

中国绿色包装材料研究与应用现状

刘林, 王凯丽, 谭海湖, 谢勇

(湖南工业大学, 株洲 412007)

摘要: **目的** 通过研究我国绿色包装材料的应用现状展望绿色包装材料的研发和应用前景,使更多新型绿色材料在包装中得到大量使用。**方法** 分析我国绿色包装材料的应用现状及近几年的研究进展,并总结绿色包装材料研发和应用中存在的问题。**结果** 对绿色包装材料的含义及我国绿色包装材料的实际研究和应用情况进行了基本论述。**结论** 近几年,我国在可降解包装材料、新型纸质包装材料和可食性包装材料方面均取得了一定成果,随着大量研究工作的推进,这些新型绿色包装材料将被大量使用到包装产业中来。

关键词: 绿色包装; 可降解包装材料; 纸质包装材料; 可食性包装材料

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)05-0024-07

Research and Application Status of Green Packaging Materials in China

LIU Lin, WANG Kai-li, TAN Hai-hu, XIE Yong

(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

ABSTRACT: By studying the application status of green packaging materials in China, the development and application prospect of green packaging materials were prospected, in order to promote the massive application of more new green materials in packaging. The current application status and recent research progress of green packaging materials in China were analyzed, and the existing problems in the development and application of green packing materials were summarized. The conception of green packaging material and the actual situation of research and application of green packaging materials in China were discussed. In recent years, China has obtained some achievements in terms of degradable packaging material, paper packaging material and edible packaging material, with the advancement of a lot of research work, these new green packaging materials would be largely used in the packaging industry in the future.

KEY WORDS: green packaging; degradable packaging material; paper packaging material; edible packaging material

随着环境污染的日益严重,低碳、节能、环保已成为全球关注的焦点,因此,绿色包装受到了越来越多的重视和推广。绿色包装材料的研发和应用也成为了人们关注的热点,我国在绿色包装材料方面的研究已经取得了一些成果,并且在很多领域得到越来越广泛的应用。目前研究和应用最多的就是可降解包装材料、纸质包装材料和可食性包装材料。

1 绿色包装及绿色包装材料

1.1 绿色包装的定义

目前,世界各国对绿色包装还没有明确的定义,可以说它是一种概念设计,欧洲各国普遍认为绿色包

收稿日期: 2015-12-22

作者简介: 刘林(1992—),男,山东滨州人,湖南工业大学硕士生,主攻包装整体解决方案。

通讯作者: 谢勇(1964—),男,湖南攸县人,湖南工业大学教授,主要研究方向为包装防伪技术与功能包装材料。

装应该符合 3R1D 原则,即包装减量化(Reduce)、可重复利用(Reuse)、可回收再生(Recycle)、可降解腐化(Degradable)。国内学者对其也说法不一,例如,贺全国等^[1]认为绿色包装是指对生态环境和人体健康无害,能循环复用和再生利用,可促进国民经济持续发展的包装,也即包装产品从原材料选择、产品制造、使用、回收和废弃的整个过程均符合生态环境保护的要求,包括了节省资源、能源,减少或避免废弃物产生,易回收复用,再循环利用,可焚烧或降解等生态环境保护要求的内容;戴宏民、戴佩燕等^[2]对绿色包装的定义是能够重复利用或循环再生或降解腐化,且在产品整个生命周期中不对人体及环境造成危害的适度包装。尽管对绿色包装定义的表述有所不同,但综合各种定义,大多从绿色包装的作用出发,一方面是以生态环境保护为原则强调生态平衡,以达到生态环境损坏最小化;另一方面,以节约资源能源为目标,重视资源的再生利用有利于保护自然资源。根据大量文献中对绿色包装的介绍,绿色包装可以被这样界定:绿色包装是指以环境友好、资源节约为核心要素,在包装设计、研发、生产、使用和再生循环的全生命周期中,对生态环境和人体健康无害或危害小,并且能够节能降耗,符合可持续发展的包装产品及相关技术。

1.2 绿色包装的评价方法

随着环保意识的增强和可持续发展观念的深化,包装废弃物所造成的环境影响和资源浪费越来越受到世界各国的广泛关注。很多国家都通过立法、制定标准等措施来倡导绿色包装,绿色贸易壁垒也对包装提出了越来越多、越来越严格的要求。如何评价产品包装的绿色性是一个亟待解决的问题,随着世界各国对该问题的不断探索研究,国际上出现了一种公认的评价方法——生命周期评价法(LCA, Life Cycle Assessment)。

按照国际环境毒物学和化学学会(SETAC)的定义,LCA 是通过对能源、原材料消耗及废物的鉴定及量化来评估一个产品、过程或活动对环境带来负担的客观方法。我国也有很多学者在生命周期评价方法以及生命周期评价在包装中的应用方面做了大量的研究工作,谢勇、王凯丽、谭海湖等^[3]人利用生命周期评价法对罐装薯片包装从原料获取、生产加工、运输到使用以及废气处理的全生命周期环节的能量消耗和环境影响进行了评价,通过分析量化后的各个数据,得出了罐装薯片包装在维持现有结构的前提下,

