

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.06.016

吉林省水资源利用与经济发展关系研究

朱光磊^{1,2}, 赵春子¹, 佟守正², 朱卫红¹

1. 延边大学 地理与海洋科学学院, 吉林 延吉 133002; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130102

摘要: 基于水资源和经济数据, 运用匹配度、水资源生态足迹和 LMDI 指数分解模型, 探讨了 2004—2018 年吉林省水资源利用和经济发展之间的关系。结果显示: 吉林省人均用水量呈现先上升后下降的趋势, 人均 GDP 逐年提高, 二者匹配度在 2011 年达到峰值后开始下降; 水资源生态足迹变化总体呈上升趋势, 水资源生态承载力和生态盈余受年降水量的影响, 波动变化明显, 水资源利用总体为生态赤字状态; 水资源利用效率虽然逐年提高, 但最主要的农业用水生态环境已处于危险状态。在水资源生态足迹影响因素方面, 贡献程度最高且促进作用最大的是经济效应, 技术效应表现为较高的抑制作用, 结构效应和人口效应的作用效果较弱。

关键词: 水资源生态足迹; 匹配度模型; LMDI 模型; 经济发展; 可持续利用; 吉林省

中图分类号: F29; TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)06-0122-07

水是人类赖以生存和发展的重要自然资源, 对经济社会的发展起到一定程度的影响^[1], 而经济社会发展对水资源环境也具有一定的制约^[2]。国内外相关研究主要集中在水资源生态足迹的计算与评价^[3-8]、水生态足迹的脱钩分析^[9]、水资源利用和经济发展之间匹配度^[10-11]等方面, 但对水资源生态足迹的影响因素以及水资源利用与经济发展关系的综合研究尚少。吉林省作为东北老工业基地和农业大省^[12], 在农业生产方面的用水量占据了区域总用水量的 70% 以上, 特别是近年来, 由于气候变化和人为活动的影响, 水资源紧缺问题日益凸显^[13-14], 较大程度上制约了吉林省工农业和城市的发展。本文以吉林省为研究区, 采用匹配度、水资源生态足迹以及 LMDI 指数分解等模型, 综合分析影响水资源生态足迹的因素, 明确经济发展背景下吉林省水资源利用状况, 拟为新一轮东北振兴形势下吉林省的水资源与经济社会协调发展提供理论依据。

1 研究区概况

吉林省位于我国东北地区中部, 松辽平原腹地, 总面积为 18.7 万 km², 属温带大陆性季风气候, 年平均气温为 2~6 °C, 年平均降水量为 400~600 mm, 季节和区域差异较大, 降水 80% 集中在夏季, 东部降雨最为丰沛。区内水系较发达, 但水资源空间分布不均, 形成东多西少, 南丰北欠的格局。以中部大黑山为界, 分为东部山地和中西部平原两大地貌, 地势呈东南高、西北低的特征。经济产业结构中以农业为主, 重工业占比偏高, 第三产业发展速度缓慢, 社会经济综合实力较弱。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究数据源自 2004—2018 年《吉林省水资源公报》和 2005—2019 年《吉林省统计年鉴》。

收稿日期: 2020-05-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41830643); 吉林省科学技术厅自然科学重大项目(20180101002JC); 中央引导地方科技发展资金吉林省重点实验室基础研究专项(202002024JC)。

作者简介: 朱光磊, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究。

通信作者: 赵春子, 副教授。

2.2 研究方法

2.2.1 水资源利用和经济社会发展匹配度模型

匹配度是衡量系统之间或系统内部各要素匹配程度的一个指标^[10], 有助于认识区域水资源对经济社会发展的支撑作用. 匹配程度强, 表明适水产业布局好; 匹配程度弱, 表明适水产业布局不合理. 通过分析研究区实际情况, 本研究对 2004—2018 年的水资源利用和经济发展进行匹配度的计算, 模型如下:

$$a_t = 1 - \frac{|r_t - s_t|}{\max\{r_t, s_t\} - \min\{r_t, s_t\}} \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (1)$$

$$r_t = \frac{x_t}{\sum_{i=1}^T x_i} \quad s_t = \frac{y_t}{\sum_{i=1}^T y_i} \quad (2)$$

