

麻类纺织产品生命周期环境表现评价研究综述

刘君冉^{1,2}, 刘书轶^{1,2}, 王晓蓬³, 王来力^{1,2}

(1. 浙江理工大学服装学院, 浙江杭州 310018; 2. 浙江理工大学浙江省服装工程技术研究中心, 浙江杭州 310018; 3. 浙江理工大学科学技术研究院, 浙江杭州 310018)

摘要: 量化与评价麻类纺织产品生命周期的环境表现可为麻类纺织产品的绿色设计、绿色生产以及绿色消费提供参考。综述了纤维大麻、苧麻、亚麻等3种主要麻类纺织产品生命周期环境表现的研究进展,重点对麻类作物在种植过程中的固碳效应、释氧效应以及重金属迁移效应进行了分析讨论。结果表明,麻类纺织产品环境表现量化与评价主要集中在全球变暖潜势、水体富营养化、水体酸化3类指标上,主要针对大麻、亚麻、苧麻在纤维、纱线以及织物阶段的环境表现进行量化与评价;麻类纺织产品在纤维原材料获取的种植阶段具有碳中和效应和释氧效应,可依据光合速率法、生物量法或光合作用反应式量化与评价固碳量和释氧量;针对麻类作物不同产品流向来量化与评价重金属迁移效应的正外部性。以期客观、完整、准确地评估麻类纺织产品生命周期内的环境影响。

关键词: 麻类;环境表现;生命周期;固碳;重金属

中图分类号: TS190.91 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9350(2022)11-0001-04

A review on the evaluation of life cycle environmental performance of hemp textile products

LIU Junran^{1,2}, LIU Shuyi^{1,2}, WANG Xiaopeng³, WANG Laili^{1,2}

(1. School of Clothing, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Province Garment Engineering Technology Research Center, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 3. Research Institute of Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Quantifying and evaluating the environmental performance of the life cycle of hemp textile products can provide a reference for the green design, green production and green consumption of hemp textile products. The research progress of the life cycle environmental performance of three main hemp textile products including hemp, ramie and flax was reviewed, and the carbon sequestration effect, oxygen release effect and heavy metal migration effect of hemp crops during planting were analyzed and discussed. The results show that the quantification and evaluation of the environmental performance of hemp textile products mainly focus on three indicators: global warming potential, water eutrophication and water acidification, mainly for the environmental performance of hemp, flax and ramie in the fiber, yarn and fabric stages. Hemp textile products have carbon neutralization effect and oxygen release effect in the planting stage of fiber raw material acquisition, and carbon sequestration and oxygen release can be quantified and evaluated according to photosynthetic rate method, biomass method or photosynthesis reaction formula. Quantifying and evaluating the positive externalities of heavy metal migration effects for different product flow directions of hemp crops. It is expected to objectively, completely and accurately assess the environmental impact in the life cycle of hemp textile products.

Key words: hemp; environmental performance; life cycle assessment; carbon sequestration; heavy metals

收稿日期: 2022-02-01

基金项目: 浙江理工大学基本科研业务费专项资金资助(2021Y008)

作者简介: 刘君冉(1999—),女,硕士研究生,主要从事纺织品服装碳足迹核算与评价方面的研究。

通信作者: 王来力,副教授, E-mail: wangll@zstu.edu.cn。

大麻、亚麻和苧麻等麻类纤维是历史悠久的纺织原料,麻类纺织产品具有吸湿透气性、抗菌抑菌性、防静电性能、防紫外线性能以及吸附有毒气体等特点^[1]。麻类纺织产品全生命周期包括麻类纤维原材料获取(作物种植、麻原茎收割、沤麻、打麻等)、工业生产加工(纺纱、织造、染整、缝制)诸多链段,每个链段具有不同的环境表现。麻类作物在种植过程中能够通过光合作用吸收大气中的CO₂,并以有机碳的形式固存在植物内部和土壤中^[2]。麻类作物还可以修复重金属污染的土壤,对重金属具有较强的耐受性,并具有吸收和转运作用^[3]。麻类纺织产品在工业生产加工阶段消耗能源、水资源和化学品等,并产生温室气体、废水污染物和固废排放,对环境产生影响。本研

