



浙江省纺织工业水足迹核算与评价

王 克, 田泽君, 王来力

(浙江理工大学, a. 服装学院; b. 浙江省服装工程技术研究中心; c. 浙江省丝绸与时尚文化研究中心, 杭州 310018)

摘 要: 为量化与评价浙江省纺织工业水资源消耗和废水排放的环境负荷, 基于水足迹理论, 核算了 2008—2017 年浙江省纺织工业的蓝水足迹、灰水足迹、水短缺足迹和水体富营养化足迹, 分析讨论了浙江省纺织工业 4 种水足迹的时间序列情景和影响因素。结果发现: 2008—2017 年, 浙江省纺织工业的 4 种水足迹整体均呈下降趋势, 其中水体富营养化足迹下降最大, 约下降 70.56%, 灰水足迹次之, 约下降 70.40%; 年均水体富营养化足迹为 2.80×10^6 kg PO_4^{3-} eq, 主要源自废水中的氨氮和 COD, 其中氨氮造成的水体富营养化足迹略高于 COD; 子行业中, 纺织业对水资源环境的影响远大于纺织服装服饰业和化学纤维制造业, 年均约占纺织工业总体蓝水足迹的 95.18%、灰水足迹的 96.48%、水短缺足迹的 95.19%、水体富营养化足迹的 95.89%。表明相关政策的实施、纺织企业的转型以及节水减排技术的进步都取得一定成效, 但纺织业依然是节水减排的重点关注行业, 减少废水中氨氮和 COD 可有效降低纺织工业的环境负荷。

关键词: 纺织工业; 蓝水足迹; 灰水足迹; 水短缺足迹; 水体富营养化足迹

中图分类号: TS190

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2020)11-0737-06

Calculation and assessment of water footprint of textile industry in Zhejiang Province

WANG Ke, TIAN Zejun, WANG Laili

(a. School of Fashion Design & Engineering; b. Engineering Research Center of Clothing of Zhejiang Province; c. Silk and Fashion Culture Research Center of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to quantify and evaluate the environmental load brought by water resource consumption and wastewater discharge in Zhejiang's textile industry, the blue water footprint, grey water footprint, water shortage footprint and water eutrophication footprint of Zhejiang's textile industry from 2008 to 2017 were calculated based on water footprint theory. The time series scenarios and influencing factors of four water footprints of Zhejiang's textile industry were analyzed and discussed. The results show that the four kinds of water footprints of Zhejiang's textile industry decreased from 2008 to 2017, among which the water eutrophication footprint decreased most by about 70.56%, followed by grey water footprint, down about 70.40%. The average annual water eutrophication footprint was 2.80×10^6 kg PO_4^{3-} eq, mainly caused by ammonia nitrogen and COD in discharged wastewater. The water eutrophication footprint caused by ammonia nitrogen was slightly higher than that caused by COD. In sub-industries, the impact of textile manufacture sector on water resource environment was much severer than

收稿日期: 2020-04-02 网络出版日期: 2020-06-03

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY20G030001); 浙江理工大学基本科研业务费“青年创新专项”(2019Q081); 浙江省大学生科技创新活动计划(2019R406059); 国家自然科学基金项目(71503233)

作者简介: 王 克(1997—), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 主要从事纺织品服装水足迹核算与评价方面的研究。

通信作者: 王来力, E-mail: wangll@zstu.edu.cn

that of clothing manufacture sector and chemical fiber manufacture sector. The textile manufacture sector accounted for 95.18% of the total blue water footprint, 96.48% of the total grey water footprint, 95.19% of the total water shortage footprint and 95.89% of the total water eutrophication footprint in Zhejiang's textile industry. The results indicate that the implementation of relevant policies, the transformation of textile enterprises and the progress of water-saving and emission reduction technologies have achieved certain results. However, the textile industry is still the focus of water saving and emission reduction. Reducing ammonia nitrogen and COD in wastewater can effectively lower the environmental load of the textile industry.

