

序 言

陈洪章 中国科学院过程工程研究所研究员，博士研究生导师，研究方向为生物质炼制工程。2004 年担任国家 973 项目首席科学家，在秸秆炼制、汽爆和固态发酵等领域取得系统创新成果，率先取得产业化重大突破，在山东、吉林、江西、安徽等多地建成了十多条生物质炼制生产线，其中“30 万 t/年秸秆炼制生产线”是目前规模最大且具有经济效益的秸秆炼制生产线，研究成果得到国内外同行的密切关注。出版学术论著 20 部，其中英文专著 4 部；出版英文著作章节 5 章。以第一或通信作者发表论文 150 多篇，其中 SCI 96 篇。申请发明专利 252 项，其中国际发明专利 17 项（授权 9 项），中国发明专利 235 项（授权 140 项）；获得 2012 年中国发明金奖、2010 年中国轻工联合会发明二等奖、2009 年国家科技进步二等奖、2006 年北京市科技二等奖等。



2014 生物质炼制专刊序言

陈洪章，邱卫华

中国科学院过程工程研究所 生物质炼制工程北京市重点实验室，北京 100190

摘要：生物质是自然界最丰富的含碳有机大分子功能体，它有望通过“生物炼制”实现“石油炼制”的辉煌。但是由于生物质资源本身及其转化过程的复杂性，生物质产业虽备受关注，却被认为是遥远的未来产业。传统的生物质资源化利用思路都是先耗费一定的能量破坏生物质结构，然后再进行转化，不仅没有考虑到产品的功能需求，而且过程的原子经济性不高。如何实现化学键更加复杂的固相木质纤维素生物质炼制是实现生物质产业的关键和难点。理想的生物质炼制的目的是以最大得率分离木质纤维原料中各个组分，以尽可能地保持分子的完整性，最大可能地优化利用和最终实现最大价值。这就要求生物质炼制应当是基于原料结构、过程转化和产品特点三者的关联，面向原料、面向过程、面向产品的炼制过程。本期专刊报道了我国生物质炼制技术领域专家学者在原料炼制、炼制技术、组分转化等领域取得的最新研究进展。

关键词：生物质，原料炼制，炼制技术，组分转化，生物质产业

Preface for special issue on biomass refinery (2014)

Hongzhang Chen, and Weihua Qiu

National Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: Biomass is the most abundant organic macromolecules in nature, which is expected to achieve the brilliant of biorefinery

Received: April 24, 2014

Corresponding author: Hongzhang Chen. Tel/Fax: +86-10-82627071; E-mail: hzchen@ipe.ac.cn

equivalent to petroleum refining. However, it is considered as the future industry to human due to the complicated composition and transformation processes. The traditional lignocellulose bio-refining thoughts ignored the functional requirements of products, but spent a lot of energies to destruct macromolecule into small molecules, and then converted the small molecules into different products, which was high energy consumption and low atom economy. How to realize the biorefinery of lignocellulose is the key point and difficulty to achieve the biomass industry. An ideal biorefinery of lignocellulose should as far as possibly to obtain the maximum yield of each component, to maintain the integrity of the molecule, to optimize the utilization of raw materials and finally to realize the maximum value. Therefore, it requires the raw materials refining of lignocellosic biomass should be based on the relationship of structure, process transformation and related product characteristics. This special issue reports the latest advances in the fields of raw material refinery, refining technologies, conversion technologies of component.

Keywords: biomass, raw material refinery, refining technologies, conversion technologies of component, biomass industry

未来人类的竞争不仅是能源的竞争,更是资源的竞争。生物质是自然界最丰富的含碳有机大分子功能体。和石油相比,生物质资源具有更加复杂的元素组成、化学键型、化学成分。现有的石油炼制的主要目的是能源化,仅有12%的石油作为化工业原料。木质纤维素类生物质可再生资源是由纤维素、半纤维素、木质素等相互交织、结构复杂的功能超分子体,利用生物质开发可循环和再生的功能化产品(如生物基燃料、生物基材料、生物基化学品等),将为未来新一代的生物及化工产业提供通用原料。但是,如何实现化学键更加复杂的固相木质纤维素原料的生物炼制一直以来都是实现生物质产业的关键和难点。鉴于木质纤维素类生物质原料的不均一性,理想的生物炼制应当是基于原料结构、过程转化和产品特点三者的关联,面向原料、面向过程、面向产品的炼制过程。然而,传统的生物质资源化利用思路都是先耗费一定的能量破坏生物质结构,然后再进行转化,这种思路没有考虑到产品的功能需求,一股脑的先“拆到底”,对于某些产品来说是增加了它的能量消耗,且原料的原子经济性不高。另一方面过程也更加复杂,更易于产生污染。生物质炼制应当是一个原子利用率高的环境友