究对国内外麻类纺织产品生命周期环境表现评价的研究进展进行综合分析讨论,以全面量化与评价麻类纺织产品全生命周期的环境表现,为麻类纺织产品的绿色设计、绿色生产和可持续消费提供参考。

1 麻类纺织产品环境表现评价

以“大麻”或“亚麻”或“苧麻”或“黄麻”并含“生命周期”或“足迹”或“环境影响”组合检索CNKI数据库,以“Flax”“Hemp”“Ramie”和“Life Cycle Assessment”“environment impact”组合检索Web of Science数据库,共检索到相关文献20篇。对文献中麻类纺织产品生命周期表现的研究结果进行分析、汇总,结果如表1所示。

表1 麻类纺织产品生命周期环境表现研究结果

功能单位	1 kg 秸秆		1 kg 纤维		1 kg 纱线			1 m ² 技术织物	1 kg 织物
	大麻 ^[4]	大麻 ^[5]	亚麻 ^[5]	苧麻 ^[6]	大麻 ^[7]	亚麻 ^[7]	苧麻 ^[6]	亚麻 ^[8]	大麻 ^[9]
酸化/①kg SO ₂ eq; ②molc H ⁺ eq	1.47×10 ^{-3①}	9.39×10 ^{-3①}	3.22×10 ^{-3①}	-	7.38×10 ^{-2①}	8.16×10 ^{-2①}	-	0.08 ^②	-
陆地酸化/kg SO ₂ eq	-	-	-	10.9×10 ⁻³	-	-	13.4×10 ⁻³	-	0.221
富营养化/①kg PO ₄ eq; ②kg PO ₄ ³⁻ eq	1.9×10 ^{-3①}	14.6×10 ^{-3②}	2.28×10 ^{-3②}	-	3.04×10 ^{-2①}	2.61×10 ^{-2①}	-	-	-
淡水富营养化/kg P eq	-	-	-	86.9×10 ⁻⁶	-	-	87.1×10 ⁻⁶	1.2×10 ⁻³	0.003
海洋富营养化/kg N eq	-	-	-	-	-	-	-	9.8×10 ⁻³	0.036
全球变暖潜势/kg CO ₂ eq	0.15	1.6	0.4	1.77	13.5	13.6	3.79	7.79	21.774
光化学氧化剂形成 /①kgC ₂ H ₄ eq; ②kg NMVOC	-	0.213×10 ^{-3①}	0.114×10 ^{-3①}	11.9×10 ^{-3②}	-	-	14.4×10 ^{-3②}	-	-
臭氧层消耗 /kg CFC-11 eq	-	-	-	7.88×10 ⁻¹³	-	-	8.26×10 ⁻¹³	1.55×10 ⁻⁷	-
能源使用/MJ	-	13.2	12.4	-	255	261	-	-	-
农药使用/kg	-	-	1.18×10 ⁻⁷	-	0	0.296×10 ⁻²	-	-	-
土地占用/(m ² ·年 ⁻¹)	1.44	-	-	-	11.6	11.5	-	-	-
直接水资源使用/m ³	-	-	-	-	0.20	0.07	-	-	-
人体毒性/kg 1,4-DB eq	23.3	-	-	0.15	-	-	0.18	-	3.278
淡水生态毒性 /kg 1,4-DB eq	-	-	-	4.12×10 ⁻³	-	-	4.15×10 ⁻³	-	0.129
海洋生态毒性 /kg 1,4-DB eq	-	-	-	-	-	-	-	-	0.074
化石损耗/①kg oil eq; ②kg 1,4-DB eq	-	-	-	0.83 ^①	-	-	1.34 ^①	-	4.316 ^②

