信息数据和当地实际灌溉的真实数据,对水稻的绿色、蓝色和灰色水足迹进行了全球范围内的评价,通过研究发现绿色水足迹和蓝色水足迹的比例随时间和空间不同而变化很大[5]。E. Murphy 使用详细的农场数据来评估爱尔兰奶牛场的水足迹[6]。I. Zotou 估计了希腊 Mesogeia 地区的 42 种作物的水足迹,以期实现区域范围内水资源的高效分配[7]。首次提出水足迹不仅仅只停留于核算阶段、而应该在评估方面有更深入探索的学者是 Hoekstra [8]。

随着我国经济的快速发展,取得了较多的科研成果。吴兆丹等基于经济区域分析层次,探寻我国水足迹总量、部门结构及相关指标的经济区域间和区域内省区间异同点及差异成因,并列出国特色水安全保障体系构建中有必要调整用水的地区[9]。李玉文选取钱塘江与黑河流域典型地区为研究对象,从两者差异之中探求水资源管理存在的问题及可能带来的影响[10]。马骏将水足迹理论与生态补偿相结合,把

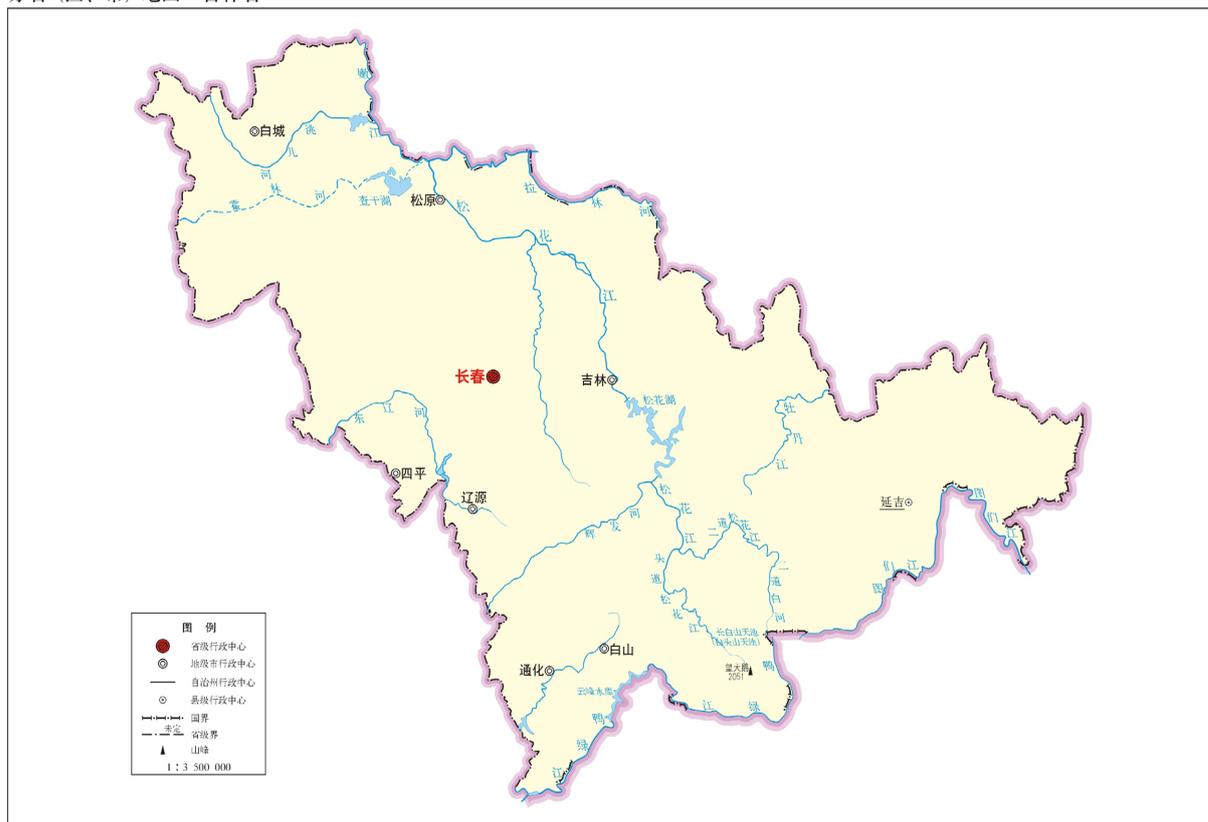
完善后水足迹测度模型的测度结果作为制定生态补偿机制和措施的重要依据，大大地提高了生态补偿机制的适应性和可操作性[11]。