好过程,理想的生物质炼制的目的是以最大得率分离木质纤维原料中各个组分,以尽可能地保持分子的完整性,以最大可能地优化利用和最终实现最大价值。近年来,国内在生物质炼制领域进行了多年的研究,也在此方面取得了一些研究成果。为了将生物质炼制技术的研究成果系统、集中地展示,受《生物工程学报》邀请,推出一期主题为“生物质炼制技术”的专刊,从原料炼制、炼制技术、组分转化等几个方面展示我国在生物质炼制领域的研究进展与成果,以期推动生物质炼制技术的发展。

地球上从森林到海洋存在着数量巨大、种类繁多的生物质,而且在光合作用下新的生物质也在不断生成。但是生物质资源具有独特的特点,如地域分散性、季节性、形态多样性等。从原料特性入手,开发生物质原料的通用技术平台,是实现生物质炼制的前提。尤其是对于具有多种功能,但是任一功能特性均不突出的“非典型经济作物”,根据此类原料的特性,建立生物质原料炼制通用技术,将使这类种类繁多、资源丰富的生物质原料,爆发巨大的应用潜能,并产生巨大的经济效益和社会效益。中国科学院过程工程研究所陈洪章等基于非典型油料作物盐肤木的果实和盐肤木抚育剩余物的

物料特征和功能特性,以蒸汽爆破为核心技术,集成多种组分分离技术,成功构建了盐肤木果实及其抚育剩余物炼制技术体系,开发了盐肤木资源汽爆炼制技术的生态产业链新模式,实现了盐肤木资源的综合开发利用,同时也为自然界中大量的此类非单一经济型野生植物资源的开发提供了新的模式。当前生物质向燃料乙醇和化学品的转化仍存在高成本、低效率等问题。预处理是提高木质纤维素生物质向生物燃料转化的有效途径,但生物质的天然抗降解屏障严重阻碍了这一转化的进行,因此全面了解预处理过程中植物细胞壁的微观结构及区域化学变化是实现木质纤维素类生物质高效转化的基础。北京林业大学许凤等分析了多种预处理方法对植物细胞壁超微结构影响的研究进展,以期对生物质科学研究起到促进和指导作用。

由于木质纤维素结构的复杂性,预处理过程中会产生大量的抑制物,严重制约着木质纤维素的生物质转化。因此,实现秸秆基产品的工业化生产,必须首先建立适当的原料预处理、发酵液脱毒等技术体系。传统预处理方法、菌种改造等方法,对于突破木质纤维素抑制物瓶颈、实现木质素产业化生产是必不可少的。但它们只专注于单一的技术突破,忽略了木质纤维素本身所具有的结构特点。实际上,木质纤维素独特的组成特点,可以为我们提供新的研究思路。基于此,中国科学院过程工程研究所陈洪章等提出了“源头降低抑制物——纤维素木质素分级转化”炼制模式,为木质纤维素的开发和利用探索出了一条全新的工艺路线;并在此基础上,进一步提出了“原位脱毒——发酵促进剂设计技术”。并率先开展了电子载体物质、氧化还原物质与木质纤维素抑制物原位脱毒关

联性的研究,利用秸秆水解液进行了实验验证,取得了良好的发酵结果;并综合运用前体工程、理论化学、计算化学和计算机辅助模拟等手段,构建出促进剂开发平台技术,为传统的发酵工艺提出了新的研究思路。实际上,秸秆中一直被认为是发酵抑制物的酚类物质是低毒和价廉的漆酶天然介体的有效来源,它们具有环境和生态的优势而引起了国内外学者浓厚的研究兴趣。陈洪章等介绍了国内外学者从木质纤维素原料降解产物中分离得到绿色、高效的漆酶天然介体的研究进展,并将木质纤维素原料汽爆水洗液视为包含多种小分子木质素降解产物的混合介体体系,从而提出从汽爆秸秆水洗液中炼制漆酶天然介体的思路,为拓宽木质纤维素原料产品炼制范围、降低漆酶-介体体系催化成本提供参考。

