

## 中散包装与危险品包装生命周期评价比较研究

冯智劫<sup>1,2</sup>, 侯倩<sup>1</sup>, 毛国柱<sup>1</sup>, 赵林<sup>1</sup>

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 天津出入境检验检疫局, 天津 300201)

**摘要:** 对中散包装与危险品包装生命周期进行了评价研究。利用 Simapro 软件对 2 种固体危险货物包装形式——一般包装(瓦楞纸箱)和中型散装容器(纤维板箱 IBC)进行了生命周期分析,并将结果进行了对比。可以看出中型散装容器与一般包装相比优势明显,在分析所涉及的 11 个环境类别的影响上均小于一般包装,其中,差距最大的为臭氧层耗竭损害,仅为一般包装的 60%,最小的为酸化/富营养化,为一般包装的 90%。结果显示 IBC 优势明显,在大量货物运输的过程中,若 2 种包装类型均能达到运输效果,应选取对环境影响较小的 IBC 进行运输。

**关键词:** 危险货物包装; 生命周期评价; 环境影响; Simapro

**中图分类号:** TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)23-0048-06

## Comparison Study of Life Cycle Assessment for Dangerous Goods Packaging and Intermediate Bulk Container

FENG Zhi-jie<sup>1,2</sup>, HOU Qian<sup>1</sup>, MAO Guo-zhu<sup>1</sup>, ZHAO Lin<sup>1</sup>

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Tianjin 300201, China)

**Abstract:** The life cycle of dangerous goods packaging and intermediate bulk container was studied and assessed. Simapro software was used to conduct life cycle analysis of two types of solid dangerous goods packaging—usual packaging (corrugated boxes) and Intermediate Bulk Container (fiberboard boxes IBC) and the results were compared with each other. IBC has obvious advantages over the usual packaging in the comparative analysis of lifecycle, including 11 categories of impact on the environment. Among them, the biggest gap is ozone depletion damage, only 60% of the usual packaging, while the smallest is the acidification/eutrophication, 90% of the usual packaging. IBC has distinct advantages in the transport of large amounts of goods. Under the condition that both IBC and corrugated boxes meet the transportation requirements. IBC should be chosen preferentially for packing transported goods due to its less impact on the environment.

**Key words:** dangerous goods packaging; life cycle assessment; environmental impact; Simapro

包装物自身生命周期短,废物排放量大,且我国包装物回收体制不健全,这些原因导致每年城市固体废弃物中约有 1/3 是包装废弃物,且以每年 10% 的速度递增<sup>[1]</sup>,这一庞大数量的固废必须引起足够的重视。且危险货物容器不同于普通产品的包装,一旦破损,不仅不易修理,所引起的危险货物渗漏还将给环境带来重大的影响,所以对于危险货物包装全生命周

期的分析具有重要意义。

文中从生命周期评价的角度出发,依据现有生命周期评价的原则和技术框架要求,利用 Simapro 分别研究固体危险品一般包装与中型散装容器整个生命周期中的物质流和能量流,并将结果进行比较,借以评价 2 种包装形式对环境及人类健康的影响,用以对相关环境政策提供有力的决策支持,并基于结果提出

收稿日期: 2013-01-08

基金项目: 2012 年国家质检总局科技计划项目(2012IK212)

作者简介: 冯智劫(1973-),女,天津人,天津大学博士,天津出入境检验检疫局研究员,主要研究方向为包装生命周期及安全评价。

通讯作者: 毛国柱(1978-),男,河北人,博士,天津大学副教授,主要研究方向为环境规划、清洁生产、低碳经济。

合理化建议。文中选用 Simapro 软件系列最新版本 7.3.3 选取的评价方法体系为 Eco-indicator 99。

## 1 相关名词简介

### 1.1 危险货物

所谓危险货物<sup>[2]</sup>,是指具有自燃、易燃、爆炸、腐蚀、毒害、放射性等特征,在运输、装卸和储存过程中容易造成人身伤亡、财产损毁以及环境污染而需要特别防护的货物。