式中: a_t 为变量 X 和 Y 之间的匹配度; r_t 为某一时段的变量 X 占研究时段变量 X 的比例; s_t 为某一时段的变量 Y 占研究时段变量 Y 的比例. a_t 大于或等于 0.8 为匹配; 0.8 和 0.6 之间为较匹配; 小于或等于 0.6 为不匹配^[15].

2.2.2 水资源生态足迹模型

水资源生态足迹模型用来定量评估人类对水资源的需求和区域水资源支撑可持续发展的能力, 反映水资源利用及可持续开发状况^[16], 包括生态足迹、生态承载力和生态盈亏 3 种, 模型^[17-20]如下:

$$EF = \gamma \times (W/P_w) \quad (3)$$

$$EC = 0.4 \times \gamma \times \Phi \times (Q/P_w) \quad (4)$$

$$ED = EC - EF \quad (5)$$

$$EP = EF/EC \quad (6)$$

$$G_w = EF/GDP \quad (7)$$

式中: Φ 为区域水资源生产能力与全球水资源生产能力的比值^[21], 计算公式如下:

$$\Phi = P/P_w \quad (8)$$

$$P = V/S \quad (9)$$

式中: EF 为水资源生态足迹; γ 为水资源全球均衡因子; W 为区域用水量; P_w 为水资源全球平均生产能力; EC 为水资源生态承载力; Q 为水资源总量; ED 为水资源生态盈亏; EP 为水资源生态压力指数; G_w 为万元 GDP 水资源生态足迹; P 为计算时段内的水资源生产能力; V 为计算时段内区域的水资源总量; S 为区域的面积. 参考相关研究^[16], 本研究确定 γ 为 5.19, P_w 为 3 140 m³/hm², 计算得 2004—2018 年吉林省水资源产量因子见表 1.

$ED > 0$ 为水资源生态盈余, 表明研究区域水资源有利于区域的协调发展; $ED < 0$ 为水资源生态赤字, 表明研究区域水资源短缺. $EP = 1$, 表示该区域水资源生态环境供给平衡; EP 值越大, 水资源生态环境恶化程度越高; 反之则越低. G_w 值越大, 表明研究区域内消耗的水资源越多; 反之, 用水效率越高.

表 1 2004—2018 年吉林省水资源产量因子

产量因子	年 份													
	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
产量因子	0.55	0.96	0.60	0.59	0.57	0.51	1.17	0.54	0.78	1.03	0.52	0.56	0.83	0.67

2.2.3 LMDI 指数分解模型

对数平均迪氏指数法(LMDI)能定量分析事物变化的特点及其影响因素的作用, 在分解过程中不会出现异常值, 影响分解因素的关键指标可以被明确指出, 具有良好的准确性和聚合性^[22-23], 模型如下:

$$ef_t = \sum_{i=1}^4 ef_{it} = \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it}}{ef_t} \cdot \frac{ef_t}{y_t} \cdot \frac{y_t}{P_t} \cdot P_t \quad (10)$$

$$\Delta ef_t = ef_t - ef_0 = \sum_{i=1}^4 s_{i0} g_i r_i P_t - \sum_{i=1}^4 s_{i0} g_0 r_0 P_0 = \Delta ef_s + \Delta ef_g + \Delta ef_r + \Delta ef_P \quad (11)$$

利用 LMDI 分解法对上式进行分解, 结果如下:

$$\Delta ef_s = \ln \frac{s_{it}}{s_{i0}} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (12)$$

$$\Delta ef_g = \ln \frac{g_t}{g_0} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (13)$$

$$\Delta ef_r = \ln \frac{r_t}{r_0} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (14)$$

$$\Delta ef_p = \ln \frac{p_t}{p_0} \sum_{i=1}^4 \frac{ef_{it} - ef_{i0}}{\ln ef_{it} - \ln ef_{i0}} \quad (15)$$