Key words: textile industry; blue water footprint; grey water footprint; water shortage footprint; water eutrophication footprint

0 引言

纺织工业是浙江省传统优势产业和重要支柱产业,同时是浙江省八大万亿产业中时尚产业的主体。浙江省也是我国重要的纺织产业基地和集散市场中心,拥有46个纺织产业集群^[1]。纺织工业作为用水密集型工业,带来经济效益的同时,引发的水资源消耗和水污染问题受到广泛关注。2007年起,纺织工业耗水和废水排在浙江省工业行业中高居第一,其中废水排放量年均约占统计的工业行业总排放量的45.02%。为缓解纺织工业对水资源环境的影响,国家出台了相关政策,严格控制水资源使用,全面整治工业废水排放。浙江省承接国家节水、废水治理目标,实施《关于印发国家环境保护“十二五”规划的通知》(2011年)、“五水共治”、《浙江省用(取)水定额(2015年)》、浙江省治污水暨水污染防治行动方案等方案,制定《浙江省印染行业淘汰落后整治提升方案》《浙江省工业污染防治“十三五”规划》,重点加强纺织印染、化纤等行业水资源取用和废水排放管理,加强了浙江省纺织工业水耗和废水排放的管理。

为量化评价人类活动对水资源的消耗和水环境的影响,2002年Hoekstra等^[2]提出“水足迹”概念,目前国内外学者对水足迹的评价方法主要有两种:水足迹网络(Water footprint network, WFN)方法和国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)在其制定的《环境管理水足迹标准》(ISO 14046标准)。

WFN方法中“水足迹”是衡量人类活动直接和间接占用水资源情况的综合评价指标,包括消耗的蓝水、绿水以及污染负荷造成的灰水足迹。基于WFN方法,对灰水足迹的研究在国家、区域、行业和产品等层面都取得较为广泛的探讨,如孙才志等^[3]采用基尼系数对中国31个省份灰水足迹的空间和结构均衡性进行了分析,结果表明,东部地区经

济灰水足迹的均衡性较低;刘楚焯等^[4]核算了江苏省的综合水足迹,为当地政府管理水资源提供参考;吴兆磊等^[5]构建了浙江省工业出口灰水足迹量化模型并对各工业灰水足迹进行了核算与分析,结果表明,降低化学工业和纺织业的出口可缓解浙江省水质型缺水问题;Gu等^[6]运用水足迹指标从生命周期角度评价了钢铁工业水耗和水污染情况;Ene等^[7]对葡萄酒行业生产链段的水足迹进行了核算,为酿酒公司的节水策略提供依据。

ISO 14046标准中“水足迹”为量化水环境相关的潜在影响,包括水短缺足迹和水劣化足迹。基于ISO 14046标准,当前研究在区域和行业上得到较为广泛的示范,如严岩等^[8]运用水劣化足迹理论核算与评价了北京市的发展对水环境造成的水酸化、水体富营养化和水体生态毒性影响;白雪等^[9-10]解读了标准的主要内容,并以不同产地的铜和铝合金电缆为例进行了分析评价,结果表明产品耗水量的多少并不能完全代表对当地水资源压力的影响;Bai等^[11]核算了奶牛场和乳品加工厂的水足迹,结果表明乳品行业的水足迹大多来自间接用水。

在纺织工业领域,基于WFN方法和ISO 14046标准:Wang等^[12-14]在纺织工业中应用水足迹理论,核算与分析了中国纺织工业对水资源环境的影响及变化趋势;高妍等^[15]核算和分析了中国纺织工业水资源利用情况与经济发展的关系,结果表明经济产出与水足迹强度成正比,与水生产率成反比;王东等^[16]基于印染行业高耗水、高排放的特点,介绍了纺织印染行业产品水足迹的计算方法并阐述了其核算意义;钟玲等^[17]、Chapaign等^[18]、孙丽蓉等^[19]、Chico等^[20]运用WFN方法分别对丝绸和涤纶染色布产品、棉产品、羊绒针织品和棉针织布生产的水足迹进行了量化与评价;何琬文等^[21]、朱菊香等^[22]运用ISO 14046标准分别核算了丝绸和黏胶纤维的基准水足迹,并对各类水足迹的组成进行了分析与评价。

