

讨论与商榷

棉花碳水足迹的核算与评价研究

李佳慧¹ 丁雪梅¹ 吴雄英²

(1.东华大学,上海,200051;2.上海海关,上海,200135)

摘要: 探讨棉花碳水足迹核算与评价的若干问题。回顾了碳水足迹理论在纺织行业的应用现状,讨论了目前棉花从种植到轧花加工阶段的碳水足迹评价研究中系统边界的确定、核算与评价方法、清单分析、数据来源等方面存在的问题,给出了棉花碳水足迹评价方法的框架。认为:棉花碳水足迹的核算与评价有利于推进碳水足迹评价研究在纺织领域的全生命周期覆盖。

关键词: 棉花;碳水足迹;清单分析;核算评价;全生命周期

中图分类号: TS101.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7415(2019)10-0073-05

Study on Accounting and Assessment of Cotton Carbon & Water Footprint

LI Jiahui¹ DING Xuemei¹ WU Xiongying²

(1.Donghua University, Shanghai, 200051; 2. Shanghai Customs District P.R.China, Shanghai, 200135)

Abstract Problems in accounting and assessment of cotton carbon & water footprint were discussed. Application status of carbon & water footprint theory in the textile industry was reviewed. Problems of system boundary determination, accounting and assessment method, inventory analysis and data sources in carbon & water footprint evaluation research from cotton planting to ginning processing were discussed. Framework of cotton carbon & water footprint assessment method was given. It is considered that accounting and assessment of cotton carbon & water footprint is helpful to promoting full life cycle coverage of carbon & water footprint assessment research in the textile field.

Key Words Cotton, Carbon & Water Footprint, Inventory Analysis, Accounting Assessment, Full Life Cycle

纺织领域学者将碳足迹和水足迹理论体系与生命周期评价方法相结合运用于行业发展研究,以期通过量化评估纺织行业所产生的温室气体排放及与水资源相关的潜在环境影响,进一步制定应对措施以缓解纺织服装产业所产生的“高能耗,高水耗,高排放,重污染”问题。目前碳水足迹研究在纺织服装领域的应用聚焦于工业生产阶段。针对纺织产品原材料阶段精确有效的碳水足迹核算评价体系尚未建立。棉花作为棉纺织行业的主要原料,种植过程中大量的水、农药化肥及其他农

资投入增加了棉纺织产业发展的资源环境压力。国内外学者对棉花种植过程产生的环境影响进行分析,但依然存在评价标准不统一、核算清单不完善、核算结果差异较大的问题。纺织服装产品原材料阶段碳水足迹核算是完善纺织产品全生命周期评价研究中必不可少的一步,有助于我国纺织产业从原材料阶段源头上做好节能减排把控。

本文回顾了碳水足迹理论在纺织行业的应用,梳理了现有关于棉纺织产品原材料阶段碳水足迹研究在系统边界确定、评价方法选取、清单分析、数据来源等方面所存在的问题,构建了棉花碳水足迹评价方法框架。

1 碳水足迹理论及其应用现状

碳足迹是由英国学者提出的用于量化人类活

基金项目:国家重点研发计划资助(2018YFF0215703);上海市科委技术标准专项项目(17DZ2202900);上海市设计学 IV 类高峰学科资助项目-服装科技创新研究团队(DD18005)

