

## 生物能源专刊序言

白凤武

大连理工大学生命科学与技术学院, 大连 116024

**摘要:** 发展生物能源是减轻经济和社会发展对不可再生矿物质能源依赖程度, 实现 CO<sub>2</sub> 减排的有效措施。本期专刊包括综述报告和研究论文两部分, 涉及燃料乙醇、生物柴油、生物燃气、生物氢能、微生物燃料电池和微生物电解池等主要生物能源产品和系统, 比较全面地分析其基础研究、关键技术开发和产业发展现状, 讨论了存在的问题和挑战, 展望了发展的前景。

**关键词:** 生物能源, CO<sub>2</sub> 减排, 可持续发展

## Preface for special issue on biofuels and bioenergy

Fengwu Bai

School of Life Science and Biotechnology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

**Abstract:** Biofuels and bioenergy not only benefit independence of energy supply, but also mitigate CO<sub>2</sub> emissions. This special issue includes review reports and research articles involving various biofuels and bioenergy products and systems such as fuel ethanol, biodiesel, biogas, biohydrogen, microbial fuel cells and microbial electrolysis cells. Both fundamental research and technology development are highlighted. And in the meantime, challenges for large scale production and application of biofuels and bioenergy are discussed. Taking advantages of modern biotechnology advances, solutions to address these challenges are envisioned.

**Keywords:** biofuels and bioenergy, CO<sub>2</sub> emission mitigation, sustainability

我国石油供给和需求之间的矛盾非常突出, 自 2004 年进口量超过 1 亿 t 以来, 到 2009 年已经增加到 2.19 亿 t, 占石油加工总量的比例高达 53.6%。2008 年国际市场石油价格曾高达每桶 147 美元, 对我国的经济运行产生巨大影响, 石油加工和航空运输企业大量购买期货原油和成品油造成的巨亏, 至今尚未完全化解。同时, 我国 CO<sub>2</sub> 排放量到 2007 年底已经达到 60 亿 t, 占全球排放总量的 21%, 超过美国成为世界上 CO<sub>2</sub> 排放第一大国<sup>[1]</sup>。石油资源替代, 温室气体减排, 已经成为可持续发展的重大需求。

光合作用获得的生物质是取之不尽、用之不竭的可再生资源, 以此为原料生产的生物能源不仅是可再生的, 而且其消费过程不会导致大气环境 CO<sub>2</sub> 总量的增加。此外, 与其他可再生能源相比, 燃料乙醇和生物柴油等液体生物燃料是替代汽油、柴油和航油等石油基同类产品的唯一选择。在这样的背景下, 《生物工程学报》策划组织了本期“生物能源”专刊, 邀请了国内 20 多位从事生物能源研究的专家学者撰写综述报告和研究论文, 回顾总结了我国生物能源领域研究工作的进展, 分析了存在的问题与挑战, 展望了发展的方向。

生物能源是大宗低值产品,低成本原料的获得是其良性发展的前提。传统的以粮食类淀粉质原料和油料作物大规模生产生物能源产品的模式,不可避免地会产生“与人类争粮油,与粮油争土地”的问题,以农作物秸秆为代表的木质纤维素类生物质作为生物能源产品生产原料可以避免这些问题。我国虽然是农业大国,但秸秆资源总量及用于发展生物能源产品的可获得量,一直缺乏系统的评价,为此特邀中国农业大学谢光辉教授撰写了本期专刊的第一篇综述报告:中国作物秸秆资源评估研究现状<sup>[2]</sup>。

以木质纤维素类生物质资源生产燃料乙醇等生物能源产品面临的最大的挑战就是获得低成本糖及高效率地将糖转化成目标产品。自然进化使这类生物质形成了对降解的强抗性(Recalcitrance)<sup>[3]</sup>及水解产物含有大量难发酵的五碳糖,开发高效纤维素酶和构建混合糖发酵菌株成为不可逾越的屏障<sup>[4]</sup>,但现代生物技术进展不断提供的先进手段,如系统生物学方法和合成生物学技术<sup>[5-6]</sup>及整合生物加工策略(Consolidated bioprocessing, CBP)<sup>[7]</sup>等,为应对这些挑战带来了前所未有的希望。山东大学曲音波<sup>[8]</sup>和鲍晓明<sup>[9]</sup>两位教授及中国科学院微生物研究所李寅研究员<sup>[10]</sup>分别综述了纤维素酶、菌株改造及酿酒酵母 CBP 生产燃料乙醇的研究进展。针对现阶段木质纤维素类生物质加工转化难和粮食类淀粉质原料生产燃料乙醇存在的争议,广西科学院黄日波教授<sup>[11]</sup>结合当地资源特点,分析了我国发展木薯原料燃料乙醇存在的问题及解决的对策。

