

化妆品销售包装盒生命周期评价

赵昱, 霍李江

(大连工业大学 轻工与化学工程学院, 辽宁 大连 116034)

摘要: **目的** 研究化妆品销售包装盒的环境影响, 优选包装材料、优化包装设计及其生产系统, 达到绿色生产的目的。**方法** 基于生命周期评价(LCA)方法论, 采用 eFootprint 软件及数据库量化分析由白纸板 and 聚丙烯 2 种不同材料设计生产的化妆品销售包装盒。以规定尺寸(长 57 mm、宽 52 mm、高 60 mm)和结构的单个化妆品销售包装盒盒坯为功能单位, 设定系统边界包括该包装盒生产加工过程的主要工序和各物料运输环节。分析清单后进行生命周期影响评价。**结果** 评价对象产生的 9 类环境影响中, 全球变暖潜值(GWP)、初级能源消耗(PED)和水资源消耗(WU)贡献值较大, 白纸板化妆品销售包装盒结果分别为 17.8 g, 185 kJ, 57.8 g, 聚丙烯化妆品销售包装盒结果分别为 45.3 g, 1.16 MJ, 147 g。聚丙烯化妆品销售包装盒在生产过程中消耗的能量和对环境产生的影响均大于白纸板化妆品销售包装盒, 故两者中首选材料是白纸板。**结论** 材料种类和生产过程能源消耗是影响环境的主要原因, 可通过 LCA 优选包装材料、控制包装印刷设计和改善生产系统等方式, 提高包装的环境效益。

关键词: 化妆品; 销售包装盒; 生命周期评价; 白纸板; 聚丙烯

中图分类号: TB484.1; TB484.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)21-0131-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.21.018

Life Cycle Assessment of Sales Packaging Cartons for Cosmetics

ZHAO Yu, HUO Li-jiang

(School of Light Industry and Chemical Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

ABSTRACT: The work aims to study the environmental impact of sales packaging cartons for cosmetics and optimize the packaging materials and improve the packaging design and production system to achieve green production. Based on the life cycle assessment (LCA) methodology, the eFootprint software and database were used to quantitatively analyze the sales packaging cartons for cosmetics developed and manufactured with white cardboards and polypropylene. The functional unit was a single cosmetics sales carton blank of prescribed size (length 57 mm, width 52 mm, height 60 mm) and structure. The setting of system boundary included the main processes of the carton production and the transportation links of various materials. The life cycle impact assessment was carried out after inventory analysis. Among the nine types of environmental impacts generated by the evaluation objects, GWP, PED and WU contributed a large value. The results of the white cardboards sales packaging cartons for cosmetics were 17.8 g, 185 kJ and 57.8 g, and those of the polypropylene sales packaging cartons for cosmetics were 45.3 kg, 1.16 MJ and 147 g. The energy consumption and environmental impact of the polypropylene sales packaging cartons for cosmetics in the production process were greater than that made of white cardboards, so the preferred material of the two was white cardboards. The types of materials and energy consumption in the production process are the main causes of the environmental impact. The environmental benefits of

收稿日期: 2020-07-14

作者简介: 赵昱(1996—), 女, 大连工业大学硕士生, 主攻包装产品系统评价。

通信作者: 霍李江(1966—), 女, 博士, 大连工业大学教授, 主要研究方向为包装系统设计与评价, 包装印刷技术。

packaging can be improved by optimizing packaging materials, controlling packaging printing design and improving production system with LCA.

KEY WORDS: cosmetic sales packaging; life cycle assessment (LCA); white cardboard; polypropylene

化妆品销售包装盒在人们日常生活和商品物流与销售过程中不可或缺,但是它们的生产过程和废弃后的处理过程都会带来大量的环境负荷。作为一种商品的赋能者,包装导致的环境负荷大小,可以借助生命周期评价方法进行量化分析^[1-9]。国内外学者在这方面均开展了一些案例研究,例如:瓦楞纸箱生产工艺^[10]、纸塑铝复合包装材料^[11]、罐装薯片包装^[12]、一次性使用热成型盒^[13]、纳米复合活性包装^[14-16]等材料的生命周期评价。为了实践化妆品销售包装盒的绿色包装设计与制造,文中采用生命周期评价方法,分别量化由白纸板和聚丙烯2种不同材料设计与制造的化妆品销售包装盒产生的环境影响,通过具体对比分析,甄别优化化妆品销售包装方案。

