



纺织产品生命周期评价研究进展

丰翔^{1,2}, 孙丽蓉³, 朱紫嫒^{1,2}, 董雪玉^{1,2}, 王晓蓬⁴, 王来力^{2,5}

(1. 浙江理工大学服装学院, 浙江杭州 310018; 2. 浙江省服装工程技术研究中心, 浙江杭州 310018; 3. 中国纺织工业联合会社会责任办公室, 北京 100027; 4. 浙江理工大学科学技术研究院, 浙江杭州 310018; 5. 浙江理工大学浙江省丝绸与时尚文化研究中心, 浙江杭州 310018)

摘要: 为揭示纺织产品生命周期评价研究进展,以中国知网(CNKI)数据库和 Web of Science 核心数据库中纺织产品生命周期评价文献为数据源,对文献的发文量、发文作者和载文期刊等进行统计,并对文献中的核算产品、核算边界、核算数据和结果评价等进行探讨。研究发现:2002—2020年纺织产品生命周期评价的研究文献数量整体呈上升趋势;中文文献中,东华大学的核心作者数量、发文量以及文献被引次数最多,英文文献核心作者集中于欧洲;《纺织导报》和 *Journal of Cleaner Production* 分别是中文和英文文献载文量最多的期刊;文献集中于天然纤维尤其是棉纤维类纺织产品的环境影响评价,对化学纤维类纺织产品的生命周期评价研究相对较少;纺织产品生命周期评价研究没有统一的核算边界和高质量的区域化数据库,评价指标体系尚未统一化和标准化。

关键词: 纺织产品; 生命周期评价; 核算边界; 核算数据; 结果评价

中图分类号: TS10 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0439(2022)10-0001-06

Research progress of textile products life cycle assessment

FENG Xiang^{1,2}, SUN Lirong³, ZHU Ziyuan^{1,2}, DONG Xueyu^{1,2},
WANG Xiaopeng⁴, WANG Lai^{2,5}

(1. School of Fashion Design & Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Engineering Research Center of Clothing of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. Office for Social Responsibility, China National Textile and Apparel Council, Beijing 100027, China; 4. Academy of Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 5. Silk and Fashion Culture Research Center of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to reveal the current status and trends of textile products life cycle assessment research, taking the literature of textile product life cycle assessment in CNKI database and Web of Science core database as the data source, statistics on the volume of papers, the authors and periodicals published in the literature were collected, and the accounting products, accounting boundaries, accounting data and result evaluation in the literature were discussed. The results showed that the amount of literatures focusing on textile product life cycle assessment increased from 2002 to 2020. The amounts of authors, literatures and citations of Chinese literatures in Donghua University were the most, while the authors of English literatures were mainly from Europe. *China Textile Leader* and *Journal of Cleaner Production* were the journals that published the largest amount of Chinese literatures and English literatures respectively. The published literatures mainly focused on the environmental impact assessment of natural fibers textile products, especially cotton fibers textile products. There were few studies that carried out the life cycle assessment of chemical fibers textile products. There were no unified calculation boundary and regional database with high quality for life cycle assessm-

收稿日期: 2021-09-07

基金项目: 浙江理工大学2021年优秀研究生学位论文培育基金(LW-YP2021051);2022年中央外经贸发展专项资金(茧丝绸)项目(浙财建[2022]95号);2022年浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目(2022R406C077)

作者简介: 丰翔(1998—),男,硕士在读,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(1985—),男,副教授,主要研究方向为纺织服装水足迹理论、低碳理论、纺织品及服装检测与评价技术,E-mail:wangll@zstu.edu.cn。

ent of textile products, and the evaluation index system were incompatible and unstandardized.

