

Microgravity Degradation of the Starch-Polylactic Acid Aerospace Environmental Materials

Tingyan Zhang, Zhongdong Liu, Gaowei Chen

Henan University of Technology, Zhengzhou Henan
Email: 921561149@qq.com

Received: May 29th, 2018; accepted: Jun. 12th, 2018; published: Jun. 19th, 2018

Abstract

The decommissioning, scrapping, debris, components and carrying objects of spacecraft in near-Earth space have existed in long-term orbits and synchronous orbits. Accumulation of the Earth's "space debris" has become a huge obstacle to human aerospace activities. Space debris will become a roadblock to the development of the aerospace industry and a perpetrator of cosmic accidents. It will become a new threat to human security and has become a new challenge for humanity. In this regard, this topic proposes research on environmentally friendly aerospace materials degraded under microgravity conditions. The final degradation products are sugar-, water- and non-toxic, starch-polylactic acid materials. The study can be used to degrade or reuse them in spacecraft and space stations. Aerospace materials, taking the first step to voluntarily reduce and reuse aerospace materials, develop new theories and technologies for the functional enhancement and regulation of biodegradable materials under space conditions, and govern the pollution of near-Earth space, and open up materials and microbiological science.

Keywords

Polylactic Acid, Microgravity Starch, Aerospace Materials

微重力条件下降解的淀粉 - 聚乳酸环保航天材料

张亭妍, 刘钟栋, 陈高伟

河南工业大学, 河南 郑州
Email: 921561149@qq.com

收稿日期: 2018年5月29日; 录用日期: 2018年6月12日; 发布日期: 2018年6月19日

摘要

近地空间航天器退役、报废、解体后的残骸、部件和携带物在近地轨道和同步轨道长期存在，积累为地球的“太空垃圾”，成为人类航空航天活动的巨大障碍，太空垃圾将成为航空航天事业发展的拦路虎和宇宙事故的肇事者，成为威胁人类安全的新隐患，并已经成为人类面临的新环境污染问题。对此，本课题提出微重力条件下降解的环保航天材料研究，以最终降解产物是糖、水、无毒气体的淀粉-聚乳酸材料为对象，研究可以在航天器和空间站中降解或再利用的航天材料，迈出可主动减排和再利用航天材料的第一步，发展太空条件下生物降解材料的功能强化与调控的新理论和新技术，治理近地空间污染，开拓材料、微生物科学的新进展。

关键词

聚乳酸，微重力淀粉，航天材料

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

人类开展航天活动半个多世纪以来，仅发射到近地轨道上的卫星大约有 1400 颗，而其中大部分属于早就退役的报废卫星，正常工作的卫星数量则不超过 100 颗。但是已经有 3 万多垃圾残骸在地球附近的近地轨道和同步轨道游荡。虽然随着时间的推移，有一部分在返回地面时烧毁在大气层中。但轨道上的“人口密度”仍相当大。如今尚有 1.25 万枚雷达可探测到的直径超过 10 厘米的垃圾在编，另外，还有约 30 万个较小的垃圾(直径 1 到 9 厘米)和约 3500 万个 1 毫米左右的碎片[1]。太空垃圾已成为人类航空航天活动的巨大障碍，成为威胁人类安全的新隐患，可以说太空垃圾是航空航天的拦路虎，是宇宙事故的肇事者，已经成为人类面临的新环境问题。

现在各具备航天能力和潜力国家都将投入大量的人力和物力进行太空垃圾的清理研究和实施准备，采用的方法是回收和推入地球大气层烧毁。俄罗斯“能源”火箭航天企业总裁维塔利·洛波塔预计 2020 年前世界太空垃圾清理市场将达到 30 亿美元的规模，同时该企业正在研制一种核动力太空清洁船，以解决日益严峻的太空垃圾回收问题，并占领世界太空垃圾清理市场。

但是太空垃圾回收困难，没有再利用价值，推入地球大气层烧毁可能积累起潜在的危害；同时，空间站内的存储空间非常宝贵，解决空间站内各种材料的分类、再利用、抛弃、清理和清除问题也相当重要；因此，开发新型的环保航天材料：使用后可在空间站内的微重力条件下可控降解或分解为可利用物质、水和气体。