纺织工业的水足迹由纺织业、纺织服装服饰业和化学纤维制造业三个子行业组成,纺织产品生产以时间为边界的生产链段可分为纤维生产、纺纱、织造、染整和成品生产等工序。浙江省作为我国纺织强省,其纺织工业生产活动对当地水资源环境的影响引起了政府和学者的广泛关注。本文基于浙江省纺织工业耗水排污量大的生产特点,运用WFN方法和ISO 14046标准,量化了浙江省纺织工业的4种水足迹,从“体积”、“影响”等层面评价浙江省纺织工业对水资源环境的影响及其变化趋势,并对水足迹持续降低的主要因素进行了分析,为浙江省纺织工业水资源环境负荷管理提供参考。

1 研究指标和数据来源

本文综合运用蓝水足迹、灰水足迹、水短缺足迹、水体富营养化足迹等指标对着浙江省纺织工业及其子行业水资源环境进行核算与研究。

1.1 研究指标

1.1.1 工业蓝水足迹

工业蓝水足迹指工业生产活动对由降水形成的地表径流及地下水资源的消耗量,蓝水为工业部门耗水的全部来源,工业蓝水足迹近似等于工业废水排放量^[23]。工业蓝水足迹计算方法如式(1):

$$WF_{\text{ind-blue}} = V_{\text{ind排}} \quad (1)$$

其中: $WF_{\text{ind-blue}}$ 为工业蓝水足迹, m^3 ; $V_{\text{ind排}}$ 为工业部门废水排放量, m^3 。

1.1.2 工业灰水足迹

工业灰水足迹指自然水体吸收同化工业生产活动排放的污染负荷满足现有环境水质标准所需的水量,工业废水通常包含多种形式的污染物,以造成灰水足迹最多的污染物为特征污染物。工业灰水足迹计算方法^[24]如式(2):

$$WF_{\text{ind-grey}} = \max \left(\frac{L_{\text{ind}(i)}}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} \right) \quad (2)$$

其中: $WF_{\text{ind-grey}}$ 为工业灰水足迹, m^3 ; $L_{\text{ind}(i)}$ 为工业污染物*i*排放负荷, mg ; C_{max} 为水环境质量标准中污染物的最大可接受浓度, mg/L ; C_{nat} 为接受水体中污染物的自然浓度, mg/L 。

1.1.3 水短缺足迹

水短缺足迹指量化评价行业内生产活动的水资源消耗造成的区域水资源压力。水短缺足迹计算方法^[25-26]如式(3):

$$WF_{\text{sc,p}} = \frac{WSI_j}{WSI_{\text{gl}}} \times C_j \quad (3)$$

其中: $WF_{\text{sc,p}}$ 为水短缺足迹, $\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}$ 当量; WSI_j 为区域*j*的水压力指数; WSI_{gl} 为全球平均水压力指数,0.60; C_j 为行业*j*的用水量。

1.1.4 水体富营养化足迹

水体富营养化足迹指行业内生产活动产生含有氮、磷等富营养化因子的废水,排放到自然水体中对水环境造成的影响。本研究以COD、氨氮为特征污染物核算了区域水体富营养化足迹,水体富营养化足迹计算方法^[8]如式(4):

$$WF_N = \sum NP_i \times M_i \quad (4)$$

其中: WF_N 为水体富营养化足迹, $\text{kg PO}_4^{3-} \text{eq}$; NP_i 为污染物*i*的营养化潜力系数,按 $\text{PO}_4^{3-} \text{eq}$ 计算; M_i 为污染物*i*的排放质量, kg 。

1.2 数据来源

本文的数据主要来源为《浙江自然资源与环境统计年鉴》(2009—2018年),文中所需污染物的特征因子参考团体标准《纺织产品水足迹核算通用技术要求》(T/CNTAC 14—2018)。水环境质量标准中污染物的最大可接受浓度(C_{max})以我国《地表水环境质量标准基本项目标准限值》(GB 3838—2002)中Ⅲ类水体限值为标准,自然本底浓度(C_{nat})为 0 mg/L ^[27]。浙江省的WSI参照Pfister的研究^[25],依据省份面积加权得到,本文取值为0.194。