1 化妆品销售包装盒生命周期评价方法

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是一种能够客观定量分析的环境管理工具,可以用于评价包装从设计源头到废弃处理的生命周期过程中不同阶段的环境负荷与影响,进而有针对性地改进产品设计和生产工艺,实现包装产业的可持续发展^[17-20]。根据ISO14040,生命周期评价包括目标与范围的确定、清单分析、生命周期影响评价、结果解释等4个部分^[21]。该研究的具体评价流程见图1。

在评价中,该研究采用eFootprint软件和中国生命周期核心数据库(Chinese Reference Life Cycle Database, CLCD)、Ecoinvent-Public 2.2数据库。

eFootprint 软件是在线 LCA 分析平台,可基于 web 完成供应链的数据调查、LCA 建模与分析、数据发布等工作^[22]。在评价中,评价对象生产物料中未涉及稀有或高纯成分物料,忽略物料所占质量与产品总质量之比小于 1%的生产物料,且总计忽略物料的质量不超过产品总质量的 5%,符合 CLCD 取舍规则^[23]。在生命周期影响评价环节,量化结果将纳入全球变暖潜值(Global Warming Potential, GWP)、初级能源消耗(Primary Energy Demand, PED)、非生物资源消耗潜值(Abiotic Depletion Potential, ADP)、水资源消耗(Water Use, WU)、酸化(Acidification Potential, AP)、富营养化潜值(Eutrophication Potential, EP)、可吸入无机物(Respiratory Inorganics, RI)、臭氧层消耗(Ozone Depletion Potential, ODP)、光化学臭氧合成(Photochemical Ozone Formation Potential, POFP)等9种类型^[24-25]。

2 化妆品销售包装盒生命周期评价案例研究

2.1 目标和范围的确定

文中以单个化妆品销售包装盒盒坯为功能单位,其制造尺寸是长 57 mm、宽 52 mm、高 60 mm,其平面结构见图2。不同材质的评价对象均采用同样的图文装潢设计和全幅面印刷。系统边界起始于包装盒材料,终止于获得包装盒成品。评价对象的具体系统边界和主要输入输出物质流描述见图3和图4。

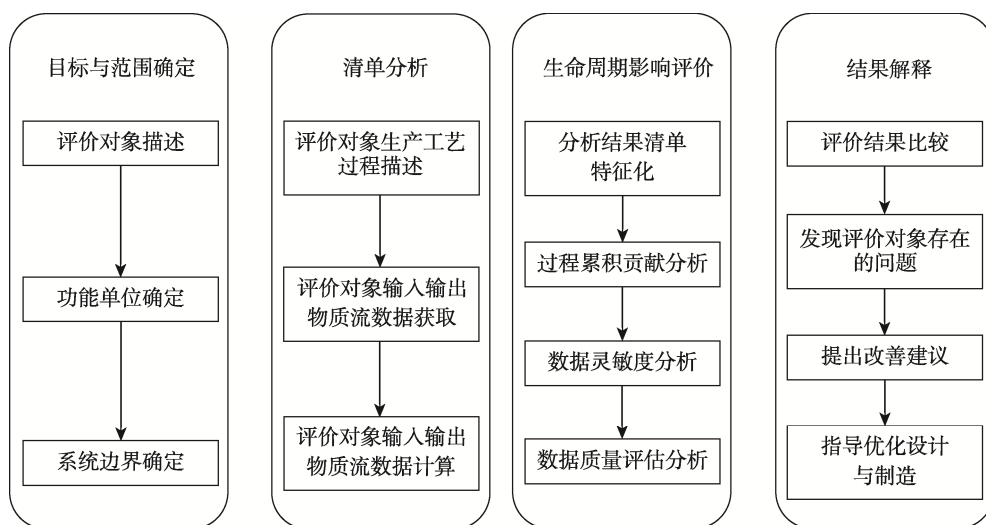


图1 化妆品销售包装盒生命周期评价流程
Fig.1 Flow chart of LCA of sales packaging cartons for cosmetics