进行材料减量化、容器轻量化是提高包装环保性的最有效途径;任宪姝、霍李江等^[4]介绍了生命周期评价在印刷包装领域的应用并做了案例分析。众多学者对生命周期的研究说明了将生命周期评价法作为绿色包装的评价方法是最科学有效的。

1.3 绿色包装材料概念与分类

绿色包装材料是指在全生命周期内对自然环境和人类健康不造成危害,并且后期能实现回收再使用或可自行降解不污染环境,能有效地降低不可再生资源的消耗的包装材料。综合我国绿色包装材料的应用及发展现状可以将其分为可降解塑、纸质包装材料和可食性包装材料^[5]。

可降解塑料是指在生产过程中加入一定量的添加物(如淀粉、改性淀粉或其他维生素、光敏剂、生物降解剂等),使其稳定性下降,易在自然环境中降解的塑料,目前正在发展中的有淀粉基可降解材料、聚乳酸可降解塑料、水溶性塑料薄膜等^[6]。纸质包装材料是人们最熟悉、应用最广泛的绿色材料,其原料来源广泛,废弃物既可以回收再生纸张,又容易降解腐化对环境无害,是应用最早的绿色包装材料,目前广泛应用于包装的纸质包装材料是纸浆模塑和蜂窝纸板^[7]。可食性包装材料是以淀粉、蛋白、纤维、脂类等食品级可再生资源为原料,采用先进的专用设备和工艺制备的一类新型食品包装材料。

2 可降解塑料包装材料

2.1 淀粉基可降解包装材料

淀粉是自然界中绿色植物进行光合作用得到的产物,存在种子和块茎中,是一种纯绿色无污染可再生资源,对环境、空气及土壤不造成污染,研究人员研发的新型淀粉基塑料包装材料现已经用于食品、医药、文化用品、工业及日用百货等的包装上,是未来绿色塑料包装材料发展的方向之一^[8-9]。

淀粉基塑料的研究主要分为 3 个阶段:第 1 阶段主要是在 PP、PE 等传统塑料中加入少量的淀粉来达到降低成本、增加塑料的可降解性的目的,即淀粉填充型聚合物;第 2 阶段是随着环保意识和可降解性要求的进一步提高,需要增加淀粉在塑料中的含量以及增加淀粉和第 2 组分之间的连接,制备可降解淀粉基塑料;第 3 阶段为全淀粉型塑料阶段,全淀粉型淀粉塑料是可完全降解的塑料,因其成本和性能的问题有待

进一步提高,还基本处于研究阶段^[10]。目前,改性淀粉的生物降解或可溶性的降解塑料是淀粉基材料的研发热点,如郝喜海^[11]介绍了PVA/淀粉的制备与挤出吹塑工艺,并指出将淀粉添加到PVA中不仅可以大大降低生产成本,还可以促进薄膜的生物降解,扩大PVA/淀粉薄膜的生产规模和开发生产高精细化、特种产品的PVA品种势在必行。李东立、许文才等^[12]认为合成高聚物淀粉基复合包装材料具有较高的力学性能、阻水性和性价比,是将来淀粉基可降解包装材料的主流。文献[13]中指出目前的淀粉基可降解材料的研究大致可以分为2代:通过向淀粉中加入质量分数为10%~95%的聚烯烃对淀粉基产品进行改性,由此衍生出了新型的用于土壤环境的生物可降解薄膜;通过淀粉的接枝共聚或与其他具有优良性能的材料进行共混制得淀粉基可降解材料。

同时,由于我国的淀粉基可降解材料的研究处于基础阶段,特别是以淀粉为原料通过接枝共聚或其他改性方法合成过程和材料的推广应用仍存在许多诸如韧性、延展性、硬度、降解速度和性能控制等方面的问题,导致了我国淀粉基可生物降解材料的应用范围有限^[14]。对于淀粉基可降解塑料未来很长一段时间的研究将是致力于成本的降低、性能优化、功能多样以及降解时间的控制方面的研究开发。

2.2 聚乳酸基可降解塑料

聚乳酸(PLA)是由各种可再生天然资源中的淀粉、纤维素、多糖等碳水化合物经过水解、发酵、纯化、聚合而制得的一种环境友好型树脂,其原料来源广泛,可再生。PLA具有良好的生物相容性、生物可降解性、力学性能及加工性能,使用后可以通过多种方式进行处理,包括自然降解、燃烧和堆肥处理等,其最终的降解产物为水和二氧化碳,不会给环境带来污染^[15]。

尽管PLA具有优良的力学性能,但同时兼具脆性大、耐冲击性差、降解周期长、价格昂贵等缺点,不能直接满足实际应用的需求,PLA的以上的缺点限制了PLA的应用发展。通过对PLA的共混改性能有效地改善其各项性能并且可以降低成本,所以近几年有关PLA的主要研究方向是共混改性的研究,包括PLA与天然高分子共混改性和PLA与合成高分子共混改性。华晋等^[16]采用PLA及偶联剂MAPP对木粉进行改性,研究了复合材料的力学性能、吸水性能及微观特性,结果表明偶联剂的使用增大了抗拉强度,降低了吸水率,其SEM结果显示添加偶联剂后两组分之间的界面变得模糊,PLA与木粉之间的相容性变