实现生物基产品取代石油基产品产业化的关键是生物质炼制技术的突破。目前,主要的生物质炼制技术有汽爆处理、酸处理、碱处理等。其中汽爆预处理已经是公认的最有效的木质纤维素原料预处理方法之一,但是随着汽爆强度的增大,半纤维素的水解程度增加,虽然对后续的组分分离有利,却造成了大分子纤维素组分的品质降低。因此,基于汽爆的组合预处理技术成为当前研究的热点。青岛大学纺织服装学院韩光亭等针对红麻脱胶困难且传统脱胶方法污染严重的问题,提出一种新的脱胶方法,即闪爆-超声波联合脱胶,充分利用超声波产生的强机械振动波形成水动力作用于麻类原料,达到快速有效脱胶的效果。总的来说,目前常用的预处理技术仍存在环境、经济性等问题。因此,不断有新的生物炼制技术涌现。低温等离子体可提供一个高密度活性粒子、高能量的反应环境,在生物质炼

制过程中体现了优于常规技术的一些特点,成为国内外研究的热点。陈洪章等系统阐述基于低温等离子体技术的生物质低温等离子体预处理、降解制糖、选择性功能改性、液化、气化等炼制技术研究现状及存在的问题,并探讨低温等离子体生物质炼制机理,为生物质高效、清洁炼制提供一种新途径。

生物质炼制的最终目的是实现各种组分的绿色、低成本、高效转化。因此,必须建立各级组分转化炼制技术。纤维素乙醇被认为是21世纪发展循环经济的有效途径。然而纤维素酶解发酵的成本问题一直是制约纤维乙醇产业化的瓶颈。国内外学者在降低纤维素酶解成本方面进行了大量的工作。其中耐高温乙醇发酵菌株的选育是解决木质纤维素糖化温度与发酵温度不协调的有效方法之一。河南农业大学宋安东等从烟叶腐解物中分离筛选出一株东方伊萨酵母 *Issatchenkia orientalis* HN-1 菌株,该菌株具有发酵温度高(38–45 °C)、耐高糖(150 g/L 葡萄糖)等特点,利用含 43.08 g/L 葡萄糖的玉米秸秆水解液发酵,乙醇产量达 20.74 g/L,为理论转化率的 91.6%;且木质纤维素水解液副产物其进行乙醇发酵的影响较小,适合用于纤维乙醇发酵。通过预处理方法改变纤维素底物特性,也是提高纤维素酶解效率的有效途径。山东大学赵建等采用碱性预处理苕麻秆和红麻秆,经过分批补料半同步糖化发酵工艺,在补料至底物浓度为 20%时,乙醇浓度达到 63 g/L,转化率分别为 77%和 79%。

在生物质炼制过程中,纤维素与半纤维素转化利用相对容易,但在生物质分级分离过程中产生的大量木质素常以低效能产物作为燃料使用。开发高效、经济的定向生产工艺将木质素转化为

化学品成为生物质全组分高值化利用的关键所在。木质素作为天然的酚类聚合物,具备转化为苯酚所需的结构特征,因此开发高效的木质素生产苯酚的工艺有望成为生物质工业与化工工业的有机结合点,在保护环境的基础上极大地提高生物炼制工厂的竞争力。中国科学院过程工程研究所徐建等以 1-甲基-3-乙基咪唑醋酸盐 ([EMIM]OAc) 处理的工业木质素在微波反应器中以 1-甲基-3-胺乙基咪唑四氟硼酸盐 ([AEMIM]BF₄) 为催化剂,采用双液相反应体系中(水相中添加了 1% NaOH 与 NaCl,有机相为体积比为 8:2 的甲基异丁基酮-正丁醇)催化木质素制备苯酚的收率为 8.14%,这对于木质素的工业应用具有现实意义。生物丁醇是生物能源的重要组成部分,它比生物乙醇更有优越性,因而是生物质炼制中一种重要的产品。然而传统的丙酮-丁醇 (ABE) 生产工艺中,由于存在反馈抑制作用,丁醇的终浓度一般不超过 2.0 wt%,后期分离需要大量能耗,这就影响了该过程的经济性,限制了生物丁醇的大规模生产。为提高该工艺经济性,许多学者进行了大量的研究。中国科学院青岛生物能源与过程研究所牟新东等研究了高添加量的小分子非离子表面活性剂(如吐温等)对生物丁醇发酵的影响,发现非离子小分子表面活性剂添加量低时会降低丁醇的浓度,而添加量较高时则可以提高丁醇浓度。当添加 5 wt%吐温作为表面活性剂时,丁醇终浓度可以达到 1.6 wt%,远高于该菌种的抑制浓度(0.8 wt%)。丁醇浓度的提高不仅仅是因为表面活性剂形成的胶束对丁醇的增溶作用,而且表面活性剂可以吸附到菌体表面,改变菌体表面的亲疏水性,这可能是其增加丁醇产量的主要原因。

(本文责编 陈宏宇)