

# 生物可降解聚乳酸的合成及其应用研究进展

王如平<sup>1</sup> 王光硕<sup>1,2,3\*</sup>

1 河北工程大学 材料科学与工程学院 2 河北工程大学 河北省改性塑料技术创新中心

3 河北工程大学 邯郸市新型无机非金属材料重点实验室

DOI:10.12238/ems.v4i2.5073

**[摘要]** 科技的进步发展,使得生物可降解高分子材料的应用受到了越来越多的关注,其中聚乳酸具备良好的生物可降解性、生物相容性、高机械强度、易加工等优点,是一种新型的无毒无害的高分子可降解材料,具有很好的发展空间。本文主要对生物可降解聚乳酸的合成方法进行了总结,综述了生物可降解聚乳酸在各个领域的应用研究进展。

**[关键词]** 聚乳酸; 生物可降解; 生物相容性; 合成; 应用

**中图分类号:** TJ43+2.2 **文献标识码:** A

## Synthesis and Application Research Progress of Biodegradable Polylactic Acid

Ruping Wang<sup>1</sup> Guangshuo Wang<sup>1,2,3\*</sup>

1 School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Engineering;

2 Technology Innovation Center of Modified Plastics of Hebei Province, Hebei University of Engineering;

3 Key Laboratory of New Inorganic Nonmetallic Composite of Handan, Hebei University of Engineering

**[Abstract]** With the progress and development of science and technology, the application of biodegradable polymer materials has attracted more and more attention. Among them, polylactic acid has the advantages of good biodegradability, biocompatibility, high mechanical strength and easy processing, which is a new non-toxic and harmless polymer degradable material and has a good development space. This paper mainly summarizes the synthetic methods of biodegradable polylactic acid, and summarizes the application research progress of biodegradable polylactic acid in various fields.

**[Key words]** polylactic acid; biodegradability; biocompatibility; synthesis; application

随着人民生活水平的提高,人们对地球各种资源需求在不断提升,地球资源的过度开发给世界人民造成了一系列问题,例如:全球气候变暖、白色污染、能源枯竭等。塑料在给予人们在生产生活中极大便利的同时,往往忽略了大量被使用过后的不可降解塑料给环境带来了不可挽回的地步。现阶段人们已经充分认识到了环境的重要性,不断提倡“金山银山,不如绿水青山”的观念。当前生物可降解高分子材料受到了国家越来越多的关注,2011年国家环保部发布条例鼓励推广使用新型生物可降解高分子材料,对生物可降解高分子材料地使用给予了大力支持。2017年生物可降解材料被列入《十三五材料领域科技创新专项规划》标准。直至2022年我国仍在大力倡导支持生物可降解材料的开发与研究。环保问题刻不容缓。

聚乳酸作为一种新型高分子材料,具有生物可降解性,可被水解且水解产物只有水和二氧化碳,其对环境无污染等特点,逐渐受到了人们的重视。将聚乳酸进行高温焚烧处理后也不会对环境产生二次污染,不仅如此,研究人员发现聚乳酸制品与传统

的石油化工产品相比,其整个生产过程中能量消耗量大大减少,且实际产生的二氧化碳仅只有石油化工产品的一半,由此可见,生物可降解聚乳酸不仅在环境保护方面起到了巨大作用,而且在解决能源枯竭的问题上提供了很大的助力。

### 1 生物可降解聚乳酸的合成

聚乳酸是以乳酸为单体进行缩聚合成得到的一种高分子聚合物,有左旋、右旋<sup>[1]</sup>之分。聚乳酸具有良好的透明性,防潮、透气性、抗强紫外线、良好地阻燃性等物理化学性能。聚乳酸因其优异的物理化学性能,在各个领域应用非常广泛,拥有广泛的应用前景。

聚乳酸制备的途径主要有两种<sup>[3]</sup>:直接缩聚法和间接法,直接法就是指以乳酸原料发生缩聚反应制备而成,间接法是指丙交酯开环聚合法,两种制备方法所需原料都为乳酸。聚乳酸可使用可再生的天然植物资源(如玉米)中的淀粉原料制成。淀粉原料先通过糖化反应得到葡萄糖,再由葡萄糖及一定的微生物菌种发酵过程制成高纯度的乳酸单体,再通过化学合成技术方

