

生物质工程前沿领域关键技术研究进展

李十中

(中国农业大学生物质工程中心 北京 100094)

〔摘要〕 阐述了生物质工程前沿领域植物生物质利用关键技术,着重论述了我国在木质纤维素水解、还原糖微生物利用、代谢产物分离与纯化方面取得的研究进展和独到的技术优势;同时指出:国家有关部门应予以政策和资金方面的支持,使我国能够在上述关键技术上尽快取得重大突破,以推动我国的生物质产业化发展。

〔关键词〕 生物质, 生物质利用关键技术, 糖技术体系

〔中图分类号〕 S565

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2005)05-0009-03

THE FRONTIER OF BIOMASS TECHNOLOGIES AND PERSPECTIVE BREAKTHROUGH

LI Shi-zhong

(Center for Biomass Engineering, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The use of renewable plant biomass is a crucial step to achieve the goal of sustainable development. However, three main technical hurdles, namely cost-effective hydrolysis of lignocellulose, microbial reducing sugar utilization, and isolation and purification of metabolites, should be overcome. China has developed novel technologies and has made a great progress in these three aspects. The perspective breakthrough in biomass technologies will make bioenergy and commodity chemicals competitive with those derived from petroleum.

Key Words: biomass, key technologies of biomass utilization, sugar technology system

CLC Number: S565

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)05-0009-03

1 背景

人类社会以植物为基础的糖经济 (Carbohydrate Economy) 延续了几千年,直到进入 20 世纪,由于石油、天然气等化石能源大量使用才转为烃经济 (Hydrocarbon Economy) 时代^[1]。烃经济创造了空前的物质文明,也带来了石油资源的渐趋枯竭^[2]。根据对世界现有的和未发现的原油储量的估算,2010 年的石油开采量开始减少,2050 年将由现在的年产 250 亿桶减少到 50 亿桶^[3]。大量使用化石能源造成的环境污染已引起全世界的关注,各国政府开始考虑

环境成本,纷纷颁布政策法规,控制化石燃料的使用,并鼓励利用可再生资源。随着科技发展、政治进步和一次性化石燃料资源的不断减少,历史的钟摆又偏向于可再生的糖资源。这不是简单的轮回,而是在生物科学与工程迅猛发展基础上产生的一次质的飞跃。一旦实现了生物质产业化,人类将不再过分依赖化石能源,而是利用各国的本土资源,世界由此将减少因争夺石油而发生的战争;我国的“三农”问题、能源安全问题、过分使用化石燃料造成的环境污染问题都将迎刃而解,农民不仅在田地里生产出粮食,而且还能

收稿日期:2005-03-14

作者简介:李十中,北京市圆明园西路 2 号中国农业大学生物质工程中心,教授,主要研究方向为植物生物质利用;E-mail: szli@cau.edu.cn

我常想,牛顿定律这个名词最早是由谁提出来的呢?我想肯定不是牛顿自己提出来的,而应该是后人在学术研究中提出来的。这实际上反映的是一种负责任的科学方法。科技名词所代表的科学技术的进化也是一门学问。牛顿发现物体运动的三大规律之后,他之后的物理学家不断引用他的这些定律,牛顿运动定律这个科技名词就这样慢慢地进化出来了。因此,我们学术期刊编辑的一项重要历史任务,就是要推动科技名词的出现和进化,这就是科技创新。承担科技创新这样的历史任务,既需要大量的学术研究人才,也需要大量的学术期刊编辑人才,还需要大量的敢于第一个吃“螃蟹”的人。我相信你们大家就是那些敢于第一个吃“螃蟹”的人。

注释及参考文献 (References)

- [1] 根据作者 2005 年 4 月 13 日的讲话编辑、整理而成,各个标题均为整理者所加,作者在整理稿的基础上稍有增删
 - [2] 约翰·施塔韦赫主编. 范岱年,许良英译. 爱因斯坦奇迹年——改变物理学面貌的 5 篇论文[M]. 上海:上海科技教育出版社, 2001
 - [3] 李柯勇. 晏才宏:作为讲师我问心无愧[N]. 新京报, 2005-04-07
 - [4] 杨德庄. 灵活的应用数学技术[J]. 数学进展, 2005, 34(1): 1~16
 - [5] 冯长根. 热爆炸理论[M]. 北京:科学出版社, 1988
 - [6] 商务印书馆辞书研究中心. 新华新词语词典[M]. 北京:商务印书馆, 2003
- (责任编辑 苏青)