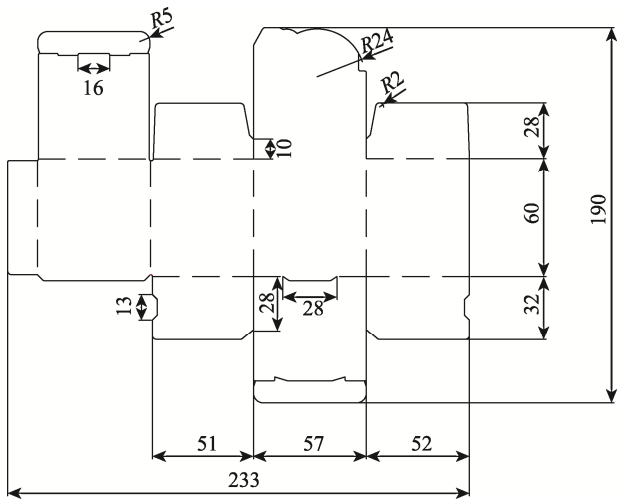


图 2 化妆品销售包装盒平面结构
Fig.2 Blank of sales packaging cartons for cosmetics

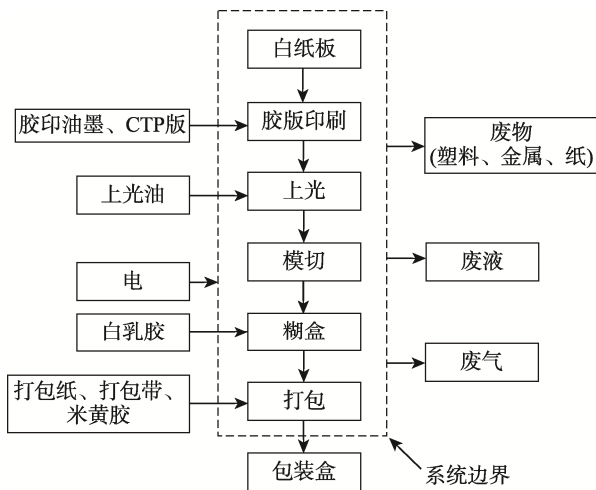


图 3 白纸板化妆品销售包装盒系统边界
Fig.3 System boundary of white cardboard sales cartons for cosmetics

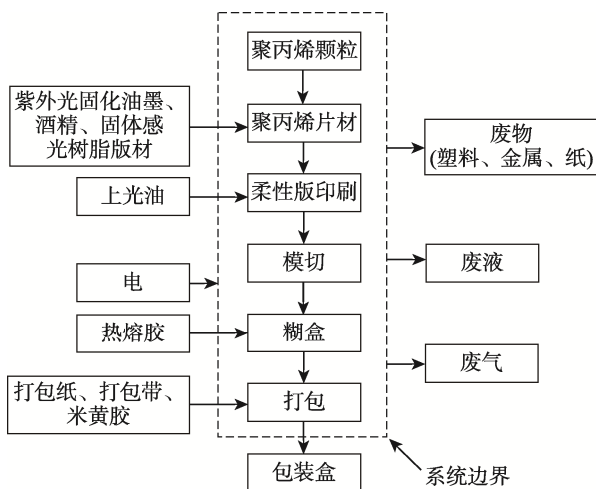


图 4 聚丙烯化妆品销售包装盒系统边界
Fig.4 System boundary of polypropylene sales cartons for cosmetics

2.2 清单分析

通过对有关包装材料和包装生产企业原始数据调研和采用 eFootprint 数据库数据集以及行业文献、行业标准中的数据进行清单分析,分别统计出每个过程功能单位产品的消耗与排放,通过汇总计算得到产品生产过程的生命周期清单数据。为了提高数据及其结果可靠性,在后文将进一步进行灵敏度分析和数据质量评估。白纸板化妆品销售包装盒输入数据清单见表 1,聚丙烯化妆品销售包装盒输入清单见表 2,生产评价对象时各生产工序耗电量清单见表 3。

2.3 生命周期影响评价

2.3.1 LCA 结果与分析

基于 eFootprint 及其数据库,将上述清单分析计算结果特征化,获得 GWP, PED, ADP, WU, AP, EP, RI, ODP, POFP 等 9 类环境影响,2 个评价对象的环境影响结果见表 4。

表 1 白纸板化妆品销售包装盒数据清单

Tab.1 Data list of white cardboard sales cartons for cosmetics

类别	名称	数量
能源/(kW·h)	电	2.63×10^3
原料/g	白纸板	7.65
	胶印油墨	2.9
	CTP 版	1.20×10^3
	上光油	1.1
	糊盒用白乳胶	0.72
	打包纸	11.9
	PE 打包带	0.03
	打包用米黄胶	3.00×10^3