2 结果与分析

2.1 纺织工业蓝水足迹

浙江省纺织工业蓝水足迹占我国纺织工业蓝水足迹的较大比重,2008—2014年我国纺织工业蓝水足迹年均约 $2.85 \times 10^9 \text{ m}^3$,浙江省年均占比约为22.39%。2008—2017年浙江省纺织工业蓝水足迹如图1所示。由图1可知,10年间浙江省纺织工业蓝水足迹年际变化呈先小幅上升后持续下降的趋势,由2008年 $6.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ 上升至2010年 $6.91 \times 10^8 \text{ m}^3$,再下降至2017年 $5.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。“十一五”时期,由于生产技术、设施等问题造成纺织行业清洁化生产程度不高,耗水问题较为突出。“十二五”以来,浙江省淘汰74型染整设备、使用期超过20年的印花机、染色机等落后产能;淘汰高耗水且无法改造的生产线,推行清洁生产技术。子行业中,纺织业蓝水足迹占比最高,年均占比约95.18%;化学纤维制造业次之,年均占比约2.93%;纺织服装、服饰业最少,年均占比约1.89%。纺织业蓝水足迹整体呈下降趋势,后两者呈小幅度上升,纺织业企业数远多于

化学纤维制造业和纺织服装服饰业是蓝水足迹占比最大的主要原因。纺织产品生产活动对水资源的耗用多来自染色、湿整理等封闭型工序,蒸发和产品中占有的水量较少,多以废水形式排出^[23]。因此,提高对废水的回收利用是减少工业蓝水足迹的重要方法之一。为响应国家节水号召,浙江省水利发展“十二五”规划中提出万元工业增加值用水量降到 44 m^3 以下,相比“十一五”减少了 20 m^3 ，“十三五”进一步明确提出用水量较“十二五”末再下降25%。纺织工业蓝水足迹的持续下降表明政府在此期间对纺织工业企业的监管以及纺织产业的升级转型都取得了一定成效。

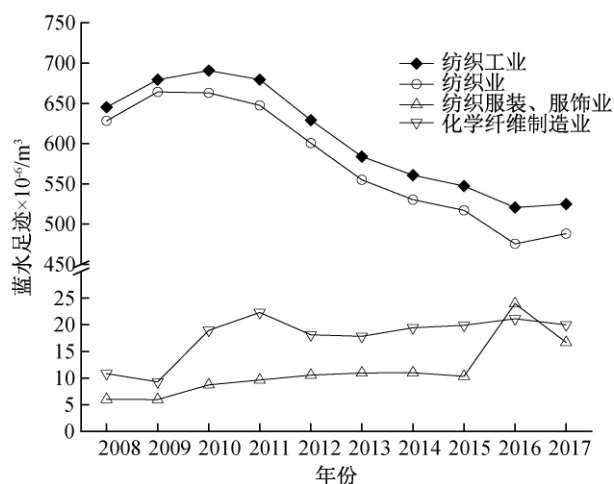


图1 2008—2017年浙江省纺织工业蓝水足迹

2.2 纺织工业灰水足迹

浙江省作为我国纺织生产、消费和出口大省,2008—2014年纺织工业灰水足迹年均约占全国纺织工业灰水足迹的23.02%。2008—2017年浙江省纺织工业灰水足迹如图2所示。由图2可知,10年间浙江省纺织工业灰水足迹除2010—2012年有小幅上升外整体呈下降趋势,由2008年 $5.71 \times 10^9\text{ m}^3$ 降低至2017年 $1.15 \times 10^9\text{ m}^3$,约减少70.40%。世界金融危机之后,2010年世界各地经济逐步回暖,新兴经济体对纺织品需求扩大,浙江省纺织工业生产恢复造成的废水排放对水环境产生的影响加重,2010—2012年灰水足迹约增加6.09%。2015—2017年浙江省纺织工业灰水足迹显著降低,一方面是浙江省工业行业废水排放治理解决突出问题之后,治理成效明显显现,另一方面是工业企业生产技术和生产工艺的进一步优化。子行业中,纺织业灰水足迹最大,是纺织服装、服饰业的62.57倍,化学纤维制造业的48.84倍,且整体呈下降趋势。印染产业集群为浙江省纺织工业高耗水、高排放的主要

