

瓷质餐具全纸包装生命周期评价案例研究

孔钰晨, 梁韵秋, 蔡静蕊

(北京林业大学, 北京 100083)

摘要:以瓷质餐具全纸包装为研究对象,采用生命周期评价中分类、特征化和量化“三步走”方法对全瓦楞纸包装进行了从原纸的供给到产品销售等各过程的环境影响评价,总环境影响潜力为 1.83×10^{-2} 。结果表明,瓷质餐具全纸包装对环境的影响主要来源于包装产品的运输过程,消耗了资源并使全球变暖,并提出了产品的生产厂商应就近寻找包装产品的生产商,以减小其产生的环境影响。

关键词:生命周期评价;全纸包装;餐具包装;瓦楞纸板

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)21-0043-06

Case Study of Life Cycle Assessment for Paper Packaging of Ceramic Tableware

KONG Yu-chen, LIANG Yun-qiu, CAI Jing-rui

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Paper packaging of tableware was taken as object of study. Environmental impacts assessment of the paper packaging was carried out using three steps method of life cycle assessment(LCA), which were classification, characterization and quantification, from the process of paper making to sales of the packaging. The total environmental effect load was 1.83×10^{-2} . The results showed that the main environmental impacts are caused by transportation process, which consume resource and cause global warming. It was put forward that ceramic tableware Production Company should look for packaging company as close as possible to reduce the environmental impact.

Key words: life cycle assessment; paper packaging; tableware packaging; corrugated board

据中国包装技术协会的统计,我国每年因包装不善造成的经济损失在 150 亿元以上,其中 70% 是由运输包装造成的^[1]。为了防止产品破损,过度包装现象严重。根据包装成本不应超过产品出厂价格 15% 的规定^[2],目前高档餐具包装成本过高,有个别产品包装成本甚至占产品成本的 40%,高额的包装成本为消费者带来很大的经济损失,同时给环境带来一定的负担。现在市场上的餐具包装多采用发泡塑料和纸板相结合的包装形式,其中发泡塑料一般为发泡聚苯乙烯。发泡聚苯乙烯是一种不可进行填埋处理的材料,已经有相对成熟的回收技术,但缺少较为完善的回收系统,因此其回收处理方式多为燃烧,同时这种材料的燃烧会产生大量的有害物质。由于瓦楞纸板

包装具有良好的可回收性能,因而成为最近几年包装材料的的首选。文中以瓷质餐具的瓦楞纸板包装为研究对象,运用生命周期评价方法(LCA),对其环境影响进行量化分析,进而为改进餐具包装提出建议。

生命周期评价方法是目前最具有说服力的量化评价环境影响范围的方法。它通过对产品的原材料开采、原料加工、产品制造、运输销售、使用维修、废弃后回收循环再使用、最终处置的整个过程的各个环节可能发生资源消耗和环境污染物的排放进行量化分析,从而确定该产品是否对环境产生负担,并能很直观地了解这种负担是多少^[3]。LCA 作为一种评价产品、工艺过程或活动的有用的环境管理工具,目前已被政府和企业广泛采用^[4]。

收稿日期: 2013-03-15

基金项目: 北京林业大学国家级大学生创新训练项目(201210022037)

作者简介: 孔钰晨(1990-),女,陕西人,北京林业大学本科生,主攻产品运输包装设计。

1 瓷质餐具全纸包装设计

研究采用的瓷质餐具套装有 4 个直径为 11 cm 的碗、2 个直径为 12.5 cm 的圆盘、2 个直径为 15 cm 的圆盘以及 2 个 20 cm×12 cm 的长盘(见图 1)。包