表 2 聚丙烯化妆品销售包装盒数据清单
Tab.2 Data list of polypropylene sales cartons for cosmetics

类别	名称	数量
能源/(kW·h)	电	0.01
原料/g	PP 颗粒	12.5
	紫外光固化油墨	7.00×10^3
	油墨稀释用酒精	3.00×10^3
	固体感光树脂版	1.20×10^3
	糊盒用热熔胶	0.09
	打包纸	0.36
	PE 打包带	0.035
	打包用米黄胶	3.00×10^3

表3 评价对象各生产工序耗电量清单
Tab.3 List of power consumption in each production process of the evaluation object

工序	白纸板化妆品销售包装盒/(GW·h)	聚丙烯化妆品销售包装盒/(GW·h)
挤出机		53
印刷机	2.9	9.3
上光机	2	
模切机	1.2	0.1875
糊盒机	9	9.2
打包机	0.42	0.42
总计	26.32	90.67

表4 白纸板化妆品销售包装盒与聚丙烯化妆品销售包装盒环境影响
Tab.4 Environmental impact by sales cartons made of white cardboard and polypropylene for cosmetics

化妆品销售包装盒	GWP/g	PED/MJ	ADP/mg	WU/g	AP/mg	EP/mg	RI/mg	ODP/μg	POFP/mg
白纸板	17.8	0.185	0.125	57.8	39.7	32.3	8.91	1.08	102
聚丙烯	39.9	1.07	0.211	104	149	14.8	31.4	0.464	121

由表4可知,2种材料的化妆品销售包装盒均在GWP, PED和WU方面对环境污染影响较大,主要体现在GWP方面,而对ADP, AP, EP, RI, ODP, POFP等6个方面影响较小,因此,重点考虑GWP, PED, WU这3类的环境影响。

2.3.2 过程累积贡献分析

过程累积贡献即当前过程及上游各过程累积的总贡献值。白纸板化妆品销售包装盒累积贡献见表5,聚丙烯化妆品销售包装盒累积贡献见表6。

表5 白纸板化妆品销售包装盒累积贡献
Tab.5 Cumulative contribution by white cardboard sales cartons for cosmetics %

过程名称	GWP	PED	WU
白纸板	52.52	1.77	4.83
白纸板-中型柴油货车运输(8 t)-中国	3.15	3.43	1.55
电	14.97	19.11	15.41
胶印油墨	5.92	17.13	31.2
胶印油墨-铁路运输-中国	0.18	0.22	0.13
CTP版-轻型柴油货车运输(2 t)-中国	0	0	0
PE打包带	0.29	0.58	1.3
PE打包带-轻型汽油货车运输(2 t)-中国	0.01	0.01	0.01
打包纸	0.25	0.29	0.43
打包纸-轻型汽油货车运输(2 t)-中国	0.02	0.03	0.01
上光油	11.73	24.89	27.08
上光油-铁路运输-中国	0.04	0.04	0.03
糊盒用白乳胶	10.85	32.38	18.11
糊盒用白乳胶-轻型汽油货车运输(2 t)-中国	0.07	0.09	0.04

表6 聚丙烯化妆品销售包装盒累积贡献
Tab.6 Cumulative contribution by polypropylene sales cartons for cosmetics %

过程名称	GWP	PED	WU
PP颗粒	63.65	82.27	58.16
PP颗粒-中型柴油货车运输(8 t)-中国	8.89	3.75	5.47
紫外光固化油墨	0.01	0.01	0.04
紫外光固化油墨-铁路运输-中国	0	0	0
固体感光树脂版轻型柴油货车运输(2 t)-中国	0	0	0
糊盒用热熔胶	0.63	0.73	1.31
糊盒用热熔胶-轻型汽油货车运输(2 t)-中国	0	0	0
打包纸	0.14	0.06	0.2
打包纸-轻型柴油货车运输(2 t)-中国	0.01	0.01	0.01
PE打包带	0.18	0.14	0.97
PE打包带-轻型柴油货车运输(2 t)-中国	0.01	0	0
电	26.48	13.04	33.84

从表5和表6中可以看出,在PED方面,白纸板化妆品销售包装盒中的糊盒用白乳胶和聚丙烯化妆品销售包装盒中的原料聚丙烯颗粒贡献最大,分别为32.38%, 82.27%。在WU方面则是白纸板化妆品销售包装盒中的上光油和聚丙烯化妆品销售包装盒中的原料聚丙烯颗粒贡献最大,分别为26.88%, 58.16%。在GWP方面占比最大的则是化妆品销售包装盒的主要材质,即白纸板、聚丙烯颗粒。此外,在电力方面,白纸板销售包装盒生产过程中模切工艺消耗的电能最多;聚丙烯化妆品销售包装盒生产过程中聚丙烯颗粒挤出工艺消耗的电能最多。