此外，水足迹评价的最终目的是通过计算出产品水足迹以及整个区域的水足迹对当地水资源承载力和可持续利用的影响，因此，以水足迹为理论基础，从多维度制定水资源可持续利用战略方案，是进行水资源理论研究的必然趋势[12]。

2. 研究区域概况

吉林省位于中国东北地区中部，跨越 121°38'E~131°19'E 和 40°52'N~46°18'N，土地面积为 18.74×10^4 km²，吉林省分为 4 个区域：西部、中部、东中部和东部(见图 1)。

分省(区、市)地图—吉林省



审图号：GS(2019)3333号

自然资源部 监制

注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019) 3333 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Schematic map of the study area

图 1. 研究区示意图

吉林省水系主要包括五个部分，分别为松花江、绥芬河、辽河、鸭绿江和图们江等。大气降水是吉林省水资源主要来源，降水量大都集中在 6~9 月，夏季降水量较多。吉林省年平均降水量为 400~600 毫米，其中多年平均地表水资源量为 344.17 亿 m³，多年平均地下水资源量为 123.60 亿 m³，地表与地下水重复计算水资源量 68.94 亿 m³，全省多年平均人均水资源量 1498.3 m³，相当于全国人均水资源量 2220 m³ 的 67.5%，按照联合国计算指标，吉林省属于中度缺水地区，属于人口、生态双重缺水省份[13]。

3. 材料与方法

3.1. 分析方法

计算水足迹主要采用两种方法：自上而下的计算方法，以消费收支理论为基础；产品或服务消耗的水量首先考虑自下而上的计算方法[14]。以吉林省为研究，具体计算见公式(1)：

$$WF = IWF + OWF \quad (1)$$

式中， WF 是区域总水足迹(m^3/a)； IWF 是内部水足迹(m^3/a)，具体计算见公式(2)：

$$IWF = DWU + AWU + EWU + IWU - VEWI \quad (2)$$

在这个公式中， DWU 表示生活水足迹(m^3/a)； AWU 表示农业水足迹(m^3/a)； EWU 表示生态水足迹(m^3/a)； IWU 表示工业水足迹(m^3/a)。 $VEWI$ 本地出口水足迹量为(m^3/a) [15]。 OWF 为外部水足迹(m^3/a)，具体计算见公式(3)：

$$OWF = VWI - VWE2a.m \quad (3)$$

式中， VWI 为本地从其他国家或地区进口的水足迹总量(m^3/a)； $VWE2$ 为向其他国家或地区输出的进口产品再输出的水足迹总量。

3.1.1. 内部水足迹计算

(1) 农作物水足迹

农作物水足迹是评估作物耗水量的关键指标，可采用联合国粮农组织建议的彭曼公式精确测算不同作物的需水量[16]。

(2) 动物产品水足迹

动物性产品的水足迹取决于动物种类、养殖模式及其生长周期内的耗水总量。直接基于荷兰水文环境工程研究所研究的关于各国动物制品虚拟水分含量的中国数据[17]，计算出动物产品水足迹。