我国虽然已经形成了超过 200 万 t 的生物柴油生产能力,但受油脂资源供给的制约,实际产量只有 20 万~30 万 t。大连理工大学修志龙教授<sup>[12]</sup>在综述国内外生物柴油技术和产业发展现状的基础上,提出了我国生物柴油产业发展的策略,北京化工大学谭天伟教授<sup>[13]</sup>则进一步总结了脂肪酶高产菌株选育及酶的发酵生产、固定化酶技术及生物反应器、生物柴油分离精制和副产甘油利用等方面的研究进展。微藻光合效率高,单位面积油脂产量是油料作物的数倍乃至数十倍,被认为是生物柴油产业发展大宗原料的理想选择<sup>[14]</sup>,华东理工大学李元广教授<sup>[15]</sup>从优良藻种选育,低成本大规模培养、藻细胞高效采收、胞内油脂提取、藻渣综合利用及系统集

成优化与技术经济性能评价等方面,分析了我国发展能源微藻面临的机遇和挑战及应该采取的策略。

丁醇作为燃料的性能优于乙醇,但发酵副产物种类多、产量大,导致原料消耗高,同时丁醇对细胞的强毒性,使发酵产物浓度极低,不仅下游产品分离的能耗高,而且产生大量废糟液,其处理的能耗更高。中国科学院上海生命科学研究院的杨晟研究员<sup>[16]</sup>在回顾丙酮丁醇发酵技术和产业发展历程的基础上,讨论了如何降低丁醇生物制造的成本。

沼气也称生物燃气,作为燃料和能源的使用有悠久的历史。自“六五”开始,国家科技攻关项目中就一直支持沼气技术开发和推广应用。目前,生物燃气正从传统的分散户用向城镇集中供气、车用燃气和热电联产模式转变。中国科学院成都生物研究所刘晓风研究员<sup>[17]</sup>综述了国内外沼气发酵菌群、工艺技术路线和工程建设与示范等方面的进展。

氢能作为燃料不论是直接燃烧,还是用于燃料电池,都没有温室气体产生,是最洁净的能源。与化学制氢或电解水制氢相比,生物制氢获得的氢能具有可再生的特点,但产氢速率慢、效率低的问题十分突出。哈尔滨工业大学王爱杰教授<sup>[18]</sup>对木质纤维素类生物质生物制氢,从原料预处理、产氢微生物到发酵工艺进行了讨论。在此基础上,大连理工大学黄丽萍博士<sup>[19]</sup>对将生物质中化学能转化为电能的微生物燃料电池、利用外加微小电压产氢的微生物电解池及这两个系统耦合制氢的研究进展进行了评述。

除了 12 篇综述文章外,本期专刊还邀请了 11 篇研究论文:华东理工大学鲍杰教授<sup>[20]</sup>报道了秸秆原料超高浓度条件下发酵生产乙醇;清华大学李十中教授<sup>[21-22]</sup>研究了基于微生物群体协同作用的 CBP 和甜高粱茎秆先进固体发酵技术;中国农业科学院李桂英研究员<sup>[23]</sup>针对广西发展糖质原料燃料乙醇甘蔗榨季短的突出问题,研究了不同月份播种的甜高粱,其茎秆作为补充原料的可行性;复旦大学刘建平博士<sup>[24]</sup>和大连理工大学陈丽杰副教授<sup>[25]</sup>以菊芋块茎为原料生产乙醇和丁醇;中国科学院大连化学物理研究所赵宗保<sup>[26]</sup>和薛松<sup>[27]</sup>两位研究员的富油微生物培养生产微生物油脂和绿藻产氢关键酶氢酶的研究;农业部沼气科学研究所张辉研究员<sup>[28]</sup>从高温油

藏采出液中分离嗜热甲烷古菌; 大连理工大学赵心清博士<sup>[29]</sup>和孜力汗老师<sup>[30]</sup>的自絮凝酵母细胞乙醇耐受性和乙醇发酵清洁生产技术。

特别值得提出的是河南天冠企业集团有限公司对本期生物能源专刊出版工作的大力支持。该公司始建于1939年, 是我国历史最长、最具代表性的乙醇生产企业, 目前燃料乙醇装置的生产能力为50万t, 生物柴油生产能力3万吨, 生物燃气生产能力2000万m<sup>3</sup>。在董事长张晓阳先生的带领下, 天冠集团秉承光荣传统, 肩负历史责任, 勇于开拓创新, 积极倡导并推动发展燃料乙醇, 使其在我国实现了零的突破, 不仅为燃料乙醇产业的更大规模发展奠定了良好基础, 而且通过大型燃料乙醇工程装置的建设运行, 拉动了我国乙醇发酵这一传统产业的调整和升级。作为我国生物能源技术开发和产业发展的一面旗帜, 天冠集团于2008年建立了我国第一套以秸秆为原料的纤维素乙醇示范装置, 目前已经改造扩建到万吨级规模, 为“十二五”国家纤维素乙醇技术开发和产业示范奠定了良好基础。

