

DOI: 10.19398/j.att.202212023



纺织产品生命周期评价系统与数据库分析

邬崇振^a, 李启正^{a,b}, 刘 灿^c, 王来力^c

(浙江理工大学, a. 纺织材料与工程学院(国际丝绸学院); b. 杂志社; c. 服装学院, 杭州 310018)

摘要:产品生命周期评价系统和数据库为高效、准确开展产品生命周期评价提供数据处理、结果量化和评价支撑。本文对纺织产品生命周期评价研究文献中应用的生命周期评价系统与数据库系统界面、数据库和影响评价模型数量、特征化因子、归一化因子、权重因子等进行了系统分析。结果表明: Simapro 系统和 Gabi 系统是纺织产品生命周期评价案例使用最多的系统, 总占比为 53.77%; Ecoinvent 数据库和 Gabi 数据库是纺织产品生命周期评价案例使用最多的数据库, 总占比为 79.24%; Simapro 系统和 Gabi 系统内置数据库有相同种类但数值不同的特征化因子、归一化因子、权重因子, 导致使用两个系统针对同一纺织产品的生命周期评价结果存在差异; 综合考虑污染物排放渠道和区域内生产规模、科技水平、经济状况、环保政策等因素, 构建具有国家、区域、时间性质的纺织产品 LCA 数据库可以提高评价结果的完整性和准确性。

关键词:纺织产品; 生命周期评价; 评价系统; 影响评价; 清单数据库

中图分类号: TS101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-265X(2023)04-0029-08

生命周期评价(Life cycle assessment, LCA)是1990年美国环境毒理和化学学会提出的一种识别产品或工艺在整个生命周期中对环境影响的综合方法,可以确定产品生命周期环境影响的关键阶段,从而为制定节能减排策略提供重要的指导作用^[1]。产品 LCA 包括确定目标和范围、清单分析、影响评估、结果解释,通常涉及原料生产、产品制造、运输、消费、废弃物处置等生命周期过程^[2]。数据收集与结果评价是产品 LCA 的两个关键环节,使用评价系统和其内置的能源、物料等投入清单的影响因子数据库可提升产品生命周期评价的效率^[3]。

中国是纺织产品的生产和消费大国,通过对纺织产品进行生命周期评价可以量化纺织产品生产和消费产生的环境影响,进而为绿色低碳纺织产品设计、生产和消费提供参考^[4]。笔者梳理了产品 LCA 系统与数据库应用情况,并就纺织产品 LCA 研究文献中应用的生命周期评价系统与数据库的系统界面、数据库和影响评价模型数量、特征化因子、归一化因子、权重因子等进行了系统分析,为纺织产品生

命周期评价提供参考。

1 生命周期评价系统与数据库

对中国知网和 Web of Science 核心数据库中关于产品 LCA 研究文献进行检索,并对文献中应用的产品 LCA 评价系统和数据库进行汇总,结果见表 1 和表 2。

产品 LCA 研究需要经过复杂繁琐的建模流程和庞大的计算过程,使用 LCA 系统可以快速、准确地建立产品生命周期模型并量化环境影响^[5]。从表 1 可知,1120 篇文献中共涉及 18 个 LCA 系统,527 篇产品 LCA 研究文献中应用了 Simapro 系统,应用最多,其次是 Gabi 系统和 GREET 系统,分别有 288 篇和 112 篇,3 个系统的文献占比分别为 47.05%、25.71% 和 10%。18 个 LCA 系统的开发时间分布于 1989—2016 年,开发和应用最早的是 1989 年发布的 Gabi 系统。LCA 系统在开发运行后会进行持续更新,例如 Simapro 系统最新一次更新是 2022 年 5 月发布的 9.4.0.1 版本,该版本更新了

收稿日期:2022-12-16 网络出版日期:2023-02-23

基金项目:中国工程院战略研究与咨询项目(2022-XY-19);中央外经贸专项资金(茧丝绸)项目(浙财建[2022]95号)