式中: s_{it}, g_t, r_t, P_t 分别代表结构效应、技术效应、经济效应和人口效应; Δef_t 为总水资源生态足迹变化量; ef_t, ef_0 分别代表第 t 年和基准年的水资源生态足迹。

3 结果与分析

3.1 水资源利用与经济社会发展之间的匹配度

由图 1a 可知, 研究期内吉林省逐年人均用水量呈先升后降的特征, 而人均 GDP 逐年上升, 二者匹配度在 2011 年达到峰值后开始下降, 分析原因, 主要是随着吉林省经济社会的快速发展, 水资源量对经济社会发展的支撑作用日益显著, 在 2011 年以前两者同步增长因而匹配度逐渐提高. 2011 年至 2018 年间, 水资源利用状况呈现先平稳后下降的态势, 经济社会持续增长后又出现小幅回落, 匹配度由较匹配及以上水平变为不匹配, 表明人们节水意识日渐增强, 并随着资金投入力度加大、现代化农业的推广和工业污水循环利用处理技术的进步, 水资源利用效率逐步提高.

从图 1b 来看, 2011 年之后, 除了人均农业用水量与第一产业 GDP 匹配度在 2016 年开始上升, 人均工业用水量与第二产业 GDP 在 2018 年出现回升以外, 其余时间段第三产业人均用水量与其 GDP 的匹配度均呈明显下降趋势. 这反映出近年来吉林省统筹推进工业化、城镇化和农业现代化建设, 实施农业可持续发展规划, 通过调整农业区域布局, 因地制宜发展不同农作物种植, 并扎实推进供给侧结构性改革, 经济产业转型升级有序进行, 使得水资源利用相较于过去有了较大改观. 但值得注意的是, 吉林省的农业经济发展对水资源需求量大, 现代化农业技术发展有待提高, 农业节水设施建设尚需完善, 政府应协调各区域间经济产业结构, 提高水资源利用效率以推动各产业的经济高效发展.