法合成一定分子量的聚乳酸。直接缩聚法常常得到是低分子量的聚乳酸,低分子物聚乳酸有时无法满足某些需要。

直接缩聚法就是乳酸直接脱水缩合法,即先采用乳酸为基本原料,在高温、高真空和催化剂存在的工艺条件下直接聚合制备聚乳酸,即利用乳酸的活性,在脱水剂的作用下,通过高温加热使乳酸分子中的所有羟基和羧基直接受热脱水,直接缩聚合成低聚物,再进一步加入催化剂继续升温,使低相对分子质量的聚乳酸聚合成更高相对分子质量的聚乳酸。

丙交酯开环聚合<sup>[5]</sup>制备聚乳酸的工艺方法采用的是两步法,即先将乳酸作为基本原料在催化剂的作用下制成丙交酯(环状二聚体),再在催化剂的作用下聚合制成聚乳酸及共聚物。或者低聚物聚乳酸在高温、高真空条件下发生分子内酯交换反应,解聚为乳酸的环状二聚体-丙交酯。丙交酯经过精制技术和分离提纯后,由各种金属引发剂如辛酸亚锡、氧化锌等许多化合物通过高温催化开环制备得到高分子量的聚合物。

## 2 聚乳酸的应用研究

据初步调查,近两年来生物改性可降解高分子塑料市场产能上增长得较快的产品即为改性聚乳酸,聚乳酸材料的产品应用领域范围已非常成熟广泛,聚乳酸材料因其自身优异独特的降解阻隔性能逐渐成为传统PS、PP料的新一代极佳的替代品。目前中国在国际生物基可降解塑料产品市场销售中的聚乳酸产品约占销售份额约可达全球70%,聚乳酸塑料因其独特优异高效的高分子物理化学性能,应用范围进一步扩大,正在逐步替代医用材料、包装材料等诸多塑料制品,为建设可持续发展的资源循环型社会做出巨大贡献。

聚乳酸具有无毒、生物相容性、生物可降解性等优点,被广泛应用于各大领域,本文主要讲述的是聚乳酸在包装行业、生物医学行业、日常生活中应用。

### 2.1 包装行业

随着国家对生物可降解高分子材料研发越来越重视,使得不可降解包装材料被逐步替代。在包装行业中,只有采用具有生物可降解性材料才能发展更长远,创造出巨大的经济效益。

聚乳酸具有无毒、无刺激性、耐菌性、抗紫外线、易加工、机械强度高和优异的生物相容性<sup>[7]</sup>等优点,聚乳酸在包装行业的应用是目前市场开发最为成功的应用领域,已经成为世界各地研究人员的研究重点。

自然界空气中产生的强紫外线照射会直接影响着某些常见食物产品的长期保鲜,例如奶粉制品以及食用油产品等。市面上大部分塑料制品是由于它们具有吸收紫外可见光照射的光学功能,所以其在食品上包装行业的应用受到了很大的限制。聚乳酸制品还具有很优异的紫外光阻隔性能,不仅是阻隔紫外可见光,还能具有隔离气味能力。聚乳酸是一种同时具有多种优异性能的高效抑菌功能及良好抗霉素特性的高性能生物可降解高分子塑料,可用于各种抗菌及食品包装。聚乳酸塑料用它做各种食品添加剂包装材料时不仅可以进一步延长食品垃圾的可保存期,又同时可以大幅减少废弃物产生对生活健康环境的直接危

害,达到环保的目的。

在包装行业中,聚乳酸其环保性能远远优于现在市面上的聚乙烯、聚丙烯等塑料<sup>[7]</sup>,聚乳酸因其优异的物理化学性能和它带来的巨大的市场价值,被成为业界二十一世纪最具发展潜力的新型包装材料。据调查显示,我国近年对于聚乳酸在包装制品行业的应用投入远不如国外投入力度大,而且我国企业对于抢占未来国内聚乳酸市场的意识不是很强,然而调查数据显示日本作为聚乳酸的开发研究大国,正在逐渐打开中国聚乳酸包装材料市场。

