



化学纤维纺织服装产品环境表现评价研究综述

周悦^{1a}, 叶翔宇², 王晓蓬^{1b}, 朱紫嫒^{1a}, 董雪玉^{1a}, 王来力^{1c}

(1.浙江理工大学, a. 服装学院; b. 科学技术研究院; c. 浙江省服装工程技术研究中心, 杭州 310018;

2. 浙江省轻工业产品质量检验研究院, 杭州 310018)

摘要: 为全面了解化学纤维纺织服装产品生命周期内的环境表现, 综述了化学纤维纺织服装产品生命周期评价、碳足迹与水足迹评价、纤维微塑料释放量化研究的研究进展, 为化学纤维纺织服装产品的绿色设计、绿色生产和绿色消费提供参考。研究发现: 化学纤维纺织服装产品生命周期评价受核算边界、数据收集、特征化因子等因素的影响; 化学纤维纺织服装产品碳足迹评价研究集中于合成纤维纺织服装产品; 化学纤维纺织服装产品的水足迹量化与评价研究主要依据 ISO 14046 标准和 *Water Footprint Network*; 化学纤维纺织服装产品的纤维微塑料释放量受纤维种类、织物类型、洗涤温度、洗涤剂和洗衣机种类等因素影响。

关键词: 化学纤维; 环境表现; 碳足迹; 评价; 微纤维

中图分类号: TS195.644

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2022)09-0642-07

Literature review of the environmental performance of chemical fiber textiles and garments

ZHOU Yue^{1a}, YE Xiangyu², WANG Xiaopeng^{1b}, ZHU Ziyuan^{1a}, DONG Xueyu^{1a}, WANG Laili^{1c}

(1a. School of Fashion Design & Engineering; 1b. Institute of Science and Technology;

1c. Zhejiang Provincial Research Center of Fashion Engineering Technology, Zhejiang Sci-Tech

University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Light Industrial Products Inspection and Research Institute, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to fully understand the environmental performance of chemical fiber textiles and garments in their life cycle so as to provide a reference for the green design, green production and green consumption of chemical fiber textiles and garments, the research progress of the life cycle assessment of chemical fiber textiles and garments, carbon footprint and water footprint assessment, quantification of fiber microplastic release, etc. were reviewed. The results showed that the life cycle assessment of chemical fiber textiles and garments were affected by accounting boundary, data collection, characterization factors and so on. The research on the carbon footprint evaluation of chemical fiber textiles and garments was focused on synthetic fiber textiles and garments. The research on water footprint quantification and evaluation of chemical fiber textiles and garments was mainly based on the standard ISO 14046 and *Water Footprint Network*. The fiber microplastic release from chemical fiber textiles and garments was affected by factors such as fiber type, fabric type, washing temperature, detergent and the type of washing machine.

Key words: chemical fiber; environmental performance; carbon footprint; evaluation; microfiber

0 引言

化学纤维是纺织服装产品用量最大的纤维原材料,中国的化学纤维产量占全球产量的70%以上,2021年前三季度中国化学纤维产量为5037万t,同比增加13.54%^[1]。化学纤维纺织服装产品在原材料获取、生产加工、销售使用、废弃与回收处理等生命周期的各个环节会对资源环境产生多种影响,如:化学纤维的原料合成、纺丝阶段耗用大量能源,产生温室气体排放;印染加工阶段耗用化学品和大量水资源,产生废水污染物和固废排放;废旧化学纤维纺织服装产品难以降解,回收再利用难度大。本文对化学纤维纺织服装产品生命周期环境表现相关文献进行检索,重点分析了化学纤维纺织服装产品生命周期评价、碳足迹、水足迹和纤维微塑料量化等研究文献,为化学纤维纺织服装产品的绿色设计、绿色生产和可持续消费提供参考。

1 生命周期评价研究

根据《纺织品 化学纤维 第2部分:产品术语》(GB/T 4146.2—2017),化学纤维分为合成纤维、再生纤维和无机纤维,其中再生纤维以再生纤维素纤维居多。以主题为“化学纤维(Chemical fiber)”或“合成纤维(Synthetic fiber)”或“再生纤维(Regenerated fiber)”或“纤维素纤维(Cellulose fiber)”或“无机纤维(Inorganic fiber)”并含“生命周期评价(Life cycle assessment)”或“环境影响”组合(Environmental impact),检索2003—2021年中国知网(China national knowledge infrastructure, CNKI)文献数据库和Web of Science文献数据库,筛选出12篇化学纤维纺织服装产品生命周期评价研究数据较为完整的中英文期刊论文。这12篇论文研究的产品类别包括合成纤维纺织服装产品和再生纤维纺织服装产品,对其研究结果进行汇总,得到合成纤维纺织服装和再生纤维纺织服装的产品生命周期评价研究结果,见表1和表2。

