

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.01.001

食品包装材料生态化发展下的非石油基降解塑料

戴宏民¹, 戴佩燕²

(1. 重庆工商大学 绿色包装研究所, 重庆 400067; 2. 重庆青年职业技术学院 图书情报室, 重庆 400070)

摘要: 目前常用的非石油基降解塑料可分为全淀粉型、化学(人工)合成型和天然高分子(以淀粉为主)与合成高分子共混型3种类型。淀粉基生物降解塑料能完全生物降解, 制成的薄膜具有良好的透明度、柔韧性、抗张强度, 不溶于水, 无毒, 故市场占有率高, 被广泛应用于食品包装、食品容器和一次性餐饮具等; 聚乳酸生物降解塑料力学性能与聚丙烯相似, 并具有与聚苯乙烯相似的光泽度、清晰度和加工性, 同时具有无毒、无刺激性、强度高、易加工成型和优良的生物相容性等特点, 是一种能够真正实现生态和经济双重效益的、发展速度最快的生物降解塑料; 聚丁二酸丁二醇酯生物降解塑料综合性能优良, 性价比合理, 故在食品包装、一次性餐具、药品包装瓶、生物医用高分子材料以及汽车零部件等领域均具有良好的应用前景。非石油基降解塑料作为包装材料是必然趋势, 其得到广泛应用的关键在于提高材料的改性技术与控制成本, 同时须保证其对人体无毒无害, 强调个性化, 并注重提高市场接受度。

关键词: 食品包装材料; 非石油基降解塑料; 控制成本; 食品安全

中图分类号: TB484.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2015)01-0001-06

Non-Petroleum Based Biodegradable Plastic with the Development of Ecologicalization in Food Packaging Materials

Dai Hongmin¹, Dai Peiyan²

(1. Green Packaging Institute, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

2. Books and Information Office, Chongqing Youth Professional Technology College, Chongqing 400070, China)

Abstract: The current non-petroleum based biodegradable plastics could be divided into three types of starch, chemical (artificial) synthetic and natural polymers (based on starch), and synthetic polymer blend. Starch based biodegradable plastics could be completely biodegradable and be made into thin film with the advantages of good transparency, flexibility, tensile strength, water-insoluble and non-toxic features. Therefore the market share of starch based biodegradable plastics is big, and it is widely used in food packaging as food containers and disposable tableware. The biodegradable plastic mechanical property of polylactic acid is similar to that of polypropylene, and it has the glossiness, clarity and workability similar to those of polypropylene with characteristics of non-toxic, non-irritating, high strength, easy processing and good biocompatibility. Polylactic acid is a kind of biodegradable plastic which could truly realize the dual benefits in ecology and economy with the fastest development. The biodegradable plastic comprehensive properties of butylene succinate are excellent with reasonable cost performance, so it has good application prospect in the fields of food packaging, disposable tableware, packing bottle for medicine, biomedical polymer materials, and auto parts etc. As the packing material, non-petroleum based biodegradable plastic is the inevitable trend with the focus in improving the modified technology and cost control, ensuring non-toxic and harmless to human body, emphasizing individuality, and paying attention to improving the market adoption.

Key words: food packaging materials; non-petroleum based biodegradable plastics; cost control; food safety

收稿日期: 2014-11-10

作者简介: 戴宏民(1939-), 男, 浙江奉化人, 重庆工商大学教授, 主要从事绿色包装与食品包装方面的研究,

E-mail: Daihm812@126.com

美国材料试验学会对降解塑料的定义是：在特定时间内造成性能损失的特定环境下，其化学结构发生变化的一种塑料。目前，常见的降解塑料是在一般塑料中加入降解剂，依据加入降解剂的不同（生物降解剂或/和光敏剂）而有3种主要类型：生物降解塑料（包括不完全降解和完全降解）、光降解塑料、光/生物双降解塑料。