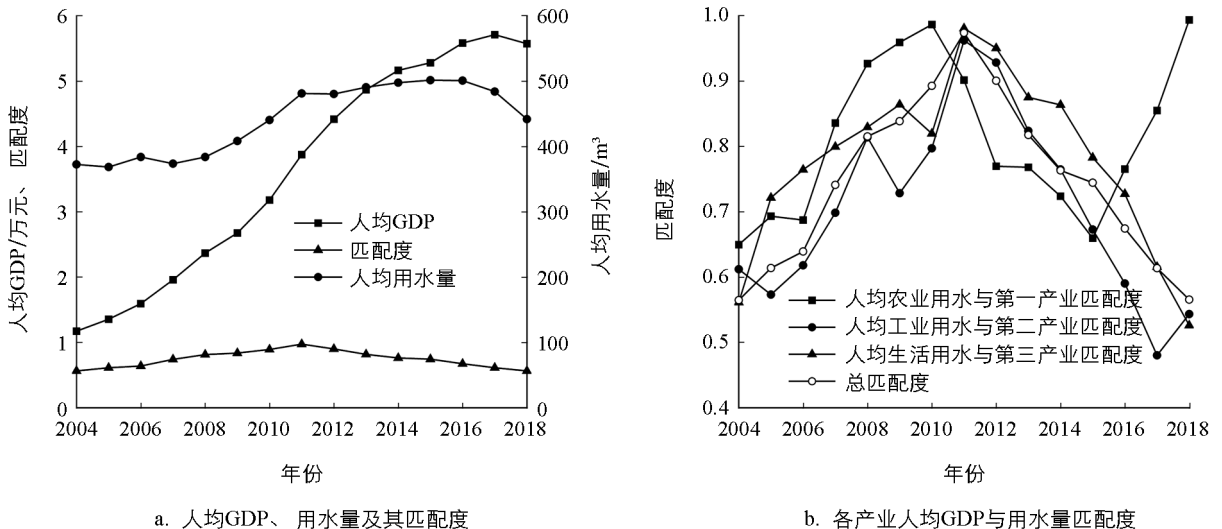


图 1 吉林省水资源利用与经济社会发展之间的匹配度

3.2 水资源生态足迹和生态承载力分析

由图 2 可见, 2004—2018 年吉林省水资源生态足迹总体呈上升趋势, 变化范围为 1 626.26~2 207.57 万 hm^2 . 水资源生态承载力波动变化明显, 在 2010 年最高, 为 5 309.28 万 hm^2 , 2009 年最低, 仅为

1 000.17 万 hm^2 ; 其波动的原因是受到年平均降雨量的影响,二者变化规律基本一致,且呈现显著正相关,相关系数为 0.83. 万元 GDP 水资源生态足迹呈逐年下降趋势,表明吉林省用水效率逐年提高,对水资源生态危机有缓解作用.

在水资源各账户中,农业、工业、生活和生态用水足迹多年平均值分别占全省水资源总生态足迹的 67.78%、18.55%、10.22%和 3.41%. 由此可见,吉林省水资源生态足迹以农业用水为主. 农业用水、生活用水和生态用水生态足迹总体呈波动上升趋势,工业用水生态足迹在 2015 年前呈波动上升趋势,之后生态足迹逐步下降. 这表明全省农业节水灌溉工程的推广和使用还不完善,并随着经济的快速发展、国家加大生态环境保护力度和居民生活水平的不断提高,工业用水消耗量逐步减少. 在研究期的 15 年间,水资源生态亏损年份出现了 9 年,水资源生态压力指数临近和大于 1 的年份数多达 12 年,表明吉林省水生态环境处于危险状态,水资源利用可持续性失衡,将可能导致生态环境与经济发展受到制约,间接阻碍区域的整体发展.