由表1和表2可知,化学纤维纺织服装产品生命周期环境表现评价研究涉及的相关指标包括气候变化影响(全球增温潜势)、能源稀缺(化石资源稀缺、矿产资源稀缺)、大气污染(微小颗粒物形成、臭氧形成、平流层臭氧消耗)、水资源环境影响(用水量、淡水生态毒性、淡水富营养化、海洋生态毒性、海

洋富营养化)、陆地生态影响(土地使用、陆地生态毒性、陆地酸化、陆地富营养化)和人体健康影响(人体毒性、人类致癌性毒性、人类非致癌性毒性)等,不同的研究文献中选取的量化与评价指标具有差异性。

合成纤维纺织服装产品生命周期评价的研究主要集中于涤纶、尼龙和腈纶纤维类纺织服装产品。由于涤纶纤维用量最大,现有研究对象多为涤纶纤维纺织服装产品。合成纤维纺织服装产品生命周期评价核算边界重点关注从石油到纤维制成、从石油到纺织服装产品废弃处理阶段的全生命周期阶段。再生纤维纺织服装产品生命周期评价的研究集中于黏胶纤维、Tencel和莫代尔纤维纺织服装产品,核算边界重点关注从树木种植到纤维制成,对于再生化学纤维纺织服装产品的全生命周期评价鲜有研究。

化学纤维纺织服装产品生命周期评价研究受核算边界、数据收集、特征化因子等因素的影响,研究结果往往存在较大差异性,例如:1 kg涤纶纤维从石油输入到纤维生产阶段的全球增温趋势值分布于2.8~4.1 kgCO₂eq,1 kg黏胶纤维从木材种植到黏胶纤维生产阶段的全球增温趋势值分布于-0.25~4.1 kgCO₂eq,1 kg涤纶纤维从石油输入到纤维生产阶段的酸化值分布于0.021~3.9 kgSO₂eq。

2 碳足迹和水足迹量化与评价研究

纺织服装产品碳足迹是指纺织服装产品生命周期内所产生和消除的温室气体排放量之和,通常以二氧化碳当量来量化,是评价纺织服装产品生产、消费、废弃回收等活动影响气候变化程度的指标^[14]。在CNKI文献数据库和Web of Science文献数据库中检索得到2012—2021年5篇数据较为完整的化学纤维纺织服装产品碳足迹评价的中文和英文期刊论文,对检索的文献研究结果进行汇总,结果见表3和图1。

这5篇化学纤维纺织服装产品碳足迹的文献中,碳足迹的核算边界涉及原材料到织物生产、服装使用和废旧回收等阶段,核算方法依据ISO 14040/14044国际标准和PAS 2050:2008规范。赵年花等^[15]使用GaBi Education 4 LCA软件进行碳足迹核算,发现生产1 kg再生聚酯织物比生产1 kg原生聚酯织物碳足迹高约10倍;在进行服装产品使用阶段的碳足迹核算时,设定的洗涤模式为机洗和烘干,其中尼龙服装洗涤阶段碳足迹最高,主要原因是尼龙服装使用周期内洗涤次数较多。