从对环境完全无污染以及对人体完全无伤害方面考虑，国内外目前都在重点发展完全生物降解塑料。由于完全生物降解塑料能够将废弃物完全分解成为 CO_2 和 H_2O ，通过植物的光合作用进行再循环，从而对环境不造成任何污染，故美欧也将“完全生物降解塑料（常称为生物降解塑料）”称为绿色高分子材料或生态高分子材料。绿色高分子材料指在整个生命周期中节约资源和能源，“零排放”，易回收再生利用，不对生态环境产生负面“深远影响”的高分子材料^[1]。

1 食品包装材料生态化的迫切性

在食品包装材料中，塑料以其质轻、多功能性、阻隔性和印刷上色性好、成本低廉等优点而较纸、金属和玻璃的用量大，占塑料总产量的1/4；在方便食品、休闲食品和膨化食品包装中的使用量稳居第一。近年来，在美国市场流行的高温杀菌、无菌、高阻隔、柔性和集装等新食品包装中，更是以塑料作为主要包装材料^[2]。

塑料虽然在食品包装材料中用途十分广泛，但在21世纪这个提倡节能、环保、低碳和高度重视食品安全的时代，石油基塑料作为食品包装材料却显示出了极大的负面性，从而使食品包装材料生态化变得十分迫切。

1) 消耗石油能源。塑料最早是以天然高分子材料、煤焦油为原料制作而成的。随着技术的进步，已经发展为以石油、天然气为原材料，提取其分离物如乙烯、丙烯等气体作为树脂，再添加各种助剂后经聚合反应成为聚乙烯、聚丙烯等塑料。石油是关系到国家能源和国防安全的战略物资，也是许多化工产品的重要原料。其中，作为交通运输的能源消耗占石油总消耗量的34%，工业原料的消耗量占总消耗量的42%^[3]。我国是缺油大国，是世界上第二大石油进口国。近10a来，我国石油消费年均增长率达到6%以上，而石油产量年均增长率却只有1.8%，形成了巨大的供给缺口^[4]。过去，包括塑料食品包装在内的塑料制品大多由石油加工而成，其石油消耗

量约占我国石油消耗总量的8%~10%^[3]。随着油价的持续上涨，加之石油资源不可再生，石油已成为制约我国经济发展的瓶颈，因此，使食品包装返朴归真，以及研究以原生态、资源丰富的天然高分子材料（淀粉、植物纤维、甲壳素等）为原料的非石油基塑料十分重要。

2) 严重污染环境。我国塑料制品2010年的产量已达到5300万t，居世界第二^[5]。由于包括食品包装在内的塑料制品有70%属于一次性用品，生命周期短，因此我国每年的塑料废弃物超过400万t^[6]。石油基塑料属于高分子聚合物，性能稳定，在大自然中不易降解，200a不会腐烂；同时，一次性塑料制品不易回收，因其收集、分类、运输成本高于回收利用价值，故被欧盟视为不能商业化回收利用的产品，从而对环境造成了巨大压力。为解决塑料废弃物不能降解的难题，许多国家都在研发使用时具有足够的强度和货架期，而废弃后在大自然中能迅速分解的可降解塑料。

3) 威胁食品安全。石油基塑料食品包装材料中含有多种化学物质，其中有一些是对人体有害的物质，它们包括：塑料在聚合中的单体残留，如氯乙烯、苯乙烯等；为改善塑料的加工性能和使用性能，在聚合过程中加入的各种小分子添加剂，如增塑剂、稳定剂、交联剂等，其中增塑剂如邻苯二甲酸酯、双酚A大多为内分泌干扰物，进入人体后会改变内分泌系统的正常功能；还有聚合物成份在特定的条件下降解会产生低分子有害物质，同时塑料食品包装材料在再生产的过程中也会产生一些低分子有害物质。上述有害物质、食品包装印刷油墨、塑料复合薄膜黏合剂的溶剂残留，以及有机挥发物和光引发剂等，在一定条件下均可能向食品中迁移，从而危害人体健康^[7]。

解决石油基塑料负面性问题的最佳途径应是食品包装材料生态化。欧盟在21世纪初颁布了《用能产品生态设计框架指令》，该指令的核心要求就是所有耗能产品须实行以节能为中心的生态设计。生态设计的基本特征有3个：强调采用资源茂盛、不破坏生态的原生态材料；强调节能低碳，避免温室效应；强调保护环境，从生命周期全过程评价产品的环境性能^[8-9]。