因此，开发新型的、能在使用后短期内由自然条件即能分解掉的可生物降解高分子材料，已成为目前研究的热门课题。

2. 目前研究现状和发展趋势

在非惯性系中，若物体所受到的惯性力与引力近似平衡，惯性加速度与引力加速度之差远小于地面重力加速度，就称该物体处于微重力状态。微重力科学作为一门新兴的前沿学科，研究始于上世纪 60 年

代初,分为地面基础研究和空间基地研究,简称陆基研究和空基研究。空基研究主要指在空间中实现微重力环境并进行实验研究,陆基研究主要是通过自由落体获得微重力环境,由于空间研究的实验条件不易实现,地面研究就显得尤为重要[2]。

前苏联和美国利用生物卫星和空间站进行实验并逐步在这方面开展了广泛而系统的研究。我国自1987年以来多次利用返回式科学卫星搭载真菌、细菌和放线菌等微生物,并对其存活、生长、形态、代谢、遗传等生物学效应进行研究。虽然开始比较晚,但是也取得了很大的成就。现在,越来越多的国家开始联合起来进行国际合作,这些计划的实施为微重力的科学研究和应用提供了极好的条件[3]。

聚乳酸是聚乳酸(PLA)属于 α -直链脂肪族聚酯类,其中的酯键在酸、碱等的作用下可被水解和生物降解,最终产品是水和二氧化碳[4];具有良好的生物相容性和生物可吸收性,且兼具PP、PE、PST等塑料的优点,目前已广泛用于各行业[5][6][7][8]。然而,聚乳酸(PLA)存在的一些缺陷,如性脆,力学强度低,与软组织的相容性差,在自然条件下降解速率较慢,产品价位高等限制了其应用范围。淀粉是一种来源丰富、价格低廉的降解性良好,可再生,对蛋白质和细胞都有较好的亲和性、无细胞毒性生物高分子,它的小颗粒结构使其能很好地作为填料与聚合物进行共混[9]。因此,在PLA中添加淀粉是降低成本、提高降解速率的理想选择。目前,PLA与淀粉复合材料的制备还存在一些技术难点,其中,需要解决的关键问题在于PLA与淀粉之间相容性较差,导致二者界面结合力太弱。而振动力场强化加工技术则是制备聚合物高性能共混体系的有效方法[10]。将振动力场引入聚合物加工制备的整个过程,大分子链有解缠的倾向,从而使聚合物熔体的表观黏度下降,更加有利于体系中两相的均匀分布。

淀粉是可再生-自然降解资源,作为植物固定太阳能的主要物质,淀粉除维持正常的生命活动之外还是重要的材料和原料,经典的生物降解研究推测了淀粉分子的“链”结构[11],淀粉的降解的单分子成分为 α -D葡萄糖,最终降解为水和二氧化碳;按照 α -D葡萄糖聚合的糖苷键形式,将淀粉分为直链和支链淀粉分子,生物降解研究的“链”结构推测已经成为淀粉结构的经典概念;到20世纪90年代,对谷物淀粉降解特性的研究在纳米空间展开[12],引入原子力显微镜(AFM),对谷物淀粉颗粒水合降解的中间体组成进行研究,发现了淀粉的中间体组成——酶作用的真实底物;N. H. Thomson [13]用AFM发现了 α -淀粉酶是先在淀粉颗粒表面打开“纳米尺度的通道”,再进入淀粉颗粒内部起生物降解作用。以上的研究,为优异谷物种质、淀粉衍生物和淀粉材料的选择和有效应用,提供了数据和指标,引发谷物淀粉新的应用增长点。

目前,淀粉-聚乳酸复合材料制备研究的主要发展趋势是发展振动力场强化加工技术,以获得制备聚合物高性能共混体系的有效方法[14],将振动力场引入聚合物加工制备的整个过程,使聚合物熔体的表观黏度下降,更加有利于体系中两相的均匀分布。目前,国外对淀粉-聚乳酸复合材料的特性研究主要集中在界面增容和改性方面,其中接枝共聚物是一种有效的改性方法,可以很好地改善相间的界面结合,研究大多局限于医用材料[15]。