作者简介:邬崇振(1998—),男,江西丰城人,硕士研究生,主要从事纺织产品碳足迹核算与评价方面的研究。

通信作者:李启正, E-mail: liqizheng@zstu.edu.cn

Agri-footprint 数据库,增加了 1165 个清单数据;更新了 IPCC 影响评价模型,增加了 64 种物料的特征因

子;新增了 Ecological scarcity、Land use impacts on biodiversity 影响评价模型^[6-8]。

表 1 产品 LCA 系统种类及应用情况

Tab.1 Types and application situations of product LCA systems

排序	系统名称	开发商	国家	发布时间	文献数量/篇
1	Simapro	Pre Consulting	荷兰	1990 年	527
2	Gabi	IPTS PEEG	德国	1989 年	288
3	REET	Argonne National Laboratory	美国	2013 年	112
4	openLCA	GreenDeltaTC	德国	2007 年	99
5	Umberto	ifu Hamburg GmbH	德国	2001 年	50
6	BEES	National Institute of Standards and Technology	美国	1997 年	16
7	PEMS	Pira International	英国	1998 年	6
8	eFootprint	IKEEnvironmental Technology	中国	2016 年	5
9	EIME	CODDE	法国	2001 年	3
10	eBalance	IKE Environmental Technology	中国	2010 年	3
11	Boustead	Boustead	英国	2000 年	2
12	KCL-ECO	KCL	芬兰	1994 年	2
13	JEMAI-LCA Pro	RCLCA	日本	1995 年	2
14	LCAIT	CIT EKologik	瑞典	1992 年	1
15	TEAM	Ecobilan	法国	2007 年	1
16	Eco-Pro	EMPA	瑞士	2007 年	1
17	Ecoscan	TNO	荷兰	1998 年	1
18	AIST-LCA	AIST	日本	2004 年	1

表 2 产品 LCA 数据库种类及应用情况

Tab.2 Types and application situations of product LCA databases

排序	数据库名称	数据来源	开发时间	文献数量/篇
1	Ecoinvent	全球	2003 年	342
2	Gabi	全球	1989 年	173
3	U. S. LCA	美国	2012 年	60
4	EXIOBASE	全球	2015 年	40
5	Korea LCI	韩国	2013 年	17
6	ILCD	全球	2010 年	17
7	ELCD	欧盟	2010 年	10
8	CLCD	中国	2006 年	9
9	IDEMAT	欧洲	2015 年	7
10	AusLCI	澳大利亚	2011 年	7
11	Environmental Footprint	全球	2012 年	6
12	Agri-footprint	全球	2014 年	5
13	WEEE	欧洲	2012 年	5
14	Social hotspots	全球	2019 年	4
15	AGRIBALYSE	法国	2014 年	4
16	Industry data library	欧洲	1995 年	2
17	IDEA	日本	2016 年	2
18	WALDB	瑞士、法国、德国、意大利、美国	2006 年	1
19	Carbon Minds	全球	2013 年	1
20	DATASMART	北美	2020 年	1
21	ESU world food LCA	全球	1998 年	1
22	European and Danish Input/Output	欧洲	2010 年	1

产品 LCA 研究需要大量产品的表层清单数据和背景清单数据,使用 LCA 数据库可以增加数据收集的效率,提高评价结果的可信度和可比性^[9]。由表 2 可知,715 篇文献中共涉及 22 个生命周期评价数据库,其中 Ecoinvent 数据库在产品 LCA 应用最多,有 342 篇,占比为 47.83%。其次是 Gabi 数据库、U. S. LCA 数据库和 EXIOBASE 数据库,分别有 173 篇、60 篇和 40 篇,占比分别约为 24.20%、8.39% 和 5.59%。LCA 数据库的开发时间分布于 1989—2020 年,1989 年发布的 Gabi 是开发最早的 LCA 数据库。数据采集覆盖的地域范围越广,其评价结果越可靠^[7]。若地域范围的区域特性突出,清单数据无法匹配其他区域内的实际生产情景,会增加评价结果的不确定性^[10]。LCA 数据库集成在 LCA 评价系统中,例如 Simapro 系统集成了 Ecoinvent、IDEMAT、

Agribalyse 等数据库,Gabi 系统集成了 Gabi、Ecoinvent、ICFconcrete 等数据库。对产品 LCA 研究可以使用 LCA 系统调用一个或多个 LCA 数据库的数据,也可以单独导出 LCA 数据库中的数据进行环境影响评价^[11]。