得更好。厉国清等^[17]用注塑成型的方法制成亚麻纤维/PLA复合材料,并研究了不同质量配比下复合材料的热性能、动态力学性能和力学性能的变化规律。结果表明,随着亚麻纤维的加入,复合材料的结晶度增大,热稳定性增强,力学性能也有了明显的改善。季得运等^[18]通过熔融共混法制备了PLA/PBS物理共混体系和PLA/PBS/DCP(过氧化二异丙苯)反应共混体系并研究了体系的结晶行为。结果发现,PLA/PBS物理共混没有改变PLA的结晶性,而反应共混的PLA/PBS/DCP交联/支化结构具有异相成核作用,使体系的结晶性得到改善。陈卫丰等^[19]通过熔融共混制备了可以完全生物降解PPC/PLA共混材料并对其进行性能测试。结果表明,复合材料为部分相容体系,随着PLA的加入,复合材料的结晶度、拉伸强度和热稳定性提高。这些共混改性的方法为降低生产成本和提高使用性能提供了可能,并将聚乳酸复合材料的应用推广化。

在PLA未来的发展中,可以通过加入柔性高分子、表面活性剂、偶联剂、各种纤维等以改善复合材料的脆性、相容性以及强度,通过物理与化学相结合的方法来提高PLA基复合材料的使用性能,以推动聚乳酸基复合材料的广泛发展。

2.3 水溶性薄膜及其他可降解材料

聚乙烯醇(PVA)薄膜无色透明,具有极好的透明性与表面光泽性,撕裂强度和拉伸强度较好、不吸灰尘、不带静电等特点,是一种具有突出性能、广泛应用的新型环保薄膜材料。PVA薄膜材料可100%生物降解,属于绿色包装材料。薄膜是由醇解度为88%左右的PVA树脂加工制成,其大分子链上存在的较多大体积醋酸乙烯酯基,这些基团在弱化分子链上羟基间氢键的缔合的同时也使得分子链之间难以相互靠近,一定量的羟基能与水发生相互作用,所以其具有良好的水溶性。因为其优异的水溶性和生物降解性被作为包装薄膜材料广泛地应用于化学品包装、洗涤包装、纺织品包装、食品包装、电子电器产品包装等各个包装行业^[20]。

根据醇解度不同,可分为高温水溶和低温水溶等2种。目前,低温水溶PVA薄膜材料占据国内水溶膜生产的90%以上,主要应用于一些水中使用产品的内包装、水转移印刷等,而我国高温水溶性聚乙烯醇薄膜由于生产工艺及技术水平较低等原因不能生产,全部依赖于进口。在其未来发展上,郝喜海^[21]指出要实现高温水溶性膜的大规模生产应解决以下问题,一是

研究如何实现流涎生产出来的高温水溶膜具有遇低温水(40℃以下)完全不溶,高温水中完全溶解的特性,二是研究解决高温水溶性聚乙烯醇薄膜的膜厚均匀及透明问题,三是研究高温水溶性聚乙烯醇薄膜在成膜过程中可能产生的缺陷及质量控制方法。

除以上几种可降解材料外,聚 β -羟基丁酸酯(PHB)也是可降解材料的研究热点。PHB是细菌体内的一种酯类累积物,是碳源和能源的储备物,在细胞内呈颗粒状存在^[22]。与传统的化学合成高分子物质相比,PHB作为一种微生物合成塑料,除具有化学合成塑料的特性外,还具有密度大、透氧性低、抗紫外线辐射强、可生物降解、生物组织相容性好等特点,应用于电子、光学、生物医学等高科技领域。目前,我国在PHB的生产方面,最常用的是细菌发酵法,但产量较低,成本较高,还没有研究出能够大规模工业生产PHB的合成方法,研究者们正致力于改变细菌遗传结构,研制新型聚合物以使其产量提高、成本降低^[23]。所以要实现PHB的大规模生产需要重点研究基因工程、转基因植物等技术,优化其提取工艺,加快对PHB的改性研究扩大其应用范围,筛选和构建高产菌株、优化提取工艺、深化改性研究是聚 β -羟基丁酸酯今后的主要研究方向。

2.4 可降解包装材料发展存在的问题

首先,可降解塑料技术需改进提升,由于可降解塑料是利用多糖、蛋白质等天然可降解物质为原料制成的高分子材料,其机械强度和韧性 with 石油基塑料相比会略逊一筹(如淀粉基降解塑料有脆性大、易破裂的缺陷),甚至在使用过程中会出现失效的问题,降解的可控性差,从而会影响可降解塑料的应用范围。其次,可降解包装材料的成本普遍偏高,据统计,生物降解塑料的成本是普通塑料的2~10倍,使得可降解材料在推广过程中遇到阻碍,但随着技术以及制备工艺和效率的不断提高,可降解塑料的成本有望降低,而且随着人们环保意识的增强,越来越多的人会摒弃造成“白色污染”的石油基树脂,为可降解塑料的发展带来巨大机遇。另外,可降解塑料还需要解决降解不彻底的问题,有的树脂分子骨架在很长时间内难以降解,以碎片或粉末的形式残存于自然环境中,反而加重了废塑料回收处理的困难^[24]。