表1 合成纤维纺织服装产品生命周期评价研究结果

产品类别	涤纶			锦纶			腈纶			丙纶
	再生涤纶纱线、 织物、瓶片 ^[12]	1件涤纶 夹克 ^[2]	1 kg 涤纶针织服装 ^[2] 一条 478 g 的涤纶连衣裙 ^[3] 100 万件涤纶针织女上衣 ^[4]	0.09 m ² 尼龙地毯 ^[5]	1 kg 尼龙纤维 ^{a[6]} 1 kg 尼龙纤维 ^{b[6]}	1 kg 尼龙针织 服装 ^[2]	1 kg 腈纶 纤维 ^[7]	1 kg 腈纶 针织服装 ^[2]	1 kg 聚丙烯 纤维 ^[8]	
核算边界	“门到门”(垃圾场 到工厂大门)	从石油到涤纶纺织 服装产品废弃处理 阶段	从石油到涤纶针织服装 ^[2] 废弃处理阶段	从石油到尼龙地毯 废弃处理阶段	从石油到尼龙纤维 制成	从石油到尼龙针织 服装废弃处理阶段	从石油到腈纶纤维 制成	从石油到腈纶夹克 废弃处理阶段	从石油到聚丙烯 纤维制成	
累计能源需求/MJ	—	—	—	228.950	120.470 138.650	—	133.000	—	—	
用水量/m ³	—	5000000	2.48 ^[2] ,0.53 ^[4]	—	0.185 0.200	0.480	3.600	0.250	2.800	
全球增温潜势/ (kgCO ₂ eq)	4.060 ^[9] 0.386 ^[10] 4.100 ^[11]	100000000	40.39 ^[2] 0.820 ^[3] ,8000 ^[4]	—	5.500 8.000	0.480	—	5.010	5.3×10 ⁻²	
精细颗粒物形成/ (kg PM _{2.5} eq)	—	50000	247.160 ^[5]	—	—	—	—	—	0.369	
化石资源稀缺/ (kg oil eq)	—	2×10 ⁷	—	—	—	—	—	—	1.2×10 ⁻²	
淡水生态毒性/ (kg 1,4-DCB eq)	0.058 ^[10]	7000	3.480 ^[3]	—	—	—	—	—	1.1×10 ⁻²	
海洋生态毒性/ (kg 1,4-DCB eq)	—	7×10 ⁶	—	—	—	—	—	—	—	
人类毒性/ (kg 1,4-DBP eq·kg ⁻¹)	4.383 ^[11]	—	—	—	—	—	—	—	—	
人类致癌性/ (kg 1,4-DBP eq)	—	2×10 ⁷	—	—	—	—	—	—	—	
人类非致癌性/ (kg 1,4-DBP eq)	—	2×10 ⁴	—	—	—	—	—	—	4.2×10 ⁻²	
陆地生态毒性/ (kg 1,4-DCB eq)	1.2×10 ⁻⁹ ^[11]	2×10 ⁵	—	—	—	—	—	—	1×10 ⁻³	
酸化/ (kgSO ₂ eq)	3.900 ^[10] 0.021 ^[11]	—	38.430 ^[2] 50.790 ^[4]	—	—	0.390	0.013	4.610	—	
陆地酸化/ (kgSO ₂ eq)	—	1×10 ⁵	—	—	—	—	—	—	7×10 ⁻⁵	
土地使用/m ²	—	10000	3.100 ^[2]	—	—	0.020	—	0.700	—	
矿产资源稀缺性/ (kgCu eq)	—	486.430	—	—	—	—	—	—	2×10 ⁻³	
非生物耗竭潜力/ (kgSb eq)	0.045 ^[11]	—	—	—	—	—	—	—	—	
富营养化/ (kg PO ₄ ³⁻ eq·kg ⁻¹)	1.930 ^[10] 0.001 ^[11]	—	48.620 ^[2]	—	—	0.510	—	5.040	—	
海洋富营养化/ (g N eq·kg ⁻¹)	1.7×10 ⁻⁴ ^[9]	—	—	—	—	—	0.007	—	—	
淡水富营养化/ (P eq·kg ⁻¹)	0.0003 ^[9]	378.99	0.710 ^[3]	—	—	—	—	—	—	
陆地富营养化/ (N eq·mol ⁻¹)	0.032 ^[9]	2.015 ^②	—	—	—	—	—	—	—	
臭氧形成/ (10 ⁻⁴ kg CFC11 eq·kg ⁻¹)	7×10 ⁻⁴ ^[11]	1×10 ⁵	—	—	—	—	—	—	—	