借此机会, 衷心感谢作者在百忙中接受邀请撰写稿件, 衷心感谢《生物工程学报》陈宏宇和郝丽芳编辑, 没有她们的极大热情和鼓励, 这期专刊的出版工作是不可能顺利完成的, 同时也感谢编辑部其他工作人员及所有为专刊出版作出贡献的科技人员, 特别是从事具体研究工作的研究生。国家科技部等部门正在组织“十二五”项目, 在马上启动的863计划和今年立项支持的973计划中, 生物能源都占有重要位置。有国家的重大需求和科技界良好的工作基础, 生物能源基础研究、技术开发和相关产业必将得到更好的发展!

## REFERENCES

- [1] CO<sub>2</sub> Emissions from Fuels Combustion: Highlights. 2009 ed. International Energy Agency (IEA).
- [2] Xie GH, Wang XY, Ren LT. China's crop residues resources evaluation. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 855–863. 谢光辉, 王晓玉, 任兰天. 中国作物秸秆资源评估研究现状. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 855–863.
- [3] Himmel ME, Ding SY, Johnson DK, *et al.* Biomass recalcitrance: engineering plants and enzymes for biofuels production. *Science*, 2007, **315**: 804–807.
- [4] Stephanopoulos G. Challenges in engineering microbes for biofuels production. *Science*, 2007, **315**: 801–804.
- [5] Mukhopadhyay A, Redding AM, Rutherford BJ, *et al.* Importance of systems biology in engineering microbes for biofuel production. *Curr Opin Biotechnol*, 2008, **19**: 228–234.
- [6] Service RF. Eyeing oil: synthetic biologists mine microbes for black gold. *Science*, 2008, **322**: 522–523.
- [7] Xu Q, Singh A, Himmel ME. Perspectives and new directions for the production of bioethanol using consolidated bioprocessing of lignocellulose. *Curr Opin Biotechnol*, 2009, **20**: 364–371.
- [8] Fang X, Qin YQ, Li XZ, *et al.* Progress on cellulase and enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 864–869. 方翎, 秦玉琪, 李雪芝, 等. 纤维素酶与木质纤维素生物降解转化的研究进展. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 864–869.
- [9] Xu LL, Shen Y, Bao XM. Progress and strategies on bioethanol production from lignocellulose by consolidated bioprocessing (CBP) using *Saccharomyces cerevisiae*. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 870–879. 徐丽丽, 沈煜, 鲍晓明. 酿酒酵母纤维素乙醇综合加工(CBP)的策略及研究进展. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 870–879.
- [10] Zhao XQ, Bai FW, Li Y. Application of systems biology and synthetic biology in strain improvement for biofuel production. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 880–887. 赵心清, 白凤武, 李寅. 系统生物学和合成生物学研究在生物燃料生产菌株改造中的应用. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 880–887.
- [11] Huang RB, Chen D, Wang QY, *et al.* Fuel ethanol production from cassava feedstock. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 888–891. 黄日波, 陈东, 王青艳, 等. 木薯原料生产燃料乙醇. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 888–891.
- [12] Teng H, Mu Y, Yang TK, *et al.* Advances in biodiesel research. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 892–902. 滕虎, 牟英, 杨天奎, 等. 生物柴油研究进展. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 892–902.
- [13] Tan TW, Lu JK, Nie KL, *et al.* Progress on biodiesel production with enzymatic catalysis in China. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 903–906. 谭天伟, 鲁吉珂, 聂开立, 等. 酶法合成生物柴油工业化研究进展. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 903–906.
- [14] Waltz E. Biotech's green gold! *Nat Biotechnol*, 2009, **27**: 15–18.
- [15] Huang YM, Wang WL, Li YG, *et al.* Strategies for research and development and commercial production of