2 纺织产品生命周期评价与数据库

纺织产品生命周期过程包括纤维原材料获取、产品生产加工、运输销售、产品使用和废弃处理,涉及多种物料、能源的投入,并产生多种污染物,对生态环境产生影响^[12]。纺织产品的 LCA 受到越来越多的关注和研究,对纺织产品 LCA 研究文献进行检索,并对其中应用的评价系统和数据库进行分析,结果见表 3。

表 3 纺织产品 LCA 系统与数据库
Tab.3 LCA systems and databases of textile products

纤维类别	LCA 系统	文献数量/篇	LCA 数据库	文献数量/篇	影响评价模型	文献总数/篇
棉	Simpro	13	Ecoinvent	22		47
	Gabi	9	Gabi database	12	PEF/ReCiPe/IPCC/ILCD/	
	openLCA	5	AusLCI	4	EDIP/CML/USEtox/	
	JEMAI-LCA	1	ELCD	1	Eco-indicator/Water	
	EIME	1	IDEMAT	1	Footprint Network	
聚酯纤维	Simpro	7	Ecoinvent	11		21
	Gabi	4	Gabi database	5	CML/IPCC/PEF/ReCiPe/	
	openLCA	3			Eco-indicator/USEtox	
羊毛与羊绒	Simpro	5	Ecoinvent	9		11
	openLCA	2	AusLCI	2	CML/IPCC/PEF/ReCiPe/	
	Gabi	1	Gabi database	1	Water Footprint Network	
纳米纤维	Simpro	5	Ecoinvent	6	TRACI/Eco-indicator/	6
			U. S. LCI	2	IPCC/USES-LCA	
	eFootprint	1	Gabi database	2	CML/ReCiPe/Water	
再生纤维素纤维	Simpro	1	Ecoinvent	1	Footprint Network	5
			CLCD	1		
	Simpro	2	Ecoinvent	5	CML/IPCC/ILCD/ReCiPe	
麻	openLCA	2	Agribalyse	1		5
	Simpro	2	Ecoinvent	3	USEtox/ReCiPe/Water	
丝	Umberto	1			Footprint Network	3
	Simpro	3	Ecoinvent	3	Eco-indicator/IPCC	
腈纶	Simpro	2	Ecoinvent	2	Eco-indicator	2
纺织混凝土纤维	Gabi	1	ICFconcrete	1		1
智能电子纺织纤维	Simpro	1	Ecoinvent	1	USEtox/ILCD	1
氨纶	Simpro	1	Ecoinvent	1	ReCiPe	1

由表 3 可知,纺织产品 LCA 研究文献中有 106 篇应用了评价系统与数据库。Simapro 系统在纺织产品 LCA 研究中应用最多,占比约为 39.62%,其次是 Gabi 系统,占比约为 14.15%,openLCA 系统占比约为 11.32%,Umberto、eFootprint、JEMAI-LCA、EIME 系统的应用较少。在评价数据库方面,Ecoinvent 数据库在纺织产品 LCA 研究中应用最多,占比约为 60.37%,其次是 Gabi 数据库,占比约为 18.87%,AusLCI 数据库、U. S. LCI 数据库、CLCD 数据库等应用较少。

2.1 系统界面

LCA 系统的核算界面有树形界面、流程图界面和桑基图界面。树形界面基于区域数据可视化,获取大型分层数据的层次结构和单个数据点的值,适用于结构化产品工艺建模。流程图界面强调相邻两个工序之间的联系,突出执行的先后顺序,适用于流程化产品工艺建模。桑基图提供了可视化功能和动态输入变化,将物料输入和能源消耗动态表示出来。使用桑基图建模时,桑基箭头的宽度取决于物料输入或能源消耗的质量,并且当节点上产生输入输出差异时,会自动标红报警。纺织产品 LCA 研究应用的系统核算界面见表 4。

由表 4 可知,Simapro 系统、EIME 系统、eFootprint 系统、采用树形界面,JEMAI-LCA 系统和 openLCA 系统采用流程图界面,Gabi 系统和 Umberto 系统采