发展可降解塑料,逐渐减少并淘汰造成“白色污染”的石油基塑料,是当前包装材料发展的必然趋势,研发性能优越可降解的新型材料是世界各国的重点,它将渗透到我们日常生活生产中的各个方面。

3 纸质包装材料

在四大主要包装材料中,纸质包装材料占有非常大的比重,据相关资料统计,纸质包装材料占有所有包装材料的40%以上。靳敏平^[25]认为纸质包装材料是最有发展潜力的绿色包装。胡海燕、刘晶等^[26]也认为应该大力发展纸制品包装,同时加强对造纸行业污染的治理。由于纸质包装材料价格低廉、废弃后易回收利用、易自然降解等一系列绿色环保特性的优点,虽然按照生命周期理论纸质包装材料的来源和生产过程不环保,但纸质包装原材料也来源于可再生的草木及植物茎秆,加之生产过程中可以注重生产废弃物的处理,总体来看,纸质包装材料的绿色环保性能是非常好的。近几年,不断有新的绿色新型纸质包装材的出现,为绿色环保材料的研究提供了更广阔的发展前景。目前纸质包装材料引用最多的领域是在缓冲包装材料领域中,作用是防止产品在运输过程中被冲击损坏等,常见的纸质包装材料有蜂窝纸板、纸浆模塑制品、瓦楞纸板等^[27]。

3.1 蜂窝纸板包装材料

蜂窝纸板是由2层面纸和1层芯纸复合加工而成的全纸质包装材料,具有强度高、质量轻、缓冲性能好、环保等特点,是一种夹层结构的新型环保节能材料^[28]。

目前,蜂窝纸板的研究主要集中在纸板的性能指标、结构因素、静态和动态特性、理论建模和有限元分析等方面。例如,滑广军等^[29]通过将结构对纸板边压强度的影响从众多影响因素中解耦,建立了蜂窝纸板和典型瓦楞纸板的有限元模型,并进行了屈曲分析,得到蜂窝纸板2个方向的边压强度和典型瓦楞纸板的边压强度。言利荣、谢勇^[30]采用丝网印刷的原理完成了菱形蜂窝芯的实验室制作,并根据当量密度相当原则推导出了菱形蜂窝纸芯的结构参数,提出了2种实现菱形蜂窝纸板工业化生产的解决方案。曾克俭、刘珊^[31]通过动态跌落冲击实验,研究了厚度为10,20,30,40,50 mm的蜂窝纸板的动态缓冲性能,得到了动态跌落冲击实验的动态缓冲系数-最大静应力曲线,分析结果得出蜂窝纸板厚度越大其能够承受的冲击越大,在每个跌落高度都能找到曲线的最低点,且每种规格的蜂窝纸板都有一定的使用范围,为缓冲设计的最优化提供一定的数据参考。谢勇、毕中臣等^[28]采用了3种开槽方式对厚30 mm的蜂窝纸板进行静态压缩试验,考察蜂窝胞元中的密闭气体以及开槽工艺对蜂窝纸板缓冲性能的影响,试验结果表明:对蜂窝纸板进

行开槽处理可以降低其起始屈服应力,提高其塑性平台区的缓冲性能。刘跃军等^[32]借助有限元分析软件Ansys对不同尺寸结构的蜂窝纸板进行了特征值屈曲分析与谐响应分析,发现蜂窝纸板的蜂窝结构对其屈曲强度的影响很大,蜂窝结构的高度对纸板屈曲强度的影响尤为显著,当蜂窝高度增加2倍时,纸板屈曲强度下降率达82.5%。

蜂窝纸板作为一种性能优越的代木首选环保材料,它不仅能节约木材,更能打破美国、加拿大、欧盟等对我国贸易所设置的障碍。曾克俭^[33]指出技术问题(如生产设备、对蜂窝纸板的改性等方面)和市场占有率低是阻碍我国蜂窝纸板发展的2大问题,解决这些问题需要国家予以扶持和加强人才培养和技术交流。

3.2 纸浆模塑包装材料

纸浆模塑包装材料是以废弃纸制品或植物纤维(植物秸秆)为原料,在特制的模具上经真空吸附成型,后经干燥冷却而成的包装制品。生产纸浆模塑制品的原料绝大多数以废纸或植物纤维为主,废物利用不但减少资源消耗,减少环境污染,还大大降低成本,因此,纸浆模塑制品的原料是绿色的。其制作过程由制浆、吸附成型、干燥定型等工序完成,对环境无害,在整个生产过程中,大多数为物理过程,即使需要添加一点增强剂、防水剂,对操作工人身体健康及环境均无影响,并且纸浆模塑制品使用后的废可回收再利用造纸或继续做纸浆模塑制品,可自然降解作为肥料,即使焚烧也不产生有毒气体,所以纸浆模塑产品是世界各国公认的无污染科技型绿色环保包装制品。纸浆模塑产品被广泛应用与食品包装(如蛋托、餐盒、水产盘)、医用器具包装、电器数码内衬包装、陶瓷玻璃制品包装等各种各样的包装中,是最具发展前途的包装材料^[32-34]。