(3) 其他需水量

根据吉林省水资源公报各产业耗水情况得出具体数值。

(4) 水足迹净输出量

虚拟水净输出规模可通过其出口经济贡献占比与用水总量的乘积来量化。

3.1.2. 外部水足迹计算

外部水足迹指进口水足迹 VWI 减去本地进口再出口水足迹 $VWE2$ 。

3.1.3. 水足迹评价指标体系

Table 1. Water footprint evaluation index system of Jilin Province

表 1. 吉林省水足迹评价指标体系

目标层	准则层	表达式
水足迹结构指标	水资源进口依赖度	外部水足迹/水足迹 $\times 100\%$
	水资源自给率	内部水足迹/水足迹 $\times 100\%$
水足迹效益指标	万吨水足迹人口密度	区域人口总数/水足迹
	水足迹经济效益值	区域年 GDP/水足迹
	水足迹土地密度	水足迹/区域面积
	水足迹净贸易量	出口水足迹 - 进口水足迹

续表

水资源生态安全指标	水资源匮乏度	区域水足迹/可更新水资源量 × 100%
水资源可持续性性能指标	水足迹增长指数	(前一年水足迹 - 水足迹)/水足迹 × 100%

采用吴兆丹提出的水足迹评价方法，建立了相应的水足迹评价指标[18](见表 1)，水足迹评估体系包含四大核心维度：结构性指标、效益性指标、水资源生态安全指标以及可持续性指标。其中，结构性指标主要通过水资源进口依赖度和自给率来反映区域水资源供给特征。水足迹结构指标包括水资源进口依赖度和水资源自给率。水足迹效益指标包括了万吨水足迹人口密度、水足迹经济效益值、水足迹土地密度和水足迹净贸易量[19]。水资源生态安全评估中的关键指标——水资源匮乏度，用于量化区域水资源紧缺状况；而水足迹可持续性评估则采用水足迹增长指数作为核心测度指标。

3.2. 数据来源

本研究基于文献调研与区域农业生产特征分析，将吉林省作为典型研究区域，对其水资源利用状况进行系统考察。在研究对象选取方面，重点考虑以下维度：首先，农业生产部门涵盖主要粮食作物和经济作物的水足迹；其次，畜牧养殖业的水资源消耗；再次，第二产业的工业用水情况；此外，还包括城乡居民生活用水以及生态环境补水等关键指标。这一研究框架的确立，既借鉴了国内外相关研究成果，又充分结合了吉林省作为重要农业基地的实际情况。水文资料主要来自吉林省 2016~2020 年水资源公报以及其他资料作为补充。

4. 结果与分析

4.1. 水足迹计算结果

4.1.1. 农产品水足迹计算结果

从表 2 中我们可以得出，所选取的吉林省的主要农产品产量从大到小依次为玉米、稻谷、蔬菜、豆类、薯类、园林水果。玉米产量最大，2016~2020 年年均产量 3071.14 万吨，水果产量最少，2016~2020 年年均产量 22.30 万吨。

Table 2. Main crop production in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10⁴ t)

表 2. 吉林省 2016~2020 年主要农作物产量(单位: 万吨)

年份	稻谷 (万吨)	玉米 (万吨)	豆类 (万吨)	薯类 (万吨)	蔬菜 (万吨)	园林水果 (万吨)
2016	670.45	3286.28	55.00	41.55	348.01	17.26
2017	684.43	3250.78	67.08	42.95	356.64	17.19
2018	646.32	2799.88	62.75	36.18	438.15	24.32
2019	657.17	3045.30	77.04	31.44	445.39	26.25
2020	665.43	2973.44	72.82	31.80	464.87	26.46
平均值	664.76	3071.14	66.94	36.78	410.61	22.30