注:数值右上标对应单位,-表示文献中没有这项指标的数据。

由表1可知,麻类纺织产品生命周期环境表现量化与评价指标涉及全球变暖潜势、富营养化、毒性、酸化、能源使用、化石损耗等,其中关注最多的是全球变暖潜势、水体富营养化、水体酸化3类指标。检索的研究文献中涉及的麻类纺织产品种类有纤维、纱

线、织物等,麻的类别有大麻、亚麻和苧麻,如图1所示。不同麻类纺织产品的环境表现量化与评价结果不同,例如相同功能单位亚麻纤维的全球变暖潜势小于大麻纤维^[5],相同功能单位苧麻纱线的全球变暖潜势小于大麻纱线和亚麻纱线^[4,6-8]。

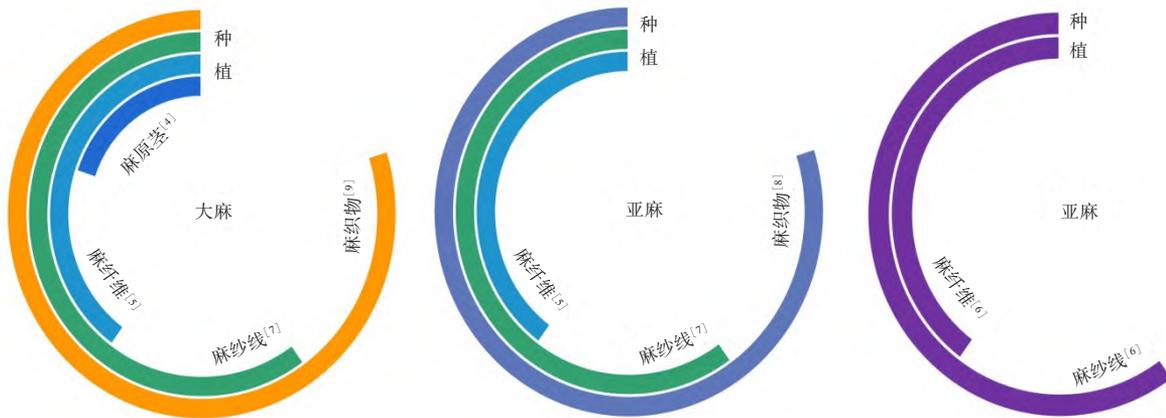


图1 大麻、亚麻、苧麻产品生命周期环境表现核算边界分布

2 讨论

麻类纺织产品生命周期环境表现量化与评价需确定明确的系统边界,收集投入产出数据,选择评价指标和评价方法,形成结果评价,每个链段涉及多种影响因素,并直接影响评价结果。麻类纺织产品作为典型的植物源纤维产品,生命周期内除了全球变暖潜势、富营养化、酸化和毒性等负外部性环境表现外,亦有正外部性环境表现,例如麻类作物在种植过程中吸收CO₂、释放O₂、修复重金属污染土壤等。

2.1 麻类纺织产品的碳中和效应量化

麻类作物通过光合作用合成的碳水化合物储存在麻叶、枝条、茎秆和根部中,其中茎秆韧皮中的有机物是麻纤维的主要成分,并随加工流程固存于麻类纺织产品中,即具有碳中和效应。麻类纺织产品基于光合作用的碳中和效应可参照光合速率法和生物量法进行量化。

光合速率法^[10-11]通过测量植物每叶面积的净光合速率,可以获得每天每叶面积的净同化(植物净光合速率可以反映固碳速率),并借助植物的叶面积指数得到单位土地面积作物的日固定CO₂量,最后利用有效光合作用时间得到植物的碳汇量。例如耿世

洲^[12]利用光合速率法计算出苧麻头麻的日净固碳量为(8.230±0.012) g/m²/d。生物量法主要基于植物的生物量变化来间接计算植物的固碳量,该方法具有应用性广、操作简便明确、精度较高等特点,在推算出生物量的基础上再乘一个换算系数来求得植物的碳储量^[13]。