2.3.3 清单数据灵敏度分析

清单数据灵敏度是指清单数据单位变化率引起的相应指标变化率。通过分析清单数据对各指标的灵敏度,并配合改进潜力评估,从而辨识最有效的改进点。白纸板化妆品销售包装盒中 GWP 灵敏度 > 0.5% 的清单数据见表 7,聚丙烯化妆品销售包装盒中 GWP 灵敏度 > 0.5% 的清单数据见表 8。

由表 7 可知,白纸板化妆品销售包装盒对碳足迹灵敏度影响最大的前 6 个数据中,只有白纸板原料的灵敏度达到 50% 以上,其余均小于 20%,但白纸板作为主要原材料消耗量特别大,且所有后续加工过程均以此为载体进行,因此将其作为改进点的可能性不高。印后上光使用的上光油以及糊盒用白乳胶的灵敏

度分别为 11.73%, 10.85%, 具有较大的改进潜力。由表 8 可知,聚丙烯化妆品销售包装盒对碳足迹灵敏度影响最大的前 3 个数据中,只有聚丙烯颗粒原料的灵敏度达到 50% 以上,但聚丙烯颗粒作为主要原材料消耗量特别大,且所有后续加工过程均以此为载体进行,因此将其作为改进点的可能性不高。表 8 中 PP 颗粒-中型柴油货车运输(8 t)-中国的灵敏度为 8.89%, 具有较大的改进潜力。

2.3.4 数据质量评估与分析

采用 CLCD 评估方法,在 eFootprint 软件上完成对模型清单数据的不确定度评估。研究类型为行业 LCA-代表特定技术/全行业/市场平均水平,2 种材料的化妆品销售包装盒数据质量评估结果见表 9。

表 7 白纸板化妆品销售包装盒 GWP 清单灵敏度
Tab.7 Sensitivity of GWP by white cardboard sales cartons for cosmetics

清单名称	所属过程	上游数据类型	GWP/%
白纸板	白纸板化妆品销售包装盒	背景数据	52.47
电	白纸板化妆品销售包装盒	背景数据	14.93
上光油	白纸板化妆品销售包装盒	背景数据	11.73
糊盒用白乳胶	白纸板化妆品销售包装盒	背景数据	10.85
胶印油墨	白纸板化妆品销售包装盒	背景数据	5.92
白纸板-中型柴油货车运输(8 t)-中国	白纸板化妆品销售包装盒	背景数据	3.15

表 8 聚丙烯化妆品销售包装盒 GWP 清单灵敏度
Tab.8 Sensitivity of GWP by polypropylene sales cartons for cosmetics

清单名称	所属过程	上游数据类型	GWP/%
PP 颗粒	PP 化妆品销售包装盒	背景数据	63.65
电	PP 化妆品销售包装盒	背景数据	26.48
PP 颗粒-中型柴油货车运输(8 t)-中国	PP 化妆品销售包装盒	背景数据	8.89

表 9 2 种材料化妆品销售包装盒数据质量评估结果
Tab.9 Evaluation result of data quality by sales cartons made of two materials for cosmetics

指标名称	白纸板化妆品销售包装盒		聚丙烯化妆品销售包装盒	
	LCA 结果	结果不确定度/%	LCA 结果	结果不确定度/%
GWP	1.779×10^{-2}	11.38	4.526×10^{-2}	11.19
PED/MJ	1.850×10^{-1}	6.61	1.161	11.93
ADP	1.252×10^{-7}	7.24	2.268×10^{-7}	13.73
WU/kg	5.782×10^{-2}	10.53	1.465×10^{-1}	10.24
AP	3.972×10^{-5}	4.61	1.718×10^{-4}	7.97
EP	3.232×10^{-5}	10.21	1.662×10^{-5}	8.33
RI	8.910×10^{-6}	4.09	3.958×10^{-5}	5.43
ODP	1.082×10^{-9}	10.30	8.212×10^{-10}	4.88
POFP	1.019×10^{-4}	14.57	1.519×10^{-4}	9.28