目前,国内大多数研究集中在对纸浆模塑制品的结构、工艺分析和对其性能、测试方法以及性能评价标准的研究上。例如,滑广军等^[34]基于Ansys对纸浆模塑热压模具加热板进行了温度场仿真分析,研究了加热板孔道结构对加热板工作面温度分布的影响,并提出孔道结构的改进方案。张新昌等^[35]研究了一种双层纸浆模塑制品的成型工艺过程,改善了纸浆模塑的表观性能,提高纸模制品的附加值,并通过正交试验研究双层纸浆模塑制品成型工艺的影响。

4 可食性包装膜的应用

可食膜是以可食性生物大分子物质及其衍生物为

主要基质,辅以可食性增塑剂,经过混合、加热、加压、涂布和挤出等工艺,使各成膜剂分子相互作用,干燥后形成一种具有一定工程性质和选择透过性的薄膜^[36]。可通过包裹、浸渍、涂布、喷洒等方式覆盖在食品的表面或内部,减少或阻止水分、气体或其他物质的迁移,调节食品呼吸强度,提高食品表面性能,延长食品保存期,是一种无废弃物的资源型包装材料,可使资源得到最大限度的利用,同时具有环保特性。这些优良特性,使其成为未来食品包装的发展趋势之一。

从最近几年的研究情况来看,可食性包装膜的研究范围已经由简单应用性研究逐渐过渡到了包装性能改善和加工工艺条件优化的研究上来^[37]。孟令伟等^[38]以玉米磷酸酯双淀粉为成膜基材、甘油为增塑剂制备可食性包装膜,通过改变淀粉添加量,测试可食性包装膜的性能,研究了淀粉添加量对可食性包装膜性能的影响,实验发现随着淀粉质量分数的增加,膜的抗拉强度、断裂伸长率和透湿性均呈现先上升后下降的趋势,得出:淀粉添加量(质量分数)为7.5%,甘油添加量(体积分数)为5%时所成的膜综合性能最优。寻倩男等^[39]采用均匀实验设计方法,研究了明胶、酪蛋白酸钠、甘油添加量和成膜温度对可食性膜各项性能的影响,并确定了最佳的成膜工艺和影响膜各项性能的显著因素。

随着可食性包装膜的研究不断深入,针对可食性包装膜原材料的选择、成膜工艺和薄膜性质改进等方面的研究均取得了一定的成果,但由于包装工业的发展和人民生活需求的不断提高,人们对环保、卫生、安全的可食性包装膜的需求日益增加,可食性包装膜的研究应该更实用。与其他新型包装材料相同,可食性包装膜也存在性能较差、成本偏高、制备工艺有待改善等问题,阻隔性和物理力学性能是其发展瓶颈^[40]。目前,可食性包装膜研究呈现以下几方面的发展趋势:可食性包装膜由单材料向多材料方向发展;由单层膜向复合型膜方向发展,复合型膜可以汇集各组分的长处,尽可能地避开其缺点,达到良好的效果;多功能可食性包装膜的开发。

5 结语

绿色包装材料的研制和开发在一定程度上减少了包装材料的用量,缓解了包装废弃物对生态环境的污染,我国绿色包装材料研究和开发的重点领域应该是减量化和轻薄化的包装材料、可降解的包装材料、新型纸质包装材料、天然植物纤维类包装材料和可食

性包装材料等。

尽管我国在绿色包装材料的研究和应用上取得了一定的成绩,但也存在着一些不足,如文中提到的可降解材料存在降解能力小和生产成本高、可食性包装材料性能较差等问题,所以今后的研究重点将是对现有的绿色包装材料进行改性、优化提高生产工艺、降低成本和研发新型绿色包装材料。随着我国对绿色包装材料越来越重视和人们环保意识的不断加强,绿色包装材料将会更多的运用到人们生产生活的方方面面。

参考文献:

- [1] 吴伟,陶德良,贺全国. 绿色包装材料和技术的应用及展望[J]. 包装工程,2007,28(3):30—33.
WU Wei,TAO De-liang,HE Quan-guo. The Application and Prospect of Green Packaging Material and Technology Intelligent Packaging Technology and Application Field[J]. Packaging Engineering,2007,28(3):30—33.
- [2] 戴宏民,戴佩燕. 中国绿色包装的成就、问题及对策(上)[J]. 包装学报,2011,3(1):1—3.
DAI Hong-min,DAI Pei-yan. Problems and Countermeasures of Chinese Green Package (Part One)[J]. Packaging Journal,2011,3(1):1—3.
- [3] 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—4.
XIE Yong,WANG Kai-li,TAN Hai-hu. LCA of Canned Potato Chip Packaging[J]. Packaging Journal,2015,7(4):1—4.
- [4] 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.
REN Xian-shu,HUO Li-jiang. Progress of Application Research of Life Cycle Assessment in Printing and Packaging Field[J]. Packaging Engineering,2008,29(10):217—219.
- [5] 刘建龙,刘柱. 绿色低碳包装材料应用和发展对策研究[J]. 包装工程,2015,36(19):145—147.
LIU Jian-long,LIU Zhu. Application and Development Strategies of Green and Low-carbon Packaging Materials[J]. Packaging Engineering,2015,36(19):145—147.
- [6] 刘希真,孙运金. 可降解包装材料的应用及发展综述[J]. 中国包装工业,2014(24):3—5.
LIU Xi-zhen,SUN Yuan-jin. The Research Progress of Degradable Material[J]. China Packaging Industry,2014(24):3—5.
- [7] 黄宁选,张光华. 纸张纤维类绿色包装材料的现状与发展[J]. 包装工程,2006,27(6):368—340.
HUANG Ning-xuan,ZHANG Guang-hua. Present Situation and Development Prospect of Plant Fiber Packaging Materials[J]. Packaging Engineering,2006,27(6):368—340.
- [8] 汪秀丽,张玉荣,王玉忠. 淀粉基高分子材料的研究进展[J]. 高分子学报,2011(1):24—35.
WANG Xiu-li,ZHANG Yu-rong,WANG Yu-zhong. Recent Progress in Starch-based Polymeric Materials[J]. Acta Polymeric Sinica,2011(1):24—35.
- [9] 王金永,赵有斌,林亚玲,等. 淀粉基可降解塑料的研究进展[J]. 塑料工艺,2011,39(5):13—16.
WANG Jin-yong,ZHAO You-bin,LIN Ya-ling,et, al. Progress of Starch-based Degradable Plastic[J]. China Plastic Industry,2011,39(5):13—16.
- [10] 史永勤,刘刚. 淀粉基可降解塑料的研究进展[J]. 化工新型材料,2014(11):16—19.
SHI Yong-qin,LIU Gang. Study of Starch-based Biodegradable Plastics[J]. New Chemical Materials,2014(11):16—19.
- [11] 郝喜海,阳家菊,文舒,等. 聚乙烯醇/淀粉薄膜挤出吹塑工艺与研究[J]. 广州化工,2013,41(23):28—30.
HAO Xi-hai,YANG Jia-ju,WEN Shu,et, al. Study on the Technology of PVA/STARCH Bubble Film's Extrusion Blow Molding[J]. Guangzhou Chemical Industry,2013,41(23):28—30.
- [12] 李东立,许文才. 可降解淀粉基包装材料研究进展[J]. 中国印刷包装研究,2009,1(6):10—14.
LI Dong-li,XU Wen-cai. Advance in Degradable Starch-Based Packaging Materials[J]. China Printing and Packaging Study,2009,1(6):10—14.
- [13] 郭宁,何乐,陈复生,等. 我国淀粉基生物可降解材料的研究进展[J]. 化工新型材料,2015,43(4):4—7.
GUO Ning,HE Le,CHEN Fu-sheng. Research Progress about Biodegradation Material Based on Starch[J]. New Chemical Materials,2015,43(4):4—7.
- [14] 谢宝君,梁文耀,宋霜霜,等. 生物可降解材料的研究进展[J]. 工程塑料应用,2012,40(7):85—88.
XIE Bao-jun,LIANG Wen-yao,SONG Shuang-shuang,et, al. Research Progress about Biodegradation Material[J]. Application of Engineer Plastics,2012,40(7):85—88.
- [15] 王小东,李明玲,万新军,等. 聚乳酸材料的国内外最新研究进展[J]. 化工新型材料,2012,40(9):4—8.
WANG Xiao-dong,LI Ming-ling,WAN Xin-jun,et, al. Latest Research Progress of Poly-lactic Acid Materials both Domestic Overseas[J]. New Chemical Materials,2012,40(9):4—8.
- [16] 华晋,赵志敏,余伟,等. 聚乳酸/木粉复合材料的力学及吸水性能研究[J]. 功能材料,2011,10(42):1762—1765.
HUA Jin,ZHAO Zhi-min,YU Wei,et, al. Mechanical Properties and Hygroscopicity of Polylactic Acid/Wood-flour Composite[J]. Function Material,2011,10(42):1762—1765.
- [17] 厉国清,张晓黎,陈静波,等. 亚麻纤维增强聚乳酸可降解复合材料的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程,2012,28(1):143—146.