两种方法相比,光合速率法可以精确得到某秒、某时、某年的光合作用固碳量,属于过程分析,但其测试工作相对比较繁杂,需要每小时或每天进行数据观测。生物量法则是以生物量的计算为基础,采用收获法测定植物现存有机体的干重,从而计算得出固碳量。现有文献中关于麻类作物固碳量通常采用生物量法进行计算,例如杨自平等^[14]采用生物量法进行计算,得到每t大麻纤维吸收的CO₂量约为1.833 t; Evard等^[15]研究指出每kg大麻能通过光合作用固定1.84 kg CO₂。

2.2 麻类作物的释氧效应

麻类作物在光合作用吸收CO₂的同时释放O₂,有助于保持大气中的碳氧平衡,对于改善空气质量、实现生态系统良性循环具有重要意义。

通过测定作物光合作用的日同化量,可推算出日释放出O₂的量:

$$W_{O_2} = P \frac{32}{1000} = \left\{ \sum_{i=1}^j [(P_{i+1} + P_i) / 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3600 / 1000] \right\} \times \frac{32}{1000}$$

其中, W_{O_2} 表示作物每日释放 O_2 的量, P 表示该日的同化总量, 单位为 $mmol/(m^2 \cdot d)$; P_i 表示初测点的瞬时光合速率, P_{i+1} 表示下一测试点的瞬时光合速率, 单位为 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$; t_i 表示初测点的瞬时时间, t_{i+1} 表示下一测试点的时间, 单位为 h ; j 表示测试次数; 3 600 表示每 h 为 3 600 s ; 1 000 表示 1 $mmol$ 为 1 000 μmol ; 32 表示 O_2 的摩尔质量, 单位为 $g/(m^2 \cdot d)$ 。

韩焕金^[16]指出植物固碳释氧计算方法受环境影响较大, 不同月份趋势不同, 夏季偏低, 秋季较高。马琼芳等^[17]利用光合作用下植物形成 1 g 干物质需固定 1.63 $g CO_2$ 、释放 1.2 $g O_2$ 的原理来计算释氧量:

$$W_{O_2} = 1.2 \times W \times S$$

其中, W_{O_2} 指释放氧气量, 单位为 kg ; W 表示该植物的生物量, 单位为 kg/hm^2 ; S 表示植物的种植面积, 单位为 hm^2 。

两种方法相比, 第一种方法利用作物光合作用日同化量推算出释氧量, 能够体现出麻类作物碳汇能力的动态变化, 释氧量呈季节性差异, 该方法实际操作复杂, 误差较大; 第二种方法利用光合作用反应式计算释氧量则相对简便, 例如每 hm^2 大麻纤维产生的干物质量约为 1.404 3 t ^[14], 可计算出每 hm^2 大麻纤维约释放 1.484 t 的 O_2 。

2.3 麻类作物的重金属迁移效应

麻类作物在生长过程中可以吸收、转移、提取土壤中的重金属污染物, 并将有毒性的重金属离子分布在特定的组织、器官或细胞中, 并形成难溶性的化合物或特定的有机化合物^[18]。Saleem 等^[19]的研究结果显示, 亚麻作物能吸收、积累和转运土壤中的多种重金属, 尤其是对镉的去除效果最好。李丰涛等^[20]研究发现红麻作物对重金属的迁移能力较强, 当季对铜的最高累积量可达 251.6 g/hm^2 。土壤中的重金属被麻类作物吸收后, 其在麻类作物各部位中的富集分布从大到小表现为根部、茎部、叶部^[21-22]。

麻类作物茎秆中吸收的重金属随加工流程进入麻纤维、麻芯制成的建筑材料和木炭等产品中, 因此在进行麻类纺织产品生命周期环境表现评价时, 应对重金属的迁移效应予以关注, 包括正外部性的定性判定与定量评估, 以更全面地评估麻类纺织产品的环境表现。