注: GWP 表示以千克 CO₂ 为基准物质,得到的特征化因子,用于表示温室气体对全球变暖的贡献; ADP 表示以千克铍为基准物质,得到各资源的特征化因子,用于表示中国范围各资源的稀缺程度; AP 表示以千克 SO₂ 为基准物质,得到的特征化因子,用于表示酸性气体对酸化的贡献; EP 表示以千克 PO₄³⁻ 为基准物质,得到的特征化因子,用于表示营养物质对富营养化的贡献; RI 表示以千克 PM_{2.5} 为基准物质,得到的特征化因子,用于表示因可吸入无机物造成的人体伤害; ODP 表示以千克 CFC-11 为基准物质,得到的特征化因子,用于表示臭氧消耗的潜力; POFP 表示以千克 NMVOC 为基准物质,得到的特征化因子,用于表示对流层臭氧浓度的增加

由表9可知,相同尺寸和结构的2种化妆品销售包装盒在GWP, PED, ADP, WU, AP, EP, RI, ODP, POFP等9个方面,白纸板化妆品销售包装盒的LCA结果均小于聚丙烯化妆品销售包装盒,即白纸板化妆品销售包装盒对环境的影响均优于聚丙烯化妆品销售包装盒。

3 结语

通过对白纸板和聚丙烯2种材料的化妆品销售包装盒进行生命周期评价。经对比分析发现,聚丙烯化妆品销售包装盒比白纸板化妆品销售包装盒对环境产生的影响更大,两者中首选材料应该是白纸板化妆品销售包装盒。进一步评价研究发现,白纸板化妆品销售包装盒模切工艺消耗的能量最多,印刷工艺产生影响环境的废气最多;聚丙烯化妆品销售包装盒挤出工艺消耗的能量最多、排放的废气最多,印刷工艺次之。可见,在进行化妆品销售包装盒生产时,材料种类和能源消耗是影响包装环境的主要原因,因此,在保证产品性能的前提下,要优先选择对环境影响低的材料进行包装设计。另外,在包装盒印刷过程中,虽使用了环保型油墨,但仍不可避免地会挥发出VOCs,对环境造成一定的影响。可通过在印刷设备上设置集气罩收集设施,将废气回收并进行低温等离子加光催化氧化处理,从而降低对环境的影响。同时,可以考虑从控制包装盒表面装潢印刷面积大小的角度,开展绿色包装设计。

参考文献:

- [1] MARINA F C, PATRÍCIA M S, OTÁVIO C, et al. Life Cycle Assessment of Poly (Lactic Acid) (PLA): Comparison Between Chemical Recycling, Mechanical Recycling and Composting[J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2016, 24(4): 372—384.
- [2] ANA M, FRANÇOIS B. Life Cycle Impact Assessment of Polylactic Acid (PLA) Produced from Sugarcane in Thailand[J]. *Journal of Polymers and the Environment*, 2019, 27(11): 2523—2539.
- [3] CHIUH P T, LEE Y H, SU C Y, et al. Assessing the Environmental Impact of Five Pd-based Catalytic Technologies in Removing of Nitrates[J]. *Elsevier B V*, 2011, 192(2): 837—845.
- [4] RENÉ L C, GERARD G H. The Value of the Exergetic Life Cycle Assessment Besides the LCA[J]. *Elsevier Ltd*, 2002, 43(9): 1417—1424.
- [5] 耿涌, 董会娟, 郝凤明, 等. 应对气候变化的碳足迹研究综述[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(10): 6—12.
- [6] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 等. 碳足迹分析方法研究综述[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(7): 71—78.
- [7] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 等. 基于生命周期环境影响分析的环保油墨研发[J]. *包装工程*, 2010, 31(21): 95—98.
- [8] 任宪姝, 霍李江. 生命周期评价在印刷与包装领域中的应用研究进展[J]. *包装工程*, 2008, 29(10): 217—219.
- [9] 王润桃, 霍李江, 王文生. 包装产品生态效率量化评价方法探讨[J]. *包装工程*, 2012, 33(7): 66—70.
- [10] 任宪姝, 霍李江. 瓦楞纸箱生产工艺生命周期评价案例研究[J]. *包装工程*, 2010, 31(5): 54—57.
- [11] 王志慧, 王洪涛, 黄娜, 等. 纸铝塑合包装材料的碳足迹评价与认证[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(6): 712—716.
- [12] 谢勇, 王凯丽, 谭海湖. 罐装薯片包装的生命周期评价[J]. *包装学报*, 2015, 7(4): 1—6.
- [13] UNCHALEE S, VIGANDA V, PHASAWAT C, et al. Life Cycle Assessment of Single Use Thermoform Boxes Made of Polystyrene (PS), Polylactic Acid, (PLA), and PLA/Starch: Cradle to Consumer Gate[J]. *Springer-verlag*, 2013, 18(2): 401—417.
- [14] HAI Z, MERCEDES H, ANTONIO D, et al. The Effect of Active Packaging on Minimizing Food Losses: Life Cycle Assessment (LCA) of Essential Oil Compo-