- LI Guo-qing, ZHANG Xiao-li, CHEN Jing-bo, et, al. Fabrication and Properties of Flax-Reinforced PLA Degradable Composites[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2012, 28(1): 143—146.
- [18] 季得运, 刘正英, 兰小蓉, 等. PLA/PBS/DCP反应共混体系的结晶行为研究[J]. 高分子学报, 2012(7): 694—696.
- Ji De-yun, LIU Zheng-ying, LAN Xiao-rong, et, al. Study on the Crystallization Behavior of Pla/Pbs/Dcp Reactive Blends [J]. Acta Polymerica Sinica, 2012(7): 694—696.
- [19] 陈卫丰, 肖敏, 王拴紧, 等. 生物降解聚甲基乙撑碳酸酯/聚乳酸共混复合材料的制备与性能[J]. 高分子学报, 2012, (7): 694—696.
- CHEN Wei-feng, XIAO Min, WANG Shuan-jin, et, al. Preparation and Properties of Biodegradable Blends of Poly (Propylene Carbonate) and Poly (Lactic Acid)[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2010, 26(3): 142—145.
- [20] 郝喜海, 杨红娟, 吴叙锐, 等. 水溶性PVA载体膜应用的现状与展望[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 39—41.
- HAO Xi-hai, YANG Hong-juan, WU Xu-rui, et, al. Present Status and Prospect of Water-soluble PVA Carrier Thin Film Application [J]. Packaging Engineering, 2010, 26(3): 142—145.
- [21] 郝喜海, 何维. 高温水溶性聚乙烯醇包装薄膜的研究进展[J]. 广州化工, 2014, 42(21): 33—35.
- HAO Xin-hai, HE Wei. The Recent Progress of High-Temperature Water-Soluble PVA Packaging Film[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42(21): 33—35.
- [22] 王会芬, 郝喜海. 生物降解材料聚 β -羟基丁酸酯的研究进展[J]. 包装学报, 2014, 5(2): 5—8.
- WANG Hui-fen, HAO xi-hai. The Research Progress of Biodegradable Material Poly- β -Hydroxybutyrate[J]. Packaging Journal, 2014, 42(21): 33—35.
- [23] 张恒, 杨青芳, 周洋, 等. PHB的改性研究进展[J]. 材料开发与应用, 2010, 25(2): 92—96.
- ZHANG Heng, YANG Qing-fang, ZHOU Yang, et al. Progress on Modification of PHB[J]. Development and Application of Materials, 2010, 25(2): 92—96.
- [24] 郭娟, 张进. 可降解包装塑料的现状与发展趋势[J]. 塑料科技, 2008, 36(2): 98—102.
- GUO Juan, ZHANG Jin. Actuality and Development Trend of Degradable Packaging Plastics[J]. Plastic Science and Technology, 2008, 36(2): 98—102.
- [25] 靳敏平. 浅析环保包装材料及发展应用[J]. 吉林农业科技学院学报, 2014, 23(4): 78—80.
- JIN Min-ping. On Environmental Protection Packaging Materials and Their Development Application[J]. Journal of Jilin Agricultural Science and Technology University, 2014, 23(4): 78—80.
- [26] 胡海燕, 刘晶, 逯海勇. 绿色包装材料的应用[J]. 山东农业大学学报, 2010, 41(3): 451—454.
- HU Hai-yan, LIU Jing, LU Hai-yong. Research on the Application of Materials Used in Green Packaging Design[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 2010, 41(3): 451—454.
- [27] 唐子荀. 论绿色纸质包装材料设计[J]. 中国包装工业, 2015(9): 21—24.
- TANG Zi-xun. Green Paper Packaging Materials Design[J]. Chinese Packaging Industry, 2015(9): 21—24.
- [28] 毕中臣, 曹小龙, 谢勇. 蜂窝纸板缓冲机理探讨[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(6): 38—41.
- BI Zhong-chen, CAO Xiao-long, XIE Yong. Research on the Cushioning Mechanism of Honeycomb Paperboard[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(6): 38—41.
- [29] 滑广军, 谢勇. 蜂窝纸板与瓦楞纸板边压强度有限元分析[J]. 包装工程, 2009, 30(5): 1—2.
- HUA Guang-jun, XIE Yong. Finite Element Analysis of Honeycomb and Corrugated Fiberboard Side Compression Strength [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5): 1—2.
- [30] 言利容, 谢勇. 菱形蜂窝纸板的成型工艺[J]. 包装学报, 2011, 3(2): 45—47.
- YAN Li-rong, XIE Yong. Forming Process of Rhombic-Core Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Journal, 2011, 3(2): 45—47.
- [31] 曾克俭, 刘珊. 蜂窝纸板动态缓冲性能分析研究[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 15—18.
- ZENG Ke-jian, LIU Shan. Analysis on Dynamic Cushioning Property of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 15—18.
- [32] 刘跃军, 江太君, 曾广胜. 不同蜂窝结构对蜂窝纸板力学性能的研究[J]. 包装学报, 2010, 2(1): 21—24.
- LIU Yue-jun, JIANG Tai-jun, ZENG Guang-sheng. Effect of the Honeycomb Structure on the Mechanical Properties of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Journal, 2010, 2(1): 21—24.
- [33] 曾克俭, 刘珊. 蜂窝纸板和蜂窝纸板托盘的性能研究进展[J]. 包装学报, 2014, 6(3): 25—28.
- ZENG Ke-jian, LIU Shan. Research Progress in Honeycomb Paperboard and Honeycomb Paper Tray[J]. Packaging Journal, 2014, 6(3): 25—28.
- [34] 滑广军, 廖泽顺, 谢勇. 基于Ansys的纸浆模塑模具加热板温度场分析及优化[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 18—21.
- HUA Guang-jun, LIAO Ze-shun, XIE Yong. Analysis and Optimization of Temperature Field in Pulp Molding Mold Heating Plate Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 18—21.
- [35] 张贺傢, 王赞, 张新昌. 双层纸浆模塑制品成型工艺影响因素的研究[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 80—84.