Key words: textile products; life cycle assessment; accounting boundary; accounting data; result evaluation

纺织产品生产加工链长,在原材料获取、产品加工、运输、销售、使用和废弃等全生命周期阶段中消耗水资源、能源和其他资源,并造成温室气体排放、水体污染、化学品污染物排放等诸多环境影响^[1-4]。生命周期评价(LCA)法是一种用于评估产品从原材料的获取、产品的生产和使用以及废弃处置等全生命周期对环境的影响的方法,可以识别产品生命周期中的关键影响环节,促进对产品的可持续性进行科学有效的管理^[5-6]。LCA法已在纺织领域得到关注和应用,本文采用文献检索、统计计量和内容分析法,以中国知网(CNKI)数据库与Web of Science核心数据库中纺织产品LCA研究文献为数据源,对文献的发文量、发文作者和载文期刊等进行统计,并对文献中的核算产品、核算边界、核算数据和结果评价等进行探讨,揭示纺织产品LCA的研究进展,为纺织产品的LCA研究和应用提供参考。

1 数据来源

在CNKI数据库中,选择文献类型为“期刊”,利用高级检索,以主题“纺织”“服装”“织物”“纤维”并含“生命周期评价”进行检索,结果有111条,进一步选择纺织产品LCA相关文献,剔除以建筑材料、包装材料、纺织产业等为研究对象的文献,最后得到68篇文献,分布于2002年1月1日—2020年12月31日。

在Web of Science核心数据库中,选择文献类型为“article”,语种为“English”,以“TS=(textile or clothing or garment or apparel or fiber or fabric or yarn or cotton or hemp or flax or silk or wool or polyester or polyamide or nylon or polypropylene or acrylic or viscose) and TS=(life cycle assessment)”进行检索,得到文献合计1 164篇,同样选择纺织产品LCA相关文献,剔除以复合材料、建筑材料、废料回收等为研究对象的文献,最后得到153篇文献,分布于2007年1月1日—2021年4月26日。

2 研究现状

2.1 发文量

文献发文量是衡量纺织产品LCA研究领域发展情况的重要指标。由图1可知,中文文献发文量在

2002—2010年间较少,年均2.11篇。此阶段纺织产品LCA研究尚处于萌芽期,研究集中在纺织产品LCA概念的梳理、核算边界的确立以及核算模型的探讨等内容。2011—2014年,中文文献发文量明显增多,年均8.50篇,是2002—2010年年均发文量的4.03倍。此阶段随着纺织产品LCA理论的发展、完善,针对纺织产品LCA的研究不再局限于理论层面,开始转向对纺织产品全生命周期环境影响的核算与评价应用。2015—2020年,中文文献发文量稍有下降,年均2.50篇,但是通过对该时间段内的文献进行深入分析后发现,该阶段纺织产品LCA相关研究方向增多,涉及纺织产品碳足迹、水足迹、化学品足迹等。

英文文献发文量在2007—2013年间相对较少,年均3.29篇。此阶段针对纺织产品LCA的研究集中在理论层面,聚焦于纺织产品生命周期的阶段划分和清单分析的研究。2014—2017年,英文文献发文量开始上升,年均10.50篇,增长率达到219.15%。随着LCA理论研究的发展以及核算方法的完善,研究开始转向纺织产品的环境影响评价,对纤维、织物、成衣的环境影响都有比较全面的核算与评价研究。2018—2021年,英文文献发文量进一步上升,年均达到22.00篇,是2014—2017年年均发文量的2.10倍。

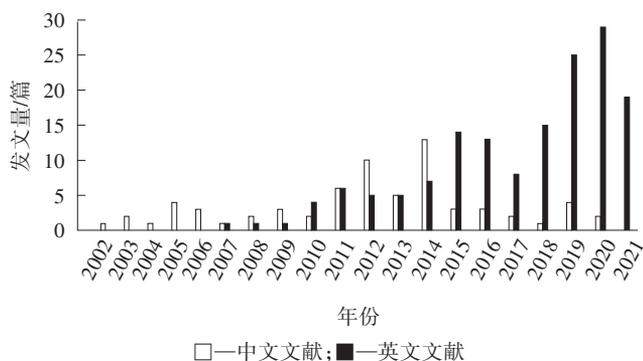


图1 2002—2021年纺织产品LCA研究发文量

2.2 发文作者

对发文作者进行分析可以快速识别纺织产品LCA研究领域的核心研究人员。68篇中文文献共涉及143名作者,发文量3篇及以上的作者共9人,占中文文献作者总数的6.29%。153篇英文文献的作者共516名,发文量3篇及以上的作者共23人,占英文文献作者总数的4.46%。由表1可知,9名中文文献核心