作者简介:李佳慧(1995—),女,在读硕士研究生;吴雄英,通信作者,研究员, wuxiongying@vip.sina.com

收稿日期:2019-04-24

动过程中直接和间接的温室气体排放量指标^[1-2], 特别适用于评价与产品、部门等中小范围的计算分析产品或活动对温室效应的贡献程度^[3]。英国标准协会、国际化标准化组织分别发布了商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范 PAS2050:2008《产品碳足迹 量化与沟通的要求和指南》、纺织产品全生命周期温室气体排放评价规定 PAS2395:2014《规范温室气体(GHG)排放的纺织产品的整个生命周期的评估》、ISO14067《温室气体 产品的碳排放量 量化和通信的要求和指南》等指南或标准,明确了产品碳足迹计算方法。水足迹是用于量化与水相关潜在环境影响的指标^[4]。水足迹评价技术着眼于水资源管理及水污染监测领域,可以帮助更好地理解与水相关的潜在环境影响。水足迹网络(water footprint network, WFN)水足迹评价工作手册及 ISO14046《环境管理 水足迹 原则,要求和指导原则》标准两个理论体系被广泛应用。随着碳水足迹评价标准及规范的出台更新,学者对纺织品碳水足迹核算框架、方法、系统边界、指标体系等要点进行详细解析^[5-6]并运用到各类产品(棉纺织^[7]、丝绸^[8]、羊绒^[9]、涤纶^[10]等)生产加工阶段的生命周期分析及核算实践中。还对核算的基础性问题(能源^[11]、物料系数^[12]、区域水压力指数^[13]、灰水足迹系数^[14]、核算分配方法^[15])进行了探讨。核算结果分析从物质投入贡献率链段碳水足迹构成、过程影响评价着手。陈丽竹等从企业管理角度建立了节水评价绩效工具^[16]、温室气体排放管理评估系统^[17]及能源资源管理^[18]及碳水足迹标签体系^[19]。而追溯到上游原材料阶段及下游的使用、废弃阶段的研究,由于生命周期清单复杂,数据获取困难,目前评价研究成果少有。

2 棉花碳水足迹核算与评价研究的问题

2.1 系统边界的确定

碳水足迹评价应根据研究目的给出清晰的系统边界、组织边界、时空边界及研究详细程度等说明。碳水足迹核算的时间边界按照棉纺织生产工艺链进行划分。许菁等^[20]将原材料阶段分为棉花生产和棉纱生产;姚蕾^[21]、邓晓军^[22]、CHICO D^[23]则将棉花作物生长过程和棉花加工过程划分为原材料阶段。空间边界不一致导致各个核算结果无法相比。农业领域学者从作物种植

角度核算了棉花生产从播种到收获整个农业生产过程中的碳投入、碳产出总量^[24]及水足迹^[25-26],主要考量碳排放的环境影响,对生命周期中涉及的生物碳及过程中的碳存储效应鲜有涉及。因评价技术方法和原则不明确,在系统边界问题上未形成统一标准,纺织工业部门对棉花原材料阶段的统一评估方法未得到规范。

2.2 核算与评价方法

将国际通用标准或认可度较高的规范作为评价依据,可以保证核算与评价结果的准确性、透明性、一致性、可再现性、可信性。纺织领域在 PAS 2050 规范的指导下对棉氨混纺织物^[27]、纯棉普梳纱^[28]等产品碳足迹核算中涵盖了部分原材料阶段核算研究。农业领域多基于投入产出法,分析棉花种植中各类农场投入要素和农业活动的能量消耗,利用对应的温室气体排放系数加权求和得到全球增温潜势值。但由于碳足迹的定义尚未统一,温室气体界定范围不一致,排放参数获取途径各异,导致最终相关核算结果单位不统一(按棉花单位面积、单位产量、单位生物量计算),缺乏可比性。农业领域多基于 WFN 水足迹评价手册的水资源分类方式,利用 CROPWAT 模型中作物系数法或灌溉制度法,对棉花种植的水资源消耗及污染展开评估。纺织领域学者近年来开始使用新出台的 ISO14046 标准进行纺织产品生产水足迹评价。由于目前还未出现能将数据清单与水资源潜在环境影响准确一致联系在一起的公认方法学,各不同影响类型的水足迹计算基本采用 Pfister 等国外学者所构建的方法^[29]。

2.3 清单分析

对棉花原材料阶段的各个过程及相关的输入输出进行详尽梳理,主要单元过程为棉花种植过程及轧棉加工过程。因研究目的及核算范围不同,现有研究所梳理的碳足迹清单详细程度各异,主要核算了各类能源消耗、化肥农药等物料投入。机械损耗、土壤碳变化、生物碳存储等因素暂时未被广泛纳入碳足迹核算中。棉花生产用水主要体现在棉花栽培种植及灌溉等环节,基本借助用联合国粮农组织(FAO)推荐的 Penman-Monteith 公式、CROPWAT 等国际通用模型模拟估算出作物蒸散发量作为消耗的蓝绿水足迹。但在实际种植中,由于土壤水分限制、灌溉渠系水利用效率的差异,基于理想状态建立的估算通用模型的拟合效果有待讨论。水污染仅考虑施加氮肥造成的地