3. 拟解决的主要科学问题和主要研究内容

研究拟解决的主要科学问题是近地空间污染,主动减少航天器和人类对近地空间的排放物,针对航天器中使用的某些工具、生活用品、包装、器件等各种可以考虑的物品,保证其使用性能前提,采用微重力(重力环境胁迫)条件下可降解的航天材料制造并在使用完成后降解为可再利用材料、水和无毒气体。

研究的主要内容是淀粉-聚乳酸清洁、环保航天材料,重点为淀粉、聚乳酸单体材料和淀粉-聚乳酸复合材料在高压(航天器发射)-微重力(太空失重)环境中性能参数变化的测定和蛋白酶(聚乳酸底物)、淀粉酶(淀粉底物)在高压-微重力环境中性能参数变化的测定。

研究的具体内容为材料学和生物学两部分:

1) 在航天模拟实验站中进行:

- 1.1) 变性淀粉膜材料在高压 - 微重力环境(重力环境胁迫)中强度, 延展性变化的测定;
- 1.2) 变性淀粉立体材料在高压 - 微重力环境中强度, 弹性变化的测定;
- 1.3) 聚乳酸(L、D 型)膜材料在高压 - 微重力环境中强度, 延展性变化的测定;
- 1.4) 聚乳酸(L、D 型)立体材料在高压 - 微重力环境中强度, 弹性变化的测定;
- 1.5) 淀粉 - 聚乳酸复合膜材料在高压 - 微重力环境中强度, 延展性变化的测定;
- 1.6) 淀粉 - 聚乳酸复合立体材料在高压 - 微重力环境中强度, 弹性变化的测定;

2) 在航天模拟实验站中进行:

- 2.1) 链蛋白酶、K-蛋白酶、菠萝蛋白酶等生物制品在高压 - 微重力环境中活性变化的测定;
- 2.2) α -淀粉酶、 β -淀粉酶等等生物制品在高压 - 微重力环境中活性变化的测定;

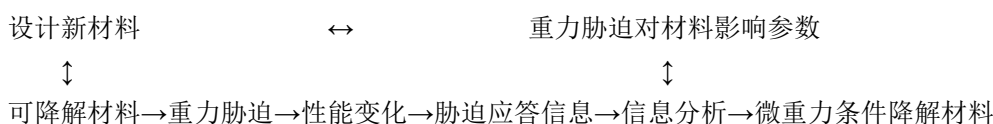
作为前期研究, 在理论方面: 为今后课题的基础研究创新的定向和有序渐进策略奠定基础; 在方法学方面: 为微重力环境可降解材料的定量分析打开突破口; 在为进一步解决的重大科学问题方面: 探讨将来课题设置的思路, 理清各课题间的联系以及与目标的关系, 拟定、筹划将来各课题的经费、研究内容; 最终在近地空间污染防治方面: 获得最优和可控的可降解和可再利用材料的研究结果和材料的实际应用。

4. 总体研究方案

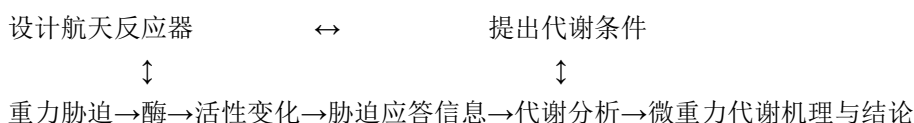
研究的学术思路有悖于目前近地太空环境污染的治理思路: 不是先丢弃再清理, 而是主动采用太空环保材料制作部件和使用物, 在其完成使用目的后进行微重力环境降解, 降解产物无污染且可以再利用, 甚至可以吃掉、喝掉它。

1) 研究内容、目标均清晰, 因此总体研究方案和技术路线可以逻辑性的单向框图简示:

在材料学方面:



在生物学方面:



由于几乎没有以往课题和科学研究文献的参照, 因此研究创新点不易比较得出, 但是面对太空垃圾问题, 我国和人类新型航天材料的环保要求是无可争议的。

课题的特色是: 建立新的主动式太空减排理念, 探索响应重力环境胁迫的可降解材料学机制, 发展适应重力环境胁迫能力的生物学方法, 交叉应用材料工程与生化工程技术, 提高航天材料在环保方面的优化与调控能力。

2) 风险和可行性分析

2.1) 材料在重力胁迫环境下, 其结构会受到一定影响, 由于对重力胁迫环境的认知程度有限, 工作条件受目前仪器、分析水平的局限, 可能影响对材料性能研究的深入和普适性。

2.2) 虽然酶降淀粉、聚乳酸和淀粉 - 聚乳酸复合材料已经实现并建立了数据库, 但是在重力胁迫环境研究中, 除了使用成熟手段, 研究方案可行性需要在实践中检验; 可能使得对生物学规律的认识产生偏差。

2.3) 预期目标描述要明确具体, 具有可行性。

3) 在材料学方面:

通过对淀粉膜材料施加重力场胁迫,测定材料强度,延展性变化的胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对淀粉膜材料的强度,延展性影响参数。

通过对淀粉立体材料施加重力场胁迫,测定材料强度,弹性变化的胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对淀粉立体材料的强度,弹性影响参数。

通过对聚乳酸(L、D型)膜材料施加重力场胁迫,测定材料强度,延展性变化的胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对聚乳酸(L、D型)膜材料的强度,延展性影响参数。

通过对聚乳酸(L、D型)立体材料施加重力场胁迫,测定材料强度,弹性变化的胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对聚乳酸(L、D型)立体材料的强度,弹性影响参数。

通过对淀粉-聚乳酸复合膜材料施加重力场胁迫,测定材料强度,延展性变化的胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对淀粉-聚乳酸复合膜材料的强度,延展性影响参数。

通过对淀粉-聚乳酸复合立体材料施加重力场胁迫,测定材料强度,弹性变化的胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对淀粉-聚乳酸复合立体材料的强度,弹性影响参数。

考核指标:淀粉、聚乳酸单体材料和淀粉-聚乳酸复合材料在高压-微重力环境中性能变化的主要参数。

4) 在生物学方面:

通过对生物酶(蛋白酶、淀粉酶)施加重力场胁迫,测定胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对其生物活性的影响参数。

通过对反应器内代谢过程中施加重力场胁迫,测定胁迫应答信息,进行信息分析,从而获得高压-微重力条件变化对生物酶(蛋白酶、淀粉酶)生物特性、对底物降解、代谢功能的影响参数。

考核指标:生物酶(蛋白酶、淀粉酶)抵御重力环境胁迫能力的参数,建立生物酶(蛋白酶、淀粉酶)在重力胁迫条件下的调控模型。

对于有不确定因素存在、方案的可行性、项目和结果的信度等各种风险,在研究历程中已经是经常面对,但是创新中必定包括跳出定势的思路、超越常规的导引升华,对风险的挑战正是本项目探求真理、创造性释放的底蕴,而从风险中获得的正确认知,常会发挥更大作用:促进科学、技术的跨越。

5. 总结

人类航天进程进入新的发展时期,面临着严峻的近地空间环境污染、航天材料的压力,迫切需要推进近地太空减排计划,研究近地空间站内可降解型材料。

现在各具备航天能力和潜力国家都将投入大量的人力和物力进行太空垃圾的清理研究和实施准备,采用的方法是回收和推入地球大气层烧毁。俄罗斯“能源”火箭航天企业总裁维塔利·洛波塔预计2020年前世界太空垃圾清理市场将达到30亿美元的规模,同时该企业正在研制一种核动力太空清洁船,以解决日益严峻的太空垃圾回收问题,并占领世界太空垃圾清理市场。

但是太空垃圾回收困难,没有再利用价值,推入地球大气层烧毁可能积累起潜在的危害;同时,空间站内的存储空间非常宝贵,解决空间站内各种材料的分类、再利用、抛弃、清理和清除问题也相当重要;因此,开发新型的环保航天材料:使用后可在空间站内的微重力条件下可控降解或分解为可利用物质、水和气体,此类材料已成为目前航天材料急需的研究课题。