### 1.2 危险化学品包装

危险化学品包装<sup>[3]</sup>是指根据危险化学品的特性,按照有关法规、标准专门设计制造的,用于盛装危险化学品的桶、罐、瓶、箱、袋等包装物和容器。

### 1.3 中型散装容器

IBC 是 Intermediate Bulk Container 的缩写,即中型散装容器。《国际海运危险货物规则》(IMDG 规则)2004 年版第 1.2 章中对其给出了准确定义,IBC 是指刚性或柔软的可移动包装(但不包括压力容器和装载放射性物质的包装)<sup>[4]</sup>。IBC 通常分为 6 类:金属 IBC、复合型 IBC、柔性 IBC、刚性 IBC、纤维板 IBC 和木质 IBC。文中 LCA 研究中所涉及的 IBC 为纤维板 IBC。

## 2 LCA 方法

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)的核心思想是研究产品整个生命周期中的物质和能源消耗,通过清单分析、数据特征化及相关软件模型的计算,得出产品对环境的影响程度。相比于其他着眼于经济利益的评价方法,生命周期评价法注重于研究产品系统在生态平衡、人类健康和资源消耗领域内的环境影响,不涉及经济和社会方面的影响<sup>[5]</sup>。

依据 ISO14040 系列标准制定的 LCA 技术框架<sup>[6]</sup>,其实施步骤分为目标和范围定义、清单分析、影响评价和结果分析 4 步,该研究就是按照这 4 步进行的。

## 3 包装领域 LCA 研究进展

### 3.1 国内发展情况

由于 LCA 最早的研究就是开始于包装领域,所以我国在这一领域的研究成果也较为丰富。例如谢

明辉、孙体昌<sup>[7]</sup>等人采用生命周期评价法研究了牛奶纸塑铝复合包装的全生命周期环境影响,并与塑料包装的环境影响进行比较评价。朱世范、张琦<sup>[8]</sup>等人运用 LCA 的方法对典型的月饼包装进行了分析,结果表明,在 3 款月饼包装中,含塑料材质越多的月饼包装盒产生的环境影响越严重。刘羽和孙超<sup>[9]</sup>通过对食品包装层级化、类别化的分析与归纳,结合生命周期理论,探究低碳环境下包装设计要点所在,进一步提出了食品包装的优化模式及优化过程。

### 3.2 国际发展情况

S. G. Lee 和 X. Xu<sup>[10]</sup>利用简化的 LCA 思想研究了可重复使用和一次性使用散装运输包装的环境影响,研究表明在置信水平为 96.5% 的情况下,传统木托盘的环境影响是塑料包装系统环境影响的 4 倍。Stuart Ross 和 David Evans<sup>[11]</sup>利用 LCA 研究了可重复使用和回收再利用的塑料为主的包装系统,来探究其是否可以持续减少废物填埋的数量,从而减少整体的环境负担。研究结果表明,这一问题的结论是肯定的。Losip Alina、Hortal<sup>[12]</sup>等人利用 LCA 对比了芯纸与再生纸等不同材质制成的瓦楞纸板对环境影响的大小。Cleary<sup>[13]</sup>对于多伦多的葡萄酒及烈酒产品包装进行了 LCA 分析,通过不同方案的比较,得出了适合市场规模的包装形式。Albrecht 和 Brandstetter<sup>[14]</sup>等人利用 LCA 的思想比较了欧洲水果蔬菜最常见的 3 种包装形式——木箱、纸箱和塑料箱的环境影响,结果表明木箱和塑料箱更具环境友好性。

## 4 目标和范围的确定

### 4.1 目标的确定

运用 LCA 的思想研究用于承装固体危险废物的包装容器系统和中型散装容器系统(IBC)的全生命周期,并进行相互比较,根据比较结果得出对环境影响较小的包装形式,分析导致环境影响差异的原因,为包装品的选择提供合理化建议。