为生物质工业提供优质的原料,生产清洁能源和环境友好的化工产品,农村经济水平将得到显著提高,农民收入将成倍增加;大量农民将不再进城打工,而是在自己的家乡营造“绿色油田”,“种植”出燃料和塑料;我国的生态环境将得到显著改善,将不再过分依赖进口石油,国家能源安全将得到保障。

2 植物生物质生物利用技术中需解决的难题

然而,要实现上述远景目标,尚需攻克许多技术难关。石油经济已有近百年的历史,形成了完整的烃技术体系;可是糖技术体系则正在建立,全世界都在进行攻关。以生物质为原料的糖经济虽然原料成本低,但加工转化成本高,尚缺乏与石油经济竞争的實力,必须实现技术上的突破,才能形成完整的技术工程体系。生物质工程是一项跨学科、跨领域、跨行业的系统工程,是生物质产业化的基础。在生物质工程中,国际上公认的需要解决的3个重大技术问题是:①克服木质纤维素分子对生物转化的抗性——由多糖降解为可发酵糖;②通过微生物代谢工程和基因工程研究,高速、高效、高收率地利用可发酵糖——生物转化;③简捷、高效的下游过程技术——产物分离^[4]。其中第一步将大分子多糖降解为可生物利用的还原糖,是目前最大的技术屏障^[5]。我国生物质技术整体水平尽管较低,但恰恰是在国际公认的木质纤维素水解、可发酵糖生物利用、代谢产物分离与纯化3个植物生物质生物利用关键技术难题方面有独到的技术优势。

3 在生物质关键技术领域我国与国际水平的对比

3.1 木质纤维素水解技术

植物生物质的主要成分木质纤维素,由纤维素、半纤维素、木质素以4:3:3的近似比例构成,是世界上唯一可预测的能为人类提供物质和燃料的可持续资源^[5]。世界上每年产生的生物质总量约 6.9×10^{17} Kcal的能量,但是利用率才将近7%(如图1),而且多是在发展中国家作为薪柴以传统的直燃方式利用,热效率极低。把植物生物质变成清洁能源和环境友好化工产品的最佳方法,必须是先把多糖纤维素、半纤维素降解为单糖——葡萄糖、木糖。早在20世纪70年代的第一次石油危机时,美国就开始了用秸秆等木质纤维素类物质生产乙醇的研究^[6]。由于采用单菌产纤维素酶再用酶降解纤维素工艺,虽然从1985年到1995年间成本降低至原来的1/10,但是再继续降低成本却比较困难,至今美国仍在单菌产纤维素酶的老路上钻研。尽管加拿大最近宣布其是世界上第一个使用纤维素乙醇驱动汽车的国家(每天以麦秸为原料生产1.2万升燃料乙醇),但政府还需给乙醇厂财政补贴和免税政策。



图1 生物质总量与利用率

我国科学家则以全新的思路开展木质纤维素生物利用研究。根据纤维素、半纤维素和木质素的结构(如图2),先采用分子振动技术预处理木质纤维素,使纤维素表面充分暴露,并且使半纤维素水解为木糖的时间缩短3/4;再利用分子生态学方法分离、优化产纤维素酶的微生物菌群,使该菌群产酶降解纤维素。该方法不是仅用分子生物学方法改造单个微生物(如美国、加拿大采用的真菌)产酶技术,因而可以总保持高的酶活性,显著提高纤维素降解速度并降低酶解成本。连续分离还原糖的水解反应器技术可以改善纤维素水解热力学条件,通过不断取出降解产物还原糖来减少其对多糖水解的抑制作用。由于全面考虑了纤维素水解所涉及到的纤维素表面、纤维素酶活性和还原糖的在线分离,纤维素水解技术研究有望在近期取得突破性进展,从而提高纤维素水解速度和水解液中还原糖浓度,显著降低可发酵葡萄糖、木糖的成本。微生物菌群产酶降解稻草过程如图3,8天后可将稻草全部水解。