注:数值的右上方标对应其产品类别。

表 2 再生纤维纺织服装产品生命周期评价研究结果

产品类别	黏胶纤维			再生纤维素纤维						
	1 kg 黏胶纤维 a ^[11]	1 kg 黏胶纤维 b ^[11]	1 kg 黏胶纤维针织服装 ^[2]	1 kg Tencel b ^[11]	1 kg 莫代尔纤维 ^[11]	1 kg 生物基纤维 ^[9]	1 kg 复合材料废物 ^[13]			
核算边界	从树木种植到黏胶纤维制成	从树木种植到黏胶纤维制成	从树木种植到黏胶针织服装废弃处理阶段	从树木种植到 Tencel 制成	从树木种植到莫代尔纤维制成	从成熟的农作物输入到生物基纤维	废物处理阶段(焚烧)	废物处理阶段(填埋)	废物处理阶段(回收)	
用水量/m ³	—	—	0.780	—	—	—	—	—	—	
全球增温潜势/(kgCO ₂ eq)	3.800	-0.250	2.850	1.100	0.050	0.030	3.800	2.100	0.053	-1.356
淡水生态毒性/(kg 1,4-DCB eq)	0.160	0.074	—	0.085	0.075	0.093	—	0.022	0.039	0.007
人类毒性/(kg 1,4DB eq·t ⁻¹)	1.490	0.630	—	0.470	0.660	0.765	—	0.145	0.231	-0.038
陆地生态毒性/(kg 1,4-DCB eq)	1.6×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²	—	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1.6×10 ⁻²	—	—	—	—
酸化/(kgSO ₂ eq)	4.5×10 ⁻²	1.4×10 ⁻²	2.6	1.7×10 ⁻²	1.3×10 ⁻²	1.5×10 ⁻²	—	—	—	—
陆地酸化/(kgSO ₂ eq)	—	—	—	—	—	—	-3×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	-2×10 ⁻³	—
土地使用/m ²	—	—	2.230	—	—	—	—	—	—	—
矿产资源稀缺性/(kgCueq)	—	—	—	—	—	—	-0.010	0	-1.050	—
非生物耗竭潜力/(kgSbeq)	0.040	0.040	2.430	0.020	0.007	0.018	—	—	—	—
富营养化/(kg PO ₄ ³⁻ eq·kg ⁻¹)	2×10 ⁻³	1×10 ⁻³	—	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻³	—	—	—	1×10 ⁻⁴
淡水富营养化/(P eq·kg ⁻¹)	—	—	—	—	—	—	-4×10 ⁻⁵	0	0	—
臭氧形成/(10 ⁻⁴ kgCFC11 eq·kg ⁻¹)	3×10 ⁻³	3×10 ⁻⁴	—	1×10 ⁻³	7×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁴	—	—	—	—
平流层臭氧消耗/(kg CFC11 eq)	—	—	—	—	—	—	-2×10 ⁻⁹	5×10 ⁻⁹	-5×10 ⁻⁶	—
光化学氧化剂生成/(kg C ₂ H ₄ e q·kg ⁻¹)	2×10 ⁻³	5×10 ⁻⁴	—	6×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	—	1×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	-1×10 ⁻³

注:负值表示对该环境影响类别有积极影响。

表 3 化学纤维纺织服装产品碳足迹研究结果

产品编号	产品类别	核算边界	碳足迹/(kgCO ₂ eq)
1#	1 kg 涤纶长丝织物 ^[15]	从乙烯生产到涤纶长丝织物	25.70
2#	1 kg 聚酯织物 ^[16]	从石油输入到涤纶织物	1.36
3#	1 kg 再生聚酯织物 ^[16]	从再生涤纶纤维生产到再生涤纶织物	11.30
4#	0.09 m ² 尼龙地毯 ^[5]	从天然气加工到尼龙地毯处置阶段	4.80
5#	1 kg 腈纶服装 ^[17]	服装的使用阶段	16.00
6#	1 kg 尼龙服装 ^[17]	服装的使用阶段	22.00
7#	1 kg 涤纶服装 ^[17]	服装的使用阶段	15.50
8#	1 kg 氨纶服装 ^[17]	服装的使用阶段	17.50
9#	1kg 纺织废物(55%聚酯)再利用 ^[18]	回收和处置	-8.00

纺织服装产品水足迹是评价纺织服装产品生命周期内生产、消费与废弃回收等活动消耗水资源和排放废水污染物造成的水资源环境影响的指标,主要评价方法有基于 ISO 14046 标准的水足迹量化与评价方法和基于 Water Footprint Network 方法体系的水足迹量化与评价方法。化学纤维纺织服装产品水足迹量化与评价研究中,朱菊香等^[19]根据 ISO 14046 标准核算现有企业生产 1 kg 黏胶长丝和 1 kg 黏胶短纤维的基准水劣化足迹和基准水短缺足迹,