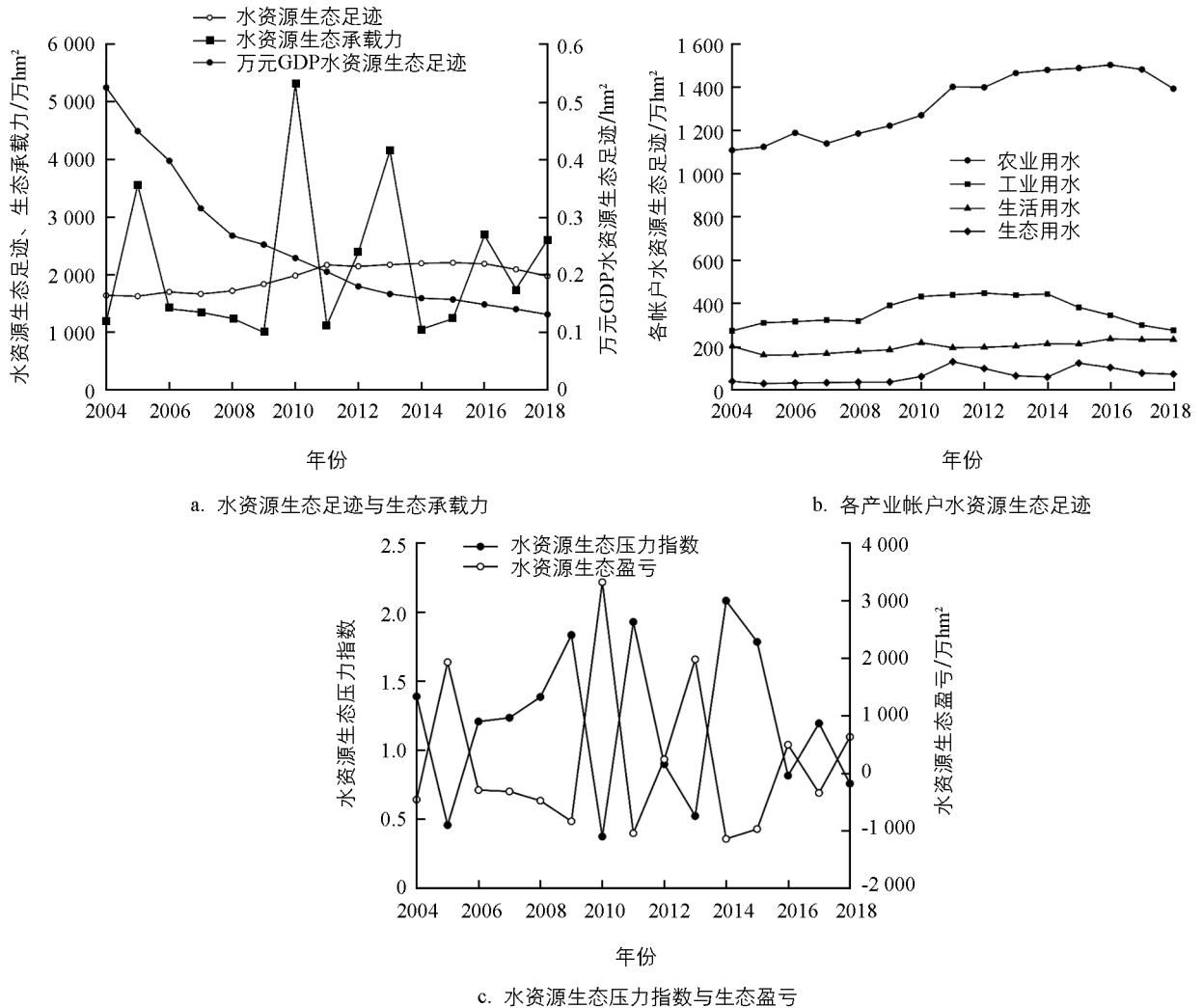


图2 吉林省水资源生态足迹和生态承载力

3.3 基于 LMDI 指数分解法的水资源生态足迹

为定量分析水资源利用与经济发展主要因素间的关系,利用 LMDI 模型,选择 2004 年为基准年,对吉林省水资源生态足迹变化进行经济、结构、技术和人口等 4 种效应的因素分解,结果如图 3 所示.

2004—2018 年吉林省水资源生态足迹变化中,经济效应持续增长,虽然在 2018 年有小幅回落,仍然占据主导作用且为明显的正效应,并未受到全球经济危机的影响,水资源生态足迹累计贡献率达到 698.53%. 从 2004 年国家正式启动振兴东北地区老工业基地政策以来,在资金、政策、产业技术、基础设

施和生态文明建设等方面予以了大力支持,从图 4 和图 5 中可以看出,吉林省人均 GDP 和城镇人均可支配收入逐年上升,各种社会保障支出明显提高,经济产业中的工业有效平稳发展,服务产业得到大力发展,对水资源的消耗呈平稳上升趋势,而且在农业产值比重逐年下降的同时,其用水量居高不下,说明农业节水现代化措施推广力度较弱,整体上对水资源生态足迹增长起到推动作用。

