

突破生物质转化利用的抗降解屏障：目前的挑战，机遇和策略

孙建中

江苏大学生物质能源研究所，镇江 212013，中国

目前，全球能源系统主要是依赖石油、天然气、煤碳等碳氢类资源的一次性能源，并且由此奠定了我们当前能源和化学基原料的主要物质基础，其中，有超过90%的有机化学产品均来自于对石油的各种加工。然而，全球的石油储量却非常有限，并且其需求量还在以前所未有的规模和速度增加。有研究表明，全球未来20年的主要能源需求将会以年平均1.6%的速度增加，仅中国和印度经济发展对能源需求的增加速度就超过了世界年平均增加速度的一半。由于这些传统能源的大量使用，对环境的负面影响越来越严重。因此，为了实现经济发展的可持续性和对全球环境的有效保护，近年来，纤维素生物燃料的可再生特性等优点受到了全球越来越多的企业和科学界的极大兴趣和密切关注，许多国家的政府也逐渐形成这样一个共识：即我们需要持续不断地减少对石油资源的依赖，发展并开始建立以可再生能源为基础的经济发展模式。可以预见，发展生物能源的好处是可以直接形成一个新的能源工业技术领域以及带来一个全新的能源农业的发展机遇，这将有助于大力发展和振新我国传统的农业和林业，改变农村经济的单一发展模式、促进社会的稳定并最终达到维护我们国家能源安全的目的。

农作物秸秆或是其它木质纤维素类生物物质的利用与开发具有许多其它可再生能源所不具备的独特优点，他可以用来制备成液体、气体或固体形式的各种能源，可用于发电、交通能源或制备后石油时代的各种生物基材料。近年来，大部分的燃料乙醇和生物柴油这类通过生物物质的转化所产生的生物能源主要是来自于对玉米淀粉和油脂类植物原料的转化。但是，研究人员和投资家们现今却越来越关注另一类更有前途的生物物质资源——木质纤维素类生物物质的转化和利用，他是我们地球上最为丰富的可再生的生物物质资源。大家都已经认识到：生物物质能源的稳定原料来源和工业规模的可持续发展，将越来越依赖于专用能源作物、农作物废弃秸秆以及森林枝桠材的高效转化和利用，他们未来的资源总量供给潜力和能源的转化利用潜力将有可能满足我国2050年能源需求总量的

一半左右。毫无疑问，以木质纤维素的转化利用为代表的所谓第二代生物质能源将有能力改变我们对石油资源的过度依赖，显著地减少目前的能源消费方式对全球气候的诸多负面影响。然而，尽管我们大家都认同燃料乙醇等其它生物质能源可以很好地替代目前以石油为主导的交通能源，但这些新型的可再生能源目前仍然处于一个微不足道的影响地位。究其原因，由于生物质细胞壁的抗降解屏障，极大地制约了木质纤维素的转化效率和转化过程中的经济成本，在生物炼制等相关重大关键技术方面仍期待着理论和工艺技术等方面的突破。

目前，木质纤维素类生物质转化利用的产业化技术正朝向高效、低成本的方向发展，生物质的预处理技术是实现高效生物转化和降低成本的首要核心技术，其次还包括了制约我们很多年的另外两个关键因素：即木质纤维素酶制剂的价格成本以及有限的发酵微生物转化能力等方面。然而，在过去的 20 多年当中，木质纤维素的生物催化转化过程主要依赖于一些有限的细菌和木腐真菌等少量几类工业微生物资源，虽然通过现代生物技术，如分子遗传改造、酶工程、代谢工程等组学技术的应用，使得目前的纤维素燃料乙醇的研究与开发有了相当程度的进展或突破。但是，生物质高效催化转化的产业化关键核心技术仍然没有实现真正意义上的突破，其所谓的转化过程工艺与技术，对于如何巧妙地打开或经济有效地分解结构复杂的植物细胞壁，人类目前的知识还非常有限，现有的生物质转化利用还显得不成熟，其技术途径仍然值得置疑。为了真正地解决这一重大科学技术挑战，我们需要重新审视当前所采用的主要技术策略和技术途径。因此，寻找对生物质中的纤维素、半纤维素、甚至木质素，能够迅速转化又能高效利用的自然生物系统，如食木白蚁或其他以木质纤维素为原料的自然生物转化催化系统，代表了目前的重要研究方向和解决问题的有效途径。这些自然生物系统经过了亿万年生物进化的过程和演变，其独特的生物转化系统显示了高效生物转化木质纤维素的超凡能力（如白蚁生物转化系统 24 小时内的常温条件下可转化 90% 以上的纤维素，50—80% 左右的半纤维素，25—30% 木质素）。初步研究结果证明，白蚁高效转化利用生物质的主要作用机制，是其自身进化形成了一个对付植物木质纤维素抗降解屏障的独特生物转化系统。在其独特的肠道理化微环境条件下，通过巧妙的生物质预处理过程设计及其肠道木质纤维素酶系的配合，使得生物质的 高效糖化过程得以连续性的维持。因此，自然生物系统过程仿生工程研究的突破，将为实现生物质的 高效转

化提供全新的科学理论、产业化利用的有效途径以及获得高效催化资源的物质条件。近年来，通过采用各种现代生物技术和系统生物学的研究手段所获得的一系列科学新发现表明：研究和利用自然高效生物转化系统是解决生物质高效转化这一重大科学问题最具潜力的有效途径之一，值得我们重视。

该综述将针对不同的自然生物转化系统，阐明他们在建立现代生物炼制技术系统中的潜在科学价值以及构建仿生过程工程系统中所存在的各种主要科学技术挑战与突破生物质抗降解屏障的重要途径。文章的重点将主要包括：1) 生物质自然高效转化系统的重要科学和工业应用价值；2) 来自自然生物转化系统中的新型高效催化转化酶系统的工程化应用途径；3) 采用现代“组学”生物技术，发现、改造并实现高效共生微生物菌系的产业化利用；4) 新型仿生生物反应器的系统构建与结构创新；5) 新型专用纤维素类能源植物的研究方向和发展潜力。作者期望通过这一讨论能够给你带来近年来国际国内在攻克生物质抗降解屏障发展木质纤维素燃料方面的最新进展、最新感受和突破关键科学技术问题的不同途径。