我国作为农业大国,其聚乳酸制备原料丰富,市场广阔,我国公司在进军聚乳酸包装产品行业时更应该注重利用发挥其国家自身独有的产业资源优势,抓住有利机遇,促进国内聚乳酸包装材料工业的快速发展和创新进步。我国的企业首先要努力学习并不断探索创新,在努力学习赶超国外同行的成功经验同时,加大对聚乳酸在包装技术应用产品领域应用的持续研发及投入,加强自身空白领域的发展,早日形成自己的特色品牌,在聚乳酸市场上占有一定的地位。

### 2.2 生物医学行业

研究人员进一步发现了使用开环聚合反应的新方法所制备的聚乳酸分子对热和水的比较敏感,因其有独特反应性能,聚乳酸被大量用作可完全降解的手术缝合线材料<sup>[2]</sup>。而且聚乳酸降解反应后放出的中间产物一般为水和二氧化碳,不用拆线、可参与人体的新陈代谢、无需进行二次手术对患者造成二次损害,而且其在体内对人体不会产生不良影响。例如美国强生公司生产的VICRYL Plus缝合线,就是一种新型的抗菌缝合线,通过在缝合线里面掺入了抗炎药物,可以起到抑制伤口缝合处发生的一些局部炎症现象以及局部异物等排斥感染反应。聚乳酸在生物医学领域具有巨大的发展潜力<sup>[8]</sup>,聚乳酸成为生物医学材料领域中最受欢迎的材料之一。

一般以高分子材料等作为药物释放的载体时,无法长期保持有效药物成分连续恒量释放。研究人员发现当使用生物可降解高分子作为药物载体时,即可以实现药物的长期恒量释放,而且其可以随着人体的新陈代谢排除体外,不需要进行手术取出,大大减轻了病者的痛苦。

在眼科领域,患者进行眼角膜移植手术之后往往出现排斥现象,聚乳酸则可以解决这种问题。心血管病也是危害人类生命健康的慢性疾病种类之一,其患病率和病死亡率每年均位于全国各类常见疾病死亡率之首。心血管介入治疗技术是治疗心血管疾病的重要手段。血管支架材料植入人体已成为很多医生和治疗某些较复杂重度心脑血管急症病人的首选办法之一<sup>[4]</sup>,植入在我们人体的内部的各种医用新型血管支架材料目前仍在继续不断地探索与发展,从医用普通的金属支架、药物涂层支架材料等都已经发展到了医用新型生物高分子和可生物降解药物的支架。可降解聚乳酸支架以其可控的降解速率,良好的生物相容性及载药性获得显著的优势,并且在早期的试验结果中有良好的表现,而且使用聚合物<sup>[4]</sup>为支架主体所制造的支架普遍具

有良好的生物相容性、优良的降解速度可调性好、降解产物无毒副作用等优点。聚乳酸是一种可降解的高分子聚合物材料,其机械性能及化学稳定性良好,而且具有良好的可降解性、可吸收性和生物相容性。聚乳酸在人体内降解成乳酸单体,参与三羧酸循环,最终降解产物为水和二氧化碳,水通过肾脏排泄,二氧化碳从肺部排出,从而实现了植入物的完全吸收。

生物可降解聚乳酸支架<sup>[6]</sup>作为一种新兴的冠心病治疗手段逐渐被更广泛的临床医师及患者群体所接受,治疗群体之前主要是稳定型心绞痛或已稳定的冠状动脉综合征患者,但随着可降解支架的不断发展,可降解支架<sup>[9]</sup>在抬高型心肌梗死患者的试验结果也令人鼓舞,无论是术后数据还是年随访数据都获得了满意的结果。可降解血管支架具有较大的研究价值和发展空间,研究人员也在不断地努力去开发研究新的聚合物支架,在不久的将来,相信生物可降解支架会给我们带来更多的福音。