结果分别为 0.111 m³H₂O eq/t 和 0.029 m³H₂O eq/t。朱菊香等^[20]采用 Water Footprint Network 方法体系中的灰水足迹理论和 ISO 14046 标准,核算 1 kg 黏胶短纤维生产过程中灰水足迹为 9.407 m³/t,水体富营养化足迹为 0.012 kgPO₄³⁻ eq/t。Qian 等^[16]基于 ISO 14046 标准核算 1 kg 原生涤纶和再生涤纶纺织服装产品生产过程中水体富营养化足迹和水稀缺足迹,计算结果分别为 1.97 kg PO₄³⁻ eq/t 和 26.1 m³H₂O eq/t。

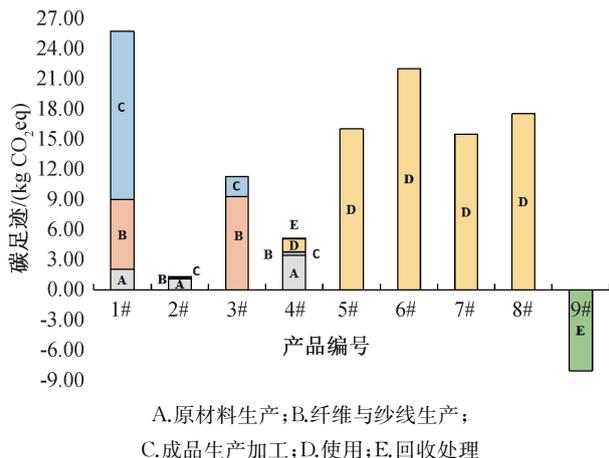


图 1 化学纤维纺织服装产品生命周期各阶段的碳足迹

3 纤维微塑料释放量化研究

纤维微塑料是指纺织服装产品在生产、使用和

洗涤等过程中脱离的纤维长度小于 5 mm 的纤维^[21]。研究表明,纤维微塑料拥有极强的吸附能力,可以吸附海洋环境中各种有毒有害化学物质,并通过食物链层层富集,最终对人的身体健康造成影响^[21-22]。海洋环境中纤维微塑料最常见的来源为合成纤维纺织服装产品洗涤过程中的纤维脱落^[23],因此洗涤阶段的纤维微塑料释放的研究受到较多关注。在 CNKI 文献数据库和 Web of Science 文献数据库中检索,获得 2018—2021 年 6 篇数据较为完整的化学纤维纺织服装产品纤维微塑料释放量测试的中文和英文期刊论文,对检索的文献研究结果进行汇总,结果见表 4。