### 4.2 功能单位

研究中选用的瓦楞纸箱规格为 40 cm × 30 cm × 20 cm,承装能力为 25 kg; IBC 规格为 1.1 m × 1.1 m × 1.1 m,承装能力为 1 t。容器系统的功能体现在承装能力上,为方便比较,本次选取的功能单位为承装能力 1 t 的容器系统,即 1 个纤维板箱为一个功能单位,40 个瓦楞纸箱为一个功能单位。

### 4.3 范围的确定

LCA 研究的 2 个主体——瓦楞纸箱和纤维板箱的生产过程大致相同,主要的不同点在于物质和能量的输入输出上,为了确保比较基准的一致性,2 个 LCA 的研究选取相同的范围。在比较评价中,相同的功能单位和系统边界界定可得出公正的结果。系统边界的确定见图 1。

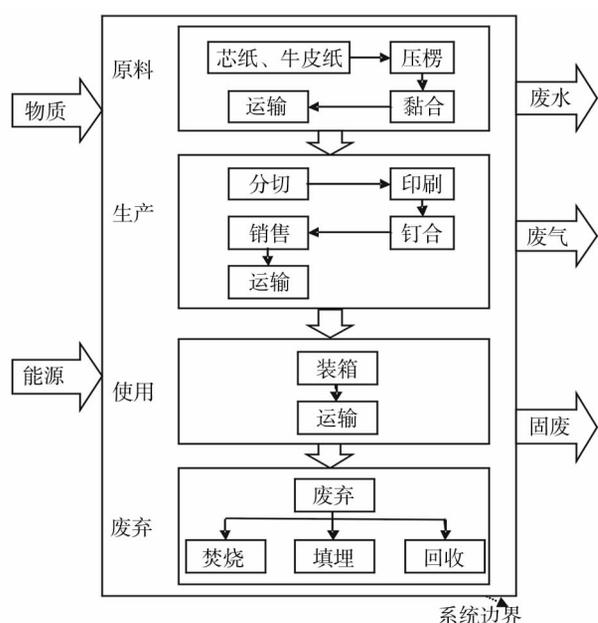


图 1 瓦楞纸箱和 IBC 全生命周期简要流程

Fig. 1 Life cycle flow chart of corrugated board box and IBC

该研究的起点为原纸的制作,终点为纸箱废弃后的处理过程,涵盖危险废物包装物的全生命周期阶段,并将运输环节纳入到研究范围内,这是国内外大多数 LCA 研究未涉及的阶段。

## 5 清单分析

### 5.1 数据质量

该研究数据主要来源于在天津建厂的包装容器制造出口厂家,并辅以 Simapro 数据库和相关文献中的数据参考。所选的厂家多为大中型企业,市场份额较大,具有一定的代表性,且最终的使用数据综合了多家厂家的实际生产数值,具有一定的时效性和普遍性。

### 5.2 清单分析数据

在该 LCA 研究中 2 种包装容器的生命周期都被分为 4 个部分,即原料制作、生产、使用和废弃过程,数据也划分为 4 个部分进行搜集,主要数据为物质和

能源的输入,产品和废物的输出,及向环境排放的污染物质。

该 LCA 研究中实际运输距离因厂而异,没有固定值,此处取值为一般厂家多数运输距离,由于进行 2 种包装的比较,运输环节取相同值,不会对比较结果造成影响。由于研究的一般包装和 IBC 为出口包装,运输距离因出口国家不同而差异较大,该研究中选取距中国较近的韩国仁川港为例进行海运计算。

瓦楞纸箱和纤维板箱 IBC 废物处理参照国内目前大范围的统计数据<sup>[15]</sup>,焚烧占 30%,填埋(无任何处理)占 40%,回收(加工成纸浆)占 30%。由于该研究的包装物所承装的货物为危险货物,具有一定的特殊性,作为与危险货物直接接触的塑料袋的废弃过程在此处不做讨论,视为交由当地的危险品处理部门统一处理。该评价主要是研究包装物正常运输情况下所造成的环境影响,不涉及泄露等特殊情况,所以纸箱上不会残留危险货物成分。各阶段数据清单见表 1—4。