从上述石油基塑料负面性和食品包装材料生态化基本特征的分析可知，石油基塑料食品包装材料的发展趋势应是生态化的非石油基天然高分子降解塑料。

2 非石油基降解塑料的类型

国内外通常将绿色高分子塑料(生物降解塑料)划分为三大类型:天然高分子生物降解塑料、化学(人工)合成生物降解塑料和微生物合成降解塑料。它们均是以可再生的生物资源为原料而不以石油和煤碳为原料,能够完全生物降解的天然高分子生物材料。其中的微生物合成降解塑料系通过微生物发酵、聚合,而获得的一种能降解为 CO_2 和 H_2O 的脂肪聚酯,如聚羟基脂肪酸酯(polyhydroxyalkanoates, PHA)、聚羟基丁酸酯(polyhydroxybutyrate, PHB)、羟基丁酸和羟基戊酸共聚酯等。PHA是由很多微生物合成的一种细胞内聚酯,具有良好的热塑性、生物相容性和生物可降解性,在生物医用材料和可降解包装材料等方面具有较好的应用前景,但是因其强度还需要提高,故目前在包装上使用不多。同时,因发酵法的生产成本较高,这类产品在市场上拓展较为困难。所以,目前常用的非石油基绿色高分子塑料(即非石油基天然高分子生物降解塑料)主要是指前两大类型。

非石油基降解塑料均以能完全生物降解的天然高分子(包括淀粉类、纤维素类和甲壳素类)为原料而生产,故称为非石油基天然高分子生物降解塑料,简称为非石油基降解塑料。目前常用的非石油基降解塑料可划分为全淀粉型、化学(人工)合成型和天然高分子(以淀粉为主)与合成高分子共混型等3种类型。

1) 全淀粉型的天然高分子生物降解塑料。天然高分子具有多种功能基团,可以通过化学、物理方法改性塑化而成为可降解塑料。与有限的石油资源比较,天然高分子植物只要通过光合作用就可以合成,因而具有资源的可持续获得性;同时,其废弃物通过大自然中广泛存在的淀粉酶介入,可逐步水解成小分子化合物,并且最终分解成无污染的二氧化碳和水,回归生物圈。因此,全淀粉型的天然高分子生物降解塑料受到世界各国的高度重视。目前,美国、意大利、日本和我国均已采用挤出、注塑、吹塑、流延等工艺制备出全淀粉型的生物降解塑料,应用于食品包装薄膜、一次性餐饮包装、垃圾袋等,故已成为当前生物降解塑料的发展重点。今后还应对其性脆、易发霉等缺陷进行改进。近年来,以淀粉、蛋白质、纤维、脂类等食品级天然高分子为原料,采用先进的专用设备和工艺制备出可食性与完全降解的食品内包装膜、可食性涂膜、一次性食品包装膜,并获得了广泛的应用,发展迅速。美国在1999年可

食性膜的产值还仅为100万美元,2009年已快速上升到1亿美元^[10]。

2) 化学(人工)合成生物降解塑料。天然高分子生物降解塑料的物理化学性能较差,所以使用范围受到限制;而以化学高分子的理论和技术的指导,采用分子设计的方法来开发新型可生物降解的高分子化合物,既能满足较广泛的使用要求,又能在废弃后因生物降解而与自然环境同化,因此它在绿色高分子材料里占有举足轻重的地位。这类生物降解塑料有聚己内酯(polycaprolactone, PCL)和聚丁二酸丁二醇酯(polybutylene succinate, PBS)等,最具发展前景的是用淀粉制造的可降解塑料——聚乳酸(poly lactide, PLA)。聚乳酸以玉米、甘蔗、甜菜、土豆等农副产品为原料,一般首选玉米。将这些原料磨成粉,分离出淀粉,再从淀粉中提取出原始的葡萄糖,通过发酵工艺将葡萄糖转化为乳酸,乳酸经过聚合反应制成其最终聚合物——聚乳酸。聚乳酸具有良好的抗拉强度、延展性、光泽性和透明度,以及优良的抑菌及抗霉特性,故可用作食品包装、快餐饭盒和医用输液用具、药物缓释剂包装等。目前,美、法、日和我国等均已开发出较为完善的生产工艺。美国已建成年产14万t、以玉米为原料的聚乳酸大型合成生产装置,成本可下降到具有包装实用价值的程度。聚乳酸的降解分为两个阶段:首先是纯化学水解成乳酸单体,然后乳酸单体在微生物的作用下降解成二氧化碳和水。用聚乳酸制成的食品包装废弃物经堆肥处理,60d就可完全降解;降解产物经光合作用能再形成淀粉原料,从而实现“洁净的碳循环”,被称为“21世纪的环境循环材料”^[10]。