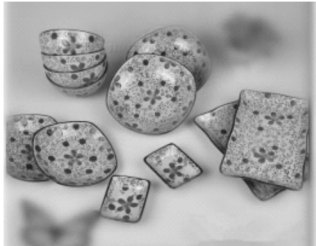


图 1 餐具展示
Fig. 1 Tableware exhibition

装采用 B 楞瓦楞纸板作为销售包装,E 楞瓦楞纸板作为内部缓冲结构的材料^[5]。纸箱采用国际标准箱型 0421,纸盒展开图见图 2。

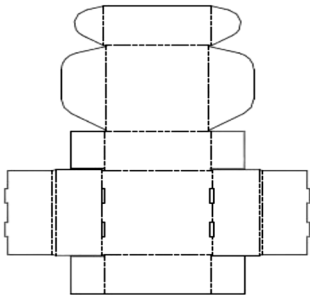


图 2 餐具包装纸盒展开
Fig. 2 Expansion plan of tableware packaging

盒子内部结构采用“工”字型结构(见图 3),使每个盘子能够很好地分割开来。同时以“对称”为设计理念,将盘子放在盒子中心,一边 2 个碗,结构见图 4。销售包装盒子的最大外尺寸为 $L_0 \times B_0 \times H_0 = 302 \text{ mm} \times 292 \text{ mm} \times 139 \text{ mm}$ 。

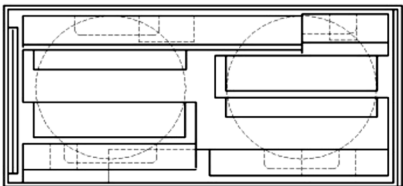


图 3 餐具包装 A-A 面剖面图
Fig. 3 Cross-sectional view of tableware packaging

拟定该瓷质餐具生产商为唐山市路北区某骨质瓷

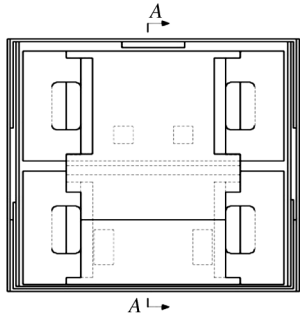


图 4 餐具包装俯视图
Fig. 4 Top view of tableware packaging

生产厂商,瓦楞纸箱生产商为唐山市河东路的某纸箱厂,瓦楞原纸生产厂商为唐山市玉田县某纸浆造纸公司。该套瓷质餐具运往北京市大兴区某陶瓷城进行销售。全过程拟采用 8 t 的厢式货车作为运输工具^[6]。

耗油量=距离 $\times\frac{24}{100}\times$
$$\left[\frac{2}{3}+\frac{1}{3}\times\frac{\text{实际运量}}{\text{最大运量}}+\frac{2}{3}\times\text{返空率}\right]$$

表 1 全纸包装运输数据

Tab. 1 Full paper packaging and shipping data

起始地点	距离 /km	实际运 载量/t	最大运 载量/t	返空率 /%	耗油量 /L
纸厂到纸箱厂	45	8	8	100	1.07×10^{-3}
纸箱厂到陶瓷厂	3	8	8	100	7.13×10^{-5}
陶瓷厂到陶瓷城	180	7.5	8	50	2.90×10^{-2}

2 目标和范围的确定

该研究通过对瓷质餐具的瓦楞纸板包装的生命周期评价,量化描述了其从原材料的采购到回收整个过程造成的环境影响。功能单位为生产一套骨质陶瓷餐具的完整瓦楞纸板包装(B 楞的 3 层瓦楞纸板和 E 楞三层瓦楞纸板,没有印刷,跌落高度为 80 cm)。由于该包装使用的是国际箱型 0421,该箱型为特殊箱型,因此需要制备模切板。系统边界为从木材的供给到产品销售使用的整个过程,见图 5。生产过程产生的边角余料和最后的瓦楞纸箱可作为原纸的生产原料,按照 100% 循环利用的方式进行处理,因此不产生废弃物。每个运输阶段的路程根据具体生产厂家的距离来进行计算。产品及过程中固体废弃物由于其处理方式多为就近运送到废品回收站进行处理,对环境产生的影响较小,所以其处理的环节未列入研究系