作者中,东华大学3名,北京服装学院和青岛大学各2名,浙江理工大学、中国检验认证集团各1名。学术文献产出机构主要是高校,其中,东华大学不仅核心作者数量多,而且其发文量和文献被引次数也明显领先。9名英文文献核心作者中,瑞典3名,新西兰和法国各2名,瑞士和澳大利亚各1名。

表1 纺织产品LCA研究中文和英文文献核心作者分布

| 文献 | 排序 | 作者 | 发文量/篇 | 文献被引次数/次 | 国家或机构 |
|----|----|--------------------|-------|----------|----------|
| 中文 | 1 | 吴雄英 | 7 | 56 | 东华大学 |
| | 2 | 丁雪梅 | 7 | 43 | 东华大学 |
| | 3 | 王来力 | 5 | 53 | 浙江理工大学 |
| | 4 | 李戎 | 3 | 39 | 东华大学 |
| | 5 | 郭燕 | 3 | 29 | 北京服装学院 |
| | 6 | 陈建伟 | 3 | 27 | 青岛大学 |
| | 7 | 王珏 | 3 | 27 | 青岛大学 |
| | 8 | 王丽华 | 3 | 22 | 中国检验认证集团 |
| | 9 | 卢安 | 3 | 21 | 北京服装学院 |
| 英文 | 1 | Martin K. Patel | 5 | 217 | 瑞士 |
| | 2 | Greg M. Peters | 5 | 120 | 瑞典 |
| | 3 | Nemeshwaree Behary | 5 | 39 | 法国 |
| | 4 | Ernst Worrell | 4 | 146 | 新西兰 |
| | 5 | Gustav Sandin | 4 | 102 | 瑞典 |
| | 6 | Sandra Roos | 4 | 47 | 瑞典 |
| | 7 | Anne Perwuelz | 4 | 38 | 法国 |
| | 8 | S G Wiedemann | 4 | 36 | 澳大利亚 |
| | 9 | Enda Crossin | 4 | 23 | 新西兰 |

2.3 载文期刊

载文期刊是信息传播的载体和信息交流的平台,是发文质量的重要表征参数。68篇中文文献和153篇英文文献共涉及33个中文期刊和57个英文期刊。载文量3篇及以上的中文期刊共8个,占中文期刊总数的24.24%。载文量3篇及以上的英文期刊共6个,占英文期刊总数的10.53%。由表2可以看出,8个中文期刊和6个英文期刊的载文量共133篇,占文献总数的60.18%。中文期刊中,载文量5篇以上的期刊为《纺织导报》和《印染》,载文量分别是10篇和8篇,分别占文献总数的14.71%和11.76%。英文期刊中,《Journal of Cleaner Production》载文量最多(35篇),占英文文献总数的22.88%。《International Journal of Life Cycle Assessment》、《Sustainability》和《Resources Conservation and Recycling》的载文量分别是24、17、12篇,在英

文文献中占比分别为15.69%、11.11%和7.84%。

表2 纺织产品LCA研究中文和英文文献期刊分布

| 文献 | 排序 | 期刊名称 | 载文量/篇 | 影响因子 | 占比/% |
|----|----|---|-------|--------|-------|
| 中文 | 1 | 纺织导报 | 10 | 0.810 | 14.71 |
| | 2 | 印染 | 8 | 0.745 | 11.76 |
| | 3 | 纺织学报 | 4 | 1.477 | 5.88 |
| | 4 | 毛纺科技 | 4 | 0.719 | 5.88 |
| | 5 | 山东纺织经济 | 4 | 0.239 | 5.88 |
| | 6 | 棉纺织技术 | 3 | 0.557 | 4.41 |
| | 7 | 上海纺织科技 | 3 | 0.507 | 4.41 |
| | 8 | 轻纺工业与技术 | 3 | 0.263 | 4.41 |
| 英文 | 1 | <i>Journal of Cleaner Production</i> | 35 | 9.297 | 22.88 |
| | 2 | <i>International Journal of Life Cycle Assessment</i> | 24 | 4.141 | 15.69 |
| | 3 | <i>Sustainability</i> | 17 | 3.251 | 11.11 |
| | 4 | <i>Resources Conservation and Recycling</i> | 12 | 10.204 | 7.84 |
| | 5 | <i>Journal of Industrial Ecology</i> | 3 | 6.946 | 1.96 |
| | 6 | <i>Fibers and Polymers</i> | 3 | 2.513 | 1.96 |