3) 天然高分子与合成高分子共混型的生物降解塑料。天然高分子材料(淀粉、纤维素、甲壳素等)与可降解的合成高分子材料(如PLA、PCL、PBS、聚乙烯醇(professional video assistant, PVA)、聚乙二醇等)各具优缺点,前者降解性能较后者快而好,后者则具有更好的理化使用性能;如将两者混合,并加入化学连接剂、化学连接促进剂及其他助剂进行共混,则制得塑料的强度比无化学连接剂时的大为提高,又较原合成高分子具有更好的生物降解性能,还能节约石油资源和降低成本。目前,这种生物质复合材料已成为复合材料研究领域的新热点,如利用纤维素和聚乳酸PLA,通过挤出-注射模塑工艺获得的共混物,与纯PLA相比,纤维素纤维的加入增大了其弹性模量和弯曲弹性模量,故可应用于生产饮料包装盒;PCL及其单体无毒,具有良好的生物相容性,可生物降解,故应用纤维素与PCL的共混物

可作为食品包装材料和药物缓释包装^[11]。北京2008年奥运会采用了澳大利亚生产的淀粉/聚乙烯醇共混型可堆肥生物降解塑料袋作为奥运村的垃圾袋,取得了很好的保洁效果^[12]。

3 非石油基降解塑料主要产品性能及生产现状

目前,全球石油基塑料产量为1.65亿t/a,并以5%的速度增长,成为除能源和交通运输业之外消耗原油最大的领域。我国塑料制品的产量及消耗量巨大,采用非石油基生物降解塑料就能减少石油资源消耗和塑料废弃物,还能适应发展低碳经济的需要。据欧洲生物塑料协会的统计数据,每使用1t淀粉基塑料可减少CO₂排放0.8~3.2t,若利用生物质资源通过工业生物技术过程生产的生物材料替代我国每年使用的三大合成高分子有机碳材料(塑料、合成橡胶和合成纤维),则可实现数亿吨的CO₂净减排,故低碳经济的发展给非石油基生物降解塑料带来了新的发展机遇。德国赫尔姆特凯瑟咨询公司预计,全球生物塑料市场将以年均20%~30%的速度增长,规模将从2006年的20.3万t增长到2015年的54万t,销售额从4亿英镑扩大到2015年的100亿英镑^[13]。

非石油基生物降解塑料主要用于包装领域,2009年已占市场总量的38%,其中食品包装材料又是生物降解塑料发展最快的应用市场。从地区分布看,西欧依靠法规限制非降解塑料的使用,成为生物降解塑料最大的消费市场。近年来,北美和包括我国在内的亚洲地区为发展低碳经济和循环经济,非石油基生物降解塑料的使用量和生产能力也得到了快速提升^[14]。据专家预测,在今后5~10a内,我国将形成一个以淀粉基、PLA、PBS生物降解塑料为主的销售大市场,年产值将可达几百亿元人民币^[13]。在全球开发的非石油基生物降解塑料中,淀粉基、PLA、PBS生物降解塑料是当前研究开发技术最成熟、市场消费量最多、产业化规模最大的生物降解塑料,是当前生物降解塑料的三大主流产品。