由表 4 可知,模拟家庭洗涤环境是测试化学纤维纺织服装产品纤维微塑料释放量的主要方法。在相同测试环境下,涤纶纺织服装产品的纤维微塑料

表 4 化学纤维纺织服装产品纤维微塑料释放量测试结果

产品类别	测试方法	纤维微塑料释放量
丙烯酸纤维类织物 ^[21]		(267.90±56.43)/(根·m ⁻²)
聚酯纤维类织物 ^[21]		(112.35±4.31)/(根·m ⁻²)
聚酰胺纤维类织物 ^[21]		(131.00±15.56)/(根·m ⁻²)
涤纶织物 ^[24]		(788±402)/(根·m ⁻²)(洗涤温度 30℃)
		(1032±150)/(根·m ⁻²)(洗涤温度 40℃)
		(13960±2406)/(根·m ⁻²)(洗涤温度 60℃)
		(788±402)/(根·m ⁻²)(使用滚筒洗衣机洗涤) (885±86)/(根·m ⁻²)(使用波轮式洗衣机洗涤)
锦纶织物 ^[24]		(32736±3896)/(根·m ⁻²)(洗涤温度 30℃)
		(35144±5747)/(根·m ⁻²)(洗涤温度 40℃)
		(35241±4067)/(根·m ⁻²)(洗涤温度 60℃)
	洗涤	(32736±3896)/(根·m ⁻²)(使用水洗涤) (44660±4886)/(根·m ⁻²)(使用洗涤剂洗涤) (32736±3896)/(根·m ⁻²)(使用滚筒洗衣机洗涤) (36820±4618)/(根·m ⁻²)(使用波轮式洗衣机洗涤)
PET 服装(绒头衣物) ^[23]		1900/(根·条 ⁻¹)
PET 服装 ^[23]		0.3~0.4/(mg·m ⁻²)
新型 PET 服装(绒头衫) ^[23]		0.7~1.5/(mg·m ⁻²)
PET 服装(绒头外套) ^[23]		1000000/(根·条 ⁻¹)
聚丙烯腈(PAN)服装(围巾) ^[23]		30000/(根·条 ⁻¹)
聚酰胺(PA)服装(夹克) ^[23]		3.8/(mg·m ⁻²)
PET 服装(工作服) ^[23]		83000/(根·m ⁻²)
聚丙烯腈(PAN)服装(工作服) ^[23]		120000/(根·kg ⁻¹)
涤/毛(30%/70%)服装 ^[22]		1496/(根·kg ⁻¹)
涤黏服装 ^[22]		220/(根·m ⁻²)
毛涤混服装 ^[25]		1300~1500/(根·m ⁻²)
聚酯服装(女衬衫) ^[26]		(128±62)/(mg·kg ⁻¹)
聚酯服装(T恤) ^[26]		(296±36)/(mg·kg ⁻¹)
聚酯服装(连衣裙) ^[26]		(244±25)/(mg·kg ⁻¹)
聚酯纤维地毯 ^[23]		0.15/(mg·m ⁻²)(初次洗涤)
新型 PET 绒毛毯 ^[23]		0.1~0.2/(mg·kg ⁻¹)(洗涤 1 次)

释放量比锦纶纺织服装产品少,涤黏纺织服装产品纤维微塑料释放量比毛涤纺织服装产品少。短纤维织成的纺织服装产品纤维微塑料脱落量较高,是由于短纤维由于磨损和移动的机械作用更容易滑落^[26]。具有非常紧凑机织结构和由连续长丝制成的高捻纱线服装洗涤过程中纤维微塑料释放量相对较低^[24],纺织服装产品纤维微塑料释放量随着洗涤温度增高而增多。与清水洗涤对比,使用洗涤剂洗涤会造成锦纶纺织服装产品纤维微塑料释放量的增多。波轮式洗衣机会比滚筒式洗衣机产生更多的纤维微塑料是由于洗涤时用水量、洗衣机转速、甩干过程等影响纤维微塑料释放量^[21]。综上可知,化学纤维纺织服装产品在洗涤过程中的纤维微塑料释放量受纤维种类、纱线捻度、织物结构、服用类型、洗涤温度、洗涤剂和洗衣机种类等因素影响。

4 结 语

化学纤维是纺织服装产品用量最大的纤维原材料,全面量化与评价化学纤维纺织服装产品生命周期的环境表现对化学纤维纺织服装产品的绿色设计、绿色生产和绿色消费具有重要意义。本文通过对化学纤维纺织服装产品生命周期评价、碳足迹与水足迹量化与评价和纤维微塑料释放测试量化的研究文献进行综述和讨论,得出如下结论:

a)化学纤维纺织服装产品生命周期评价的系统边界较多关注从石油输入阶段或树木种植阶段到纤维制成阶段,对于涤纶纤维纺织服装产品的生命周期评价研究最多。受核算边界、数据收集、特征化因子等因素的影响,化学纤维纺织服装产品生命周期评价影响指标的结果往往存在较大差异。

b)化学纤维纺织服装产品碳足迹量化与评价研究核算边界涉及原材料到织物生产、服装使用、废旧回收等阶段。化学纤维纺织服装产品的水足迹量化与评价研究主要依据 ISO 14046 标准和 Water Footprint Network 水足迹评价手册。

c)化学纤维纺织服装产品的纤维微塑料洗涤环节的释放受到较多关注,现有研究通常模拟家庭洗涤来测试纤维微塑料释放量及其影响因素,化学纤维纺织服装产品在洗涤过程中的纤维微塑料释放量受纤维种类、织物类型、洗涤温度、洗涤剂和洗衣机种类等因素影响。

综合现有化学纤维纺织服装产品环境表现的研究文献可知,在研究产品的丰富性、核算边界的明确化、基础数据的准确性、评价方法的一致性等方面仍

需系统的研究,以使环境表现结果具有更好的可比性和参考性。化学纤维纺织服装产品释放的纤维微塑料产生的环境影响评价方法尚未建立,需对纤维微塑料在环境中的迁移路径、与环境物质的离合模式、人体和生态毒性作用机理等方面进行系统研究,以构建科学、准确的方法评价纤维微塑料的环境影响。