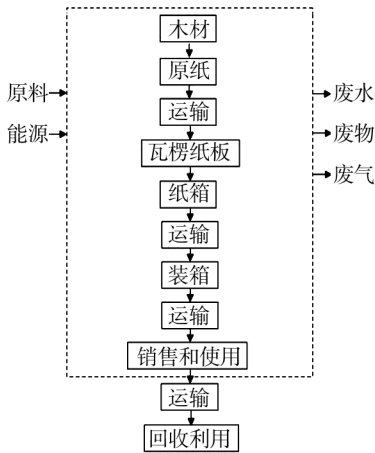


图5 餐具包装 LCA 系统边界

Fig. 5 System boundary of life cycle assessment
of tableware packaging

统范围之内。研究中所用到的数据都是通过近几年的文献和国家相关标准整理而成的^[7-11]。

3 瓷质餐具全纸包装生命周期评价

3.1 清单分析

通过搜集到的已发表的文章,首先整理出所有输入输出清单上应有的物质,主要包括制浆造纸过程、纸箱成形过程和运输过程。其次将现有文献上所对应的数据进行归类整理,同一物质的数据是将几篇文献上的数据在单位相同的情况下求平均值,同时注意该平均值是否超过国家各排污标准。最后,将各数值核算成以一套瓷质餐具为单位的数值。根据对相关文献和国家标准的相关数据进行整理,系统边界内每功能单位包装产品加工运输过程的输入(资源消耗、能源消耗)数据清单见表 2,系统边界内每功能包装产品加工运输过程输出数据清单见表 3。

3.2 影响评价与分析

依据国际环境毒理学与化学学会(SETAC)建立的“三步走”模型,即分类、特征化和量化,同时参考《生命周期评价》中关于生命周期量化的方法,经过计算得出每功能单位即一个包装件,加工运输环境影响量化及其特征化结果。利用清单分析(LCI)中的数据,进行归类和计算得到整个研究过程中对环境的影响的量化评价。

3.2.1 分类

分类是将数据清单分析(LCI)中的输入输出数据

表 2 1 套餐具销售包装制造及运输输入数据清单

Tab.2 Input data of life cycle inventory for one
tableware packaging inside the system boundary

类别	名称	造纸/箱	制箱过程 (合计)	合计 /(克/箱)
原料	木材	6.89×10^{-1}	3.85×10^{-1}	1.07
	瓷土	1.19×10^{-2}	6.64×10^{-3}	1.85×10^{-2}
	滑石粉	1.52×10^{-2}	8.50×10^{-3}	2.37×10^{-2}
	碳酸钙	6.46×10^{-2}	3.61×10^{-2}	1.01×10^{-1}
	硫酸铝	1.43×10^{-2}	7.97×10^{-3}	2.22×10^{-2}
	原纸	-	4.29×10^{-1}	4.29×10^{-1}
	淀粉	-	7.44×10^{-3}	7.44×10^{-3}
	NaOH	8.28×10^{-2}	4.71×10^{-2}	1.30×10^{-1}
	H ₂ SO ₄	-	2.21×10^{-3}	2.21×10^{-3}
	打包带	-	4.39×10^{-3}	4.39×10^{-3}
能源	水	1.11×10^{-2}	7.30×10^2	7.30×10^2
	煤	-	7.86×10^1	7.86×10^1
	电(MJ/箱)	6.30	3.69	9.99
	柴油(升/箱)	-	1.47×10^{-2}	1.47×10^{-2}

归为资源消耗、生态影响和人体健康三大类,在每一类下又有许多子类,这些子类包括:全球变暖、臭氧层破坏、酸化、光化学烟雾、水体富营养化、慢性职业健康影响、水生生态毒性等^[12]。这个分类是将清单中的数据在对环境影响的方面进行归类。

3.2.2 特征化及量化

特征化的目的是计算各环境影响类型的环境影响潜值的总和。该研究采用的方法是当量因子法^[3,13],这种方法是选择一个环境影响因子作为当量基准,而同一环境影响类型的其他影响因子与当量基准因子比较得到当量系数(当量因子),然后折合成基准因子的当量单位,从而将同一环境影响类型的影响因子物质全部转化和汇总成为同一单元。

产品环境影响潜值总和,即整个产品系统中所有环境排放影响的总和,用式(1)表示:

$$EP(j) = \sum EP(j)_i = \sum [Q(j)_i \times EF(j)_i] \quad (1)$$

式中,EP(j)为该系统第j种潜在环境影响的贡献;EP(j)_i为第i种排放物质对第j种潜在环境影响的贡献;Q(j)_i为第i种物质排放量;EF(j)_i为第i种排放物质对第j种潜在环境影响的当量因子。

由清单分析结果(见表 1-3)通过式(1)以及相应参数计算得出一套瓷质餐具在该研究系统范围内的生命周期污染物排放影响潜值,见表 4。表 4 显示了在各个阶段每个分类对环境的影响程度。