- ment-enabled Packaging for Fresh Beef[J]. *Packaging Technology and Science*, 2015, 28(9): 761—774.
- [15] TRZCINSKI, MURPHY. Anaerobic Digestion of Starch-polyvinyl Alcohol Biopolymer Packaging: Biodegradability and Environmental Impact Assessment[J]. *Bioresource Technology: Biomass, Bioenergy, Biowastes, Conversion Technologies, Biotransformations, Production Technologies*, 2011, 102(24): 11137—11146.
- [16] HAI Z, MERCEDES H, ANTONIO D, et al. Selection of Nanomaterial-based Active Agents for Packaging Application: Using Life Cycle Assessment (LCA) as a Tool[J]. *Packaging Technology and Science*, 2017, 30(9): 575—586.
- [17] 杨建新, 王如松, 刘晶茹. 中国产品生命周期影响评价方法研究[J]. *环境科学学报*, 2001(2): 234—237.
YANG Jian-xin, WANG Ru-song, LIU Jing-ru. Research on Evaluation Method of China Product Life Cycle Impact[J]. *Journal of Environmental Science*, 2001(2): 234—237.
- [18] 孙启宏, 万年青, 范与华. 国外生命周期评价(LCA)研究综述[J]. *世界标准化与质量管理*, 2000(12): 24—25.
SUN Qi-hong, WAN Nian-qing, FAN Yu-hua. A Review of Overseas Research on Life Cycle Assessment (LCA)[J]. *World Standardization and Quality Management*, 2000(12): 24—25.
- [19] 陈万明, 来延肖. 生命周期评价理论的发展现状与展望[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(25): 10490—10492.
CHEN Wan-ming, LAI Yan-xiao. The Development Status and Prospect of Life Cycle Assessment Theory[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(25): 10490—10492.
- [20] 陈莎, 刘尊文. 生命周期评价与III型环境标志认证[M]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 2—3.
CHEN Sha, LIU Zun-wen. *Life Cycle Assessment and Type III Environmental Label Certification*[M]. Beijing: China Standard Press, 2014: 2—3.
- [21] ISO 14040, 环境管理-生命周期评价-原则与框架[S]. ISO 14040, *Environmental Management-life Cycle Assessment-principles and Framework*[S].
- [22] 侯萍, 王洪涛, 朱永光, 等. 中国资源能源稀缺度因子及其在 LCA 中的应用[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(9): 1572—1579.
HOU Ping, WANG Hong-tao, ZHU Yong-guang, et al. China's Resource and Energy Scarcity Factor and its Application in LCA[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(9): 1572—1579.
- [23] 王志慧, 王洪涛, 黄娜, 等. 铝复合包装材料的碳足迹评价与认证[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(6): 712—716.
WANG Zhi-hui, WANG Hong-tao, HUANG Na, et al. Evaluation and Certification of Carbon Footprint of Aluminum Composite Packaging Materials[J]. *Environmental Science Research*, 2012, 25(6): 712—716.
- [24] 江志兰, 向思静, 王洪涛, 等. 基于在线供应链调查的产品生命周期评价[J]. *生态学报*, 2016, 36(22): 7185—7191.
JIANG Zhi-lan, XIANG Si-jing, WANG Hong-tao, et al. Assessment of Product Life Cycle Based on Online Supply Chain Survey[J]. *Journal of Ecology*, 2016, 36(22): 7185—7191.
- [25] 黄娜, 王志慧, 朱永光, 等. 产品生命周期环境管理集成解决方案的研发[J]. *日用电器*, 2012(4): 31—35.
HUANG Na, WANG Zhi-hui, ZHU Yong-guang, et al. Development of Integrated Solutions to Product Life Cycle Environmental Management[J]. *Household appliances*, 2012(4): 31—35.