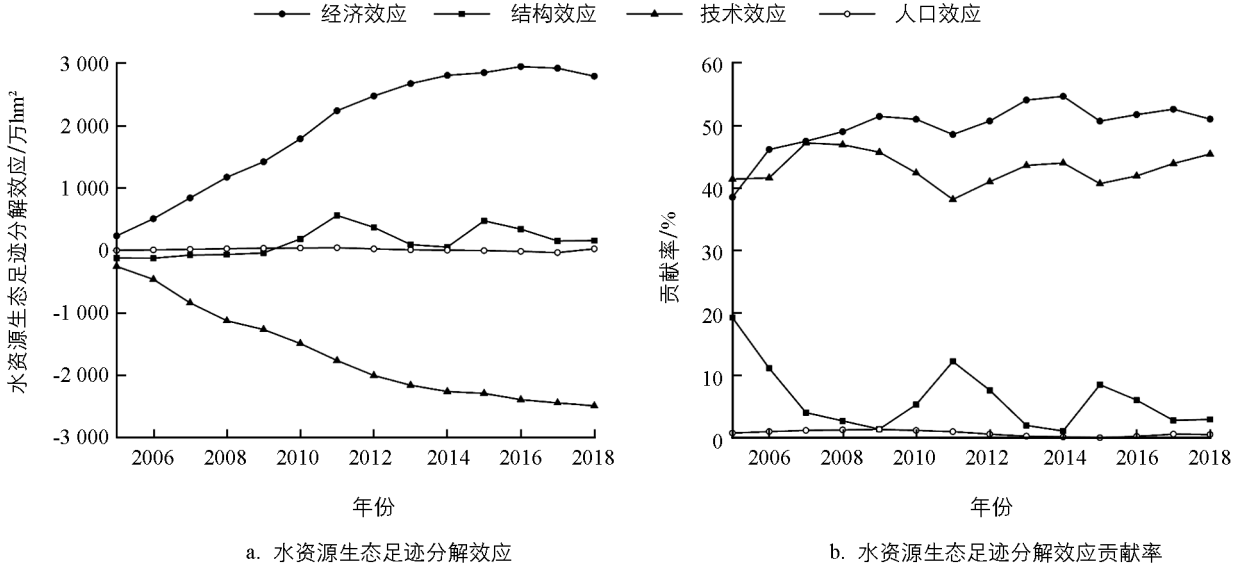


图 3 吉林省水资源生态足迹分解效应及其贡献率

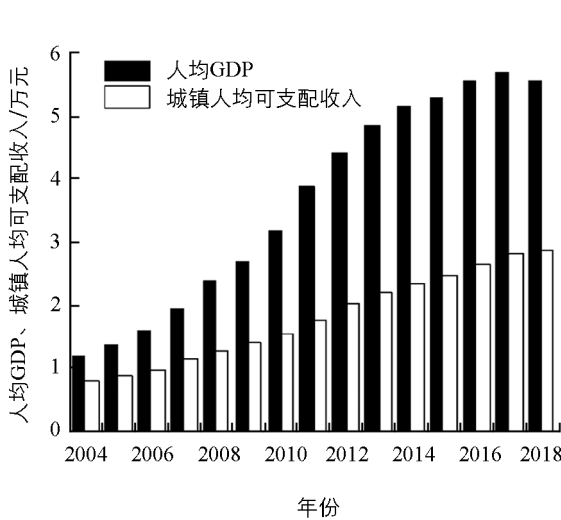


图 4 吉林省主要经济社会发展指标变化

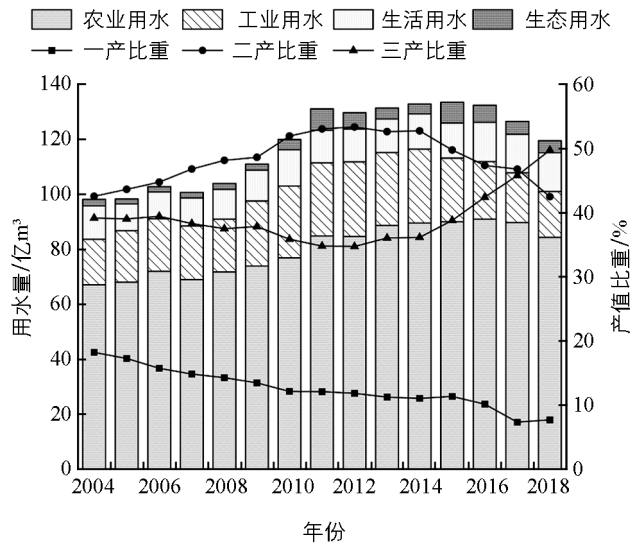


图 5 吉林省各产业比值与用水量变化

研究期内,吉林省水资源生态足迹受到技术效应的显著抑制作用,且呈逐年上升趋势,累积贡献率为-604.66%,仅次于经济效应的累积贡献率。可见,尽管随着水利设施的增加,节水技术的改造和节水体系的健全,一定程度上技术效应抑制了水资源生态足迹的增长,但其抑制作用远不及经济效应和结构效应共同作用引起的促进效果,因而在总体上吉林省水资源生态足迹仍呈增长趋势。