用桑基图界面。Simapro 系统的树形结构可以从原料生产、纤维加工、织物织造、销售使用、废弃处理等多阶段对纺织产品的物料消耗及制造工序的能源消耗进行分析,从而能更清晰地发现纺织产品各阶段环境影响的区别。Gabi 系统的桑基图是最直观的、最具有动态性的建模图形界面,可以应用于生产工艺多样且复杂的纺织产品 LCA 研究^[13]。Simapro 系统和 Gabi 系统内置的 Ecoinvent 数据库、Gabi 数据库、IDEMAT 数据库包含了大部分纺织产品 LCA 所需物料和能源的清单数据,因此在纺织产品 LCA 研究中 Simapro 系统和 Gabi 系统应用最为广泛。

2.2 数据库和影响评价模型数量

LCA 系统内置数据库和影响评价模型数量直接决定 LCA 结果的全面性和准确性,因此对纺织产品 LCA 数据库和影响评价模型数量进行比较,见表 5。

表 4 纺织产品 LCA 系统核算界面

Tab.4 Accounting interfaces of LCA systems of textile products

排序	系统名称	系统界面
1	Simapro	树形界面
2	Gabi	桑基图界面
3	openLCA	流程图界面
4	Umberto	桑基图界面
5	eFootprint	树形界面
6	JEMAI-LCA	流程图界面
7	EIME	树形界面

表 5 数据库和影响评价模型数量比较

Tab.5 Comparison of databases and the number of impact assessment models

排序	系统名称	数据库名称	影响评价模型
1	Simpro	CLCD/ELCD/Ecoinvent/IDEMAT/ICFconcrete/U. S. LCI 等 16 个数据库	70 种影响评价模型
2	Gabi	Ecoinvent/GaBi 等 24 个数据库	89 种影响评价模型
3	openLCA		
4	Umberto	Ecoinvent, cm. chemicals, EstiMol	2 种影响评价模型
5	eFootprint	CLCD, Ecoinvent, ELCD	4 种影响评价模型
6	JEMAI-LCA	JEMAI-LCA database	3 种影响评价模型
7	EIME	EIME, Ecoinvent, ELCD 等 7 个数据库	9 种影响评价模型

由表 5 可知,Simapro 系统和 Gabi 系统内置的数据库种类和影响评价模型的数量最多且差值较大,原因之一是 Simapro 系统和 Gabi 系统会保留版本更新前的影响评价模型,而其他 LCA 系统会用新的影响评价模型取代旧版本的影响评价模型。Simapro 系统与 Gabi 系统的影响评价模型与其他系统的 openLCA 系统没有自带数据库,需要去其官

网下载 LCA 数据库,其中 4 个数据库免费使用,其余 16 个数据库需要付费使用。Gabi 系统只有 Gabi 教育版数据库可以免费使用,其他数据库均需付费。Simapro 系统可免费使用部分 Ecoinvent 数据库进行生命周期评价,其他数据库需要付费使用。研究者在使用 Gabi 系统、Simapro 系统或者 openLCA 系统进行产品 LCA 时^[14],如果背景清单繁多,一个数据

库中并没有包含所有的数据清单,通常采用混合式 LCA 数据库来进行核算,也即使用两个或两个以上 LCA 数据库进行核算,导致研究者会使用非本地区的数据来计算,造成 LCA 结果出现误差。

2.3 纺织产品主要 LCA 系统比较

不同的 LCA 系统对同一纺织产品进行 LCA 评价,得到的 LCA 评价结果不同。纺织产品使用的 LCA 系统以 Simapro 系统和 Gabi 系统为主,因此对 Simapro 系统和 Gabi 系统比较^[15-20],见表 6。

Simapro 系统可以联网多用户使用,在同一项目或同一数据库进行协同工作。而 Gabi 系统是封闭

式工作,互动性低,耗时长。此外,LCA 系统使用的 LCIA 模型不同,也会对评价结果产生影响^[21]。例如,气候变化类别有不同的度量标准,这些度量标准因所考虑的时间段(20年、100年或500年)或指标(辐射强迫增加或温度增加)而参数不同。各种供应商以 LCI 数据库的形式提供辅助数据。流程建模有不同的方法。不同的系统边界、假设以及数据集的时空有效性会导致不同的结果^[22]。因此使用者可以匹配自身需求,确定核算边界,理清产品组成,明晰数据来源,选择与核算数据时间、区域来源相近的 LCA 系统进行核算。