表 1 原料制作阶段数据清单

**Tab. 1 Inventory of raw material production stage**

阶段	材料	一般包装	IBC
(原料) 纸-纸板	规格	40 cm × 30 cm × 1.1 m × 1.1 m × 20 cm 25 kg	1.1 m 1 t
	纸板/(g · m <sup>-2</sup> )	750	1000
	芯纸/(g · m <sup>-2</sup> )	430	470
	牛皮纸/(g · m <sup>-2</sup> )	380	380
	玉米淀粉/(g · m <sup>-2</sup> )	20	25
	电耗/(度每平方米)	0.02	0.04
	从纸板厂到纸箱加工厂平均距离/km	60	60

表 2 生产过程数据清单

**Tab. 2 Inventory of production stage**

阶段	材料	一般包装	IBC
(生产) 纸板-纸箱	规格	40 cm × 30 cm × 1.1 m × 1.1 m × 20 cm 25 kg	1.1 m 1 t
	纸箱重/(千克每个)	0.5	14
	纸箱需要纸板毛尺寸/个	0.801	14
	扁丝/(g · m <sup>-2</sup> )	2.32	40.6
	油墨/(g · m <sup>-2</sup> )	0.6	10
	电耗/(度每个)	0.02	0.4
	到客户平均距离/km	60	60

表3 使用过程数据清单

Tab.3 Inventory of use stage

阶段	材料	一般包装	IBC
使用	规格	40 cm × 30 cm × 1.1 m × 1.1 m × 20 cm 25 kg	1.1 m 1 t
	塑料袋/g	30	500
	木托盘	40 个箱子 一个托盘	一个箱子 一个托盘
	货物运输 平均距离/km	以天津港到仁川港为例 460 海里 = 851.92 km	

表4 废物管理数据清单

Tab.4 Inventory of waste management stage

阶段	材料	一般包装	IBC
废弃	规格	40 cm × 30 cm × 1.1 m × 1.1 m × 20 cm 25 kg	1.1 m 1 t
	回收手段及所占比例	焚烧 30% 填埋 40%	回收 30%
	到废物处理站距离/km	10	10

## 6 影响评价

利用 Simapro7.3.3 对一般包装(瓦楞纸箱)和中型散装容器(IBC) 基于流程进行全生命周期及各生命周期阶段评价,比较其所造成的环境影响,结果见图2—6。环境指标分数以 Pt 表示,Pt 为一个欧洲居民平均环境负荷的 0.1%。

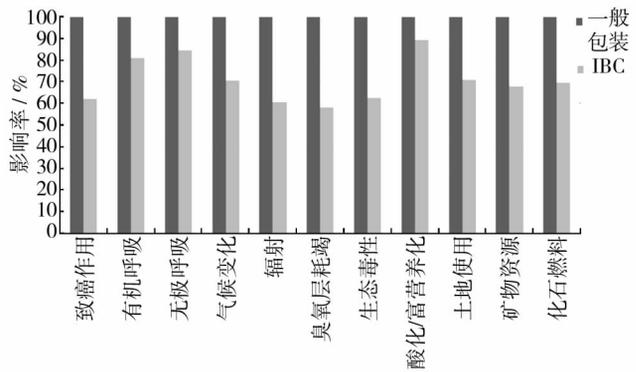


图2 瓦楞纸箱和纤维板 IBC 全生命周期特征化比较结果

Fig.2 Life cycle comparison characterization results of corrugated board box and IBC