下水体富营养化影响,而实际上施加的肥料、植物保护化学品及农膜投入均会对不同水体造成不同程度的水质变化。

2.4 数据来源

核算与评价需搜集初级或次级活动水平数据及碳足迹排放系数、水足迹特征化因子等数据。棉花作物数据、资源能耗等活动水平数据可依据实际工艺技术资料或农户固定观察、问卷调查获取,或从国家统计局年鉴、农业技术指导意见等相关统计资料中获取。碳排放系数一般选取中国生命周期数据库(CLCD)、Ecoinvent 数据库、IPCC 排放因子数据库等国家、联合国认可的数据库,或使用 SimaPro 和 GaBi 等 LCA 软件数据库,或引用受同行评审后广泛认可的专家学者研究的排放系数。但各类数据库所采用的排放系数形式多样,如能源输入平均排放因子(千克 CO₂e/千克燃料、千克 CO₂e/MJ 电力或热量、吨/吨)单位各异,使得计算结果难以统一。灰水足迹通常选取氮肥施用量的 10% 作为淋失量或采用 GB/T 14848—2017《地下水质量标准》中的限额数据进行计算。由于中国生命周期数据库尚未提供健全的参数支持,核算过程中采用国外参数对核算结果的准确性造成一定影响。

3 棉花碳水足迹评价方法构建

为了实现纺织产品碳水足迹评价从摇篮到坟墓的全生命周期覆盖,针对上述提及的问题,以棉纺织产品为例对其原材料阶段开展评价研究,本文构建了棉花碳水足迹评价方法框架以更全面地反应棉花在全生命周期中的环境影响。

3.1 目的与系统边界

按照棉纺织产品生产工艺链特点,系统时间边界设定为从棉花种植到加工为止,空间边界为时间边界内所涉及温室气体及水资源的投入与产出。根据 PAS 2395 要求,人工、工厂、设备等基础设施投入被排除在边界外,运输部分由于信息来源不详也被排除在外。设定核算评价的功能单位为每千克皮棉,因此在核算过程中需要根据棉花纤维及种子的重量比例、价值量比例对种植阶段的碳水足迹进行合理分配。可见棉花品类、产地气候、土壤条件及施肥、灌溉等农业生产技术水平差异都会影响棉花的碳水足迹。

3.2 评价依据

碳足迹评价标准采用针对纺织产品的 PAS 2395:2014,将碳足迹定义为每功能单位纺织工业产品在生命周期内直接或间接排放及抵消的包含二氧化碳、甲烷、氧化亚氮在内的多种温室气体排放量净值,以二氧化碳当量来计算。相较 PAS 2050,PAS 2395 提供了纺织品制造全生命周期中温室气体(GHG)排放评估要求及规范,明确了如何在纺织产品工业部门统一应用评估方法的具体要素,解决了全球变暖潜能值(GWP)的单一影响类别的评估。水足迹评价采用 ISO14046 作为评价标准,弥补了 WFN 仅以水量数值作为评估结果的缺陷,利用水稀缺足迹和水劣化足迹更加直观反映棉花生产过程对水量和(或)水质的变化所导致的潜在环境影响。PAS2395 与 ISO14046 遵从了 ISO14044《环境管理 产品寿命周期评价,要求和导则》的生命周期分析理论框架,在基础评估原则及方法学框架一致,可在同一系统边界内进行碳水足迹评价。