表 6 纺织产品主要 LCA 系统比较

Tab. 6 Comparison of main LCA systems for textile products

特点	Simapro	Gabi
操作复杂度	建模自由度高,模型复用性强,操作门槛适中	模型复杂,单元模块精细,数量庞大,操作门槛高
数据格式	HTML 格式、EcoSpold 格式	MS-DOSTM 格式、XML 格式
评价结果	海洋生态毒性潜值、全球变暖潜值、光化学臭氧形成潜值等权重较高	辐射潜值、臭氧损耗潜值等较高
数据透明度	高。输入数据和输出数据类型清晰,数据明确	低。仅标识原材料制造类别
背景数据	采用区域流	采取高特征因子的全球流
优点	可快速上手,模型复用性高,纺织领域背景数据清晰,涵盖类别广,可追溯性强	建模精细,图形直观,可操作性强,数据涵盖纺织企业及科研单位,贴合实际情景,可信度高
缺点	不支持误差分析,基础数据不全,不同环境影响分类的相对指数模糊,评价结果附带主观因素	建模繁琐,不能协同操作,溯源性差,影响评价模型较少,加权信息少,循环阶段数据有限

2.4 特征化因子

特征化因子是将同种环境影响类型的生命周期清单分析结果转化成具有相同单位的特征化指标的因子。特征化指标的值是后续影响评价的重要部分^[23]。LCA 系统内置数据库之间往往是有相同种类、数值却不同的特征化因子。以纺织产品 LCA 研究中应用广泛的 Simapro 系统和 Gabi 系统为例,对两个评价系统内 ReCiFe2016 数据库的纺织产品相关因子进行比较,见表 7。

表 7 纺织产品相关因子比较

Tab. 7 Comparison of characterization factors related to textiles

物料名称	单位	Simapro	Gabi
三氯氰菊酯	species·yr/kg	6.40×10^{-6}	5.20×10^{-8}
氰菊酯	species·yr/kg	3.52×10^{-5}	5.62×10^{-7}
α -氯氰菊酯	species·yr/kg	9.81×10^{-7}	1.13×10^{-8}
氟氯氰菊酯	species·yr/kg	7.05×10^{-7}	1.09×10^{-9}
四溴菊酯	species·yr/kg	3.32×10^{-6}	1.34×10^{-8}
氟蚁腓	species·yr/kg	3.32×10^{-7}	8.94×10^{-10}

由表 7 可知,Simapro 系统中的氟氯氰菊酯的特征因子比 Gabi 系统大,相差 645 倍。其次为氟蚁腓,两个系统的海洋毒性特征化因子相差 370 倍。产生差异的原因之一是 Simapro 系统和 Gabi 系统分别由不同机构开发,在产品工艺流程的废弃物排放渠道选择上存在差异,Simapro 系统中氯氰菊酯和 α -氯氰菊酯的废弃物排放渠道是排放到水体,而 Gabi 系统中氯氰菊酯和 α -氯氰菊酯的废弃物排放渠道是排放到大气。

2.5 归一化因子

归一化因子是一个区域内一年各项影响类型的特征化指标,与特征化结果的比值结果为无量纲数据,其结果可以帮助识别产品的主要影响类型^[24]。LCA 系统内置数据库之间同样存在具有相同种类、数值却不同的归一化因子的情况。对 Simapro 系统和 Gabi 系统内 EDIP 模型的归一化因子进行比较,见表 8。

表 8 EDIP 模型归一化因子比较

Tab. 8 Comparison of normalization factors of the EDIP model

影响种类	单位	Simapro	Gabi
酸化潜值	m ²	2.54×10^{-3}	4.55×10^{-4}
水体富营养化潜值	kg·N	1.20×10^{-1}	1.72×10^{-2}
全球变暖潜值	kg·CO ₂ ·eq	1.29×10^{-4}	1.51×10^{-4}
光化学烟雾对人类影响潜值	person·ppm·h	3.52×10^{-1}	1.00×10^{-1}
光化学烟雾对植被影响潜值	m ² ·ppm·h	1.68×10^{-5}	7.14×10^{-6}
臭氧消耗潜值	kg·CFC11·eq	4.88×10^1	9.71×10^0
陆地富营养化潜值	m ²	7.30×10^{-4}	4.76×10^{-4}