原因,改造、开发新型废水回用技术以提高水资源的重复利用率对产品灰水足迹的减少有着显著作用。例如对丝绸企业改造中水回用装置探究发现,两年间企业水资源重复利用率由24.50%提高到54.80%,灰水足迹减少了约62.50%^[17]。从“十一五”开始的三个“五年规划”水污染防治期间,在政策的推动下,浙江省纺织印染企业进行了有效的整改升级,《关于印发浙江省印染造纸制革化工等行业整治提升方案的通知》中对印染行业明确提出淘汰落后工艺设备,提升清洁生产水平;“五水共治”、对印染产业集聚区实施“内外有别”的准入政策以及《纺织工业发展规划(2016—2020年)》中提出主要污染物排放量再下降10%等目标,严格限制了纺织工业废水及污染物的排放,纺织工业对水环境的影响降低。

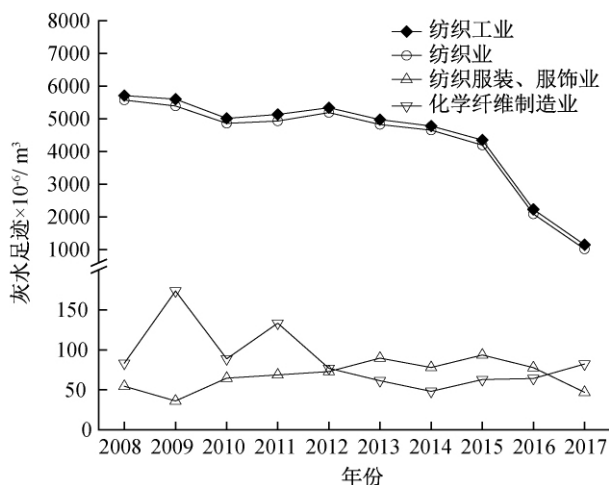


图2 2008—2017年浙江省纺织工业灰水足迹

2.3 纺织工业水短缺足迹

2008—2017年浙江省纺织工业水短缺足迹如图3所示。由图3可知,纺织工业水短缺足迹整体呈先小幅升高后持续降低的趋势,大致分为两个阶段:第一阶段为2008—2011年,水短缺足迹逐年增加,相比于2008年的 $2.09 \times 10^8\text{ m}^3\text{H}_2\text{O}$ 当量,2011年为 $2.20 \times 10^8\text{ m}^3\text{H}_2\text{O}$ 当量,约增长5.26%;第二阶段为2011—2017年,2017年水短缺足迹为 $1.70 \times 10^8\text{ m}^3\text{H}_2\text{O}$ 当量,比2011年约减少22.73%。子行业中,纺织业水短缺足迹占比最大,最高约为97.75%(2009年),年均占比约为95.19%。除2016年外,化学纤维制造业水短缺足迹均大于纺织服装、服饰业。“十一五”时期,由于纺织工业多为生产加工型集群,生产设备待以更新以及节水政策较为宽松等原因,加重了对水资源的耗用。进入“十二五”以来,浙江省着重优化产业结构,淘汰落后产能。《浙江省

印染行业淘汰落后整治提升方案》要求到2014年基本淘汰不符合规定的落后生产设施,印染行业结构得到明显优化。为节制工业用水,浙江省相继提出“十二五”时期万元工业增加值用水量相比“十一五”时期减少 20 m^3 ;2017年印染行业重复用水率达到40%以上;2020年较2015年万元工业增加值用水量下降25%。随着经济全球化的深入,研发能力的提高、生产技术的进步以及政策的严格管控下,纺织工业用水量逐年减少,水资源利用率得到提高,有效缓解了纺织工业对浙江省的水资源压力。