量化是在特征化求得环境影响类型的潜值总和

表 3 1 套餐具销售包装制造及运输输出数据清单

Tab.3 Output data of life cycle inventory for one tableware packaging inside the system boundary

类型	排放类型	造纸	制箱输出/kg	运输输出合计/kg	合计/kg
向大气 排放	丁烷	—	—	1.96×10^{-6}	1.96×10^{-6}
	CO ₂	1.69	1.20	9.94×10^{-2}	2.99
	CO	—	—	2.37×10^{-4}	2.37×10^{-4}
	C ₂ H ₆	—	—	6.36×10^{-6}	6.36×10^{-6}
	C ₆ H ₁₄	—	—	9.49×10^{-7}	9.49×10^{-7}
	其他烃类	—	—	3.33×10^{-4}	3.33×10^{-4}
	SO ₂	1.35×10^{-3}	6.79×10^{-3}	—	8.14×10^{-3}
	SO _x	—	1.59×10^{-5}	3.83×10^{-4}	3.99×10^{-4}
	HC	—	—	5.60×10^{-7}	5.60×10^{-7}
	CH ₄	—	1.59×10^{-4}	1.87×10^{-4}	3.46×10^{-4}
	N ₂ O	—	1.61×10^{-4}	1.11×10^{-5}	1.72×10^{-4}
	NO _x	8.30×10^{-4}	—	1.10×10^{-3}	1.93×10^{-3}
	颗粒物	—	1.62×10^{-3}	1.64×10^{-4}	1.79×10^{-3}
	戊烷	—	—	4.79×10^{-6}	4.79×10^{-6}
	丙烷	—	—	4.11×10^{-6}	4.11×10^{-6}
	HCl	—	—	8.82×10^{-7}	8.82×10^{-7}
向水体 排放	铵盐	—	—	2.28×10^{-6}	2.28×10^{-6}
	BOD ₅	1.11×10^{-4}	—	1.23×10^{-6}	1.12×10^{-4}
	COD	—	2.39×10^{-1}	9.22×10^{-6}	2.39×10^{-1}
	硝酸盐	—	—	3.95×10^{-6}	3.95×10^{-6}
	N 含量	—	2.22×10^{-3}	—	2.22×10^{-3}
	P 含量	—	1.96×10^{-4}	—	1.96×10^{-4}
向土壤 排放	总有机碳 TOC	—	—	1.92×10^{-5}	1.92×10^{-5}
	边角余料	8.06×10^{-2}	—	—	8.06×10^{-2}
	灰和煤渣	—	1.53×10^{-2}	—	1.53×10^{-2}
	工业垃圾	1.46×10^{-1}	1.71×10^{-6}	—	1.46×10^{-1}
	低放射性物质	—	2.17×10^{-7}	—	2.17×10^{-7}

表 4 餐具包装生产加工及运输过程环境影响特征化结果 (箱)

Tab.4 Characterization results of environmental impacts for one packaging inside the system boundary

环境类型	造纸	制箱输出	运输	合计
全球变暖	1.72	1.26	1.52×10^{-1}	3.13
酸化	1.93×10^{-3}	6.97×10^{-3}	1.17×10^{-3}	1.01×10^{-2}
富营养化	1.14×10^{-3}	5.64×10^{-2}	1.49×10^{-3}	5.90×10^{-2}
光化学烟雾	—	4.77×10^{-6}	1.57×10^{-4}	1.62×10^{-4}
固体废物	1.37	6.06×10^{-1}	—	1.98
烟尘和粉尘	—	1.70×10^{-2}	1.64×10^{-4}	1.71×10^{-2}
潜在健康影响	1.54×10^{-1}	7.75×10^{-1}	—	9.29×10^{-1}
资源消耗	煤	64.5	—	64.5
	石油	—	1.96×10^{-3}	1.96×10^{-3}

后,为求得总环境影响潜力而进行的量化计算。为计算总环境影响潜力,必须求出各环境影响类型对环境造成影响的相对贡献大小,即各环境影响类型的权重系数。该研究采用目标距离法,即某种环境影响类型的严重性,用该效应当前水平与目标水平之间的距离

来表征。该权重系数可用式(2)确定为:

$$WF(j)=\frac{ER(j)_{90}}{ER(j)_{T2000}}$$

(2)