由表 8 可知, Simapro 系统中水体富营养化潜值归一化因子比 Gabi 系统大, 相差 5.97 倍。其次是酸化潜值、臭氧消耗潜值, 分别相差 4.58 倍和 4.02 倍。产生差异的原因之一是 Simapro 系统和 Gabi 系统的开发商所在地区的生产规模和科技水平不同, 对同种环境影响实施的对策有差异, 导致 Gabi 系统的归一化因子小于 Simapro 系统的归一化因子^[25]。

2.6 加权因子

加权因子是将归一化结果转化成不同影响类型的加权综合指标因子。其结果可以用于比较单一产品工艺流程环境影响的大小, 也支持不同产品的环境影响评价^[26]。Simapro 系统和 Gabi 系统中集成的 ReCiFe2016 数据库中, Simapro 系统的人体健康损害、生态环境损害、资源消耗等加权因子比 Gabi 系统小, 差值均为 0.99667 倍。产生差异的原因之一是加权因子是折算因子, 可以通过专家调查法和基于志愿支付法得出, 前者通过询问一组专家的意见, 得出各种环境影响类型或损害的重要性评分, 后者通过被调查者用经济价值衡量各环境类型或损害的重要性^[27]。

3 结 论

本文对产品 LCA 研究文献中的 LCA 系统和数据库进行了梳理, 并对其在纺织产品 LCA 研究应用时的特征化因子、归一化因子和加权化因子等关键问题进行了分析讨论, 结论如下:

a) 纺织产品 LCA 研究文献中使用最多的 LCA 系统是 Simapro 系统和 Gabi 系统, 总占比约为 53.77%。使用最多的 LCA 数据库是 Ecoinvent 数据库和 Gabi 数据库, 总占比约为 79.24%。

b) 各主要 LCA 系统与数据库的特征化因子、归一化因子、权重因子不一致, 数据库与影响评价模型数量不同, 导致针对同一纺织产品使用不同 LCA 系

统和数据库进行 LCA 研究时, 结果存在差异。

c) LCA 系统与数据库的污染物排放渠道和区域内生产规模、科技水平、经济状况、环保政策的差别是使用不同 LCA 系统对纺织产品进行 LCA 研究时结果存在差异的主要原因。为提高纺织 LCA 结果的准确性, 应建立统一的纺织产品 LCA 模型和具有区域性质、基准统一的 LCA 数据库。

参考文献:

- [1] HURNI H, GIGER M, LINIGER H, et al. Soils, agriculture and food security: The interplay between ecosystem functioning and human well-being [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015, 15:25-34.
- [2] 袁琳琳, 姚庆达, 但年华, 等. 铬鞣黄牛革全生命周期评价 [J]. *皮革科学与工程*, 2021, 31(4): 11-16.
YUAN Linlin, YAO Qingda, DAN Nianhua, et al. Life cycle assessment evaluation of chrome tanned cattle leather [J]. *Leather Science and Engineering*, 2021, 31(4): 11-16.
- [3] 王玉涛, 王丰川, 洪静兰, 等. 中国生命周期评价理论与实践研究进展及对策分析 [J]. *生态学报*, 2016, 36(22): 7179-7184.
WANG Yutao, WANG Fengchuan, HONG Jinglan, et al. The development of life cycle assessment theory research in China and analysis of countermeasures [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7179-7184.
- [4] ASTUDILLO M F, THALWITZ G, VOLLRATH F. Life cycle assessment of Indian silk [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 81: 158-167.
- [5] 王赛赛, 吴雄英, 丁雪梅. 三种 LCA 核算软件对印花布碳足迹核算的比较 [J]. *印染*, 2014, 40(18): 41-44.
WANG Saisai, WU Xiongying, DING Xuemei. Comparison of the industrial carbon footprint of printed fabrics using three LCA accounting software [J]. *China Dyeing & Finishing*, 2014, 40(18): 41-44.
- [6] GOEDKOOP M, OELE M, EFFTING S. What's new in Simapro 9.4 [EB/OL]. [2022-5-31]. <https://support.simapro.ch/>