课题将实施计划定位于近地空间站内“微重力条件下降解的淀粉-聚乳酸环保航天材料研究”,定位于淀粉-聚乳酸材料的依据是:淀粉是天然材料,可自然降解为葡萄糖,最终降解产品是水和二氧化碳;聚乳酸(PLA)属于 α -直链脂肪族聚酯类,其中的酯键在酸、碱等的作用下可被水解和生物降解,最终

产品是水和二氧化碳；具有良好的生物相容性和生物可吸收性，且兼具 PP、PE、PST 等塑料的优点，是迄今最名副其实的由人工合成的有机高分子“绿色产品”和“环保产品”。由于航天材料的开发必须首先要进行基础研究的先导和支撑；且希望在该材料的研究中，同时带动属于尖端科技领域的微重力条件下材料、生物科领域的研究，促进材料、生物技术创新性的发展；作为重大科学问题、目标和研究意义在于：发展太空条件下，生物降解材料的功能强化与调控的新理论和新技术，治理近地空间污染；进而将其研究成果用于民用领域，开拓材料、微生物科学的进展。

参考文献

- [1] 朱洁. 太空垃圾: 包裹地球的“幽灵”[J]. 北方人(悦读), 2010(1): 58.
- [2] 刘春晖. 微重力科学和应用研究(上) [J]. 宇航学报, 1996, 17(4): 98-105.
- [3] Weng, M.L., Li, J.G., Gao, H.D., *et al.* (1998) Mutation Induced by Space Conditions in *Escherichia coli* Strains. *Space Medicine & Medical Engineering*, **11**, 245-248.
- [4] 潘晓娣, 钱明球, 戴钧明. 聚乳酸纤维的国内外开发进展[J]. 合成技术及应用, 2017, 32(4): 32-37.
- [5] Ke, T., Sun, X. and Seib, P. (2003) Blending Poly(lactic acid) and Starches Containing Varying Amylose Content. *Journal of Applied Polymer Science*, **89**, 36-39. <https://doi.org/10.1002/app.12617>
- [6] Philippe, D. and Ramani, N. (2003) Biodegradable Compositions by Reactive Processing of Aliphatic Polyester/Polysaccharide Blends. *Macromolecular Symposia*, **198**, 233. <https://doi.org/10.1002/masy.200350820>
- [7] 李常银, 孙野青, 杨谦. 空间生物学研究进展[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003(4): 35-38.
- [8] 曲敏杰, 李晶, 马春, 等. 聚乳酸/淀粉共混复合材料研究进展[J]. 塑料科技, 2008, 36(7): 74-80.
- [9] Wang, H., Sun, X.Z. and Seib, P. (2002) Mechanical Properties of Poly(lactic acid) and Wheat Starch Blends with Mefhyienediphenyl Diisocyanate. *Journal of Applied Polymer Science*, **84**, 255-257.
- [10] 瞿金平. 振动力场下聚合物塑化挤出技术研究[J]. 工程塑料应用, 2000(11): 11-14.
- [11] 二国二郎, 主编. 淀粉科学手册[M]. 王薇青, 高寿清, 任可达, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 1990: 160-162.
- [12] Vu, V.V. and Marletta, M.A. (2016) Starch-Degrading Polysaccharide Monooxygenases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, **73**, 2809-2819.
- [13] Colussi, R., Pinto, V.Z., El Halal, S.L.M., Biduski, B., Prietto, L., Castilhos, D.D., Zavareze, E.D.R. and Dias, A.R.G. (2017) Acetylated Rice Starches Films with Different Levels of Amylose: Mechanical, Water Vapor Barrier, Thermal, and Biodegradability Properties. *Food Chemistry*, **221**, 1614-1620.
- [14] 郭斌, 查东东, 薛灿, 等. 聚乳酸纤维对热塑性淀粉塑料性能的影响[J]. 功能高分子学报, 2018, 31(3): 261-266.
- [15] 宿烽, 刘雪, 沈鑫, 等. 聚乳酸类生物材料体内应用的组织反应研究进展[J]. 生物医学工程与临床, 2016, 20(5): 545-549.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-474X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jast@hanspub.org