1) 淀粉基(全淀粉型和共混型)生物降解塑料。由淀粉经过改性、接枝反应后与其他聚合物共混加工而成。目前研究方向分为淀粉与可降解聚酯共混材料和全淀粉塑料2种^[15],前者是将淀粉与可降解聚酯如PCL、PVA、PHB等经增塑剂塑化后共混制备;后者以淀粉为基本材料,采用增塑剂塑化改性,提高其抗拉强度等机械性能。淀粉基生物降解塑料能完全生物降解,不污染环境,能减少石油资源消耗,

降低生产成本。制成的薄膜具有较好的透明度、柔韧性、抗张强度,不溶于水,无毒,故市场占有率较高,被广泛应用于食品包装、食品容器和一次性餐饮具等。

意大利生产的Mater-Bi塑料、美国的Novon系列产品和德国的Bioplast塑料,是国际上最受瞩目的3种淀粉基生物降解塑料。我国淀粉基生物降解塑料的产量占我国生物降解塑料总产量的60%以上,并出口日本、韩国、马来西亚、澳大利亚、美国和欧盟等国家和地区^[13]。

2) PLA生物降解塑料。PLA的生产工艺分为间接合成二步法和直接合成一步法,这两种工艺各有优缺点,现一般常用先制得乳酸或乳酸酯,再通过聚合获得聚乳酸的二步法。由于PLA质地比较脆硬,所以工业上需要经过进一步的化学或物理改性后才能加工使用,最常用的方法是采用化学改性法提高其拉伸性能和柔韧性^[15]。聚乳酸经改性后,其力学性能与聚丙烯相似,并具有与聚苯乙烯相似的光泽度、清晰度和加工性能^[13],具有无毒、无刺激性,强度高,易加工成型和优良的生物相容性等特点,是一种能够真正达到生态和经济双重效益,发展速度最快的生物降解塑料。世界聚乳酸大型生产企业有近20家,主要集中在美国、德国、日本和中国。我国浙江海正生物材料股份有限公司已建成生产规模达5000t/a的聚乳酸生产线^[13]。

3) PBS生物降解塑料。PBS通过脂肪族二元酸、二元醇化学聚合制得。其原料脂肪族二元酸既可通过石油化工路线生产,也可通过纤维素、糖类等可再生农作物发酵获得。PBS的力学性能优异,接近聚丙烯(Polypropylene, PP)、丙烯腈/丁二烯/苯乙烯共聚物塑料(acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS);耐热性能好,热变形温度接近100℃,故可用于制备冷热饮包装和餐盒;它在生产时还可共混碳酸钙或淀粉等填充物,使制品价格低廉。由于PBS综合性能优良,性价比合理,故在食品包装、一次性餐具、药品包装瓶、生物医用高分子材料以及汽车零部件、室内装饰等领域均具有良好的应用前景。

在全球范围内,产业化、市场化生产PBS的国家有日本和美国。我国安徽安庆和兴化工有限责任公司,采用清华大学的技术,已建成万吨级的PBS生产线,它是目前世界上最大的PBS生产装置^[13]。

4 结论与思考

1) 非石油基降解塑料作为包装材料是必然趋

势。在全球资源、环境、人口三大危机日益严重的今天,要求实行以“节约资源,保护环境”为中心的可持续发展战略。在这不可阻挡的潮流影响下,非石油基降解塑料在包装、医药等领域取代石油基塑料已成发展的趋势。

食品包装材料使用石油基塑料量大面广,在欧盟《用能产品生态设计框架指令》实施后,使用非石油基生物降解塑料也是食品包装材料生态化以及更好保护生态环境的必然要求。

低碳经济的兴起以及碳排放交易取代石油期货交易,使生物降解塑料产业迎来新的发展契机。淀粉基、PLA、PBS生物降解塑料因其具有的环保性、经济性等优势,必将成为最具有发展前景的生物材料,而食品包装领域仍将是生物降解塑料最大的应用市场。

2) 发展非石油基降解塑料的关键在于提高改性技术与控制成本。天然高分子材料虽具有优良的完全生物降解特性,但是它的耐高温性能不好,由天然高分子制备的生物降解塑料在50~55℃就会发生变形;另外,它的抗拉伸性能及柔韧性也较差,易脆。故必须经过化学及物理改性,研发出以改性为中心的完善工艺和专用设备,方能获得具有广泛使用价值的天然高分子降解塑料。应用纳米改性技术将天然高分子与纳米添加剂复合后制得食品包装材料,能很好地解决天然高分子材料机械强度和阻隔性能差的缺陷;纳米材料本身的抗微生物特性也能赋予复合膜更多的功能特性^[14]。