- simapro.com/articles/Article/Release-Notes/.
- [7] CHAUDHARY A, VERONES F, DE BAAN L, et al. Quantifying land use impacts on biodiversity: Combining species-area models and vulnerability indicators [J]. *Environmental science & technology*, 2015, 49(16): 9987-9995.
- [8] LAMBRECHT H, LEWERENZ S, HOTTENROTH H, et al. Ecological scarcity based impact assessment for a decentralised renewable energy system [J]. *Energies*, 2020, 13(21): 5655.
- [9] GOEDKOOP M, OELE M, EFFTING S. Simapro Database Manual Methods Library. Netherland: PRe. Consultants [EB/OL]. [2022-5-31]. http://www.pre.nl/simapro/impact_assessment_methods.html.
- [10] 丰翔,孙丽蓉,朱紫嫒,等. 纺织产品生命周期评价研究进展[J]. *印染助剂*, 2022, 39(10): 1-6.
FENG Xiang, SUN Lirong, ZHU Ziyuan, et al. Research progress of textile products life cycle assessment [J]. *Textile Auxiliaries*, 2022, 39(10): 1-6.
- [11] KAZAN H, AKGUL D, KERC A. Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques [J]. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2020, 22(4): 849-864.
- [12] GOMES-CAMPOS A, VIALLE C, ROUILLY A, et al. Flax fiber for technical textile: A life cycle inventory[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 281: 125177.
- [13] ORMAZABAL M, JACA C, PUGA-LEAL R. Analysis and comparison of life cycle assessment and carbon footprint software [C]// *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014: 1521-1530.
- [14] SALIERI B, STOUDEMANN N, HISCHIER R, et al. How relevant are direct emissions of microplastics into freshwater from an LCA perspective? [J]. *Sustainability*, 2021, 13(17): 9922.
- [15] RICE G, CLIFT R, BURNS R. Comparison of currently available European LCA software [J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1997, 2(1): 53-59.
- [16] Herrmann I T, Moltesen A. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? A comparative assessment of Simapro and GaBi [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 86: 163-169.
- [17] LOPES SD A, Nunes A O, Piekarski C M, et al. Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause-effect analysis of the problem [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2019, 20: 304-315.
- [18] Pauer E, Wohner B, Tacker M. The influence of database selection on environmental impact results. Life cycle assessment of packaging using GaBi, ecoinvent 3.6, and the environmental footprint database [J]. *Sustainability*, 2020, 12(23): 9948.
- [19] 郑秀君,胡彬. 我国生命周期评价(LCA)文献综述及国外最新研究进展[J]. *科技进步与对策*, 2013, 30(6): 155-160.
ZHENG Xiujun, HU Bin. Domestic literature review and the latest overseas research progress life cycle assessment [J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2013, 30(6): 155-160.
- [20] ROSAL, GRAMMATIKOS S A. Comparative life cycle assessment of cotton and other natural fibers for textile applications [J]. *Fibers*, 2019, 7(12): 101.
- [21] SPECK R, SELKE S, AURAS R, et al. Life cycle assessment software: Selection can impact results [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2016, 20(1): 18-28.
- [22] DAŠIĆ P, NEDEFF V, ČURČIĆ S. Analysis and evaluation of software tools for life cycle assessment [J]. *Annals of the University of Petrosani, Electrical Engineering*, 2007, 9(12): 6-15.
- [23] MACENO M M C, JOÃO S, VOLTOLINI D R, et al. Life cycle assessment and circularity evaluation of the non-medical masks in the Covid-19 pandemic: A Brazilian case [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2022, 24(8): 1-28.
- [24] 马俊滨,邢玉静,余慧玲,等. 黑色原液着色再生聚酯短纤维的全生命周期分析研究[J]. *合成纤维工业*, 2021, 44(6): 1-5.
MA Junbin, XING Yujing, YU Huiling, et al. Life cycle assessment on black dope-dyed recycled polyester staple fiber [J]. *China Synthetic Fiber Industry*, 2021, 44(6): 1-5.
- [25] REUM N. Qualification practices of companies in the electronics Industry against the background of qualification problems in selected regions of Germany, Poland and the Netherlands [J]. *Journal of Vocational Education & Training*, 2020, 72(4): 620.
- [26] 谢明辉,满贺诚,段华波,等. 生命周期影响评价方法及本地化研究进展[J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(6): 2148-2156.
XIE Minghui, MAN Hecheng, DUAN Huabo, et al. Research progress on the life cycle impact assessment methods and their localization in China [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2022, 12(6): 2148-2156.
- [27] AZEVEDO L B, VAN ZELM R, ELSHOUT P M F, et al. Species richness-phosphorus relationships for lakes and streams worldwide [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2013, 22(12): 1304-1314.