3 结语

麻类纺织产品是典型的植物源纤维纺织产品, 全面量化与评价其生命周期的环境表现对麻类纺织

产品的绿色设计、绿色生产和绿色消费具有重要意义。由于麻的种类较多, 生命周期链较长, 涉及的环境表现类别较多, 开展麻类纺织产品生命周期表现研究仍有诸多有待探讨和解决的问题。通过对麻类纺织产品生命周期环境表现评价的研究文献综述和讨论得出如下结论:

(1) 现有研究针对大麻、亚麻、苧麻在纤维、纱线以及织物阶段的全球变暖潜势、富营养化、毒性、酸化、能源使用、化石损耗等进行量化与评价, 其中对于全球变暖潜势、水体酸化、水体富营养化 3 个指标的研究最多。

(2) 针对麻类作物种植过程的光合特性, 应考虑其种植固碳的碳中和效应和生长周期内的释氧效应, 合理选择光合速率法、生物量法或光合作用反应式量化固碳量和释氧量, 全面量化与评价麻类纺织产品生命周期内的全球变暖潜势。

(3) 关注麻类作物的重金属迁移效应, 基于不同麻类产品流向来量化与评价重金属迁移效应的正外部性, 以更加全面地评估麻类纺织产品的毒性表现。

参考文献:

- [1] 张建春, 张华. 汉麻纤维的结构性能与加工技术[J]. 高分子通报, 2008(12):44-51.
- [2] 熊伟, 汤涤洛, 付聪, 等. 苧麻对坡耕地土壤及团聚体固碳效应的影响[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(13):2434-2437.
- [3] 吴科堰, 敖明, 柴冠群, 等. 非食用经济作物修复重金属污染土壤研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2019, 38(1):62-67.
- [4] VENTURA A, SENGA K T, CAZACLIU B, et al. Sensitivity analysis of environmental process modeling in a life cycle context: a case study of hemp crop production[J]. Journal of Industrial Ecology, 2015, 19(6):978-993.
- [5] GONZÁLEZ-GARCÍA S, HOSPIDO A, FEIJOO G, et al. Life cycle assessment of raw materials for non-wood pulp mills: hemp and flax[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(11):923-930.
- [6] DONG S, XIAN G, YI X S. Life cycle assessment of ramie fiber used for FRPs[J]. Aerospace, 2018, 5(3):81.
- [7] TURUNEN L, VAN DER WERF H M G. The production chain of hemp and flax textile yarn and its environmental impacts[J]. Journal of Industrial Hemp, 2007, 12(2):43-66.
- [8] GOMEZ-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.
- [9] VAN EYNDE H. Comparative life cycle assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing[D].

(下转第9页)

挺括、秀气是印花色浆透网机理所决定的。刮刀与圆网内壁接触是“线”接触,印花色浆的透网是以刮压方式进行的。这种透网方式的特点是收浆干净,故点、线纹样可达到良好的印制效果。磁棒式圆网印花机的磁棒与圆网内壁接触是“面”接触,印花色浆透网是以挤压方式进行的。透浆均匀厚实,但收浆不及刮刀式圆网印花机干净,点、线纹样印制效果不理想。

刮刀式圆网印花机在块面纹样印制中,为获得厚实均匀的印制效果,进行了不断的摸索和实践,现已具有相当的经验。在印花工艺设计、印花工艺的选用、印浆调制、网版的设计制作、分色收描、色与色关系的处理、辅助网的选配以及印制操作等方面有一套比较成熟的措施与做法。在这方面,各印花企业掌握与否,及是否勇于实践的不同,体现在织物印花印制效果的差距上。做到刀、浆、网的有机结合,不仅能发挥该机印制点、线纹样的先天优势,同时做到块面纹样获得厚实、均匀满意的印制效果。