式中,ER(j)₉₀为 1990 年全球或地区某一环境类型环境影响潜值的总和,是权重系数的标准化基准;

$ER(j)_{T2000}$ 为2000年全球或地区某一环境影响类型环境影响潜值的总和,是规定的削减目标值。餐具包装生产运输环境影响潜值加权分析结果,见表5。

表5 环境影响潜值量化结果

Tab.5 Quantification results of environmental impacts for one packaging inside the system boundary

影响类型	环境影响潜值	分析结果/ 标准人当量			
		基准值	标准化值	权重 WFT2000	加权后的环境潜值
全球变暖	3.13	8700	3.59×10^{-4}	0.83	2.98×10^{-4}
酸化	1.73×10^{-4}	36	4.80×10^{-6}	0.73	3.50×10^{-6}
富营养化	5.90×10^{-2}	62	9.52×10^{-4}	0.73	6.95×10^{-4}
光化学烟雾	1.62×10^{-4}	0.65	2.49×10^{-4}	0.53	1.32×10^{-4}
固体废物	1.98	251	7.87×10^{-3}	0.62	4.88×10^{-3}
粉尘和烟尘	1.71×10^{-2}	18	9.51×10^{-4}	0.61	5.80×10^{-4}
潜在健康影响	9.29×10^{-1}	358	2.60×10^{-3}	1.99	5.17×10^{-3}
资源消耗	油	1.96×10^{-3}	592	3.30×10^{-6}	0.023
	煤	64.5	574	1.12×10^{-1}	0.058

3.2.3 总环境影响潜力

总环境影响潜力计算公式为:

$$EIL = \sum WF(j) \times EP(j) \tag{3}$$

式中, EIL 为环境影响潜力; $WF(j)$ 为第 j 种环境影响类型的环境影响潜值的权重系数; $EP(j)$ 为第 j 种环境影响类型的环境影响潜值总和。总环境影响潜力或环境影响负荷(EIL)反映了所研究系统在其整个生命周期中对环境系统的压力大小。根据式(3)计算出该餐具包装在系统范围内整个生命周期的环境影响潜力 $EIL=1.83 \times 10^{-2}$,该环境影响负荷值反映了本项目所研究的全纸餐具包装在其整个生命周期中对环境系统的压力大小,且环境压力随环境影响负荷值的增加而增大。

3.3 生命周期评价结果分析与建议

3.3.1 结果分析

清单分析和影响评价(见表4)结果表明,整个包装的生产、包装和运输过程的主要环境影响是资源消耗,其次是人类潜在健康影响和固体废弃物,影响最小的是酸化。全球变暖和酸化主要是燃煤生产蒸汽、燃煤发电和运输燃烧柴油等过程中排放的温室气体所致,全球变暖的影响主要集中在造纸和制备纸箱的过程中,酸化则主要集中在制箱的过程中;富营养化是由排放制胶机的清洗废水中含有淀粉等营养物质和运输过程中排放汽车尾气造成的;光化学烟雾主要是在运输过程中排放汽车尾气造成的;固体废弃物主要是在纸箱成形过程中产生的边角余料和包装材料在废弃时产生的;粉尘和烟尘主要由运输过程中柴

油经燃烧,排放到空气中的微小颗粒组成;潜在健康影响主要是指在造纸和制箱工艺中产生的 SO_2 对人体健康有极大的危害;资源消耗集中在每个生产纸箱过程中煤和电的使用以及运输过程中柴油的消耗。

影响评价结果(见表4)中,资源消耗中的煤消耗、人类健康影响(慢性疾病)即生物毒性、富营养化在制箱过程中所占的比例分别是100%,83.4%,95.6%。包装产品产生的固体废弃物,基本上就是整个包装单位,在本研究中,所有的固体废弃物为瓦楞纸板。如果在运输等过程中,瓦楞纸板没有在潮湿环境下存放,是可以完全回收再利用的,这是纸质材料作为绿色材料的优势所在。

3.3.2 建议

包装产品所产生的各环境影响类型的环境影响潜力主要集中在运输环节,而不是在包装产品本身生产加工以及回收过程中。由此,建议包装厂家应在距离产品生产厂家及销售地不远的地方,或者产品的生产厂商与附近的包装厂商进行合作,这样包装所产生的富营养化、酸化、光化学烟雾以及粉尘和烟尘对环境的负荷会减少。