3 研究内容及评述

3.1 核算产品

对68篇中文文献和153篇英文文献进行进一步筛选,得到79篇纺织产品LCA研究案例的文献,对其产品类别分布进行分析,结果如图2所示。

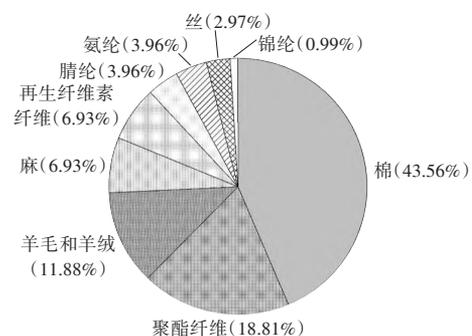


图2 纺织产品LCA研究产品类别分布

由图2可知,纺织产品LCA研究案例涉及棉、聚酯纤维、羊毛和羊绒、麻、再生纤维素纤维、腈纶、氨纶、丝和锦纶等纤维材料的纺织产品,其中棉类纺织产品LCA研究案例最多,占比约43.56%,其次是聚酯纤维类纺织产品,占比约18.81%,再次是羊毛和羊绒类纺织产品,占比约11.88%。麻纤维和再生纤维素纤维的文献占比相同,均为6.93%,其中麻纤维类LCA研究文献涉及苧麻、大麻、亚麻、红麻和黄麻等材料的纺织产品,再生纤维素纤维类LCA研究对象包括

黏胶、莫代尔的天丝等材料的纺织产品。

3.2 核算边界

核算边界的一致性直接决定纺织产品 LCA 结果的可比性。由图 3 可知,核算边界为“纤维生产→废弃”阶段的文献占比最高,约 15.19%,其次较为集中的是“种植(养殖)→纤维生产”阶段和“种植(养殖)→废弃”阶段,文献占比均约 12.66%。现有纺织产品 LCA 研究案例的核算边界尚不统一,其差异直接影响纺织产品 LCA 结果的可比性^[7]。Santos 等^[8]认为只有针对摇篮到坟墓的核算边界,才能充分评估产品全生命周期阶段的环境影响。然而现有研究针对纺织产品进行生命周期评价时,界定的核算边界差异较大,导致评价结果的参考价值较低,也不具可比性。例如, Fidan 和 Lin 等^[9-10]都对棉织物生命周期的水环境影响进行了评价,但前者包括原材料的获取阶段,即棉花种植阶段,后者只包括棉织物织造环节,研究结果之间没有可比性。Wang 和 Zhang 等^[11-12]都对纯棉衬衫的碳足迹进行了核算,但前者没有涉及服装废弃阶段,而后者对纯棉衬衫全生命周期的碳排放进行了核算,核算结果同样不具有可比性。