刮刀式圆网印花机在织物印花中有广泛的适应性。具体表现在印花工艺可供多种选择,不仅可选择直接印花,还可选用防印、防拔染印花工艺。对染化料颗粒大小、pH等适应性比数码喷嘴更宽。该机能满足绝大多数花布图案、不同纹样精细印花的印制要求;还能满足不同组织规格织物的印制需要,不论是

稀薄、疏松的织物,还是紧密、厚实的织物,甚至绒布、灯芯绒等织物,都可又快又好地印制出来。

8 几点看法

(1)提高织物印花印制效果达到精细印花水平涉及多项因素,但合理选用印花设备是首要工作。企业接纳采用何种印花设备会直接影响到企业织物品种的发展和印制效果的提高。(2)数码印花有其特色,但存在发展瓶颈。作为新生事物需要认真面对自身存在的问题,改进、提高了才能具有强大的生命力。若问题不解决,不可能有大的发展,冲击、替代平网印花也不可能。(3)圆网印花仍是印花生产的主力。目前,该印花生产发展并不平衡,有的企业生产水平还处在该设备发展的初级阶段,有待交流提高。自数码印花问世以来,圆网、平网印花技术交流探讨不多,有待进一步加强。笔者长期从事梭织物服装面料印花生产,在要求高效、优质印制效果的压力下,比较了刮刀式、磁棒式圆网印花机,从理论和实践总结,呼吁“不要忽视刮刀式圆网印花机在织物精细印花中的应用地位”。(4)平网印花也有独到之处,在织物印花方面应有一席之地。其不仅在梭织物印制中获得较好品种,而且在针织物印花中大有用武之地,可以成为针织物印花的主力机型。

(上接第5页)

Leuven:University of Leuven,2015.

- [10] 张彪,谢紫霞,高吉喜.上海城市森林植被固碳功能及其抵消能源碳排放效果评估[J].生态学报,2021,41(22):8906-8920.
- [11] FU D,BU B,WU J,et al.Investigation on the carbon sequestration capacity of vegetation along a heavy traffic load expressway[J].Journal of Environmental Management,2019,241:549-557.
- [12] 耿世洲.苧麻光合生理生态特性及固碳能力的初步研究[D].武汉:武汉纺织大学,2012:30-31.
- [13] 朱凯,张倩倩,武鹏飞,等.城市绿地碳汇核算方法及其研究进展[J].陕西林业科技,2015(4):34-39.
- [14] 杨自平,张建春,张华,等.基于PAS2050规范的大麻纤维产品碳足迹测量分析[J].纺织导报,2012,33(8):140-144.
- [15] EVARD A,PRITCHETT I,MAWDITT I.Hemp lime construction-A guide to building with hemp lime composites[M].Bracknell,2008:63-69.
- [16] 韩焕金.城市绿化植物的固碳释氧效应[J].东北林业大学学报,2005,33(5):68-70.
- [17] 马琼芳,燕红,李伟,等.吉林省湿地生态系统固碳和释氧服务功能分析[J].生态环境学报,2021,30(12):2351-2359.
- [18] HALL J L.Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance[J].Journal of Experimental Botany,2002,53(366):1-11.
- [19] SALEEM M H,ALI S,HUSSAIN S,et al.Flax (*Linum usitatissimum* L.):a potential candidate for phytoremediation? Biological and economical points of view[J].Plants,2020,9(4):496.
- [20] 李丰涛,祁建民,牛韶华,等.闽中南红麻种植田土壤重金属含量及其富集特征[J].福建农林大学学报(自然科学版),2013,42(2):127-133.
- [21] 谭龙涛,喻春明,陈平等.麻类作物多用途研究现状与发展趋势[J].中国麻业科学,2012,34(2):94-99.
- [22] 许英,揭雨成,孙志民,等.苧麻品种对镉污染土壤适应性的研究[J].中国麻业,2005,27(5):249-253.