4 结语

通过餐具包装生命周期影响评价结果可以看出,包装产业的环境问题,尤其是以瓦楞纸为主要包装材料的生产厂家的环境问题,与产品的供求双方的距离有很大关系。瓦楞纸全纸的包装产品在生产过程中

具有良好的加工性,但是在运输环节中消耗大量的化石资源,并且其排放物是温室效应和酸化的主要来源。如果包装产品的运输距离加大,那么其产生的环境影响必然也会加大。

参考文献:

- [1] 张占东. 包装:无声的推销员[J]. 销售与市场,1997(7):63-64.
ZHANG Zhan-dong. Packaging: Silence Salesman[J]. Sales & Markets, 1997(7):63-64.
- [2] GB 23350U2009, 限制商品过度包装要求 食品和化妆品[S].
GB 23350—2009, Requirement of Restricting Excessive Package-Foods and Cosmetics[S].
- [3] 戴宏民. 包装与环境[M]. 北京:印刷工业出版社,2007.
DAI Hong-min. Packaging and Enviroment [M]. Beijing: Graphic Communication Press, 2007.
- [4] 林逢春,杨凯. 两种一次性塑料餐盒的生命周期评价比较研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2004(12):122-129.
LIN Feng-chun, YANG Kai. Compared Two Kind of One-off Plastic Tableware of Life Cycle Assessment[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2004(12):122-129.
- [5] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2011:366.
SUN Cheng. Packaging Construction Design [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011:366.
- [6] 田亚峥. 运用生命周期评价方法实现清洁生产[D]. 重庆:重庆大学,2003.
TIAN Ya-zheng. Life Cycle Assessment Methods to Achieve Cleaner Production [D]. Chongqing: Chongqing University, 2003.
- [7] 陈建伟,王珏. 服装生命周期影响评价的研究[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2006,21(1):71-76.
CHEN Jian-wei, WANG Jue. Study on Life Cycle Assessment of Clothing[J]. Journal of Qingdao University(E&T), 2006,21(1):71-76.
- [8] WALTER K. Life Cycle Assessment:From the Beginning to the Current State [J]. ESPR-Environ Sci & Pollut. Res, 1997,4(4):223-228.
- [9] STEPHAN V, REGINE G, WALTER K. The Valuation Step Within LCA Part II: A Formalized Method of Prioritization by Expert Panels[J]. Int J LCA, 1996(1):182-192.
- [10] GB 8978—1996, 污水综合排放标准[S].
GB 8978—1996, Integrated Wastewater Discharge Standard [S].
- [11] GB 16297—1996, 大气污染物综合排放标准[S].
GB 16297—1996, Integated Emission Standard of Air Pollutants[S].
- [12] 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.
REN Xian-shu, HUO Li-jiang. Case Study of Life Cycle Assessment for Corrugated Board Box Production Technology [J]. Packaging Engineering, 2010,31(5):54-57.
- [13] 邓南圣,王小兵. 生命周期评价[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
DENG Nan-sheng, WANG Xiao-bing. Life Cycle Assessment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [14] JACQUES C, PATRICK R. Classification in LCA: Building of a Coherent Family of Criteria[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1999(11):352-356.
- [15] 杨建新,徐成,王如松. 产品生命周期评价方法及应用[M]. 北京:气象出版社,2002.
YANG Jian-xin, XU Cheng, WANG Ru-song. Methodology and Application of Life Cycle Assessment [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002.
- [16] 李静,张杰. 西餐餐具包装设计中趣味性问题的研究[J]. 包装工程, 2007,28(11):228-229.
LI Jing, ZHANG Jie. Study on the Interesting Matters in Western Cutlery Packaging Design [J]. Packaging Engineering, 2007,28(11):228-229.
- [17] 张书彬. 多头陶瓷餐具的绿色包装设计[J]. 包装工程, 2003,24(2):87-88.
ZHANG Shu-bin. Green Packaging Design of Multin Chinaware Dishware [J]. Packaging Engineering, 2003,24(2):87-88.
- [18] 任丽娟. 生命周期评价方法及典型纸产品生命周期评价研究[D]. 北京:北京工业大学,2011.
REN Li-juan. Methodology Research and Typical Paper Products of Life Cycle Assessment [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011.