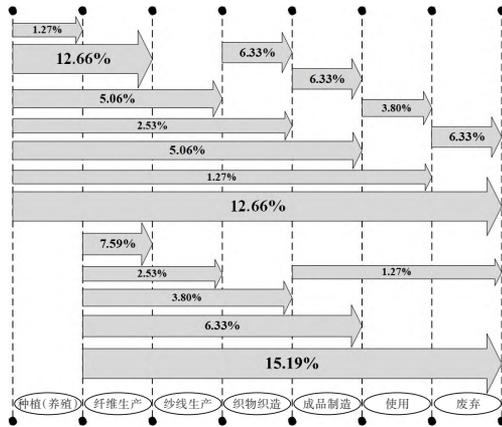


图3 纺织产品 LCA 研究案例核算边界分布

3.3 核算数据

纺织产品加工生产链长,投入的物料、资源和能源种类繁多,需要大量清单数据支撑纺织产品 LCA 的研究。79 篇纺织产品研究案例文献中,共有 53 篇文献应用了 7 种 LCA 数据库。由表 3 可知,纺织产品 LCA 研究案例中应用的 LCA 数据库有瑞士的 Ecoinvent、德国的 GaBi、澳大利亚的 AusLCI、荷兰的 IDEMAT、欧盟的 ELCD、中国的 CLCD 和美国的 USA input-output。Ecoinvent 是纺织产品 LCA 研究中应用最多的数据库,使用率约占 53 篇文献的 59.38%,其次是 GaBi,占比约 17.19%。2 个数据库对欧洲、美国、中国等区域都有涉及,但是针对欧洲的基础能源、原材料、运输和

废弃物处理等内容的数据更全面,针对其他区域基础能源、原材料等的单元过程数据相对较少。AusLCI、IDEMAT、ELCD、CLCD 和 USA input-output 等是基于澳大利亚、欧洲、中国和美国等特定地区的背景数据,区域性特征明显,无法代表其他区域的生产水平以及环境状况。由于地区之间经济发展水平和自然本底环境条件的差异,针对某个地区建立的 LCA 数据库在其他地区的适用性较差,因此,构建不同地区的本土化 LCA 数据库可以减少产品生命周期评价结果的不确定性^[13]。

表3 纺织产品 LCA 研究应用的数据库

| 排序 | 数据库名称 | 适用区域 | 文献篇数/篇 | 占比/% |
|----|------------------|------------|--------|-------|
| 1 | Ecoinvent | 全球 350 个地区 | 38 | 59.38 |
| 2 | GaBi | 欧洲、美国和中国等 | 11 | 17.19 |
| 3 | AusLCI | 澳大利亚 | 7 | 10.94 |
| 4 | IDEMAT | 欧洲 | 3 | 4.69 |
| 5 | ELCD | 欧洲 | 3 | 4.69 |
| 6 | CLCD | 中国 | 1 | 1.56 |
| 7 | USA input-output | 美国 | 1 | 1.56 |

3.4 结果评价

纺织产品 LCA 的结果包括足迹类、问题导向类和损伤导向类,不同类型的 LCA 结果所依据的方法和研究文献情况见表 4。

表4 纺织产品 LCA 结果类型

| 评价结果类型 | 排序 | 方法依据 | 适用区域 | 文献篇数/篇 | 占比/% |
|--------|----|--------------------------------------|------|--------|-------|
| 足迹类 | 1 | IPCC Assessment Report | 全球 | 15 | 17.24 |
| | 2 | PAS 2050 | 全球 | 7 | 8.05 |
| | 3 | USEtox | 全球 | 6 | 6.90 |
| | 4 | Australian National Inventory Report | 澳大利亚 | 3 | 3.45 |
| | 5 | ISO 14046 | 全球 | 3 | 3.45 |
| | 6 | Water Footprint Network | 全球 | 2 | 2.30 |
| 问题导向类 | 1 | CML 2001 | 欧洲 | 11 | 12.64 |
| | 2 | ILCD | 欧洲 | 4 | 4.60 |
| | 3 | Product Environmental Footprint | 欧洲 | 3 | 3.45 |
| | 4 | EDIP | 欧洲 | 2 | 2.30 |
| 损伤导向类 | 1 | ReCiPe 2016 | 全球 | 9 | 10.34 |
| | 2 | Eco-indicator 99 | 欧洲 | 5 | 5.75 |
| | 3 | ReCiPe 2008 | 欧洲 | 4 | 4.60 |
| | 4 | Impact World+ | 全球 | 2 | 2.30 |

足迹类评价结果通常聚焦单一类型的环境问题,如Cottle等^[14-16]都对绵羊养殖和羊毛生产过程的碳足迹进行了核算,分析羊毛产品生产造成的全球气候变暖影响。问题导向类结果是在中间点水平进行多维环境影响分析,如Fidan等^[9]通过全球变暖潜势、酸化潜势、富营养化潜势、用水和累积能量需求