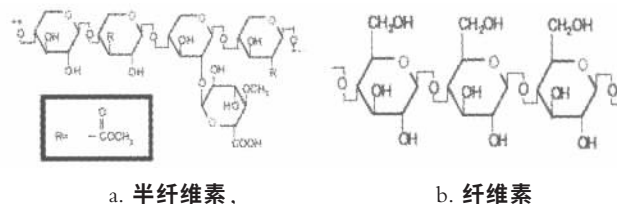


图2 可降解为可发酵糖的半纤维素、纤维素结构

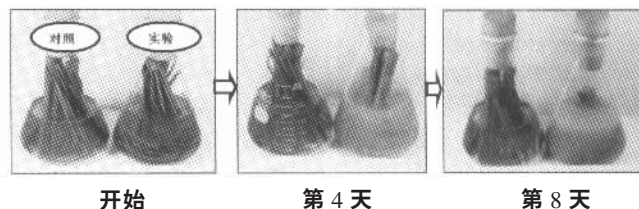


图3 用分子生态学方法得到的产纤维素酶菌群降解未经预处理木质纤维素的实验结果

3.2 水解糖微生物利用技术

半纤维素水解产物木糖是仅次于葡萄糖的第二大糖源^[7],国外往往重视葡萄糖的生物利用研究。我国在五碳糖、六碳糖微生物共代谢研究方面已取得重要进展,构建了可以利用木糖产乙醇的基因工程细菌 *Zymomonas mobilis*。该细菌不同于美国科学家转入4个代谢五碳糖基因^[8],而是插入更多个代谢五碳糖的基因,不必再使用抗生素来维持生物颗粒在发酵过程中的稳定性。采用 *Zymomonas mobilis* 与酵母菌相比,可以缩短发酵时间3~4倍,使乙醇收率从88%~90%提高到94%,糖转化率提高到90%~94%,并且自身安全无毒,可以作为动物饲料,提高了用秸秆等木质纤维素类物质生产乙醇的经济性。我国学者还通过筛选、诱变得到了共代谢木糖、葡萄糖生产高光学纯度乳酸的真菌。该技术可以用相对廉价的原料得到高光学纯度乳酸,不必像细菌一样需要如酵母提取物等高营养物质,能同时利用木糖和葡萄糖,产物分离相对容易实现。虽然真菌好氧发酵会造成能量消耗,但通过给氧过程的气体湍动能有效地防止一体式膜生物反应器中膜的污染,为实现连续在线产物分离的连续发酵技术的应用创造了条件;再应用基因技术改造该菌种以减少需氧量,以降低发酵过程能耗。而国外则主要以淀

粉(葡萄糖)为原料采用细菌间歇发酵生产乳酸,很难在现有水平上再降低乳酸生产成本,从而限制了生物基塑料聚乳酸树脂的广泛应用。

3.3 在线产物分离连续发酵技术

微生物代谢产物对菌体自身生长的抑制作用一直是困扰着发酵工业的难题,我国开发的在线产物分离的一体式膜生物反应器连续发酵技术,不仅解决了产物对菌种生长的抑制问题,可以使微生物在高浓度发酵,而且不含细胞和生物高分子杂质的澄清发酵液,有利于目标产物的分离纯化,可以简化下游提取过程。采用一体式膜生物反应器与树脂在线分离乳酸相结合,以玉米芯水解液为原料连续发酵 250 h,乳酸生产率达 $12.6 \text{ g/l} \cdot \text{h}^{[9]}$,为低成本生产乳酸并使聚乳酸树脂具备与石油基塑料竞争的能力奠定了基础。应用计算流体力学模型优化一体式膜生物反应器,可以得到满足微生物生长需要和防止膜污染的最佳供气条件。在线产物分离连续生物反应技术不仅可以提高乳酸生产技术水平,而且将改善发酵工业技术现状。

4 结论

上述木质纤维素水解、五碳糖与六碳糖微生物共利用、在线产物分离连续发酵 3 方面的技术突破,可以使我国在新兴的生物质产业中取得国际领先地位,率先在世界上有经济效益地生产燃料乙醇,降低聚乳酸前体乳酸的生产成本,并使生物基塑料聚乳酸树脂具备与石油基塑料竞争的经济性;在此基础上,最终构建起我国的生物质产业,以达到解决“三农问题”、缓解国家能源紧张局面、保护环境与生态的目的。

参考文献(References)