### 2.3 日常生活生产

聚乳酸纤维极佳的生物相容性、亲肤性以及其吸水透气性,注定了它会更安全更适合被大量用于人们日常生活的产品,例如高档的一次性医疗卫生用品,如各类高档卫生巾、护垫、纸尿裤、医用消毒抗菌消毒纱布、绷带、床单、抑菌消毒抹布等产品。聚乳酸纤维不仅能够很好地解决一次性医疗和卫生用品的抑菌要求,且其可解决一次性医疗和卫生用品导致的“白色污染”问题。

聚乳酸纤维是一种有机高分子量聚乳酸纤维,其不仅具备许多天然植物纤维特有的诸多优点,同时还兼具其它化学纤维材料的多种优势。

聚乳酸纤维性柔软,其产品耐磨性比较好、抗折皱性、透气性、回弹性好、尺寸稳定好。具有抑菌性、耐晒性,因此聚乳酸纤维在服装行业应用非常广泛。使用聚乳酸纤维材料制作生产出来的衣服柔软性比较好、耐磨性好、穿着舒服。聚乳酸纤维可与其它天然优质棉纤维混纺制成的针织面料手感更蓬松而柔软,可用于高档精细缝纫加工中的高级无缝内衣、超轻薄型的运动和保暖型内衣、婴幼儿内衣裤装面料等。聚乳酸酯长丝可用于高档生产及加工中各类休闲运动服面料和泳装面料。聚乳酸纤维机织物有着天然洁净的外观,高雅大方,可用作高档衬衫面料、家纺面料等。

### 3 结语

目前我国聚乳酸产业正在迅速进入高速蓬勃化发展新时期,

是最具成长潜力的新型生物高分子可降解高分子材料之一,大力推进绿色聚乳酸功能材料研发的工业化应用,是实现绿色可持续发展至关重要的一种措施,聚乳酸拥有着巨大的应用前景,相信聚乳酸材料将会为中国带来更多的福音。

### [基金项目]

河北省大中学生科技创新能力培育专项项目,钛酸盐基磁流变液的可控制备及其在智能控速器中的应用研究(编号22E50122D);河北工程大学大学生创新创业训练计划项目,智能磁流变液的制备及其在控速器中的应用研究(编号X202210076043)。

### [参考文献]

- [1]胡晶,贾磊.可降解聚乳酸的合成及应用[J].广东化工,2016,(08):81-82.
- [2]金成.聚乳酸类材料在生物医学领域的应用[J].山东化工,2017,(07):105-107.
- [3]赵璐.生物可降解材料聚乳酸的制备及应用[J].辽宁化工,2017,(08):834-837.
- [4]朱月琳,汤文浩,胡双龙,等.生物可降解材料聚乳酸在血管支架制备中的应用[J].血管与腔内血管外科杂志,2017,(05):968-971+976.
- [5]杨广鑫,栾景源.生物可降解金属血管支架研究进展[J].中国微创外科杂志,2018,18(08):753-757+760.
- [6]朱月琳.新型PLA-PEG-RPM生物可降解血管支架制备及生物相容性研究[D].东南大学,2018.
- [7]张龙翼.可降解聚乳酸膜制备及其在白乌鱼贮藏保鲜中的应用[D].成都大学,2020.
- [8]刘姿辰,禹宝庆.生物可降解聚乳酸用于骨修复的发展前景和研究价值[J].中国组织工程研究,2021,(34):5552-5560.
- [9]王洋洋,吴红枚,甄文强,等.生物可降解血管支架研究进展[J].中国医疗器械杂志,2021,(04):410-415.

### 作者简介:

王如平(2001--),女,汉族,河北邯郸人,在读本科生,河北工程大学材料科学与工程学院,研究方向:生物可降解高分子材料的应用。

### 通讯作者:

王光硕(1986--),男,汉族,河北邢台人,博士,副教授,河北工程大学材料科学与工程学院,研究方向:多功能纳米复合材料和高分子材料的设计及合成。