等5个中间点影响类别对牛仔布的多维环境影响进行分析。损伤导向类结果则是在终点水平进行环境影响分析,如Subramanian等^[17]针对聚酯纤维回收对人体健康损伤、生态系统损伤和资源耗竭等3个类别的终点环境影响进行分析研究。以棉纺织产品为例,其LCA结果见表5。

表5 棉纺织产品LCA结果^[11,18-21]

| 评价结果类型 | 评价指标 | 0.154 kg 棉T恤 | 0.28 kg 棉衬衫 | 250 kg 棉衬衫 | 0.25 kg 棉衬衫 | 1 kg 染色棉纱(种植阶段) |
|--------|----------------------------|--------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 足迹类 | 碳足迹/kg CO ₂ eq | 3.700 | 8.771 | 4 113.000 | 4.292 | |
| | 蓝水足迹/m ³ | 52.7 | | | | |
| 问题导向类 | 生态稀缺/点数 | 14 510 | | | | |
| | 累计能源需求/MJ | 49.6 | | | | |
| | 非生物耗竭/MJ | | | 96 658 | | |
| | 海洋水体生态毒性/kg 1,4-DCB eq | | | 16 324 | | |
| | 水体富营养化/kg P eq | | | 4.17 | | |
| | 水体酸化/kg SO ₂ eq | | | 14.84 | | |
| | 人体毒性/kg 1,4-DCB eq | | | 347.13 | | |
| | 臭氧损耗/kg R11 eq | | | 1.5×10 ⁻¹⁰ | | |
| 损伤导向类 | 生态系统/点数 | | | | | 0.74 |
| | 人体健康/点数 | | | | | 3.03×10 ⁻² |
| | 资源/点数 | | | | | 1.66×10 ⁻³ |

由表5可以看出,棉纺织产品的足迹类LCA结果可以单独应用,例如棉衬衫的碳足迹,也可以与损伤导向类LCA结果组合应用,从全球变暖、酸性化、富营养化、生态毒性等多维层面分析环境影响,但是各类影响指标的单位往往不统一,难以进行产品间环境影响大小的比较^[22]。损伤导向类LCA结果将环境影响转换到终点水平,包括生态系统损伤、人体健康损伤以及资源消耗3个方面,而且可以加权归一为统一单位,以实现不同产品、不同工艺在终点水平的环境影响比较^[23]。

4 结论

(1)纺织产品LCA研究的文献发文量整体呈上升趋势,研究态势良好,文献载文期刊分布和核心作者机构分布较集中,但是机构间研究团队的合作较少。通过创立专门的纺织产品LCA研究期刊,增进机构之间的学术交流与合作,可以更好地促进纺织产品LCA研究的进一步发展。

(2)纺织产品LCA研究对象涉及天然纤维纺织产品和化学纤维纺织产品,其中对棉纤维类纺织产

品LCA的研究案例最多。如果增加对麻、丝等天然纤维纺织产品和再生纤维素纤维、腈纶、氨纶、锦纶等化学纤维纺织产品的LCA研究,将可以更好地开展不同纤维类别纺织产品环境表现的比较评价,为绿色纺织产品的筛选提供参考。

(3)纺织产品LCA研究涉及纺织产品生命周期各阶段的核算与评价,其中对纺织产品“纤维生产→废弃”生命周期阶段的LCA研究最多,如果加强针对种植(养殖)、使用和废弃生命周期阶段的研究,将可以更好地对纺织产品全生命周期的环境表现进行全面且客观的评价。

(4)纺织产品LCA研究核算边界不一致、核算数据区域性特征明显和评价指标差异性大是纺织产品LCA结果不可比的主要原因。为了更好地评估纺织产品的环境影响,提高LCA结果的可比较性,需要确立统一的纺织产品LCA核算边界,开发区域化、全球化的数据库,构建统一化、标准化的LCA指标体系,完善终点水平环境影响评价的方法。