- microalgae bioenergy. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 907-913.
- 黄英明, 王伟良, 李元广, 等. 微藻能源技术开发和产业化发展思路与策略. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 907-913.
- [16] Gu Y, Jiang Y, Wu H, *et al.* Current status and prospects of biobutanol manufacturing technology. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 914-923.
- 顾阳, 蒋宇, 吴辉, 等. 生物丁醇制造技术现状和展望. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 914-923.
- [17] Liu XF, Yuan YX, Yan ZY. Progress on biogas technology and engineering. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 924-930.
- 刘晓风, 袁月祥, 闫志英. 生物燃气技术及工程的发展现状. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 924-930.
- [18] Wang AJ, Cao GL, Xu CJ, *et al.* Progress and technology development on hydrogen production through bioconversion of lignocellulosic biomass. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 931-941.
- 王爱杰, 曹广丽, 徐诚蛟, 等. 木质纤维素生物转化产氢技术现状与发展趋势. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 931-941.
- [19] Huang LP, Cheng SA. Biomass energy utilization in microbial fuel cells: potentials and challenges. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 942-949.
- 黄丽萍, 成少安. 微生物燃料电池生物质能利用现状与展望. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 942-949.
- [20] Zhang J, Chu DQ, Yu ZC, *et al.* Process strategy for ethanol production from lignocelluloses feedstock under extremely low water usage and high solids loading conditions. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 950-959.
- 张建, 楚德强, 于占春, 等. 低水用量约束条件下的高固体含量纤维乙醇生物加工技术策略. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 950-959.
- [21] Du R, Li SZ, Zhang XQ, *et al.* Cellulose hydrolysis and ethanol production by a facultative anaerobe bacteria consortium H and its identification. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 960-965.
- 杜然, 李十中, 章晓庆, 等. 兼性厌氧复合菌群 H 纤维素降解和产乙醇能力及生态组成初探. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 960-965.
- [22] Han B, Wang L, Li SZ, *et al.* Ethanol production from sweet sorghum stalks by advanced solid state fermentation (ASSF) technology. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 966-973.
- 韩冰, 王莉, 李十中, 等. 先进固体发酵技术 (ASSF) 生产甜高粱乙醇. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 966-973.
- [23] Li GY, Ge YX, Liang WY, *et al.* Feasibility of planting sweet sorghum in sugarcane region to prolong milling duration for bioethanol production. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 974-981.
- 李桂英, 葛耀相, 梁文育, 等. 甜高粱填充甘蔗榨期生产燃料乙醇的可行性. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 974-981.
- [24] Yu J, Jiang JX, Zhang YQ, *et al.* Simultaneous saccharification and fermentation of Jerusalem artichoke tubers to ethanol with an inulinase-hyperproducing yeast *Kluyveromyces cicerisporus*. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 982-990.
- 俞静, 江佳稀, 张永强, 等. 鹰嘴豆孢克鲁维酵母利用菊芋原料同步糖化与发酵生产乙醇. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 982-990.
- [25] Chen LJ, Xin CX, Deng P, *et al.* Butanol production from hydrolysate of Jerusalem artichoke juice by *Clostridium acetobutylicum* L7. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 991-996.
- 陈丽杰, 辛程勋, 邓攀, 等. 丙酮丁醇梭菌发酵菊芋汁生产丁醇. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 991-996.
- [26] Lin JT, Shen HW, Zhang ZH, *et al.* Microbial lipid production by *Rhodospiridium toruloides* in a two-stage culture mode. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 997-1002.
- 林金涛, 沈宏伟, 张泽会, 等. 圆环冬孢酵母两阶段培养法生产微生物油脂. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 997-1002.
- [27] Yan F, Chen ZA, Cao XP, *et al.* Stability of the hydrogenase from *Tetraselmis subcordiformis* and its preliminary purification. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 1003-1008.
- 彦飞, 陈兆安, 曹旭鹏, 等. 亚心形四片藻氢酶的稳定性及初步纯化. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 1003-1008.
- [28] Liu HC, Lan GH, Liu QQ, *et al.* Isolation and identification of a methanogen from the high temperature oil reservoir water. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 1009-1013.
- 刘海昌, 兰贵红, 刘全全, 等. 高温油藏采出液中嗜热产甲烷古菌的分离鉴定. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 1009-1013.
- [29] Lin B, Zhao XQ, Zhang QM, *et al.* Cloning of the promoter region of the Trehalose-6-phosphate synthase gene *TPS1* of the self-flocculating yeast and exploration of the promoter activity on ethanol stress. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 1014-1018.
- 林贝, 赵心清, 张秋美, 等. 絮凝酵母海藻糖合成酶基因 *TPS1* 启动子区的克隆和乙醇胁迫下启动子活性的变化. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 1014-1018.
- [30] Zi LH, Zhang CM, Ren JG, *et al.* Impact of distillage recycling on the glycolysis key enzymes, stress response metabolites and intracellular components of the self-flocculating yeast. *Chin J Biotech*, 2010, **26**(7): 1019-1024.
- 孜力汗, 张春明, 任剑刚, 等. 废糟液全循环对自絮凝酵母糖酵解途径关键酶、胁迫相关代谢物及胞内组分的影响. *生物工程学报*, 2010, **26**(7): 1019-1024.