- search on Cushioning Packaging Design Method with Moderate Packaging Evaluation System[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 174—176.
- [7] 王静. 商品包装的功能适度研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- WANG Jing. Research on Functional Moderation of Commodity Packaging[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [8] 谢明辉, 李丽, 黄泽春, 等. 基于LCA-模糊综合评价商品包装合理性评价方法研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 18—21.
- XIE Ming-hui, LI Li, HUANG Ze-chun, et al. Study on Packaging Rationality Based on Life Cycle Assessment and Fuzzy Evaluation[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 18—21.
- [9] 于志慧, 丁毅. 基于灰色综合评价法的包装评价模型研究[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 59—62.
- YU Zhi-hui, DING Yi. Study of Packaging Solutions Assessment Model Based on Multilevel Grey Evaluation Method[J]. Packaging Engineering, 2012, 32(3): 59—62.
- [10] 巩桂芬, 兰明, 殷科. 包装总成本综合评价 AHP 模型研究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 100—103.
- GONG Gui-fen, LAN Ming, YIN Ke. Research on Comprehensive Evaluation AHP Model of Total Packaging Cost[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 100—103.
- [11] 肖金亨. 基于综合评价理念的绿色包装设计评价体系的研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2013.
- XIAO Jin-ting. Study on Green Packaging Design Evaluation System Based on Comprehensive Evaluation[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2013.
- [12] 黄慎江, 何丽丽. AHP-Fuzzy 综合评价法在高层结构量化选型中的运用[J]. 合肥工业大学学报, 2012, 35(9): 1243—1247.
- HUANG Shen-jiang, HE Li-li. Application of AHP-Fuzzy Approach in Quantifiable Electrottype of High-rise Building Structure[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2012, 35(9): 1243—1247.
- [13] 张建华, 王琪, 黄其冲. 基于 AHP 和灰色关联分析法的爆破参数优化[J]. 爆破, 2014, 31(4): 72—75.
- ZHANG Jian-hua, WANG Qi, HUANG Qi-chong. Optimization of Blasting Parameters based on Analytic Hierarchy Process and Grey Correlation Analysis Method[J]. Blasting, 2014, 31(4): 72—75.
- [14] 王东梅, 刘丹, 陶丽霞. 基于灰色层次分析法的渗滤液浓缩液回灌填埋体评价[J]. 环境工程学报, 2014, 8(8): 3270—3276.
- WANG Dong-mei, LIU Dan, TAO Li-xia. Evaluation of Leachate Concentrate Recirculation Landfill Based on the Grey Analytic Hierarchy Process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(8): 3270—3276.
- [15] XU G, YANG Y P, LU S Y, et al. Comprehensive Evaluation of Coal-fired Power Plants Based on Grey Relational Analysis and Analytic Hierarchy Process[J]. Energy Policy, 2011, 39(5): 2343—2351.
- [16] 李晓津, 司倩, 邓戡. 国内外航空公司经营效绩的灰色综合评价[J]. 系统科学学报, 2014, 22(1): 83—87.
- LI Xiao-jin, SI Qian, DENG Jian. Gray Comprehensive Evaluation of Domestic and Overseas Airlines Operation Performance Evaluation[J]. Journal of System Science, 2014, 22(1): 83—87.

(上接第 30 页)

- ZHANG He-jia, WANG Zan, ZHANG Xin-chang. Factors Influencing the Forming Process of Two-ply Molded Pulp Products[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 80—84.
- [36] HERNANDEZ-IZQUIERDO V M, KROCHTA J M. Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation—A Review[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(2): 30—39.
- [37] 洪小明, 杨坚. 国内外可食性包装研究进展[J]. 包装食品与机械, 2011, 39(2): 60—63.
- HONG Xiao-ming, YANG Jian. Development of Research on Edible Packaging at Home and Abroad[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 39(2): 60—63.
- [38] 孟令伟, 李娟, 张东杰. 玉米磷酸酯双淀粉基可食性包装膜综合性能研究[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 53—56.
- MENG Ling-wei, LI Juan, ZHANG Dong-jie. Comprehensive Properties of Corn Distarch Phosphate Edible Packaging Film[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 53—56.
- [39] 寻倩男, 雷桥, 包建强. 明胶-酪蛋白酸钠可食性膜的包装性能研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 40—44.
- XUN qian-nan, LEI Qiao, BAO Jian-qiang. Packaging Performance of Gelatin-sodium Caseinate Edible Composite Film[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 40—44.
- [40] 曹龙奕, 于志彬. 可食性包装薄膜的研究进展[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(4): 50—54.
- CAO Long-yi, YU Zhi-bin. Research Progress of Edible Packaging Film[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(4): 50—54.