根据所收集的资料，该地区的农产品虚拟水含量如表 3 所示，通过进一步计算，我们即可得出吉林省 2016~2020 年农产品水足迹年际变化情况。

Table 3. Unit virtual water content of agricultural products**表 3.** 单位农产品虚拟水含量

名称	稻谷	水果	玉米	大豆	薯类	蔬菜
单位水产品虚拟水含量(m ³ /t)	1321	803	801	228	276	220

在表 4 当中我们可以得出从 2016~2020 年吉林省玉米在生产整个过程当中水足迹量最大, 平均达到了 246 亿 m³, 薯类在整个生产过程中的水足迹量最小, 平均达到了 1.02 亿 m³。此外, 吉林省的稻谷、水果、豆类、蔬菜年平均水足迹分别为 87.81 亿 m³、1.79 亿 m³、1.53 亿 m³、9.04 亿 m³。吉林省是我们国家极其重要的商品粮生产基地, 所以农作物产品的水足迹是农业水足迹的主要部分。

Table 4. The interannual changes in agricultural product water footprint in Jilin Province from 2016 to 2020 (Unit: 10⁸ m³)**表 4.** 吉林省 2016~2020 年农产品水足迹年际变化情况(单位: 亿 m³)

年份	稻谷 (亿 m ³)	水果 (亿 m ³)	玉米 (亿 m ³)	豆类 (亿 m ³)	薯类 (亿 m ³)	蔬菜 (亿 m ³)	总计 (亿 m ³)
2016	88.57	1.39	263.23	1.25	1.15	7.66	363.25
2017	90.41	1.38	260.39	1.53	1.19	7.85	362.75
2018	85.38	1.95	224.27	1.43	1.00	9.64	323.67
2019	86.81	2.11	243.92	1.76	0.87	9.80	345.27
2020	87.90	2.12	238.17	1.66	0.88	10.23	340.96
平均值	87.81	1.79	246.00	1.53	1.02	9.04	347.18

4.1.2. 动物产品水足迹计算结果

我们通过计算吉林省 2016~2020 年主要动物产品水足迹年际变化情况, 就可以得知吉林省动物产品的用水情况以及水足迹变化情况, 便于我们更好地对吉林省水足迹的变化进行进一步研究。

在表 5 当中我们可以看出所选取的主要动物产品年平均产量中从大到小依次为禽蛋、猪肉、牛肉、牛奶, 禽蛋产量最大, 平均为 122.81 万吨, 牛奶产量最少, 平均为 37.6 万吨。根据表 6 我们可以得知猪肉、牛肉、禽蛋、牛奶的虚拟水含量, 通过进一步计算后, 我们可以得出吉林省 2016~2020 年动物产品水足迹年际变化情况。

Table 5. Production of major animal products in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10⁴ t)**表 5.** 吉林省 2016~2020 年主要动物产品产量(单位: 万吨)

年份	猪肉 (万吨)	牛肉 (万吨)	牛奶 (万吨)	禽蛋 (万吨)
2016	126.59	37.21	36.04	132.46
2017	136.14	38.03	33.98	120.98
2018	126.99	40.66	38.83	117.11
2019	108.28	41.86	39.90	121.53
2020	105.03	38.70	39.26	121.95
平均值	120.61	39.29	37.60	122.81

Table 6. Unit virtual water content of livestock products
表 6. 单位动物产品虚拟水含量

名称	猪肉	牛肉	禽蛋	牛奶
单位水产品虚拟水含量(m ³ /t)	5455	13,290	1072	2428

通过计算,在表 7 当中我们可以得出吉林省 2016~2020 年动物产品水足迹中猪肉所消耗的最大,平均值为 65.79 亿 m³,牛奶的水足迹量最小,平均值为 9.13 亿 m³。此外,牛肉和禽蛋的水足迹平均值分别为 52.22 亿 m³、13.16 亿 m³。

Table 7. Interannual variation of livestock water footprint in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10⁸ m³)
表 7. 吉林省 2016~2020 年动物产品水足迹年际变化情况(单位: 亿 m³)