- [1] Morris D. Minority Report to the Secretary of the U.S. Department of Energy and the Secretary of the U.S. Department of Agriculture. Biomass Research and Development Technical Advisory Committee Recommendations, Dec. 2001, 3~1
- [2] Kerr R A. The next oil crisis looms large—and possibly close. *Science*, 1998, (281): 1 128~1 131
- [3] Campbell C J, Laherrere J H. The end of cheap oil [J]. *Scientific American*, Mar. 1998, 78~83
- [4] Dale B E. Biobased industrial products: bioprocess engineering when cost really counts [J]. *Biotechnology Progress*, 1999, (15): 775~776
- [5] Lynd L R, Weimer P J, Van Zyl W H, Prestorius I S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology[J]. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2002, (66): 506~577
- [6] Mielenz J R. Ethanol production from biomass: technology and commercialization status [J]. *Current Opinion in microbiology*, 2001, (4): 324~329
- [7] Lachke A. Biofuel from D-xylose—the second most abundant sugar[J]. *Resonance*, 2002, 7 (5): 50~58
- [8] Zhang M, Eddy C, Deanda K, Finkenstein M, Picataggio S. Metabolic Engineering of a Pentose Metabolism Pathway in *Ethanologenic Zymomonas-Mobilis*[J]. *Science*, 1995, (267): 240~243
- [9] Li S Z, Bai D M, Cui Z F. Submerged Membrane Bioreactor for the Enhanced Production of Lactic Acid from Corn cob Hydrolysate by Self-immobilized Cells of *Rhizopus Oryzae*. *Botechnol. and Bioeng.*, (to be submitted) (责任编辑 邱夜明)

·封面文字说明·

爱因斯坦——20 世纪最伟大的科学家

阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955), 举世闻名的德裔美国科学家, 现代物理学的开创者和奠基人, 公认的 20 世纪最伟大的科学家。

爱因斯坦 1879 年 3 月 14 日生于德国乌尔姆一个犹太小业主家庭, 1896 年进入苏黎世联邦工业大学师范系学习物理学, 1901 年取得瑞士国籍; 1902 被伯尔尼瑞士专利局录为技术员, 从事发明专利申请的技术鉴定工作。他利用业余时间开展科学研究, 于 1905 在物理学 3 个不同领域中取得了历史性成就, 特别是狭义相对论的建立和光量子论的提出, 推动了物理学理论的革命。

爱因斯坦 1905 年获苏黎世大学博士学位, 1909 年任该校理论物理学副教授, 1912 年任母校苏黎世联邦工业大学教授, 1914 年回德国任威廉皇家物理研究所所长兼柏林大学教授。1915 年, 爱因斯坦发表了广义相对论。他所作的光线经过太阳引力场要弯曲的预言于 1919 年被日全食的观测结果所证实, 他 1916 年预言的引力波 1978 年也得到了证实。1917 年, 爱因斯坦在《论辐射的量子性》一文中提出了受激辐射理论, 成为激光的理论基础。因在光电效应方面的研究成就, 爱因斯坦 1921 年被授予诺贝尔物理学奖。

1931 年后, 爱因斯坦在德国成为纳粹迫害对象; 同年

10 月经英国转到美国普林斯顿大学, 任新建的高级研究院教授, 1940 年获美国国籍。1939 年, 他上书罗斯福总统建议研制原子弹, 以防德国占先。美国在日本上空投掷两颗原子弹后, 爱因斯坦对此强烈不满, 战后为开展反对核战争运动和反对美国国内法西斯的和平运动进行了不懈的斗争。

1955 年 4 月 18 日, 爱因斯坦因主动脉瘤破裂逝世于普林斯顿。遵照他的遗嘱, 校方未举行任何丧礼, 不筑坟墓, 不立纪念碑, 他的骨灰也被撒在永远对人保密的地方。爱因斯坦的后半生一直从事寻找大统一理论的工作, 但未获成功。1999 年, 美国《时代》周刊将爱因斯坦评选为 20 世纪风云人物。

为弘扬爱因斯坦的伟大科学精神, 纪念“爱因斯坦奇迹年”100 周年、爱因斯坦逝世 50 周年, 2004 年 6 月 10 日, 联合国大会通过了把 2005 年定为“世界物理年”的决定; 翌年 1 月 13 日, 在巴黎召开的世界物理年发起会议上, “世界物理年”在全球正式启动。配合“世界物理年”, 中国科学技术协会等部门 2005 年将在全国范围内开展“世界物理年在中国”活动; 2005 年 4 月 15 日, “世界物理年纪念大会”在北京召开。

本期封面图片为阿尔伯特·爱因斯坦肖像。