2004—2009 年结构效应对吉林省水资源生态足迹有着抑制作用,呈现持续增长的态势,但从 2010 年开始,结构效应出现推动作用,累积贡献率为 86.88%。表明吉林省水资源生态足迹结构合理化调整有待加强,由于农业对水资源的依赖以及工业过度消耗水资源,将会间接引起水资源生态足迹增加,结构效应起到一定促进效果,但其贡献程度要比经济效应和技术效应小得多。

2004—2011 年吉林省常住人口的平均增长率为 0.3%,对水资源生态足迹的影响较小;2012—2017 年

吉林省常住人口持续下降,下降率为0.5%,人口效应也呈现下降趋势,直至2016年和2017年人口效应为负,但随着2018年常住人口的增加,人口效应变为促进作用,累计贡献率为9.92%。说明在吉林省水资源生态足迹的增长中,人口效应起到一定的作用,但效果不显著。

4 结 论

1) 2004—2018年吉林省逐年人均用水量呈先上升后下降趋势,而逐年人均GDP在升高,二者匹配度在2011年达最大后逐步下降。2011年以后,除人均农业用水量与第一产业GDP匹配度在2016年开始逐年上升,人均工业用水量与第二产业GDP在2018年出现回升以外,其余时间段各产业人均用水量与其GDP的匹配度均呈明显下降趋势。

2) 研究期内,吉林省水资源生态足迹变化总体呈上升趋势,农业用水生态足迹占水资源总生态足迹的67.78%,是最主要的用水形式;受年降水量的影响,水资源生态承载力和生态盈亏起伏变化明显,水资源利用表现为生态赤字状态;农业用水生态环境已处于危险状态,工业用水、生活用水和生态用水处于水资源可持续利用状态。

3) 吉林省水资源生态足迹增长的主要影响因素是经济效应,技术效应则是抑制这一增长趋势的关键原因,结构效应和人口效应在水资源生态足迹增长中发挥了一定的作用,但影响效果较弱。

综上所述,为使东北老工业基地之一的吉林省水资源利用与经济协同高效发展,应全面推广农业节水改造技术及节水设施,大力发展生态农业;支持低耗水工业的发展,增加第三产业比重;加强科技创新能力建设,推广水污染的防治,减少污染水的排放,推动水资源循环利用,确保在经济稳定发展的同时,提高水资源利用效率,从而缓解吉林省用水压力,改善水环境安全状况,以期实现吉林省水资源的可持续发展和利用。

参考文献:

- [1] 于强,王金龙,王亚南. 基于水资源足迹分析的河北省城镇化发展路径[J]. 经济地理, 2014, 34(11): 69-73.
- [2] 周玲玲,王琳,余静. 基于水足迹理论的水资源可持续利用评价体系——以即墨市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 913-921.
- [3] 赵静,王颖,赵春子,等. 延边州水资源生态足迹与承载力动态研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12): 74-82.
- [4] PENG B H, LI Y, ELAHI E, et al. Dynamic Evolution of Ecological Carrying Capacity Based on the Ecological Footprint Theory: A Case Study of Jiangsu Province [J]. Ecological Indicators, 2019, 99: 19-26.
- [5] 刘子刚,郑瑜. 基于生态足迹法的区域水生态承载力研究——以浙江省湖州市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1083-1088.
- [6] 朱光磊,赵春子,朱卫红,等. 基于生态足迹模型的吉林省水资源可持续利用评价[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(9): 131-143.
- [7] LI J X, CHEN Y N, XU C C, et al. Evaluation and Analysis of Ecological Security in Arid Areas of Central Asia Based on the Emergy Ecological Footprint (EEF) Model [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 235: 664-677.
- [8] XUN F F, HU Y C. Evaluation of Ecological Sustainability Based on A Revised Three-dimensional Ecological Footprint Model in Shandong Province, China [J]. Science of the Total Environment, 2019, 649: 582-591.
- [9] 吴兆丹,赵敏,田泽,等. 多区域投入产出分析下中国水足迹地区间比较——基于“总量—相关指标—结构”分析框架[J]. 自然资源学报, 2017, 32(1): 76-87.
- [10] 左其亭,赵衡,马军霞,等. 水资源利用与经济社会发展匹配度计算方法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(6): 1-6.
- [11] 张乐勤,朱超洪. 基于 ArcGIS 的安徽省水资源利用与经济发展匹配度时空差异分析[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2017, 47(5): 522-531.
- [12] 黄晓敏,陈长青,陈铭洲,等. 2004—2013年东北三省主要粮食作物生产碳足迹[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3307-3315.
- [13] 许晓鸿,王跃邦,刘明义,等. 吉林省雨水资源化利用探讨[J]. 水土保持研究, 2007(2): 25-26.
- [14] 刘童,杨晓华,薛洪芮,等. 系统动力学模型在吉林省水资源承载力的仿真应用[J]. 中国农村水利水电, 2020(1):

106-110.

- [15] 郝林钢, 左其亭, 韩春辉, 等. “一带一路”沿线分区用水结构与产业结构的分析比较 [J]. 干旱区研究, 2019, 36(1): 44-51.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 杨 屹, 加 涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化 [J]. 生态学报, 2015, 35(24): 7987-7997.
- [19] 侯焮晨, 谢世友. 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 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(12): 134-141.
- [20] WANG H, HUANG J J, ZHOU H, et al. Analysis of Sustainable Utilization of Water Resources Based on the Improved Water Resources Ecological Footprint Model: A Case Study of Hubei Province, China [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 262: 110331.
- [21] 邢清枝, 任志远, 王丽霞, 等. 基于生态足迹法的陕北地区水资源可持续利用评价 [J]. 干旱区研究, 2009, 26(6): 793-798.
- [22] 赵自阳, 李王成, 王 霞, 等. 基于指数分解法的河南省水资源生态足迹分析 [J]. 水文, 2017, 37(4): 57-61+51.
- [23] 杨志远, 杨 建, 杨秀春. 典型喀斯特城市水资源利用与经济发展关系分析——以铜仁市为例 [J]. 经济地理, 2018, 38(9): 105-113.

Research of the Relationship Between Water Resource Utilization and Economic Growth of Jilin Province

ZHU Guang-lei^{1,2}, ZHAO Chun-zi¹,
TONG Shou-zheng², ZHU Wei-hong¹

1. College of Geography and Ocean Sciences, Yanbian University, Yanji Jilin 133002, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China

Abstract: Based on the data of water resources and economy in Jilin Province from 2004 to 2018, matching degree, ecological footprint of water resources and the LMDI index decomposition model were used in a study reported in this paper to explore the relationship between water resource utilization and economic growth. The results showed that the per-capita water consumption in Jilin Province increased first and then decreased and the per-capita GDP steadily increased, and the matching degree between the two began to decrease after reaching a peak in 2011. The overall change in ecological footprint of water resources exhibited an upward trend. Influenced by annual precipitation, the ecological carrying capacity and ecological surplus of water resources fluctuated markedly, and the overall utilization of water resources was in a state of ecological deficit. Although the utilization efficiency of water resources was increasing year by year, the most important ecological environment of agricultural water use was in a dangerous state. Of the influencing factors for the ecological footprint of water resources in Jilin, economic effect made the greatest contribution, technical effect showed a high inhibitory effect and structural effect and population effect were relatively insignificant.

Key words: water resource ecological footprint; matching model; LMDI model; economic growth; sustainable utilization; Jilin Province