年份	猪肉 (亿 m ³)	牛肉 (亿 m ³)	牛奶 (亿 m ³)	禽蛋 (亿 m ³)	总计 (亿 m ³)
2016	69.05	49.45	8.75	14.20	141.45
2017	74.26	50.54	8.25	12.97	146.02
2018	69.27	54.04	9.43	12.55	145.29
2019	59.07	55.63	9.69	13.03	137.42
2020	57.29	51.43	9.53	13.07	131.32
平均值	65.79	52.22	9.13	13.16	140.30

4.1.3. 工业、生活、生态水足迹计算结果

我们通过计算吉林省 2016~2020 年工业、生活、生态水足迹的变化情况,可以进一步分析出吉林省水资源的消耗情况,并且有利于促进水资源可持续发展。

在表 8 中我们可以看出吉林省 2016~2020 年工业水足迹年际变化情况总体呈现出了不断增长的态势,从 2016 年的 5.55 亿 m³ 到 2020 年的 10.01 亿 m³,2016~2020 年平均值为 12.89 亿 m³,说明工业用水的水量不断上升。

Table 8. Interannual variation of industrial water footprint in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10⁸ m³)
表 8. 吉林省 2016~2020 年工业水足迹年际变化情况(单位: 亿 m³)

2016	2017	2018	2019	2020	平均值
5.55	18.11	16.72	14.08	10.01	12.89

在表 9 中我们可以看出吉林省 2016~2020 年生活水足迹年际变化总体同样是呈现出不断增长的情况,2016 年为 5.61 亿 m³,2020 年为 9.89 亿 m³,2016~2020 年生活水足迹年际变化平均值为 9.34 亿 m³,稍低于吉林省 2016~2020 年工业水足迹年际变化。

Table 9. Interannual variation of domestic water footprint in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10⁸ m³)
表 9. 吉林省 2016~2020 年生活水足迹年际变化情况(单位: 亿 m³)

2016	2017	2018	2019	2020	平均值
5.61	10.51	10.63	10.04	9.89	9.34

通过表 10 我们可以看出吉林省 2016~2020 年生态水足迹年际变化情况总体呈现增长态势, 2016 年为 5.68 亿 m^3 , 虽然在 2017 和 2018 年有所降低, 但到 2020 年上升到 11.42 亿 m^3 , 平均值为 6.55 亿 m^3 。

Table 10. Interannual variation of ecological water footprint in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10^8 m^3)

表 10. 吉林省 2016~2020 年生态水足迹年际变化情况(单位: 亿 m^3)

2016	2017	2018	2019	2020	平均值
5.68	4.69	4.30	6.64	11.42	6.55

从上述可知工业水足迹年平均值最高, 生态水足迹年平均值最低。整体虽都出现波动, 但基本上呈现出上升趋势。吉林省在中国制造业格局中占据重要地位, 表现出了强劲的发展势头, 所以工业在吉林省的发展当中水资源消耗较大。

4.2. 水足迹分析

由表 11 所示, 2016~2020 年吉林省总水足迹年际含量总体上呈现出下降趋势, 从 2016 年的 527.86 亿 m^3 上升至 2017 年 553.16 亿 m^3 。2018~2020 年呈现出上升 - 下降的趋势。农业水足迹在水足迹总量中占据了很高比例, 外部水足迹占比较小, 表明吉林省水足迹变化的主导因素为内部水足迹。这一变化趋势背后, 由经济发展模式、人口增长速度、农业技术进步及政策导向等因素共同发挥作用。具体而言, 随着吉林省经济的快速增长, 工业化和城市化进程加速, 工业用水需求增加, 但同时农业现代化进程也推动了节水技术的应用, 部分抵消了工业用水增加的影响。人口增长则直接导致生活用水需求的上升, 而技术进步, 特别是农业灌溉技术的改进, 有助于降低单位产出的水足迹。内部水足迹构成平均占比由大到小依次为农业水足迹、工业水足迹、生活水足迹、生态水足迹、出口虚拟水量。农业水足迹与工业水足迹之间的关系复杂而微妙。一方面, 农业用水效率的提升可能释放出部分水资源用于工业发展; 另一方面, 工业扩张可能通过提高经济水平间接促进农业技术的革新, 但也可能因污染排放而影响农业用水质量。此外, 生活水足迹的增加反映了人口增长和消费水平提升对水资源的需求压力, 而生态水足迹的变动则体现了生态环境保护与水资源利用之间的平衡关系。