图2和图3分别为相同功能单位的瓦楞纸箱和纤维板 IBC 全生命周期数据特征化及量化比较结果。在全部 11 个环境影响类别中,纤维板箱 IBC 的环境

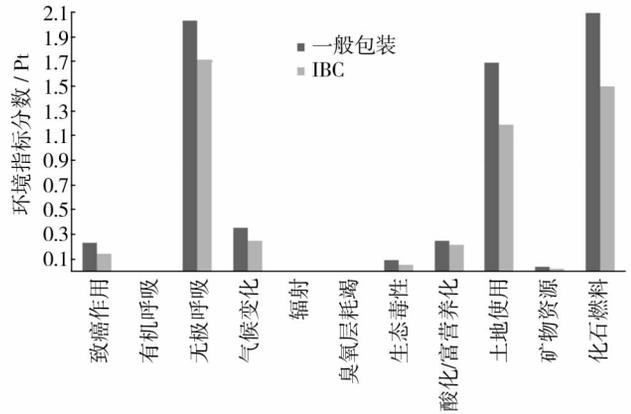


图3 瓦楞纸箱和纤维板 IBC 全生命周期量化比较结果

Fig.3 Life cycle comparison results of corrugated board box and IBC

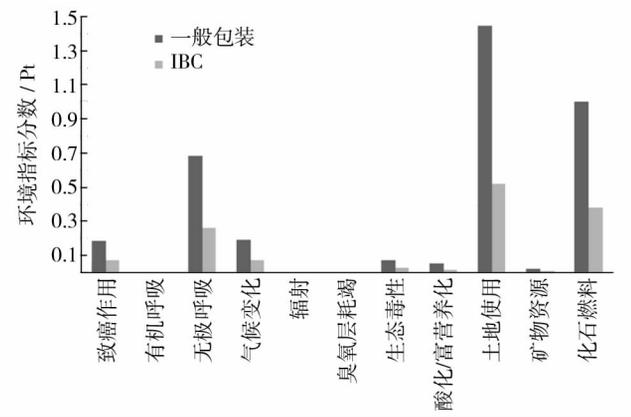


图4 原料制造阶段量化比较结果

Fig.4 Comparison results of raw material production stage

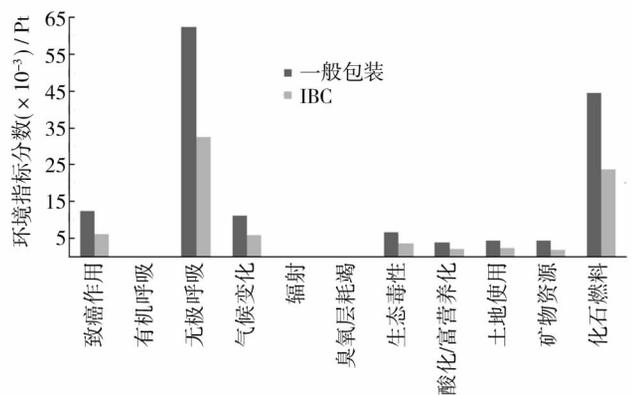


图5 生产阶段量化比较结果

Fig.5 Comparison results of production stage

优势明显,其中差距最大为对臭氧层耗竭的影响,IBC 所造成的影响不到一般包装影响的 60%,差距最小的为对酸化/富营养化的影响,IBC 所造成的影响小

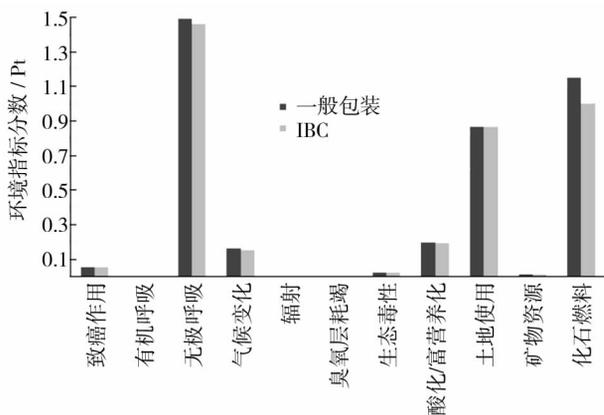


图6 使用阶段量化比较结果  
Fig. 6 Comparison results of use stage

于一般包装影响的90%。表5为2种包装类型对人类健康、生态系统质量和资源3个方面的量化结果，IBC数值均小于瓦楞纸箱。

表5 全生命周期量化比较

影响类型	一般包装	IBC
人类健康	2.63	2.12
生态系统质量	2.03	1.47
资源	2.19	1.53

图4为原料制造阶段量化比较结果。在大部分不涉及运输环节、只研究包装物本身的LCA案例中，原料制造阶段是其整个生命周期中对环境影响最大的阶段，所以IBC在原料制造阶段的环境优势直接导致了其整个生命周期对环境影响较小的结果。在原料制造阶段IBC对所有11个环境影响类别的环境影响均不到一般包装物的40%，优势明显。

图5为生产阶段量化比较结果。包装行业的特点在于通常只是对于来料进行一定的加工处理，生产工艺一般并不复杂，不会对环境排放大量的废水、废气等，所以其相较于其他产品生命周期阶段对环境的影响较小。在生产阶段，IBC和一般包装对无机物呼吸效应的影响最大，其次为化石燃料，而IBC在数值上仅为一般包装的50%。