Life cycle assessment system and database analysis of textile products

WU Chongzhen^a, LI Qizheng^{a,b}, LIU Can^c, WANG Laili^c

(a. College of Textile Science and Engineering (International Institute of Silk); b. Periodicals Agency;

c. School of Fashion Design & Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Life cycle assessment (LCA) is a comprehensive method to identify and evaluate the environmental impact of a product or a process throughout the life cycle, which can effectively identify the key stages of the environmental impact of a product's life cycle and thus provide important and accurate guidance for the development of energy conservation and emission reduction strategies. Due to the long and complex supply chain and manufacturing processes, the textile industry is inevitably one of the most pollutant industries around the world. Therefore, conducting life cycle assessment and selecting the appropriate LCA systems and databases for textile products and production processes are of vital significance. China is one of the largest producers and consumers of textile products around the world. LCA of textile products is an effective tool to quantify the environmental impacts generated by the production and consumption of textile products, which further provides valid references for green and low-carbon textile product design, production and consumption. Data collection and result evaluation are two key aspects of product LCA. Using LCA system and its built-in database of impact factors for energy, materials and other input lists can greatly improve the efficiency and accuracy of LCA for products.

In order to conduct a systematic and comprehensive analysis of LCA systems and databases for textile products, we firstly searched literature pertaining to product LCA research on China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science and summarized the product LCA systems and databases applied in the literature. Considering that LCA of textile products is receiving increasing attention and research, we then searched the literature on LCA research of textile products and analyzed the assessment systems and databases applied in literature. According to the fiber category, the literature found was classified and the impact models and LCA databases used were listed and compared. In addition, we systematically analyzed and compared the accounting interfaces of the current LCA systems of textile products, including the tree interface, flowchart interface and Sankey diagram interface and so on. The built-in Ecoinvent database, Gabi database, and IDEMAT database of Simapro and Gabi systems contain most of the material and energy inventory data required for conducting LCA of textile products. Thus, Simapro and Gabi systems are most widely used in LCA studies of textile products among the current LCA systems. Database and the number of impact assessment models, characterization factors, normalization factors as well as weighting factors applied in the research literature of LCA of textile products were compared as well. And we took the characterization factor of marine ecotoxicity and normalization factors of EDIP model for example. On the whole, the number of built-in databases and impact assessment models in the LCA system directly determines the comprehensiveness and accuracy of LCA results. LCA systems often have the same sorts of characterization factors with different values between built-in databases. Taking the Simapro and Gabi systems which are widely used in LCA studies of textile products as examples, we compared the marine ecotoxicity characterization factors of the ReCiFe2016 database and normalization factors of EDIP model within the two evaluation systems. In addition, we analyzed the reasons and influencing factors for the differences in weighting factors in different LCA systems. The inconsistency of characterization factors, normalization factors, and weighting factors among major LCA systems and databases, as well as the different numbers of databases and impact assessment models lead to differences in results when LCA studies are conducted for the same textile product using different LCA systems and databases. The results show that in terms of cases of LCA of textile products, Simapro system and Gabi system are the systems used most commonly, accounting for 53.77% in total. In terms of impact evaluation databases used in cases of LCA of textiles, Ecoinvent database and Gabi database are the databases used most commonly in the LCA of textile products, accounting for 79.24% in total. Moreover, the built-in databases of Simapro and Gabi systems have the same type of characterization factors, normalization factors, and weighting factors with different values, resulting in discrepancy between the life cycle assessment results for the same textile products. The reasons for the differences include the facts that the Simapro and Gabi systems are developed by separate institutions, and that the production scale and technology levels in the developers' regions, and the conversion factors are different.

The differences between LCA systems and databases of pollutant emission channels and production scale, technology level, economic status, and environmental policies in the region are the main reasons for the different results when different LCA systems for LCA studies of textile products are used. By comprehensively considering the above factors, constructing an LCA system and database of textile products with regional features and a unified benchmark can improve the integrity and accuracy of the evaluation results.

Keywords: textile products; life cycle assessment; evaluation system; impact evaluation; list database