参考文献:

[1] 王来力,丁雪梅,吴雄英.纺织产品碳足迹研究进展[J].纺织学报,

- 2013,34(6):113-119.
- [2] 王克,田泽君,王来力.浙江省纺织工业水足迹核算与评价[J].浙江理工大学学报(自然科学版),2020,43(6):737-742.
- [3] 田泽君,王来力,李一.纺织服装产品的化学品足迹核算与评价[J].丝绸,2019,56(1):33-37.
- [4] 赵丽丹.纺织业环境污染问题及解决措施[J].山东纺织科技,2009,50(3):31-32.
- [5] 王长波,张力小,庞明月.生命周期评价方法研究综述——兼论混合生命周期评价的发展与应用[J].自然资源学报,2015,30(7):1232-1242.
- [6] 翟一杰,张天祚,申晓旭,等.生命周期评价方法研究进展[J].资源科学,2021,43(3):446-455.
- [7] WATSON K J, WIEDEMANN S G. Review of methodological choices in LCA-Based textile and apparel rating tools: key issues and recommendations relating to assessment of fabrics made from natural fibre types[J]. Sustainability, 2019, 11(14):3846.
- [8] SANTOS A, BARBOSA-PÓVOA A, CARVALHO A. Life cycle assessment in chemical industry—a review[J]. Current Opinion in Chemical Engineering, 2019, 26:139-147.
- [9] FIDAN F S, AYDOGAN E K, UZAL N. An integrated life cycle assessment approach for denim fabric production using recycled cotton fibers and combined heat and power plant[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 287:125439.
- [10] LI X, REN J, WU Z, et al. Development of a novel process-level water footprint assessment for textile production based on modularity[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 291:125884.
- [11] WANG C, WANG L, LIU X, et al. Carbon footprint of textile throughout its life cycle: a case study of Chinese cotton shirts[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 108:464-475.
- [12] ZHANG Y, LIU X, XIAO R, et al. Life cycle assessment of cotton T-shirts in China[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2015, 20(7):994-1004.
- [13] KARKOUR S, RACHID S, MAAOUI M, et al. Status of life cycle assessment (LCA) in Africa[J]. Environments, 2021, 8(2):10.
- [14] COTTLE D J, COWIE A L. Allocation of greenhouse gas production between wool and meat in the life cycle assessment of Australian sheep production[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2016, 21(6):820-830.
- [15] SEMBA T, SAKAI Y, IAHIKAWA M, et al. Greenhouse gas emission reductions by reusing and recycling used clothing in Japan[J]. Sustainability, 2020, 12(19):8214.
- [16] BISWAS W K, GRAHAM J, KELLY K, et al. Global warming contributions from wheat, sheep meat and wool production in victoria, Australia—a life cycle assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2010, 18(14):1386-1392.
- [17] SUBRAMANIAN K, CHOPRA S S, CAKIN E, et al. Environmental life cycle assessment of textile bio-recycling—valorizing cotton-polyester textile waste to pet fiber and glucose syrup[J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 161:104989.
- [18] SCHMUTZ M, HISCHIER R, SOM C. Factors allowing users to influence the environmental performance of their T-shirt[J]. Sustainability, 2021, 13(5):2498.
- [19] KAZAN H, AKGUL D, KERCI A. Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques[J]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2020, 22(4):849-864.
- [20] 郭燕. 服装废弃阶段的碳足迹评价[J]. 纺织导报, 2013(10):30-32.
- [21] BEVILACQUA M, CIARAPICA F E, MAZZUTO G, et al. Environmental analysis of a cotton yarn supply chain[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 82:154-165.
- [22] LOVARELLI D, INGRAO C, FIALA M, et al. Beyond the water footprint: a new framework proposal to assess freshwater environmental impact and consumption[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172:4189-4199.
- [23] RIDOUTT B G, PFISTER S. A new water footprint calculation method integrating consumptive and degradative water use into a single stand-alone weighted indicator[J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2013, 18(1):204-207.

公益广告

无偿献血

blood donation without payment

让我们用爱心来浇灌生命之树!