非石油基降解塑料的价格相对高昂,一般是传统塑料价格的3~5倍。为提高市场接受度,必须通过改进制备工艺和扩大产量来降低生产成本。而最佳的改性技术和降低成本是非石油基降解塑料走向产业化和市场化的两大保证。

3) 应用于食品包装材料的非石油基降解塑料必须保证食品安全,对人体无毒无害。由于天然高分子材料需使用增塑剂等助剂进行改性塑化,普遍使用的增塑剂类型是邻苯二甲酸酯类化合物,其中,邻苯二甲酸二己酯(diethylhexyl phthalate, DEHP)是最主要的品种。DEHP中的有害化合物容易在含油食品和酒精中发生迁移,长期食用后可能引起生殖系统异常,并有导致畸胎、癌症的危险,故食品包装的非石油基降解塑料应保证增塑剂等添加剂的安全性。我国山东生产的新型环保无苯型增塑剂(柠檬酸酯类增塑剂)耐迁移、耐挥发,无毒无害,不含苯类,环状结构体、重金属等有毒有害成分符合欧盟市场要求,值得在非石油基天然高分子生物降解塑料中

推广应用^[16]。

4) 发展非石油基降解塑料需要强调产品的个性化。食品种类繁多,有鲜切果蔬、畜禽类食品、调味料、快餐食品、坚果类食品、功能食品等,再加上药品,它们的成分不同,对食品质量保持和延长货架期的要求各不相同,因此,非石油基生物降解和可食性食品包装材料必需针对它们的个性和要求,实行有针对性的专用化开发,即根据不同类的食品确定其包装膜不同的成膜组分和改性工艺,从而使包装和可食性薄膜获得满足各类食品的最佳性能和最低成本。

5) 还需继续提高非石油基降解塑料的市场接受度。非石油基降解塑料具有很好的市场潜力,但总的来看目前还处于应用的初期阶段,主要应用于包装材料、防震材料、地膜、儿童玩具、冷热饮包装、快餐盒和药物控制释放材料、骨固定材料、人体组织修复材料等;若要使生物降解塑料获得大规模的推广应用,还必须将其推广到电子产品、汽车材料领域,这就必须进一步提高其机械力学性能,尤其是要改善其抗冲击性能。日本将生物塑料和普通塑料共混使用,如丰田汽车公司的塑料零部件中,30%使用生物降解塑料,70%为传统塑料,既提高了塑料部件的可降解程度,成本又增加不多,从而提高了市场接受度^[17]。

参考文献:

- [1] 詹茂盛. 绿色高分子材料的研究现状和发展[J]. 塑料助剂, 2003(1): 12-18.
Zhan Maosheng. The Green Polymer Material Research Status and Development[J]. Plastic Additives, 2003(1): 12-18.
- [2] 季伟, 主芸. 食品塑料包装的现状与发展趋势[J]. 中外食品工业, 2013(7): 43-45.
Ji Wei, Zhu Yun. The Status and Developing Trends of Food Plastic Packaging[J]. Global Food Industry, 2013(7): 43-45.
- [3] [佚名]. 我国石油消费结构急需调整[EB/OL]. [2014-10-10]. <http://www.chinairn.com/doc/70270/97412.html>.
[Anon]. China's Oil Consumption Structure in Urgent Need of Adjustment[EB/OL]. [2014-10-10]. <http://www.chinairn.com/doc/70270/97412.html>.
- [4] [佚名]. Global and China Biodegradable Plastics Industry Report[EB/OL]. [2011-01-10]. <http://wenku.baidu.com/link?url=58s641PLuO6CWa4LIqDY8uhylAmz1J1q2EJKfuL0eJvs-wArev3UDefuyjfhPmlufiWZf-lhzIRJJZqefziG->