图6为生产阶段量化比较结果。该LCA研究与以往包装物生命周期评价最大的不同在于不仅引入了运输环节，而且对于包装物试用阶段的研究不仅仅局限于包装物本身，还纳入了使用过程中需要的其他附属用品，如塑料袋、托盘。与前面IBC的绝对优势

不同，在使用阶段，IBC的优势仅体现在无机呼吸效应、气候变化、酸化/富营养化和化石燃料上，且优势不大。这与使用阶段物质和能量的输入输出差距较小有关。差距最大的为对化石燃料的影响，IBC占一般包装的90%。

### 7 结语

IBC与一般包装全生命周期比较的优势明显，在11个环境类别的影响上均小于一般包装。一般包装对环境影响最大的为化石燃料，而IBC对无机呼吸效应影响最大。

就生命周期阶段而言，IBC的优势集中体现在原料制造阶段，对于11个环境类别的影响，IBC均低于一般包装的40%。IBC优势最不明显的阶段为使用阶段，仅体现在有机物、无机物呼吸相应、气候变化、酸化/富营养化和化石燃料上，且优势不大。所以对于瓦楞纸箱而言，针对原料制造阶段改进其生产工艺能够有效地降低其环境影响。

通过以上结论可以看出，IBC优势明显，在大量货物运输的过程中，若2种包装类型均能达到运输效果，应选取对环境影响较小的IBC进行运输。

### 参考文献:

[1] 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.

[2] 周建伟, 王振林. 危险品包装的安全监管与检测技术[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 52-55.  
ZHOU Jian-wei, WANG Zhen-lin. Safety Supervision and Detection Technology of Dangerous Goods Packaging [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 52-55.

[3] 万敏, 陶强, 崔鹏, 等. 危险品包装的发展及常见质量问题探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 103-106.  
WAN Min, TAO Qiang, CUI Peng, et al. Development of Dangerous Goods Packaging and Discussion on Common Quality Problems [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 103-106.