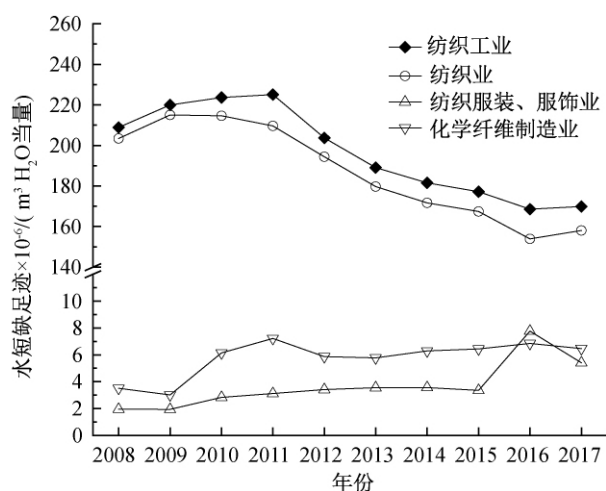


图3 2008—2017年浙江省纺织工业水短缺足迹

2.4 纺织工业水体富营养化足迹

浙江省纺织工业水体富营养化足迹主要由废水排放中的COD和氨氮造成,2008—2014年浙江省纺织工业COD和氨氮的年均排放量分别约占全国纺织工业总排放量的15.87%和22.97%。2008—2017年浙江省纺织工业水体富营养化足迹如图4所示。由图4可知,纺织工业水体富营养化足迹主要源自废水中的氨氮和COD。纺织工业水体富营养化足迹除2012年有小幅升高之外,整体呈下降趋势。由2008年 $3.60 \times 10^6\text{ kg PO}_4^{3-}\text{ eq}$ 下降到2017年 $1.06 \times 10^6\text{ kg PO}_4^{3-}\text{ eq}$,约减少70.56%。从来源看,由氨氮造成的水体富营养化足迹略高于COD。子行业中,纺织业水体富营养化足迹最大,化学纤维制造业其次,纺织服装、服饰业最少。“十一五”以来,国家出台毛纺工业、缫丝工业、纺织染整工业等一系列纺织工业水污染物排放标准对生产废水的排放做出严格规定;《关于印发浙江省治污水(2014—2017年)实施方案的通知》中指出到2015年,印染企业搬迁入园和原地整改达1292家;《关于高标准打好污染防治攻坚战,高质量建设美丽浙江的意见》中指出到2020年,COD和氨氮的排放量较

2015年分别减少19.20%和17.60%。浙江省大力推进印染产业集聚及升级改造,致力清洁生产,打造“绿色印染生产基地”成效明显。

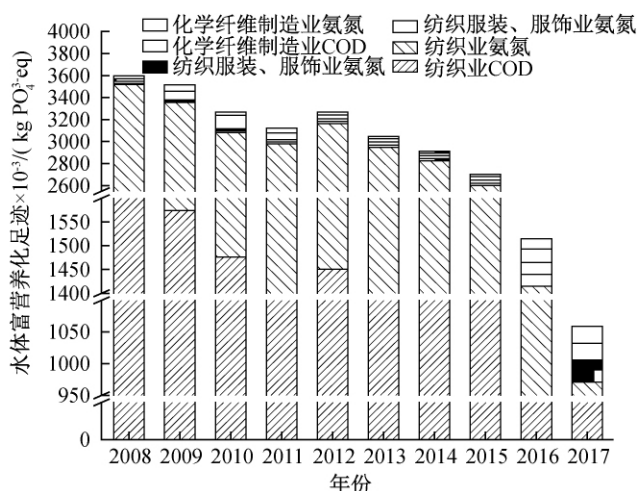


图4 2008—2017年浙江省纺织工业水体富营养化足迹

3 结论

基于浙江省纺织工业生产活动高耗水、高污染特点,运用WFN方法和ISO 14046标准,对2008—2017年浙江省纺织工业的水足迹进行了核算与评价,结论如下:

a)浙江省纺织工业的4种水足迹整体均呈下降趋势,其中水体富营养化足迹下降最大,约下降70.56%;灰水足迹次之,约下降70.40%;蓝水足迹和水短缺足迹下降幅度最小。相关政策的有效实施、产业结构的优化以及生产技术的进步为纺织工业水足迹整体下降的主要因素。

b)氨氮为浙江省纺织工业灰水足迹的特征污染物,水体富营养化足迹主要源自废水中的氨氮和COD,其中氨氮造成的水体富营养化足迹略高于COD。

c)子行业中,纺织业对水资源环境的影响远大于纺织服装服饰业和化学纤维制造业,年均约占纺织工业总体蓝水足迹的95.18%、灰水足迹的96.48%、水短缺足迹的95.19%、水体富营养化足迹的95.89%,化学纤维制造业对水资源环境的影响次之,纺织服装服饰业最少。

参考文献:

- [1] 吴一新,朱怀球,李晶,等.“标准化+”效应:助推浙江省纺织产业改造提升[J].中国纤检,2019(2):104-106.
- [2] Hoekstra A Y, Hung P Q. Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows Between Nations in Relation to International Crop Trade[R]. IHE Delft;

- Value of Water Research Report Series(No.11), 2002.
- [3] 孙才志, 白天娇, 韩琴. 基于基尼系数的中国灰水足迹区域与结构均衡性分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(12): 2047-2059.
- [4] 刘楚烨, 赵言文, 马群宇, 等. 基于水足迹理论的江苏省水资源可持续利用评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 313-320.
- [5] 吴兆磊, 吴兆丹, 祖晓倩. 基于灰水足迹视角的浙江省工业出口结构优化研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 40-45.
- [6] Gu Y F, Xu J, Keller A A, et al. Calculation of water footprint of the iron and steel industry: A case study in Eastern China[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 92: 274-281.
- [7] Ene S A, Teodosiu C, Robu B, et al. Water footprint assessment in the wine making industry: A case study for a Romanian medium size production plant [J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 43: 122-135.
- [8] 严岩, 贾秀秀, 单鹏, 等. 基于水劣化足迹的城市发展的水环境效应评价: 以北京市为例[J]. 环境科学学报, 2017, 37(2): 779-785.
- [9] 白雪, 胡梦婷, 朱春雁. ISO 14046: 2014《环境管理水足迹原则、要求与指南》国际标准解读[J]. 标准科学, 2015(9): 56-60.
- [10] 白雪, 胡梦婷, 朱春雁, 等. 基于 ISO 14046 的工业产品水足迹评价研究: 以电缆为例[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7260-7266.
- [11] Bai X, Ren X J, Khanna N Z, et al. Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 132: 369-375.
- [12] Wang L L, Ding X M, Wu X Y, et al. The introduction of water footprint methodology into the textile industry [J]. Industria Textila, 2014, 65(1): 33-36.
- [13] Wang L L, Ding X M, Wu X Y. Water footprint assessment for Chinese textiles manufacturing sector [J]. Industria Textila, 2017, 68(2): 116-120.
- [14] Wang L L, Ding X M, Wu X Y. Blue and grey water footprint of textile industry in China[J]. Water Science & Technology, 2013, 68(11): 2485-2491.
- [15] 高妍, 马广奇, 李宗省. 基于水足迹理论的水资源利用评价: 以我国纺织工业为例[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(3): 241-245.
- [16] 王东, 李戎, 宋阳, 等. 水足迹与印染[J]. 印染, 2011(4): 37-39.
- [17] 钟玲, 柳若安, 刘尊文, 等. 工业园区纺织产品水足迹核算与评价[J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(6): 40-43.
- [18] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Aldaya M M, et al. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries[J]. Ecological Economics, 2006, 60(1): 186-203.
- [19] 孙丽蓉, 田君, 丁雪梅, 等. 羊绒针织品水足迹核算[J]. 毛纺科技, 2018, 46(9): 5-7.
- [20] Chico D, Aldaya M M, Garrido A. A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products[J]. Journal of Cleaner Product, 2013, 57: 238-248.
- [21] 何琬文, 李一, 王晓蓬, 等. 丝绸产品基准水足迹核算与评价[J]. 现代纺织技术, 2018, 26(2): 41-45.
- [22] 朱菊香, 何琬文, 李一, 等. 黏胶纤维生产基准水足迹核算与评价[J]. 上海纺织科技, 2019, 47(11): 90-93.
- [23] 王来力, 吴雄英, 丁雪梅, 等. 纺织品及服装的工业水足迹核算与评价[J]. 纺织学报, 2017, 38(9): 162-167.
- [24] 朱菊香, 李一, 王来力. 基于水足迹的粘胶短纤维生产水环境负荷评价[J]. 现代纺织技术, 2019, 27(5): 67-72.
- [25] Ridoutt B G, Pfister S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity[J]. Global Environmental Change, 2010, 20(1): 113-120.
- [26] Keating B A, Carberry P S, Hammer G L, et al. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation [J]. European Journal of Agronomy, 2003, 18(3/4): 267-288.
- [27] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, et al. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard[M]. London, U K: Earthscan, 2011: 181-182.

(责任编辑:唐志荣)