3.3 清单分析

棉花原材料阶段碳水足迹清单可分为输入和输出两部分,梳理得到清单如图 1 所示。碳足迹主要来自灌溉用电,耕作及收获、轧棉加工过程中农业机械燃料消耗的排放,化肥、农药等农用化学品、地膜等农资投入生产及运输过程中的排放以及农田土壤 N₂O 直接排放。除了涉及温室气体排放的育种播种、秸秆还田等常规种植操作之外,需将棉花中生物碳存储量(以 CO₂ 计)计算所有与棉纤维有关的碳存储影响^[30]。棉花遭受疾病及虫害的可能性大于一般作物,所需的杀虫剂和除草剂的量高于其他作物,须将植物保护化学品及营养剂的生产、包装、存储和运输产生的温室气体排放尽可能详尽记录核算。棉花种植直接水足迹由作物蒸发蒸腾量、有效降雨量及灌溉用水量等综合决定。因区域的灌溉渠系水利用效率存在差异,需对计算灌溉需求水量的通用模型进行校正。肥料及其他农资投入的间接水足迹核算有待进一步完善。水劣化足迹评价除了考虑单一因子的淋失外,磷及其他农药造成的水质污染也需探讨。

3.4 数据来源

棉花原材料阶段的初级活动水平数据难以获取,通过实际工艺技术资料、农户固定观察、问卷调查获取活动水平数据,调研范围和样本量存在

局限性。

基于我国国家及各省市地统计的气象数据、作物数据、土壤数据可以较为准确地计算出棉花种植阶段的用水量。我国不同地域棉产区生产技术条件、资源利用类型存在较大差异,核算过程中

排放系数、特征因子尽可能选择符合生产地情况的相关数据,如各地统计年鉴、农业统计资料、环境统计年鉴等官方统计资料可使评价结果更具代表性及可比性^[31]。

输入			输出		
类别	项目	数量	类别	项目	数量
新鲜水消耗	有效降雨量 m ³ /t		产品	棉花产量 t	
	灌溉用水量 m ³ /t		废水	废水总排放量 m ³ /t	
	轧花用水量 m ³ /t			污染物种类	污染负荷
种植投入材料	种子 kg/t			COD kg/t	
	幼苗 kg/t			总磷 kg/t	
肥料	氮肥 kg/t		N ₂ O 排放	总氮 kg/t	
	磷肥 kg/t			农田 N ₂ O 排放 kg CO ₂ eq/t	
	钾肥 kg/t		碳抵消	棉花生物碳存储 kg CO ₂ eq/t	
	复合肥 kg/t				
农药	除草剂 kg/t				
	杀虫剂 kg/t				
	植物生长调节剂 kg/t				
植保材料	农膜使用量 kg/t				
	农用管道用量 kg/t				
能源	电 (kW·h) /t				
	柴油 kg/t				
	汽油 kg/t				
	煤油 kg/t				
	煤 kg/t				

图 1 棉花原材料阶段碳水足迹清单

4 结论

在梳理碳水足迹理论在纺织业的应用研究现状基础上,讨论了棉花碳水足迹核算与评价中存在的问题,并构建了棉花碳水足迹评价方法框架,明确了以下改进方法,进一步推进了碳水足迹评价研究在纺织领域的全生命周期覆盖。

(1)将棉纺织产品原材料阶段界定为从棉花种植到加工为止,以每千克皮棉为功能单位进行核算与评价。

(2)采用 ISO14046 标准评价得到该阶段的水可利用性及水劣化的环境影响。参照 PAS 2395 规范量化棉花种植加工过程的全球增温潜势。以精简化指标与精炼化的结果直观地体现该阶段的资源环境影响。

(3)进一步细化整合边界内的输入输出,根据实际生产情况构建了碳水足迹清单,将生物碳存储、灌溉用水、除草剂、杀虫剂等多种农用化学品、氮磷肥多种类型水污染因素纳入碳水足迹评价范围。

(4)根据我国棉花生产及能耗水耗实际情况完善棉花原材料阶段数据库,选用不同地域棉产区生产技术条件、资源利用类型选择区域化特征参数可使评价结果更具准确性、代表性及可比性。

参考文献:

- [1] WIEDMANN T, MINX J. A Definition of “Carbon Footprint”[R]. Durham: ISAU Research & Consulting, 2007.
- [2] BSI. Guide to PAS 2050. How to Assess the Carbon Footprint of Goods and Services[J]. Library, 2008:

- 58.
- [3] MARTINEZ S, MARCHAMALO M, ALVARZI S. Organization Environmental Footprint Applying A Multi-regional Input-output Analysis: A Case Study of A Wood Parquet Company in Spain[J]. Science of the Total Environment, 2018, 618: 7-14.
- [4] British Standard. Environmental Management-water Footprint-principles, Requirements and Guidelines: ISO14046:2014[S]. 2014.
- [5] 王晓蓬, 王君涛, 李一. 基于 PAS 2395 的纺织产品碳足迹核算与评价[J]. 现代纺织技术, 2018, 26(3): 44-46.
- [6] EWING B R, HAWKINS T R, WIEDMANN T O, et al. Integrating Ecological and Water Footprint Accounting in A Multi-regional Input-output Framework[J]. Ecological Indicators, 2012, 23: 1-8.
- [7] 王来力, 吴雄英, 丁雪梅, 等. 棉针织布的工业碳足迹和水足迹实例分析初探[J]. 印染, 2012, 38(7): 43-46.
- [8] 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, 65.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 李昕. 纺织服装产品工业碳足迹核算中若干关键问题的研究[D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [12] 张音. 纺织服装产品工业水足迹核算中两类基础性问题的研究[D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [13] 丁雪梅, 陈丽竹, 张音, 等. 基于区域与季节水资源压力指数产品工业水足迹核算方法: 201410078497 [P]. 2017-03-01.
- [14] 许璐璐, 吴雄英, 陈丽竹, 等. 纺织服装灰水足迹核算中相关参数的选择[J]. 印染, 2015, 41(13): 38-42.
- [15] 丁雪梅, 冯文艳, 陈丽竹, 等. 一种基于单位耗汽量的产品耗汽量分配方法: 201410386856.7 [P]. 2017-07-01.
- [16] CHEN L, WANG L, WU X, et al. A process-level Water Conservation and Pollution Control Performance Evaluation Tool of Cleaner Production Technology in Textile Industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 143: 1137-1143.
- [17] ZHU L, CHEN L, WU X, et al. Developing A Greenhouse Gas Management Evaluation System for Chinese Textile Enterprises [J]. Ecological Indicators, 2018, 91: 470-477.
- [18] CHEN L, SHEN B, WU X, et al. Development of A Cost-effective Energy and Water Management System for Small and Medium-sized Manufacturers [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 153: 264-274.
- [19] 苏爱珍. 纺织服装产品水足迹标签体系的研究与建立[D]. 上海: 东华大学, 2017.
- [20] 许菁, 赖嘉颖, 何秋燕, 等. 广州新塘牛仔服装企业供应链碳足迹构成与分布调研 [R]. 广东: 碳为 GREEN 止, 2011.
- [21] 姚蕾. 纺织服装原材料阶段碳足迹评价及碳减排措施——以棉花为例[J]. 天津工业大学学报, 2014, 33(1): 70-76.
- [22] 邓晓军, 谢世友, 崔天顺, 等. 南疆棉花消费水足迹及其对生态环境影响研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 176-180, 185.
- [23] CHICO D, ALDAYA M M, GARRIDA 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 Production, 2013, 57(2): 238-248.
- [24] 史磊刚, 范士超, 孔凡磊, 等. 华北平原主要作物生产的碳效率研究初报[J]. 作物学, 2011, 37(8): 1485-1490.
- [25] 金书秦, 杜珉, 魏珣, 等. 棉花种植的环境影响及可持续发展建议[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(6): 110-117.
- [26] 王占彪, 陈静, 张立峰, 等. 河北省棉花生产碳足迹分析[J]. 棉花学报, 2016, 28(6): 594-601.
- [27] 李戎, 吴丹丹, 蒋红, 等. 碳足迹及其在染整加工中的测算[J]. 印染, 2011, 37(18): 40-43.
- [28] 李雪月, 徐文杰, 朱进忠, 等. 纯棉普梳纱碳足迹的计算方法[J]. 棉纺织技术, 2014, 42(9): 19-23.
- [29] STEPHAN P, ANNETTE K, STEFANIE H. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA [J]. Environmental Science and Technology, 2009, 43(11): 4098-4104.
- [30] 张丹, 张卫峰. 低碳农业与农作物碳足迹核算研究述评[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1395-1405.
- [31] British Standards. Specification for the Assessment of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from the Whole Life Cycle of Textile Products: PAS2395: 2014[S]. 2014.