参考文献:

- [1] 中国化学纤维工业协会.2021 年前三季度化纤行业运行简析 [EB/OL]. (2021-11-23) [2022-03-19]. <https://www.cffa.com.cn/site/content/8457.html>.
- [2] Moazzem S, Crossin E, Daver F, et al. Life cycle assessment of apparel consumption in Australia [J]. Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti, 2021, 25(1): 71-111.
- [3] Zamani B, Sandin G, Peters G M. Life cycle assessment of clothing libraries: can collaborative consumption reduce the environmental impact of fast fashion? [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 162(18): 1368-1375.
- [4] 洪紫萍,程晶波. 聚酯的生命周期评价[J]. 聚酯工业, 2003,16(5):9-12.
- [5] Sim J, Prabhu V. The life cycle assessment of energy and carbon emissions on wool and nylon carpets in the United States[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 170(1):1231-1243.
- [6] Muthu S S, Li Y, Hu J Y, et al. Quantification of environmental impact and ecological sustainability for textile fibres[J]. Ecological Indicators, 2012,13(1):66-74.
- [7] Yacout D M M, Abd El-Kawi M A, Hassouna M S. Cradle to gate environmental impact assessment of acrylic fiber manufacturing[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016,21(3):326-336.
- [8] Munasinghe P, Druckman A, Dissanayake D G K. A systematic review of the life cycle inventory of clothing [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 320(20): 128852.
- [9] Ivanović T, Hischier R, Som C. Bio-based polyester fiber substitutes: From GWP to a more comprehensive environmental analysis[J]. Applied Sciences, 2021,11(7):2993-2994.
- [10] 马骥. 涤纶纺织品的生命周期评价[D].上海:东华大学,2006:34-43.
- [11] Shen L, Worrell E, Patel M K. Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres [J].

- Resources, Conservation and Recycling, 2010, 55(2): 260-274.
- [12] Wang Q, Tang H, Ma Q, et al. Life cycle assessment and the willingness to pay of waste polyester recycling [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 234(11): 275-284.
- [13] Beigbeder J, Soccalingame L, Perrin D, et al. How to manage biocomposites wastes end of life? A life cycle assessment approach (LCA) focused on polypropylene (PP)/wood flour and polylactic acid(PLA)/flax fibres biocomposites[J]. Waste Management, 2019, 83(6): 184-193.
- [14] 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.
- [15] 赵年花, 周翔, 董锋. 涤纶纺织品的碳足迹评估[J]. 印染, 2012, 38(14): 42-45.
- [16] Qian W, Ji X, Xu P, et al. Carbon footprint and water footprint assessment of virgin and recycled polyester textiles[J]. Textile Research Journal, 2021, 91(22): 2468-2475.
- [17] Velden N M, Patel M K, Vogtländer J G. LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2014, 19(2): 331-356.
- [18] Zamani B, Svanström M, Peters G, et al. A carbon footprint of textile recycling: a case study in Sweden [J]. Journal of Industrial Ecology, 2015, 19(4): 676-687.
- [19] 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.
- [20] 朱菊香, 李一, 王来力. 基于水足迹的黏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.
- [21] 周大旺, 乌婧, 杨建平, 等. 纤维微塑料的研究现状及其削减策略[J]. 纺织学报, 2021, 42(6): 8-17.
- [22] 唐颖. 聚酯织物生命周期微塑料的产生及控制[D]. 上海: 东华大学, 2021: 17-18.
- [23] M. Stark, 李娜. 微塑料和纺织纤维研究综述[J]. 国际纺织导报, 2018, 46(2): 6-8.
- [24] 薛丽媛, 黄锋林. 纺织品微纤维的研究现状与防治措施[J]. 材料导报, 2020, 34(S2): 1567-1571.
- [25] 刘艳, 唐颖, 宋阳, 等. 源于织物洗涤过程的微塑料释放[J]. 印染, 2021, 47(7): 72-74.
- [26] De Falco F, Cocca M, Avella M, et al. Microfiber release to water, via laundering, and to air, via everyday use: A comparison between polyester clothing with differing textile parameters [J]. Environmental Science & Technology, 2020, 54(6): 3288-3296.

(责任编辑: 廖乾生)