Table 11. Interannual variation of total water footprint in Jilin Province (2016~2020) (Unit: 10^8 m^3)

表 11. 吉林省 2016~2020 年总水足迹年际含量(单位: 亿 m^3)

年份	农业 (亿 m^3)	工业 (亿 m^3)	生活 (亿 m^3)	生态 (亿 m^3)	虚拟水进口量 (亿 m^3)	虚拟水出口量 (亿 m^3)	总水足迹 (亿 m^3)
2016	504.70	5.55	5.61	5.68	6.32	1.86	527.86
2017	508.77	18.11	10.51	4.69	11.08	3.47	553.16
2018	468.96	16.72	10.63	4.30	11.01	3.46	511.62
2019	482.69	14.08	10.04	6.64	9.63	3.19	523.08
2020	472.28	10.01	9.89	11.42	9.52	2.80	513.12
平均值	487.48	12.89	9.34	6.55	9.51	2.96	525.77

如表 12 所示, 2016~2020 年水资源进口依赖度出现波动但相对保持平稳, 平均水资源进口依赖度为 0.56%。这一低水平的进口依赖度表明吉林省水资源主要依赖内部供给, 对外依赖性较小, 反映了其水资源自给自足的能力较强。然而, 这也意味着在面临极端气候或水资源短缺时, 吉林省可能缺乏外部补充

资源的缓冲能力。此外，吉林省水足迹自给率一直维持在 98% 以上，平均水资源自给率为 98.75%，保持了一个较高水平，说明主要是依靠消耗本地水资源，整体上水资源对外依赖度非常小，表现出了吉林省水资源的可持续性。

Table 12. Structural indicator values of water footprint in Jilin Province (2016~2020)

表 12. 吉林省 2016~2020 年水足迹结构指标值

年份	水资源进口依赖度 (%)	水资源自给率 (%)
2016	0.35	99.16
2017	0.63	98.6
2018	0.68	98.5
2019	0.61	98.8
2020	0.55	98.7

表 13 当中，万吨水足迹人口密度呈下降趋势，2016 年为 4.86 人/10⁴t，到 2020 年为 4.68 人/10⁴t，吉林省人口规模的持续扩张导致人均水资源占有量呈下降趋势，区域水资源承载压力显著提升。尽管万吨水足迹人口密度有所下降，但这主要是由于总水足迹的减少速度超过了人口增长速度，而非人口对水资源压力的实际减轻。实际上，随着人口的增长和经济的发展，人均水资源占有量仍在减少，这对区域水资源的可持续利用构成了挑战。水足迹经济效益保持连续快速增长，说明消耗单位水资源所带来的经济效益越来越高，吉林省工业部门的快速扩张导致水资源消耗量持续攀升，进一步加剧了区域水资源供需矛盾。水足迹土地密度呈现出下降趋势，反映了吉林省单位土地面积耗水量不断上升。2016~2020 年吉林省水足迹净贸易量均为正值，说明吉林省为水资源输出地。

Table 13. Water footprint efficiency indicators of Jilin Province (2016~2020)

表 13. 吉林省 2016~2020 年水足迹效益指标

年份	万吨水足迹人口密度 (人/10 ⁴ t)	水足迹经济效益值 (m ³ /元)	水足迹土地密度 (m ³ /hm ²)	水足迹净贸易量 (亿 m ³)
2016	4.86	19.75	28.17	4.37
2017	4.57	19.74	29.52	7.61
2018	4.86	22.00	27.30	7.55
2019	4.68	22.42	27.91	6.44
2020	4.68	23.89	27.38	6.72
平均值	4.73	21.56	28.06	6.54