- [4] 赵晓鹏. 中型散装容器的发展[J]. 集装箱化, 2008(2): 29-31.  
ZHAO Xiao-peng. Development of Intermediate Bulk Container[J]. Containerization, 2008(2): 29-31.
- [5] 黄春林, 张建强, 沈淞涛. 生命周期评价综述[J]. 环境技术, 2004(1): 29-32.  
HUANG Chun-lin, ZHANG Jian-qiang, SHEN Song-tao. Summarize of Life Cycle Assessment [J]. Environmental Technology, 2004(1): 29-32.
- [6] GB/T 24040—1999, ISO 14040 环境管理—生命周期评价—原则与框架[S].  
GB/T 24040—1999, ISO 14040 Environmental Management Life Cycle Assessment-Principles and Framework [S].
- [7] 谢明辉, 李丽, 黄泽春, 等. 典型复合包装的全生命周期环境影响评价研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 773-779.  
XIE Ming-hui, LI Li, HUANG Ze-chun et al. Environmental Impact Estimation of Al-PE-Pa Complex Package Using Life Cycle Assessment [J]. China Environmental Science, 2009, 29(7): 773-779.
- [8] 朱世范, 张琦, 陈言, 等. 典型月饼包装的环境影响评价[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 37-39.  
ZHU Shi-fan, ZHANG Qi, CHEN Yan et al. Environmental Impact Assessment of Typical Mooncake Packaging [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 37-39.
- [9] 刘羽, 孙超. 低碳环境下食品包装的优化设计[J]. 包装工程, 2012, 33(18): 108-111.  
LIU Yu, SUN Chao. The Optimization Design of Food Packaging in Low-carbon Environment [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(18): 108-111.
- [10] LEE S G, XU X. A Simplified Life Cycle Assessment of Reusable and Single-use Bulk Transit Packaging [J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17: 67-83.
- [11] ROSS S, EVANS D. The Environmental Effect of Reusing and Recycling a Plastic-based Packaging System [J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11: 561-571.
- [12] CLEARY, J. Life Cycle Assessments of Wine and Spirit Packaging at the Product and the Municipal Scale: A Toronto, Canada Case Study [J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 44: 143-151.
- [13] LOSIP A, HORTAL M, DOBON A et al. Comparative Environmental Impact Assessment of Corrugated Board Production [J]. Environmental Engineering and Management Journal, 2010, 9(9): 1281-1287.
- [14] ALBRECHT S, BRANDSTETTER P, BECK T et al. An Extended Life Cycle Analysis of Packaging Systems for Fruit and Vegetable Transport in Europe [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2013, 18(8): 1549-1567.
- [15] 刘继永, 杨前进, 韩新民. 瓦楞纸箱全生命周期环境影响评价研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 105-109.  
LIU Ji-yong, YANG Qian-jin, HAN Xin-min. Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Corrugated Boxes [J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 105-109.

## (上接第32页)

- [6] 王丽娜, 黄素珍. 胶原蛋白的研究进展[J]. 肉类研究, 2010, 1(1): 16-22.  
WANG Li-na, HUANG Su-zhen. Progress in Collagen Preparation [J]. Meat Research, 2010, 1(1): 16-22.
- [7] 薛新顺, 罗发兴, 罗志刚. 猪皮胶原蛋白的提取及粘度特性研究[J]. 中国胶粘剂, 2006, 16(3): 15-18.  
XUE Xin-shun, LUO Fa-xing, LUO Zhi-gang. Research on Viscosity Property and Extracting of Pigskin Collagen [J]. China Adhesives, 2006, 16(3): 15-18.
- [8] 黄东雨, 陈海光, FELICIA K. 海洋鱼类分割加工废弃物的综合利用[J]. 广东农业科学, 2009(9): 144-147.  
HUANG Dong-yu, CHEN Hai-guang, FELICIA K. Utilization of the Waste Material From the Filleting Process of Sea Fish [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009(9): 144-147.
- [9] 肖乃玉, 邱传吉, 马家杰. 南瓜-大豆分离蛋白复合可食性膜的制备[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2012, 25(3): 19-22.  
XIAO Nai-yu, QIU Chuan-ji, MA Jia-jie. Preparation of Edible Complex Film Made From Pumpkin-soy Protein Isolate [J]. Journal of Zhongkai Agrotechnical College, 2012, 25(3): 19-22.
- [10] SANCHEZ A C, POPINEAR Y. Effect of Different Plasticizers on the Mechanical and Surface Properties of Wheat Gliadin Films [J]. Agric Food Chemical, 1998, 46: 4539-4544.