- PqwIcfti563--keoJrD8Bm.
- [5] 陈路. 我国塑料制品业已经摆脱国际金融危机影响[J]. 中国包装工业, 2010(4): 22-23.
Chen Lu. China's Plastic Products Industry Has to Emerge from the International Financial Crisis[J]. China Packaging Industry, 2010(4): 22-23.
- [6] [佚名]. 我国塑料废弃物量年超3百多万吨 白色污染问题日趋突出[EB/OL]. [2011-10-12]. <http://www.su-liao.com/news/zixun/91587>.
[Anon]. Three Million Tons of Plastic Waste, White Pollution Problems More Prominent[EB/OL]. [2011-10-12]. <http://www.su-liao.com/news/zixun/91587>.
- [7] 侯汉学, 董海洲, 王兆升, 等. 国内外可食性与全降解食品包装材料发展现状与趋势[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 79-87.
Hou Hanxue, Dong Haizhou, Wang Zhaosheng, et al. Global Development Status and Trend of Edible and Biodegradable Food Packaging Materials[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2011, 13(5): 79-87.
- [8] 戴宏民, 戴佩燕, 周均. 产品生态设计的关键技术及方法[J]. 包装学报, 2013, 5(2): 45-51.
Dai Hongmin, Dai Peiyan, Zhou Jun. The Key Technologies and Design Methods of the Product Eco-Design[J]. Packaging Journal, 2013, 5(2): 45-51.
- [9] 戴宏民, 戴佩燕. 生态包装的基本特征及其材料的发展趋势[J]. 包装学报, 2014, 6(3): 1-9.
Dai Hongmin, Dai Peiyan. The Basic Characteristics and the Development Trend of Ecological Packaging Materials[J]. Packaging Journal, 2014, 6(3): 1-9.
- [10] 邵自强, 谭惠民, 赵春红. 天然高分子基生物降解性塑料研究现状[J]. 华北工学院学报, 2000, 21(2): 138-141.
Shao Ziqiang, Tan Huimin, Zhao Chunhong. Study Status on Biodegradable Plastics from Natural Polymers[J]. Journal of North China Institute of Technology, 2000, 21(2): 138-141.
- [11] 段丽艳, 王春鹏, 储富祥. 纤维素基可生物降解共混高分子材料的制备和性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(9): 32-35, 40.
Duan Liyan, Wang Chunpeng, Chu Fuxiang. Preparation and Properties of Biodegradable Polymer Blends Based on Cellulose[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2008, 24(9): 32-35, 40.
- [12] 戴宏民, 杨祖彬, 戴佩华. 包装管理[M]. 3版. 北京: 印刷工业出版社, 2013: 146-148.
Dai Hongmin, Yang Zubin, Dai Peihua. The Packaging Management[M]. 3rd ed. Beijing: Graphic Communications Press, 2013: 146-148.
- [13] 周磊, 汤脱险, 魏崑, 等. 完全生物降解塑料的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(13): 7867-7871.
Zhou Lei, Tang Tuoxian, Wei Wei, et al. Research Advances in the Completely Biodegradable Plastics[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(13): 7867-7871.
- [14] 陈庆, 刘宏. 三大生物降解塑料未来5年市场需求预测[J]. 塑料工业, 2010, 38(2): 1-3.
Chen Qing, Liu Hong. Market Demand Forecast of Three Bio-Degradable Plastics in the Five Years[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(2): 1-3.
- [15] 戴宏民, 戴佩燕. 提高食品包装材料安全性的新技术和治本途径[J]. 包装学报, 2014, 6(1): 23-26.
Dai Hongmin, Dai Peiyan. To Improve the Safety of Food Packaging Materials of New Technology and Fundamental Approach[J]. Packaging Journal, 2014, 6(1): 23-26.
- [16] 钱伯章, 朱建芳. 生物可降解塑料发展现状与前景[J]. 现代化工, 2008, 28(11): 82-85, 87.
Qian Bozhang, Zhu Jianfang. Current Status and Prospect for Biodegradable Plastics[J]. Modern Chemical Industry, 2008, 28(11): 82-85, 87.

(责任编辑: 蔡燕飞)