在表 14 当中，由于 2019~2020 年数据缺失，暂时计算 2016~2018 年数据，吉林省 2016~2018 年水资源匮乏度呈现出上升趋势，揭示了吉林省在水资源利用方面面临的严峻挑战。这可能是由于经济发展、人口增长以及气候变化等多种因素共同作用的结果。水资源利用状况和水资源可持续利用前景不容乐观。

Table 14. Eco-security and sustainability metrics of water resources in Jilin Province (2016~2020)**表 14.** 吉林省 2016~2020 水资源生态安全、可持续性指标值

年份	水资源匮乏度(%)	水足迹增长指数(%)
2016	9.01	-6.5
2017	10.08	-4.5
2018	10.18	8.1
2019		-2.2

5. 水资源合理利用对策

调整产业结构。吉林省农作物产品的水足迹占农业水足迹的主要部分，耗费了大量水资源，并且工业生产所消耗的水资源总量也呈现出明显的上升趋势。吉林省是东北老工业基地，在全国的制造业当中占据了非常重要的地位，所以更加需要注重调整吉林省的产业结构，发挥自身更大优势，走吉林特色工业化道路，转变工业发展方式。具体而言，可通过政策引导，鼓励发展低耗水、高附加值的产业，如信息技术、生物医药等新兴产业，同时加大对高污染、高耗水企业的限制与改造力度，推动其向绿色、低碳方向转型。此外，农作物的种植结构调整也应同步进行，推广节水作物品种，减少高耗水作物的种植比例，加大对高污染企业的限制与改造。另外要全方面调整吉林省农作物的种植结构。同时应全面推广农业节水改造技术及节水设施。

提升水资源利用效率。在吉林省的农业生产当中限制大水漫灌的种植方式，引进先进的灌溉技术以提高水资源的使用效率，在居民的日常生活当中要重视水资源的利用，大力宣传水资源重复利用的观念。尤其是在发展工业时，需建立严格的工业用水管理制度，推行节水技术和设备的广泛应用，同时考虑实施水权交易等市场机制，以经济手段激励节水行为，实现水资源的高效利用和可持续管理。

优化配置水资源。在空间和时间上要提高水资源的调控能力，使水资源在流域和区域当中合理调配，同时要确保农田、湿地、生态用水等需求。使水资源的配置与经济发展布局相适应。使水资源的利用达到最大经济效益，推进经济社会持续健康发展。

大力宣传节约用水并完善保护水资源的法律制度。开源与节流并重，树立节水观念，使广大公民牢记保护水资源，共同维护美丽家园。同时，应制定和完善相关法律法规，明确水资源保护的责任主体和奖惩机制，确保水资源保护有法可依、执法必严，形成全社会共同参与水资源保护的良好氛围。

6. 结论与展望

6.1. 结论

水足迹理论关联了实体水和虚拟水，是基于消费基础的水资源占用情况的指示器，能深刻揭示社会经济系统对水资源系统真实占有量以及真实消费量的情况。本文通过水足迹理论，对吉林省水资源可持续发展做出了全面分析，在吉林省总水足迹年际含量当中，农产品水足迹占比较大，消耗水资源较多。这反映了农业作为吉林省经济支柱产业对水资源的巨大需求。同时，工业水足迹的上升趋势也不容忽视，表明随着工业化进程的加快，工业用水需求在不断增加。农业与工业用水之间的竞争关系日益凸显，如何在保障粮食安全的同时，促进工业可持续发展，成为吉林省水资源管理面临的重要挑战。另外，吉林省水资源自给率较高，说明水资源有一定程度的可持续性，但仍然面临着水资源压力较大的问题，尤其是在吉林省工业用水方面，整体呈现出持续增长的态势。保护水资源，提高水资源的利用效率仍然是如今吉林省发展所要重点关注的方向。

6.2. 展望

水足迹理论研究的持续深入, 以及对产品、行业、区域水足迹的广泛研究, 揭示了各类别水足迹的量化及驱动因素, 但如何运用水足迹推动环境保护, 提高水资源利用率及推动高质量发展, 是今后主要的研究方向。特别是要深入分析经济发展、人口增长、技术进步等因素对水足迹变化的具体影响机制, 以及这些因素之间的相互作用关系。例如, 经济发展可能通过促进技术进步间接降低水足迹, 而人口增长则可能直接增加水资源需求。通过构建综合模型, 量化各因素对水足迹的贡献度, 为制定更加科学合理的水资源管理政策提供理论依据。对于高耗水、高污染行业水足迹的核算仍然是水足迹研究的重点之一。对行业及区域水足迹利用效率展开探讨, 用以推动水资源可持续利用与保护研究。虽然目前仍然存在些许问题与挑战, 但是通过研究水足迹理论可以促进水资源的合理利用以及人类社会的可持续发展。

参考文献

- [1] 马晶, 彭建. 水足迹研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5458-5466.
- [2] 尹默雪, 赵先贵. 基于水足迹理论的内蒙古 1990-2016 年水资源评价[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(6): 120-125.
- [3] 周玲玲, 王琳, 王晋. 水足迹理论研究综述[J]. 水资源与水工程学报, 2013(5): 106-111.
- [4] Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. (2002) Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE.
- [5] Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2011) The Blue, Green and Grey Water Footprint of Rice from Production and Consumption Perspectives. *Ecological Economics*, **70**, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>
- [6] Murphy, E., de Boer, I.J.M., van Middelaar, C.E., Holden, N.M., Shalloo, L., Curran, T.P., et al. (2017) Water Footprinting of Dairy Farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production*, **140**, 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199>
- [7] Zotou, I. and Tsihrintzis, V.A. (2017) The Water Footprint of Crops in the Area of Mesogeia, Attiki, Greece. *Environmental Processes*, **4**, 63-79. <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0260-9>
- [8] 张学超. 山东省旅游水足迹测度及评价研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2019.
- [9] 吴兆丹, 吴兆磊, 张长征. 多区域投入产出分析下中国水足迹地区间比较——基于经济区域分析层次[J]. 冰川冻土, 2017, 39(1): 207-219.
- [10] 李玉文, 程怀文. 流域比较视角的钱塘江与黑河流域水资源问题及对策研究——基于水足迹核算分析[J]. 中国环境管理, 2017, 9(3): 89-94.
- [11] 马骏, 王薇薇. 基于水足迹的大樟溪流域生态补偿研究[J]. 水利经济, 2015, 33(3): 28-31.
- [12] 张喆. 基于水足迹理论的重庆市水资源可持续利用评价[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆师范大学, 2017.
- [13] 张文范, 张辉, 赵继军. 吉林省水资源现状及保护[J]. 东北水利水电, 2009, 27(4): 37-39.
- [14] 袁野, 胡聃. 基于投入产出方法的中国居民虚拟水消费研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S1): 415-4180.
- [15] 辜莉娟. 水足迹视角下的川南丘陵区水资源利用分析与评价[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [16] 张蕾. 中国虚拟水和水足迹区域差异研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2009.
- [17] 钱逸颖, 董会娟, 田旭, 等. 应对水资源危机的中国水足迹研究综述[J]. 生态经济, 2018, 34(7): 162-166+173.
- [18] 吴兆丹, 赵敏, Upmanu Lal, 等. 关于中国水足迹研究综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 73-80.
- [19] 戚瑞, 耿涌, 朱庆华. 基于水足迹理论的区域水资源利用评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 486-495.